

1. ULUSLARARASI

27-28 ŞUBAT / FEBRUARY
2025

UZAY HUKUKU VE TEKNOLOJİLERİ SEMPOZYUMU

Düzce University / Düzce -TÜRKİYE

1st INTERNATIONAL
SPACE LAW AND TECHNOLOGIES SYMPOSIUM



SEMPOZYUM

TAM METİN KİTABI

SYMPOSIUM FULL TEXT BOOK



e-ISBN: 978-625-6330-13-9



**T.C. ULAŞTIRMA VE
ALTYAPI BAKANLIĞI**



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
DÜZCE VALİLİĞİ**



Düzce Belediyesi



**SAKARYA
ÜNİVERSİTESİ**



TÜBİTAK

aselsan



HAVELSAN



İŞTİRAKİDİR



**TÜRKİYE
Uzay Ajansı**



Ulaştırma, Denizcilik ve İktisadi Araştırmalar
Kurumu (UDAM)



1st International Space Law and Technologies Symposium

Proceedings Book

February 27-28, 2025
Düzce, Türkiye

ISBN
978-625-6330-13-9

Preface

1st International Space Law and Technologies Symposium was held between 27-28 February 2025 with the hosting of Düzce University, Türkiye. Over 120 full-text papers and abstracts were submitted in space law and technologies branches to the symposium. Approximately 90 of these papers were accepted for the presentation after the peer-reviews. The 74 presented papers are included in this abstract book.

Thank you for your interest to the symposium.

ISLTECH'25 Organization Committee

Committees

HONOR COMMITTEE

Selçuk Aslan
Dr. Faruk Özlü
Prof. Dr. Hacı Ali Mantar
Prof. Dr. Atilla Arkan
Prof. Dr. Hamza Al
Prof. Dr. Cemal Yıldız
Prof. Dr. Nedim Sözbir
Ahmet Hamdi Atalay
Dr. Onur Yüksel

Governor of Düzce
Mayor of Düzce
Rector of Gebze Technical University
Rector of İbn Haldun University
Rector of Sakarya University
Rector of Turkish – German University
Rector of Düzce University
TÜRKSAT General Manager
TOBB UYUM General Manager

ORGANIZATION COMMITTEE

Prof. Dr. Ali Öztürk
Prof. Dr. Resul Kara
Prof. Dr. Ali Etem Gürel
Prof. Dr. Mesut Gökten
Prof. Dr. Yeliz Bozkurt Gümrükçüoğlu
Assoc. Prof. Murat Bulut
Assoc. Prof. Sezercan Bektaş
Assoc. Prof. İlyas Gölcüklü
Assoc. Prof. Kazım Sedat Sirmen
Asst. Prof. Filiz Dursun
Asst. Prof. Gökhan Yıldız
Asst. Prof. Mehmet Duman
Asst. Prof. Tuğrul Çakır
Dr. Nebile Pelin Manti
Res. Asst. Elif Eda Takgil
Res. Asst. Görkem Kayacık
Lwy. Egemen Demirer

Düzce University
Düzce University
Düzce University
Düzce University
İbn Haldun University
Düzce University
Sakarya University
İstanbul Altınbaş University
Eskişehir Osmangazi University
Düzce University
Düzce University
Düzce University
Ankara Yıldırım Beyazıt University
İstanbul University
Düzce University
Sakarya University
İstanbul Bar Association

SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Dr. Ali Rüstem Aslan
Prof. Dr. İlteriş Demirkıran
Prof. Dr. Lokman Kuzu
Prof. Dr. Tarık Kaya

İstanbul Technical University
Embry-Riddle Aeronautical University
Karabük University/TUSAŞ
Carleton University

Prof. Dr. Ünver Kaynak
Prof. Dr. Zahit Mecitoğlu
Prof. Dr. Filiz Birbir
Prof. Dr. Yeliz Bozkurt Gümrükçüoğlu
Prof. Dr. İbrahim Dinçer
Prof. Dr. Ali Yeşilirmak
Prof. Dr. Cenk Yavuz
Prof. Dr. Enver Bozkurt
Prof. Dr. F. Burcu Savaş Kutsal
Prof. Dr. Ömer Faruk Keser
Prof. Dr. Ahmet Sinan Öktem
Prof. Dr. Gökhan Güneysu
Prof. Dr. Kerem Batır
Prof. Dr. Mesut Gökten,
Prof. Dr. Philippe Achielleas
Prof. Dr. Şafak Narbay
Assoc. Prof. Murat Bulut
Assoc. Prof. Eda Manav Özdemir

Assoc. Prof. Ahmet Fazıl Yağlı
Assoc. Prof. Osman Dur
Assoc. Prof. Kadir Saygın
Assoc. Prof. Mehmet Fatih Öktem
Assoc. Prof. Selman Kulaç
Assoc. Prof. Cemil Simil
Assoc. Prof. Çiğden Yazıcı
Assoc. Prof. Efe Direnisa
Assoc. Prof. Hilal Lale Ayhan İzmirli
Assoc. Prof. İlyas Gölcüklü
Assoc. Prof. Kazım Sedat Sirmen
Assoc. Prof. Melis Taşpolat Tuğsavul
Assoc. Prof. Mustafa Aytaç Özelçi
Assoc. Prof. Olga Volynskaya
Assoc. Prof. Sezeran Bektaş
Assoc. Prof. Talat Kaya
Assoc. Prof. Tuğçe Oral Manav
Assoc. Prof. Şükriye Esra Baskan
Assoc. Prof. Ömer Faruk Erol
Assoc. Prof. Hakkı Hakan Erkiner

Turkish Aeronautical Association University
İstanbul Technical University
Düzce University
İbn Haldun University
Ontario Üniversitesi/Yıldız Technical University
İbn Haldun University
Sakarya University
Hasan Kalyoncu University
Bahçeşehir University
Necmettin Erbakan University
Gebze Technical University
Anadolu University
İzmir Kâtip Çelebi University
Düzce University
Paris Saclay University/European Space Agency
Sakarya University
Düzce University
General Secretariat of the Presidency of the
Republic of Turkey
ASELSAN
Gazi University
Düzce University
Ankara Yıldırım Beyazıt University
Düzce University
İstanbul Kültür University
MEF University
Turkish – German University
Ankara Hacı Bayram Veli University
İstanbul Altınbaş University
Eskişehir Osmangazi University
Bahçeşehir University
İstanbul Kültür University
Prince Sultan University
Sakarya University
Social Sciences University of Ankara
Ankara University
Özyeğin University
İbn Haldun University
Marmara University

Assoc. Prof. Ayhan Selçuk Özgenc
Asst. Prof. Mehmet Duman
Asst. Prof. Mert Kılınçel
Asst. Prof. Enes Aslan
Asst. Prof. Yakup Okan Alpay
Asst. Prof. Adem Yelmen
Asst. Prof. Şenol Gülgönül
Asst. Prof. Barış Mesci
Asst. Prof. Cansu Korkmaz
Asst. Prof. Ceren Karagözoğlu
Asst. Prof. Elif Altınok Çalışkan
Asst. Prof. Gülnihal Ahter Yakacak
Asst. Prof. Muhammed Göçgün
Asst. Prof. Ömer Faruk Kafalı
Asst. Prof. Mustafa Helvacı
Asst. Prof. Tuğrul Çakır
Dr. Burak Yağlıoğlu
Dr. Celal Sami Tüfekci
Dr. Cihan Atar
Dr. Cüneyt Fırat
Dr. Erdem Demircioğlu
Dr. Faruk Sarı
Dr. Hüseyin Erkut
Dr. Selman Demirel
Dr. Çağrı Kılıç
Dr. Arif Furkan Mendi
Dr. Onur Yüksek
Dr. Selma Özyaydın
Dr. Değer Akın
Dr. Kutlay Aydın
Dr. Taha Tetik
Dr. Ümit Cezmi Yılmaz
Dr. Nurşen Sarı
Dr. Fatih Yılmaz
Dr. Erhan Solakoğlu
Dr. Suat Ontaç
Dr. Özgür Kahraman
Dr. Can Eken
Dr. Güneş Ünüvar

Marmara University
Düzce University
Düzce University
Düzce University
Düzce University
Eskişehir Osmangazi University
OSTİM Technical University
Süleyman Demirel University
Ankara Yıldırım Beyazıt University
Sakarya University
Özyeğin University
İbn Haldun University
Ankara Medipol University
İbn Haldun University
İstanbul Technical University
Ankara Yıldırım Beyazıt University
TÜBİTAK UZAY
ULAK
BOTAŞ
C2TECH
ULAK
C2TECH
C2TECH
TÜRKSAT
Embry-Riddle Aeronautical University
HAVELSAN
TOBBUYUM
Gazi University
TUSAŞ
TUSAŞ
TUSAŞ
TÜRKSAT
C2TECH
TUSAŞ
Başkent University
TUSAŞ
AAC Clyde Space
Durham University
University of Luxembourg

Dr. Halit Mirahmetoğlu
Dr. Merve Erdem Burger
Dr. Naziye Dirikgil
Dr. Nebile Pelin Manti
Dr. Umut Yıldız
Dr. Yeşim Yıldız
M. Sc. Hasan Hüseyin Ertok
Res. Asst. Görkem Kayacık
Res. Asst. Hüdai Ünal
Res. Asst. Kaan Erdoğan
Res. Asst. Muhammed Enes Bayrak
Jdg. Serdal Serdal İbrahimoglu
Lwy. Anıl Akyol
Lwy. Muhammed Buğrahan Helvacı
Lwy. Agt.Elife Filiz Gökdaş
Lwy. Agt. Arbulucu Suzan Keskin
Lwy. Ceren Arslan Tüysüz
Lwy. Egemen Demirer
Lwy. Gizem Turgut
Lwy. Maralgül Erol
Lwy. Mertcan Aslantaş
Lwy. Merve Esen Baygüneş
Lwy. Mustafa Serhat Kaşıkara
Lwy. Nazlı Can
Mr. Faruk Yılmaz
Mr. Ramazan Karabulut
Mr. M. Mehmet Nefes
Mr. Ali Baygeldi
Mr. Altuğ Okan
Mr. Taner Özdemir
Mr. Andrea Capurso
Mrs. Bahar Serçin Halefoğlu
Mr. Batuhan Betin
Mrs. Gülenay Şahin Hantaş

Mr. Halil Derman
Mr. Jack Wright Nelson
Mr. Marco Aliberti
Mrs. Matija Rencelj

GUHEM
Neuchâtel University
Sakarya University
İstanbul University
Plan-S Satellite and Space Technologies
Sakarya University
TURKSAT Board Member
Sakarya University
Ankara Yıldırım Beyazıt University
İstanbul University
İstanbul Fatih Sultan Mehmet University
Asia-Pacific Space Cooperation Organization
Ankara Bar Association
İTOTAM
Ankara Bar Association
Kayseri Bar Association
Ankara Bar Association
İstanbul Bar Association
TÜRK SAT
Ankara Bar Association
TUA
TÜRK SAT
Eskişehir Bar Association
İstanbul Bar Association
Ministry of Transport and Infrastructure
Undersecretariat for Defence Industries
TÜBİTAK UZAY Institute
TUA
TÜBİTAK UZAY Institute
ASELSAN
Luiss Guido Carli University
ALSE Data Technologies
Queen Mary University
Ministry of Environment, Urbanisation and Climate
Change
Ministry of National Defence of Republic of Türkiye
National University of Singapore
European Space Policy Institute
European Space Policy Institute



isltech.sempozyum.duzce.edu.tr

1st International Space Law and Technologies
Symposium
27-28 February 2025, Düzce/Türkiye

1. Uluslararası Uzay Hukuku ve Teknolojileri
Sempozyumu
27-28 Şubat 2025, Düzce/Türkiye
ISBN: 978-625-6330-13-9



Mrs. Rosanna Hoffmann
Mrs. Seda Aydın
Mr. Scott Schenider
Mrs. Ruvimbo Samanga

United Nations Office for Outer Space Affairs
TÜBİTAK UZAY Institute
Aviation Law and Policy Group
International Astronomical Federation

Editors

Prof. Dr. Ali Etem Gürel
Asst. Prof. Gökhan Yıldız

ISBN
978-625-6330-13-9

Düzce, Türkiye

Contents

Preface	ii
Committees	iii
Editors.....	viii
İklim Değişikliği Çerçevesinde Uzay Göçünün Düzenlenmesi ve Yaşam ile Sağlık Hakkı Kapsamında İçme Suyuna Erişimin Sağlanması.....	1
Uzay Hukuku'nun Tarihsel Gelişimi, Devletler Arasındaki veya Üçüncü Kişiler Arasındaki Uyuşmazlıkların Tahkime Konu Olması	11
Avrupa Birliği Hukukunda Uzay Kanunu ile İlgili Gelişmelerin Değerlendirilmesi.....	15
Empowering Nations in Space Programs: Rwanda's Role in Advancing International Space Law	22
Reviewing the Activities of the Commonwealth of Independent States in the Context of the Peaceful Exploration and Use of Outer Space, from the Perspective of Sustainable Access to Space for All, in the 25th Year of the 3rd Millennium.	28
An Evaluation of Space Threat Vectors Under International Law.....	38
LEO Tabanlı Algılama ve Haberleşme: ISAC'a Duyulan İhtiyacın Analizi	48
Uydu Yer İstasyonunda Tamir Edilebilir-Yedekli Sistemler İçin Geliştirilmiş Elverişlilik Hesaplaması.....	54
Çevresel Akustik Test Sonuçlarından Bir Keşif Uydusunun Tepki Tekerleği Titreşim Davranışının Belirlenmesi	63
Uzay Araçlarında Kullanılan Malzemelerde Temas Basıncının Isıl Dirence Etkisi	74
Ay Tutulması Tahmin Sürecinde İnterpolasyon Yöntemlerinin Kullanılabilirliği	84
Alçak Yörünge Uydu Ağlarında Devir Süreçlerinin Performans Analizi: Simülasyon Tabanlı Bir Yaklaşım	89
LEO Uydu Sistemlerinde Frekans-Spektrum Yönetiminin Rolü	95
CubeSat Sistemlerinde ISAC Teknolojisinin Veri İletimi Hızına ve Kapsama Alanına Etkisi	102
Dünyayı Gökten İzleyen Göz: Gök-Börü Model Uydu Sistemi	106
Bir Haberleşme Uydusu Yıldız İzlerinin Isıl Kontrolü.....	116
The dynamic transformation of Space Law and the new challenges	123
The challenge towards sustainable activities of space for a safer environment in the future	135
Uluslararası ve Ulusal Uzay Hukukunda Uzay Faaliyetlerinin Sürdürülebilirliği	143
Uzay Sigortalarının Hazırlanması	152

Uzayın Barışçıl Amaçlarla Keşif ve Kullanımı İlkesi: Mevcut Düzenlemeler ve Gelecek Perspektifleri.....	162
Öncesi ve Sonrasıyla Afetlerin ve Olumsuz Sonuçlarının Azaltılmasında Uzay Hukuku	173
“Mevcut Hukuki Paradigmalara Meydan Okumak: Askeri Uzay El Kitapları” Gelişen Teknolojiler, Askeri Faaliyetler ve Uzayda Savaş	186

İklim Değişikliği Çerçevesinde Uzay Göçünün Düzenlenmesi ve Yaşam ile Sağlık Hakkı Kapsamında İçme Suyuna Erişimin Sağlanması

Najiba Rafizade^{a,}, Gökçe Cerev^a, Doğa Başar Sariipek^a*

^aÇalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: rafizade_najiba@yahoo.com

ÖZET

İnsanlık, hem bilimsel ilerlemenin hem de küreselleşmenin mantıksal bir devamı olan uzay araştırmaları çağına girmiştir. Küreselleşme, iklim değişikliği ve göçün itici faktörlerinden biri olarak nitelendirilebilecek kaynak yetersizliği ile birlikte, uzay araştırmaları ve bunu takip eden insanileştirme acil bir araştırma konusu ve kaçınılmaz bir süreç haline gelmektedir. Modern uzay çalışmaları artık aerofizik ve uzay hukukunun yanı sıra sosyo-ekonomik haklar da dâhil olmak üzere insan haklarını da kapsamalıdır. Bununla birlikte, uzay göçmenlerinin sağlık hakkı gibi konular akademik çevrelerde kapsamlı bir çalışma konusu değildir. Bu çalışmanın amacı, iklim değişiklikleri ışığında uzay göçünü incelemek ve içme suyuna erişim yoluyla yaşam ve sağlık hakkını sağlamaktır. Çalışmada birincil kaynaklardan literatür taraması yapıldıktan sonra veriler içerik analizi yapılarak yorumlanmıştır. Çalışmanın temel sınırlılıkları, uzay göçünü doğrudan incelemek için gerekli saha çalışmalarının gerçekleştirilememesi ve bu tür bir analizin pratikte uygulanabilir olmamasıdır. Çalışma, uzay göçmenlerinin sağlık hizmetlerine erişim hakkının, özellikle içme suyuna erişimin ele alınmasının önemini vurgulamaktadır, çünkü bu durum iklim değişikliği, yatırım çıkarları ve benimsenen sosyal politika stratejisi gibi faktörlerin etkileşimine bağlı olabilir.

Anahtar Kelimeler: *Uzay göçü, İklim değişikliği, Sağlık hakkı, Yaşam hakkı, İçme suyuna erişim.*

Regulation of Space Migration Within the Framework of Climate Change and Ensuring Access to Drinking Water as Part of the Right to Life and Healthcare

Najiba Rafizade^{a,}, Gökçe Cerev^a, Doğa Başar Sariipek^a*

^aLabor Economics and Industrial Relations, Kocaeli University, Kocaeli/Türkiye

*Corresponding Author: rafizade_najiba@yahoo.com

ABSTRACT

Humanity has entered the era of space exploration, which is a logical continuation of both scientific progress and globalization. Together with globalization, climate change and the lack of resources associated with it, which can be characterized as one of push factors for migration, space exploration and its subsequent humanization is becoming an urgent topic of research and an inevitable process. Modern space studies now should encompass human rights, including socio-economic rights, alongside aerophysics and space law. However, issues such as the right to healthcare of outer-space migrants are not an extensive topic for study in academic circles. The purpose of this paper is to study space migration in the light of climate changes and to ensure the right to life and health through access to drinking water. The study uses a literature review method and content analysis. The limitations of the study are the impossibility of conducting field work and reviewing the space migration itself. The study emphasizes the need to address space migrants' healthcare rights, particularly access to drinking water, shaped by factors like climate change, investment interests, and social policy strategy.

Keywords: *Space migration, Climate changes, Healthcare rights, Right to life, Access to drinking water.*

I. GİRİŞ

İçinde bulunduğumuz yüzyılda iklim değişikliği, çevresel koşulları ağırlaştırarak dünya genelinde zorunlu göç hareketlerini artırmaktadır. İklim krizinin bir sonucu olarak literatüre giren "iklim mültecileri" kavramı, uluslararası hukukta henüz tam olarak tanınmamakla birlikte, milyonlarca insanın yaşadığı toprakları terk etmek zorunda kalacağını göstermektedir [1-3]. Bu durum, göç olgusunun artık yalnızca ülkeler arasındaki hareketlilikle sınırlı kalmayıp gelecekte Dünya'nın ötesine de taşabileceğine işaret etmektedir. Nitekim yaşanabilir koşulların azalması halinde insanlığın uzaya yönelerek yeni yaşam alanları arama olasılığı gündeme gelebilir. Ancak Dünya'dan kaçış gibi değerlendirilen "escapism" yaklaşımı Dünya'yı yaşanabilir bir gezegen durumundan çıkararak uzayda yeni yerleşim yerleri arayışına sürüklemek anlamına gelmemelidir. Dünya'daki iklim krizi ve insan faaliyetinin iklim üzerinde bıraktığı olumsuz etkilerin "kaçış" planı uygulayarak değil, yerel düzlemde çözülmesine yönelik çalışmaların yürütülmesine inanmakla beraber gelecekte gezegenimizin kaçınılmaz yok oluşu ile ilgili insanlığın kurtarılmasına yönelik çalışmaların yürütülmesi önem taşımaktadır.

Literatürde yer alan "kaçınılmaz yok oluş" aslında Güneş'in doğal varoluşu ile ilgilidir. Güneş, yaklaşık 5 milyar yıl içinde Kırmızı Dev Evresi'ne girecek ve Dünya da dâhil olmak üzere çevresindeki gezegenleri doğrudan etkileyecektir. Daha sonra Beyaz Cüce aşamasına geçtiğinde, Güneş Sistemi'nin mevcut düzeni kökten değişecektir. Bilimsel kanıtlanmış verilere göre Güneş'te gerçekleşecek olaylar ile ilgili gezegenimizin yaşanamaz hale gelmesi Güneş'in Beyaz Cüce evresine geçmesinde çok daha önce ortaya çıkacaktır [4], [5]. Böylece, günümüzde de öncülleri görülen ama çok da sezile bilinmeyen dramatik bir iklim felaketinin kaçınılmaz olduğu bu senaryoya insanoğlunun ister bilimsel, isterse de hukuki açıdan hazır olması beklenmektedir. Ayrıca, Güneşin kaçınılmaz ölümü yalnızca Dünya'yı eğil, tüm güneş sistemini etkilemektedir. Bu yüzden de kaçış veya eskapizm planı yakın gezegenlere açılan uçuş ve bir nevi sosyo-ekonomik "antreman" ile başlamalıdır. Bu uzun vadeli perspektif, insanlığın gelecekte başka gök cisimlerine taşınmasının kaçınılmaz olacağını göstermektedir. Ancak uzaya göçü gündeme getiren tek etken bu değildir. Bugün karşı karşıya olduğumuz çevresel ve sosyal krizler, uzaya göç fikrini daha da hızlandırmaktadır.

İnsanlığın uzayda kalıcı varlık göstermesi fikri, beraberinde benzersiz hukuki ve etik soruları gündeme getirmektedir. Mevcut uluslararası uzay hukuku düzenlemeleri, uzay faaliyetlerinin barışçıl kullanımını ve devletlerin sorumluluklarını belirlemekle birlikte, insanların zorunlu nedenlerle uzaya göç etmesi veya uzun süreli olarak uzayda yaşaması senaryosunu kapsam dışında bırakmaktadır. Dolayısıyla, iklim değişikliği bağlamında ortaya çıkması muhtemel "uzay göçü" olgusu, hukuki altyapının bu yeni gerçekliğe hazırlanmasını gerektirmektedir. Bu çalışmanın amacı, iklim değişikliği ve olası küresel çevre krizleri bağlamında uzay göçü senaryolarında temel insan haklarının korunmasına odaklanmaktır. Çalışma, özellikle uzay yerleşimlerinde yaşam hakkının en temel bileşeni olan içme suyuna erişim konusunu sosyal politika ve insan hakları perspektifinden incelemeyi hedeflemektedir. Araştırma, gelecekteki uzay göçmenlerinin yaşam ve sağlık haklarını merkeze alarak, su kaynaklarına eşit, adil ve ücretsiz erişimin önemini analiz etmeyi ve bu konuda normatif bir çerçeve önermeyi amaçlamaktadır. Çalışma, salt teknik bir yaklaşımdan ziyade, insani değerleri ve sosyal adaleti ön planda tutan bir bakış açısıyla, uzay göçü politikalarında su hakkının güvence altına alınması gerekliliğini vurgulamaktadır. Çalışmanın yöntemi, ilgili literatürün taranması ve mevcut uluslararası hukuk metinlerinin incelenmesi suretiyle uzay göçüyle ilişkili başlıca sorun alanlarını tespit etmek ve bu alanlarda çözüm önerileri geliştirmek üzerine kuruludur.

II. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE ZORUNLU GÖÇ

İklim değişikliği, yalnızca çevreyi etkilemekle kalmıyor, aynı zamanda insanların yaşamlarını, haklarını ve toplumsal dengeleri de derinden sarsıyor. Dünya Bankası'nın verilerine göre, 2050 yılına kadar yaklaşık 216 milyon insan, iklim değişikliğinin doğrudan etkileri nedeniyle yaşadıkları yerleri terk etmek zorunda kalabilir. Bu durum, yalnızca bireyler için değil, tüm dünya düzeni için büyük bir değişimin habercisidir. İklim mülteciliği kavramı uluslararası hukukta henüz net bir tanıma sahip olmasa da, bu göç dalgalarının insan hakları rejimi ve küresel sürdürülebilirlik üzerinde önemli sonuçlar doğuracağı şimdiden görülüyor [6]. İklim değişikliğinin şiddetlenmesiyle birlikte doğal afetlerin sıklığı ve yıkıcılığı artmış, su kıtlığı, çölleşme ve deniz seviyesinin yükselmesi gibi etkiler dünya çapında yeni bir zorunlu göç dalgası başlatmıştır. Geleneksel mülteci kavramı savaş veya zulüm nedeniyle ülkesini terk edenleri tanımlarken, iklim krizi nedeniyle yerinden olan insanlar için benzer bir koruma mekanizması henüz tam olarak oluşturulamamıştır. "İklim mültecileri" diye anılan bu grup, mevcut uluslararası hukukta net bir statüye sahip değildir. 1951 tarihli Mültecilerin Hukuki Statüsüne İlişkin Cenevre Sözleşmesi kapsamında değerlendirilememektedir. Bu hukuki boşluk, iklim değişikliğinin tetiklediği kitlesel göçler karşısında devletlerin sorumluluklarının ve yükümlülüklerinin belirsiz kalmasına yol açmaktadır. Sonuç olarak, küresel ölçekte milyonlarca insanın güvenli bölgelere erişimi, büyük ölçüde insani dayanışma ve geçici politik kararlara bağlı kalmaktadır [7-9].

İklim değişikliğinin göçü tetikleyen bir faktör olduğu uluslararası düzeyde kabul görmesine rağmen, mevcut hukuki ve politik tepkiler hala parçalı bir yapıya sahiptir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ve Küresel Göç Sözleşmesi gibi anlaşmalar, iklim değişikliği kaynaklı nüfus hareketlerini tanımaktadır, ancak bağlayıcı mekanizmalardan yoksun kalmaktadır. Bu durum, iklim mağdurları için gerçek korumanın sağlanmasını zorlaştırmaktadır [10]. Bu süreçte, ülkeler ve bölgeler farklı politikalar benimseyerek bazı yerlerde iklim felaketleri nedeniyle yerinden edilen kişilere geçici koruma statüsü sağlarken, bazıları ise uzun vadeli uyum stratejilerine odaklanmaktadır. Ancak iklim göçmenlerinin haklarını ve korunmasını garanti altına alan evrensel bir yasal çerçeve bulunmamaktadır. Bu eksiklik, devletlerin sorumluluğu, sınır politikaları ve yeniden yerleşim programlarının sürdürülebilirliği konusunda önemli endişelere yol açmaktadır [11]. Uluslararası göç hukuku uzun süre siyasi mülteciler ve ekonomik göçmenler üzerine yoğunlaşmış, ancak çevresel faktörlerden kaynaklanan göç hareketleri hukuki açıdan belirsiz kalmıştır. 1951 Mülteci Sözleşmesi, mülteciliği yalnızca ırk, din, milliyet, belirli bir sosyal gruba aidiyet veya siyasi görüş nedeniyle zulüm görme riski taşıyan kişilerle sınırlandırdığı için, iklim değişikliği ve doğal afetler nedeniyle yerinden edilen bireyler bu statüden yararlanamamaktadır [12]. İklim göçünün hukuki çerçeveye dâhil edilmesi girişimleri, bazı devletler tarafından artacak yükümlülükler ve hukuki emsal oluşturma endişesiyle dirençle karşılanmaktadır. Bağlayıcı uluslararası düzenlemelerin eksikliği, ülkeleri ve uluslararası kuruluşları iklim göçünü tanıyan ancak yasal yaptırım gücüne sahip olmayan çerçeveler oluşturmaya yöneltmiş. 2010 Cancun Uyum Çerçevesi (UNFCCC) ve 2015 Paris Anlaşması, iklim değişikliğinin göç üzerindeki etkisini kabul etse de, bağlayıcı bir koruma veya yeniden yerleştirme mekanizması sunmamaktadır [10], [13]. 2018 Küresel Göç Sözleşmesi (Güvenli, Sistemli ve Düzenli Göç İçin Küresel Mutabakat), iklim değişikliğinin göçü tetikleyen bir faktör olduğunu kabul edip devletleri önleyici politikalar geliştirmeye teşvik etse de, gönüllü bir anlaşma olduğundan uluslararası hukukta bağlayıcı değildir [11], [14]. Bölgesel düzeyde ise Afrika Birliği'nin 2009 Kampala Sözleşmesi, doğal afetler nedeniyle yerinden edilen bireyleri koruyan nadir bağlayıcı anlaşmalardan biri olsa da, sadece kıta içindeki göçleri kapsar ve sınır ötesi hareketleri düzenlemez [15], [16]. Özellikle içme suyu kaynaklarının azalması, kuraklık ve bununla ilgili toprakların çoraklaşması gibi sorunlar, yalnızca çevresel değil, aynı zamanda insan hakları açısından da ciddi tehditler oluşturuyor. Suya erişim, hayatta kalmanın temel bir unsuru olmasına rağmen, iklim değişikliği nedeniyle milyonlarca insan bu hakkını kaybetme riskiyle karşı karşıya. Birleşmiş Milletler'in (BM) İnsan Hakları Evrensel Beyannamesi ve Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklar Uluslararası Sözleşmesi, her bireyin yeterli yaşam standartlarına erişim hakkına sahip olduğunu vurguluyor ki, bu standartları içme suyu olmaksızın hayal etmek mümkün değildir. Ancak, iklim krizinin giderek derinleşmesi, bu hakların ihlal edilme ihtimalini her geçen gün daha da artırıyor [17-19]. İklim değişikliğinin uzun vadede gezegenimizi yaşanmaz hale getirebilecek boyutlara ulaşması, insanlığın hayatta kalma stratejilerini kökten değiştirebilir. Bilim insanları, ekstrem senaryolarda Dünya'nın bazı bölgelerinin veya tamamının insan yaşamı için elverişsiz duruma geleceğini öngörmektedir. Örneğin, kutup buzullarının erimesi ve deniz seviyelerinin metrelerce yükselmesi milyarlarca insanı doğrudan etkileyecektir. Benzer şekilde, ortalama sıcaklık artışının kritik eşiği aşması halinde tarım sistemleri çökecek, temiz su kaynakları tüenecek ve toplumsal düzen ciddi şekilde sarsılacaktır [20-22]. Böyle bir tablo, insanlığın gelecekte hayatta kalmak adına Dünya dışı yerleşkeler kurma veya uzayda yaşanabilir istasyonlar inşa etme fikrini gerçeğe dönüştürme olasılığını gündeme getirmektedir. Bugün için bilimkurgu gibi görünse de, ekonomik ve çevresel risklerin büyüklüğü, "uzay göçü" kavramını teorik bir olasılık olmaktan çıkarıp ciddiye alınması gereken bir konu haline getirmektedir. İklim krizinin derinleşmesi ve doğal kaynakların tükenmesi, insanlığı Dünya dışında yaşam arayışına yöneltten kaçınılmaz bir sürece soktu. Özellikle Mars ve Ay'da yerleşkeler kurma fikri, artık sadece bilim kurgu senaryolarında değil, gerçek araştırmaların merkezinde yer alıyor. Bu gelişmeler, yalnızca teknolojik ilerlemelerle sınırlı kalmıyor; aynı zamanda uluslararası hukukun da yeni sınamalarla karşı karşıya kalmasına neden oluyor. Uzayda yaşamın mümkün hale gelmesi, gezegenler arası yasal düzenlemelerin önemini her zamankinden daha fazla artırıyor. Ancak insanların Dünya'yı terk ederek uzayda yeni yaşam alanları araması fikri, mevcut politik ve yasal düzenlemeler açısından son derece karmaşık zorluklar barındırır. Her şeyden önce, bir gezegenden diğerine kitlesel göç durumu, egemenlik, vatandaşlık ve uluslararası sorumluluk kavramlarını yeniden tartışmaya açacaktır. İklim değişikliği kaynaklı göç bağlamında, devletlerin sınırlarını aşan bu tür bir çözüm arayışı uluslararası iş birliği olmadan mümkün değildir. Ne var ki, mevcut küresel yönetim mekanizmaları, bırakın uzayda yaşamayı, ülkeler arası kitlesel göçleri düzenleme konusunda bile zorlanmaktadır. Bu nedenle, iklim krizinin dayattığı böylesi sıra dışı bir göç biçimini yönetebilmek için hem siyasi irade hem de kapsamlı bir hukuki çerçeveye ihtiyaç duyulacağı açıktır. Şimdiden, iklim mültecilerinin korunmasına yönelik bağlayıcı sözleşmelerin eksikliği ve bu konudaki politik isteksizlik, gelecekte uzaya yönelen göç hareketlerinin yönetiminde karşılaşılabilecek sorunların habercisi niteliğindedir.

III. YAŞAM VE SAĞLIK HAKKI KAPSAMINDA İÇME SUYUNA ERİŞİM

Yaşam hakkı, insan haklarının en temel unsurudur ve bu bağlamda sağlıklı bir hayat sürdürebilmek için sağlık hakkının güvence altına alınması şarttır. Bu noktada, temiz içme suyuna erişim, yalnızca bir ayrıcalık değil, sağlık hakkının ayrılmaz bir parçasıdır. Birleşmiş Milletler İnsan Hakları Evrensel Beyannamesi'nin 25. maddesi ve Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklar Uluslararası Sözleşmesi'nin 12. maddesi, her bireyin mümkün olan en yüksek sağlık standardına sahip olma hakkını koruma altına alır. Yaşam hakkı ve sağlık hakkı, uluslararası insan hakları hukukunun temel taşlarıdır. Bu hakların etkin biçimde kullanılabilmesi için en temel gereksinimlerden biri temiz ve yeterli suya erişimdir. Nitekim Birleşmiş Milletler Genel Kurulu, Temmuz 2010'da aldığı bir kararla temiz içme suyuna ve sanitasyona erişimi temel bir insan hakkı olarak tanımıştır [23], [24]. Buna rağmen günümüzde dünyanın pek çok bölgesinde insanlar güvenilir su kaynaklarından mahrumdurlar ve iklim değişikliği bu sorunu daha da derinleştirmektedir. Artan kuraklıklar ve değişen yağış rejimleri, su kıtlığını tetikleyerek halihazırda savunmasız olan toplulukları göçe zorlamaktadır. Dolayısıyla, ister yeryüzünde olsun ister gelecekte uzay yerleşkelerinde, suya erişimin garanti altına alınması yaşam ve sağlık hakkının ayrılmaz bir parçası olarak görülmelidir.

Temiz ve güvenli içme suyuna erişim temel bir insan hakkı olarak kabul edilse de, küresel çapta ciddi bir sorun olmaya devam etmektedir. Uluslararası çabalar bazı bölgelerde su güvenliğini artırmış olsa da, düşük gelirli ve dezavantajlı topluluklarda milyonlarca insan hâlâ güvenli suya düzenli erişimden yoksundur. Su kıtlığı, yalnızca sağlık değil, aynı zamanda ekonomik kalkınma ve sosyal istikrar üzerinde de doğrudan etkiye sahiptir. Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi No 6, herkes için temiz su ve sanitasyona erişimi öngörse de, bu alandaki ilerleme dengesizdir. Kirli su tüketimi, kolera, dizanteri ve ishal gibi hastalıkların başlıca nedeni olup, özellikle çocuk ölümlerini artırmaktadır. Su temini büyük ölçüde kadın ve çocukların sorumluluğunda olduğu için, bu durum onların eğitim ve ekonomik hayata katılımını da olumsuz etkilemektedir. Su arıtma teknolojileri ve altyapı iyileştirmeleri bazı bölgelerde ilerleme sağlamış olsa da, yönetim eksiklikleri ve finansal kısıtlamalar geniş çaplı sürdürülebilir çözümleri engellemektedir [23], [25], [26].

Dünya genelinde suya erişim konusunda büyük eşitsizlikler devam ederken, şehirlerde yaşayan nüfusun genellikle daha geniş olanaklara sahip olduğu, kırsal kesimde ise arıtılmamış yüzey sularına, uzak kuyulara veya mevsimsel kaynaklara bağımlılığın sürdüğü görülmektedir. Sahra Altı Afrika ve Güney Asya'nın bazı bölgelerinde, büyük bir nüfus kesimi hâlâ güvenli olmayan su kaynaklarını kullanmak zorunda kalmaktadır. Özellikle uzak bölgelerde yaşayanlar için temiz suya erişim mesafesi sorunu, suya erişimi daha da zorlaştırmaktadır. Bu topluluklardaki insanlar, çoğu zaman uzak ve güvenilir olmayan su kaynaklarından su taşımak için önemli bir zaman harcamakta, bu da gerçekte güvenli içme suyuna erişimi olan nüfus oranını düşürmektedir [26], [27]. İklim değişikliğinin su krizini derinleştirmedeki rolü göz ardı edilemez. Yağış düzenlerindeki değişiklikler, uzun süreli kuraklıklar ve artan sıcaklıklar, zaten dezavantajlı olan bölgelerde su kıtlığını daha da kötüleştirmektedir. Öte yandan, seller ve deniz seviyesinin yükselmesi, tatlı su kaynaklarının kirlenmesine yol açarak içme suyu erişimini daha da azaltmaktadır. Özellikle su arıtma ve dağıtım altyapısı yetersiz olan düşük gelirli ülkeler, mevcut sınırlı kaynakları koruma konusunda büyük risklerle karşı karşıyadır. Tatlı su kaynakları üzerindeki artan baskı, altyapının iyileştirilmesi ve su yönetim stratejilerinin sürdürülebilir şekilde güçlendirilmesi gerekliliğini her zamankinden daha acil hale getirmektedir [28-30].

Uzay ortamında suya erişim meselesi, Dünya'dakinden bile daha karmaşık bir hal almaktadır. NASA'nın verilerine göre, uzaya sadece 1 litre su göndermek, yaklaşık 10.000 ila 50.000 dolar gibi oldukça yüksek bir maliyet gerektiriyor. Bu durum, uzayda suyun mümkün olduğunca verimli kullanılmasını zorunlu hale getiriyor. Halihazırda Uluslararası Uzay İstasyonu gibi kapalı sistemlerde astronotların su ihtiyacı, atık suların geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanımı yoluyla karşılanmaktadır. Bu sistem sayesinde, uzaydaki suyun yüzde 90'ı geri kazanılıyor, böylece hem maliyetler düşürülüyor hem de sınırlı kaynakların en verimli şekilde kullanılması sağlanıyor [31], [32]. Ancak uzun vadeli uzay görevleri veya başka gezegenlere yerleşim söz konusu olduğunda, su temininin kritik bir sınırlayıcı faktör olacağı öngörülebilir. Söz gelimi, Mars veya Ay gibi gök cisimlerinde insan yerleşkeleri kurma planları, oradaki buz rezervlerinin çıkarılması ve suya dönüştürülmesi projelerine dayanır [33-35]. Bu süreçler teknolojik olarak mümkün görünmekle birlikte oldukça maliyetli ve karmaşıktır. Dahası, su kaynaklarının kısıtlı olduğu bir ortamda kimin ne kadar su kullanacağı sorusu ortaya çıkacaktır. Eğer uzayda insan yerleşimleri gerçekleşirse, su muhtemelen en stratejik ve değerli emtia haline gelecektir. Böylesi bir durumda suyun adil ve sürdürülebilir paylaşımı, sosyal adaletin sağlanması açısından büyük önem taşıyacaktır. Uzay göçmenlerinin temiz suya erişiminin, tıpkı Dünya'daki insanlar gibi, temel bir hak olarak kabul edilmesi ve hiçbir koşulda ticari çıkarlara tabi kılınmaması gerekecektir ki, Dünya'da maalesef bunu, yani suya ücretsiz erişimi çok sınırlı şekilde görmekteyiz. Bu yaklaşım, uzayda kurulacak yeni toplumların barış ve dayanışma prensipleri üzerine inşa edilmesinin de ön koşullarından biridir.

IV. UZAY HUKUKU VE MEVCUT DÜZENLEMELER

Uzay çağı, 1957 yılında SSCB'nin ilk yapay uydusunu fırlatmasıyla başladı ve başlangıçta Dünya gözlemi ve iletişim üzerine odaklanan "eski uzay" dönemi olarak adlandırıldı, ancak zamanla uzay turizmi, madencilik ve keşif gibi ticari faaliyetleri de kapsayacak şekilde genişledi. Teknolojik gelişmeler yeni girişimlerin önünü açarken uzay hukuku devlet sorumluluğu, özel sektör faaliyetlerinin hukuki boyutları ve uzay enkazı yönetimi gibi önemli zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Uzay hukukunun gelişimi, Erken ilkeleri oluşturan Geleneksel Olmayan Dönem, beş büyük antlaşmanın imzalandığı Geleneksel Dönemi ve uzay yönetimindeki yeni sorunlara yönelik bağlayıcı olmayan yönergelerin öne çıktığı Yumuşak Hukuk Dönem olmak üzere, üç aşamadan geçti. Alanda kabul edilen antlaşmaların başında 1967 tarihli "Dış Uzay Antlaşması" (OST) gelmektedir. Dış Uzay Antlaşması, uzayın ve gök cisimlerinin tüm insanlığın ortak mirası olduğunu vurgulayarak hiçbir devletin uzayda egemenlik iddiasında bulunamayacağını hükme bağlar. Ayrıca uzayın barışçıl amaçlarla kullanılması, kitle imha silahlarının yörüngeye veya gök cisimlerine konumlandırılmaması ve uzay faaliyetlerinden doğan sorumluluk gibi ilkeleri tesis eder. Bu temel antlaşmayı, 1968 tarihli "Astronotların Kurtarılması ve İadesi Antlaşması" ile 1979 tarihli "Ay Antlaşması" gibi sözleşmeler takip etmiştir. Söz konusu antlaşmalar, devletlerin uzaydaki faaliyetlerine dair çeşitli yönleri ele alsın da insanlığın uzaydaki geleceğine ilişkin tüm senaryoları kapsamaktan uzaktır. Nitekim Ay Antlaşması dışında hiçbir, gök cisimlerindeki kaynakların, özellikle de suyun kullanımı veya uzayda kurulabilecek yerleşimler hususunda ayrıntılı bir düzenleme getirmemiştir. Ay Antlaşması ise bu konulara değinse de çok az sayıda ülke tarafından imzalanmış olması nedeniyle beklenen etkiyi yaratamamıştır [36-39].

Dış Uzay Antlaşması, uzay araştırmaları ve keşiflerinin temel dayanağı olarak kabul edilmektedir. Bir ağacın dalları gibi, Birleşmiş Milletler'in çeşitli uzay antlaşmaları bu metinden türemiş ve hem devletlerin hem de özel kuruluşların uzaydaki faaliyetlerini düzenleyen temel ilkeleri oluşturmuştur [40]. Bu Antlaşma sadece araştırma ve uzaydaki faaliyetleri kapsamamakta, aynı zamanda bu faaliyetlerin çevresel etkilerini de değerlendirmektedir. Örneğin, Antlaşma'nın IX maddesine göre uzayda gerçekleştirilecek faaliyetler çevreye ve Dünya'daki yaşama zarar vermemelidir [41]. 1967'de imzaya açılan ve yürürlüğe giren bu antlaşma, 1961'de Yuri Gagarin'in Vostok 1 ile gerçekleştirdiği ilk insanlı uzay uçuşunun etkisiyle şekillenmiştir. II. Dünya Savaşı sonrası dönemde geliştirilen antlaşma, nükleer silahlar da dâhil olmak üzere uzaydaki silah kullanımına ilişkin endişeleri yansıtmakta, kozmonotlara saygıyı vurgulamakta ve silahlanmanın doğurabileceği riskleri ele almaktadır [42]. Genel kabul gören temel bir ilkeye göre, uzayın keşfi ve kullanımı tüm ülkelerin yararına olmalı, Birleşmiş Milletler Şartı da dâhil olmak üzere uluslararası hukuka uygun olmalı ve uluslararası barış ile güvenliği sağlamaya odaklanmalıdır [40].

Günümüzde uzay faaliyetleri alanında ortaya çıkan zorluklar, mevcut uzay hukuku çerçevesindeki boşlukları gözler önüne sermektedir. Teknolojik gelişmeler sayesinde uzay, yalnızca devletlerin değil özel şirketlerin de aktif bir şekilde faaliyet yürüttüğü bir alana dönüşmektedir [43-46]. Örneğin, ARTEMIS Antlaşması özel aktörlerin rolünü önemserken, gök cisimlerden faydalanmayı her ne kadar 1967 antlaşmasına uygun, yani insanlığın ortak yararı için öngörse de, bu kaynakların, özellikle de suyun nasıl paylaşılacağı ve yönetileceği henüz uluslararası hukukta net bir çerçeveye oturtulmamıştır. Özel şirketlerin ticari uzay seyahatleri, uydu fırlatmaları ve gelecekte madencilik veya turizm amacıyla gök cisimlerini ziyaret planları, hukuk sistemi tarafından tam olarak öngörülmemiş senaryolardır. Mevcut antlaşmalar, uzayın "tüm insanlığın ortak mirası" olduğunu belirtse de bu ilkenin pratikte nasıl uygulanacağı belirsizdir. Örneğin, bir şirketin asteroit madenciliği yaparak elde ettiği kaynaklar üzerinde mülkiyet hakkı iddia edip edemeyeceği, her ne kadar 1967 Sözleşmesinde devletlerin mülkiyet talebinde bulunamaması öngörülse de, belirsizdir [47-50]. Mars'ta bir yerleşke kurulduğunda orada uygulanacak hukukun ne olacağı sorusu da henüz yanıtsızdır. Özel aktörlerin artan rolü dikkate alındığında, uluslararası toplumun uzay yönetişimi konusunda daha kapsayıcı ve ileriye dönük politikalar geliştirmesi bir zorunluluk haline gelmiştir.

Birleşmiş Milletler'in Barışçıl Amaçlarla Uzayın Kullanımı Komitesi (COPUOS), uluslararası uzay yönetiminin şekillendirilmesinde önemli bir rol oynasa da, yetkileri belirli sınırlar içindedir. Komitenin hazırladığı düzenlemeler, hukuki olarak bağlayıcı yasalar yerine, daha çok tavsiye niteliğinde rehber ilkelerden oluşmaktadır. Son yıllarda, uzay faaliyetlerinin uzun vadede sürdürülebilir olup olmayacağı konusundaki endişeler giderek artmaktadır. Özellikle, uzayda kaynak madenciliğinin çevre üzerindeki etkileri ve uzay çöplerinin birikmesi gibi sorunlar, küresel ölçekte yeni düzenlemelere duyulan ihtiyacı gündeme getirmiştir. Bu doğrultuda, 2019 yılında kabul edilen Uzay Faaliyetlerinin Uzun Vadeli Sürdürülebilirliği Kılavuz İlkeleri gibi danışma niteliğindeki ilkeler ortaya konmuştur. Ancak, bağlayıcı yaptırım mekanizmalarının eksikliği, bu tür düzenlemelerin yalnızca ülkelerin gönüllü uyumuna bağlı kalmasına yol açmaktadır. Bu durum, uzayın gelecekte sürdürülebilir bir şekilde kullanılması için daha sağlam uluslararası hukuki çerçevelere duyulan ihtiyacı açıkça ortaya koymaktadır [51-53].

Uzayın giderek artan ticarileşmesi, ülkeleri kendi düzenleyici çerçevelerini oluşturmaya yönlendirmiştir. ABD, özel sektörün uzay faaliyetlerine katılımını teşvik ederken, Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı,

çevresel koruma ve uluslararası iş birliğine dayalı daha sürdürülebilir bir yaklaşımı benimsemektedir. Çin ve Birleşik Arap Emirlikleri gibi ülkeler, devlet kontrolünü ön planda tutarak, özel sektörün entegrasyonunu kademeli olarak sağlamaktadır. Çin'in 2021 Uzay Programı, kaynak kullanımının stratejik önemini vurgularken, BAE de ticari uzay girişimlerini uluslararası düzenleyici tartışmalarla uyumlu hale getirmektedir. Bu süreçte çeşitli özel şirketler teknolojik ilerlemelerde öncü bir rol oynarken, uzay operasyonlarında hesap verebilirlik ve yasal düzenlemelerin eksikliği büyük etik ve hukuki sorunları beraberinde getirmektedir. Küresel standartlar oluşturulmadığı sürece, şirketlerin ulusal düzenlemelere göre hareket etmesi uzun vadeli sürdürülebilirlik yerine ticari çıkarları ön plana çıkarabilir [37], [54-58]. Tüm bu hususlar göz önüne alındığında, uzayın keşfi ve kullanımıyla ilgili uluslararası ilişkilerin dinamik gelişimi ve uzay hukukundaki artan boşluklar, uzay göçüne yönelik yasal çerçevenin geliştirilmesini daha da önemli hale getirmektedir. Bu konu, insanlığın geleceğinin ayrılmaz bir parçası olarak ele alınmalıdır.

V. UZAY GÖÇÜNÜN HUKUKİ DÜZENLENMESİ

Uzay göçü, insanların çevresel, ekonomik veya araştırma amaçlarıyla Dünya'yı terk ederek başka gök cisimlerine yerleşmesi fikrini gündeme getirirken, bu süreçle ilgili hukuki ve düzenleyici çerçeve büyük ölçüde belirsizliğini koruyor. Tarih boyunca göç, insanlığın gelişiminde önemli bir rol oynasa da, gezegen sınırlarının ötesine geçmek egemenlik, vatandaşlık, kaynak paylaşımı ve temel insan hakları gibi tamamen yeni ve karmaşık soruları beraberinde getiriyor. 1967 Dış Uzay Anlaşması gibi mevcut uluslararası hukuki düzenlemeler, uzayın barışçıl kullanımını ve devletlerin uzay üzerinde egemenlik iddia etmesini yasaklayan genel ilkeler sunarken, insanların uzayda uzun vadeli yerleşimi veya göç hareketleri hakkında doğrudan bir çerçeve sunmamaktadır [59-63].

İnsanlığın uzayda kalıcı yaşam alanları kurması, yalnızca teknik bir atılım değil, aynı zamanda "uzayın insanlaştırılması" sürecidir. Bu süreç, uzayda insan hayatını sürdürebilecek kapalı ekosistemlerin ve altyapıların tasarlanmasını, örneğin su ve gıda üretim tesislerinin, yaşam destek birimlerinin inşasını gerektirir. Ancak uzayın insanlaştırılması yalnızca mühendislik meselelerini değil, sosyo-ekonomik, hukuki ve kültürel boyutları da içerir. Uzayda kurulacak yerleşkelerin nasıl bir toplumsal yapıya sahip olacağı, hangi ekonomik modelin işleyeceği ve Dünya ile ilişkilerinin nasıl sürdürüleceği baştan planlanmalıdır. Bu bağlamda "uzay göçmeni" kavramı ortaya çıkmaktadır. Uzay göçmeni, diğer gezegenleri keşfetme veya araştırma kapsamında (işçi göçmeni) ya da daha iyi bir yaşam umuduyla veya hayatta kalma zorunluluğuyla gezegenimizi terk edip uzaydaki yerleşimlere katılan bireyleri tanımlamak için kullanılabilir. Bu kişiler ne tamamen geleneksel anlamda mülteci ne de sıradan göçmen kategorisine uymaktadır. Böylece, bu kişilere ilişkin kendilerine özgü bir hukuki statü tanımlanması gerekebilir. 1967 Uzay Sözleşmesine göre uzay için "res communis" rejimi uygulanmaktadır [64-68]. Yani tüm insanlığın ortak kullanımına açık olan, eşit şekilde faydalanabileceği ve bu nedenle hiçbir devletin veya bireyin üzerinde egemenlik iddiasında bulunamayacağı ya da mülkiyet hakkı oluşturamayacağı bir sistem öngörülmektedir. Ancak uzayda insan yerleşkelerinin yaratılmasından sonra da bu durumun böyle kalıp kalmayacağı soru işareti altındadır.

Uzaya göç etme olgusunun etik boyutu da tartışılmalıdır. Mesela, kimlere uzaya gitmesine izin verilmesi, bu seçimin hangi kriterlere göre ve kimin tarafından yapılması ve aynı zamanda uzaya gönderilecek insanların haklarının korunması sorumluluğunun kimin üstleneceği gibi sorular meydana gelmektedir. Bu sorular, uzay göçünün planlanmasında göz önünde bulundurulması gereken kritik etik ve hukuki konulardır. Şöyle ki, uzayın sadece finansal olarak bunu karşılayabilen, yani ayrıcalıklı kişilere ait olma potansiyeli ve suyun meta haline gelmesi, Dünya'da yaşanan sınıflar arası uçurumun daha da artarak "yoksullar" ve "zenginler" ayrımının derinleşmesine ve dramatik sonuçlara getiren ayrımcılığın yaşanmasına getirip çıkaracağı kaçınılmazdır. Bu, özellikle Dünya'nın sonlanma riski karşısında daha da kritik nitelik taşımaktadır.

Uzay yerleşkelerinde doğan veya yaşayan insanların hukuki statüsü, günümüzde en çok tartışmaya açık konuların başında geleceği öngörülmektedir. Mevcut uluslararası hukuk, Dünya dışında doğan bireylerin vatandaşlığını nasıl tanımlayacağına dair net bir çerçeve sunmuyor. Bu durum, hukuki kişilik, temel haklar ve hangi yargı yetkisine tabi olacakları gibi kritik soruları beraberinde getiriyor. Örneğin, Bugün uluslararası hukuka göre, vatandaşlık genellikle doğum yeri (jus soli) veya ebeveynlerin vatandaşlığı (jus sanguinis) esasına göre belirlenir. Bunun yanı sıra, bireyin kendi tercihiyle dayalı olarak vatandaşlık edinmesi de mümkündür. Ancak, uzayda doğan bireylerin hukuki statüsünün nasıl tanımlanacağı belirsizliğini korumakta ve özellikle de Dış Uzay Anlaşması ışığında uzayda egemenliğin bulunmaması gibi hususlar, bu durumun önemli bir hukuki tartışmaya neden olacağı öngörülebilir [69], [70].

Uzay göçünün düzenlenmesinde kapsayıcı bir yaklaşım (inclusiveness) benimsemek, gelecekte ortaya çıkabilecek insani çeşitliliği kapsamak açısından da oldukça önemlidir. Uzayda uzun süre yaşayan insanlar, farklı yerçekimi ve radyasyon koşullarının etkisiyle nesiller boyunca fiziksel ve hatta genetik değişimlere uğrayabilir. Bu durum, insan türü içinde yeni alt grupların veya popülasyonların oluşmasına yol açabilir. Böyle bir senaryoda, bu "yeni" insan topluluklarının haklarını tanıyan ve onları ayrımcılığa karşı koruyan yasal mekanizmalara ihtiyaç duyulacaktır. Ayrıca, uzayda kurulacak toplumlarda karar alma süreçlerine

Dünya'dan farklı kökenlere sahip bireylerin eşit katılımını sağlamak ve kaynak, özellikle su gibi hayati önem taşıyan kaynakların dağıtımında ayrımcılığın önlenmesi de kapsayıcılığın bir parçasıdır. Bu bağlamda, uzayda karşılaşabileceğimiz biyolojik ve psikolojik değişimlere tolerans sağlayan yeni bir insan hakları çerçevesine ihtiyacımız var. Irk, millet veya biyolojik farklılık gözetmeksizin uzayda yaşayan herkesin temel hak ve özgürlüklerden eşit biçimde yararlanması güvence altına alınmalıdır. Bu da ancak uluslararası toplumun ortak değerleri temel alan yeni bir uzay göçü hukuku oluşturmasıyla mümkün olacaktır [55], [71-73].

Uzay faaliyetlerinin hızla gelişmesi, insan göçü, kaynak kullanımı ve şirketlerin uzaydaki davranışlarını düzenleyebilecek kapsamlı bir yasal çerçeveye olan ihtiyacı artırmaktadır. Mevcut anlaşmalar genel ilkeler sunsa da, insanlığın uzaydaki kalıcı varlığıyla ilgili pratik hukuki sorunları ele almakta yetersiz kalmaktadır. İklim değişikliği kaynaklı göç senaryoları, uzayda kalıcı yerleşim ihtimalini güçlendirirken, bu toplulukların hangi hukuk sistemine tabi olacağı belirsizliğini korumaktadır. Özellikle uzayda su kaynaklarının kullanımı ve paylaşımı, çözülmesi gereken en kritik hukuki konulardan biri olarak öne çıkmaktadır. Su, hayatta kalma, ulaşım ve tarım için vazgeçilmez olduğundan, ulusal mülkiyet, ticari kontrol veya uluslararası iş birliği çerçevesinde yönetilip yönetilmeyeceği sorusu, hukuki düzenlemelerin merkezinde yer almaktadır. Uzayın keşfi sürecinde adil ve sürdürülebilir bir yasal sistemin oluşturulması, kaynak paylaşımı, çevresel sürdürülebilirlik ve tüm ülkeler için eşit erişim ilkelerine dayanmalıdır [49], [63], [74], [75].

VI. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uzayın geleceğine dair planlar yapılırken odak noktasının "uzaydaki insan" olması gerektiği açıktır. İnsan, uzay ortamında dahi insan olarak kalacak. Onun ihtiyaçları ve kırılganlıkları gezegenimizdekinden çok farklı olmayacağı gibi ve hakları da aynı şekilde korunmalıdır. Bu nedenle, göç hukuku ile uzay yönetişimi arasındaki kesişimi doğru şekilde ele almak hayati önem taşımaktadır. Dünya üzerindeki zorunlu göç deneyimlerinden çıkarılan dersler, uzayda oluşabilecek göç hareketlerinin yönetimine ışık tutabilir. Benzer şekilde, uzay hukuku alanındaki prensipler de insan hakları perspektifiyle yeniden yorumlanmalı ve uzaya taşınmalıdır. Uzayda yaşamın etik boyutu, orada da insan onurunu korumanın ve evrensel değerleri sürdürmenin yollarını aramayı gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, uzayda kurulacak toplumlarda adalet, eşitlik ve insan haklarına saygı ilkeleri rehber alınmalıdır.

Uzay göçü olgusunun sağlıklı bir şekilde yönetilebilmesi için şimdiden bazı adımların atılması gerekmektedir. Bu bağlamda aşağıdaki öneriler geliştirilebilir:

Uluslararası "Uzay Göçmenleri Sözleşmesi"nin Hazırlanması: İklim değişikliği kaynaklı uzay göçü senaryolarını da kapsayan, uluslararası bağlayıcılığa sahip yeni bir sözleşme tasarlanmalıdır. Bu sözleşme, uzay göçmenlerinin statüsünü, haklarını ve yükümlülüklerini tanımlayarak devletlerin ve uluslararası örgütlerin bu alandaki sorumluluklarını netleştirmelidir. Böylece, uzaya yönelik kitlesel göç durumunda ortaya çıkabilecek belirsizlikler ve hak ihlalleri önceden önenebilir.

"Uzaya Göç" Fonunun Oluşturulması: Uzayın insanlaştırılması ve iklim krizine bir yanıt olarak uzayda yerleşim kurulması fikri, önemli finansal kaynaklar ve araştırma-geliştirme çabaları gerektirmektedir. Bu amaçla uluslararası düzeyde bir "Uzaya Göç Fonu" oluşturulması önerilmektedir. Söz konusu fon, uzayda sürdürülebilir yaşam teknolojileri, yaşam destek sistemleri ve uzay hukukunun güncellenmesine yönelik araştırmaları destekleyerek insanlığın uzayda yaşam kurma kapasitesini artırabilir. Aynı zamanda bu fon sayesinde, uzay göçü konusunda ekonomik imkânları kısıtlı olan ülkelerin de projelere katılımı teşvik edilerek küresel ölçekte daha dengeli bir ilerleme sağlanabilir.

Farkındalık ve Uluslararası İşbirliğinin Artırılması: Uzay hukuku ile iklim değişikliği ve göç konularının kesişiminde bulunan bu yeni alan hakkında karar alıcıların ve kamuoyunun bilinçlendirilmesi kritik önemdedir. Üniversiteler, araştırma kurumları ve uluslararası örgütler işbirliğiyle konferanslar, çalıştaylar ve eğitim programları düzenlenerek uzay göçünün olası etkileri ve gereklilikleri tartışmaya açılmalıdır. Ayrıca, devletler arasında bu konuda diyalog ve işbirliği mekanizmaları geliştirilmelidir. İleride karşılaşılması muhtemel uzay göçü durumlarına hazırlık amacıyla, Birleşmiş Milletler bünyesinde bir çalışma grubu veya komite oluşturularak küresel stratejiler üretilmesi de değerlendirilmelidir.

İnsanlık, Dünya'nın sınırlarını aşarak uzayda kalıcı bir yaşam kurmaya adım adım yaklaşırken, mevcut uzay hukukunun eksiklikleri de daha net bir şekilde ortaya çıkıyor. Bu sürecin sağlıklı ilerleyebilmesi için, ülkelerin uluslararası iş birliğine daha güçlü bir bağlılık göstermesi, bağlayıcı yasal anlaşmalar oluşturulması ve özel şirketlerin uzaydaki faaliyetlerinden sorumlu tutulması gerekiyor. Gelecekteki düzenlemelerin, hem ulusal hem de uluslararası politikalar arasında bir denge kurarak, uzayın keşfi ve kaynaklarının kullanımı konusunda adil, sürdürülebilir ve barışçıl bir yaklaşımı garanti etmesi büyük önem taşıyor. İnsanlığın uzaydaki varlığı genişledikçe, hukuki belirsizlikleri ortadan kaldıracak ve tüm aktörler için güvenli bir çerçeve oluşturacak yeni bir küresel uzay anlaşmasının hazırlanması veya mevcut düzenlemelerin gözden geçirilmesi kaçınılmaz görünüyor. Bu çalışmada özellikle vurgulanan suya erişim meselesi, uzaydaki insan hakları tartışmasının somut bir örneğidir. Uzay göçmenlerinin içme suyu

erişiminin hiçbir karşılık beklenmeksizin (ücretsiz) sağlanması, insan yaşamına verilen değer bir göstergesi olacaktır. Bu konuda şimdiden yapılacak sosyo-politik çalışmalar, gelecekte uzay toplumlarında kaynakların paylaşımı ve refahın adil dağılımı için bir zemin oluşturabilir. Sonuç olarak, iklim değişikliğinin insanlığı sürükleyebileceği en uç senaryolara karşı hazırlıklı olmak, ancak hem gezegenimizde hem de uzayda insan yaşamının sürdürülebilirliğinin güvence altına alınmasıyla mümkün olacaktır. İnsanlığın ortak akli ve işbirliğiyle, uzaya taşınan yaşamlarımızda da barış, adalet ve insan onurunun korunması sağlanabilir. Bu hedefe ulaşmak için bugünden itibaren disiplinlerarası bir yaklaşımla çalışmak ve uluslararası düzeyde proaktif politikalar geliştirmek gerekmektedir. Ancak bunları yaparken unutulmamalıdır ki, Dünya dışında yaşam alanları inşa etmenin ana amacı, Dünya'daki sorunlardan kaçış ve ağır ekonomik ve ekolojik kriz sırasında onu terk etme çabası değildir. Böyle insan yerleşimlerinin oluşturulmasının temel amacı, zeki yaşamı gelecekte kaçınılmaz olan yok oluştan kurtarmaktır.

KAYNAKLAR

- [1] B.S. Erdem, "İklim mültecilerinin hukuki statüsü meselesi: Deniz seviyesinin yükselmesi ve ada ülkelerinde yaşayanların durumu," DEHUKAM Deniz Hukuku Dergisi, 5(2), 25-103, 2022.
- [2] S. Çayır Özdoğan, "İklim mülteciliği," Epic Migrations, 2024. [Online]. Available: <https://epicmigrations.com/iklim-multeciligi/>
- [3] O. İnal, "Yaşamak İçin Kaçanlar: Ekolojik Mülteciler," EkoIQ, Sep. 25, 2021. [Online]. Available: <https://www.ekoIQ.com/yasamak-icin-kacanlar-ekolojik-multeciler/>
- [4] K.-P. Schröder and R.C. Smith, "Distant future of the Sun and Earth revisited," Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 386(1), 155-163, 2008.
- [5] J.A. Eddy, The Sun, the Earth, and near-Earth space: A guide to the Sun-Earth system, U.S. Government Printing Office, USA, 2009.
- [6] V. Clement, K.K. Rigaud, A. de Sherbinin, B. Jones, S. Adamo, J. Schewe, N. Sadiq, and E. Shabahat, "Groundswell: Acting on internal climate migration (Part II – Overview)," International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank, Washington, 2021. [Online]. Available: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/36248>
- [7] B. Yörük, "İklim Göçü ve İklim Mülteciliği Kavramlarına İnsan Hakları Temelli Sosyolojik Bir Bakış," Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, no. 60, pp. 225-237, 2023.
- [8] B. Opeskin, R. Perruchoud, and J. Redpath-Cross (Eds.), Foundations of International Migration Law, Cambridge University Press, 2012.
- [9] E. Tekin, "Uluslararası hukuk bağlamında iklim mültecilerinin korunması sorunu," TBB Dergisi, no. 147, pp. 313-332, 2020.
- [10] S. Weerasinghe, "What we know about climate change and migration," Center for Migration Studies (CMS) Mapping Study, 2021.
- [11] R. Beyer and A. Milan, Climate Change and Human Mobility: Quantitative Evidence on Global Historical Trends and Future Projections, International Organization for Migration (IOM), Germany, 2023.
- [12] E. Piguet, A. Pécoud, and P. de Guchteneire, "Migration and climate change: An overview," Refugee Survey Quarterly, 30(3), 1-23, 2011.
- [13] İ. Köse, "İklim değişikliği müzakereleri: Türkiye'nin Paris Anlaşması'nı imza süreci," Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi, 9(1), 55-81, 2018.
- [14] E. Y. Eren, "Güvenli, sistemli ve düzenli göç için küresel mutabakat üzerine bir değerlendirme," TAÜ Hukuk Fakültesi Dergisi (TAÜHFD), 3(1), 65-122, 2021.
- [15] Q. Wodon, A. Liverani, G. Joseph, and N. Bougnoux (Eds.), Climate Change and Migration: Evidence from the Middle East and North Africa, A World Bank Study, The World Bank, Washington, 2014.
- [16] S. Metin, "Climate change effects in Africa: Climate justice and migration," Akdeniz Havzası ve Afrika Medeniyetleri Dergisi, 5(2), 99-118, 2023.
- [17] M.S. İlk Bilben, "Dünyadan örnekler ışığında iklim değişikliği kaynaklı göçleri anlamak," Mediterranean Journal of Humanities, 9(2), 335-355, 2019.
- [18] C. Yozgat, "Suyun bir insan hakkı olarak değerlendirilmesi," Maltepe Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, no. 2, pp. 507-545, 2020.
- [19] C. Roschmann, "İklim değişikliği ve insan hakları" (E. Fırat, Çev.), Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 70(4), 1155-1198, 2021.
- [20] J. Hansen, M. Sato, R. Ruedy, P. Kharecha, K. von Schuckmann, and K. Lo, "Global warming in the pipeline," Oxford Open Climate Change, 3(1), 1-26, 2023.
- [21] A. Parr, "The paradox test in climate litigation," Oxford Open Climate Change, 3(1), 1-9, 2023.
- [22] D. Wallace-Wells, "The uninhabitable Earth," New York Magazine, 2017. [Online]. Available: <https://nymag.com/intelligencer/2017/07/climate-change-earth-too-hot-for-humans.html>
- [23] United Nations, United Nations Conference on the Midterm Comprehensive Review of the Implementation of the Objectives of the International Decade for Action, "Water for Sustainable Development", 2018-2028: Interactive dialogue 1: Water for health: Access to water, sanitation and hygiene, including the human rights to safe drinking water and sanitation (Sustainable Development Goal targets 6.1, 6.2 and 6.3 and Goals 1, 3, 4, 5 and 17). Concept paper prepared by the Secretariat, United Nations, 2023.
- [24] S. Kılıç and A. Karataş, "İnsan haklarının bir bileşeni olarak su hakkı," TAAD, 9(34), 37-60, 2017.
- [25] WHO, UNICEF, and World Bank, State of the world's drinking water: An urgent call to action to accelerate progress on ensuring safe drinking water for all, Geneva: World Health Organization, 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- [26] WHO and UNICEF, Water, sanitation, hygiene, environmental cleaning and waste management in health care facilities: 2023 data update and special focus on primary health care, Geneva: World Health Organization, 2024. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- [27] A. Cassivi, R. Johnston, E.O.D. Waygood, and C.C. Dorea, "Access to drinking water: Time matters," Journal of Water and Health, 16(4), 661-666, 2018.
- [28] M. Hirai and J. Graham, "Toward universal access to basic and safely managed drinking water," in Water and sanitation-related diseases and the changing environment: Challenges, interventions, and preventive measures, 2nd ed., J.M.H. Selendy, Ed., John Wiley & Sons, 2018, pp. 1-16.
- [29] S. Karaman and Z. Gökalp, "Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkileri," Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 3(1), 59-66, 2010.

- [30] C. Ayva, A.A. Dutucu, and B. Ustaoglu, "İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi ve uyum önerileri: Kirazdere havzası örneği," *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 33(1), 47–64, 2023.
- [31] S. Kramer and D. Mosher, "Here's how much money it actually costs to launch stuff into space," *Business Insider*, Jul. 20, 2016. [Online]. Available: <https://www.businessinsider.com/spacex-rocket-cargo-price-by-weight-2016-6>
- [32] M.L. Gaskill, "NASA achieves water recovery milestone on International Space Station," *NASA*, Jun. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/missions/station/iss-research/nasa-achieves-water-recovery-milestone-on-international-space-station/>
- [33] S. Özeren, "Mars'taki suyun keşfi," *Sarkaç*, 2018. [Online]. Available: <https://sarkac.org/2018/08/marstaki-suyun-kesfi/>
- [34] NASA, "Moon to Mars Ice and Prospecting Challenge aims to break through more than just ice," *NASA*, Jun. 6, 2019. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/langley/moon-to-mars-ice-and-prospecting-challenge-aims-to-break-through-more-than-just-ice/>
- [35] M.H. Thiemens, A. Pack, and Z. Sharp, "Finding water on the Moon and Mars: Humanity's extraterrestrial future," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(52), 1–3, 2024.
- [36] V.N. Akun, "Space law under international conventions and international documents," in *Proceedings for the First Symposium on Space Economy, Space Law and Space Sciences*, B.E. Balin, V.N. Akun, and S. Alis, Eds., pp. 101–108, 2022.
- [37] O. Kobzar and A. Danylenko, "International and national provisions of space law regulating the use of outer space," *Advanced Space Law*, vol. 3, pp. 48–62, 2019.
- [38] J. Gibson, J. Powell, Air Command and Staff College, and Space Research Electives Seminars, "Current space law and policy," in *AU-18 Space Primer*, Air University Press, pp. 43–60, 2009. [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/resrep13939.10>
- [39] Asian-African Legal Consultative Organization (AALCO), *Legal Issues in Outer Space*, AALCO Secretariat, 2024.
- [40] E. Bressel Baratto, "Peacekeeping operations in outer space: Contradictions in article IV of the outer space treaty," in A. Froehlich, Ed., *A Fresh View on the Outer Space Treaty*, Springer International Publishing AG, pp. 39–48, 2018.
- [41] G. Chung, "Legal consequences of environmental pollution in outer space," in A. Froehlich, Ed., *A Fresh View on the Outer Space Treaty*, Springer International Publishing AG, Switzerland, pp. 1–15, 2018.
- [42] M. Baczyńska-Wilkowska, "Outer space treaty during the fourth industrial revolution," in A. Froehlich, Ed., *A Fresh View on the Outer Space Treaty*, Springer International Publishing AG, pp. 67–74, 2018.
- [43] V. Degrang, "Into the twenty-first century: Integration of principles of global governance in space law," in A. Froehlich, Ed., *A Fresh View on the Outer Space Treaty*, Springer International Publishing AG, pp. 75–80, 2018.
- [44] M. Adhikari, *Legal Regulation of Private Actors in Outer Space: India's Role*, Routledge; KW Publishers Pvt Ltd, New Delhi, 2019.
- [45] R.J. Frank, "Years later: Serving a space agency client – The lawyer's role in international space cooperation," *Journal of Space Law*, 34(2), 221–240, 2008.
- [46] J.A. Crook, "The privatization of public policy: EOSAT v. NASA and the application of antitrust liability to federally-supported monopolies," *Journal of Space Law*, 34(2), 497–524, 2008.
- [47] Y. Akbulak, "Uzay Ticaret Yasası'na ilişkin bir inceleme," *Legal*, 2023. [Online]. Available: <https://legal.com.tr/blog/ekonomi/uzay-ticaret-yasasina-iliskin-bir-inceleme/>
- [48] J. Holmes, "The Artemis Accords: A critical legal analysis of space mining reforms and their alignment with current space law," *ANZSIL Perspective*, 2024. [Online]. Available: <https://anzsilperspective.com/the-artemis-accords-a-critical-legal-analysis-of-space-mining-reforms-and-their-alignment-with-current-space-law/>
- [49] O.U. Sevim, "Uzay kaynaklarının kullanımına ilişkin BM perspektifi," *Adalet Dergisi*, no. 2, pp. 351–371, 2022.
- [50] A. İnanç Şimşek and S. Atıvur, "21. yüzyılda uluslararası uzay rejiminin insanlığın ortak mirası temelinde yeniden inşası," *Alternatif Politika*, 13(3), 593–628, 2021.
- [51] G.H. Reynolds and R.P. Merges, *Outer Space: Problems of Law and Policy*, 2nd ed., Westview Press, USA, 1997.
- [52] E. Tepper, "The laws of space warfare: A tale of non-binding international agreements," *Maryland Law Review*, 83(2), 458–516, 2024.
- [53] United Nations Office for Outer Space Affairs, *Guidelines for the Long-Term Sustainability of Outer Space Activities of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*, United Nations, Vienna, 2021.
- [54] A. Slivker, "Global outer space guide: United States," *Norton Rose Fulbright*, Sep. 2023. [Online]. Available: <https://www.nortonrosefulbright.com/en/knowledge/publications/08a2c80a/global-outer-space-guide-us>
- [55] A. Küsters, N. Nolen, and P. Stockebrandt, "Strategic autonomy in EU space policy: Securing Europe's final frontier through launches, laws, and space mining (cepInput No. 4)," *Centrum für Europäische Politik*, Feb. 20, 2024. [Online]. Available: https://www.cep.eu/fileadmin/user_upload/cep.eu/Studien/cepInput_Space_Policy/cepInput_Strategic_Autonomy_in_EU_Space_Policy.pdf
- [56] A.M. Aldabousi, "Legal framework to regulate the commercial exploitation of space in compliance with the provisions of the UAE Space Regulation Law," *Journal of Southwest Jiaotong University*, 59(2), 338–347, 2024.
- [57] M. Manoli, "The architecture of authority in global space governance: The moon agreement as a deconflicting mechanism of space activities," *Utrecht Law Review*, 20(1), 100–113, 2024.
- [58] M. Berkowitz and C. Williams, "Strategic implications of China's cislunar space activities," *National Security Space Association, Moorman Center for Space Studies*, Aug. 21, 2023. [Online]. Available: <https://nssaspace.org/wp-content/uploads/2023/08/Strategic-Implications-of-Chinas-Cislunar-Space-Activities-8.21-final.pdf>
- [59] M. Polkowska, "Limitations in the airspace sovereignty of states in connection with space activity," *Security and Defence Quarterly*, 20(3), 42–56, 2018.
- [60] G. Oduntan, *Sovereignty and Jurisdiction in the Airspace and Outer Space: Legal Criteria for Spatial Delimitation*, Routledge, Canada, 2012.
- [61] D.H. Gönülal, *Mars habitatlarının yapısal açıdan irdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2022.
- [62] K. Mills, "Who will own outer space? Governance over space resources in the age of human space exploration," in U. Landfester, N.-L. Remuss, K.-U. Schrogl, and J.-C. Worms, Eds., *Humans in Outer Space – Interdisciplinary Perspectives*, Springer, Germany, pp. 15–27, 2011.
- [63] A.A. Harrison, "Humanizing outer space: Architecture, habitability, and behavioral health," *Acta Astronautica*, 66(5–6), 890–896, 2010.
- [64] M. Erdem, *Uzaya ilişkin Birleşmiş Milletler antlaşmaları ile öngörülen rejimin uluslararası hukuk açısından değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2011.
- [65] L.A. Cooper, "Encouraging space exploration through a new application of space property rights," *Space Policy*, 19(2), 111–118, 2003.

- [66] N.D. Cooper, "Circumventing non-appropriation: Law and development of United States space commerce," *Hastings Constitutional Law Quarterly*, 36(3), 457–482, 2009.
- [67] K.-U. Schrogl, "The political context for human space exploration," in U. Landfester, N.-L. Remuss, K.-U. Schrogl, and J.-C. Worms, Eds., *Humans in Outer Space – Interdisciplinary Perspectives*, Springer, Germany, pp. 3–14, 2011.
- [68] L. Bortoni-Anzures and H. Herrera-Rivas, "Space migrants," *ECORFAN Journal-Republic of Paraguay*, 5(8), 1–6, 2019.
- [69] C. Reyhan, "Kan Bağı/Jus Sanguinis ve Toprak Bağı/Jus Soli: İmparatorluk'tan Cumhuriyet'e Türkiye'de vatandaşlığın kurucu ilkeleri," *Amme İdaresi Dergisi*, 57(1), 25–46, 2024.
- [70] L. Volpp, "Imaginings of space in immigration law," *Law, Culture and the Humanities*, 9(3), 456–474, 2012.
- [71] A. Belu, "Space inclusiveness and empowerment, or how The Frontier becomes a mirror," in U. Landfester, N.-L. Remuss, K.-U. Schrogl, and J.-C. Worms, Eds., *Humans in Outer Space – Interdisciplinary Perspectives*, Springer, Germany, pp. 57–64, 2011.
- [72] C. Cockell, "Ethics and extraterrestrial life," in U. Landfester, N.-L. Remuss, K.-U. Schrogl, and J.-C. Worms, Eds., *Humans in Outer Space – Interdisciplinary Perspectives*, Springer, Germany, pp. 80–101, 2011.
- [73] A.K. Orta, J. Lopez, and C. Ontiveros, "Ethical implications of space colonization," *Young Scientists and Philosophers on the Border*, 1(1), Article 2, pp. 1–23, 2024.
- [74] B. Akbay, "Uzay hukuku ve uluslararası hukuk ilişkisinde mevcut sorunlara dair bir analiz," *Uluslararası İktisadi ve İdari Çalışmalar Dergisi*, 1(1), pp. 1–18, 2023.
- [75] A. Narin, "Su hakkı ve bir müdahale aracı olarak suyun özelleştirilmesi," *TAAD*, 7(27), 729–755, 2016.

Uzay Hukuku'nun Tarihsel Gelişimi, Devletler Arasındaki veya Üçüncü Kişiler Arasındaki Uyuşmazlıkların Tahkime Konu Olması

Salih Hakan Kasalak*

Sakarya Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Özel Hukuk Ana Bilim Dalı, T.C. Adalet Bakanlığı, Isparta/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: salih.kasalak@ogr.sakarya.edu.tr

ÖZET

Uzay hukukunun gelişimi 1950' li yıllara dayanmaktadır. Özellikle, II. Dünya Savaşı'nda Almanya'nın V-2 roketlerinin kullanımının nasıl olması gerektiğine dair tartışmalar üzerine Uzay Hukuku'na dair ilk önemli gelişim gerçekleşmiştir. Soğuk savaş dönemiyle birlikte Rusya'nın 1957 yılında uzaya gönderdiği ilk uydu olma özelliğine sahip olan Sputnik I sonrasında uygulamaya dair artan uyuşmazlıklar üzerine hukuk yaratma ihtiyacı daha da hissedilmiştir. Böylece, Uzay Hukuku'na dair gerek devletlerarası gerekse üçüncü kişiler arasındaki uyuşmazlığın çözüm yollarının sağlanması adına çeşitli uluslararası kurum ve sözleşmeler Uzay Hukuku'na vücut vermiştir. İlk sözleşmelerden biri 1972 yılında imzalanan "Uzay Cisimlerinin Verdiği Zarardan Dolayı Uluslararası Sorumluluk Hakkında Sözleşme"dir. Bu sözleşmenin 14. maddesinde tahkim yargılamasına benzer zarar komisyonu kurulup çözüm sağlanabileceğine yer verilmiştir. Ayrıca, 30 Mayıs 1975 tarihinde kurulan Avrupa Uzay Ajansı'nda (ESA) yer alan devletler arasındaki anlaşmazlıkların çözümünde ESA Sözleşmesi'nin 17. maddesinde tahkim ile çözümün sağlanabileceği düzenlenmiştir. Öte yandan, gelişen ticari hayatla birlikte sadece devletlerarası uyuşmazlıkların çözümü değil özel teşebbüs ya da gerçek kişilerin de uyuşmazlıkları Uzay Hukuku'na konu olmaya başlamıştır. Bunun üzerine Paris'te Uluslararası Hava ve Uzay Hukuku Tahkim Mahkemesi kurulmuştur. Ayrıca, 2009 yılında Daimi Tahkim Mahkemesi (PCA) projeleri çalışmaya başlamış ve 6 Aralık 2011 tarihiyle beraber tahkim kuralları detaylı şekilde belirlenmiştir. Belirlenen tahkim kurallarının UNCITRAL Model Kanunu'nun temel alındığı anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kurumlar, Özel hukuk uyuşmazlıkları, Sözleşmeler, Tahkim, Ticari uyuşmazlar.

I. GİRİŞ

İnsanlık var olduğundan beri her hususta gelişim içinde olduğu görülmektedir. Bu gelişim sadece yerdeki hususları değil gökyüzündeki ve uzaydaki hususları da gelişimin bir parçası haline getirmiştir. İnsanlığın uçağı bulması ile modern anlamda gökyüzündeki gelişmeler hızlanmış bunun sonucunda insanlık gökyüzü kullanımını bir düzene koymak adına Hava Hukuku'nu geliştirmek zorunda kalmıştır. Aynı yaklaşım roket ve uydu gibi teknolojik araçların kullanımının artması ile birlikte Uzay'ın kullanımının da bir düzene sokulması gerekliliği anlaşılmış ve Uzay Hukuku ortaya çıkmaya başlamıştır.

Bunun sonucunda devletler, Uzay Hukuku'nun gelişimi adına ilk olarak Birleşmiş Milletler temelli antlaşmalar imzalamış ayrıca bunun yanında özel müteşebbisleri de düşünülür şekilde hukuki düzenlemeler ve kurumların ortaya çıkması adına çalışmalar yapılmıştır. Gerek bu çalışmaların gerekse Uzay Hukuku'nun anlaşılması adına Uzay Hukuku'nun tarihsel gelişimi ile birlikte Birleşmiş Millet temelli beş antlaşmanın ilk olarak anlaşılıp birlikte ele alınması gerekmektedir.

Sonrasında ise Uzay Hukuku'na dair çalışmaların bir yanı ticari hayatta sıkça uygulanan ve yaygınlaşan uyuşmazlık çözüm yollarından biri olan tahkime dair düzenlemeler olmuştur. Hızlı, esnek ve gizlilik esasına dayanan tahkim, Uzay Hukuku'nda da uyuşmazlık çözüm yolu olarak gerek devletler arasında gerekse tüzel ya da gerçek kişiler arasında ya da devletler ile gerçek kişiler ya da tüzel kişiler arasında da çıkabilecek hukuki ihtilaflarda çözüm yöntemi olarak yavaş yavaş kabul görmektedir.

Bu sebeple bildiride ilk olarak Uzay Hukuku'nun tarihsel gelişimi, Birleşmiş Milletler (BM) temelli beş antlaşma ile anlatılmaya çalışılmış ve Uzay Hukuku'nun tarihsel gelişimi irdelenmiştir. Bunun yanında bildirinin bir diğer kısmında ise uyuşmazlık çözüm yolu olan tahkimin Uzay Hukuku'nda nasıl, kimler, ne şekilde ve hangi kurumların katkıları ile mümkün olacağı ile Uzay Hukuku'nda tahkime konu olmuş tahkim yargılamasına dair kararlar birlikte ele alınıp anlaşılmaya çalışılmıştır.

II. MATERYAL METOT

Çalışmayı yürütürken kullanılan yöntem, ulusal ve uluslararası kaynakları karşılaştırmalı şekilde ele alacak şekilde nitel araştırma yöntemi olmuştur. Kaynak materyali olarak gerek ulusal kaynaklardan gerekse uluslararası kaynaklardan yararlanılacak bir şekilde kaynak tahlili yapılmıştır.

Bu bağlamda ilk olarak; *Sezercan Bektaş'ın, "Dış Uzay Faaliyetlerinden Kaynaklanan Uyuşmazlıkların Çözümü"* adlı eserinde Birleşmiş Milletler temelli olan beş esas antlaşmadan bahsedilmesi sebebiyle Uzay Hukuku'nun temel felsefesinin anlaşılması adına faydalanılmıştır. Faydalandığımız bu kaynakta; özellikle 1967 tarihli Dış Uzay Antlaşması'nın Uzay Hukuku'nun Magna Cartası niteliğinde olduğu ve bu sözleşmeyle beraber kronolojik şekilde bir dizi Uzay Hukuku'na dair antlaşmaların yapıldığı görülmüştür. Ayrıca aynı eserde Uzay Hukuku'na dair çözüm yöntemi olan tahkimin uygulanmasında hangi kurumların ve taslakların oluşturulduğuna dair temel bir bilgi alma şansı olması sebebiyle de bu kaynaktan faydalanılmıştır.

Faydalanılan bir diğer ulusal kaynak ise *Ayşe Öz'ün, "Hava ve Uzay Hukukunda Tahkimin Gelişimi"* adlı Yüksek Lisans Tezi olmuştur. Bu tezin bildiri çalışmasında kullanılmasıdaki temel sebep ise Uzay Hukuku'nun tarihsel gelişimi hakkında kronolojik şekilde yaşanan siyasal ve konjonktürel akışa yer verilmesi olmuştur. İlk olarak modern anlamda olmayan ilk uzaysal denemelerin 11. YY' da Çin'deki roket denemelerin olduğu ancak modern anlamda Uzaya dair faaliyetlerin ilk olarak II. Dünya Savaşı'nda Almanların kullandığı V-2 roketlerinin kullanımının düzenlenmesinin adına olduğu sonrasında ise 1957 yılında ilk Uydu'nun Uzaya SSCB tarafından Sputnik- I adıyla yollandığı, 1958 yılında da ABD'nin Expolorer- I yollayarak yanıt verdiği ve 1958 yılında NASA'nın da kurulduğuna dair bilgilere yer vermesi yaşanan sürecin sadece hukuki değil sosyolojik yönünün anlaşılması adına önemli yer tutmuştur.

Ayrıca bildiri hazırlama çalışmada; *Ayhan Sorgucu'nun, Hava ve Uzay Hukuku* adlı kitabından Uzay Hukuku'nun temel ilkeleri ve kapsamı belirlenmesinin gerekliliği sebebiyle yararlanılmıştır. Bu kaynağın kullanım amacı da *Sezercan Bektaş'ın, "Dış Uzay Faaliyetlerinden Kaynaklanan Uyuşmazlıkların Çözümü"* adlı eserinde belirtilen BM temelli anlaşmaları ile karşılaştırmalı bakılarak Uzay Hukuku'nun ilkeleri ve çizilen sınırları net bir şekilde ortaya koyulması adına fayda sağlamıştır.

Bildiri çalışmasında diğer yararlanılan kaynak *Dilek Funda Kurtuluş'un, "Hava ve Uzay Hukukunda Ticari Hizmetlerden Doğan Hukuki Sorumluluk"* kitabıdır. Bu kaynaktan yararlanılmasının sebebi ise ad hoc tahkim benzeri çözüm yöntemi olarak kabul edilen sorumluluk komisyonunun kurulması ile tahkime benzer bir uyuşmazlık çözüm yönteminin taraf devletlerce mümkün olabileceğinin anlaşılmasına katkı sağlamıştır. BM temelli 1972 yılında yürürlüğe giren Sorumluluk Sözleşmesinin 14. maddesi ve devamı hükümleri ile tarafların öncelikle diplomatik yollarla uyuşmazlığın çözülebileceği eğer taraflar anlaşamaması halinde ise hukuki ihtilaf olan devletlerin zarar komisyonu kurulmasını talep edebileceği açıkça düzenlediği ve komisyonun sekretarya işlerini BM daimî divanının yapacağı ve taraflar aksi kararlaştırmadıkça kesin ve nihai nitelikli karar alabileceği düzenlendiği anlaşılmıştır. Ayrıca müşterek sorumluluk halleri ya da hangi hallerde hukuki ihtilaf yaşayan devletlerin zarardan sorumlu olmayacağı da düzenlendiği görülmesi adına yararlanılan kaynaklardan olmuştur.

Uluslararası kaynak olarak ise *Stefan Pislevik, "Law Without Gravity: Arbitrating Space Disputes at the Permanent Court of Arbitration and the Relevance of Adverse Inferences"* adlı kaynaktan yararlanılmış ve daimî tahkim merkezinin işleyişi, UNCITRAL Model Kanuna benzerlikleri ortaya koyulmuş öte yandan Uzay Hukuku'na dair özellikleri de içeri alan tahkim kurallarının neler olduğu anlaşılması adına referans kaynak olmuştur. Uluslararası hukuk kaynaklarında zarar komisyonunun geleceği, kurulması, felsefesi anlamak adına Kehrre Trevor, "Closing the Liability Loophole: The Liability Convention and the Future of Conflict in Space" referans alınmış ve ulusal kaynaklar ile karşılaştırılma yapılmasında katkı sağlamıştır. Son olarak; uluslararası kaynaklar arasında Uzay Hukuku'nda tahkimin rolünü ifade eden kaynak olması ve yazarın bir tahkim hakemi olarak uygulamadaki sorunları belirmesi sebebiyle John Busby, "Dispute resolution in a vacuum? Arbitration's role in resolving space disputes (Allen&Overy – News & Insights)" adlı kaynaktan faydalanılmıştır.

Son olarak gerek üçüncü kişiler ile gerekse devletler arasındaki tahkim uyuşmazlıklarının uygulamalı görmek adına üç tane web sitesinden yararlanılmıştır. Bu web siteleri; zarar komisyonu kurulmasının ilk ihtimalinin yakalandığı ancak taraf devletlerin diplomasi yöntemi ile çözülen Cosmos 954 vakası ile alakalı detaylı araştırma adına "<https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/nationalspacelaw/bi-multi-lateral-agreements/>" web sitesinden yararlanılmıştır. Ayrıca devletler ile üçüncü kişiler arasındaki uyuşmazlıkların tahkime konu olabileceğine dair çıkarımda bulunmak adına "<https://arbitrationblog.kluwerarbitration.com/2021/07/03/new-opportunities-for-arbitration-lawyers-climate-change-outer-space-and-human-rights/>" adlı web sitesinden yararlanılmıştır. Üçüncü kişilerin de kendi aralarında Uzay Hukuku'nda tahkime konu olabileceği ve yaklaşım ne yönde olduğunu uygulamada görmek adına "<https://www.ejiltalk.org/space-arbitration-could-investor-state-dispute-settlement-help-mitigate-the-creation-of-space-debris/>" web sitesinden yararlanılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Öncelikle Hukuki gelişmelerin tek başına hukuk düzleminde incelenmesinin doğru olmayacağı hukukun yaratılmasında tarihsel, siyasal ve teknolojik gelişmelerin de etkili olduğu bir gerçektir. Bu çıkarıma dayanak olarak ise ilk olarak II. Dünya Savaşı'nda devletlerin özellikle Almanların öne geçme ve savaşı kazanma gayesinde roketlerin kullanımı olması bunun akabinde de Soğuk Savaş döneminde SSCB ile ABD arasındaki prestij yarışının yansımalarıyla beraber teknolojileri geliştirme yarışı bu devletleri Uzay'a yönlendirme sebebi olarak ortaya çıkmıştır. Bu sebeple de Öz'ün de bu görüşe katıldığını görmekteyiz [1].

Birleşmiş Milletler temelli beş esas antlaşmanın Uzay Hukuku'nun oluşumunda temel rol oynadığı belirli bir ilkenin ve kıstasların getirildiği sonucuna varılmıştır. Bu hususta gerek Bektaş'ın kaynağında belirttiği gibi gerekse de Sorgucu' nun da iştirak ettiği bu fikre bizde katılmaktayız [2]. Özellikle Uzay'da barışçıl yollarla iş ve işlemler yapabileceği, Uzay'ın insanlığın ortak alanı olduğu, Uzay faaliyetlerinin netliğinin belirlenmesi adına ulusal ve uluslararası tescil sisteminin gerekli olduğu, taraf devletlerinin faaliyetleri sonucunda zararın ortaya çıkması durumunda sorumlu olması gerektiği ve Uzay'da faaliyet yapılırken herhangi bir kazanın ortaya çıkması durumunda yardım yükümlülüğü gibi Uzay Hukuku'nun temel ilkeleri olduğunu saptanmıştır [3].

Uzay Hukuku'nun Magna Cartası niteliğinde olan Dış Uzay Antlaşmasına uygun şekilde Ay Antlaşması'nın temel alınması Ay'daki faaliyetlerin de barışçıl yollarla yapılacağı, insanlığın ortak kullanımı olduğu hususu ve faaliyetler sırasında ortaya çıkabilecek zararlardan sorumluluğa konu olabileceği şeklinde düzenlenmesi dünya barışının devamı adına önemli olacaktır. Ancak son dönemlerde imzalanan ABD öncülüğündeki Artemis Antlaşmasıyla beraber Ay'daki faaliyetlerde barışçıl yöntemlerin çözümü yerine kalıcı üstlerin kurulması uzay madenciliğinin adil bir şekilde paylaşımını etkileneceği düşünmekteyiz. Bu hususta Busy' e göre de tahkimin geleceğini olumsuz etkilenileceği de belirtilmiştir [4].

Uzay Hukuku'nda tahkimin yerine ve gelişimine dair tartışmalar ise Daimî Tahkim Mahkemesi'nin (PCA) Birleşmiş Milletler temelli oluşturulmuş UNCITRAL Model Kanuna uygun bir şekilde ayrıca da Uzay Hukuku'nun özelliklerine uygun olacak şekilde tahkim düzenlemelerine yer verilmesinin ortak bir tahkim kuralı anlayışının çıkmasının olumlu etkisi olduğu ayrıca Avrupa Uzay Ajansı (ESA) gibi kurumların sözleşmesinde de tahkim çözümüne dair hükümlere yer verilmesi tahkimin Uzay Hukuku'nda yaygınlaşması adına olumlu karşılanmaktadır.[5] Ancak şu an Daimî Tahkim Mahkemesine hakem olabilecek yetkinlikte ihtisas yapmış hakemlerin de az olduğu son resmi sayılara göre beş kişi şu an da o yetkinlikte olduğu görülmekte olduğu saplanılmaktadır. Bu sebeple Pislevik'te bu yetersizliğe dikkat çektiği görülmektedir [6].

Uzay Hukuku'ndaki tahkim yargılamalarına bakıldığında bir uyuşmazlığın zarar komisyonu kurulması ihtimaline karşın tarafların diplomatik yollarla çözüldüğü anlaşılmıştır. Ancak ileri de Uzay faaliyetlerinin artımı ile devletlerin sorumluluk sözleşmesi gereğince zarar komisyonu kurulup hukuki ihtilafların çözümleyeceğini düşünmekteyiz. Kısaca diplomatik yolla çözülen hukuki ihtilafların şu olmuştur: SSCB' nin yapay uydusu olan Cosmos 354' ün Kanada topraklarında yer alan ormanlık alana düşmesi ve bunun sonucunda Kanada'nın maddi zararının ortaya çıkması olmuştur. Bu uyuşmazlıkta SSCB, zararının giderilmesi adına yardım talep etmekle birlikte kendisinin bir ihmalinin olmadığını belirtse de diplomatik görüşmeler sonucunda 3 milyon dolar Kanada'ya ödemeyi kabul etmiştir [7].

Ulus devletlerin Uzay faaliyetlerini sadece kendi bünyesindeki teşebbüsleriyle değil Uzay faaliyetlerine yatırım yapan özel teşebbüsler tarafından da gerçekleştirmeye çalışıldığı anlaşılmakla birlikte Uzay faaliyeti sonucunda zararın meydana gelmesi durumunda Daimî Tahkim Mahkemesi'ne gitmeyi tercih ettikleri görülmektedir. Özellikle ilgili tahkim yargılaması konusu ABD Hükümeti ile American Satellite Company arasında geçtiği görülmekle beraber ABD hükümeti ile American Satellite Company arasındaki sözleşmede yükümlülüklerin ne olacağına dair pazarlıkların sözleşmede yapılmaması sebebiyle ABD hükümetini tahkim hakemleri haksız bulmaması ve bunun sonucunda American Satellite Company davayı kazanamamıştır. Buradaki tahkim yargılamasından anlaşılabileceği üzere sözleşme özgürlüğü ilkesinin esas alınması sebebiyle gerek devletlerin gerekse özel teşebbüslerin sorumluluklar ve yükümlülüklerini en iyi şekilde sözleşmeye derç etmeleri gerektiği anlaşılmıştır [8].

Son olarak Uzay Hukuku'nun tahkim uyuşmazlıklarına konu olacak konuların uyduların ya da roketlerin uzaya fırlatılması esnasında bu değerli teknolojik ürünlerin sigortalanması sonucunda ortaya çıkacak zararlardan ötürü sigorta şirketleri ile zararda müsebbibi olan taraflar arasında geçecek rücu davaları olabileceği görülmektedir. Bu hususa Kehr de değinmektedir ve biz de katılmaktayız [9]. Uygulamada tahkim yargılamasına konu olmuş dosyaya bakacak olursak; Appalachian Insurance Company ile Mc Donnel Douglas Corporation arasında gerçekleşen tahkim yargılamasında Wester VI ile Palapa B-2 uydusunun fırlatılması başarıyla gerçekleşmiyor. Zarar gören şirkete sigorta şirketi toplam iki uydu için 150 milyon dolar ödemek zorunda kalıyor ve zararın oluşumunda sorumlu olan Mc Donnel Douglas Corporation karşı sigorta şirketi olan Appalachian rücu davası açıyor. Hakem kararı ile haklı bulunarak zarar tazmin ediliyor [10].

IV. SONUÇLAR

“Uzay Hukuku’nun Tarihsel Gelişimi, Devletler Arasındaki veya Üçüncü Kişiler Arasındaki Uyuşmazlıkların Tahkime Konu Olması” adlı bildiri çalışması sonucunda sosyolojik ve tarihsel gelişimlerle hukuk kurallarının gelişimine katkı sağladığının ve sürecin bir bütün olarak incelenmesi gerektiğinin önemi bir kez daha anlaşılmıştır.

Uzay Hukuku’nun temel ilkelerinden biri olan uzay faaliyetlerinin barışçıl yollarla görülmesi ve insanlığın ortak malı olduğunu anlayışının korunması uzaydaki değerli elementlerin adil bir şekilde dağılımının sağlanması açısından önemli bir husustur. Ancak Artemis Antlaşması gibi son zamanlarda imzalanan antlaşmalar Uzay Hukuku’nun temel ilkelerine aykırılık teşkil ettiği görülmektedir. Bu sebeple Uzay Hukuku’nun temel ilkelerini bozacak antlaşmaların önüne geçilmesi adına bu hususun BM’de gündeme getirilmesi elzem bir hal alındığı çıkarımında bulunmak isteriz.

Öte yandan modern anlamda Uzay Hukuku’nun tarihsel gelişiminin 1950’li yıllardan bu yana olduğu yani gelişimin daha başında bulunduğu ve bu sebeple de tahkime dair Daimî mahkemelerin ya da kurumların kurulmasının yeni tarihli olduğu anlaşılmaktadır. Bunun sonucuysa Uzay Hukuku’na dair tahkimin uyuşmazlıkları hakkında içtihat birliğinin ya da karar sayılarının uygulamaya yönelik yeterli olmadığı görülmektedir. Bunun bir sebebinin de tahkim yargılamasının temel ilkelerinden biri olan gizlilik ilkesi olması sebebinden kaynaklansa da konu olan tahkim yargılamaları içtihat oluşturmak adına açık erişiminin daha fazla artması gerekmektedir.

Eğitim programları ile birlikte Uzay Hukuku’na dair hakem sayısını da artacak eğitimlerin ve farkındalıkların uluslararası düzeyde ve ülkemiz de artırılması gerekmektedir ki işlevsel bir tahkim yargılaması yapılabilsin ve hakem tekelleşmesinin de önüne geçilsin.

Ayrıca bir diğer önemli çıkarım ise Uzay Hukuku’na dair BM temelli beş tane devletler temelli antlaşmalar olsa da yeterli derece de uluslararası gerçek kişilerin ya da şirketlerin uyuşmazlıklarına konu olacak şekilde tahkime dair hukuki düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Aynı şekilde Ülke bazlı olarak da gerek milli gerekse milletlerarası tahkime dair düzenlemeler artırılmalı ve öncü olunması gerekmektedir. Bu son belirttiğimiz husus en temel sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu değerli sempozyumun düzenlenmesinde emeği olan Düzce Valiliğine, Düzce Üniversitesine, Devletimizin uzay ile uğraş veren kurumlarına ve düzenleme kurulunda yer alan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Sezercan Bektaş’a teşekkürü borç bilirim.

KAYNAKLAR

- [1] A. Öz, “Hava ve Uzay Hukukunda Tahkimin Gelişimi,” Ankara, Turkey.
- [2] S. Bektaş, “Dış Uzay Faaliyetlerinden Kaynaklanan Uyuşmazlıkların Çözümü,” Hasan Kalyoncu Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 7 (14), 11-26, 2017.
- [3] A. Sorgucu, “Hava ve Uzay Hukuku”, Adelet Yayınevi, 6 (1), 228-240, 2024.
- [4] J. Busby, Dispute resolution in a vacuum? Arbitration’s role in resolving space disputes (Allen&Overy – News & Insights) (2022)
- [5] D. F. Kurtuluş, “Hava ve Uzay Hukukunda Ticari Hizmetlerden Doğan Hukuki Sorumluluk”, Yetkin Yayıncılık, 1(1), 149-175, 2019.
- [6] S. Pislevik, “Law Without Gravity: Arbitrating Space Disputes at the Permanent Court of Arbitration and the Relevance of Adverse Inferences” Journal of Space Law, 43(2), 2019, 280-285.
- [7] (2021) United Nations Web Site [Online]. Available: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/nationalspacelaw/bi-multi-lateral-agreements/>
- [8] (2021) Kluwer Arbitration Blog website. [Online]. Available: <https://arbitrationblog.kluwerarbitration.com/2021/07/03/new-opportunities-for-arbitration-lawyers-climate-change-outer-space-and-human-rights/>.
- [9] T. Kehler, “Closing the Liability Loophole: The Liability Convention and the Future of Conflict in Space”, Chicago Journal of International Law, 20(1), 2019, 178-185.
- [10] (2021) Ejiltak Blog [Online]. Available: “<https://www.ejiltalk.org/space-arbitration-could-investor-state-dispute-settlement-help-mitigate-the-creation-of-space-debris/>”.

Avrupa Birliği Hukukunda Uzay Kanunu ile İlgili Gelişmelerin Değerlendirilmesi

Halil Çeçen*

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Özel Hukuk Bölümü, Kayseri/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: hcecen@nny.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada Avrupa Birliği (AB) hukukunda uzay kanunu çalışmaları ele alınmaktadır. Çalışma kapsamında AB hukukunda yer alan hukuki metinlerden faydalanılmış ve konuyla ilgili literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Konunun önemi, AB hukukunda güncel olan ve dinamik bir şekilde ilerleyen uzay mevzuatına dair gelişmeleri, gelecekte yürürlüğe girmesi öngörülen uzay kanunu kapsamında ele almasından kaynaklanmaktadır. Uzayda sürdürülebilirlik faaliyetlerini de kapsayan bir uzay kanununun kabulüne dair çalışmalar, AB hukukunda bir süredir devam etmekte olup, bu hususta Avrupa Komisyonu tarafından bir yasama teklifinin hazırlanması beklenmektedir. Ayrıca Şubat 2025 içinde gerçekleştirilecek Avrupa Komisyon çalışma programında da bu teklifin zaman çizelgesi hakkında bir teyidin yer alacağı düşünülmektedir. Bir diğer önemli gelişme ise, Avrupa Komisyon tarafından yayınlanan 29 Ocak 2025 tarihli ve “AB için Rekabetçilik Pusulası” başlıklı bildiriye uzay yüksek teknoloji sektörünün 2030 yılına kadar dokuz kat büyüyeceği, bu sebeple AB iç pazarında uzay faaliyetlerinin sürdürülebilirliğini sağlamak için Birlik düzeyinde bir uzay kanununun kabul edilmesi gereksinimi ifade edilmiştir. Böylece 2019 yılından beridir Avrupa Komisyonu tarafından dile getirilen uzay kanunu çalışmalarının nihayete ererek, 2030 yılına kadar artış göstermesi beklenen uzay faaliyetleri ve teknolojileri alanında AB’nin rekabetçiliğini savunacak bir uzay kanununun AB hukukunda yürürlüğe gireceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *AB rekabetçilik pusulası, AB uzay kanunu, İç pazar, Uzayda sürdürülebilirlik, Uzay teknolojileri.*

Review of the Developments Regarding a Space Act in the European Union Law

Halil Cecen*

Nuh Naci Yazgan University, Faculty of Law, Division of Private Law, Kayseri/Türkiye.

*Corresponding Author: hcecen@nny.edu.tr

ABSTRACT

This research is an effort to review the works regarding a space act in the European Union (EU) law. The official documents in the EU law were analyzed in this regard and the literature review was conducted. The importance of the subject arises from discussing the developments related to the space legislation, which is topical and dynamically advanced, within the scope of space act which is foreseen to be entered into force in a very near future. The works for adopting a space act in the EU law, which also contains the sustainability activities in space, has been continuing for a while. A proposal in this regard is expected from the European Commission to be prepared. It is also considered that an approval for a timeline of this proposal will be included in the work programme of the European Commission in February 2025. Another important development is the publication of “A Competitiveness Compass for the EU” by the European Commission dated 29 January 2025. In the said communication, the European Commission mentions that the space high technology sector will be growing nine times by 2030, therefore there is a necessity to adopt a space act at Union level in order to provide the sustainability of space activities in the EU internal market. As a result, it is foreseen that the works for a space act, which has been declared by the European Commission since 2019 and will support the competitiveness of the EU in the field of space activities and technologies – expected to grow by 2030-, will be finalized and entered into force in the EU law.

Keywords: *Competitiveness compass for the EU, EU space act, Internal market, Space technologies, Sustainability in space.*

I. GİRİŞ

2019 yılından beridir uzay ile ilgili çalışmalarını yoğunlaştıran Avrupa Komisyonu'nun 2025 itibariyle bir uzay kanunu teklifinde bulunacağı belirtilmiştir. Ancak halihazırda bu teklif metni kamuoyuna duyurulmuş değildir. Bu sebeple Komisyon'un uzay kanunu teklif metninin içeriği hakkında herhangi bir net bilgi bulunmamaktadır. Ancak Avrupa Birliği (AB) hukukunda, Komisyon tarafından teklif edilecek uzay kanununun kapsamı hakkında çıkarımda bulunulmasını sağlayabilecek Komisyon çalışmaları, Konsey ve Parlamento kararları ve Strateji belgeleri, bu hususta yardımcı olabilecektir.

Bu çalışmada, AB hukukunda yürürlüğe girebilecek bir uzay kanununun kapsamı hakkında öngörude bulunmak amacıyla değerlendirme gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla, çalışmada AB uzay kanununun çerçevesinin hangi hususları kapsamına alabileceği üzerine görüş konması hedeflenmektedir.

II. MATERYAL METOT

AB hukukundaki uzay kanunu ile ilgili gelişmeleri değerlendirirken ve olası bir uzay kanunu teklifinin içeriği hususunda araştırma yaparken, bu sonuca varmaya yardımcı olabilecek AB hukukundaki metinlerden faydalanılmıştır. Bu temelde, Komisyon'un uzay ile ilgili çalışmaları başta olmak üzere, AB hukukunda yürürlükte olan diğer mevzuat da gözden geçirilmiştir.

A. Avrupa Birliği Hukukunda Uzay Faaliyetleri ile İlgili Çalışmaların Genel Değerlendirilmesi

AB hukukunda uzay ile ilgili çalışmalar bir süredir mevcutsa da, bu hususta kabul edilen en önemli düzenleme, halen yürürlükte olan, 2021/696 sayılı ve "Birlik Uzay Programı ile Avrupa Birliği Uzay Programı Ajansı'nı kuran 28 Nisan 2021 tarihli Tüzük"tür. İlgili Tüzük, Komisyon tarafından teklif edilecek bir uzay kanununun altyapısının anlaşılması açısından da önem arz etmektedir.

2021/696 sayılı Tüzük ile, rekabetçi konumda bulunan Avrupa uzay sanayisinde bilimsel ve teknik ilerlemeyi teşvik etmek, aynı zamanda rekabetçiliği ve inovasyon kapasitesini desteklemek hedeflenmiştir (Regulation 2021/696, par.1). Ancak Tüzük'te uzay çalışmalarının AB açısından güvenlikle doğrudan bağlantılı olduğunun vurgulandığını görmekteyiz (Regulation 2021/696, par.2). Uzay çalışmalarında AB açısından vurgulanan bir diğer husus ise, ECNOS ve daha sonra Galileo ve Copernicus ile başlayan Birlik uzay girişimleri ve programlarının, dijital bilgi ve iletişim teknolojilerindeki dönüşüm ve iklim değişikliği gibi siyasi öncelikleri karşılayacak şekilde geliştirilmesi olduğunun ifade edilmesidir (Regulation 2021/696, par.3).

Tüzükte, uzay alanının AB hukukunda Birlik ile üye devletler arasında yetki olarak nasıl düzenlendiği de yer almıştır. Tüzükte belirtildiği üzere, Avrupa Birliği'nin İşleyişi Hakkında Antlaşma'nın 4(3). maddesinde, «Birliğin, araştırma, teknolojik gelişme ve uzay alanlarında, başta programların oluşturulması ve uygulanması olmak üzere, tedbirler alma yetkisine sahip olduğu; ancak bu yetkinin kullanılmasının üye devletlerin kendi yetkilerini kullanmalarına engel teşkil etmeyeceği» ifade edilmektedir (Regulation 2021/696, par.44).

Ayrıca, 2021/696 sayılı Tüzük'ün 3(d) maddesinde aşağıda vurgulanan unsurlar, AB'nin uzay stratejisindeki önemli hedefleri hakkında fikir verebilmektedir:

- Uzay sektöründe küresel aktör olarak AB'nin rolünü artırmak
- Uluslararası işbirliğini teşvik etmek
- Küresel zorluklarla mücadelede rolünü güçlendirmek
- Sürdürülebilir kalkınmayla ilgili küresel girişimleri desteklemek
- Uzayın insanlığın ortak mirası olduğu yönünde farkındalığı artırmak

2021/696 sayılı Tüzük'ün yürürlüğe girmesinden sonraki süreçte de, AB hukukunda uzaya yönelik çalışmalar ve strateji belgelerinin kabulü devam etmiştir. Bu hususta, 15 Şubat 2022 tarihli Uzay Trafiği Yönetimine Dair AB Yaklaşımı ile 10 Mart 2023 tarihli Güvenlik ve Savunma Üzerine AB Uzay Stratejisi önemli belgeler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Avrupa Parlamentosu'nun Kasım 2023 tarihli «Güvenlik ve Savunma için AB Uzay Stratejisi» başlıklı kararında da, AB'de uzay sektöründeki uygulamalara ve uzay stratejisinin AB için önemine değinilmiştir. Bu çerçevede Parlamento'nun kararında; üye devletlerde tek tek veya ortak uzay mülkiyetlerinin artmakta olduğu (Athena-Fidus uydusu örneği), üye devletlerde uzayda işbirliklerinin artmakta olduğu, 19 üye devletin ulusal uzay stratejisinin bulunduğu ve uzay komando birliklerinin oluşturulmaya başlandığı ifade edilmiştir (European Parliament, 2023:3).

AB Uzay Stratejisi için fon kaynakları olarak ise, Kalıcı Yapılandırılmış İşbirliği (PESCO), Avrupa Savunma Fonu, Avrupa Savunma Sanayisi Kalkındırma Programı, Avrupa Yatırım Bankası, CASSINI Programı, IRIS ve Ufuk Avrupa ile STEP gibi programlar ve kurumlar belirtilmiştir (European Parliament, 2023:3). Bu fon programlarından CASSINI, 2021-2027 yılları arasında Komisyon'un, uzay sanayisindeki girişimcileri, start-up şirketleri ve KOBİ'leri desteklemesi için kurulmuş bir girişimdir. STEP ise, Avrupa Stratejik Teknolojiler Platformu (Strategic Technologies for European Platform)'nın kısaltılmışı olup, uzay sektörü dahil olmak

üzere AB’de önemli dijital ve yüksek teknoloji sektörlerinde kalkınmayı ve üretimi teşvik etmek amacıyla oluşturulmuştur.

Ancak özellikle son birkaç yıldır bu hususta, AB’nin uzay stratejilerini yasama süreci ile sonuçlandıracak bir uzay kanununun kabulü bilhassa vurgulanmaktadır. Uzay kanunu ile ilgili olarak Komisyon tarafından bir teklif metni ile yasama prosedürünün 2024 yılının ilk çeyreğinde başlatılacağı 17 Ekim 2023 tarihli “2024 Komisyon çalışma programı” başlıklı belgede ifade edilmişse de, Avrupa Komisyonu üyesi Thierry Breton tarafından 9 Nisan 2024 tarihinde yapılan açıklama ile, uzay kanunu teklifinin 2024 yılının sonlarında yayınlanabileceği belirtilmiştir (European Parliament, 2025). 17 Eylül 2024 tarihinde Avrupa Komisyonu Başkanı Ursula von der Leyen tarafından o tarihte Komisyon’un Savunma ve Uzay Alanındaki Üye Adayı konumunda bulunan Andrius Kubilius’a gönderilen mektupta ise, Kubilius’un AB Uzay Kanunu teklifine yönelik çalışmaya öncülük edeceği, bu çerçevede uzay faaliyetleri için ortak AB standartları ve kurallarının kabulü ile lisans gerekliliklerinin uyumlaştırılması için çalışacağı ifade edilmiştir (Ursula von der Leyen, 2024:6). Komisyon üyesi olarak 1 Aralık 2024 tarihinde çalışmaya başlayan Kubilius tarafından yapılan açıklamada ise, yeni kurulan Komisyon’un 2025 yılı içerisinde AB uzay tek pazarı üzerine tüzük teklifi yayınlamayı planladığı ve bu tüzük teklifinin emniyet, güvenlik ve sürdürülebilirlik gerekliliği üzerine temellendirileceği ifade edilmiştir (European Parliament, 2025).

Bir diğer önemli gelişme ise, Komisyon’un 29 Ocak 2025 tarihli “AB için Rekabetçilik Pusulası” başlıklı bildirisi olup, raporda uzay kanunu teklifinin 2025 yılının ikinci çeyreğinde duyurulacağı belirtilmektedir (European Commission, 2025a:7).

Komisyon tarafından yayınlanan 11 Şubat 2025 tarihli “2025 Komisyon Çalışma Programı”nda da uzay ile ilgili gelecekteki çalışmalar ve uzay kanunu üzerine durulmuştur. İlgili bildiride, uzay operasyonlarının, çevre ve iklim izleme gibi yenilikçi hizmetler de dahil olmak üzere, AB ekonomisi için önem arz ettiği ifade edilmiştir. Ayrıca Avrupalı uzay operatörlerinin eylemlerini düzenleyecek ve istikrarlı, öngörülebilir ve rekabetçi bir iş ortamı sağlayacak AB çerçevesi oluşturmak için, Uzay Kanunu’na ihtiyaç olduğu belirtilmektedir. Bu kanun ile, büyüyen uzay çözümleri meselesi ile uzay faaliyetlerinin çevresel etkisinin ele alınması ve uzay ekonomisinin faydalarını daha iyi şekilde elde edecek adımların atılması hedef olarak belirlenmiştir (European Commission, 2025b: 6).

Tüm bu gelişmelere ilaveten, Avrupa Komisyonu tarafından ilan edilecek olası bir uzay kanunu teklifinin ana hatları ve gereklilikleri ise Eylül 2024 tarihli Draghi Raporu’nda görülebilmektedir.

B. Eylül 2024 Tarihli Draghi Raporu Çerçevesinde Avrupa Birliği Hukukunda Uzay Kanunu’nun Gereklilikleri

AB hukukunda bir uzay kanunu teklifi metni yukarıdaki paragrafta belirtildiği üzere, henüz ilan edilmemiş olsa da, AB’nin uzay kanununa dair çalışmalarına atıfta bulunan önemli bir belge olarak, Mario Draghi tarafından hazırlanan ve Avrupa Komisyonu’nun 2024-2029 çalışma programında atıfta bulunulan Eylül 2024 tarihli “Avrupa Rekabetçiliğinin Geleceği – Bölüm A: Avrupa için Rekabetçilik Stratejisi (The future of European competitiveness – Part A: A Competitiveness Strategy for Europe)” başlıklı rapordur. İlgili raporda, AB’nin rekabetçiliğinin geleceği üzerine durulan alanlardan birisi de uzay ile ilgili çalışmalar olmuştur. Bu çerçevede savunma ve uzay için sanayi kapasitesinin güçlendirilmesi, stratejik hedefler arasında yer almıştır. Bunun sebepleri arasında ise, uzay sanayisinde AB’nin dünya çapında önemli bir sektör geliştirse de, konumunu kaybetmeye başlaması olarak belirtilmiştir. Ayrıca, askeri uygulamalar dahil olmak üzere en doğru ve güvenli konumlandırma ve zamanlama sağlayan uydu seyir sistemi olan Galileo; yeryüzü gözleminde ise, çevre ve iklim değişikliği izleme, afet yönetimi ve güvenlik için dahil olmak üzere dünya çapında en kapsamlı veriyi sunan Copernicus, AB uzay sektöründeki başarılar olarak ifade edilmiştir. Ancak bu önemli adımlara rağmen AB’nin, süreç içerisinde Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ile Çin’e karşı rekabette zayıfladığı da kabul edilen tespitler arasında yer almıştır (European Commission, 2024a: 60).

Rapora göre, üye devletler arasında talepler bir araya getirilmeksizin, sanayi açısından uzun vadeli ihtiyaçların öngörülmesi ve tedarikin artırılması zor hale gelmektedir. Bunun sonucunda talebi karşılamak için toplam kapasite düşmekte ve sanayinin sipariş ve fırsatlardan mahrum kalmasına yol açmakta ve savunma ihalelerinin AB dışına yönelmesine neden olmaktadır. Haziran 2022 ve Haziran 2023 tarihleri arasında ihale harcamalarının %78’i AB dışındaki tedarikçilere gitmiştir. Bu tedarikçiler arasında %63 pay ile ABD bulunmaktadır. Aynı zamanda, AB üye devletleri organize olduğunda ve işbirliği yaptığında sonuçların olumlu çıktığı görülmektedir. Bir örnek vaka olarak, katılımcı ülkelere kaynaklarını biraraya getirmelerini ve işletme ve bakım maliyetlerini paylaşmalarını sağlayan bir işbirliği projesi ile geliştirilen A330 Çok Fonksiyonlu Tanker Taşıyıcı gösterilebilir. Avrupa uzay sektörü, üye devletler arasındaki yetersiz yatırım işbirliği nedeniyle sektöre uğramaktadır (European Commission, 2024a: 60).

Yine rapora göre, Avrupa uzay sektörü, güncellenen yönetim ve yatırım kurallarından ve kamu harcamalarının uzay için tam bir Ortak Pazarda harcanmasından faydalanabilir. Böylece Draghi’nin raporunda Avrupa Uzay Ajansı’nın coğrafi dönüş ilkesinin kademeli olarak kaldırılması önerilmektedir. Avrupa Uzay Ajansı’nın ihale kuralları, sinai rekabetin çıktıları ile iyi tedarikçilerin tercihlerini yansıtmalı

ve kaynaklar, katılımcı kuruluşların konumuna bakılmaksızın, bilimde ve teknolojiye önemli ilerleme için potansiyeli gösterecek projelerde yoğunlaşmalıdır. Bu süreç, kabul edilmesi öngörülen AB Uzay Kanunu'na uygun olarak ortak standartlar ve lisans gerekliliklerinin uyumlaştırılarak, işleyen bir uzay Ortak Pazarının kurulmasıyla elde edilebilecektir. Müştereken uzay hizmetlerini ve ürünlerini satın almak ve AB sanayi altyapısının kapasitesini artırmak için yardımcı olarak kritik teknolojilere fon sağlamak amacıyla Avrupa Komisyonu'nun anahtar müşteri olarak hareket etmesine imkan tanıyan çok amaçlı bir Uzay Sanayi Fonu'nun oluşturulması önerilmektedir. (European Commission, 2024a: 61).

Draghi raporuna ek olarak hazırlanan ve "Derinlemesine Analiz ve Tavsiyeler" başlığını taşıyan belgede ise, uzay sektörüne yönelik olarak önemli bilgiler yer almaktadır. Uzay sektörünün önemine değinilirken, uydu hizmetlerinin ulaşım, iletişim, çevre, tarım, enerji, güvenlik ve savunma gibi alanlarda modern altyapının önemli bir parçasını oluşturduğu belirtilmiştir (European Commission, 2024b: 172-173).

ABD, AB, Çin ve Japonya gibi büyük uzay güçleri haricinde, Kanada, Hindistan, İsrail ve Avustralya gibi ülkeler başta olmak üzere dünyanın geri kalanındaki toplam uzay yatırımları etkileyici bir şekilde büyümüştür. Uzay ekonomisinin değeri önemli olmakla birlikte, sektörde uzay çözümlerinin kabulü ve uygulanmasıyla birlikte daha fazla büyüyeceği öngörülmektedir. Bu çerçevede, 2023 yılında 630 milyar ABD Doları olan küresel uzay ekonomisinin değerinin 2035 yılına varıldığında 1,8 trilyon ABD Dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bunun yanı sıra, uzay sanayisi de, özel şirketlerin artan derecede katılımı ve yenilikçi start-up şirketleri arasında hızlı büyüme ile derin bir yapısal değişiklikten geçmektedir. Ayrıca 2031'de gerçekleşmesi öngörülen Uluslararası Uzay İstasyonu'nun servisten çıkarılmasının, yeni ticari ve ulusal uzay yeterliliklerinin gelişmesindeki hızlanmayı tetiklemesi beklenmektedir. Gelecekte, büyük uzay projelerinin sadece çok-devletli ortaklıklar temelinde olmakla kalmayacağı ve kamu-özel ortaklıkları, devletlerden oluşan küçük gruplar tarafından ticari talep ve çözümler ile yürütülmesi de beklenmektedir. Gelişmiş teknolojik yeterliliklerin ise, özel şirketler ve platformlar tarafından sağlanması beklenmektedir. Bu durum, hem hükümet hem de özel sektördeki müşteriler için hizmetlerin ulaşılabilir olduğu bir piyasayı oluşturacaktır (European Commission, 2024b: 173).

Ancak AB'deki gelişmelere rağmen, AB uzay faaliyetleri alanında konumunu kaybetmeye başlamıştır. Örneğin AB, stratejik programı Galileo için uydularını fırlatmak üzere ABD'nin Space X roketlerine geçici olarak bağlı olmak durumunda kalmıştır. AB, uzay sanayisinde en son teknolojiye sahip elektronik bileşenler ile dedektörlerin ithalatına da yüksek derecede bağımlı konumdadır (European Commission, 2024b: 173).

AB'nin uzay sanayi sektöründe rekabetçilik açısından geride kalmasının nedenleri raporda incelenmiştir. Bu kapsamda, uzay politikası için düşük kamu fonlarının bu hususta önemli bir neden olduğu ifade edilmiştir. Uzay sektöründe piyasaları oluşturacak ve özel uzay şirketlerinin gelişmesini ve büyümesini sağlayacak gerekli altyapının kamu yatırımları ile desteklenmesine gereklilik vardır. İkinci neden olarak ise, uzay faaliyetleri için AB'nin kamu fonlarının ABD ve Çin gibi kamu harcamaları ile yönetilen rakiplerinin arkasında kalması belirtilmiştir. Örneğin 2023 yılında, AB'de ve üye devletlerde uzay sektöründe kamu harcamaları 13 milyar ABD Doları iken, ABD'de ise bu rakam 73 milyar ABD Dolarına tekabül etmiştir. Aradaki fark beş kattan fazladır. Çin'in ise 2030 yılı itibarıyla, uzay sektöründe yaklaşık 20 milyar ABD Doları kamu harcaması yapmış olacağı düşünülmektedir. Ayrıca ABD ve Çin'in büyük sivil ve savunma uzay programları, kendi yerel sanayi altyapılarının büyümesini ve teknolojik olarak ilerlemesini sağlamaktadır. ABD, uzayın keşfi, yeryüzü gözlemi ve insanlı uzay uçuşu gibi sivil programların yanı sıra, savunma alanında da uzayda tartışmasız olarak lider konumdadır. 2022 yılında, ABD'deki uzay amaçlı harcamaların yaklaşık %60'ı savunma uygulamaları için harcanmıştır (European Commission, 2024b: 176-177).

Bir diğer önemli neden olarak ise, her ne kadar AB, uzayda araştırma ve bilimsel ilerleme üzerine önemli etkisi olan ve dünyada önde gelen araştırma kurumlarına ve üniversitelerine ev yapıyorsa da, AB'de uzay AR&GE programlarında kamu yatırımları, gerekli iddia düzeyini karşılamamaktadır. Avrupa'da; AB, Avrupa Uzay Ajansı ve büyük Avrupa ülkelerinin (Almanya, İspanya, Fransa, İtalya ve Birleşik Krallık), 2020 ile 2023 yılları arasında yıl başına gerçekleştirdiği toplam harcama 2,8 milyar Euro iken, bu rakam ABD'de 7,3 milyar Euro ve Çin'de ise 2,3 milyar Euro'dur. Bu sebeple uzay alanında araştırma ve geliştirmeyi destekleyecek kamu yatırımlarını artırmak yönünde önemli bir ihtiyaç bulunmaktadır. Bu temelde finansa sınırlı erişim de, bir diğer neden olarak ifade edilmiştir. AB uzay şirketlerinin büyümesi, finansa sınırlı erişim ve kamu sözleşmeleri nedeniyle engellenmektedir. Uzay sektörü, yüksek teknoloji ve uzun yatırım döngüleri ile sermaye yoğunludur ve bu sebeple yüksek risk taşımaktadır. AB uyruklu şirketlerin ise, finansa sınırlı erişimleri nedeniyle büyümeleri mümkün olamamaktadır. Bu durum, AB uyruklu şirketleri büyüme finansmanına erişim için AB dışı piyasalara yönelmeye zorlamakta ve sonuçta bu şirketler AB uyruğunu kaybetmektedir. Hatta bu şirketlerin, özellikle AB'de geliştirilen teknolojiyi ve know-how'ı kazanan AB uyruklu olmayan büyük şirketler tarafından devralındığı tespit edilmiştir (European Commission, 2024b: 178). Ayrıca Avrupa uzay programları, ağır bir şekilde, AB dışından gelen kritik teknolojiye ve tedarikçilere bağımlıdır. Bu durum, AB'nin ekonomik

güvenliğini ve egemenliğini etkilemekte ve Avrupa uzay üretim sanayisinin rekabetçi konumunu etkilemektedir. (European Commission, 2024b: 180).

Bir diğer neden olarak ise, AB’de uzay sektörünün yönetiminin, AB’nin uzay sanayi altyapısının dağılmasını artıran, ulusal ve Birlik düzeylerinde çoklu kurumsal aktörlerin birlikte varlığıyla gerçekleşmesi olarak gösterilmiştir. Diğer taraftan Avrupa Uzay Ajansı ile AB arasında fon sağlama hususunda da farklılıklar bulunmaktadır. Uzay alanında önde gelen Avrupa kamu kurumu olan Avrupa Uzay Ajansı, üye ülkelerin ajansa finansal katkısına eşit olacak veya bu katkıdan daha az olacak şekilde bir miktar ile uzay programları için sanayi sözleşmeleri ile üye ülkelere yatırımını ifade eden “coğrafi dönüş” ilkesi temelinde faaliyet göstermektedir. Avrupa Uzay Ajansı tarafından yönetilen AB fonlu programlar ise, coğrafi dönüş ilkesi temelinde yürütülmemektedir. Bu programlara, açık rekabet ve mükemmellik temelinde, AB ihale ve finans kuralları uygulanmaktadır. Avrupa Uzay Ajansı’nın coğrafi dönüş ilkesi çerçevesinde finansal katkı sağlaması, üye ülkelerin uzay çalışmalarını hareketlendirmişse de, bu yöntem artık çağın gerekliliklerini karşılamamaktadır (European Commission, 2024b: 178-180).

Ayrıca AB hukukunda, uzay sektörü için yeknesak bir hukuki çerçeve bulunmamaktadır. Halihazırda tek bir Uzay Kanunu mevcut değildir ancak farklı hızlarda evrilen ve ticari aktörlerin Ortak Pazarın faydalarından yararlanmasını önleyen birçok farklı ulusal uzay kanunu bulunmaktadır. Bu sebeple Avrupa Komisyonu tarafından uyumlu bir yasal çerçeveyi oluşturacak, uzay piyasası işletmecileri için hukuki belirlilik ve sektörde eşit şartların oluşmasını sağlayacak bir AB Uzay Kanunu teklif edilmesi zorunlu hale gelmiştir. (European Commission, 2024b: 180).

Bir diğer neden olarak uzay ve askeri faaliyetler arasındaki koordinasyon ve sinerji, AB tarafından henüz tam olarak kullanılmamıştır. Uzaydaki varlık, Avrupa’nın egemenliği için ve izleme ve istihbarat dahil olmak üzere askeri operasyonlar için anahtar unsurdur. AB üye devletleri uzayı stratejik bir alan olarak kabul etse de, uzay varlığının korunması için strateji anlayışları değişmektedir. Mart 2023’te, Güvenlik ve Savunma için AB Uzay Stratejisi’nin kabulüyle AB, güvenlik ve savunma operasyonlarının desteklenmesinde uzayın kullanılmasını güçlendirmek ve uzay varlığını koruma derecesini genişletmek için uzay ve savunma arasında sinerji geliştirmeye başlamıştır (European Commission, 2024b: 180).

Draghi’nin raporundan sonra Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanan 29 Ocak 2025 tarihli “AB için Rekabetçilik Pusulası” başlıklı belgede de uzay çalışmalarının değer kazandığını görebilmekteyiz. Belgede, uzay yüksek teknoloji sektörünün 2030 yılına kadar dokuz kat büyümesinin beklendiği belirtilmiştir. Avrupa uzay sektörünün rekabetçiliğinin, Avrupa’nın yenilikçi start-up ve scale-up yatırımlarını destekleyerek ve uzay tedarik zincirinin dirençliliğini sağlamlaştırarak kamu harcamalarının daha iyi bir işbirliğiyle korunması gerekliliği ifade edilmiştir. Uzay Kanunu teklifinin bu minvalde, Birlik düzeyinde uzay faaliyetlerinin güvenliği, dirençliliği ve sürdürülebilirliği için gereklilikleri uyumlaştıracak ve ulusal mevzuattan kaynaklanabilecek dağınıklığı ortadan kaldıracak tedbirler paketi ile iç piyasadaki uzay faaliyetlerinin işletilmesini muhafaza edecek ve geliştirecek özellikte olması hedeflenmektedir (European Commission, 2025a:6).

C. Avrupa Komisyonu’nun Hazırlayacağı Olası Bir Uzay Kanunu Teklifinin Genel Çerçevesi

Yukarıdaki kısımlarda ifade edilen AB uzay sanayisindeki sorunların üstesinden gelebilmek ve AB’yi uluslararası uzay sektöründe daha rekabetçi hale getirebilmek için, uzay sektörüne yönelik olarak hazırlanacak teklifin kapsamının aşağıdaki konuları kapsayacağı düşünülmektedir:

1. mevzuattaki karmaşıklığı, dağılmayı ve çakışmayı azaltmak için Avrupa uzay yönetim çerçevesini reforme etmek, bu çerçevede üye devletler arasında ulusal uzay politikalarını daha iyi koordine etmek ve Birlik düzeyinde öncelikleri tanımlamak, Avrupa Uzay Ajansı’nda Komisyon tarafından temsil edilmek üzere AB’nin Avrupa Uzay Ajansı’na tam üyeliğini sağlamak, Avrupa Uzay Ajansı’nın yönetim çerçevesinin AB’nin ihale, mali ve güvenlik kurallarıyla daha derinden uyum sağlamasını teşvik etmek
2. Avrupa Uzay Ajansı’nın coğrafi dönüş ilkesini kaldırmak, AB ihale kurallarını modernize etmek
3. Ortak AB yasama çerçevesiyle uzaya yönelik işleyen Ortak Pazar kurmak. Üye devletlerde ortak standartları kabul etmek ve lisanslama gerekliliklerini uyumlaştırmak
4. Çok amaçlı bir Avrupa Uzay Fonu kurmak. Böylece Komisyon’un anahtar müşteri olarak hareket etmesini ve diğer aktörlerle birlikte AB pazarındaki uzay hizmetleri ve ürünlerini satın almasını sağlamak, üye devletler arasında çok taraflı projeleri finanse ederek uzay politikasının ulusallaşmasının AB açısından riskini azaltmak
5. Uzay KOBİ’leri, start-up ve scale up şirketleri için finansal erişimi iyileştirmek
6. Avrupa uzay şirketlerinin gerekli büyümesini sağlamaya yönelik uzay sektörü için hedeflenen tercih kurallarını kabul etmek. Böylece AB’de yerleşik şirketlerin fona erişimini sağlayacak mali ortamı ve kabul edilebilirlik kriterlerine dair teşvik mekanizmasını oluşturmak.
7. Üye devletler düzeyinde ve Birlik düzeyinde işbirliği, fonlama ve kaynakların toplanması ile uzay araştırmalarını desteklemek ve inovasyon için ortak stratejik öncelikleri tanımlamak.

8. Uzak ve savunma sanayi politikaları arasındaki sinerjiden faydalanmak.
9. Uzaya müstakil erişimi sağlamayı amaçlayan, fırlatıcılar için AB politika çerçevesini oluşturmak.
10. Uluslararası uzay piyasalarına daha fazla erişimi teşvik etmek. Uluslararası ihalelere adil erişimi sağlamak ve ticaret engellerini kaldırmaya yönelik çabaları artırmak. AB'nin stratejik menfaatlerini teşvik etmek ve AB uyruklu şirketlere, yeni ve gelişmekte olan uzay piyasalarına ihracatta bulunmalarına yardımcı olacak "AB Uzay Diplomasisi"ni oluşturmak ve işlevsel hale getirmek (European Commission, 2024b: 183-185).

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, AB hukukunda kabul edilmesi öngörülen Uzak Kanunu ile ilgili gelişmeler, AB hukuku perspektifinden ele alınmıştır. AB hukukunda uzay alanındaki çalışmalar son birkaç yıldır yoğunlaşmışsa da, Komisyon tarafından bir uzak kanunu teklifinin yapılarak yasama prosedürünün başlatılması gerekliliği strateji belgelerinde sıklıkla dile getirilmektedir. Bunun gerekçeleri arasında, Eylül 2024'te Draghi tarafından hazırlanan raporda belirtildiği üzere, AB'nin uluslararası uzay sektöründe ABD ve Çin'e karşı rekabetçiliğini kaybetmeye başlaması, AB'de yeknesak bir mevzuatın oluşmaması ve bunun sonucunda uzay sektöründe faaliyet gösteren şirketlerin bu sektörde Ortak Pazar'ın faydalarından istifade edememesi, ticari şirketlerin fona erişiminde sıkıntılar yaşaması, üye devletler arasında uzay alanında farklı ulusal politikalar bulunması gibi nedenler gösterilmiştir. Tüm bu sorunların üstesinden gelebilecek ve AB hukukunda uzay sektörüne yönelik olarak yeknesak bir uygulamayı başlatarak Birlik uzay ortak pazarının oluşmasını sağlayacak ve böylece AB'yi ABD ve Çin gibi rakiplerine karşı daha rekabetçi hale getirebilecek bir uzak kanununa acil ihtiyaç bulunduğu gözükmektedir.

IV. SONUÇLAR

Çalışmanın ana sonucu olarak, AB'nin uzay sektöründe yeknesak bir mevzuata sahip olmaması ve farklı ulusal uzay politikaları gibi nedenlerle, uluslararası uzay sektöründe rekabetçiliğini kaybetmeye başladığı görülmüştür. Finansa erişim, lisanslama gereklilikleri, kamu yatırımlarının artırılması gibi çeşitli bölümlerden oluşacak bir AB Uzay Kanunu'nun kabulü ile AB müktesebatında düzenlemeye gidilerek uzay sektöründe AB Ortak Pazarının oluşturulması gerekliliği hasıl olmuştur. Böylece, AB için Rekabetçilik Pusulası'nda 2025 yılının ikinci çeyreğinde ilan edileceği belirtilen AB uzak kanunu teklifi ile ilgili gelişmelerin takip edilmesi, AB uzay sektörünün nasıl şekilleneceğinin anlaşılması açısından önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [11] European Parliament. (2025) EU space law: In "A new plan for Europe's sustainable prosperity and competitiveness. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-europe-fit-for-the-digital-age/file-eu-space-law>
- [12] European Commission. (2025a) A Competitiveness Compact for the European Union. [Online]. Available: https://commission.europa.eu/document/download/10017eb1-4722-4333-add2-e0ed18105a34_en
- [13] European Commission. (2024a) The future of European competitiveness – Part A: A Competitiveness Strategy for Europe. [Online]. Available: https://commission.europa.eu/document/download/97e481fd-2dc3-412d-be4c-f152a8232961_en
- [14] European Commission. (2024b) The future of European competitiveness – Part B: In-depth analysis and recommendation. [Online]. Available: https://commission.europa.eu/document/download/ec1409c1-d4b4-4882-8bdd-3519f86bbb92_en?filename=The%20future%20of%20European%20competitiveness%20In-depth%20analysis%20and%20recommendations_0.pdf
- [15] Regulation (EU) 2021/696 of the European Parliament and of the Council of 28 April 2021 establishing the Union Space Programme and the European Union Agency for the Space Programme and repealing Regulations (EU) No 912/2010, (EU) No 1285/2013 and (EU) No 377/2014 and Decision No 541/2014/EU, PE/21/2021/INIT, Official Journal of the European Union, L 170, 12.5.2021, p. 69–148. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/696/oj/eng>
- [16] European Commission. (2022) An EU Approach for Space Traffic Management An EU contribution addressing a global challenge. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=JOIN:2022:4:FIN>
- [17] European Commission. (2023) European Union Space Strategy for Security and Defence. [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=JOIN\(2023\)9&lang=en](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=JOIN(2023)9&lang=en)
- [18] European Parliament. (2023) EU space strategy for security and defence. [Online]. Available: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/754598/EPRS_BRI\(2023\)754598_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/754598/EPRS_BRI(2023)754598_EN.pdf)
- [19] CASSINI. (n.d.) The European Union's Space Entrepreneurship Initiative. [Online]. Available: <https://www.cassini.eu/cassini-initiative>
- [20] European Union. (n.d) Strategic Technologies for Europe Platform. [Online]. Available: https://strategic-technologies.europa.eu/index_en
- [21] European Commission. (2025b) Commission work programme 2025 - Moving forward together: A Bolder, Simpler, Faster Union. [Online]. Available: https://commission.europa.eu/document/download/f80922dd-932d-4c4a-a18c-d800837fbb23_en?filename=COM_2025_45_1_EN.pdf
- [22] Ursula von der Leyen. (2024) Mission Letter to Andrius Kubilius Commissioner-designate for Defence and Space. [Online]. Available: https://commission.europa.eu/document/download/1f8ec030-d018-41a2-9759-c694d4d56d6c_en?filename=Mission%20letter%20-%20KUBILIUS.pdf

- [23] Ursula von der Leyen. (2024) Political Guidelines for the Next European Commission. [Online]. Available: https://commission.europa.eu/document/download/e6cd4328-673c-4e7a-8683-f63ffb2cf648_en?filename=Political%20Guidelines%202024-2029_EN.pdf
- [24] Consolidated Version of Treaty on Functioning of the European Union. (2012) [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:12012E/TXT:en:PDF>

Empowering Nations in Space Programs: Rwanda's Role in Advancing International Space Law

Jacques Kabano^{a*}, Edmond Saye Kamei^a

^aUniversity of Lay Adventists of Kigali, School of Law, Kigali/Rwanda

^{*}Corresponding Author: j.kabano@unilak.ac.rw

ABSTRACT

The expansion of space activities presents unprecedented opportunities for global development, with an increasing number of developing nations striving to participate in the space economy. Rwanda stands out as a leading example in Africa, actively engaging in space initiatives to address national and regional development challenges. By becoming a signatory to the Artemis Accords, Rwanda has demonstrated its commitment to international principles promoting the peaceful and cooperative exploration of outer space. This aligns with its adherence to foundational United Nations space treaties, including the Outer Space Treaty, which underscores equitable access and the non-appropriation of celestial resources. This paper explores Rwanda's role in advancing space activities while navigating the complex interplay between national aspirations and international obligations. It delves into Rwanda's strategic efforts, such as its satellite programs, which aim to drive innovation in sectors like agriculture, education, and telecommunications. The discussion also addresses challenges faced by developing nations, including limited funding, technological and legal disparities, and the need for capacity building. Lastly, this paper advocates for inclusive strategies that integrate emerging space players, ensuring that space exploration and its benefits are shared equitably across all nations.

Keywords: *Artemis accords, Exploration of outer space, Developing nations, Global space ecosystem, United Nations space treaties.*

I. INTRODUCTION

Space, once the exclusive domain of a select few technologically advanced nations, is now evolving into a frontier accessible to all of humanity. As the world looks beyond Earth's boundaries, fostering inclusivity in space exploration and utilization has become increasingly critical. Ensuring that the benefits of space technology—ranging from enhanced communication and disaster management to climate monitoring and agricultural improvements—are equitably distributed is not only a moral obligation but also a pragmatic necessity for the sustainable and peaceful use of outer space.

Inclusivity in space is fundamental to fostering equitable global development, advancing scientific knowledge, and maintaining outer space as a shared domain for the benefit of all humankind. Through collaborative initiatives, investment in capacity building, and policy support, the international community can ensure that no nation is left behind in the pursuit of space exploration [1].

Rwanda, a small landlocked country in East Africa, has rapidly positioned itself as a leader in the region's space sector. In recent years, the nation has made significant strides in harnessing space technology to drive socio-economic development [2]. The establishment of the Rwanda Space Agency (RSA) in 2020 marked a pivotal milestone in the country's journey toward becoming a hub for space innovation in Africa [3]. Rwanda's space initiatives are strategically focused on satellite technology, space education, and the development of a sustainable space industry to stimulate economic growth and job creation. The country's commitment to inclusivity is evident in its collaborations with international partners and regional organizations to build capacity and share knowledge. Notably, Rwanda has partnered with the African Union and the European Space Agency (ESA) to enhance its space capabilities and contribute to the continent's broader space agenda [4]. By prioritizing inclusivity, Rwanda is not only advancing its own development goals but also serving as a model for other developing nations in the region.

Rwanda's space endeavors are firmly rooted in its adherence to international space law. The country has ratified key treaties, including the Outer Space Treaty of 1967, which establishes the fundamental principles of space law, such as the prohibition of nuclear weapons in space and the principle that space exploration should benefit all countries [5]. Additionally, Rwanda has ratified the Rescue Agreement of 1968, the Liability Convention of 1972, and the Registration Convention of 1975, which collectively provide a framework for responsible space activities, astronaut protection, and liability in space-related incidents[6]. By embracing these treaties, Rwanda has demonstrated its commitment to international norms, reinforcing its reputation as a responsible actor in the global space community.

Rwanda's strategic investments in satellite technology further underscore its emergence in the space domain. In 2019, the country launched its first satellite, RwandaSat-1, in collaboration with the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) and the University of Tokyo [7]. Designed for Earth observation, RwandaSat-1 has played a crucial role in applications such as urban planning, disaster management, and environmental monitoring. Building on this success, Rwanda continues to invest in satellite technology, with plans to launch additional satellites in the coming years. These investments align with the nation's broader strategy to cultivate a robust space industry that drives economic growth, creates employment opportunities, and addresses critical national challenges.

Beyond its national advancements, Rwanda is actively working to strengthen regional and international collaboration in space activities. As part of its commitment to fostering a knowledge-based economy, the country has been engaging with regional space programs and international space agencies to leverage expertise, technology transfer, and capacity-building initiatives. Rwanda's participation in the African Space Policy and Strategy framework highlights its dedication to a collective approach toward space exploration and utilization across the continent [8].

Rwanda has rapidly positioned itself as a leader in the region's space sector. In recent years, the nation has made significant strides in harnessing space technology to drive socio-economic development. The establishment of the Rwanda Space Agency (RSA) in 2020 marked a pivotal milestone in the country's journey toward becoming a hub for space innovation in Africa [9]. Rwanda's space initiatives are strategically focused on satellite technology, space education, and the development of a sustainable space industry to stimulate economic growth and job creation. The country's commitment to inclusivity is evident in its collaborations with international partners and regional organizations to build capacity and share knowledge. Notably, Rwanda has partnered with the African Union and the European Space Agency (ESA) to enhance its space capabilities and contribute to the continent's broader space agenda [10]. By prioritizing inclusivity, Rwanda is not only advancing its own development goals but also serving as a model for other developing nations in the region.

Rwanda's space endeavors are firmly rooted in its adherence to international space law. The country has ratified key treaties, including the Outer Space Treaty of 1967, which establishes the fundamental principles of space law, such as the prohibition of nuclear weapons in space and the principle that space exploration should benefit all countries [11]. Additionally, Rwanda has ratified the Rescue Agreement of 1968, the Liability Convention of 1972, and the Registration Convention of 1975, which collectively provide a framework for responsible space activities, astronaut protection, and liability in space-related incidents [12]. By embracing these treaties, Rwanda has demonstrated its commitment to international norms, reinforcing its reputation as a responsible actor in the global space community.

Rwanda's strategic investments in satellite technology further underscore its emergence in the space domain. In 2019, the country launched its first satellite, RwandaSat-1, in collaboration with the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) and the University of Tokyo [13]. Designed for Earth observation, RwandaSat-1 has played a crucial role in applications such as urban planning, disaster management, and environmental monitoring. Building on this success, Rwanda continues to invest in satellite technology, with plans to launch additional satellites in the coming years. These investments align with the nation's broader strategy to cultivate a robust space industry that drives economic growth, creates employment opportunities, and addresses critical national challenges.

Beyond its national advancements, Rwanda is actively working to strengthen regional and international collaboration in space activities. As part of its commitment to fostering a knowledge-based economy, the country has been engaging with regional space programs and international space agencies to leverage expertise, technology transfer, and capacity-building initiatives. Rwanda's participation in the African Space Policy and Strategy framework highlights its dedication to a collective approach toward space exploration and utilization across the continent [14].

In addition, Rwanda has positioned itself as a key advocate for inclusive space policies within global forums such as the United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS). By championing the inclusion of developing nations in space governance, Rwanda aims to bridge the technological divide and ensure that the benefits of space exploration reach all corners of the world. The country is also exploring

partnerships with leading spacefaring nations to further enhance its capabilities in satellite development, space research, and commercial space applications [15].

II. METHODOLOGY

This study is built on a qualitative research design, focusing on understanding the "why" and "how" behind Rwanda's space program rather than just crunching numbers. We used a combination of descriptive analysis to paint a clear picture of what's happening and case study methodology to dive deep into specific examples. To make sense of Rwanda's progress, we examined it from multiple angles: its laws and policies, its investments in technology, its partnerships with other countries, and how it's learning from other nations that have already made strides in space exploration.

III. FINDINGS AND DISCUSSION

INCLUSIVITY IN SPACE MATTERS

The exploration and utilization of space have historically been dominated by a select group of nations with advanced technological capabilities and substantial financial resources. However, as humanity expands its presence in the cosmos, the importance of inclusivity in space activities has become increasingly evident. Inclusivity in space refers to the equitable participation of all nations, irrespective of their economic or technological status, in space exploration, research, and policy-making. This concept is not merely a moral imperative but also a practical necessity for ensuring the sustainable and peaceful use of outer space.

In Africa, the movement toward inclusivity in space activities has gained significant traction in recent years, driven by the continent's recognition of the transformative potential of space technologies. The establishment of the African Space Agency (AfSA) in 2018 marked a crucial milestone in fostering regional collaboration and enhancing space capabilities across the continent [15]. African nations are increasingly leveraging space technology to address critical challenges such as food security, disaster management, and environmental monitoring. For instance, satellite imagery is employed to track deforestation, monitor weather patterns, and enhance agricultural productivity [9].

Rwanda's space program extends beyond technological advancements; it prioritizes human capital development. The country has invested in STEM education and fostered partnerships with international organizations such as JAXA and the European Space Agency (ESA) to build local expertise [12]. For instance, Rwandan students have developed artificial intelligence (AI) algorithms for satellite data analysis, underscoring Rwanda's commitment to fostering innovation and talent in the space sector [9]. These initiatives position Rwanda as a model for other developing nations seeking to utilize space technology for sustainable growth.

Despite these advancements, challenges persist in achieving true inclusivity in space. Developing nations often encounter significant barriers, including limited funding, technological gaps, and a shortage of skilled personnel. However, these challenges also present opportunities for international collaboration and capacity-building. Rwanda's partnerships with global space agencies and private sector entities have facilitated progress in overcoming these barriers, strengthening its position as a leader in Africa's space sector.

The African Space Policy and Strategy offers a framework for regional cooperation, enabling African nations to collectively harness the benefits of space technology for sustainable development [16]. By fostering international collaboration, addressing systemic challenges, and investing in capacity-building, the global community can cultivate a more inclusive and sustainable future in space exploration.

Inclusivity in space exploration has become a fundamental theme in the global discourse on space utilization and governance. As space activities increasingly impact economic, technological, and security domains, there is a growing recognition of the need to ensure equitable access to space resources and opportunities for all nations, irrespective of their economic or technological status. The United Nations has played a pivotal role in promoting inclusivity through treaties such as the Outer Space Treaty of 1967, which asserts that outer space is the "province of all mankind" and should be used exclusively for peaceful purposes [17]. Additionally, initiatives such as the Sustainable Development Goals (SDGs), established in 2015, further emphasize the importance of leveraging space technology to address global challenges, including climate change, poverty, and inequality [8]. Despite these efforts, significant disparities persist, as developing nations often lack the necessary resources and infrastructure to engage meaningfully in space activities. Addressing this gap requires a concerted global effort, including capacity-building programs, technology transfers, and inclusive policy frameworks [9].

Rwanda has emerged as a leader in Africa's efforts to promote inclusivity in space exploration. The country's proactive approach is demonstrated through its ratification of key international treaties, including the Outer Space Treaty and the Artemis Accords, reinforcing its commitment to peaceful and cooperative space activities [12]. Domestically, Rwanda has established the

Ensuring inclusivity in space exploration is critical to guaranteeing that the benefits of space activities are shared equitably among all nations. Rwanda's active participation in space initiatives underscores the potential of developing nations to contribute meaningfully to the global space ecosystem. By fostering international collaboration, addressing systemic challenges, and investing in capacity building, the global community can work toward a more inclusive and sustainable future in space exploration.

COLLABORATION AND PARTNERSHIP: CHALLENGES AND SOLUTIONS

Collaboration and partnerships are fundamental to the advancement of space exploration and technology. In an era where space activities are increasingly globalized, no single nation or organization can achieve significant milestones in isolation. Rwanda's emergence in the space sector has been significantly bolstered by its commitment to fostering international and regional collaborations. However, like many nations venturing into space, Rwanda faces several challenges in establishing and maintaining effective partnerships. This section explores the importance of collaboration in the space sector, the challenges Rwanda encounters, and potential solutions to overcome these obstacles.

Collaboration in the space sector is essential for several reasons. First, space exploration and technology development require substantial financial, technical, and human resources, which are often beyond the capacity of individual nations, particularly developing countries such as Rwanda. By partnering with more advanced space-faring nations, Rwanda can gain access to critical expertise, technology, and funding to accelerate its space programs. For instance, Rwanda's collaboration with the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) and the University of Tokyo facilitated the successful launch of its first satellite, RwandaSat-1, in 2019 [14].

Second, collaboration fosters knowledge sharing and capacity building, both of which are critical for the sustainable development of space capabilities. Through strategic partnerships, Rwanda can train its scientists, engineers, and policymakers, thereby cultivating a skilled workforce to drive its space ambitions. Additionally, international cooperation ensures the equitable sharing of space resources and benefits, allowing nations, regardless of their economic or technological status, to participate in and benefit from space activities.

Despite these benefits, developing nations such as Rwanda face several challenges in establishing and maintaining effective collaborations in the space sector. One of the primary obstacles is the lack of technical expertise and infrastructure. As a relatively new entrant into the space domain, Rwanda has limited experience and resources compared to more established space-faring nations. This disparity can result in imbalanced partnerships, where Rwanda remains heavily reliant on external entities for technology and expertise, thereby limiting its ability to take a leading role in collaborative projects.

Another significant challenge is financial constraints. Space programs are capital-intensive, requiring substantial investments in research, development, and infrastructure. While Rwanda has made commendable efforts to allocate resources to its space initiatives, the country's limited budget compared to global space powers can hinder its ability to fully participate in high-cost projects. This financial gap can also affect Rwanda's bargaining power in international partnerships, potentially leading to unfavorable terms or limited access to critical technologies.

Additionally, regulatory and bureaucratic hurdles can pose challenges to effective collaboration. Space activities are governed by complex international laws and regulations, which can be difficult for emerging space nations to navigate. Rwanda's efforts to adhere to international space treaties and develop national space legislation are commendable, but the process can be time-consuming and resource-intensive. Furthermore, differences in regulatory frameworks between partner countries can create complications in collaborative projects, leading to delays or disputes.

To address these challenges, Rwanda can adopt several strategies to strengthen its collaborations and partnerships in the space sector. One key solution is to focus on capacity building and education. By investing in space science and technology education, Rwanda can develop a skilled workforce that can actively contribute to collaborative projects. Partnerships with international universities and space agencies can facilitate knowledge transfer and provide Rwandan students and professionals with opportunities for advanced training and research. For example, Rwanda could establish joint research programs with institutions like the European Space Agency (ESA) or the African Space Agency (AfSA) to enhance its technical capabilities.

Another solution is to leverage regional and international partnerships to pool resources and share costs. Rwanda can collaborate with other African nations through initiatives like the African Space Policy and Strategy, which promotes regional cooperation in space activities[15]. By working together, African countries can collectively invest in space infrastructure, such as satellite launch facilities or data centers, reducing the financial burden on individual nations. Additionally, Rwanda can seek funding from

international organizations, such as the United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA), to support its space programs and collaborative projects.

To address regulatory challenges, Rwanda can streamline its national space legislation and actively participate in international forums to shape space policies that are inclusive and supportive of emerging space nations. By aligning its regulatory framework with international standards, Rwanda can facilitate smoother collaborations with other countries and organizations. Furthermore, Rwanda can advocate for the simplification of bureaucratic processes in international space agreements, making it easier for developing nations to participate in global space initiatives.

Finally, Rwanda can focus on niche areas of space technology where it can make unique contributions. For instance, Rwanda's expertise in telecommunications and information technology can be leveraged to develop innovative satellite applications for communication and data analysis. By specializing in specific areas, Rwanda can position itself as a valuable partner in international collaborations, attracting investment and expertise from more advanced space-faring nations.

LESSONS FROM EMERGING NATIONS

As Rwanda continues to carve out its place in the global space arena, there is much to learn from other emerging nations that have successfully developed their space programs. Countries such as India, South Africa, and Brazil have demonstrated that with strategic planning, investment in education, and international collaboration, even nations with limited resources can achieve remarkable success in space exploration and technology. This section explores the key lessons Rwanda can draw from these emerging space nations, focusing on their approaches to capacity building, innovation, and international partnerships.

1. India: Leveraging Low-Cost Innovation and Strategic Partnerships

India's space program, spearheaded by the Indian Space Research Organisation (ISRO), is a prime example of how a developing nation can achieve global recognition in space technology. One of the most significant lessons from India is its ability to innovate cost-effectively. India's Mars Orbiter Mission (Mangalyaan), launched in 2013, was achieved at a fraction of the cost of similar missions by other space agencies, demonstrating that ingenuity and resourcefulness can overcome financial constraints [16]. Rwanda can emulate this approach by focusing on low-cost, high-impact space projects that address specific national and regional needs, such as satellite-based agriculture monitoring or disaster management.

Another key lesson from India is the importance of strategic international partnerships. ISRO has collaborated with space agencies such as NASA, ESA, and JAXA to share technology, expertise, and resources. These partnerships have enabled India to accelerate its space program and gain access to advanced technologies. Rwanda can similarly benefit from forging strong partnerships with established space-faring nations and organizations, leveraging their expertise to build its own capabilities.

2. South Africa: Building a Robust Space Ecosystem

South Africa's space program, led by the South African National Space Agency (SANSA), offers valuable lessons in building a comprehensive space ecosystem. South Africa has focused on capacity building through education and research, establishing institutions such as the Space Science Centre at the University of the Western Cape to train the next generation of space scientists and engineers [17]. Rwanda can adopt a similar approach by investing in space science education and research, creating a pipeline of skilled professionals who can drive its space ambitions.

3. Brazil: Regional Collaboration and Niche Specialization

Brazil's space program, managed by the Brazilian Space Agency (AEB), highlights the importance of regional collaboration and niche specialization. Brazil has been a key player in the Union of South American Nations (UNASUR) space initiatives, promoting regional cooperation in space activities. This approach has allowed Brazil to pool resources with neighboring countries, reducing costs and enhancing the impact of its space programs [16]. Rwanda can draw from this experience by actively participating in African space initiatives, such as the African Space Agency (AfSA), and collaborating with other African nations to develop shared space infrastructure and capabilities.

IV. RESULTS

The findings of this study underscore the critical importance of inclusivity, collaboration, and strategic planning in the development of space programs, particularly for emerging nations such as Rwanda. Through a detailed examination of Rwanda's legislative contributions, strategic investments in satellite technology, and active participation in shaping African space policy, this research highlights the country's remarkable progress within the space sector. Additionally, by drawing valuable insights from other emerging space

nations, this study offers a roadmap for Rwanda to further enhance its space capabilities and contribute meaningfully to global space exploration.

Rwanda's commitment to inclusivity in space activities is evident in its adherence to international space treaties, its efforts to promote regional cooperation, and its focus on leveraging space technology for socio-economic development. By ratifying key international agreements and establishing the Rwanda Space Agency (RSA), the country has positioned itself as a responsible and forward-thinking actor within the global space community. The successful launch of RwandaSat-1, alongside strategic investments in satellite technology, demonstrates Rwanda's potential to address national and regional challenges through space-based solutions.

However, Rwanda's journey in the space sector is not without challenges. Limited technical expertise, financial constraints, and regulatory hurdles present significant obstacles to the realization of the country's space ambitions. To overcome these challenges, Rwanda can draw inspiration from the experiences of other emerging space nations, including India, South Africa, Brazil, the United Arab Emirates (UAE), and Israel. These countries have demonstrated that, through visionary leadership, strategic partnerships, and a strong emphasis on innovation, even nations with limited resources can achieve remarkable success in space exploration.

In conclusion, Rwanda's emergence in the space sector is a testament to the country's resilience, strategic vision, and commitment to leveraging space technology for sustainable development. By addressing the challenges of limited resources and fostering a culture of innovation and collaboration, Rwanda has the potential to become a leader in Africa's space sector and a valuable contributor to global space exploration. As the country continues to build its space capabilities, it is essential to remain focused on inclusivity, ensuring that the benefits of space technology are shared equitably and contribute to the well-being of all Rwandans.

REFERENCES

- [1] O. Aganaba-Jeanty, Africa's Participation in Outer Space Affairs: Towards a New Space Agenda. *Space Policy*, vol. 42, pp. 37-44, 2017.
- [2] International Space Policy Institute, *Emerging Space Nations: Strategies for Success*, 2022.
- [3] World Bank, *Investing in Space: Capacity Building and Infrastructure Development in Africa*, 2022.
- [4] O. Aganaba-Jeanty, "Africa's participation in outer space affairs: Towards a new space agenda," *Space Policy*, vol. 42, pp. 37-44, 2017.
- [5] African Union, "Africa Space Leadership Congress 2021," presented at the Africa Space Leadership Congress, 2021.
- [6] United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA), "Promoting space-based solutions for sustainable development," 2021. [Online]. Available: <https://www.unoosa.org>.
- [7] Rwanda Space Agency, "Rwanda's space strategy and technological advancements," 2020. [Online]. Available: <https://www.rsa.gov.rw>.
- [8] African Union, "African space policy and strategy: Towards space development in Africa," 2021. [Online]. Available: <https://www.au.int>.
- [9] United Nations, "Treaty on principles governing the activities of states in the exploration and use of outer space, including the Moon and other celestial bodies," 1967. [Online]. Available: <https://www.unoosa.org>.
- [10] Rwanda Ministry of ICT and Innovation, "National space research and innovation strategy," 2023. [Online]. Available: <https://www.minict.gov.rw>.
- [11] Rwanda Education Board, "STEM education initiatives and capacity building in Rwanda," 2022. [Online]. Available: <https://www.reb.rw>.
- [12] World Economic Forum, "Bridging the Space Access Gap: Strategies for Global Inclusion," 2020. [Online]. Available: <https://www.weforum.org>.
- [13] NASA, "The Artemis Accords: Principles for cooperation in the civil exploration and use of the Moon, Mars, and beyond," 2022. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov>.
- [14] United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA), "International space law treaties and principles," 2021. [Online]. Available: <https://www.unoosa.org>.
- [15] United Nations, "United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space," 2022. [Online]. Available: <https://www.unoosa.org>.
- [16] European Space Policy Institute (ESPI) "ESPI Report 79 - Emerging Spacefaring Nations - Full Report, June 2021.
- [17] Deborah Faboade, Excerpts from the BRICS Heads of Space Agencies Meeting, 2024, [https://spaceinafrica.com/2024/05/25/excerpts-from-the-brics-heads-of-space-agencies-meeting/accessed 12 January 2025](https://spaceinafrica.com/2024/05/25/excerpts-from-the-brics-heads-of-space-agencies-meeting/accessed%2012%20January%202025).

***Reviewing the Activities of the Commonwealth of Independent States in the Context
of the Peaceful Exploration and Use of Outer Space, from the Perspective of
Sustainable Access to Space for All, in the 25th Year of the 3rd Millennium.***

*Maralgül Erol**

Ankara Bar Association.

*Corresponding Author: advocate_maral@hotmail.com

ABSTRACT

Space; remaining as a common area without being divided into borders, nations and titles, has captured the attention of scientists, researchers, writers, and curious individuals from all over the World. The Soviet Union, through its space explorations, was recognized as a global leader in this field, becoming both a symbol of a future that stretched the imagination and a very tangible reality. The space race brought with it new challenges, such as the "Kessler Syndrome." The collapse of the Soviet Union and the establishment of the Commonwealth of Independent States led to a reshaping of the global order and the emergence of new international collaborations in the field of space activities. Along with this process, key issues such as the peaceful use of space and the sustainability of access to space have come to the forefront. Although space has transitioned from being a domain of state sovereignty to one accessible to private companies, today, access to space remains largely limited to wealthy and developed countries. This situation raises the question of what opportunities for access to space exist for countries without space programs or with limited budgets. Ensuring access to space for all is not only of great importance from ethical and sociological perspectives, but also from technological and scientific standpoints. Assigning scientific experiments in space to specific countries could result in other countries falling behind in their scientific progress. In this context, achieving global peace and ensuring that space is used exclusively for peaceful purposes, with discoveries allocated to all of humanity, should remain one of the fundamental principles of global cooperation and international law.

Keywords: CIS, Peace, Space, Sustainability, USSR.

I. THE ORIGIN: THE SPACE PROGRAM OF THE USSR

Is it possible to claim confidently that modern space exploration is, in many ways, a continuation of the legacy of the Soviet Union's space program, which played a key role in shaping the foundations of space research and technology? After my research, I concluded that we have a reasonable basis to do so. To substantiate my conclusion, I propose a brief historical overview. The space program of the Union of Soviet Socialist Republics (USSR) began in 1921 with the establishment of the Gas Dynamics Laboratory under the Workers' and Peasants' Red Army (RKKA). Notable milestones in Soviet space exploration include the launch of Sputnik 1 on October 4, 1957—the first artificial Earth satellite—and the pioneering flight of Yuri Gagarin, the first human in space, on April 12, 1961. These landmark events not only advanced humanity's understanding of space but also underscored the Soviet Union's significant contributions to space exploration. In commemoration of the fiftieth anniversary of human spaceflight, the United Nations General Assembly, through its resolution A/RES/65/271, designated April 12 as the International Day of Human Space Flight, beginning in 2011. On the same date, Russia observes Cosmonautics Day, a significant occasion honoring the first human spaceflight. This day marks the 1961 mission of cosmonaut Yuri Gagarin, who made his historic journey aboard the Vostok-1 spacecraft from the Baikonur Cosmodrome.

However, these accomplishments represent only a portion of the USSR's achievements in space exploration. Among other significant milestones, notable successes include the launch of the first satellite carrying a living organism, the dog Laika, as well as the successful landing of the Luna-2 spacecraft on the Moon's surface. Additionally, the USSR achieved the first successful imaging of the far side of the Moon with the Luna-3 mission. The Soviet Union was also a pioneer in spacecraft docking and the launch of orbital

stations, such as Salyut-1 and MIR. The inaugural flight of the Voskhod-1 multi-seat spacecraft facilitated the simultaneous placement of multiple individuals into orbit. Furthermore, the frontiers of cosmonautics were expanded by the first spacewalk conducted by Alexei Leonov. In 1963, Soviet cosmonaut Valentina Tereshkova made history as the first female cosmonaut, marking a significant step toward gender equality in the space industry. This milestone served as an inspiring example for other nations striving to improve the status of women in science and technology. Today, the United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA) is actively implementing the Space4Women initiative, which aims to empower women in the space sector. The Space4Women project seeks to ensure that by 2030, women and girls will have equitable access to the benefits of space exploration, while playing an active and equal role in space science, technology, innovation, and research. On February 3, 1966, the USSR achieved the first successful soft landing on the Moon and the transmission of panoramic images from its surface. These accomplishments, along with other pioneering achievements in space exploration, were made possible by the robust scientific foundation that existed in the Soviet Union, particularly in the fields of physics and engineering. Key figures such as Sergei Korolev played an instrumental role in the planning and execution of these space programs.

The USSR's space program officially ended with the dissolution of the Soviet Union. The achievements in space exploration accomplished by the Soviet Union during its existence have left a lasting impact on the history of global technological advancement. It established itself as a global leader in this field, and becoming symbols of a futuristic, but at the same time very real future.

After the collapse of the USSR in 1991, the achievements and legacy of Soviet cosmonautics continued to influence Russian space exploration. Drawing on the experience and accomplishments of the Soviet Union, Russian cosmonautics has upheld and further developed high standards in space exploration, maintaining its prominent position on the global stage. This ongoing leadership is demonstrated through several key space enterprises of the Russian Federation, including the Rocket and Space Corporation Energia, which was founded in 1946 and has been instrumental in advancing rocket technology. Additionally, Russia's development of the multifunctional personal satellite communication system "Gonets" highlights its continued innovation in satellite communication. Furthermore, the Lavochkin Research and Production Association, a major entity within the Russian rocket and space industry, plays a crucial role in the development of space technologies, reinforcing Russia's sustained contribution to the global space exploration effort. These enterprises are central to Russia's continued influence and prominence in the field of space exploration.

These continued advancements are particularly evident in space technologies such as the three-stage medium-class Soyuz launch vehicles, originally developed in the USSR. The Mir multi-module orbital station, which operated in near-Earth space from February 20, 1986, to March 23, 2001, remains a significant example of Soviet space heritage. Building on this legacy, Russia plans to establish a new orbital station, the Russian Orbital Station (ROS).

The space policy of the USSR was focused on peaceful space exploration and fostering global cooperation. As Soviet cosmonaut Valery Nikolaevich Kubasov remarked, *"Space belongs to all people... We are ready for any cooperation in space and on Earth with those who strive for peace and progress on our mother planet."* These words serve as a symbol that, regardless of the passage of time and shifts in the political landscape, the ultimate goal remains the unification of humanity for the common good, progress, and peace—both on Earth and beyond.

II. THE SPACE RACE AND THE KESSLER SYNDROME: THREAT TO ACCESS TO SPACE AND ISSUES OF ITS PEACEFUL USE

A. Competition and the Space Race

As is often the case, "primacy can lead to rivalry," and this rivalry extended to the space sector. The Soviet Union's multiple achievements in space exploration did not go unnoticed by other nations. With each new milestone and every advancement in humanity's exploration of space, competition intensified. By the mid-20th century, the so-called "Space Race" began, marking a pivotal phase in the history of space exploration. This period not only became crucial to our understanding of the universe but also gave rise to the global issue of "Space Debris."

A pertinent question arises: how did humanity manage to pollute such vast and seemingly unbounded space? Was it not enough for humanity to pollute the planet itself? According to United Nations statistics, 11 million tons of plastic are discarded into the world's oceans each year. If current trends continue, by 2040, up to 29 million tons of plastic waste could be introduced into the oceans annually—equating to 50 kilograms of waste for every meter of coastline worldwide.

However, it is important to note that space debris is not primarily composed of plastic. The majority of orbital debris consists of human-made objects, such as fragments of spacecraft, tiny paint particles from vehicles, rocket parts, defunct satellites, and remnants from explosions of objects in orbit. One notable example is the collision between the non-functioning Soviet satellite Cosmos-2251 and the active Iridium-

33 spacecraft, which generated a significant amount of space debris. These objects travel at extremely high speeds, exacerbating the problem. According to the latest report from the European Space Agency (ESA) on the space environment, published on July 19, 2024, approximately 35,000 objects are currently tracked by space monitoring networks. Of these, about 9,100 are active satellites, while the remaining 26,000 are debris fragments larger than 10 cm. Smaller fragments are considered large enough to disable spacecraft or damage sensitive satellite components, while larger fragments can lead to the complete destruction of satellites, generating hundreds or even thousands of new debris objects in low Earth orbit. In 2023, the number of satellite launches reached a record high, with the majority being part of large commercial communications constellations. This surge has contributed to a significant increase in satellite density in low Earth orbit, thereby elevating the risk of collisions between satellites and debris. Roscosmos has identified space debris as the primary threat to near-Earth space exploration, and it is projected that by 2030, the number of debris objects will increase by one and a half times.

B. The Kessler Syndrom

As stated in the poem by S. Thuy Nguyen-Onstott, "The universe is infinite, but space has its limits". If the growth of space debris continues unchecked, the Kessler Effect could pose a significant threat to all space activities, potentially rendering Earth's satellite communications nearly nonexistent. The Kessler Syndrome refers to a chain reaction of collisions that generates increasing amounts of debris, thereby rendering space unusable. If this continues, low Earth orbit (LEO) and geostationary orbit (GEO) may become unsuitable for deploying new satellites, hindering future missions and creating substantial barriers to access to space.

Such a situation would pose a significant threat not only to space corporations and nations aiming to advance their space programs but also to scientific endeavors as a whole. As we continue to pursue space exploration, it is imperative that the issue of accumulating space debris can no longer be overlooked. Addressing this challenge must be a priority for all those invested in the future of research and space exploration.

Both on Earth and beyond, humanity faces the choice of the kind of world in which we wish to live. The responsibility to preserve and protect the environment—whether within Earth's atmosphere or in near-Earth space—rests on our shoulders. We are the ones who will determine the legacy we leave: will it be a world where space remains open for exploration and development, or will we find ourselves in a situation where our pursuit of progress is hindered by the insurmountable problems of our own making?

C. Access to Space

Access to space has traditionally been restricted to government agencies, but in recent decades, private companies have made significant strides. They have developed new technologies that reduce launch costs and open up opportunities for private missions and space tourism. This has led to the emergence of the "Space Economy," a rapidly developing sector that includes both public and private enterprises. A key achievement has been the creation of reusable rockets, which have lowered launch costs and increased access to space for private researchers and businesses.

The "Access to Space for All" initiative is carried out through a trilateral cooperation mechanism involving space-faring nations, the United Nations, and countries that are either not yet engaged in or are just beginning to undertake space activities, with active participation from the private sector. The implementation of this initiative is coordinated by the United Nations Office for Outer Space Affairs, as outlined in the resolution adopted by the General Assembly on October 25, 2021.

Access to space is a key enabler for humankind, as it opens up new horizons in communications, security, scientific research, the space economy, space tourism, and the prospects of colonization—each contributing to global progress and sustainable development.

To better understand the significance of various aspects of space activities, it is essential to examine them from several key perspectives. Space economy plays a crucial role in the global economy, particularly with the extraction of valuable minerals from celestial bodies such as the Moon, planets, and asteroids. For instance, lunar regolith has the potential to be utilized in manufacturing building materials and generating energy without reliance on Earth's atmosphere, thus impacting multiple industries. Additionally, the use of in-situ resources on the Moon is vital for establishing a permanent human presence, fostering sustained exploration and development in space. In the realm of communications, satellite systems are integral to essential services like GPS and global satellite communications, which enhance connectivity, especially in remote regions. Furthermore, space technology improves weather forecasting and medical imaging, critical tools for accurate diagnostics and health monitoring. Defense also benefits from space technologies, as they enable the tracking of near-Earth objects, aiding in the prevention of potential threats and avoiding collisions. From a scientific perspective, space flights have revolutionized research, expanding the possibilities of studying the universe, Earth, and the Solar System. Notably, space exploration offers unique

conditions, such as microgravity, which enable experiments that would otherwise be impossible, like studying combustion or growing medical crystals. Research conducted aboard the International Space Station has demonstrated the effectiveness of artificial retinas grown in microgravity, potentially leading to breakthroughs in treating blindness.

However, it is essential to recognize that while space research offers valuable benefits, not all nations have equal access to these opportunities. While some countries are already discussing the space economy, other countries continue to face immediate challenges related to basic survival and development, limiting their participation in global space initiatives.

This disparity raises important questions regarding the future of space technology access, particularly as leading spacefaring nations continue to shape the direction of space activities. The unequal development levels among nations suggest that the global landscape of space technology might eventually see restrictions, potentially limiting access to those technologies based on the capabilities of more developed countries. Will such a situation eventually lead to restrictions on access to space technologies, determined by the leading spacefaring nations?

Currently, the use of space resources and the conduct of space research remain primarily the privilege of highly developed states and wealthy individuals. This may create the misleading impression that space is the exclusive domain of these nations, which could exacerbate social inequalities and contribute to increasing global imbalances in the distribution of technological and economic benefits. However, it is important to emphasize that outer space, including the Moon and other celestial bodies, is not subject to national appropriation, as established in the Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies, adopted by the UN General Assembly on December 19, 1966.

As Aarti Holla-Maini, Director of the United Nations Office for Outer Space Affairs, notes, the prospect of space colonization raises several critical questions. These include issues related to the governance of space objects and the rights of individuals living in space. These concerns intersect with legal, political, and regulatory challenges, necessitating the creation of new international agreements and standards to regulate human activities in outer space.

Nevertheless, all of these considerations will lose their significance if we do not first address the pressing issue of cleaning up space debris and other waste in Earth's orbit.

D. The Space Cleaners

To address the growing problem of space debris, some countries have initiated projects aimed at cleaning up outer space. The primary stakeholders in this effort are satellite owners whose devices are at risk of collision. Satellites in geostationary orbit, for instance, can cost millions of dollars and typically operate for 7-10 years before becoming non-functional, posing a potential threat to other operational satellites.

In December 2024, Valentin Uvarov, Director of the Space Economy and Politics Research Center, proposed that the governments of Russia, the United States, and China develop a joint program to combat space debris. He emphasized that these nations should spearhead the establishment of an international organization to tackle the problem of orbital debris. Uvarov also highlighted that several countries have already begun developing similar initiatives.

A prominent example of such international collaboration can be seen in the alliance formed at the 2021 Paris Peace Forum, known as "Net Zero Space." This initiative aims to reduce the volume of space debris in orbit by 2030.

In February 2025, it was reported that Astroscale and ClearSpace had successfully reached a critical milestone in developing space debris removal technologies. Commissioned by the UK Space Agency, this project is scheduled for completion in 2026, although Astroscale and ClearSpace have yet to disclose which specific satellites registered in the UK will be targeted for removal from orbit.

Various methods have been proposed to address space debris, ranging from laser-based removal systems to the deployment of "vacuum cleaner" satellites designed to capture and dispose of debris.

Russian scientists from Omsk State Technical University have proposed a space robot cleaner that uses specialized adhesive to capture debris and either burn it up in Earth's atmosphere or send it to a designated "space cemetery." This research was conducted under state contracts with Roscosmos and the Ministry of Education and Science in 2023-2024.

Roscosmos has also put forward the Milky Way project, aimed at enhancing space debris monitoring. This system will be capable of taking up to 15 million measurements of Earth's orbit daily. It will include 65 telescopes and space satellites for observing near-Earth space.

E. Peace in Outer Space

The development of technologies for space debris disposal inevitably raises concerns regarding their dual-use potential. The powerful devices being developed for deorbiting objects may raise alarms about their potential use as space weapons. This raises the question: Could such advancements lead to space conflicts or even space wars?

Under the 1967 Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies, the placement of weapons of mass destruction in outer space is prohibited. However, the treaty does not specifically address the use or deployment of other types of weapons in space, creating a gap that could pose a potential threat to international security. In a statement dated January 16, 2014, the Russian Ministry of Foreign Affairs emphasized this limitation. Since 2008, the Russian Federation has repeatedly raised the question: "What about other types of weapons? Why not revise the agreement to forbid all weapons in space?" This query reflects Russia's ongoing advocacy for broader disarmament in outer space. On February 12, 2008, during the Conference on Disarmament in Geneva, Russia and China jointly introduced a draft treaty aimed at prohibiting the deployment of any type of weapon in outer space and preventing the use of force against space objects. The proposed treaty sought a comprehensive ban on all weapons in space and any military actions targeting space-based assets. Efforts to advance the treaty have continued through discussions in plenary sessions of the Conference on Disarmament, as well as through bilateral and multilateral consultations in various international forums.

In 2024, the United States and Japan proposed a UN Security Council resolution aimed at banning the deployment of nuclear weapons in space, including their development for launch into orbit or placement on celestial bodies. However, Russia vetoed the proposal, arguing that it did not incorporate Russia's amendments, which called for a broader ban that would encompass all types of weapons in space. Maria Zakharova, spokeswoman for the Russian Ministry of Foreign Affairs, clarified that Russia's position advocated for a comprehensive prohibition on all forms of weapons in outer space, not just nuclear weapons. Furthermore, Vasily Nebenzya, Russia's Permanent Representative to the UN, emphasized that, unlike the United States, Russia supports a total ban on the use of any weapons in space, extending beyond nuclear arms.

III. THE INTERSTATE SPACE COUNCIL OF THE CIS COUNTRIES

The Interstate Space Council was established with the aim of fostering cooperation among CIS states in the peaceful use of outer space and coordinating their collective efforts. Below are the key details about the council and its members.

A. Understanding the Commonwealth of Independent States (CIS)

The Commonwealth of Independent States (CIS) was founded on December 8, 1991, following the Belovezhskaya Accords. These accords marked the formal dissolution of the Soviet Union and the creation of the CIS. The leaders of Russia, Belarus, and Ukraine signed this agreement, signaling a shift to a new kind of interstate relationship, where the former Soviet republics would continue cooperating in various sectors, including the economy and security.

Shortly after, on December 21, 1991, eight more republics joined the CIS, including Kazakhstan, Kyrgyzstan, Moldova, Tajikistan, Turkmenistan, and Uzbekistan. In total, nearly all former Soviet republics became members of this new organization. The collapse of the Soviet Union in 1991 was a pivotal moment not just for the republics but for the entire world.

A significant milestone in the formation of the CIS came with the signing of the Protocol to the Agreement and the adoption of the Alma-Ata Declaration on December 21, 1991. These documents enshrined the principles of cooperation and mutual assistance among the newly independent states. On January 22, 1993, the CIS Charter was adopted, which formalized the structure and organizational mechanisms of the Commonwealth. This was a crucial step in solidifying the CIS and enhancing its role in international affairs.

On March 30, 1994, the UN General Assembly granted the CIS observer status, which allowed the organization to participate more actively in global diplomacy and international relations.

B. The Formation and Role of the Commonwealth of Independent States

The creation of the CIS was a vital step in the transition of the former Soviet republics to their new identities and independent roles in the world. While the dissolution of the Soviet Union marked a significant shift, many political, economic, and cultural ties remained between the republics, which the CIS helped to preserve. It also played a role in coordinating foreign policy and strengthening interstate cooperation, though some countries have continued their participation at different levels.

C. The Member States of the Commonwealth of Independent States

The Commonwealth of Independent States (CIS) currently consists of nine member states: Azerbaijan, Armenia, Belarus, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Russia, Tajikistan, Uzbekistan, and Ukraine, although Ukraine's involvement has been limited despite not formally withdrawing from the organization. Notable changes within the CIS include Georgia's cessation of participation in 2009, reflecting the evolving political dynamics within the region. Moldova holds observer status within the CIS, although it is also a member of the Eurasian Economic Union (EAEU), indicating its unique position in regional affairs. Additionally, Turkmenistan has not ratified the treaty of accession to the CIS but maintains an associate observer status, further illustrating the varying degrees of involvement among the former Soviet republics. These developments underscore the complexities of the CIS and the diverse levels of participation among its members and associated states. The CIS has played a crucial role in helping these states navigate the post-Soviet era, and despite challenges, it continues to serve as an important platform for cooperation in various fields, including space research and technology.

D. The Signatory Countries of the Interstate Space Council

The participants include six CIS states: Armenia, Belarus, Kazakhstan, the Russian Federation, Tajikistan, and Uzbekistan. The agreement to establish the Interstate Space Council was ratified by the member states in different years.

Table 1: Ratification Timeline

Country	Date of Ratification	Key Representative
Armenia	September 23, 2022	—
Republic of Belarus	September 20, 2019	Gusakov Vladimir Grigorievich, Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus
Kazakhstan	September 20, 2019	Madiev Zhaslan Khasenovich, Minister of Digital Development, Innovation and Aerospace Industry of Kazakhstan
Russian Federation	December 21, 2019	Borisov Yuriy Ivanovich, General Director of the State Corporation for Space Activities Roscosmos
Republic of Tajikistan	December 13, 2020	Khushvakhtzoda Kobiljon Khushvakht, President of the National Academy of Sciences of Tajikistan
Republic of Uzbekistan	September 20, 2019	Kadirov Shukhrat Munavvarovich, Director of the Space Research and Technology Agency under the Cabinet of Ministers of Uzbekistan

E. Main Tasks and Functions of the Interstate Space Council

The primary functions of the Interstate Space Council involve developing a cohesive space policy, enhancing cooperation across space exploration, and fostering legal and financial frameworks for space activities. These tasks include creating common policies for space exploration, improving legal cooperation for peaceful purposes, coordinating interstate programs, and negotiating international agreements. The Council also focuses on attracting investments for joint space programs, drafting international treaties, and organizing educational and professional training activities. Additionally, it supports space science, protects the space environment, resolves disputes, and organizes international scientific events.

F. Rights of the Interstate Space Council

The Interstate Space Council has the authority to prepare and submit documents for consideration by the Council of Heads of State and other CIS bodies, request information from space agencies and executive bodies of CIS countries, and create temporary working groups focused on specific areas of space cooperation. It can also develop and approve procedural rules for its operations, including amendments, and has the power to disband if deemed necessary by the Council of Heads of Government.

IV. OVERVIEW OF THE SPACE ACTIVITIES OF THE SIGNATORIES OF THE INTERSTATE SPACE COUNCIL OF THE CIS COUNTRIES

The space activities of the CIS countries have deep historical roots, closely tied to the Soviet period. The Soviet Union was a pioneer in space exploration and scientific advancements, and this legacy has had a profound impact on the space programs of the former Soviet republics, which continued their space activities following the dissolution of the USSR in 1991.

These countries actively engage in cooperation through various international organizations, with one of the primary forums being the Interstate Space Council.

This section of the paper provides an overview of the space activities of the member states within the Interstate Space Council under the Commonwealth of Independent States (CIS). It examines their contributions to addressing global space challenges. Through coordinated efforts, these countries have made significant advancements in areas such as space exploration, satellite technology, Earth observation, and international space policy. In doing so, they have played a crucial role in addressing pressing global issues, including environmental monitoring, space debris management, and the development of sustainable space infrastructure.

A. Armenia

Armenia is actively engaged in international space cooperation, being a member of the United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) and the Committee on Space Research (COSPAR), as well as the Interstate Space Council within the Commonwealth of Independent States (CIS). The country has signed the Artemis Accords with NASA and maintains partnerships with countries such as Russia, the United States, India, and Spain. In 2024, Armenia established an analog station in the Ararat region for Mars exploration. Additionally, Armenia hosts global space events, such as the sixth Starmus Festival in 2022, and will participate in the "World's Biggest Analog" training mission in 2025. In 2021, Armenia created the Armenian Space Agency (ArmCosmos) to oversee space activities and technology development. The country has launched two satellites: Armsat-1, Armenia's first satellite, in May 2022, and Hayasat-1, its first fully domestically developed satellite, in December 2023. Armenia's space activities are governed by the "On Space Activities" law, which regulates safety protocols, licensing, and offers tax incentives to space companies until 2030.

B. The Republic of Belarus

Belarus is a key partner of Russia in space cooperation and a member of the United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) and the Interstate Space Council within the CIS. In March 2024, the country made history with the launch of its first female cosmonaut, Marina Vasilevskaya, aboard the Soyuz MS-25 spacecraft, marking a significant milestone for Belarusian cosmonautics. Looking ahead, Belarus plans to host the Space Congress in October 2025, showcasing its space enterprises and addressing emerging challenges. The Complex-SG program, running from 2022 to 2026, aims to develop small spacecraft technologies, with a satellite constellation planned for 2027 to monitor Earth and space debris. The Belarusian Space Research Agency (AKI), founded in 2015, manages the country's space policy, overseeing the development of small satellites like BelKA and BSUSAT-1, which monitor climate change, pollution, and oceanic conditions. Belarus also plans to launch a small satellite in 2025 to observe the Earth's ionosphere and a joint Russian-Belarusian Earth remote sensing satellite in 2028. While the country does not have a dedicated space law, its space activities are regulated under Presidential Decree No. 609 (2004) and Decree No. 100 (2024), which define the peaceful use of space and cosmonaut rights.

C. Kazakhstan

Kazakhstan's space activities are closely tied to the Baikonur Cosmodrome, leased to Russia since 1994, which remains a key site for international space missions. The country is also developing its own space program and is an active member of the United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS), focusing on space utilization and disaster management. In 2019, Kazakhstan signed a memorandum with the United Nations Office for Outer Space Affairs to use space-based information for disaster management. The National Space Agency of Kazakhstan, Kazcosmos, established in 2007, coordinates the country's space activities. Kazakhstan operates several satellites, including the KazSat communication satellites and KazEOSat remote sensing satellites, which support satellite communications and television broadcasting. The country is also working on launching four new satellites by 2027 to improve monitoring of land, water resources, and environmental changes. Kazakhstan's space operations are regulated by the "On Space Activities" Law (2012), which was updated in 2024 to address new challenges in space exploration and technology.

D. Russian Federation

Russia continues the legacy of the Soviet space program, which achieved milestones such as the launch of Sputnik-1 in 1957, the first artificial satellite. The Baikonur Cosmodrome remains a key site for Russian space missions, with the state-owned space agency Roscosmos overseeing the country's space activities. These endeavors include missions to the Moon, Venus, and Mercury, as well as the development of the Russian Orbital Station. Russia is also a major player in global space cooperation, collaborating with organizations like NASA and the European Space Agency. As of December 2024, Russia operates 288 satellites, making it the third-largest satellite operator in the world, with these satellites supporting communication, navigation through GLONASS, and Earth observation. The country is expanding its capabilities in space telescopes and remote sensing. Russia's space operations are governed by the "On Space Activities" Law (1993) and the Federal Law on Roscosmos (2015), which establish the legal framework for space activities and the agency's responsibilities.

E. Tajikistan

Tajikistan cooperates with Russia on space research and technology. While Tajikistan does not have its own space agency, it operates a Space Operations Control Center in Dushanbe for monitoring satellite systems. The country primarily utilizes space technologies for environmental monitoring, agriculture, and water resources management in partnership with Russia.

Tajikistan's space activities are regulated under the national communication and data security laws, with an emphasis on space education and training.

F. Uzbekistan

Uzbekistan has a long history in space activities, dating back to the establishment of the Tashkent Design Bureau in the 1960s. The country is a member of the United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) and the CIS Interstate Space Council, actively participating in global space initiatives. In 2019, Uzbekistan founded the Uzbekspace Agency to coordinate its space policy, drive space research, and foster international cooperation. The country focuses on developing satellites for Earth observation, particularly in agriculture, water management, and environmental monitoring. In 2024, Uzbekistan launched the TurkmenÄlem/MonacoSat satellite for broadcasting and plans to develop its first scientific and technological satellite, with an agreement signed with Japan's Kyushu Institute of Technology in February 2025. Uzbekistan's space activities are governed by the "On Space Activities" Law, which came into force on January 13, 2025, outlining policies on space infrastructure, safety, and operations, in line with the country's development goals for 2030, including advancing space technologies.

V. CONCLUSION

The space activities of the CIS countries represent a critical aspect of their collaboration in science, technology, and security. Although the member states' space programs are at different levels of development, they actively leverage space technologies to address pressing issues such as environmental monitoring, agriculture, natural resource management, and national security. The collective efforts of these countries enhance their global standing and foster regional collaboration through the shared exchange of knowledge and expertise.

Through collective efforts in the development and utilization of space technologies, knowledge exchange, and participation in international projects, the CIS countries strengthen their global influence. These accomplishments are made possible by well-coordinated interactions and the sharing of knowledge and innovations among Commonwealth states.

Furthermore, the advancement of the space industry within the CIS opens new avenues for sustainable economic growth, technological progress, and scientific discovery. This not only strengthens national security but also contributes to regional stability and security.

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to express my deepest gratitude to my dear brothers, İlyas Erol and Yunus Erol, for their constant support and for opening my horizons in the realms of Space and Technology. Their inspiration and guidance have been crucial in shaping my understanding and passion for these fields.

I would also like to extend my sincere thanks to the TOBBUYUM Space Law Commission and Düzce University for providing me with this incredible opportunity to pursue my interests and contribute to the advancement of space-related studies. Their commitment to fostering innovation and knowledge has played a crucial role in my academic journey.

Lastly, I am immensely grateful to the Mars on Earth Project for offering fresh perspectives and inspiring new ways of thinking about space exploration and its impact on our future. Their vision and dedication have been a constant source of motivation.

Thank you all for your invaluable support and encouragement.

REFERENCES

- [1] G.A Skuridin "Exploration of space in the USSR," Publishing house Science", 21(2), 523/14(047/1).
- [2] The General Assembly. (2011) Resolution A/RES/65/271: Declaration of 12 April as the International Day of Human Space Flight. [Online]. Available: <https://www.un.org/en/ga/65/resolutions>
- [3] (2025) Space4Women, United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA) Initiative. [Online]. Available: <https://space4women.unoosa.org/>
- [4] (1966) Sergey Pavlovich Korolev, TASS Encyclopedia. [Online]. Available: <https://tass.ru/encyclopedia/person/korolev-sergey-pavlovich>
- [5] (1991) Declaration in Connection with the Creation of the Commonwealth of Independent States, Supreme Soviet of the USSR. [Online]. Available: <https://rg.ru/2021/12/25/deklaraciia-v-sviasi-s-sozdaniem-sodruzhestva-nezavisimyh-gosudarstv.html>
- [6] (2025) Rocket and Space Corporation Energia. [Online]. Available: <https://www.energia.ru/>
- [7] (2025) Russia's Development of the Multifunctional Personal Satellite Communication System "Gonets". [Online]. Available: <https://gonets.ru/eng/services/gonets/>
- [8] (2025) The Lavochkin Research and Production Association. [Online]. Available: <https://www.laspace.ru/ru/>
- [9] (2025) TASS News. [Online]. Available: <https://tass.ru/info/18483521>
- [10] (2025) Plastic Trash Flowing Into the Seas Will Nearly Triple by 2040 Without Drastic Action. [Online]. Available: <https://www.nationalgeographic.com/science/article/plastic-trash-in-seas-will-nearly-triple-by-2040-if-nothing-done>
- [11] (2025) Space Debris, United Nations. [Online]. Available: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/space_debris.shtml
- [12] (2025) UNOOSA- Space Debris. [Online]. Available: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/topics/space-debris/index.html>
- [13] (2025) Roscosmos. [Online]. Available: <https://roscosmos.ru/>
- [14] (2023) Museum of Science, "The Trouble with Space Junk" Available: https://www.mos.org/article/trouble-space-junk?gad_source=1&gclid=EAlaQobChMjLvZ4s-EjAMV9ZpoCR0Ngh2-EAAYASAAEgIVGPD_BwE
- [15] Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies, New York, 19 December 1966.
- [16] (2025) Access to Space, UNOOSA. [Online]. Available: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/access2space4all/index.html>
- [17] (2025) The Space Economy, UNOOSA. [Online]. Available: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/topics/space-economy/index.html>
- [18] (2025) UNOOSA Director, Aarti Holla-Maini, UNOOSA. [Online]. Available: <https://www.unoosa.org/oosa/en/aboutus/director.html>
- [19] (2025) Expert Uvarov Proposed to Russia, the US, and China to Agree on Cleaning Space Debris, TASS. [Online]. Available: <https://tass.ru/kosmos/22603801?ysclid=m85yvwgf8q493707396>
- [20] (2025) Cleaners - Net Zero Space, Net Zero Space Initiative. [Online]. Available: <https://www.netzerospaceinitiative.org/>
- [21] (2025) Prevention of Weapon Placement in Space, Ministry of Foreign Affairs of Russia. [Online]. Available: https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/international_safety/1725888/
- [22] (2025) In 2024, the United States and Japan Proposed a UN Security Council Resolution to Ban Nuclear Weapons in Space, The Guardian. [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/world/2024/mar/19/us-japan-nuclear-weapons-ban-space-un-war>
- [23] (2025) CIS, e-CIS. [Online]. Available: <https://e-cis.info/cooperation/3188/90687/?ysclid=m879glvjdx841055017>
- [24] (2025) Belovezhskaya Accords: Agreement on the Creation of the Commonwealth of Independent States, Ministry of Foreign Affairs of Russia. [Online]. Available: https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/integracionnye-struktury-prostranstva-sng/sng/1673617/
- [25] (2025) Alma-Ata Declaration on December 21, 1991, e-CIS. [Online]. Available: <https://e-cis.info/page/3373/79406/?ysclid=m879qwnir5907709013>
- [26] (2025) On March 30, 1994, the UN General Assembly Granted the CIS Observer Status, Premier Government Archive. [Online]. Available: <http://archive.premier.gov.ru/eng/visits/world/8304/info/8350/>
- [27] (2025) Committee on Space Research (COSPAR) Members, COSPAR. [Online]. Available: <https://cosparhq.cnes.fr/about/members/>
- [28] (2025) Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) Members, UNOOSA. [Online]. Available: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/members/evolution.html>
- [29] (2025) Artemis Accords with NASA: Principles for Cooperation in the Civil Exploration and Use of the Moon, Mars, Comets, and Asteroids for Peaceful Purposes, NASA. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/artemis-accords/>
- [30] (2025) Mars Analog Mission Starts in Armenia, OEWF. [Online]. Available: <https://oewf.org/en/2024/03/mars-analog-mission-starts-in-armenia/>
- [31] (2025) National Academy of Sciences of Belarus, NASB. [Online]. Available: <https://nasb.gov.by/rus/news/13577/>
- [32] (2025) Aerospace Committee, Kazcosmos. [Online]. Available: <https://www.gov.kz/memleket/entities/kazcosmos?lang=ru&ysclid=m87bb3uyz029799741>
- [33] (2025) 288 Satellites- News in Separate Tracks, iXBT. [Online]. Available: <https://www.ixbt.com/news/2024/12/24/288-99-2024.html?ysclid=m87bedr4x771756409>
- [34] (2025) Federal Law No. 215-FZ of July 13, 2015, Kremlin. [Online]. Available: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/39889>
- [35] (2025) Tajikistan and Russia Will Explore Space Together, e-CIS. [Online]. Available: <https://e-cis.info/news/568/112478/?ysclid=m87bhcx718371814169>
- [36] (2025) Space Research and Technology Agency of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan, Uzspace. [Online]. Available: <https://uzspace.uz/ru>

[37] (2023) Nasa, Space Debris. Available: <https://www.nasa.gov/headquarters/library/find/bibliographies/space-debris/>

An Evaluation of Space Threat Vectors Under International Law

Nebile Pelin Manti*

Istanbul University, Faculty of Law, Public International Law Dept., Istanbul/Türkiye

*Corresponding Author: np_manti@yahoo.com

ABSTRACT

The new opportunities, technologies, investments in space are giving rise to new threats. The growing importance of space in modern warfare, advancements in satellite technologies, and increasing threats from different types of sources are shaping the environment and space is becoming more militarized, emerging threats are variant, closer, they are here. The role of new capabilities, with new opportunities in surveillance, navigation and communications, with the proliferation of these capabilities across orbital regimes, from geostationary (GEO) to low Earth orbit (LEO), matching with 'very robust RF interference, cyber interference, even counter-space weapons' and expanding the threat of conflict in outer space. While the dual nature of many space activities and technologies renders it difficult to assess the risks, there is a new race to secure the economic and strategic benefits of the exploration and uses of the celestial bodies, including the Moon. While strategic competition between state, military and commercial actors is intensifying, the potential offensive and defensive uses of on-orbit assets and future capabilities are changing the future threat environment. This work will assess the potential threats that might emerge from strategic competition and responses of the international law.

Keywords: *Space threats, Space technologies, Threat vectors, Space security, Space safety.*

Milletlerarası Hukuk Bakımından Uzay Tehdit Vektörlerinin Değerlendirilmesi

Nebile Pelin Manti*

İstanbul Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Kamu Hukuku Bölümü, Milletlerarası Hukuk ABD, İstanbul/Türkiye.

*Corresponding Author: np_manti@yahoo.com

ABSTRACT

Uzaydaki yeni fırsatlar, teknolojiler, yatırımlar yeni tehditleri doğurmaktadır. Modern savaşlarda uzayın artan önemi, uydu teknolojisindeki ilerlemeler ve rakiplerden gelen tehditlerin artmasıyla, uzay daha da askerileşmektedir ve tehditler, artık sadece yeni değil daha da yakın hale gelmektedir. Gözlem, seyrüsefer ve iletişimdeki yeni fırsatlarla birlikte yeni yeteneklerin rolü, bu yeteneklerin sabit konumdan (GEO) alçak Dünya yörüngesine (LEO) kadar yörünge rejimleri boyunca yaygınlaşmasıyla birlikte, 'çok güçlü RF müdahaleleri, siber müdahaleler, hatta karşı uzay silahlarının kullanılması, silahlı çatışma tehdidini artırmaktadır. Pek çok uzay faaliyeti ve teknolojisinin ikili doğası, risklerin değerlendirilmesini zorlaştırırken, Ay da dahil olmak üzere gök cisimlerinin keşfinin ve kullanımının ekonomik ve stratejik faydalarını güvence altına almak için yeni bir yarış başlamıştır. Devletler, askeri ve ticari aktörler arasındaki stratejik rekabet yoğunlaşırken, yörüngedeki varlıkların ve gelecekteki yeteneklerin saldırı ve savunma amaçlı potansiyel kullanımları gelecekteki tehdit ortamını değiştirmektedir. Bu çalışma, stratejik rekabetten ve bununla ilgili uluslararası hukuktan doğabilecek potansiyel tehditleri değerlendirecektir.

Keywords: *Uzay tehditleri, Uzay teknolojileri, Tehdit vektörleri, Uzay güvenliği, Uzay emniyeti.*

I. INTRODUCTION

Outer space has become essential and related to many vital strategic and security priorities of the states and private actors. Space security is receiving particular attention as threats targeting the safe and stable uses of outer space are augmenting, multiplying, becoming more sophisticated and closer. While the realm

of warfare has surpassed traditional battlegrounds, in existing and new domains as space, cyber and cognitive, space threats are becoming more concrete and serious, considering the increasing economic and daily interests, reliance on space services such as remote sensing, satellite positioning, GPS and navigation and satellite communications on the one hand, the spectre of rapid militarization and weaponization of outer space on the other, and these parameters are sometimes overshadowing the safety and security, preservation of the space environment for future generations and the sustainability of outer space as a global domain.

In this new era, the increasing reliance on space assets for critical infrastructures and services whether for civilian and military purposes and the growing threat of counterspace capabilities to achieve and maintain the superiority and supremacy through physical and non-physical means, makes it essential to study and understand the threat vectors targeting space, vital space assets and to improve normative framework to protect continuity of services mentioned as well as today and future of outer space.

In this context, the following chapter aims to effectively capture the multifaceted concept of space security, safety, sustainability and provide an overview of its current status with definitions and an assessment of kinetic and non-kinetic threats.

II. SPACE SECURITY AND EXPANDING THREAT ENVIRONMENT IN OUTER SPACE

Outer space security has become a priority for all nations and people since the whole international community relies on space systems for security, international development and global prosperity. Today, outer space is particularly a hostile environment to operate in, as it has become more diverse (with more international, national and private actors), more disruptive (following the heightened interests of new entrants and new commercial missions), more disordered (because of the lack of widely accepted norms, and gaps in existing laws and treaties) and therefore, more dangerous, with thousands of targets, and proliferation of counter space capabilities to target them.

The growing number of satellites and services provided respond to more than daily concerns. Today, national and multinational military operations are not conceivable without the use of space-based systems, assets and applications, which are crucial for navigation and positioning, communication, meteorology, geospatial and imagery services, early warning mechanisms and ballistic missile interception, and so on.

This chapter briefly defines the terms of art in the first part and then describes space threats, legally binding and non-legally binding norms, and international law and policy frameworks to space threats.

A. Defining the Terms of Art : Thinning Lines and Legal Thinking

The increase in space activities has outpaced international space laws and norms. While many legally binding and non-binding international frameworks and norms maintain a role in enhancing space security, the space domain is threatened by many hostile actions, such as destructive anti-satellite missile tests and cyberattacks targeting space infrastructure, highlighting the vulnerabilities of critical systems that support national, regional, and international industries and services.

Another complexity appears with the different understandings of notions and definitions made, which create a legal confusion. Therefore, defining terms of art and a unified understanding of concepts must be a priority to enable and enhance communication, cooperation and collaboration to maintain the safety, security and sustainability of outer space and develop norms to defend these against evolving threats.

Space security, as the primary concern, has gained an increasing importance over the past decades. The concept of space security has evolved significantly, since the signature of the Outer Space Treaty in 1967, understanding of both outer space and security has become more complex, broader, and multilayered concepts [1]. The space security has become a prominent discussion under space law and space policy agendas within the United Nations General Assembly Committees and the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, along with its subsidiary bodies, due to variety of new activities, new actors, advanced and emerging technologies, the political, strategic importance therein and the expansion of the threat environment targeting space eco-system and space as domain.

A.1. Threats in Space Domain

The main parameter of the present assessment is “threat”. The legal responses to be given against a threat can be determined only after the identification of an act, behaviour or interference as a “threat”. Under International Law, the term “threat” (threat to use of force) has a special significance under 1945 dated Charter of the United Nations. However, in the scope of space activities, the current sharp escalation of security threats in and from outer space requires a legally binding agreement to preserve its peaceful nature. However, the most recent attempts in the General Assembly and the Security Council to adopt a document on a weapons-free outer space have not succeeded [2].

A “Threat” can be defined as: (1) a declaration of the intention to inflict harm, pain or misery, (2) an indication of imminent harm, danger or pain, (3) «a person or thing that is regarded as dangerous or likely to inflict pain or misery”.

United States considers space threats include, but are not limited to, (1) tracking and monitoring satellites and their trans-missions; (2) electronic attack (EA) against space-based services at the transmission site, the satellite, and the user’s equipment; (3) physical attacks against actual satellites and spacecraft; and (4) the use of space for adversary force enhancement and adversary intelligence preparation of the battlefield [3]. These threats could cause communication problems in disseminating and executing the ATO, impact the successful guiding of weapons and aircraft to the target, cause the loss of national overhead and air-breathing ISR systems, compromise operations security (OPSEC) and information security (INFOSEC), and impact force protection posture.

And legal responses against threats can be designed under 1. Law and 2. Policy-Diplomacy. The shift of terrestrial and extra-terrestrial security paradigms, the transformation of the space as a military domain through new means and methods of utilizing it, emerging technological advances and concepts such as mega-constellations, 5G, then 6G, Internet of Things (IoTs), artificial intelligence (AI), and advanced materials, which have resulted both in new opportunities and major challenges. While the services provided through outer space have become indispensable parts of our everyday life, the scope of the term space security has expanded however the term has not yet been universally defined.

The diversification of space actors and space activities is having a profound impact on how space activities and their related international regulation will be made; and whether the existing norms, conventions, agreements respond to emerging questions or we need new agreements, and considering the limited number of widespread norms of operation in space, if it will not be possible to create new norms through treaty law, whether we can rely on customary law, in cases of intentional or unintentional harm in space?

A.2. Space Safety - Security- Sustainability

Space infrastructure can be described as a network of space and ground systems connected by means of communication channels and enabling access to space. The main terms of the assessment, “safety, security” and “sustainability”, are intertwined in the legal literature, while they represent different meanings. The dramatic increase in space launches and orbit occupancy since the early 2010s, have caused questions and concerns for all three, but mostly on the sustainability of space systems and space missions. Explaining the relation between these concepts is more than drawing parallels between different knowledge systems or sectors. Therefore, defining terms of art becomes important.

‘Security’ is related to the maintenance of peace and stability, while ‘safety’ is understood as the combination of measures precluding risks and protecting space systems and space infrastructure during normal operations [4]. While space security is concerned with the threats from one nation to the other, from the conscious and intentional choice of a state to behave in a way that could result in harm to space systems [5], space safety, on the other hand, represents a combination of measures precluding risks and protecting space systems during normal operations.

Space sustainability, as the third, is delivered primarily through the UNGA Fourth Committee and the UN Committee on the Peaceful Uses of Outer Space. Both committees’ work aim to ensure safe and sustainable space operations and to protect the space environment from natural hazards [4]. Space security is concerned with the threats from one nation to another from the conscious choice of a State to behave in a way that could result in harm to space systems. Such behaviours are considered as threats to international peace and security and are dealt with by the UNGA First Committee and the Conference on Disarmament with the desire to prevent an arms race in outer space, one of its strands of activity.

A.3. Vulnerability - Risk - Threat

In 2022, United Nations General Assembly (UNGA) have initiated “The Open-Ended Working Group (OEWG)” under Resolution 76/231 on “Reducing Space Threats through Norms, Rules and Principles of Responsible Behaviour” is mandated to, inter alia, “consider current and future threats by States to space systems, and actions, activities and omissions that could be considered irresponsible.”[6].

In order to make a proper assessment three fundamental concepts must be defined and understood. These three concepts, vulnerability, threat and risk are related but have distinct meanings. Security experts define these three concepts in several different ways, depending on the threat environment, asset, means and methods of attacks, where the terms threat and risk are sometimes used interchangeably.

A Vulnerability; “is the quality or state of being exposed to the possibility of being attacked or harmed” [7]; mostly employed in cybersecurity framework.

A Risk; is the possibility of something bad happening. Risk involves uncertainty about the effects/implications of an activity with respect to something that humans value (such as health, well-being, wealth, property or the environment), often focusing on negative, undesirable consequences.

A Threat; is a malicious or negative event that takes advantage of a vulnerability. In the context of space security, threat means a status which is based on intentional behaviour which may cause negative impacts to space assets, activities and/or interests of another country, including undermining international peace and security. (UNODA, OEWG Definition, 2022) [8].

In the context of space security, threat means “a status which is based on intentional behaviour which may cause negative impacts to space assets, activities and/or interests of another country, including undermining international peace and security” and this definition includes three constitutive elements, which are intention, behaviour and negative impacts. Behaviour is just like the fuselage of an *aircraft*, **and intention, negative impacts are the two wings. As to specific uses; the term «threat» in the OEWG works** focus on “the harmful effects that can result from the behaviours of States in terms of how they deploy or use capabilities that can inflict damage to, or interfere with, the space systems of another State. (State-to-state)” [9].

A.4. Threat Vectors in Outer Space

In mathematics and physics, a vector is “a quantity with both magnitude and direction” [10]. In threat modelling, especially in cybersecurity, a threat scenario is often called an attack vector; the attack surface is the sum of the identified attack vectors. «A threat vector can be defined as ‘any channel or medium’ ‘that may carry a potential threat’ ‘with the capability to compromise’ the system, network, or organization» [11].

In legal assessments, broadening the definitions may propose advantages and risks. As to the space security, there are certain risks relating to the evolution of the term within the last four decades, as the development of the space threat environment have contributed significantly to the sense attributed to the term ‘security’ in general. During the Cold War era, the term ‘security’ and ‘space security’ were considered in a very specific and limited sense and way. The notion of “security” is defined in reference to threats to the state and particularly to military threats represented by the armed forces of other states or by insurgent movements, while the space security is accepted as a meta-concept that includes:

- (1) the safety of orbiting satellites and spacecraft,
- (2) the security of access to space, and
- (3) the contribution of various types of satellites to the safety of people on Earth.

All these three dimensions appear as separate concepts, and they are interconnected and interacting: the security of an orbiting satellite is significantly affected by threats to the security of ground segment. The contribution of satellites to human security is threatened by both military and environmental threats to satellites in space [9].

“While the concept of space security was initially defined in military terms, depending on the strategic balance between the first space actors, the United States, and the Soviet Union, today, with the increasing number of public and private sector space activities, as a concept relevant to the safe access to space and free uses of space for peaceful purposes, the space security has been shaped as a three layered concept consisting of (1) security of human/state assets in space against natural threats, (2) security of human/state assets in space against man-made threats, and (3) security against threats originating from space, distinguishing civilian and military uses, as well as environmental dimensions, and the use of space for security and defense purposes”. [10]

B. Classification of Space Threats

The outer space has been used for military purposes since the beginning of the space activities, the wars, armed conflicts through the 20th century served as an “*accélérateur du temps*” for new technologies, and space enables new opportunities for economic, politic, military advantages, as well as the strategies to defeat the enemy without fighting. The revolution in military affairs dominating 1930s and 1940s, have contributed the rapid development of rocket and missile technologies. However, the importance of space security has only recently been widely recognized by the international community, following the increasing number of debris creating ASAT tests, non-kinetic attacks, such as Viasat attack that initiated the ongoing Ukrainian Russian War.

Different classifications are possible considering the nature of the threats; (1) basing on the intent of the threat actors (whether they are natural and unintentional or intentional threats caused by malicious activities); (2) basing on the characteristics of the means and methods employed (whether they are kinetic or non-kinetic threats) or (3) considering whether the targets are military or not.

(1) Intent Based Classification

The classification of space threats or long-term sustainability of outer space can be classified under two main distinct categories, which are:

a. Natural and Unintentional Threats. (out of the research's scope) including;

- i. Physical conditions of space (radiation levels, asteroids, etc.)*
- ii. Threats to daily operation of orbiting platforms (effects of space debris, extreme space weather and changes in space climate)*

b. Threats Caused by Intentional and Malicious Activities

- i. Malicious uses of platforms*
- ii. Development and testing of counter-space capabilities*
- iii. Weaponisation of space platforms and assets*

Modern space systems belong to whether commercial, state or military actors, constitute one or multiple satellites and networked systems. These all connected assets are facing not only non-intentional threats but also an increasing level of intentional, adversarial threats, which are making security a critical concern from the design to service, in a more congested and contested environment, which is no longer limited to Earth orbits, and the success and safety of any space mission rely heavily on a multi layered model consisting of the resilient design in the first place, and secondly, maintaining the security of these complex systems require both technical and legal standards, guidance, and frameworks for space assets cybersecurity and finally for space security.

The intentional threats and/or threats caused by malicious activities targeting space systems can be divided into four distinct categories basing on the mechanism of attack. Accordingly, these threats can be: (1) kinetic physical, (2) non-kinetic physical, (3) electromagnetic, and (4) cyber.

(2) Means and Methods Employed Based Classification

Counterspace capabilities can take kinetic as well as non-kinetic forms. Kinetic threats include direct-ascent anti-satellite missiles launched from the Earth, or co-orbital weapons that engage a target satellite in space. Non-kinetic threats include directed energy (e.g. lasers), electromagnetic interference (e.g. jamming, spoofing), or cyber-attacks.

Counterspace threats can also be, at least in principle, deployed along several threat vectors to attack the ground segment or space segment of a space system (e.g. ground-to-space, space-to-space, space-to-ground, and ground-to-ground). But just because a certain kind of counterspace capability and threat vector is imaginable, does not mean that it is practicable. Nonetheless, the very fact that such possibilities are openly discussed, and research programs are funded is enough to give them a prominence way beyond their actual technical feasibility, economic viability, or military utility.

a. “Kinetic - Physical Threats to Space” are employed to strike a space system component directly or to detonate a warhead near it; likely to cause irreversible damage; easy to attribute. These may include: (a) Direct-ascent ASATs; (b) Co-orbital ASATs; and (c) Ground station attacks [11].

b. “Non-Kinetic-Physical Threats to Space”, on the other hand, are employed to cause physical effects on satellites or ground segments of space systems without making physical contact, can result with both reversible and non-reversible effects, and can hardly be attributable [11]. These include uses of:

i. Directed Energy Weapons: are very real and can be used to damage and degrade equipment and signals. These might take the form of a ground-based directed energy weapon, radiating lasers from to blind or dazzle satellite sensors on orbit, or they could operate from space as a directed energy weapon in orbit.

ii. Electronic/Electromagnetic Interference: which are employed to target the electromagnetic spectrum used by space systems to transmit and receive data, causing harmful interference; generally reversible and difficult to attribute [11]. These may include, jamming; and spoofing lasers; HPMs; and EMPs.

iii. Cyber Threats: target the data and the systems that use, transmit and control the flow of data; can target satellites as well as ground stations or end-user components, such as modems, with the objective of interfering with services, such as internet coverage, to intercept information or to insert false or corrupted data into a system; generally reversible and difficult to attribute [11].

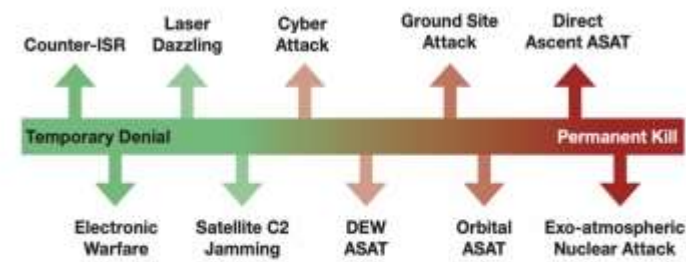


Figure 1: The Counterspace Continuum

Table 1: The counterspace Continuum [15]

It is noteworthy that today many space actors “often fall short in emphasizing security as a primary consideration during the initial design phases of space missions and assets and many security measures and frameworks are typically applied or created as an afterthought once the mission is deployed” [12]. Therefore, a secure-by-design approach for space missions must be adopted and should address the wide diversity of new space missions and their unique characteristics [12]. The military threats to space systems are multi-domain; with the data links, cyber interferences and potential attacks on ground stations being the greatest vulnerabilities. Military operations in, or in relation to, outer space – be it through kinetic or non-kinetic means - do not occur in a legal vacuum; but within the international law frameworks [12].

III. REVIEW OF LEGAL RESPONSES TO COUNTERSPACE THREATS

Legal responses to space threats can be assessed under two main titles:

A. Under International Treaty Law:

The Outer Space Treaty, which entered into force in 1967 can be considered as the basis of international space law. With largest participation, it is the most widely ratified instrument of space law, basing upon principles adopted unanimously by the UNGA, and therefore embodies existing customary law for space. While space security is not the main focus of the OST, the principles enshrined therein — such as, for example, due regard or states’ responsibility for national activities — are relevant to, and affect, space security. Under the 1967 OST, Article IV, States parties also pledge “not to place in orbit around the Earth any objects arraying nuclear weapons or any other kinds of weapons of mass destruction, install such weapons on celestial bodies, or station such weapons in outer space in any other manner”.

International law applies to the conduct of States in, through and regarding their activities in outer space. The OST Article III provides that States Parties shall carry on activities in the exploration and use of outer space, including the moon and other celestial bodies, in accordance with international law, including the Charter of the United Nations, in the interest of maintaining international peace and security and promoting international co-operation and understanding. Accordingly, the 1945 UN Charter will be the first ground for legal responses to space threats.

Under OST regime, the Article I highlights the applicability of international law to the space environment by stating that the use and exploration of outer space shall be carried out “in accordance with international law” and “without discrimination of any kind, on a basis of equality”. The Article IV is the only article that explicitly addresses space security concerns by establishing that states shall “undertake not to place in orbit around the earth any objects carrying nuclear weapons or any other kinds of weapons of mass destruction, install such weapons on celestial bodies, or station such weapons in outer space in any other manner”, and the provision explicitly forbids “the establishment of military bases,...the testing of any type of weapons and the conduct of military manoeuvres on celestial bodies.”

The Article IX provides principles of co-operation and mutual assistance and requires States Parties to conduct their activities in outer space with due regard to the corresponding interests of all other States Parties. Under international space law, there is an obligation to refrain from activities that would cause harmful interference with the activities of other States. [1967 OST, Art IX]. Due regard is an important notion. Under international LoS, the principle of due regard has been clarified as ‘a conscious balancing of rights and interests’. Due regard means refraining from actions that would unjustifiably interfere with the rights of another State. However, it is yet unclear what the principle of due regard looks like in the space context, States should not simply ‘conduct or knowingly support activities’ that result in ‘loss of operational control over or irreversible damage or permanent loss of space systems of another State’. [13] Arms control

treaties and international laws applicable to military operations or security-related matters are of particular relevance for the regulation of space security activities and for the pursuit of PAROS, even when they do not solely concern space. These include: (1) The 1963 Limited Test Ban Treaty (LTBT) which forbids detonating nuclear devices in or beyond the Earth's atmosphere; (2) The 1996 Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT) and (3) The 1978 Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques (ENMOD Convention).

- Under international law, the acts of private individuals or entities must be attributable to a State [14],
- Under international space law, States bear international responsibility for all national space activities, including the activities conducted by non-governmental entities. (Article VI, 1967 OST)

International Telecommunication Law, ITU Constitution and ITU Regulations provides the rules for the management of acts and activities in the RF spectrum. The Outer Space Treaty does not define what "harmful interference" is, however, the International Communication Union (ITU) defines this concept in both No. 1.169 of the ITU Radio Regulations and in No. 1003 of the ITU Constitution, as "interference which endangers the functioning of a radionavigation service or of other safety services or seriously degrades, obstructs, or repeatedly interrupts a radiocommunication service operating in accordance with Radio Regulations".[14]

In space context, while Article III of the OST confirms the applicability of international law, there is a question as to whether the conventional means of responding to subthreshold threats, encompassing countermeasures, retorsion, and etc., are adequate in a domain so fragile and upon which we are so dependent.

Retorsion encompasses a variety of lawful means by which a State may respond to unfriendly or unlawful acts, in other words, one of the legal responses to sub-threshold activities. These include the imposition of economic sanctions, expulsion of offending States' diplomats, and prosecution of their criminal operatives.

Countermeasures are defined in the Tallinn Manual as "State actions, or omissions, directed at another State that would otherwise violate an obligation owed to that State and that are conducted by the former in order to compel or convince the latter to desist in its own internationally wrongful acts or omissions." In order to exercise the right of countermeasures, an activity must be attributable to a State (the nature and scope of Article VI of the OST whereby States bear international responsibility for national activities). However, attribution is problematic from a practical standpoint for certain space activity, like uses of non-kinetic means as spoofing.

B. Policy Responses

While the threats and risks targeting space are renewing, multiplying, interpreting existing space norms effectively becomes an important task, and subsequently to propose effective frameworks for arms control in outer space, including making new mechanisms and norms is becoming more difficult, due to lack of consensus and other strategic interests. Policy development is based on a balanced expression of the interests and demands of all stakeholders, not only states. As detailed above, space threats are growing in number and variety and identification of existing and emerging threats and risks is a necessary prerequisite for safeguarding our assets, maintaining space security, and also for defending it.

The main focus and the premise of policy development is possible only with the identification of the common threats, rather than the specific threats, that are directed to some individual States or interests groups. Therefore, the consensus of the international community on rules, whether it is about the interpretation of existing rules (*lex lata*) or the formulation of new rules (*lex ferenda*), must be based on a common understanding of security and safety. Accordingly, a common strategy against emerging space threats is possible only by recognition of common policies and mutual compromise [16].

In December 2021, the UN General Assembly adopted six resolutions on issues relevant to outer space. Among the resolutions adopted by the UN General Assembly in its 76th session, six recent resolutions are concerned with outer space activities. These resolutions are:

- [A/RES/76/22](#) (prevention of an arms race in outer space), [A/RES/76/23](#) (no first placement of weapons in outer space),
- [A/RES/76/55](#) (transparency and confidence-building measures in outer space activities),
- [A/RES/76/76](#) (international cooperation in the peaceful uses of outer space),
- [A/RES/76/230](#) (further practical measures for the prevention of an arms race in outer space), and
- [A/RES/76/231](#) (reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours).

The Assembly also decided to establish a open-ended working group (OEWG) “to consider and to make recommendations on substantial elements of an international legally binding instrument on the prevention of an arms race in outer space, including, inter alia, on the prevention of the placement of weapons in outer space, as well as to consider various aspects of the prevention of an arms race in outer space in the context of an international legally binding instrument on the prevention of an arms race in outer space. The OEWG is to hold its organisational session in Geneva in 2024, and eight substantive sessions in 2025, 2026, 2027, and 2028” [14].

The OEWG is to continue building on the work of the Group of Governmental Experts established in 2023 to consider and make recommendations on substantial elements of an international legally binding instrument on the prevention of an arms race in outer space. If the Conference on Disarmament implements a balanced and comprehensive programme of work that includes the negotiation of an international legally binding instrument on the prevention of an arms race in outer space, the newly established OEWG will conclude its work.

1. Article IX of the 1967 OST

The Article IX provision, along with the OST, encourages States to engage in international consultations if they anticipate a space activity will cause potentially harmful interference. While effective, policy solutions and diplomacy are necessary, they can also be considered as insufficient tools. International consultation processes can be more effective when accompanied by credible warnings and actions in the remaining categories of retorsion, countermeasures, and self-defense.

2. Reducing Space Threats Through Norms, Rules and Principles of Responsible Behaviours

In an effort to reset international discussion related to PAROS, Resolution 75/36 on “Reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours” was introduced by the United Kingdom in 2020. It was adopted by the General Assembly on 7 December 2020 with a vote of 164 in favour, 12 against, and 6 abstentions [17]. The mandate of the OEWG was to operate on the basis of consensus, which it did not manage to reach, and thus was unable to submit a report to the General Assembly after its conclusion. Moreover, although the Group did not agree on a report, at the end of the fourth session, the Chairperson introduced a document summarizing the proceedings, which was prepared under his sole authority and reflects his understanding of the views expressed without prejudice to the positions of any State [18].

- a. Take stock of the existing international legal and other normative frameworks concerning threats arising from State behaviours with respect to outer space;
- b. Consider current and future threats by States to space systems, and actions, activities and omissions that could be considered irresponsible;
- c. Make recommendations on possible norms, rules and principles of responsible behaviours relating to threats by States to space systems, including, as appropriate, how they would contribute to the negotiation of legally binding instruments, including on the prevention of an arms race in outer space;
- d. Submit a report to the General Assembly at its seventy-eighth session [18].

The OEWG is a significant step forward in addressing space security through multilateral dialogue. It provides a platform for states to engage in discussions on responsible behaviour and transparency measures, aiming to reduce the risk of conflict and enhance the sustainability of space activities. UNODA mandated OEWG [19] aims to promote responsible space behaviours approach is appropriate under PAROS as a “further measure” and the OEWG is “an international negotiation”.

All conflicts are governed by LOAC and IHL, and outside of conflict framework, the approach of “responsible behaviours” should reduce miscalculations and escalation. In the UNGA RES/76/22, there is a call for further measure building on the legal regime and building trust [20]. States should not simply ‘conduct or knowingly support activities’ that result in ‘loss of operational control over or irreversible damage or permanent loss of space systems of another State’. However, the success of the OEWG will depend on the willingness of states to cooperate and make meaningful commitments to set standards and implement for responsible space behaviour [20].

3. Transparency and Confidence-Building Measures, TCBMs (UN OEWG)

TCMBs are a set of tools designed to display, predict and discipline states' behaviour with respect to maintaining the security of space.[21] Considering the rapid augmentation of the number and variety of intentional and unintentional threats to the peaceful use of space are augmenting, there is a growing international consensus on the need for greater transparency in space-related activities as well as confidence-building measures to reduce the prospects of disruption to the ever-expanding role of space.

The TCBMs must be clear, practical and proven, meaning that both the application and the efficacy of the proposed measure have been demonstrated by one or more actors; be able to be effectively confirmed by other parties in its application, either independently or collectively; and reduce or even eliminate the causes of mistrust, misunderstanding and miscalculation with regard to the activities and intentions of States.

IV. CONCLUSION

Space as a critical infrastructure, have an immense value and adds to economies, societies, and the conduct of military operations across the globe, and space assets are vulnerable and susceptible to threats. As David Kuan-Wei Chen highlighted, “the principles of international law, space law and telecommunication law do not operate in silos and must be read together as part and parcel of the overreaching global governance framework that underpins international peace and security”. While the space eco-system keeps on growing, threats targeting the space are developing and counterspace is taking sophisticated forms. On the legal grounds, normative development is not so slow, however, has to keep the pace with all stakeholders. The SSA&SDA must provide the effective identification, tracking and custody and characterisation of threats. Protection of critical space-based services is at utmost importance for civilian and military. Development and deployment of space objects for hostile purposes continues as recent ASAT tests and Russian Ukrainian War shows examples, while international community advised against the development, production, testing or deployment of weapons in space for any purpose, including counterspace capabilities of a non-kinetic nature. Interferences with the normal and safe operation of space objects are another critical aspect and States should avoid deliberate acts that can interfere with the functioning of space objects under the jurisdiction or control of other States, as such acts of interference may give rise to tensions and increase the risk of escalation and inadvertent conflict.

TEŞEKKÜR/THANKS

I would like to thank all members of the TOBB Uyum Space Law Commission, for their dedication, and special thanks to Mr. Egemen Demirer, for using his skills to the excellence during the coordination and organisation process of the 1st Conference and Assoc. Prof. Dr. Sezercan Bektaş for taking the initiation and providing all the support for the researchers, experts and still prefers to remain behind although being the master mind of the conference for legal part.

Hayatımın her sürecinde yanımda olan Babam Op. Dr. Zakir Manti'ya ve Annem Dr. Ayşe Manti'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

REFERENCES

- [1] N. Antoni, “Definition and Status of Space Security. In: Handbook of Space Security”, Springer, Cham., 2020. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22786-9_126-2.
- [2] Global Issues: Outer Space, in UN, Available: <https://www.un.org/en/global-issues/outer-space>
- [3] Protecting Space Assets from Irregular Threats Expanding the Scope of Space Risk Detection to Include Non-State Actors and Criminal Organizations,
- [4] L. Cesari, “What’s In A Word? Notions Of ‘Security’ And ‘Safety’ In The Space Context”, 2020, Available: hal-04491329.
- [5] “Rules and principles of responsible behaviours”, Open-ended working group on reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours, Item 5 of the agenda General exchange of views, Submitted by UK, on 10 May 2022 to UN Doc. A/AC.294/2022/WP.11, Geneva, 9–13 May 2022, Available: <https://documents.un.org/access.nsf/get?DS=A%2FAC.294%2F2022%2FWP.11&Lang=E>.
- [6] UNGA Resolution No. 76/231, 76th Sess. (24 December 2021), Available: <https://undocs.org/Home/Mobile?FinalSymbol=A%2FRES%2F76%2F231&Language=E&DeviceType=Desktop>.
- [7] Glossary, UN Spider Knowledge Portal, UNOOSA, Available: <https://www.un-spider.org/glossary/vulnerability>
- [8] Threats to the security of space activities and systems, Open-ended Working Group on Reducing Space Threats through Norms, Rules and Principles of Responsible Behaviours, UNIDIR, (12 September 2022), UN Doc A/AC.294/2022/WP.16, Available: https://documents.unoda.org/wp-content/uploads/2022/08/20220817_A_AC294_2022_WP16_E_UNIDIR.pdf.
- [9] UNODA, OEWG 2022, Available: <https://documents.unoda.org/wp-content/uploads/2022/09/20220912GW-The-Recommended-Definition-of-Threat-in-the-Context-of-OEWG.pdf>. Legal and Regulatory Frameworks concerning threats arising from State behaviours with respect to outer space, UNGAOR, UN Doc A/AC.294/2022/WP.1 (2022).
- [10] Vectors, Linear OEDs (Class Notes), Cornell University, 1-6 Available: <https://e.math.cornell.edu/people/belk/writing/LinearODEs5.pdf>
- [11] N. P. Manti, “An Assessment of Space Security: Understanding Space Threat Vectors and Their Impacts on Military Aspects and Human Security Under International Law,” In SPACE ENVIRONMENT AND INTERNATIONAL POLITICS, London: TP London (Transnational Press London), 2024, pp. 209-228.
- [12] A. Viswanathan, B. Bailey, K. Tan and G. Falco, “Secure-by-component: A System-of-systems Design Paradigm for Securing Space Missions,” 2024 Security for Space Systems (3S), Noordwijk, Netherlands, 2024, pp. 1-9, (doi: 10.23919/3S60530.2024.10592289). Available: https://indico.esa.int/event/528/attachments/5988/10194/Secure_by_component_A_System_of_systems_Design_Paradigm_for_Securing_Space_Missions.pdf
- [13] UNGA, Recommendations on possible norms, rules and principles of responsible behaviours relating to threats by States to space systems: Submitted by the Federal Republic of Germany and the Republic of the Philippines, UN A/AC.294/2023/WP.1 (2023)
- [14] ITU Constitution and Regulations, Available: <https://www.itu.int/en/council/Documents/basic-texts/Constitution-E.pdf> & <https://treaties.un.org/Pages/showDetails.aspx?objid=08000002800b0730&clang=en>

- [15] Six resolutions related to outer space adopted at UNGA 78, in Diplo, Available: <https://www.diplomacy.edu/updates/six-resolutions-related-to-outer-space-adopted-at-unga-78/>
- [16] Policy paper, Defence Space Strategy: Operationalising the Space Domain, Published 1 February 2022. Available: <https://www.gov.uk/government/publications/defence-space-strategy-operationalising-the-space-domain/defence-space-strategy-operationalising-the-space-domain>
- [17] Reducing Space Threats through Norms, Rules and Principles of Responsible Behaviours, GA Res 76/231, UNGAOR, 76th Sess, 54th Plen Mtg, UN Doc A/RES/76/231 (2021). There were 150 votes in favour, eight against (China, Cuba, the Democratic People's Republic of Korea, Iran, Nicaragua, the Russian Federation, Syria and Venezuela), and seven abstentions (Armenia, Belarus, Central African Republic, India, Israel, Pakistan and Tajikistan). See United Nations (UN), Meetings Coverage, GA/12398, 'Approving \$3.12 billion programme budget, General Assembly adopts 26 resolutions, 2 decisions, as main part of seventy-sixth session concludes' (24 December 2021), UN, online: www.un.org/press/en/2021/ga12398.doc.htm
- [18] Chairperson of the Open-ended Working Group on Reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours, Chairperson's Summary, U.N. Doc. A/AC.294/2023/WP.22 (1 September. 2023) [hereinafter 'Chairperson's Summary'], Available on the OEWG webpage : <https://meetings.unoda.org/meeting/57866/documents>;
- [19] ILC, Responsibility of States for Internationally Wrongful Acts, 53 UN GAOR Supp (No. 10) at 43, UN Doc A/56/83 (2001)
- [20] Open-ended Working Group on Reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours, Web page, Available: <http://meetings.unoda.org/open-ended-working-group-on-reducing-space-threats-2022>
- [21] UNGA, Res. 75/36, 75th Sess., on Reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours (16 December 2020) [hereinafter "Res. 75/36"], Available: <https://undocs.org/Home/Mobile?FinalSymbol=A%2FRES%2F75%2F36&Language=E&DeviceType=Desktop>. and UNGA Res. 76/231, 76th Sess. 5 c) (30 December 2021) [hereinafter "Res.76/231"], Available : <https://undocs.org/Home/Mobile?FinalSymbol=A%2FRES%2F76%2F231&Language=E&DeviceType=Desktop>
- [22] Jana Robinson, "Transparency and confidence-building measures for space security", in Space Policy, Volume 37, Part 3, 2016, pp. 134-144, ISSN 0265-9646, Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265964616301321>
- [23] UN General Assembly, Resolution A/ RES/76/22, 'Prevention of an Arms Race in Outer Space', adopted 16 December 2021, without a vote.
- [24] Open-Ended Working Group on reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviours (OEWG on space threats), chaired by Chilean Ambassador Hellmut Lagos, has been established. UN News, "Space talks seek to bring global security into their orbit", Interviews, 11 May 2022, Available: <https://news.un.org/en/audio/2022/05/1118022>

LEO Tabanlı Algılama ve Haberleşme: ISAC'a Duyulan İhtiyacın Analizi

Merve Ünal^{a,*}, Ali Çalhan^a, Murtaza Cicioğlu^b

^aDüzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Düzce/Türkiye.

^bBursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Bursa/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: merve.unal26@gmail.com

ÖZET

Alçak Dünya Yörüngesi (LEO – Low Earth Orbit) uyduları, dünyaya yakın olan uydular olması ile yüksek veri iletim kapasitesi, düşük gecikme süresi ve potansiyel geniş kapsama alanı gibi avantajlarıyla günümüz haberleşme sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Son yıllarda artan veri ihtiyacı ve geniş bant haberleşme istekleri, geleneksel haberleşme altyapılarını zorlamaktadır. Bu durum ile LEO tabanlı çözümlere yani yalnızca haberleşme değil, aynı zamanda algılama (sensing) yeteneklerini de içeren yeni nesil sistemlere olan ihtiyaç artmaktadır. Bu noktada Entegre Algılama ve Haberleşme (ISAC - Integrated Sensing and Communication) teknolojisi ile hem haberleşme hem de algılama işlevleri aynı sistem üzerinde haberleşme sistemlerinin ortak kaynakları kullanmasıyla daha verimli çalışmasını sağlamaktadır. Böylece, özellikle askeri savunma, akıllı şehirler, insansız hava araçları ve nesnelerin interneti (IoT – Internet of Things) gibi uygulamalarda büyük avantajlar sunmaktadır. LEO uydularının sağladığı avantajları ile ISAC sistemleri entegre edildiğinde, dünya çapında sürekli ve güvenilir algılama-haberleşme ağlarının mümkün hale gelmektedir. Bu çalışma öncelikle LEO uydularının mevcut kullanım amaçlarını incelemekte ve LEO uydularının algılama ve haberleşme alanındaki önemini vurgulamaktadır. Ayrıca ISAC teknolojisine duyulan ihtiyaç ele alınmaktadır. Ayrıca, ISAC'ın sağladığı faydalar, teknik zorluklar ve gelecekteki potansiyel uygulamalar üzerine değerlendirmeler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: LEO Uyduları, ISAC, Algılama, Haberleşme

I. GİRİŞ

1990'ların başında alçak dünya yörüngesinde uydu takımyıldızlarının kurulması girişimlerine başlanılmıştır [1]. Günümüzde teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesi ve kullanımının artması ile LEO (low earth orbit) uydularının önemi daha da artmaktadır. LEO uyduları Dünya'dan 500 ila 2000 kilometre arasında uzaklıkta bulunmaktadır. Düşük gecikme süresi ile finansal, ticaret ve tıp gibi alanlarda milisaniyelerin önemli olduğu durumlarda LEO uyduları önem arz etmektedir. LEO uyduları tek başlarına düşünüldüğünde kapsama alanları diğer uydulara göre düşük olabilir fakat birçok LEO uydusunun birbirleriyle iletişimi sayesinde bir takımyıldızı gibi hareket edebilirler ve dinamik olarak bir ağ oluşturabilirler. Bu ağ sayesinde kırsal alanlarda ve erişimin kısıtlı olduğu yerlerde hizmet kalitesi artırılarak yüksek bant genişliği imkânı ile eğitim ve sağlık gibi alanlarda sonuç olarak pozitif bir gelişme sağlanabilmektedir [2]. LEO uydularının bu yakınlığı MEO (Medium Earth Orbit) ve GEO (Geostationary Earth Orbit) uyduları ile kıyaslandığında düşük veri gecikmesi ve yüksek veri hızlarının oluşmasında etkilidir. Karasal ağlarda iletişimin kısıtlı ve zor olduğu alanlarda da LEO uydularından yararlanılmaktadır [3]. Özellikle afet bölgelerinde oluşan bağlantı kesilmeleri sorunu için iletişimin sürdürülmesi, denizcilik ve havacılık sektörlerinde bağlantının kesintisiz ve gerçek zamanlı sağlanması, kırsal ve uzak alanlarda internet erişiminin sağlanmasına LEO uyduları aracılık etmektedir. LEO uyduları aynı zamanda çevrenin izlenmesi ve navigasyon uygulamaları için de kullanılmaktadır [4]. Alçak dünya yörüngesinde küçük uyduların çoğalması ile uzayda enkazlar ve çarpışmalar da meydana gelmektedir [5]. Alçak dünya yörüngesinde artmış olan bu sıkışıklık önemli bir dezavantajdır. Her geçen gün gönderimi artan uydular ile kaza ile çarpışma riski artmakta ve bu durum gerçekleştirilecek uzay operasyonlarının güvenliğini sıkıntıya sokmaktadır [6]. LEO uydu takımyıldızları 5G ve 6G tabanlı sistemlerin geliştirilmesinde önemli katkılar sağlamaktadır. [7]. LEO uydularını modern uzay teknolojileri içerisinde önemli bir yeri olduğu görülmektedir. Bu uydular farklı görevler için kullanılabilir. Geleneksel sezme ve haberleşme

sistemleri genel olarak ayrı ayrı tasarlanmaktadır ve farklı frekans bantlarında çalışırlar [8]. Bu çalışma içerisinde, sezme ve haberleşme ayrı başlıklar altında incelenmektedir. Sezme işlemi çevresel durumları, atmosferi ve yüzeyel verilerin toplanmasında yardımcı olabilirken, haberleşme ise verilerin iletilmesinde yardımcı olabilmektedir.

II. LEO UYDULARINDA ALGILAMA

Algılama işlemi genel olarak çevresel, atmosferik ve yüzeyel verilerin görüntülenmesi gibi birçok amaç ile kullanılan teknolojileri kapsamaktadır. LEO uyduları bu tarz alanlarda çeşitli sensörler ile donatılarak dünyadaki ve uzaydaki farklı olayların izlenmesinde ve verilerin toplanmasında yardımcı olmaktadır. Algılama işlemi altında bulunan teknolojiler ve sensörler doğal afetlerin tespitinin sağlanması, tarım, şehirleşme, su kaynaklarının yönetimi, çevre kirliliğinin tespiti, denizcilik gözetlemeleri, jeolojik incelemeler, askeri gözlem yapılması, atmosfer gözlemi ve diğer fiziksel ölçümlerin toplanmasında yardımcı olmaktadır. Algılama işlemi dünya üzerindeki değişimleri izlemek ve analizini yapmak için bir temel süreç olarak düşünebiliriz. Burada optik görüntüleme, radar görüntüleme, Yapay Açıklıklı Radar (SAR), termal görüntüleme, hiperspektral ve multispektral görüntüleme, elektronik istihbarat (ELINT), lazer tarama (Lidar), radyo frekans izleme ve mikrodalga radyometreler gibi alt amaçlarla LEO uydularında kullanıldığı görülmektedir. Bu alt amaçlar kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda detaylı olarak ele alınmıştır.

Optik görüntüleme ile tarım ormancılık, endüstri, ulaşım, çevre kirliliğinin tespit edilmesi, su kaynaklarının yönetilmesi, gibi uygulama alanlarına sahiptir. Burada yüksek çözünürlüklü optik görüntülerle yeryüzündeki doğal kaynaklar incelenebilir, insanların yapmış olduğu yapılar da gözlemlenebilmektedir [9]. Yapay zekâ ile de görüntüler işlenerek ilerleyen zamanlarda karşılaştırılmaları da yapılabilmektedir. Optik görüntüleme ile enkaz tespiti, optik telekom ve astronomik gözlem gibi araştırma konularına da ön ayak olmaktadır. Alçak dünya yörüngeleri için radar görüntüleme uyduların ayrıntılı olarak karakterizasyonu ve tanımlanması için yeterli olmadığında, optik görüntüleme güçlü ve tamamlayıcı bir araç sağlayabilmektedir. Optik görüntüleme ile uydunun kimliği, durumu, dinamikleri ve hatta çevre kontrolü ile yüksek çözünürlüklü görüntüler ve dinamikler sağlanmaktadır. Hızlı hareket eden hedeflerin izlenmesinde, hızlı yönlendirme yeteneklerine sahip olan geniş açıklıklı teleskoplara sahip olmasını gerektirmektedir [10]. Tasarımı ve üretimi Türkiye'de gerçekleştirilmiş olan RASAT LEO uydusunda da optik görüntüleme kullanılmıştır [11].

Radar görüntüleme ile afet yönetimi, jeolojik gözlemler, askeri ve denizcilik gözetimi gibi uygulama alanlarına sahiptir. Radar görüntüleme ile hava şartlarının kötü olduğu durumlarda veya gece gibi tespitlerin zor olabileceği durumlarda avantaj sağlamaktadır. Yüzey şekilleri hakkında bilgi toplamak için de kullanılabilir.

Yapay Açıklıklı Radar (SAR - Synthetic Aperture Radar), bir radar sistemidir. SAR ile büyük bir anten kullanmak yerine bir takım anten dizisi kullanılmaktadır. Bu anten dizisinin kullandığı açıklık yapay olarak oluşturulduğundan dolayı yapay açıklıklı radar ismini almıştır. Burada açıklık ifadesinden kasıt, antenin sinyalleri topladığı alanı ifade etmektedir. LEO-SAR ile şerit harita (stripmap), spot ışığı, (spotlight), kayan spot ışığı (sliding spotlight) gibi çeşitli görüntüleme modlarında çalışabilmektedir [12]. SAR ile uzak ve açık deniz alanları da olmak üzere geniş kapsama alanı sunmaktadır ve doğal afetlerin izlenmesinde, askeri ve denizcilik gözlem gibi fiziksel saldırılara karşı yüksek güvenilirlik sağlamaktadır [13].

Hiperspektral görüntüleme, elektromanyetik spektrumu görünür halden daha yakın kızılötesi dalga boyu aralıklarına toplayan uzaktan algılama (remote sensing) tekniğidir. Oluşan hiperspektral görüntü ile yakalanmış spektral ve konumsal bilgiler sayesinde tarımda, mineral haritalamada, peyzaj değişikliği tespiti, madenlerin aranması, orman yangını tespiti ve gaz kaçağı tespiti gibi birçok alanda yaygın olarak uygulanmaktadır. Hiperspektral görüntüler yüksek çözünürlüklü görüntülerdir ve normal RGB görüntülerden çok daha fazla kanal bilgisine sahiptir [14]. Burada en önemli faktör, farklı dalga boylarındaki ışıkların algılanmasıyla yüzeydeki toprak, bitkilerin durumu ve su kaynakları gibi yüzeydeki materyalleri tanımlaması ve analizinin gerçekleştirilmesini sağlamasıdır.

Termal görüntüleme, orman yangınları ya da yeryüzünde meydana gelen farklı yangınların izlenmesinde, su kaynaklarının takip edilmesinde, enerji kayıplarının analizlerinin yapılmasında önem arz etmektedir. Yüzeydeki sıcaklık farklılıkları tespit edilebilmektedir. Doğal afetlerin izlenmesinde sıkça kullanılmaktadır. Örneğin Peru'da yer alan Ubinas yanardağında 2013-2014 yıllarında gerçekleşen volkanik patlamalar MIROVA adı verilen bir uydu termal görüntüleme sistemi kullanılarak izlemeye alınmıştır. MIROVA sistemi, patlamayla ilişkili termal emisyonları neredeyse gerçek zamanlı olarak tespit ederek zirve kraterindeki magma püskürmelerine dair erken kanıtlar sağlamıştır [15]. Benzer şekilde son 500 yıl içerisinde 73 defa volkanik patlama gerçekleşen, Endonezya'nın Merkez Java bölgesinde yer alan Merapi yanardağı günümüzde yaklaşık 2,4 milyon bölge sakini için risk oluşturmakta ve birçok faktör açısından oluşturduğu risk termal uydu sensörlerinden alınan veriler aracılığıyla rutin olarak gözlemlenmektedir [16]. Kuraklık nedeniyle meydana gelen kapsamlı orman ölümleri, ormanların ekolojik işleyişini bozabilir, habitatı,

ormanlık alanlardaki su verimini ve kalitesini etkileyebilir ve orman yangını dinamiklerini ve yoğunluğunu değiştirebilir. Uydu termal görüntüleme sistemleri, geniş alanlardaki orman ölümlerinin mekansal modellerini tespit etmek ve izlemek için etkili bir araç sağlar. Yüzey yansımaları ve bitki örtüsü endeksleri, kuraklık olaylarına orman alanlarının optik tepkisini incelemek için yaygın olarak kullanılırken, termal uydu görüntülerinden türetilen buharlaşma ölçümleri hastalığı teşvik edebilen ve kurumaya yol açabilen ağaç stresleri hakkında fikir verebilmektedir [17].

Işık algılama ve menzil belirleme (LiDAR - Light Detection and Ranging) kameraları aktif sensörleri dış koşullardan az etkilenmektedirler. Bu durum hedeflerin tam yörünge boyunca ölçümlemleri yapabilmekte olduklarıdır. Lidar 3 boyutlu nokta bulutu üretir ve bu durum poz tahmini için kullanılmaktadır. Lidar teknolojisiyle, lazer ışınları kullanılarak yüzeyin 3 boyutlu haritası oluşturulmaktadır. [18]. Okyanus sıcaklığı profiline oluşturulmasında [19], dünya yüzeyinin incelenmesinde, arkeolojik alanların araştırılmasında kullanılmak üzere harita oluşturma ve arazi modellemelerinin [20] oluşturulmasında önem arz etmektedir.

Multispektral algılama (Multispectral Sensing) ile yangın haritalama ve yangın sıcak noktası tespiti durumlarında bilgilerin yenilenmesinde avantaja sahiptir [21]. Su bulanıklığını analiz etme, kentsel ısı adalarını belirlemek ve alçak dünya yörüngesinden zararlı alg oluşumlarının tahmin edilmesi için de kullanılmaktadır. Birçok farklı dalga boyundaki ışıkların algılanmasıyla bitkilerin sağlığını ve su kalitesini izleyebilir [22]. Çevre izleme ve koruma, tarımsal yönetim, şehir planlama ve iklim değişikliği araştırmaları için multispektral algılama önem arz etmektedir. Sürdürülebilir kararların verilmesinde, arazi örtüsü sınıflandırması (LCC - Land Cover Classification) ile dünya yüzeyini farklı arazi türlerine ayırmak için kullanılan bir süreç ile de entegre edilebilmektedir [23]. Burada sensörler ve uydu ile çekilen fotoğrafların farklı algoritmalar kullanılarak karşılaştırılmasıyla bitki örtüsünün sağlık durumu, okyanus-deniz ve su yüzeylerinin kirliliği incelenebilir kısaca çevresel değişimlerin takip edilmesinde önemli rol almaktadır.

Elektronik istihbarat (ELINT - Electronic Intelligence), askeri gözlem ve sınır güvenliği için sıkça kullanılmaktadır [24], [25]. Radyo frekanslarının izlenmesiyle yerel ve küresel olarak güvenlik tehditleri hakkında bilgi sağlar. Elektronik istihbarat, radar sistemleri ve düşman iletişimlerinin analiz edilmesinde kullanılır. Kara, deniz ve hava kuvvetleri için eşit ölçüde, operasyonların yürütülmesinde kolaylık sağlamaktadır ve askeri hareketin başarısını önemli derecede arttırmaktadır [26].

Video görüntüleme sayesinde gözetim yapma, afet yönetimi, sınır kontrolü gözetimi gibi birçok önemli görevler yerine getirilebilmektedir [27]. Gerçek zamanlı olarak yüksek çözünürlüklü videoların toplanması, görsel analizlerin verimli bir şekilde yapılmasına olanak tanımaktadır. Özellikle dinamik hava koşullarının sorunsuz olarak entegre edilmesi ve kesintisiz iletişim deneyim kalitesini en üst seviyeye çıkarması, hava durumu etkileri gözlemlerini en iyi seviyede kullanmaya olanak sağlamaktadır [28].

Radyo frekans izleme (RFM - Radio Frequency Monitoring) sayesinde güvenlik, istihbarat ve iletişim izleme gibi önemli görevler yerine getirilebilmektedir. Radyo frekanslarının izlenmesiyle siber güvenlik ve askeri açıdan önem arz etmektedir. Karıştırma ve sahtekarlık sinyallerinin algılanması ve işlenmesiyle algılama arttırılmaktadır. Elektromanyetik spektrumda yayılan sinyallerin tespit edilebilmesi, analizinin gerçekleştirilmesi ve sınıflandırılması amaçları için kullanılan önemli bir teknolojidir. RFM sinyalleri telekomünikasyon ağlarının güvenliğini sağlamada, kaçak yayınları tespit etmede ve uzay tabanlı erken uyarı sistemleri için kullanılabilir [29]. LEO uydularının sağlamış olduğu geniş kapsama alanı ve yüksek zaman çözünürlüğü sayesinde RFM sinyalleri için önemli platformlar sunmaktadır. LEO uydularının sağlamış olduğu bir diğer artıdır düşük gecikme süresi ve yüksek doğruluk oranıdır. Bu artılar ile birlikte hem sivil hem de askeri uygulamalarda önemli avantajlar sunmaktadır [30].

Mikrodalga radyometrisi (Microwave Radiometer), atmosferin zamansal değişkenliğini gözlemlemek, iklim değişikliği ve deniz seviyesinin ölçülmesi gibi alanlarda sıkça kullanılmaktadır. Atmosferdeki nem oranı ve sıcaklığı gibi durumların içeriğini mikrodalga radyometreleri aracılığıyla ölçülmektedir [31]. Elde edilen veriler sayesinde hava durumu tahmini ve iklim modellemeleri oluşturulabilmektedir. Kısaca tüm hava koşullarında sıcaklık, nem ölçümlerini ve hava tahminlerinin iyileştirilebilmesine yönelik önemli katkılar sağlamaktadır [32].

Uzaktan algılamanın (Remote Sensing) tarihi oldukça eskiye dayanmaktadır. Uzaktan algılama platformu olarak güvercinlerin kullanılmasıyla başlamıştır. İlk yeryüzü gözlem uydusu da SPUTNIK'dir. Uzaktan algılama sisteminin oluşturulabilmesi için kullanılan ısınım formu, bu ısınım formunun nasıl toplandığı, elde edilecek görüntünün ölçeği ve detaylı içeriği önemlidir. Uzaktan algılama, dünya yüzeyine ait verilerin elektromanyetik spektrumun farklı bantlarından toplanarak analiz edilmesini sağlayan bir tekniktir. Bitki örtüsünün, toprağın ve suyun spektral özelliklerinin belirlenmesinde önem arz etmektedir [33]. Son yıllarda, uzaktan algılama görüntü yakalama için bir IoT sensörü olarak da kullanılabilir. Jeomorfoloji gözlemi, akıllı şehir yönetimi, afet yardımı, küresel sağlık IoT, çevresel ekoloji koruma [34], hava tahmini ve acil durum izleme alanlarında uzaktan algılama teknolojisi kilit teknolojilerdendir [35]. Yapay zeka destekli uzaktan algılama (AI Remote Sensing) ile geleneksel uzaktan algılama yöntemlerine,

makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarının entegre edilmesiyle veri analiz süreçlerini daha hızlı ve verimli hale getiren bir yaklaşımdır. LEO uyduları sayesinde büyük veri setleri elde edilmektedir. Bu veriler yapay zeka algoritmaları sayesinde sınıflandırılmasıyla analizleri daha hızlı gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum doğal afetlerin tespit edilmesinde, arazilerin kullanılmasında değişikliklerin tespit edilmesinde, iklim değişikliği modellerinin oluşturulmasında ve otonom hedef tanımlanması gibi birçok önemli alanlarda büyük avantajlar sağlamaktadır. Kısaca yapay zeka destekli analizler ile doğal afetlerin etkileri önceden tahmin edilebilir ve müdahale sürecini optimize etmek için, tarım, ulaşım ve akıllı şehir uygulamalarında IoT sistemleriyle entegrasyonu ile verimliliği arttırmada kullanılabilir. Yapay zeka algoritmaları, hiperspektral ve multispektral görüntüleri işleyerek arazi kullanımı değişikliklerini, su kaynaklarının durumunu ve kentsel büyümeyi analiz etmektedir [35].

III. LEO UYDULARINDA HABERLEŞME

LEO uyduları küresel haberleşme altyapısında çok önemli gelişmeler sağlamaktadır. Geleneksel olarak yer tabanlı haberleşme sistemlerinde sınırlı kapsama alanı ile iletişim kurulmaktadır. Haberleşme işlemi genel olarak veri iletiminin sağlanması, ağ bağlantılarının sağlanması ve iletişim altyapısının sağlanması amacı olan tüm teknolojileri kapsamaktadır. İletişim işlemi ile LEO uyduları aracılığıyla, frekansların kullanılmasıyla dünya çapında haberleşme sağlanabilmektedir. Gemilerin konum, kimlik ve yön gibi önemli bilgilerin toplanmasıyla denizcilik güvenliği sağlanabilmektedir. Nesnelerin interneti cihazlarının kullanılması ve bu sayede akıllı şehirler, tarım ve çevrenin izlenebilmesi gibi durumlarda önemli bir role sahiptir. Optik görüntüleme gibi alanlarda, yüksek çözünürlüklü veri iletimi yaptığından dolayı askeri ve ticari alanlarda önem arz etmektedir. Burada otomatik tanımlama sistemi (AIS), amatör radyo, IoT ve optik görüntüleme gibi alt amaçlarla LEO uydularında kullanıldığı görülmektedir. Bu alt amaçlar kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda detaylı olarak ele alınmıştır.

Otomatik tanımlama sistemi (AIS-Automatic Identification System) ile gemilerin konum, hız, yön ve kimlik bilgilerini toplayarak denizcilik güvenliğini sağlamaktadır. LEO uyduları aracılığı ile okyanuslardaki gibi uzak bölgelerde gemilerin takip edilmesinde ve kazaların önlenmesini sağlamaktadır [36]. AIS tespiti üzerine yapılan bazı çalışmalarda LEO uydularından oluşan bir takımyıldızının işletilmesi olanaklarından bahsedilmiş ve Kuzey Atlantik Okyanusu gibi birçok önemli coğrafi alanlarda gemi tespit olasılığı türetilerek konseptin fizibilitesi de kanıtlanmıştır [37].

Amatör Radyo, spektrumda VHF ve UHF bantlarına tahsis edilmiştir. Radyo operatörleri için dünya çapında iletişim imkanı sunmaktadır. Radyo frekanslarının test edilmesinde de olanak sağlamaktadır [38]. Amatör radyo, LEO uydularıyla haberleşmede VHF bandı için 144-146 MHz ve UHF bandı için 434-438 MHz aralıkları için etkin olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler, otomatikleştirilmiş yer istasyonları sayesinde uydu takibi ve veri iletişimi gibi olanakları sağlayabilmektedir. Beacon yani işaret sinyallerinin alınması, Doppler kayması düzeltmesi ve anten yönlendirme gibi birçok işlemi de desteklemektedir. Amatör radyo frekansları amatör uydu operatörleri ve öğrenci projeleri gibi birçok deneysel araştırma için de kullanılmaktadır. Bu sistemler ile uzay haberleşme sisteminde ve düşük maliyetli olarak uydu haberleşme testlerinde önemli bir rol oynamaktadır [39]. Kısaca amatör radyo tabanlı haberleşme uydular arasında veri aktarımının sağlanmasında, afet durumlarında iletişimin sağlanmasında ve bilimsel araştırmalar için önemli bir destek sunmaktadır.

IoT haberleşmesi, entegre edilecek uzay-hava-yer ağlarında, İnsansız Hava Araçları IoT cihazlarından bilgi ve veri toplayabilmekte, aynı zamanda da birden fazla LEO uydusu ile iletişim kurabilmektedir. IoT ile akıllı tarım, akıllı ev-şehir, çevresel izleme ve lojistik gibi uygulamalarda da düşük maliyetli ve erişimin kolay olduğu altyapılar sunmaktadır [5], [8]. LEO uyduları IoT haberleşmesi için kritik bir öneme sahiptir. Deprem, sel ve kasırga gibi doğal afet durumlarında IoT cihazları LEO uyduları ile veri iletimi sağlayarak hayatta kalan insanların tespit edilmesinde ve oluşan altyapı hasarlarının izlenmesinde kısaca acil durum yönetimi açısından önem arz etmektedir. Çevresel izleme ve akıllı tarım uygulamalarında; toprak nemi, sıcaklık, basınç ve nem gibi farklı parametreleri ölçen sensörler, LEO uydularına veri iletimini sağlayarak tarımsal üretimi optimize etmeye yardımcı olurlar. Denizcilik ve lojistik alanlarda, limanların gemi taşımacılığını izlemek ve lojistik şirketleri için takip sistemleri sağlamak için IoT tabanlı uygulamalarda LEO uydularından destek alınmaktadır [40]. Kısaca bu tarz farklı kullanım alanları, LEO uydularının IoT haberleşmesi için önemli bir altyapı sağladığını göstermektedir.

Optik haberleşme, çeşitli uzay haberleşmesi için kullanılabilir. Yer-Uydu haberleşmesi, Uydu- Yer haberleşmesi, Uydu-Uydu haberleşmesi (ISL), derin uzay haberleşmesi, askeri ve güvenlik amaçlı haberleşme için kullanılabilir. Yer-uydu veya uydu- yer arası iletişimde yüksek bant genişliği ve düşük gecikme avantajı ile veri iletimi sağlanır. Bu durum ayrıca uzaktan algılama, radyo astronomi, askeri iletişim ve afet yönetimi gibi alanlarda kullanılabilir. Derin uzay haberleşmesi ile Mars ve diğer gezegenler arası veri aktarımı için kullanılabilir. NASA'nın yapmış olduğu Laser Communication

Demonstration (LLCD) ve Mars Laser Communication Demonstration (MLCD) gibi projeleri, optik haberleşmenin derin uzay haberleşmesinde nasıl kullanıldığını göstermektedir [41].

IV. ISAC

Elektronik spektrumun aşırı derecede kalabalıklaşması, algılama ve haberleşme sistemlerinin geniş bant aralıklarını kullanmaları sonucunda spektrumun kullanılması büyük rekabetlere yol açmaktadır [42]. Bu durum spektrum verimliliğinin sağlanamaması ve kaynak verimliliğinin düşmesi gibi durumlara neden olabilmektedir. Geleneksel kablosuz haberleşme sistemleri, haberleşme için belirli frekans kanallarını kullanırlarken, algılama teknolojileri farklı spektrumlarda çalışmaktadır. Spektral ve donanımsal kaynakların verimli kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır ve bu durum ISAC'ın ortaya çıkmasına neden olmuştur [43]. ISAC, gerçek zamanlı olarak, algılama ve haberleşme teknolojilerini bir araya getirerek önemli faydalar sağlamaktadır ve bu durum 6G için umut verici teknolojiler arasında yer almaktadır. ISAC'ın bu teknolojileri bir araya getirmesi sonucunda en büyük avantajlardan biri de ultra düşük gecikme süresi ve yüksek bant genişliği bağlantılarını desteklemek için daha iyi bir spektrum kullanımını sağlamasıdır [44]. ISAC teknolojisi spektrum verimliliğini artırması sebebiyle aynı kaynaklar üzerinden hem algılama hem haberleşme ve çevresel algılama yapılmasını sağlayacaktır. Gelecek çalışmalar için akıllı şehirler, otonom araçlar, akıllı ulaşım sistemleri, insansız hava araçları ve güvenlik sistemleri gibi birçok alanda yaygın hale gelerek kritik bir yol oynayabilir. Yapay zeka, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi sistemlerle desteklenerek ISAC teknolojisi, gerçek zamanlı veri işleme ve karar alma mekanizmaları için önemli ilerleme sağlayabilir.

V. SONUÇLAR

LEO uydularının algılama ve haberleşme alanındaki rolleri bu çalışma sonucunda kısaca özetlenmiştir. LEO uydularının düşük gecikme süresi, yüksek veri iletim sağlaması ve geniş kapsama alanı gibi avantajlarının algılama ve haberleşme sistemleri için vazgeçilmez bir teknoloji haline getirmektedir. LEO uyduları ISAC teknolojisi ile kullanıldığında, algılama ve haberleşme fonksiyonları aynı kaynaklar üzerinde kullanıldığında daha verimli ve güvenilir çözümler elde edilebilir. LEO uydularının sağladığı optik görüntüleme, radar görüntüleme, SAR, hiperspektral görüntüleme, termal görüntüleme, LiDAR ve radyo frekans izleme gibi teknolojiler, afet yönetiminden tarıma, askeri gözetlemeden çevresel gözleme kadar geniş alanlarda kritik uygulamalar sunmaktadır. Ancak, bu teknolojilerin gelişimiyle birlikte uzayda artan uydu yoğunluğu, çarpışma riskleri ve spektrum paylaşımı gibi teknik zorluklar da ortaya çıkmaktadır. Gelecekte, LEO uydu takımıyla entegre edilen ISAC sistemlerinin 5G ve 6G haberleşme ağlarının temelini oluşturması, akıllı şehirler, insansız hava araçları ve IoT gibi alanlarda devrim niteliğinde gelişmeler sağlaması beklenmektedir. Bu doğrultuda hem donanım hem de yazılım bazlı yeniliklerle uzayda daha verimli ve güvenli haberleşme-algılama sistemlerinin oluşturulması kritik bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] K. T. Li, C. A. Hofmann, H. Reder, and A. Knopp, "A Techno-Economic Assessment and Tradespace Exploration of Low Earth Orbit Mega-Constellations," *IEEE Communications Magazine*, vol. 61, no. 2, pp. 24–30, Feb. 2023, doi: 10.1109/MCOM.001.2200312.
- [2] Y. M. Reddy, V. H. Raj, H. P. Thethi, S. Gupta, P. Maan, and R. H. Ghani, "Low Earth Orbit (LEO) Satellite Networks: A New Era in Global Communication," in *2023 10th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering, UPCON 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 1563–1568. doi: 10.1109/UPCON59197.2023.10434303.
- [3] J. Park, J. Seong, J. Ryu, Y. Mao, and W. Shin, "A Bistatic ISAC Framework for LEO Satellite Systems: A Rate-Splitting Approach," Jul. 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2407.08923>
- [4] Y. Zhu *et al.*, "Passive Inter-Satellite Localization Accuracy Optimization in Low Earth Orbit Satellite Networks," *IEEE Trans Wirel Commun*, 2025, doi: 10.1109/TWC.2025.3525852.
- [5] I. Md Siddique, "Small Satellites: Revolutionizing Space Exploration and Earth Observation," *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, vol. 2024, no. 3, pp. 118–124, 2024.
- [6] M. Vaseeq, H. Khan, and E. L. Ntantis, "Space Debris: Overview and Mitigation Strategies," in *International Conference on Research, Technology and Education of Space*, Budapest, Apr. 2024.
- [7] Shanzhi Chen, Shaohui Sun, and Shaoli Kang, "System Integration of Terrestrial Mobile Communication and Satellite Communication: The Trends, Challenges and Key Technologies in B5G and 6G," *China Communications*, vol. 17, Dec. 2020.
- [8] Y. Gu *et al.*, "ISAC towards 6G Satellite-Terrestrial Communications: Principles, Status, and Prospects," Apr. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/electronics13071369.
- [9] Z. Li *et al.*, "Autonomous Mission Planning Method for Optical Imaging Satellites Based on Real-Time Cloud Cover Information," *Remote Sens (Basel)*, vol. 14, no. 11, Jun. 2022, doi: 10.3390/rs14112635.
- [10] C. Petit *et al.*, "LEO satellite imaging with adaptive optics," *ONERA*, 2019, doi: 10.34693/COAT2019-S3-003i.
- [11] G. Ytiksel, A. Okan, and U. M. Leloglu, "First LEO Satellite Built in Turkey: RASAT."
- [12] G. C. Sun, Y. Liu, J. Xiang, W. Liu, M. Xing, and J. Chen, "Spaceborne Synthetic Aperture Radar Imaging Algorithms: An overview," Mar. 01, 2022, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* doi: 10.1109/MGRS.2021.3097894.

- [13] R. Blázquez-García, M. Ummenhofer, D. Cristallini, and D. O'Hagan, "Passive Radar Architecture based on Broadband LEO Communication Satellite Constellations," in *Proceedings of the IEEE Radar Conference*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2022, doi: 10.1109/RadarConf2248738.2022.9764342.
- [14] B. Zhu, S. Lin, Y. Zhu, and X. Wang, "Collaborative Hyperspectral Image Processing Using Satellite Edge Computing," *IEEE Trans Mob Comput*, vol. 23, no. 3, pp. 2241–2253, Mar. 2024, doi: 10.1109/TMC.2023.3253280.
- [15] D. Coppola *et al.*, "Magma extrusion during the Ubinas 2013-2014 eruptive crisis based on satellite thermal imaging (MIROVA) and ground-based monitoring," *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 302, pp. 199–210, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2015.07.005.
- [16] H. P. Chan, K. I. Konstantinou, and M. Blackett, "Spatio-temporal surface temperature variations detected by satellite thermal infrared images at Merapi volcano, Indonesia," *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 420, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2021.107405.
- [17] Y. Yang, M. C. Anderson, F. Gao, J. D. Wood, L. Gu, and C. Hain, "Studying drought-induced forest mortality using high spatiotemporal resolution evapotranspiration data from thermal satellite imaging," *Remote Sens Environ*, vol. 265, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.rse.2021.112640.
- [18] L. Renaut, H. Frei, and A. Nüchter, "CNN-based Pose Estimation of a Non-Cooperative Spacecraft with Symmetries from Lidar Point Clouds," *IEEE Trans Aerosp Electron Syst*, 2024, doi: 10.1109/TAES.2024.3517574.
- [19] J. R. Moisan, C. S. Rousseaux, P. R. Stysley, G. B. Clarke, and D. P. Poullos, "Ocean Temperature Profiling Lidar: Analysis of Technology and Potential for Rapid Ocean Observations," *Remote Sens (Basel)*, vol. 16, no. 7, Apr. 2024, doi: 10.3390/rs16071236.
- [20] C. McGrath, C. Lowe, M. Macdonald, and S. Hancock, "Investigation of very low Earth orbits (VLEOs) for global spaceborne lidar," *CEAS Space Journal*, vol. 14, no. 4, pp. 625–636, Oct. 2022, doi: 10.1007/s12567-022-00427-2.
- [21] Giovanni Laneve, Barbara Hirn, Concettina Di Bartola, and Fabrizio Ferrucci, "Maximizing The Detection And Mapping Of Minimal Area Burn Scars With A Multi-Payload Multi-Method Automated Approach: Application To Summer Fire Seasons In Italy," in *IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing (IGARSS)*, IEEE, Jul. 2010.
- [22] J. Patton, T. Whitney, T. Russell, S. Muchemore-Allen, and A. Abedi, "Development of a Low-Cost Multispectral Sensing CubeSat on Amateur Radio Frequency," *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, vol. 7, pp. 402–414, 2023, doi: 10.1109/JRFID.2023.3272294.
- [23] M. S. Hernández, "Beliefs and attitudes of canarians towards the chilean linguistic variety," *Lenguas Modernas*, no. 62, pp. 183–209, 2023, doi: 10.13039/501100011033.
- [24] M. Brodecki and Z. De Groot, "SSC18-VII-03 SIGINT: The Mission CubeSats are Made For."
- [25] R. Krishna, A. Shandilya Krishna, and A. Shandilya, "National Security, Vi-vekananda International Foundation," 2019. [Online]. Available: <https://www.vifindia.org/sites/default/files/national-security-vol-2-issue-1-article-RkAs>
- [26] Air Chief Marshal VR Chaudhari, *SPACE BASED ELINT - A Chinese Case study: Measures to develop capabilities in Indian Context*, vol. Synergy. 2022.
- [27] M. Bayat, L. Rongke, L. Arman, and H. Zarrini, "Earth Observation Satellite Learning to Video Compressor complexity reduction."
- [28] H. Fang *et al.*, "Streaming Media over LEO Satellite Networking: A Measurement-Based Analysis and Optimization," *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, Sep. 2024, doi: 10.1145/3694976.
- [29] A. Lovascio and A. D. 'Orazio, "Design of a Telemetry, Tracking, and Command Radio-Frequency Receiver for Small Satellites Based on Commercial Off-The-Shelf Components." [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/336149236>
- [30] K. Olmayan *et al.*, "'Teknoloji Geliştirme ve Uygulamaları Çalışma Grubu' ve 'Regülasyonlar, Standartlar ve Güvenlik Çalışma Grubu' TÜRKİYE UZAY AJANSI BAŞKANLIĞI."
- [31] Y. V. Goncharenko, W. Berg, S. C. Reising, F. Iturbide-Sanchez, and V. Chandrasekar, "Design and Analysis of CubeSat Microwave Radiometer Constellations to Observe Temporal Variability of the Atmosphere," *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens*, vol. 14, pp. 11728–11736, 2021, doi: 10.1109/JSTARS.2021.3128069.
- [32] W. J. Blackwell *et al.*, "Blackwell and Cahoy, et al. 1 28 th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites Microwave Radiometer Technology Acceleration Mission (MiRaTA): Advancing Weather Remote Sensing with Nanosatellites."
- [33] Y. ProfDr Filiz SUNAR Ünite, *Anadolu Üniversitesi*. 2011.
- [34] Y. Li, M. Wang, Z. Li, and T. Ji, "LEO Satellite Constellation for Global-Scale Remote Sensing With On-Orbit Cloud AI Computing," *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens*, vol. 16, pp. 9796–9808, 2023, doi: 10.1109/JSTARS.2023.3316298.
- [35] B. Guo, Z. Xiong, D. Niyato, S. Mao, and Z. Han, "Multi-Path Transmission of Real-Time Remote Sensing Data via Heterogeneous LEO Inter-Satellite-Links," in *Proceedings - 2024 IEEE 21st International Conference on Mobile Ad-Hoc and Smart Systems, MASS 2024*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024, pp. 75–81. doi: 10.1109/MASS62177.2024.00021.
- [36] E. Skovfoged Nissen and M. Mølbach, "Detecting AIS position spoofing using LEO satellites, Doppler shifts, and MCMC methods.- Master thesis," 2018. [Online]. Available: <http://www.aau.dk>
- [37] *Signal Processing for Space Communications, 2008 : SPSC 2008 : 10th International Workshop on [Signal Processing for Space Communications], 6-8 October, 2008, [Rhodes, Greece]. [IEEE], 2008.*
- [38] Vlad Dascal, Paul Dolea, Octavian Cristea, and Tudor Palade, "Low-Cost SDR-Based Ground Receiving Station for LEO Satellite Operations," in *TELSIKS*, Oct. 2013.
- [39] Lipika Garg, Atharva Kand, Malhar Pradhan, and Abhishek Agarwal, "Automated Ground Station Design for an Amateur LEO Satellite System," in *2019 IEEE Aerospace Conference*, IEEE, 2019.
- [40] T. T. T. Le, N. U. Hassan, X. Chen, M. S. Alouini, Z. Han, and C. Yuen, "A Survey on Random Access Protocols in Direct-Access LEO Satellite-Based IoT Communication," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 2024, doi: 10.1109/COMST.2024.3385347.
- [41] H. Kaushal and G. Kaddoum, "Optical Communication in Space: Challenges and Mitigation Techniques," Jan. 01, 2017, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* doi: 10.1109/COMST.2016.2603518.
- [42] L. Yin, Z. Liu, M. R. Bhavani Shankar, M. Alaee-Kerahroodi, and B. Clerckx, "Integrated Sensing and Communications Enabled Low Earth Orbit Satellite Systems," *IEEE Netw*, 2024, doi: 10.1109/MNET.2024.3371172.
- [43] H. Liu, R. Zhang, and X. Jing, "Beam Hopping for Multi-Beam LEO Satellite Systems with Integrated Sensing and Communications," in *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024, doi: 10.1109/WCNC57260.2024.10570843.
- [44] A. Kaushik *et al.*, "Integrated Sensing and Communications for IoT: Synergies with Key 6G Technology Enablers," *IEEE Internet of Things Magazine*, vol. 7, no. 5, pp. 136–143, 2024, doi: 10.1109/IOTM.001.2400052.

Uydu Yer İstasyonunda Tamir Edilebilir-Yedekli Sistemler İçin Geliştirilmiş Elverişlilik Hesaplaması

Sinan Emir Boz^{a,}, Nazım Yaman^a, Mesut Gökten^b*

^aTürk Havacılık Uzay Sanayii, Uzay Sistemleri GMY, Ankara/Türkiye.

^bDüzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: sinanemir.boz@tai.com.tr

ÖZET

Uyduların kontrol edilmesi, haberleşmenin sağlanması, verilerinin indirilmesi ve depolanması uydu yer istasyonu sayesinde yapılmaktadır. Bu sebeple yer istasyonunun kesintisiz çalışması müşterinin ana gereksinimlerinden biridir. Kesintisiz çalışmanın sayısal göstergesi ise elverişlilik değeridir. Elverişlilik, ihtiyaç duyulan sistemin, zamanın herhangi bir anında kullanıma hazır olma derecesini gösteren 0 ile 1 arasında tanımlanan sayısal bir değer olup sistemin güvenilirlik ve idame edilebilirlik değerleri ile doğrudan ilişkilidir. Elverişlilik analizleri projeye atanan elverişlilik gereksinimi ile uyumlu uydu yer istasyonunu tasarlamak için yapılmaktadır. Uzay kesiminde tamir imkânı olmadığından, elverişlilik doğrudan güvenilirliğe bağlı olmasına karşın, yer kesiminde idame edilebilirlik ile lojistik gecikme parametreleri de hesaplama dahil edilir. Yer istasyonunda genellikle anten ve bileşenleri haricinde tüm alt sistem bileşenleri tekil nokta hatası olmayacak şekilde yedekli tasarlanmaktadır. Bu kapsamda literatürde kullanılan elverişlilik hesaplama yöntemleri ve denklemleri değerlendirilmiş, tamir edilebilir-yedekli karmaşık sistemlere uyarlanarak formüller özelleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı tamir edilebilir-yedekli bir sistemin yedeklilik durumuna göre (sıcak / soğuk yedeklilik) güvenilirlik, elverişlilik ve idame edilebilirlik hesaplarının herhangi bir güvenilirlik paket yazılımına ihtiyaç duymadan yapılmasıdır. Ortaya konulan hesaplama metodları örnek olay üzerinde uygulama ile gösterilmiştir. Bu örnek olayda ele alınan model uydu yer istasyonu üzerinde tamir edilebilir-yedekli alt sistemleri için güvenilirlik (MTBF), idame edilebilirlik (MTTR) ve elverişlilik hesaplamaları gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Uydu Yer İstasyonu, Güvenilirlik, Operasyonel Elverişlilik, Tamir edilebilir-yedekli sistemlerde MTBF, MTTR Hesabı*

Availability Calculation Method of Satellite Ground Station for Repairable-Redundancy System

Sinan Emir Boz^{a,}, Nazım Yaman^a, Mesut Gökten^b*

^aTurkish Aerospace Industries, Space System, Ankara/Türkiye.

^bDüzce University, Engineering Faculty, Department of Electric Electronic Engineering, Düzce/Türkiye.

*Corresponding Author: sinanemir.boz@tai.com.tr

ABSTRACT

As part of a space system, satellite ground station performs control of satellites, communication, downloading and storing of data. For this reason, non-stop operation of ground station is one of the customer's main requirements. The numerical indicator of non-stop operation is availability value. Availability is defined between 0 and 1 indicating the degree of readiness of the required system for use at any time and is directly related to the reliability and maintainability values of the system. Availability analyses are performed to design the satellite ground station compatible with this availability requirement assigned to the project. Since there is no repair possibility in the space segment, availability is directly related to reliability, but in the ground segment, logistic delay parameters and maintainability calculations are also included. All ground station subsystem components except antenna and its components are generally designed as redundant to prevent single point failure. In this study, availability calculation methods and equations used in the literature are evaluated and then formulas are customized by adapting them to repairable-redundant complex systems. The main purpose of this study is to show the reliability, availability and maintainability calculation method for repairable-redundant system compatible with redundancy concept (hot/cold) without needing any reliability package software. The derived

calculation methods are demonstrated practically on a case study. In this case study, the reliability (MTBF), maintainability (MTTR) and availability calculations for the repairable-redundant subsystems of the model satellite ground station are demonstrated.

Keywords: *Satellite Ground Station, Reliability, Operational Availability, Repairable-redundancy system MTBF, MTTR Calculation*

I. GİRİŞ

Güvenilirlik, elverişlilik ve idame edilebilirlik mühendisliği [Reliability(R), Availability(A), Maintainability(M)- RAM], uzay, havacılık, savunma, otomotiv, demiryolu ve tüketici elektroniği gibi alanlarda önemli bir iş kolu olarak yer almaktadır. Bir ürünün veya sistemin, istenen şartlarda, sürelerde ve belirli çalışma ortamında kendinden beklenen performansı sağlayıp sağlayamayacağının nitelik ve nicelik olarak analiz edilmesini sağlayıp, performansının artırılması için gereken önlemlerin alınmasına ve tasarımın geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Küreselleşmenin bir sonucu olarak son yıllarda uzay, havacılık ve savunma alanındaki ürünlerin medyada daha sık yer alıp takip edilmesi, tasarlanıp, üretilip test edilen bu ürünlerin sayısal kalite göstergelerinin daha çok göz önünde bulundurulmasına sebep olmaktadır. Güvenilirlik mühendisliği, doğrudan müşteriye ve operasyonun sürdürülebilirliğini etkileyecek bu sayısal değerlerin optimizasyonu ile ürünün arıza yapma ihtimalini minimize ederken üründen alından faydayı maksimize ederek ürün kalitesinin sayısal olarak ifade edilmesine imkân sağlamaktadır [1].

RAM faaliyetleri kapsamında ele alınan elverişlilik (A) kavramı, bir ürün veya sistemin kesintisiz çalışma ihtimalinin sayısal göstergesi olarak ifade edilmekte olup ilgili ürün veya sistemin, çalışması süresince kullanıma hazır olma derecesini 0 ile 1 arasında tanımlayan sayısal bir değerdir. Elverişlilik, güvenilirlik (R) ve idame edilebilirliğin (M) bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Bir ürünün güvenilirlik özelliği, güvenilirlik fonksiyonu (R), hata oranı (A) veya MTBF cinsinden ifade edilebilmektedir. İdame edilebilirlik (M) değeri ise kısaca o ürünün arızalanması sonrası tamiri ve/veya bakımı için harcanan zaman şeklinde ifade edilmektedir. Ürünün kullanımda olma oranı, arızalanma süresi ve tamir edilme süresi ile ilişkilidir. Buradan hareketle ürünün elverişliliği en basit şekliyle aşağıdaki denklemle literatürde yer almaktadır.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1)$$

Radyasyon kaynaklı kesintilerin ele alındığı uzay kesiminde elverişlilik analizleri ile yer kesimi elverişlilik yaklaşımında farklılıklar bulunmaktadır. Uydu yer istasyonu elverişliliği tamir edilebilen ve yedekli parçalar içerdiğinden elverişlilik hesaplaması karmaşıklaşmaktadır. Böyle bir sistemin çalışabilir olmama durumu ya tüm yedeklerin aynı anda arızalanması veya arızalı bileşen tamir edilme sürecinde devreye alınan yedeğin de arızalanmasıyla mümkündür. Bu şekilde kurulmuş sistemlerin elverişliliği 1'e yakın mertebelerde gezmektedir. Bu çalışmada öncelikli olarak herhangi bir paket yazılıma veya programa ihtiyaç duymadan güvenilirlik ve elverişlilik değerlerinin hesaplanması ile ilgili teknik alt yapı sunulup sonrasında örnek bir model uydu yer istasyonunda yapılan elverişlilik analizleri sayısal değerler üzerinden gösterilmiştir.

II. GÜVENİLİRLİK, ELVERİŞLİLİK VE İDAME EDİLEBİLİRLİK İLE İLGİLİ GENEL TANIMLAR

İçsel (Inherent) Elverişlilik: Bir ürünün veya sistemin doğasından gelen, kullanımda olma ve tamir ihtiyacından dolayı kullanımda olmama sürelerinin bir fonksiyonudur.

Operasyonel Elverişlilik: Bir ürünün veya sistemin normal çalışma şartlarında kullanımda olma ve olmama sürelerinin bir fonksiyonudur. Kullanımda olmama süresine tamir (önleyici ve düzeltici bakım) esnasındaki tüm gecikmeler (LDT - Lojistik gecikme zamanı) dahil edilir.

Yedeklilik: Bir ürünün veya sistemin kullanımda olması sırasında aynı işi yapabilecek farklı bir bileşene sahip olma durumudur.

Sıcak Yedeklilik: Sistemi oluşturan yedekli bileşenlerin tamamının aktif olduğu, herhangi bir bileşendeki arıza durumunda diğer bileşenlerin devreye alınma ihtiyacı olmaksızın görevine devam ettiği yedeklilik durumudur.

Soğuk Yedeklilik: Yedekli bir sistemde aktif olarak çalışan bileşen(ler)in işi yaptığı, kullanımda olmayan farklı bileşen(ler) ile yedekliliğin sağlandığı durumdur. Bir arıza anında yedekteki bileşen(ler) otomatik veya manuel olarak devreye alınır.

MTBF: Arızalar arasında geçen ortalama zaman

MTTR (MCT): Ortalama tamir süresi

LDT: Logistic Delay Time – Lojistik Gecikme Zamanı

Elverişlilik hesaplarının yapılmasında aşağıdaki denklemler ana ve referans denklemler olarak kullanılmaktadır:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (3)$$

$$A_{inherent} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \quad (4)$$

$$A_{operasyonel} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR+LDT} \quad (5)$$

III. TAMİR EDİLEBİLİR VE YEDEKLİ SİSTEMLERDE MTBF VE MTTR DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

Tamir edilebilir ve yedekli bir sistemin elverişlilik değeri ile sistem MTBF ve MTTR değerlerinin hesaplanması sistemi oluşturan bileşenlerin/ürünlerin MTBF ve MTTR değerleri kullanılarak yapılmaktadır. Sıcak ve soğuk yedekli durumlarda denklemler değişmekle birlikte özellikle 1::2 sıcak/soğuk yedekli durumlarda özellikle tamir edilebilir 1::2 sıcak ve soğuk yedekli durumlarda farklı kaynaklarda sunulan denklemlerde farklılıklar ve bazı muğlaklıklar bulunmaktadır. Bu açıdan yapılan çalışma, hesaplamalarda yol gösterici olup farklı kaynaklarda sunulan farklı metot yaklaşımlarının ortaklanması bakımından yol gösterici olacaktır.

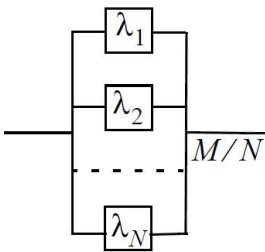
Uzay teknolojileri için özel olarak hazırlanmış [2] standardı Annex A'da sistem elverişlilik değerinin hesabının yine sadece sistem bileşenlerinin elverişlilik değerleri kullanılarak yapıldığı gösterilmiştir. [3]'de Tablo 10.4-1'deki denklemlerde yedekli sistemler için elverişlilik değerinin hesabı ise, MTBF ve MTTR değerleri kullanılarak yapılabilmekte iken sistem MTBF ve MTTR değerleri hesaplarının nasıl yapılacağı ile ilgili genel bir denklem verilmemektedir.

[4], [5], [6], [7], [8], [9], [10] ve [11]'de sistem elverişlilik değeri hesabı için MTBF ve MTTR değerleri cinsinden yapılmakla birlikte denklemlerde farklılıklar görülmektedir. [9]'da verilen referans kaynak *WQS - Windchill Risk and Reliability* Yazılımının yardımcı referans kaynağı olarak yayınlanmıştır.

A. Sıcak Yedeklilik Durumunda Sistem MTBF Değerinin Hesaplanması

Bir ürünün veya sistemin yedeklilik gösterimi m::n veya m/n (m-out-of-n) şeklinde gösterilmektedir. "n" toplam bileşen sayısını ifade etmekte iken "m" sistemin çalışması için gerekli ve yeterli bileşen sayısını göstermektedir.

Şekil 1'de her bir bileşen için farklı hata oranı değeri verilmekle beraber bu çalışmada yapılacak olan hesaplamalar, yedekliliği oluşturan her bileşenin eş (MTBF ve MTTR değerleri eşit) olduğu kabulü üzerine yapılmıştır.



Yedeklilikte çokça kullanılan 1::2 sıcak yedekli bir sistemin kesintisiz bir şekilde çalışabilmesi için ya iki bileşen de aktif olarak çalışmalı veya en az bir bileşenin çalışması gerekmektedir. Dolayısıyla herhangi bir bileşen arızalanması çalışmayı aksatmamaktadır. Buradan hareketle sistem MTBF'ini hesaplayan denklemler [3], [4], [5] ve [9] kaynaklarında aşağıdaki tabloda gösterildiği şekilde verilmiştir. [3]'te sistem MTBF değeri için direk bir denklem olmayıp sistem elverişlilik denkleminde (4) Denklemi kullanılarak türetilmiştir. [4], [5] ve [9] için MTBF ve MTTR değerleri kullanılarak elverişlilik değeri hesaplanmıştır.

Şekil. 1: Yedeklilik gösterimi

Tablo 1. 1::2 Sıcak yedeklilik için sistem MTBF hesaplama denklemleri

Kaynak	MTBF _{sistem}	Elverişlilik _{sistem}	MTBF:1000 saat, MTTR:5 saat için örnek sistem MTBF değeri
[3]	$\frac{\mu + 2\lambda}{2\lambda^2}$	$\frac{\mu^2 + 2\mu\lambda}{\mu^2 + 2\mu\lambda + \lambda^2}$	101.000 saat
[4]	$\frac{\mu + 3\lambda}{2\lambda^2} \approx \frac{\mu}{2\lambda^2}$	$\frac{\mu^2 + 3\mu\lambda}{\mu^2 + 3\mu\lambda + \lambda^2}$	101.500 saat
[5]	$\frac{\mu}{2\lambda^2}$	$\frac{\mu^2}{\lambda^2 + \mu^2}$	100.000 saat
[9]	$\frac{\mu + 2\lambda}{2\lambda^2}$	$\frac{\mu^2 + 2\mu\lambda}{\mu^2 + \lambda^2 + 2\mu\lambda}$	101.000 saat

Tablo 1’den görüleceği üzere 1::2 sıcak yedekli bir sistemin MTBF değerinin hesaplanmasında denklemlerin pay kısmında yer alan λ katsayıları farklılık göstermektedir. MTBF ($1/\lambda$) değerinin düşük olduğu sistemlerde ilgili denklemlerle yapılacak hesaplamalarda aradaki fark büyümektedir. Aynı kaynaklarda farklı sayıdaki yedeklilik durumları için verilen genel denklemler ise Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. m::n Sıcak yedeklilik için sistem MTBF hesaplama denklemleri

Kaynak	MTBF _{sistem}	Elverişlilik _{sistem}
[3]	Genel bir formül verilmemiştir.	$\sum_{i=m}^n \frac{n!}{(n-1)! \times i!} \left(\frac{\mu}{\mu+\lambda}\right)^i \left(\frac{\lambda}{\mu+\lambda}\right)^{n-i}$
[4]	$MTBF_{m/n} \approx \frac{(m-1)! \cdot \mu^{n-m}}{n! \cdot \lambda^{n-m+1}}$	[4] ve [5] için sistem MTBF genel denklemleri benzer şekilde verilmiştir. Sistem MTBF ve MTTR değerleri Denklem (4)’te yerine konularak sistem elverişlilik değeri elde edilebilir.
[5]	$MTBF_{m/n} = \frac{(m-1)! \cdot \mu^{n-m}}{n! \cdot \lambda^{n-m+1}}$	
[9]	$MTBF_{m/n} = \frac{A_s \cdot \frac{1}{\lambda}}{m \cdot \frac{n!}{(n-m)! \cdot m!} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu+\lambda}\right)^m \cdot \left(\frac{\mu+\lambda}{\mu}\right)^{n-m}}$	Sistem elverişlilik değerini gösteren A_s değeri ise Tablo 4-6’da 5x6 matris şeklinde verilmiştir.

B. Soğuk Yedeklilik Durumunda Sistem MTBF Değerinin Hesaplanması

Soğuk yedekli bir sistemin sıcak yedekliden temel farkı, yedekte bekleyen bileşenin çalışmıyor olması (enerjilendirilmemiş) ve arızalanan bileşenin yerine anahtarlama yapılarak devreye alınmasıdır. Soğuk yedekli kurguda en fazla bir tane bileşenin soğuk yedek olarak bekletmek kullanışı olduğundan, elverişlilik ile ilgili kaynaklar soğuk yedekli sistemler için $n/(n+1)$ yedeklilik ve sistem MTBF hesaplama denklemlerine sıkça yer vermişlerdir. Sistem MTBF’ini hesaplayan denklemler [3], [4], [5] ve [9] kaynaklarında aşağıdaki tabloda gösterildiği şekilde verilmiştir. [3]’te sistem MTBF değeri için direk bir denklem olmayıp sistem elverişlilik denkleminde (4) Denklemi kullanılarak türetilmiştir.

Tablo 3. m::n Soğuk yedeklilik için sistem MTBF hesaplama denklemleri

	MTBF _{sistem}	Elverişlilik _{sistem}
[3]	Sadece 1::2 ve 2::3 soğuk yedekli sistemler için denklemler verilmiş olup çoklu yedekli durumlar (m::n) için genel bir denklem verilmemiştir.	$\frac{2\mu^2 + 2\mu\lambda}{2\mu^2 + 2\mu\lambda + \lambda^2}$
[4]	$MTBF_{m/n} \approx \frac{\mu^{n-m}}{(m\lambda)^{n-m+1}}$	Sistem MTBF ve MTTR değerleri Denklem (4)’te yerine konularak sistem elverişlilik değeri elde edilebilir.
[5]	$MTBF_{n/n+1} = \frac{\mu + n(P+1)\lambda}{n[n\lambda + (1-P)\mu]\lambda}$	
[9]	Sadece 1/n yedeklilikler için denklem verilmiş olup m::n (m>0) şeklindeki yedeklilik durumları için sistem MTBF denklemleri verilmemiştir. Yazılım kendi içinde hesaplamaları Markov ve/veya Monte Carlo analiz yöntemleri kullanarak hesaplamaktadır.	-

C. Sistem MTTR Değerinin Hesaplanması

Tamir edilebilir -yedekli bir sistemin sıcak veya soğuk yedekli olma durumundan bağımsız olarak sistem MTTR değerinin hesaplanması için [3], [4], [5], [6], [8], [9], [10], [11]’ de basit formda bir denklem verilmemektedir. Sadece 1::2 yedekli bir sistemin MTTR değerinin sistemi meydana getiren bileşenin MTTR değerinin yarısı olduğu belirtilmiştir. Seri (yedeksiz) konfigürasyondaki sistemin MTTR değeri (Denklem (6)) MTBF değerlerine bağlı olmasına rağmen, paralel (yedekli) konfigürasyondaki sistemin MTTR değeri sadece yedeklilik sayılarına bağlı olmaktadır.

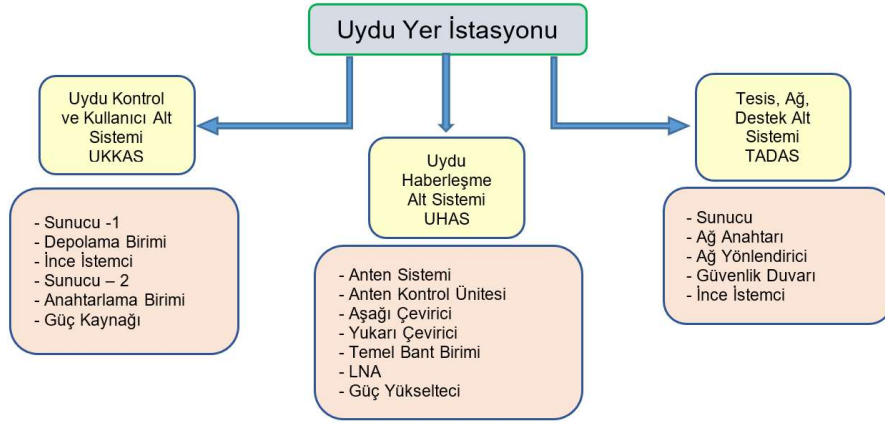
$$MTTR_{seri sistem} = \frac{\sum(\lambda_i \cdot MTTR_i)}{\sum \lambda_i} \quad (6)$$

PTC WQS yazılımı kullanılarak yapılan simülasyon iterasyonları ile karşılaştırmalı çalışmalar neticesinde m:n yedekli bir sistemin MTTR değeri aşağıda verilen denklem ile hesaplanabilmektedir.

$$MTTR_{m/n} = \frac{MTTR_i}{n - m + 1} \quad (7)$$

IV. ÖRNEK BİR MODEL UYDU YER İSTASYONUNDA YAPILAN ELVERİŞLİLİK ANALİZİ

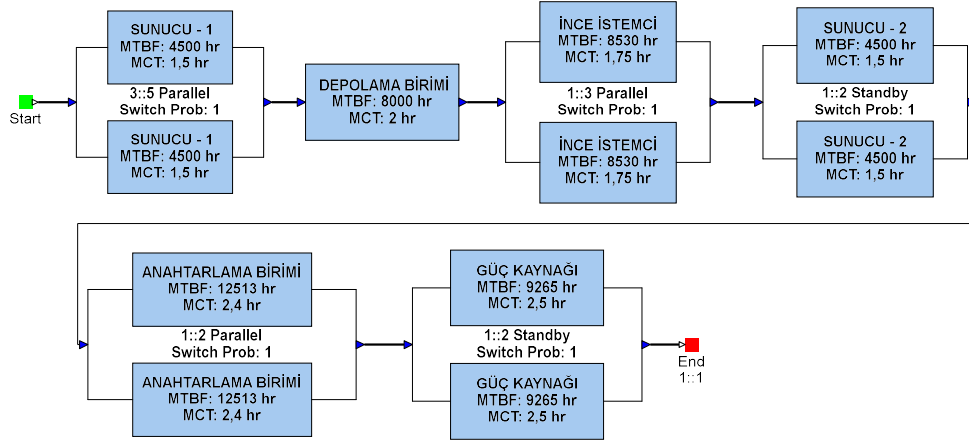
Alçak yörüngede kullanılacak bir görüntüleme uydusu için tasarlanan model yer istasyonu, aşağıdaki şekilde verilen alt sistemlerden oluşmaktadır.



Şekil 2: Model Uydu Yer İstasyonu

İlgili alt sistem bileşenleri ile oluşturulan güvenilirlik blok diyagramları WQS programında çizilmiştir. Hesaplamalar hem programda hem de bu çalışmanın sunduğu hesaplama yöntemleri ile yapıp bir karşılaştırma tablosu halinde sunulmuştur.

A. UKKAS Güvenilirlik Blok Diyagramı ve MTBF Hesaplama Tablosu



Şekil 3: Model Uydu Yer İstasyonu - UKKAS Güvenilirlik Blok Diyagramı

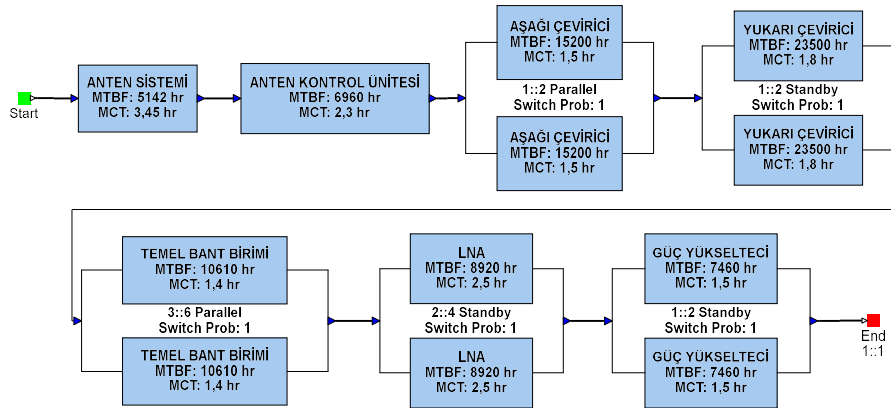


Şekil 4: UKKAS - WQS simülasyon sonuçları

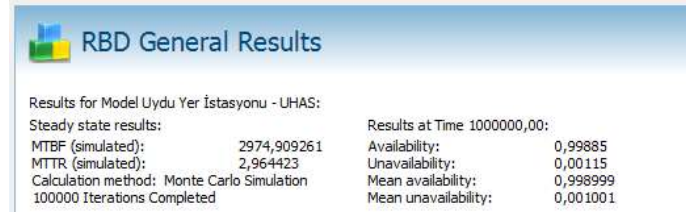
Tablo 4. UKKAS bileşenleri MTBF, MTTR, Elverişlilik değerleri

UKKAS Bileşenleri	Adet	Yedeklilik	MTBF-birim saat	MTTR saat	LDT Saat	MTBF – Yedekli saat	Operasyonel Elverişlilik	Inherent Elverişlilik
Sunucu - 1	5	3::5 Sıcak	4500	1,5	240	$6,75 \times 10^8$	0,9969182	≈ 1
Depolama Birimi	1	Yok	8000	2,0	300	8000	0,9636232	0,9997501
İnce İstemci	3	1::3 Sıcak	8530	1,75	168	$3,38 \times 10^{10}$	0,9999842	≈ 1
Sunucu - 2	2	1::2 Soğuk	4500	1,5	10	$1,35 \times 10^7$	0,9999968	0,9999999
Anahtarlama Birimi	2	1::2 Sıcak	12513	2,4	24	$3,26 \times 10^7$	0,9999955	≈ 1
Güç Kaynağı	2	1::2 Soğuk	9265	2,5	168	$3,44 \times 10^7$	0,9998367	≈ 1
ALT SİSTEM DEĞERLERİ:				1,99	246,4	7991	0,960474	0,999750

B. UHAS Güvenilirlik Blok Diyagramı ve MTBF Hesaplama Tablosu



Şekil 5: Model Uydu Yer İstasyonu - UHAS Güvenilirlik Blok Diyagramı

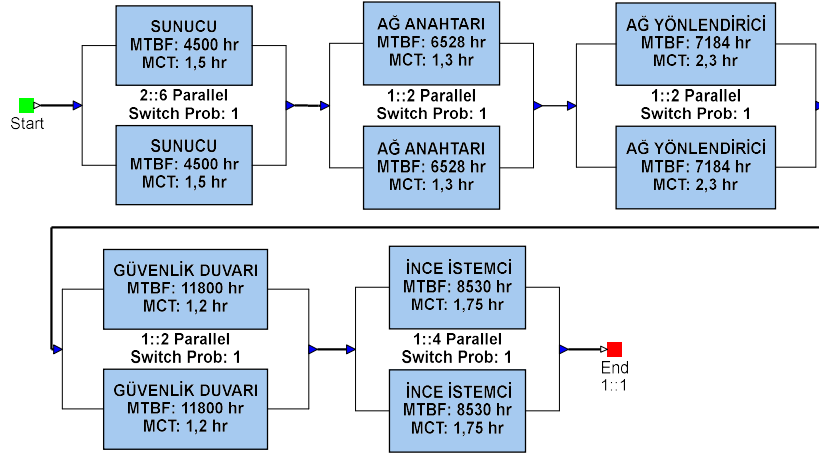


Şekil 6: UHAS - WQS simülasyon sonuçları

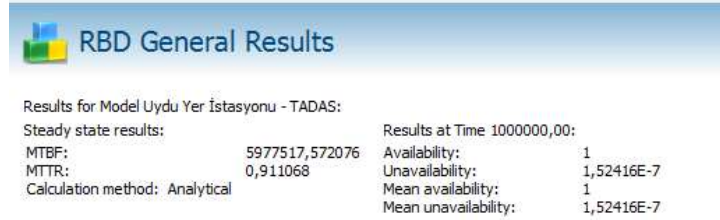
Tablo 5. UHAS bileşenleri MTBF, MTTR, Elverişlilik değerleri

UHAS Bileşenleri	Adet	Yedeklilik	MTBF saat	MTTR saat	LDT Saat	MTBF – Yedekli saat	Operasyonel Elverişlilik	Inherent Elverişlilik
Anten Sistemi	1	Yok	5142	3,45	240	5142	0,9547949	0,9993295
Anten Kontrol Ünitesi	1	Yok	6960	2,3	300	6960	0,9583741	0,9996696
Aşağı Çevirici	2	1::2 Sıcak	15200	1,5	24	$7,70 \times 10^7$	0,9999972	≈ 1
Yukarı Çevirici	2	1::2 Soğuk	23500	1,8	48	$3,07 \times 10^8$	0,9999978	≈ 1
Temel Bant Birimi	6	3::6 Sıcak	10610	1,4	36	$1,28 \times 10^{13}$	≈ 1	≈ 1
LNA	4	2::4 Soğuk	8920	2,5	168	$7,97 \times 10^6$	0,9995477	0,9999999
Güç Yükselteci	2	1::2 Soğuk	7460	1,5	24	$3,71 \times 10^7$	0,9999942	≈ 1
ALT SİSTEM DEĞERLERİ:				2,96	267,7	2957	0,914627	0,998999

C. TADAS Güvenilirlik Blok Diyagramı ve MTBF Hesaplama Tablosu



Şekil 7: Model Uydu Yer İstasyonu - TADAS Güvenilirlik Blok Diyagramı



Şekil 8: TADAS - WQS simülasyon sonuçları

Tablo 6. TADAS bileşenleri MTBF, MTTR, Elverişlilik değerleri

TADAS Bileşenleri	Adet	Yedeklilik	MTBF saat	MTTR saat	LDT Saat	MTBF – Yedekli saat	Operasyonel Elverişlilik	Inherent Elverişlilik
Sunucu	6	2::6 Sıcak	4500	1,5	168	$5,06 \times 10^{14}$	0,9999891	≈ 1
Ağ Anahtarı	2	1::2 Sıcak	6528	1,3	24	$1,64 \times 10^7$	0,9999850	≈ 1
Ağ Yönlendirici	2	1::2 Sıcak	7184	2,3	48	$1,12 \times 10^7$	0,9999510	0,9999999
Güvenlik Duvarı	2	1::2 Sıcak	11800	1,2	24	$5,80 \times 10^7$	0,9999954	≈ 1
İnce İstemci	4	1::4 Sıcak	8530	1,75	4	$4,12 \times 10^{13}$	≈ 1	≈ 1
ALT SİSTEM DEĞERLERİ:			0,911	20,81	5,97 x 10⁶	0,9999205	0,9999998	

D. Depolama Birimi Bileşeninin örnek MTTR değerinin elde edilmesi

UKKAS bileşenlerinden Depolama Biriminin MTTR değerinin elde edilmesi aşağıdaki tabloda belirtildiği üzere, arızalanan ürünün arıza tespitinin yapılması, arızalı birime erişilmesi, değişim işleminin yapılması ve tekrar çalışır duruma getirilmesi işlemleri için geçen süreleri kapsamaktadır.

Tablo 7. Depolama Birimi MTTR değerinin elde edilmesi

	Uygulanan İşlem	Süre (dk)	Toplam (dk)
Arıza tespiti ve tamire hazırlık zamanı	Depolama Biriminin yönetim konsoluna bir istemciden bağlanması	5	16
	Yönetim konsollarına erişim için kullanıcı adı ve şifrenin girilmesi	1	
	Yönetim uygulaması içerisinde arızalı bileşenin tespiti	10	
Sökme Süresi	Biriminin güvenli kapatılması	10	26
	Değişim yapılacak alandaki bağlantılarda 8 adet civatanın sökülmesi	8	
	Parça değişimi yapılacak yerin 4 adet vidasının sökülmesi	8	
Parça Değişimi/Yeniden Bütünleştirme Süresi	Arızalı komponent kablo ve konektörlerinin sökülmesi	10	38
	Yeni parçanın takılması	10	
	Yeni parçanın kablo ve soket bağlantılarının yapılması	10	
	Kontrol sonrası sökülen kapağın kapatılması	8	
Devreye Alma/Test/Ayarlama Süresi	Depolama Birimi bağlantılarının yapılarak güvenli açılması	15	40
	Depolama Biriminin çalıştığının kontrol edilmesi, testlerin yapılması	10	
	Arşivleme yazılımı sunucularıyla iletişime geçilmesi	3	

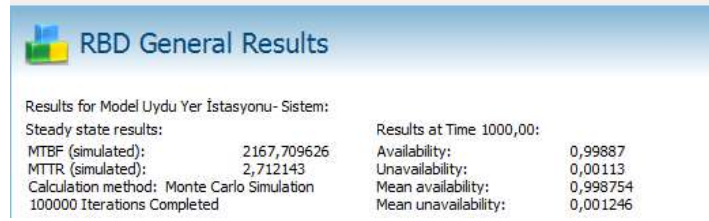
Değişimi yapılmış parça için arıza bilgisinin ve ikaz lambasının yanmadığından emin olunması	2	
Depolama Birimindeki verilerin kontrol edilmesi	10	
TOPLAM MTTR ZAMANI:		120

E. Model Uydu Yer İstasyonu Güvenilirlik Blok Diyagramı ve MTBF Hesaplama Tablosu

Model uydu yer istasyonunun seri olarak bağlanmış alt sistemleri ile oluşturulan güvenilirlik blok diyagramı ve MTBF hesaplama tablosu aşağıda verilmiştir.



Şekil. 9: Model Uydu Yer İstasyonu Güvenilirlik Blok Diyagramı



Şekil. 10: Model uydu yer istasyonu WQS simülasyon sonuçları

Tablo 8. Model uydu yer istasyonu alt sistemleri MTBF, MTTR, Elverişlilik değerleri

Alt sistemler	Adet	Yedeklilik	MTBF saat	MTTR saat	LDT Saat	Operasyonel Elverişlilik	Inherent Elverişlilik
UKKAS	1	Yok	7991	1,99	246,4	0,96047	0,99975
UHAS	1	Yok	2957	2,96	267,7	0,91463	0,99900
TADAS	1	Yok	5,97 x 10 ⁶	0,91	20,8	0,99992	0,99999
ALT SİSTEM DEĞERLERİ:			2157	2,70	261,8	0,88956	0,99875

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada özellikle uydu yer istasyonları güvenilirlik ve elverişlilik analizlerinde sistemi meydana getiren tamir edilebilir ve yedekli bileşenlerin MTBF ve MTTR değerleri kullanılarak hem bileşen bazında hem de alt sistem bazında sistem MTBF, MTTR ve elverişlilik değerlerinin nasıl elde edilebileceği, hesaplamaların bir yazılım paketine ihtiyaç kalmadan yapılabileceği gösterilmiştir. Her iki durum için yapılan analizler ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu alandaki literatür araştırması yapılarak ilgili değerlerin hesaplanmasında kullanılan denklemlerdeki farklılıklar, yine literatürde yer almayan yedekli bir sistemin MTTR değerinin hesaplanması denklemi ortaya konmuştur. Son olarak da örnek bir model uydu yer istasyonu için alt sistem ve sistem bazında MTBF, MTTR ve elverişlilik değerleri hesaplanmıştır. İleriki çalışmalara ışık tutması açısından ortaya konulan metot ve yöntemler, ticari veya askeri alanda tasarlanan benzer özellikli yedekli-tamir edilebilir konseptlere de uyarlanabilir.

TEŞEKKÜR

Bu sempozyumun hazırlanmasında emeği geçenlere, bize bu bildiriye sunma fırsatını veren Düzce Üniversitesi, rektörü sayın Nedim SÖZBİR hocamıza ve TUSAŞ Uzay Sistemleri Genel Müdür Yardımcısı sayın Lokman KUZU'ya teşekkürlerimizi sunuyoruz.

KAYNAKLAR

- [1] "ECSS-Q-ST-30C Space product assurance: Dependability," ECSS Secretariat ESA-ESTEC Requirements & Standards Division Noordwijk, The Netherlands, 15 February 2017
- [2] "ECSS-Q-ST-30-09C Space product assurance: Availability analysis" ECSS Secretariat ESA-ESTEC Requirements & Standards Division Noordwijk, The Netherlands, 31 July 2008
- [3] "MIL-HDBK-338B MILITARY HANDBOOK, ELECTRONIC RELIABILITY DESIGN HANDBOOK," Air Force Research Laboratory/ITB Defense Quality and Standardization Office, 1 October 1998.
- [4] A. Birolini, "Reliability Engineering, Theory and Practice," Sixth Edition, Springer, 2010
- [5] "Reliability Engineer's Toolkit," Rome Laboratory, April 1993.

- [6] Reliability Analysis Center, "Practical Application of Reliability Centered Maintenance," RAC Defense Technical Information Center
- [7] "RADS-TR-87-11 Availability Equations for Redundant Systems, Both Single and Multiple Repair,"
- [8] P. A. Tobias and D. C. Trindade "Applied Reliability," Third Edition, CRC Press, 2012.
- [9] B. Basker, P. Dibbens, G. Pullum, R. Sexton and R. Waltz, "Reliability: A Practitioner's Guide," Relex Software Corporation, 2003.
- [10] M. Roush and W. Webb, "Applied Reliability Engineering Volume I, II," Fifth Edition, RIAC, 2015.
- [11] Reliability Analysis Center, "Operational Availability Handbook", RAC Defense Technical Information Center
- [12] <https://reliabilityanalyticstoolkit.appspot.com>

Çevresel Akustik Test Sonuçlarından Bir Keşif Uydusunun Tepki Tekerleği Titreşim Davranışının Belirlenmesi

Nesibe Nur Çam^a, Merve Karagöz^a, Mustafa Özgür Aydoğan^a Fatih Yılmaz^{a}*

^a Tusaş Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Uçuşa Elverişlilik ve Sertifikasyon Bölümü, Ankara/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: fyilmaz@tai.com.tr

ÖZET

Uzay araçları, yörüngeye yerleştirilirken fırlatıcıdan kaynaklanan ivmelenme, aerodinamik etkiler, akustik gürültü, kademe ayrılmaları ve yörüngeye bırakma nedeniyle statik ve dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Uzay aracının yapısal ve sistem yerleşimi tasarımı bu yüklere dayanabilecek şekilde yapılmaktadır. Tasarımlar nihai olarak, model yaklaşımına göre yerde test ile doğrulanmaktadır. Yerde yapılan bu testler, fırlatıcı otorite tarafından da takip edilmektedir ve başarılı testler sonucunda fırlatma için onay verilmektedir. Bu çalışma, ön-uçuş model yaklaşımıyla üretilen bir gözetleme uydusunun sistem seviyesi şok testi sonucunda, tepki tekerleklerinin kalifikasyon seviyesinin üzerinde yüke maruz kalmasının tespiti üzerine, sönümleyici malzeme kullanılarak yapılan iyileştirmenin etkilerini ortaya koymaktadır. Kalifikasyon testlerinin uzay aracı üzerinde bir defa gerçekleştirilmesine izin verildiği için, şok testi tekrar edilememiştir. Bu sebeple, sönümleyicinin etkisi ön-uçuş modeli kabul seviyesinde akustik test gerçekleştirilerek incelenmiştir ve sonuçlar fırlatıcı otoriteye sunulmuştur. Ayrıca, zaman verisi olarak elde edilen ivmeölçer verilerini zaman aralığı seçimi ve kıyaslama yeteneği sunarak tepki tekerleği frekans yanıtını, sönümleyici uygulaması öncesi ve sonrasında karşılaştırma imkânı veren ve kullanım esnekliği sunan, bir ardıl işlem yazılımı da geliştirilmiştir. Bu çalışma, sönümleyici uygulamasının, hedef frekans aralığında fırlatıcı otoritenin de kabul ettiği belirgin iyileştirme sonuçlarını sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akustik, Fırlatıcı, Sönümleyici, Tepki tekerleği, Şok.

Determination of Reaction Wheel Vibration Behaviour of a Reconnaissance Satellite from Enviromental Acoustic Test Result

Nesibe Nur Çam^a, Merve Karagöz^a, Mustafa Özgür Aydoğan^a Fatih Yılmaz^{a}*

^a Tusaş Turkish Aerospace Inc., Airworthiness and Certification Department, Ankara/Türkiye.

*Corresponding Author: fyilmaz@tai.com.tr

ABSTRACT

Spacecrafts are exposed to static and dynamic loads due to acceleration of the launcher, aerodynamic effects, acoustic noise, stage separations and deployment. The structural and system design of the spacecraft are made to withstand these loads. Designs are finally validated by ground testing according to model approach, which are monitored by the launch-authority and approved for launch after the successful test campaign. This study reveals the effects of a design improvement by introducing a damper on a reconnaissance satellite designed according to protoflight model approach, whose reaction wheels are found to be exposed to loads above the qualification level at the system level shock test. Since qualification tests are performed once on the spacecraft, the shock test is not repeated. Therefore, the effect of the damper is sought by an acoustic test at the acceptance level and the results are presented to the launch-authority. A post-processing software, capable of comparing the frequency response of the reaction wheels before and after the damper application by utilizing the accelerometer data in time domain, is also developed for the flexibility of use. This study presents significant improvement with the damper application in the target frequency range, which is also accepted by the launch-authority.

Keywords: Acoustics, Damper, Launcher, Reaction wheel, Shock.

I. GİRİŞ

Uzay araçları, fırlatma aşamasında taşıyıcı roketin sebep olduğu titreşimler, akustik gürültü, ivmelenme ve ayrılma etkileri nedeniyle statik ve dinamik yüklere maruz kalmaktadır [1]. Bu sebeple, sistem ve alt sistemlerin bu yüklere karşı yapısal dayanımını ve fonksiyonel uyumluluğunu doğrulamak için yer testlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Fırlatıcı otoriteler, sistem seviyesinde, fırlatıcı ortamı modelleyen sanki-statik, sinüs, akustik ve şok çevresel test kampanyalarını zorunlu kılmaktadır [2]. Bu testler uzay araçları için kurulmuş olan montaj, entegrasyon ve test merkezlerinde gerçekleştirilmektedir [3]. Çevresel testlerden biri olan şok testi, fırlatıcıdan ayrılma senaryosunu laboratuvar ortamında uyduya uygulayarak ani yük etkilerini tespit etmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma, bir keşif ve gözetleme uydusunun sistem seviyesi şok testi sırasında, tepki tekerleklerinin ayrılma şok yanıtının ekipman kalifikasyon seviyesini geçeceğinin tahmin edilmesi sonrasında yapılan iyileştirmeyi ve bu iyileştirmenin şok test yerine akustik test ile doğrulanmasını içermektedir. Tepki tekerlekleri, yörüngedeki uyduların yönelim manevralarında kritik öneme sahiptir. Bu tekerleklerin tasarımı, fırlatma süresince meydana gelen yüksek frekanslı titreşim ve şok etkilerine dayanacak biçimde yapılmalıdır. Uydunun şok yüklerine maruz kalmasıyla, tepki tekerleğinin elektronik devre elemanları veya hassas toleranslarla üretilen parçaları görevi olumsuz etkileyecek şekilde hasar görebilir. Tepki tekerleği şok test yanıtlarının kalifikasyon seviyesini geçeceği tespitinin sonrasında fırlatıcı otorite tarafından bir iyileştirme talep edilmiştir. Tepki tekerleğinin fonksiyonel olarak hasar görmediğinden emin olunduktan sonra, tasarım değişikliğine gidilerek tepki tekerleği bağlantı ara yüzüne bir sönümleyici parça eklenerek şok yanıtının istenilen seviyelere çekilmesi başarılmıştır. Şok testinin tekrar edilebilir olmaması nedeniyle, doğrulamanın kabul seviyesi akustik test ile gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Akustik test ile aynı anda üç eksen ve yüksek frekanslarda tahrik mümkün olduğundan, alternatif test yöntemi olan sarsıcı ile test tercih edilmemiştir.

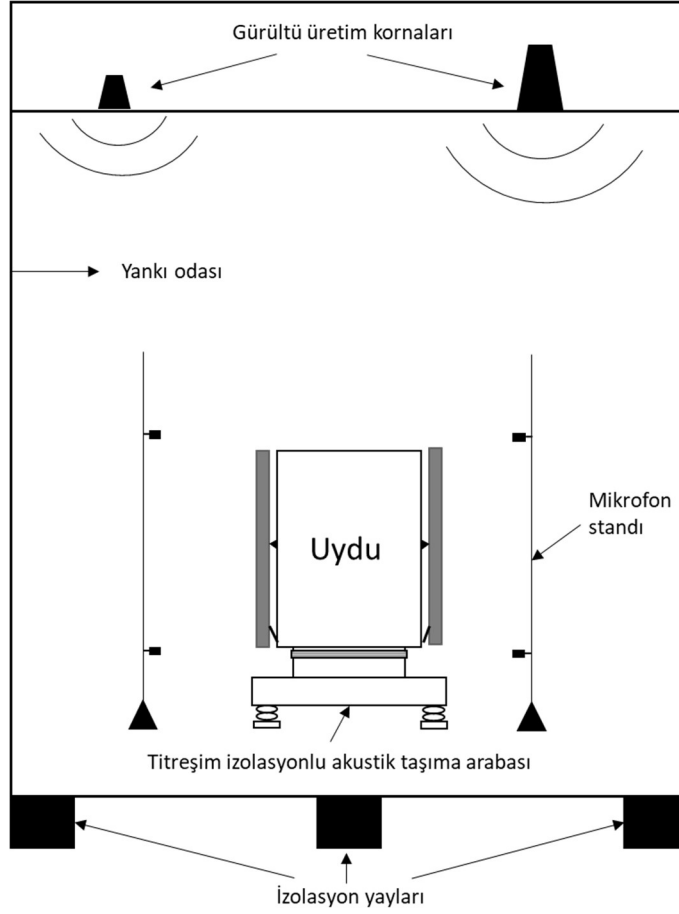
Bu çalışma ile akustik test, şok test konfigürasyonu ve bu test sistemlerinin verilerin toplanmasına dair bilgiler ile söz konusu iyileştirme çalışmasının sonuçları sunulmaktadır. Ayrıca, verilerin işlenmesi ve tepki tekerleklerinin farklı frekans bantlarındaki davranışlarının incelenmesi için kullanılan yazılımın yapısı da tanıtılmaktadır.

II. METOT

Bu bölümde, çalışmada kullanılan test altyapısı ve veri işleme yöntemleri açıklanmaktadır.

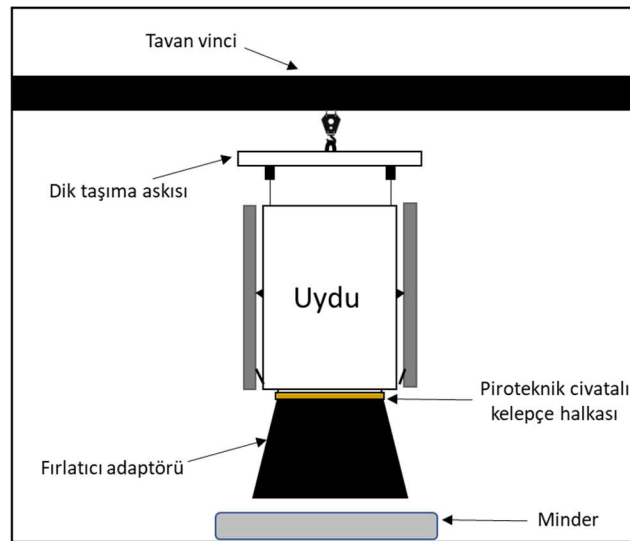
A. Test Ortamı ve Kurulum

Akustik testin amacı; fırlatmanın ilk saniyelerinde fırlatıcıdan kaynaklanan doğrudan ve çevreden yansıyan ses basıncının geniş yüzey alanına sahip panelleri sarsması ile ortaya çıkan dinamik yüklere, uzay aracının dayanma kabiliyetini doğrulamaktır. Ayrıca, kalkış sırasında uzay aracı alt sistemlerindeki rastgele titreşim tepkilerinin alt sistem kalifikasyon seviyesinin altında olup olmadığının kontrol edilmesi ve doğrulanması için sistem seviyesi akustik test gerçekleştirilmektedir. Akustik test sistemi Şekil 11'de gösterildiği gibi bir yankılanma odası, bir gürültü üretim sistemi ve mikrofonlardan alınan verilerle kontrolü sağlayan bir kapalı devre kontrol sisteminden oluşmaktadır. Gürültü üretme sistemi, gaz halindeki azotu kullanarak modülatörlerin kontrol ettiği gürültüyü üretir. Modülatörlerde üretilen gürültü farklı kesme-frekanslarına sahip kornalardan geçerek, uydunun yankı odasında istenen gürültü spektrumuna maruz kalmasını sağlar. Gürültü seviyesi, uydu model yaklaşımına göre değişmektedir. Bu çalışmanın konusu olan uyduda ön-uçuş model yaklaşımı kullanıldığı için gürültü, kalifikasyon seviyesinde kısa süreli uygulanır. Gürültünün uygulanması sırasında, uydu üzerine yerleştirilen ivmeölçerler ve veri toplama sistemi ile titreşim verileri kaydedilir. Uydu çevresel testler kampanyası sırasında kalifikasyon seviyesine doğrudan çıkmaz, önce düşük seviyeler, nihai seviyeden önce de kabul seviyesi testler gerçekleştirilerek kalifikasyon seviyesine güvenli ve kontrollü bir şekilde ulaşılır.



Şekil 11 Akustik test konfigürasyonu

Ayrılma şok testi için özel bir test sistemi yoktur. Uydu üreticisi, fırlatıcı otorite ile birlikte her uydu için Şekil 12’de gösterilen test konfigürasyonunu oluşturur. Uydu, bir vinç ve dik taşıma askısı aracılığıyla asılır, fırlatıcı adaptörünün uçuş modeli, uçuş kelepçe halkası ile uydu fırlatıcı ara yüzüne kısıtılarak bağlanır. Piroteknik civatanın patlatılması sonucunda uydu ve adaptör birbirinden ayrılır. Bu ayrılma anında şok titreşimleri tüm test sistemleri için ortak kullanılan veri toplama sistemi ve uydu üzerinde bulunan ivmeölçerler aracılığıyla kaydedilir. Ayrılan fırlatıcı adaptörünün zarar görmemesi için bir minder üzerine düşmesi sağlanır.

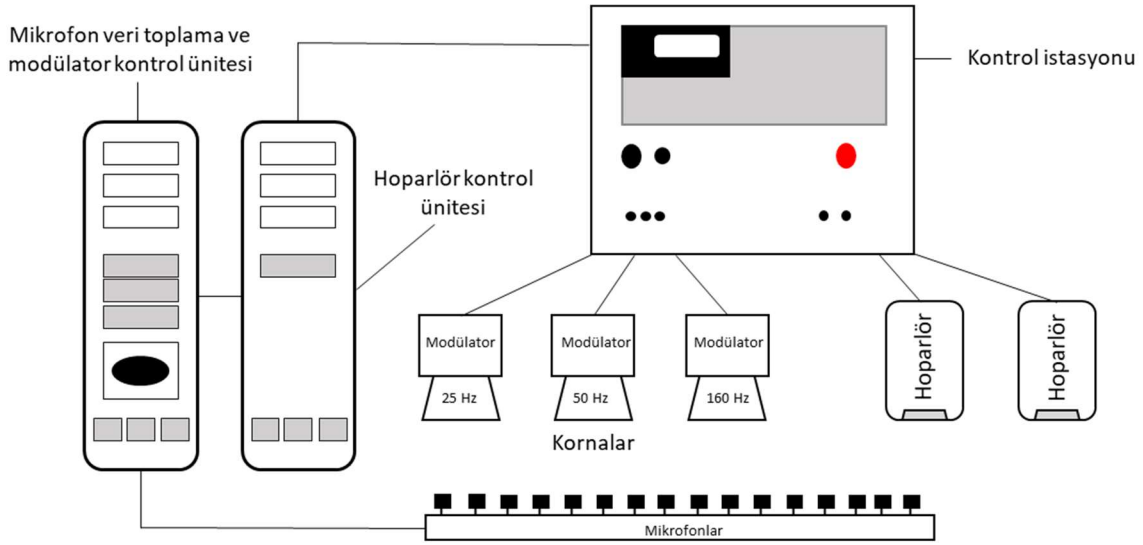


Şekil 12 Şok test konfigürasyonu

B. Veri Toplama Sistemi ve Enstrümantasyon

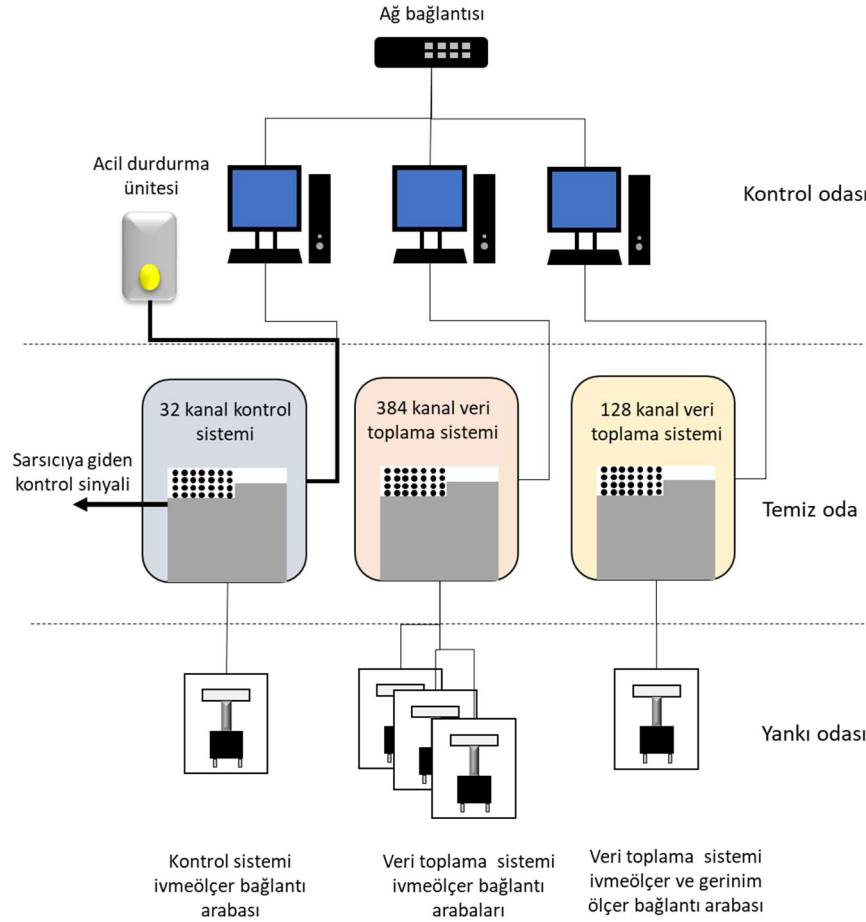
Uydunun test kampanyası [3]'te anlatılan montaj, entegrasyon ve test merkezinde gerçekleştirilmiştir. Bu merkezde, fırlatıcı ortamı testleri için iki bağımsız kontrol ve toplama sistemi bulunmaktadır. Bunlardan biri mikrofon verilerini elde etmek ve gürültü oluşumunu kontrol etmek için kullanılmaktadır, diğeri ise uzay aracı ve alt sistemlerine ilişkin ivmeölçer ve gerinim ölçer verilerinin elde edilmesi ve bir elektrodinamik sarsıcının kontrol edilmesini sağlayan sistemdir. Elektrodinamik sarsıcı bu çalışmanın kapsamı dışındadır.

Akustik test sisteminin gürültü kontrolü, Şekil 13'te gösterilen kapalı devre veri toplama ve kontrol sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Akustik gürültü verileri uydu etrafına yerleştirilen mikrofonlar aracılığıyla toplanmaktadır. Akustik test sistemi veri toplama ve kontrol sistemi 16'ya kadar mikrofon kanalından oluşur ancak uydu testi sırasında 8 mikrofon yeterli olmaktadır. Mikrofon veri toplama sisteminde iki adet VXI® kartı bulunmaktadır: bu kartlardan biri veri toplamak için, diğeri ise güncellenmiş kontrol sinyalini güç amplifikatörleri aracılığıyla gürültü üretim modülatörüne göndermek için kullanılır. BBM Müeller PAK 5.14® yazılımı ise mikrofon verilerini işlemek, görüntülemek ve modülatörleri kontrol eden referans sinyali üretmek için kullanılmaktadır.



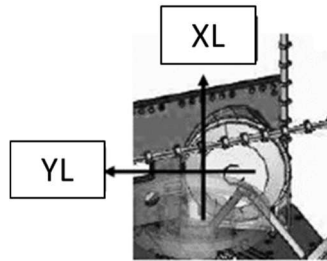
Şekil 13 Ses üretim sistemi mimarisi

Uydu çevresel test kampanyası boyunca, uydu üzerine yerleştirilen ivmeölçer ve gerinim ölçer verilerini toplamak için Şekil 14'te gösterilen sistem kullanılmaktadır. Bu veri toplama sistemi, ICP® tipi ivmeölçerler için 480 kanal ve gerinim ölçerler için 32 kanal bulundurmaktadır. Sistemin ana çerçevesi olan LMS SCADAS III®, sinyal işleme ve analog/dijital dönüşüm kartlarını içermektedir. Veri toplama bilgisayarlarında kullanılan LMS TestLab® yazılımı ve modülleri ile toplanan ham veriler işlenmekte ve görselleştirilmektedir. Veri toplama için örnekleme frekansı, 384 kanal için 50,8 kHz ve 128 kanal için 204,8 kHz'dir. Şekil 14'te gösterilen bağlantı arabaları ise uydunun testin yapılacağı konuma kablolar ile birlikte güvenli taşınmasını sağlamaktadır. Bu taşıma arabalarında bağlantı konektörü olarak, kanal atama ve uygulama kolaylığı sağlayan Bayonet Neil-Concelman (BNC) tipi bağlantı tipi kullanılmaktadır.



Şekil 14 Veri toplama sistemi mimarisi

Uydu çevresel test kampanyası için 129 adet ivmeölçer kullanılmıştır. Ancak bu çalışmada 4 tepki tekerleği üzerine yerleştirilen ivmeölçer verileri kullanılmaktadır. Bu ivmeölçerler üç eksenli ICP® tipi ivmeölçerlerdir ve tepki tekerleklerinin ağırlık merkezinin yakınına yapıştırılmıştır. Tepki tekerlekleri uydunun alt kısmında, fırlatıcı ayrılma halkasının yakınında bulunur. İvmeölçer verileri, yerel eksen takımına göre değerlendirilir ve “XL, YL, ZL” yerel eksen anlamına gelecek şekilde etiketleme yapılır. Grafiklerde kullanılan “PF” kısaltması ise uydu platformu anlamına gelmektedir. Şekil 15’te tepki tekerleği ve ivmeölçer etiketleme eksenleri gösterilmektedir.



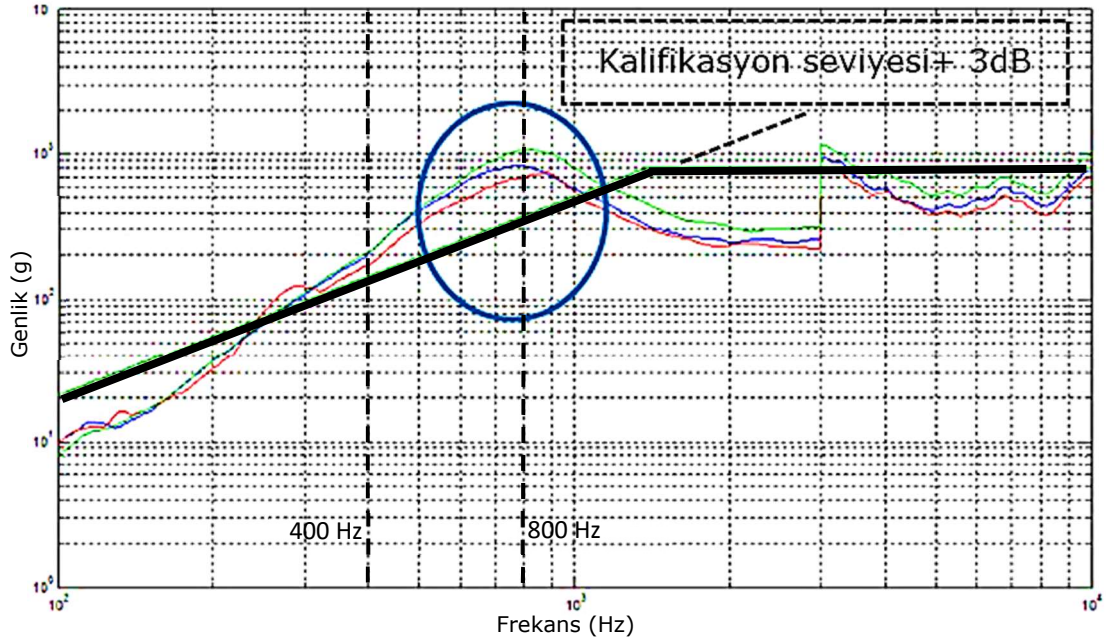
Şekil 15 Tepki tekerleği lokal eksen takımı

Test kampanyası sırasında ikinci tepki tekerleğinin ivmeölçerlerinin çalışmadığı tespit edilmiştir, bu sebeple tepki tekerleğinin titreşim yanıtının diğerleri ile benzer olacağı varsayımıyla bu ivmeölçer verileri değerlendirmeye dahil edilmemiştir.

C. Problem Tanımı ve İyileştirme

Uzay aracı ve fırlatma aracı bileşenleri çeşitli faktörlerden kaynaklanan mekanik şoklara maruz kalmaktadır. Uydunun güvenilirliğini sağlamak için bileşenler bu şok yüklerine dayanacak şekilde tasarlanmalı ve test edilmelidir [4]. Testler sırasında uygulanan şok yüklerine ait ham veriler Şok Tepki Spektrumu (SRS) olarak işlenmektedir ve değerlendirilmektedir. SRS metodu özetle, titreşim verilerini bir kütle yay sönümleyici modeli kabulü yaparak, bu sistemden elde edilecek azami tepkileri

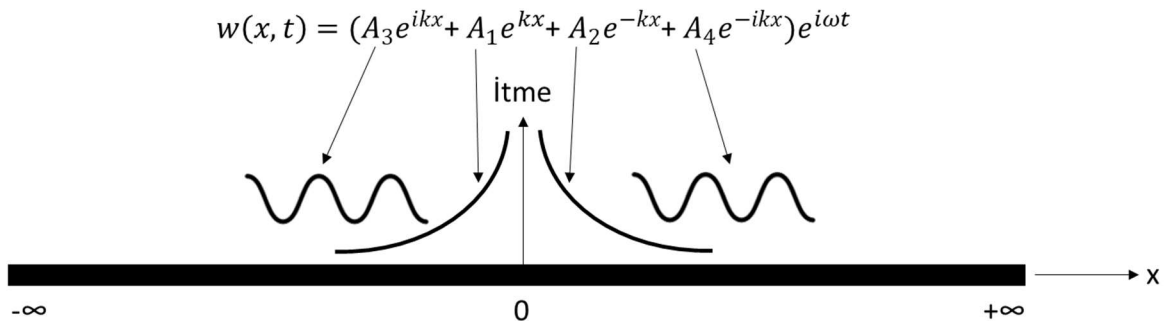
değerlendirmektedir [4]. Bu çalışmadaki şok test kampanyası iki adım halinde gerçekleştirilmiştir ve kelepçe halkasının tam sıkma kuvveti düzeyinde gerçekleştirilmemiştir. Sonuçlar ilk önce tahmin edilerek Şekil 16'da verilen tepki tekerleklerinin SRS'lerinin, XL yönünde 400-800 Hz aralığında kalifikasyon seviyesini aşacağı tespit edilmiştir. 800 Hz'in kelepçe halkasının doğal frekansı olduğu bilinmektedir.



Şekil 16 Üç tepki tekerleğinin SRS ve +3 dB marjlı kalifikasyon seviyesi.

Sonsuz bir kirişte dalga yayılımı eşitliği, denklem (1)'de verilmektedir [5]. Bu denklemde E elastisite modülünü, I alan atalet momentini, w deplasmanı, ρ yoğunluğu, A kesit alanı göstermektedir. Bu denklemin çözümü Şekil 17'de görsel olarak verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere bir tahrik sonrasında oluşan dalgalar ilerleyen ve ilerlemeyen dalgalar olarak sonuçlanmaktadır. Burada A_3 ve A_4 ilerleyen, A_1 ve A_2 ilerlemeyen dalgaların katsayılarıdır. İlerlemeyen dalgalar, itme kaynağına yakın yerlerde etkin olmaktadır ve bu da yüksek frekanslarda titreşimlere sebep olabilmektedir. Problemi basitleştirmek amacıyla; uydu 0 ve $+\infty$ arasında bir giriş olarak kabul edildiğinde, şok kaynağına yakın ekipmanların yüksek frekanslarda yüksek ivmelere maruz kalacağı değerlendirilebilir. Yüksek frekanslarda gerçekleştirilen akustik testler ayrılma halkasını tahrik etmediği için, ayrılma halkasına yakın olan tepki tekerleklerindeki bu problem, şok test öncesi gerçekleştirilen akustik test ile tespit edilememiştir.

$$EI \frac{\partial^4 w(x,t)}{\partial x^4} = -\rho A \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} \quad (1)$$



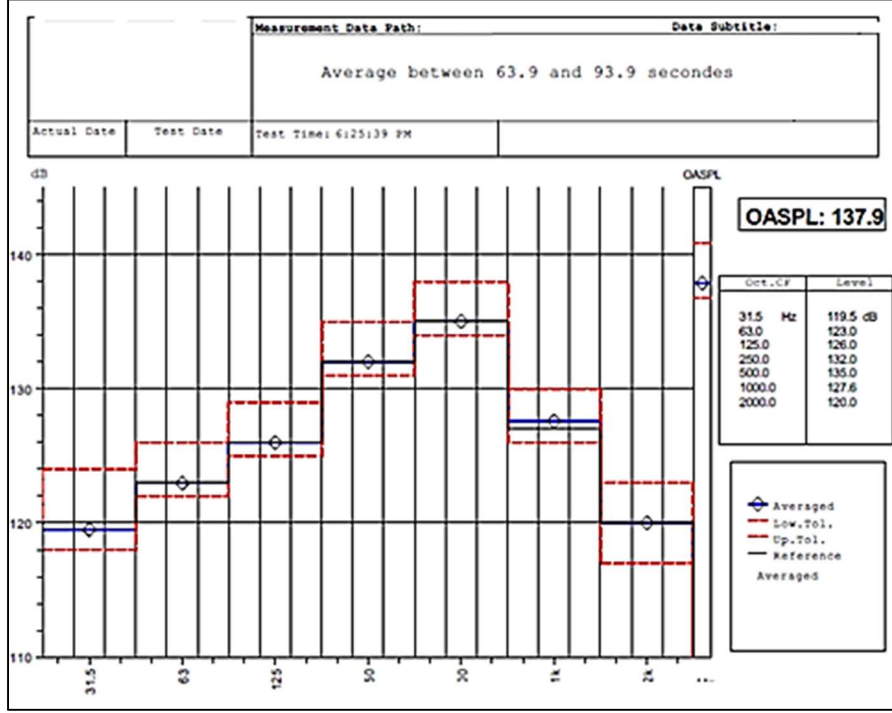
Şekil 17 Sonsuz bir kirişte ilerleyen ve ilerlemeyen dalgalar.

Problemin çözümü için tepki tekerleği ara yüz bağlantısına viskoelastik malzemeli sönümleyicinin uygulanmasına yönelik bir çözüm ortaya çıkmıştır ve fırlatıcı otorite tarafından kabul görmüştür. 400 Hz'den sonra etkili olması beklenen bu sönümleyici tasarım çözümünün uydu üzerine uygulanmasından

sonra; doğrulama şok testlerinin tekrar edilmeden, akustik test ile doğrulanması amaçlanmıştır. Akustik testler yüksek frekanslarda üç eksenle aynı anda tahrik veren, kontrolü kolay ve güvenilir bir test metodu olduğu için tercih edilmiştir.

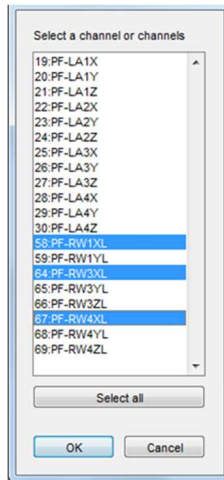
D. Akustik Test ve Verilerin İşlenmesi

Sönümleyici çözümünün uygulanmasından sonra, Şekil 18’de verilen kabul seviyesi akustik spektrumu 30 saniyelik bir zaman aralığında uygulanmıştır. Bu spektrum, uydu etrafına yerleştirilen 8 mikrofon verisinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır ve kapalı devre kontrol ile kontrol edilmektedir.



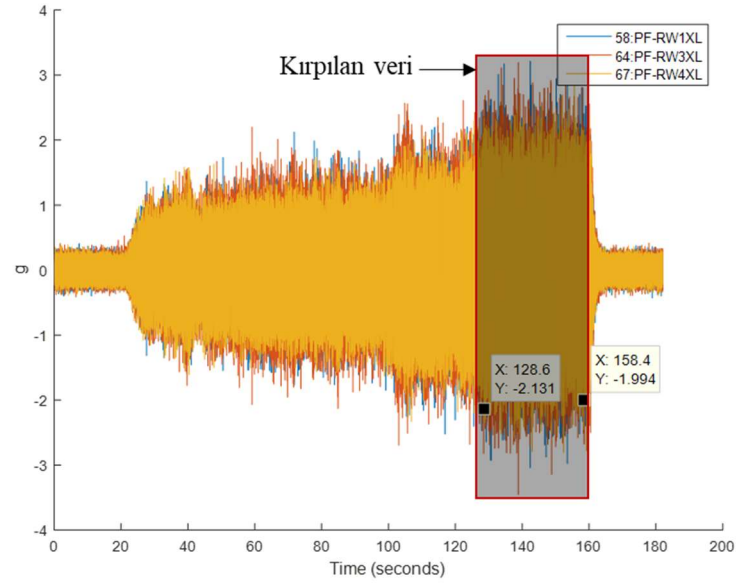
Şekil 18 Fırlatıcı için kabul seviyesi oktav bant spektrumu.

Akustik gürültünün uygulanması sırasında, ivmeölçerler üzerinden titreşim verileri zamana bağlı olarak toplanmaktadır ve kaydedilmektedir. Bu veriler daha sonra ticari yazılımlarla Güç Spektrum Yoğunluğuna (PSD) dönüştürülerek değerlendirilmektedir. Zaman verileri, sönümleyici uygulamasından önceki ve sonraki kabul seviyeleri için veri toplama yazılımı olan LMS Testlab® aracılığıyla dışarı aktarılır. Bu çalışma kapsamında, Matlab® kullanılarak, ticari yazılımlara ihtiyaç duymadan dışarı aktarılan zaman verilerini işleyen bir program hazırlanmıştır. Bu program, test istekçilerinin verileri değerlendirme aşamasında belirli bilgisayarlara bağlı kalmadan verileri seçmesine, işlemesine ve kıyaslamasına olanak sağlamaktadır. Şekil 19’da örnek olarak gösterilen bir pencere yardımıyla, işlenmesi istenen kanallar el ile seçilebilmektedir.



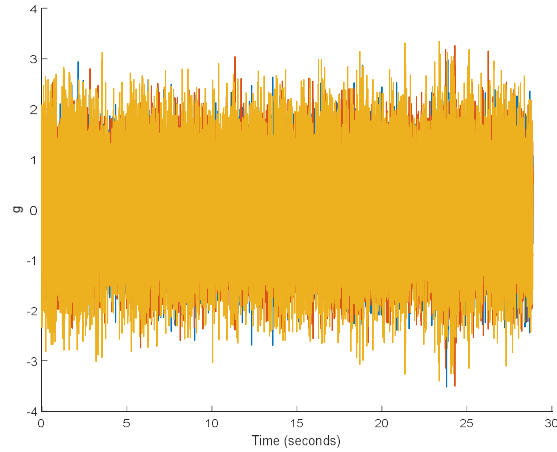
Şekil 19 Kanal seçim penceresi

Akustik test gerçekleştirilirken, doğrudan istenilen gürültü seviyesine çıkılmamaktadır, kabul seviyesine Şekil 20’de görüldüğü gibi adım adım ulaşılmaktadır. PSD analizinin gerçekleştirilebilmesi için kabul seviyesinin uygulandığı 30 saniyelik süredeki verilerin seçilmesi gerekmektedir. Hazırlanan program ile Şekil 20’de görüldüğü gibi veri seçim modülü yardımıyla istenilen zaman aralığı seçilebilmektedir.



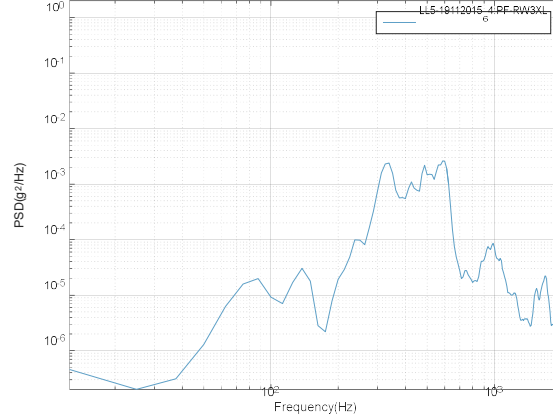
Şekil 20 İmleç aracılığıyla seçilen veriler

Kırılıp kaydedilen bu veriler Şekil 21’de gösterilmektedir. Daha sonra, rastgele titreşim veri işleme modülü: ile kırılan verilerin tek taraflı PSD’si “*pwelch*” fonksiyonu ile hesaplanır [6]. “*Pwelch*” fonksiyonu veri üstü üste getirme, sıfır doldurma, pencere uygulama gibi fonksiyonları tercihe göre uygulayabilmektedir. Bununla birlikte, dışa aktarılan verilerin örnekleme frekansı program aracılığıyla hesaplanarak “*pwelch*” fonksiyonuna otomatik olarak uygulanmaktadır. “*Pwelch*” fonksiyonu kırılan veriler için veri seti sayısı seçmeyi de gerektirmektedir. Bu çalışma için 512 adet veri setleri seçilmiştir ve %50 üst üste getirme uygulanmıştır.



Şekil 21 Üç tekerleğin XL eksenini için kırılmış zaman verileri.

Şekil 22’de program aracılığıyla 12,5–2000 Hz arası tek taraflı hesaplanan PSD grafikleri gösterilmektedir. Program, aynı zamanda ortalama karekök ivmeyi de (grms) hesaplamaktadır. Program yardımıyla hesaplanan PSD verileri doğrulandıktan sonra, akustik test verilerinin işlenmesi ve yorumlanması için karşılaştırma modülü de programa eklenmiştir.

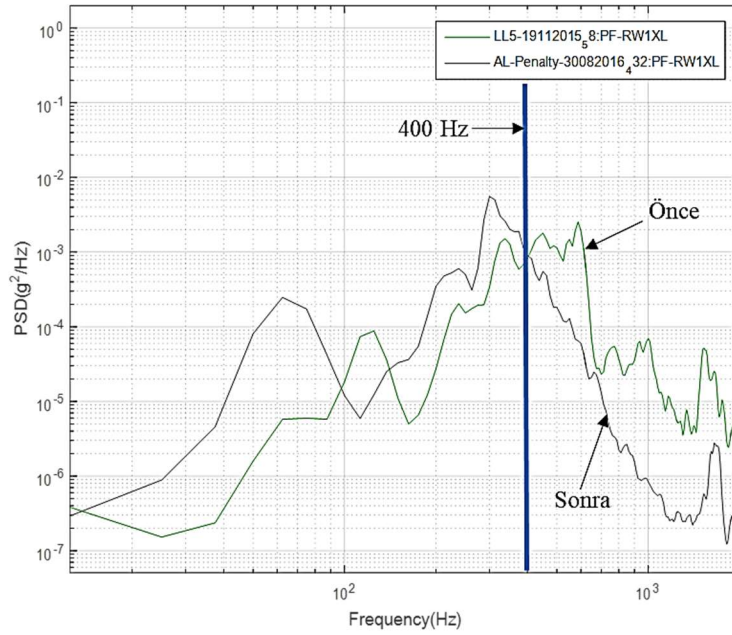


Şekil 22 Üçüncü tepki tekerleğinin 12.5 - 2000 Hz arası frekans aralığı için tek taraflı PSD.

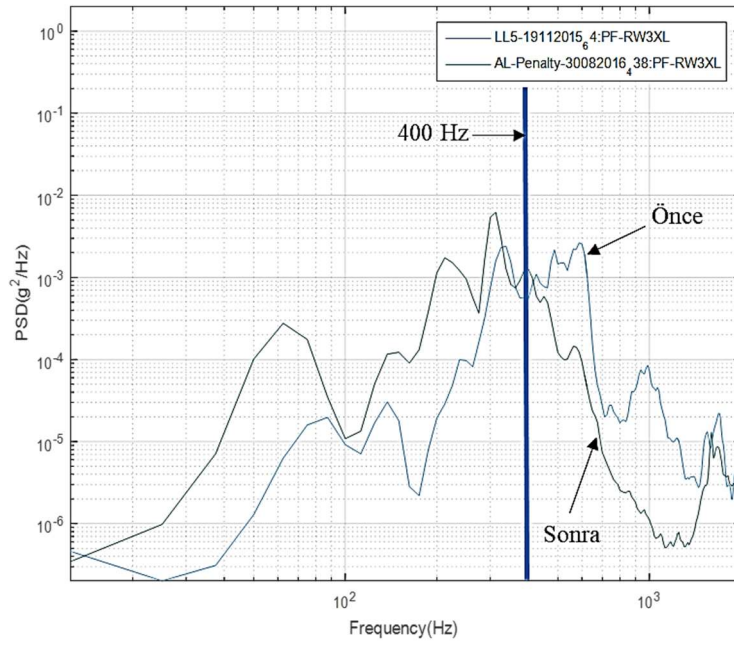
Veri karşılaştırma modülü seçilen kanallar için sönümleyici uygulama öncesi ve sonrası yapılan kabul seviyesi akustik testlerden elde edilen PSD grafiklerini karşılaştırmaya yararmaktadır. Karşılaştırma iki test kampanyası ile sınırlı değildir, ikiden fazla test kampanyası verileri de her bir kanal için kıyaslanabilir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

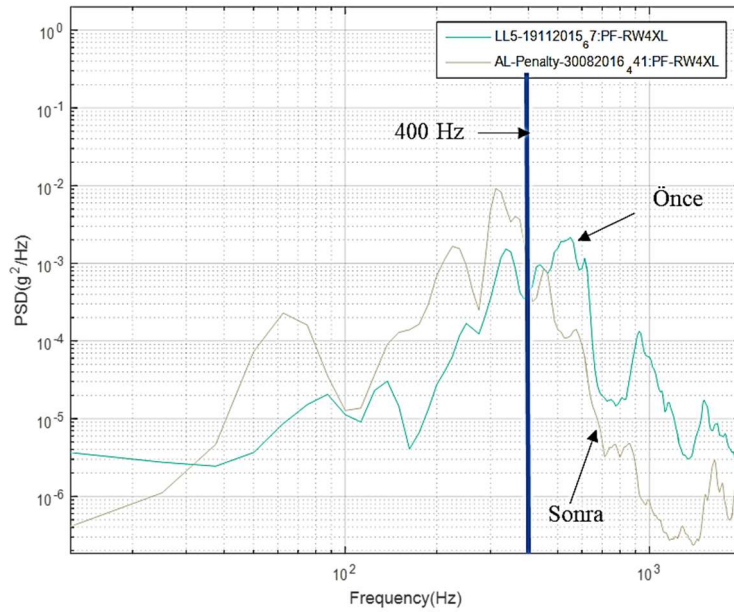
Çalışma kapsamında üç tepki tekerleği için elde edilen PSD sonuçları, sönümleyici öncesi ve sonrası için Şekil 23, Şekil 24 ve Şekil 25'te verilmektedir. Sönümleyicinin 400 Hz'den sonra etkili olduğu grafiklerde açıkça görülmektedir. Düşük frekanslarda PSD değerleri artmış görünse de SRS sonuçlarının bu frekanslarda kalifikasyon seviyesinin altında kalacağı tahmin edilmiştir.



Şekil 23 Birinci tepki tekerleği karşılaştırma



Şekil 24 Üçüncü tepki tekerleği karşılaştırma



Şekil 25 Dördüncü tepki tekerleği karşılaştırma

Verilerin işlenmesine grms hesapları da dahil edilmiştir. Sönümleyici uygulandıktan sonra hesaplanan grms değerleri halen tepki tekerleklerinin gereksinimi olan 8,39 grms'in altındadır. Tablo 9, birinci, üçüncü ve dördüncü tepki tekerleği için sönümleyici uygulaması öncesi ve sonrası ölçülen grms değerlerini ve üretici tarafından belirlenen gereksinim değerini sunmaktadır. Dördüncü tepki tekerleğinin grms değeri düşük frekanslardaki artıştan dolayı yükselse de halen gereksinimin oldukça altında kalmaktadır.

Tablo 9 Yerel X eksen GRMS değerleri

	Önce	Sonra	Gereksinim
Tepki Tekerleği 1 XL	0.67	0.66	8.39
Tepki Tekerleği 3 XL	0.72	0.67	
Tepki Tekerleği 4 XL	0.64	0.81	

Akustik testten toplanan zaman verileri, bir Matlab® kodu tarafından başarılı bir şekilde işlenmiştir ve kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlarda, viskoelastik sönümleyicinin uygulanması tepki tekerleklerinin 400 Hz'den sonra titreşim davranışını kabul edilebilir seviyelere çekmiş, grms değerleri de yine gereksinimin çok altında kalmıştır. Sonuçlar fırlatıcı otoritesi tarafından da kabul edildikten sonra fırlatma kampanyası gerçekleştirilmiştir ve uydu başarılı bir şekilde görevini icra etmeye başlamıştır.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel bulguları şu şekilde özetlenebilir:

- Viskoelastik sönümleyici, özellikle 400 Hz üzerindeki frekans bandında tepki tekerleklerinin titreşim tepkisini belirgin ölçüde azaltmıştır. Bu sönümleyici etkinin, SRS tepkisinde de istenilen seviyelerde olacağı hesaplamalar ile tahmin edilmiştir.
- Tüm tepki tekerleklerinin sönümleyici uygulaması sonrası ölçülen grms değerleri, üretici tarafından belirlenen 8,39 grms sınırının oldukça altında seyretmiş ve test sonuçları fırlatıcı otorite tarafından kabul edilmiştir.
- Matlab® tabanlı ardıl işleme programı, rastgele titreşim zaman verilerinin güvenilir ve tekrarlanabilir analizini mümkün kılmış ve verileri karşılaştırma imkanı vermiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde katkıda bulunan Tusaş Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş.'ye ve tüm ekip çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] F. Yılmaz, O. O. Haktanır ve A. B. Uygur, "Quasi-static structural test of satellites", *2015 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, İstanbul, 2015.
- [2] ECSS Secretariat ESA-ESTEC, *ECSS-E-ST-10-03C, Space engineering-Testing*, Noordwijk: ESA Requirements and Standards Section, 2022.
- [3] A. B. Uygur, O. O. Haktanır, F. Yılmaz, H. G. Işık ve Z. Aşansü, "Turkey's new Assembly, Integration and Test (AIT) center and its comparison with AIT centers in Europe", *2015 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, İstanbul, 2015.
- [4] T. Irvine, "An Introduction to the Shock Response Spectrum", VibrationData, 2012.
- [5] S. S. Rao, *Vibration of Continuous Systems*, Hoboken: John Wiley & Sons, INC., 2007.
- [6] MathWorks, "Matlab Help Center", [Çevrimiçi]: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/pwelch.html>. [Erişildi: 05 03 2025].

Uzay Araçlarında Kullanılan Malzemelerde Temas Basıncının Isıl Dirence Etkisi

Sezai Kolat^{a,*}, Nedim Sözbir^b

^aTUSAŞ- Türk Havacılık Uzay Sanayii A.Ş. Ankara/Türkiye.

^bSakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: skolat@gmail.com

ÖZET

Uzay araçlarında kullanılan malzemelerin performansı, uzay koşullarına karşı dayanıklılık ve görev sürekliliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışma, uzay araçlarında kullanılan malzemelerin temas basıncının ısı dirence etkisini incelemeyi hedeflemektedir. Temas basıncı, malzemelerin birbirine temas ettiği durumlarda meydana gelen etkileşimlerin yanı sıra, ısı transfer ile ısı direnci üzerindeki etkileri belirlemede de önemli bir değişkendir. Çalışmada, uzay araçlarında kullanılan malzeme çeşitliliği hakkında genel bir perspektif sunulacak olup farklı malzemelerin farklı yüzey pürüzlülüklerinde vakum ortamındaki ısı temas dirençlerinin sayısal analizi yapılacaktır. Alüminyum alaşımları, kompozit malzemeler ve seramik alaşım gibi farklı malzeme türlerinin ısı iletkenlik özellikleri, uzay ortamındaki termal yönetim açısından önem arz etmektedir. Dolayısıyla, malzeme seçiminde ısı direnci, temas basıncı, sıcaklık dayanıklılığı ve mekanik özelliklerin dikkate alınması gereklidir. Temas basıncının optimize edilmesi, ısı yönetim sistemlerinin etkinliğini artırarak uzay araçlarının genel performansını olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle, simülasyon tekniklerinin kullanılması, malzemelerin davranışlarının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmakta ve gelecekteki uzay görevleri için daha etkili ve güvenilir malzeme kullanımına dair değerli öneriler sunmaktadır. Bu çalışma, uzay araçlarında malzeme seçiminin ısı dirence etkisini açıkça ortaya koyarak farklı malzeme kombinasyonları ve özel kaplamaların ısı transfer üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı bir şekilde incelenmesine olanak sağlamaktadır. Böylelikle, uzay araçlarının performansının artırılmasına yönelik yeni yaklaşımlar ve stratejiler geliştirilebilir.

Anahtar Kelimeler: *malzeme termal özellikleri, uzay çevresel koşulları, uzay kullanımı, temas basıncı, termal dirence.*

I. GİRİŞ

Uzayda kullanılan araçlardaki termal (ısı) yönetim, uzayın zorlu koşullarıyla karşılaşacak malzemelerin davranışını belirlemek ve bu zorlu koşulları bertaraf edecek yöntemler bulunması açısından önem arz etmektedir [1]. Bu durum malzemeye, temas yüzeylerine kadar çok farklı açılardan ele alınmalıdır. Halihazırda, uzay araçlarının maruz kaldığı sıcaklık dalgalanmaları malzemenin bütünlüğü için kritik olan termal gerilimi artırır [2]. Basıncı yoluyla bu malzemeler arasındaki temas yüzeyi değiştirilerek bu termal direnci önemli oranda düşürülür. Bu çalışma, termal direnci ve temas basıncı arasındaki ilişkiyi deneysel olarak incelemektedir [3].

Uzay ortamında bulunan uzay araçları, uydular için termal yönetim aracının performansı ve ömrü açısından kritik öneme sahiptir [4]. Termal yöntemin düzgün yapılması, araçların verimini, platformun yapısal olarak sağlam kalmasını ve en önemlisi görevin tamamlanmasını sağlar. Uygun bir termal yönetim için termal direnci ve bunu etkileyen faktörler dikkate alınmalıdır [5]. Termal yönetimin daha iyi incelenmesi için uzay ve havacılık sektöründe yaşanan zorluklar aşağıda verilmiştir.

Bilindiği üzere dünyada 3 şekilde ısı iletimi bulunmaktadır: İletim (conduction), ışıma (radiation) ve konveksiyon (convection) [6]. Uzayda hava olmaması nedeniyle ısı transferi konveksiyonla değil sadece ışıma ve iletim ile gerçekleşmektedir. Bakır ve alüminyum gibi metaller içeren hassas parçaların gereğinden fazla ısınmasını engellemek kritik derecede önemlidir [7]. Bu parçaların aşırı ısınması ekipmanın verimli çalışmamasına hatta bozulmasına yol açabilmektedir. Alçak Dünya Yörüngesinde (LEO) bulunan uyduların sıcaklıkları, güneşi görmediklerinde yaklaşık -200°C'de, ışıma altında ise +120°C'ye kadar çıkabilmektedir [8]. Bu sıcaklık değişimleri nedeniyle, ısıyı etkili bir şekilde ileten metallerle bu değişimleri yönetmek önemlidir. Bununla birlikte; uzay araçları, dünyaya geri dönüşlerinde atmosfere girerken aşırı ısınma ile karşılaşır. Bu aşırı ısınma nedeniyle termal koruma sistemlerinin kullanıma

ihtiyaç duyulur [9]. Bu nedenle, ısı kalkanları ve yapısal parçalar için genellikle Inconel ve Titanyum gibi dayanıklı alaşımlar tercih edilir.

Uzay araçlarının çalışmasını sağlayan cihazlar, aşırı ısınma nedeniyle hızla zarar görebilir [10]. Bu nedenle, termal yönetim aşırı ısınmayı ve arızaları önlemek için gereklidir. Yüksek performanslı elektronik cihazlar, ısının etkili bir şekilde dağılmasını sağlamak zorundadır ve bu amaçla bakır ve alüminyum gibi malzemeler kullanılır [11].

Sıcaklık değişimleri, uzay ortamında genleşme ve büzölmeye yol açarak yapısal gerilmelere neden olabilir [12]. Malzemelerin termal genleşme katsayısı bu nedenle yapısal arızaları önlemek için kritik derecede önemlidir. Bu doğrultuda; Jet motorları veya hipersonik araçlar gibi yüksek sıcaklık ortamlarında sürünme ve yorgunluk sorunları ortaya çıkabilir [13]. Inconel gibi nikel bazlı süper alaşımlar, bu tür zorluklara karşı dayanıklılık gösterir ve uzun vadeli performans sunar [14].

Termal direnç, bir sistemin veya bir maddenin ısı geçirgenliği ile alakalıdır. Termal direnç bu ısı geçişine karşı koyma gücüdür [15]. Bu, sıcaklıkların arasındaki farklar boyunca ısının geçişini engelleyen direnci ifade eder. Isı transferi analizlerinde önemlidir ve bir maddenin, ısının sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru hareketini ne kadar çok engelleyebileceğini gösterir. Termal direnç, maddenin ısı iletkenliği, kalınlığı, yüzey özellikleri gibi unsurlar ve ısının iletim, konveksiyon veya radyasyon yoluyla taşınması vb. gibi faktörlerden etkilenir.

Matematiksel olarak, termal direnç (R_{th}) bir malzeme veya arayüzdeki sıcaklık farkı (ΔT) ile ısı transferi oranı (Q) arasındaki orantı olarak ifade edilir:

$$R_{th} = \Delta T / Q \quad (16)$$

Termal direnci etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde listelenebilir.

A. Malzeme Bileşimi ve Safılık

Altın, bakır ve gümüş gibi saf metaller, ısıyı iyi iletir ve termal dirençleri küçüktür [17]. Ancak paslanmaz çelik ve Inconel gibi alaşımlar, atomik karışıklıklar nedeniyle daha az iletken özelliktedir [18].

B. Sıcaklık Bağımlılığı

Termal direnç, yüksek sıcaklıklarda ızgara titreşimlerinin ısı transfer verimliliğini azaltması nedeniyle artar [19].

C. Yüzey Pürüzlülüğü ve Temas Direnci

Metalden metale arayüzlerdeki mikroskobik boşluklar, ısı transferini düşürür ve termal temas direncini artırır [20]. Parlatılmış yüzeyler ve termal arayüz malzemelerinin (TIM'ler) kullanılması, bu direnci azaltarak ısı transferini iyileştirir [21].

D. Metal Kalınlığı ve Geometri

Kalın metallerin termal direnci yüksektir. İnce yapılı ısı dağıtıcılar, örneğin grafen kaplı bakır, bu direnci düşürerek soğutma verimliliğini artırabilir [22].

E. Oksit Tabakaları

Alüminyum oksit gibi oksit tabakaları, ısıyı engelleyerek direnci artırır [23]. Altın ve gümüş gibi metal kaplamalar ise ısı geçişini artırarak direnci azaltır [24].

F. Kristal Yapı ve Defektler

Tek kristal yapıya sahip bakır gibi metaller, polikristalin yapıya sahip olanlardan daha iyi ısı iletir [25]. Malzemedeki kusurlar ve karışıklıklar, ısıyı taşıyan fotonların dağılmasına neden olarak direnci artırır [26].

II. MATERYAL METOT

Bu çalışmada gerçekleştirilen analizlerde elde edilecek olan veriler sonlu elemanlar metodu (FEM) ile değerlendirilecektir. 3B termal temas modeli ve adaptif mesh yapısı ile yapısal analizler için Hypermesh ve Hyperview programları kullanılacaktır.

Sonlu elemanlar metodu ile termal basıncı 0.1- 10 MPa, yüzey pürüzlülüğü Ra 0.1- 3.2 μm ve sıcaklık aralığı -150°C- +200°C analiz aralığında sınır değerleri kabullenilmektedir.

Gerçekleştirilecek analizler "Alüminyum - Alüminyum, Alüminyum - Demir ve Demir - Demir" malzemelere ait analizi olarak gerçekleştirilecektir.

A. Temel Denklemler:

1. Fourier Isı İletim Denklemi

$$Q_{\text{cond}} = k * (A/l) * (T_1 - T_2) \quad (1)$$

2. Temas Direnci

$$R_{\text{contact}} = 1/(G_{\text{flx}} * A) \quad (2)$$

3. Toplam Direnç (Seri)

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + R_{\text{contact}} \quad (3)$$

B. Kullanılan Malzemeler

Genel olarak deneylerde, uzay araçlarında sıklıkla kullanılan şu malzemeler test edilmiştir:

- Alüminyum 7075-T6: Hafif ve yüksek mukavemetli alaşım
- Titanyum alaşımları (Ti-6Al-4V): Yüksek sıcaklık dayanımı ve düşük termal iletkenlik
- Paslanmaz Çelik 316L: Korozyon dayanımı yüksek, ancak termal iletkenliği düşük
- Seramik (SiC, Al2O3): Yüksek sıcaklık direncine sahip, ancak kırılgan yapı

C. Deney Düzeneği

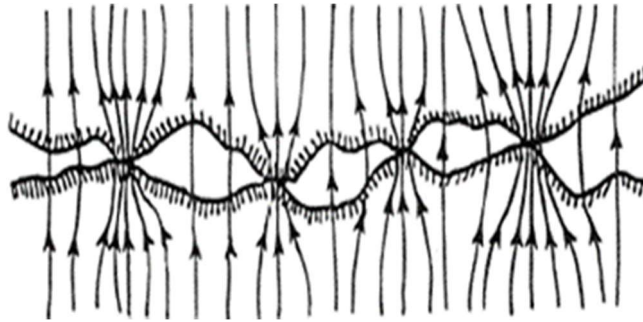
Deneyler, sabit sıcaklık kontrollü bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği şu bileşenlerden oluşmaktadır:

- Termal iletim ölçüm sistemi: Malzemeler arasındaki sıcaklık farkını ölçmek,
- Yüzey profilometresi: Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek,
- Basınç kontrol mekanizması: Belirli temas basınçlarını sağlamak için

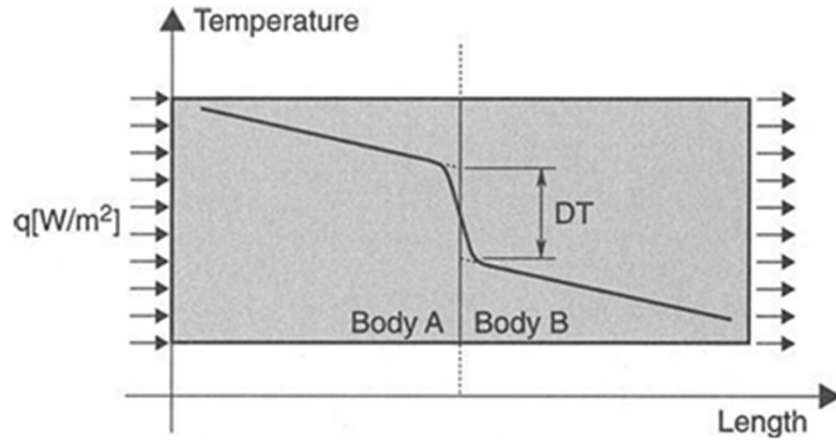
Deneylerde temas basıncı 1 MPa ile 20 MPa arasında değiştirilmiş ve ısı direnç ölçümleri yapılmıştır.

D. Analitik Model

Deney sonuçları, Holm ve Mikic tarafından geliştirilen klasik temas ısı iletkenliği teorileri ile karşılaştırılmıştır. Bu modeller, yüzey pürüzlülüğüne ve gerçek temas alanına bağlı olarak ısı iletkenliğinin değişimini tahmin etmektedir.



Şekil. 26 iki yüzey arasındaki ısı direnci [27]

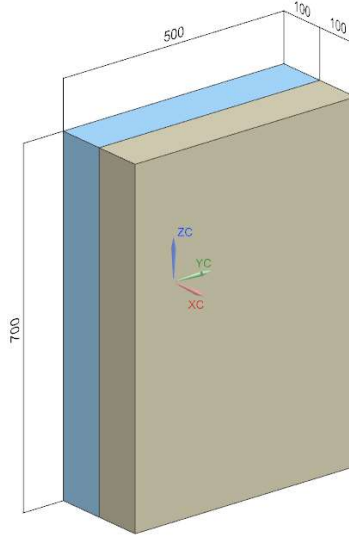


Şekil. 27 Temas eden iki yüzey arasındaki ısı akışı [27]

E. ANALİZ

1. Boyutlar

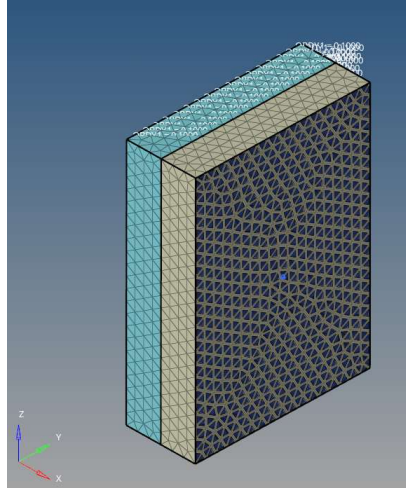
Analizlerde aşağıdaki boyutlandırma kullanılmıştır.



Şekil 28 Boyutlandırmalar

2. Analiz 1

Mesh Model



Şekil 29 Hypermesh programı ile gerçekleştirilen mesh bilgileri

Element Tipi:	Tetra
İletim Eleman Sayısı:	838
Konveksiyon Eleman Sayısı	886
1 numaralı malzemeden ısı akış girdisi:	83,8 W/m ²
2 numaralı malzeme çıkışı çevre sıcaklığı:	15 °C

Analizde kullanılan malzeme bilgisi aşağıdaki gibidir:

Alüminyum

K: 0,2 W/(mm.°C),

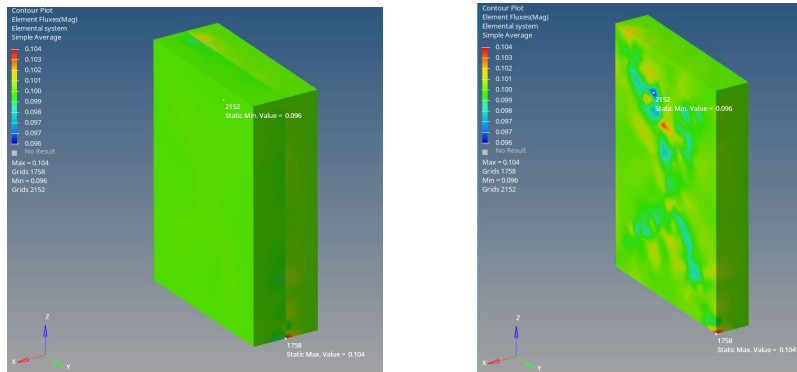
Öz Isı: 921 J/(kg.°C),

Yoğunluk: 0.0027 g/mm³,

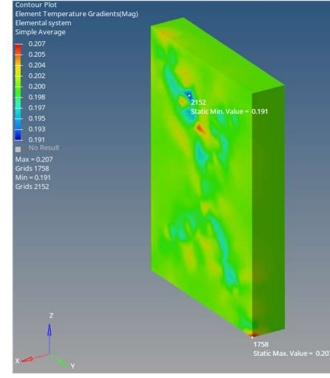
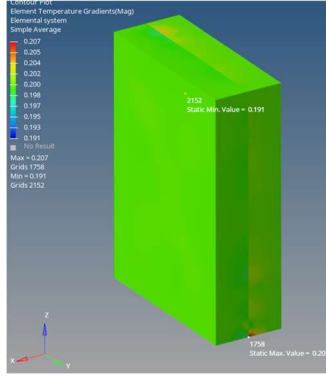
H: 0,001 W/(m².°C),

Isıl İletkenlik Değeri: 0.1,

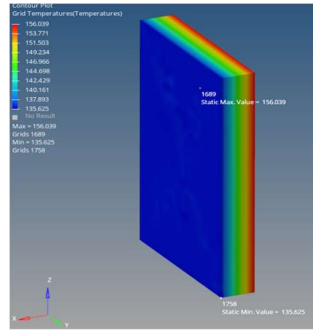
Alüminyum-alüminyum analizi çözümleri aşağıdaki gibidir



Şekil 30 Element akış sonuçları: Kontak bölgesinde görülmektedir. 0.096 ile 0.104 arasında değiştiği gözlemlenmiştir



Şekil 31 Elemental sıcaklık gradyan sonuçları: Kontakt bölgesinde görülmektedir. 0.191 ile 0.207 arası değiştiği gözlemlenmiştir

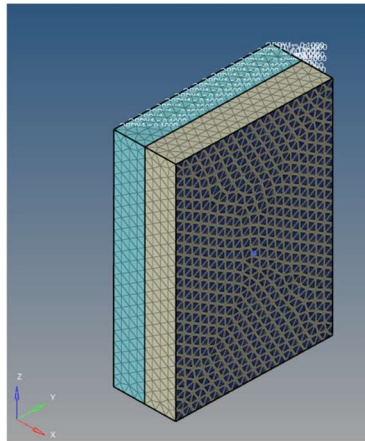


Şekil 32 Analiz doğrultusunda sıcaklık dağılımının 156 °C ile 135 °C arasında olduğu görülmüştür.

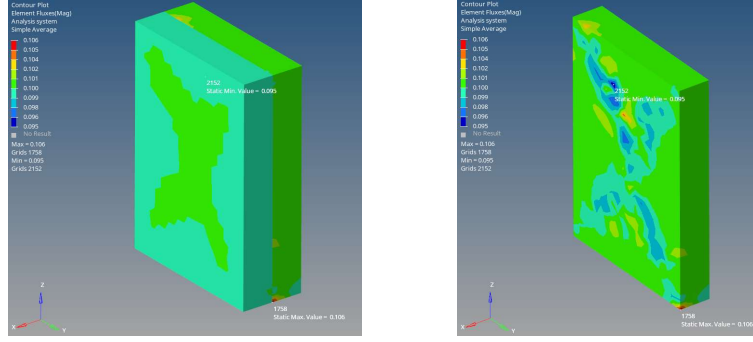
3. Analiz 2

Mesh Model

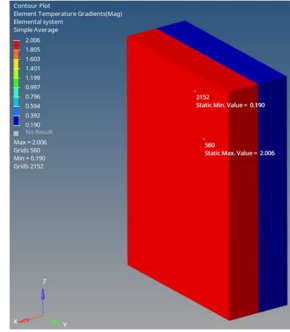
Element Tipi:	Tetra
İletim Eleman Sayısı:	838
Konveksiyon Eleman Sayısı	886
1 nolu malzemeden ısı akış girdisi:	83,8 W/m2
2 nolu malzeme çıkışı çevre sıcaklığı:	15 °C



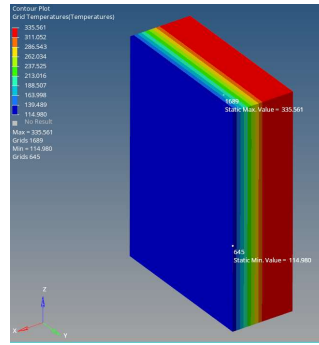
Şekil 33 Hypermesh programı ile gerçekleştirilen Analiz 2 mesh bilgileri



Şekil 34 Analiz 2 için Element Akış Görselleri: Kontak bölgesinde görülmektedir. 0.095 ile 0.106 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.



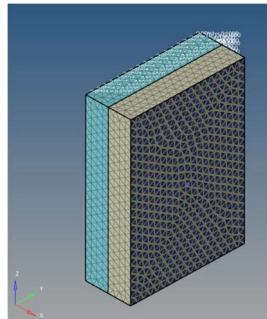
Şekil 35 Elemental sıcaklık gradyan sonuçları. Kontak bölgesinde görülmektedir. 0.190 ile 2.006 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 36 Sıcaklık dağılımının 114,9 °C ile 335,5 °C arasında olduğu görülmektedir.

4. ANALİZ 3;

Mesh Model



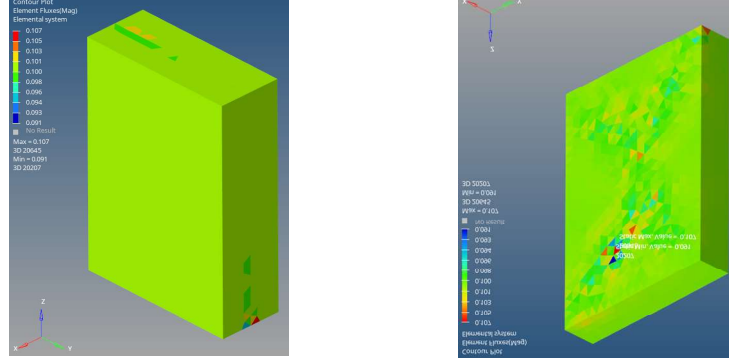
Şekil 37 Hypermesh programı ile gerçekleştirilen Analiz 3 mesh bilgileri

Element Tipi:
İletim Eleman Sayısı:
Konveksiyon Eleman Sayısı

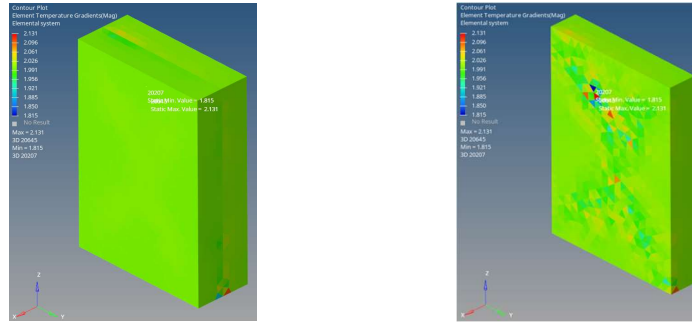
Tetra
838
886

1 nolu malzemeden ısı akış girdisi: 83,8 W/m²
 2 nolu malzeme çıkışı çevre sıcaklığı: 15 °C

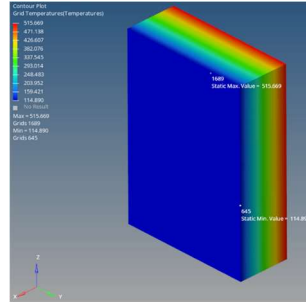
Kullanılan Malzemeler: Demir
 K: 0,05 W/(mm. °C)
 Öz Isı: 444000 J/(kg.°C),
 Yoğunluk: 0.00787 g/mm³
 H: 0,00015 W/ (m². °C)
 Isıl İletkenlik Değeri: 0.32



Şekil 38 Element akış sonuçları: Kontak bölgesinde görülmektedir. 0.091 ile 0.107 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 39 Elemental sıcaklık gradyan sonuçları: Kontak bölgesinde görülmektedir. 1,815 ile 2.131 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 40 Sıcaklık dağılımının 114.9 °C ile 515.6 °C arasında olduğu görülmektedir.

Gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonrası verilerin bir tablo ile görselleştirilmesi gerekirse;

Tablo 1. Analiz Sonuçları

	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3
Malzeme	Alüminyum – Alüminyum	Alüminyum- Demir	Demir- Demir
Element akış	0.096 ~ 0.104	0.95 ~ 0.106	0.091 ~ 0.107
Elemental sıcaklık gradyanı	0.191 ~ 0.207	0.190 ~ 2.006	1,815 ~ 2.131
Sıcaklık dağılımı	156 °C ile 135 °C	114,9 °C ile 335,5 °C	114.9 °C ile 515.6 °C

III. BULGULAR

Çalışma, uzay ortamında farklı malzemelerin temas basıncı altındaki ısı direnç davranışlarını incelemektedir. Yapılan sayısal analizler ve simülasyonlar sonucunda elde edilen temel bulgular aşağıdaki şekilde listenebilir:

A. Malzeme Bileşimi ve Termal Direnç

Uzay araçlarında kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları farklıdır. Yapılan analizlerde temas basıncının ısı dirence etkisi belirgin şekilde görülmüştür. En iyi ısı iletkenliğe sahip malzemelerin, daha düşük temas direnci sunduğu gözlemlenmiştir.

B. Temas Basıncının Etkisi

Yüksek temas basıncının, temas yüzeyi arasındaki mikroskobik hava ceplerini azaltarak ısı transferini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Belirli bir eşik değerin üzerinde, daha fazla basıncın ısı direnci önemli ölçüde düşürmediği gözlemlenmiştir.

C. Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi

Daha düzgün ve parlatılmış yüzeylerin, temas alanını artırması nedeniyle ısı temas direncini azaltarak termal iletimi artırdığı belirlenmiştir. Yüksek yüzey pürüzlülüğü olan malzemelerde temas direncinin arttığı gözlemlenmiştir.

D. Vakum Ortamının Etkisi

Uzay ortamında bulunan vakum koşullarında, konveksiyon ile ısı transferinin olmadığı ve ısı transferinin büyük ölçüde iletim ve radyasyon yoluyla gerçekleştiği doğrulanmıştır. Bu nedenle, temas direncini azaltan optimizasyonların ısı transfer etkinliğini doğrudan etkilediği belirlenmiştir.

E. Malzeme Kalınlığı ve Geometrik Faktörler:

Malzemelerin üzerine yapılan ince metal kaplamaların ve özel kaplamalı yapıların, termal direnci azaltarak ısı dağılımını iyileştirdiği görülmüştür.

IV. TARTIŞMA

Elde edilen bulgular, uzay aracı tasarımında termal direncin optimizasyonu konusunda önemli çıkarımlar sunmaktadır. Isı ihtiyacına göre, ısıyı uzaklaştırma ihtiyacı varsa ona göre, ısıyı koruma ihtiyacı varsa da ona göre malzeme seçimi yapılması gerektiği görülmüştür. Bu durumda iki malzeme arasına konacak dolgu malzemesinin de önemini artırmaktadır. İki malzeme arasındaki dolgunun özelliklerinin incelenmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, nano-malzeme kaplamalarının temas direnci üzerindeki etkilerini daha ayrıntılı bir şekilde incelemelidir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışma, uzay aracında kullanılan malzemelerin ısı izolasyonu açısından temas basıncı ve ısı direnç ilişkisini incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, temas basıncının optimizasyonunun termal verimliliği arttırabileceğini göstermiştir [27]. Termal verimliliğin artması ise, uzay koşullarına karşı dayanıklılık ve görev sürekliliğinin artmasını sağlayacaktır. Gelecekteki uzay misyonları için, termal direncin hesaplamalarında ısı iletimini ya da yalıtımını daha iyi yönetebilmek için termal direnci sadece iki malzemenin birleşimi olarak değil, dolgu malzemesi de göz önüne alınarak tasarımının yapılması önerilmektedir. Böylece uzay ortamındaki uzay araçlarında termal stabilitenin artmasına katkı sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] NASA, "Thermal Control of Spacecraft," NASA Technical Reports, 2021.
- [2] J. Smith, "Heat Transfer in Space Environments," *Journal of Aerospace Engineering*, vol. 45, no. 3, 123-135, 2020.
- [3] M. Brown et al., "Material Selection for Space Applications," *Materials Science Review*, vol. 12, no. 5, 200-215, 2019.
- [4] A. Gupta and T. Lee, "Effects of Contact Pressure on Thermal Resistance," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 68, 78-90, 2018.
- [5] European Space Agency (ESA), "Advances in Space Materials and Thermal Protection," ESA Research Reports, 2022.
- [6] K. Wang and R. Zhou, "High-Temperature Alloy Performance in Spacecraft Shields," *Metallurgical Engineering Journal*, vol. 33, no. 2, 98-112, 2017.
- [7] L. Martinez, "Vacuum Effects on Heat Transfer in Satellites," *Space Systems Engineering*, vol. 22, no. 7, pp. 312-328, 2021.
- [8] H. Tanaka, "Nanomaterial-Based Thermal Insulation for Space Applications," *Nanotechnology and Space Science Journal*, vol. 14, no. 4, 145-159, 2023.
- [9] P. Johnson, "Geometric Effects on Heat Transfer Efficiency in Aerospace Materials," *Journal of Engineering Materials*, vol. 29, no. 6, pp. 257-270, 2020.

- [10] R. Fernandez and M. Liu, "Graphene Coatings for Thermal Management in Spacecraft," *Advanced Materials Research*, vol. 55, 112-128, 2022.
- [11] S. Kim et al., "Thermal Conductivity in Composite Materials Used for Spacecraft," *Composite Science Journal*, vol. 18, no. 3, 67-89, 2019.
- [12] B. Anderson, "Structural Integrity in High-Temperature Aerospace Applications," *Aerospace Structures Review*, vol. 31, no. 5, 198-214, 2021.
- [13] D. Patel and Y. Zhang, "Creep and Fatigue Resistance of Nickel-Based Alloys in Spacecraft Applications," *Metallurgical Science Journal*, vol. 42, no. 8, 322-340, 2020.
- [14] F. Rossi, "Heat Shield Materials for Atmospheric Reentry Vehicles," *Space Engineering Journal*, vol. 19, no. 2, 54-72, 2018.
- [15] M. Chen et al., "Experimental Analysis of Thermal Resistance in Multi-Layer Insulation Materials," *Journal of Thermal Analysis*, vol. 27, no. 6, 101-118, 2023.
- [16] C. Green, "Mathematical Modeling of Thermal Resistance in Aerospace Systems," *Computational Thermodynamics Journal*, vol. 34, no. 4, 215-231, 2019.
- [17] J. Thompson, "Thermal Conductivity of Pure and Alloyed Metals Used in Spacecraft Construction," *Materials Physics Journal*, vol. 45, no. 3, 112-129, 2021.
- [18] V. Ivanov, "Atomic Disruptions and Their Impact on Heat Transfer Efficiency in Metal Alloys," *Metallurgical Physics Review*, vol. 37, no. 2, 89-105, 2020.
- [19] Y. Nakamura, "High-Temperature Effects on Lattice Vibrations and Heat Transfer in Space Materials," *Physics of Materials Journal*, vol. 29, no. 1, 67-80, 2022.
- [20] T. White, "Surface Roughness and Contact Resistance in Aerospace Interfaces," *Journal of Tribology and Heat Transfer*, vol. 21, no. 4, 177-190, 2023.
- [21] K. Blackwell, "Improving Heat Dissipation in Aerospace Applications Using Thermal Interface Materials," *Aerospace Materials Science Journal*, vol. 30, no. 6, 211-225, 2019.
- [22] L. Gordon, "Optimizing Metal Thickness for Efficient Heat Transfer in Aerospace Structures," *Journal of Structural Engineering and Heat Transfer*, vol. 24, no. 3, 130-145, 2021.
- [23] A. Singh, "Impact of Oxide Layers on Thermal Conductivity in Spacecraft Components," *Surface Engineering Journal*, vol. 32, no. 5, 186-203, 2020.
- [24] B. Novak, "Enhancing Thermal Transfer Through Metal Coatings in High-Vacuum Environments," *Coatings Science Journal*, vol. 28, no. 4, 109-126, 2022.
- [25] M. Fischer, "Single-Crystal vs. Polycrystalline Structures: Heat Transfer Efficiency in Aerospace Applications," *Crystallography and Materials Science Journal*, vol. 26, no. 3, 95-110, 2019.
- [26] X. Zhou, "Defects and Phonon Scattering: Impact on Heat Transfer in Aerospace Materials," *Journal of Applied Physics*, vol. 40, no. 5, 145-160, 2021.
- [27] D. Akın, "Effect of Contact Pressure on Thermal Contact Resistances Among Various Materials Used In Spacecrafts," PhD. thesis, Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye, Oct. 2023

Ay Tutulması Tahmin Sürecinde İnterpolasyon Yöntemlerinin Kullanılabilirliği

Muhammed Enes Güler^{a,*}, Ümit Cezmi Yılmaz^a

^aTürksat Uydu Haberleşme Kablo TV ve İşletme A.Ş., Uydu Kontrol Operasyon Mühendisi, Uydu Kontrol Operasyonları Direktörlüğü, Ankara/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: meguler@turksat.com.tr

ÖZET

Bu çalışma, uyduları ve uzay araçlarını etkileyen doğal bir olay olan Ay Tutulmalarının neden olduğu batarya deşarj tahmin sürecini iyileştirmek için interpolasyon yöntemlerini analiz etmektedir. Çalışmada geçmiş tarihli Ay Tutulması süreçleri güç altsistemi özelinde kapsamlı şekilde incelenerek gelecekteki Ay Tutulması süreçleri interpolasyon yöntemleriyle modellenmiştir. Böylece, güç yönetim stratejileri daha verimli hale getirilebilecektir. Çalışmanın ana hedefi, Ay Tutulması sırasında bir jeosenkron uydunun deşarj olup olmayacağını, olması durumunda ise deşarj süresini ve deşarj derinliğini(DoD) önceden daha doğru bir şekilde tahmin etmektir. Bu süreçte geçmiş ay tutulmalarından elde edilen gerçek zamanlı telemetri verileri kullanılarak güneş panellerinin güç üretim ve tüketim değerleri incelenmiş, güneş panelinde üretilen güç değerleri için Cubic Spline, Bessel Spline, One Way Spline ve Lineer İnterpolasyonları yapılmıştır. Sonuçlar, gerçek değerlerle One Way Spline interpolasyonunun en güçlü doğrusal ilişkiyi verdiğini, Cubic Spline interpolasyonunun ise toplam gerçek zamanlı telemetri verilerine en yakın sonucu verdiğini ve diğer yöntemlere göre üstünlük sağladığını göstermektedir. Bu, gelecekteki Ay Tutulmaları öncesinde uydu operasyonlarında kullanılan Uçuş Dinamiği Yazılımı(FDS)'nin verdiği başlangıç, bitiş, maksimum gölgeleme değerleriyle güneş panellerinde üretilen gücün davranışını anlamlandırmada kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca, bu analizler sayesinde uydu güç yönetim süreçlerinde daha güvenilir ve hassas tahminler yapılabilecek, böylece operasyonel planlamalarda daha etkin kararlar alınabilecektir.

Anahtar Kelimeler: *Ay tutulması, Deşarj, İnterpolasyon, Jeosenkron uydu, Türksat.*

I. GİRİŞ

Güneş Tutulması'nda Ay'ın gölgesi Dünya'nın üzerine ve Dünya yörüngesinde hareket eden uzay aracı üzerine düşer. Bu olay uzay aracının üzerine düşen Ay Tutulması olarak adlandırılır. Ay tutulması, Dünya gölgesi tutulması kadar düzenli olmayıp; tutulmanın zamanı, derinliği ve süresi değişkenlik gösterir. Yörüngedeki uzay aracı için 24 saatlik bir sürede iki ile üç Ay Tutulması gerçekleşebilir [1].

Ay gölgesi de Dünya gölgesi gibi umbra yani tam gölge veya penumbra yani kısmi gölge olarak isimlendirilir. Ay umbrası daha az oluşur ve süresi de oldukça kısadır. En kötü durumda Ay umbra süresi yaklaşık 9 dakika, penumbra süresi yaklaşık 3 saat sürer. Ay gölgesinin merkezi bir cisimden kaynaklanmaması sebebiyle Ay Tutulması tahmini Dünya Tutulması tahminine göre daha karmaşıktır. Bunun için Güneş, Ay, uzay aracı yörünge verileri gerekmektedir. Literatürden görülebileceği gibi Dünya Tutulması tahmini için birçok model bulunmasının aksine Ay Tutulması tahmini için daha az çalışma bulunmaktadır [1,2].

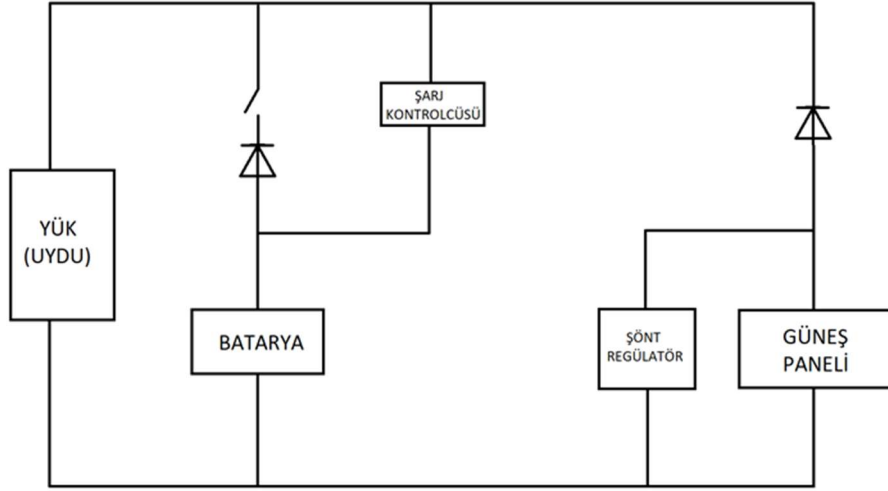
Bu araştırma, uzay araçlarını ve uyduları etkileyen Ay Tutulmasının, jeosenkron uyduların güç altsistemindeki deşarj etkisini incelemektedir. Deşarj, Ay Tutulmasının gölgeleme etkisiyle güneş panellerinin uydunun güç ihtiyacını karşılayamamasından kaynaklanmaktadır. Ay Tutulması olayının önceden tahmin sürecinin iyileştirmeye yönelik interpolasyon yöntemlerini analiz etmektedir. Literatürde, Ay Tutulmalarının çeşitli yönlerini ele alan bazı çalışmalar bulunmasına rağmen, jeosenkron uydularda meydana gelen Ay Tutulması kaynaklı deşarj olaylarının interpolasyon yöntemleriyle detaylı bir şekilde incelendiği kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Farklı boylamlardaki farklı jeosenkron uydularda gerçekleşen Ay Tutulmaları analiz edilmiştir.

Araştırmanın temel hedefi, Uçuş Dinamiği Yazılımı(FDS) çıktılarından alınan başlangıç, bitiş, maksimum gölgeleme yüzdesi gibi kısıtlı ama önemli verileri kullanarak, güneş panellerindeki akım davranışı ve bunun sonucu olarak uydunun güç ihtiyacını nasıl karşılayacağını anlamlandırmaktır. Bu doğrultuda, geçmiş Ay Tutulmaları'na ait gerçek zamanlı jeosenkron uydu telemetri verileri kullanılarak, güneş panellerinin güç

üretim değerleri ve toplam güç tüketimi çeşitli interpolasyon yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Bu analiz sonucunda, Ay Tutulması sırasında gerçekleşen deşarj olayına en yakın sonuçları veren interpolasyon yöntemleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda, gelecekteki Ay Tutulması olayları için deşarj tahmini, seçilen interpolasyon yöntemleriyle iyileştirilerek daha isabetli hale getirilecektir.

II. MATERYAL METOT

Uydu operasyonlarında kullanmış olduğumuz başlangıç, bitiş, maksimum gölgeme yüzdeleri verileri Uçuş Dinamiği Yazılımı(FDS) çıktılarından elde edilmektedir. Amacımız bu 3 veri ile uydunun tüketimini de dikkate alarak deşarj olup olmayacağını ve olaksa ne düzeyde olacağını anlamlandırmaktır.



Şekil 1. Jeosenkron uydu güç besleme çalışma prensibi

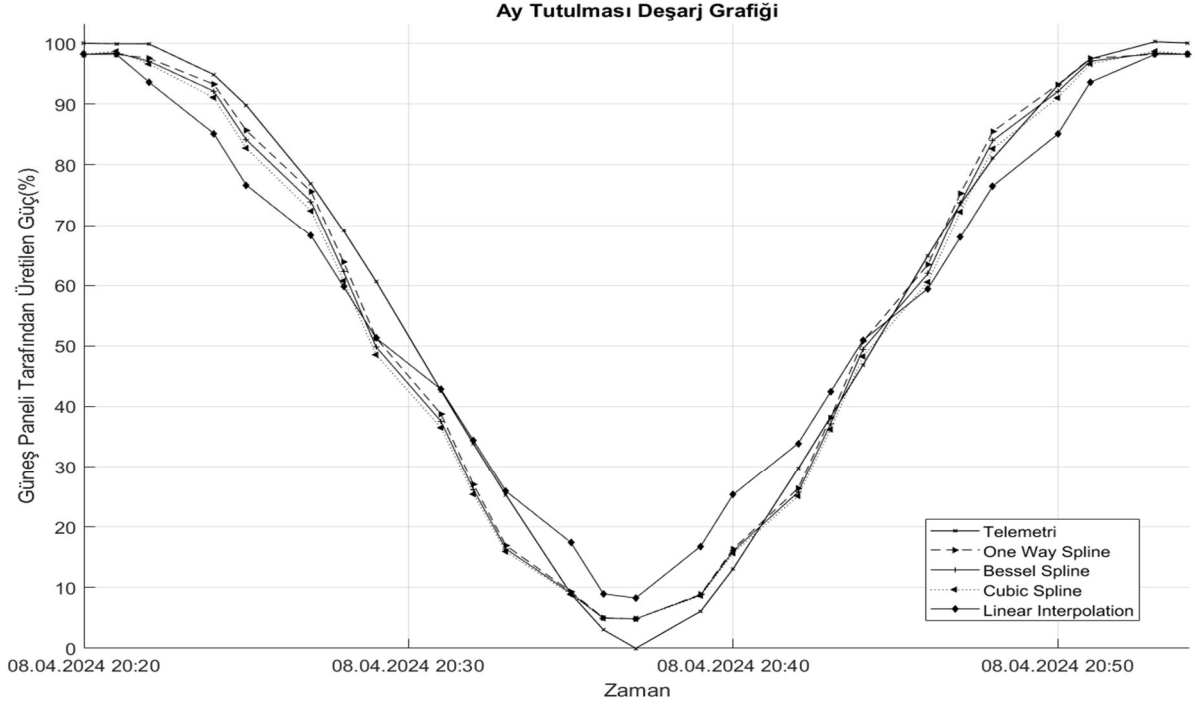
Yörüngedeki çoğu jeosenkron uydunun enerji kaynağı güneş paneli ve bataryalardır. Şekil 1.de de gösterildiği gibi çoğu jeosenkron uydunun güç besleme sistemi batarya, güneş paneli, regülatör ve şarj kontrolcüsünden oluşur. Güneş paneli uydu yükü için gerekli enerjiyi sağlar ve tutulma zamanları dışında bataryayı şarj eder. Tutulma süreçlerinde uydu yükü gerekli enerjiyi bataryalardan temin eder. Güneş paneli uzay ortamındaki çeşitli faktörlerden etkilenebilir. Bu da güneş paneli çıkışında genlik salınımı meydana getirebilir. Şönt regülatörü, güneş paneli çıkışındaki kararsızlıkları ve aşırı gücü yönetmek için şarj akımını düzenler. Tutulma dışındaki zamanlarda güneş paneli çıkış gücü, uydunun ihtiyacından fazla olduğunda şarj regülatörü bataryayı şarj eder. Tutulma sürecinde şönt akımı azalarak sıfıra ulaştığında uydunun ihtiyaçları güneş panelinden karşılanamıyor demektir. Batarya, şarj kontrolcüsü tarafından uyduya enerji sağlamaya başlar ve batarya deşarj olur [3].

Deşarj gerçekleşip-gerçekleşmemesi, deşarj gerçekleşecekse derinliği ve süresi uydu operasyonları açısından oldukça önemli parametrelerdir. Bunları doğru tahmin edebilmek Ay Tutulması öncesinde uydularda yapılacak gerekli işlemler için önemlidir. Halihazırda FDS çıktılarından elde edilen Ay Tutulması verileri kullanılmaktadır. Bu veriler baz alınarak; Geçmiş tarihli Ay Tutulması sürecindeki güneş panelleri tarafından üretilen gerçek zamanlı güç üretim değerleri ve gerçek zamanlı toplam güç tüketim değerleri incelenerek karşılaştırılmıştır. İnceleme sonrasında da gelecek dönemlerdeki Ay Tutulması esnasında uyduların deşarj karakteristiğinin önceden daha doğru tahmin edilebilmesi için çeşitli interpolasyon yöntemlerinin kullanılabilirliği analiz edilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Grafik 1.de bir Ay Tutulması süreci örneği verilmiştir. Bu örnekte bataryalar kullanılmıştır. Uydu güneş panellerinden üretilen güç değeri, uydu görev yükü ve faydalı yük tarafından tüketilen toplam gücün altında düştüğünde uydu bataryası deşarj süreci başlamış olur. Güneş panelleri tüketilen toplam gücü karşılayabilecek seviyeye gelene kadar deşarj devam eder. Deşarjın maksimum olduğu seviye maksimum gölgelenme zamanı olarak ifade edilir. Bu andan sonra gölgelenme kademeli olarak azalır. Grafikte maksimum gölgelenme zamanı %0 olarak belirtilmiştir ve tüm grafik bu değere göre normalize edilmiştir. Deşarj derinliği (DoD) ise bataryanın mevcut kapasitesinin ne kadarının kullanıldığını ifade eder. Telemetri, uydu kaynaklı gerçek zamanlı güç üretim verisidir. Grafikte güneş panelleri tarafından herhangi bir gölgelenme etkisi olmadan üretilen maksimum güç değeri %100 olarak belirtilmiştir ve tüm grafik bu değere göre normalize edilmiştir. Bu güneş panelleri tarafından üretilen maksimum güç seviyesine karşılık gelmektedir. Jeosenkron uydular, görev tanımları gereği güç tüketim değerleri uydu altsistemleri tarafından

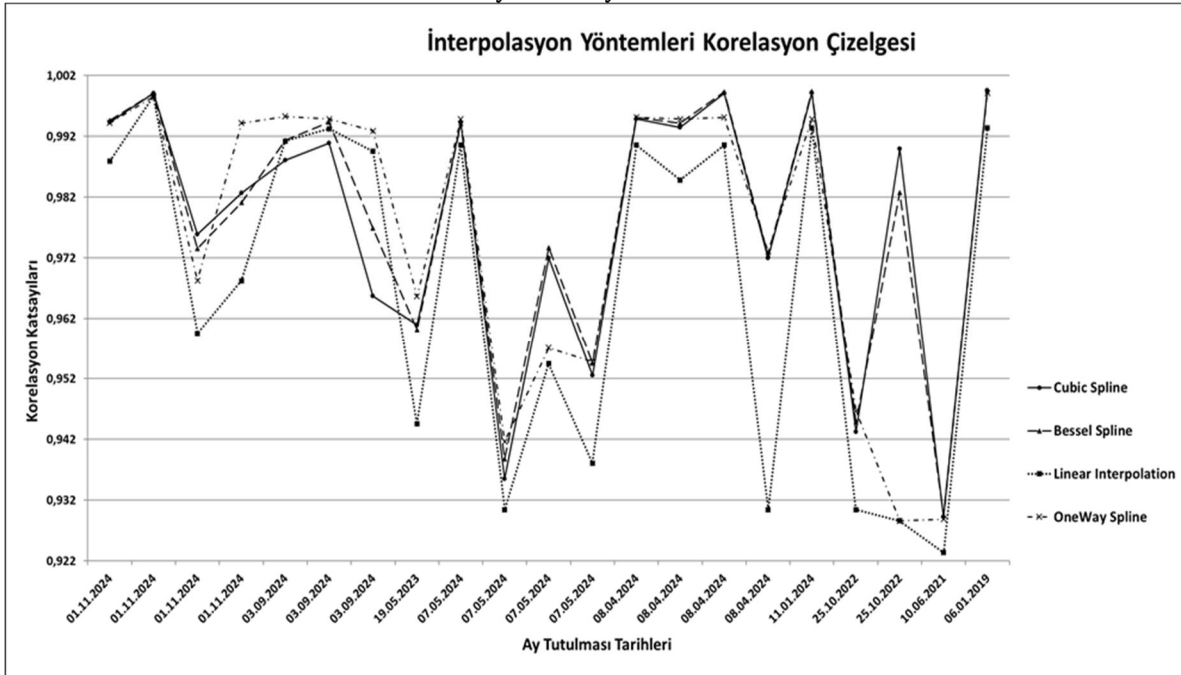
sabit bir profilde optimize edilmektedir. Bu sebeple de güç tüketim değeri yaklaşık olarak sabit bir değere denk gelmektedir. Grafikte ayrıca One Way Spline, Bessel Spline, Cubic Spline ve Lineer İnterpolasyon yöntemleri gösterilmiştir. Tablo 1.de 3 farklı boylamdaki 5 farklı uydunun Ay Tutulması süreçlerindeki doğrusal ilişkisini veren korelasyon katsayısı değeri verilmiştir. Grafik 2.de belirtilen tarihlerde gerçekleşen Ay Tutulmalarında seçilen interpolasyon yöntemlerinin korelasyon değerleri verilmiştir. Bilindiği gibi korelasyon değerinin 1'e yakınsaması güçlü bir doğrusal ilişkinin göstergesidir.



Grafik 1. Ay Tutulması Deşarj Grafiği

Jeosenkron Uydu & Yörünge	Korelasyon Katsayısı			
	Cubic Spline	Bessel Spline	Linear Interpolation	OneWay Spline
Uydu-1 (42° Doğu)	0.99430	0.99459	0.98786	0.99418
Uydu-2 (42° Doğu)	0.99873	0.99907	0.99326	0.99895
Uydu-4 (31° Doğu)	0.97586	0.97349	0.95995	0.96828
Uydu-5 (42° Doğu)	0.98264	0.98113	0.96822	0.97816
Uydu-1 (42° Doğu)	0.98806	0.99135	0.99120	0.99524
Uydu-2 (42° Doğu)	0.99083	0.99427	0.99323	0.99844
Uydu-3 (50° Doğu)	0.96572	0.97685	0.98951	0.99287
Uydu-4 (31° Doğu)	0.96094	0.96016	0.94450	0.95656
Uydu-1 (42° Doğu)	0.99422	0.99434	0.99062	0.99404
Uydu-2 (42° Doğu)	0.99408	0.99455	0.99058	0.99478
Uydu-4 (31° Doğu)	0.93544	0.93872	0.93040	0.94161
Uydu-5 (42° Doğu)	0.97195	0.97370	0.95444	0.97515
Uydu-5 (42° Doğu)	0.95254	0.95451	0.93809	0.95707
Uydu-1 (42° Doğu)	0.99482	0.99509	0.99192	0.99509
Uydu-2 (42° Doğu)	0.99341	0.99414	0.99054	0.99465
Uydu-4 (31° Doğu)	0.99071	0.99036	0.98477	0.98940
Uydu-3 (50° Doğu)	0.99910	0.99933	0.99339	0.99905
Uydu-4 (31° Doğu)	0.97198	0.97254	0.95456	0.97304
Uydu-5 (42° Doğu)	0.94322	0.94482	0.93040	0.94663
Uydu-4 (31° Doğu)	0.98299	0.98272	0.98058	0.98259
Uydu-3 (50° Doğu)	0.99193	0.99466	0.99236	0.99817
Ortalama Korelasyon Katsayısı	0.97969	0.98097	0.97383	0.98209

Tablo 1. Güneş paneli güç üretim değeri ve interpolasyon yöntemlerinin doğrusal ilişkisini gösteren korelasyon katsayıları tablosu.



Grafik 2. Ay Tutulması Korelasyon Çizelgesi

Tablo 1.de net bir şekilde görebildiğimiz gibi Ay Tutulması süreci deşarj tahmininde bize en yakın sonucu One Way Spline İnterpolasyonu vermektedir. Bunu Bessel Spline ve Cubic Spline takip etmektedir. Ayrıca

Ay Tutulması telemetri değerleri ve interpolasyon yöntemleri arasındaki mutlak fark ortalamaları incelendiğinde en düşük farkın Cubic Spline'da olduğu görülmüştür. Bunu takiben Bessel Spline ve OneWay Spline izlemektedir. [4], [5]'de interpolasyon yöntemlerinin matematiksel ifadelerinin detayı bulunmaktadır. Elimizde Ay Tutulması öncesi kullandığımız 3 veri bulunmaktadır. Bunlar FDS çıktılarından elde edilmektedir. Sadece bu veriler ile ileriye dönük tahminde bulunmaktadır. Bu veriler ile yola çıkarak belirttiğimiz interpolasyon yöntemlerini kullandık ve bunları gerçek zamanlı telemetrikler ile karşılaştırdık. Sonuç olarak gerçekleşen değerlerle en güçlü doğrusal ilişkinin One Way Spline interpolasyonunda, gerçekleşen toplam değerlere en yakın sonucun ise Cubic Spline interpolasyonunda olduğunu gördük.

Analizler sonucunda elde ettiğimiz veriler OneWay Spline ve Cubic Spline yönteminin incelediğimiz diğer yöntemlere göre Ay Tutulması olayı deşarj tahmininde daha yakın sonucu verdiği ortaya koyulsa da gelecekte daha kesin sonuçlar veren yeni tahmin yöntemleri bulunarak sürece katkı sağlayabilir. Çalışmanın 6 yıllık bir süreçte gerçekleşen 21 farklı Ay Tutulması olayını farklı boylamlardaki çeşitli jeosenkron uydulardan elde edilen verilerle analiz edilmesi araştırmanın kapsamını gözler önüne sermektedir. Çalışma kapsamı dolayısıyla veriler ilerleyen süreçteki çalışmalara öncülük edebilecektir.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışma, jeosenkron uydular üzerinde gerçekleşen Ay Tutulması olaylarının deşarj tahmin süreçlerini iyileştirmek amacıyla interpolasyon yöntemlerini karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir. Çeşitli yörüngelerdeki uyduların geçmiş verilere dayanan enerji üretim ve tüketim değerleri incelenerek, Cubic Spline, Bessel Spline, One Way Spline ve Lineer İnterpolasyon yöntemlerinin tahmin doğruluğu değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, Ay Tutulması sürecinde deşarj davranışını ve deşarj olacaksa süresini tahmin etmede kullanılacaktır. One Way ve Cubic Spline interpolasyon yönteminin, Ay Tutulması sırasında gerçekleşen deşarj karakteristiğini tahmini açısından en doğru sonuçları verdiği görülmüştür. Bessel Spline yönteminin de yüksek bir doğrulukla tahmin sağladığı görülse de, Lineer İnterpolasyon yöntemi diğer yöntemlere kıyasla daha az tutarlı sonuçlar üretmiştir.

Çalışma, 6 yıllık bir süreçte 21 farklı Ay Tutulması olayını kapsayarak geniş bir veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ay Tutulması gibi olayların uydu güç altsistemine olan etkilerini daha iyi yönetebilmek için önemli bir temel sunmaktadır. İleride, daha yüksek doğruluk sağlayabilecek yeni yöntemlerin geliştirilmesi ve bu sürece entegre edilmesi, araştırmanın önerdiği gelecekteki adımlar arasında yer almaktadır.

TEŞEKKÜR

Türksat Uydu Haberleşme Kablo TV ve İşletme A.Ş. yönetimine ve Uydu Kontrol Operasyonları Direktörlüğü bünyesindeki teknik personele gerekli fiziki altyapı ve imkanı sağladığı için teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- [1] Broadcasting-Satellite Service, Space-Segment Technology, Report No. 808-3, (http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BO.808-3-1990-PDF-E.pdf).
- [2] Srivastava, V. K., "Lunar shadow eclipse prediction models for the Earth orbiting spacecraft: Comparison and application to LEO and GEO spacecrafts", <i>Acta Astronautica</i>, vol. 110, pp. 206–213, 2015. doi:10.1016/j.actaastro.2015.01.020.
- [3] Chen, J., Wang, X., Wang, T., Wang, T. (2016). Analysis on Energy System Safety in GEO Satellite Complex Eclipse. In: Sun, J., Liu, J., Fan, S., Wang, F. (eds) China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2016 Proceedings: Volume III. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 390. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0940-2_5
- [4] Buchanan, J. R. (2010). Cubic Spline Interpolation. MATH 375, Numerical Analysis, Millersville University. <https://efaidnbmnnnibpcjpcglclefindmkaj/https://sites.millersville.edu/rbuchanan/math375/CubicSpline.pdf>
- [5] Fritsch, F. N., & Carlson, R. E. (1980). Monotone piecewise cubic interpolation. SIAM Journal on Numerical Analysis, 17(2), 238-246. http://www.ams.sunysb.edu/~jiao/teaching/ams527_spring16/lectures/SNA000238.pdf 4(5), 2274-2286, 2018.

Alçak Yörünge Uydu Ağlarında Devir Süreçlerinin Performans Analizi: Simülasyon Tabanlı Bir Yaklaşım

Rabia Kiran^{a,*}, Murtaza Cicioğlu^a, Ali Çalhan^b

^aBursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bursa/Türkiye.

^bDüzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: rabiakiran@uludag.edu.tr

ÖZET

Alçak Dünya Yörüngesi (LEO) uydu takımyıldızları, düşük gecikme, yüksek bant genişliği ve hızlı veri iletimi avantajları sayesinde uydu haberleşme sistemlerinde önemli gelişmeler sağlamaktadır. Ancak, LEO uydularının yüksek hızda hareket etmesi, sürekli bağlantı sağlamak için sık devir (handover - HO) süreçlerini zorunlu kılmaktadır. HO yönetimi, bağlantı sürekliliği, veri kaybı ve gecikme gibi kritik zorluklar içermektedir. Bu çalışmada, LEO uydu ağlarında HO süreçlerinin performans etkileri simülasyon tabanlı bir yaklaşımla incelenmiştir. MATLAB ortamında gerçekleştirilen simülasyonda, hareketli kullanıcılar ve sabit yer istasyonları için iki farklı senaryo değerlendirilmiştir. Hareketli kullanıcılar için elde edilen sonuçlar, ortalama SNR değerinin 14.86 dB, veri iletim hızının 90.81 Mbps ve gecikme süresinin 0.49 ms olduğunu göstermektedir. Sabit yer istasyonları açısından ise, ortalama SNR değeri 14.91 dB, veri iletim hızı 92.58 Mbps ve gecikme süresi 0.54 ms olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, LEO uydu ağlarındaki handover süreçlerinin performans etkilerini açıkça ortaya koymakta, sistem optimizasyonu ve kesintisiz bağlantı sağlanması hususunda önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Alçak Yörünge Uydusu, Devir süreçleri, Paket kaybı, Sinyal-gürültü oranı, Veri iletim hızı*

I. GİRİŞ

Uydu iletişim teknolojileri, özellikle Alçak Dünya Yörüngesinde (LEO) konumlanan takımyıldızlardan dolayı önemli bir gelişim göstermektedir. LEO uydu takımyıldızları, daha düşük gecikme, daha yüksek bant genişliği ve iletim hızı sayesinde, geleneksel Sabit Yörüngeli (GEO) uydulara kıyasla daha verimli bağlantılar sunmaktadır. LEO yörüngesindeki uyduların yeryüzü çevresinde yüksek hızla dönmeleri gerekmektedir. Dünyadan yaklaşık 500-2000 km yükseklikteki yörüngede bulunan bu uydular, saniyede yaklaşık olarak 7-8 km hız ile hareket ederler [1]. Newton hareket yasalarına göre oldukça hızlı hareket eden uydular, yerçekiminin olumsuz etkilerini bu hızları sayesinde azaltmaktadırlar. Ancak, Dünya çevresindeki yüksek hızlı hareketleri, kısıtlı kapsama alanına sebep olmaktadır. Bağlantı sürekliliği için, kullanıcı veya yer istasyonu, mevcut bağlı olunan uydulla bağlantısı kesilir kesilmez, diğer bir uyduya bağlanmalıdır. Uydular arasındaki bu geçiş süreci devir (handover- HO) olarak adlandırılır ve kesintisiz iletişimi sürdürebilmek için büyük bir öneme sahiptir. Bu geçişler sırasında, iletişim sürekliliğinin sağlanması ve veri kaybının en aza indirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ancak HO süreci çeşitli zorlukları da beraberinde getirmektedir.

Bir kullanıcı veya yer istasyonu, bir uydudan diğerine geçerken bağlantının aniden kopmaması önemlidir. Eğer HO sürecinde sorun yaşanırsa, kullanıcılar bağlantı kesintisi yaşayabilir ve bu durum özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda problem oluşturabilmektedir. Bir diğer önemli zorluk ise gecikmedir. HO işlemi sırasında, yeni bir uyduya bağlanmadan önce belirli bir sinyalizasyon süreci vardır. Bu süreç optimize edilmediği takdirde, bağlantı kurulana kadar geçen süre uzayabilir ve bu sorun gecikmeye sebep olabilmektedir. Sesli ve görüntülü iletişim gibi gecikmeye duyarlı uygulamalarda bu durum servis kalite (QoS) gereksinimlerini ciddi şekilde etkileyebilmektedir. Bunun yanı sıra, HO sürecindeki aksaklıklar nedeniyle veri paketleri kaybolabilir. Uyduyla olan bağlantı kesildiği anda, gönderilen paketler karşı tarafa iletilmeyecektir. Bu durum veri akışını bozarak, veri bütünlüğünün bozulmasına sebep olabilecektir. HO başarısı da süreçte dikkat edilmesi gereken unsurlardan biridir. Çünkü kullanıcının doğru zamanda doğru uyduya bağlanamaması, kullanıcının bağlantısının sık sık kesilmesine, bu da ağın güvenilirliğinin azalmasına yol açacaktır. Ayrıca çok sık devir işleminin gerçekleşmesi de istenen bir durum değildir.

Gereksiz gerçekleşen her devir, fazla sinyalizasyon yükü demektir. Bu durum ağ kaynaklarının verimsiz kullanılmasına ve genel performansın düşmesine yol açacaktır.

LEO ağlarında HO süreci farklı şekillerde ele alınmıştır. [2] numaralı çalışmada yazarlar, LEO uydu ağları için zaman tabanlı bir graf modeli ile özelleştirilebilir bir HO planlama çerçevesi geliştirmişlerdir. Bu çalışmada Dijkstra algoritması, graf modelinde optimal HO dizisinin belirlenmesi için kullanılmışlardır. Bu modelde, her bir düğüm bir uydu örneğini belirli bir zaman diliminde temsil ederken, düğümler arasındaki kenar ağırlıkları, veri hızı, gecikme ve QoS gibi iletişim kriterlerinin özelleştirilebilir utility fonksiyonlarının ağırlıklı toplamı olarak hesaplanmıştır. Dijkstra algoritması, bu ağırlıklı toplamını minimize eden en kısa yolu bularak, hem HO zamanlaması hem de hedef uydu seçimi açısından en uygun geçiş dizisini belirler. Böylece, algoritma gecikmeyi azaltırken veri hızını artıran ve sonuç olarak kullanıcıya daha iyi QoS sunan bir HO planlaması sağlanmaktadır. Simülasyon sonuçlarında yazarlar, veri kaybında eşik tabanlı yöntemle kıyasla ortalama %20-30 arasında iyileşme, QoS için %10-15'lik bir artış elde etmişlerdir.

[3]'te ise yazarlar, ağırlıklı graf tabanlı HO yöntemini (GBH), çok kriterli karar verme (MADM) algoritmaları ile birlikte kanal rezervasyon sırası (CRO) gibi yeni parametrelerle sunmuşlardır. Bu sayede sistemin toplam veri akışının %12 artırıldığı ve erişim başarısızlığının %28 oranında azaldığı gözlemlenmiştir.

[4] numaralı çalışmada yazarlar, hava koşullarından kaynaklanan kesintilerin üstesinden gelebilmek için Yüksek İrtifa Yer İstasyonları (HAGS) tabanlı bir model önermişlerdir. Bu yaklaşımda, uydudan gelen veri öncelikle yeryüzünden yaklaşık 20 km yüksekte konuşlanan HAGS'e iletilir ve geleneksel yer istasyonlarının (GS) aksine, hava koşullarından kaynaklanan kesintiler HAGS-GS arasındaki bağlantıyla sınırlandırılmıştır. HAGS, bünyesindeki veri depolama birimi sayesinde, hava koşulları nedeniyle bağlantının aksadığı durumlarda dahi veriyi saklayarak ağın genel paket teslim oranını ve gecikme performansını iyileştirmiştir. Çalışmadaki simülasyon sonuçları, kötü hava koşullarında HAGS tabanlı sistemin %100 teslim oranını koruyabildiğini ancak geleneksel GS yönteminde bu oranın %60'a kadar düştüğünü göstermiştir. Ayrıca 2 HAGS kullanımının, 10 GS ile benzer performans sağladığı, dolayısıyla daha az sayıda istasyonla benzer veri sürekliliğine ulaşılabileceği belirtilmiştir. Gecikme açısından ise HAGS sistemi %40'a kadar daha düşük teslim gecikmesi sunarak hava koşullarının olumsuz etkilerini büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu sayede, hem veri sürekliliği hem de ağ verimliliği konularında önemli avantajlar elde edildiği vurgulanmıştır.

[5]'te yazarlar, mobil uydu ağlarında HO gecikmesini düşürmek için erişim ağı ile çekirdek ağ arasındaki etkileşimi en aza indiren bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem, LEO uydularının öngörülebilir hareketlerini kullanarak, terminal cihazların erişim sağlayacağı uyduyu önceden tahmin etmesini sağlamış ve sinyalizasyon gecikmelerini minimuma indirmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, önerilen yöntem HO gecikmesini 250 ms'den 20.87 ms'ye düşürdüğü, yazarlar tarafından gözlemlenmiştir. Ayrıca TCP tabanlı uygulamalarda gecikmenin %33'e kadar azaltılabildiği rapor edilmiştir. Bu yöntem, 5G ve 6G uydu haberleşme sistemlerinde yüksek gecikme sorunlarını çözme konusunda etkili bir çözüm sunmaktadır.

Bunlara ek olarak, [6] numaralı çalışmada yazarlar, LEO mobil uydu sistemlerinde HO süreçlerinde hizmet süresi korelasyonunun etkisini analiz etmek için bir kuyruk modeli geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında, M/Gc/C/K kuyruk modeli ile çağrı servis süresi, kanal sayısı, kapasite gibi parametreleri değerlendirmişlerdir. İridum benzeri bir LEO uydu ağı simülasyonu ile 200 farklı mesaj uzunluğu üzerinden sistem performansını analiz etmişlerdir. Bu işlemler doğrultusunda, HO hizmet süresinde korelasyon dikkate alındığında, sistem performansında düşüş ve blokaj olasılıklarında artış yaşandığı sonucunu elde etmişlerdir. Özellikle yoğun trafik koşullarında HO başarısızlık oranlarının arttığı tespit edilmiş ve korelasyonun sistem performansı üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koymuşlardır.

[7] numaralı çalışmada ise, 5G NR koşullu el değiştirme (CHO) algoritmasının LEO uydu sistemlerindeki performansı incelenmiştir. Bu kapsamda, 7 LEO uydusundan oluşan takımyıldız modeli kullanarak, CHO mekanizmasının HO süreçlerine etkisini değerlendirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarına göre, CHO mekanizması HO başarısızlıklarını sıfıra indirerek, sinyal zayıflamalarını azaltmıştır. Ancak çalışmaları, bu yaklaşımın gereksiz HO oranını %60 oranında artırdığını göstermiş ve ölçüm ile sinyalizasyon yükünde artış olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada, LEO uydu ağlarında HO süreçlerinin ağ performansı üzerindeki etkileri incelemiştir.

II. MATERYAL METOT

Bu bölümde, uydu-haberleşme sistemi performansını analiz etmek üzere tasarlanan benzetim altyapısı ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Öncelikle kullanılan yazılım bileşenleri, ardından belirlenen simülasyon parametreleri ve hesaplama yöntemleri açıklanmıştır. Uydu ve yer istasyonları arasındaki haberleşme performansını kapsamlı şekilde analiz etmek amacı ile yürütülen bu benzetim çalışmasında, 0.1 saniyelik

zaman adımları ile bir saat boyunca, toplam 10.000 adım sonucunda ulaşılan veriler kullanılmıştır. LEO uydu ağlarında HO süreçlerini analiz etmek amacıyla iki farklı senaryo simüle edilmiştir. İlk senaryoda, dünya üzerindeki sabit yer istasyonlarının LEO uydularıyla gerçekleştirdiği bağlantılar incelenmiş; ikinci senaryoda ise hareket halindeki kullanıcıların HO dinamikleri analiz edilmiştir. Her iki senaryo MATLAB ortamında, Satellite Communications aracı yardımıyla modellenmiş, paket iletimi ve performansı, gecikme, SNR ve veri hızı metrikleri açısından değerlendirilmiştir.

A. Senaryo Tanımları

Gerçekleştirilen simülasyonda, toplam 100 adet LEO uydusu, rastgele oluşturulan yörünge parametreleri (eğim açısı, yarı büyük eksen, eksantriklik vb.) ile tanımlanmıştır. Her bir uyduya 2.4 GHz frekansında çalışan bir verici (transmitter) eklenmiş, uydu-yer istasyonu/kullanıcı arasında sinyal yayılımı analiz edilebilir hale getirilmiştir.

İlk senaryoda, sabit yer istasyonları, dünya üzerindeki farklı coğrafi konumlara (New York, Londra, Tokyo gibi) yerleştirilmiştir. Bu istasyonların her biri için alıcı (receiver) tanımlanmış ve sabit istasyon konumuna rağmen, yörüngedeki uydu hareketleri sebebiyle periyodik bağlantı kalitesi değişimleri gözlenmiştir.

İkinci senaryoda ise sabit yer istasyonları ile aynı koordinatlardan harekete başlayan kullanıcılara yer verilmiştir. Her bir kullanıcının hızı (20-100 km/s aralığında) ve hareket yönü başlangıçta rastgele atanmıştır. Simülasyon boyunca kullanıcılar yön değiştirerek farklı rotalarda da hareketlerini sürdürmüşlerdir.

Tablo 1. Senaryo Parametreleri

Parametre	Senaryo 1	Senaryo 2
Senaryo Süresi (saniye)	600	600
Uydu Sayısı	100	100
Yer İstasyonu/Kullanıcı Sayısı	16 sabit yer istasyonu	16 hareketli kullanıcı
Verici Frekansı (GHz)	2.4	2.4
Verici Gücü (dBm)	60	60
Bant Genişliği (MHz)	20	20
Karar Mekanizması Ağırlıkları	wSNR=0.6, wLAT=0.4	wSNR=0.6, wLAT=0.4

B. Simülasyon Yöntemi ve Hesaplama Parametreleri

Simülasyonda, her bir adımda uydu ile yer istasyonları arasındaki mesafelerin hesaplanması sinyal zayıflaması ve gecikme süresi analizlerine temel oluşturmuştur. Sinyal gücü analizi için, Serbest Uzay Yol Kaybı (FSPL) modeli kullanılmış ve bu model çerçevesinde her alıcıya ulaşan sinyal gücü (P_r), aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [8]:

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(d_{km}) + 20 \log_{10}(f_{MHz}) + 32.44 \quad (1)$$

Burada d_{km} , km cinsinden mesafeyi, f_{MHz} ise frekansı ifade etmektedir. Bu yol kaybı değeri ile alınan sinyal gücü değeri [9]:

$$Pr(dBm) = P_t + G_t + G_r - FSPL - L_{other} \quad (2)$$

Denklemine göre bulunmuştur; P_t verici gücünü, G_t anten kazancını, G_r alıcı kazancını ve L_{other} ise ek kayıpları temsil etmektedir. Sinyal-gürültü oranı (SNR), alınan sinyal gücünün gürültü gücüne oranına eşittir.

Gecikme (latency) analizinde, toplam uçtan uca (E2E) gecikme süresi, sinyalin yayılım gecikmesi ile sistemde oluşan işlem gecikmesinin toplamı olarak hesaplanmıştır. Bu gecikme [10]:

$$Latency_s = \frac{d_m}{c} + t_{proc} \quad (3)$$

Burada, d_m mesafeyi (metre cinsinden), c ışık hızını (3×10^8 m/s) ve t_{proc} ise verici ve alıcı gibi sistem bileşenlerinin sinyali işleme süresini ifade eder ve bu çalışmada sabit bir değer (örneğin, 10 ms) olarak kabul edilmiştir. (4)'te verilen denklem, sinyalin fiziksel yolculuk süresi ile sistem içindeki işleme süresini birleştirerek, iletişim sisteminin gerçek zamanlı performansını değerlendirmeye imkan tanır. Özellikle LEO uydu sistemlerinde, d_m değerinin düşük olması nedeniyle yayılım gecikmesi minimum düzeyde kalırken, işlem gecikmesi sistem performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olabilmektedir. Ayrıca, gerçek uygulamalarda, kuyruk veya iletim gecikmeleri gibi ek faktörler de toplam gecikmeyi etkileyebileceğinden, bu model daha kapsamlı analizlere temel oluşturmak amacıyla sadeleştirilmiş bir yaklaşım sunmaktadır.

C. Performans Metriklerinin Değerlendirilmesi

Simülasyon tamamlandıktan sonra, çeşitli performans metrikleri analiz edilmiştir. İlk olarak, tüm bağlantılar için ortalama sinyal-gürültü oranı (SNR) ve gecikme süreleri hesaplanmış, bu değerler analiz için normalize edilmiştir.

Sinyal-gürültü oranı (SNR), uydu tabanlı haberleşme sistemlerinin güvenilirlik ve performans düzeyini belirlemede kullanılan göstergelerden biridir. Bu oran, alıcıya ulaşan sinyal gücünün gürültü gücüne kıyasla ne kadar yüksek olduğunu ifade eder. FSPL ile önce alınan sinyal gücü hesaplanır; daha sonra P_r ile gürültü gücü arasındaki fark alınarak SNR (dB) elde edilir. Bu işlem şu şekilde gösterilmektedir [11]:

$$SNR(dB) = P_r(dBm) - P_n(dBm) \quad (4)$$

Burada $P_r(dBm)$, alıcıya ulaşan sinyalin gücünü, $P_n(dBm)$ ise sisteme ait toplam gürültü gücünü göstermektedir. Yüksek bir SNR değeri, düşük bit hatası oranı (BER) ve daha kararlı bir iletişim anlamına geldiği için, haberleşme sisteminin genel performansının değerlendirilmesinde kritik bir metrik olarak öne çıkar.

Simülasyon boyunca, her yer istasyonu ve hareketli kullanıcı için ortalama veri iletim hızı (throughput) hesaplanmış ve Shannon Kapasite Teorisi kullanılarak, bant genişliği (bandwidth) ve sinyal-gürültü oranı (SNR) değerleriyle ilişkilendirilen veri iletim hızı hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda [12]:

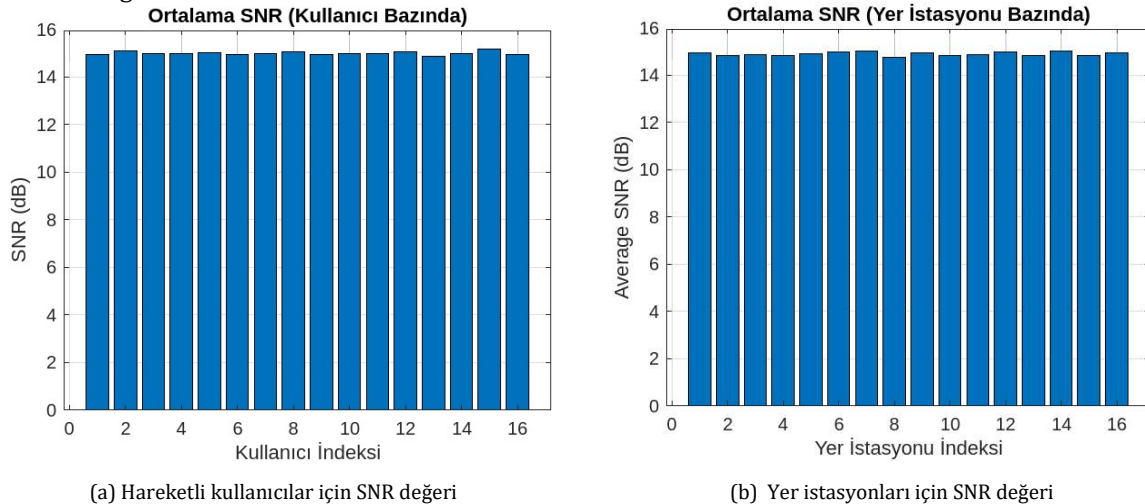
$$Throughput_{Mbps} = \frac{bandwidth_{Hz} \times \log_2 \left(1 + 10^{\frac{SNR_{dB}(current\ connected\ satellite)}{10}} \right)}{10^6} \quad (5)$$

formülü kullanılmıştır ve burada “mevcut uydu” ifadesi, ilgili zaman adımında yer istasyonu veya kullanıcının bağlı olduğu uyduyu temsil etmektedir. Bu metrik, sistemin taşıyabileceği veri miktarını göstererek yüksek bant genişliği ve uygun SNR koşullarında ne kadar yüksek hızlarda veri aktarımı yapılabileceğini göstermektedir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

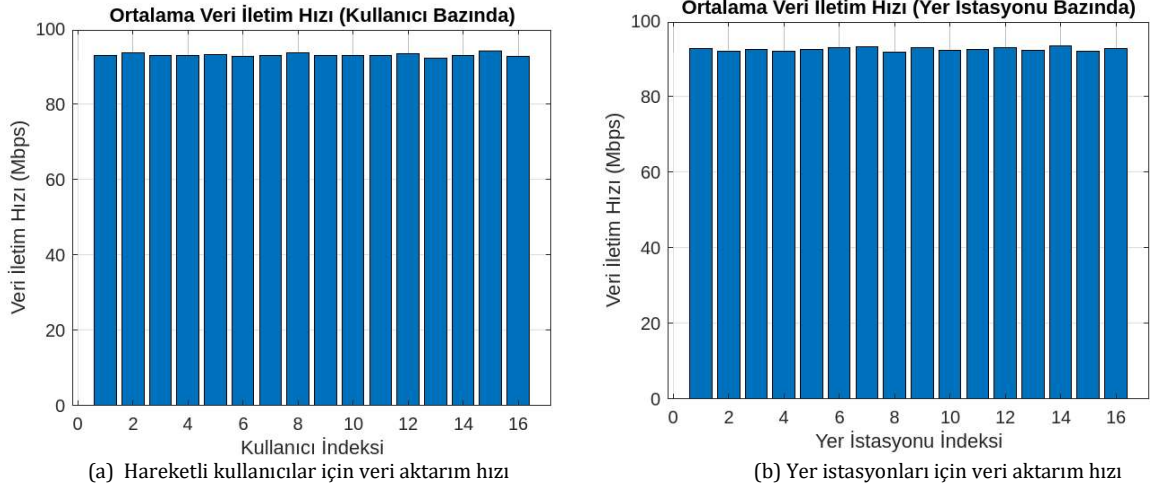
Bu çalışmada, LEO uydu ağlarında handover süreçlerinin performansa etkileri hem hareketli kullanıcılar hem de sabit yer istasyonları senaryoları üzerinden incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarında, her iki senaryoda da ortalama SNR, veri iletim hızı ve gecikme metriklerinin birbirine yakın değerlerde olduğu, ancak konum ve hareketliliğe bağlı olarak bazı değişkenlikler gözlenmektedir.

Öncelikle SNR sonuçları incelendiğinde, hareketli kullanıcılar için ortalama SNR değerinin 14.86 dB, sabit yer istasyonları için ise 14.91 dB seviyesinde olduğu görülmektedir. Bu değerlerin kullanıcı veya yer istasyon indeksine göre dağılımları, sırasıyla Şekil 1(a) ve Şekil 1(b)’de verilmiştir. Hareketli kullanıcıların yörüngedeki uyduya göre konumlarının sürekli değişmesi sonucunda, bazı anlarda SNR seviyelerinde kısa süreli dalgalanmalar meydana gelmektedir. Sabit yer istasyonları ise, coğrafi konumları nedeniyle daha tutarlı sinyal alımı sağlamaktadır. Bu sebeple ortalama SNR değerleri arasında bir fark meydana gelmektedir. Bu bulgular, uydu iletişimi için gelişmiş anten tasarımının ve adaptif mekanizmalarının önemini vurgulamaktadır.



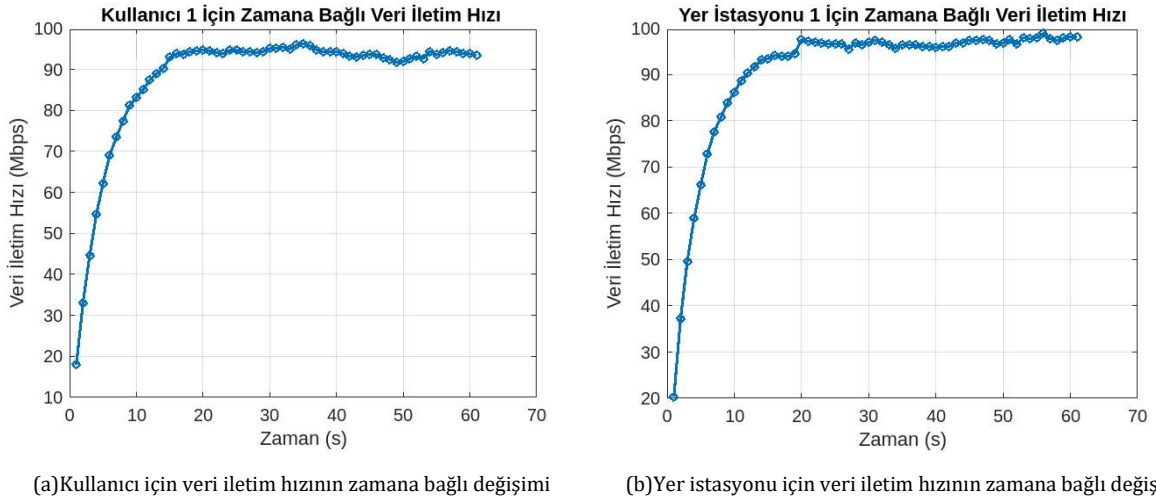
Şekil 1 Simülasyondan elde edilen SNR sonuçları

Simülasyondan elde edilen veri iletim hızı sonuçları incelendiğinde, hareketli kullanıcılar için ortalama hızın kullanıcı veya yer istasyon indeksine göre dağılımları, sırasıyla Şekil 2(a) ve Şekil 2(b)'de, 90.81 Mbps ve 92.58 Mbps düzeyinde olduğu görülmektedir. Bu bulgular, LEO uydu ağlarının potansiyel yüksek bant genişliği avantajını yansıtmakta ve doğru HO zamanlamasıyla uydu seçimi yapıldığı takdirde veri hızının büyük oranda korunabildiğini göstermektedir. Sabit yer istasyonlarında kaydedilen sonucun daha yüksek olması, kararlı anten yapısını ve kesintisiz kapsama alanını göstermektedir. Bununla beraber, hareketli kullanıcılar HO sırasında daha fazla sinyalizasyon işlemi gerçekleştirdiği için, kısa süreli hız düşüşleri gözlemlenmekte; ancak genel ortalamaya bakıldığında performans istikrarlı seyretilmektedir. Veri iletim performansını arttırmak için, kullanıcı tarafında uydu bağlantılarının daha dinamik şekilde optimize edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil. 2 Simülasyondan elde edilen veri iletim hızı sonuçları

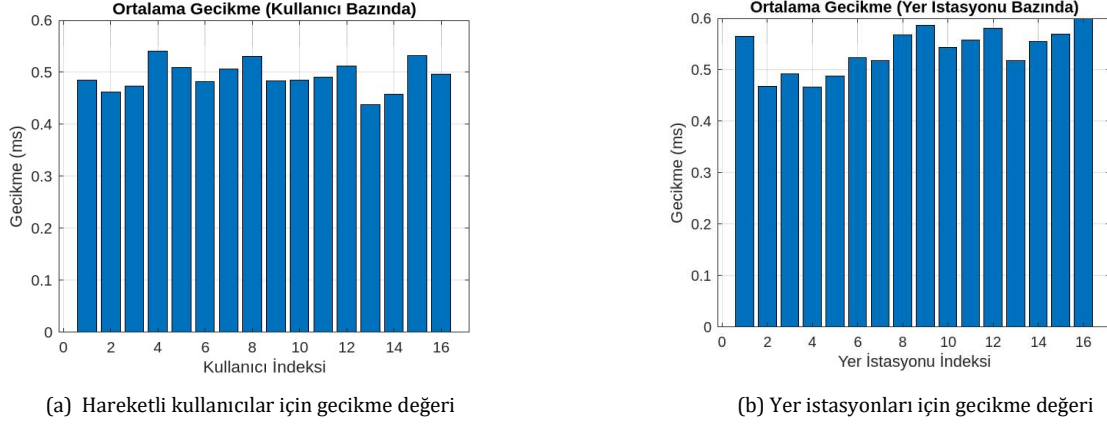
Ek olarak, örnek bir hareketli kullanıcıya ait veri iletim hızının zaman içindeki değişimi Şekil 3(a)'da, örnek bir yer istasyonuna ait hız değişimi ise Şekil 3(b)'de sunulmuştur. Tekil kullanıcı grafiği incelendiğinde, özellikle HO sıklığının arttığı durumlarda kısa süreli hız düşüşleri görülmekte; ancak uygun HO zamanlaması ile genel ortalama yüksek veri hızı korunabilmektedir. Tekil yer istasyonu grafiği ise, daha kararlı anten yapısı ve geniş kapsama avantajıyla veri hızının çoğu zaman istikrarlı seyrettiğini göstermektedir.



Şekil. 3 Simülasyondan elde edilen veri iletim hızının zamana bağlı değişimi

Şekil 4(a) ve (b)'de ise sırasıyla hareketli kullanıcılar ve yer istasyonları için gecikme grafikleri verilmiştir. Gecikme açısından senaryolar incelendiğinde, kullanıcı tarafında ortalama 0.49 ms, yer istasyonlarında ise 0.54 ms düzeyinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, iki senaryo arasında belirgin bir gecikme farkı olmadığını göstermektedir. Her iki durumda da düşük gecikme değerleri, LEO uydu sistemlerinin kısa mesafe avantajının bir göstergesidir. Grafikler incelendiğinde, kullanıcı gecikme değerleri, yoğunlukla düşük seviyelerde seyretilse de, belirli kullanıcıların gecikme sürelerinde ani değişimler görülmektedir. Öte

yandan yer istasyonları için gecikme sürelerinin daha geniş bir aralıkta değiştiği, 0.55 ms üzerine çıkabilen örneklerin bulunduğu gözlemlenmektedir. Bunun sebebi uydu bağlantılarının mesafeye bağlı olarak farklı gecikme sürelerine sahip olmasıdır. Kullanıcılar için düşük gecikme süreleri elde edilmesi olumlu bir durumdur fakat, belirli anlarda yaşanan ani gecikme artışlarının optimize edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda adaptif gecikme yönetim stratejileri ve akıllı yönlendirme algoritmalarının kullanılması, performansta iyileşme sağlayabilecektir.



Şekil. 4 Simülasyondan elde edilen gecikme sonuçları

Bu bulgular, önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında, HO optimizasyonunun uydu iletişim sistemlerinin performansını arttırmada kritik bir rol oynadığını doğrular niteliktedir. Zaman tabanlı graf modelleri veya çok kriterli karar verme algoritmaları gibi gelişmiş yöntemlerin kullanımı, hem gecikmeyi azaltmada hem de veri aktarım hızını arttırmada umut verici çözümler sunacaktır.

IV. SONUÇLAR

Mevcut çalışma, LEO uydu ağlarında HO süreçlerinin ağ performansı üzerindeki etkilerini iki farklı senaryoda incelemiştir. Elde edilen bulgular incelendiğinde, mevcut mekanizmaların bağlantı sürekliliğini büyük ölçüde koruyabildiği ancak bazı durumlarda optimizasyon gerektirdiği belirlenmiştir. HO süresinin azaltılması ve gereksiz geçişlerin önlenmesi, genel sistem performansını artıracaktır. HO süreçlerinin etkin yönetilmesinin, veri iletim güvenilirliği ve bağlantı sürekliliği açısından önemi açıkça ortadadır. Gelecekteki çalışmalarda, uydu bağlantılarında yapay zeka tabanlı dinamik tahsis algoritmalarının kullanımı, farklı karar mekanizmalarının uygulanması önerilmektedir. Bu şekilde uydu haberleşme ağlarının daha verimli çalışması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] S. Doğanalp and A. Üstün, "Yakın Yer Uydularının Duyarlı Yörüngelerinin Belirlenmesi," in TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-28 Mart 2015, Ankara.
- [2] M. Hozayen, T. Darwish, G. K. Kurt, and H. Yanikomeroglu, "A graph-based customizable handover framework for LEO satellite networks," in Proc. IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps): Workshop on Cellular UAV and Satellite Communications, 2022, pp. 868-873. DOI: 10.1109/GCWkshps56602.2022.10008514.
- [3] X. Lv, S. Wu, A. Li, J. Jiao, N. Zhang, and Q. Zhang, "A weighted graph-based handover strategy for aeronautical traffic in LEO SatCom networks," IEEE Networking Letters, vol. 4, no. 3, pp. 132-136, Sep. 2022, doi: 10.1109/LNET.2022.3180010.
- [4] P. G. Madoery, J. A. Fraire, J. M. Finochietto, H. Yanikomeroglu, and G. K. Kurt, "A novel non-terrestrial networks architecture: All optical LEO constellations with high-altitude ground stations," arXiv preprint arXiv:2403.15659, Mar. 2024.
- [5] J. Wu, S. Su, X. Wang, J. Zhang, and Y. Gao, "Accelerating handover in mobile satellite network," arXiv preprint arXiv:2403.11502, Jan. 2025.
- [6] R. Musumpaka, T. M. Walingo, and J. M. Smith, "Performance analysis of correlated handover service in LEO mobile satellite systems," IEEE Communications Letters, vol. 20, no. 11, pp. 2213-2216, Nov. 2016, doi: 10.1109/LCOMM.2016.2604311.
- [7] E. Juan, M. Lauridsen, J. Wigard, and P. Mogensen, "Performance evaluation of the 5G NR conditional handover in LEO-based non-terrestrial networks," in Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Apr. 2022, pp. 2488-2493, doi: 10.1109/WCNC51071.2022.9771987.
- [8] E. Tari and A. Kavas, "Bina İç Ortamda 900 MHz'de Propagasyon Yol Kayıp Hesapları," Proceedings of the European Personal and Mobile Communications Conference (EPMCC), pp. 1-10, Istanbul, Turkey, 1997.
- [9] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, Antenna Theory and Design, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2012.
- [10] A. N. Praveen, K. S. Swarup, and S. Srivastava, "Communication latency calculation in complex IEC 61850 based substation," in Proc. 2021 9th IEEE Int. Conf. Power Syst. (ICPS), Kharagpur, India, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICPS52420.2021.9670391.
- [11] C. Gong, B. Zhang, A. Liu, and D. Guo, "A highly accurate and low bias SNR estimator: Algorithm and implementation," Radioengineering, vol. 20, no. 4, pp. 976-981, Dec. 2011.
- [12] D. T. C. Wong, X. Peng, and F. Chin, "Detection probability of a very high throughput MAC protocol for satellite intelligent train tracking," in Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC), Singapore, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICC.2018.1234.

LEO Uydu Sistemlerinde Frekans-Spektrum Yönetiminin Rolü

Elif Eda Takgil^{a}, Ali Çalhan^b, Murtaza Cicioğlu^c*

^aDüzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Düzce/Türkiye.

^bDüzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Düzce/Türkiye.

^cBursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Bursa/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: elifedatagil@duzce.edu.tr

ÖZET

Uydu haberleşmesi, karasal hatlar ve telsizlere kıyasla daha güvenilir ve geniş bantlı iletişim imkanı sunmaktadır. Karasal hatların önceden planlanıp döşenmesi gerekliliği ve telsizlerin bant genişliği, menzil ve hava koşullarına bağlı kısıtlamaları nedeniyle, uydu haberleşmesi günümüzde giderek daha fazla önem kazanmıştır. Alçak Yörünge Uyduları (LEO-Low Earth Orbit), düşük gecikme süresi, geniş bant internet sağlama, yüksek çözünürlüklü gözlem, daha düşük fırlatma maliyeti ve frekans-spektrum yönetimi gibi avantajlara sahip olmaları sebepleriyle diğer uydulara göre daha fazla talep edilmektedirler. LEO uydularına artan bu talep, sınırlı bant genişliği, sinyal gecikmeleri ve Doppler kayması, frekans-spektrum çakışmaları gibi birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Ayrıca, yörüngede yaklaşık 28.000 km/s hızla hareket eden LEO uydularının kapsama alanlarının kısa süreli olması iletişimin sürekliliği açısından ciddi bir zorluğa sebep olmaktadır. LEO uydularında frekans-spektrum yönetimi ile veri iletim kapasitesini artırmak ve iletişimin devamlılığını sağlamak mümkündür. Bu çalışmada, LEO uydu teknolojilerinin gelişimi kısaca anlatılarak, LEO uydu haberleşmesinde karşılaşılan zorluklarda frekans-spektrum yönetiminin rolü ele alınacaktır. Frekans-spektrum yönetiminde mevcut yöntemlerin karşılaştırmalı bir analizi yapılacak ve daha verimli spektrum kullanımı için yeni stratejilerin geliştirilme potansiyeli incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: *Kablosuz haberleşme, LEO uyduları, Spektrum yönetimi, Uzay teknolojileri.*

I. GİRİŞ

Dünya üzerindeki herhangi iki nokta arasında güvenilir ve yüksek bant genişliğine sahip iletişim sağlamak için telsiz sistemleri, karasal hatlar ve uydu haberleşmesi olmak üzere üç temel yöntem bulunmaktadır. Karasal hatların önceden planlanıp altyapısının döşenmesi gerektiğinden hareketli platformlar için uygun değildir. Telsiz sistemleri ise frekans, hava koşulları ve güç sınırlamaları nedeniyle menzil ve bant genişliği açısından kısıtlamalara sahiptir. Uydu haberleşmesi ise bu tür kısıtlamalara takılmadan, kara, hava ve deniz araçları da dahil olmak üzere her yerden güvenilir ve geniş bantlı iletişim imkânı sunar. Özellikle sınır ötesi operasyonlar gibi dinamik ve kritik iletişim gereksinimlerinde, ses, görüntü ve veri aktarımının anlık ve çift yönlü olarak sağlanması ancak uydu sistemleri ile mümkün olmaktadır. Üstelik sadece ses ve dar bantlı veri iletişimi gereken durumlarda bile uydular, geleneksel telsiz sistemlerine kıyasla daha güvenilir ve maliyet açısından daha avantajlı bir çözüm sunmaktadır. Uydu haberleşme sistemleri, daha hızlı, yüksek kapasiteli ve aynı zamanda düşük maliyetli iletişim altyapıları geliştirme çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Karasal sistemlerin ulaşamadığı veya verimli bir şekilde kullanılamadığı geniş alanlarda kullanılan bu sistemler, dünya yüzeyiyle sınırlı kalmayan bir iletişim ortamı sağlamaktadır. Karasal sistemler genellikle atmosferin alt katmanlarını kullanırken, uzay uydu sistemleri atmosferin ötesindeki alanlardan faydalanarak daha geniş kapsama alanı sunmaktadır. Bu sayede, uzak bölgeler, deniz aşırı alanlar ve hareketli platformlar için kesintisiz iletişim sağlanabilmektedir [1]. Uydu sistemleri ilk olarak, savunma ve askeri maksatlarla kullanılmıştır ve sunduğu avantajların geliştirilmesi ile birlikte günümüzde hayatın her alanında kullanılır olmuşlardır [2]. Görevlerine göre; haberleşme uyduları, gözlem uyduları, bilimsel araştırma uyduları ve keşif uyduları gibi birçok uydu türü bulunmaktadır. Yörüngelerine göre ise; Alçak Yörünge Uyduları (LEO- Low Earth Orbit), Orta Yörünge Uyduları (MEO- Medium Earth Orbit), Jeosenkron Yörünge Uyduları (GEO- Geostationary Orbit) ve Eliptik Yörünge Uyduları bulunmaktadır. Bu çalışmada, artan iletişim talepleri, daha hızlı internet erişimi sağlama ihtiyacı ve Dünya'nın gözlemi gibi çeşitli avantajlardan dolayı giderek önem kazanan LEO uyduları ele

alınacaktır. LEO uydu ağı, Dünya üzerindeki milyonlarca cihazı birbirine bağlamaktadır ve veri iletişimi, uzaktan algılama, veri toplama gibi çeşitli hizmetler sunmaktadırlar. LEO uyduları; daha düşük gecikme süresi, geniş bant internet sağlama, yüksek çözünürlüklü gözlem, daha düşük fırlatma maliyeti ve frekans-spektrum yönetimi gibi birçok avantaja sahip olduğu için diğer uydulara göre daha fazla tercih edilmektedirler. Hizmetlerin sayısı arttıkça, LEO uydu ağı büyüme devam edecektir [3]. LEO uydularına artan bu talepler; yörünge kalabalıklığı ve çarpışma riski, uzay enkazı, sınırlı bant genişliği, sinyal gecikmeleri ve Doppler kayması, spektrum ve frekans çakışmaları, yörüngedeki uyduların izlenmesi ve yönetimi zorluğu, uydu ömrünün kısıllığı ve sürdürülebilirlik sorunu gibi birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. Bu çalışmanın amacı, LEO uydularında büyük bir sorun haline gelen frekans- spektrum yönetimi konusunda; veri iletim kapasitesini artırmak, iletişim devamlılığını sağlamak ve spektrum kullanımını iyileştirmek etmek için literatüre katkı sunmaktır.

II. MATERYAL METOT

Çalışmada LEO uyduları teknik açıdan ele alınarak, tarihçesi ve gelişimi hakkında bilgi verilecektir. LEO uydularında Frekans- Spektrum Yönetimi için yapılan literatür çalışmaları sunulup, LEO uydularında Dinamik Frekans- Spektrum Yönetimi konusu ele alınacaktır.

A. LEO Uydularının Teknik Özellikleri

LEO uyduları teknik olarak incelendiğinde, diğer uydulara göre yeryüzüne daha yakındırlar. Hareketleri boylamlar doğrultusunda kutuplara doğrudur ve periyotları yaklaşık 100 dakikadır. Yörünge yükseklikleri Dünya yüzeyinin yaklaşık 200 ila 2000 kilometre yukarısında bulunur. Tipik olarak 500 ila 1500 kilometre aralığında yer alırlar. Bu yükseklik, uydu ve Dünya arasındaki sinyal gecikmesinin (latency) düşük olmasını sağlamaktadır. Yörüngeleri, Dünya'nın çevresinde yaklaşık 90 dakika ile 2 saat arasında bir sürede tam bir tur atabilecek hızdadır. Bu hız, yaklaşık olarak saatte 28,000 kilometreye denk gelmektedir. Yüksek hız, Dünya yüzeyinin geniş bir alanının kısa sürede taranabilmesini sağlamaktadır. Kullanım ömürleri, 5 ile 15 yıl arasında değişmektedir. LEO uyduları radyo frekansı iletişimini kullanarak Dünya ile iletişim kurarlar. LEO uydularında L, S, C, X, Ku ve Ka bantları gibi çeşitli frekans bantları kullanabilmektedir [4].

B. LEO Uydularının Tarihçesi ve Gelişimi

LEO uydu sistemleri üzerindeki literatür çalışmaları, 1950'lerin sonlarına ve 1960'ların başlarına kadar uzanmaktadır. Bu dönemde, uzay teknolojisi ve uzay yarışıyla birlikte düşük yörüngede uydu gönderme çalışmaları başlamıştır. İlk LEO uydularından biri, Sovyetler Birliği tarafından 1957'de fırlatılan "Sputnik-1"dir. Bu dönemdeki çalışmalar daha çok yörünge dinamikleri, yörünge kararlılığı ve fırlatma teknolojilerine odaklanmıştır [5]. 1980'ler ve 1990'larda LEO uydularına yönelik ilgi, telekomünikasyon ve veri iletimine yönelik artışla birlikte yükselmiştir. Bu dönemde, küresel haberleşme sistemleri için daha fazla uydu kullanılması gerekliliği ortaya çıkmış ve LEO uydularının düşük gecikme süresi sağlaması avantajı keşfedilmiştir. Bu süreçte Iridium, Globalstar gibi dünya genelinde telefon ve veri iletimi sağlama hedefli mega-uydu takımıydırları projeleri gündeme gelmiştir [6]. 2000'li yıllarda LEO uydularının kullanımı, gözlem ve küresel konumlama sistemleri gibi farklı alanlara yönelmiştir. Bu dönemde uzay ajansları ve özel şirketler, LEO yörüngesini gözlem ve keşif amaçlı olarak daha verimli kullanmaya başlamışlardır. Ayrıca, teknolojik gelişmeler sayesinde uyduların boyutları küçülmüş ve CubeSat gibi küçük, ekonomik LEO uyduları yaygınlaşmıştır [7]. 2000'li yıllarda LEO uydularının kullanımı, gözlem ve küresel konumlama sistemleri gibi farklı alanlara yönelmiştir. Bu dönemde uzay ajansları ve özel şirketler, LEO yörüngesini gözlem ve keşif amaçlı olarak daha verimli kullanmaya başlamıştır.

C. LEO Uydularında Frekans- Spektrum Yönetimi İçin Yapılan Literatür Çalışmaları

LEO uydularında frekans-spektrum yönetimi ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle uzay iletişim teknolojileri, frekans yönetimi ve spektrum paylaşımı gibi konuları kapsayan geniş bir literatür bulunmaktadır. Bu çalışmalar, LEO uydularının nasıl daha verimli ve etkin bir şekilde iletişim yapabileceğini araştırmayı hedeflemektedirler. LEO uydularında frekans-spektrum yönetimi ile ilgili bazı önemli çalışma alanları ve literatürdeki ana başlıklar aşağıdaki gibidir.

1. Spektral Verimlilik: LEO uydularında frekans tahsisi, spektral verimliliği maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda modülasyon teknikleri, güç kontrolü ve spektrum paylaşımı gibi stratejiler geliştirilmektedir.

2. Dinamik Frekans Yönetimi: Uydular arası frekans koordinasyonu ve dinamik frekans tahsisi yöntemleri, frekans bantlarının etkin ve esnek bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Bu sayede, frekans çakışmaları minimize edilir ve iletişim kalitesi artırılır.

3. Girişim Yönetimi: LEO uydularında frekans tahsisi çalışmaları, Girişim yönetimine odaklanmaktadır. Girişim, farklı uyduların veya uydular ile yeryüzü istasyonlarının aynı frekans bandını paylaşmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, girişimi azaltıcı teknikler ve politikalar üzerine araştırmalar yapılmaktadır.

4. Yapay Zeka ve Spektrum Tahsisi: Yapay zeka ve makine öğrenimi teknikleri, LEO uydularında spektrum tahsisi ve yönetimi için kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, dinamik spektrum erişimi ve otomatik frekans tahsisi gibi yenilikçi çözümleri desteklemektedir.

5. Uluslararası İş Birliği ve Düzenlemeler: Frekans tahsisi konusunda uluslararası iş birliği ve düzenlemeler büyük önem taşımaktadır. Bu çerçevede, farklı ülkelerin ve uydu işletmecilerinin bir araya gelerek ortak standartlar oluşturmaları ve frekans kullanımını koordine etmesi gereklidir. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU), uyduların frekans tahsisi için uluslararası standartlar belirlemektedir. Bu standartlar, farklı uyduların aynı frekans bandını kullanmasını düzenleyerek spektrum yönetimini sağlamaktadırlar.

Literatürde son yıllarda LEO uydularında frekans-spektrum yönetimi ilgili yapılan çalışmaların bazıları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 1. LEO Uydularında Frekans-Spektrum Yönetimi için Literatürde Son Yıllarda Yapılan Çalışmalar

Yazar ve Yıl	Çalışmanın Amacı	Sonuç ve Kazanım
Pachler <i>et al.</i> , 2024 [8]	Bu çalışma, hibrit takımyıldızlar için ölçeklenebilir bir metodoloji geliştirerek bireysel müşterileri uydular arasında verimli bir şekilde gruplandırabilen ve dağıtabilen otomatik ve ölçeklenebilir bir mekanizma geliştirmeyi amaçlamaktadır.	SpaceX ve Boeing takımyıldızlarını örnek olarak kullanılan bu çalışmada, önerilen yaklaşımın gerçekçi operasyonel koşullarını temsil eden 100.000 müşteriye kadar olan senaryolar için uygulanabilir sürede yüksek kaliteli çözümler sağlayabileceği görülmüştür.
Wu <i>et al.</i> , 2024 [9]	Bu çalışmada, yer terminallerinde uyduların hızlı hareket etmesinden kaynaklanan sık ve yüksek gecikmeli aktarımlarla karşılaşılması durumunda gecikmeye duyarlı uygulamaların performansını düşürmek için, mobil uydu ağlarında devir gecikmesini önemli ölçüde azaltabilecek bir devir akış şeması önerilmiştir.	Sonuç olarak bu çalışmada, kapsamlı deneyler gerçekleştirilmiş ve bulgular, önerilen devir şemasının 3GPP Karasal Olmayan Ağlar (NTN) için devir gecikmesini önemli ölçüde azaltabileceği görülmüştür.
Zhu <i>et al.</i> , 2024 [10]	Bu çalışmada, LEO uyduları arası geçiş sıklığı ile yüksek hizmet memnuniyeti için, dinamik topolojiye, zamanla değişen yüklere ve karmaşık ışınlar arası/uydu-karasal girişimlere sahip LEO uydu ağlarında uzun vadeli ışın yönetimi yaklaşımı incelenmiştir.	Simülasyon sonuçları, önerilen yaklaşımın temel yaklaşımlara kıyasla hizmet memnuniyetini önemli ölçüde artırdığını ve ışın hücrelerinin ortalama veri kuyruğu uzunluğunu uygun devir frekansı ile %50 civarında azalttığını göstermektedir.
Pokhrel and Choi, 2024 [11]	Bu çalışmada, 6G çoklu bağlanabilirlik, dağıtık algılama ve makine öğrenimi algoritmalarının temel özellikleri kullanılarak, LEO ağları için uygun maliyetli ve akıllı "Veri Destekli Uydu İletişimi ve Kontrolü (DASCC)" çerçevesi geliştirilmesini sağlayan tasarım yaklaşımları ve ilkeleri tartışılmaktadır.	Sonuç olarak bu çalışmada, önerilen tasarımın, LEO uyduları ve IoT (Nesnelerin İnterneti) sistem endüstrisindeki çok çeşitli uygulamaları verimli bir şekilde desteklediği ve uydu iletişimindeki maliyet ve güvenilirlik zorluklarının ele alınarak uydu tabanlı IoT teknolojilerinin ve bunların gerçek dünyadaki uygulamalarının ilerlemesine katkıda bulunmuştur.
Li <i>et al.</i> , 2024 [12]	Bu çalışmada, iletişim kaynaklarından tasarruf etmek, iletişim verimliliğini artırmak ve parazit sinyallerinin düzensizliğini gidermek için bir algoritma önerilmiştir.	Bu çalışmada önerilen algoritma, sinyal iletiminin verimliliğini ve kablosuz ağların güvenliğini artıran fiziksel katmandan gelen sinyal örtüşmesi sorununu çözmektedir.
Warrier <i>et al.</i> , 2024 [13]	Bu çalışma, karasal ve uydu iletişim ağları arasında geçiş yapan İHA'lar (İnsansız Hava Araçları) için kesintisiz geçiş sağlamaya yönelik yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Önerilen yöntem geçiş kararlarını optimize etmek, gecikmeyi en aza indirmek, performansı artırmak ve hizmet kesintisini azaltmak için bir karar verme algoritması geliştirmektedir.	Bu çalışmada önerilen algoritma, iletişim bağlantıları arasında sorunsuz bir geçiş sağlamış ve hizmet kesintisini önemli ölçüde azaltmıştır. Bu çalışma aynı zamanda, karasal ağlar ve uydu ağları arasındaki devir teslimleri etkin bir şekilde yöneterek, İHA'ların gelişmekte olan uygulamalardaki tam potansiyelinin ortaya çıkarılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmuştur.

Voicu <i>et al.</i> , 2024 [14]	Bu çalışmada, uydular arası devir teslim stratejilerinin uzaydan yere bağlantı performansı üzerindeki etkisine ilişkin kapsamlı bir çalışma sunulmuştur.	Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, uydular arası devir teslim stratejisinin takımyıldız özelliklerine göre ayarlanması gerektiğini göstermektedir.
Ahmed <i>et al.</i> , 2024 [15]	Bu çalışma, 6. nesil (6G) IoT ağlarının kapsama alanını, verimini ve iletim güvenilirliğini iyileştirmek için alçak dünya yörünge uydularını karasal kablolu ağlarla entegre etmek amacıyla yeni bir çerçeve sunmaktadır.	Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, asenkron iletimin iki kullanıcıdan gelen veri paketlerinin iletimini ayrıştırarak verimi artırabileceğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen sistemin düşen paketlerin önemli bir kısmını onarabildiğini, bunun da paket düşme oranını azalttığını ve ağ verimini artırdığını göstermektedir.
Luo <i>et al.</i> , 2024 [16]	Bu çalışmada 6G ve ötesi iletişimde LEO/VLEO uydu haberleşmesinin 30 yıllık gelişimi, mevcut teknolojiler, uygulamalar ve karşılaşılan zorluklar ele alınmıştır.	LEO / VLEO uydu ağının, önümüzdeki yıllarda 6G ve ötesi iletişimde kritik bir rol oynayacağı nedenleri ile açıklanmıştır.
Bhattacharyya <i>et al.</i> , 2023 [17]	Bu çalışma, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenmenin uydu iletişiminde kullanımı hakkında kapsamlı bir fikir vermektedir. Uydu haberleşme alt sistemlerinin ve diğer uydu sistemi uygulamalarının Yapay zeka aracılığıyla nasıl geliştirileceğini, devam eden zorlukları ve gelecekteki olası çalışmaları kapsamaktadır.	Sonuç olarak bu çalışmada, sınırlı bant genişliği ve spektrum gibi sorunlar için Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme çözümleri ele alınmıştır. Donanım ve hesaplamanın sınırlarını belirleyen mevcut zorluklar belirtilmiş ve uydu sistemlerinin ilerlemesi için bir dizi açık araştırma konusu önerilmiştir.
Choi, 2024 [18]	Bu çalışmada, LEO uydu ağının bir arada varoluşunu incelemek amacıyla izlenebilir bir uzamsal model önerilmiş ve aşağı bağlantı iletişiminin temel performansı analiz edilmiştir.	Bu çalışmanın bulguları, birden fazla operatörün bir arada bulunduğu heterojen LEO uydu ağlarının tasarımı ve optimizasyonuna ilişkin değerli bilgiler sunmaktadır.
Tondo <i>et al.</i> , 2024 [19]	Bu çalışma, çevresel izleme, hassas tarım ve afet önleme gibi çeşitli alanlarda küresel bağlantı sağlayabilen ve dikkate değer bir etkiye sahip olan LEO uydularının DtS-IoT (Direct to Satellite- Internet of Things) ağları için zamanlama algoritmasından esinlenen iki yeni çoklu erişim zamanlama stratejisi üzerinedir.	Bu çalışmada sayısal sonuçlar, önerilen yöntemlerin yoğun senaryolarda bile DtS-IoT ağlarının yukarı bağlantı verimliliğini önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir.
Li <i>et al.</i> , 2024 [20]	LEO takımyıldızının çoklu kapsama özelliğinden yararlanan bu makale, iki işbirlikçi aşağı bağlantı iletim yöntemi önermiştir. Yeni yöntemleri derinlemesine analiz etmek için, ergodik toplam oran ve kesinti olasılığını incelenirken, kesinti çeşitliliği kazancı da sağlanmıştır.	Simülasyon sonuçları, ortak taşıyıcı tabanlı DC (Directly Combining) yönteminin daha yüksek bir ergodik toplam oran sağlama yeteneğine sahip olduğunu, SC (Selection Combining) yönteminin ise kesinti olasılığı açısından daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir.
Zhang <i>et al.</i> , 2024 [21]	Bu çalışma, birden fazla LEO uydusunun aynı anda ve aynı frekansta birden fazla yer kullanıcısına (GU) iş birliği içinde hizmet sağladığı, iş birliğine dayalı bir iletişim ağını ele alınmaktadır.	Sonuç olarak bu çalışmada, farklı LEO uydu takımyıldızları ve çeşitli GU konumları üzerinde gerçekleştirilen kapsamlı simülasyonlar, önerilen şemaların hem genel hem de kullanıcı başına spektral verimlilikteki üstünlüğünü göstermektedir.
Liu <i>et al.</i> , 2025 [22]	Bu çalışmada, Ortogonal Zaman Frekansı Uzayı (OTFS) ve Ortogonal Frekans Bölme Çoğullama (OFDM) modülasyonları ile çeşitli kanal koşulları altında, toplam hız ve bit hata oranı değerlendirmelerini kapsayan bir performans karşılaştırması yapılmıştır.	Simülasyon sonuçları, OTFS modülasyonunun taşıyıcı frekans sapmalarına karşı dayanıklı olduğunu ve nispeten zorlu kanal koşullarında OFDM modülasyonundan daha üstün performansa sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, sayısal sonuçlar, önerilen algoritmanın sıradan OTFS şemalarından önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.
Yuan <i>et al.</i> , 2024 [23]	Bu çalışmada, dinamik spektrum paylaşımı için doğru spektrum algılamasını sağlayabilecek işbirlikçi bir algılama şeması tasarlanmıştır. İşbirlikçi spektrum algılamayı zorlaştıran heterojen kanal kalitesi, büyük veri miktarı ve	Sonuç olarak bu çalışmada önerilen yaklaşım, hızlı ve doğru spektrum algılamasının uygulanabilir hale gelmesini sağlamıştır. İşbirlikçi uydu sayısındaki artış, spektrum algılamada zayıf sinyallerin tespit doğruluğunu artırırken, hesaplama

	paket kaybı sorunlarını aşmak için Alt-Nyquist Örneklemesi ve Otomatik Kodlayıcı kullanılmıştır. Ayrıca, kayıp paketleri telafi etmek amacıyla zıt öğrenme tabanlı bir mekanizma önerilmiştir.	karmaşıklığında bir artışa sebep olmaktadır. Önerilen strateji, verimli spektrum algılama performansı elde edilebileceğini ve spektrum algılama doğruluğunda geleneksel derin öğrenme algoritmasından daha iyi performans vereceğini göstermektedir.
Kim <i>et al.</i> , 2024 [24]	Bu çalışma, iki önde gelen ticari kuruluşu olan SpaceX'in Starlink'ini ve Amazon'un Project Kuiper'ini analiz ederek iki yoğun LEO uydu iletişim sistemi arasında bant içi bir arada var olmanın fizibilitesini araştırmıştır.	Sonuç olarak bu çalışmada, LEO uydu iletişim sistemleri arasında ağ ölçeğinde bir arada var olmayı kolaylaştırmak için uydu seçiminden veya diğer araçlardan (potansiyel olarak makine öğrenmesinden yararlanarak) yararlanmanın son derece değerli katkıları olacağı gözlemlenmiştir.
Lin <i>et al.</i> , 2024 [25]	Bu çalışma, Yığılmış Akıllı Meta Yüzey (SIM) teknolojilerinden yararlanarak LEO uydu sistemleri için yeni bir sistem tasarımı sunmaktadır. Özellikle, hafif ve enerji tasarruflu SIM, doğrudan elektromanyetik dalga alanında çok kullanıcılu hüzmeme elde etmek için bir uyduya monte edilir, bu da geleneksel dijital hüzmeme şemasına kıyasla uydunun işlem gecikmesini ve hesaplama yükünü önemli ölçüde azaltır. Ayrıca, sistem performansını daha da iyileştirmek için kanal korelasyonuna dayalı bir kullanıcı gruplama yöntemi ve bir anten seçim algoritması önerilmiştir.	Yapılan çalışmada, dijital ön kodlamaya dayalı geleneksel çok ışınlu uydu sistemleriyle karşılaştırıldığında SIM, dalga alanında aşağı bağlantı ön kodlaması gerçekleştirerek daha düşük işlem gecikmesi ve hesaplama yükü sağlamıştır. Simülasyon sonuçları, önerilen SIM tabanlı tasarımın ve özelleştirilmiş alternatif bir optimizasyon algoritmasının çeşitli kıyaslama ölçütlerine göre etkinliğini göstermiştir. Sonuç olarak, ultra hızlı hesaplama hızıyla aşağı bağlantı ön kodlamasını gerçekleştirmek için çok ışınlu uydu sistemlerinin tasarımında yeni bir dalga tabanlı hüzmeme modeli keşfedilmiştir.
Abdulwahid and Kurnaz, 2024 [26]	Bu çalışmanın amacı, uydu haberleşmesinde yapay zeka yöntemlerinin kullanımını araştırmak ve bu yöntemlerle ilgili sınıflandırmaları, en son gelişmeleri, uydu trafiğindeki eğilimleri ve bant genişliğini daha etkili bir şekilde kullanılmasındaki katkısını incelemek için bir analiz yapmaktır.	Bu çalışmada sonuç olarak; gelecekte yapay zeka kullanımının daha etkili, güvenli ve daha yüksek kalitede iletişim sistemleri üretme hedefine sahip olacağı vurgulanmıştır. Yapay zeka yardımıyla, uydu verilerindeki anormallikleri araştırmanın, uydu trafiğindeki eğilimleri tespit etmenin ve bant genişliğini daha etkili bir şekilde kullanmanın mümkün olduğu anlatılmıştır.
Wang <i>et al.</i> , 2024 [27]	Bu çalışmada, LEO uydu takımyıldızları için güvenilirliği eş zamanlı olarak en üst düzeye çıkaran ve gecikmeyi en aza indiren çok amaçlı bir optimizasyon problemi oluşturularak bu problem iki yöntemle çözülmeye çalışılmıştır.	Yüksek güvenilirlik ve düşük gecikme gereksinimlerini karşılamak için LEO uydu yönlendirmesinde tasarlanan yönlendirme stratejisi ve performans analizine göre: kullanımda olan yoğun nüfuslu alçak irtifa takımyıldızlarının mevcut dağıtım yaklaşımının, iletişim güvenilirliğini artırmak ve gecikmeyi azaltmak için avantajlı olduğu görülmüştür.
Wang <i>et al.</i> , 2020 [28]	Bu çalışmada, bir jeostasyoner yörünge (GEO) uydusu ve iki alçak dünya yörüngesi (LEO) uydusundan oluşan bir uzay bilgi ağı için spektrum paylaşımı incelenmektedir. Bu sistemde, bir spektrum algılayan LEO (SLEO) uydusu, GEO'nun spektrum kullanım durumunu tespit ederken, bir veri iletim LEO (DLEO) uydusu, SLEO'nun yardımıyla GEO'nun paylaşılan spektrumuna erişmektedir. DLEO'nun veri iletim kapasitesini artırmak amacıyla iki aşamalı bir spektrum paylaşım çerçevesi geliştirilmiştir.	Sayısal sonuçlar, önerilen SPA-SS (Spektrum Algılama ve Güç Tahsisli Spektrum Paylaşımı) yönteminin geleneksel spektrum paylaşım yöntemlerine kıyasla hem ortalama veri iletim kapasitesi hem de zaman kullanım oranı açısından üstün performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

D. LEO Uydularında Frekans-Spektrum Yönetimi Neden Gereklidir?

LEO uydularının verimli çalışabilmesi için elektromanyetik spektrumun etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Spektrum, sınırlı bir kaynak olduğu için farklı haberleşme cihazları ve sistemleri arasında adil ve düzenli bir şekilde tahsis edilmesi büyük önem taşımaktadır. Spektrum yönetimi, yalnızca frekans kullanımını optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda parazit oluşumunu önleyerek, uydu koordinasyonunu

sağlar ve uluslararası düzenlemelere uyumu güvence altına alarak iletişim kalitesini artırır. Bu bağlamda, LEO uydularında spektrum yönetiminin temel gereklilikleri ve avantajları aşağıda detaylandırılmaktadır.

1. Sınırlı Spektrum Kaynaklarının Verimli Kullanımı: Elektromanyetik spektrum, sınırlı ve değerli bir kaynaktır. LEO uydularında da olduğu gibi çok sayıda haberleşme cihazı sınırlı sayıda frekans bandını paylaşmak zorundadır. Bu nedenle, spektrumun verimli bir şekilde yönetilmesi ve tahsis edilmesi, çeşitli kullanıcıların parazitsiz bir şekilde haberleşmesini sağlamak için gereklidir [29].

2. Parazit Önleme: LEO uyduları düşük yörüngede hareket ettiklerinden dolayı aynı frekans bandını kullanan diğer uydular, yer istasyonları ve kara tabanlı iletişim ağlarıyla parazit yapma potansiyeline sahiptirler. Frekans tahsis ve spektrum yönetimi, farklı hizmetler arasında spektrum kullanımını düzenleyerek bu tür parazitlerin önüne geçebilmektedir [30].

3. Uydu Koordinasyonu: LEO uydularının sayıları hızla artmaktadır ve bu uydular genellikle birbirlerine yakın yörüngelerde dolaşmaktadırlar. Bu durumda, uydular arasında iletişimde karışıklıkları önlemek ve uydu ağlarının birbirine müdahale etmesini engellemek amacıyla frekansların dikkatli bir şekilde tahsis edilmesi ve koordinasyonu gerekmektedir [31].

4. Uluslararası Düzenlemelere Uyum: Spektrum kullanımı, ulusal ve uluslararası düzenlemelere tabidir. ITU gibi kuruluşlar, spektrum tahsisini ve yönetimini düzenleyerek, ülkeler ve hizmet sağlayıcılar arasında uyumu sağlamaya çalışmaktadırlar. LEO uyduları, farklı ülkelerin üzerinden geçtikleri için bu uluslararası düzenlemelere uygun hareket edilmesi zorunludur [32].

5. Hizmet Kalitesinin Sağlanması: LEO uyduları, geniş bant internet, küresel haberleşme ve IoT gibi çeşitli hizmetler sunarlar. Frekans tahsis, bu hizmetlerin sürekli ve kesintisiz sağlanabilmesi için kritik öneme sahiptir. Spektrumun etkin yönetimi, servis sağlayıcıların kaliteli ve güvenilir hizmet sunmasına olanak tanımaktadır [33].

6. Uydu ve Yer İstasyonları Arasındaki İletişim Kalitesinin Arttırılması: LEO uyduları ve yer istasyonları arasındaki iletişimin etkinliği, spektrumun doğru bir şekilde tahsis edilmesine bağlıdır. Doğru spektrum yönetimi, uydu-yer istasyonu bağlantılarında gecikme, kesinti ve veri kaybı gibi sorunları en aza indirebilmektedir [34].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma, LEO uydu sistemlerinde frekans-spektrum yönetiminin önemini ve gerekliliğini ele almıştır. LEO uydularının artan sayısı ve frekans kaynaklarının sınırlılığı, etkin spektrum yönetimini zorunlu kılmaktadır. Çalışmada elde edilen bulgular, frekans tahsis stratejilerinin optimize edilmesi, parazit önleme mekanizmalarının geliştirilmesi ve uydu koordinasyonunun sağlanmasının iletişim kalitesini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Ayrıca, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi yeni teknolojilerin spektrum yönetimine entegre edilmesiyle daha verimli bir frekans tahsis sağlanabileceği tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan analizler, elektromanyetik spektrumun sınırlı bir kaynak olması nedeniyle frekans tahsisinin doğru yapılmasının, parazit ve girişimi önleyerek iletişim kalitesini artırdığını göstermektedir. Statik spektrum yönetim yöntemlerinin, LEO uydularının dinamik doğasına uygun olmadığı tespit edilmiş ve bu nedenle esnek ve adaptif frekans tahsis modellerinin geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. LEO uyduları ile yer istasyonları arasındaki iletişimde, spektrum paylaşımının optimizasyonunun gecikme ve veri kayıplarını en aza indirerek servis kalitesini artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, ITU gibi kuruluşların spektrum yönetimine yönelik politikalarının, ülkeler arası uyumu sağlamak açısından büyük önem taşıdığı ortaya konmuştur. Bununla birlikte, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi teknolojilerin frekans tahsis süreçlerine entegre edilmesi, spektrum verimliliğini arttırarak gelecekte daha sürdürülebilir bir spektrum yönetimi sağlayabilecektir.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışma, artan LEO uydu sayısının getirdiği frekans-spektrum yönetimi zorluklarına yönelik çözüm odaklı bir bakış sunmaktadır. Frekans paylaşımı, ihlal ve gürültü yönetimi gibi kritik konular ele alınarak, daha verimli ve sürdürülebilir bir spektrum kullanımı için literatüre katkı sunulmuştur. Küresel bağlantı ihtiyacının karşılanması ve akademik-endüstriyel iş birliklerinin teşvik edilmesi, bu alandaki ilerlemeleri destekleyici unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir uydu sistemleri geliştirmek için önerilen stratejiler, çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlayarak, uzay teknolojilerinin uzun vadeli kullanımına yönelik önemli bir adım sunmaktadır. Sonuç olarak, LEO uydu haberleşme sistemlerinde frekans-spektrum yönetiminin etkin bir şekilde uygulanması, uydu iletişim ağlarının daha güvenilir, sürdürülebilir ve verimli olmasını sağlayacaktır. Bu bağlamda, akademik ve endüstriyel iş birliğinin artırılması, yeni teknolojilere dayalı çözümlerin geliştirilmesi ve uluslararası düzenlemelere uyum sağlanması, gelecekteki uydu haberleşme sistemlerinin başarısını belirleyen temel unsurlar olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] H. Akgün, "Uydularda Güvenilirlik İncelemesi ve Haberleşme Uydularının Taktik Saha İletişiminde Kullanılması," Yüksek Lisans Tezi, Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Bilişim Teknolojileri Programı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz 2002.
- [2] Ö. Aydın, "Uydu Haberleşme Sistemleri ve Savunmada Kullanımı," Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Müh. Anabilim Dalı, Elektronik Bilim Dalı, Enstitü, Prof. Dr. O. Çerezci, danışman, Temmuz 2006.
- [3] C.-S. Choi, "Modeling and Analysis of Downlink Communications in a Heterogeneous LEO Satellite Network," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 23, no. 8, pp. 8588-8602, Aug. 2024.
- [4] "LEO Uydu Türkiye," Forseti, [Erişim: 6 Mart 2025]. Mevcut: <https://www.forseti.com.tr/makale/leo-uydu-turkiye/>.
- [5] A. A. Siddiqi, *Sputnik and the Soviet Space Challenge*. Gainesville, FL, USA: Univ. Press of Florida, 2003.
- [6] J. N. Pelton, *Satellite Communications: The First Quarter Century of Service*. Norwood, MA, USA: Artech House, 1991.
- [7] J. N. Pelton, *CubeSats and SmallSats: An Introduction*. Cham, Switzerland: Springer, 2019.
- [8] N. Pachler, E. F. Crawley, and B. G. Cameron, "A scalable algorithm for user grouping in LEO-MEO-HEO hybrid very high throughput satellite constellations," *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, vol. 10, no. 4, pp. 1511-1524, Aug. 2024.
- [9] J. Wu, S. Su, X. Wang, J. Zhang, and Y. Gao, "Accelerating handover in mobile satellite network," in *Proc. IEEE INFOCOM 2024 - IEEE Conf. Comput. Commun.*, Vancouver, BC, Canada, May 2024, pp. 531-540. doi: 10.1109/INFOCOM52122.2024.10621115.
- [10] J. Zhu, Y. Sun, and M. Peng, "Beam management in low Earth orbit satellite communication with handover frequency control and satellite-terrestrial spectrum sharing," *IEEE Trans. Commun.*, early access, 2024. doi: 10.1109/TCOMM.2024.3516479.
- [11] S. R. Pokhrel and J. Choi, "Data-driven satellite communication and control for future IoT: Principles and opportunities," *IEEE Access*, vol. 60, pp. 3307-3318, 2024.
- [12] C. Li, L. Zhu, and Z. Zhang, "For LEO satellite networks: Intelligent interference sensing and signal reconstruction based on blind separation technology," *China Commun.*, vol. 21, no. 2, pp. 85-95, 2024, doi: 10.23919/JCC.fa.2023-0371.202402.
- [13] A. Warriar, L. Aljaburi, H. Whitworth, S. Al-Rubaye, and A. Tsourdos, "Future 6G communications powering vertical handover in non-terrestrial networks," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 33016-33034, Feb. 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3371906.
- [14] A. M. Voicu, A. Bhattacharya, and M. Petrova, "Handover strategies for emerging LEO, MEO, and HEO satellite networks," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 31523-31537, Feb. 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3368503.
- [15] A. Ahmed, A. Al-Dweik, Y. Iraqi, and E. Damiani, "LEO/VLEO satellite communications in 6G and beyond networks – Technologies, applications and challenges," *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 9, pp. 15767-15782, May 2024.
- [16] X. Luo, H. Chen, and Q. Guo, "LEO/VLEO satellite communications in 6G and beyond networks—Technologies, applications, and challenges," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 24, no. 9, pp. 273-285, 2024.
- [17] A. Bhattacharyya, S. M. Nambiar, R. Ojha, A. Gyaneshwar, U. Chadha, and K. Srinivasan, "Machine learning and deep learning powered satellite communications: Enabling technologies, applications, open challenges, and future research directions," *Satel. Commun.*, vol. 41, no. 6, pp. 539-588, Nov./Dec. 2023, doi: 10.1002/sat.1482.
- [18] C.-S. Choi, "Modeling and analysis of downlink communications in a heterogeneous LEO satellite network," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 23, no. 8, pp. 8588-8602, Aug. 2024.
- [19] F. A. Tondo, M. Afhamis, S. Montejó-Sánchez, O. L. Alcaraz López, M. R. Palattella, and R. D. Souza, "Multiple channel LoRa-to-LEO scheduling for direct-to-satellite IoT," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, pp. 30627-30637, 2024.
- [20] T. Li, G. Li, X. Yue, and B. Dai, "Multiple nodes co-carrier cooperative transmission in LEO communication networks: Developing the diversity gain of satellites," *Sensors (Basel)*, vol. 24, no. 14, p. 4533, Jul. 2024, doi: 10.3390/s24144533.
- [21] X. Zhang, S. Sun, M. Tao, Q. Huang, and X. Tang, "Multi-satellite cooperative networks: Joint hybrid beamforming and user scheduling design," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 23, no. 7, pp. 7938-7952, Jul. 2024.
- [22] Y. Liu, M. Chen, C. Pan, T. Gong, J. Yuan, and J. Wang, "OTFS vs OFDM: Which is superior in multiuser LEO satellite communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 43, no. 1, pp. 139-155, Jan. 2025.
- [23] H. Yuan, Z. Chen, Z. Lin, J. Peng, Z. Fang, Y. Zhong, Z. Song, and Y. Gao, "SATSense: Multi-satellite collaborative framework for spectrum sensing," arXiv:2405.15542 [cs.NI], May 2024, doi: 10.48550/arXiv.2405.15542.
- [24] E. Kim, I. P. Roberts, and J. G. Andrews, "Spectrum sharing in low-earth orbit satellite systems under an interference protection constraint," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, 2024, pp. 4433-4438.
- [25] S. Lin, J. An, L. Gan, M. Debbah, and C. Yuen, "Stacked intelligent metasurface enabled LEO satellite communications relying on statistical CSI," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 13, no. 5, pp. 1295-1299, May 2024.
- [26] M. M. Abdulwahid and S. Kurnaz, "The utilization of different AI methods-based satellite communications: A survey," *AIP Conf. Proc.*, vol. 3051, p. 040013, 2024, doi: 10.1063/5.0192068.
- [27] R. Wang, M. A. Kishk, and M.-S. Alouini, "Ultra reliable low latency routing in LEO satellite constellations: A stochastic geometry approach," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 42, no. 5, pp. 1231-1245, May 2024.
- [28] Y. Wang, X. Ding, and G. Zhang, "A novel dynamic spectrum-sharing method for GEO and LEO satellite networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 220025-220035, 2020.
- [29] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2002.
- [30] L. W. McGinnis and A. J. S. O. Selvam, *Spectrum Management and Frequency Assignment for Satellite Systems*. New York, NY, USA: Wiley, 1998.
- [31] European Space Agency (ESA), *The Role of Low Earth Orbit Satellites in Next-Generation Communications*, ESA Report, [2024].
- [32] International Telecommunication Union (ITU), *Radio Regulations Articles, Edition of 2024*, 2024.
- [33] Nair, R. R., "Regulatory framework for satellite communications," *IEEE*, 2023.
- [34] D. C. Agrawal and A. G. Z. Ghafoor, *Satellite Communications*. 1985.

CubeSat Sistemlerinde ISAC Teknolojisinin Veri İletimi Hızına ve Kapsama Alanına Etkisi

Burak Mustafa Yıldırım*, Mehmet Duman

Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye.

*Sorumlu Yazar: burak237149@ogr.duzce.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, alçak yörünge (LEO) uydularında Entegre Algılama ve İletişim (ISAC - Integrated Sensing and Communication) teknolojisinin veri iletim hızını arttırmaya ve kapsama alanını genişletmeye yönelik potansiyel etkileri incelenmiştir. LEO uydu sistemleri, düşük gecikme süresi ve hızlı veri iletimi gereksinimleriyle dikkat çekmektedir. ISAC teknolojisi, iletişim ve algılama işlevlerini birleştirerek, uydu sistemlerinin verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. Hareketli anten çözümleri ve S bandı gibi teknik stratejilerin de veri iletimi üzerindeki etkileri ISAC teknolojisi bünyesinde ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, ISAC teknolojisinin LEO uydularındaki etkisini teorik bir çerçevede değerlendirmek ve hareketli antenlerin bu sistemlere entegrasyonunun faydalarını vurgulamaktır.

Anahtar Kelimeler: LEO uyduları, Kapsama alanı genişletme, Uydu iletişimi, Sensör entegrasyonu, Yüksek veri iletimi.

I. Giriş

Son yıllarda alçak yörünge (LEO) uydu ağları, özellikle CubeSat teknolojisiyle birlikte hızla gelişmektedir. Bu uydu sistemleri, düşük maliyetleri ve hızlı kurulum özellikleri sayesinde önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. CubeSat sistemleri, düşük maliyetleri, kompakt boyutları ve esnek tasarımları sayesinde çok sayıda akademik, ticari ve bilimsel uzay misyonunda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Ancak, bu sistemlerin etkin bir şekilde çalışabilmesi için güçlü ve verimli haberleşme altyapısı kritik bir öneme sahiptir. LEO uydularının veri iletimi ve kapsama alanı gibi performans sınırlamaları, daha etkili teknolojilerin entegrasyonunu gerektirmektedir.

Bu yüzden ISAC (Integrated Sensing and Communication) teknolojisi, iletişim ve algılama işlevlerini aynı altyapı üzerinden sağlayarak, kaynak verimliliğini artırır ve iletişim kapasitesini genişletir. ISAC, iletişim altyapısının veri iletimi ve algılama fonksiyonlarını aynı platformda birleştirerek, her iki işlevin daha verimli bir şekilde yapılmasını sağlar. LEO uydu sistemlerinde ISAC'in entegrasyonu, veri iletim hızını artırabilir, gecikme süresini minimize edebilir ve daha geniş bir kapsama alanı sağlayabilir.

LEO uydularında ISAC teknolojisi ile aynı frekans bandı kullanılarak, hem sensör verilerinin (örneğin sıcaklık vb.) hem de iletişim verilerinin aynı anda hızlı bir şekilde aktarılması üzerine çalışılacaktır.

"Ref.[1]'de CubeSat tasarımlarını, CubeSat teknolojisi alanında yapılan farklı uygulamalar ve ilerlemeler boyunca belirgin özelliklerini ele alarak CubeSat teknolojisinin genel bir analizine genel bir bakış sunmaktadır."

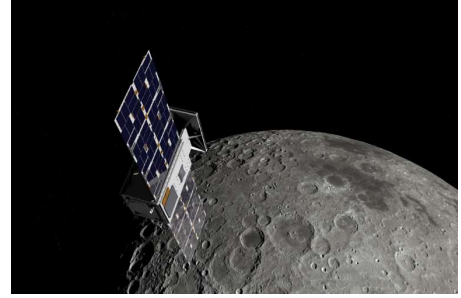
"Ref. [2], CubeSat görevlerinin çeşitli yönlerine dair bütünsel bir genel bakış sunuyor ve konunun hem akademik hem de endüstriyel perspektiflerden kapsamlı bir incelemesini sağlıyor. Ayrıca, kapsama sorunları, kanal modelleme, modülasyon ve kodlama ve ağ oluşturma üzerinde vurgu yaparak cubeSat iletişimleri alanındaki son gelişmeleri sunuyor."

"Ref.[3]'de yer gözlemi yapan CubeSat'lar için uygun olan, S-bandı dairesel kutuplanmış bir yama anten sistemi sunuyor. Anten, maksimum kazanç ve dairesel kutuplaşma sağlamak için dört dikdörtgen yama kullanıyor. Kompakt bir tasarıma sahip olan anten, CubeSat'lerin standart yapılarına uyum sağlıyor ve görüntüleme sistemlerini yerleştirebilmeyi içeriyor. Deneysel sonuçlar, antenin iyi bir empedans uyumu ve yüksek kazanç sağladığını doğruluyor."

"Ref.[4]'de CubeSat'lar arası uydu bağlantılarında iletişime odaklanmaktadır. İki küçük uydu, anten servo sistemlerine sahip değildir; antenin optimum hizalanma durumu, uydunun duruşunun ince ayar yapılarak

ve yazılımla desteklenerek belirlenir. Uydunun ince ayar duruşu, “+” tarama modu kullanılarak yapılır. Test verileri, yer istasyonunda ve uydu üzerinde bir dizi işlem (örneğin filtreleme, hızlı Fourier dönüşümü, örnekleme düşürme vb.) gerçekleştirir. Alıcı uydu, veriyi işler ve zaman bilgisini çerçevelere yükler, yer istasyonuna indirilen uzaktan kumanda ve telemetri bilgilerini eşleştirir, en güçlü sinyal noktasının karşılık gelen iki yıldız yönelimini bulur, bu yönelim bilgisini uydu kontrol merkezine iletir, uydu kontrol merkezi uyduyu en iyi duruşa ayarlar ve ardından terahertz yükünü normal iletişim durumuna geçirir, böylece iki uydu arasında terahertz yükü ile tek yönlü bilgi iletimi tamamlanır.”

Her şeyden önce cubeSat teknolojisi nedir diyerek konuya başlamak kısıtlı alanlarının olması gibi bazı özel durumları göz ardı etmememiz için önem arz etmektedir. Bunu NASA’nın kendi sayfası olan <https://www.nasa.gov/what-are-smallsats-and-cubesats/> gibi benzer kaynaklar kullanarak başlamanızın fayda sağlayacağını düşünüyorum.



II. MATERYAL METOT

LEO uydularında ISAC teknolojisinin veri iletimi hızına ve kapsama alanına nasıl katkı sağlayacağını; haberleşme sistemleriyle ISAC tabanlı sistemlerin veri hızlarını karşılaştırarak, ISAC’ın sağladığı bant genişliğini ölçerek, kapsama alanını genişletmek için hareketli anten sistemlerini kullanarak, sabit antenlere göre daha geniş kapsama alanı elde edilip edilemeyeceğini analiz ederek [3],[4] araştırması yapılabilir. Ayrıca manyetik alan sensörü, sıcaklık sensörü uydu pozisyon verileri için farklı sensörler kullanarak, sensör ve haberleşmeyi bütünleştirmek için CubeSat üzerindeki sensörlerin topladığı verileri, ISAC protokolü sayesinde aynı anda haberleşme kanalında aktararak sistemin etkinliğini test etmek için FPGA kartı kullanılabilir.

Gerçek Zamanlı Yörünge ve İletişim Senaryoları için CubeSat’ın yer istasyonlarıyla ne kadar süre iletişimde kalacağını ve bu sürede ne kadar veri aktarabileceğini hesaplanabilir.

A. Materyal

FPGA (Field Programmable Gate Array) olarak Xilinx Kintex-7, Xilinx Zynq-7000, RTG4 gibi FPGA kartları ile bant genişliği paylaşımı, beamforming, frekans ayırma gibi işlemleri gerçek zamanlı yönetmek, sensörlerden (sıcaklık, manyetik alan vb.) toplanan verileri hızlıca işlemek ve haberleşmenin kesintisiz olması içi kullanılacaktır [5],[6]. SDR (Software Defined Radio) modülü: Ettus USRP N210, LimeSDR ve Xilinx Zynq SDR veya benzeri bir modül tercih edilecektir [7],[8]. Geniş bant patch anten, Phased array antenler ya da mekanik yönlendirme sistemine sahip antenler gibi farklı antenler kullanılacaktır. MATLAB, Simulink, CST Studio ve Systems Tool Kit gibi test ve tasarım programları kullanılacaktır [9]. Manyetik Alan Sensörü, sıcaklık sensörü uydu pozisyon verileri için farklı sensörler, açısal hız sensörü gibi Cubesat için gerekli sensörler kullanılacaktır.

“Ref.[5], CubeSat için geliştirilen yazılım tanımlı vericinin geliştirme detayları sunulmaktadır. Önerilen verici, hem dijital radyo vericisi hem de uydu işaret vericisi (beacon) olarak çalışabilir. Radyo modem vericisi, 2-FSK ve GMSK modülasyonlu sinyaller üretebilmektedir. İşaret verici sistemi ise dar bant FM kullanılmaktadır. Sistem, modülasyon için sinyal işleme bölümü ve analog RF aşamasında yukarı çevirme (up-conversion) ve güçlendirme olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Sinyal işleme için, yüksek sinyal işleme kapasitesi ve esnek yapısı nedeniyle FPGA tercih edilmiştir.”

“Ref.[8]’de uzay görevlerinde kullanılan mevcut yazılım tanımlı radyoların (SDR’ler) kısa bir incelemesi yapılmaktadır. Ayrıca, CubeSat geliştiricileri için rehber olarak kullanılabilen, CubeSat’ler için iki farklı SDR tasarım metodolojisi önerilmektedir.”

B. Metot

FPGA’lar; CubeSat’larda veri işlemeyi hızlandırmak, haberleşme protokollerini yönetmek, ISAC sisteminin uygulanmasını sağlamak, SDR’nin aldığı analog sinyallerin dijital forma dönüştürülmesi, farklı haberleşme protokollerine göre sinyallerin işlenmesi, sensör verisi ve iletişim verisi arasında dinamik bant genişliği dağılımı, hata düzeltme kodlarını uygulayarak veri iletimindeki bit hatalarını tespit etmek ve düzeltmek için kullanılacaktır.

SDR’ler; frekans, modülasyon ve bant genişliği gibi parametreleri donanımı değiştirmeden yazılım yoluyla ayarlanması, uydu yer istasyonu haberleşmesinde dinamik protokol değişiklikleri, ISAC uygulamalarında kullanılmak üzere, sensör verileriyle iletişim sinyallerinin ortak spektrumda işlenmesi, frekans yoğunluğunu takip ederek çakışmayı önlemek, CubeSat’ın hızından kaynaklanan Doppler etkisini düzeltmek için kullanılacaktır [10].

"Ref.[10], Açık kaynaklı GNU Radio araçları kullanılarak uygulanan alıcı-vericinin yazılım mimarisi ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Ardından, önerilen SDR tabanlı alıcı-vericinin performansını değerlendirmeye yönelik ön sonuçlar sunulmaktadır."

Anten; hem sensör verilerini hem de iletişim sinyallerini taşımak, ISAC tarafından üretilen ve SDR tarafından işlenen veriyi yer istasyonuna iletmek, yer istasyonundan gelen komut sinyallerini alıp SDR'ye iletmek için faz dizinli yama anten tasarımları kullanılacaktır [11-15].

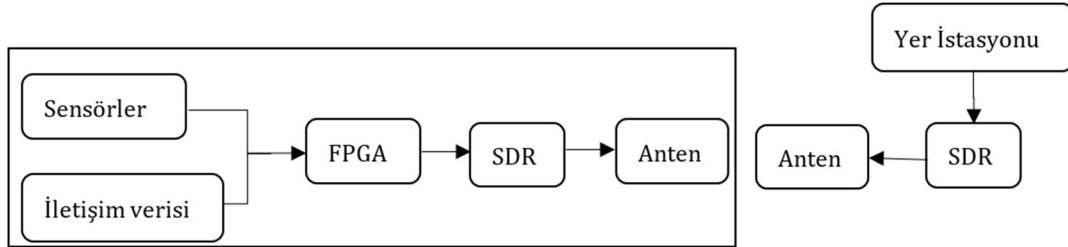
"Ref.[11]'da CubeSat için kendi S-band haberleşme alt sistemimizi inşa etmek ve test etmektir. Sistem, güvenilir ve kompakt donanım ile esnek ve verimli yazılımla geliştirilmelidir. İki anten kartı tasarlanmıştır; biri Dünya'ya bakan, diğeri ise karşı tarafta yer alan. Her kartta bir verici ve bir alıcı anten bulunur. Verici/alıcı antenler sırasıyla 2,2 GHz - 2,29 GHz arasındaki aşağı yönlü (downlink) ve 2,025 GHz - 2,11 GHz arasındaki yukarı yönlü (uplink) frekans bantlarında çalışmaktadır. Bu yapılandırma, CubeSat ve yer istasyonu arasındaki iletişimi sürdürerek CubeSat'ın dönme hareketini durdurma (de-tumbling) sürecini kolaylaştırır. İkinci bileşen, vericiyi alıcıdan ayıran filtrelerdir. İki filtre, dar kesirli bant genişliği ve yüksek geçiş eğimiyle kompakt bir alanda tasarlanmıştır. Verici-alıcı sistemi, Zynq-7000 FPGA tarafından kontrol edilen analog cihaz çipi AD9361'e dayanmaktadır. Çıkış RF sinyali, 700 MHz ila 2700 MHz aralığında çalışan QORVO çipi aracılığıyla anten portuna 33 dBm çıkış gücüne ulaşacak şekilde güçlendirilmiştir. Antenler ve filtreler üretilmiş ve test edilmiş olup, CubeSat haberleşme alt sistemi ile entegre edilmeye hazır oldukları görülmüştür."

"Ref.[12]'de CubeSat uygulamaları için önerilen farklı frekans bantlarında çalışan çeşitli anten türlerine odaklanarak literatüre katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, 18 yama (patch) anten, 5 yarık (slot) anten, 4 dipol ve monopol anten, 3 reflektör anten, 3 yansıtıcı dizi (reflectarray) anten, 5 helezon (helical) anten, 2 meta yüzey (metasurface) anten ve 3 milimetre ve alt milimetre dalga anteni olmak üzere toplam 48 anten tasarımı incelenmiştir. Mevcut CubeSat anten tasarımındaki zorluklar ve bu zorlukların üstesinden gelmek için kullanılan tasarım teknikleri tartışılmıştır."

Bağlantı Elemanları; uyumlu kablo sistemleri, haberleşme sistemine bağlantıyı sağlamak için kullanılacaktır.

Simülasyon ve analiz Yazılımları; MATLAB, Simulink, CST Studio ve STK (Systems Tool Kit) gibi programlar kullanılarak analiz ve simüle edileceği değerlendirilmektedir.

C. Bağlantı Şeması



Şekil 1. CubeSat bağlantısı için sistem şeması

CubeSat bağlantısı için önerilen sistem şeması Şekil 1'de gösterilmiştir. Şemadaki; yer istasyonu, iletişim için veriyi hazırlayıp gönderir. Yer istasyonundaki SDR veri dönüşümü, dijital veriyi radyo frekansı (RF) sinyaline dönüştürür. Yer istasyonundaki Anten veri iletimi ve yer istasyonundan gelen RF sinyalini uydulara gönderir. CubeSat'ta anten veri alımı ve iletimi yapar ve CubeSat'tan antene gelen RF sinyalini alır veya gönderir. CubeSat'ta SDR veri dönüşümü yapar ve gelen RF sinyalini dijital veriye dönüştürür daha sonra FPGA'ya iletir. CubeSat'ta FPGA ise veri işleme ve yönlendirme yapar ve gelen haberleşme verisini işler uygun şekilde yönlendirir. Aynı zamanda ISAC algoritmalarını kullanarak frekans bölüşümü ve veri paketlemesini yapar. CubeSat'ta Sensörler ise iletilmesi gereken sensör verisi varsa, FPGA bu veriyi uygun şekilde işleyip iletimini sağlar.

III. SONUÇLAR

Bu çalışmada, CubeSat sistemlerinde ISAC (Integrated Sensing and Communication) teknolojisinin veri iletim hızı ve kapsama alanına etkilerini teorik bir çerçevede incelendi. ISAC, sensör verilerini toplarken aynı zamanda iletişim sağlanabilmesini mümkün kılan bir teknolojidir ve bu özellik, veri iletim hızlarını önemli ölçüde artırırken, alçak yörünge uydularının kapsama alanını da genişletir. Teorik olarak, ISAC'ın frekans bant genişliği kullanımını daha verimli hale getirdiğini ve uydu sistemlerinin genel performansını iyileştirdiğini kullanılacak materyal ve metotlar ile aynı bant genişliğini kullanarak iki görevi de aynı anda

sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, CubeSat sistemlerinde ISAC uygulamalarının entegrasyonu, kütle ve güç tasarrufu sağlamak, gerçek zamanlı veri iletimi ve girişim sorunlarını azaltmak açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Bu yayın; ISAC teknolojisi ile aynı frekans bandı kullanılarak hem sensör verilerinin hem de iletişim verilerinin aynı anda hızlıca aktarılması üzerine yapılabilecek olan çalışmaları ortaya koyması açısından önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] R. Sinha, A. Verma, S. Choudhary, "General Analysis of Cube Satellite Technology: An Overview." *International Journal of Computer Applications* 178(21):19-22, 2019.
- [2] N. Saeed, A. Elzanaty, H. Almorad, H. Dahrouj, T. Al-Naffouri, M. Alouini "CubeSat Communications: Recent Advances and Future Challenges" *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2020.
- [3] Nascetti, A. Pittella, E. Teofilatto, P., & Pisa, S. "High-gain S-band patch antenna system for Earth-observation CubeSat satellites." *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 14:434-437, 2015.
- [4] D. Cui;W. Duan, S. Song, R. Song, N. Sun, N. Liu "A Supplementary Antenna Alignment Method Based on Terahertz Communication between LEO-LEO." *IEEE 22nd International Conference on Communication Technology*, 2022.
- [5] A.O. KISLAL, L. SEYTANOGLU, O. ÇAKAR, K. KULA, O. CEYLAN, H. Bulent YAGCI "Development of an FPGA based Software Defined Radio Transmitter for Cube Satellites." *7th Nano-Satellite Symposium*, 2016.
- [6] J. F. Androlewicz, "Software-Defined and Cognitive Radio Technology For Military Space Applications" *Proceedings of the SDR 11 Technical Conference and Product Exposition*, 2008.
- [7] M. Albeshr "Smart FPGA-Based SDR Core for Space Communication" *Master's Thesis*, 2023.
- [8] P. Ioannis Theoharis, R. Raad, F. Tubbal, M. Usman Ali Khan, S. Liu "Software-Defined Radios for CubeSat Applications: A Brief Review and Methodology" *IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems*, 2021.
- [9] A. Zeedan, T. Khattab "CubeSat Communication Subsystems: A Review of On-Board Transceiver Architectures, Protocols, and Performance" *IEEE Access*, 2023.
- [10] S Bonafini, C Bianchi, F Granelli "A reconfigurable multi-modal SDR transceiver for CubeSats" *IEEE Aerospace Conference*, 2021.
- [11] H. Hussein Abdullah, A. Elboushi, A. Essam Gohar, A. Abdallah "An Improved S-Band CubeSat Communication Subsystem Design and Implementation" *IEEE Access*, 2021.
- [12] S. Abulgasem, F. Tubbal, R. Raad, P. Ioannis Theoharis, S. Lu "Antenna Designs for CubeSats: A Review" *IEEE Access*, 2021.
- [13] P. Muri, O. Challa, J. McNair "Enhancing small satellite communication through effective antenna system design" *MILCOM 2010 MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE*, 2010.
- [14] M. El Hammoumi, F. Tubbal, N. El Amrani El Idrissi, R. Raad; P. Ioannis Theoharis, A. Lalbakhsh "A Wideband 5G CubeSat Patch Antenna" *IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems*, 2022.
- [15] L. You, J. Wang, X. Q. Gao, C. G. Tsinos, S. Chatzinotas, and B. Ottersten, "Downlink transmit design in massive MIMO LEO satellite communications," *IEEE Trans. Commun.*, 2021.

Dünyayı Gökten İzleyen Göz: Gök-Börü Model Uydu Sistemi

Nevzat Eren Yıldız^{a,*}, Ümmügülsüm Kaya^b, Sümeyye Elieyi^c, Yunus Emre Bakkal^d, İlayda Nur Eren^b, Şeyma Yazkurt^b, Murat Bulut^a

^aDüzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce/Türkiye.

^bDüzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce/Türkiye.

^cDüzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Düzce/Türkiye.

^dDüzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: nevezat200610@ogr.duzce.edu.tr

ÖZET

2016 yılında TÜRKİSAT AŞ tarafından başlayan model uydu yarışması Teknofest kapsamında her yıl yapılmaktadır. Model uydu yarışmaları sayesinde üniversite öğrencileri uzay ve uydu teknolojilerinde öğrendikleri bilgi birikimleri sayesinde model uydunun montajını, entegrasyonunu ve testlerini gerçekleştirmektedir. Ayrıca, model uydu yarışma sayesinde üniversite öğrencileri proje yönetiminide öğrenmektedir. Bu çalışmada, 2024 yılında Teknofest yarışmasında model uydu yarışmasına katılım sağlayan Gök-Börü model uydu sistemi hakkında bilgiler verilecektir. Çalışmanın amacı, yapay uyduların gerçekleştirdiği temel görevlerden bazılarını gerçekleştirebilen Gök-Börü adlı bir model uydu tasarlamak ve üretmektir. Uydu, yenilikçi uzay çözümlerini teşvik etmeyi ve mevcut sistemleri iyileştirmeyi amaçlayan Model Uydu Yarışması TÜRKİSAT AŞ tarafından belirlenmiş olan model uydu gereksinimler uyarınca geliştirilmiştir. Gök-Börü model uydusu, yarışma yönergelerinde belirlenen bütçe, boyut ve kütle gereksinimleri etrafında tasarlanmıştır ve yükünü başarıyla taşıyıp indirmiştir. Yarışma isterleri doğrultusunda model uyduya yerleştirilen ESP32 cam aracılığıyla uçuş esnasında elde edilen görüntüler filtrelenmiş şekilde yer istasyonuna iletilerek kullanıcı arayüzünde görselleştirilmesi sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Uydu, Teknofest, Cansat, Haberleşme, Telemetri.*

I. GİRİŞ

Yapay uydular, insanoğlunun geliştirip Dünya'nın veya başka gezegenlerin yörüngesine yerleştirdiği uydulardır. 1957'de SSCB tarafından fırlatılan ilk yapay uydu olan Sputnik 1'den beri binlerce yapay uydu Dünya'dan fırlatılmıştır[1]. Farklı boyutlarda ve irtifalarda görev yapan uydular insanlık adına birçok kolaylık sağlamaktadır. Türkiye'de de benzer şekilde birçok yapay uydu projesi bulunmaktadır. TÜRKİSAT 2016 yılında 3 takım ve 18 kişinin katılımı ile model uydu yarışması başlatmıştır. Bu yarışmaya olan ilgi, Türk ve uluslararası üniversitelerin katılımıyla her geçen yıl artmaktadır. 2022 yılında yaklaşık 114 adet başvuru yapılmıştır. Bu başvuruların devamındaki 2023 yılında 15 takım Qualification Review (QR) aşamasını geçerek atışa hak kazanmıştır[2]. Bu çalışmada, 2024 Teknofest TÜRKİSAT Model Uydu Yarışması'nda başarı sağlamak üzere üretilmiş olan Gök-Börü Model Uydusu'nun tasarım, analiz ve üretim süreci hakkında önemli bilgiler verilmektedir.

Üretilen model uydu yarışma şartnamesinde belirtilen SAHA (Sistemler Arası Haberleşme), ARAS (Arayüz Alarm Sistemi), Mekanik Filtreleme ve IoT Veri Transferi görevlerini gerçekleştirmektedir. Bu görevleri gerçekleştirmesi esnasında model uydudan yer istasyonuna telemetri paketleri halinde kesintisiz veri gönderilmektedir. Gönderilen telemetri paketleri ekip üyeleri tarafından geliştirilen yer istasyonu arayüzünde grafikler, tablolar, harita ve kamera verilerini görselleştirmektedir. Model uydunun görevini gerçekleştirmesi esnasında yer istasyonu tarafından gönderilecek olan ayrılma komutu ve mekanik filtre komutu ile görev yükü elektroniği yarışma isterlerini gerçekleştirmektedir.

Taşıyıcı kapsül ve görev yükünden oluşan model uydunun görevleri roket ile fırlatılma aşaması ile başlamaktadır. Belirli bir irtifadan sonra ilk ayrılma gerçekleşecek olup model uydu roketten atılarak paraşüt açmaktadır. Belirli irtifaya indikten sonra taşıyıcı kapsüldeki ayrılma mekanizması tetiklenerek kapsül kapağı açılacaktır ve bu sayede görev yükü, kapsülden ayrılıp paraşüt açarak görevine devam edecektir. Önceden belirlenmiş olan güvenli hızlarda yere inişini gerçekleştiren görev yükü ve taşıyıcı kapsül, GPS sistemleri ile yerlerini yer istasyonuna kesintisiz olarak bildirmektedir. Bu şekilde model uydu

ve komponentlerinin konumları kolayca takip edilebilmektedir. Yarışmanın son aşaması olan uyduyu bulma ve teslim alma aşamasında konum bilgileri kullanılmaktadır. Yarışmada verilen ana ve yan görevlerin yanında kurtarma aşamasını da kurallara uygun olarak tamamlayan takımlar başarılı sayılmaktadırlar.

Gök-Börü Model Uydusu Yarışma isterlerine uygun olarak minimal ve sağlam olacak şekilde tasarlanmıştır. Yapımında sinyal geçirgenliği yüksek kompozit malzemeler kullanılan model uydusu, en az 8 G şok kuvvetine dayanabilecek şekilde tasarlanmış ve üretilmiştir. Kendisini fırlatacak roketle göre özel olarak tasarlanan model uydusu, uçuşu ve ayrışmaları riske atmayacak bir geometriye sahip olmaktadır. Bildirinin ileriki başlıklarında görevler, mekanik ve aviyonik alt sistemler hakkında daha detaylı bilgiler verilmektedir.

II. SİSTEMLER GENEL BAKIŞ

A. Görevler

2024 Teknofest TÜRKİYE Model Uydusu Yarışması şartname gereksinimlerinde belirtildiği üzere ana ve yan görevler bulunmaktadır.

A.1. Ana Görevler

SAHA görevinde; taşıyıcı kapsül üzerine yerleştirilmiş olan haberleşme bilgisayarı, kapsülün konum ve basınç verilerini tek yönlü olarak görev yükünün haberleşme bilgisayarına iletmektedir. Görev yükü, taşıyıcıdan gelen verileri hem yer istasyonuna iletilen telemetri paketi içerisinde gerekli olan kısımlara eklemekte hem de üzerinde bulunan SD karta verileri kaydetmektedir. Taşıyıcı ve görev yükü arasında kurulan haberleşme ağı taşıyıcıdan görev yüküne doğru olacak şekilde tek yönlüdür. Görev yükü ve yer istasyonu ise veri gönderme ve veri alma şeklinde karşılıklı olarak gerçekleşmektedir.

ARAS görevinde; yarışma şartnamesinde belirtilen görev koşulları doğrultusunda model uydunun uçuş esnasındaki durumlarını gözlemlemek için tasarlanmıştır. Sırasıyla; “Model uydunun iniş hızı 12-14 m/s aralığında bir değer”, “Görev yükünün iniş hızı 6-8 m/s aralığında bir değer”, “Taşıyıcının basınç verisi alındı”, “Görev yükünün konum verisi alındı” ve “Taşıyıcı ve görev yükü ayrışması gerçekleşti” durumlarını görevi süresince gerçekleştirilmesi kontrol edilmektedir. Bu durumların gözlemlenmesi görev yükünden gelen ve ‘1/0’ değerlerinden oluşan beş haneli hata kodu aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Gelen verilerden isteri sağlayanlar 0, isteri sağlamayanlar 1 değeriyle kodlanmaktadır. Görev yükü üzerinde durumların karşılanma halleri kodlanarak telemetri paketi şeklinde yer istasyonuna iletilmektedir. Yer istasyonuna iletilen hata kodu verisi çözümlenerek arayüzde gerekli şekilde görselleştirilmektedir. Örnek olarak <00110> şeklinde olan hata kodu taşıyıcı ve görev yükü ayrışma hızlarını istenen aralıkta tutup doğru bir şekilde ayrılmayı gerçekleştirmiş fakat taşıyıcıdan basınç verisi, görev yükünden konum verisini alamamaktadır.

A.2. Yan Görevler

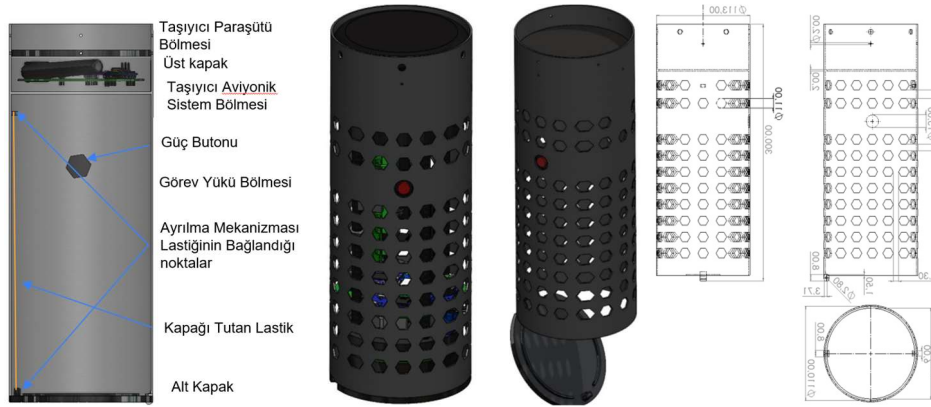
IoT Veri Transferi görevinde; yer istasyonunda bulunan Arduino Nano mikrodenetleyicisi, LoRa E22-900T22D haberleşme modülü ve SHT35 sıcaklık sensörü kullanılarak bir sistem kurulmuştur. Kurulan sistemde okunan sıcaklık verileri ve yer istasyonu arayüzü tarafından oluşturulan komutlar görev yüküne gönderilmektedir. Yer istasyonundan gönderilen komutlar; mekanik filtre çalıştırma komutu ve ayrışma sistemini tetikleyecek olan komutlardır. Yer istasyonundan gönderilen komutlar görev yükünde görevlerini gerçekleştirerek telemetri paketinde yerlerine yazılmaktadır. Telemetri paketleri ise uçuş boyunca görev yükü üzerinde bulunan SD karta kaydedilmektedir.

B. Alt Sistemler

B.1. Mekanik Alt Sistem

Model uydunun mekanikliği, yarışmanın isterlerine göre toplam ± 730 gram kütlede, maksimum 300 mm yükseklikte ve 113 mm çapta; en az 8 G şok kuvvetine dayanacak bir yapıya sahip olmaktadır. Bu mekanik yapının ana görevi mekanik ve aviyonik sistemleri bulundurarak model uydunun güvenli şekilde görevini tamamlamasını sağlamaktır.

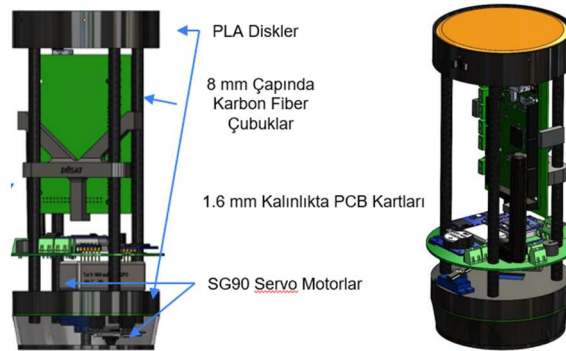
B.2. Taşıyıcı Yapısı



Şekil. 1 Taşıyıcı Yapısı

Taşıyıcı kapsül görev yükünü dış etkenlere karşı korumakta olan ve ikinci ayrılmaya kadar tutan yapıdır. Bu yapı; paraşüt, taşıyıcı aviyonik sistemi ve görev yükü bölmelerini içeren 3 bölümden oluşmaktadır. Pasif iniş sistemi olarak adlandırılan taşıyıcı paraşütünün görevi, birinci ayrılma sonrasında açılarak model uydunun havada dengesini sağlamak ve 400 metre yüksekliğe kadar 12-14 m/s hızla inmesini sağlamaktır. Taşıyıcı aviyonik sisteminin görevi ise uçuş esnasında gerekli olan verileri yer istasyonuna iletmektir. Görev yükü bölmesi ise görev yükünün taşıyıcı içinde bulunduğu bölüm olmaktadır. Taşıyıcı kapsül ve kapağı PLA filamentini kullanılarak üretilmiştir. Bu üretim yöntemi hafif, basit ve ekonomik olması açısından oldukça etkili olmaktadır. Ayrıca taşıyıcıya montajlanmış olan taşıyıcı alt kapağı, görev yükü bölmesinin kapalı kalması amacıyla taşıyıcının üst kısmına ip yardımıyla sabitlenmektedir.

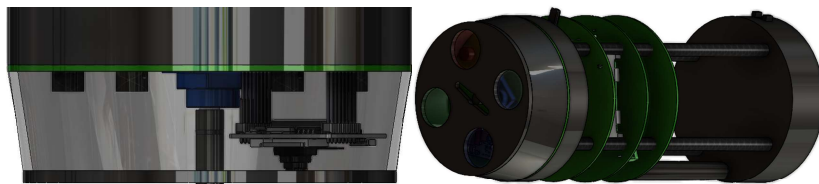
B.3. Görev Yükü Yapısı



Şekil. 2 Görev Yükü Yapısı

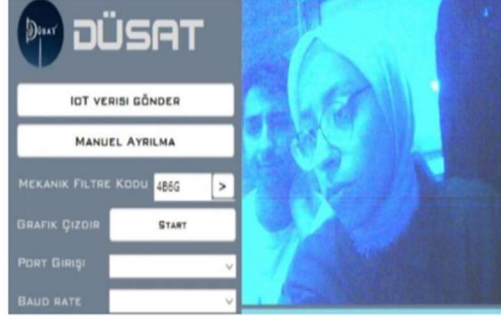
Görev yükü mekanik yapısı PLA disklerden ve karbon fiber çubuklardan oluşmaktadır. Bu sayede hafif ve sağlam bir yapı oluşturulmuştur. Montaj kolaylığı sağlamak amacıyla görev yükü aviyonikini oluşturan elektronik komponentlerin takılı olduğu PCB kartları, direkt olarak karbon fiber çubuklara pimler vasıtasıyla sabitlenmektedir. Görev yükünün üst kısmında, ikinci ayrılma esnasında açılan ve görev yükünün 6-8 m/s sabit hızla inişe geçmesini sağlayan görev yükü paraşütü bulunmaktadır. Alt kısımda ise ayrılma mekanizması ve mekanik filtreleme modülü bulunmaktadır.

B.4. Mekanik Filtreleme Modülü Yapısı



Şekil. 3 Mekanik Filtreleme Modülü Yapısı

Diskleri ve dış yüzeyi PLA filamenti kullanılarak üretilmiş olan mekanik filtreleme modülü görev yükü iskeletini oluşturan karbon fiber çubukların alt kısmına sabitlenmektedir. Bu sayede modülde bulunan kamera yeryüzünü kolay şekilde görebilmektedir. Modülün orta kısmında bulunan servo motor yardımıyla kamera önündeki filtreleme diski dönmektedir. Bu sayede farklı renklerde filtrelenmiş görüntüler elde edilebilmektedir. Mekanik filtreleme sisteminin amacı yer istasyonundan gelen sayı-renk-sayı-renk (Örneğin 4R6G) komutlarını on saniye olacak şekilde görev yükü tarafından kaydedilen görüntüyü renklerle filtreleyerek yer istasyonuna aktarmaktadır. Komut doğrultusunda filtreye bağlı servo motorun renklere göre ayrılmış olduğu 45 derecelik açılar ile döndürülmesiyle filtrelemede konumlandırma gerçekleştirilmektedir.



Şekil. 4 Mekanik Filtreleme Arayüz Tasarımı

B.5. Ayrılma Sistemi Yapısı



Şekil. 5 Ayrılma Sistemi Yapısı

Görev yükü 400 metre yüksekliğe kadar indikten sonra ikinci ayrılma gerçekleşmektedir. Görev yükünün alt kısmında bulunan, ucunda kesici materyal takılı olan micro servo motorun dönerek, taşıyıcı kapsül ve kapsül kapağına bağlı olan ipi kesmesiyle kapak serbest kalmaktadır. Böylece taşıyıcı kapsülün alt kapağı açılmakta ve görev yükü kapsülden dışarıya atılmaktadır.

B.6. Elektronik Alt Sistem

Proje kapsamında üç ayrı elektronik sistem tasarımı bulunmaktadır. İki sistem, model uydu üzerinde bulunmakla birlikte taşıyıcı ve görev yükü sistemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Üçüncü sistem ise yer istasyonu için tasarlanan sistemdir. Taşıyıcı elektronik sistem, sistemler arası haberleşmenin üç ayrı sistemde (Yer istasyonu – Görev Yüğü – Taşıyıcı) sağlanması ve uydunun bu görevi yerine getirebilmesi için, görev yükü elektronik sistemi sistemler arası haberleşme, mekanik filtreleme, IOT veri transferi ve ölçülen verilerin kaydedilmesi görevlerini yerine getirmesi için, yer istasyonu sistemi ise sistemlerden gelen verileri sistem arayüzüne aktarmak ve IOT veri transferi görevini yerine getirmek için tasarlanmıştır.

Taşıyıcı sistem üzerinde bulunan modüller şu şekildedir:

- Arduino Nano (Mikrodenetleyici)
- BMP390L (Basınç – Sıcaklık – Yükseklik Sensörü)
- Lora E22-900T22D (Haberleşme Modülü)
- Buzzer

Görev yükü sistemi üzerinde bulunan modüller şu şekildedir:

- Arduino Mega (Mikrodenetleyici)
- BMP390L (Basınç – Sıcaklık – Yükseklik Sensörü)
- Lora E22-900T22D (Haberleşme Modülü)

- GPS GY-NEO7M (GPS Modülü)
- MPU-9255 (İvme-Gyro Sensörü)
- RTC DS3231 (Dijital Saat Sensörü)
- ESP32-CAM (Kamera Modülü)
- Buzzer

Yer istasyonu sistemi üzerinde bulunan modüller şu şekildedir:

- Arduino Nano (Mikrodenetleyici)
- SHT35 (Basınç-Sıcaklık Sensörü)

Modüllerin Görevleri ve Seçim Sebepleri:

Sistemlerin çalışma mantığını anlamak açısından sistemler üzerinde bulunan modüllerin görevlerini açıklamak yararlı olacaktır. Üç ayrı sistem için modüllerin görevleri şu şekildedir:

- **Arduino NANO:** Arduino Nano bir mikrodenetleyicidir, tüm sistem üzerinde bulunan modüllerle ve sensörlerle haberleşme protokollerini esas alarak iletişim kurar ve bununla birlikte sensörlerden gelen verileri kullanıcının programlaması doğrultusunda işletir. Arduino NANO'nun seçilmesinin temel sebebi kompakt yapısından dolayıdır. Kapsülün çapında dairesel bir PCB'ye sığmakta ve taşıyıcı sistem üzerindeki sensör ve modül azlığından dolayı da veri aşımı yaşamamaktadır.
- **Arduino MEGA:** Temel olarak Arduino NANO ile aynı işleve sahiptir fakat görev yükü için kullanılan Arduino MEGA hafıza kapasitesinin yüksek olması ve pin sayısının yüksek olmasıyla Arduino NANO'dan ayrılmaktadır. Arduino MEGA görev yükünde kullanılmasıyla taşıyıcı sisteme göre daha fazla sensör ve modülle çalışacağından hafıza kapasitesi, fazladan dijital/analog ve I2C pinlerine sahip olmasından dolayı seçilmiştir.
- **BMP390L:** BMP390L; basınç, sıcaklık ve yükseklik ölçümleri yapan bir sensördür. Seçilme sebebi yükseklik ve basınç verilerini olabilecek en hassas şekilde ölçülmesini sağlamaktır.
- **LoRa E22-900T22D:** LoRa E22-900T22D bir haberleşme modülüdür. Düşük güç tüketerek uzun mesafeli kablolu haberleşme sağlar. Temel görevi ölçülen verileri sistemler arasında göndermek ve almaktır. Düşük güç tüketimiyle ve yüksek mesafelerde çalışması sebebiyle seçilmiştir.
- **GPS GY-NEO7M:** GPS GY-NEO7M bir konum belirleme modülüdür. Uydunun enlem, boylam ve yükseklik bilgilerini sağlar. Hareket eden nesneler için hız ve yön verisi üretir ve bununla birlikte uydulardan aldığı zaman bilgisi ile hassas saat ayarı yapar. Düşük güç tüketimi ve hassas ölçümleri sebebiyle seçilmiştir.
- **MPU-9255:** MPU9255 modülü X, Y ve Z eksenlerinde hareket ve eğimi algılayarak dönme hareketlerini ölçer, manyetik alanı ölçerek pusula işlevi görür ve uydunun stabilizasyonunu sağlar. Seçilme sebebi hassas ölçüm yapmayı sağlamaktır.
- **RTC DS3231:** RTCDS3231 gerçek zamanlı saat modülüdür. Sistemin gücü kesilse bile saat bilgisini saklar böylelikle sistem tekrar açıldığında saat verisi doğru bir şekilde aktarılır. Seçilme sebebi hassas ölçüm yapmayı sağlamaktır.
- **ESP32-CAM:** ESP32-CAM kamera modülüdür. Temel amacı görüntü yakalama ve iletmedir. Video çekebilir ve yayınlayabilir. Mekanik filtreleme görevi için seçilmiştir.
- **Buzzer:** Sesli uyarı vermek ve bildirim sağlamak için kullanılır.
- **SHT35:** Basınç sıcaklık ve nem değerlerinin ölçümünü gerçekleştirir. Seçilme sebebi hassas ölçüm yapmayı sağlamaktır.

Elektiriksel Güç Kaynağı:

Taşıyıcı ve görev yükü sistemleri her sistem için ayrı olacak şekilde 7.4 Volt ve 850 mAh akıma sahip LIPO pillerle beslenmektedir. Bu pilin temel seçim sebebi kütle bütçesinden tasarruf sağlamaktır. İsterler doğrultusunda belirlenen kütle limitinden dolayı ağırlığı ve hacmi küçük fakat aynı zamanda da güç bütçesini karşılaması en uygun olan pil olarak LIPO piller seçilmiştir.

B.7. Yer İstasyonu ve Haberleşme

Model uydu sisteminde veri iletişimini sağlamak için LoRa haberleşme modülü kullanılarak bir haberleşme ağı oluşturulmuştur. Ülkemizde LoRa modüller 868 MHz frekans bandında haberleşme imkanı sunmaktadır. LoRa modülleri 2-15km mezilleriyle uzun mesafe haberleşmesi sağlamaktadır. Uzun mezilli ve düşük enerji tüketimi avantajlarını sağlamasından dolayı LoRa haberleşme modülü kullanılarak taşıyıcı kapsül, görev yükü ve yer istasyonu sistemlerinin iletişim kurması sağlanmaktadır. Taşıyıcı kapsül ve görev yükü sistemleri taşıyıcı kapsülden gönderilen basınç verisinin taşıyıcı üzerinde bulunan haberleşme modülü aracılığıyla tek taraflı olarak görev yükü üzerinde bulunan haberleşme modülüne iletilmesiyle kurulmaktadır. Görev yükü haberleşmesi ise taşıyıcıdan gelen verilere ek olarak yer istasyonu ile karşılıklı olarak iletişim kurmasıyla oluşmaktadır. Görev yükü aviyonik sistemi üzerinde bulunan sensörler

aracılığıyla elde edilen uçuş verilerinin telemetri paketleri halinde yer istasyonuna iletilmesiyle birlikte yer istasyonundan gelen komut verilerini karşılayarak görevlerini gerçekleştirmektedir. Yer istasyonu haberleşme sisteminde görev yükü aviyonik sistemi üzerinde bulunan haberleşme bilgisayarı ile yer istasyonunda bulunan daha büyük menzilli haberleşme antenleri ile veri iletişimi kurulmaktadır. Yer istasyonunda bulunan SHT35 sıcaklık ve nem sensörü ile yer istasyonunun bulunduğu konumdaki sıcaklık ve nem değeri eş zamanlı olarak okunarak görev yüküne iletilmektedir. Bu sıcaklık ve nem verileri yarışma isterlerinden olan "IoT Veri Transferi" görevini gerçekleştirmek için gönderilmektedir. Gönderilen verileri karşılayan görev yükü aviyonik sistemi görevin devamı olarak karşıladığı verileri oluşturduğu telemetri paketinde gerekli kısımlara yerleştirilerek bu telemetri paketini tekrardan yer istasyonuna iletmektedir. Yer istasyonundan aynı zamanda "Mekanik Filtreleme Sistemi" için mekanik filtre kodu olarak adlandırılan <RHRH> şeklinde "rakam-harf-rakam-harf" şeklinde bir filtre kodu gönderilmektedir. Gönderilen filtre kodu görev yükü üzerinde bulunan görevini yerine getirerek yine telemetri paketinde yerine yazılmaktadır. Yer istasyonu son olarak ayrılma sistemini aktifleştirmek için bir 'manuel ayrılma komutu' göndermektedir. Taşıyıcı kapsül ve görev yükü yarışma isterlerine göre 400 metre istifaya ulaştığı esnada ayrılarak ayrı paraşütlerle otonom iniş sağlamaları gerekmektedir. Uçuş esnasında oluşabilecek sorunlara karşı önlem alabilmek ve olası ayrılamama durumlarının önüne geçebilmek için yer istasyonu arayüzünden manuel bir ayrılma komutu gönderilmektedir. Gönderilen manuel ayrılma komutu görev yükü aviyonik sistemi tarafından karşılanarak sistem üzerinde bulunan ve ayrılma sistemini aktifleştirecek olan servo motorları tetiklemektedir. Servo motor üzerlerinde bulunan kesici materyal, taşıyıcı kapsülün tahliye kapağını kapalı tutan ipi keserek ayrılma işlemini gerçekleştirmektedir.

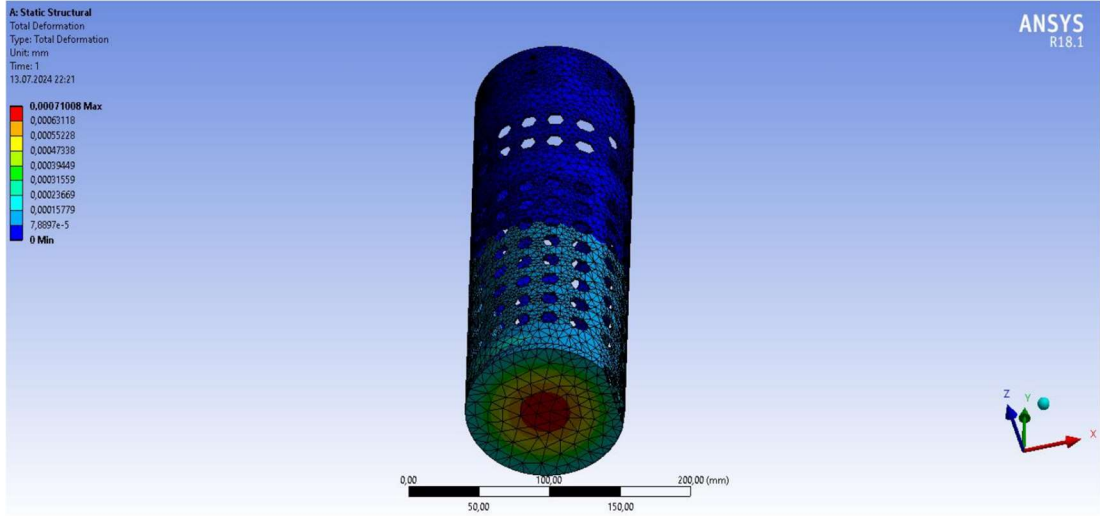
Görev yükü aviyonik sisteminden yer istasyonu elektronik sistemine iletilen telemetri paketi şeklindedir;

- <PAKET NUMARASI>, <UYDU STATÜSÜ>, <HATA KODU>, <GÖNDERME SAATİ>, <BASINÇ1>, <BASINÇ2>, <YÜKSEKLİK1>, <YÜKSEKLİK2>, <İRTİFA FARKI>, <İNİŞ HIZI>, <SICAKLIK>, <PİL GERİLİMİ>, <GPS1 LATITUDE>, <GPS1 LONGITUDE>, <GPS1 ALTITUDE>, <PITCH>, <ROLL>, <YAW>, <RHRH>, <IoT DATA>, <TAKIM NO>

Telemetri paketinde bulunan paket numarası bilgisi gönderilen telemetri paketinin sayısını ifade etmektedir. Paket numarası bilgisi gönderilen paket sayısının birer birer artmaktadır. Uydu statüsü bilgisi model uydunun görevi süresince durumlarının belirtildiği sayısal bir bilgidir. Hata kodu bilgisi ARAS görevi esnasında oluşturulan 1 ve 0 değerlerinden oluşan beş haneli hata kodunu içermektedir. Gönderme saati bilgisi gönderilen telemetri paketinin hangi tarih ve saate gönderildiğini belirtmektedir. Basınç1 bilgisi, görev yükü aviyonik sisteminden okunan atmosferik basınç verisini tutmaktadır. Basınç2 bilgisi de aynı şekilde taşıyıcı kapsül üzerinden okunan atmosferik basınç verisini ifade etmektedir. Yükseklik1 verisi, görev yükü üzerinden okunan basınç verisinin kütüphaneler tarafından belirli matematiksel işlemler uygulanarak elde edilen yükseklik verisini ifade etmektedir. Yükseklik2 verisi ise taşıyıcı kapsülün yükseklik bilgisini ifade etmektedir. İrtifa farkı verisi taşıyıcı irtifası ve görev yükü irtifası arasında oluşan mesafe farkını içermektedir. İniş hızı verisi, görev yükünün iniş hızı bilgisini tutmaktadır. Sıcaklık bilgisi, görev yükü üzerinden okunan sıcaklık verisini tutmaktadır. PİL gerilimi, görev yükü üzerinden okunan pil gerilimini ifade etmektedir. GPS latitude, altitude, longitude verileri sırayla görev yükünün enlem, boylam ve gps üzerinden alınan yükseklik bilgilerini içermektedir. Pitch, roll ve yaw verileri; görev yükünün açılma eksenleri olan pitch, roll, yaw eksenlerindeki eğim bilgilerini tutmaktadır. RHRH şeklinde kısaltılan mekanik filtre kodu yer istasyonundan görev yüküne gönderilerek kamera görüntüsüne uygulanacak olan renkli mekanik filtre kodunu içermektedir. IoT data olarak adlandırılan telemetri parçası, IoT Veri Transferi görevi sebebiyle okunan sıcaklık ve nem verilerinin yer istasyonundan görev yüküne iletilmesi ile telemetri paketine eklenmektedir. Takım numarası bilgisi yarışmaya başvuru yaptıktan sonra yarışmacı ekiplere verilen beş haneli koddan ibarettir. Her telemetri paketinde değişmeden iletilmektedir.

III.YAPISAL ANALİZLER

A. Taşıyıcı Kapsül Yapısal Analizi



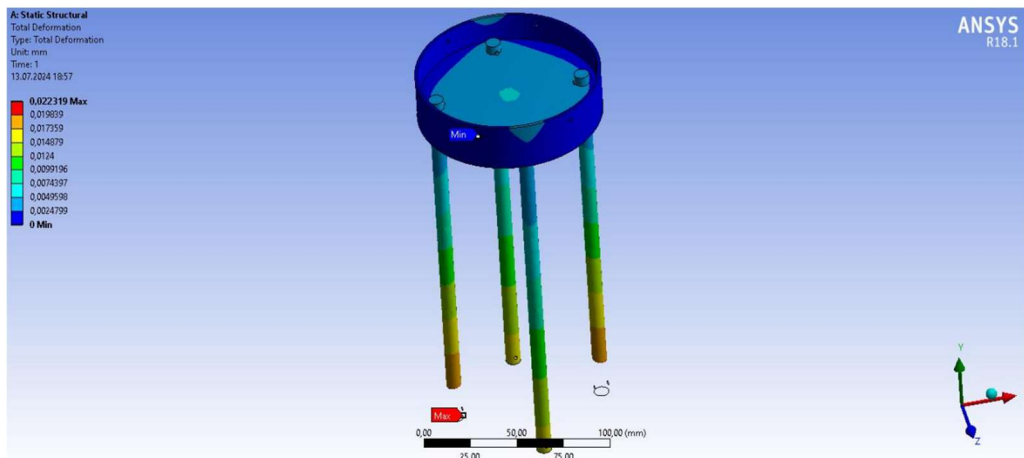
Şekil. 6 Taşıyıcıdaki Toplam Deformasyon Miktarı

Taşıyıcıyı hafifletmek amacıyla kapsül üzerine açılan altıgen boşluklar mevcut yapının mukavemetini düşürmektedir. Bunun yanında PLA'dan üretilen kapsülün yorulmaya karşı gösterdiği direnç düşük olmaktadır ve önlem alınmadığı takdirde zamanla çatlamaya sebebiyet vermektedir. Bu sebeple altıgen boşluklar arasındaki mesafeler olabildiğince artırılmıştır ve analizlerde görüldüğü üzere biriken stres miktarı ve deformasyon miktarı oldukça düşürülmüştür. Kapsül üzerindeki deformasyon miktarı 0 mm ile 0.00015779 mm arasında olmaktadır.

En büyük deformasyon kapağın orta kısmında bulunmaktadır ve değeri 0.00071008 mm'yi bulmaktadır. Gerininin maksimum olduğu kısım ise yine kapağın ortasıdır ve 2.0976e5 mJ olmaktadır.

B. Görev Yüğü Yapısal Analizi

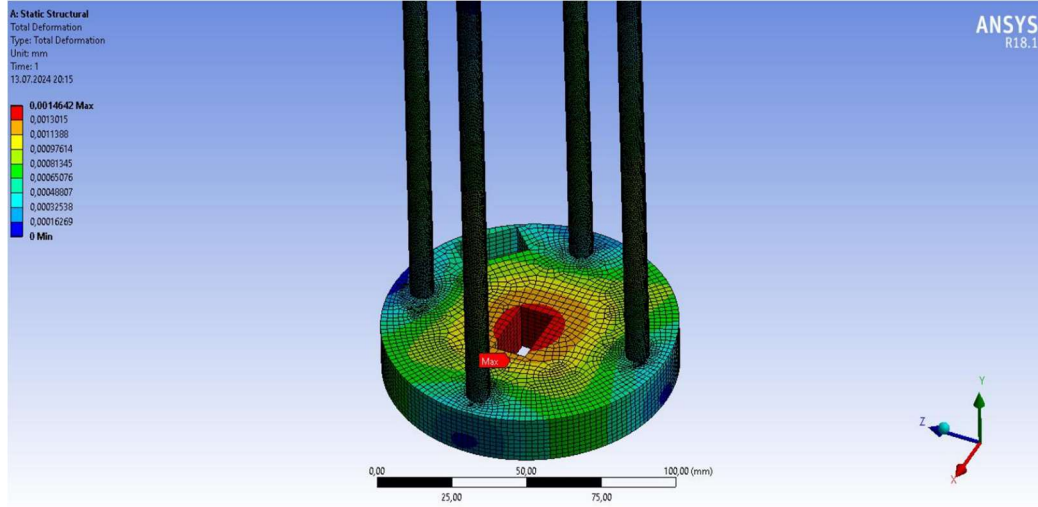
İçi dolu karbon fiber çubukları tutan PLA dan üretilen parça, en az 1.25 MPa basınca dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Analiz yapılırken görev yükü, PLA diskin üst kısmında bulunan 6 adet paraşüt ipi bağlama deliklerinden sabitlenmektedir. Daha sonra karbon fiber çubukların alt kısmından -y yönünde 30N büyüklüğünde kuvvet uygulanmaktadır. Bu kuvvetler malzemeye çekme kuvveti uygulamakta ve kopmaya zorlamaktadır. Karbon fiber çubukları üst disk ile sabitleyen PLA pimler ile olası hareketler tamamen kısıtlanmaktadır. Bu tasarım ve malzeme seçimi sayesinde model uydu beklenenin dışında gerçekleşecek olan deformasyonlara karşı sağlamlığını korumaktadır.



Şekil. 7 Görev Yüğündeki Üst Kısımındaki Toplam Deformasyon Miktarı

Analizlerde görüldüğü üzere, geometrinin sabitlendiği deliklerde deformasyon miktarı daha yüksektir. Ayrıca kuvvet uygulanan noktadaki deformasyon ve stres miktarı da daha yüksektir. PLA diskin çekme sonucunda deformasyona uğrama ihtimali, basma sonucundakine göre daha yüksektir. Bu yüzden et

kalınlığı mümkün olduğunca fazla olarak tasarlanmıştır. Karbon fiber çubuklar yeterince kalın seçildiğinden ve içi dolu şekilde tasarlandıklarından çekme-basma, burulma, eğilme gibi deformasyonlara karşı yeterli direnci göstermektedir.



Şekil. 8 Görev Yüğü Alt Kısımındaki Toplam Deformasyon Miktarı

Karbon fiber çubuklar üzerindeki deformasyon miktarı oldukça düşük olmaktadır. Buradan hareketle Karbon fiber çubukların geometrisi ve malzeme seçiminin doğru olduğu anlaşılmaktadır. Çekme kuvvetinden daha fazla basma kuvvetine maruz kalacak olan alt disk herhangi bir çatlamaya veya kırılmaya sebebiyet vermemektedir. Yapılan tüm analizlere göre gerekli yapısal değişiklikler yapılmış olup, model uydur sağlık açısından yeterli seviyeye getirilmiştir.

IV. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışma, Gök-Börü model uydur sisteminin tasarım, üretim ve analiz süreçlerini incelemiş ve sistemin performansını değerlendirmiştir. Analizler doğrultusunda elde edilen bulgular, model uydur sisteminin hem mekanik hem de elektronik anlamda belirlenen gereksinimleri karşıladığını göstermiştir. Yapısal analizlerde, taşıyıcı kapsül ve görev yükü bileşenleri üzerinde yapılan testler, sistemin dayanıklılık açısından güvenilir olduğunu kanıtlamıştır. Örneğin, taşıyıcı kapsül üzerindeki altıgen boşluklar mukavemeti azaltma riski taşısa da, yapılan optimizasyonlar bu riskleri minimize etmiş ve kapsülün deformasyon miktarını tolerans sınırlarının içinde tutmayı başarmıştır. Görev yükü mekanik yapısında kullanılan karbon fiber çubuklar ve PLA diskler, tasarlanan kuvvetlere karşı yeterli dayanıklılık göstermiştir. Bu durum, seçilen malzemelerin ve tasarım yaklaşımlarının doğru olduğunu doğrulamaktadır. Elektronik alt sistemlerin performans değerlendirmesinde, LoRa haberleşme modülünün uzun mesafeli iletişim sağlamadaki başarısı dikkat çekicidir. Görev yükü üzerindeki ESP32-CAM modülü, uçuş sırasında alınan görüntülerin yüksek doğruluk ve verimlilikle işlenmesini sağlamıştır. Mekanik filtreleme sistemi, uzaktan gönderilen komutlara hızlı tepki vererek sistemin işlevselliğini artırmıştır. Bu, özellikle yer istasyonu ile görev yükü arasında sağlanan telemetri veri alışverişinde kritik bir rol oynamıştır. Saha görevleri ve yan görevler sırasında elde edilen sonuçlar, model uydurun belirlenen hız, irtifa ve veri aktarımı gereksinimlerini başarıyla karşılayabildiğini göstermiştir. Görev yükünün hem taşıyıcı kapsülden ayrılma süreci hem de iniş senaryoları başarıyla gerçekleştirilmiş; belirli hız ve konum verilerinin doğruluğu test edilmiştir. Ancak, çalışmada karşılaşılan bazı zorluklar da olmuştur. Özellikle taşıyıcı kapsülün PLA malzemeden üretilmesi, yorulmaya karşı direnç açısından limitli bir performans sergilemiştir. Bu durum, gelecekteki çalışmalarda farklı malzeme türlerinin denenmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, mekanik filtreleme sisteminde kullanılan servo motorların uzun vadeli dayanıklılığı hakkında daha fazla test yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Ek olarak, uydur tarafından çekilen uzay görüntüleri genellikle siyah-beyaz olarak kaydedilir ve sonrasında renk filtreleme işlemleriyle renklendirilir. Bunun temel nedeni, çoğu uydur kamerasının ışık yoğunluğunu belirli dalga boylarında algılayan sensörler kullanması ve insan gözünün gördüğü gibi doğrudan renkli görüntüler üretmemesidir. Uydur görüntülerinin siyah-beyaz olmasının birkaç nedeni vardır. Uydur ışığın belirli dalga boylarındaki yoğunluğunu ölçen sensörler kullanır ve bu sensörler ham veriyi gri tonlamalı olarak kaydeder. Ayrıca, birçok uydur insan gözünün göremediği dalga boylarında (kızılötesi, ultraviyole, mikrodalga vb.) veri toplar ve bu tür görüntüler renkli değil, yalnızca belirli bir spektral banttaki ışık miktarını gösterir. Siyah-beyaz görüntüler, daha fazla ayrıntıyı koruyarak bilim insanlarının farklı dalga boylarını analiz etmesine de olanak

tanır. Bu görüntülerin renklendirilmesi ise farklı spektral bantlardaki verilerin birleştirilmesiyle yapılır. Eğer uydu, kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) bantlarında veri yakalamışsa, bu bantlar birleştirilerek insan gözünün algılayabileceği gerçek renkli bir görüntü oluşturulabilir. Ancak, görünür ışık dışındaki spektral bantlar kullanılarak yapılan görüntülerde yanıltıcı (false color) renkler uygulanır. Örneğin, kızılötesi görüntülerde sağlıklı bitkiler yakın kızılötesi ışığı güçlü şekilde yansıttığı için kırmızı tonlarında gösterilir. Termal görüntülerde ise sıcaklık farklarını görselleştirmek için mavi soğuk, kırmızı sıcak alanları temsil edecek şekilde renklendirme yapılır[3].

Bu çalışmada geliştirilen Gök-Börü model uydu sisteminde de bahsedilen filtreleme sisteminin bir prototipi gerçekleştirilmiştir ve geliştirilmeye açıktır. Gök-Börü model uydu sistemi hem yarışma gereksinimlerine uygunluk hem de yenilikçi tasarım unsurları açısından başarılı bir performans sergilemiştir. Bununla birlikte, elde edilen bulgular, gelecekteki model uydu projelerinde malzeme seçiminden görev yükü entegrasyonuna kadar farklı alanlarda iyileştirme fırsatları sunmaktadır.

V. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, 2024 Teknofest TÜRKİSAT Model Uydu Yarışması'na katılım sağlayan Gök-Börü model uydu sisteminin tasarım, üretim, entegrasyon ve analiz süreçleri incelenmiştir. Gök-Börü model uydu sistemi, gerçek yapay uydu görevlerinden esinlenerek geliştirilmiş ve TÜRKİSAT tarafından belirlenen yarışma gereksinimlerine uygun olarak başarıyla tamamlanmıştır. Bu süreçte, uydu sisteminin sahip olduğu mekanik ve aviyonik alt sistemler etkin bir şekilde entegre edilmiştir. Tasarım aşamasında yenilikçi yaklaşımlar benimsenmiş ve minimum ağırlık ile maksimum dayanıklılığı sağlamak adına karbon fiber gibi ileri teknoloji malzemeler kullanılmıştır. Gök-Börü'nün modüler yapısı, taşıyıcı kapsül ile görev yükü arasında etkin bir görev dağılımını mümkün kılmıştır. Görev yükünde yer alan mekanik filtreleme sistemi, görüntü işlemede yeni bir perspektif sunarak farklı spektral filtreler yardımıyla detaylı analiz imkanları sağlamıştır. Yapısal analizler doğrultusunda, Gök-Börü sisteminin yarışma sırasında karşılaşılabileceği tüm olası mekanik zorlanmalara dayanabilecek şekilde optimize edildiği görülmüştür. Hem taşıyıcı hem de görev yükü bileşenlerinde gerçekleştirilen stres ve deformasyonu ölçen analizler, sistemin mukavemetini ve güvenilirliğini kanıtlamıştır. Görev yükü ve taşıyıcı kapsül arasındaki kesintisiz veri iletişimi için LoRa tabanlı haberleşme sistemi kullanılmıştır. Uzun mesafeli ve düşük enerji tüketimli bu iletişim teknolojisi, hem yer istasyonu ile hem de taşıyıcı sistem ile görev yükü arasında sorunsuz bir veri alışverişi gerçekleştirmiştir. Ayrıca görev yükü üzerinde yer alan GPS ve ivmeölçer gibi sensörler, uçuş boyunca toplanan verilerin güvenilirliğini artırmıştır. Gök-Börü'nün geliştirilmesi süreci, üniversite öğrencileri için uzay ve uydu teknolojileri alanında pratik bilgi ve deneyim kazandırmayı amaçlamaktadır. Bunun yanı sıra, bu tür yarışmalar, genç mühendislerin proje yönetimi, takım çalışması ve problem çözme becerilerini geliştirmelerine olanak tanımaktadır. Bu prototipte; taşıyıcı ve görev yükü arasında sağladığımız haberleşme ağı, ilerleyen çalışmalarda meshtastic yöntemiyle sürü haberleşmesi alanındaki çalışmalara yönelik ışık tutmaktadır. Mekanik filtreleme yönteminde kullandığımız renkli filtreler yer gözlemi esnasında kızıl ötesi sistemleri prototipleyerek benzer çalışmalar için örnek teşkil etmektedir. Örnek olarak, bitki sağlığı izleme çalışmalarında kullanılan yeşil spektrumlu filtreler bitkilerde fotosentez verimliliği hakkında bilgi vermektedir. Bitkiler sağlıklı olduğu durumlarda daha fazla yakın kızılötesi ışığı yansıtırlar, bu sebeple bu spektral bantlardaki veriler tarım ve orman izleme için önemli olabilmektedir. Su ekosistemini daha yakından gözlemleyebilmek için mavi filtreler kullanılarak su canlıları ve su kalitesi gözlemlenebilmektedir. Toprak ve çölleşme sorunları için kırmızı veya yeşil bantlar kullanılarak toprak durum analizleri yapılarak oluşan sorunlara etkili çözümler üretilebilmektedir.

Sonuç olarak, Gök-Börü model uydu sistemi, tasarım ve üretim süreçlerinin her aşamasında belirlenen hedeflere ulaşmış, başarıyla görevlerini yerine getirmiştir. Gelecekte, bu tür projelerin daha geniş kapsamlı araştırmalar ve inovasyonlar için bir temel oluşturabileceği düşünülmektedir. Bu doğrultuda, Gök-Börü projesi, sadece bir yarışma katılımı değil, aynı zamanda uzay teknolojilerinde yeni fikirlerin ve çözümlerin geliştirilmesine yönelik bir adım olarak değerlendirilebilir.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımızı sürekli destekleyen, bünyesinde bulunduğumuz Düzce Üniversitesine, bizlere her türlü imkanı sunan kıymetli Rektörümüz Sayın Prof. Dr. Nedim SÖZBİR'e, engin tecrübeleri, yüksek bilgi birikimi ve limitsiz enerjisiyle bizlere her daim önderlik eden kıymetli danışman hocamız Sayın Doç. Dr. Murat BULUT'a, yarışma süreçlerinde desteklerini esirgemeyen sponsor firmalarımız Pivot Door, Infinity 360, Ankamach ve Veltech'e; DÜSAT Model Uydu Takımı ve Delta Roket Takımı olarak sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Human-Made Satellites.Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite>
- [2] J17_2024_DÜJST_Sozbir_Bulut_Gulgonul_Kuzu_Dur” Space Activities and the Simultaneous Development of the Economy in Türkiye”, “Düzce Üniversitesi Journal of Science & Technology” 12 (2024) 798-826.
- [3] NASA’s Landsat Program. The Landsat 7 Compositor <http://landsat.gsfc.nasa.gov/education/composition>

Bir Haberleşme Uydusu Yıldız İzlerinin Isıl Kontrolü

Altuğ Okan^{a}, Nedim Sözbir^b*

^aTübitak Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü ODTÜ Ankara/Türkiye.

^bDüzce Üniversitesi, Düzce/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: altug.okan@tubitak.gov.tr

ÖZET

TÜRK SAT 6A uydusunda TÜBİTAK UZAY tarafından geliştirilen yıldız izler ekipmanı optik ve elektronik birimi olarak iki ekipmandan oluşmaktadır. Optik birim uzaya bakar konumda konuşlandırılırken elektronik birim olan Yıldız İzler Deneyisel Elektronik (YIDE) uyduda radyatör alanı olmayan dünya panelinde uydu içinde konuşlandırılmıştır. Gerçekleştirilen uydu seviyesi ısı analizlerinde YIDE'nin CFRP panele doğrudan montajı sonucunda, YIDE'nin sıcaklığının yaklaşık 63°C'ye çıktığı görülmektedir. YIDE'nin bulunduğu uydu içi ortamın sıcaklığının azami 45°C olması varsayımı ve ekipmanın sıcaklık referans noktasının 50°C ve altında kalma hedefi dikkate alınarak, 23.3W tüketen YIDE'nin ürettiği ısıyı iletim ile uzaklaştırmak ve ısıнын azami soğutma plakası alanı kullanarak uydu içine ısınım ile ısı atımı için YIDE ile CFRP panel arasına bir soğutma plakası çözümü üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. YIDE'nin konuşlandığı bölgede yer kısıtı nedeniyle soğutma plakası için azami 885mm x 400mm'lik alan öngörülmüş olup hızlı çözüm için soğutma plakalı indirgenmiş bir ısı matematiksel model oluşturulmuştur. CFRP panel için varsayılan 45°C'lik sınır koşulu YIDE'nin sıcaklıklarını aşağı çektiği görülmüşü nedeniyle en kötü durum olarak sadece uydu ortamını 45°C sınır koşul olarak varsayarak ısı matematiksel güncellenmiştir. Farklı kalınlıklardaki soğutma plakası ve farklı iletim değerleri kullanılarak benzetimler gerçekleştirilmiş olup 1mm soğutma plakasının YIDE'nin sıcaklığını yaklaşık 3°C düşürdüğü, ancak soğutma plakası kalınlık arttıkça sıcaklık düşüşünün yavaşladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Haberleşme uydusu, Isıl kontrol, Yıldız izler.*

I. GİRİŞ

TÜRK SAT 6A haberleşme uydusu yer sabit yörüngede 42° doğu boylamında yer alan Türkiye'nin yerli ve milli olarak tasarlanan ve üretilen ilk haberleşme uydusudur. 8 Temmuz 2024 tarihinde uzaya gönderilen TÜRK SAT 6A uydusu yaklaşık 4220kg ağırlıkta, 1780kg kuru kütleye sahiptir. Projenin kazanımları arasında yer sabit yörünge geliştirme altyapısı, yetişmiş insan kaynağı ve tarihçe kazandırılan birçok ekipman özetlenebilir [1].

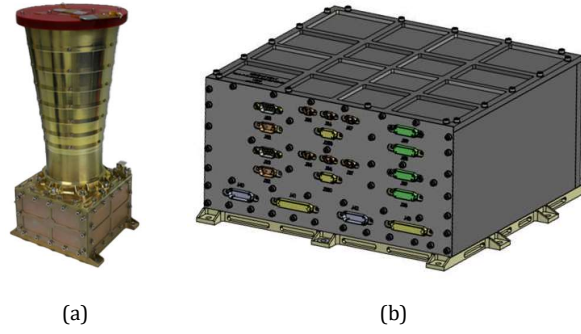


Şekil 41. TÜRK SAT 6A

Haberleşme uydularında ısı kontrol çalışmaları [2]'deki gibi platform ve özellikle faydalı yük üzere yoğunlaşmıştır. Platform ısı kontrolü faydalı yük harici diğer tüm alt sistemleri barındırır.

Platform alt sistemlerinden yönelim ve yörünge kontrol sisteminin kritik ekipmanlarından birisi yönelim belirleme ihtiyacını sağlayan yıldız izlerdir. Yıldız izler, TÜBİTAK UZAY tarafından tasarlanmış, üretilmiş ve

test edilerek doğrulanmıştır. Yıldız izler optik ve elektronik olmak üzere iki birimden oluşmakta olup Şekil 42’de gösterilmiştir.



Şekil 42. Yıldız izler (a) Optik birim (YIDOP) (b) Elektronik birim (YIDE)

Yıldız İzler DeneySEL Elektronik (YIDE) uyduda içinde dünya panelinde konuşlandırılmıştır. Bulunduğu konum itibarıyla uyduda radyatör yüzeylerine uzak noktada konuşlanmaktadır ve ekipmanın yer değiştirmesi yerleşim kısıtlarından dolayı mümkün değildir. Buna ek olarak, ekipmanın azami ısı yayılımı 23.3W olup bu ısıyı bağlı olduğu CFRP panele ve bulunduğu uyduda iç ortamına atması gerekmektedir. Yapılan benzetimlerde uyduda iç sıcaklığının azami 45°C’ye ulaşması ve YIDE’nin herhangi bir radyatör yüzeyine yakın olmaması bu ekipmanın 63°C’ye ulaşacağı, yani ekipman çalışma sıcaklık üst sınırını aşacağı anlaşılmıştır.

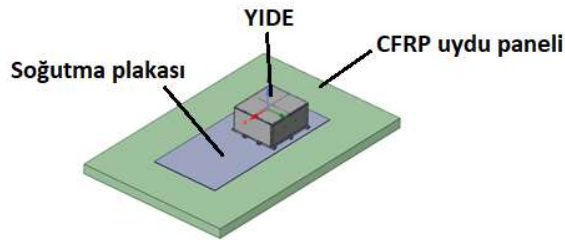
YIDE’nin çalışma sıcaklık aralığı için sıcaklık referans noktasının 50°C ve altında kalması istenmektedir. Bu nedenle bu çalışmada YIDE’nin üzerinde biriken ısıyı uzaklaştırabileceği ve mevcut uyduda ortamına azami miktarda ısıyı atabileceği maliyet etkin bir çözüm yaratmak hedeflenmiştir. Bu sayede sıcaklık aralığı gereksinimleri ile YIDE’nin uyduda ömrü boyunca sağlıklı çalışacağı garanti altına alınabilecektir.

Bu hedef doğrultusunda YIDE’nin ürettiği ısıyı iletim ile uzaklaştırmak ve ısıyı azami soğutma plakası alanı kullanarak uyduda içine ısı yayılımını arttırmak için soğutma plakası çözümü üzerine yoğunlaşmıştır.

II. SOĞUTMA YÖNTEMİ VE ANALİZ ÇALIŞMALARI

Haberleşme uydularında ısı kontrol soğutma çalışmaları radyatör yüzeyleri ile gerçekleşmekte, radyatör alanları ile gerekli sıcaklık istekleri sağlanabilmektedir [3]. Boyutları 250mm (en) x 278mm (boy) x 144 mm (yükseklik) olan YIDE çoğu elektronik ekipman gibi ısıyı tabandan atmaktadır ve yapısal tasarımı gereğince ısı yayılım ile ısı transferi iletim kadar elverişli değildir. Ekipmanın montajının yapılacağı CFRP panelin düşük ısı iletim değerine sahip olması nedeniyle YIDE’nin ısıyı aktarabileceği ısı yayılım bağlantısının yanı sıra iletim bağlantısı da düşük kalmaktadır. Bu nedenle ısı iletimi iyi olan başka bir yapıya iyi bir bağlantı yaparak ve bu yapının yüzeyini kullanarak ısıyı uyduda içine aktarmak en etkin yol olarak görülmektedir. Bu kapsamda söz konusu yapı için öngörülen çözüm ise ısı iletimi iyi olan Alüminyum soğutma plakası kullanmaktır.

Yer kısıtları dikkate alınarak, soğutma plakasının azami alanı 885 mm x 400 mm olarak tanımlanmıştır. CFRP panel üzerinde YIDE ve soğutma plakasının örnek yerleşimi Şekil 43’te gösterilmiştir.



Şekil 43. Soğutma plakalı YIDE örnek yerleşimi

Isıyı uzaklaştırmak ve ısı yayılımı yoluyla uyduda içine ısıyı atabilmek için YIDE’nin basma alanı 0.071m² çıkarılarak ve kablajdan dolayı kayıpla birlikte etkin soğutma plakasının 0.25m² olacağı varsayılarak plaka alanı için en kötü durum varsayılmıştır. Plakanın azami ısı yayması için uyduda bakan plaka yüzeyinin ise siyah boya olduğu ($\epsilon_{IR} \geq 0.85$) varsayılmıştır.

A. Sınır Koşulları Belirleme

YIDE’nin bulunduğu ortamın yani uyduda içinin sıcaklığının azami 45°C varsayılması nedeniyle oluşturulacak ısı matematiksel modelde sınır koşulların da 45°C olma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Çözüm yöntemi olarak düşünülen soğutma plakasının üst kısmının YIDE'ye, alt kısmının da uydu yapısal birimine bağlı CFRP panel olması nedeniyle ısı iletimi düşük olan bu yapısal panelin etkisinin incelenmesi gereklidir. Bu kapsamda, oluşturulan ısıl modeldeki ilk hesaplamalarda ilk 2 durumda CFRP panelin sınır koşul oluşturacağı varsayılarak YIDE ve soğutma plakası arasındaki farklı iletim değerleri incelenmiştir. İlk durumda YIDE ile soğutma plakası arasında ideal temas varsayılırken ikinci durumda kuru temas ("dry contact") olduğu varsayımı ile sıcaklıklar hesaplanmıştır. CFRP panelin YIDE'deki ısıyı iletmemesi nedeniyle soğutma plakasından CFRP panele ısı aktarımı oldukça sınırlı olacağı için üçüncü durumda CFRP panel ısıl modelden çıkarılmıştır. YIDE ve soğutma plakalı model ve aralarında kuru temas varsayımı ve uydu iç yüzeylerinin sınır koşul olarak varsayımı ile analizler tekrarlanmış ve Tablo 10'deki YIDE sıcaklıkları hesaplanmıştır.

Tablo 10. En kötü durum belirlemek için oluşturulan 3 farklı durum ve hesaplanan sıcaklıklar

Durum #	Sınır Koşul [°C]		İletim [W/m²K]	ε _{IR}	Hesaplanan Sıcaklıklar [°C]	
	CFRP Panel	Uydu İçi	YIDE – S. Plakası	YIDE / S. Plakası / CFRP Panel	YIDE TRP	YIDE Azami
1	45	45	İdeal	0.85 / 0.85 / 0.85	50	71.1
2	45	45	500 W/m²K	0.85 / 0.85 / 0.85	52	74.5
3	-	45	500 W/m²K	0.85 / 0.85 / -	55	76.7

Özet olarak Tablo 10'de verilen durumlarda CFRP panelin sınır koşulu alındığı ortamın YIDE'nin azami sıcaklığını düşürdüğü görülmüştür. CFRP panel ile soğutma plakası arasındaki ısıl direncin de yüksek olacağı varsayımı ile Durum 3'te yer alan konfigürasyon ile ısıl tasarım ve analiz faaliyetlerine devam edilmiştir. Burada görülmektedir ki YIDE'nin ekipman sıcaklığını gösteren sıcaklık referans noktası ("Temperature Reference Point - TRP") 50°C'nin üzerinde yer almaktadır.

B. Isıl Ağ Yöntemi

Isı transferi denklemini her düğüm noktası için sayısallaştırarak, elektriksel ağ benzerliği ile düğümler arası ısı transferi ağı kurarak ısı transferi denklemini çözme yöntemi ısıl ağ yöntemi olarak adlandırılır. Bu yöntem uyduların ısıl analizinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir [3],[4]. Bu yöntemde birim hacimdeki enerji denklemi

$$\dot{q}_{gen} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

iken her parametresi için sayısallaştırılma yapılması ardından

$$\dot{Q}_i^n + \sum_j^N K_{i,j} (T_j^n - T_i^n) + \sum_j^N R_{i,j} \left((T_j^n)^4 - (T_i^n)^4 \right) = m_i C_p i \left(\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

eşitliği ortaya çıkar. Burada $K_{i,j}$ ve $R_{i,j}$ sırasıyla i ve j düğümleri arasındaki iletim ve ışıyım bağlantılarını tanımlar.

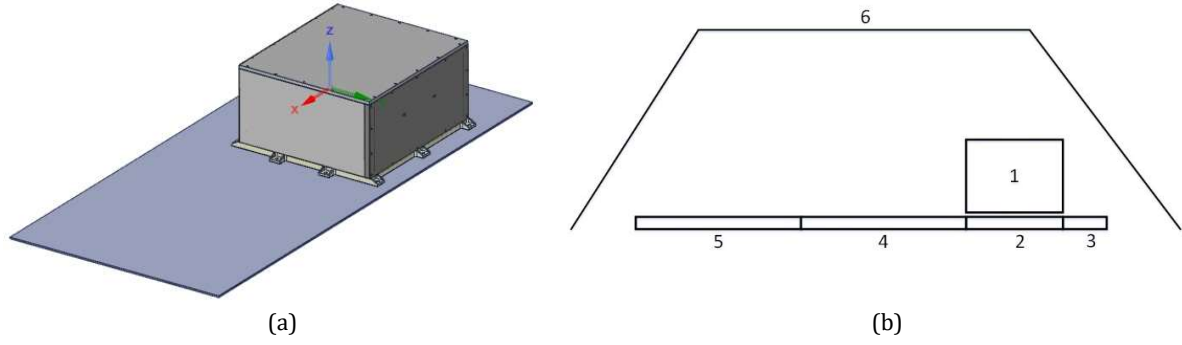
$$K_{i,j} = \frac{A_{i,j}^c \cdot k_{i,j}}{L_{i,j}} \quad (3)$$

$$R_{i,j} = \sigma \cdot A_{i,j}^r \cdot \zeta \quad (4)$$

Bu denklemlerde k ısı iletim katsayısını, A^c iletim alanını, A^r ışıyım alanını, L iki düğüm arasındaki uzaklığı, ζ ışıyım değiştirme (Gebhart) katsayısını, σ ise Stefan-Boltzmann sabitini temsil etmektedir.

C. Isıl Matematiksel Model

Uydu iç yüzeyine bakan YIDE ve soğutma plakası için indirgenmiş bir ısıl matematiksel model hedeflenmiştir. Bu modelin amacı hızlı bir çözüm ağı oluşturarak plaka kalınlığı ve termo-optik özellikler ile oynayarak uygun tasarım çözümü bulabilmek ve hassasiyet analizleri ile parametrelerin etkisini görebilmektir. YIDE, soğutma plakası ve uydu iç yüzeyini barındıran 6-düğümlü indirgenmiş ısıl matematiksel modelin temsili gösterimi Şekil 44'te verilmiştir.



Şekil 44. (a) Ayrıntılı geometri (b) İndirgenmiş ısı matematiksel model

İndirgenmiş ısı matematiksel modelin düğüm bilgileri Tablo 11’de yer almaktadır. YIDE ve soğutucu plakanın malzemesi Al6061 olup uydu iç yüzeyi ise sabit sıcaklıkta ($T_6 = 45^\circ\text{C}$) olduğu için sınır düğüm olarak varsayılmıştır. Zamandan bağımsız analizler kapsamında enerji denkleminin sağ tarafı 0 olacağı için $m \cdot C_p$ değerinin verilmesine gerek yoktur.

Tablo 11. İndirgenmiş ısı matematiksel modelde düğüm bilgisi

Düğüm no	Açıklama
1	YIDE
2	YIDE’nin bağlandığı soğutucu panel
3	Soğutucu panel
4	Soğutucu panel
5	Soğutucu panel
6	Uydunun iç yüzeyi

Düğümler arasındaki iletim ve ısıyım bağlantıları Tablo 12’te verilmiştir.

Tablo 12. İndirgenmiş ısı matematiksel model iletim ve ısıyım bağlantıları

Düğüm i	Düğüm j	Isı İletimi [W/K]	İletim Tipi
1	2	35.5*	İletim
2	3	1.04	İletim
2	4	0.76	İletim
4	5	0.80	İletim
1	6	1.88E-1	Isıyım
3	6	3.27E-2	Isıyım
4	6	7.48E-2	Isıyım
5	6	7.48E-2	Isıyım

*0.071m²’lik taban alanına tekabül etmektedir.

İletim bağlantıları soğutma plakasının kalınlığına bağlıdır. Tablo 12’de verilen iletim bağlantılarında soğutma plakası örnek olarak 3 mm varsayılmıştır. Benzer şekilde ısıyım bağlantılarında da soğutma plakasının uydu iç yüzeyine ısıyı daha iyi aktarabilmesi için yüzeyin siyaha boyandığı ($\epsilon = 0.85$) varsayılmıştır.

III. ANALİZ SONUÇLARI

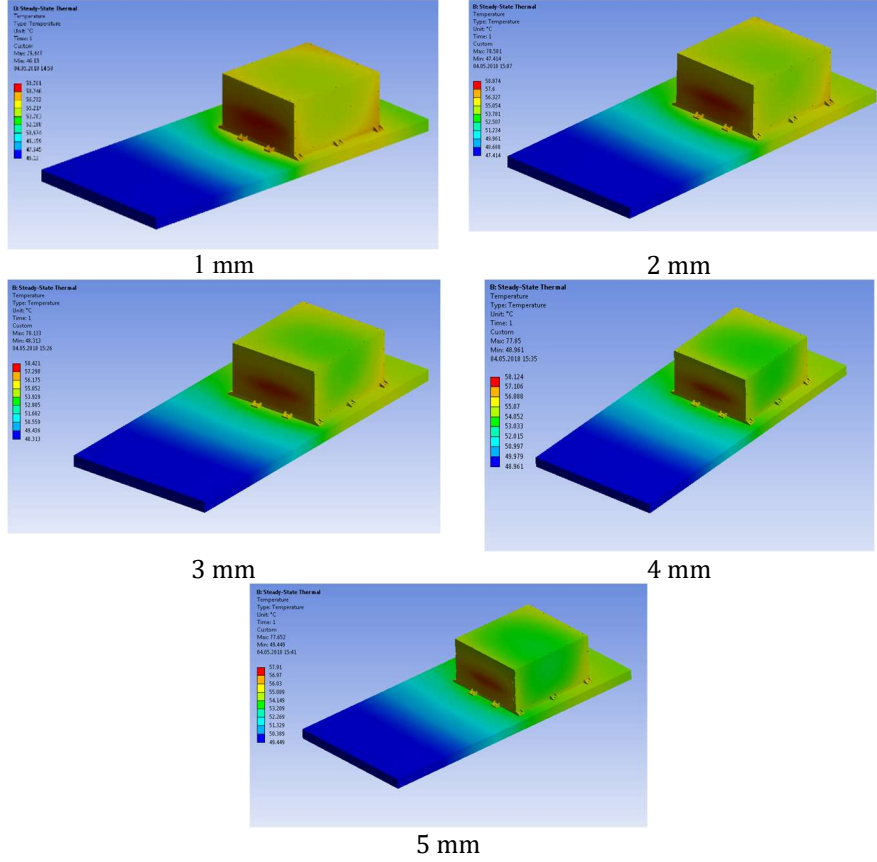
Gerçekleştirilen zamandan bağımsız ısı analizlerde soğutma plakasının kalınlığına bağlı olarak modelin sıcaklıkları Tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 13. Soğutma plakası kalınlığına bağlı analiz sonuçları

Plaka kalınlığı	Sıcaklıklar [$^\circ\text{C}$]				
	YIDE	YIDE-Plaka	Plaka		
	Düğüm 1	Düğüm 2	Düğüm 3	Düğüm 4	Düğüm 5
1 mm	59.8	59.7	53.5	48.8	46.2
2 mm	58.6	58.4	54.9	50.1	47.5
3 mm	57.9	57.7	55.2	50.9	48.5
4 mm	57.4	57.2	55.3	51.4	49.2
5 mm	57.1	56.8	55.3	51.7	49.8

İndirgenmiş ısıl modelin doğrulanması amacıyla mevcut YIDE üzerinde soğutma plakası eklenmesi ve gerekli sınır koşulların tanımlanması ardından ayrıntılı ısı analizler gerçekleştirilerek aynı kalınlıklar için analizler tekrarlanmıştır.

Tablo 14. Soğutma plakası kalınlığına bağlı ayrıntılı ısıl model sonuçları

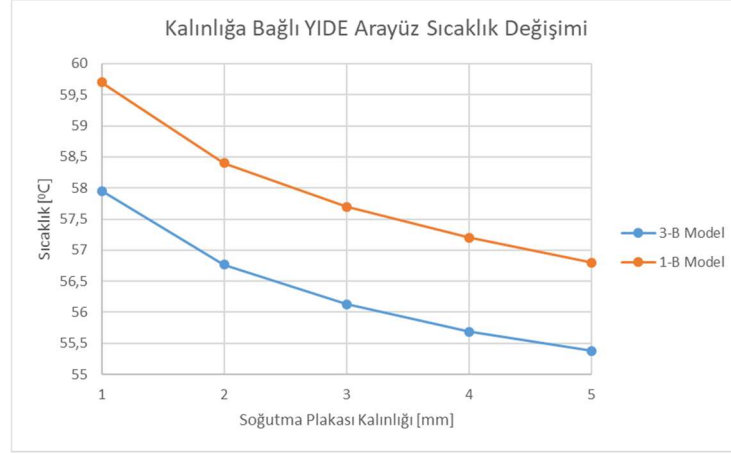


İndirgenmiş ısıl matematiksel model ile elde edilen sonuçların ayrıntılı model sonuçları ile karşılaştırması Tablo 15’de verilmiştir. Soğutma plakası kalınlığına bağlı YIDE arayüz sıcaklık değişimi ise her iki model için Şekil 45’de verilmiştir.

Tablo 15. İndirgenmiş ve ayrıntılı ısıl model sonuçlarının karşılaştırılması

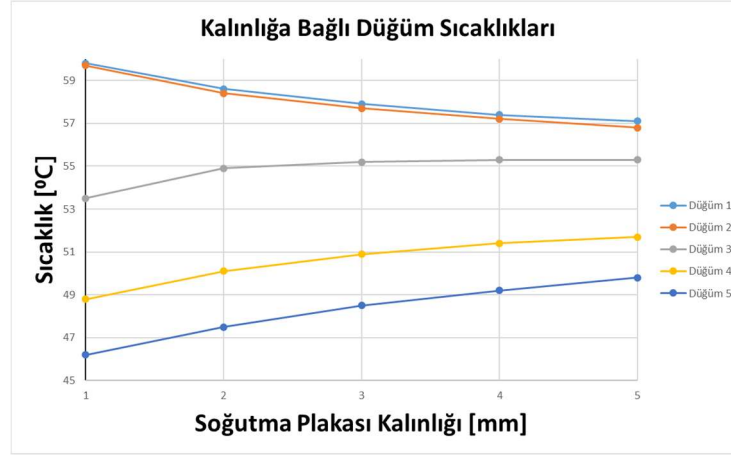
Plaka kalınlığı	1-B İndirgenmiş model arayüz sıcaklığı [°C]	Ayrıntılı model arayüz sıcaklığı [°C]	ΔT [°C]
1mm	59.70	57.95	1.75
2mm	58.40	56.77	1.63
3mm	57.70	56.13	1.57
4mm	57.20	55.69	1.51
5mm	56.80	55.38	1.42

Ayrıntılı modelde YIDE’nin sıcaklık dağılımı homojen olmadığı için arayüz sıcaklıkları baz alınmıştır.



Şekil 45. Soğutma plakası kalınlığına bağlı YIDE arayüz sıcaklığı karşılaştırması

Soğutucu plakanın kalınlığına göre indirgenmiş ısı matematiksel modelde sıcaklık değişimi etkisi Şekil 46'da verilmiştir.



Şekil 46. Soğutma plakası kalınlığına göre YIDE ve plaka sıcaklıkları

IV. SONUÇ

Bu çalışmada dünya panelinde konuşlanıp uyduda radyatör alanı olmayan bölgede CFRP panele bağlı YIDE'nin sıcaklık referans noktasındaki sıcaklığını 50°C ve altında kalması için bir soğutma plakası çözümü üzerine çalışma yapılmıştır. Bu pasif yönetim metodu temel alınarak, 45°C'lik azami uydu iç ortamı varsayımı ile yapılan analizlerde en kötü sıcak durum için CFRP panel ve ısı dirençler hususunda çalışma yapılarak indirgenmiş bir ısı matematiksel model oluşturulmuştur. Ayrıntılı ısı model ile uyumlu indirgenmiş model kullanılarak yapılan analizlerde 23.3W'lık ısı yayılımı ile plakasız 63°C'ye ulaştığı ekipman sıcaklığı soğutma plakası ile kalınlığa bağlı olarak 3°C ila 6°C arasında soğuduğu, ancak sıcaklık düşüşünün kalınlığa bağlı yavaşladığı görülmüştür. Uydunun kütle bütçesine yaklaşık 1 kg/mm etkisi olan plakanın getirisi olarak sağlayacağı sıcaklık düşüşünün ekipman sıcaklığını 50°C'ye çekmesi zordur. Bu nedenle tahmin edilen uydu içi azami sıcaklığının yaşanma sıklığı kontrol edilerek nominal operasyonlar için daha düşük bir uydu iç sıcaklığı ile bu gereksinimi sağlamak mümkün olacaktır. Ayrıca, YIDE'nin kabul test sıcaklıklarının yükseltilmesi gibi çözümlerin de bulunması soğutma plakası kaynaklı kütle artışını da kısıtlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu bildiriye konu TÜRKİSAT 6A Yerli Haberleşme Uydusu Geliştirme ve Üretimi projesi kapsamında destekleri için TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] (2024) TÜRKİSAT 6A – TÜBİTAK UZAY website. [Online]. Available: <https://uzay.tubitak.gov.tr/turksat-6a/>
- [2] N. Sozbir, and M. Bulut. "Thermal control of CM and SM panels for Turkish satellite". No. 2009-01-2376. *SAE Technical Paper*, 2009.

- [3] M. Bulut and N. Sözbir. "Optimized analytical solution of platform panel radiative area dimensioning of geostationary communications satellites: a practical approach." *Sakarya University Journal of Science*, 23.5: 986-992, 2019.
- [4] A. Okan. "Thermal network method applications to problems related with the thermal analysis of small satellites", MS thesis. Middle East Technical University, 2002.

The dynamic transformation of Space Law and the new challenges

Feruzjola Spahia (Avxhi)

Kocaeli University, Faculty of Law; Director of Law Department on Kukes Municipality, Kukes, Albania.

*Corresponding Author: feruzjola.spahia@gmail.com

ABSTRACT

The development of human civilization is a leading factor in expanding the boundaries of such science as international law. Space law is the body of law that governs human activities in outer space. It's a complex and evolving field that addresses a wide range of issues, including: The exploration and use of outer space; The prevention of harmful interference; Liability for damage caused by space objects; The rescue of astronauts; The protection of the space environment, etc. The realm of space law is undergoing a significant transformation, driven by rapid technological advancements and the increasing commercialization of space activities. The transformation of space law is an ongoing process, as legal frameworks adapt to the dynamic landscape of space activities. This evolution requires a collaborative effort involving states, international organizations, private companies, and legal experts to ensure that space is used responsibly, sustainably, and for the benefit of all humankind.

Keywords: *Space Law, Transformation, Regulation, State, International.*

I. INTRODUCTION

The advancement of human civilization plays a crucial role in broadening the scope of fields like international law. The law of the sea came into being as humans explored and conquered the oceans. Similarly, the regulation of air space emerged from the advent of aviation and the exploration of the skies. In this way, a new branch of international law—the law of airspace—was established. Now, outer space is becoming the next frontier, driven by humanity's efforts to explore and dominate space.

Most of the leading scientists consider the date of the beginning of legal relations concerning space exploration as 1957, which was well-known as the year when the first artificial satellite had been launched into Earth. At that time, there were no comments or objections from other states concerning this event. There was no state which asked the question of sovereignty. The lack of protest from the members of the international community led to the freedom of scientific exploration in space.' Ref.[1]. This rule helps to expand the area of space research (Tronchetti, 2013).

II. WHAT IS SPACE LAW

Space law refers to the body of law and legal principles, agreements, and treaties that govern human activities, the exploration and use of outer space. It aims to regulate the activities of states, organizations, and private entities in space, ensuring that space activities are conducted responsibly and peacefully. These laws are established by the United Nations and cover various aspects such as the exploration, use, and liability for space objects.

Space Law ensures that space activities are conducted in a responsible and cooperative manner, while also protecting the freedom of exploration and prohibiting certain activities, such as the use of nuclear weapons. 'Ref. [2].

Space law is a field of law that governs activities and objects beyond Earth's atmosphere. It originally developed as part of public international law, mainly consisting of treaties and non-binding legal frameworks that guide the actions of states. As time has passed, space law has broadened to include national laws and regulations created by individual countries, as well as private international law, which addresses the interactions between non-state actors from different countries.

The term "space law" is most often associated with the rules, principles and standards of international law appearing in the five international treaties and five sets of principles governing outer space which have

been developed under the auspices of the United Nations. In addition to these international instruments, many states have national legislation governing space-related activities 'Ref. [3]'.

Some key elements of space law include:

1. **International Treaties and Agreements:**

- **The Outer Space Treaty (1967):** The cornerstone of space law, this treaty establishes that space shall be used for peaceful purposes, prohibits the placement of nuclear weapons in space, and ensures that space activities are open to international cooperation.
- **The Rescue Agreement (1968):** Ensures that astronauts are provided with assistance in emergencies and returned to their country of origin.
- **The Liability Convention (1972):** Establishes liability for damage caused by space activities, both on Earth and in space.
- **The Registration Convention (1976):** Requires countries to register space objects with the United Nations to promote transparency and accountability.
- **The Moon Agreement (1984):** Attempts to regulate the use of resources on the Moon, though it has not been widely adopted.

2. **National Laws and Regulations:** Each country that engages in space activities may have its own set of laws governing space exploration, satellite use, and commercial space ventures. National space legislation can be contained in unified acts or a combination of national legal instruments. Furthermore, some States have adapted their national legal frameworks according to the specific needs and practical considerations of the range of space activities conducted and the level of involvement of non-governmental entities. These laws often address issues like licensing for private companies, space traffic management, and compliance with international obligations.

3. **Commercial Space:** With the rise of private companies like SpaceX, Blue Origin, and others, space law is increasingly focusing on commercial space activities, such as satellite launches, space tourism, and asteroid mining.

4. **Space Traffic Management and Space Debris:** The growing number of objects in space has led to concerns about space debris and the need for regulations to avoid collisions and ensure the sustainability of space activities.

In summary, space law is a blend of international treaties, national regulations, and emerging norms designed to manage the complex and expanding activities in outer space.

III. A WALK THROUGH THE HISTORY: THE TRANSFORMATION OF THE INTERNATIONAL SPACE LAW

The development of international space law has been a fascinating journey, evolving alongside humanity's increasing exploration and use of outer space. Initially, space law was shaped by international cooperation, as nations realized the importance of regulating space activities to ensure peaceful and fair use.

The transformation of international space law has evolved significantly since its inception in the mid-20th century. As space activities have expanded, both in scope and complexity, space law has adapted to address new challenges, such as the rise of private space ventures, the increased reliance on satellites, and concerns about space debris and the militarization of space.

Here's a breakdown of the major transformations in international space law:

A. **EARLY FOUNDATIONS: INITIAL SPACE ACTIVITY (1954-1962): Military Priority for Nuclear Missile Detection**

The period from 1954 to 1962 marks the early phase of space exploration, where the focus was primarily on military objectives, particularly for nuclear missile detection and national security concerns. The Cold War rivalry between the United States and the Soviet Union drove much of the space activities during this time, with both superpowers keen on establishing dominance in space.

In the late 1950s, both countries recognized the potential of space for surveillance and intelligence gathering. The Space Age began with the launch of Sputnik in 1957, which set off a global interest in space exploration.

The *space race amplified the Cold War*, which was marked by an arms race. The development of *atomic bombs*, launched by ballistic missiles, justified the dispatch of *spy satellites*, in parallel with scientific developments. Based on the experience of exploration missions to the poles, discussions on space turned to ways of partially demilitarizing scientific research by participating in open civilian programs: satellite programs were envisaged with a view to organizing the 1st International Geophysical Year, which was to be marked by the launch of the first artificial satellite in 1954. This was a step towards scientific sharing, including the sharing of technical information for peaceful purposes. Beyond science, tensions remained

persistent: the *launch of Sputnik* (1957) versus the Explorer missions (1958) and the Vanguard program (1955-1959, launcher + satellite, 9 failures out of 12 launches).

The **U.S.** launched the *Corona* program in 1959, which used satellites for photo-surveillance of Soviet territory. These satellites were equipped with high-resolution cameras and launched into orbit to gather intelligence on enemy activities.

In addition to reconnaissance, the U.S. military prioritized space-based systems for detecting nuclear missile launches. The idea was to create an early warning system to detect ballistic missile launches, providing critical intelligence in case of an attack. The *Defense Early Warning System (DEWS)* was conceptualized to detect any missile launches from the Soviet Union, and although not yet fully operational, it set the stage for the future development of space-based missile detection.

During the same time, the **Soviet Union** was making its own strides in space, with a strong emphasis on military applications. In 1957, the Soviet Union launched *Sputnik 1*, the first artificial satellite, marking the beginning of the space race. This was followed by *Sputnik 2*, which carried the first living being, the dog Laika, into orbit. These milestones showed the world that space could be used for both scientific and military purposes, significantly influencing global geopolitical dynamics.

In 1963, to combat nuclear proliferation, the Moscow Treaty was signed, banning nuclear weapons tests in and outside the atmosphere 'Ref. [4]'.

The military's dominance in early space activities was also reflected in the priorities of both countries' space programs, with a focus on surveillance, missile detection, and gaining strategic advantages over the other. This militarization of space, while crucial for national security, would later form the backdrop for the creation of international treaties aimed at regulating space activities and ensuring that space would be used for peaceful purposes.

B. The Creation of the Foundations of Space Law: THE SPACE TREATIES (1962-1970)

The failure to identify such limit has not prevented the emergence of international agreements aimed at regulating cosmic space. As space exploration progressed, particularly following the Cold War era and the space race between the United States and the Soviet Union, it became increasingly clear that there needed to be a legal framework to govern space activities and prevent conflict. The establishment of space law was essential to ensure that space would be used for peaceful purposes, promote international cooperation, and regulate the activities of both state and non-state actors in space. This led to the creation of key treaties, which form the basis of modern space law. The legal perimeter can be represented as a pentagon whose sides are determined by agreements made between the late 60s and late 70s.

The fil rouge linking these agreements is the idea – at times explicit, at times not -that outer space as well as the activities and benefits deriving from it should be aimed at improving the well-being of all members of the international community and, in general, of humanity, with an emphasis on promoting international cooperation. Preceding these space law agreements, the Treaty on the partial ban on nuclear tests of 1963 had a significant impact on cosmic law to the extent that prohibited nuclear experiments in the atmosphere and in space, precisely because, in the midst of the Cold War, the primary objective was to avoid the cosmos to become a battlefield between super Powers, giving concrete form to the theory of mutual assured destruction. 'Ref. [5].'

The launch of *Telstar 1*, the first active communications satellite, marked a significant milestone in telecommunications in **1962**. This satellite allowed for live broadcasts of television across the Atlantic Ocean and demonstrated the potential of space-based technologies for civilian uses.

In **1960s** was the development of early reconnaissance satellites, such as *CORONA* (U.S.), used for military intelligence gathering, started the trend of using space for surveillance and security purposes.

The creation of the foundations of space law is primarily anchored in the development of international agreements known as the **Space Treaties**. These treaties were established to provide a legal framework for space exploration, ensuring peaceful cooperation and the responsible use of outer space by all nations. The foundation of space law is based on principles of international cooperation, freedom of exploration, non-appropriation, and the peaceful use of space. The core space treaties include:

B.1. Early Space Exploration and Telecommunications

B.1.1. The Outer Space Treaty (1967):

- **The Outer Space Treaty, the cornerstone of space law or formally known as the Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies, was adopted on January 27, 1967 and entered into force on October 10, 1967. It forms the cornerstone of international space law and outlines key principles regarding the use and exploration of outer space.**
- **This treaty provided the first legal framework for space exploration and established the concept of international cooperation in space.**
- **The main provisions include:**
- **Freedom of Exploration and Use:** Outer space is free for exploration and use by all countries, with no sovereignty over outer space or celestial bodies. There are no restrictions on which countries can explore or use space.
- **Non-appropriation of Space:** Space, including celestial bodies like the Moon, cannot be claimed by any country or used for territorial ownership. This principle emphasizes the international nature of space.
- **Peaceful Purposes:** Space activities, the exploration and use of space must be for peaceful purposes. Military activities are prohibited, though peaceful military uses (such as communication satellites) are allowed.
- **International Cooperation:** States are encouraged to cooperate in space exploration and development. The Treaty promotes sharing scientific information and collaborating on space missions.
- **Liability for Damages:** Countries are liable for any damage caused by their space activities to other countries' space objects and on the surface of Earth.
- **Avoidance of Harmful Contamination:** Activities in space must avoid harmful contamination of space and celestial bodies.
- **No military bases:** The deployment of nuclear weapons or any other weapons of mass destruction is prohibited in space.
- **Responsibility:** States are responsible for the activities of their private actors (such as commercial companies) in space.

B.1.2. The Rescue Agreement (1968)

The **Agreement on the Rescue of Astronauts, the Return of Astronauts, and the Return of Space Objects** (commonly known as the **Rescue Agreement**) was adopted on **April 22, 1968**, and entered into force on **December 3, 1968**, now ratified by 98 States. The Rescue Agreement places an obligation on States to provide assistance to astronauts in distress and to cooperate in order to allow their smooth return to Earth, as well as to take the necessary measures to recover fallen space objects (an obligation that falls on the country of launch if the object falls into a territory not subject to the sovereignty of any State). This agreement supplements the Outer Space Treaty by focusing on the safety and well-being of astronauts. Its key provisions include:

- **Assistance to Astronauts:** States must assist astronauts in distress, whether they are on land or in space.
- **Return of Astronauts:** If an astronaut is found on the territory of another country or their spacecraft is damaged, the country must return the astronaut to their home country.
- **Return of Space Objects:** The agreement also covers the return of space objects that might land in another state's territory, emphasizing the need for cooperation in the return of such objects.

B.2. Expansion of Satellite Systems

In **1970s** was the launch of *Landsat*, the first Earth-observation satellite system by NASA, began a new era in using space for environmental monitoring and scientific research.

During the 1970s and 1980s, the growth of space exploration led to further treaties and legal frameworks:

B.2.1. The Liability Convention (1972)

Than *The Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects*, signed on March 29, 1972 was adopted and entered into force on **September 1, 1972**. The so-called **Space Liability Convention**, ratified by 98 States, outlines a dual liability regime of the State of launch: absolute strict liability (i.e. against which no cause of justification is allowed) for damage caused by objects launched into

orbit to the earth's surface or to aircraft in flight and a liability for fault (according to which the State is liable only if the damage results from its own fault or the fault of persons for whom it is responsible) for damage caused to other space objects, including persons and/or property on board such object. This treaty addresses the issue of liability for damage caused by space objects. Its main provisions include:

- **Liability for Damage:** States are liable for damage caused by their space objects, whether in space or on Earth. This liability applies to damage caused to other countries' space objects or to other entities.
- **State Responsibility:** If the damage is caused by a space object in orbit or on the surface of a celestial body, the launching state is responsible for compensating the affected party.
- **Claims and Settlements:** A procedure is established for claims and dispute resolution in the event of damage caused by space objects.

B.2.2. The Registration Convention (1976)

Later, *The Convention on Registration of Objects Launched into Outer Space*, signed on January 14, 1975, drawn up: the so-called **Registration Convention**, to which 69 countries currently adhere, aimed at drawing up a registry of space objects, both in the State of launch and at the Secretary-General of the United Nations. The Registration Convention aims to enhance the transparency of space activities and provides a framework for registering space objects with the United Nations. The key provisions include:

- **Registration of Space Objects:** States are required to provide details about space objects launched into orbit, including their purpose, orbit, and the launching state.
- **Transparency:** By requiring this registration, the convention aims to increase transparency and accountability in space activities.
- **UN Database:** The United Nations maintains a registry of space objects launched into orbit to ensure transparency and help prevent accidents in space.

In **1978:** The U.S. introduced *NAVSTAR*, the prototype for what would become the *Global Positioning System* (GPS), enabling precise navigation capabilities that would later be used globally for both civilian and military purposes.

In **1980s:** The advancement of commercial satellite services began to take shape. Satellites for telecommunications, weather forecasting, and broadcasting proliferated. The idea of dual-use technologies, where the same system could be used for both military and civilian purposes, became more established.

B.2.3. The Moon Agreement (1979)

The latest agreement is *The Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies*, signed on December 18, 1979, also known as the **Moon Treaty** or **Moon Agreement**, which – in reaffirming the prohibition of all military use of celestial bodies, including testing of weapons or the establishment of military bases – states that such celestial bodies (with the exception of objects entering the Earth's atmosphere, such as meteorites) constitute “common heritage of humanity”. From this principle derive both negative obligations – such as prohibitions to carry out explorations or use celestial bodies without the approval of all other States, to alter the environment of celestial bodies, to declare exclusive sovereignty over any territory of celestial bodies – and positive obligations – such as the duty to notify the Secretary General of the United Nations of all space activities and discoveries made as a result of these activities, the obligation to take appropriate measures to avoid accidental contamination of the space environment, the constraint for States taking space objects during research activities to make part of them available to all countries and the scientific community. Yet, even if the Moon Agreement entered into force in 1984, to date, it has been ratified by only 18 countries, none of which is a Space Power: this reluctance can be reconducted to two main reasons. First, the Treaty states that States Parties have international responsibility for national activities, whether conducted by governmental agencies or non-governmental bodies, and must also ensure that national activities are carried out in accordance with the provisions set out in the Treaty. Second, the fear that, due to the principle of “common heritage of humanity” (primarily elaborated in the Montego Bay Convention in relation to oceanic funds), those States possessing the technological know-how and resources necessary to reach the Moon and other celestial bodies should have shared the benefits earned from them with other members of the international community.

This treaty elaborates on the provisions of the Outer Space Treaty and applies specifically to the Moon and other celestial bodies. Its major provisions include:

- **Non-appropriation:** Like the Outer Space Treaty, the Moon Agreement affirms that no country can claim sovereignty over the Moon or other celestial bodies.
- **Peaceful Use:** All activities on the Moon must be conducted for peaceful purposes.
- **International Cooperation:** The Agreement emphasizes cooperation between countries in space exploration and utilization of resources on the Moon.

- **Exploration for the Benefit of All:** The use of the Moon's resources is intended for the benefit of all humankind, with special consideration for developing countries.

The fate of these treaties has been uneven, and they have not been ratified by all the member states of the Committee: space law is becoming a branch of public international law that advocates multilateral cooperation under the responsibility of states, because they depend on the sovereign interests of individual states.

These space treaties have played a critical role in establishing a legal framework that promotes the peaceful exploration and use of outer space, while safeguarding the interests of all nations. They ensure that space remains accessible to all countries and that space exploration is conducted for the collective benefit of humanity. By adhering to these treaties, countries demonstrate a commitment to cooperation and responsible space activities.

The treaties also provide a foundation for addressing new challenges in space law, such as the regulation of private space exploration, the potential exploitation of space resources, and the protection of space environments. As space activities continue to evolve with the involvement of commercial actors and the growing interest in the Moon, Mars, and beyond, these treaties remain relevant in guiding the responsible use of space.

The **United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS)** also played a significant role in fostering international cooperation, establishing guidelines, and addressing the growing need for a legal framework as space activities evolved.

C. GROWTH OF GLOBAL NAVIGATION AND COMMUNICATION NETWORKS: Development of Space Activities (1980-2000) and Dual State Responsibility for Observation, Telecommunications, Navigation and Surveillance

As the world started to ease, space activities continued to be managed by individual countries, concentrating on both human and robotic exploration missions. This also included military and scientific uses for Earth observation, communications, and navigation, along with commercial satellite missions. Additionally, space stations were a focus, while the establishment of permanent bases on other celestial bodies remained in the works.

The race for space continues with :

- Business liberalization ;
- The proliferation of public and private space agencies.

These players have launchers, satellites or space probes, space planes and commercial operators developing activities and services, including space tourism.

The role of nations in space activities is a key element of space law, primarily addressed by the 1972 Convention. The Treaty of 1967 already included in its Article VI the notion that *States Parties to the Treaty shall bear international responsibility for national activities in outer space ... whether such activities are carried out by governmental agencies or by non-governmental bodies.*

Thus was born the notion of the '*launching state*,' defined in Article I of the Convention of 1972 as follows:

1. A state that launches or procures the launching of a space object
2. A state from whose territory or facility a space object is launched

This means that for any given object launched into outer space, several states may be considered as launching states, jointly responsible for any damage that the object may cause. *This responsibility is unlimited in time*, creating a completely new legal situation because these objects may remain in orbit for several centuries. During this period, they might very well change owners (the expression is a 'transfer of ownership of space objects in orbit,' which can create problems for the state whose citizen acquires a satellite during its lifetime) and perform a number of maneuvers without the launching state or states being aware, even though they would remain legally responsible.

One of the main ideas defended by space law concerns *freedom of exploration and use*, to which we can add non-appropriation, cooperation, and the prohibition of certain activities (e.g., concerning nuclear weapons). These considerations give space a status similar to those of two other vast areas, the oceans and the Antarctic, but just how close is the similarity? To fully understand the way in which the law considers the status and rules of use of these territories, we need to distinguish between

- *what belongs to no one* and is therefore available and useable by all – this category includes what Roman Law called *res communis* (things in the public domain); and
- *what belongs to everyone* and must therefore be used with consideration for the common good and ensuring that everyone gets a share (e.g., minerals or other resources) – this category covers what is usually called the common heritage of mankind, although this concept does not seem to be clearly recognized in law.

I admit that the difference between these two regimes is far from clear, but this very difference exists and seems to work in the specific case of marine law: The surface of the oceans is considered to be *res communis*, whereas the ocean bed is the common heritage of mankind. The status of space is somewhat murkier and seems to be somewhere between the two concepts, no doubt because space is essentially a set of moving bodies – not only celestial bodies but also nowadays man-made objects or indeed men and women – and it is also a set of trajectories and movements, knowledge and techniques, and henceforth, exchanges and relationships. Another way of expressing it would be to say that nowadays space is a set of activities more than a location: It is what we make of it, what we do in it. Just how far can anyone appropriate or claim possession of such a thing as a movement or the trajectory of an orbiting satellite?

The commercialization of space in the 1990s, led by private companies like **SpaceX** and **Blue Origin**, introduced new challenges for space law:

- **Private and commercial space ventures** raised questions about liability, property rights, and governance.
- **Satellite deregulation:** As commercial companies launched thousands of satellites, existing legal frameworks began to feel outdated. The issue of **space debris** and the growing risk of collisions in low Earth orbit (LEO) became a pressing concern.
- **Dual-use technologies:** With the rise of private space actors, the distinction between civilian and military use became less clear, raising concerns about the potential militarization of space.

This period also saw greater attention to the creation of international **space traffic management** frameworks and the development of new guidelines on **space debris mitigation** and **collision avoidance**. In **1990s**: GPS became fully operational with 24 satellites, providing global positioning capabilities for both military and civilian applications, such as navigation for airlines, shipping, and personal devices.

Several other resolutions by the United Nations have been added to these agreements and conventions, such as the *Principles Relating to Remote Sensing of the Earth from Space*, signed on December 3, 1986 (41/65), and the *Principles Relevant to the Use of Nuclear Power Sources in Outer Space*, signed on December 14, 1992 (47/68). These resolutions subsequently require transformation into national law.

Following the aforementioned ad hoc treaties tracing the legal framework for space activities, the international regime of the cosmos is enriched by other rules too, both pacts (such as the 1998 International Space Station Intergovernmental Agreement between Canada, the Russian Federation, Japan, the United States and ten other member states of the European Space Agency, dismantling the ideology of blocks while promoting cooperation) and secondary legislation (such as the Radio communications Regulations – binding on the members of the International Telecommunication Union, specialized agency of the United Nations – under which States “shall bear in mind” to use the frequencies “rationally, efficiently and economically, ... so that countries or groups of countries may have equitable access to those orbits and frequencies, taking into account the special needs of the developing countries and the geographical situation of particular countries” thus reversing the principle first come, first served to one based “on the principle of equal rights of all countries, large or small, to equitable access to these bands”). ‘Ref. [6]’.

Within this framework, it is worth mentioning the existence of **soft laws** too, such as the four principles on specific aspects of space activities developed by the United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, respectively: direct satellite television (1982), remote sensing (1986), the use of nuclear energy sources in Space (1992), international cooperation in the exploration and use of Space, with particular reference to the needs of developing countries (1999).

The issue of debris or waste management was addressed as early as the 1980s, and in 1993 led to the creation of the IADC (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee), tasked with developing “best practices” for protecting space from man-made space debris.

The launch of *Iridium* was made in **1998**, a satellite constellation for global telecommunications, helped demonstrate how space could offer connectivity in remote or underserved regions.

In **1999**, The European Union's *Galileo* project began to take shape, marking Europe's entry into the global navigation satellite system competition with a focus on civilian uses, though it also held potential military applications.

In exploration, the paradigm shift observed over the last twenty years and the arrival of new entrants are marked by a new ecosystem of public and private players.

D. DUAL-USE TECHNOLOGY AND INTERNATIONAL COOPERATION (2000-2011)

Nowadays, satellites are part and parcel of societies around the world: from telecommunications to global navigation systems, they are used for both commercial and scientific purposes. However, satellites also have non peaceful applications. Since the Cold War, military satellites have been used for the creation of safe communication channels, for maneuverability and coordination of military forces (i.e. the Global Positioning System (GPS)), and even for the targeting of missiles. There is, however, a different use of

satellites, one that is not directly linked with military operations: the so-called ISR (Intelligence, Surveillance, Reconnaissance). 'Ref. [7]'.

As the use of space technologies expanded, the dual-use nature of space raised concerns about militarization. In the 2000s, there were calls for arms control in space, particularly around anti-satellite weapons and missile defense systems.

In **2000s**: The ability to launch and operate satellite constellations expanded with private companies entering the space industry. *SpaceX*, for example, was founded in 2002, bringing innovation to space access and reducing launch costs.

In **2004**: The European Space Agency (ESA) launched the first *Galileo* satellites, marking the beginning of Europe's independent navigation system to complement the U.S. GPS system.

In **2007-2008**: China demonstrated its growing space capabilities with the successful anti-satellite missile test in 2007, signaling the military aspect of space activities. This highlighted the dual-use nature of space technologies and the increasing importance of space for national security.

In **2009**: The *United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA)* began to address the growing need for guidelines on the use of space, particularly in terms of responsibility and the peaceful use of outer space.

In **2008-2011**: Several countries developed advanced reconnaissance satellites for intelligence and military applications. The U.S., Russia, China, and several European countries advanced their surveillance capabilities through space-based systems.

The 2010s saw rapid advancements in both commercial and governmental space activities. The **space tourism** industry emerged, with private companies like **Virgin Galactic** and **Blue Origin** offering suborbital flights. Governments increasingly relied on private companies for launching satellites, resupplying space stations, and even providing crewed missions.

Legal developments in this era included:

- **Emerging regulations on space tourism**: Countries began developing their own legal frameworks to regulate space tourism. For example, the U.S. implemented the **Commercial Space Launch Act (2004)**, later amended to cover safety requirements for private space tourists.
- **International cooperation and sustainability**: Efforts like the **Artemis Accords (2020)**, led by NASA, outlined a framework for international cooperation in returning humans to the Moon and establishing sustainable space exploration. The Accords emphasized principles of transparency, peaceful use, and responsible resource extraction in space.
- **Space debris**: Growing awareness of space debris prompted the development of guidelines, like the **UN Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities (2019)**, which recommended measures to reduce space debris and improve space traffic management.

The accumulating tensions between major space powers increase the likelihood of space conflict. Though outer space is widely militarized, presumably it has not been weaponized. However, the dual-use nature of space technology raises serious concerns about its utilization. 'Ref. [8]'.

E. FROM MAJOR PUBLIC INFRASTRUCTURES TO THE NEW SPACE ECO-SYSTEM SINCE 2011

First, we must address the issue of resource appropriation and commercialization, which leads to:

- On one side, the development of space law through the emergence of private international law in three key areas:
 - The definition of various outer space regions and their management, especially considering the risks of collisions and communication interference.
 - The application of public or private international law and their interaction in relation to Article II of the 1967 Treaty, particularly in light of the ARTEMIS agreements (2020).
 - The exploitation or ownership of space resources and the terms for sharing them as "common goods."
- On the other hand, linking the new value of space data not to space law but to information or even commercial law:
 - Scientific data subject to open-source policies, with exceptions for its use (such as military or meteorological applications), often reserved for first-time operators (for the first 18 months), sometimes structured through networks or alliances.
 - Commercial data, where the creation, capture, programming, traceability, broadcasting, or distribution is the responsibility of the owning operator (including military operators).
 - Raw or original data that is regulated by legal frameworks, available depending on its application or the type of satellite data, such as that from the Copernicus program, governed by new data space regulations under European legislation (2013).

Space exploration is maturing due to technological innovations and advancements, becoming increasingly competitive with the introduction of reusable technology (such as SpaceX's Falcon 9 launcher) and the

resurgence of low-orbit satellite constellations offering reliable, secure, and resilient internet connectivity. The New Space sector represents a fresh ecosystem that is willing to take on financial, technological, and economic risks, all while operating within the framework of international space law. While it remains under the oversight of States that provide necessary guarantees—without which private launchers cannot operate—the issue of spacecraft occupancy and operation remains a key concern.

E.1. Key Trends in Dual State Responsibility:

- **Telecommunications:** Satellites became essential for both military and civilian communication, with countries like the U.S., Russia, China, and members of the EU launching their own communication satellites for both military defense and civilian infrastructure.
- **Observation:** Earth observation satellites, which started as military reconnaissance tools, were increasingly used for environmental monitoring, disaster response, and scientific research. However, they also had dual applications, such as in surveillance, border monitoring, and military intelligence.
- **Navigation:** The establishment of global navigation satellite systems like GPS (U.S.), Galileo (EU), GLONASS (Russia), and BeiDou (China) demonstrated a dual-use approach to space technology. While initially conceived for military defense purposes, these systems have become crucial for civilian applications like transportation, logistics, and smart phones.
- **Surveillance:** Military and intelligence agencies increasingly relied on space-based assets for surveillance and reconnaissance purposes. At the same time, space technologies were leveraged for international monitoring of arms control agreements, climate change, and natural disasters.

E.2. Key Trends in Space Law's Transformation

- **Private Sector Expansion:** There's a shift from government-led space activities to private sector-driven exploration, satellite launches, and space tourism.
- **Space Debris and Sustainability:** Increasing concerns about space debris have led to initiatives for better management of space traffic and debris mitigation strategies.
- **Space Resource Utilization:** The exploration of space for resources like water, minerals, and energy is a growing legal area, with discussions on ownership and usage rights.
- **International Collaboration:** New frameworks, like the Artemis Accords, aim to foster international partnerships in space exploration, balancing national interests with global benefits.

E.3. Private Ownership in Space

Within the shadows of such ambiguous, and often blurred, legal framework – determined by the fact that the Outer Space Treaty, in its brief 17 articles, does not directly mention the issue of the use of space resources by private individuals, which resulted, at the time of the creation of the Treaty, a very unrealistic scenario – stands the U.S. Commercial Space Launch Competitiveness Act signed by President Obama in 2015. According to this Act, the U.S. does not only authorize private space mining activities, but also recognizes the right of private companies registered in their territory to appropriate of and use for commercial purposes the resources obtained in space. The U.S. legislation has been an inspiration for Luxembourg which, in 2017, enacted a law that recognized private companies the possession of the resources they find in space, such the minerals contained in asteroids. Opposed by states such as Belgium and the Russian Federation, these national regulations, are based on a jurisdictional analogy with the Montego Bay Convention. According to such convention, while on the one hand no state can claim its own sovereignty on any part of the high seas (as it is considered *res communis omnium*, namely a “thing of public domain”), on the other hand, it allows fishing activity and exploitation: likewise, the prohibition in the Art. II of the Outer Space Treaty, with regard to the appropriation of the Moon and celestial bodies, would not imply an extension of this prohibition also to the resources contained in them. ‘Ref. [9]’.

The purpose of these legislations is to establish a legal framework that ensures private entities have rights over the resources they extract from space, preventing the potential relocation of these companies to nations not bound by the Outer Space Treaty. The Executive Order on Encouraging International Support for the Recovery and Use of Space Resources, issued by President Donald J. Trump on April 6, 2020, is a key component of this legal structure and reaffirms the U.S. government's commitment to fully supporting the commercial exploitation of space resources.

IV. THE NEW CHALLENGES OF SPACE LAW

The field of space law is rapidly evolving, facing numerous challenges as human activity in space increases. With technological advancements, new space players, and various nations' ambitions, space law is grappling with the following key challenges:

A. Space Resource Mining

The increasing interest in extracting resources from asteroids, the Moon, and other celestial bodies raises questions about the ownership and regulation of these resources. Current space treaties, particularly the **Outer Space Treaty** of 1967, state that outer space is not subject to national appropriation, but the legal framework around commercial mining is still unclear. The **Moon Agreement** (1979), which restricts the ownership of lunar resources, is not widely adopted, and many nations are pushing for clearer guidelines on space resource rights.

B. Space Debris

Space debris, including defunct satellites and spent rocket stages, poses a growing risk to operational spacecraft. Space law does not yet have comprehensive international agreements on debris mitigation and removal. While some countries have guidelines for debris management, there is no binding legal framework for the removal of debris or the prevention of its accumulation, which complicates the safe use of low-Earth orbit (LEO).

C. Commercialization and Private Space Companies

The emergence of private companies like SpaceX, Blue Origin, and others has dramatically shifted the space industry. However, commercial space activities often operate in a legal gray area, especially regarding ownership, liability, and regulation. Governments must strike a balance between encouraging innovation and ensuring that private enterprises operate within a legally secure framework that respects international treaties and national regulations.

D. Space Traffic Management

As more satellites are launched and commercial space activity increases, the management of space traffic is becoming a significant concern. This includes avoiding collisions between satellites, coordinating launches, and managing the increasing congestion in space. Existing treaties and national laws do not offer comprehensive mechanisms for space traffic management, and new international regulations are required to ensure the sustainable use of space.

E. Military Use of Space

Space has become a critical domain for military operations, with the potential for weaponization. Countries are increasingly concerned about the militarization of space, as evidenced by the establishment of the **U.S. Space Force** and similar developments in other nations. There are currently no binding agreements to prevent the deployment of space-based weapons, and the existing treaties like the Outer Space Treaty prohibit the placement of nuclear weapons in space, but they don't fully address the broader military use of space.

F. International Cooperation vs. National Sovereignty

Space is an international domain, but as nations compete for dominance in space, there are tensions between cooperation and sovereignty. While international cooperation has led to successful projects like the **International Space Station (ISS)**, there are concerns about intellectual property, technology sharing, and national security interests, making it harder to establish long-term collaborative frameworks.

G. Space Law and Human Settlements

With plans for lunar bases and even Mars missions, the legal implications of establishing human settlements on other planets need to be addressed. Issues like governance, property rights, and the rights of individuals in extraterrestrial colonies are currently undefined under existing space law frameworks. How human settlements in space will be regulated remains a key challenge for future space law.

H. Environmental Protection and Ethical Concerns

The increasing commercial use of space raises environmental concerns regarding the impacts of space activities, such as rocket emissions and contamination of extraterrestrial bodies. Ethical considerations also play a role in issues like the preservation of celestial bodies and the risks of space exploration.

I. Space Law Enforcement

Another challenge is enforcing space law. While treaties like the Outer Space Treaty provide some level of international agreement, there is no universal enforcement mechanism. Compliance often relies on self-regulation, national enforcement, and diplomatic pressure, but this system is not foolproof, especially as more private entities and nations enter space.

Law Enforcement Agencies assume a major task: provide to the citizens the required level of security and protect life and property. In this perspective, high tech projects are implemented in order to deliver the appropriate tools for every day operations. 'Ref. [10]'.

J. Emerging Technologies

The advent of technologies like **space tourism**, **satellite mega-constellations**, and **artificial intelligence in space operations** are introducing new complexities that existing legal frameworks are ill-equipped to address. There are concerns about safety, environmental impact, and the potential for unchecked technological advances in space.

The satellite business is diversifying as a result of the democratization of uses linked to cost reductions in communications, information sources and military intelligence, and eventually manned space flight, but it also needs to organize:

- the technical management of access regimes to extraterrestrial space;
- the nature of cost reduction (i.e. reusable launchers and standardized satellites);
- frequency and bandwidth allocation ;
- the increasing densification of space by numerous private players as part of institutional or private programs.

At the same time, it raises questions about the future exploitation of extra-terrestrial resources (the Moon, Mars, asteroids, etc.), scientific research and manned space flight: - the establishment of human bases in space;

- space traffic management, particularly in low-Earth orbit (i.e. constellations, debris);
- space players (manufacturers, operators, service providers, brokers, insurers) according to insurable phases and coverage;
- people on board, between astronauts (Article V, 1967 and 1968 agreement on the duty to inform, rescue and repatriate) and paying passengers in terms of carrier liability.

In addition, the growing militarization of space and the beginnings of a **space war** have led to the creation of space surveillance and intervention resources.

There is a clash between space managed by public agencies and space marked by privatization, even under national regulations such as those of the Federal Communications Commission (FCC), or the agreements between the US National Science Foundation (NSF) and SpaceX for its Starlink satellites; or even legislation on space operations adopted by a State, such as in Russia (Decree 5663-1, 1993); in France in 2008; or in preparation, such as the European Space Law (PPRE, 2023), relating in particular to space traffic management.

Strategic competition is organized by the adoption of national laws and policies that take into account national interests in space exploitation, starting with the occupation of Earth orbits by private players, but under the responsibility of their states, with a view to ensuring the security, surveillance, sustainability and development of the space sector.

This interweaves three legal levels, between international, national and hybrid standards.

-Situation of European States with the European Space Agency (UESPA) and the intergovernmental agency ESA on the question of sovereignty, shared competences, limited today to three flagship programs: Galileo & Egnos (navigation and positioning) and Copernicus (Earth observation):

- The agreement on the Guiana Space Center and the principle of a public guarantee (over €60 million);
- Project management for satellite launchers and satellites with the EUTELSAT organization (1977);
- The IRIS² sovereign and secure connectivity constellation project for the EU.

- US situation (Space Act 2015 and Artemis 2020 agreements)

- The 2015 law authorizes private companies to exploit resources extracted in space;
- New areas of international law relating to coordination, navigation, control and surveillance of the occupation of near space are evolving under American influence, whereas public international law is aimed at coordination between States;
- The agreements appear as private international law relating to conflict of laws as elements of either economic or legal policy, with a view to securing a new ecosystem of risky innovations (43 signatory states in June 2024A).

V. CONCLUSION

Space law is navigating a rapidly changing environment, with new legal challenges emerging almost daily. Between 1962 and 2011, space activities evolved from basic exploration and telecommunications to a more complex landscape where satellite systems played a dual role in both military and civilian applications. The responsibility for these activities became shared across multiple stakeholders, including state actors, private companies, and international organizations.

As technology advanced, space became a critical infrastructure not only for communications, navigation, and surveillance but also for national security. Dual-use technologies—where the same systems serve both civilian and military purposes—became increasingly common, raising both opportunities for international cooperation and concerns over the militarization of space.

The development of space activities and their governance continues to evolve with new challenges, particularly as private entities and new space faring nations continue to shape the future of space exploration and utilization.

The legal framework shaping the new Space Economy is complex, influenced by a variety of factors. These include the differing positions of states that have ratified various agreements and international instruments, the unclear hierarchy of principles and treaties (where it's not always clear which old rules still apply or which have been replaced by newer ones), the blurred boundaries between the economic and commercial aspects of space resource exploitation by both public and private entities, and the absence of key institutional bodies like a Conference of the Parties or a Secretariat—structures typically seen in newer multilateral agreements. In short, There's an urgent need for international collaboration, updates to existing treaties, and the creation of new frameworks to address the growing complexities of space exploration, resource extraction, and commercialization.

Given these factors, current space law reflects the time in which it was created, showing legal uncertainties and weaknesses that could be addressed either through incentives for investment from pioneering companies (such as Jeff Bezos' Blue Origin, Richard Branson's Virgin Galactic, or Elon Musk's SpaceX, which developed the Falcon 9 rocket for NASA), or through external pressures, especially considering the dual-use nature of aerospace technologies, which apply to both military and civilian sectors.

This last point, the fact that any aerospace development—even non-commercial ones—can present security risks, led President Donald J. Trump to declare space a domain for warfare and to establish the United States Space Force in December 2019, marking the sixth independent branch of the U.S. military. This move clearly violated the Outer Space Treaty, particularly Article IV, which prohibits the placement of weapons of mass destruction, the establishment of military bases, and military experiments or maneuvers in outer space.

In conclusion, space law has undergone significant transformation, evolving from the basic principles of the Outer Space Treaty to addressing a rapidly changing landscape of commercial ventures, military interests, and sustainability concerns. The future will likely see further development of international cooperation, more comprehensive treaties, and updated regulations to ensure the peaceful, equitable, and sustainable use of outer space.

REFERENCES

- [1] Current Problems and Challenges in International Space Law: Legal Aspects Inesa Kostenko1 Ph.D. in Law, Associate Professor, Yaroslav Mudryi National Law University (Kharkiv, Ukraine): https://aslijournal.org/journals/2020-5/ASL_vol_5_Kostenko.pdf
- [2] Georgetown Law Library, Introduction to Space Law Research: <https://guides.ll.georgetown.edu/spacelaw>
- [3] UNOOSA, Space Law: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/index.html>
- [4] Encyclopedia of Applied Ethics (Second Edition), 2012
- [5] ISPI, Italian Institute for International Political Studies: "Navigating Space Law: Regulations and Legal Principles of the Cosmos", 7 Dec 2020: <https://www.ispionline.it/en/publication/navigating-space-law-regulations-and-legal-principles-cosmos-28605>
- [6] ISPI: <https://www.ispionline.it/en/publication/navigating-space-law-regulations-and-legal-principles-cosmos-28605>
- [7] Space Generation Advisory Council: The Challenges of Dual-Use Space Technologies: the Non-Peaceful Use of Satellites : <https://spacegeneration.org/the-challenges-of-dual-use-space-technologies-the-non-peaceful-use-of-satellites>
- [8] Science Direct: Dual-use conundrum: Towards the weaponization of outer space? <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094576520307943>
- [9] Ispion line: <https://www.ispionline.it/en/publication/navigating-space-law-regulations-and-legal-principles-cosmos-28605>
- [10] Space, Law Enforcement: <https://www.space.gr/en/solutions/category/law>

The challenge towards sustainable activities of space for a safer environment in the future

Rezarta Deda (Avxhi)*

Tirana University, Faculty of Natural Science, Chemistry; Schef of the State Laboratory of the Albanian Geological Institute.

*Corresponding Author: rezartavxhi@gmail.com

ABSTRACT

The future of space, now essential to modern life, is at risk unless we make sustainability an absolute imperative. The challenge of ensuring sustainable space activities for a safer future environment is multifaceted and very complex. Some of the main issues are: Space Debris; Space Traffic Management (STM); Environmental Impact of Launches; Sustainable Resource Utilization; Light Pollution; International Cooperation and Governance; Long-Term Vision and Planning; Technological Innovation. Many of the challenges described above require technological solutions. Some of the Challenges that we may discuss are: Investing in research and development of new technologies for debris removal, space traffic management, cleaner launches, sustainable resource utilization, and light pollution mitigation is essential. Promoting innovation while also ensuring responsible development is the key. Addressing these challenges requires a concerted effort from governments, industry, scientists, and the public. It requires a shift in mindset, from viewing space as an unlimited frontier to recognizing it as a shared and finite resource that must be protected for future generations.

Keywords: *Space, Transformation, Challenges, Environment, Sustainability.*

I. INTRODUCTION

Sustainable space activities are crucial for maintaining the safety and integrity of space for future generations. With the rapid growth of space exploration, satellite constellations, and commercial ventures, the challenges to achieving sustainability in space have become more pressing. A safer environment in space can be ensured through effective regulations, technological innovation, and international collaboration. Here are some of the key challenges and approaches toward achieving sustainability in space:

II. INTRODUCTION INTO SPACE LAW

Space law can be described as the body of law governing space-related activities. Space law, much like general international law, comprises a variety of international agreements, treaties, conventions, and United Nations General Assembly resolutions as well as rules and regulations of international organizations 'Ref.[1]'. It refers to the body of legal principles, agreements, and treaties that govern the exploration and use of outer space. It aims to regulate the activities of states, organizations, and private entities in space, ensuring that space activities are conducted responsibly and peacefully.

Some key elements of space law include:

1. International Treaties and Agreements:

- **The Outer Space Treaty (1967):** The cornerstone of space law, this treaty establishes that space shall be used for peaceful purposes, prohibits the placement of nuclear weapons in space, and ensures that space activities are open to international cooperation.
- **The Rescue Agreement (1968):** Ensures that astronauts are provided with assistance in emergencies and returned to their country of origin.
- **The Liability Convention (1972):** Establishes liability for damage caused by space activities, both on Earth and in space.
- **The Registration Convention (1976):** Requires countries to register space objects with the United Nations to promote transparency and accountability.

- **The Moon Agreement (1984):** Attempts to regulate the use of resources on the Moon, though it has not been widely adopted.
- 2. **National Laws and Regulations:** Each country that engages in space activities may have its own set of laws governing space exploration, satellite use, and commercial space ventures. These laws often address issues like licensing for private companies, space traffic management, and compliance with international obligations.
- 3. **Commercial Space:** With the rise of private companies like SpaceX, Blue Origin, and others, space law is increasingly focusing on commercial space activities, such as satellite launches, space tourism, and asteroid mining.
- 4. **Space Traffic Management and Space Debris:** The growing number of objects in space has led to concerns about space debris and the need for regulations to avoid collisions and ensure the sustainability of space activities.

In summary, space law is a blend of international treaties, national regulations, and emerging norms designed to manage the complex and expanding activities in outer space.

III. THE TRANSFORMATION OF THE INTERNATIONAL SPACE LAW

Space law is a new branch of international law initially elaborated under the auspices of the United Nations since 1960s. Space law is rooted in and triggered by the development of space technologies and human's space activities, thus it is still young and bound to undergo constant evolution. Nowadays, the space technologies are advancing rapidly and the space activities flourishing vigorously 'Ref. [2]'.

The transformation of international space law has evolved significantly since its inception in the mid-20th century. As space activities have expanded, both in scope and complexity, space law has adapted to address new challenges, such as the rise of private space ventures, the increased reliance on satellites, and concerns about space debris and the militarization of space.

Here's a breakdown of the major transformations in international space law:

A. Early Foundations: The Space Age and the Outer Space Treaty (1967)

The Space Age began with the launch of Sputnik in 1957, which set off a global interest in space exploration. This led to the creation of the **Outer Space Treaty (1967)**, the cornerstone of space law. It laid down key principles:

- **Space is free for exploration and use** by all countries, with no sovereignty over outer space or celestial bodies.
- **Peaceful use of space:** Space activities must be conducted for peaceful purposes.
- **No military bases:** The deployment of nuclear weapons or any other weapons of mass destruction is prohibited in space.
- **Responsibility:** States are responsible for the activities of their private actors (such as commercial companies) in space.
- **International cooperation:** Encouragement of collaborative efforts between states.

This treaty provided the first legal framework for space exploration and established the concept of international cooperation in space.

B. The 1970s and 1980s: Expanding Agreements and the Role of the UN

During the 1970s and 1980s, the growth of space exploration led to further treaties and legal frameworks:

- **The Rescue Agreement (1968):** Defined obligations to assist astronauts in distress and return them to their country of origin.
- **The Liability Convention (1972):** Established liability for damage caused by space activities, such as damage to satellites or space stations.
- **The Registration Convention (1976):** Created a system for registering space objects, helping to promote transparency and track space objects for collision avoidance.
- **The Moon Agreement (1984):** Although not widely adopted, this treaty aimed to regulate the use of resources on the Moon, asserting that the Moon and other celestial bodies should be treated as a common heritage of mankind.

The **United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS)** also played a significant role in fostering international cooperation, establishing guidelines, and addressing the growing need for a legal framework as space activities evolved.

C. 1990s-2000s: The Rise of Commercial Space and New Challenges

The commercialization of space in the 1990s, led by private companies like **SpaceX** and **Blue Origin**, introduced new challenges for space law:

- **Private and commercial space ventures** raised questions about liability, property rights, and governance.
- **Satellite deregulation:** As commercial companies launched thousands of satellites, existing legal frameworks began to feel outdated. The issue of **space debris** and the growing risk of collisions in low Earth orbit (LEO) became a pressing concern.
- **Dual-use technologies:** With the rise of private space actors, the distinction between civilian and military use became less clear, raising concerns about the potential militarization of space.

This period also saw greater attention to the creation of international **space traffic management** frameworks and the development of new guidelines on **space debris mitigation** and **collision avoidance** 'Ref. [3]'.

D. The 2010s: The Space Commercialization Boom and Legal Reform

The debate over how to modernize oversight of commercial space activities is largely a function of the complexity of the system. This complexity relies on a myriad of factors, some of which are unique to the space industry while others are common across emerging technology areas. Some of the challenges unique to space include the international treaty obligations that pertain and the diverse number of government stakeholders. Alternatively, tensions between both regulating and promoting industry and dual-use technologies can be found across multiple sectors. The convergence of these challenges, plus emerging political dynamics, makes regulating commercial space more challenging than many other sectors. 'Ref.[4]'. The 2010s saw rapid advancements in both commercial and governmental space activities. The **space tourism** industry emerged, with private companies like **Virgin Galactic** and **Blue Origin** offering suborbital flights. Governments increasingly relied on private companies for launching satellites, resupplying space stations, and even providing crewed missions.

Legal developments in this era included:

- **Emerging regulations on space tourism:** Countries began developing their own legal frameworks to regulate space tourism. For example, the U.S. implemented the **Commercial Space Launch Act (2004)**, later amended to cover safety requirements for private space tourists.
- **International cooperation and sustainability:** Efforts like the **Artemis Accords (2020)**, led by NASA, outlined a framework for international cooperation in returning humans to the Moon and establishing sustainable space exploration. The Accords emphasized principles of transparency, peaceful use, and responsible resource extraction in space.
- **Space debris:** Growing awareness of space debris prompted the development of guidelines, like the **UN Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities (2019)**, which recommended measures to reduce space debris and improve space traffic management.

E. 2020s and Beyond: Evolving Legal Frameworks

As we move into the 2020s, international space law continues to evolve rapidly in response to new challenges:

- **Space Mining:** Legal questions about the right to extract resources from celestial bodies like asteroids are gaining attention. The **2015 U.S. Commercial Space Launch Competitiveness Act** legalized the commercial exploration of space resources, while some nations are looking to establish clearer property rights.
- **Space Traffic Management:** As satellite constellations (like **SpaceX's Starlink**) proliferate, concerns about space traffic management and the avoidance of collisions have reached a critical point. A coordinated global approach to space traffic management is increasingly needed.
- **Space Militarization:** The growing presence of military satellites and space-based weaponry has led to calls for more robust international regulations to prevent conflicts in space.
- **Space Governance:** A major area of development is the need for a more comprehensive global framework to govern space activities. Calls for a **new space treaty** have been growing, with some suggesting updates or revisions to the **Outer Space Treaty** to reflect modern realities and new challenges.

F. Key Trends in Space Law's Transformation:

1. **Private Sector Expansion:** There's a shift from government-led space activities to private sector-driven exploration, satellite launches, and space tourism.
2. **Space Debris and Sustainability:** Increasing concerns about space debris have led to initiatives for better management of space traffic and debris mitigation strategies.
3. **Space Resource Utilization:** The exploration of space for resources like water, minerals, and energy is a growing legal area, with discussions on ownership and usage rights.

4. **International Collaboration:** New frameworks, like the Artemis Accords, aim to foster international partnerships in space exploration, balancing national interests with global benefits. In conclusion, space law has undergone significant transformation, evolving from the basic principles of the Outer Space Treaty to addressing a rapidly changing landscape of commercial ventures, military interests, and sustainability concerns. The future will likely see further development of international cooperation, more comprehensive treaties, and updated regulations to ensure the peaceful, equitable, and sustainable use of outer space.

IV. SPACE DEBRIS AND COLLISION RISK

“What is Orbital Debris?” Although we don’t see space junk in the sky, beyond the clouds and further than the eye can see, it enters low Earth orbit (LEO). LEO is an orbital space junk yard. There are millions of pieces of space junk flying in LEO. Most orbital debris comprises human-generated objects, such as pieces of space craft, tiny flecks of paint from a spacecraft, parts of rockets, satellites that are no longer working, or explosions of objects in orbit flying around in space at high speeds. ‘Ref.[5].’

Most “space junk” is moving very fast and can reach speeds of 18,000 miles per hour, almost seven times faster than a bullet. Due to the rate of speed and volume of debris in LEO, current and future space-based services, explorations, and operations pose a safety risk to people and property in space and on Earth. ‘Ref.[5].’

Space debris, also known as “space junk,” is one of the most significant challenges to sustainable space activities. There are currently thousands of pieces of debris in orbit, ranging from defunct satellites to fragments from rocket stages, which can pose risks to operational satellites and spacecraft.

There are no international space laws to clean up debris in our LEO. LEO is now viewed as the World’s largest garbage dump, and it’s expensive to remove space debris from LEO because the problem of space junk is huge — there are close to 6,000 tons of materials in low Earth orbit. Space junk is no one countries’ responsibility, but the responsibility of every space faring country. The problem of managing space debris is both an international challenge and an opportunity to preserve the space environment for future space exploration missions. ‘Ref.[5].’

When an object in space shatters or explodes, the resulting fragments each follow their own distinct orbits. These orbits are interconnected mathematically, and together, they can be viewed as a “**debris cloud.**” Without air or any other substance to influence the debris, the cloud expands and shifts shape according to the principles of orbital motion. In computer simulations, you can observe the cloud as it grows and transforms, eventually forming a ring around Earth.

What is an on-orbit collision like? It looks more like an explosion of each object, as if they passed through each other and exploded on the other side. A hyper-velocity collision like those at orbital speed doesn’t behave like collisions that we are used to seeing. The objects are moving so fast that they travel through each other faster than the shock waves can travel. The shock waves in the structures of each object then shatter them into fragments of varying sizes and, in the process, give each fragment a boost in a different direction. Each one of these fragments is then in a different orbit than the original object and will move away according to the laws of orbital motion. With thousands of fragments, each moving in slightly different directions, it looks a lot like an explosion. ‘Ref. [6].’

The NASA Orbital Debris Program officially began in 1979 in the Space Sciences Branch at the Johnson Space Center (JSC) in Houston, Texas. The program looks for ways to create less orbital debris, and designs equipment to track and remove the debris already in space.

- **Challenge:** Space debris increases the risk of collisions, which could result in even more debris. These collisions create a feedback loop of increasing debris, threatening the safety of astronauts, spacecraft, and satellites.
- **Solutions:**
 - **Active debris removal:** Proposals and missions to capture and de-orbit defunct satellites and debris, such as using robotic arms, tethers, or even lasers to safely remove space debris, are in development.
 - **End-of-life plans for satellites:** New regulations are being introduced to require operators to de-orbit their satellites or move them to “graveyard orbits” at the end of their operational lives.
 - **Space traffic management:** Developing systems to track space debris and predict collisions, allowing for collision avoidance maneuvers. Global cooperation is needed to create space traffic management systems.

Mathematical modeling has repeatedly shown that the number of objects in low Earth orbit will likely grow from collisions, whether or not we launch more space missions. However, these cascades take place over decades and centuries, with a large collision happening currently only about once every five to ten years.

So while the “Kessler Syndrome” — a scenario where space debris collisions cause a domino-effect resulting in an overwhelming amount of debris — is quite real mathematically, it is a slow-motion disaster that we have time to affect. If we start limiting the growth of space debris right now, we can prevent it from being an unmanageable problem. ‘Ref. [6]’.

Who is responsible for creating space debris? Tracking it? Controlling it? The nations that launch and operate satellites are responsible for the space debris from their satellites and rocket bodies. There is no one responsible for tracking it internationally, but the United States does track space debris to protect our own satellites, and we share some of that information with the rest of the world. Other nations also have tracking capabilities and perform similar services for their satellites. Satellite operators try to reduce space debris from recently launched satellites and rocket bodies by carefully designing them to prevent explosions, re-entering them, or moving them to disposal orbits— essentially a space junkyard— when their mission is over. Space debris from older objects, explosions, and collisions is not controlled at all. ‘Ref. [6]’.

A. Overcrowding of Low Earth Orbit (LEO)

The rise of satellite mega-constellations, like **SpaceX's Starlink** and **OneWeb**, is leading to overcrowding in Low Earth Orbit (LEO). These constellations aim to provide global internet coverage, but they add thousands of new satellites to already crowded orbital paths.

- **Challenge:** Overcrowding increases the risk of collisions and debris generation. It also complicates the task of ensuring safe and sustainable space operations for both private and governmental entities.
- **Solutions:**
 - **Regulation and coordination:** Governments and space agencies are working on developing regulatory frameworks to manage the placement of satellites in LEO, ensuring that satellites are spaced out and there is minimal risk of collisions.
 - **Standardization of satellite designs:** To ensure that defunct satellites can be safely removed, the industry is encouraging standardized satellite designs that include de-orbit mechanisms and easily trackable features.

B. Space Resource Extraction

As commercial space exploration expands, the extraction of resources from celestial bodies like the Moon and asteroids is becoming a possibility. However, this raises complex legal, environmental, and ethical questions.

- **Challenge:** Without clear regulations, space mining could lead to the overexploitation of resources and create conflicts over ownership and rights. There is also the risk of damaging the environments of celestial bodies, which could be detrimental to scientific exploration.
- **Solutions:**
 - **International agreements:** The **Moon Agreement** (1984) aimed to regulate the use of space resources, but it has not been widely adopted. However, it remains important to develop binding agreements that ensure space resources are used for the common benefit of all nations.
 - **Sustainable practices:** Technological innovation should prioritize sustainable methods of resource extraction, avoiding long-term damage to the Moon or asteroids, and ensuring minimal environmental impact.

C. Environmental Impact on Earth

The Space Age began in October of 1957, with the launch of Sputnik 1. In the last 56 years there have been over five thousand launches. Each launch typically has several separate objects associated with it that may remain in orbit. In addition, there have been explosions and other violent breakups of vehicles that have resulted in thousands to hundreds of thousands of fragments. In the past, space exploration has not received much environmental attention for good reason. For one, the industry has been small, sprinkled with very few launches per year, making any environmental impacts negligible compared to other industries. Second, the space industry has a long history of being considered government-focused, similar to that of national security and defence. The US military is currently tracking about 20,000 objects, and has catalogued nearly 40,000 objects over the years — a number of which have re-entered the atmosphere. Most space debris is too small to be tracked, but large enough to damage spacecraft. We estimate that there are hundreds of thousands of objects that could be fatal or catastrophic to a space mission, and millions of objects that are capable of causing damage. ‘Ref. [6]’.

Space activities, such as rocket launches, contribute to environmental concerns on Earth. Rocket propellants release gases that may affect the atmosphere and contribute to climate change, especially in the case of reusable rockets that increase the frequency of launches.

Prior to delving into environmental impacts, it is important to note that many rocket engines use different propellants to function; therefore, their environmental effects vary.

One impact of increased rocket launches is from launch exhaust. Exhaust can contain greenhouse gasses such as CO₂ and H₂O, as well as particles of alumina and black carbon. 'Ref. [7]'. These types of emissions trap heat, absorbing sunlight, and contribute to climate change and warming. 'Ref. [8]'. Black carbon is particularly concerning. Black carbon is defined by the EPA as "a major component of soot" with a "complex light absorbing mixture that also contains organic carbon" and is "a solid form of mostly pure carbon that absorbs solar radiation (light) at all wavelengths". 'Ref. [8]'. According to scientists, some rockets can emit approximately 10,000 times more black carbon particles than modern turbine engines found in airplanes and jets. 'Ref. [9]'. Another environmental impact of rocket launches is ozone depletion. High temperatures during launch and re-entry events can convert nitrogen in the air into nitrogen oxides which can deplete ozone in the stratosphere.

- **Challenge:** The environmental impact of space exploration on Earth's atmosphere and ecosystems must be considered, especially as commercial space activities increase.
- **Solutions:**
 - **Green propulsion technologies:** The development of environmentally friendly propellants that minimize harm to the Earth's atmosphere is crucial. Companies are working on "green" rocket technologies, such as using hydrogen or methane-based fuels that have a lower environmental impact than traditional propellants.
 - **Reducing emissions:** Space agencies and private companies are investigating ways to reduce the emissions produced by rocket launches, including innovations in hybrid engines and fully electric propulsion for small satellites.

D. Regulation and Governance of Space Activities

Currently, there are minimal environmental regulations governing rockets. As mentioned earlier, given the present situation, implementing extensive regulation may be seen as unnecessary or premature. However, with the growing popularity and practicality of space tourism, the environmental consequences of these activities are becoming increasingly important.

The rapid expansion of commercial space ventures has created a fragmented regulatory environment. While existing treaties like the **Outer Space Treaty (1967)** provide a foundation, they have not been updated to address the realities of modern space exploration.

Though these national regulations have spurred innovation and development, the absence of a unified international framework poses significant challenges. Article 2 of the Outer Space Treaty (OST) explicitly prohibits national appropriation of outer space, complicating efforts by individual states to grant ownership rights over space resources. Without a general framework, the conflicting interests of nations and private entities could lead to disputes over resource ownership, access, and exploitation. Moreover, Article 3 of the OST links international environmental law with space exploration, stating that activities in space must be conducted in accordance with international law, including environmental protection. Space resource extraction poses substantial environmental risks, such as contamination or alteration of celestial bodies. An overarching legal framework is needed to address these concerns, ensuring that space resource activities adhere to global environmental standards. 'Ref. [10]'.

The lack of ratification of the Moon Agreement, which specifically governs the utilisation of lunar resources, further illustrates the difficulties in achieving global consensus. As of 2024, only 17 countries have ratified the Moon Agreement, showing the reluctance of major spacefaring nations to commit to a common framework. However, a global agreement on space resources is critical to ensuring that all countries, not just the technologically advanced, can benefit from the wealth of resources that space offers. A general regulation would facilitate international cooperation, promote equitable resource sharing, and ensure that space remains a peaceful domain. Such a framework must balance the interests of spacefaring nations and emerging space economies while preserving the environment of outer space.. 'Ref. [10]'.

In its early stages, outer space exploration was characterised by a multilateral approach, based on international cooperation and the idea of outer space as a 'global commons' to be considered for the benefit of humankind collectively. In 1958, the United Nations General Assembly established the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (**UN COPUOS**) to govern the exploration and use of space for the benefit of all humanity and to pursue international cooperation in the peaceful uses of outer space. Since that time, the

UN COPUOS has been supported in its work by the United Nations Office for Outer Space Affairs (**UNOOSA**). 'Ref. [11]'.

- **Challenge:** The lack of an up-to-date, comprehensive, global legal framework leads to gaps in regulation, creating uncertainty and competition among countries and private actors, which may undermine long-term sustainability.
- **Solutions:**
 - **International treaties and agreements:** A new or updated treaty specifically focused on the sustainability of space activities, such as space debris management and resource utilization, could establish clearer guidelines for safe and responsible space operations.
 - **Global governance:** The creation of international bodies dedicated to space sustainability, along with collaboration through the **United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA)**, could ensure that space exploration benefits all of humanity and remains peaceful, sustainable, and transparent.

E. Militarization of Space

The military use of space is not new, yet it has developed and become more advanced today. Major powers, such as the US, China, and Russia, now have their own military units specialized in space operations, indicating that space has become a new war-fighting domain. Although more nations develop and test sophisticated space capabilities, including kinetic and non-kinetic weapons, a conventional war in space is not expected. The stakes are high as the world has grown increasingly reliant on the information and connectivity that the military, civil, and commercial space systems provide, creating new realms of vulnerability. There are several weaknesses in the existing legal framework, looking at the Outer Space Treaty adopted during the Cold War. The militarization of space and developments in space technologies have resulted in growing tensions hinting at a need for new agreements to promote cooperation. So far, the UN has made several unsuccessful attempts to reach a new space treaty. Still, established in 2022 by the UN General Assembly, the Open-Ended Working Group might potentially decrease further space tensions. The group comes with a change in focus, as it has stepped away from the stalemate in discussing a new treaty on space weapons and moved towards a focus on non-binding norms, rules, and responsible behavior. 'Ref. [12]'.

There is increasing concern about the militarization of space. Countries are investing in space-based weapons and defence systems, which could lead to conflict and escalate tensions in space.

- **Challenge:** The development of weapons in space could destabilize space security, create more debris, and undermine the peaceful use of outer space.
- **Solutions:**
 - **Space arms control agreements:** Efforts to create treaties or agreements to limit the development and deployment of weapons in space could reduce the risk of space becoming a conflict zone. Existing arms control efforts, like the **Outer Space Treaty**, could be reinforced to prevent further militarization.
 - **Transparency and confidence-building:** Ensuring that space activities, especially those with military applications, are conducted transparently could help build trust between space-faring nations and reduce the likelihood of conflict.

F. Public-Private Collaboration

Private companies are increasingly becoming key players in space exploration, but they often prioritize profitability over long-term sustainability. Balancing their interests with global space safety will require collaboration with government agencies and international organizations.

- **Challenge:** Private sector players may lack incentives to adopt sustainable practices if they are not mandated or incentivized by regulations.
- **Solutions:**
 - **Public-private partnerships:** Governments can incentivize private companies to adopt sustainable practices by providing grants, tax breaks, or other rewards for developing space debris mitigation technologies, green propulsion systems, and safer satellite designs.
 - **International collaboration:** Encouraging cooperation between space-faring nations and private companies could help ensure that sustainability is prioritized, with shared responsibility for managing space activities.

V. CONCLUSION: TOWARD A SAFER AND MORE SUSTAINABLE FUTURE IN SPACE

Achieving sustainability in space requires a multifaceted approach that combines international cooperation, innovation in technology, and strong regulatory frameworks. Key priorities include addressing space

debris, preventing overcrowding in orbit, ensuring responsible space resource extraction, minimizing the environmental impact of space activities, and fostering collaboration between the public and private sectors.

As space exploration continues to grow, the global community must recognize that outer space is a shared environment that requires cooperation and proactive management to ensure its long-term sustainability and safety for future generations.

Despite the advancements made in space law, several significant challenges still exist. One of the key issues is the ownership of space resources. While Article 2 of the Outer Space Treaty (OST) prohibits national appropriation of celestial bodies, as nations create laws that grant ownership of resources found in space, legal questions arise about how these resources can be owned and utilized. Developing an international framework that balances these ownership issues with the commercial exploitation of space resources is critical to avoiding future conflicts.

Another major challenge is jurisdiction. Since space activities occur outside the territorial jurisdiction of any single state, regulating these activities on a global scale requires a novel legal approach. Traditional jurisdictional concepts must be adapted to the unique realities of space. A legal framework is needed that clearly defines compliance and enforcement mechanisms, ensuring that space activities follow international laws while addressing the specific complexities of outer space operations.

Ethical considerations are also crucial in the debate over space resource utilization. The commercialization of space must be tempered by the responsibility to preserve and protect celestial environments. A global legal framework could establish ethical standards that prevent the exploitation or irreversible degradation of space environments, similar to how environmental regulations on Earth aim to protect ecosystems.

Looking to the future, the role of space resources will be increasingly shaped by technological advancements and evolving legal frameworks. Upcoming missions by private companies and national space agencies are set to explore and mine asteroids and other celestial bodies, testing the viability of space mining on a larger scale. As these technologies progress, legal regulations must evolve as well, addressing emerging challenges and new opportunities while ensuring that space activities remain sustainable. Future frameworks will need to address environmental protections, commercial rights, and international cooperation in greater detail.

The regulation of space resource utilization is not just a legal necessity—it is a crucial aspect of humanity's future in space. As nations and private enterprises expand their activities in outer space, the creation of a comprehensive, collaborative international legal framework becomes more urgent. Such a framework would guarantee that space resources are used in a sustainable and equitable manner, paving the way for a new era of exploration and innovation. Through international cooperation and forward-thinking policies, humanity can harness the immense potential of space resources while preserving space as a peaceful, shared domain for future generations.

REFERENCES

- [1] UNOOSA, United Nations Office for Outer Space Affairs, 'Space Law': <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/index.html>
- [2] UNOOSA: The Development of Space Law: Framework, Objectives and Orientations: <https://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/activities/2014/splaw2014-keynote.pdf>
- [3] Science Direct: Five key turning points in the American space industry in the past 20 years: Structure, innovation, and globalization shifts in the space sector: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094576511001731>
- [4] CENTER FOR SPACE POLICY AND STRATEGY: Space Agenda 2025: https://csps.aerospace.org/sites/default/files/2024-10/05d_SpaceRegulatoryReform_Weeden-Woodburn_20241018PM.pdf
- [5] NASA: Space Debris: <https://www.nasa.gov/headquarters/library/find/bibliographies/space-debris/>
- [6] Aerospace: Space Debris 101: <https://aerospace.org/article/space-debris-101#:~:text=Collisions%20in%20certain%20orbits%20are,a%20few%20months%20to%20reenter.>
- [7] See Marais, supra note 4; Miraux, supra note 2 at 6.
- [8] Report to Congress on Black Carbon: Executive Summary, EPA (Mar. 2012) <https://www3.epa.gov/airquality/blackcarbon/2012report/ReportHighlightsExecSummary.pdf>.
- [9] Miraux, supra note 2 at 6 (referencing study described in Ross & Sheaffer, Radiative Forcing Caused by Rocket Engine Emissions, 2(4) Earth's Future, 177 (2014)).
- [10] The Georgetown environmental: The Environmental Impacts of the New Space Race: <https://www.law.georgetown.edu/environmental-law-review/blog/the-environmental-impacts-of-the-new-space-race/>
- [11] Norton Rose Fulbright: Governance in outer space: The case for a new global order: <https://www.nortonrosefulbright.com/en/knowledge/publications/e8862684/governance-in-outer-space-the-case-for-a-new-global-order>
- [12] Be Horizon: Increased Militarisation of Space – A New Realm of Security: <https://behorizon.org/increased-militarisation-of-space-a-new-realm-of-security/>

Uluslararası ve Ulusal Uzak Hukukunda Uzak Faaliyetlerinin Sürdürülebilirliği

Merve Erdem Burger^{a,b,*}

^aUKET Derneği, Yönetim Kurulu Üyesi, Türkiye.

^bİşviçre Uzak Hukuku Forumu, Kurucu Üye, İşviçre.

^{*}Sorumlu Yazar: merverdemburger@gmail.com

ÖZET

Uzayın bir çevre olarak korunması, uzak faaliyetlerinin sürdürülebilmesi ve uzak faaliyetlerinden elde edilen faydanın gelecek kuşağa aktarılabilmesi hususunun teknik ve ekonomik boyutu olduğu gibi hukuki bir boyutu da bulunmaktadır. Uzak faaliyetlerinin sürdürülebilirliği genel başlığı altında ele aldığımız işbu meselenin hukuki boyutu, hem devletlerin uzak faaliyetlerinin kontrolü ve denetimi için kendi mevzuatını geliştirmesini hem de uzayın sürdürülebilirliğine ilişkin teknik yöntemlerin (uzak çöplerinin azaltılması, uzak durumsal farkındalığı, uzak trafiği) hukukun düzenlemesini içermektedir. İşbu çalışmada uzak faaliyetlerinin sürdürülebilirliğinin hukuki boyutunun içeriği hem uluslararası hem de ulusal uzak hukuku yönünden ele alınacaktır. İşbu kapsamda, ilgili uluslararası hukuk kaynakları incelenip, ulusal uzak hukukundaki gelişmeler karşılaştırmalı olarak ele alınacaktır. Sonuç olarak da uluslararası ve ulusal hukuk düzenindeki uzayın sürdürülebilirliğine ilişkin mevcut durum ortaya konup geleceğe dair hukuki düzenlemelerin neler olması gerektiğine dair bir değerlendirme yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: *Uzak faaliyetlerinin sürdürülebilirliği, Uzak çöplerinin azaltılması, Uzak faaliyetlerinin denetimi, Uzak sürdürülebilirliğinin hukuki boyutu.*

I. Giriş

Uzak faaliyetlerinin sürdürülebilirliği, bilimsel, teknik ve aynı zamanda hukuki bir konudur. Uzak faaliyetlerinin sürdürülebilirliği hedefine ulaşabilmek için, bu hedefe ulaşmada atılması gereken adımların hukuki güvence altına alınması elzemdir. Aksi durumda, halihazırda olduğu gibi, yörüngede uzak cismi popülasyonunun hızla artması, uzaya erişimin ve uzak faaliyetlerinin geleceğinin tehlikeye girdiği bir durumla karşı karşıya olmaktadır. İşbu çalışma da hukukun uzak faaliyetlerinin sürdürülebilirliğine ilişkin rolünü ve sürdürülebilirlik kapsamında neleri düzenlediğini göstermek ve geleceğe dair neler yapılması gerektiğini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

II. UZAK FAALİYETLERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN TANIMI VE UNSURLARI

Wilson & Vasile'in 2023 yılında yayınlanan çalışması uyarınca uzak ve sürdürülebilirlik ilişkisini üçe ayırmak mümkündür:

- Uzaydan sürdürülebilirlik,
- Uzayda sürdürülebilirlik,
- Uzay için sürdürülebilirlik [1].

Wilson & Vasile'in makalesinde, uzaydan sürdürülebilirlik, uzayın küresel sorunların çözülmesinde direkt ya da dolaylı olarak kullanılması; uzayda sürdürülebilirlik uzayın (bir doğal kaynak olarak) ve uzak faaliyetlerinin (kullanım ve işletme) korunması; uzak için sürdürülebilirlik dünya çevresinin uzak faaliyetlerinin etkisinden korunması olarak tanımlanmaktadır [1].

İşbu çalışmada, referans [1]'de "uzayda sürdürülebilirlik" olarak sınıflandırılan ve Birleşmiş Milletler (BM) Uzak Faaliyetlerinin Uzun Vadeli Sürdürülebilirliği Kılavuz Kuralları'nda "uzak faaliyetlerinin sürdürülebilirliği" olarak ifade edilen uzak ve sürdürülebilirlik ilişkisi ele alınacaktır [2].

BM Uzak Faaliyetlerinin Uzun Vadeli Sürdürülebilirliği Kılavuz Kuralları'na göre uzak faaliyetlerinin sürdürülebilirliği "uzak faaliyetlerinin uzun vadeli sürdürülebilirliği, gelecek nesiller için dış uzay ortamını korurken mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, uzak faaliyetlerinin barışçıl amaçlarla araştırılması ve kullanılmasının yararlarına adil erişim hedeflerini gerçekleştirecek şekilde uzak faaliyetlerinin gelecekte de süresiz olarak sürdürülmesi yeteneği" olarak tanımlanmaktadır [2].

Gerek BM Uzak Faaliyetlerinin Uzun Vadede Sürdürülebilirliği Kılavuz Kuralları'nın yer verdiği tanımlı gerek BM Kılavuz Kuralları'nda yer alan kuralları göz önüne alacak olursak uzay faaliyetlerinin sürdürülebilirliğinin unsurlarını şu şekilde tespit etmek mümkündür:

- Uluslararası uzay hukukunun uygulanması ve güncellenmesi,
- Uzay çöplerinin azaltılması ve uzay çevresinin korunması,
- Uzay trafiği yönetimi, uzay durumsal farkındalığı ve uzay hava durumu gözlemi,
- Yörünge içi servis ve uzayda döngüsel ekonomi [2].

Çalışmanın devamında işbu unsurların gerek uluslararası uzay hukukunda gerek ulusal uzay hukukunda nasıl ele alındığını inceleyeceğiz.

III. UZAY FAALİYETLERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN ULUSLARARASI HUKUK BOYUTU

A. Uluslararası Uzay Hukukunun Uygulanması

Uluslararası uzay hukukunun uygulanması devletler açısından, uluslararası yükümlülüklerin ya da gönüllü olarak uymayı taahhüt ettikleri ilkelerin iç hukuk düzenine yasama, yürütme ya da yargı faaliyetleri ile aktarılmasını ifade eder [3]. Dolayısıyla işbu başlık altında uluslararası uzay hukukunun uygulanmasına yönelik uluslararası yükümlülüklerin ve devletler nezdinde bağlayıcı olmayan ilkelerin burada ifade edilmesi gerekmektedir.

Uluslararası uzay hukukunun uygulanmasına yönelik uluslararası yükümlülükler;

- 1967 Ay ve Diğer Gök Cisimleri Dahil, Uzayın Keşif ve Kullanılmasında Devletlerin Faaliyetlerini Yöneten İlkeler Hakkında Antlaşma (Uzay Antlaşması)'nın VI. maddesinde yer alan uluslararası sorumluluk [4],
- 1972 Uzay Cisimlerinin Verdiği Zarardan Dolayı Uluslararası Sorumluluk Hakkında Sözleşme (Zarardan Sorumluluk Sözleşmesi) uyarınca devletlerin uzay araçlarının verdiği zarardan sorumluluğu [5],
- 1975 Atmosfer Dışı Uzaya Gönderilen Cisimlerin Tescili Sözleşmesi (Tescil Sözleşmesi) uyarınca uzay araçlarının tescil edilmesi ile ilgili yükümlülükler [6].

Uzay Antlaşması VI. maddesinde yer alan uluslararası sorumluluk düzenlemesinin kapsamında devletler, gerek kamu kurumlarının gerek devlet dışı özel hukuk kişilerinin gerçekleştirdikleri uzay faaliyetlerinin Uzay Antlaşması'na uygun olarak gerçekleştirildiğini garanti ederler. Bunun yanında devletlerin, devlet dışı aktörlerin gerçekleştirdiği uzay faaliyetlerini yetkilendirme ve sürekli denetleme yükümlülüğü de bulunmaktadır. Maddede devletlerin bunu nasıl gerçekleştireceklerine dair bir ibare yer almasa da genel uygulama, ulusal hukuk sisteminde uzay faaliyetlerinin nasıl yetkilendirileceğini ve denetleneceğini içeren kanun, yönetmelik, tebliğ vs. çıkarılması olarak cereyan etmektedir [7].

Zarardan Sorumluluk Sözleşmesi uyarınca devletler, uzay araçlarının uzayda verdikleri zarardan kusurlarının varlığı halinde ve oranında; yeryüzünde ve hava sahasında hava aracına verilen zararlarda mutlak olarak sorumludur. Üstelik devletlerin bu zarardan sorumluluğu, genel uygulama uyarınca, özel kişilerin faaliyetlerinden doğan zarardan sorumlu olmayı da kapsamaktadır. Dolayısıyla devletler, özel hukuk kişilerinin uzay faaliyetlerinden doğan zararların tazminine ilişkin benimsediği yaklaşımı düzenlemek durumundadır. İşbu yaklaşımlar devletten devlete değişmektedir [8].

Tescil Sözleşmesi uyarınca da devletlere iki yükümlülük getirilmektedir. Bunlardan ilki, Sözleşme'nin II. maddesi uyarınca devletlerin kendi ulusal uzay aracı sicil kaydını oluşturmaları ve fırlatma sonrası uzay araçlarının sicile tescil edilmesi [6]; ikincisi de IV. madde uyarınca Birleşmiş Milletler Genel Sekreterliği nezdinde tutulan uluslararası uzay araçları sicil kaydına fırlatılan uzay araçlarının tescil edilmesidir [6]. Özellikle ulusal sicil kaydının oluşturulması, yine devletlerin kendi iç hukuk düzenlerinde işlem yapmalarını gerektirmektedir [9].

Yukarıda gördüğümüz üzere, uluslararası uzay hukukunun devletler tarafından uygulanmasını gerektiren uluslararası yükümlülükler bulunmaktadır. Yer verdiğimiz örnekler dışında yumuşak hukuk kuralı olarak kabul edilen ve uygulaması devletlerin takdirine bırakılan ilkeler de uluslararası uzay hukukunun uygulanmasına ilişkin hususlar içermektedir. Bunun en somut örneği BM Uzay Faaliyetlerinin Uzun Vadede Sürdürülebilirliği Kılavuz Kuralları'nda yer alan Uzay Faaliyetleri için Siyasa ve Yasal Çerçeve bölümündeki;

A.1. Uzay faaliyetleri için ulusal yasal çerçevenin benimsenmesi, gözden geçirilmesi ve gerektiğinde değiştirilmesi,

A.2. Uzay faaliyetleri için ulusal yasal çerçeveleri geliştirirken, gözden geçirirken veya gerektiğinde değiştirirken bir dizi unsurun göz önünde bulundurulması, ilkeleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

A.2. ilkesinde yer alan unsurlar da şu şekilde özetlenebilir:

- Uzay faaliyetlerinin yetkilendirilmesi ve sürekli denetlenmesi;
- Ulusal uzay araçları sicili oluşturulması,

- Uluslararası zarardan sorumlulukla ilgili tedbirler;
- Uzak çöplerinin azaltılması tedbirleri;
- Dış Uzayda Nükleer Güç Kaynağı Uygulamaları için Güvenlik Çerçevesi;
- Nükleer güç kaynaklarının kullanımına ilişkin ilkeler,
- ISO, Uzak Veri Sistemleri Danışma Komitesi, Kurumlar Arası Uzak Enkazı Koordinasyon Komitesi ve Uzak Araştırmaları Komitesi tarafından önerilen kılavuzlar gibi Uluslararası Teknik Standartlar [2].

B. Uzak Çöplerinin Azaltılması ve Uzak Çevresinin Korunması

Uzak çöpleri, artık işlevsiz hale gelmiş uzak aracını veya uzak aracı parçalarını ifade etmektedir. Kontrolsüz bir şekilde yörüngede bırakılmaları neticesinde, yeni çatmaların oluşması ve daha çok uzak çöpü oluşmasına sebep olma tehlikesi yaratmaktadır. Uzak çöpü sayısının artması, uzayın da bir çevre olarak kirlenmesine sebep olmaktadır [10].

Uzak çöplerinin azaltılması ve uzak çevresinin korunmasının uluslararası uzak hukuku boyutunu ele alırken, 1967 Uzak Antlaşması'na, Birleşmiş Milletler (BM) Uzak Çöplerinin Azaltılması Kılavuz Kuralları'na ve BM Uzak Faaliyetlerinin Uzun Vadede Sürdürülebilirliği Kılavuz Kuralları'na değinmek gerekmektedir.

Uzak Antlaşması direkt uzak çöplerinin azaltılması meselesine değinmemek ile birlikte, Antlaşma'nın IX. maddesinde yer alan "uzayın dünyadan kirlenmesinin kaçınılması yükümlülüğünün" uzak çöplerinin azaltılması ile ilişkilendiren yorumlar doktrinde geniş yer almaktadır. Buna göre, Uzak Antlaşması'nın IX. maddesi uyarınca uzak faaliyetlerinde bulunan taraf devletler uzayın, Ay'ın ve gök cisimlerinin kirlenmesinden kaçınacak şekilde hareket etmeli ve gerekirse uygun önlemleri almalıdır. Doktrindeki yaygın kanı uyarınca, uzak çöpleri uzayın zararlı kirlenmesi olarak ifade edilmekte ve devletlerin uzak çöplerinin oluşumunu önleme yükümlülüğüne sahip olduğu yorumu yapılmaktadır [4], [11].

Uzak Antlaşması'nın IX. maddesi yanında, BM Uzak Çöplerinin Azaltılması Kılavuz Kuralları ile BM Uzak Faaliyetlerinin Uzun Vadede Sürdürülebilirliği Kılavuz Kuralları da uzak çöplerinin azaltılmasına ilişkin kılavuz kurallar öngörmektedir. İşbu kılavuz kurallar, devletler nezdinde bağlayıcı olmasalar bile devletlere uzak çöplerinin azaltılması ile ilgili kendi düzenlemelerini yapmaları ve politika geliştirmeleri için yol göstermektedir [12].

BM Uzak Çöplerinin Azaltılması Kılavuz Kuralları genel olarak uzak çöplerinin azaltılması ile ilgili şu ilkelere yer verir:

- Kılavuz kural 1: Normal operasyonlar sırasında salınan döküntülerin sınırlandırılması,
- Kılavuz kural 2: Operasyonel aşamalar sırasında parçalanma olasılığının en aza indirilmesi,
- Kılavuz kural 3: Yörüngede kazara çarpışma olasılığının sınırlandırılması,
- Kılavuz kural 4: Kasıtlı tahribattan ve diğer zararlı faaliyetlerden kaçınılması,
- Kılavuz kural 5: Depolanan enerjiden kaynaklanan görev sonrası parçalanma olasılığının en aza indirilmesi,
- Kılavuz kural 6: Uzak aracı ve fırlatma aracı yörünge aşamalarının görevlerinin sona ermesinden sonra alçak Dünya yörüngesi (LEO) bölgesinde uzun süreli bulunmalarının sınırlandırılması,
- Kılavuz kural 7: Uzak aracı ve fırlatma aracı yörünge aşamalarının görevlerinin sona ermesinden sonra jeosenkron Dünya yörüngesi (GEO) bölgesiyle uzun vadeli etkileşiminin sınırlandırılması [12].

BM Uzak Faaliyetlerinin Uzun Vadede Sürdürülebilirliği Kılavuz Kuralları da uzak çöplerinin azaltılmasına ilişkin şu ilkelere yer verir:

- Kılavuz kural A.2: Dış uzak faaliyetleri için ulusal düzenleyici çerçeveleri geliştirirken, gözden geçirirken veya gerektiğinde değiştirirken bir dizi unsurun göz önünde bulundurulması. Yukarıda da yer verdiğim üzere işbu kılavuz kural içinde sayılan unsurlardan bir tanesi de uzak çöplerinin azaltılmasına ilişkin önlemlerdir.
- Kılavuz kural B.3: Uzak çöpü izleme bilgilerinin toplanmasını, paylaşılmasını ve yaygınlaştırılmasının teşvik edilmesi,
- Kılavuz kural B.8: Fiziksel ve operasyonel özelliklerinden bağımsız olarak uzak nesnelerinin tasarımı ve işletimi,
- Kılavuz kural D.2: Uzak enkazı popülasyonunu uzun vadede yönetmek için yeni önlemlerin araştırılması ve değerlendirilmesi [2].

C. Uzak Trafik Yönetimi, Uzak Durumsal Farkındalığı ve Uzak Hava Durumu Gözlemi

İşbu başlık altında özellikle BM Uzak Faaliyetlerinin Uzun Vadede Sürdürülebilirliği Kılavuz Kuralları'nın öngördüğü kılavuz kurallara yer vermek yerinde olacaktır.

BM Uzak Faaliyetlerinin Uzun Vadede Sürdürülebilirliği Kılavuz Kuralları uyarınca uzak trafiğine ilişkin kılavuz kurallar şunlardır:

- Kılavuz Kural A.3 Uzay faaliyetlerinin denetimi kapsamında uzay faaliyetlerinin güvenliğini ve sürdürülebilirliğini teşvik etmek için etkili ve zamanında bilgi paylaşımını ve olası acil önlemlerin alınması koordinasyonunu kolaylaştırmak için ilgili makamlarda iletişimden sorumlu irtibat noktalarının belirlenmesi.
- Kılavuz kural A.4 Uydular tarafından kullanılan radyo frekans spektrumunun ve çeşitli yörünge bölgelerinin adil, rasyonel ve verimli bir şekilde kullanılması.
- Kılavuz kural B.1 Uzay araçları ve yörünge faaliyetleri hakkında bilgi paylaşma ve işbu bilgileri paylaşacak ilgili kurumlardaki irtibat noktaları bilgilerinin güncellenmesi.
- Kılavuz kural B.2 Uzayda bulunan nesnelere ilişkin veri doğruluğunu arttırmak ve yörünge bilgisi paylaşımının uygulanmasını ve faydasını geliştirmek.
- Kılavuz kural B.3 Uzay çöpü izleme bilgilerinin toplanması, paylaşılması ve yaygınlaştırılmasını teşvik etmek.
- Kılavuz kural B. 4 Kontrollü uçuşun her bir yörünge aşaması için yaklaşma değerlendirmesi yapılması.
- Kılavuz kural B.5 Fırlatma öncesi yaklaşma değerlendirmesi yapılması için gerekli metodların geliştirilmesi.
- Kılavuz kural B. 9 Uzay araçlarının kontrolsüz atmosfere girişiyle ilgili risklere karşı önlem alma.
- Kılavuz kural B.10 Yakın uzayı aşan lazer ışınlarının kullanımı esnasında, bu ışınların yörüngedeki uyduları etkileme olasılığının değerlendirilmesi ve uydulara zarar vermenin önüne geçilmesi için uygun önlemlerin gözetilmesi [2].

BM Uzay Faaliyetlerinin Uzun Vadede Sürdürülebilirliği Kılavuz Kuralları uyarınca uzay durumsal farkındalığına ilişkin kılavuz kurallar şunlardır:

- Kılavuz kural B.1 Kılavuz kural B.1 Uzay araçları ve yörünge faaliyetleri hakkında bilgi paylaşma ve işbu bilgileri paylaşacak ilgili kurumlardaki irtibat noktaları bilgilerinin güncellenmesi. Buna gerçek zamanlı uzay hava durumu verilerinin, yörünge konumlarının ve birleşme değerlendirmelerinin paylaşılması da dâhildir.
- Kılavuz kural B.2 Uzayda bulunan nesnelere ilişkin veri doğruluğunu arttırmak ve yörünge bilgisi paylaşımının uygulanmasını ve faydasını geliştirmek.
- Kılavuz kural B.3 Uzay çöpü izleme bilgilerinin toplanması, paylaşılması ve yaygınlaştırılmasını teşvik etmek.
- Kılavuz kural B. 4 Kontrollü uçuşun her bir yörünge aşaması için yaklaşma değerlendirmesi yapılması.
- Kılavuz Kural B.8 Uzay araçlarının fiziksel ve operasyonel özelliklerinden bağımsız olarak izlenebilirliğini arttıracak şekilde dizayn edilmesi ve işletilmesi [2].

BM Uzay Faaliyetlerinin Uzun Vadede Sürdürülebilirliği Kılavuz Kuralları uyarınca uzay hava durumu izlemeye ilişkin kılavuz kurallar şunlardır:

- Kılavuz kural B.6 Operasyonel uzay havası verilerinin ve tahminlerinin paylaşımı.
- Kılavuz kural B.7 Uzay havası modellerinin ve araçlarının geliştirilmesi ve uzay havasının etkilerinin azaltılması için geliştirilen tekniklerin bir araya getirilmesi [2].

Sonuç olarak uluslararası uzay hukukunda uzay trafiği yönetimi, uzay durumsal farkındalığı ve uzay hava durumu izlemesi hususunda devletlere somut ve bağlayıcı yükümlülükler verilmemiştir. İşbu konuların BM Uzay Faaliyetlerinin Uzun Vadede Sürdürülebilirliği Kılavuz Kuralları'nın kapsamına girmesi ile henüz devletlerin bu alanlara ilişkin iş birliği yapması teşvik edilmektedir.

D. Uzay İçi Servis ve Döngüsel Ekonomi

Uzay İçi Servis genel olarak, uzay ortamı içinde uzay araçlarının tamir edilmesi, yakıt ikmali yapılması, işlevini yitirmiş araç ya da parçaların geri dönüştürülmesi ve uzay araçlarının aktif olarak yörüngeden alınması teknolojilerini ifade etmektedir. Henüz teknoloji geliştirme aşamasında olan bu faaliyetler, uzayda bir döngüsel ekonomi oluşturulmasının anahtar faaliyetleri olarak karşımıza çıkmaktadır [13].

Uzay içi servis ve uzayda döngüsel ekonomi hususları siyasa ve teknoloji olarak yeni gelişmekte olan alanlar olduğu için uluslararası uzay hukukunda bu hususlara ilişkin düzenlemelere rastlamak henüz mümkün değildir. Ancak BM Uzun Vadede Sürdürülebilirlik Kılavuz Kuralları D. 2 Uzun vadede uzay çöpü popülasyonunu yönetmek için yeni önlemlerin araştırılması ve değerlendirilmesine ilişkin kılavuz kuralını uzay içi servis ve uzayda döngüsel ekonomi bakımından da değerlendirmek mümkündür. Buna göre, BM Uzun Vadede Sürdürülebilirlik Kılavuz Kuralları yeni teknolojiler geliştirilmesini ve gelişen teknolojinin yaratacağı siyasa ve hukuki soruların BM Şartı ve uluslararası hukuka uygun bir şekilde giderilmesini teşvik etmektedir [2].

Ayrıca uzay içi servis teknolojisinin geliştirilmesi ve uzayda döngüsel ekonomiye geçilmesi hususunda öncülük eden Avrupa Uzay Ajansı'nın kendi kabul ettiği teknik standartlarda, işbu hususlara ilişkin kurallara rastlamak mümkündür. Özellikle Uzay Çöplerinin Azaltılması Yükümlülükleri [14], Güvenli Yakın Mesafe Operasyonlarına İlişkin Kılavuz Kurallar ve Arayüz Gereksinim Belgesi [15] uzay içi servis teknolojilerinin geliştirilmesinde ve operasyonun güvenli ve başarıyla gerçekleştirilmesi, işbu operasyonlar neticesinde bir uzay çözü açığa çıkmasının önüne geçilmesi amacıyla Avrupa Uzay Ajansı bünyesinde geliştirilmiştir. Ancak bu teknik standartlar, Avrupa Uzay Ajansı bünyesinde gerçekleştirilen misyonlar için bağlayıcıdır, genel geçer uygulaması bulunamamaktadır.

E. Uluslararası Bölgesel Bir Örgüt Olarak Avrupa Birliği ve Uzay Faaliyetlerinin Sürdürülebilirliği

Avrupa Birliği (AB) 2021 yılında geliştirdiği "Sivil, savunma ve uzay endüstrileri arasındaki sinerjilere ilişkin eylem planı" ile uzay trafik yönetimi bakımından bir AB stratejisi geliştirileceğini duyurmuştur. Bunun üzerinde 10 Mart 2023 tarihinde kabul edilen Güvenlik ve Savunma için AB Uzay Stratejisine İlişkin Ortak Bildiri, AB uzay sistemlerinin ve hizmetlerinin dayanıklılığının korunması ve geliştirilmesi ihtiyacını vurgulamıştır. Bu bağlamda Strateji, Birlik içindeki uzay sistemleri ve hizmetlerinin kolektif dayanıklılık düzeyini arttırmak ve Üye Devletler arasında koordinasyon mekanizmaları kurmak için bir AB Uzay Yasası'nın çıkarılmasını önermiştir [16].

Stratejinin kabul edilmesi üzerine başlayan AB Uzay Yasası taslağı hazırlıkları henüz tamamlanmamıştır. Ancak AB'nin uzay ile ilgili düzenleme yapma yetkisini de göz önüne alarak, taslağın aşağıda belirtilen hususları içereceği ilan edilmiştir:

- Artan çarpışma riski ve uzay enkazından kaynaklanan hasarlarla mücadele eden güvenli bir uydu trafiği sağlamak: AB Uzay Yasası güvenlik ayağı.
- AB ve ulusal uzay altyapılarını ve varlıklarını zararlı tehditlere (özellikle siber saldırılara) karşı tutarlı bir şekilde korumak: AB Uzay Yasası dayanıklılık ayağı
- AB'nin hizmetlerin ve ekonomik büyümenin önemli bir destekçisi olarak uzaya güvenebilmesini sağlayarak uzay operasyonlarının uzun vadeli sürdürülebilirliğini garanti altına almak: AB Uzay Yasası sürdürülebilirlik ayağı [16].

IV. UZAY FAALİYETLERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN ULUSAL HUKUK BOYUTU

A. Uluslararası Uzay Hukukunun Uygulanması

Uluslararası uzay hukukunun ulusal hukukta uygulanması kapsamında, özellikle devletlerin uluslararası uzay hukukundan doğan yükümlülüklerin yerine getirilebilmesi için iç hukukta gerçekleştirdikleri yasama faaliyetlerini incelemek gerekmektedir. Buna ilişkin yapılan çalışmada da öncelikle hangi devletlerin inceleneceğinin ve uluslararası uzay hukukuna ilişkin hangi yükümlülüklerin iç hukukta uygulanmasının inceleneceğinin tespit edilmesi gerekmektedir. Kendi çalışmam kapsamında incelenecek devletleri tespit etmek amacıyla, devletlerin uzay faaliyetleriyle ilişkili olup olmadığını gösteren Birleşmiş Milletler Uzay İşleri Ofisi Fırlatılan Uzay Araçları İndeksinden yararlandım. İlgili İndeks'in yörüngede yer alan uzay araçlarının ilişkili olduğu devletler listesini göz önüne alarak 83 devlet tespit ettim ve listede olmayan Tayvan, Lihtenştayn ve Güney Kıbrıs Rum Yönetimi'ni de karşılaştırmalı çalışmaya ekledim [17]. Toplamda ortaya çıkan 86 devleti karşılaştırmak amacıyla devletleri beş gruba ayırdım:

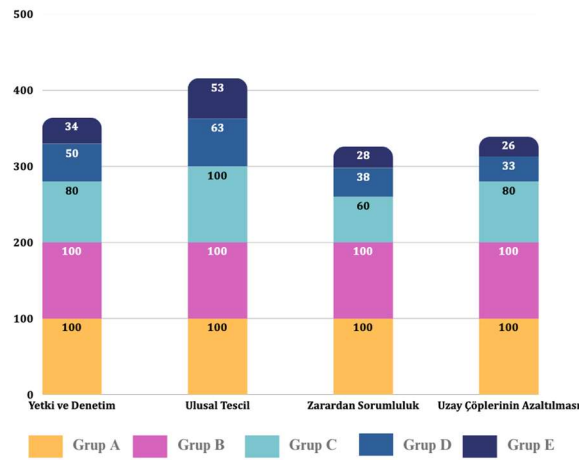
- A Grubu, yörüngede 1000'den fazla fırlatılmış uydusu olan devletleri ifade etmektedir. Amerika Birleşik Devletleri, Rusya Federasyonu ve Çin'den oluşmaktadır.
- B Grubu, yörüngede 1000'den az ve 100'den fazla uydusu olan devletleri ifade eder. Birleşik Krallık, Japonya, Fransa, Hindistan'dan oluşmaktadır.
- C Grubu, yörüngede 100'den az ve 50'den fazla uydusu olan devletleri ifade eder. Almanya, Kanada, İtalya, Kore Cumhuriyeti ve Lüksemburg'dan oluşmaktadır.
- D Grubu, yörüngede 50'den az ve 10'dan fazla uydusu olan devletleri ifade eder. İspanya (ES), Avustralya (AU), Brezilya (BR), İsrail, Finlandiya (FI), Uruguay (UY), Türkiye (TR), Singapur, İsviçre, Norveç (NO), Endonezya (ID), Tayvan (TW), Suudi Arabistan (SA), İsveç (SE), Meksika (MX), Birleşik Arap Emirlikleri (AE), Hollanda (NL), Tayland, İran, Mısır, Arjantin (AR), Moğolistan, Belçika (BE), Malezya (MY)'dan oluşmaktadır.
- E Grubu yörüngede 10'dan az fırlatılmış uydusu olan devletleri ifade etmektedir. Kazakistan (KZ), Ukrayna (UA), Güney Afrika (ZA), Danimarka (DK), Pakistan (PK), Çek Cumhuriyeti (CZ), Cezayir (DZ), Litvanya (LT), Polonya (PL), Ruanda, Bulgaristan, Şili (CL), Macaristan (HU), Fas, Estonya, Slovakya (SK), Avusturya (AT), Azerbaycan (AZ), Belarus (BY), Yunanistan (GR), Nijerya (NG), Peru (PE), Portekiz (PT), Venezuela, Vietnam, Angola, Ermenistan (AM), Kolombiya (CO), Cibuti (DJ),

Ekvador, Yeni Zelanda (NZ), Papua Yeni Gine, Filipinler (PH), Slovenya (SI), Zimbabve, Bangladeş, Bolivya, Kore Demokratik Halk Cumhuriyeti (KP), Etiyopya, İrlanda, Ürdün, Kenya, Kuveyt, Laos, Monako, Umman, Katar, Romanya, Senegal, Tunus, Türkmenistan (TM), Kıbrıs Cumhuriyeti (CY) ve Lihtenştayn (LI)'tan oluşmaktadır [17], [18].

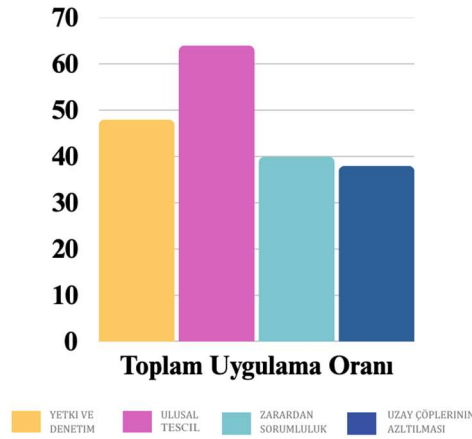
Uygulaması ele alınacak yükümlülükler olarak da yetkilendirme ve denetleme, uzay araçlarının ulusal tescili, zarardan sorumluluk yükümlülükleri ile bağlayıcı olmayan uzay çöplerinin azaltılması ilkelerini incelediğim çalışmada hangi devletlerin hangi temaya ilişkin düzenlemelerinin bulunduğu Tablo. 1'de gösterilmiştir. Ayrıca Tablo.2 grup ve temalara göre uygulama oranını, Tablo.3 de her bir tema için toplam uygulama oranını göstermektedir.

	Grup A	Grup B	Grup C	Grup D	Grup E
Yetkilendirme ve Denetleme	ABD Rusya Çin	BK Japonya Fransa Hindistan	Almanya ² Kanada ² Lüksemburg Kore C.	AU, BR, FI, AE, NO, ID, TW, TP, SE, NL, BE, MY	KZ, UA, ZA, DK, DZ, SK, AT, AZ, GR, NG, PT, ARM, NZ, PH, SI, TM, CY, LI
Ulusal Tescil	ABD Rusya Çin	BK Japonya Fransa Hindistan	Almanya Kanada İtalya Lüksemburg Kore C.	ES, AU, BR, FI, AE, TR, NO, ID, TP, MX, SE, NL, AR, BE, MY	KZ,UA, ZA, DK, PK, CZ, DZ, LT, CL, HU, SK, AT, AZ, BY, GR, NG, PE, PT, ARM, CO, DJ, NZ, PH, SI, TM, KP, CY, LI
Zarardan Sorumluluk	ABD Rusya Çin ¹	BK Japonya Fransa Hindistan	İtalya Lüksemburg Kore C.	BR, AU, FI, AE, ID, SE, NL, BE, MY	UA, ZA, DK, DZ, AT, AZ, GR, NG, PT, ARM, NZ, SI, TM, CY, LI
Uzay Çöplerinin Azaltılması	ABD Rusya Çin	BK Japonya Fransa Hindistan	Almanya ³ Kanada ³ İtalya ³ Kore C.	AU, BR, FI, AE, ID, NL ⁴ , AR ⁵ , BE	UA,DK,SK,AT,AZ, GR, NG, PT, ARM, NZ, SI, TM, CY, LI

Tablo 1. Grup ve temalara göre devletlerin uluslararası uzay hukukunu uygulamalarını gösterir tablo



Tablo2. Gruplara ve temalara göre uygulama oranını gösterir tablo



Tablo3. Temalara toplam uygulama oranını gösterir tablo

B. Uzak Çöplerinin Azaltılması ve Uzak Çevresinin Korunması

Yukarıda yer alan devletlerin uzak çöplerinin azaltılması ve uzak çevresinin korunması ile ilgili mevzuatlarını daha ayrıntılı incelediğimizde zaman zaman temel olarak üç yaklaşım görülmekte:

- Uzak çevresinin korunması olarak bir ilke olarak düzenlemek,
- Uzak faaliyetlerinin yetkilendirilmesi şartı olarak uzak çöplerinin azaltılması,
- Mevzuat olmadığı halde uygulamada yetkilendirme şartı olarak ileri sürmek ya da sadece uluslararası arenada uzak çöplerinin azaltılması ilkelerine bağlılığı ilan etmek [17], [18].

Buna ilişkin hazırlanan Tablo.4'te ilgili yaklaşımları ve buna ilişkin devlet örneklerini görmek mümkündür.

Genel İlke Olarak Düzenleme	Bir Yetkilendirme Şartı Olarak Uzak Çöplerinin Azaltılması	Mevzuat Yok
Bazı devletler uzay ortamını korumak için uzak çöplerinin azaltılmasını genel bir ilke olarak sunmaktadır; Azerbaycan, Endonezya ve Rusya Federasyonu'nun mevzuatlarını görüyoruz.	1. Yaklaşım: Uluslararası alanda kabul edilmiş ilkelere atıfta bulunarak ve izin/ruhsat/yetkilendirmenin bir parçası olarak uzak çöplerinin kontrol altına alınması yükümlülüğü öngörmek. (Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada, Kıbrıs, Danimarka, Finlandiya, Yunanistan, Nijerya, Portekiz, Slovenya ve Birleşik Krallık)	<u>Standartların uygulama yoluyla hayata geçirilmesi:</u> Almanya, İtalya ve Hollanda.
	2. Yaklaşım: Uzak çöplerinin azaltılması için yasalarında özel ve/veya ayrıntılı tedbirlere yer vermek. (Çin, Fransa, Japonya, Yeni Zelanda, Rusya Federasyonu, Birleşik Arap Emirlikleri, Ukrayna ve Amerika Birleşik Devletleri)	<u>Uluslararası ilkelere bağlılık beyanı:</u> Cezayir, Şili, Çek Cumhuriyeti, Hindistan, Lao PDR, Meksika, Myanmar, Polonya, Slovakya, İspanya, İsviçre ve Tayland UNOOSA aracılığıyla uluslararası tedbirlere bağlılıklarını beyan etmişlerdir.

Tablo4. Devletlerin uzak çöplerinin azaltılmasına ilişkin yaklaşımlarını gösterir tablo.

C. Uzay Durumsal Farkındalığı

Uzay durumsal farkındalığı henüz ulusal uzay hukuku kuralları içinde çok rastladığımız bir konu değildir. Ancak ABD’de ve Brezilya’da konuya ilişkin düzenlemelere rastlamak mümkündür.

ABD’nin Birleşik Devletler Kanunu Başlık 10, Alt Başlık A, Bölüm IV, Kısım 135, Bölüm 2274’te yer alan maddede uzay durumsal farkındalık hizmetleri ve bilgileri düzenlenmiştir. İlgili maddeye göre, Savunmadan sorumlu Sekreter, Birleşik Devletler Hükümeti dışındaki kuruluşlara uzay durumsal farkındalık hizmetleri ve bilgileri sağlayabilir ve onlardan uzay durumsal farkındalık verileri ve bilgileri alabilir. Bu tür bir eylem ancak Sekreter’in bu tür bir eylemin Amerika Birleşik Devletleri’nin ulusal güvenlik çıkarlarıyla tutarlı olduğunu belirlemesi halinde gerçekleştirilebilir.

Sekreter, aşağıdakilerden herhangi biri de dahil olmak üzere, Birleşik Devletler Hükümeti dışındaki herhangi bir kuruluşu bu madde kapsamında hizmet ve bilgi sağlayabilir ve bu kuruluşlardan veri ve bilgi elde edebilir:

- Bir Eyalet.
- Bir Devletin siyasi alt bölümü.
- Bir Birleşik Devletler ticari kuruluşu.
- Yabancı bir ülkenin hükümeti.
- Yabancı bir ticari kuruluş [19].

ABD, yanında Brezilya’da da yeni kabul edilen 14.946 sayılı ve 31 Temmuz 2024 tarihli Ulusal Uzay Faaliyetlerine Uygulanacak Kuralları Belirleyen Kanun’da uzay durumsal farkındalığı ile ilgili düzenlemeler mevcuttur. Kanun’a göre;

- Uzay durumsal farkındalığı faaliyetine ilişkin yetkilendirme, uzay savunma otoritesi tarafından verilecektir,
- Uzay cisimleri ve enkazlarına yönelik uzay durumsal farkındalığı koordinasyonu Brezilya Uzay Ajansı’nın desteğiyle Hava Kuvvetleri Komutanlığı’nın sorumluluğundadır [20].

D. Uzay İçi Servis

Uzay içi servis yukarıda da açıklandığı üzere yeni gelişmekte olan bir teknolojidir ve henüz deneme aşamasındadır. O nedenle ulusal uzay hukuku içinde oldukça az örnek bulunmaktadır.

ABD ile Birleşik Krallık, ilk uzay içi servis hizmetlerine ilişkin teknoloji deneme faaliyetlerine yetkilendirme vererek bu alanda öncü olmuş iki devlettir. Ancak konuya ilişkin yapılan yetkilendirmede, mevcut ulusal hukuk yetkilendirme kuralları uygulanmıştır. Yani, ABD’de Federal İletişim Komisyonu’nun uydu iletişimi kurallarına göre [21], Birleşik Krallık’ta ise o dönemde Birleşik Krallık’ta faaliyet gösteren uzay operatörlerine uygulanan 1986 Uzay Kanunu kullanılmıştır [22].

Bunun yanında Japonya ve Yeni Zelanda’da uzay içi servise uygulanacak hukuka ilişkin daha açık düzenlemeler bulmak mümkün. Nitekim Japonya’da yayımlanan Yörüngede Hizmet Veren Bir Uzay Aracını Çalıştırma Lisansına İlişkin Kılavuz İlkeler [23] ile Yörüngede Hizmet Görevleri için Güvenlik Standartları [24] belgeleriyle, Yeni Zelanda’da Aktif Enkaz Kaldırma ve Yörüngede Hizmet Görevleri: Operasyonel Politika [25] belgesiyle mevcut kuralların uzay içi servise nasıl uygulanacağına ilişkin politika oluşturulmuş durumdadır.

V. SONUÇ

Görüldüğü üzere uzay faaliyetlerinin sürdürülebilirliği genel olarak uluslararası uzay hukukunda bağlayıcı olmayan kurallarla düzenlenmiş ve bunların iç hukukta uygulanması genel anlamda zayıf kalmıştır. Bu noktada AB Uzay Yasası uzayda sürdürülebilirliğe ilişkin düzenlemeler açısından daha net ve bağlayıcı düzenlemeler getirebilir ve AB yeşil mutabakat ile dünyada sürdürülebilirlik kurallarında yaptığı gibi uzay faaliyetlerinin sürdürülebilirliği konusunda öncü olabilir. Aynı zamanda, devletlerin uzay faaliyetlerinin sürdürülebilirliği için ulusal uzay mevzuatı çıkarması, özellikle uzay güvenliği ve uzay çöplerinin azaltılması konularında yapılan ulusal düzenlemelerin yeknesaklaştırılması teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] A.R. Wilson & M. Vasile. "The space sustainability paradox," *Journal of Cleaner Production*, 423, 138869, 2023.
- [2] (2019) Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space. [Çevrimiçi]. Bkz.: https://www.unoosa.org/documents/pdf/PromotingSpaceSustainability/Publication_Final_English_June2021.pdf
- [3] Law Insider website. [Çevrimiçi]. Bkz.: <https://www.lawinsider.com/dictionary/implement>
- [4] 1967 Ay ve Diğer Gök Cisimleri Dahil, Uzayın Keşif ve Kullanılmasında Devletlerin Faaliyetlerini Yöneten İlkeler Hakkında Antlaşma. [Çevrimiçi]. Bkz.: <https://www5.tbmm.gov.tr/tutanaklar/KANUNLARKARARLAR/kanuntbmmc050/kanuntbmmc050/kanuntbmmc05000902.pdf>
- [5] 1972 Uzay Cisimlerinin Verdiği Zarardan Dolayı Uluslararası Sorumluluk Hakkında Sözleşme. [Çevrimiçi]. Bkz.: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/12/20061220-1.htm>

- [6] 1975 Atmosfer Dışı Uzaya Gönderilen Cisimlerin Tescili Sözleşmesi. [Çevrimiçi]. Bkz.: <https://www.tbmm.gov.tr/tutanaklar/TUTANAK/TBMM/d19/c056/tbmm19056083ss0334.pdf>
- [7] M. Gerhard. "Article VI", içinde S. Hobe & B. Schmidt-Tedd & K. Schrogl (Eds.) *Cologne Commentary on Space Law, Volume 1 Outer Space Treaty*, 103 – 125, Carl Heymanns Verlag: 2009.
- [8] A. Kerrest & C. Thro. "Liability for damage caused by space activities", içinde R.S. Jakhu & P.S. Dempsey (Eds.) *Routledge Handbook of Space Law*, 59 – 72, Routledge: 2017.
- [9] B. Schmidt-Tedd et al. "Article II" in S. Hobe & B. Schmidt-Tedd & K. Schrogl (Eds.) *Cologne Commentary on Space Law, Volume 2 Registration Convention*, 249-297, Carl Heymanns Verlag: 2013.
- [10] IADC Space Debris Mitigation Guidelines. [Çevrimiçi]. Bkz. : https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2025/aac.105c.12025crp/aac.105c.12025crp.9_0.html/AC105_C1_2025_CRP09E.pdf
- [11] S. Marchisio. "Article IX", içinde S. Hobe & B. Schmidt-Tedd & K. Schrogl (Eds.) *Cologne Commentary on Space Law, Volume 1 Outer Space Treaty*, 103 – 125, Carl Heymanns Verlag: 2009.
- [12] (2007) Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space. [Çevrimiçi]. Bkz.: https://www.unoosa.org/pdf/publications/st_space_49E.pdf
- [13] ESPI. On-orbit Servicing, Assembly, and Manufacturing State of Play and Perspectives on Future Evolutions. [Çevrimiçi]. Bkz.: <https://www.espi.or.at/reports/on-orbit-servicing-assembly-and-manufacturing-state-of-play-and-perspectives-on-future-evolutions/>
- [14] ESA Space Debris Mitigation Requirements. [Çevrimiçi]. Bkz.: https://technology.esa.int/upload/_media/ESA-Space-Debris-Mitigation-Requirements-ESSB-ST-U-007-Issue1.pdf
- [15] ESA Guidelines on Safe Close Proximity Operations and Interface Requirement Document. [Çevrimiçi]. Bkz.: <https://blogs.esa.int/cleanspace/2021/11/15/esa-publishes-guidelines-for-safe-close-proximity-operations/>
- [16] Targeted consultation on EU Space Law. [Çevrimiçi]. Bkz. https://defence-industry-space.ec.europa.eu/newsroom/consultations/targeted-consultation-eu-space-law_en
- [17] M. Erdem Burger. (2025). "A Comparative Analysis of the Implementation of International Space Law by States for the Sustainability of Outer Space Activities," *Advances in Space Research*, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2025.03.011>.
- [18] M. Erdem Burger. (2025). *Outer Space Law Instruments (Version 1.0)* [Data set]. FORS. <https://doi.org/10.48573/jrm8-vt89>
- [19] 10 U.S. Code § 2274. [Çevrimiçi]. Bkz.: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/USCODE-2010-title10/html/USCODE-2010-title10-subtitleA-partIV-chap135-sec2274.htm>
- [20] Lei N° 14946 DE 31/07/2024. [Çevrimiçi]. Bkz. : <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=462707>
- [21] FCC Notice of Inquiry on Space Innovation; Facilitating Capabilities for In-space Servicing, Assembly, and Manufacturing. [Çevrimiçi]. Bkz.: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-22-66A1.pdf>
- [22] ELSA-d Mission Licence Approved by UK Space Agency. [Çevrimiçi]. Bkz.: <https://astroscale.com/elsa-d-mission-licence-approved-by-uk-space-agency/>
- [23] Guidelines on a License to Operate a Spacecraft Performing On-orbit Servicing. [Çevrimiçi]. Bkz.: https://www8.cao.go.jp/space/english/activity/documents/guideline_oosgl.pdf
- [24] Safety Standard for On-orbit Servicing Mission. [Çevrimiçi]. Bkz. <https://sma.jaxa.jp/TechDoc/Docs/E/JAXA-JERG-2-026.pdf>
- [25] Active Debris Removal and On-Orbit Servicing Missions: Operational Policy. [Çevrimiçi]. Bkz.: <https://www.mbie.govt.nz/dmsdocument/26611-active-debris-removal-and-on-orbit-servicing-operational-policy-pdf>

Uzay Sigortalarının Hazırlanması

*Suzan Keskin**

Kayseri Barosu, Kayseri Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Kayseri /Türkiye
*Sorumlu Yazar: av.suzankeskin@hotmail.com.tr

ÖZET

Uzay, yüksek teknolojiye sahip bir endüstri alanı olarak yüksek risk seviyelerine sahip olup, kazalardan kaynaklı hasarı ve üçüncü taraf sorumluluğunu karşılamak için özel sigorta gerektirir. Sigortacılar, uzay araçlarını tasarım aşamasından fırlatılmalarına kadarki aşamalarda riskleri sigortalayarak, yörüngedeki uyduları ve Dünya'daki tesisleri korumayı amaçlamaktadır. Uzay sigortasıyla ilk kez 1965'te, Intelsat 1'in fırlatılmasıyla tanışılmıştır. Uzay alanının kalabalıklaşması, aşırı çevre koşulları, uzay araçlarında çalışmayı zorlaştıran etmenler ve uzay enkazının riskleri gibi konular, uzman sigortacılar tarafından değerlendirilmektedir. Sigorta çözümleri, uzay pazarının gelişimine ve uluslararası düzenlemelere uyum sağlayarak hızla ilerlemektedir. Fırlatma operatörleri, uydu üreticileri ve taşıyıcılar, uzay endüstrisinin aktörleridir. Sigorta sözleşmesi yapılırken, tarafın kendi adına mı yoksa başkası için mi hareket ettiği dikkate alınmalıdır. Devletler, uzay faaliyetlerini kendileri yürütebildiği gibi özel kuruluşlara da izin verebilir. Uzay projelerinde üçüncü taraf risklerini güvence altına almak için, fırlatma şirketleri tarafından akdedilen TPL sigortası, projeye dahil tüm tarafları kapsamaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Risk analizi, Sigortalabilir menfaat, Sigorta sorumluluk kapsamı, Uzay endüstrisi riskleri.*

Preparation of Space Insurance Policies

*Suzan Keskin**

Kayseri Bar Association, Kayseri University Faculty of Applied Sciences, Department of International Trade and Logistics, Kayseri /Türkiye

*Corresponding Author: av.suzankeskin@hotmail.com.tr

ABSTRACT

Space, as a high-tech industry, involves high levels of risk and requires specialized insurance to cover damages from accidents and third-party liability. Insurers aim to protect orbiting satellites and ground facilities by covering the risks associated with spacecraft from the design phase to launch. Space insurance was first introduced in 1965 with the launch of Intelsat 1. Factors such as the increasing congestion of space, extreme environmental conditions, challenges affecting spacecraft operations, and the risks posed by space debris are evaluated by expert insurers. Insurance solutions are rapidly evolving to keep pace with the development of the space market and international regulations. Launch operators, satellite manufacturers, and carriers are key actors in the space industry. When an insurance contract is established, it is essential to determine whether a party is acting on its own behalf or for another entity. Governments can conduct space activities themselves or grant permission to private entities. To secure third-party risks in space projects, the TPL (Third-Party Liability) insurance policies, contracted by launch companies, cover all parties involved in the project.

Keywords: *Risk analysis, Insurable interest, Insurance liability coverage, Space industry risks.*

I. Giriş

Uzay teknolojisiyle oluşan uzay endüstrisi, büyük bir değişim sürecinden geçmektedir. Devletler, 1961 sonrası uzay faaliyetlerinde tek başına rol alırken, 1980 li yıllarında uzay kazalarının artması, devletlerin uzay programı oluşturma misyonunu, güvenlik ve bilimsel keşif amaçlarına yönelmeleri ve uzay keşiflerinin

gösterdiği ticari amaçla da kullanılabilirliği bilgisi üzerine devletlerin alanı olan uzay ve uzay faaliyetleri, özel şirketlerin ilgi alanına girmiştir. 21. Yüzyılda uzay teknolojisi önemli ilerleme sağlamış ve son 20 yılda özel uzay şirketleri pazar payını büyümüştür. Özel şirketler, uzaktan algılama uydu üretimi, uydu tabanlı konumlama ve zamanlama sistemleri, uzay keşfi ve insanlı uzay görevi, uzay aracı fırlatma, uzay turizmi, uzay kargo taşımacılığı ve ticari uydu operasyonlarının büyük bir kısmını yürütmekte, devletler ise uzay projelerini yönetmek dışında, artık özel şirketlerin faaliyetlerini denetleyen ve düzenleyen bir konuma geçmiştir.

Esasen özel sektör liderleri, uzay sektörünün gelişiminin, eninde sonunda rekabetçi sistem dışında kalamayacağını özel girişimin de dahil olacağını savunmuştur [1]. Nitekim, ABD hükümeti, uzay yarışında liderliğini korumak adına, 1994 yılında “Ulusal Uzay Taşımacılığı Politikası”nı (National Space Transportation Policy) yayınlamış, 21 Kasım 2013 yılında güncellenerek, ticari uzay fırlatma endüstrisini geliştirme kararı vermiştir[2]. Bunun için özel ticari şirketlerin gelişimini desteklemiş, NASA’nın ticari yük ve insan taşımacılığı programlarını da güçlendirmiştir. Uydu üretim, fırlatma hizmetleri gelişirken, ilk ticari yörüngesel uzay turizmi, 2001 yılında Dennis Tito’un Rus devletine ait Soyuz uzay aracılığıyla Uluslararası Uzay Ajansı’na(ISS) yaptığı gezi olmuştur. Devamında uzay şirketi sahipleri ve milyarderler, yörünge altı uzay yolculuğunu gerçekleştirmiştir [3]. Uzay oteli ve alçak yörüngede kalıcı ticari uzay istasyonu inşası projeleri, ile değişen Ay ve Mars görevleri, Ay yüzeyindeki madencilik faaliyetleri, uzay yolculuğunun yeni alanlarını oluşturmaktadır. Bunlardan Ay görevleri, Ay yörüngesinde de bir iletişim ve navigasyon uydu ağına ihtiyacı oluşturarak uzay sigorta ihtiyacını arttırması öngörülmektedir. Teknolojiye yapılan yatırımlar, dijitalleşme, inovasyon ve yapay zeka destekli teknolojiler sayesinde rekabetçi bir ortamda ek sektörler oluşturarak uzay faaliyetleri daha da hızlanmaktadır.

Küresel uzay piyasasında başlıca özel şirketlerinden SpaceX (ABD), Blue Origin (ABD), OneWeb (UK), Starlink (ABD), Virgin Galactic (ABD),Boeing ve Lockheed Martin (ABD), Airbus Defence and Space (EU), Arianespace (EU) gibi aktörlerin ticari uzay faaliyetleri ile devletlerin uzay ajansları (TUA, NASA, ESA, ROSCOSMOS, CNSA, ISRO, JAXA) uzay alanında proje üretme, tasarım ve geliştirme faaliyetlerini devam ettirmektedir. Ülkelerin uzay alanındaki stratejik hedefleri ve projelerinde, milli uzay programları şeklinde oluşturulmaktadır. Ülkemiz açısından Milli Uzay Programı kapsamında [4] TUBİTAK UZAY, TUSAŞ, ROKETSAN, TÜRKSAT A.Ş., HAVELSAN, TOMTAŞ gibi kamu sermayeli özel hukuk şirketleri ile kamu iktisadi teşebbüsleri, uzay ve havacılık alanında proje üretim, geliştirme, planlama, imalat, tedarik, işletme faaliyetlerinde bulunmaktadır.

Uzay hukuku (Space Law), devletler, uluslararası kuruluşlar ve şirketler tarafından uzayın keşfi ve kullanımıyla ilgili olarak geliştirilen yasal düzenlemeleri içermektedir. Özel şirketlerin uzay faaliyetlerinde bulunması, uydu teknolojisinin gelişmesi, uzay madenciliği ve uzay cisimlerine yolculuk hazırlıkları bu disiplinin önemini arttırmıştır. Uluslararası uzay hukuku, fırlatma yapan ülkenin hukuki sorumluluğunu belirlemekte, ancak özel sigortacılık uygulamaları ile bu risklerin büyük kısmı şirketler tarafından yönetilmektedir. Uluslararası Uzay Sigortası Aracıları Ltd. tarafından hazırlanan memorandum, bu risklerin nasıl yönetileceğine dair sigorta kapsamlarını ve hukuki düzenlemeleri değerlendirmektedir.Bu bağlamda, sigorta kapsamının doğru belirlenmesi ve risk beyanlarının eksiksiz yapılması, uzay sigortalarında hem hukuki hem de finansal güvence sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır.Bu çalışmada da uzay sigortasının hazırlanmasındaki unsurlara yer verilmiştir.

II. UZAY SİGORTASININ HAZIRLANMASI

A. GENEL OLARAK

“*Ticari uzay*” olarak ifade edilen bu alanda özel şirketlerin faaliyetlerinin başlaması ve gelişmesine rağmen, Birleşmiş Milletler’in uzay ve uzay faaliyetlerine dair beş büyük sözleşmesinde öngörülen uzay faaliyetlerinden doğan “devletlerin uluslararası sorumluluk rejimi” değişmemiştir. Özel sektörün uzay faaliyetleri alanına girmesinden sonrada devam etmiştir. Zira, uluslararası alanda yasal düzenlemelerdeki ilerleme, 1979 tarihli Ay Anlaşmasıyla durmuştur. 1967 tarihli Dış Uzay Antlaşması [5] ve 1972 tarihli Sorumluluk Konvansiyonu [6] kapsamında, özel şirketler tarafından yürütülen faaliyetlerde dahi devletlerin fırlatan devlet olarak sorumluluğu bulunmaktadır. Devletlerin bu uluslararası sorumluluğu üzerinden kaldırması ve yüksek maliyetli ticari uzay faaliyetlerinin devamı için, zararın tazminini sağlayacak sigorta sistemine ihtiyaç duyulmuştur. Uyduların sağladığı büyük finansal getiriler ve uzay operasyonlarının doğasında bulunan yüksek riskler düşünüldüğünde, uzay sigortası, operatörlerin, üreticilerin ve yatırımcıların bu kritik varlıkları korumak için vazgeçilmez bir araç haline gelmektedir. Sigorta şirketleri, en ileri projeler için teminat sağlayarak, uzay araçlarının tasarım aşamasından fırlatılmalarına kadarki süreç risklerini sigortalamakta, yörüngedeki uydu üreticisi ve işletmecisini zarar riskinden koruyarak ve nihayet Dünya’daki tesislerin güvenliğini sağlayarak uzay araştırmalarını desteklemektedirler. Bu nedenle, sigorta şirketleri, bu teknolojik ilerlemelerin yeni ticari girişimlere

dönüştürülmesinde kilit bir rol oynamaktadır. Sigorta çözümleriyle uzay pazarının gelişimi sağlanmaktadır. Ancak, uzay sigortasında, sigortalanabilir uyduların az sayıda olması, diğer sektörlerle karşılaştırıldığında çok daha küçük bir istatistiksel veri havuzu anlamına gelir. Örneğin, havacılık sektöründe binlerce uçak (Airbus A330 veya Boeing 737 gibi) faaliyet gösterirken, uzay sigortasında bu tür geniş ölçekli veriler mevcut değildir. Bu durum, risk değerlendirme sürecini daha karmaşık hale getirmektedir.

Mühendislikte inovasyon kaçınılmaz olmakla birlikte, bu durum, sigortacıların geçmiş performansa dayalı ekipman güvenilirliğine duyduğu güvenle çatışabilmektedir. Yeni teknolojilerin sürekli devreye girmesi, sigorta yazım sürecini daha öngörülemez hale getirmekte ve bu durum piyasada dalgalanmaya yol açabilmektedir. Uzay sigortası sektöründe, inovasyon ve güvenilirlik arasında dengeli bir yaklaşım benimsenmelidir.

B. DEVLETLERİN UZAY SIGORTASI STRATEJİLERİ

Ticari uzay faaliyetleri sonrası devletlerin uzay faaliyetinden kaynaklı riskler karşısındaki hukuki pozisyonu ve sigortalanabilir menfaati etkilenmiştir. Devletler, Dış Uzay Anlaşması'nın 7. maddesine ve Sorumluluk Konvansiyonu'nun 2. ve 3. maddelerine göre uzay faaliyetleri nedeniyle üçüncü şahıslara verilen zarardan uluslararası hukuk çerçevesinde sorumludur. Devletlerin, bu fırlatan devlet sorumluluğunu azaltmak ve riski özel şirketlere devretmek adına, üçüncü taraf sorumluluk sigortası yapmasında menfaati bulunmaktadır. Bu nedenle, devletler uzay faaliyetlerinin risklerini sigortalamak zorunda kalabilir veya özel şirketlerden sigorta poliçesi yaptırmalarını talep edebilir. Bazı ülkeler, özel şirketlerden belirli bir minimum sigorta teminatı sağlamalarını isterken, belirlenen limiti aşan zararları devlet karşılamak zorunda kalabilmektedir.

Esasen, devletlerin uzay sigortasındaki rolü, hem yasal zorunluluklardan hem de finansal risklerden kaynaklanmaktadır. Buna dair, Tablo 1 de farklı kriterlere göre belirlenmiş şekilde devletler ve özel şirketler arasındaki yasal farklılıkları kısaca ifade edilmiştir.

Tablo 1. Devletler ve Özel Şirketler Arasındaki Yasal Farklılıklar

Kriter	Devletler	Özel Şirketler
Uluslararası Hukuki Sorumluluk	Devletler, uluslararası anlaşmalar çerçevesinde sorumluluk taşır.	Özel şirketler, doğrudan uluslararası hukuka tabi değildir; ancak devletler aracılığıyla sorumluluk taşır.
Sigorta Yükümlülüğü	Bazı devletler, kendi uzay faaliyetleri için sigorta yaptırır.	Özel şirketlerin belirli sigorta poliçeleri yaptırmaları çoğu ülkede zorunludur.
Zarar Karşılama	Devletler, üçüncü şahıslara karşı sınırsız sorumluluk taşıyabilir.	Özel şirketler sigorta limitleri dahilinde ödeme yapar.
Düzenleyici Rol	Uzay faaliyetlerini düzenleyen yasalar ve politikalar oluşturur.	Devletlerin belirlediği çerçevede faaliyet gösterir.

Devletler, uluslararası ve ulusal hukuk bakımından, uzay sigortasının kapsamını ve limitlerini belirleyen düzenlemeler oluşturabilmektedir. Devletler, kendi ülkelerinden fırlatma yapan özel şirketlere belirli bir sigorta teminatı zorunluluğu getirebilir. Yada kendi sigorta havuzlarını oluşturabilir. Bazı devletler, kendi sigorta fonlarını oluşturarak, belirli riskleri kendileri karşılamaktadır. Örneğin, Avrupa Uzay Ajansı (ESA), bazı uzay görevleri için kendi iç finansal sigorta mekanizmalarını kullanmaktadır. Öz sigorta (self-insurance) yöntemi sıklıkla tercih edilse de, bazı durumlarda devletler, ticari sigorta seçeneklerine başvurarak bu riskleri paylaşabilirler. Bu, özellikle karmaşık uzay projelerinde veya üçüncü taraf sorumluluğu gibi durumlarda daha geçerli bir strateji olabilir. Ancak, ticari kuruluşların artan katılımıyla, devletler için durum daha karmaşık hale gelmiştir. Bunun nedeni, devletlerin uluslararası anlaşmalar ve sözleşmelerle yönlendirilen ilişkileri ile giderek daha fazla ülke tarafından kabul edilen milli uzay hukuku düzenlemeleri arasındaki önemli farktan kaynaklanmaktadır.

C. UZAY SİGORTASI ve TÜRLERİ:

İlk kez 1965'te Intelsat 1'in fırlatılmasıyla karşılaşılan uzay sigortası, esasen uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu ilk poliçe, üçüncü taraf sorumluluğu ile fırlatma öncesi riskleri kapsamaktaydı. Bir uydunun ömrünün sonuna kadar tüm olası hasarlarını karşılayan poliçe, 1970'lerin ortalarında hazırlanmaya başlanılmıştır. Sigorta sektörü, 1980'lerde daha da uzmanlaşarak 1990'larda olgunluğa

ulaşmıştır. O zamandan beri, uzay endüstrisi ilerledikçe, sigorta sektörü de gelişmeye devam etmektedir [7]. Uzay sigortası sektörü, uydu operatörlerine ve uzay projelerine sağlam bir güvence sunmaya devam etmektedir. Ancak, uzay sigortası sektörü, sınırlı istatistiksel veri havuzu ve teknolojik inovasyonun hızı gibi zorluklarla karşı karşıya kalmaya devam etmektedir.

Uzay, yüksek teknolojiye sahip bir endüstri olup, yüksek risk seviyeleri nedeniyle özel sigortalama, kazadan kaynaklı hasar ve üçüncü taraf sorumluluk sigortası gerektirir. Uzay sigortası, büyük risk sigortaları (large risks) kategorisine girdiğinden, genel sigorta sözleşmelerinden belirgin farklılıklar taşımaktadır. Büyük risk sigortalarında tarafların sözleşme serbestisi daha geniştir ve bu durum uzay sigortalarında da geçerlidir. Taraflar, sözleşme serbestisi ilkesinin verdiği en üst sınıra kadar haklarını kullanarak, uzay teknolojilerine ve yüksek maliyete uygun bir hak ve yükümlülüklerini, teminat tutarlarını, rücu imkanlarını belirlemektedir.

Uzay sigortası, sigorta hukukunun bir dalı olmakla birlikte, **kendine özgü kurallar içermektedir**. Uzay sigortası, diğer sigorta türlerinden farklı, daha esnek ve özelleştirilmiş bir hukuki rejime tabidir. Sigorta hukukunun temel ilkeleri (iyi niyet, tazminat ilkesi vb.) evrensel olsa da, uzay sigortasında bunlar farklı yorumlarla uygulanır. Uzay sigortası, diğer sigorta sözleşmelerinden ayrılan yüksek risk ve uluslararası niteliği nedeniyle özel bir uzmanlık alanıdır. Sigortalamanın ilk yıllarında basit fırlatma sigortası ile sözleşme analizi ve tavsiyesinde bulunurken, artık sigorta programı tasarlama, uygulama, alternatif risk transferi konsepti ve talep müzakeresi oluşturma gibi hizmet portföyünü geliştirilmiştir.

Sigorta şirketleri, her poliçeyi genellikle özel olarak tasarlamaktadır. Sözleşme serbestisi ilkesini en yüksek derecede uygulanır. Uzay sigortası, büyük finansal ve teknolojik riskler içerdiğinden, standart sigorta poliçeleri ile düzenlenemez. Dolayısıyla, **sigorta poliçelerinin kapsamı, uzay nesnelerinin fırlatılması, yörüngede işletilmesi ve geri dönüşü gibi özel riskleri içerir** [8]. Uydular genellikle "*her türlü risk hariç*" türü poliçelerle hasara karşı sigortalanır. Bazı poliçeler, uydunun işletilmesinden kaynaklı gelir kaybını da telafi eder. Üçüncü taraf sorumluluk düzenlemeleri ise, bireysel fırlatma devletleri tarafından yönetilir ve esasen sorumluluk yukarıda belirttiğimiz Birleşmiş Milletler antlaşmalarına dayanır [9].

Tablo 2: Uzay Sigortasında Sigorta Türleri ve Tarafların İlgili Olduğu Alanlar

Sigorta türü	İlgili taraflar	Sigortalanan riskler
Fırlatma Sigortası (Launch Insurance)	Fırlatma operatörleri, hükümetler, yükleniciler	Roket arızası, taşıma kaybı, fırlatma sırasında patlama
Yörünge Sigortası (In-Orbit Insurance)	Uydu operatörleri, telekom firmaları, finansal yatırımcılar	Uydu arızaları, telemetri kaybı, çarpışmalar
Üçüncü Taraf Sorumluluk Sigortası (Third-Party Liability - TPL)	Fırlatma operatörleri, hükümetler, uydu operatörleri	Uzay enkazı çarpışmaları, Dünya'ya düşen uzay nesneleri
Ürün Sorumluluk Sigortası (Product Liability Insurance)	Uydu üreticileri, alt yükleniciler	Üretim hataları, tasarım hataları, mühendislik kusurları
Taşıma ve Lojistik Sigortası (Pre-Launch Insurance)	Taşıyıcı firmalar, lojistik hizmet sağlayıcıları	Uzay aracının taşınırken hasar görmesi, kaybolması

Yukarıdaki tablo-2 de belirtilen temel uzay sigorta türleri yanında, geri dönüş sigortası, yedek uydu sigortası, kapsamlı sigorta, kötüniyetli eylemlere karşı sigortlama olmak üzere başka türleri de bulunmaktadır. Bu sigorta türleri, uzay projelerinin farklı aşamalarında ve risklerinde, sigortalıyı mülkiyetinin uğrayacağı ziya ve hasardan ve üçüncü kişilere karşı olan sorumluluktan kaynaklı zararın yarattacağı ekonomik kötüleşmeden korumak amacıyla özelleştirilmiştir.

Sigorta sözleşmelerine ilişkin kurallar, farklı hukuk sistemlerinde de homojen değildir. Sigortalının haklarının ve yükümlülüklerinin korunması konusundaki yaklaşımlar ve bu yükümlülüklerin ihlali halinde ortaya çıkacak sonuçlar, farklılık gösterebilir. Buna rağmen, sigorta hukukunun temel ilkeleri tüm hukuk sistemlerinde büyük ölçüde benzerlik gösterir. Bu ilkeler de sigorta sözleşmelerinin ana yapısını oluşturur.

Sigorta sözleşmesi yalnızca mali bir güvence değil, aynı zamanda hukuki bir metindir. Bu nedenle, sözleşmenin içeriği, uygulanacak hukuk ve mahkeme yetkisi baştan netleştirilmelidir. Uydu operatörleri, sigortacılar ve fırlatma hizmeti sağlayıcıları genellikle farklı ülkelerde faaliyet gösterir ve farklı yasal düzenlemelere tabidir. Sigorta terimleri, şartları standart hale gelse bile, hukuki yorum farklılık gösterebilir. Uzay sigortası sözleşmelerinde hukuk seçimi, özellikle kosürans (co-insurance) uygulamasının yaygın olması nedeniyle kritik hale gelmektedir. Çoğu uzay sigortası sözleşmesi, birden fazla sigorta şirketi tarafından ortaklaşa teminat sağlanan kosürans (müşterek sigorta) modeli ile düzenlenir. Ancak bu sigorta sözleşmeleri, tüm sigortacıların aynı belgeye imza attığı birleşik bir sözleşme şeklinde değil, her sigortacıyla

ayrı ayrı müzakere edilen sözleşmeler şeklinde yapılır. Sigorta brokeri (broker), genel poliçeyi düzenleyerek kapsamın bütünlüğünü sağlamaya çalışsa da, her bir sigortacının sözleşme şartları farklı olabilir. Taraflar, sözleşmede uygulanacak hukuku açıkça belirleyebilir. Uyuşmazlıkların hangi mahkemede çözüleceği de sözleşmede belirtilmelidir. Özellikle uluslararası sigorta sözleşmelerinde, tarafların tahkimi mi yoksa ulusal mahkemeleri mi tercih ettiği, uluslararası geçerliliği olacak şekilde belirtilmelidir.

D. UZAY SİGORTLARINDAN SİGORTALANABİLİR MENFAAT İLKESİ (Insurable Interest)

Sigortalananabilir menfaat, sigorta sözleşmesinin temel kavramlarından biridir. Bu kavramın, uzay sigortası bakımından irdelenmesi gerekir. Uzay sigortası bağlamında, sigortalananabilir menfaat kavramı belirli risklerin ve tarafların nasıl korunacağını belirler. Sigortalananabilir menfaat, sigorta konusu ve tazminat ilkesiyle yakından ilişkilidir. Bu ilişki; kimin, hangi risklere karşı, hangi menfaat ve varlıkları için sigortalandığını ve kimin sigorta şirketinden ödeme alabileceğini belirler. Bu bağlamda, sigortalananabilir menfaat üç ana unsurla ilişkilidir, bunlar:

1. **Tazminat ilkesi (Principle of Indemnity),**
2. **Sigortalanan konu (Subject Matter Insured),**
3. **Sigortaya konu olabilecek taraflar (Who Has an Interest in Insuring Space Risks)**

Sigorta poliçelerinin kapsamı, uzay faaliyetleri ve teknolojinin gelişimiyle sürekli olarak güncellenmektedir. Örneğin uzay enkazından kaynaklı tehditler, uzay turizmi sonucu yolculuk yapan uzay turistlerinin hayatı, sigorta şirketlerince sigorta kapsamına alınmaktadır. Küçük uydularla ilgili teknik yönlerden dolayı yeni bir risk unsuru (manevra kabiliyetinin eksikliği ve izlenememesi sonucu, potansiyel olarak diğer uzay nesneleriyle çarpışma riski) sigortalama zorunluluğu doğurmaktadır.

Sigortalananabilir menfaatin en önemli kaynağı, zarar görme olasılığının fiili olarak mevcut olmasıdır. Uzay enkazı, gittikçe büyüyen bir risk olup, sigortalananabilir menfaat kavramının en önemli örneklerinden biridir. Uydu operatörleri, uydularının uzay enkazıyla çarpışma riski nedeniyle sigorta yaptırmaktadır. Devletler, kendi fırlattıkları nesneler nedeniyle uzay enkazına karşı hukuki sorumluluk taşıyabilirler. Bu nedenle, enkazın fiilen bir zarar verme olasılığı olduğu için de sigorta şirketleri, uzay enkazı nedeniyle meydana gelebilecek zararları dikkate alarak kapsamlarını genişletmektedir. Ref.[8]

Sigortalananabilir menfaatin doğması için, bir kayıp riskinin var olması gerekir. Eğer bir varlık veya taraf, herhangi bir risk altında değilse, sigortalananabilir menfaatten bahsedilemez. Ref. [8] Eğer sigortalı bir taraf bu risklerden herhangi birine maruz kalıyorsa, sigortalananabilir menfaat doğar. Bu bağlamda, uzay sigortası için en önemli risk kaynakları şunlardır:

Uzay enkazı (Space Debris) → Çarpışmalar, uyduların hasar görmesi ve işlevsiz hale gelmesi.

Fırlatma başarısızlığı → Roket arızaları, taşıyıcı sistemin patlaması veya yörüngeye ulaşamama.

İnsan hatası → Yanlış komutlar, operasyonel hatalar veya yanlış mühendislik hesaplamaları.

Sinyal kaybı ve telekomünikasyon sorunları → Uydu ile bağlantının kaybolması, sistem arızaları.

Üçüncü şahıs sorumluluk riskleri → Uzay nesnesinin başka bir araca veya Dünya'daki bir varlığa zarar vermesi.

Bir telekomünikasyon uydusu, bir uzay enkazı parçasıyla çarpışırsa, hem malın kaybı hem de operasyonel gelir kaybı riski oluşabilir. Bu durumda, uydu operatörünün sigorta poliçesi devreye girerek tazminat sağlayabilir. Bu nedenle, sigortalananabilir menfaat ilkesi, uzay sigortası poliçelerinin nasıl düzenleneceğini belirleyen en önemli faktörlerden biri olarak kabul edilir.

Uzay sigorta sözleşmesi hazırlarken, uzay endüstrisi aktörleri arasında belirli bir tür uzay sigortası sözleşmesini akdetmek için yeterli sigortalananabilir menfaate sahip olan kimdir sorusunun cevabını vermek gerekir. Örneğin uydunun kendisinin uğradığı hasarları dışında, uydu hizmeti kesintisinden kaynaklanan gelir kaybı riskini de göz önünde bulundurulduğunda, sigorta menfaati olan taraf belirlemiş olur. Bunlar arasında TV kanalı sağlayıcıları, internet sağlayıcıları, bankalar ve günlük operasyonlarında uydu ağlarını kullanan diğer şirketler olabilir. Esasen, sigortalananabilir menfaat, sigorta yaptırmakla yükümlü bir kuruluşun açıkça zikredildiği yasal hükümlerden doğrudan veya hangi yüklenicilerin sigorta poliçesini akdettiğini belirten sözleşme şartlarından da kaynaklanabilir. Bunların çoğu fırlatma operatörleri, uydu operatörleri, üreticiler, alt yükleniciler, yer hizmetleri sağlayıcıları ve taşıyıcılardır [10]. Üçüncü taraf sorumluluk (TPL) sigortası kapsamında ise, uzay faaliyetlerini yürütmek için lisansa sahip olan operatörü, fırlatan devlet/devletleri, fırlatma hizmeti sağlayıcısı ve uydu operatörü, ayrıca tüm yüklenicileri ve alt yüklenicileri içerir [11].

Devletlerin, 1967 Dış Uzay Anlaşması ve 1972 Sorumluluk Konvansiyonu gereği yasal olarak sigortalananabilir menfaati bulunmaktadır. Ancak, çoğunlukla uzay faaliyetlerini sigorta kapsamına almak yerine zararı kendi kaynaklarından karşılar. Ancak, bazı ülkelerde devlet uzay ajanslarının faaliyetlerini sigortalatması zorunluluğu bulunmaktadır. Örneğin Japon Ulusal Uzay Geliştirme Ajansı'nın açıkça bu yükümlülüğü belirtilmiştir. Devletin, kendi topraklarında fırlatma faaliyetinin yapılmasına (örneğin bu

amaçla bir lisans vererek) izin vermesi durumunda, iç hukuka bağlı olarak, sağlanan sigorta sözleşmesine sigortalı olarak dahil edilmesini sigortacıdan talep edebilir.

Devletin Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS) programı gibi bir uzay faaliyetinde yer alması halinde ise, uzay endüstrisindeki diğer aktörlere benzer bir risk de üstlenmiş olur. Mesela, devletler ISS'ye yönelik insanlı uzay uçuşlarına ve uzay faaliyetlerine katılan diğer çalışanlara yönelik birçok kişisel risk taşımak durumunda kalmaktadır Ref.[8].

Uzay endüstrisinin ticarileşmesiyle uzay görevleri, özel şirketler, devlet makamları, hükümetlerarası kuruluşlar gibi geniş bir yelpazede yer alan kuruluşlar tarafından yürütülmektedir. Bu durum, devletlerin bu alandaki tekelleştiği zamanlarına göre, kuruluşlar arasındaki ilişkileri çok daha karmaşık hale getirmiştir. Riskin uygun bir şekilde paylaştırılması için sigorta sözleşmesi yapılırken, sigorta sözleşmesini akdeden tarafın kendi adına mı hareket ettiği yoksa başkasının menfaatlerini mi sigortaladığı belirlenmelidir. Örneğin, fırlatma hizmeti sağlayıcısı şirketler çoğu zaman müşterileri adına hareket ederek tüm fırlatma sürecini organize ettiklerinden , sigorta sözleşmesi hazırlarken bu hususa dikkat etmelidir.

Bir sigorta sözleşmesi yapma amacıyla, fırlatma hizmeti sağlayıcılarının kendi adına ve hesabına sözleşmeler yapabilen bir tüzel kişiliğe sahip olmaları gerekir. Eğer tüzel kişiliğe sahip değilse, en azından başka birinin adına sözleşme yapma yetkisine yasal olarak sahip olmalıdır. Bu durumun bir örneği, ayrı bir tüzel kişilik olmayan ancak ABD federal hükümeti adına (sigorta) sözleşmeler yapma kapasitesine sahip olan NASA'dır. NASA, Ulusal Havacılık ve Uzay Yasası temelinde faaliyet göstermektedir. NASA, bir hükümet kurumu olarak hareket eder ve tüm işlemleri doğrudan ABD devleti üzerinde gerçekleşir. NASA'nın yasal statüsü göz önüne alındığında, sigorta sözleşmesi yaparken ABD federal hükümetinin bir 'ajanı' olarak hareket eder. Özel şirketlerle iş birliği halinde yapılan görevler ise, sigorta kapsamına alınabilir. Örneğin, SpaceX'in 2014'te gerçekleştirdiği ve başarısız olan bir fırlatma, 200 milyon ABD doları tutarında sigorta kapsamındaydı. Ancak NASA'nın kendi uzay görevleri genellikle sigorta kapsamına alınmamaktadır ve bu görevlerin riskleri doğrudan federal hükümet tarafından üstlenilmektedir.

Hükümetler dışı kuruluş olarak ESA ise, üye devletler adına büyük ölçekli projeleri koordine eden ve uygulayan bir misyonu bulunmaktadır. ESA, Uzay Sorumluluk Konvansiyonu (Liability Convention) gibi üç farklı uzay antlaşmasına taraf olduğu için "*fırlatan devlet*" statüsünü kazanmıştır. Bu nedenle, ESA tarafından temin edilen fırlatmalar, ESA'nın sorumluluğuna dahil edilir ve bu bağlamda, sigorta kapsamına alınması gereken potansiyel riskleri içerir [12]. Uydu projeleri, fırlatma hizmetleri veya yörüngede faaliyetler gibi çeşitli risk ve sorumlulukları kapsamaları için ESA'nın özel sigorta poliçelerine ihtiyaç duyulabilir. ESA, kendi adına sigorta poliçeleri düzenleyebilir ve bunların poliçe sahibi olarak hareket edebilir. Ancak, özellikle bilimsel görevlerinde ticari sigorta kullanmayı nadiren tercih eder. Galileo programı için sigorta ile ilgili özel hükümler bulunmaktadır. Buna göre, ESA kendi adına değil, Galileo sisteminin ana yatırımcısı olan AB'nin teknik temsilcisi olarak hareket etmektedir.

Poliçe sahipleri, uzay projelerinin aşamaları sırasında değişebilir. Fırlatma aşaması için mal sigortası genellikle fırlatma sağlayıcıları tarafından yaptırılır ve daha sonra (yasal gerekliliğe bağlı olarak) uydu operatörleri tarafından yaptırılır.Ref. [8] Ancak, yörüngede teslim sözleşme (anahtar teslim sözleşme) durumdan farklılık arzeder. Yörüngede Teslim (In-Orbit Delivery - IOD), uydu endüstrisinde kullanılan bir teslimat modelidir. Bu sistemde, uydu üreticisi ya da sağlayıcısı, teslimat sürecini yalnızca uyduyu üretmekle sınırlı tutmaz. Uydu üreticisi uydunun fırlatılmasını, yörüngeye yerleştirilmesini, ilk testlerinin yapılmasını ve tam operasyonel hale getirilmesini de üstlenir. Teslimat, uydu nihai yörüngesinde çalışmaya hazır hale geldiğinde gerçekleşir.Fırlatma ve erken yörünge sigortası için sigortalananabilir menfaat üreticide kalır ve uydu operatörü için risk süresi, uydunun yörüngeye girdikten sonra devralınması ve kabul edilmesiyle başlar. Avrupa Birliği'nin Galileo projesinde uyduların yörüngede teslimi ve test süreçleri, IOD modelinin bir parçası olarak uygulanmıştır. Türkiye'nin Türksat 5A ve 5B haberleşme uyduları, Airbus Defence ans Space tarafından üretilmiş ve SpaceX tarafından Falcon 9 roketiyle fırlatılmıştır. Bu süreçte, uyduların yörüngede teslim edilmesi ve operasyonel hale getirilmesi, IOD modeline örnek teşkil eder.

Uzay sektörünün aktörlerinden olan fırlatma hizmeti sağlayıcıları, birkaç tür riskle karşı karşıya kalmaktadır ve bu riskler sigortalananabilir niteliktedir. Bunlar:

1. Birinci taraf riskleri,
2. İkinci taraf riskleri,
3. Üçüncü taraflara yönelik sorumluluk riskleri (fırlatma sağlayıcısıyla sözleşmesi bulunmayan taraflara karşı).

Ayrıca, fırlatma sağlayıcısının çalışanlarına karşı olan sorumluluğu da sigortalananabilir bir risk olarak değerlendirilmelidir. Fırlatma devletleri, fırlatma hizmeti sağlayıcısına lisans vererek, ulusal yasalar çerçevesinde iç risk paylaşımı mekanizmalarını uygular. Bu şekilde olabildiğince fazla riski fırlatma şirketine devrederek kendilerini koruma altına alabilir. Dolayısıyla bir fırlatma hizmeti şirketinin sigorta yaptırabilmesi için ilgili faaliyet türüyle uyumlu bir lisansa sahip olup olmadığının, sigorta sürecinde belirlenmesi gerekir. Eğer sigorta yaptıran şirketin belirli bir uzay faaliyetini gerçekleştirmek için geçerli

bir lisansı yoksa, bu durumda sigorta poliçesi düzenlenemez. Çünkü böyle bir durumda, hukuki olarak geçerli bir sigortalanabilir çıkar bulunmamaktadır. İlgili şirket sigortalı olarak belirli hak ve yükümlülükler üstlenemez. Bu durum, bazı ülkelerde daha karmaşık hale gelmektedir. Bazı ülkeler, lisanslanma öncesi sigorta kapsamının alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu gibi durumlarda en mantıklı çözüm, sigortacının önce geçici bir sigorta belgesi (cover note) düzenlemesi ve lisans alındıktan sonra tam sigorta poliçesini sağlaması olabilir. Ancak, bu durum her ülkenin mevzuatına bağlı olarak değişiklik gösterebilir . Ref [8]

Fırlatma sağlayıcısı için en önemli konu, fırlatmada yer alan varlıklarından, fırlatma aracı ve eşlik eden ekipmanlar ile bunların mali kayıplarındaki riskidir. Bu, fırlatma öncesi ve fırlatma aşamalarıyla doğrudan ilgili bir tür mal sigortasıyla karşılanabilir. Fırlatma ekipmanının fırlatma öncesi sigortasıyla ilgili olarak, hem aracın fiziksel kaybı hem de bundan kaynaklanan mali kayıplar açısından fırlatma şirketinin sigortalanabilir menfaati bulunmaktadır Ref. [8]

Uzay projesine dahil olan tüm tüzel kişilerin üçüncü taraf riskini güvence altına almak için, uygulamada fırlatma şirketi tarafından akdedilen üçüncü taraf sorumluluk sigortası (TPL sigortası), uzay projesine dahil olan diğer tüzel kişilerin risklerini de kapsar. Bu durum, fırlatma hizmeti sağlayıcılarına yönelik hem **yasal zorunluluklar** (statutory obligations) hem de **sözleşmesel yükümlülükler** (contractual obligations) nedeniyle oluşmaktadır. Bu zorunluluklar, genellikle ulusal mevzuat tarafından açık bir şekilde düzenlenir. **Sorumluluk paylaşımı ve sigorta kapsamı**, taraflar arasındaki sözleşmelerle detaylandırılabilir. Örneğin, İngiltere 1986 Uzay Yasası (UK Outer Space Act), uzay faaliyetleriyle ilgili sigorta ve tazmin yükümlülüklerine yönelik özel hükümler içerir. Bu yasanın **5(f) Maddesi**, lisans sahibinin sigorta kapsamı altına alınmasını zorunlu kılmaktadır. 10. maddede doğrudan ifade edilmese de, devletin bu tür bir sigorta poliçesine bir "sigortalı" olarak dahil edilmesi gerektiğini veya edilebileceği belirtilmiştir.

Uyduyu işletmek, fırlatmadan farklı bir faaliyet olsa da, üçüncü taraflara verilebilecek hasar açısından bir risk gerektirir. Bu nedenle, uydu operatörünün/sahibinin TPL sigortası yaptırmak konusunda sigortalanabilir bir menfaati vardır.

Uydu üreticisi için ürün sorumluluğu, kanunlar ihtilafı kurallarını düzenleyen özel uluslararası hukukun getirdiği sonuçlara bağlı olarak çeşitli yasal rejimlere tabi olabilir. Bu da ürün sorumluluk sigortasının gerekliliğini göstermektedir. Uzay üretimi çoğu durumda uzay ulusal yasalarının kapsamına girmez. Uzay ürünleri üreticilerinin uzay görevlerine aktif olarak katılmalarına rağmen, ulusal yasal düzenlemeler kapsamında lisans alma zorunluluğu bulunmakta, dolayısıyla sorumluluk sigortası kapsamına girebilmektedir. Üçüncü şahıslara karşı risk, haksız fiil sorumluluğu oluşturmaktadır ve üretici herhangi bir sözleşme hükmüyle bundan kurtulamaz. Fırlatma hizmeti sağlayıcıları açısından, taraflar arası çapraz feragat sistemi uzay ürünleri üreticilerinin yasal durumunu da etkilemektedir. Bu nedenle, uydu tedarik sözleşmesi maddelerinin derinlemesine bir analizi, sigortalama süreci sırasında yapılmalıdır. Bazı durumlarda üretici, fırlatma şirketi tarafından düzenlenen fırlatma sorumluluk sigortasına (TPL sigortasına) alt yüklenici olarak dahil edilir. IOD sözleşmesi kapsamında fırlatmayı tedarik eden bir üretici ise, sigortalanabilir menfaat açıktır.

Fırlatılan uyduyu kapsayan fırlatma sigortasının, fırlatma sağlayıcısı tarafından akdedilmiş olduğunda bile, yine de bir mal sigortası olarak belirlemek gerekir. Zira, çoğu fırlatma sözleşmesinde, "feragat" ve "zarar görmeme" gibi maddeler yer alır. Bu maddeler, uydu sahibinin zararının yalnızca mülk sigortasıyla karşılanmasını sağlar. Fırlatma şirketinin fırlatma malını sigorta kapsamına alması hususunun, fırlatma hizmeti sözleşmesi esas alınarak sigortalama sürecinde doğrulanması gerekir. Fırlatma hizmetleri sözleşmesinde (LSA) belirli haklar, yetkiler veya fırlatma aşamasına yönelik sigorta kapsamı sağlama zorunluluğu bulunmadığı takdirde, fırlatma şirketinin müşterilerin veya yüklenicilerin varlıklarına ilişkin olarak kendi adına sigorta düzenleme çıkarı bulunmamaktadır. Ref [8]

E. UZAY SİGORTASI SÖZLEŞMELERİ YAPMA YÜKÜMLÜLÜĞÜ

Sigortalama zorunluluğu, uzay faaliyetinde bulunan devletler tarafından yürürlüğe konulan ulusal uzay yasalarından kaynaklanmaktadır. Bu zorunluluğun getirilmesindeki amaçlarından biri, ulusal kuruluşlar tarafından yürütülen uzay faaliyeti için devletin uluslararası sorumluluğunu güvence altına almaktır [13]. Sigorta zorunluluğu, çoğu ülkede yasal düzenleme ile açıkça öngörülmemiş, ancak uzay faaliyetleri yürütmek için lisans almanın bir koşulu olarak kabul edilmiştir. Nitekim, Birleşik Krallık'ta sigorta yaptırmaya zorunluluğu, lisans gerekliliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu durum İsveç, Norveç, Kanada, Güney Afrika içinde geçerlidir.

Aslında, sigorta yaptırmaya zorunluluğu günümüzde ulusal uzay mevzuatının en önemli konularından biridir. Zorunlu uzay riskleri sigortası kapsamı, aynı zamanda fırlatan devleti için bir koruma biçimidir. Bu sigorta, fırlatma sorumluluğu sözleşmesi (LC) kapsamında maruz kalınan risklere karşı koruma sağlamaktadır. Çoğu ulusal hukukta, uzay operasyonlarının neden olduğu hasara ilişkin sorumluluk, LC'nin kapsamından çok daha geniştir. Bu nedenle, sigorta kapsamı yalnızca devletin uluslararası düzeyde çıkarlarına hizmet etmekle kalmaz, aynı zamanda o ülkenin zarar görenlerine LC hükümleri uyarınca

fırlatma yapan devletin sorumlu olmadığı tazminatı alma olasılığını sağladığı için kamu yararı da sağlamaktadır. İkinci hususta, uzay operatörleri tarafından yaptırılan sorumluluk sigortası kapsamında devletin sigortalı olması yeterli değildir. Uluslararası hukuk kapsamında devletin sorumluluğu genellikle daha azdır. Buna karşılık, operatörlerin iç hukuk, özel uzay hukuku hükümleri veya genel haksız fiil hukuku kapsamındaki sorumlulukları daha fazladır. Ref.[8].

Ulusal yasaların çoğuna göre, sigorta sözleşmesi yapma yükümlülüğü, uzay faaliyeti yürütmek için lisans başvurusunda bulunan kuruluşun sorumluluğundadır. Bu nedenle, sigorta yaptırma yükümlülüğü lisans ile ilgilidir. Bazı ülkelerde, fırlatma operasyonu haricinde sigorta yaptırma zorunluluğu, yörünge içi uydu operasyonları lisansı ile ilgilidir (Hollanda, Fransa, Avusturya, Belçika, Danimarka gibi). ABD yasası, 'bir fırlatma veya yeniden giriş lisansı verildiğinde' sorumluluk sigortası yaptırma zorunluluğunu öngörmektedir. Ancak, Rus hukukunda, sigorta yaptırma zorunluluğu lisanslama gerekliliğiyle doğrudan ilişkili değildir. Sigorta yaptırma yükümlülüğünü 'uzay teknolojisini kullanan veya emriyle bilimsel ve ulusal ekonomi amacıyla uzay teknolojisini yarattığı ve kullanıldığı kuruluşlar ve vatandaşlara' yüklemiştir. Rus uzay yasalarına göre hepsinin 'zorunlu sigorta yaptırması' gerekmektedir Ref. [8].

Birçok uzay sözleşmesinde, taraflardan birinin sigorta yaptırma yükümlülüğüne ilişkin standart maddeler bulunmaktadır. Bu hükümler bu konuda yasal yükümlülükleri değiştiremeye de, sigorta başka bir kuruluş tarafından yapılsa bile, kanunen yükümlü olan kuruluşun sigortalılardan biri olarak sigorta sözleşmesine dahil edilmesi en önemli husustur. Bu amaçla, sözleşme maddeleri yükleniciyi (genellikle fırlatma sağlayıcısını) şunları yapmaya zorunlu kılınabilir: *"Üçüncü şahıs sorumluluğu için sigortayı temin etmek ve yürürlükte tutmak, üçüncü şahısların uğradığı maddi kayıp veya hasar ve bedensel yaralanma, ölüm dahil olmak üzere, sigortalı fırlatma faaliyetlerinden kaynaklanan tazminat taleplerinin ödenmesini sağlamak"* şeklinde bir sözleşme hüküm oluşturulur. Eğer bir ülke, uzay faaliyetleri için zorunlu sigorta yaptırma şartı koymuşsa, sigorta sözleşmesi, bu ülkenin mevzuatına uygun olmalıdır.

Sigorta sözleşmesi, uzay faaliyetlerinden kaynaklanan hasara uğrayan üçüncü kişilerin taleplerine karşı 'named insureds' (isimlendirilmiş sigortalılar) olarak belirtilen tüm tarafların sorumluluğunu kapsar. Uzay sözleşmeleri, zorunlu sorumluluk sigortasıyla ilgili olarak, ek sigortalıların eklenmesi konusunu da düzenler ve bu genellikle ulusal hukuk bunu gerektirmese bile geniş bir kuruluş grubunu kapsamaktadır. Örneğin, uydu operatörü, genellikle birden fazla lisans sahibi olsa bile, fırlatma sağlayıcısı tarafından düzenlenen sigorta sözleşmesine dahil edilir ve tek bir sigorta poliçesi bu kapsamda düzenlenir. Bu durum, piggyback fırlatmalar (birden fazla yükün aynı fırlatma ile taşındığı durumlar) için de geçerlidir; bu durumda, taşınan yükün sahibi, fırlatma sağlayıcısı tarafından düzenlenen üçüncü taraf sorumluluk sigortasına dahil edilir [14].

Her bir potansiyel sorumlu kuruluşun ayrı ayrı sigorta yaptırması ekonomik açıdan mantıklı değildir. Çünkü risk, sorumlu olabilecek kuruluşların sayısı ile çoğalmaz; uzay görevlerinin sayısını yansıtır. Ayrıca, sigortacılar ayrı sözleşmeler temelinde riskleri üstlenmek için yeterli kapasiteye sahip olmayabilir. Bu nedenle, pratikte, tek bir sigorta poliçesi düzenlenir ve genellikle uzay faaliyetinde bulunan tüm tarafları kapsar. Bununla birlikte, tüm taraflar, sözleşmeye taraf olmazlar, genellikle bunlardan yalnızca biri sözleşmeyi imzalar ve diğerleri sigortalı olarak adlandırılır ve hasar durumunda ödeme talep etme hakkına sahip olur. Bunlar arasında fırlatma ve uydu operatörleri, üreticiler, alt yüklenicileri, tedarikçiler, çalışanlar vb. ve hükümetler olabilir Ref. [8].

F. SİGORTALANABİLİR UZAY RİSKLERİNİN BELİRLENMESİ

Uzay teknolojisini sürekli olarak gelişmesi ve yeniliklerin uygulanması, başlangıçta beklenmeyen arızalar veya problemlerle karşılaşılabilmesi anlamına gelmektedir. Uydu sigortası piyasası yıllar içinde önemli ölçüde gelişmiş olsa da, uzay faaliyetleri bu operasyonlar için hâlâ benzersiz zorluklar barındırıyor. Uydular, yoğun güneş radyasyonu, vakum koşulları ve eksi 150°C ile artı 200°C arasında değişen sıcaklık dalgalanmaları gibi aşırı koşullara dayanmak zorundadır. Bir uydu için yeni bir tür güneş paneli teknolojisini kullanılması, uzun vadede verimliliği artırmayı vaat edebilir. Ancak sigortacılar, bu yeni teknolojinin geçmiş performans verilerine sahip olmadığından, potansiyel arızaları veya beklenmedik sorunları hesaba katmakta zorlanabilir. Bu zorluklar, uzay sigortasının karmaşıklığını artırarak, uydu üreticileri, operatörler ve finansörler için riskin etkili bir şekilde yönetilmesini önemli hale getirmektedir. Uzay sigortası, bu tür beklenmedik olayların finansal etkilerini yönetmek için güvence sağlayarak, uzay projelerinin sürdürülebilirliğini desteklemektedir. Lockton'da uydu hesap yöneticisi Russell Sawyer, iletişim uydularının sağlayabileceği muazzam gelir nedeniyle uzay sigortasının önemini vurgulamaktadır. Tek bir uydu, yıllık 100 milyon ila 200 milyon dolar arasında gelir getirebilir. Bu gelir, 30 uzay aracı içeren bir filo düşünüldüğünde, potansiyel finansal etkileri inanılmaz boyutlara ulaşır. Bu durum, uzay sigortasının büyük finansal risklerin yönetimindeki hayati rolünü bir kez daha ortaya koymaktadır [15].

Ancak, deneyim kazandıkça ve süreçler optimize edildikçe, bu yeni teknolojiler daha güvenilir hale gelir. Uzay sigortası sigortacısı, risk ölçümü ve istatistiklerinin tipik yöntemlerine dayandırmak yerine, risk değerlendirmesine bireysel bir yaklaşım benimsemelidir.

Bilgi, uzay sigortasında risk değerlendirme sürecinin temel bir unsurudur ve özellikle sözleşme oluşturma aşamasında kritik bir öneme sahiptir. Uzay sigortasında, risk beyanı sorumluluğu, geleneksel sigorta ilkelerinden olan "mutlak iyiniyet ilkesi" kapsamında değerlendirilir. Sigorta şirketlerinin uzay teknolojisi alanındaki uzmanlıklarına rağmen, poliçe sahibinin sorumluluğu devam etmektedir. Zira, poliçe sahibi, uzay projesinin amaçlarını, başarı ve başarısızlık kriterlerini ve güvenilirlik faktörlerini en iyi bilen kişi olarak kabul edilir. Bu nedenle, bir kayıp durumunda, arızanın kalıcı mı olduğu yoksa düzeltilebilir mi olduğuna karar veren ve zararın kanıtını sağlayan yalnızca sigortalı kişidir. Özellikle, ihracat kontrol rejimi nedeniyle sigorta şirketlerinin teknik belgelere erişiminin sınırlı olduğu durumlarda, poliçe sahibinin sağladığı risk kabul bilgileri, risk değerlendirme sürecinde ana bilgi kaynağı olabilir. Sigorta konusu üzerindeki kontrol ve ilgili koşullar hakkındaki bilgi tamamen sigortalının elindedir. Bu bilgi, yalnızca sigorta şirketinin uzay teknolojisi uzmanlığıyla ikame edilememektedir. Bu yüzden, sigortacılar genellikle uzay projesinin başından itibaren sürece katılsa bile, yine de poliçe sahibinin sağladığı bilgilere güvenmek zorundadır [16].

Uzay sigortasının önemli bir özelliği, bunun bir broker tarafından yazılmış bir sigorta türü olmasıdır. Broker, uzay projelerinin şartları ve ihtiyaçları doğrultusunda olası poliçe sahibiyle birlikte çalışır ve daha sonra tüm sigorta programını yapılandırır. Bu nedenle, diğer sigorta branşlarında olduğu gibi sigortacılar tarafından uygulanan standart bir sigorta şartları bulunmamaktadır.

Uzay faaliyetinin her aşaması ayrı bir risk değerlendirmesi yapılmakta, fırlatma ve yörünge aşamaları tek bir poliçe tarafından karşılanırsa bile ayrı oranlar uygulanmaktadır. Esasen uzay sigortasının aşamalara ayrılmaktadır : Birincisi, teknik ve mühendislik bilgilerine dayalı, teknik risk seçiminden oluşur. İkincisi, teknik değerlendirme sonucunun olumlu olması ve riskin sigortalanabilir (ölçülebilir ve kabul edilebilir) olduğu kanıtlandıktan sonra gerçekleşen sigorta şartlarının ve müzakerelerin analiz edilmesi aşamasıdır. Bireysel dokümantasyonun yanı sıra, özellikle benzer tipteki fırlatıcılar, uydular, üreticiler, fırlatma sahası vb. için herhangi bir veritabanı faktörü dikkate alınmalıdır. Üçüncü aşama, prim oranının ve sigortacının riskteki payının belirlenmesidir. Bu, önceki iki aşamaya dayanmalıdır. Teknik risk değerlendirmesinin sonucuyla ve poliçe metni ile ilişkilendirilmelidir. Sigortacılar için tek çözüm, uzay teknolojisi hakkında çok iyi, derinlemesine bilgi sahibi olmak ve neredeyse uzay operatörleri gibi davranmaktır.

Uzay sigortasında, çok özel ve çok fazla teknoloji odaklı olmasına rağmen, uzay projesinin amacını ve kriterlerini bilen, başarı veya başarısızlık kriterlerini ve güvenilirlik faktörlerini belirleyen kişi poliçe sahibidir. Sigortacılar uzay projesine başlangıcından itibaren sıklıkla katılırsa da, yine de sigortalının sağladığı bilgilere güvenmek zorundadırlar. Bütün bu etkenler, taraflar arasındaki ilişkilerin aşırı güvene dayalı olduğu anlamına gelmektedir. Uzay sigorta sözleşmesinin her iki tarafının da söylediği gibi, 'sigorta, büyük ölçüde güvene dayalı, uzun vadeli bir ilişkidir. Dolayısıyla bunun yalnızca poliçe sahibinin bilgilendirme yükümlülükleriyle sınırlı olmadığı unutulmamalıdır. Aksine, azami iyi niyet görevinin içerdiği güven ve itimat geniş bir anlama sahiptir ve devam eden bir görev olarak sigorta sözleşmesinin ömrünün tüm aşamalarına kadar uzanır [17].

Uzay sigortalarında, özellikle uydu sigortalarında, teknik değişikliklerin sigorta kapsamı üzerinde büyük bir etkisi olabilir. Risk artışı kavramı, genellikle sigorta süresi boyunca meydana gelen değişiklikleri ifade eder. Ancak, uzay sigortalarında risk değişiklikleri çoğunlukla riskin bağlanma (attachment) anından önce ortaya çıkmaktadır. Aşağıdaki durumlar, sigortalının sigortacıya bildirimde bulunmasını gerektirebilecek teknik değişikliklerdir:

1. Uydunun yapısal veya elektronik sistemlerinde değişiklik yapılması
2. Fırlatma aracı (Launch Vehicle - LV) değişikliği veya fırlatma lokasyonunun değiştirilmesi
3. Uydunun planlanan görev süresinin uzatılması veya yörünge parametrelerinde değişiklik yapılması
4. Sigorta sürecinde belirtilmeyen ek donanım veya yazılım değişikliklerinin uygulanması.

Buradaki değişiklikler, sigortanın başlamasından önce gerçekleşir, dolayısıyla bunlar sigorta süresi içindeki risk artışları değil, sigorta bağlanma öncesi risk değerlendirmesine etki eden değişikliklerdir. Bu yüzden, sigortacılar bu tür değişiklikleri dikkate alarak sözleşme şartlarını güncelleyebilir veya iptal edebilir. Ref. [8].

Teknolojideki gelişmeler, iyileştirilmiş güvenlik protokolleri ve daha iyi risk yönetim stratejileri, bir uzay projesinin genel risk profilini azaltabilir. Sonuç olarak, sigorta şirketleri de riskin azalmasını yansıtabilecek şekilde daha düşük primler sunabilir. Bu nedenle, sigortalıların teknik değişiklikleri sigortacılar derhal bildirmesi, risk yönetiminin doğru yapılabilmesi için kritik öneme sahiptir. Sigortalı, risk bağlandıktan (risk attachment) sonra ortaya çıkan veya eksik olan bilgileri tamamladığında sigortacıyı

yazılı olarak bilgilendirmek zorundadır. Eğer bu yükümlülük yerine getirilmezse ve söz konusu değişiklik sigorta kapsamındaki bir kayba neden olursa, sigortacı bu kaybı karşılamak zorunda değildir.Ref. [8].

Uzay sigortalarında, sigortacının sözleşmeyi tek taraflı olarak feshetme hakkı genellikle yoktur, ancak maddi risk değişiklikleri nedeniyle sözleşme şartlarını yeniden müzakere edebilir, poliçeyi güncelleyebilir veya yeni şartlarla sigorta kapsamını genişletebilir. Sigortacı, yeni değişiklikleri kapsama almadan, yalnızca sigorta sözleşmesinde başlangıçta belirlenen riskleri sigorta kapsamında bırakabilir.

III. SONUÇLAR

Uzay sigortası, yüksek teknolojiye dayalı uzay faaliyetlerinin içerdiği benzersiz riskleri yönetebilmek adına kritik bir araçtır. İncelenen çalışma, uzay endüstrisinde fırlatma ve yörünge aşamalarında ortaya çıkan risklerin; hem devletlerin uluslararası sorumlulukları hem de özel sektör aktörlerinin karşılaştığı finansal risklerle dengelenmesinde, sigorta çözümlerinin hayati önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Sigorta sözleşmeleri, taraflar arasında geniş bir güven ve işbirliği zemininde oluşturulmakta; her bir poliçe, teknolojik yenilikler, uluslararası düzenlemeler ve sınırlı istatistiksel veri havuzunun getirdiği zorluklar dikkate alınarak özelleştirilmektedir. Bu durum, sigortacılar için risk değerlendirme sürecini daha karmaşık hale getirir de, sektörün gelişen dinamiklerine uygun, esnek ve yenilikçi yaklaşımların benimsenmesini gerektirmektedir. Ayrıca, uzay faaliyetlerinde yer alan tüm aktörlerin – fırlatma hizmet sağlayıcıları, uydu operatörleri, üreticiler ve devletler – risk paylaşımında karşılıklı şeffaflık ve koordinasyon sağlaması, uzay sigortası kapsamının etkinliğini artıracaktır. Gelecekte, teknolojik gelişmelerin ve kapsamlı veri analizlerinin sigorta uygulamalarına entegre edilmesi, daha güvenilir risk yönetimi modellerinin oluşturulmasına zemin hazırlayacaktır. Bu yaklaşımla, uzay endüstrisinde faaliyet gösteren tüm taraflar, yüksek risklere rağmen güvenli ve istikrarlı bir çalışma ortamı yaratma yolunda önemli adımlar atabilirler.

TEŞEKKÜR

Bu bildirinin hazırlanmasında emeği geçen değerli hocalarıma, çalışma arkadaşlarıma ve destek veren tüm kurumlara en içten teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- [1] M. Weinzierl, "Space, the Final Economic Frontier," *The Journal of Economic Perspectives*, 32(2),173-192,2018.
- [2] obamawhitehouse.archives.gov
- [3] Richard Branson, 11 Temmuz 2021 tarihinde Virgin Galactic'e ait VSS Unity adlı uzay aracıyla beş kişiyle birlikte; Jeff Bezos ise, 20 Temmuz 2021 tarihinde Blue Origin'e ait içinde uzay gemisi olan New Shepard roketiyle üç kişiyle birlikte uzay turizmi gerçekleştirdi.
- [4] 2022-2030 Milli Uzay Programı Strateji Belgesi,Türkiye Uzay Ajansı,cdn.tua.gov.tr, Cumhurbaşkanlığı Genelgesi 2022/4, Resmi Gazete 24.0.2022 tarih, Sayı 31845.
- [5] "Ay ve Diğer Gök Cisimleri Dahil, Uzayın Keşif ve Kullanılmasında Devletlerin Faaliyetlerini Yöneten İlkeler Hakkında Andlaşma", Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, Resmi Gazete 23.10.1967 tarih, Sayı 12732.
- [6] "Uzay Nesneleri Tarafından Verilen Zararlar için uluslararası Sorumluluk Konvansiyonu", Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects , Resmi Gazete 28.04.2004 tarih,Sayı 25452.
- [7] <https://commercial.allianz.com> , Erişim Tarihi: 10.03.2025
- [8] K.Malinowska, *Space Insurance :International Legal Aspects*, Kluwer Law International B.V.,The Netherlands,2017.
- [9] T.Coliot," Space Risks:A New Generation of Challenges", SpaceCo-Allianz Global Coperate & Specialt <https://commercial.allianz.com/content/dam/onemarketing/commercial/commercial/reports/ascg-space-risks-report.pdf> Erişim T:12.02.2025
- [10] G.Catalano Sgross, "Insurance Implications about Commercial and Industrial Activities in Outer Space",36 Proc. Colloquium on the Law of Outer Space, 187-192,1993.
- [11] C. Gaubert, "Insurances in the Context of National Authorisation", in:National Space Legislation in Europe:Issues of Authorisation of Private Space Activities in the Light of Developments in European Space Cooperation, Studies in Space Law (Dunk F.G.von der,ed.),vol 6,Martinus Nijhoff Publishers, Leiden/Boston 170-171,2011.
- [12] L.J.Smith, Legal Aspects of Satellite Navigation in: Handbook of Space Law (Dunk F.G. von der, F.Tranchetti , eds), Edward Elgar Publishing, 2015.
- [13] R.U. Horl, "Legal Aspects of Risks Involved in Commercial Space Activities", Institute of Air and space Law, Mc Gill University, Montreal , 2005.
- [14] M.Buzdugan, Satellite Financing Through Hosted Payloads: Benefits and Challenges, 36(2) Air & space Law, 2011.
- [15] 20 September 2024,By Kenneth Araullo,The Unigue Challenges Facing Space Insurance, online, <https://www.insurancebusinessmag.com/us/news/breaking-news/>
- [16] K.Malinowska,'Risk Assessment in Insuring Space Endeavours: A Legal Approach'. Air & Space Law 42, no. 3 (2017): 329–348. Kluwer Law International BV, The Netherlands,2017.
- [17] H.Courson, Intelsat Director in: *Satellite Insurance: Operators Returning to Outside Providers*, Satellite Today (L. Daniel, ed.), 1 November 2007.(Satellite Insurance: Operators Returning To Outside Providers - Via Satellite

Uzayın Barışçıl Amaçlarla Keşif ve Kullanımı İlkesi: Mevcut Düzenlemeler ve Gelecek Perspektifleri

Fatma Taşdemir*

Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İİBF-Uluslararası İlişkiler/Ankara-Türkiye.

*Sorumlu Yazar: fatma.tasdemir@hbv.edu.tr

ÖZET

1957 yılında *Sputnik I* isimli Sovyet uydusunun başarıyla uzaya gönderilmesinin ardından başlayan “Uzay Çağı”, uluslararası hukuk açısından yeni bir dönemin başlamasına işaret etmiştir. Birleşmiş Milletler Örgütü’nün de katkıları ile Uzay Hukuku uluslararası hukukun yeni bir branşı olarak doğmuştur. Uzay hukukunun kaynakları arasında 1967 tarihli “Dış Uzay Anlaşması”; 1968 tarihli “Kurtarma Anlaşması”; 1971 tarihli “Sorumluluk Sözleşmesi”; 1974 tarihli “Tescil Sözleşmesi”; 1979 tarihli “Ay Anlaşması” ve çeşitli bildiriler vardır. Söz konusu kaynaklar, hiçbir ülkenin uzayda egemenlik iddia edemeyeceğini ve uzayın ancak barışçıl amaçlarla kullanılabileceğini öngörmektedir. Ne var ki günümüzde teknolojik gelişmelerin hızlanmasıyla birlikte uzay yalnızca bilimsel ve ticari faaliyetler için değil, aynı zamanda askeri amaçlarla da kullanılan bir alan haline gelmiştir. Bu durum uzayın barışçıl amaçlarla keşif ve kullanımı ilkesinin sorgulanmasına yol açmaktadır. Özellikle ilkenin saldırgan olmayan ve askeri olmayan kavramlarının yorumu konusunda ciddi tartışmalar ve değişim vardır. Bu bildirinin temel amacı bu alanda yaşanan gelişmeleri kuvvet kullanma hukuku perspektifi ile ortaya koymaktır. Devletlerin, uzaya ne savunma ne de saldırı amaçlı silah yerleştirilmemesi konusunda yeni bir anlaşma sağlaması gerektiğine dikkat çekmektir. Böyle bir uzlaş, silahlanma yarışını durduracak ve devletlere hem barışçıl hem de askeri amaçlarla kullanılabilecek teknolojileri geliştirmeye devam etme avantajı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Uzay Hukuku, Barışçıl Kullanım, Saldırgan olmayan, Askeri-olmayan.

The Principle of Exploration and Use of Space for Peaceful Purposes: Current Regulations and Future Perspectives

Fatma Taşdemir*

Hacı Bayram Veli University, Faculty of Economics and Administrative Sciences-International Relations/Ankara-Türkiye.

*Corresponding Author: fatma.tasdemir@hbv.edu.tr

ABSTRACT

The "Space Age," which began with the successful launch of the Soviet satellite Sputnik I in 1957, marked the beginning of a new era in international law. With the contributions of the United Nations, Space Law emerged as a new branch of international law. Among the sources of Space Law are the 1967 "Outer Space Treaty," the 1968 "Rescue Agreement," the 1971 "Liability Convention," the 1974 "Registration Convention," the 1979 "Moon Agreement," and various declarations. These sources stipulate that no country may claim sovereignty in outer space, and that space can only be used for peaceful purposes. However, with the acceleration of technological developments, space has become a domain not only for scientific and commercial activities but also for military purposes. This situation has led to the questioning of the principle of peaceful exploration and use of outer space. There are particularly serious debates and changes in the interpretation of terms such as non-aggressive and non-military. The main objective of this paper is to present the developments in this field from the perspective of the law on the use of force. It emphasizes the need for states to reach a new agreement that no weapons should be placed in space for either defensive or offensive purposes. Such an agreement would halt the arms race and provide states with the opportunity to continue developing technologies that can be used for both peaceful and military purposes.

Keywords: *Space Law, Peaceful Use, Non-Aggressive, Non-Military.*

I. GİRİŞ

“Eğer dünya barış içinde olsaydı, uçak bile olmayabilirdi, Ay’a inişten bahsetmeye bile gerek yoktu.”¹

Uzay yarışının felsefi kökenleri, H.G. Wells’in 1898’de kaleme alınan *Dünyalar Savaşı* (The War of the Worlds) adlı eserine kadar götürülmekte ve burada tasvir edilen birçok silahın yıllar sonra gerçeğe dönüştüğü belirtilmektedir.² Uzay silahlarının gerçek potansiyeli ise 1903’te Rusya’da roket teknolojisinin gelişmesiyle ortaya çıkmıştır. II. Dünya Savaşı sırasında, Almanya’daki V-2 roketi ve ABD’deki nükleer bomba geliştirme süreci, uzay yarışını önemli ölçüde etkilemiştir. Sovyetler Birliği’nin 4 Ekim 1957’de Sputnik I uydusunu başarıyla fırlatması, insanlığın uzayı erişilebilir bir sınır olarak görmesini sağlayan tarihi bir dönüm noktası olmuştur.³ Bu gelişme uzayda bir egemenlik yarışını başlatmıştır. ABD, 31 Ocak 1958’de Explorer 1 uydusunu fırlatarak, egemenlik yarışına yanıt vermiştir. Soğuk Savaş’ın getirdiği rekabet ortamında, uzaya nükleer silah yerleştirilmesiyle ilgili endişeler artmıştır.⁴ Uzayın yalnızca barışçıl amaçlarla ve insanlığın ortak yararı için kullanılmasını sağlama konusunda acil bir ihtiyaç hissedilmiştir. 1958 yılında barışçıl uzay faaliyetlerinin önemini göz önünde bulundurarak, Birleşmiş Milletler Genel Kurulu (BMGK), on sekiz üyeden oluşan geçici bir “Barışçıl Amaçlarla Uzayın Kullanımı Komitesi”ni kurmuştur. 12 Aralık 1959 tarihinde ise Birleşmiş Milletler, 1472(XIV) sayılı karar kapsamında daimî bir Komite olan Dış Uzayın Barışçıl Amaçlarla Kullanımı Komitesini (*United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space- COPUOS*) kurmuştur.⁵ COPUOS’un temel amacı, dış uzayın barışçıl kullanımına yönelik uluslararası iş birliğinin kapsamını gözden geçirmektir.⁶ COPUOS, uzayın gerek hukuki açıdan gerekse teknolojik açıdan ele alındığı bir platform olmuştur.⁷ COPUOS bu doğrultuda mevcut uluslararası uzay hukuku rejiminin kaynaklarını oluşturmıştır. Bu kaynaklar beş uluslararası anlaşma, beş tane bildiri ve ilkelerden oluşmaktadır.⁸ Bunlara Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ile Sovyetler Birliği arasında yapılan

¹ Arthur C. Clarke, “Extra-Terrestrial Relays: Can Rocket Stations Give World-Wide Radio Coverage?”, *Wireless World*, 51, 304-08, 1945.

² Jackson Nyamuya Maogoto and Steven Freeland, “Space Weaponization and the United Nations Charter Regime On Force: A Thick Legal Fog or a Receding Mist?”, 41(4), INT’ L L., 1094, 2007.

³ Johannes M. Wolff, “Uzayın Askerileştirilmesini İçine Alan “Barışçıl Kullanım” Kavramı, Uzayın Silahlandırılmasına da Yol Açar mı?“, (Çev. Y. Poyraz), *Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, XIII (3-4), 70, 2009.

⁴ Cassandra Steer, “Global Commons, Cosmic Commons: Implications of Military and Security Uses of Outer Space”, *Georgetown Journal of International Affairs*, 18(1), 10, Winter/Spring 2017.

⁵ 1959’ da 24 üyesi bulunan COPUOS, 2016 yılına kadar üye sayısını 84’ e çıkartarak BM’ nin en büyük komitelerinden biri haline gelmiştir. COPUOS’ un iki alt komitesi bulunmaktadır: Bilimsel ve Teknik Alt Komite ile Hukuk Alt Komitesi.

⁶ Saadia Zahoor, “Maintaining International Peace and Security by Regulating Military Use of Outer Space”, *Policy Perspectives*, 14(2), 115-116, 2017.

⁷ Merve Erdem, “Uzay Teknoloji sı nde Meydana Gelen Geli şmelerin n Uzay Hukukuna Etki sı ”, IV. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 1, Hava Harp Okulu, İstanbul, 12-14 Eylül 2012.

⁸ Bu kaynaklar şunlardır:

1) 10 Ekim 1967 tarihli “Dış Uzay Anlaşması” olarak bilinen “Ay ve Diğer Gök Cisimleri Dâhil, Uzayın Keşif ve Kullanılmasında Devletlerin Faaliyetlerini Yöneten İlkeler Hakkında Anlaşma” (*Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies-Outer Space Treaty - OST*).

2) “Kurtarma Anlaşması” olarak bilinen, 3 Aralık 1968 tarihli “Astronotların Kurtarılması, Astronotların ve Uzaya Fırlatılmış Olan Cisimlerin Geri Verilmesi Anlaşması” (*Agreement on the Rescue of Astronauts, the Return of Astronauts and the Return of Objects Launched into Outer Space*).

3) “Sorumluluk Sözleşmesi” olarak bilinen 1 Eylül 1972 tarihli “Uzay Cisimlerinin Verdiği Zarardan Dolayı Uluslararası Sorumluluk Hakkında Sözleşme” (*Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects*).

4) “Tescil Sözleşmesi” olarak bilinen 15 Eylül 1976 tarihli “Dış Uzaya Fırlatılan Cisimlerin Tescili Hakkında Sözleşme” (*Convention on Registration of Objects Launched into Outer Space*).

5) “Ay Anlaşması” olarak bilinen 18 Aralık 1979 tarihli “Devletlerin Ay ve Diğer Gök Cisimlerindeki Faaliyetlerini Yöneten Anlaşma” (*Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies*).

Prensip bildirileri ise şunlardır:

1) “Hukuk Prensiplerinin Beyanı” olarak bilinen 13 Aralık 1963 tarihli “Dış Uzayın Keşfi ve Kullanımında Devletlerin Faaliyetlerini Düzenleyen Hukuk İlkeleri Beyanı” (*Declaration of Legal Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Uses of Outer Space*).

2) “Yayın İlkeleri” olarak bilinen 10 Aralık 1982 tarihli “Uluslararası Doğrudan Televizyon Yayıncılığında Yapay Dünya Uydularının Devletlerce Kullanımını Yöneten İlkeler” (*The Principles Governing the Use by States of Artificial Earth Satellites for International Direct Television Broadcasting*).

3) “Uzaktan Algılama İlkeleri” olarak bilinen 3 Aralık 1986 tarihli “Dünyanın Dış Uzaydan Uzaktan Algılanmasına Dair İlkeler” (*The Principles Relating to Remote Sensing of the Earth from Outer Space*).

4) “Nükleer Güç Kaynakları İlkeleri” olarak bilinen 14 Aralık 1992 tarihli “Nükleer Güç Kaynaklarının Uzayda Kullanımına Dair İlkeler” (*The Principles Relevant to the Use of Nuclear Power Sources in Outer Space*).

5) “Menfaatler Bildirgesi” olarak bilinen 13 Aralık 1996 tarihli “Özellikle Gelişmekte Olan Devletlerin İhtiyaçlarını Dikkate Alarak Bütün Devletlerin Yararı ve Menfaati İçin Uzayın Keşfinde ve Kullanımında Uluslararası İşbirliğine Dair Bildiri” (*The Declaration on International Cooperation in the Exploration and Use of Outer Space for the Benefit and in the Interest of All States, Taking into Particular Account the Needs of Developing Countries*).

uluslararası öneme sahip ikili anlaşmalar da eklenmiştir.⁹ Dış uzayın keşfi ve kullanımıyla ilgili temel uluslararası Anlaşma, 1967 tarihli "Ay ve Diğer Gök Cisimleri Dahil Uzayın Keşfi ve Kullanımında Devletlerin Faaliyetlerini Yöneten İlkeler Anlaşması'dır". Kısaca Dış Uzay Anlaşması olarak isimlendirilen bu anlaşma uzayın keşfi ve kullanımının "barışçıl amaçlarla" gerçekleştirilmesini öngörmektedir. Geniş çapta kabul gören bu Anlaşma, ABD, Çin ve Rusya da dahil olmak üzere 105 devlet tarafından onaylanmıştır.¹⁰ Uzayın barışçıl keşif ve kullanım ilkesi ayrıca 18 Aralık 1979 tarihli Ay Anlaşması'nın 3. maddesinde de yer almaktadır. Ancak günümüzde uzayın barışçıl keşif ve kullanım ilkesi devletler arasında ve akademik camiada oldukça tartışmalıdır. Geçmiş dönemlerde devletler tarafından ilke "saldırgan-olmayan kullanım", "askeri olmayan kullanım" şeklinde farklı şekillerde yorumlanmıştı. Günümüzde artık ilkenin "saldırgan-olmayan kullanım" yorumu daha ağır basmaktadır. Devletlerin ve özel aktörlerin proaktif ve agresif uzay güvenlik stratejileri geliştirmeleri neticesinde uzayda bir silahlanma yarışının ortaya çıkma hatta uzayın yeni bir savaş alanı haline gelme riski bulunmaktadır. Bu gelişmeler uzayın "barışçıl keşif ve kullanım" ilkesinin etkinliğini sorgulamakta ve uluslararası barış ve güvenlik için açık ve mevcut bir tehlike teşkil etmektedir.

Bu gelişmeler ışığında bu bildirinin temel amacı 1969 Dış Uzay Anlaşması ve 1979 Ay Anlaşmasında düzenlenen "uzayın barışçıl keşif ve kullanım ilkesinin" 1945 Birleşmiş Milletler Anlaşmasında öngörülen kuvvet kullanma rejimi ile kesişimini içerik ve betimsel analiz yöntemleriyle incelemek ve sorgulamaktır. Bu çalışmanın temel hipotezi 1967 tarihli "Dış Uzay Anlaşmasının" temel ilkesi olan "uzayın barışçıl amaçlarla keşif ve kullanım ilkesinin" söz konusu anlaşmada muğlak bir şekilde düzenlenmiş olduğudur. Bildirinin temel çıkarımı ise 1969 Dış Uzay Anlaşmasının yeni teknolojik gelişmeler, tehditler ve politik gelişmeler ışığında uluslararası barış ve güvenliğin sürdürülmesi için artık etkinliğini kaybettiği ve modernize edilmesi gerektiğidir.

II. UZAY GÜVENLİĞİNİ ETKİLEYEN UNSURLAR

Soğuk Savaş döneminde uzay güvenliği, ulusal güvenlik kavramı içinde değerlendirildiğinden, uluslararası çabalar önemsenmemiştir. Ancak günümüzde uzay güvenliği oldukça önem kazanmıştır. Uzay güvenliği kavramı, uzaya güvenli ve sürdürülebilir bir erişim sağlayarak, uzayda yaşanabilecek tehditlerden ve uzay ortamından korunmak olarak tanımlanmaktadır.¹¹ Uzay güvenliğini etkileyen bazı temel faktörler vardır. Bunlar uzayın silahlandırılması, uzayın ve uzay nesnelerinin bir tanımının olmaması, uzay farkındalığı (enkaz sorunu) ve uyduların çift amaçlı kullanımıdır.

A. Uzayda Stratejik Askeri Üstünlük Arayışı

1980'lerin başlarında, Ronald Reagan'ın başkanlığı döneminde başlatılan "Stratejik Savunma Girişimi" ya da bir başka ismi ile "Yıldız Savaşları Projesi" uzayın "askerileşmesinde" temel bir dönüm noktası olmuştur. Reagan yönetiminin izlediği sert politikalar, daha agresif uzay silahları geliştirme sürecinin önünü açmış, ancak karşı tarafı yatıştırma konusunda daha az esneklik sunmuştur.¹²

Uzayın askerileşmesinde endişeleri arttıran bir başka önemli olay Çin'in 2007 yılında gerçekleştirdiği uydu-karşıtı (ASAT) füze testidir. Feng Yun 1-C hava durumu uydusunun KT-1 roketiyle imha edilmesi, Çin'in Alçak Dünya Yörüngesinde (LEO) uydu hedeflerini vurabilme kapasitesini göstermiştir. Uydunun imha edilmesi sonucunda çoğu da yaklaşık elli yıl boyunca yörüngede kalacak olan 3.000'den fazla enkaz parçası oluşmuştur.¹³ Küresel uydu altyapısının güvenliği konusunda ciddi kaygılara yol açan bu olay, uzayda bir silahlanma yarışının başlamasına dair endişeleri artırmış ve uzay güvenliği ile ilgili yeni düzenlemelerin gerekliliğini gündeme getirmiştir. Aynı zamanda, ABD Uzay Kuvvetleri'nin (U.S. Space Force) kurulması ve uzay savunma stratejilerinin güçlendirilmesi gibi girişimleri hızlandırmıştır.¹⁴

Günümüzde uzay artık sadece keşif ve bilimsel araştırmaların yürütüldüğü bir alan olmaktan çıkmış, dünya üzerindeki savaş operasyonlarına doğrudan katkı sağlayan stratejik bir askeri boyut kazanmıştır. Nitekim NATO'nun 2018'de Brüksel'deki zirvesinde uzayın kara, deniz, hava ve siber alanın ardından

Blkz., Merve Erdem, *a.g.b.*, 3; Zeynep Selin Balci, "Uzay Hukuku ve Uluslararası İnsancıl Hukuk İlişkisi", *İstanbul Hukuk Mecmuası*, 78 (4), 2091-2092, 2021; Tolga Erdem, "Uluslararası İlişkilerde Yeni Perspektif: Astropolitik Giriş" *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(1), 433-434, (431-446) Haziran 2018.

⁹ ABD ile Sovyetler Birliği arasındaki ikili anlaşmalar arasında şunlar dikkat çekmektedir:

1972 ABM Anlaşması (Anti-Balistik Füze Anlaşması). 1972 Stratejik Saldırı Silahlarının Sınırlanmasına Dair Geçici Anlaşma (SALT I). 1974 Eşik Test Yasağı Anlaşması. 1976 Barışçıl Nükleer Patlamalar Anlaşması. 1979 SALT II Anlaşması.

¹⁰ Steven Freeland and Anja Nakarada Pecujlic, "How Do You Like Your Regulation – Hard Or Soft? The Antarctic Treaty And The Outer Space Treaty Compared" , *National Law School of India Review*, 30(1), 21. 2018.

¹¹ Arda Ercan ve Serap Gürsel, "Değişen Uluslararası Güvenlik Bağlamında Uzay Güvenliği ve Uzayda", *Gaziantep University Journal of Social Sciences* 21(2), 887, 2022.

¹² Dennis M. Rice, "Militarization of Space And Strategic Principles", *Air University Press*, 8-31, 2023.

¹³ Cassandra Steer, *a.g.m.*, 11.

¹⁴ Jackson Nyamuya Maogoto And Steven Freeland, *a.g.m.*, 1091-1092.

beşinci operasyonel alan olarak tanınması, bu değişimin en önemli göstergelerinden biri olmuştur.¹⁵ Gerçekten de uzayda yeni bir silahlanma yarışı şekillenmektedir. Bir zamanlar yalnızca birkaç uzaya giden devletin egemenliğinde olan uzay son yıllarda yetmişten fazla devlet, ticari kuruluş ve uluslararası organizasyonun bir şekilde faaliyet gösterdiği bir alan haline gelmiştir. Uzay alanını özellikle ABD, Çin, Rusya gibi büyük uzay güçleri domine etmekle birlikte yeni katılımcılar da vardır ve bunlar arasında NATO üyeleri, Japonya, Yeni Zelanda, Avustralya, Hindistan, Türkiye, İran ve İsrail gibi ülkeler bulunmaktadır.¹⁶ Bu ülkeler, uzay altyapılarını güvence altına almak ve gelecekteki tehditlere karşı caydırıcı olmak amacıyla uydu-karşıtı füzeler (ASAT), buluşma ve yakınlık operasyon platformları, uzay veya karasal lazerler gibi teknolojiler geliştirmektedir.¹⁷ Bugün uzayda yapılan askeri ve güvenlik faaliyetleri arasında istihbarat, gözetim ve keşif, afet yanıtı, mültecilerin hareketlerini takip etme, savaş suçları veya diğer kitlesel insan hakları ihlallerinin kanıtlarını tespit etme ve iklim değişikliklerini izleme yer almaktadır. Uzaktan algılama uyduları ve iletişim uyduları aracılığıyla uzaydan elde edilen bilgiler, yeryüzündeki askeri operasyonları planlamak için kullanılmakta ve büyük güçlerin askeri altyapısının vazgeçilmez bir parçası haline gelmektedir.¹⁸

Teknolojik açıdan gelişmiş olan devletlerin uzay teknolojilerine olan bağımlılığı da her geçen gün artmaktadır.¹⁹ Hatta ana aktör olan ABD'nin uzay sistemlerine askeri bağımlılığı o kadar kritik görülmektedir ki bu durum analistlerce "Aşıl'ın topuğu" olarak tanımlanmaktadır.²⁰ Uzaya daha fazla erişim, uzay gücünün ulusal güçle bağlantısını güçlendirecek ve yörüngede askeri rekabet olasılığını artıracaktır. Uzay gücü, ulusal gücün bir parçası haline geldikçe, uluslararası sistemdeki devletler arasındaki rekabetin daha önce deniz gücünde ve Kuzey Kutbu'nda görüldüğü gibi uzay alanına da yayılması beklenmektedir.²¹ Bu gerçeklik Everette C. Dolman'ın astropolitik ilkesini gündeme getirmektedir: "*Alçak Dünya Yörüngesi'ni kontrol eden, Dünya'ya yakın uzayı kontrol eder. Dünya'ya yakın uzayı kontrol eden, Dünya'yı egemenliği altına alır.*"²²

*Dünya'yı egemenliği altına alan, insanlığın kaderini belirler."*²²

Devletlerin ve özel aktörlerin proaktif ve agresif uzay güvenlik stratejileri neticesinde uzayda bir silahlanma yarışının ortaya çıkma hatta uzayın yeni bir savaş alanı haline gelme riski artmıştır. Nitekim 24 Şubat 2022'den beri devam eden Rusya ve Ukrayna arasındaki savaş uzayın ve uzay yeteneklerinin askeri çatışmalara tam anlamıyla dahil olduğu kritik bir dönüm noktası olmuştur. Elon Musk'ın sahibi olduğu Space X şirketi tarafından işletilen Starlink uydu iletişim sistemi, Ukraynalı siyasi ve askeri karar alıcılar için en büyük taktiksel ve stratejik avantajı sağlamıştır. Alçak Dünya Yörüngesi'ne (LEO) yerleştirilen uydular ve Ukrayna topraklarına kurulan terminaller sayesinde Starlink, savaşın farklı cephelerinde askeri bilginin değişimini mümkün kılmıştır. Bu sistem, savaş sırasında iletişim yöntemlerini ve askeri operasyonların yürütülme biçimini kökten değiştiren bir yenilik olarak öne çıkmıştır. Gerçekten de Elon Musk, taktiksel iletişimi coğrafi olarak Dünya'dan yörüngelere taşıyarak, geleneksel olarak yalnızca hükümetlerin ve silahlı kuvvetlerin elinde bulunan uydu ve uzay sistemlerini özel şirketlerin kontrolüne bırakmıştır.²³ Askeri operasyonlarda yeni uzay teknolojilerinin kullanımı artık yalnızca silahlı kuvvetlerin tekelinde değildir. Bu durum, savaşın uzaya yayılma riskini artıran önemli bir faktördür. Üstelik Rusya-Ukrayna savaşı bağlamında gündeme gelen Alçak Dünya Yörüngesi'nde bir nükleer silahın patlatılması olasılığı hukuki açıdan yeni tartışmalara yol açmıştır.²⁴ Üstelik uzayın silahlandırılması sadece hukuki açıdan zorluklar doğurmakla kalmayıp, aynı zamanda uluslararası barış ve güvenlik için açık ve mevcut bir tehlike teşkil etmektedir. Uzay üzerindeki kontrolün herhangi bir devlet veya birden fazla devlet (ABD, Çin veya Rusya) tarafından ele geçirilmesi, dünyanın geri kalanını güvensiz hale getirecektir. Çünkü kontrol eden devlet, herhangi bir bölgeyi uzaydan kolayca ve güvenli bir şekilde, çok kısa bir sürede hedef alabilir. Uzayda savaş tehdidi veya yerden uzaya yönelik saldırılar, düşmanların savaş kapasitesini zayıflatmak amacıyla uzay silahları ya da diğer ekipmanlara yapılacak saldırılar, uluslararası barışı tehdit edebilecek ve zarar verebilecek olasılıklardır.²⁵

¹⁵ Valentina Chabert, "The Outer-Space Dimension of the Ukraine Conflict: Toward A New Paradigm For Orbits As A War Domain?" , *Journal of International Affairs*, 75(2),151 Spring/Summer 2023.

¹⁶ Matthew T. King and Laurie R. Blank, "International Law and Security in Outer Space", *AJIL Unbound*, 113, 125, 2019.

¹⁷ Mackenzie Enholm, "The Security Dilemma and Conflict in Space", *Journal of Strategic Security*, 17(49), 53, 2024.

¹⁸ Jackson Nyamuya Maogoto And Steven Freeland, *a.g.m.*,1096.

¹⁹ Cassandra Steer, *a.g.m.*,9.

²⁰ Mackenzie Enholm, *a.g.m.*, 56.

²¹ Mackenzie Enholm, *a.g.m.*,50.

²² Everett C. Dolman, "Astropolitik: Classical Geopolitics in the Space Age" , 52, Frank Cass Publishers, Londra, 2002, Dennis M. Rice, *a.g.m.*, s. 40' tan aktarılmıştır.

²³ Valentina Chabert, *a.g.m.*,147.

²⁴ Valentina Chabert, *a.g.m.*,150.

²⁵ Saadia Zahoor, *a.g.m.*,126.

B. Dış Uzay ve Uzay Nesneleri Kavramlarının Tanım Sorunu

Günümüzde uzay hukukunun temel ilkelerinden olan “uzayın barışçıl amaçlarla keşif ve kullanımı” ilkesine ilişkin temel sorunlardan bir tanesi uzay hukukunun kaynaklarında “dış uzay” (outerspace) kavramının açık ve kesin bir tanımının olmamasıdır. İlgili anlaşmalarda “uzay” (space) kavramı yerine çoğunlukla “dış uzay” terimi kullanılmıştır. Bu durum “dış uzay” ve “iç uzay-hava sahası” (airspace) arasında sınırsal bir ayrımının olduğunu göstermektedir.²⁶ Ancak günümüzde dahi, hava sahasının sınırı ile dış uzayın başlangıcı konusunda küresel bir mutabakat bulunmamaktadır. Pratikte, bir aracın dünya atmosferine girmeden yörüngede kalabileceği en yüksek sınır dış uzayın başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Bu sınır yaklaşık 100 km (62 mil) olarak belirlenmiştir. Bu seviyenin altındaki alan hava sahası olarak kabul edilmektedir ve bu alanda hava hukuku kuralları geçerli olmaktadır. Her iki bölgede uygulanacak hukuksal rejim farklı olduğu için dış uzay ile hava sahasının kesin bir şekilde ayrılması son derece önemlidir. “Uzayın barışçıl amaçlarla keşif ve kullanımı” ilkesine ilişkin ikinci önemli konu Ay ve diğer gezegenler gibi gök cisimlerinin dış uzayın bir parçası mı olduğu, yoksa ayrı varlıklar olarak mı kabul edilmesi gerektiğidir.²⁷ Diğer bir tanım tartışması uzay nesnelere dairdir. Uzay Anlaşması’nda uzay faaliyetleri, “insanlığın uzaya girişi” olarak ifade edilirken uzay nesnelerinin tanımı bulunmamaktadır. Uygulamada uzay sondası, insan yapımı uydular ve insanlı uzay istasyonları uzay nesneleri olarak kabul edilmektedir.²⁸ Bununla birlikte “uzayın barışçıl amaçlarla keşif ve kullanımı” ilkesinin etkinliğini sağlamak için bu önemli tanım meselelerinin acilen ele alınması ve çözüme kavuşturulması gereklidir.

C. Çift Kullanımlı Uydular Sorunu

Günümüzde uzay hukukunun temel ilkelerinden olan “uzayın barışçıl amaçlarla keşif ve kullanımı” ilkesine ilişkin temel sorunlardan bir tanesi iletişim, seyrüsefer, meteoroloji, gözlem ve keşif amacı ile kullanılan uyduların “çift yönlü” kullanımlı olmasıdır.²⁹ Çift amaçlı uydu kavramı, uzay literatüründe artık iyi bilinen bir terim haline gelmiştir. Bu cihazlar hem savunma hem de saldırı amaçlı kullanılmakta aynı zamanda hem sivil/ticari faaliyetleri hem de askeri faaliyetleri yerine getirmektedir.³⁰ Nitekim 1991 Körfez Savaşı’nda, 1996 yılında Bosna’da, 1999’da Kosova’da, 2001 Afganistan’da, 2003’te Irak’ta ve 2022’de Rusya-Ukrayna savaşında uydular askeri amaçlı olarak kullanılmıştır.³¹ Günümüzde uydular, askeri güçlerin gözleri, kulakları ve sinir sistemine karşılık gelmektedir. Bir düşmanı felç etmenin en iyi yolu, görüntü ve iletişim sağlama kapasitesine sahip olan uyduları yok etmektir. Bir uzay devletin sahip olduğu uyduların yok edilmesinin askeri varlığını ciddi şekilde tehlikeye düşürecek olması, uyduların kazandığı önemi göstermektedir.³² Bu zayıf nokta, rakip güçleri, bu uzay varlıklarını hedef alma kapasitesini geliştirmeye ve bu yüksek zemin avantajını azaltmaya teşvik etmektedir. Bu, uzayın, silahsız bir şekilde, dünya çapındaki ordular tarafından barışçıl olmayan amaçlarla kullanıldığı anlamına gelmektedir. Yani, uzay askerleştirilmiştir ancak silah yerleştirilmeden.³³

Uzayın hem askeri olarak kullanılması hem de silahlandırılması, dünya barışına ciddi tehditler oluşturduğundan önemli endişelere yol açmaktadır.³⁴ Dolayısıyla uyduların giderek artan yetenekleri, bu araçların kullanımının barışçıl amaçlarla keşif ve kullanım ilkesi kapsamında değerlendirilmesini daha önemli hale getirmektedir.

III. 1967 DIŞ UZAY ANLAŞMASI BAĞLAMINDA UZAYIN BARIŞÇIL KEŞFİ ve KULLANIM İLKESİNİN TARTIŞMALI YÖNLERİ

Uzayın barışçıl keşfi ve kullanım ilkesi, uzayın Magna Cartası olarak isimlendirilen 1967 Dış Uzay Anlaşmasının 4. maddesinde düzenlenmiştir.³⁵ İlk bakışta bu hüküm oldukça açık gibi görünse de uygulamada semantik ve yorumsal bir çatışma alanı yaratmaktadır. Anlaşma’nın 4. maddesi şu şekildedir:

"Anlaşmaya Taraf Devletler, nükleer silahlar veya diğer kitle imha silahlarını içeren herhangi bir nesneyi Dünya yörüngesine yerleştirmemeyi, bu tür silahları gök cisimlerine kurmamayı veya bunları herhangi bir şekilde dış uzayda konuşlandırmamayı taahhüt ederler."

²⁶ Tolga Erdem, *a.g.m.*, 434-35.

²⁷ Saadia Zahoor, *a.g.m.*, 117.

²⁸ Zeynep Selin Balcı, *a.g.m.*, s.2095.

²⁹ Kerem Batır ve Pervin Şeker, “Uzayın Barışçıl Amaçlarla Keşif ve Kullanımı İlkesi Bakımından Uyduların Kullanımı”, *Public and Private International Law Bulletin*, 43(2), 629, 2023.

³⁰ Kerem Batır ve Pervin Şeker, *a.g.m.*, 633.

³¹ Saadia Zahoor, *a.g.m.*, 125.

³² Johannes M. Wolff, *a.g.m.*, 71.

³³ Cassandra Steer, *a.g.m.*, 11.

³⁴ Saadia Zahoor, *a.g.m.*, 122.

³⁵ Zeynep Selin Balcı, *a.g.m.*, 2079-2109

Ay ve diğer gök cisimleri, Anlaşmaya Taraf Devletler tarafından yalnızca barışçıl amaçlar için kullanılacaktır. Askerî üslerin, tesislerin ve tahkimatların kurulması, herhangi bir tür silahın test edilmesi ve gök cisimlerinde askerî manevraların gerçekleştirilmesi yasaktır.

Bilimsel araştırma veya diğer barışçıl amaçlarla askerî personelin kullanılması yasaklanmayacaktır. Ay ve diğer gök cisimlerinin barışçıl keşfi için gerekli olan herhangi bir ekipmanın veya tesisin kullanılması da yasaklanmayacaktır."

Bu madde uzayın keşif ve kullanımının barışçıl amaçlarla gerçekleştirileceğini düzenleyen en önemli hükümdür ancak tartışmalı yönleri vardır.

İlk olarak 4. madde 1. paragrafı çoğu yorumcu tarafından yalnızca sınırlı bir silahsızlanma hükmü olarak görülmektedir. 4. maddenin 1. paragrafında geçen kitle imha silahları kavramının, nükleer silahların yanı sıra kimyasal, biyolojik ve muhtemelen radyolojik silahları da kapsadığı ancak lazer ve diğer yönlendirilmiş enerji silahları kapsamadığı belirtilmektedir. Bu tür silahlar, ayırım gözetmeyen yapıda değil, aksine belirli hedeflere yönelik silahlar olduğu için, maddenin kapsamı dışında tutulmuştur denilmektedir. Ayrıca maddenin yalnızca bu tür silahların uzaya konuşlandırılmasını yasakladığı ancak dünya üzerinde test edilmesi, geliştirilmesi veya konuşlandırılmasını açıkça yasaklamadığı ileri sürülmektedir. Dahası uzay hedeflerine karşı kullanılmak üzere tasarlanmış yer tabanlı nükleer sistemlerin konuşlandırılması bile yasak kapsamında değildir denilmektedir.³⁶ Dolayısıyla ihlaller yalnızca silah sistemlerinden herhangi biri nükleer bir patlama kullanarak itici güç sağlıyorsa veya hedefi yok etme amacı taşıyorsa gerçekleşecektir denilmektedir.³⁷

4. madde bağlamında daha büyük tartışmalara yol açan bir diğer mesele, uzaydaki askeri faaliyetler için iki ayrı yasal rejimin öngörülmesidir: (1) Ay ve diğer gök cisimlerinde yapılan faaliyetler ve (2) doğrudan uzayda yapılan faaliyetler. 4. madde uzay evrenini üç bölüme ayırmaktadır: Dünya'nın yörüngesi, gök cisimleri ve uzay. Bu durum, Uzay Anlaşması'nın tüm uzayı askeri kullanımdan tamamen özgürleştirmede olduğu şeklinde yorumlanmaktadır. Anlaşma metnine göre, maddenin 2. paragrafı sadece "Ay ve diğer gök cisimleri" için bir yasak getirmekte ve dış uzayı kapsam dışı bırakmaktadır.³⁸ Bu durum, Anlaşma'nın dış uzaydaki tüm askeri faaliyetleri yasakladığını söylemeyi zorlaştırmaktadır. Özellikle yörüngedeki askeri faaliyetlerin tamamen yasak olduğu çıkarımını yapmak güçleşmektedir.³⁹

Görüldüğü üzere 4. maddede düzenlenen "barışçıl kullanım" terimi net bir tanıma sahip değildir ve bu muğlaklık devlet uygulamalarında çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Barışçıl amaçlarla kullanım kavramı devletler tarafından "askeri-olmayan" ve "saldırgan-olmayan" biçiminde iki farklı şekilde yorumlanmaktadır. "Askeri-olmayan" kullanım yorumu kabul edilirse, uzayda hiçbir askeri teçhizat bulunmamalıdır. "Saldırgan-olmayan kullanım" yorumu kabul edilirse saldırgan olmadığı sürece askeri kullanımlar mümkün ve yasal görülmekte ve 4. maddenin, uzayda barışçıl amaçlarla yapılan askeri ve sivil teknolojilerin kullanımına izin verdiği savunulmaktadır. Nitekim Çin ve Rusya "barışçıl" teriminin "askeri-olmayan" kullanım yorumunu benimserken ABD "saldırgan olmayan" kullanım yorumunu benimsemektedir. ⁴⁰ ABD uzayda tüm askeri kullanımının, Birleşmiş Milletler Andlaşması madde 2(4)'e uygun olarak, "güç kullanma tehdidi veya güç kullanma yasağını" ihlal etmediğini ileri sürmektedir.⁴¹ Bu durum, uzayın askeri amaçlarla kullanımı konusunda uluslararası hukukun netleşmemesine yol açmaktadır.⁴²

IV. KUVVET KULLANMA HUKUKU ve BARIŞÇIL KEŞİF ve KULLANIM İLKESİ

1967 Dış Uzay Anlaşmasında düzenlenen "uzayın barışçıl keşif ve kullanım" ilkesinin çok net ve kesin olmaması genelde uluslararası hukukun özelde Birleşmiş Milletler Andlaşması madde 2(4)'ün ve madde 51'in uzayda uygulanıp uygulanmayacağına ve uygulanacaksa nasıl uygulanacağına ilişkin sorunları gündeme getirmiştir. Birleşmiş Milletler Andlaşması uzay göz önünde bulundurularak kaleme alınmadığı için bu normların nasıl uygulanacağı önem taşımakta ve her iki hukuki rejimin kesişiminin ele alınması gerekmektedir.

A. Barışçıl Keşif ve Kullanım İlkesi ve Birleşmiş Milletler Andlaşması Madde 2(4)

Birleşmiş Milletler Anlaşması madde 2(4) uyarınca, devletler uluslararası ilişkilerinde kuvvet kullanamaz ve kuvvet kullanma tehdidinde bulunamazlar. Bu yasak BM Andlaşması madde 2(4)'de şu şekilde düzenlenmiştir: "Tüm üyeler, uluslararası ilişkilerinde gerek herhangi bir başka devletin toprak

³⁶ Allan Rosas, "The Militarization of Space and International Law", *Journal of Peace Research*, 20(4), 358-359, Dec., 1983.

³⁷ Jackson Nyamuya Maogoto and Steven Freeland, *a.g.m.*, 1105.

³⁸ Saadia Zahoor, *a.g.m.*, 127.

³⁹ Allan Rosas, *a.g.m.*, 358-359.

⁴⁰ Allan Rosas, *a.g.m.*, 358-359.

⁴¹ Jackson Nyamuya Maogoto and Steven Freeland, *a.g.m.*, 1102.

⁴² Saadia Zahoor, *a.g.m.*, 127.

bütünlüğüne ya da siyasal bağımsızlığa karşı, gerek Birleşmiş Milletlerin Amaçları ile bağdaşmayacak herhangi bir biçimde kuvvet kullanma tehdidine ya da kuvvet kullanılmasına başvurmadan kaçınırlar”.

Birleşmiş Milletler Anlaşması madde 2(4)’te düzenlenen bu yasak günümüzde sadece bir anlaşma ve uluslararası örfi hukuk kuralı olarak değil aynı zamanda aksine hiçbir düzenlemeye izin vermeyen emredici bir kural (*jus cogens*) olarak kabul edilmektedir.⁴³ Bununla birlikte BM Andlaşması madde 2(4)’ün içeriği ve kapsamı öğretide ve devlet uygulamalarında oldukça tartışmalıdır. Tartışmalı konulardan bir tanesi kuvvet kullanma yasağının ekonomik, siyasi ve diplomatik baskıları içerip içermeyeceği konusundadır. Yaygın kabul edilen görüşe göre md.2(4)’ün bu tür ekonomik, siyasi, diplomatik baskıları dışarda tuttuğu ve doğrudan ve dolaylı askeri kuvvet kullanmayı kapsadığıdır.⁴⁴ Bu minvalde uzay teknolojisinin hızla gelişmesi sonucu yeni kuvvet kullanma yollarının ortaya çıkması BM Andlaşması madde 2(4) bağlamında yeni tartışma alanları ortaya çıkartmaktadır. Örneğin Çin’in 2007’deki “katil füzesi” testi ile gereksiz hale gelmiş bir hava durumu uydusunun yok edilmesi sonucu büyük miktarda uzay enkazı ortaya çıkmıştır ve bu enkaz, uzay faaliyetlerini olumsuz etkilemiştir. Bu olay uydu karşıtı silah geliştirmenin bir kuvvet kullanma tehdidi olup olmadığı ya da bir devletin kendi uydusunu yok etmesinin diğerleri için tehdit olup olmadığı gibi soruları gündeme getirmiştir. Uzayda silahlı kuvvet kullanmanın, diğer devletlerin barışçıl keşiflerini ve uzay kullanımlarını “zararlı şekilde etkileme” olasılığını gözler önüne sermiştir.⁴⁵

B. Barışçıl Keşif ve Kullanım İlkesi ve Birleşmiş Milletler Andlaşması Madde 51

Uzayda “askeri-olmayan kullanım” yorumunu benimseyenler, Birleşmiş Milletler Andlaşması madde 51 çerçevesinde meşru müdafaa hakkının uzaya uygulanamayacağını ileri sürmektedir. Yani uzay hukukunun, uzay ortamında meşru müdafaa doktrinini dışladığını ileri sürmektedirler. Bu argümanı ileri sürenlerin temel dayanağı, 1967 Dış Uzay Anlaşması’nın amaçsal bir yorumudur. 1969 Viyana Anlaşmalar Hukuku Sözleşmesi’nin uluslararası Anlaşmaların yorumuna ilişkin 31. maddesine göre, bir andlaşma, hükümlerine Anlaşmanın bütünü içinde ve konu ve amacının ışığında verilecek olağan anlama uygun şekilde iyi niyetle yorumlanır.⁴⁶ Bu madde bir anlaşmanın giriş bölümünün ve eklerinin, yorumlama amacıyla bağlam belirlemek için başvurulabilecek bir kaynak olduğunu belirtmektedir. Uzay Anlaşması’nın giriş bölümünün, Anlaşmanın taslaklarını hazırlayanların uzayın yalnızca askeri-olmayan kullanımlarını öngördüğünü gösterdiği savunulmaktadır. Bu görüş, Anlaşma’da şu ilkelerle daha da vurgulanmaktadır: (1) uzayın keşif ve kullanımı tüm insanlık için yarar ve çıkar sağlamak amacıyla yapılacaktır; (2) uzay, tüm insanlığın malı olacaktır; (3) uzay, herkesin keşif ve kullanımına açık olacaktır; (4) gök cisimlerinin her bölgesine serbest erişim olacaktır; (5) bilimsel araştırmalar özgür olacaktır ve (6) bilimsel araştırmaların yürütülmesinde uluslararası iş birliği teşvik edilecek ve kolaylaştırılacaktır. Bu nedenle, Uzay Anlaşması’nın 4.maddesinin, Anlaşma’nın hem Giriş Bölümü hem de 1. maddesi bağlamında yorumlanması gerektiği savunulmaktadır. Bu argümanı savunanlar, “uluslararası hukukta açıkça yasaklanmayan her şeyin izinli olduğu” şeklindeki geleneksel uluslararası hukuk ilkesini reddetmekte ve aksine, eylem özgürlüğünün diğer devletlerin haklarıyla sınırlı olduğu görüşünü savunmaktadır. Uzay ortamında, Uzay Anlaşması’nda belirtilen devletlerin haklarının, herhangi bir amaç için güç kullanımına karşı olduğu ileri sürülmektedir.⁴⁷ Bu argümanı benimseyenler için bir başka gerekçe BM Anlaşması madde 2(4)’te düzenlenen kuvvet kullanma yasağı olup bu hüküm uzay faaliyetlerine ilişkin olarak da devletleri kuvvete başvurmadan menetmektedir.⁴⁸ Ancak bu görüş kimi akademisyenlerce uç bir görüş olarak değerlendirilmektedir. Bunlara göre Birleşmiş Milletler Andlaşması da dahil olmak üzere uluslararası hukuk, uluslararası uzay hukukunun bir parçasıdır. Birleşmiş Milletler Andlaşması genel olarak kuvvet kullanılmasını yasaklamakla birlikte meşru müdafaa halinde kuvvet kullanılmasına izin vermektedir.⁴⁹ Bu görüş, Dış Uzay Anlaşmasının en önemli hükümlerinden biri olan 3. maddenin Birleşmiş Milletler Andlaşmasına özel bir atıfta bulunmasından kaynaklanmamaktadır. Birleşmiş Milletler Andlaşması gerektiği durumlarda uzayda da geçerlidir.⁵⁰

Uzayda “saldırgan olmayan kullanım” yorumu benimsenirse, BM Andlaşması madde 51’de düzenlenen “meşru müdafaa” hakkı gerekçesiyle silahların uzaya yerleştirilmesi mümkün hale gelmektedir.⁵¹ Bu yorum, uzayın “caydırıcılık” ve “savunma” amacıyla kullanılmasının, barışın yararına olduğunu ve bu kullanımın

⁴³ Fatma Taşdemir, *Terörizm ve Ülke Dışı Kuvvet Kullanma Hukuku*, Nobel, Ankara, 124, 2020.

⁴⁴ Fatma Taşdemir, *a.g.e.*, 125.

⁴⁵ Jackson Nyamuya Maogoto And Steven Freeland, *a.g.m.*, 1111.

⁴⁶ Zeynep Seyitoğlu Danışman, “Uzay Hukuku Açısından Silah(sız)lanma Sorunu”, *Akademi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(22), 177, 2021.

⁴⁷ Patrick K. Gleeson, *Legal Aspects of the Use of Force in Space*, A Thesis, Faculty of Law McGill University, Montreal Quebec, 77-78, August 2005.

⁴⁸ Zeynep Seyitoğlu Danışman, *a.g.m.*, 177.

⁴⁹ Patrick K. Gleeson, *a.g.t.*, 84-86.

⁵⁰ Jackson Nyamuya Maogoto And Steven Freeland, *a.g.m.*, 1099.

⁵¹ Johannes M. Wolff, *a.g.m.*, 74.

ancak saldırı faaliyetlerine hizmet etmesi halinde, barışçıl amaçlarla kullanım ilkesine aykırı olacağını iddia etmektedir.⁵² Saldırgan olmadığı sürece askeri kullanımlar mümkün ve yasal görülmekte ve bu şekilde algılanmaya devam edilmektedir.⁵³

Uzayda madde 51'in geçerli olduğunu savunanlara göre, Dış Uzay Anlaşması uzayda ulusal mülkiyetin engellenmesine ilişkin açık ve kesin bir dil kullanmış ancak güç kullanımına ilişkin aynı düzeyde açık bir yasak getirmemiştir. Bunun yerine, Anlaşma'nın 4. maddesi, uzaya nükleer silahlar ve diğer kitle imha silahlarının yerleştirilmesini yasaklamış ve uzay ortamını kısmi bir şekilde askerden arındırmıştır.⁵⁴ Ancak 4. madde uzayda tüm güç kullanımına yönelik genel bir yasak değildir. Uzayda meşru savunma hakkının kullanılmasının, Anlaşma'nın diğer ilkeleriyle çelişmediği ya da bu ilkeleri zayıflatmadığı da savunulabilir. Devletlerin uzay tabanlı varlıklarını savunma yeteneği ve uluslararası toplumun faaliyetleri denetleme ve uluslararası hukuku uygulama kapasitesi, "kullanım ve erişim özgürlüğü," "mülkiyeti engellememe" ve "herkesin yararına ve çıkarına kullanma" gibi temel ilkeleri güçlendiriyor olarak görülebilir. Bu görüş, meşru müdafaa hakkının kullanımının Anlaşma'nın daha geniş hedefleriyle tutarlı olduğunu ve hatta uzayda güvenli ve düzenli bir ortamın sağlanmasında, herkesin uzay keşfi ve kullanımından faydalanabilmesi için destekleyici bir rol oynadığını ima etmektedir.⁵⁵ Bu görüşü savunanlara göre Dış Uzay Anlaşması'nın tüm güç kullanımını yasakladığını kabul edersek, bu sadece meşru müdafaa halinde güç kullanımını yasaklamakla kalmaz, aynı zamanda Güvenlik Konseyi'nin uzaydan kaynaklanan veya uzayda icra edilen bir barış tehdidi, barış ihlali veya saldırganlık eylemi karşısında VII. Bölüm'de düzenlenen güç kullanma yetkisini de engellerdi. Böyle bir durumda, herhangi bir "gerekli tüm araçlar kararı", uzayda güç kullanımını dışlamak zorunda kalırdı. Böyle bir durum Güvenlik Konseyi'nin uluslararası barış ve güvenliğin korunmasındaki rolünü terk etmek anlamına gelir.⁵⁶ Bu mantıkla hareket edildiğinde modern uzay hukukunun temel belgesi olan 1967 Dış Uzay Anlaşması, devletlere "uzayda, uzaydan ve uzay aracılığıyla kendilerini savunma hakkı" tanımaktadır. Bu görüş Dünya ve yörüngeye dayalı uydu-karşıtı teknolojilerin geliştirilmesi ile ve uzay teknolojisine sahip ülkelerin pratiği tarafından doğrulanmış ve Dış Uzay Anlaşması ile Birleşmiş Milletler Anlaşması normlarının, geleneksel uluslararası uzay hukukuna dönüştüğünü pekiştirmiştir.⁵⁷ Dolayısıyla günümüzde çoğunlukla "barışçıl amaçlar" ifadesi "saldırgan olmayan" kullanım şeklinde anlaşılmaktadır.⁵⁸ Bu ikinci görüş yaygın bir şekilde kabul gören bir görüş olmakla kalmayıp, aynı zamanda uzay hukuku ile ilgili geleneksel ilkelerin gelişimi gerçekliğine de uygundur.⁵⁹

Bu görüş kabul edildiğinde BM Andlaşması madde 51'de düzenlenen doğal olan meşru müdafaa hakkının uzay hukukuna nasıl ithal edileceği kritik sorusu karşımıza çıkmaktadır. BM Andlaşması madde 51'de meşru müdafaa hakkı şu şekilde düzenlenmiştir: *"Bu Anlaşmanın hiçbir hükmü Birleşmiş Milletler üyelerinden birinin silahlı bir saldırıya hedef olması halinde, Güvenlik Konseyi uluslararası barış ve güvenliğin korunması için gerekli önlemleri alıncaya dek, bu üyenin doğal olan bireysel ya da ortak meşru savunma hakkına hanel getirmez. Üyelerin bu meşru savunma hakkını kullanırken aldıkları önlemler hemen Güvenlik Konseyine bildirilir ve Konseyin işbu Anlaşma gereğince uluslararası barış ve güvenliğin korunması ya da yeniden kurulması için gerekli göreceği biçimde her an hareket etme yetki ve görevini hiçbir biçimde etkilemez"*. Bu madde normalde oldukça tartışmalı bir maddedir. Zira madde 51'de geçen "silahlı saldırı" kavramının genel geçer bir tanımı yoktur ve önleyici meşru müdafaa hakkı konusu ise oldukça tartışmalı bir durumdadır. Bu sorunlar daha önce siber uzay bağlamında da gündeme gelmiştir. Bir siber saldırının ne olduğu karmaşık bir konudur.⁶⁰ Soruna ilişkin olarak 2009 yılında NATO tarafından oluşturulan bir uzmanlar grubu mevcut uluslararası hukuk kurallarını inceleyerek Tallinn El Kitabı'nı hazırlamıştır.⁶¹ Tallinn El Kitabını, *jus ad bellum* ilkelerinin kıyasen siber uzayda uygulanabileceğini vurgulamakta ve kuvvet kullanma yasağının siber uzayda da geçerliliğini koruduğunu belirtmektedir.⁶² Tallinn El Kitabı'nın 13'üncü kuralı, "silahlı saldırı" seviyesine varan bir siber saldırıya maruz kalan bir devlete, "meşru müdafaa"

⁵² Jackson Nyamuya Maogoto And Steven Freeland, *a.g.m.*,1101. Johannes M. Wolff, *a.g.m.*,75.

⁵³ Johannes M. Wolff, *a.g.m.*,74.

⁵⁴ Fabio van Loon, "Jus in Bello Spatialis—The Space Law of Tomorrow", *Strategic Studies Quarterly*, 15(1), 11, Spring 2021.

⁵⁵ Patrick K. Gleeson, *a.g.m.*, 81.

⁵⁶ Patrick K. Gleeson, *a.g.m.*, s.81.

⁵⁷ Fabio van Loon, *a.g.m.*, 12.

⁵⁸ Zeynep Seyitoğlu Danışman, *a.g.m.*, 174.

⁵⁹ Jackson Nyamuya Maogoto And Steven Freeland, *a.g.m.*, 1098.

⁶⁰ Hakan Selim Canca, "Prohibition Against the Use of Force and The Coercive Uses of The Cyberspace", *Journal of Naval Science and Engineering* 13(1), 65, 2017.

⁶¹ Tallinn Manual On The International Law Applicable To Cyber Warfare, Available: <https://www.onlinelibrary.iihl.org/wp-content/uploads/2021/05/2017-Tallinn-Manual-2.0.pdf>, (6.03.20205).

⁶² Cemre Çise Kadioğlu Kumtepe, "Siber Uzayda Kuvvet Kullanma Yasağı ve Yasağın İstisnalarının Geçerliliğinin Tallinn Rehberi Kapsamında Değerlendirilmesi", *The Turkish Yearbook of International Relations*, 53, 30, 2022.

hakkı vermektedir. Bu eylemin silahlı saldırı olup olmadığı ise olayın ölçü ve etkisine bakılarak karar verilmesi gerekmektedir. Kısacası, can kaybına, yaralanma ve sakatlanmaya neden olan ya da bir ülkenin kamu sağlığını, güvenliğini veya millî ekonomisini ayakta tutan temel unsurlar gibi kritik altyapısına ciddi boyutlarda zarar veren siber eylemlere siber saldırı denmektedir.⁶³ Dolayısıyla siber eylem kuvvet kullanımı olarak nitelendirilse bile silahlı saldırı düzeyine ulaşmıyorsa meşru müdafaa hakkını doğurmayacaktır.⁶⁴

Bu bağlamda uzaydaki hangi faaliyetler bir silahlı saldırı sayılacaktır sorusu önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, uydu-karşıtı silahların veya doğrudan enerji silahlarının – özellikle lazerlerin – bir devletin uydularına karşı kullanılması, ya başka bir devletin egemenliğine karşı bir silahlı kuvvet kullanımı olarak kabul edilebilir ya da bir devletin başka bir devletin topraklarına karşı silah kullanımıyla eşdeğer olabilir.⁶⁵ Uzayda önleyici meşru müdafaa hakkının uygulanıp uygulanmayacağı da önem kazanmaktadır. Günümüzde devletler tarafından BM Andlaşması madde 51 dışında Bush doktrinindeki gibi geniş kapsamlı bir önleyici meşru müdafaa hakkı kabul görmezken, *Caroline* doktrinindeki “vukuu muhakkak tehditlere karşı” bir önleyici meşru müdafaa hakkı kabul görmeye başlamıştır.⁶⁶ Önleyici meşru müdafaa hakkının uzay hukuku bağlamında nasıl uygulanacağı ise daha ileri düzeyde sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Bu hakkı savunanlara göre bir devlet teknolojik inovasyonlar sayesinde askeri iletişimlerini engelleyen ve uyduları körleştiren karmaşık bir taktik planla önceden yapılabilecek sürpriz bir saldırıyı bekleyemez.⁶⁷

V. UZAYIN BARIŞÇIL KEŞİF ve KULLANIMI KONUSUNDAKİ GÜNÜMÜZDEKİ ÇABALARIN ETKİNLİĞİ

Soğuk Savaş'ın hikâyesi sınırların hikâyesidir. Bu yüksek gerilim döneminin ironik bir yönü, insanlığın keşfedilmemiş bölgelere olan ilgisini artırmasıydı. Bu durum Antarktika'yı ele geçirme ve Uzay'a ulaşma istekleriyle örtüşmekteydi.⁶⁸ Antarktika toprakları üzerinde egemenlik iddiasında bulunan yedi devlet⁶⁹ ile Antarktika kıtasına ilgi duyan beş diğer devlet- ABD, SSCB, Güney Afrika, Belçika ve Japonya- 1 Aralık 1959'da Antarktika Anlaşmasını kabul etmiştir. 1959 Antarktika Andlaşması, “Antarktika’da yalnızca barışçıl faaliyetlere izin verilmiştir. Bu belge, Antarktika’nın askersizleştirilmesinin başlıca unsurudur.⁷⁰ Antarktika Anlaşması, Dış Uzay Anlaşması için de hem bir ilham kaynağı olmuş hem de örnek teşkil etmiştir. Uzay Anlaşması'nın 2. maddesi uzaydaki ulusal mülkiyet meselesine ilişkindir ve şöyle demektedir:

“Uzay, ay ve diğer gök cisimleri, egemenlik iddiaları, kullanım, işgal veya başka herhangi bir şekilde ulusal mülkiyete tabi değildir”. Dolayısıyla Dış Uzay Anlaşması da uzay ile gök cisimlerinin ulusal egemenliğe konu olmasını yasaklamıştır. Bu alanın insanlığın ortak mirası olduğunu belirtmiştir. Bu ilke, Roma hukukunun *res communis* teorisine dayanmaktadır. Bu teori, tüm insanlığa ait olan bir malın; bireyler, devletler veya devletler grubu tarafından sahiplenilemeyeceğini öngörmektedir.⁷¹ Antarktika Anlaşması'na benzer şekilde, 1967 Dış Uzay Anlaşması da uzayda “yeni bir sömürgecilik rekabetinin” engellenmesine yönelik uluslararası bir arzuyu yansıtmıştır.⁷² Her iki Anlaşma sisteminin de esasen barışçıl keşif ve kullanım sağlama misyonlarında büyük ölçüde başarılı olduklarını söylemek makul bir sonuçtur. Ancak, Uzay Anlaşması geçmişteki başarısını kanıtlamış olsa da yeni tehditler ve gelişmeler karşısında muğlak ve zayıf bir düzenleme haline gelmiştir.⁷³

Artık dış uzayın kendisi yeni bir savaş alanı haline gelmiştir. Uzayın derhal silahsızlandırılması gerekmektedir. Uzayın askerileştirilmesi ile ilgili konularla COPUOS doğrudan ilgilenmemektedir. Bunun yerine, bu tür meseleler Cenevre merkezli Silahsızlanma Konferansı tarafından ele alınmaktadır. Bu bağlamda Uzayda Silahlanma Yarışının Önlenmesi Konusunda Ad Hoc Komite'nin (PAROS)⁷⁴ çalışmaları önem taşımaktadır.⁷⁵ PAROS, devletlere uzayda silahların geliştirilmesini ve kullanımını yasaklayacak yeni ve kapsamlı bir hukuki rejim çağrısında bulunmaktadır.⁷⁶

⁶³ Hasan Temel, “Kuvvet Kullanma Hukuku Kapsamında Siber Saldırı Kavramı”, *Harpte Yeni Kavramlar: Operatif Sanat, Teknoloji ve Harp Hukukundaki Yansımalar*, (Ed.Özgür Körpe), Milli Savunma Üniversitesi, İstanbul,145, 2021.

⁶⁴ Cemre Çise Kadioğlu Kumtepe, *a.g.m.*,34.

⁶⁵ Jackson Nyamuya Maogoto And Steven Freeland Jackson, *a.g.m.*, 1114.

⁶⁶ Fatma Taşdemir, *a.g.e.*. 285-286.

⁶⁷ Jackson Nyamuya Maogoto And Steven Freeland, *a.g.m.*, 1116

⁶⁸ Steven Freeland and Anja Nakarada Pecujlic, *a.g.m.*,16.

⁶⁹ Bu devletler şunlardır: Arjantin, Avustralya, Şili, Fransa, Yeni Zelanda, Norveç, Birleşik Krallık.

⁷⁰ Johannes M. Wolff, *a.g.m.*, 76.

⁷¹ Saadia Zahoor, *a.g.m.*, 118.

⁷² Fabio van Loon, *a.g.m.*, 12-13.

⁷³ Steven Freeland and Anja Nakarada Pecujlic, *a.g.m.*, 35-36.

⁷⁴ Arda Ercan ve Serap Gürsel, *a.g.m.*, 895.

⁷⁵ Steven Freeland and Anja Nakarada Pecujlic, *a.g.m.*, s. 23.

⁷⁶ Saadia Zahoor, *a.g.m.*, 130.

Bu konuda bir başka önemli gelişme 2008 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kurulu'nda, Rusya ve Çin tarafından hazırlanan Dış Uzayda Şeffaflık ve Güven Artırıcı Önlemler hakkında bir karar tasarısının oybirliğiyle kabul edilmiş olmasıdır.⁷⁷ Bu karar tasarısı, devletler arasında güveni artırmaya ve uluslararası iş birliğini güçlendirmeye yönelik önemli bir adım olarak görülmekte ve dış uzayda bir silahlanma yarışını önlemeye yönelik caydırıcı bir mekanizma sağlayabileceği düşünülmektedir.

Bu çerçevede bir başka uluslararası girişim, Silahsızlanma Konferansına Rusya ile Çin'in ortaklaşa sunduğu Uzaya Silah Konuşlandırılmasının Önlenmesi ve Uzay Nesnelerine Karşı Güç Kullanımı veya Tehdit Edilmesi Konulu Anlaşma Taslağı (PPWT) olmuştur.⁷⁸ PPWT tasarısı madde 1(e), uzayda güç kullanma ve tehdidini şu şekilde tanımlanmıştır: "*güç kullanımı ya da güç kullanma tehdidi; uzay nesnelerine karşı, onları yok etmek, tahrip etmek, çalışma fonksiyonlarını geçici ya da kalıcı bozmak ya da yörünge ayarlarını özellikle değiştirmek gibi düşmanca hareketlerde bulunmak veya bulunmakla tehdit etmektir*". Ancak ABD başta olmak üzere birçok devlet, taslağı belirsizlikler içerdiği ve doğrulama mekanizmasından yoksun olduğu gerekçesiyle reddetmiştir.⁷⁹ ABD, özellikle taslağın Dünya'dan uzaya saldırıları yasaklamadığını ve doğrudan yükselen (direct-ascent) veya eş yörüngesel (co-orbital) silahlar gibi "gizli silahların" kullanılmasını engelleyemediğini savunmuştur.⁸⁰ Bazı yazarlara göre ABD'nin eleştirilerinde haklılık payı bulunmaktadır. Zira yalnızca uzaya yerleştirilen silahları yasaklamak yeterli değildir. Aynı zamanda Dünya'dan uzaydaki varlıklara saldırabilecek silahların da kontrol edilmesi gerekmektedir.⁸¹ Rusya ve Çin 2014'te Komite 'ye yeni bir PPWT tasarısı göndermiştir. Tasarıdan, uzay tanımı çıkarılmış ve uzay nesneleri "*uzayda çalışması için geliştirilen ve uzaya yerleştirilen araçlar*" olarak tanımlanmıştır. Güç kullanma ve güç kullanma tehdidini ayrı tarif eden tasarıda güç kullanma "*bir başka devletin kontrolünde ya da yetkisi altındaki bir uzay nesnesinde hasar oluşturma niyeti ile gerçekleştirilen her türlü eylem*" olarak; güç kullanma tehdidi ise "*(bu) eylemlerin niyetinin yazılı, sözlü ya da başka bir şekilde açıkça ifade edilmesi*" olarak belirlenmiştir. ABD'nin daha öncesinde belirsizlik yaratması nedeniyle fazla kapsamlı bulduğu tanımdan geçici, kalıcı, geri döndürülebilir veya döndürülemez ibarelerinin çıkarılması ABD'nin eleştirilerinin önüne geçmemiştir. 2015'te eleştirilere cevap veren Çin ve Rusya ise ABD'yi, tasarımı önce kapsamlı sonra da dar bulması nedeniyle tutarsızlıkla suçlamıştır.⁸²

Yine Avrupa Birliği'nin (AB) 2014 Taslak Davranış Kuralları, devletlerin uzayın barışçıl kullanımıyla ilgili mevcut uluslararası düzenlemelere uymasını teşvik etmekte ve uzayda silahlanma yarışını önlemeyi amaçlamaktadır. Ancak, taslak metin, askeri kullanımları barışçıl kullanım olarak kabul etmiştir. Bu durum, modern çağın jeopolitik gerçeklerini kabul etme eğilimini yansıtmaktadır.⁸³

Günümüzde gerilimi azaltma girişimleri devlet aktörlerinin bıraktığı yerden özel aktörler tarafından devralınmaya başlanmıştır. Öne çıkan önemli projelerden biri, Uzayda Askeri Faaliyetlere Uygulanabilir Uluslararası Hukuk El Kitabı (MILAMOS) girişimidir. ⁸⁴ Bu proje, San Remo Deniz Harbi El Kitabı, Harvard Hava ve Füze Harbi El Kitabı ve Tallinn Siber Harp El Kitabı'nın⁸⁵ izinden giderek, uluslararası alanda tanınmış uzmanları bir araya getirerek uzayda askeri faaliyetlere ilişkin hukuku tarafsız bir şekilde belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu tür el kitapları, devlet pratiği yoluyla örf ve âdet hukuku oluşumuna katkı sağlayabileceği ve içerdikleri kuralların hukuki geçerliliğinin açıkça kabul edilmesi yoluyla uluslararası hukukun bir parçası haline gelebileceği anlamına gelmektedir.⁸⁶

VI. SONUÇ

1967 Dış Uzay Anlaşması'nın 4. Maddesinde düzenlenen "barışçıl keşif ve kullanım ilkesi" birçok açıdan muğlaklıklar içermektedir. Bu durum devletlerin bu ilkeyi askeri-olmayan kullanım şeklinde değil, saldırgan-olmayan askeri faaliyetlere odaklanacak şekilde yorumlamalarına yol açmıştır. Bu durum, uzayda giderek artan askeri faaliyetlere yol açmıştır. Bu faaliyetleri sınırlamak için somut adımlar atılmadığı sürece, özellikle büyük güçler arasında, uzayın militarizasyonu ve silahlandırılması büyük bir hızla devam edecek ve uluslararası barış ve güvenliği tehdit edecektir. Uzaya erişimin ve uzayın kullanımının gelecek nesiller için korunması açısından hem ulusal hem de küresel güvenlik açısından uzayda yeniden itidalli bir

⁷⁷ General Assembly Resolution on Prevention of an Arms Race in Outer Space (A/RES/39/59). Available: <https://documents.un.org/doc/resolution/gen/nr0/460/36/pdf/nr046036.pdf> (7.03.2025).

⁷⁸ Treaty on Prevention of the Placement of Weapons in Outer Space and of the Threat or Use of Force against Outer Space Objects, Available: <https://digitallibrary.un.org/record/633470?v=pdf>, (06.03.2025).

⁷⁹ Cassandra Steer, *a.g.m.*, 14.

⁸⁰ Saadia Zahoor, *a.g.m.*, 31.

⁸¹ Fabio van Loon, *a.g.m.*, 20-23.

⁸² Zeynep Selin Balci, *a.g.m.*, s. 2098.

⁸³ Saadia Zahoor, *a.g.m.*, 130

⁸⁴ The McGill Manual on International Law Applicable to Military Uses of Outer. Available: <https://www.mcgill.ca/milamos/> (6.03.2025).

⁸⁵ HPCR Manual on International Law Applicable to Air and Missile Warfare. Available: <https://www.cambridge.org/core/books/hpcr-manual-on-international-law-applicable-to-air-and-missile-warfare/EB28F7A1701637CA2390B25FB4840629>, 6.03.2025).

⁸⁶ Cassandra Steer, *a.g.m.*, 14.

yaklaşımı ihtiyaç vardır. Uzayın mutlaka ve kesin bir dille asker ve silahtan arındırılması şarttır. Bunun için etkili bir hukukî rejime ihtiyaç vardır. Bu yasal çerçevenin tutarlı ve net olması oldukça önemlidir. Yeni yasal çerçevede uzayın, tüm insanlığın ortak malı olduğu ve yalnızca barışçıl ve askeri olmayan amaçlar için kullanılması gerektiği kesin ifadelerle belirtilmelidir.

TEŞEKKÜR

Düzce Üniversitesi tarafından 27-28 Şubat 2025 tarihinde düzenlenen I. Uluslararası Uzay Hukuku Ve Teknolojileri Sempozyumu'nda emeği geçen herkese teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] Allan Rosas, "The Militarization of Space and International Law", *Journal of Peace Research*, 20(4), 357-364, Dec., 1983.
- [2] Arda Ercan ve Serap Gürsel, "Değişen Uluslararası Güvenlik Bağlamında Uzay Güvenliği ve Uzayda", *Gaziantep University Journal of Social Sciences* 21(2), 881-89, 2022.
- [3] Arthur C. Clarke, *Extra-Terrestrial Relays: Can Rocket Stations Give World-Wide Radio Coverage?*, *Wireless World*, 51, 304-08, 1945.
- [4] Cassandra Steer, "Global Commons, Cosmic Commons: Implications of Military and Security Uses of Outer Space", *Georgetown Journal of International Affairs*, 18(1), 9-16, Winter/Spring 2017
- [5] Cemre Çise Kadioğlu Kumtepe, "Siber Uzayda Kuvvet Kullanma Yasağı ve Yasağın İstisnalarının Geçerliliğinin Tallinn Rehberi Kapsamında Değerlendirilmesi", *The Turkish Yearbook of International Relations*, 53, 21-40, 2022.
- [6] Dennis M. Rice, "Militarization of Space And Strategic Principles", *Air University Press*, 28-43, 2023.
- [7] Fabio van Loon, "Jus in Bello Spatialis—The Space Law of Tomorrow", *Strategic Studies Quarterly*, 15(1), 10-27, Spring 2021.
- [8] Fatma Taşdemir, *Terörizm ve Ülke Dışı Kuvvet Kullanma Hukuku*, Nobel, Ankara, 2020.
- [9] General Assembly Resolution on Prevention of an Arms Race in Outer Space (A/RES/39/59). Available: <https://documents.un.org/doc/resolution/gen/nr0/460/36/pdf/nr046036.pdf> (7.03.2025).
- [10] Hakan Selim Canca, "Prohibition Against the Use of Force and The Coercive Uses of The Cyberspace", *Journal of Naval Science and Engineering*, 13(1), 60-72, 2017.
- [11] Hasan Temel, "Kuvvet Kullanma Hukuku Kapsamında Siber Saldırı Kavramı", *Harp ve Harp Hukukundaki Yansımalar*, (Ed.Özgür Körpe), Milli Savunma Üniversitesi, İstanbul, 145, 2021.
- [12] HPCR Manual on International Law Applicable to Air and Missile Warfare. Available: <https://www.cambridge.org/core/books/hpcr-manual-on-international-law-applicable-to-air-and-missile-warfare/EB28F7A1701637CA2390B25FB4840629>, (6.03.2025).
- [13] Jackson Nyamuya Maogoto And Steven Freeland, "Space Weaponization And The United Nations Charter Regime On Force: A Thick Legal Fog or a Receding Mist?", 41(4), *INT'L L.*, 1094, 2007.
- [14] Johannes M. Wolff, "Uzayın Askerileştirilmesini İçine Alan "Barışçıl Kullanım" Kavramı, Uzayın Silahlandırılmasına da Yol Açar mı?". (Çev. Y. Poyraz). *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, XIII (3-4), 69-83, 2009.
- [15] Kerem Batır ve Pervin Şeker, "Uzayın Barışçıl Amaçlarla Keşif ve Kullanımı İlkesi Bakımından Uyduların Kullanımı", *Public and Private International Law Bulletin*, 43(2), 615-38, 2023.
- [16] Mackenzie Enholm, "The Security Dilemma and Conflict in Space", *Journal of Strategic Security*, 17(49), 48-70, 2024.
- [17] Matthew T. King and Laurie R. Blank, "International Law and Security in Outer Space", *AJIL Unbound*, 113, 125-129, 2019.
- [18] Merve Erdem, "Uzay Teknolojisinde Meydana Gelen Gelişmelerin Uzay Hukukuna Etkisi", IV. Ulusal Havacılık Ve Uzay Konferansı, 1-11, Hava Harp Okulu, İstanbul, 12-14 Eylül 2012.
- [19] Patrick K. Gleeson, *Legal Aspects of the Use of Force in Space*, A Thesis, Faculty of Law McGill University, Montreal Quebec, 77-78, August 2005.
- [20] Saadia Zahoor, "Maintaining International Peace and Security by Regulating Military Use of Outer Space", *Policy Perspectives*, 14(2), 113-135, 2017.
- [21] Steven Freeland and Anja Nakarada Pecujlic, "How Do You Like Your Regulation – Hard Or Soft? The Antarctic Treaty And The Outer Space Treaty Compared", *National Law School of India Review*, 30(1), 11-36, 2018.
- [22] Tallinn Manual On The International Law Applicable To Cyber Warfare, Available: <https://www.onlinelibrary.iihl.org/wp-content/uploads/2021/05/2017-Tallinn-Manual-2.0.pdf>, (6.03.2025).
- [23] Tolga Erdem, "Uluslararası İlişkilerde Yeni Perspektif: Astropolitiğe Giriş", *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(1), 431-446, Haziran 2018.
- [24] The McGill Manual on International Law Applicable to Military Uses of Outer. Available: <https://www.mcgill.ca/milamos/> (6.03.2025).
- [25] Treaty on Prevention of the Placement of Weapons in Outer Space and of the Threat or Use of Force against Outer Space Objects. Available: <https://digitallibrary.un.org/record/633470?v=pdf>, (06.03.2025)
- [26] Valentina Chabert, "The Outer-Space Dimension of the Ukraine Conflict: Toward A New Paradigm For Orbits As A War Domain?", *Journal of International Affairs*, 75(2), 145-156, Spring/Summer 2023.
- [27] Zeynep Selin Balcı, "Uzay Hukuku ve Uluslararası İnsancıl Hukuk İlişkisi", *İstanbul Hukuk Mecmuası*, 78 (4), 2079-2109, 2021.
- [28] Zeynep Seyitoğlu Danışman, "Uzay Hukuku Açısından Silah(sız)lanma Sorunu", *Akademi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(22), 167-182, 2021.

Öncesi ve Sonrasıyla Afetlerin ve Olumsuz Sonuçlarının Azaltılmasında Uzay Hukuku

Abdurrahman Onay*

Konya İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Konya/Türkiye.
*Sorumlu Yazar: abdurrahman.onay@uzayahukuk.com.tr

ÖZET

Uzaktan Algılama'nın kullanımı hakkında hukuksal açıdan Türkiye'nin yeknesak bir düzenlemesi bulunmamaktadır. Geçmişten günümüze kadar uzaya uzaktan algılama amacıyla birkaç uydu göndermiş olan Türkiye'nin şu andaki en güncel ve en yüksek çözünürlüklü uydusu ise bu satırları yazarken uzayda henüz birkaç yılını doldurmuş olan İmece uydusudur. Ancak, 783.562 km² yüzölçüme sahip olmakla beraber bu geniş topraklar altında deprem tehlikesinin, üstünde ise dolu, sel, taşkın, don, orman yangınları, kuraklık, şiddetli yağış, şiddetli rüzgar, yıldırım, çığ, kar ve fırtınalar gibi afetlerin yoğun olarak yaşandığı bir coğrafya olması nedeniyle tek bir uydudan alınan veriler elbette yetersiz kalmaktadır. Türkiye bu nedenle bölgesel ve uluslararası alanda birçok afet kuruluşuna taraf olmuş ve ulusal ve uluslararası örgütlerin sahip olduğu uydular sayesinde elde edilen görüntülerden de yararlanır olmuştur. Bu bölümde, öncelikle Türkiye'nin milli uydularının kullanımına dayanan uzaktan algılama verilerine ilişkin hukuksal mekanizmalar inceleneyecektir. Ardından taraf olunan bölgesel ve uluslararası kuruluşların uydularının uzaktan algılamada kullanımına ilişkin hukuksal mekanizmalar ele alınacaktır. Sonuç olarak Türkiye'de meydana gelen afetler öncesinde, afetler sırasında ve afetler sonrasında uzaktan algılamanın örneklerle pratikte nasıl kullanıldığı ve daha iyi nasıl kullanılabileceği hukuki çözümlemelerle uzay hukuku kılavuzluğunda ortaya konulacaktır.

Anahtar Kelimeler: *Uzay hukuku, Uzaktan algılama, Uzaktan algılama hukuku, Afet, Afet hukuku.*

I. GİRİŞ

Türkiye ve Uzay

Türkiye'de uzay çalışmaları her ne kadar çok eskiye dayansa da aslında bu konudaki resmi ve politik çabaların ancak 2018 yılında kurulan Türkiye Uzay Ajansı ile karşılık bulduğu söylenebilir. 13/12/2018 tarih ve 30624 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanan 32 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesiyle Türkiye'nin uzay alanındaki ilk derli toplu mevzuatının oluşturulduğu söylenemese de en azından bu konudaki ilk ciddi adımın atıldığı belirtilebilir. Uzaktan Algılama konusunda Türkiye Uzay Ajansının görevleri ise söz konusu Kararnamede şöyle belirtilmektedir:

" MADDE 4- (1) Ajansın görev ve yetkileri şunlardır:

a) Cumhurbaşkanınca belirlenen politikalar doğrultusunda Millî Uzay Programını hazırlamak ve hayata geçirilmesi için düzenlemeler yapmak.

f) Uydu, fırlatma araç ve sistemleri, hava araçları, simülatörler, uzay platformları dâhil uzay ve havacılıkla ilgili her türlü ürün, teknoloji, sistem, tesis, araç ve gereçlerin tasarımı, üretimi, entegrasyonu ve gerekli testlerinin yapılmasını sağlamak amacıyla plan, proje ve çalışmalar yapmak veya yaptırmak.

ğ) Uzay ve hava araçları ile uzay yer sistemleri alanında her türlü tasarım, analiz, üretim, test, operasyon ve entegrasyon faaliyetlerini düzenlemek, izlemek ve gerektiğinde bu hususlarda yetkilendirme yapmak ve süreçleri yürütmek.

h) Uzay ve havacılık bilimi ve teknolojilerinin; ülke kalkınması, millî güvenliğin sağlanması, kamu sağlığının ve çevrenin korunması, doğal kaynakların ve tarımsal verimliliğin tespit edilmesi, doğal afetlerin erken tespitinin yapılması ve doğal afetlerden kaynaklanan hasarların azaltılması, milletlerarası anlaşmalar ve yükümlülüklerin takibine yönelik kullanılması amacıyla yapılacak çalışmalarda ilgili kurumlar ile koordinasyonu sağlamak.

i) Millî güvenlik ve kamu düzeninin sağlanması amacıyla, Ajansın görevi kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen verinin standartlarını oluşturmak, gerektiğinde işlenmesini, saklanmasını ve kullanılmasını sağlamak ve paylaşım şartlarını düzenlemek.

o) Uzak ve havacılık bilimi ve teknolojileri ile ilgili olarak uygulamaların gelişimini ve yaygınlaştırılmasını destekleyici mahiyette finans, hukuk, yönetim, işletme, pazarlama ve benzeri konularda çalışmalar yapmak.”

II. MATERYAL METOT

Çalışmayı yürütürken öncelikle afetlerin tanımı yapılmış ve Türkiye’nin afetsellik durumu ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Dünya genelinde uzaydan yapılan uzaktan algılama işlemlerinin boyutunu ve başarısını inceleyerek bu alandaki mevzuatlar ve hukuksal durumlar netleştirilmeye çalışılmış, ardından yerli ve yabancı uydularla Türkiye’deki afetlerin takibi ve olumsuz sonuçlarının azaltılmasında etkisi belirtilmiştir. Bu alandaki mevzuat eksikliği ve mevzuat ihtiyacı diğer ulusal ve uluslararası mevzuatlarla karşılaştırmalı olarak gösterilmeye çalışılmıştır.

Söz konusu hükümlerden görüleceği üzere (h) bendinde açık bir şekilde doğal afetlerin erken tespitinin yapılması ve doğal afetlerden kaynaklanan hasarların azaltılması hususları uzaktan algılama konusunda Ajansın bir görevi olarak ifade edilmiştir. Ancak her ne kadar bir üst mevzuat olarak konulması öngörülen 32 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesinde uzaktan algılama hususunda ifadeler yer almış olsa da, 2018 yılından günümüze kadar maalesef bu alanda herhangi bir başka mevzuat çalışması yapılmamış ya da yayınlanmamıştır. Ayrıca uzaktan algılama konusunda bilhassa afetlerle ilgili uygulamada daha sonra görüleceği üzere veriler çokça kullanılıyor olsa bile sadece bünyesinde uzaktan algılama merkezleri bulunduran üniversitelerde iç düzenlerine ilişkin kendi uygulama yönetmelikleri bulunmaktadır. Süleyman Demirel Üniversitesi Uzaktan Algılama Uygulama ve Araştırma Merkezi Yönetmeliği, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Uzaktan Algılama Uygulama ve Araştırma Merkezi Yönetmeliği gibi iç düzenleyici işlemlerin bulunduğu uygulama ve araştırma merkezlerinin yönetmelikleri buna örnektir. Ancak bu yönetmeliklerde dahi bir uzaktan algılama tanımının mevcut olmadığı görülmektedir. Ülkemizde yine bu alanda bir üst kuruluş olan Türkiye Ulusal Fotogrametri Ve Uzaktan Algılama Birliği bulunmaktadır. İlgili kuruluşun 20.2.1984 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan No:18318 numaralı bir yönetmeliği de mevcuttur. Yönetmeliğin Amaç kısmında şunlar belirlenmiştir:

“Amaç

Madde 1 – Bu yönetmeliğin amacı, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliğinin (Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği) (ISPRS) nin statüsüne paralel olarak teşkilat, görev ve yetkilerini belirlemek, yurtiçi ve yurtdışı benzeri kuruluşlarla işbirliği ve koordinasyon esaslarını saptamaktır.”

Bu yönetmelikte konulan kurallar ile ulaşılmak istenen hedefler arasında “Türkiye’deki Fotogrametri ve Uzaktan Algılama alanlarında araştırma, inceleme ve çalışmaları teşvik etmek, geliştirilmesi için önlemler almak ve tavsiyelerde bulunmak, Türkiye’nin ISPRS (Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği) v.b. Uluslararası bilimsel kuruluşların faaliyetlerine katılmasını sağlamak ve bu kuruluşların çalışmalarına katılmak için ön hazırlık ve ara çalışmaları yürütmek...” ve buna benzer hedeflerin belirlendiği görülmektedir. Ancak, bu yönetmelik de Birliğin iç mevzuatı olup, uygulama düzenlemelerini barındırmaktadır.

Öte yandan, Türkiye’de Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), uzaktan algılama hususunda AYDES adında bir program uygulamaktadır. Başkanlıktan alınan bilgilere göre, AYDES – UZAL, AFAD’ın analiz ihtiyaçları doğrultusunda geliştirilen ve afet uygulamaları konusunda özelleşmiş, elektro-optik (EO) uydu ürünleri, hava fotoğrafları ve sentetik açıklıklı radar (SAR) verilerinin görüntülenmesi ve analiz edilmesine olanak sağlayan masaüstü bir uzaktan algılama yazılımıdır. AYDES UZAL, deprem, sel, orman yangını, heyelan vb. afet türleri sonrasında etki alanı ön analizi / öncül hasar tespit analizlerine özelleşmiş uygulamalar içermektedir. Ayrıca, afet öncesi ya da sonrası genel uzaktan algılama tabanlı görüntü analizlerinde kullanılabilecek değişiklik analizi, eğitilmiş/eğitimsiz sınıflandırma, nesne tabanlı görüntü analizi ve doku analizi gibi uygulama ve algoritmalar yazılıma entegre edilmiştir. AYDES - UZAL yazılımının temel amacı, afet öncesi veya sonrası uzaktan algılama verilerinin, açılması, işlenmesi, analiz edilmesi, sonuçların sergilenmesi ve afet yönetimi ve karar destek sistemlerine aktarılması adımlarını içeren bütünsel bir yazılım çözümü sunmaktır.

Dolayısıyla, daha önce söylenildiği üzere uygulamada artık Türkiye için birçok alanda olduğu gibi afetler hususunda da vazgeçilmez olan uzaktan algılama gerçekleştiren uyduların ve bu uydulardan toplanan verilerin düzenlemelerinin ele alındığı mevzuatlar acil bir ihtiyaç olarak önümüzde yer almaktadır.

Uzak Hukukunun Afetlere Olan Etkisi ve Türkiye’nin Durumu

Uzak Hukukunun afetlere olan etkisini doğrudan etkiler ve dolaylı etkiler olarak ikiye ayırmak gerekmektedir. Doğrudan etkiler şu şekildedir:

1) Uzak Hukuku kullanım serbestliği tanır.

Daha sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınacağı üzere, uzak hukukunun anayasası olarak nitelendirilen Dış Uzak Anlaşmasının 1. Maddesine göre “Ay ve diğer gök cisimleri dâhil, uzak, hiçbir ayırt edici muameleye tabi tutulmaksızın, eşitlik esasına ve Devletler hukukuna uygun olarak, bütün Devletlerin keşif ve kullanımına açık olup, gök cisimlerinin bütün bölgelerine serbestçe girilebilir.” Bu nedenle, Devletlerin afetlerin takibini gerçekleştirebilmek amacıyla uzaktan algılama uydularını uzaya göndermesi ve uzayda uzaktan algılama işlemlerini yürütebilmesi serbesttir, hukuka uygunluk taşır. Bu konuda bir devletin diğer bir devleti engellemesi söz konusu olamaz. Üstelik, yine daha sonra görüleceği üzere 1986 tarihli Dünyanın Uzaydan Uzaktan Algılanmasına Dair İlkeler yasal anlamda işte bu kullanım serbestliğinin bir yansıması olarak ortaya çıkmıştır. Türkiye, uzaktan algılama alanındaki mevzuat eksikliğini henüz gidermediği için öncelikle ulusal uzak projelerinde bunun akabinde uluslararası katılım sağladığı anlaşmaların uygulanması esnasındaki uzak alanındaki çalışmalarda düzgün bir seyir süreci gösterememektedir. Her ne kadar Dış Uzak Anlaşmasına taraf sağlamış olsa da, bu durumun sadece kağıt üzerinde kalması anlamına gelmektedir. Türkiye Uzak Ajansının kurulmasından bu yana irili ufaklı özel uzak şirketlerinin kurulmaya ve uzaya uydular göndermeye başlamasıyla da ulusal uzaktan algılama mevzuatına ihtiyacın çok daha fazla arttığını söylemek gerekmektedir.

2) Uzak Hukukuna göre tüm devletler uzayın imkanlarından yararlanmada eşit haklara sahiptir.

1963 tarihli Genel İlkelerden başlayarak, Dış Uzak Anlaşması ve birçok diğer uzak anlaşmalarında da belirtildiği üzere uzayın kullanımı eşitlik temelinde gelişmişlik düzeyine bakılmaksızın tüm insanlığın faydasına olarak sürdürülecektir. Dolayısıyla, kalkınmışlık düzeyi çok çok az olsa dahi, afetlerin azaltılması ve etkilerinin takibinde her devlete eşit mesafede yararlanma imkanı tanımak, uzaktan algılama hatta uzak alanında hiçbir çalışması bulunmayan devletlere dahi bu imkandan yararlanma fırsatı sunmak gerekmektedir. Türkiye açısından güncel durumda aktif uzaktan algılama uydularının olması sevindirici bir gelişme olmakla beraber, bu konudaki çalışmaların tüm toplumu kapsayıcı bir hale bürünmesi açısından kalkınma ve teşvik planlamalarına dair mevzuat çalışmalarının da yapılması elzemdir.

3) Uzak Hukukunda işbirliği esastır.

Uzak Hukukunun en temel dinamiklerinden birisi yine anlaşmalarda ele alındığı üzere karşılıklı yardımlaşma ve işbirliğidir. Daha sonra ele alınacağı üzere tarihsel açıdan Türkiye'nin katılım sağladığı uluslararası anlaşmalar dikkate alındığında afetler hususunda azami riayet edildiği görülmektedir. Bu yönden Türkiye'nin çalışmaları takdire şayandır. Ancak, devamlılığın sağlanması ve hukuksal anlamda koruyuculuğun düzenlenmesi açısından uzaktan algılama mevzuatı da olmazsa olmazdır.

Uzak Hukukunun afetler üzerindeki dolaylı etkilerini ise iki perspektiften ele almak mümkündür.

1) Uzak Hukuku uzayı zararlı kirlenmelerden korur.

Dış Uzak Anlaşmasının dokuzuncu maddesine göre “...Andlaşmaya Taraf Devletler, ay ve diğer gök cisimleri dahil, uzayla ilgili inceleme ve keşiflerini, bunların zararlı bir şekilde kirlenmesini ve yer - dışı maddelerin sokulması sonucunda yeryüzü ortamında hasıl olacak zararlı değişimleri önleyecek şekilde yürütecekler ve, gerektiğinde, bu maksatla uygun tedbirler alacaklardır.” Uzayın sağlıklı bir şekilde tüm insanlık yararına kullanılabilmesinin devamına kısaca “uzayın sürdürülebilirliği” ifadesi verilmiştir. Uzayın sürdürülebilirliğinin sağlanması için, uzak çalışmalarının kirlenme etkilerinden olabildiğince uzak gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Uzayın zararlı bir şekilde kirlenmesi sonucunda uzak çöpleri ortaya çıkar ve uzak çöpleri aktif uydulara çarparak büyük hasarlara neden olabilir hatta uyduları yok edebilir. İşte uzak sürdürülebilirliğinin sağlanması da ancak uzak hukuku mevzuat çalışmaları kapsamındaki tedbirler ve ek düzenlemeler (para cezaları ve diğer engellemeler) ile mümkün olur. Afetlerin uzaktan algılama uyduları vasıtasıyla takibinin sağlanması da ancak uzayın sürdürülebilir olması sayesinde gerçekleşir. Türkiye açısından uzaktan algılama mevzuatının güncel halde düzenlenebilmesi için uzayın sürdürülebilirliğine ilişkin hükümler de mevzuata konulabilir.

2) Sorumluluk Sözleşmesi ve Tescil Sözleşmesi Sayesinde Uzak Trafiki Sağlıklı Hale Gelir.

1972 tarihli Sorumluluk Sözleşmesi kısaca zarar, uzak aracı ve tazminat tanımlamalarını yaparak, uzak araçlarının birbirlerine ve insanlara, başka hava ve yer cisimlerine vermiş olduğu zararlardan dolayı sorumluluklarını düzenlemektedir. 1975 tarihli Tescil Sözleşmesi ise uzaya gönderilen uzak araçlarının Birleşmiş Milletler nezdinde tutulacak bir tescil defterine tescil numarasıyla işlenmesini ve uzaydaki takibini düzenlemektedir. Uzayda yeryüzünden zaman zaman onbinlerce kilometre yükseklikteki uzak cisimlerinin takibi açısından gerekli olan bu düzenleme ile uydular daha dikkatli bir şekilde yoluna devam etmektedir. Ayrıca olası zarar verici çarpışmalar ve hareketlerde zarar sonucu zarar görene tazminat hususu da kusurlu ve kusursuz zarar hareketi olarak ikiye ayrılmıştır. Bu düzenlemeler sayesinde daha güvenli ve sürdürülebilir bir uzak trafiği de ortaya çıkmıştır. Uzaktan algılama uyduları da bu sayede daha rahat bir şekilde faaliyetlerini gerçekleştirebilmektedir. Türkiye açısından da bu durum henüz bir mevzuat düzenlemesine bağlanmamış olup, ASELSAN ve TÜBİTAK UZAY gibi kurumlarca uzak çöplerinin radar takip

sistemleriyle takip edildiği bilinmektedir. Yapılması planlanan uzaktan algılama mevzuatında bu tarz kurum çalışmalarının da düzenlenmesi elzemdir.

Türkiye’de Afetlerin Geçmişi

Bu konuda öncelikle afetlerin tanımlamasının yapılması gerekmektedir. Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu (IFRC), afeti şöyle tanımlamaktadır:

“Afetler, bir toplumun işleyişinde kendi kaynaklarını kullanarak başa çıkma kapasitesini aşan ciddi aksamalardır. Afetler, doğal, insan yapımı ve teknolojik tehlikelerin yanı sıra bir topluluğun maruziyetini ve savunmasızlığını etkileyen çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir.”

Türkiye Afet ve Acil Durum Müdahale Başkanlığı (AFAD) afeti şu şekilde tanımlar:

“Toplumun tamamı veya belli kesimleri için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar doğuran, normal hayatı ve insan faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan, etkilenen toplumun baş etme kapasitesinin yeterli olmadığı doğa, teknoloji veya insan kaynaklı olay. Afet bir olayın kendisi değil, doğurduğu sonuçtur.”

Can ve mal açısından Türkiye’de en fazla kayba yol açan afet türü depremlerdir. Afetler nedeniyle meydana gelen can kayıplarının yüzde 60 gibi önemli bir bölümü depremlerden kaynaklanmaktadır. Bulunduğu coğrafya itibarıyla Türkiye, en etkin deprem kuşaklarından biri olan Akdeniz-Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu kuşak, dünyadaki depremlerin yaklaşık yüzde yirmisinin meydana geldiği ve Türkiye’de her yıl büyüklüğü 5.0 ila 6.0 arasında değişen en az bir deprem üreten aktif bir kuşaktır.

Geçmişten günümüze yaşanan depremler istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde; Türkiye’de ortalama olarak beş yılda bir geniş çapta can ve mal kaybına neden olan büyük bir depremin yaşandığı görülmektedir. Bu depremler nedeniyle yılda ortalama olarak yaklaşık 1.000 kişinin hayatını kaybettiği ve 2.100 kişinin de yaralandığı; yine ortalama 7 binden fazla binanın depremler nedeniyle yıkıldığı ya da ağır derecede hasar gördüğü raporlanmıştır.

Türkiye’de 1950’den günümüze kadar meydana gelen büyük afetler ise verilerle şunlardır:

AFET TÜRÜ	SAYISAL VERİ
Heyelan	23.041
Sel	5.200
Çığ	1.309
Deprem	210

Dünya genelindeki doğal afetler ele alınca, 31 çeşit doğal afetin 28 tanesini meteorolojik afetlerin oluşturduğu görülür. Doğal afetlerin çeşitleri ve önem sıraları ülkeden ülkeye de değişmektedir. Örneğin, Akdeniz Bölgesinde doğal afetler kuraklık, seller, orman yangınları, heyelan, dolu fırtınaları, çığlar, donlardır. Ülkemizde ise en sık görülen meteorolojik karakterli doğal afetler dolu, sel, taşkın, don, orman yangınları, kuraklık, şiddetli yağış, şiddetli rüzgâr, yıldırım, çığ, kar ve fırtınalardır. Dünya Meteoroloji Örgütüne (WMO) göre sadece 1980’li yıllarda dünyada 700,000 kişi meteorolojik afetlerden dolayı hayatını kaybetmiştir.

Afetlerde Türkiye’ye Ait Uyduların Kullanımı ve Hukuksal Değerlendirme

Daha önce giriş kısmında bahsedildiği üzere, uzaktan algılama gerçekleştiren uyduların afetlerle ilgili olarak kullanımlarının üç ana başlık altında değerlendirildiği görülmektedir:

AFET ÖNCESİ

- Zarar Azaltma
- Planlama ve Afet Senaryoları

AFET ANINDA

- Ön Hasar Tespiti
- Kriz Yönetimi

AFET SONRASI

- Hasar Tespit Çalışmalarına Destek
- Yeniden İnşaat Faaliyetleri
- Sosyal ve Ekonomik İyileştirme Çalışmaları

Olası felaketler ile başa çıkmak ve riskleri en aza indirmek için yapılan planlamalar afet yönetiminde afet öncesi evreyi kapsamaktadır. Uzaktan algılama gerçekleştiren uydular, bilhassa meteorolojik hava olaylarını (fırtına, kasırga, hortum, şiddetli yağış vb.) belirli zaman dilimleri öncesinden tespit ederek afetin gerçekleşmesinin beklendiği coğrafi alanla ilgili verileri ilgili birimlere iletmekte ve hava olayları ile ilgili tahminlere ulaşılmasını sağlamaktadır. Her ne kadar depremlerin önceden tahmin ve tespit edilmesi mümkün olmasa da meteorolojik kaynaklı afetlerin önceden bu uydular sayesinde tespiti ve her türlü zararın önceden önlenmesi belirli oranlarda mümkün olabilmektedir.

Afet gerçeşleştikten hemen sonraki evrede çok büyük miktarda veri toplanmaktadır; ancak yapılan araştırmalar bu verilerin büyük kısmının kritik kararları almak için uygun olmadığını ortaya koymuştur. Afet esnasında toplanan veriler hasar tespitleri, hasardan sonra kalan mevcut insan kaynağı, sağlık tesisleri, ekipman (inşaat, ulaşım araçları, medikal, yiyecek, giyecek, kişisel ürünler), kayıp kişiler, etkilenen nüfusun sağlık, su, beslenme ve diğer ihtiyaçlarıdır. Uzaktan algılama uyduları sayesinde söz konusu verilerin elde edilmesi kolaylaşmaktadır.

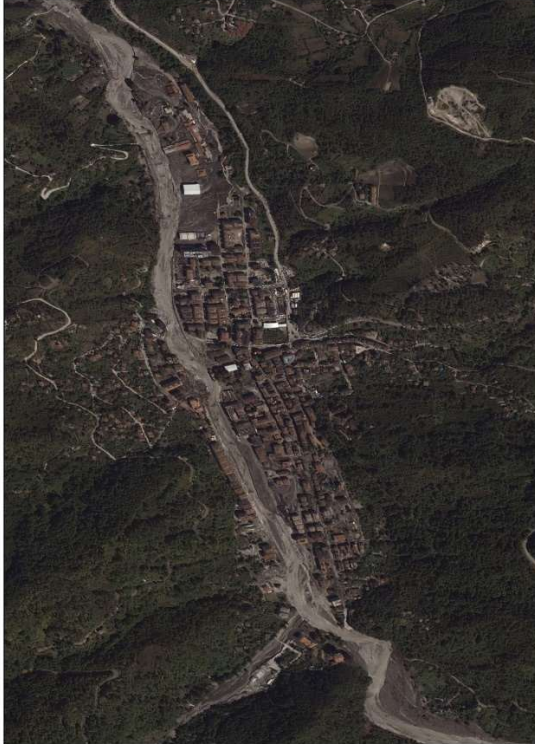
Afetten zarar gören veya etkilenen bölgelerin yeniden yapılanmasını planlamak için gereken veriler afet sonrası veri kapsamına girmektedir. Bu alanlar içerisinde uzaktan algılama uydularının en yoğun kullanımı da afet sonrasında olup, hasarlı yapıların tespiti, yaşı ve yapım malzemesi, hasar dereceleri, altyapı zarar tespitleri, afet bölgesinin ve afet nedeniyle zarar gören alanın büyüklüğü, afet bölgesine ulaşım yollarının tespiti vb. gibi hususlar başta gelmektedir.

Diğer taraftan Türkiye'nin günümüze kadar uzaya göndermiş olduğu uzaktan algılama gözlem uyduları ve aktiflik durumları şu şekildedir:

UYDU	FIRLATMA TARİHİ	AKTİF DURUMU
RASAT	17 Ağustos 2011	Emekliye Ayrıldı
GÖKTÜRK-2	18 Aralık 2012	Aktif
GÖKTÜRK-1	5 Aralık 2016	Aktif
İMECE	15 Nisan 2023	Aktif

Söz konusu uydular sayesinde günümüze kadar birçok afet bölgesinin uzaktan algılama verileri elde edilmiş, görüntüler toplanmış ve öncesi ve sonrasıyla bu veriler her açıdan değerlendirilerek afet etkilerinin azaltılması planlanmıştır. Aşağıda bu konuda Karadeniz'de 2021 yılında gerçekleşen sel felaketine dair Göktürk 1 uydusundan alınan örnekler verilmiştir:

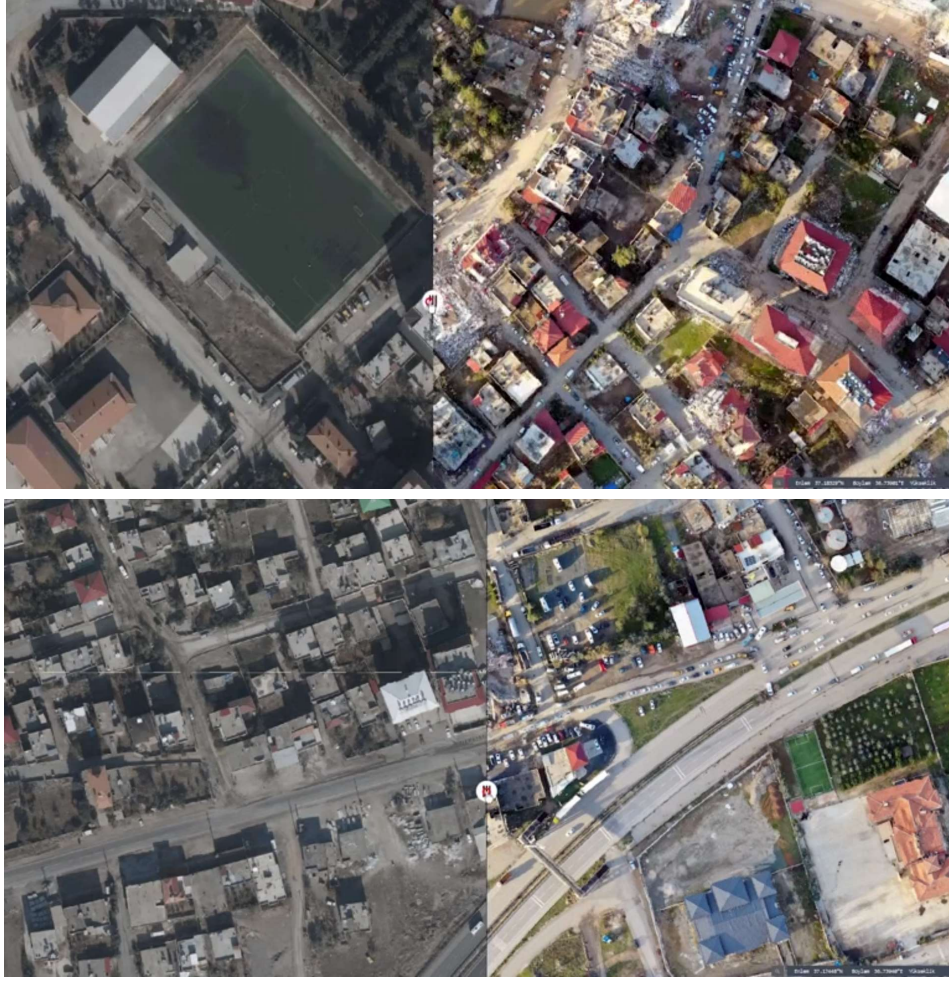
Bozkurt Kastamonu (13.08.2021)



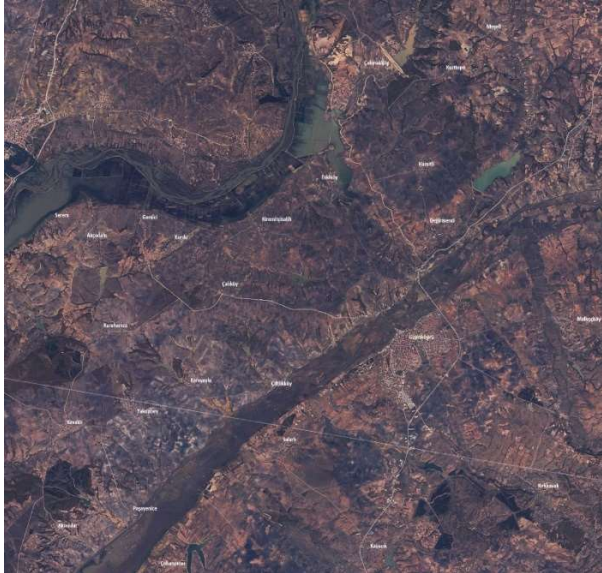
Ayancık Sanayi Sitesi Sinop (13.08.2021)



Göktürk 2 Uydusundan alınan 6 şubat Maraş Depremine Ait Görüntüler



Trakya'da yaşanan 2 Şubat 2015 tarihli sel felaketine ait Rasat uydusu görüntüleri



**04.11.2014 tarihinde selden önce çekilen
RASAT uydu görüntüsü**



**02.02.2015 tarihinden selden sonra çekilen
Rasat uydu görüntüsü**

Antalya Kumluca Yangını Rasat Uydu Görüntüsü



Burada uyduların Türkiye'ye ait olması nedeniyle uzaktan algılama sırasında yönlendirme gücünün de yine Türk görevliler elinde bulunması ayrıca belirtilmelidir. Türkiye'de henüz uzaktan algılamaya dair ve ayrıca uzay hukukuna dair bir mevzuat bulunmaması nedeniyle verilerin toplanılması ve depolanması işlemlerinin hem Hava Kuvvetleri Komutanlığı hem AFAD hem de diğer ilgili kurumlar tarafından kendi iç yönergeleri kapsamında sürdürüldüğü bilinmektedir. Türkiye, beş uzay anlaşmasının beşine de taraf olmuş bir ülkedir ve bunun yanında beş uzay hukuku ilkesinden biri olan Uzaktan Algılama İlkelerini de benimsediği kabul edilmektedir. Bu nedenle Türkiye için gerekli olan uzaktan algılama mevzuatının da söz konusu anlaşmalara ve Uzaktan Algılama İlkelerine uygun olması gerektiği düşünülmelidir. Uzaktan Algılama İlkelerinde uzaktan algılamanın tanımı şu şekilde yapılmıştır:

"Uzaktan algılama" terimi, doğal kaynakların yönetimini, arazi kullanımını iyileştirmek, çevrenin korunmasını sağlamak amacıyla, algılanan nesneler tarafından yayılan, yansıtılan veya kırılan elektromanyetik dalgaların özelliklerinden yararlanılarak Dünya yüzeyinin uzaydan algılanması anlamına gelir."

İlkeler içerisinde doğrudan afetlerle ilgili uzaktan algılamanın kullanımına dair bir hükmün mevcut olduğu bölüm ise on birinci bölümdür:

"Uzaktan algılama, insanlığın doğal afetlerden korunmasını teşvik edecektir."

Bu amaçla, uzaktan algılama faaliyetlerine katılan, doğal afetlerden etkilenen veya yaklaşan doğal afetlerden etkilenmesi muhtemel Devletlere yararlı olabilecek işlenmiş verileri tanımlamış ve ellerinde bulunan bilgileri analiz etmiş olan Devletler, bu tür veri ve bilgileri mümkün olan en kısa sürede Devletlere iletecektir."

Bununla birlikte aynı ilkelerin ikinci bölümünde ise uzaktan algılama faaliyetlerinin ekonomik, sosyal veya bilimsel ve teknolojik gelişmişlik dereceleri ne olursa olsun, gelişmekte olan ülkelerin ihtiyaçları başta olmak üzere tüm ülkelerin yararına ve çıkarlarına olarak yürütüleceği hüküm altına alınmıştır.

Özelikle söz konusu hükümler ve genel anlamda tüm hükümler ele alındığında uzaktan algılama faaliyetlerinin afetlerde kullanımına dair çokça çıkarımlar elde edilmektedir, ayrıca uygulamada zaten bunun büyük faydasının olduğu da görülmüştür. İşte Türkiye için uygulama sonucunda verilen örnekler üzerinden gidildiğinde yapılması planlanan uzaktan algılama mevzuatında Uzaktan Algılama İlkelerinde yer alan uzaktan algılama tanımlaması birebir yer alabilir; ayrıca bu tanımlamada "...öncesiyle ve sonrasıyla afetlerin etkilerinin azaltılmasına yardımcı olmak..." ifadesinin de eklenmesi elbette gereklidir. Bilhassa on birinci bölümde yer aldığı şekliyle uzaktan algılamanın insanlığın doğal afetlerden korunmasını teşvik etmesine dair hüküm de yine tanımlamada kendisine yer bulabilir. Türkiye'ye ait uyduların uzaktan algılama faaliyetlerinde kullanılmasıyla elde edilen verilerin içeriğinde kişisel veri niteliği taşıyan verilerin de olması ihtimali son derece yüksektir. Türkiye'nin de bu konuda kabul etmiş olduğu bir mevzuatı (Kişisel Verileri Koruma Kanunu) vardır. Her ne kadar evrensel hukukta yerini almış olan "ızdırar durumu" olarak kabul edilmesi gereken afetlerde bu kanunun hükümleri kısmen askıya alınabilir olsa dahi, yapılması planlanan uzaktan algılama mevzuatında kişisel verilerin korunmasına öncelikle uzaktan algılama yapılırken dikkat edilmesi, sonrasında elde edilen verilerin hem saklanırken hem de kullanılırken ve paydaş kurumlarla afetlerin etkilerinin azaltılması hususlarında paylaşılırken azami özen gösterilmesine dair hükümlerin de yer alması gerekmektedir.

Türkiye'ye ait uzaydaki uyduların uzaktan algılama yaptığı ve afetin meydana geldiği coğrafyanın ülke sınırları dışında olması durumunda ise yukarıda daha önce bahsedilmiş olan Uzaktan Algılama İlkelerinin on birinci bölümü devreye girecektir. Yapılması planlanan uzaktan algılama mevzuatında önemle ele alınması gereken kısımların başında da yine bu bölümde yer alan hükümler bulunmaktadır. Zira, söz konusu bölüm hükmüne göre uzaktan algılama faaliyetlerine katılan, doğal afetlerden etkilenen veya yaklaşan doğal afetlerden etkilenmesi muhtemel Devletlere yararlı olabilecek işlenmiş verileri tanımlamış ve ellerinde bulunan bilgileri analiz etmiş olan Devletler, bu tür veri ve bilgileri mümkün olan en kısa sürede Devletlere iletmekle yükümlü kılınmıştır. Her ne kadar uzay konusunda en yetkili otorite olan Birleşmiş Milletler Dış Uzayın Barışçıl Amaçlarla Kullanımı Komitesi (UBAKK) tarafından uzay hukukunun beş ilkesinden biri olarak tanımlanan uzaktan algılama ilkeleri diğer dört ilke gibi bağlayıcı olmadığı belirtilmiş olsa da, uluslararası işbirliği ve yardımlaşma hükümleri ile Birleşmiş Milletler Şartı kapsamında yine uluslararası hukukun bir gereği olarak uygulanması gereken hükümler arasındadır. Örneğin 31 Ocak 2017 tarihli Şili Orman Yangınları Görüntüsü Rasat uydumuz tarafından aşağıdaki şekilde alınmıştır:



Burada öncelik karşılıklı işbirliği ve yardımlaşma olsa da hukuksal açıdan toplanan görüntülerin afetzede ülkeye verilmesi belirli usul ve esaslar çerçevesinde olmalıdır. Mevzuatta bu konuda önceliğin uydulardan toplanan verileri işleyen kamu ya da özel sektör kuruluşlarının verileri işlemeye dair yetkilendirilmesi olmalıdır. Yetkilendirme belirli bir süreye tabi kılınabilir ve yine belirli sürelerle denetlemeye açılmalıdır.

Yetkilendirme ve denetimin hangi kamu kuruluşu tarafından yapılacağı hüküm altına alınmalıdır. Belirli durumlarda uygulanacak idari para cezalarının da hüküm altına alınması gerekmektedir. Ayrıca, verilerin teslim edileceği afetzedde ülkenin iç hukuk kurallarının da dikkate alınması gerektiği belirtilmelidir.

Uzaktan algılama uydularının yer istasyonlarının güvenliği de yine mevzuatta yer alması gereken hususlardandır. Teknik ve hukuki açıdan söz konusu merkezlerin hangi konumda bulunacağı, hangi nitelikteki personellerin çalıştırılacağı da maddelerde yer alabilir.

Diğer ulusal uzaktan algılama yasalarına kıyasla Türkiye'ye özgü düzenlemelerden bir tanesi de uzay teknolojisinde henüz yeni yeni filizlenmeye başlayan özel sektöre ait mikro uyduların bu konudaki çalışmalarını teşvik edici boyutta olmalıdır. Veri sağlayıcısının elbette önceliği uzaktan algılama hususunda ticari boyut olacağından, bilhassa konumuz olan afetlerde verilerin devlet organları yahut bu organlarda çalışan kişiler tarafından talep edilmesi durumunda elbette diğer taleplere nazaran bir öncelik ilişkisi söz konusu olacaktır; ancak bu durum uzay şirketlerinin kazançlarını iflas edecek boyuta indirgeme amacına asla ulaşmamalıdır.

Afetlerde Yabancı Uydulardan Elde Edilen Verilerin Kullanımı ve Hukuksal Değerlendirme

Afetlerle ilgili olarak Türkiye'nin ulusal ve uluslararası alanda uzay hukuku bağlamındaki konumuna girmeden önce Birleşmiş Milletlerin bu konudaki çalışmaları açıklanmalıdır.

Afetlerin azaltılması ve afetler nedeniyle ortaya çıkan olumsuz sonuçların en aza indirilmesine yönelik çalışmalar yürüten Birleşmiş Milletler Dış Uzayın Barışçıl Amaçlarla Kullanımı Komitesi'nin 61. Oturumunda ele alınan 49. Komite Raporu önem arz etmektedir. Raporda şu ifadeler yer almaktadır:

1) Afetlerin Dünya'nın birçok bölgesini etkilediğini ve etkilerini azaltmak için koordineli uluslararası çabaların gerekli olduğunu ve uzay teknolojisinin ve uygulamasının, doğru ve zamanında bilgi ve iletişim desteği sağlayarak afet yardım operasyonlarını desteklemede hayati bir rol oynayabileceğini kabul eder.

2. Ayrıca, uzay teknolojisinin koordineli uygulamalarının, Dünya Afet Azaltma Konferansı tarafından kabul edilen 18-22 Ocak 2005 tarihleri arasında Kobe, Hyogo, Japonya'da düzenlenen Hyogo Deklarasyonu ve Hyogo Eylem Çerçevesi 2005-2015: Ulusların ve Toplulukların Afetlere Karşı Direncinin İnşa Edilmesi'nin uygulanmasında oynayabileceği önemli rolü de tanır.

3. Ayrıca, Entegre Küresel Gözlem Stratejisi Ortaklığı, Küresel Yer Gözlem Sistemleri, Uluslararası Uzay ve Büyük Afetler Şartı ve Uluslararası Afetlerin Azaltılması Stratejisi ve bu tür hizmetlerin mevcudiyetinin gelişmekte olan ülkeler arasında teşvik edilmesi gerektiğini de dikkat alır.

4. Mevcut uluslararası girişimlerin deneyimlerine dayanan küresel, bütünleşik ve koordineli bir yaklaşım üstlenilmedikçe, uzay varlıklarının afet yönetimini desteklemek için kullanılması dünyanın birçok yerinde önemli ölçüde geride kalmaya devam edecek ve bir afet yönetimine kadar uzay teknolojisi uygulamalarının tüm alanlarında önemli bir boşluk olacaktır ve muhtemelen de devam edecektir.

5. Dış Uzayın Barışçıl Kullanımları Komitesi tarafından oluşturulan ad hoc uzman grubunun, afet yönetiminde kullanım için hizmetler ve koordinasyonu sağlamak için uluslararası bir oluşum oluşturma olasılığı ve uzay tabanlı uzayın etkinliğini gerçekçi bir şekilde optimize etmenin yolları üzerine yaptığı çalışmayı takdirle karşılar.

6. Bir iletişim ağı olarak tam afet yönetimi döngüsünü desteklemek için afet yönetimi ile ilgili her tür uzay tabanlı bilgi ve hizmete tüm ülkelere ve tüm ilgili uluslararası ve bölgesel kuruluşlara evrensel erişim sağlamak için Birleşmiş Milletler içinde bir program oluşturmaya karar verir. Afet yönetimi desteği için alan bilgisi sağlamak, afet yönetimi ile uzay topluluklarını birbirine bağlamak için bir köprü görevi görmek ve özellikle gelişmekte olan ülkeler için kapasite geliştirme ve kurumsal güçlendirmeyi kolaylaştırıcı olmak amaçlanır.

7. Programın, gönüllü katkılarla ve Birleşmiş Milletler reform süreci çerçevesinde önceliklerin yeniden düzenlenmesi yoluyla ve gerekirse Sekreterliğin Dış Uzay İşleri Ofisi önceliklerinin yeniden düzenlenmesi yoluyla desteklenecek ve ek faaliyetler, mümkün olduğu ölçüde, Ofisin mevcut program faaliyetleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmayacak ve Birleşmiş Milletlerin toplam düzenli bütçesinde bir artışa yol açmayacaktır.

8. Dış Uzayın Barışçıl Kullanımları Komitesi'nin, programın Pekin'de ve Bonn, Almanya'da bir ofisi olması ve program faaliyetlerinin Komite'ye sunulan önerilen uygulama çerçevesi içinde yürütülmesi yönündeki tavsiyesini onaylar.

9. Programın Cenevre'de, program çalışmalarının afet azaltma ve insani müdahale toplulukları içinde yaygınlaştırılmasına ve bütünleştirilmesine katkıda bulunabilecek bir irtibat bürosuna sahip olabileceği olasılığının dikkate alınacağını not eder.

10. Programın kurulması için Avusturya, Çin, Almanya ve Hindistan tarafından verilen destek taahhütlerini ve program kurulduktan sonra Cezayir, Arjantin, İtalya, Fas, Nijerya, Romanya, Rusya Federasyonu, İsviçre ve Türkiye ve diğer ülkeler tarafından yapılan destek tekliflerini takdirle not eder.

11. Programın faaliyetlerini kendi bölgelerinde koordineli bir şekilde uygulamak için bir bölgesel destek ofisleri ağı oluşturmak üzere programın afet yönetiminde uzay teknolojisinin kullanımında bölgesel ve ulusal uzmanlık merkezleriyle yakın çalışması gerektiğini kabul eder. Üye Devletler, özellikle gelişmekte olan ülkeler tarafından sunulan ve sunulacak olan önemli deneyim ve yeteneklerden yararlanır.

12. Programın, çabaların tekrarın önlemek için 3. paragrafta belirtilen uluslararası kuruluşlarla yakın çalışmasını talep eder.

13. Dış Uzay İşleri Ofisinden, alınan taahhütleri göz önünde bulundurarak ve taahhütte bulunan veya verecek olan ülkelerin temsilcilerinin yanı sıra çalışma planının geliştirilmesine katkıda bulunmakla ilgilendiklerini belirtmiş olan diğer ülkelerin temsilcileriyle istişare ederek, Dış Uzayın Barışçıl Kullanımları Komitesinin Bilimsel ve Teknik Alt Komitesinin kırk dördüncü oturumunda ele alınmak üzere 2007 programı ve 2008–2009 iki yıllık dönemi için ayrıntılı bir çalışma planı geliştirmesini talep eder.

14. Programı uygulayan ortakların, programın mümkün olan en erken zamanda afet yönetimine destek sağlamaya başlamasını sağlamak için faaliyetleri Ocak 2007'de veya mümkün olan en kısa sürede başlatmaları gerektiğini kabul eder.

15. Ayrıca, programın Birleşmiş Milletler Afet Yönetimi ve Acil Durum Müdahalesi için Uzay Temelli Bilgi Platformu (SPIDER) olarak adlandırılması ve afet yönetimi desteği sağlayıcılarından oluşan açık bir ağ olarak Ofis ve Programın genel denetiminden Ofis Direktörünün sorumlu olacağı, Genel Müdür başkanlığındaki Dış Uzay İşleri Ofisi'nin bir programı olarak uygulanması gerektiğini de kabul eder.

16. Ayrıca, programın Dış Uzay İşleri Ofisi aracılığıyla Dış Uzayın Barışçıl Kullanımları Komitesi'ne rapor vermesi ve ondan rehberlik alması gerektiğini kabul eder.

Uzaktan Algılama Verileri kullanılarak insanlığı tehdit eden afetlerin izlenmesi, önceden haber verilebilmek ve tedbirlerin alınabilmesi yoluyla olumsuz sonuçların azaltılabilmesi şeklindeki hedefler devletlerin ortak çalışma alanlarının başında gelmektedir. Yine yukarıdaki raporun 15. Maddesinde belirttiği üzere Birleşmiş Milletler'de kurulan United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response yani kısaca (UN-SPIDER), tam olarak ortak çalışma amacının ve görevini yerine getirmektedir.

Birleşmiş Milletler Afet Yönetimi ve Acil Müdahale için Uzay Temelli Bilgi Platformu (UN-SPIDER), Birleşmiş Milletler Dış Uzay İşleri Ofisi (UNOOSA) bünyesinde 2006 yılında kurulmuştur. UN-SPIDER, gelişmekte olan ülkelerin afetlerin yönetiminde ve afet risklerinin azaltılmasında gerekli olabilecek özel teknolojilere sınırlı erişimini ele alan çözümler geliştirmektedir.

Dünya gözlemi için uzaktan algılama, uydu tabanlı telekomünikasyon ve küresel navigasyon uydu sistemleri, daha etkili afet risk yönetimi ve acil durum müdahalesine katkıda bulunur. UN-SPIDER'in görevi, gelişmekte olan ülkelerin önleme, hazırlık, erken uyarı, müdahale ve yeniden inşa dahil olmak üzere afet yönetimi döngüsünün tüm aşamalarında her türlü uzay temelli bilgiyi kullanmalarını sağlamaktır.

UN-SPIDER, uzay teknolojilerinin kullanımında bilgi paylaşımı ve kurumların güçlendirilmesi yoluyla afet riskini azaltmak veya afet müdahale operasyonlarını desteklemek için eylemleri iyileştirmeyi amaçlamaktadır. UN-SPIDER ayrıca uydu verileri ve bilgi sağlayıcıları ile politika yapımcılar, afet risk yöneticileri veya acil durum müdahale ekipleri gibi bu tür verilerin farklı kullanıcı grupları arasındaki işbirliğini kolaylaştırır. Amaç, tüm paydaşlar ve etkilenen nüfus arasında afet riskleri veya afet etkileri hakkında daha iyi bilgi akışı sağlamaktır.

UN-SPIDER kapsamında hem Birleşmiş Milletler çatısı altında hem de diğer uluslararası örgütlerin çatısı altında "Afetlerde uyduların kullanımına ve bilgi paylaşımına dair" belirli bazı anlaşmalar ve protokoller yapılmıştır. Türkiye'nin de bu kapsamda üye olduğu ve halihazırda uzaktan algılama gerçekleştiren uyduların verilerinden yararlandığı oluşumlar şunlardır:

OLUŞUM	PLATFORM	VERİ
United Nations Disaster Charter (The International Charter Space and Major Disasters)	Uydu	Uydu Görüntüleri
Copernicus Emergency Mapping Service via the European Union ERCC (Emergency Response Coordination Centre)	Uydu	Sadece Analiz Sonucu
APSCO (Asia Pasific Space Cooperation Organization)- passive	Uydu	Uydu Görüntüleri
Açık Kaynak Verileri (Esa Sentinel, USGS, Landsat, ASF SAR)	Uydu	Uydu Görüntüleri
Sentinel Asia (A space-based DM support system in the Asia-Pacific region)	Uydu	Uydu Görüntüleri Veya Analiz Sonucu

Yukarıda yer alan organizasyonlardan Birleşmiş Milletler Afetler Şartnamesine (United Nations Disaster Charter) Türkiye ilk olarak 2005 yılında TÜBİTAK Bilten (Bilgi Teknolojileri ve Elektronik Araştırma Enstitüsü şimdiki adı TÜBİTAK Uzay) kurumuyla katılım sağlamıştır. TÜBİTAK tarafından 2003 yılında uzaya gönderilen ve Charter takım uydularından olan BİLSAT uydusu sayesinde Türkiye aktif olarak Charter'da yerini almıştır. Aynı yıl, Afet İşleri Genel Müdürlüğü de Charter yetkili kullanıcısı olmuştur. Günümüzde Türkiye, Charter'a Sentinel Asya aracılığıyla katılım sağlamıştır. Bu kapsamda Türkiye'deki yetkili kullanıcı da günümüzde Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)'dır.

Türkiye 2015 yılında Avrupa Birliği Sivil Koruma Mekanizmasına resmi olarak katılıma ilişkin anlaşmayı imzalayarak Avrupa Birliği Acil Durum Müdahale Koordinasyon Merkezine (ERCC) de katılımcı olmuştur ve ERCC'den aktif olarak yararlanmaya başlamıştır. Avrupa Komisyonu, Mekanizmayı Acil Durum Müdahale Koordinasyon Merkezi (ERCC) aracılığıyla yönetmektedir. 7/24 esasına göre çalışan ERCC, dünya çapındaki riskleri ve acil durumları izlemekte ve acil durumlarda bir bilgi ve koordinasyon merkezi olarak Türkiye'deki afetlere yönelik de hizmet vermektedir.

Merkezi Pekin'de bulunan ve uluslararası bir kuruluş olarak 2008 yılında kurulan Asya Pasifik Uzay İşbirliği Örgütü (Asia Pacific Space Cooperation Organization) içerisinde Türkiye; Çin, Pakistan, Endonezya, Bangladeş, Peru, İran, Moğolistan ve Tayland ile birlikte dokuz kurucu üyesinden biridir. 1 Haziran 2006'da katılım sözleşmesini imzalamıştır. APSCO, Nisan 2007'de Birleşmiş Milletler tarafından 102. Madde kapsamında Çok taraflı Uluslararası Kuruluş olarak kabul edilmiştir. APSCO bünyesinde kurulan Afet İzleme ve Zarar Azaltma Ağı, Çin'e ait Cses uydusu, diğer uzaktan algılama uyduları ve üye devletlerdeki mevcut yer tabanlı iyonosfer izleme kaynakları sayesinde Asya Pasifik bölgesinde yer tabanlı İyonosferik İzleme ve Bilgi Paylaşım Platformunu oluşturmayı amaçlamaktadır.

2005 yılında Asya Pasifik bölgesinde afet desteği sunmak amacıyla Asya Pasifik Bölgesel Uzay Ajansı Forumu (The Asia-Pacific Regional Space Agency Forum/APRSAF) tarafından Dünya gözlem teknolojilerinin değerini ve etkisini göstermek için kurulan Sentinel Asya'ya Türkiye kuruluşun ilk yıllarında resmi katılımını sağlamıştır. Sentinel Asya organizasyonu tarafından kullanılan uydular aşağıdaki infografikte gösterilmektedir:



Görüldüğü üzere Türkiye afetlerde uzaktan algılama uydularının kullanılmasına dair uluslararası ve bölgelerarası örgütlerin birçoğuna ilk oluşumundan itibaren katılım sağlamış hatta mühendislik çalışmalarını yaparak uzaya gönderdiği uydularla bu tarz oluşumları aktif olarak desteklemiştir. Uluslararası arenada afetlerle ilgili olarak uzaktan algılama uydularının kullanımı, devletler arasındaki yardımlaşmanın büyük örneklerinden biridir ve Türkiye'nin de hem teknik açıdan hem de politik olarak bu hususa gereken önemi verdiği görülmektedir. Doğrudan afetlerle ilgili olmasa bile Ozon Tabakasının Korunmasına Dair Viyana Sözleşmesi, Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Montreal Protokolü, Dünya Gözlem Uyduları Komitesi, Uluslararası Jeosfer ve Biyosfer Programı gibi oluşumlara da Türkiye'nin resmi olarak katılımı mevcuttur.

Türkiye'nin yapılması planlanan uzaktan algılama mevzuatında milli uyduların uzaktan algılama verilerinin yurtdışına transferi ve yabancı uyduların uzaktan algılama verilerinin yurtiçine transferi olarak iki ana başlık altında ele alınması uygun olacaktır.

Milli Uyduların Uzaktan Algılama Verilerinin Yurtdışına Transferi

Yukarıda daha önce de belirtildiği üzere, Türkiye'nin halihazırda uzayda gözlem yapan uyduları henüz birkaç adet olsa da yine de farklı coğrafyalardaki afetlere dair görüntülerin bu uydular vasıtasıyla toplanması (Rasat-Şili Orman Yangınları vb.) mümkün olmaktadır. Bu gibi uydulardan elde edilen veriler her ne kadar Türkiye'nin resmi katılım sağladığı uluslararası organizasyonlar aracılığıyla paylaşıyor olsa dahi bunun ulusal anlamda yasal bir dayanağının ayrıntılı bir uzaktan algılama mevzuatında bulunmadığı görülmektedir. Diğer taraftan, milli uyduların uzaktan algılama verilerinin uluslararası organizasyonlar aracılığıyla değil de doğrudan Türkiye'den talep edilmesi ve yurtdışına transferi hususunda yine yasal anlamda bir mevzuat düzenlemesinde yer almadığı görülmektedir.

Bu nedenle yapılması planlanan uzaktan algılama mevzuatında öncelikli olarak ele alınması gereken konu uluslararası işbirliği konusu olup, resmi katılım sağlanan organizasyonların yasal hükümleri çerçevesinde verilerin yurtdışına ve ilgili afet bölgesine transferidir. Bilindiği üzere usulüne uygun olarak yürürlüğe konulmuş uluslararası anlaşmalar kanun hükmündedir. Bahsedilen organizasyonlar çerçevesinde yapılmış olan protokollerin büyük bir kısmı da uluslararası anlaşmalar olarak nitelendirilmektedir. Türkiye'ye ait uydularla toplanan başka ülkelerin afet bölgelerine ait verilerin öncelikle mevcut anlaşmalar kapsamında toplandığını belirtmek gerekir. Bu durumda ortaya verilerin serbestliği ilkesi çıkar. Dolayısıyla ilgili ülkeden verilerin saklanması da mevzuatsal açıdan uygun olmamaktadır. Diğer bir husus ise ilgili ülkenin milli sınırları kapsamında milli güvenlik ve kamu güvenliğidir. Uyduların ortaya çıkışından bugüne kadar çift yönlü kullanıma sahip olduğu bilinmektedir. Her ne kadar uzaktan algılama uydularının önceliği uyduya yüklenen görev yükü kapsamındaki yasal görevi olsa da, bir taraftan da toplamış olduğu verilerle casus ülke açısından istihbari bilgiler toplanılmasının amaçlandığı da bilinmektedir. Bu durum aslında uzayın kullanım serbestliğinin de doğal bir sonucu olmaktadır.

Uzaktan Algılama ile ilgili olarak Uzaktan Algılama İlkeleri'nin ortaya çıkmasından önce Uzay Hukuku'nun Magna Carta'sı (Anayasası) olarak bilinen 1967 Tarihli Ay ve Diğer Gök Cisimleri Dahil Uzayın Keşfi ve Kullanılmasında Devletlerin Faaliyetlerini Yöneten İlkeler Hakkında Anlaşma'ya da değinmek önemlidir. Zira, söz konusu Dış Uzay Anlaşma'sının 1'inci maddesine göre:

"Ay ve diğer gök cisimleri dâhil, uzayın keşfi ve kullanılması, iktisadî veya bilimsel kalkınma derecelerine bakılmaksızın, bütün ülkelerin hayır ve menfaatine yürütülmelidir; bu bütün insanlığa tahsis olunmuştur.

Ay ve diğer gök cisimleri dâhil, uzay, hiçbir ayırt edici muameleye tabi tutulmaksızın, eşitlik esasına ve Devletler hukukuna uygun olarak, bütün Devletlerin keşif ve kullanmasına açık olup, gök cisimlerinin bütün bölgelerine serbestçe girilebilir.

Ay ve diğer gök cisimleri dâhil, uzayda bilimsel araştırmalar serbestçe yapılır ve Devletler bu araştırmalarda milletlerarası işbirliğini kolaylaştırmalı ve teşvik etmelidirler."

Dış Uzay Anlaşması olarak bilinen söz konusu anlaşma uluslararası anlamda imzalanan en kapsamlı anlaşmalardan biri konumundadır. Bu açıdan yine yukarıda alıntılanan maddelere de uyulmasının gerektiği ortaya çıkmaktadır. İstihbari faaliyetler ise bir yönden ilk fıkraya aykırıdır. Ancak dünya barışının sağlanması ve milletlerarası savaşların sona erdirilmesi açısından da gerekli olduğu kuşkusuzdur. Ayrıca, savaş suçlarının delillerinin toplanması hususunda da ne kadar elverişli olduğu Uluslararası Ceza Mahkemesinin uygulamalarından da görülmektedir.

Bu nedenle, Türkiye'ye ait uzaktan algılama uydularıyla başka coğrafyalardaki afetlere ilişkin veriler toplamak ve bu verilerin ilgili afet ülkesiyle paylaşılması hususları kesin sınırlara sahip olmakla beraber, afet ülkesi tarafından milli güvenlik ve kamu güvenliği açısından bir engelleme yapılmayacak olursa serbestiyet ilkesinin geçerli olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Milli uyduların uzaktan algılama verilerinin yurtdışında transferi açısından ele alınması gereken diğer bir husus ise yetkilendirme ve izin koşullarıdır. Hükümet ve Devlet organlarının öncelikle yerel uydu operatörlerine verilerin transferi hususunda hangi durumlarda izin verdiği mevzuatta ayrıntılı bir şekilde yer almalıdır. Bu konudaki serbestiyetin ancak devlet organlarının açık bir şekilde iznine bağlı olduğu aynı şekilde belirtilmelidir. Zira uluslararası arenada devletlerin birbirleriyle olan ilişkileri değişken bir yapıdadır. Burada yine milli çıkarlar ve ülkenin ali menfaatleri söz konusu olacağı için her ne kadar verilerin transferine genel anlamda izin ve yetkilendirme yapılmış olsa da, ilgili ülke ile diplomatik durumun ne olduğu hususunda Dışişleri Bakanlığından görüş alışverişinde bulunulmasının zorunluluğu da mevzuata konulmalıdır. Yine bu kurallara aykırılık halinde uygulanacak olan idari ve cezai yaptırımlar mevzuatta yerini almalıdır. İdari ve cezai yaptırımların içerisinde para cezaları ve işyerinin faaliyetlerinin bir süre engellenmesi ya da temelli kapatılmasının yanı sıra uydunun ve yer istasyonlarının kamuya devri de bulunabilir.

Bu konuda son olarak, uzaktan algılama sonucunda elde edilecek verilerin özellikleri, veri kapasitesi, farklı uygulamalarda paylaşılması ve başka mecralara transferi hatta verilerin transfer edildiği ülkenin başka bir ülkeye veri transferi gibi hususlar da mevzuatta yerini almalıdır.

Yabancı Uyduların Uzaktan Algılama Verilerinin Türkiye'ye Transferi

Uzaktan algılama verileri hususunda ele alınması gereken ikinci başlık ise Türkiye'nin coğrafi kara, hava ve deniz sınırları içerisindeki milli egemenliğinin bulunduğu alanlardaki afetlere ilişkin yabancı uyduların elde etmiş olduğu verilerin hukuki durumudur. Burada daha önce değinilen uluslararası anlaşmaların içeriğine ve konumuna sadece atıf yapılacaktır.

Yabancı uyduların uluslararası anlaşmalar çerçevesinde elde etmiş olduğu Türkiye'ye ait verilerin hukuki durumları açısından bir boşluk bulunmamaktadır. Ancak tek taraflı olarak herhangi bir yabancı uzaktan algılama uydusunun elde etmiş olduğu bu tarz verilerin hukuki durumları ise net değildir. Elbette uzay yasaları gereğince uluslararası anlamda kullanım serbestliği söz konusudur; ancak durumun bir de Türkiye'nin iç mevzuatları açısından incelenmesi gerekmektedir.

Uzayın devletlerce kullanım serbestliğinden bahsedebilmek için öncelikle uzay ve hava arasındaki sınırın da belirlenmesi gerekmektedir. Zira devletlerin hava sahası üzerinde münhasır egemenliği bulunmaktadır. Bununla beraber Türk Sivil Havacılık Kanunu kapsamında en öncelikli madde 4'e göre Türkiye Cumhuriyeti Türk hava sahasında tam ve münhasır egemenliği haizdir. Türkiye'nin taraf olduğu anlaşmalar uyarınca Türk Hava Sahasında uçuşuna müsaade edilen hava araçları dışında Cumhurbaşkanı, kamu düzeni ve emniyet mülahazaları ile veya askeri sebeplerle geçici veya devamlı bir tedbir olarak, Türk hava sahasının tamamını veya belirli bölümünün kullanılmasını veya muayyen bölgeler üzerinden uçuşu yasak edebilir veya sınırlayabilir. Dolayısıyla hava sahasının kullanımını ve uzay sahasının kullanımını belirlemek için aradaki sınır önem arz etmektedir. Temel anlamda uzay veya dış uzayın tanımı 1962 tarihli Yasal İlkeler Bildirgesi'nde de Uzay Hukuku'nun anayasası Dış Uzay Anlaşmasında da yer almamaktadır. Dış uzayı tanımlama meselesi, uzay ile atmosfer arasındaki sınırın çizilmesi meselesidir. 1959'dan bu yana, uzayın tanımlanması konusu, Birleşmiş Milletler Dış Uzayın Barışçıl Kullanımları Komitesi (UNCOPUOS), Hukuk Alt Komitesi ve Bilim ve Teknoloji Alt Komitesi'nde müzakere konusu olmaya devam etmektedir. Ancak henüz bir sonuca varılamamıştır. Türkiye'nin iç mevzuatlarında da hava ve uzay arasında net bir sınır belirlenmemiştir. Bu durum bazı uzaktan algılama işlemleri sonucunda milli güvenlik sorununu ortaya çıkarmaktadır. Zira, hava ve uzay arasında bir sınır yasal anlamda belli olmamış olsa da, hava sahasında kimi yazarlara göre havada egemenlik alanındaki devlet için "savunma menzili" kadar bir sınır çekilebilir ki bundan zararsız geçişler istisnadır (Alphonse Rivier).

Yukarıda kısaca bahsedildiği üzere, Türk Sivil Havacılık mevzuatı açısından genel kural olarak ikili ve çok taraflı anlaşmalar kapsamında hava araçlarına serbestiyet tanınmış olsa da milli savunma amacıyla bu serbestiyet kaldırılabilir ya da daha da hava sınırı çok yükseklerle çekilebilir. Zararsız hava geçişlerinin bir istisna olduğu düşünülürse afetlerin takibini gerçekleştiren yabancı uzaktan algılama uyduları açısından bir engelleme olması yerinde olmayacaktır. Bu tarz uyduların topladığı verilerin de amacına uygun olarak kullanılması gerekmektedir.

Bu kapsamda, yabancı uyduların Türkiye'den elde etmiş olduğu afetlere ilişkin verilerin milli güvenlik açısından bir sakıncasının olmadığı değerlendirilmektedir.

III. SONUÇ

Uzaktan Algılama işlemlerinin uydular vasıtasıyla gerçekleştirilmesinin afetler üzerindeki etkisi son derece büyüktür. Türkiye, hem kendi ürettiği uydularla hem de taraf olduğu uluslararası anlaşmalar gereği diğer yabancı ülkelerin uydularından paylaşılan verilerle uzun yıllardır bu tarz işlemlerin gerçekleştiği ende ülkelerden biri konumundadır. Uydu operatörlerinin yetkilendirilmesinden verilerin işlenmesine, işlenen verilerin paylaşılmasından yurtdışına transferine, idari usul ve esaslardan yaptırımlara kadar birçok hususun ele alındığı bir uzaktan algılama mevzuatının uzay alanında hız kazanmaya çalışan Türkiye için yapılması elzemdir.

KAYNAKLAR

- [1] Onay, Abdurrahman, Uzaktan Algılama Hukuku, 2023
- [2] AFAD, Türkiye'de Afetler, 2018
- [3] www.afad.gov.tr
- [4] blog.gezgin.gov.tr
- [5] İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Uydularda Afetlerin Kullanımı
- [6] Disaster Management Cycle, (Haddow and Bullock, 2004).
- [7] Jayawardene, Vimukthi, The role of data and information quality during disaster response decision-making
- [8] Abdolazadeh, Bagherian, Peyravi, Kolivand, Tavakoli, A comparative study of interagency communications and information exchange in disaster response among selected countries
- [9] American Planning Association, 2005)

“Mevcut Hukuki Paradigmalara Meydan Okumak: Askeri Uzay El Kitapları” Gelişen Teknolojiler, Askeri Faaliyetler ve Uzayda Savaş

Nebile Pelin MANTI*

İstanbul Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Milletlerarası Hukuk ABD, İstanbul/Türkiye.

* Sorumlu Yazar: np_manti@yahoo.com

ÖZET

Uzayda, uzaya ve uzaydan yürütülen askeri faaliyetler, ulusal güvenlik çıkarlarını tehdit etmek, bozmak, dünya ve uzaydaki sivil faaliyetlere zarar vermek amacıyla kullanılabilir. Rusya Ukrayna Savaşı, uzayda silahlı çatışma ve savaşın kaçınılmaz olduğunu hatırlatmaktadır. Bugün, askeri uzay faaliyetleri de dahil olmak üzere uzay faaliyetlerini yöneten çok sayıda temel milletlerarası hukuk ilkesi ve kuralı mevcuttur. 2016 yılında başlayan iki önemli girişim, Kanada'da McGill Üniversitesi tarafından, Kanada hükümetinin mali desteği ve dünyanın dört bir yanındaki çeşitli üniversitelerin katılımıyla yürütülen **“Uzaydaki Askeri Faaliyetlere Uygulanabilir Uluslararası Hukuk Kılavuzu (MILAMOS) Projesi[1]** ile Avustralya'daki Adelaide Üniversitesi ve New South Wales Üniversitesi, Birleşik Krallık'taki Exeter Üniversitesi ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Nebraska-Lincoln Üniversitesi tarafından ortak olarak yönetilen **“Askeri Uzay Operasyonlarına Uygulanabilir Woomera El Kitabı”[2]**, kısaca **Woomera El Kitabı**, projeleri milletlerarası hukukun uzaydaki askeri faaliyetlere nasıl uygulandığına dair kılavuzlar geliştirmek için hükümet dışı çabaları içermiş ve 2024 yılında her iki proje tamamlanmıştır. Milletlerarası hukukun uzaydaki askeri faaliyetlere, barış zamanında ve silahlı çatışmada nasıl uygulanacağına dair geliştiren kılavuzların incelenmesi, söz konusu olan teknolojilerin, varlıkların ve ilgili normların hukuki kapsamının, gerçek dünya ile uyumunun, artan askeri uzay faaliyetleri ve çatışma riski nedeniyle değerlendirilmesi, uygulamanın ve etkilerinin anlaşılması bakımından önemlidir.

Anahtar Kelimeler: *Uzay hukuku, Askeri faaliyetler, Silahlı çatışma, MILAMOS el kitabı, Woomera el kitabı.*

“Challenging Legal Paradigms and Military Space Manuals: Emerging Technologies, Military Activities and War in Space”

Nebile Pelin MANTI*

İstanbul University, Law Faculty, Department of International Law, İstanbul/Türkiye.

*Corresponding Author: np_manti@yahoo.com

ABSTRACT

Military activities in, to and from space can be used to threaten and disrupt national security interests and harm civilian activities on Earth and in space. The Russo-Ukrainian War is a reminder that armed conflict and war in space are inevitable. Today, there are many fundamental principles and rules of international law that govern space activities, including military space activities and two important initiatives that began in 2016, namely **“The Manual on International Law Applicable to Military Activities in Outer Space (MILAMOS) Project”**, led by McGill University in Canada with financial support from the Canadian government and participation from various universities around the world, and the **“The Woomera Manual on the International Law Applicable to Military Space Activities and Operations”**, shortly The Woomera Manual, led jointly by the University of Adelaide and the University of New South Wales in Australia, the University of Exeter in the United Kingdom, and the University of Nebraska-Lincoln in the United States, involved non-governmental efforts to develop guidelines on how international law applies to military activities in space, were completed in 2024. The evaluation of the legal scope and real-world relevance of the norms developed on how international law applies to military activities in space, in peacetime, in rising crisis and during armed conflicts is important to understand the legal scope of

application and impacts of the Technologies, assets and relevant norms, given the increasing risk of military space activities and conflict.

Keywords: *Space law, Military activities, Armed conflict, MILAMOS, Woomera manual.*

I. GİRİŞ

Milletlerarası hukukun ne şekilde uygulanacağını netleştirilmesi, özellikle silahlı çatışmalar hukuku söz konusu olduğunda, önem taşıyan başlıklardan biridir. Silahlı çatışmalarda milletlerarası hukukun uygulanmasına ilişkin mevcut uluslararası antlaşmaların ve teamül hukukunun belirlenmesi ile söz konusu normların uygulanmasının netleştirilmesi amacıyla, akademisyenler, hükümet dışı uygulayıcılar ve (genellikle kişisel kapasiteleriyle hareket eden) hükümet hukuk danışmanlarından oluşan özel uzman grupları, 19. yüzyılın sonundan günümüze, bir dizi resmi olmayan el kitabı hazırlamışlardır.

Tarih, uluslararası el kitaplarının, üç nesile göre, geniş kapsamlı bir şekilde sınıflandırılmasına olanak tanımaktadır. Kara Savaş Hukuku Üzerine 1880 tarihli Oxford El Kitabı[3] ile başlayan ilk nesil, uluslararası insancıl hukukun erken kodifikasyon dönemi ile eş zamanlıdır. İkinci nesil el kitapları, 20. yüzyılda, Denizde Silahlı Çatışmalara Uygulanabilir Uluslararası Hukuk Üzerine 1994 tarihli Sanremo El Kitabı[4] ile başlar ve uluslararası insancıl hukukun, savaş alanına, değişen çatışma yapılarına ve yeni teknolojilere göre uyarlanması, yorumlanması ihtiyacını yansıtmaktadırlar.

Yakın dönemde yazım süreci tamamlanan son el kitaplarından ikisi uzay odaklıdır. Bunlardan ilki, **Uzayın Askeri Amaçlarla Kullanımına Uygulanacak Milletlerarası Hukuka İlişkin McGill El Kitabı** (*The McGill Manual on International Law Applicable to Military Uses of Outer Space, kısaca MILAMOS El Kitabı*)[5], ikincisi ise **Askeri Uzay Faaliyetlerinin ve Harekatlarının Milletlerarası Hukuku Hakkında Woomera El Kitabı** (*The Woomera Manual on the International Law of the Military Space Activities and Operations, Woomera El Kitabı*)'dır [6].

II. EL KİTAPLARININ OLUŞUM SÜREÇLERİ VE KAPSAMLARI

Yakın dönemde, ulusal orduların, spesifik 'komutanlıklar' altında uzay faaliyetlerini yürütmenin yanı sıra, ayrı bir kuvvet kolu olarak uzay kuvvetleri kurmaya başlaması, askeri uzay faaliyetlerinin ve harekatlarının ne şekilde yürütüleceği ve bu kuvvetlerin barış zamanında, yükselen çatışma tehlikesi altında ve silahlı çatışma dönemlerinde tabi olacakları milletlerarası hukuk kuralları hakkında yeni bir ilgi oluşmasına vesile olmuştur.

Özel aktörlerin artan yörünge faaliyetleri, yeni uzay servislerinin özel sağlayıcılarının tekellerinde kalması, Rusya-Ukrayna Savaşı ile gündeme gelen, Viasat uydu sistemine düzenlenen siber saldırı sonrası artan endişeler, Rusya'nın Dünya yörüngesine nükleer silah yerleştirme planları, 200'lerin başında gerçekleşen kinetik uydu karşıtı silah denemeleri ve benzeri pek çok güncel tartışma, büyük bir kısmı 1960'larda ve 70'lerde geliştirilmiş ve sınırlı kabul görmüş sözleşmelerle, son iki on yıldır artan sayıda BM Genel Kurul tartışması ve kararlarıyla ve Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından oluşturulmuş, ITU Konvansiyonu ve Düzenlemeleri çerçevesinde cevaplanabilir değildir. Uzay Hukuku'nun, askeri üstünlük için başlayan yeni uzay yarışlarına, ortaya çıkan yeni teknolojilerden, kalabalıklaşan uzayın sürdürülebilirliğinin ne şekilde sağlanabileceği gibi endişelere ve tehdit aktörlerinin giderek daha fazla karşılaştırmalı bir avantaj için uzayı kullanmasından kaynaklanan sorunlara ne şekilde karşılık verebileceği soruları ile karşı karşıya kalmıştır.

Bu anlamda karşılaşılan ilk mücadele, *uzayın kullanımlarını* belirlemek olmuştur. Uzayın kullanımı ve ilgili normatif çerçevelerin oluşturulması, gelişim halinde bir teknik ve hukuki süreçtir. Uluslararası toplum, uzaya ilişkin araştırmalarını bu süreçleri kavramsal ayrımlar altında ele alarak incelemektedir. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) 2018 yılında, günümüz uzay faaliyetleri için 'Space/Uzay 4.0' ifadesini kullanmıştır. 'Space/Uzay 1.0', astronomiye ilişkin erken çalışmaları ifade ederken; 'Space/Uzay 2.0', uzay yolculuğu yapan ulusların (ABS-SSCB), Apollo'nun Ay inişleri ile sonlanan bir uzay yarışını; 'Space/Uzay 3.0', Uluslararası Uzay İstasyonu'nun kavramsallaştırılmasıyla, uzayı uluslararası işbirliği ve kaynakların kullanımı için bir sonraki sınır olarak kabul eden dönemi ifade etmektedir. 'Space/Uzay 4.0' ise, uzayı, çok aktörlü, çok yüzlü, sadece sivil değil, yeni bir hareket alanı olarak karakterize eden, yeni bir çağa doğru uzayın evrimini temsil etmektedir. Bununla birlikte, kavramsallaştırma süreci somutlaştırmakla birlikte, mevcut uzay hukuku kurallarının, halihazırda uzayın sivil kullanımları bakımından da belirsiz ve sınırlı kalabildiği, daha önemlisi, milletlerarası hukuk normlarının uzaya, uzayda ve uzaydan gerçekleşecek tehditlere ne şekilde karşılık verebileceği, ilgili hukuki çerçevelerin ve kuralların netleştirilmesi gerekliliğini ortaya koymuş ve uzayın askeri kullanımına ilişkin normatif çerçevenin ve sınırların belirlenmesi, Milamos ve Woomera El Kitaplarının temel motivasyonu olmuştur.

1967 Dış Uzak Antlaşması uzayda kitle imha silahlarının kullanımını, Ay ve diğer gök cisimleri üzerinde askeri üslerin, tesislerin ve tahkimatların kurulmasını, her türlü silahın denenmesini ve gök cisimleri üzerinde askeri manevraların yapılmasını yasaklarken, uzayın askeri kullanımlarını yöneten hukuk belirsizlikler taşımaktadır.

2015 yılında gündeme gelen proje, Birleşmiş Milletler Uzay İşleri Ofisi (UNOOSA) Politika ve Hukuk İşleri Bölümü Komitesi Başkanı Bay Niklas Hedman, Birleşmiş Milletler Uzayın Barışçıl Kullanımları Komitesi (UNCOPUOS) o zamanki Başkanı Dr. David Kendall ve Kanada'nın Birleşmiş Milletler ve Silahsızlanma Konferansı eski Büyükelçisi ve Daimi Temsilcisi, Büyükelçi (emekli) Paul Meyer, Mayıs 2016'da MILAMOS Projesi'nin lansmanında hazır bulunmuştur.

Ortak tek bir çalışma olarak başlayan süreç, barış döneminde uzayın askeri kullanımlarına ilişkin çerçeve ile çatışma dönemlerinde uzayın kullanımlarının ayrı şekilde detaylandırılması gerekliliği nedeniyle, paralel ama iki ayrı süreç olarak yönetilmiştir. Bu iki çalışmanın birbirini tamamlayıcı olması amaçlanmıştır, belirlenen normlar uzayla ilgili mevcut hukukun durumunu, özellikle de uzaydaki askeri uygulamaları, askeri hareketleri tanımlamayı ve ilgili kuralları ifade etmeyi amaçlamaktadırlar.

A. Milamos El Kitabı

Günümüz uzay faaliyetleri yenilenen yetenekler, donanım, yazılım ve astrofizik konusunda belirli bir düzeyde teknik anlayış gerektirmektedir. Uzay Hukuku, hızla ve yeni yönlerde evrimleşen bir hukuk alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Devletlerin ve devlet dışı aktörlerin, uzayda fiziken bulunmalarına gerek olmadan etki yaratabildiği, yeni teknolojilerin hakim olduğu bu yeni alan, tehlikelerden muaf değildir. ***Uzay'ın askeri kullanımlarına uygulanabilir Milletlerarası Hukuk El Kitabı, "Milamos"*** ya da ***"McGill El Kitabı"***, Adelaide Üniversitesi, McGill Üniversitesi ve Exeter Üniversitesi iş birliği ile temel katılımcıları arasında uygulayıcıların, akademisyenlerin, teknik uzmanların, subayların ve hükümet avukatlarının yer aldığı bir uzmanlar grubunun ortak çalışması sonucu ortaya çıkmıştır. Bu tür bir el kitabının üretimi önemli ve zamanında bir karardır. Uluslararası toplum, dış uzaya, uzayda ve dış uzaydan yürütülen savaşın hem öngörülebilir hem de ulusal güvenlik çıkarları ile Dünya ve uzaydaki sivil faaliyetler için potansiyel olarak oldukça zararlı olduğunu giderek daha fazla kabul etmektedir. Bununla birlikte, yakın döneme kadar bu başlığa yeterli ilgi gösterilmemiştir.

Milamos bilim ekibi, aralarında aktif görevdeki askeri subayların da yer aldığı, toplam 80 hukuk uzmanı ve teknik uzman tarafından geliştirilen ve askeri uzay faaliyetlerini düzenleyen, (consensus yolu ile) üzerinde mutabık kalınmış (*consensus* yoluyla kabul edilmiş), bir kurallar bütünü olarak ortaya çıkmaktadır.

Temmuz 2022'nin sonunda yayınlanan McGill Uzayın Askeri Kullanımlarına Uygulanabilir Milletlerarası Hukuk El Kitabı (MILAMOS):

- Cilt I: IX Bölüm, 152 Kural ve 3 Ek'ten oluşmaktadır.
- Cilt II yorumlu kuralları içerecek ve Springer tarafından yayınlanacaktır.
- Cilt II, Uzmanlar Grubu'nun fikir birliğine varamadığı üç 'kritik öneme sahip 3 konuda;
 - 'Çevrenin Korunması',
 - 'Lazer Kamaştırma' ve
 - 'Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemine Müdahale' - hakkındaki tartışmaları da içermektedir.

Milamos El Kitabı, uzay faaliyetleri, uzay nesneleri ve askeri uzay faaliyetleri gibi genel konuları ele alan bir tanımlar bölümüyle başlamaktadır. Bunun dışındaki tanımların el kitabının ilgili bölüm başlıkları altında ifade edildiği görülmektedir. İkinci önemli husus, uzayın önlenemez askerileştirilmesi olgusunu dengeleyecek, uzayın "barışçıl kullanımı" ile uzay faaliyetlerini mevcut risklerin ötesinde, tehdit ve tehlikelere maruz bırakabilecek girişim ve davranışları önleyecek, daha da önemlisi milletlerarası anlamda genel kabul görececek bir hukuki aracın formüle edilmesi imkansız bir görev olarak görülebilecektir.

MILAMOS'un temel konusu olan uzayın askeri kullanımları bakımından, dikkat çeken özelliklerinden biri "silah" kavramının tanımlanmamış olmasıdır. Milletlerarası Hukukun bir silahın ne olduğuna dair evrensel bir anlayışı varsayması alışılmadık bir durum değildir. Bununla birlikte, özellikle gelişen teknolojilerin çatışmalarda kullanımı ve nesnelerin ikili kullanım potansiyeli, hukuki sınırlar konusunda çizgi çekmeyi zorlaştırmaktadır.

Kural 119, dış uzayın askeri kullanımlarının *başlı başına* barışçıl olmadığını açıkça ortaya koymaktadır.

Milamos yazarları, bazı noktalarda çekingen davranmıştır. *Milamos El Kitabı*, uzay hukukunun diğer temel metinlerinde de olduğu gibi, uzayın sınırlarını belirleyen bir hüküm oluşturmamışlardır. (Kural 108). Benzer şekilde, uzay nesnesinin ne olduğunu gerçekten tanımlanmamıştır. Bununla birlikte, neyin bir uzay nesnesi olarak kabul edildiğini (bileşen parçaları, fırlatma aracı ve bileşenleri) tanımlar (Kural 104) [1,7]. Bu husus, *Milamos El Kitabı*'nın, uzay hukukunu açıklığa kavuşturmadan ziyade, belirli bir bağlam çerçevesinde yeniden ifade etme kaygısının göstergesi, olarak kabul edilir. Örnek olarak, uzay çöplerinin

kaldırılması hususunda, bir uzay nesnesinin tanımı, uzay çöpünü kaldıran bir devletin potansiyel olarak başka bir devletin haklarına [7]. Dolayısıyla, ilgili tanım, bağlam çerçevesinde ifade edilmelidir [8].

Benzer şekilde, Milamos El Kitabı, belirli konularda, örneğin uzay çöpü yaratan uydu karşıtı silah denemeleri bakımından, açık şekilde hak ve yükümlülük yaratan düzenlemeler belirlememektedir. Bu anlamda, 1967 tarihli Dış Uzay Antlaşması'nın IX. Maddesi'nde belirlediği kirletme yasağını, Dünya ve gök cisimleri ile sınırlı tutmadığı ve uzay boşluğunun kendisini de kapsayacak şekilde ele aldığı, ancak uzay çöpü yaratılmasına ilişkin açık bir sınırlama ya da yasak da yaratmadığı görülmektedir. (Kural 129) Bu durum, askeri bir operasyon ve çatışma halinde, kinetik sonuçların kaçınılmaz olarak kabul edildiğini göstermektedir. MILAMOS, el kitabının temel tartışmalarından olan uzayın askerileştirilmesi çerçevesinde, bir "silah" kavramı tanımlamamıştır. Uzayda nesnelerin ve uzayın ikili kullanım potansiyelinin, bu tür bir ayrımı zorlaştıracığı düşünüldükçe, kinetik ve kinetik olmayan uydu karşıtı silah denemelerinin düzenli olarak tekrarlandığı bir uzayda, sınırlayıcı şekilde silah tanımı yapılması işlevsel kabul edilmemektedir.

Bir diğer önemli tartışma, atfedilebilirlik ve sorumluluk noktasında olacaktır: OST Madde VI ve Kural 130 çerçevesinde devletler, 'ulusal uzay faaliyetlerinden' sorumludur. Kural 102'nin "Ulusal Uzay Faaliyetleri" tanımı özellikle sorumluluk ve atfedilebilirlik açısından özel öneme sahiptir. Kural uyarınca, bir ulusal uzay faaliyeti, devlet tarafından veya bir devletin ulusal (doğal veya tüzel hükümet dışı) kuruluşu tarafından yürütülen, bir devletle bölgesel ya da başka bir şekilde bir bağı olduğu takdirde, ona atfedilebilir bir faaliyettir ve devlet, bu hükümet dışı uzay faaliyetlerini yetkilendirme ve sürekli olarak denetleme yükümlülüğü altındadır. (Kural 123)

B. Woomera El Kitabı

Son zamanlarda, tartışmasız bir şekilde yeni nesil el kitapları yoluyla silahlı çatışmalara ilişkin kuralların netleştirilmesi ve silahlı çatışmalar hukukunun dar alanını geride bırakarak genel olarak askeri operasyonlarla ilgili daha geniş soruların ele alınması, bir pratik olarak gelişmiş ve yerleşmiştir.

Adelaide Üniversitesi, Exeter Üniversitesi, Nebraska Üniversitesi ve New South Wales Üniversitesi tarafından yönetilen, bireysel uzmanlar devletin ve silahlı kuvvetler hukuk danışmanları tarafından desteklenen uluslararası araştırma projesi "askeri uzay operasyonlarına uygulanabilir mevcut milletlerarası hukuku nesnel olarak ifade eden ve açıklayan bir El Kitabı geliştirmek" amacıyla *Milamos Projesi*'nden ayrılmıştır. *Woomera El Kitabı*, otuzdan fazla milletlerarası hukuk uzmanı ve teknik uzmanla çalışan editörlerin, Uluslararası Kızılhaç Komitesi ve yirmi dört devletle koordineli olarak, uzay hukuku ve devlet uygulamaları hakkında doğru ve özlü bir inceleme yazmak için gösterdikleri, geniş ölçekli bir çabayı temsil etmektedir [2].

Metnin orijinal başlığı "The Woomera Manual on the International Law of Military Space Activities and Operations", Türkçe "Woomera Askeri Uzay Faaliyetleri ve Operasyonlarına İlişkin Milletlerarası Hukuk El Kitabı" olarak belirlenmiştir. Proje ve el kitabı adını Avustralya'da bir uzay fırlatma sahasından ve bu sahanın bulunduğu kasabadan alınmıştır. Adları ise, işlev olarak bir atlatla benzer bir Aborijin mızrak atma cihazı için kullanılan bir Dharug kelimesinden alınmıştır. Woomera El Kitabı, otuzdan fazla milletlerarası hukuk uzmanı ve teknik uzmanla çalışan editörlerin, Uluslararası Kızılhaç Komitesi ve yirmi dört devletle birlikte, silahlı çatışma dönemlerinde uygulanacak hukuk ve devlet uygulamaları hakkında doğru ve özlü bir inceleme yazmak için gösterdikleri kapsamlı bir çabayı temsil etmektedir.

Çalışma üç kritik zaman diliminde (barış dönemi, yükselen kriz dönemi ve silahlı çatışma sırasında) uygulanacak milletlerarası hukuka ilişkin normları kapsayan 48 kuraldan oluşmaktadır. *Milamos El Kitabı* ile yapılan görev ayrımı çerçevesinde, ilk iki başlık kural olarak *Milamos* süreci içinde kabul edilmekle birlikte, editörler, teknik uzmanlar ve hukuk uzmanı ekipler, günlük askeri uzay faaliyetlerine, uzaydaki herkese uygulanan arka plan kurallarına üst düzeyde dikkat ve değerlendirme payı bırakarak, üçüncü başlığa odaklanmışlardır. Bu anlamda değerlendirmeler tek yönlü ya da tek odaklı değildir.

Woomera'nın amacı,

- Çatışma döneminde, askeri hareketler için milletlerarası hukuk kurallarını belirginleştirmek,
- Devlet uygulamalarını kayıt altına alarak, oluşum halindeki kuralları, belirginleştirmek ya da en azından dikkate almak,
- Askeri operasyonları, milletlerarası hukuk ile uyumlu hale getirmektir.

El Kitabı sıklıkla, yeterli devlet uygulamasının bulunmadığı başlıklara vurgu yapmaktadır. *Opinio Juris*'in yani, ilgili teamül hukukunun oluşumu için subjektif unsurun eksikliğinin dürüstçe belirtilmesi, önemli bir noktadır.

Woomera El Kitabı, dört ana tartışma üzerine şekillenmiştir:

- Metodoloji bakımından: antlaşmalar hukukuna, devlet uygulamasına ve *opinio juris*'e odaklanır;
- Uzay hukukuna: genel bakışa sahiptir, ilgili antlaşmaların kapsamı tanıtılır;
- Devletler ve uzay nesneleri arasındaki hukuki bağlantı açıklanır: kayıt, sorumluluk, yükümlülük ve mülkiyet kavramları;

- Hava sahasının aksine, uzayın sınırlandırılmaması: uzayda ülkesel egemenliğin, uzay aracı dışında, tam olarak uygulanabilirliğinin olmaması göz önüne alınarak.

El kitaplarının oluşum sürecinde, normatif incelemeyi karmaşıklaştıran husus, 1967 Dış Uzay Antlaşması Madde III. Uyarınca uzaya tamamen uygulanabilir olduğu ifade edilen milletlerarası hukukun, silahlı çatışmalara ve uzaya ilişkin alanlarının ayrı özellikleri olmasıdır. *Woomera El Kitabı*'nın mimarlarından David A. Koplow'un ifadesiyle:

- "'Genel' milletlerarası hukuka ek olarak, burada iki 'özel' hukuk alanı söz konusudur. İlki, silahlı çatışmalar hukuku (uluslararası insancıl hukuk), uzayda başlayan veya uzaya uzanan savaşlar da dahil olmak üzere savaşa giren Devletler arasında uygulanabilir özel *jus in bello* kuralları sunarken; uzay hukukunun ayrı bir *lex specialis* başlığı olarak ve buna göre genel uluslararası hukuk rejiminin en azından bazı yönlerinin yerini alan benzersiz kurallar sunmasıdır.[9]
- *Woomera El Kitabı*, özel ve ayrı iki milletlerarası hukuk alanının kurallarının çatışması veya bu normlar arasında uyumsuzluk olması halinde, ne şekilde çözüm bulunacağı yönünde kapsamlı bir çaba ortaya koymaktadır [9].

Woomera, seçilmiş askeri işlevleri ve hareket alanlarını ilgili mevcut milletlerarası hukuk normları ile açıklanayı üstlenen bir lüteratür gövdesidir. *Woomera* oluşum süreci, *Tallinn El Kitabı* örneğini takip ederek, uzayda askeri eylemlerdeki ve istihbarat topluluğu eylemlerindeki sıradışı artışa yanıt olarak, özellikle siber operasyonlara ilişkin kurallar bakımından, yetkin bir hükümet dışı temsili dikkate almıştır. Çin, Hindistan, Rusya ve Amerika Birleşik Devletleri'nden oluşan dört devletin çeşitli gerekçelerle 2000'li yılların başından itibaren gerçekleştirdikleri kinetik uydu karşıtı silah denemeleri, alternatif olarak denenen yönlendirilmiş enerji silahları denemeleri ile potansiyel olarak düşmanca kabul edilebilecek uydu manevralarını denemeleri, bunun paralelinde kurulan "Uzay Kuvvetleri"nin uzayı "harekat alanı" olarak kabul eden resmi açıklaması

Woomera El Kitabı, üç temel bileşene sahiptir:

1. Bunlardan ilki ve en önemlisi, uygulanabilir milletlerarası hukukun neyi gerektirdiğini, neye izin verdiğini ve neyi yasakladığını özlü bir şekilde ortaya koymasındır. Kuralların üç ayrı zaman dilimine, barış zamanına, yüksele kriz dönemine ve silahlı çatışma dönemine, göre ayrılmasıdır.
2. İkinci husus, *Woomera El Kitabı*'nın editörlerinin, hukukun ne olabileceği veya ne olması gerektiği (*lege ferenda*) hakkında fikir yürütmek yerine, hukukun şu anda ne olduğunu (*lex lata*) ifade etmeyi tercih etmiş olmalarıdır. Bu anlamda, *Woomera* normları, öz haliyle kuralı zikreder, referans terimlerini açıklar ve devletlerin kuralı uygulamalarına ilişkin örnekleri sunar.
3. Üçüncü olarak, *Woomera El Kitabı* zengin dipnotları ile kuralların ve yorumların ifadesini destekleyen otoritelere yapılan atıflar yoluyla, gelecekte normların yorumuna ilişkin tartışmalarda yol gösterecek, mevcut hukukçuların ve uzmanların şimdiki görüşlerini yansıtacak ve gerekçelendirecek detayları, yorumları, sıklıkla gözden kaçan ya da duyulmamış örnekleri, resmi ifadelerle ve gizlenmiş belgelerle destekleyen atıfları içermektedir.

Woomera, askeri amaçlarla kullanımları halinde üçüncü taraf sivil uydularının meşru askeri hedefler olabileceği sonucuna varır. Bu devam edecek etkiler ve uzayın sürdürülebilirliği bakımından çok önemli bir tartışmanın parçasıdır. Zira askeri hedefe saldırı, orantılılık ve saldırıda alınacak önlemler gibi temel silahlı çatışmalar hukuku kavramları, Dünya'dan çok farklı bir fiziksel ortamda, farklı bir dizi pratik husus içerebilecek olmasına rağmen, olası uzay savaşları için geçerlidir. Bu durum, kinetik sonuçların ve etkinin fiziksel olarak sınırlandırılmadığı bir alanda, 'meşru' hedef alınan uyduların ve diğer uzay nesnelerinin, saatte 15.000 mile kadar hızlarda yörüngede kalmaya devam edebileceğine ve önemli miktarda uzay çöpu oluşturacağına ve temizlenene ya da atmosferde elimine edilene kadar, yörüngedeki her varlık için yıkım yaratabileceğini göstermektedir. Bu halde etkileri sınırlanamayan bir saldırı, meşru müdafaa başlığı altında dahi, orantılı kabul edilebilecek midir?

Woomera, önlem alma yükümlülüğü altında, düşman uydularını etkisiz hale getirmek için uygun araç ve yöntemlerin seçilmesinin, diğer uzay kullanıcılarının bu tür hedef almanın sonuçlarından gereksiz yere etkilenmemesini sağlamak için önemli olacağı sonucuna varır. Aslında kinetik saldırı dışında bir düşman uydusunu etkili bir şekilde etkisiz hale getirmenin birçok yolu vardır ve bunlar *Woomera El Kitabı* kapsamında tartışılmaktadır.

Woomera El Kitabı bakımından dile getirilebilecek önemli tespitler:

- Atfedilebilirliğe ilişkin olarak daha dar bir çerçeve benimsemesidir. Özellikle 1967 OST, özel kuruluşların eylemlerinin, karasal ortamda normal Devlet sorumluluk ilkeleri altında uygulananlardan önemli ölçüde daha geniş koşullar altında bir Devlete atfedilebileceğini öngörmektedir.
- Bu durum özellikle sayısı hızla artan özel aktörlerin eylemlerinin, 1949 Cenevre Sözleşmeleri'nin Ortak 2. Maddesi temelinde bir Devleti silahlı çatışmaya sürükleyebileceği tartışması merkezinde, ilkenin bu kadar geniş olarak yorumlanmaması gerektiği sonucuna ulaşmıştır.

III. İNCE KIRMIZI ÇİZGİLER: BULGULAR VE TARTIŞMALAR

1990-1991’de gerçekleşen Körfez Savaşı bilinen ilk uzay savaşı’dır. Bu dönemde jus in bello uygulaması, kara, deniz ve hava sahası alanlarında silahlı kuvvet kullanımı da dahil olmak üzere askeri operasyonları desteklemek için uzay varlıklarının (günümüze kadar insan kullanılmadan) kullanımına odaklanmaktadır.

- Tallinn 2.0 El Kitabı ile birlikte, daha bütünsel uluslararası el kitapları ortaya çıkmaya başlamış ve silahlı çatışma ya da savaş el kitaplarının yeni nesli olarak sınıflandırılabilir bir dönem ortaya çıkmıştır. Bir başka ifade ile askeri/güvenlik alanındaki, barış zamanlarında ve silahlı çatışmalar ile sınırlı olmadan, askeri operasyonlara ilişkin hukuki soruları ve sorunları ele alan bir el kitabı kategorisi oluşmuştur. Gerek Milamos gerek Woomera El Kitapları bu anlamda, uzay hukuku ile kuvvet kullanımını düzenleyen hukuk ve uluslararası insancıl hukuk arasındaki etkileşimler konusunda netlik eksikliğini bertaraf etmeyi amaçlayan süreçler olarak tamamlanmıştır.
- Uluslararası hareketlerin hukukuna ilişkin el kitaplarının, mevcut milletlerarası hukuk ve ilgili teamül hukuku kuralları ile normatif uyumu sağlamadaki rolünü dikkate alarak, bağlayıcı olmayan bir hukuki mimari vurgulanmakla birlikte, *Milamos* ve *Woomera El Kitaplarının* oluşum süreçleri, süregelen ve oluşabilecek temel hukuki problem ve tartışmaları doğru şekilde ele alabilmektedir. Bu noktada, mutabakat usulünün, bir diğer ifade ile kuralın oluşumunun *consensus* yolu ile belirlenmesi, ileride bu kuralların kabulü açısından önemlidir.
- Woomera sürecini, Milamos’tan ayıran ve Woomera uzmanlarının Milamos’u eleştirdiği nokta, uzmanların *de lege ferenda*’ya (*olması gereken hukuka*) çok fazla odaklanmış olmasıdır; buna karşılık Woomera El Kitabı, *lex lata*’nın - bir diğer ifade ile Viyana Anlaşmalar Hukuku Sözleşmesi ve devlet uygulamalarının, *opinio juris*’e göre oluşmuş uluslararası teamül hukuku uyarınca yorumlanan antlaşmalar hukukunun- yansıması olmasıdır.
- Uzayda çatışmayı düzenlemeyi amaçlayan el kitapları, kaçınılmaz olarak, gelişen yeni teknolojilerin zorlukları ile savaş ve çatışmanın değişen doğasına yanıt vermede, popüler bir seçim haline gelmiştir. El kitabı geliştirmenin sistematığı özellikler şunlardır:
 1. (Genellikle) uluslararası insancıl hukuk akademisyenleri ve askeri uzmanlar çevresi çekirdek kadroyu oluşturur ve teknik uzmanlarla aralarında bir araştırma süreci oluşturulur;
 2. El kitaplarında önerilen kurallar üzerinde fikir birliğine varma ve bu kurallara ilişkin yorumlarda farklı görüşlerin yelpazesinin doğru bir şekilde yansıtılması amacıyla, taslak hazırlama süreci sırasında, kurumsallaşmış tartışma ortamının oluşturulması sağlanır;
 3. Askeri devlet aktörlerinin eğitimi ve uygulaması üzerinde etki yoluyla etki yaratma açık amacı (devlet uygulaması üzerindeki etki) taşınır; ve
 4. Formüle edilmiş kuralların, yerel askeri el kitaplarında potansiyel kullanımı (devlet uygulaması ve *opinio iuris* üzerindeki etki) sağlanmaya çalışılır.
- Bu amaçlara, geniş ve kapsayıcı bir taslak hazırlama süreci ve/veya devletler ile özellikle askeri personele eğitim kursları verenlerin yakın işbirliği yoluyla ulaşılır.
- Gerek Milamos gerek Woomera süreçlerinde, Amerika Birleşik Devletleri’nin baskın hareket dili gözlemlenmektedir. Bu anlamda, normatif şekillenmede, ABD Savunma Bakanlığı el kitaplarının ve çatışma uygulamalarının, özellikle hedef alma bakımından, yansımaları olduğu düşünülmektedir. Bu anlamda, devlet davranışlarına meşruiyet kazandıracak zeminin, el kitabı yoluyla kurallaştırılmasının söz konusu olduğu söylenebilecektir. Bu anlamda, meşru hedefe saldırı ve orantılılık ilkeleri uygulamaları ile ayrı bir *lex specialis* olan uzay hukukunun temel kaygıları ile uyumsuz sonuçlara imkan veren *consensus*, uzayın sürüdürülebilirliği ve barışçıl kullanımı ilkeleri bakımından endişe vericidir.
- Woomera El Kitabı, Kural 31 altında, “saldırıyı”, “askeri bir uzay hareketini içerecek şekilde askeri hareket bağlamında bir “saldırı”, silahlı çatışma esnasında, hasma yöneltilecek bir şiddet eylemi (...)” olarak tanımlamaktadır. [10] Bununla birlikte el kitabı, uzay silahları tanımlı yapmamıştır. Araç temelli yaklaşımla, silahlı kuvvetler tarafından kullanılan ve onlara ait olan araçlar, kinetik olmayan silahları da içerecek şekilde anlaşılmaktadır. Bu anlamda siber unsurlar, “etki temelli” yaklaşımla, ölüm, yaralanma, tahrip ve hasar yarattığı ölçüde silah olarak kabul edilmektedir [11].
- El Kitabı’ndaki en önemli tartışmalardan biri sinyal karıştırma başlığı altında görülmektedir. Woomera El Kitabı, uzayda siber operasyonlar ve bunların hukuki önemi konusunda büyüyen fikir birliğini dikkatlice dile getirir. Devletler tarafından yayınlanan, fiziksel hasara yol açmayan ancak yine de işlev kaybına neden olan eylemlerin siber bağlamda bir kuvvet kullanımı veya saldırı olarak değerlendirilebileceği yönündeki çeşitli görüşleri değerlendirir. Ancak, uyduların elektromanyetik olarak karıştırılmasının bir kuvvet kullanımı veya saldırı olarak değerlendirilmesinin muhtemel olmadığı sonucuna varır.
-

IV. SONUÇLAR

MILAMOS ve Woomera El Kitapları'nın oluşumu ile sonuçlanan süreç, 2016 yılında başlamıştır. Sonrasında kapsamın yönetimi açısından daha uygun olduğu düşünülerek; McGill Üniversitesi, barış zamanında ve barışa meydan okuyan dönemlerde, yükselen kriz zamanında uygulanabilir milletlerarası hukuk kurallarını düzenleyen MILAMOS Projesi'ni; Adelaide Üniversitesi, silahlı çatışma dönemlerini düzenleyen Woomera Projesi'ni yürütmüşlerdir.

Bir diğer önemli konu, el kitaplarının lex specialis yorumları ve genel uzay hukuku ile kesiştiği nokta ile ilgili birçok zorlayıcı soruların ortaya çıkmış olmasıdır: Silahlı çatışmaların yürütülmesine ilişkin ilkelerin, özellikle hedef alma ilkelerinin silahlı çatışma zamanında uzaya uygulandığı yönünde Woomera akademisyenlerinin pozisyon almasıdır. Bu durum Avrupa ve ABD genelinde ifade edildiği haliyle, Devletlerin çoğunluk görüşünü yansıtmaktadır ve Uluslararası Adalet Divanı'nın içtihatlarıyla (1994 Legality of the Threat or Use of Nuclear Weapons Advisory Opinion) da tutarlıdır.

Günümüzde bu tür el kitaplarının yalnızca çatışma hukuku ile sınırlı kalmadığı akılda tutulmalıdır. Önemli bir diğer husus, her iki el kitabının yeni bir hukuk yaratma gayesiyle hareket etmemesidir, mevcut hukuku somutlaştırma, özellikle Woomera El Kitabı de lege lata'yı belirterek hukuki belirlilik ve kesinlik sağlamak amacı taşımaktadır.

TEŞEKKÜR

Konferansın gerçekleştirilmesinde emeği geçen tüm hukukçuların ve mühendislerin, Düzce Üniversitesi akademisyenlerinin yardımları için teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- [1] The McGill Manual on International Law Applicable to Military Uses of Outer Space, Çevrimiçi: <https://www.mcgill.ca/milamos/>.
- [2] The Woomera Manual on the International Law of Military Space Operations, Çevrimiçi: <https://law.adelaide.edu.au/woomera/>.
- [3] *The Manual on the Laws of War on Land [1880 Oxford Manual]*, adopted by the Institut de Droit International at Oxford, on September 9, 1880 ((1881–1882), D.Schindler and J.Toman, *The Laws of Armed Conflicts*, Martinus Nijhoff Publisher, 1988, pp.36-48. Çevrimiçi: <https://ihl-databases.icrc.org/en/ihl-treaties/oxford-manual-1880>
- [4] *San Remo Manual on International Law Applicable to Armed Conflicts at Sea*, SAN REMO MANUAL, by International Institute of Humanitarian Law, L. Doswald-Beck (Ed.), Cambridge University Press; 1995:1-4.
- [5] The MILAMOS Project, Resmi web sayfası, <https://www.mcgill.ca/milamos/>
- [6] The Woomera Project, Resmi web sayfası, <https://law.adelaide.edu.au/woomera/>
- [7] J. Tallis, Remediating Space Debris: Legal and Technical Barriers, *Strategic Studies Quarterly*, 9, 2015, 86-99.
- [8] M. Bertamini, Of Old Wisdoms and New Challenges, Comments on Volume I of the MILAMOS Project, *Völkerrechts Blog*, 18.08.2022. Çevrimiçi: <https://voelkerrechtsblog.org/of-old-wisdoms-and-new-challenges/>
- [9] D. A. Koplow, In the Woomera Manual, International Law Meets Military Space Activities, *Just Security*, September 12, 2024. Çevrimiçi: <https://www.justsecurity.org/100043/woomera-manual-international-law-military-space/>
- [10] The Woomera Manual, Rule 31 – Attack: *An 'attack', in the context of a military operation, including a military space operation, in the course of armed conflict, is an act of violence against the adversary [...]*.
- [11] Defining Space Warfare and Space Weapons, *International Perspectives on Space Weapons*, CSIS, 1 Mayıs 2020, 3-4 , Çevrimiçi: <https://www.jstor.org/stable/resrep24829.5>