

ALÇAK YÖRÜNGE UYDULARI ÜZERİNDEN  
**HABERLEŞME HİZMETLERİNİN**  
**SUNUMU**

ARALIK 2022

# İÇİNDEKİLER

<b>1. ÖNSÖZ</b> .....	<b>5</b>
<b>2. GİRİŞ</b> .....	<b>6</b>
<b>3. UYDU HABERLEŞME HİZMETLERİ</b> .....	<b>7</b>
3.1. Uydu Haberleşme Hizmetlerinin Tarihçesi ve Dünyada Genel Durum .....	7
3.2. Uydu Haberleşme Sistemi Mimarisi .....	8
3.2.1. Yer bileşenleri.....	9
3.2.2. Uzay Bileşenleri.....	10
3.2.3. Uydu Haberleşmesinde Kullanılan Frekanslar .....	12
3.2.4. Uydu Haberleşmesinin Klasik Sistemlere Göre Avantajları.....	14
3.3. Kullanım Alanlarına Göre Uydular .....	14
3.3.1. Haberleşme Uyduları .....	14
3.3.2. Navigasyon (Konum Belirleme) Uyduları.....	15
3.3.3. Meteorolojik Gözlem Uyduları .....	16
3.3.4. Askeri Uydular .....	17
3.3.5. Araştırma Uyduları.....	17
3.3.6. Tarım Alanında Kullanılan Uydular.....	18
3.3.7. Uzaktan ve Çevresel Algılamada Kullanılan Uydular.....	18
3.4. Yörünge Türlerine Göre Uydu Sistemleri .....	18
3.4.1. Sabit Yörünge Uyduları (Geostationary Orbit-GEO).....	19
3.4.2. Orta Yörünge uyduları (Medium Earth Orbit -MEO).....	20
3.4.3. Alçak Yörünge Uyduları (Low Earth Orbit -LEO).....	21
3.4.4. Yüksek Eliptik Yörünge Uyduları (Highly Elliptical Orbit -HEO) .....	21
3.4.5. Dünya Genelinde Uyduların Dağılımı .....	21
<b>4. ALÇAK YÖRÜNGE UYDULARI</b> .....	<b>23</b>
4.1. Alçak Yörünge Uydu Sistemlerinin Özellikleri, Diğer Uydu Sistemlerinden Farklılıkları.....	23
4.1.1. Alçak Yörünge Uydularının Avantajları ve Dezavantajları .....	25

4.2. Uydudan İnternet Hizmet Arzını Etkileyen Faktörler .....	27
4.2.1. Yakın Dönemde Alçak Yörünge Uydu Sistemleri .....	27
4.2.2. LEO Uyduları ve Nesnelerin İnterneti İlişkisi .....	29
4.2.3. LEO Uyduları ve Mobil Hizmetler Arasındaki İlişki .....	30
4.3. Alçak Yörünge Uydu Projeleri .....	31
4.3.1. Starlink .....	31
4.3.2. Oneweb .....	34
4.3.3. Iridium Next .....	35
4.3.4. Leosat .....	36
4.3.5. Telesat .....	37
4.3.6. Kuiper .....	37
<b>5. UYDU SİSTEMLERİ (ÖZELLİKLE ALÇAK YÖRÜNGE SİSTEMLERİ) HAKKINDA ULUSLARARASI VE ULUSAL DÜZENLEMELER .....</b>	<b>38</b>
5.1. ITU .....	38
5.2. CEPT .....	40
5.3. ETSI .....	40
<b>6. SONUÇ .....</b>	<b>42</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>44</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Uydu Haberleşme Sistem Mimarisi.....	9
Şekil 2: Uydu Haberleşmesi .....	10
Şekil 3: GPS Uydularının Yörüngedeki Durumları.....	16
Şekil 4: Meteorolojik Amaçlı Uydular .....	17
Şekil 5: Yörüngelere Göre Uydular .....	19
Şekil 6: Sabit Yörünge Uyduları.....	20
Şekil 7: Alçak Yörünge Uyduları.....	21
Şekil 8: Ülkelerin Uydu Sahipliği .....	22
Şekil 9: Şirketlerin Uydu Sahipliği.....	22
Şekil 10: Alçak Yörünge Uyduları.....	23
Şekil 11: Tipik LEO Uydu Yörüngesi .....	24
Şekil 12: LEO Uyduların Yer İz Düşümleri.....	24
Şekil 13: Yıllara göre uzaya gönderme maliyetleri.....	28
Şekil 14: IoT İçin Uydu Bağlantısının Planlı Kullanımı .....	30
Şekil 15: Starlink Çalışma Şekli .....	32
Şekil 16: Starlink Kullanılabilirlik Haritası (Ekim 2022).....	33
Şekil 17: Iridium Next uydusu.....	35
Şekil 18: LEOsat uydusu .....	36

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1: Uydu Haberleşme Frekans Bandları .....	13
Tablo 2: Uydu Tipleri ve Özellikleri .....	22

# 1. ÖNSÖZ

Dünya’da internete erişim talebinin artması ile birlikte nüfusun yoğun olduğu yerlerde çok daha hızlı bağlantılar için çok yüksek frekanslarda kapsama sağlayabilen 5G ve ötesindeki mobil teknolojilerin geliştirilmesi yarışı sürmektedir. Ancak gelinen noktada merkezden uzak endüstriyel bölgelerde veya altyapının henüz sağlanmadığı yeni yerleşim alanlarında yüksek hızlı bağlantı talebinin artması, mümkün olduğunca kapsanmayan yer bırakmamak için yeni teknolojilerin arayışını hızlandırmaktadır. Bu tür alanlara kablolu sistemlerle ulaşma maliyetinin yüksekliği, belirli bir zaman alması ve mobil hizmetlerin ilk etapta yoğun nüfuslu alanlara yönelmesi yeni iş modellerini gündeme getirmektedir.

Bu raporumuzda detaylı olarak incelediğimiz “Alçak Yörünge Uyduları” üzerinden haberleşme hizmetleri, yüksek hızlı internete her yerden bağlanma ihtiyacının karşılanabilmesi için ortaya çıkmış olup son yıllarda yapılan yatırımlarla gündemde önemli bir yer tutmaktadır. Bu konudaki gelişmeler, uzaya gitme konusunda özel şirketlerin son zamanlarda girdiği rekabetin, bu alandaki tecrübe ve teknolojilerin kullanılarak haberleşme maksatlı projelerin ortaya çıkması ile de hız kazanmıştır. Daha önceki dönemlerde uydu sistemleri üzerinden mobil telefon hizmeti (GMPCS), dağlık alanlar veya herhangi bir sebeple kapsama alanlarının çok dışında bulunanlar için dünya ile bağlanma imkânı vermişse de hizmetin kullanıcılara maliyeti ve kısıtlı hizmet seçenekleri dar bir kullanıcı grubuna hitap edebilmesine yol açmıştır. Dünyanın herhangi bir noktasında kolayca ve makul bir fiyatla internete bağlanma fikri, mobil veya fiber altyapılar dışında internet altyapılarına yatırım yapmak isteyen ve bu hizmeti küresel ölçekte pazarlama niyetinde olan şirketleri uzaya yatırım yapmaya teşvik etmektedir.

Alçak yörünge uyduları hakkındaki raporumuzun, sektörümüzde bu konuya ilgi duyanların yanında teknolojiye meraklı olan herkes için yararlı olması temennisiyle raporumuzu kamuoyunun bilgilerine sunuyorum.

**Ömer Abdullah KARAGÖZOĞLU**

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Başkanı

## 2. GİRİŞ

Dünya atmosferi dışına çeşitli amaçlarla gönderilen cihazlar olan 'yapay' uydular, günümüzün önemli haberleşme altyapılarından biri haline gelmiştir. Uydu teknolojisi, insanlığın uzaya olan ilgisi ve bu konudaki çalışmalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

Günümüzde, TV ve radyo yayınlarının iletimi, internet, veri gönderimi, telefon, konum belirleme, askeri güvenlik, çevre koruma, arkeoloji, tarım, meteoroloji gibi birçok alanda yoğun şekilde yararlanılan uyduların yörüngedeki toplam sayısı 5.500 civarındadır. Bu uyduların yaklaşık %60'ı ABD menşeli olarak uzaya gönderilmiştir.<sup>1</sup>

Çoğunlukla enerjisini üzerinde bulunan paneller vasıtası ile güneşten temin eden uydular, belirli bir süre sonra enerji sistemlerinin yeterince çalışmaması, sürüklenme, radyasyon gibi sebeplerle teknik ömürlerini tamamlayarak ya dünya atmosferine ya da uygun bir 'uzay çöplüğü' yörüngesine yönlendirilmektedir.

Ülkemizde uydu hizmeti konusunda çalışmalar 1968'de Intelsat'a üye olunması ile başlamıştır. İlk uydu yer istasyonumuz AKA-1 1979 yılında hizmete başlarken, teknik arıza nedeni ile yörüngeye yerleştirilemeyen Türksat 1A'nın yerine atılan ve uzaydaki ilk uydumuz olan Türksat 1B, 1994-2006 yılları arasında başarıyla hizmet vermiştir. 1B gibi, daha sonra yörüngeye yerleştirilen 1C ve 2A uydularının da teknik ömrü tamamlanmış olup günümüzde ülkemize ait 5 adet Türksat haberleşme uydusu ve 3 adet gözlem uydusu (Göktürk-1, Göktürk-2 ve RASAT) aktif olarak çalışmaktadır.<sup>2</sup>

TV-radyo yayınlarının iletimi dışında, haberleşme maksatlı uydu hizmetleri yakın zamana kadar sınırlı kurumsal bir kullanıcı grubuna hitap ederken, genişbant internetin yaygınlaşması neticesinde kablolu veya kablosuz olarak sürekli bağlantılı kalma talebi, alçak yörünge uyduları üzerinden bireysel kullanıcıların da hizmet alabilmesini gündeme getirmiştir. Özellikle düşük yoğunluklu nüfusa sahip, sabit veya mobil hizmetlerin gelişmediği görece kırsal bölgelerde, mobil internet imkanlarının sınırlı olduğu veya elde edilen hızların düşük kaldığı alanlarda söz konusu uydular üzerinden internet sağlanabilmesi bir anlamda tamamlayıcı altyapı olabilirken, uydunun mobil hizmetlerle entegre bir şekilde çalışması da iş modellerinden biri olabilmektedir.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UCS Satellite Database <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>

<sup>2</sup> Türksat Uydu Tarihçesi <https://uydu.turksat.com.tr/tr/hakkimizda/uydu-tarihcesi>, Türksat Uydu Filosu <https://uydu.turksat.com.tr/tr/uydu-filosu>, Türksat Ömrünü Tamamlamış Uydular <https://www.turksat.com.tr/tr/uydu/turksat-uydu/omrunu-tamamlamis-uydular>, Türkiye'nin 8. Uydusu Uzayda <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/turkiyenin-8inci-uydusu-uzayda/2451461>, Türkiye'nin Haberleşme ve Gözlem Uyduları <https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/content/turkiyenin-haberlesme-ve-gozlem-uydulari>

<sup>3</sup> T-Mobile and SpaceX Starlink Say Your 5G Phone Will Connect To Satellites Next Year <https://www.theverge.com/2022/8/25/23320722/spacex-starlink-t-mobile-satellite-internet-mobile-messaging>, Elon Musk's SpaceX And T-Mobile To Link Satellites To Mobile Phones, 'Eliminating Dead Zones Worldwide' <https://www.businessinsider.com/elon-musk-spacex-t-mobile-starlink-satellites-mobile-cell-phones-2022-8>



## 3. UYDU HABERLEŞME HİZMETLERİ

### 3.1. Uydu Haberleşme Hizmetlerinin Tarihçesi ve Dünyada Genel Durum

Uydu haberleşme hizmetleri son dönemde bazı özel projelerin de etkisiyle oldukça popülerleşmiş olsa da aslında yıllardır kullanılan bir bağlantı çeşididir. Uydu ile iletimin son 25 yıldaki kullanımı genellikle denizcilik ve lojistik alanlarda olmuş ve en çok sabit yörünge uyduları (GEO – Geostationary Orbit) kullanılmıştır. Bu uydular üzerinden genişbant hizmeti de mümkündür ancak mesafenin uzak olması sebebiyle maliyetlerin oldukça yüksek olması ve uyduların diziliminden kaynaklı kapsama düzensizliği nedeni ile tercih edilmemektedir.

1950'lerde hızlanan uzaya araç ve insan gönderme yarışı uydu hizmetlerinin de başlangıcını oluşturmuştur. Başını Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve eski Sovyetler Birliği'nin çektiği dünya atmosferinin dışına yani uzaya araç, cihaz ve insan gönderme yarışında ilk olarak Sovyetler Birliği tarafından Sputnik-1 1957 yılında yörüngeye fırlatılırken, ABD 1958'de ilk haberleşme uydusu olan SCORE'u uzaya göndermiştir. Böylelikle o zaman için dar bir seçenek havuzuna sahip haberleşme teknolojileri için önemli bir adım atılmıştır. Uyduların TV yayınlarının iletimi için kullanımı 1964 Tokyo Olimpiyatları ile başlarken, bu yayın ilk senkron uydu olan Syncom (1963) ile başarılmıştır. Bu ilk girişimlerin ardından uyduların devletlerin ortak girişimi olarak imali ve fırlatılması yaygınlaşmış ve 14 ülkenin katılımı ile 1964'de INTELSAT (International Telecommunications Satellite Organization) kurulmuştur.<sup>4</sup>

Uyduların dünyanın geniş bir alanını görebilmesi, dünya üzerinde noktalar arasında veri iletişimi için kullanılabilmesini sağlarken, gün geçtikçe kullanım alanı ve buna bağlı olarak da uzaya fırlatılan uydu sayısı artmıştır.

1990'larda ve 2000'lerin başlarında ilk LEO (Low Earth Orbit – alçak yörünge uydusu) uydu internet mega takımyıldızları fikri ortaya atılmıştır. Ancak bu yıllarda birçok şirket, uydu takımyıldızlarını finanse etmek için yeterli yatırımcı bulamamıştır. Genişbant başta olmak üzere uydudan sağlanacak hizmetlere olan talebin henüz olgunluğa erişmediği bir dönem olduğundan birçok şirket, yüz milyonlarca dolarlık geliştirme yatırımlarını da hibe ederek uydu üretimi faaliyetlerinden çekilmiştir.

Bu girişimlerden biri 1997 yılında ABD merkezli Motorola şirketinin, küresel, düşük gecikmeli genişbant internet hizmetleri sunmayı amaçlayan 63 operasyonel uydudan oluşan Celestri takımyıldızıdır. Ancak 1998'de Motorola, başka bir takımyıldızı projesi olan Teledesic'e yatırım yapmak için bu projeden vazgeçmiştir. Teledesic, Bill Gates de dahil birçok yatırımcıdan aldığı destek sonrasında oldukça popülerlik kazanmış bir proje olsa da 2002 yılında o da çalışmalarına son vermiştir.<sup>5</sup> O yıllarda mega takımyıldızları oluşturmanın maliyetleri oldukça yüksek ve talep de sınırlı olduğundan mega takımyıldızı endüstrisi o yıllarda çok fazla talep görmemiş ve aralarında Iridium ve Globalstar'ın da bulunduğu birçok şirket bu süreçte iflas etmiştir.<sup>6</sup>

2008 yılında özel bir şirket olan SpaceX, geliştirilen ilk sıvı yakıtlı roket olan Falcon 1'i dünya yörüngesine başarıyla fırlatmayı başarmıştır. Bu sayede uzay etkinlikleri sadece devlet eliyle yürütülme, özel sektörün

<sup>4</sup> JO, Kenneth Y., Artech House. Satellite Communications: Network Design and Analysis

<sup>5</sup> Bill Gates Has Not Forgotten Teledesic – Might We See Another Broadband LEO Constellation? <https://circleid.com/posts/20200917-bill-gates-has-not-forgotten-teledesic/>

<sup>6</sup> Mckinsey, Large LEO Satellite Constellations: Will It Be Different This Time? <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/large-leo-satellite-constellations-will-it-be-different-this-time>

finansman sağladığı bir alana doğru evrilmiş, bir geçiş dönemi yaşandığı görülmüştür. Bu sayede devletlerin özel sektör ortaklarından yararlanarak kendi kaynak harcamalarını azaltması mümkün olmuştur.<sup>7</sup>

Yakın geçmişe bakıldığında ise 2014'ten bu yana SpaceX ve OneWeb'in LEO'da mega takımyıldızlar oluşturma niyetlerini açıklamaları uydu iletişim pazarı için yeni dönemin kapısını aralamıştır. Özellikle her iki şirketin de FCC (ABD Federal İletişim Komisyonu) den onay almış olmaları ve perakende şirketi Amazon'un da sisteme ortak olarak hem uydu terminali hem de yer istasyonu altyapı seviyelerinde bulunması pazardaki gelişimi hızlandırmıştır.

1957'de Sputnik-1'in fırlatılışından beri uzaya 11 bin civarında uydu gönderildiği tahmin edilmekle birlikte LEO uydularındaki hızlı gelişimle önümüzdeki yıllarda bu sayının 70 bine çıkabileceği öngörülmektedir. Bu artış teknolojik gelişim için olumlu bulunsa da yoğun uydu trafiğinin uzayda oluşturacağı riskleri artırmaktadır. Bu nedenle, uydu fırlatmaları, uzay trafiği ve kontrolü için bir otorite olması gerektiği savunulmaktadır.<sup>8</sup>

### 3.2. Uydu Haberleşme Sistemi Mimarisi

Günümüz dünyasında sivil ve askeri haberleşmede sıklıkla kullanılan uydu haberleşme sistemleri, iletişim alanında daha hızlı, yüksek kapasiteli ve aynı zamanda da düşük maliyetli sistemler geliştirme amacıyla ortaya çıkmıştır.

Uydu haberleşme sistemleri, bir uydudan, uydunun yörüngesini, uzaydaki konumunu ve çalışmasını denetleyen bir yeryüzü istasyonundan ve uydu üzerindeki transponder (alma frekansını gönderme frekansına çevirici) aracılığı ile gerçekleştirilen ve haberleşme trafiğinin gönderilmesini (uplink) ve alınmasını (downlink) sağlayan yer terminalleri ağından oluşan bir sistem şeklinde tanımlanabilmektedir.<sup>9</sup> Uydular kendi arasında link ile haberleşebilir veya farklı yörüngedeki uydular ile haberleşme yapabilir. Uydu Haberleşme Sistemleri, haberleşme uyduları ile ilişkili yer istasyonlarından oluşmaktadır.

Haberleşme uyduları, ana olarak radyo dalgalarını Dünya üzerindeki bir yerden diğerine sinyal iletmek için kullanılmaktadır. Bu uydular bir yer istasyonundan (bir uydu çanağından) kendilerine gönderilen sinyalleri yakalayarak, sinyallerin gitmeleri gereken yere ulaşması için yeterli güce sahip olmaları adına yükseltir (bazen değiştirebilir) ve sonra bu sinyalleri başka bir yerdeki bir yer istasyonuna geri sektirmektedir. Bu sinyaller, telefon görüşmeleri, internet verileri, radyo ve TV yayınları gibi radyo sinyallerinin yeryüzünde taşımaktadır. Özetle, haberleşme uyduları gelen sinyalleri doğru bir şekilde algılayıp, bu sinyalleri geri göndererek frekansın dönüştürülmesini sağlamaktadır. Ayrıca haberleşme uyduları, düz hatlar halinde yayılan radyo dalgalarının geoit şeklindeki Dünya'nın çevresini dolanmasını sağlayarak, kıtalararası sinyal gönderme sorununu çözmektedir. Bu uydular sıradan kablolu veya kablosuz iletişimin ulaşamadığı uzak alanlarda iletişim kurmak için de kullanışlı olmakla birlikte, her türlü fiziksel altyapı ihtiyacından bağımsız olarak anında iletişim kurabilmektedir.<sup>10</sup>

Uydu haberleşme sistemi; yer bileşeni ve uzay bileşeni olmak üzere iki ana bölümden oluşmakta olup Şekil 1'de uydu haberleşme sistemi mimarisi gösterilmektedir.<sup>11</sup>

7 The Satellite Broadband Industry Is Moving at Hyperspeed <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/future-of-satellite-internet.html>

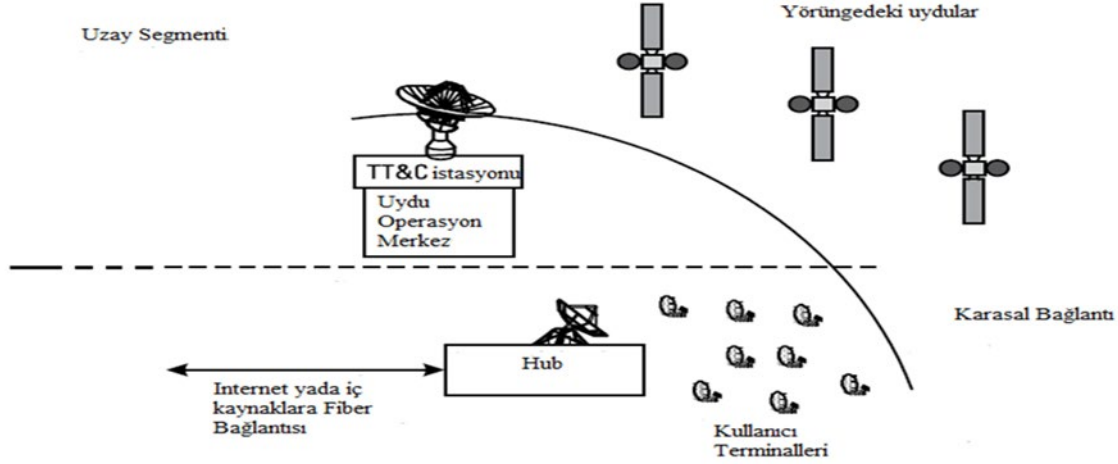
8 The Global Risks Report 2022, World Economic Forum

9 Aselsan Dergisi Sayı: 62 Temmuz 2001

10 Uydu Nedir? <https://tua.gov.tr/tr/blog/havacilik-ve-teknoloji/uydu-nedir>

11 Bilgin, T. (2020). Yeni Nesil Uydular Üzerinden Haberleşme Hizmeti Verilmesine Yönelik Düzenleyici Öneriler.(BTK Uzmanlık Tezi).





Şekil 1: Uydu Haberleşme Sistem Mimarisi<sup>12</sup>

### 3.2.1. Yer bileşenleri

Yer istasyonları; anten modülü, anten modülüne bağlı uydudan gelen pilot işaretini algılayan arama modülü, alma ve gönderme modüllerinden oluşmaktadır. Ayrıca bu istasyonlarda, karasal haberleşme şebekesiyle bağlantıyı sağlayan altyapı ve sistem izleme, kontrol ve planlama modülleri de bulunmaktadır. Bu sayede uydu haberleşme sistemindeki tüm parametreler (güç, uydunun yörüngesi, yer terminalleri parametreleri, vb.) izlenerek ve kontrol edilerek, gerekli planlamalar uygulanmaktadır.<sup>13</sup>

Yer istasyonunun görevi uydulara giden ve uydulardan dönen trafik sinyallerini gönderme ve alma işlevlerini gerçekleştirmek olup; aynı zamanda ağlara ya da doğrudan kullanıcı terminallerine ara yüz sağlamaktadır.<sup>14</sup>

Yer bileşenlerini yönetmek için çeşitli terminal tasarımları ve ağ yapılanmaları kullanılmakta olup, yer istasyonlarındaki yer terminalleri; sabit (yerinde) terminaller, taşınabilir terminaller ve mobil terminaller olmak üzere üç temel türden oluşmaktadır. Sabit terminaller, yerde sabit iken uyduya erişmek için tasarlanmıştır. Farklı türde hizmetler sağlarken, temel olarak uydu ile iletişim kurarken hareket etmemeleri ile tanımlanmaktadır. Sabit terminale örnek olarak, evlere ve uzak iş yerlerine veri iletişim uygulamaları sağlayan VSAT'lar verilebilmektedir. Taşınabilir terminaller, hareketli olacak şekilde tasarlanmıştır, ancak uyduya aktarımlar sırasında sabit kalmaktadırlar. Taşınabilir terminale konumlara hareket eden, yerinde duran ve ardından uyduya bağlantılar kurmak için bir anten yerleştiren uydu yoluyla haber toplayan (SGN) kamyonlarıdır. Mobil terminaller, hareket halindeyken uydu ile iletişim kurmak için tasarlanmıştır. Bu terminaller ayrıca dünya yüzeyindeki veya yakınındaki konumlarına bağlı olarak kara mobil, havacılık mobil veya deniz mobil olarak da tanımlanabilmektedirler.<sup>15</sup>

12 Bilgin, T. (2020). Yeni Nesil Uydular Üzerinden Haberleşme Hizmeti Verilmesine Yönelik Düzenleyici Öneriler. (BTK Uzmanlık Tezi).

13 Aydın, Ö., 2006. Uydu Haberleşme Sistemleri ve Savunmada Kullanımı. (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi).

14 Bilgin, T. (2020). Yeni Nesil Uydular Üzerinden Haberleşme Hizmeti Verilmesine Yönelik Düzenleyici Öneriler. (BTK Uzmanlık Tezi).

15 Sattelite Communications Digital Notes [https://mrcet.com/downloads/digital\\_notes/ECE/IV%20Year/SATELLITE%20COMMUNICATIONS.pdf](https://mrcet.com/downloads/digital_notes/ECE/IV%20Year/SATELLITE%20COMMUNICATIONS.pdf)

### 3.2.2. Uzay Bileşenleri

Uzay bileşenleri, yörüngedeki uyduyu (veya uyduları) ve yörüngedeki uydunun/uyduların operasyonel kontrolünü sağlayan yer tesislerini içermektedir. Yer tesisleri, İzleme, Telemetri, Komut (TT&C) ya da Telemetri, Komuta ve İzleme İstasyonu (TTC&M) işlevleri ve lojistik destek verirken; uydunun yörüngede güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için temel uzay aracı yönetimi ve kontrol işlevlerini sağlamaktadır.<sup>16</sup>

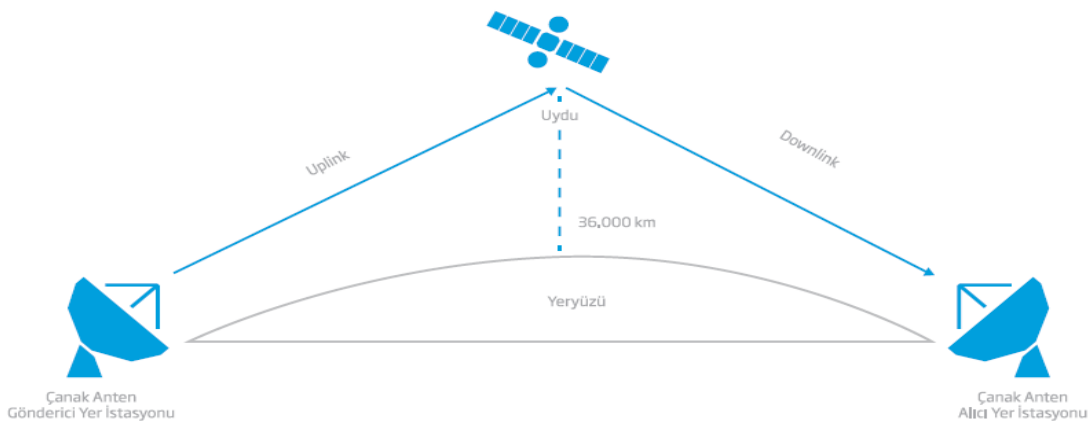
#### 3.2.2.1. Uydu

Uydunun temel olarak iki bölümü bulunmaktadır;

- Yük (Payload), haberleşme sinyali için transponder işlevini yerine getiren antenler, alıcılar ve vericiler yer almaktadır.
- Yol (Link) ise, durum denetimi, sıcaklık denetimi, komut ve telemetrik sistemleri içermektedir. Temel olarak link, yük çalışması için destek (uydu bakım ve onarımı) görevlerini yerine getirmektedir.<sup>17</sup>

Uyduya, uzaya gönderildikten sonra ekvatorun üzerinde ve yeryüzüne göre değişmeyen belli bir yükseklikte, yörüngesel bir konum ya da bölme (uydu pozisyonu) tahsis edilmektedir. Bu bölmeler, yanları 0,1 derece ile 0,2 derece arasında olan ve birbirlerinden 3 derece ya da 4 derece mesafede konumlandırılırlar. Uzay tarafından uygulanan kuvvetler nedeniyle, uydunun senkron (yer yüzüne göre durağan) yörüngesinden çıkmasını engellemek amacıyla yerdeki kontrol merkezi yörünge kontrol sinyalleri ile uyduyu kendisine tahsis edilen bölgede tutulması sağlanmaktadır. Bu durumu gerçekleştirmek için de uyduda bulunan ve püskürtme maddesi olarak genel dehidrazin (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) içeren idare roketleri kullanılmaktadır.<sup>18</sup>

Haberleşme uyduları, ekvatordan yaklaşık 36 bin km yükseklikte görev yapan uydular olmakla beraber; gönderici (verici/uplink) ve alıcı (downlink) 36 bin-38 bin km mesafeden yapılmaktadır. Şekil 2'de uydu haberleşmesi genel yapısı verilmiştir.<sup>19</sup>



Şekil 2: Uydu Haberleşmesi<sup>20</sup>

<sup>16</sup> Satellite Communications Digital Notes [https://mrcet.com/downloads/digital\\_notes/ECE/IV%20Year/SATELLITE%20COMMUNICATIONS.pdf](https://mrcet.com/downloads/digital_notes/ECE/IV%20Year/SATELLITE%20COMMUNICATIONS.pdf)

<sup>17</sup> Topcu M., (2017). Türkiye Uydu Haberleşme Sistemlerindeki Gelişmeler ve Gps Uygulamaları. (Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi).

<sup>18</sup> Topcu M., (2017). Türkiye Uydu Haberleşme Sistemlerindeki Gelişmeler ve Gps Uygulamaları. (Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi).

<sup>19</sup> Türksat, Uydu Haberleşmesi 101 <https://uydu.turksat.com.tr/sites/default/files/2021-09/TURKSAT-UYDUHABERLESMESI-101.pdf>

<sup>20</sup> Türksat, Uydu Haberleşmesi 101 <https://uydu.turksat.com.tr/sites/default/files/2021-09/TURKSAT-UYDUHABERLESMESI-101.pdf>

Uydular yapı bakımından ise üç bölüme ayrılmaktadır:

Birinci bölüm; hizmet bölümü denilen ve uyduyu yörüngede tutan, hareketlerini düzenleyen, dengeleyen kimyasal ve elektriksel tepki motorlarını, hareket sistemini, yakıtı ve aküleri barındıran bölümdür.

İkinci bölümde uydunun ana görevini yerine getiren transponderler, bilgisayarlar vb. tüm haberleşme donanımı yer almaktadır.

Üçüncü bölüm ise güneş levhaları ve tüm antenlerin bulunduğu dış kısımdır.<sup>21</sup>

Uydunun tasarımı, haberleşmenin niteliği ile doğrudan ilgilidir. Dünya üzerinde bir yörüngede bulunan uydunun alıcı ve verici antenlerinin, Dünya üzerinde istenen bir noktaya yönlendirilebilmesi için antenlerin her zaman Dünya'ya dönük olması gerekmektedir, aksi halde haberleşmenin sürekliliği sağlanamamaktadır.<sup>22</sup>

Uydu, yörüngede iken yerçekimi farklılığı, dünyanın manyetik alanı, güneş enerjisi gibi birçok dış etkene maruz kalmaktadır. Bu dış etkenlerin yanı sıra uydu dengelenmemiş iç hareketleri gibi birtakım değişik kuvvetin de etkisindedir. Bu etkenler uydunun istenen yörüngede kalmasını önlerken, bu kuvvetlerin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak ve dolayısıyla uyduyu kararlı bir durumda tutmak için, uyduyu kendi eksenini etrafında döndürmek gerekmektedir. Böylece uydunun, yüksek açısal momentumu bulunan bir denge çarkı gibi davranması sağlanmaktadır. Antenlerin her zaman dünyaya dönük tutulması için antenler ve tüm haberleşme donanımı uydunun dönme hızıyla aynı hızda, ancak dönme yönünün tersinde dönen düşük ataletli bir platform üzerine oturtulmuştur. Uydunun bu şekilde kararlı tutulmasına "Çift Dönme" yöntemi denilmektedir. Uydu kontrolü, dünya yüzeyine göre sabit bir nokta üzerinde dolanan bir haberleşme uydusunun haberleşme işlevleri, yörünge ve durumun tam bir denetimini gerektirmektedir. Bu durum denetimi, antenleri yöneltmek için de yapılmalıdır.<sup>23</sup>

Ayrıca uydunun çeşitli telekomünikasyon alt sistemleri de bulunmaktadır. Bu telekomünikasyon ekipmanları transponderlardan (aktarıcılardan) oluşmakla birlikte, farklı transponder türleri de bulunmaktadır. Bunlar, şeffaf transponderlar ve yerleşik işlemci (OBP) transponderlardır. Şeffaf transponderlar; en yaygın olarak kullanılanlardır ve dünyadan alınan iletişim sinyali güçlendirilerek (amplifikasyon) ve frekans çevirisinden sonra dünyaya yeniden iletilmektedir. OBP transponderlar ise sinyali uydudan yer istasyonuna yeniden aktarmadan önce dijital sinyal işleme, rejenerasyon ve temel bant sinyal işleme gibi ilave fonksiyonlar sağlamaktadır.<sup>24</sup>

### 3.2.2.2. İzleme, Telemetri ve Komut

Telemetri, İzleme, Komut (TTCM) alt sistemleri hem uydu hem de yer istasyonunda mevcuttur. Genel olarak, uydu sensörler aracılığıyla veri almakta ve böylece uyduda bulunan TTCM sistemi ile bu veriler yer istasyonlarına gönderilmektedir. Bu nedenle, herhangi bir iletişim uydusunun başarılı bir şekilde işletilmesi için TTCM alt sistemi çalışması gerekmektedir. Uyduyu uygun yörüngeye oturduktan sonra ömrü boyunca kontrol etmek uydu işletmecisinin sorumluluğunda olmakla birlikte, bu kontrol TTCM alt sisteminin yardımıyla yapılmaktadır.

21 Topcu M., (2017). Türkiye Uydu Haberleşme Sistemlerindeki Gelişmeler ve Gps Uygulamaları. (Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi).

22 Topcu M., (2017). Türkiye Uydu Haberleşme Sistemlerindeki Gelişmeler ve Gps Uygulamaları. (Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi).

23 Aselsan Dergisi Sayı: 62 Temmuz 2001

24 John Wiley & Sons, (2002). Handbook on Satellite Communications, ITU, USA

Bu TTCM alt sistemini üç parçaya ayrılmaktadır.

- Telemetri Alt Sistemi
- İzleme Alt Sistemi
- Komut Alt Sistemi

#### Telemetri:

Temel olarak, Telemetri'de aşağıdaki işlemler gerçekleşir;

- Elektrik sinyalinin üretilmesi,
- Elektrik sinyalinin kodlanması,
- Kodun uzak bir mesafeye iletmesidir.

Uyduda bulunan telemetri alt sistemi esas olarak sensörlerden veri almak ve bu verileri bir yer istasyonuna iletmek şeklindeki iki işlevi yerine getirmektedir. Telemetri alt sistemi uzaktan kumandalı bir sistemdir ve izleme verilerini uydudan yer istasyonuna gönderir. Genel olarak telemetri sinyalleri irtifa, çevre ve uydu ile ilgili bilgileri taşımaktadır.

#### İzleme:

İzleme alt sistemi, uydunun konumunu ve mevcut yörüngesini bilmek için kullanılmaktadır. İzleme alt sistemi bir yer istasyonunda da bulunmakta olup, esas olarak uydunun menziline ve bakış açlarına odaklanmaktadır.

Bir yer istasyonunda bulunan izleme alt sistemi ise fırlatma aracının son aşamasından sonraki uydunun takibini sürdürmektedir. Bu sistem, uydunun yörüngedeki yerini belirleme ve yörüngeye aktarma gibi işlevlerini de yerine getirmektedir.

#### Komut:

Uydunun bir yörüngeye fırlatılabilmesi ve o yörüngede çalışabilmesi için komuta alt sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alt sistem, uydunun yüksekliğini ve yörüngesini, bu değerlerde bir sapma olduğunda ayarlamaktadır. Aynı zamanda iletişimi de kontrol etmektedir.

Genel olarak, bu alt sistemde kontrol kodları komut kelimelerine dönüştürülmektedir. İlk olarak, komut kelimelerinin geçerliliği uyduda kontrol edilir ve daha sonra bu komut sözcükleri yer istasyonuna geri gönderilmektedir. Yer istasyonunda bu komut kelimeleri bir kez daha kontrol edilmekte ve yer istasyonu da aynı (doğru) komut kelimesini alırsa, uyduya bir yürütme talimatı göndermektedir. İşlevsellik açısından, telemetri alt sistemi ve komut alt sistemi birbirine zıt olarak çalışmaktadır. Telemetri, uydunun bilgilerini yer istasyonuna iletirken, Komut alt sistemi yer istasyonundan komut sinyalleri almaktadır.<sup>25</sup>

### **3.2.3. Uydu Haberleşmesinde Kullanılan Frekanslar**

Uydular için ilgilenilen frekans bantları 100 MHz'nin üzerinde bulunmakta olup; spektrumun 0,1 ila 100 MHz arası yayın servislerine ayrılmıştır. Bu 100 MHz'in üzerindeki frekans bantları, çok yüksek frekans, ultra yüksek

<sup>25</sup> Satellite Communication - TTCM Subsystem [https://www.tutorialspoint.com/satellite\\_communication/satellite\\_communication\\_ttc\\_m\\_subsystem.htm](https://www.tutorialspoint.com/satellite_communication/satellite_communication_ttc_m_subsystem.htm)

frekans ve süper yüksek frekans bantları şeklinde alt dallara ayrılmıştır. Süper yüksek frekans bantları da alt bantlara bölünerek; C, X, Ku, Ka, V, L, Ka, S, Q bantları olarak adlandırılmışlardır (Tablo 1). Uydu haberleşme sistemlerinde genellikle 4 ana frekans bandı kullanılmakta olup, bunlar sırasıyla C-bandı, X-bandı, Ku-bandı ve Ka-bandıdır.<sup>26</sup>

Tablo 1: Uydu Haberleşme Frekans Bantları<sup>27</sup>

Telekomünikasyon Hizmeti	Tipik Frekans Bandı	Terminoloji
Sabit Uydu Hizmetleri	4-8 GHz	C Band
	8-12 GHz	X Band
	12-18 GHz	Ku Band
	26-40 GHz	Ka Band
	30-50 GHz	Q Band
	50-75 GHz	V Band
	60-90 GHz	E Band
Mobil Uydu Hizmetleri (MSS)	1 - 2 GHz	L Band
	26-40 GHz	Ka Band
Yayın Uydu Hizmetleri (BSS)	2 - 4 GHz	S Band
	12 GHz	Ku Band

Frekanslar yükseldikçe hem teknolojik girdiler ve güvenlik artmakta; hem de frekans bandı genişlemektedir. Bu yüzden yüksek frekanslar gürültü ve bozulmalara karşı daha hassas olmalarına rağmen, genişbant ihtiyacı endüstriyi daha yüksek frekans ve frekans bantlarını kullanan teknolojileri geliştirmeye mecbur bırakmaktadır.<sup>28</sup>

<sup>26</sup> Elbert Bruce R., (2014). The Satellite Communication Ground Segment and Earth Station Handbook, Artech house, USA.

<sup>27</sup> Bilgin, T. (2020). Yeni Nesil Uydular Üzerinden Haberleşme Hizmeti Verilmesine Yönelik Düzenleyici Öneriler.(BTK Uzmanlık Tezi).

<sup>28</sup> Aydın, Ö., (2006). Uydu Haberleşme Sistemleri ve Savunmada Kullanımı. (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi).

### 3.2.4. Uyduların Haberleşmesinin Klasik Sistemlere Göre Avantajları

Uydular aracılığıyla bir bilginin birçok noktaya birden dağıtılması diğer seçenekler olan fiber kablo, bakır kablo veya telsiz istasyonlarına göre daha çok verimli bir yoldur.

Noktadan noktaya veya tek noktadan çok noktaya erişimli olarak tanımlanabilen uyduların kablolu ve kablosuz diğer hatlara göre başlıca avantajları şunlardır:

- Uyduların uzunluğu, karasal bağlantılardakinin aksine servis maliyetini etkilememektedir.
- Kablo hatlarının fiziksel olarak erişemeyecekleri yerlere uydularla servis sağlanabilmektedir.
- Kablo ile erişim maliyetinin sınırlayıcı olduğu durumlarda uydular devreye girebilmektedir.
- Gemi, uçak gibi araçlara uydular mobil terminalleriyle diğer kullanıcıların sahip olduğu seviyede hizmet verilebilmektedir.
- Uydular her bir transponderda geniş kanal kapasiteleri sunabilmektedir.
- Uyduların haberleşme sistemleri süratle istenilen bölgede tesis edilebilme imkanına sahip olduğundan, arzu edilen esneklik özelliğine sahip olabilmektedir.
- Uyduların haberleşme sistemleri, uydular terminali uzay kesimi ile irtibatı ince bir hüzmeye üzerinden sağladığı için kestirilmesi ve dolayısıyla istasyon yer tespiti çok zordur. Özellikle askerî açıdan bu durum büyük bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca X bant ile askerî sistemlerde emniyeti daha da artırılmıştır. Dolayısıyla uyduların haberleşme sistemi, emniyet özelliği yönünden diğer sistemlere göre üstündür.
- Uyduların haberleşme sistemleri ortam kirliliğinden azami etkilenir ve dolayısıyla temiz bir gönderme ortamına sahiptir. Bu durum güvenilirlik açısından da diğer sistemlere göre bir avantaj sağlamaktadır.<sup>29</sup>

### 3.3. Kullanım Alanlarına Göre Uydular

Hızla gelişen dünyamızda uyduların hizmetleri de pek çok alanda kullanılmaktadır. Kullanıldığı alanlara göre uyduların hizmetleri sınıflandırılmaktadır.

#### 3.3.1. Haberleşme Uyduları

Radyo, TV, telefon vs. iletişim araçları için gönderilmiş uydulardır. İyonosfer katmanının yüksek frekanslı radyo ve televizyon dalgalarını yansıtması sebebiyle bu dalgalar, yapay haberleşme uyduları aracılığıyla uzaklara iletilmektedir. Haberleşme uyduları, yerden aldıkları sinyalleri yansıtarak veya güçlendirerek yeniden dünyaya gönderirler. Bu uydular karasal iletişim ağının yetişemediği coğrafi bölgeler ile hareketli hava ve deniz araçlarıyla iletişim kurulmasını sağlamaktadır.

Haberleşme uyduları üçe ayrılır:<sup>30</sup>

29 Aydın, Ö., (2006). Uyduların Haberleşme Sistemleri ve Savunmada Kullanımı. (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi).

30 Uğurlu, H. (2015). Uyduların İletişimi ve TÜRKSAT haberleşme uydularının sistemi (Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi).



## 1. Düşük güçlü uydular:

Genellikle telekomünikasyon amacıyla kullanılan bu uyduların kanal çıkış gücü 5 ila 10 watt arasında değişmektedir. Yüz ölçümünün %42,4'üne yayın ulaştırılabilmektedir.

## 2. Orta güçlü uydular:

Kanal başına çıkış güçleri 40 W olan orta güçlü uydular, KU bandındaki uygulamalar için kullanılmaya başlanmıştır. Bu uydular bölgesel ve uluslararası uydu sistemleri kullanılmaktadır.

## 3. Doğrudan yayın uyduları:

Doğrudan yayın uyduları yeryüzündeki yayın merkezinden gönderilen yayınları alıp belirli bir bölgeye aktarmaktadır. Yansıtılan yayın doğrudan evlerden alınabilmektedir. DBS sistemi, televizyon yayınlarının yanı sıra teletext, yüksek kaliteli ses ve diğer hizmetler için de elverişlidir. Yer yayın istasyonlarına göre düşük maliyetlidir. Ayrıca yayın alanları içinde karanlık ve parazitli bölge bulunmamaktadır.

1957 yılında SPUTNIK-I'in fırlatılması ile hem haberleşmedeki kolaylık hem de ekonomik kazanç uydu haberleşmesini cazip hale getirmiştir. 1965'te, COMSAT firması ilk uydusu olan EARLYBIRD'ü ABD'deki GEO yörüngeye fırlatmasıyla küresel uydu haberleşme çağı da başlamıştır. Uydunun Avrupa'da yer istasyonları kurulması ile birlikte 1964'te global uydu servisi verilmesi amacıyla en büyük ve en kapsamlı uydu organizasyonu olan INTELSAT (Uluslararası Haberleşme Uyduları Organizasyonu) adında yeni bir organizasyon kurulmuştur. Ülkemizin 1968 yılında dahil olduğu bu organizasyon bugün 52 haberleşme uydusundan oluşan bir filo işletmektedir.<sup>31</sup>

Türkiye'nin ilk uydusu olan Türksat 1B, 1994 - 2006 yılları arasında başarıyla hizmet vermiştir. Şu anda ise ülkemizin Türksat 3A, 4A, 4B, 5A ve 5B olmak üzere 5 tane haberleşme uydusu bulunmaktadır. Türksat 6A uydusunun da 2023 yılında fırlatılması planlanmaktadır.<sup>32</sup>

### 3.3.2. Navigasyon (Konum Belirleme) Uyduları

Küresel konum belirleme sistemleri, gelen sinyaller aracılığıyla konum tespitini sağlayan uydulardır. Bu uydu sistemleri kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu, hedef bulma, insansız uçaklar gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Uydularla konum belirleme sistemleri ile yeryüzündeki herhangi bir yerin koordinatlarını gerçek zamanlı ve çok hassas olarak belirlemek mümkündür.

Uydularla konum belirlemede günümüzde ABD (GPS), Rusya (Glonass), Çin (Beidou) ve Avrupa Birliği'nin (Galileo) uydu sistemleri bulunmaktadır. Global Positioning System (GPS) 1973 yılında ABD Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilmiştir. Tasarlanan sistem, konumlanmanın yanı sıra çok duyarlı zaman ve hız belirleme olanağı sunmaktadır. Herhangi bir noktada her an uygun geometride en az dört uydunun görülebileceği şekilde planlanmış 24 uydu, sistemin uzay bölümünü oluşturmaktadır. Bu uydulardan çok düşük güçlü radyo sinyalleri yayılmaktadır. Yeryüzündeki GPS alıcısı ise, bu sinyalleri toplamaktadır.<sup>33</sup>

31 Türksat, Uydu Haberleşmesi 101 <https://uydu.turksat.com.tr/sites/default/files/2021-09/TURKSAT-UYDUHABERLESMESE-101.pdf>

32 Türksat Uydu Filosu <https://uydu.turksat.com.tr/tr/uydu-filosu>

33 Küresel Konum Belirleme Sistemi (Gps) ve Uygulaması [https://www.emo.org.tr/ekler/7de7eb570312f4c\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/7de7eb570312f4c_ek.pdf)

GLONASS, Rusya Federasyonu tarafından geliştirilmiş uydu konum belirleme sistemidir. GLONASS'ın ilk testleri 12 Ekim 1982'de başlanmıştır. 2006 yılında ulaşılabilir performans sadece 30 metre civarında iken daha sonra 10 metreye yükseltilmiştir. Günümüze kadar sistemde çeşitli iyileştirmeler yapılmıştır. Şu anda GLONASS ve GPS performansları çok benzerdir.<sup>34</sup>

Galileo, Avrupa'nın kendi küresel navigasyon uydu sistemidir ve sivil kontrol altında son derece hassas, garantili bir küresel konumlandırma hizmeti sağlar. İlk uydusu 2005 yılında gönderilmiştir. Şu anda başlangıç hizmetleri sağlayan Galileo; GPS ve Glonass, sistemleri ile birlikte çalışabilmektedir. Standart olarak çift frekanslar sunarak Galileo, metre aralığına kadar gerçek zamanlı konumlandırma doğruluğu sağlamaya ayarlanmıştır. Mevcut Galileo sistemi toplam 26 uydudan oluşmaktadır. Bunların ikisi hariç tümü, Dünya'dan 23.222 km yükseklikte ve yörünge düzlemlerinin ekvatora 56 derecelik bir eğiminde üç dairesel Orta Dünya Yörüngesi (MEO) düzleminde konumlandırılmıştır.<sup>35</sup>

BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi (BDS), kullanıcılara kesintisiz dünya çapında konumlama, navigasyon ve zamanlama hizmetleri sağlayan Çin'in uydu navigasyon sistemidir. Diğer navigasyon uydu sistemleri ile karşılaştırıldığında BDS, yüksek yörüngelerde daha fazla uydu çalıştırmaktadır. Ayrıca çoklu frekansların navigasyon sinyallerini sağlarken, birleşik çoklu frekans sinyallerini kullanarak hizmet doğruluğunu iyileştirebilmektedir. Navigasyon ve iletişim işlevini entegre eder; konumlandırma, navigasyon ve zamanlama, kısa mesaj iletişimi, uluslararası arama ve kurtarma, uydu tabanlı büyütme, yer büyütme ve hassas nokta konumlandırma vb. gibi çoklu hizmet yeteneklerine sahiptir (Şekil 3).<sup>36</sup>



Şekil 3: GPS Uydularının Yörüngedeki Durumları<sup>37</sup>

### 3.3.3. Meteorolojik Gözlem Uyduları

Dünyadaki meteorolojik olayları tespit edilmesini sağlayan uzaktan algılama sistemli uydulardır. Cisimler tarafından yansıtılan ve cisimlerin vücut sıcaklığına bağlı olarak yaydıkları elektromanyetik radyasyon, uydu üzerinde bulunan radyometreler ve radarlar tarafından kaydedilen veriler belirli aralıklarda yer istasyonlarına iletilmektedir. Okyanus dalga boyu, dalga yüksekliği, deniz yüzeyi rüzgâr hızı ve yönünün tespiti aktif

34 European Space Agency [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS\\_General\\_Introduction](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_General_Introduction)

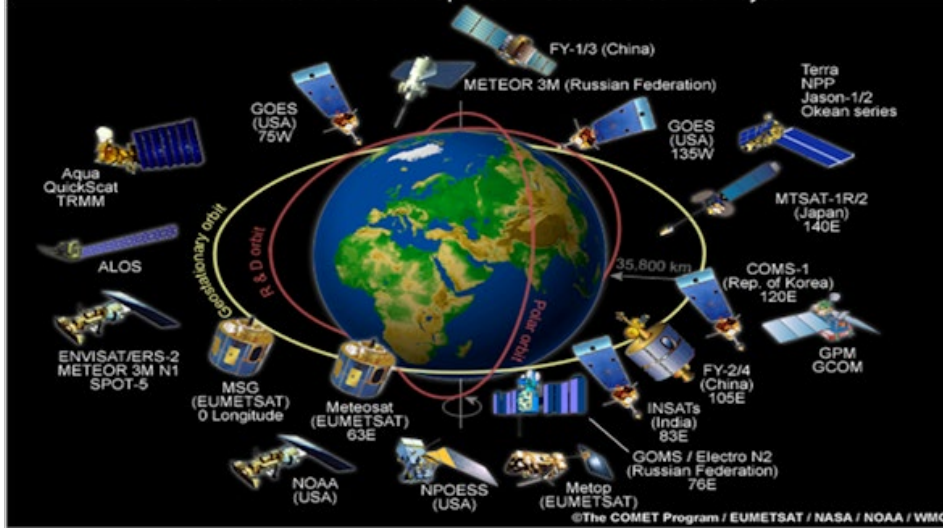
35 European Space Agency [https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What\\_is\\_Galileo](https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What_is_Galileo)

36 BeiDou Navigation Satellite System <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/>

37 Heybet, M., & Durukan, T (2018). Uydu Sektörünün Gelişimi ve Sınıflarının İncelenmesi. In International Congress of Business, Economics and Marketing (p. 128).

algılama ile yapılırken; bulutluluk, ozon miktarı ve konsantrasyonu, buzul alanlarının, atmosferik sıcaklık ve nem profillerinin, yağış miktarının tespiti, kara ve deniz yüzeyi sıcaklıklarının belirlenmesi pasif algılama ile yapılabilmektedir.<sup>38</sup>

1960 yılında ABD tarafından fırlatılan TRIOS-I uydusu ile başlayan meteorolojik uydular günümüzde de büyük bir öneme sahiptir (Şekil 4).<sup>39</sup>



Şekil 4: Meteorolojik Amaçlı Uydular

### 3.3.4. Askeri Uydular

Sputnik'in 1957'de fırlatılması ve soğuk savaşın da etkisi ile uydular teknolojileri hızla gelişmeye başlamıştır. Günümüzde uzaktan algılama ve sinyal işleme sistemlerinin de gelişmesi ile savunma sanayisinde de önemli gelişmeler olmaktadır.

Askeri uydular, haberleşme, casusluk, hava tahmin ve navigasyon gibi başlıklar altında incelenmektedir. Askeri haberleşme uydularının ana görevi cephe hattı ile komuta kontrol birimleri arasındaki iletişimin sağlanmasıdır. Casus uydular ise çeşitli algılama teknolojilerini kullanarak istihbarat toplamak amacıyla kullanılmaktadır. Silah sistemlerinin verimli kullanımı hava durumuna bağlı olduğundan hava tahmin uyduları önem arz etmektedir. Navigasyon uyduları ise hedef alma, kurtarma, rehberlik ve yönetim kolaylığı için kullanılmaktadır.<sup>40</sup>

### 3.3.5. Araştırma Uyduları

Ziraat, ormancılık, su kaynakları, topraktan yararlanma ve yeryüzü kaynaklarının araştırılmasında faydalanılmaktadır.

38 Heybet, M., & Durukan, T. (2018). Uydular Sektörünün Gelişimi ve Sınıflarının İncelenmesi. In International Congress of Business, Economics and Marketing (p. 128).

39 Satellite <https://www.metlink.org/resource/satellites/>

40 Arslan, E. (2009). Savunma Teknolojileri Kapsamında Uyduların Gelişimi ve Sınıflarının İncelenmesi. XI. Akademik Bilişim Konferansı, 11-13.

### 3.3.6. Tarım Alanında Kullanılan Uydular

Tarımsal ekonominin düzenlenmesi, toprağın verimli olarak kullanılması ve ürün rekoltesinin tahmin edilmesi gibi uygulamalar sonucunda üreticilerin tarım alanlarından azami derecede yararlanması sağlanmaktadır. Uzaktan algılama teknikleri ile uydu görüntülerinden faydalanılarak tarımsal pek çok uygulamada daha ekonomik çözümler, daha etkili ve hızlı sonuçlar sağlamaktadır. Bu uygulamalara örnek olarak;

- Ürün Tipini Ayırma
- Ürün Gelişimi İzleme
- Ürün Rekolte Tayini
- Ürün Hasar Tespiti (Hastalık, Böceklenme vb.)
- Toprak Nemi ve Türünü Belirleme ve Sınıflandırma
- Tarım Faaliyetleri Organizasyonu

verilebilir.<sup>41</sup>

### 3.3.7. Uzaktan ve Çevresel Algılamada Kullanılan Uydular

Ziraat, ormancılık, su kaynakları ve yeryüzü kaynaklarının araştırılması, deniz kirliliği, petrol atıklarının tespiti, yangınların izlenmesi, doğal afetlerin tespiti ve yaptıkları tahribatlar hakkında bilgi edinilmesi, su kirliliğinin ve buz dağlarının hareketlerini belirleme ve yerin gravitasyonel ve manyetik alanlarının incelenmesi gibi birçok alanda bu uydular kullanılmaktadır. Uzaktan algılamanın son yıllardaki hızlı gelişimine paralel olarak gezegen jeolojisi ve meteorolojisi bilimlerini de içine alan uzay bilimleri araştırmalarında çok önemli gelişmeler sağlanmıştır. Uzaktan algılamanın kullanıldığı diğer alanlar şunlardır:

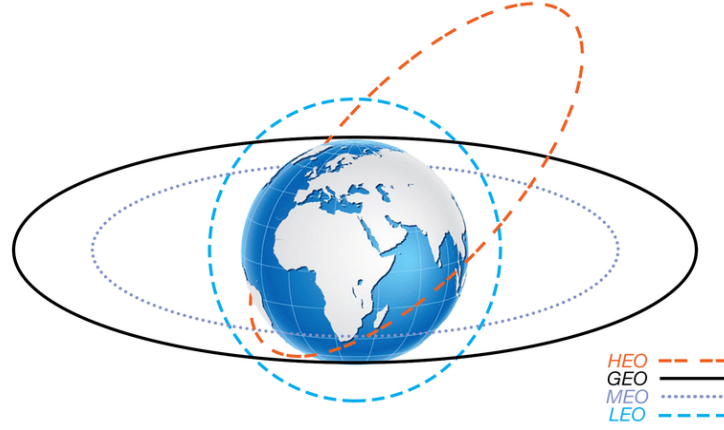
- Çeşitli Haritalama Uygulamaları
- Şehircilik ve Arazi Kullanım Uygulamaları
- Afet Yönetimi
- Gemi İzleme ve Navigasyon
- Balıkçılık
- İnterferometri
- Arkeoloji<sup>42</sup>

### 3.4. Yörünge Türlerine Göre Uydu Sistemleri

Bir uydu iletişim sistemi için yörünge seçimi, hizmet etmesi amaçlanan pazara ve sunulan iletişim türüne bağlıdır. Uydu yörüngeleri, Dünya'dan uzaklığa göre tanımlanmaktadır (Tablo 2). Bunlar; alçak yörünge uyduları (LEO), orta yörünge uyduları (MEO) ve sabit yörünge uyduları (GEO) ve yüksek eliptik yörünge (HEO) uydularıdır (Şekil 5).

41 Aydın, Ö. (2006). Uydu haberleşme sistemleri ve savunmada kullanımı (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi).

42 Aydın, Ö. (2006). Uydu haberleşme sistemleri ve savunmada kullanımı (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi).

Şekil 5: Yörüngelere Göre Uydular<sup>43</sup>Tablo 2: Uyduların Özellikleri ve Özellikleri<sup>44</sup>

Uyduların Tipi	Yeryüzüne Uzaklık	Dönme Periyodu	İletişim Süresi
LEO Uydusu	2.000 km' ye kadar	1,5-2 saat	5-20 dk
MEO Uydusu	2.500-19.000 km	5-12 saat	2-4 saat
GEO Uydusu	35.786 km	23 saat 56 dk 4 sn	Devamlı

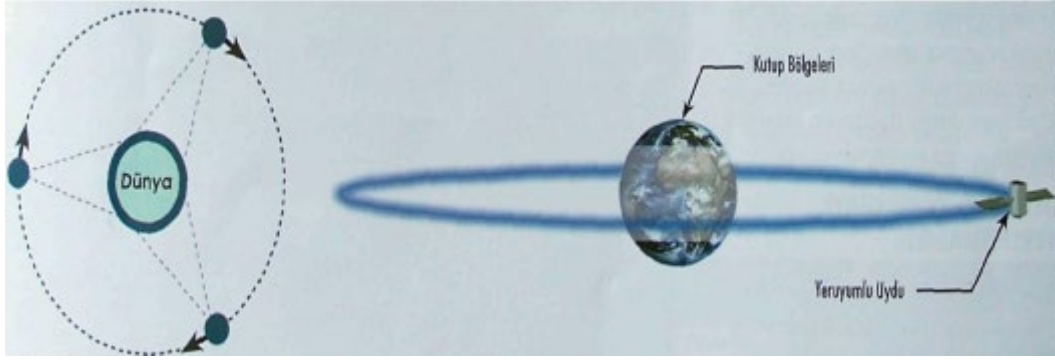
### 3.4.1. Sabit Yörünge Uyduları (Geostationary Orbit-GEO)

Haberleşme uyduları olarak bilinen sabit yörünge uyduları, yeryüzünden yaklaşık 36 bin km yükseklikte ekvator düzleminde olan uydulardır. Açısal hızı, dünyanın açısal hızına eşittir. Dolayısıyla yeryüzündeki bir gözlemciye göre sabit görünmektedir ve adını da buradan almaktadır. Bir uydunun kapsama alanı Dünya'nın 1/3'ü kadardır. Bu sebeple GEO uydular, kapsama alanlarındaki tüm yer istasyonlarıyla sürekli iletişim kurabilmektedir. Bu uydular, genellikle belirli bir bölgeye hizmet veren ses, veri ve video hizmetleri için tercih edilmektedir. ABD uzak mesafe şirketlerinin çoğu, telefon hizmeti için yedekleme kapasitesi sağlamak için coğrafi uyduları kullanmaktadır.<sup>45</sup> Sabit yörünge uydularının kapsama alanları şekilsel olarak Şekil 6'da gösterilmiştir.

43 Gaber, A., ElBahaay, M. A., Mohamed, A. M., Zaki, M. M., Abdo, A. S., & AbdelBaki, N. (2020). 5G and satellite network convergence: Survey for opportunities, challenges and enabler technologies. In 2020 2nd Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES) (pp. 366-373). IEEE.

44 Aydın, Ö. (2006). Uyduların haberleşme sistemleri ve savunmada kullanımı (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi).

45 Kenneth M. Peterson, Satellite Communications <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0122274105006736>



Şekil 6: Sabit Yörünge Uyduları<sup>46</sup>

Ayrıca sadece üç GEO uydusu ile dünyanın büyük çoğunluğu kapsanabilmektedir. Ancak 36 bin km gibi bir yükseklikte haberleşme amacıyla kullanıldığı için sinyaller yüksek gecikme ve yol kaybına uğramaktadır. Yüksek gecikme değerleri, gecikmeye duyarlı uygulamalar için GEO uydularını elverişsiz kılmaktadır. Ekvator düzleminde yatan Dünya'nın çevresinde olası yalnızca tek bir coğrafi yörünge vardır. Uydular, her 24 saatte bir yörüngeyi tamamlarlar. Bu, uydunun Dünya'daki bir noktaya göre sabit görünmesine neden olarak bir uydunun Dünya yüzeyindeki belirli bir alana sürekli kapsama sağlamasına izin verir.

GEO uydusunun basit yer istasyonu takibi, neredeyse sabit aralık ve çok küçük frekans kayması avantajları vardır. Güvenilirlikleri ve operasyonel öngörülebilirlikleri ile bilinen GEO sistemleri, tek bir uydunun fırlatılmasıyla servis operatörüne gelir sağlayabilme avantajına da sahiptir. Fakat 250 milisaniye düzeyinde iletişim gecikmesi, büyük boş alan kaybı ve kutup kapsama alanı olmaması ise dezavantaj oluşturmaktadır.<sup>47</sup> Gecikmeden kaynaklı olarak GEO sistemleri, TV hizmeti ve internet veri hizmetlerinde olduğu gibi zaman gecikmesinin sorun olmadığı durumlarda kullanılmaktadır.

### 3.4.2. Orta Yörünge uyduları (Medium Earth Orbit -MEO)

Orta yörünge uyduları, 2.500 ila 19.000 km yükseklikte yer alan uydulardır. Orta Yörünge Uyduları, Alçak Yörünge Uyduları (LEO) ile Sabit Yörünge Uyduları (GEO) arasındaki yörüngede faaliyet göstermektedir ve bu uydular GPS hizmetleri gibi yer-konum belirleme için kullanılmaktadır. LEO'lara kıyasla, daha yüksek irtifada tam kapsama alanı sağlamak için daha az uydusu gerektirir. GEO sistemleriyle karşılaştırıldığında ise MEO'lar daha küçük, mobil ekipmanlarla ve iletişim bağlantılarında daha az gecikme ile etkin bir şekilde çalışabilir.<sup>48</sup>

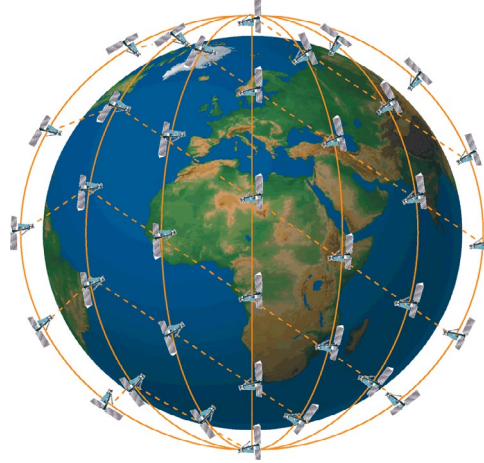
46 Aydın, Ö. (2006). Uydusu Haberleşme Sistemleri ve Savunmada Kullanımı (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi).

47 Aydın, Ö. (2006). Uydusu Haberleşme Sistemleri ve Savunmada Kullanımı (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi).

48 Kenneth M. Peterson, (2003). Satellite Communications, Academic Press.



### 3.4.3. Alçak Yörünge Uyduları (Low Earth Orbit -LEO)



Şekil 7: Alçak Yörünge Uyduları<sup>49</sup>

Alçak yörünge uyduları yeryüzünden 200-2.000 km yükseklikteki yörüngelerde bulunmakta olup küçük bir kapsama alanına sahiptirler (Şekil 7). Yörüngede kalabilmek için oldukça hızlı hareket etmektedirler. Bu nedenle kapsama alanları 10-15 dakika içinde değişim göstermektedir. Günümüzde özellikle internet haberleşmesi amacıyla en çok üzerinde çalışılan uydu türüdür. Her zaman ekvator boyunca yörüngede dönmesi gereken GEO uydularının aksine, LEO uydularının her zaman Dünya çevresinde aynı şekilde belirli bir yolu izlemesi gerekmez. Böylece daha fazla kullanılabilir rotaya sahip olmaktadırlar.<sup>50</sup> LEO'daki iletişim uyduları, sürekli kapsama sağlamak için genellikle birden fazla uydunun büyük bir kombinasyonunun veya takımyıldızının parçası olarak çalışmaktadır. Bazen aynı veya benzer uydulardan oluşan bunun gibi takımyıldızlar, kapsamı artırmak için Dünya çevresinde bir ağ oluşturmak maksatlı olarak birlikte fırlatılır. Bu, birlikte çalışarak Dünya'nın geniş alanlarını aynı anda kapsamalarını sağlar.<sup>51</sup>

LEO uyduları Raporun 4. Bölümünde detaylı olarak incelenmiştir.

### 3.4.4. Yüksek Eliptik Yörünge Uyduları (Highly Elliptical Orbit -HEO)

Eliptik bir yörüngede dolaşan yüksek eliptik yörünge uyduları (HEO), Dünya'ya uzaklıkları en fazla değişen uydulardır. Yörüngeden dolayı uyduların dünyaya göre hızları da değişmektedir. Diğer uyduların erişemediği kutup bölgelerinde etkilidir. Rusya gibi kutuplara yakın olan ülkeler bu uyduları kullanmaktadır. Çoğunlukla bölgede bulunan iş istasyonlarının iletişimi ve bilimsel çalışmalar için tercih edilmektedirler.<sup>52</sup>

### 3.4.5. Dünya Geneline Uyduların Dağılımı

"The Union of Concerned Scientists"ın yılda üç kez yenilenen veritabanı çalışmasına göre 1 Mayıs 2022 itibarıyla dünya yörüngesinde 5.465 uydu bulunmaktadır. Dünyada açık ara farkla en çok uyduya sahip olan ülke 3.433 uydula ABD'dir. Uydu dağılımı incelendiğinde en fazla iletişim ve uzaktan algılama

49 Sag, E., & Kavas, A. (2018). Modelling and Performance Analysis of 2.5 Gbps Inter-satellite Optical Wireless Communication (IsOWC) System in LEO Constellation. J. Commun., 13(10), 553-558.

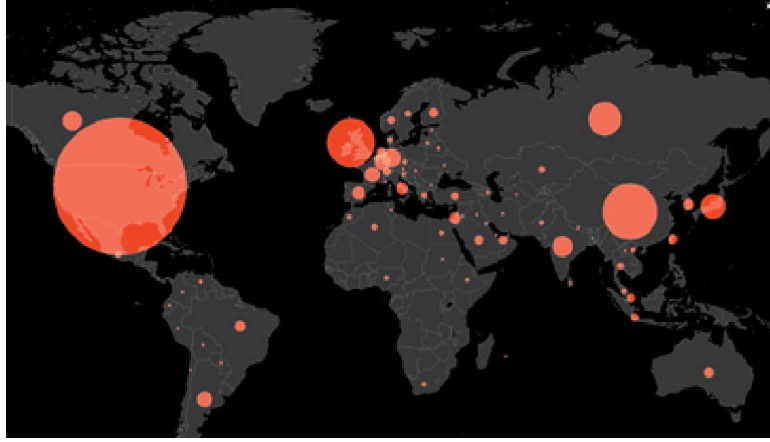
50 European Space Agency [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2020/03/Low\\_Earth\\_orbit](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/03/Low_Earth_orbit)

51 European Space Agency [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2020/03/Low\\_Earth\\_orbit](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/03/Low_Earth_orbit)

52 Türksat, Uydu Haberleşmesi 101 <https://uydu.turksat.com.tr/sites/default/files/2021-09/TURKSAT-UYDUHABERLESMESI-101.pdf>

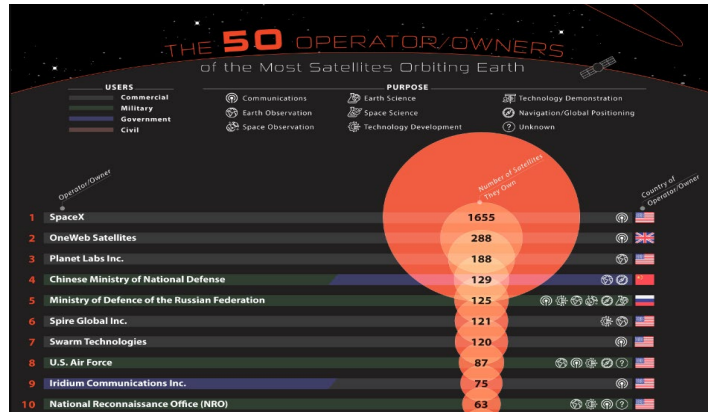
uydu sistemleri için yaygın olarak kullanılan uyduların olduğu alçak yörüngede (LEO) 4.700 adet uydu bulunmaktadır. SpaceX firmasının Starlink uydularının yanı sıra Dahili Uzay İstasyonu (Internal Space Station) ve Hubble Uzay Teleskobu (Hubble Space Telescope) da buradadır. GEO tipi uydular, telekomünikasyon ve Dünya gözlemi için kullanılan (565) ikinci en fazla uydu tipidir. MEO uyduları 140 adettir ve konum belirleme (navigasyon) sistemleri için kullanılmaktadır. HEO uyduları ise, iletişim, uydu radyosu, uzaktan algılama ve diğer uygulamalar için kullanılan 60 uyduya sahiptir. Bu yörünge, eliptik bir şekle sahip olması ve bir ucunun Dünya'ya diğerinden çok daha yakın olması nedeniyle diğerlerinden farklıdır (Şekil 8).<sup>53</sup>

Ülkemizin uzayda beşi haberleşme uydusu (Türksat 3A, 4A, 4B, 5A ve 5B) ve üçü gözlem uydusu (Rasat, Göktürk-1 ve Göktürk-2) olmak üzere 8 aktif uydusu bulunmaktadır. Türksat 6A'nın 2023 yılında uzaya gönderilmesi planlanmaktadır.<sup>54</sup>



Şekil 8: Ülkelerin Uydu Sahipliği<sup>55</sup>

Şirketler bazında bakıldığında SpaceX, Dünya yörüngesindeki çoğu uydunun sahibi ve işletmecisidir (Şekil 9). Uzay şirketinin 1.655 uydusu, yörüngedeki toplam uyduların üçte birinden fazlasını oluşturmaktadır. SpaceX'in kendi roketlerinde diğer şirketlerin uydularını da yörüngeye taşımaya başlamasıyla ticari uyduların sayısında artış yaşanması beklenmektedir.



Şekil 9: Şirketlerin Uydu Sahipliği<sup>56</sup>

53 UCS Satellite Database <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>

54 TÜBİTAK, Türkiye'nin Haberleşme ve Gözlem Uyduları <https://services.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf?jsessionid=DxAdJAzeWXJsaabP917F-9JN?dergiKodu=4&cilt=55&sayi=1124&sayfa=97&yaziid=46407>

55 All satellites in Earth orbit and to whom they belong <https://gollum.space/post/8802045-content>

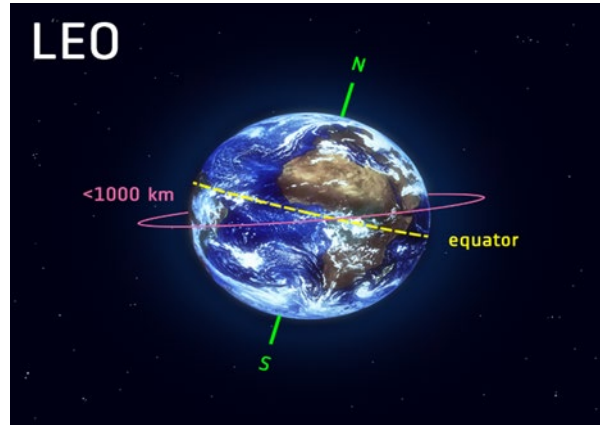
56 All satellites in Earth orbit and to whom they belong <https://gollum.space/post/8802045-content>

## 4. ALÇAK YÖRÜNGE UYDULARI

Dünya yüzeyine diğer uydu sistemlerine göre daha yakın (250- 2.000 km) çembersel veya eliptik bir yörüngede bulunan LEO uyduları yörüngedeki turlarını 90 -120 dakika arasında bir zamanda ve 25.000-28.000 km/saat'lik bir hızda tamamlamaktadır. Genel olarak veri aktarımı, internet bağlantısı, güvenlik, görüntü elde etme ve bunları yerdeki belirli noktalara iletme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Dünya üzerinde kapsayabildikleri bir noktadan geçişlerinin hızlı olması ve kapsama sürelerinin kısıtlılığı nedeni ile kapsamanın sürekliliği açısından aynı anda çoklu uydulara ihtiyaç duyulur. İnternete olan talebin artması ile bu uydu tipinin kesintisiz kapsama, diğer uydulara göre daha düşük gecikme (<50 milisaniye) ve 50 Mbps üzeri yüksek veri hızı sağlayabilmesi ilgiyi artırmıştır.<sup>57</sup>

### 4.1. Alçak Yörünge Uydu Sistemlerinin Özellikleri, Diğer Uydu Sistemlerinden Farklılıkları

Küçük kapsama alanına sahip olan bu uydu sistemi, yörüngede kalabilmek için oldukça hızlı hareket etmekte; bu sebeple kapsama alanları 10-15 dakika içinde değişim göstermektedir. Özellikle internet haberleşmesi amacıyla en çok üzerinde çalışılan uydu türü olan alçak yörüngeli uydu sistemleri, Dünya çevresinde aynı şekilde belirli bir yolu izlemesi gerekmediğinden; daha fazla kullanılabilir rotaya sahip olmaktadır (Şekil 10).<sup>58</sup>



Şekil 10: Alçak Yörünge Uyduları<sup>59</sup>

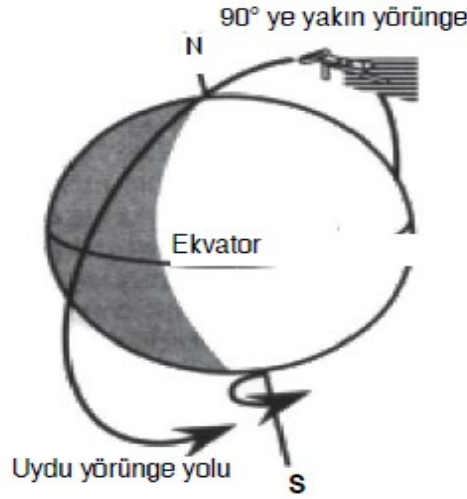
Bu uyduların çoğunluğu kutupsal yörüngede bulunmaktadır. Atmosferik şartlar, termosfer ile ekzosfer arasında yaklaşık 500 km yükseklikte LEO uydular için nispeten daha iyi olmakla birlikte; tipik olarak LEO yörüngesi, dünyanın atmosferi ile iç Van Allen kuşakları arasındaki bölge olarak da tanımlanabilmektedir. 300 km yüksekliğin altı genel olarak atmosferik sürtünmeye daha fazla maruz olduğu için LEO uydular genellikle 450-800 km bandı içinde bulunmaktadır (Şekil 11).<sup>60</sup>

57 Low Earth Orbit <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/low-earth-orbit>

58 Alçak Yörünge Optik Gözlem Uydu Sistemleri [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f_ek.pdf)

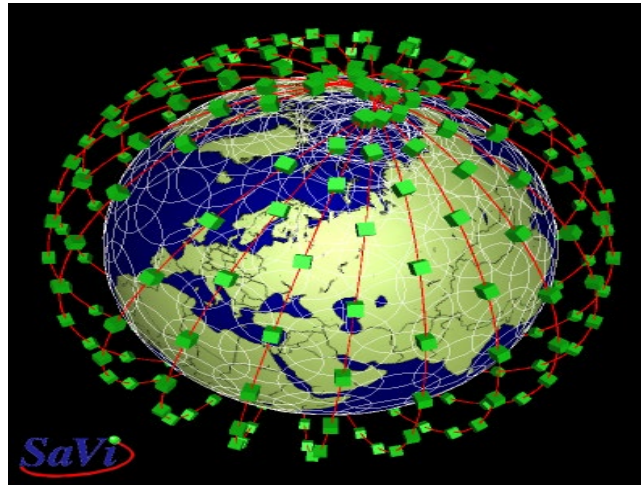
59 Alçak Yörünge Optik Gözlem Uydu Sistemleri [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f_ek.pdf)

60 Alçak Yörünge Optik Gözlem Uydu Sistemleri [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f_ek.pdf)



Şekil 11: Tipik LEO Uydu Yörüngesi<sup>61</sup>

Ekvatora yakın inclination (eğim) açısında yerleştirilen uydular tekrar ziyaret zamanı ve *delta-v* yani manevra düzeltmesi için gerekli manevra hızı açısından daha avantajlı olmaktadır. Ancak bu şekilde atılan uydular sadece ekvator bölgesi ve bu bölgenin belli bir enlem üstü ve altında çalışabilirler. Yüksek eğim açısına sahip kutupsal yörüngeye gönderilen LEO uydular ise bu yörüngede dünyayı bir ip yumağı gibi (Şekil 12) sarmaktadır. Alçak yörüngedeki bir uydunun kutupsal eğim açısı güneş eşzamanlı hareket, tekrar ziyaret zaman aralığının aynı periyotta olabilmesi ve yörünge düzeltme manevralarının optimum yapılabilmesi için genelde kutba göre 5-10 derecelik bir eğim açısında atılmaktadır.<sup>62</sup>



Şekil 12: LEO Uyduların Yer İz Düşümleri<sup>63</sup>

Alçak yörünge uyduları dünyanın çekim etkisinden dolayı dünyaya düşmemek için buldukları yörüngede çok hızlı dönmektedir. Kuzey-güney ya da güney- kuzey yönünde hareket eden bu tür uyduların hızları 25.000-28.000 km/saat civarında olmaktadır. LEO uyduları, Dünya üzerinde olan olayları uzaydan gözlemlemek, bir afet sonrası durumu incelemek, belli bir bölgeyi görüntülemek ve belli bir süre sonra tekrar görüntülemek

61 Alçak Yörünge Optik Gözlem Uydu Sistemleri [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f_ek.pdf)

62 Alçak Yörünge Optik Gözlem Uydu Sistemleri [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f_ek.pdf)

63 Alçak Yörünge Optik Gözlem Uydu Sistemleri [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f_ek.pdf)

ve değişim analizi yapmak, stereo görüntü çekim kabiliyeti olan uydular ile üç boyutlu uydu fotoğrafları çekmek ve bunlardan yer kabuğunun topoğrafik haritalarını oluşturmak, tarımda rekolte tahmini, ormanda amenajman planları, madencilikte maden araştırmaları, belediye imar planlarını oluşturmak gibi dünyamız üzerindeki çevresel olayların hemen hemen hepsiyle alakalı olarak yaklaşık son 20 yıl için sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

Yeni teknolojiler ve internet uygulamalarının yaygınlaşması ile bu hizmetler tüm insanlığa kolayca erişir durumda olmuştur. Bundan 15 sene öncesine kadar bir ülke üzerinde özellikle askeri bölgeler üzerinde yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafı almak neredeyse imkânsız iken bugün yere göre çözünürlüğü 41cm olan ve 680 km yükseklikte dünyayı turlayan bir optik uydu ile her yer görüntülenebilir olmuştur. LEO yörüngeden çekilen optik bir görüntü alanı yaklaşık 10-20 km'lik bir çerçevedir. Bu tür görüntüler aynı zamanda istihbarat amaçlı da kullanılmaktadır.<sup>64</sup>

LEO uydular kutupsal yörüngelerinde dönerken dünya üzerinde buldukları yörünge, uydunun sağa ve sola dönüş açıları, üzerlerindeki kamera ve optik, vb. ekipmanların kısıtlamalarına göre yaklaşık 500-1000km arasında bir şerit içinde hareket etmekte ve istenen yöne dönüp o bölgenin fotoğrafını çekebilmektedir. Bazı uydular sadece gittikleri yörünge boyunca fotoğraf çekip gönderirler ve uydu sistemi tamamen sabittir. Ya da bazı uydu sistemlerinde olduğu gibi uydu platformu sabit kamera sistemi hareketli olup kamera sistemi istenen pozisyona döndürülmektedir. Ancak çok yüksek çözünürlüklü optik uydu sistemlerinde uydu ve kamera yekpare bir sistem olup fotoğrafı alınacak alana uydunun tamamının dönmesi sağlanır. Çekilen optik görüntüler afetler hakkında bilgi alma, afet öncesi analiz yapma, rekolte tahmini, orman arazilerinin sınıflandırılması, tarım arazilerinin sınıflandırılması, şehir bölge planlamaları, madencilik, mobil baz istasyonu planlamaları, su seviyesi ve kirlilik analizleri, hava tahminleri, toprak sınıflandırması, askeri uygulamalar ve katma değerli ürünlerle hayatımıza girmiş birçok alanda kullanılmaktadır. Hepimizin bildiği Google Earth buna bir örnektir.<sup>65</sup>

#### 4.1.1. Alçak Yörünge Uydularının Avantajları ve Dezavantajları

İnternet artık tüm dünya ülkeleri için stratejik bir yatırım alanı haline gelmektedir. Bu nedenle internetin yaygınlaşması için atılan her adım sabit ve mobil hizmetleri geliştirmektedir. LEO uyduları geliştikçe daha elverişli anten sistemlerine dönülerek daha yaygın internet sunulabilecektir. Bu da ses ve data haberleşmesini oldukça kolaylaştıracaktır. Öte yandan Ka band üzerinden hizmet veren işletmeciler için alçak yörüngeli uydular üzerinden sunulacak hizmetler, her ne kadar var olan müşterilerinin kaybına yol açacak gibi görünse bile, müşterilerin ihtiyacına yönelik alternatif hizmetlerin sunulabilmesi uydu haberleşme sektörünün pozitif yönde etkilenmesini sağlamaktadır.<sup>66</sup>

Alçak yörünge uydularında, 200-2.000 km mesafeden dolayı çok az ses ve veri gecikmesi yaşanmaktadır. İnternet hız ölçüm şirketlerinin raporlamalarına göre ortalama gecikme süresi 40 milisaniye civarındadır. Birden fazla uydu alternatifi ve belli bir yöne bağımlılık şartının olmaması da başka bir avantaj olarak yer almaktadır. Ayrıca diğer uydulara göre daha hafif olan LEO uydularını yerleştirmek için daha az roket

<sup>64</sup> Alçak Yörünge Optik Gözlem Uydu Sistemleri [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f_ek.pdf)

<sup>65</sup> Alçak Yörünge Optik Gözlem Uydu Sistemleri [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f_ek.pdf)

<sup>66</sup> Uydu Üzerinden Genişbant İnternet Hizmeti ve Regülasyonlar <https://telkoder.org.tr/uydu-uzerinden-genisbant-internet-hizmeti-ve-regulasyonlar-2/>

gücü gerektiğinden genellikle az maliyetlidir. Sağladığı avantajlardan dolayı iletişim, askeri keşif ve diğer görüntüleme uygulamalarında kullanılmaktadır.

Çoğunlukla orta yörüngede (MEO) çalışan GPS ve diğer GNSS gibi sistemler, PNT hizmetleri (Positioning/Navigation/Timing – Konum belirleme/seyrüsefer/zamanlama) için birincil alanlardır. LEO uyduları ve karasal kablosuz altyapılar, PNT'ye bağlı sistemlerin çalışabilirliğini korumak, ulusal kritik altyapıların sürekliliği ve dayanıklılığını sağlamak için temel bir acil durum yeteneği olarak gereklidir. LEO takım uyduları, MEO sistemlerinden daha yüksek sinyal gücü ve gelişmiş güvenlik gibi farklı operasyonel özelliklere ve performans özelliklerine sahiptir. LEO tabanlı çözümler ayrıca doğaları gereği küreseldir, gezegendeki her noktaya kapsama alanı getirir ve hassas zamanlamaya ek olarak iki veya üç boyutlu konumlandırma sunabilmektedir. LEO uydularının dünya çevresinde 25.000 Km/saat'i geçen yüksek hızla dönüşü, kutup bölgeleri gibi GPS sinyallerinin zayıf olduğu alanlarda dahi tam kapsama sağlanmasına imkân verirken diğer yörünge sistemlerinin iki boyutlu sağladığı konumlamayı üç boyutlu olarak sağlayabilmektedir. Özellikle gemi, uçak gibi hareketli ve uzaun mesafeli araçlar için LEO sistemlerini kullanmak oldukça avantajlıdır.<sup>67</sup>

LEO uydularının düşük maliyetle uzaya gönderilebilmesi arıza, konum değiştirme durumlarında kolaylıkla eski uydunun yörüngeden çıkarılarak yenisinin yerleştirilebilmesine imkân vermektedir. Bir GEO uydusunda yaşanacak arıza çok büyük bir hizmet kesintisine yol açabilecekken LEO uydularında arızalanan uydu nedeni ile önemli bir sorun oluşmamaktadır.

Bu avantajlar hükümetlerin acil durum haberleşmesi ve internet hizmetlerinin zor ulaştığı bölgeler için LEO uydularına daha sıcak bakmalarını sağlamaktadır. Birleşik Krallık Düzenleyici Kurumu OFCOM yayınladığı bir bültende, ülkede hızlı internet bağlantısına sahip olmayan ve çoğunluğu ulaşılmaz güç yerlerde olan abonelere yüksek hızlı internet sağlanabilmesi için hükümetin LEO uydularından da yararlanacağını belirtmektedir. Uydudan internet hizmetinin bu program dahilinde deneme olarak başladığı 3 yerden ikisi milli park biri de göller ve dağlık arazinin bulunduğu bir bölgededir.<sup>68</sup>

Ancak Dünya yüzeyine çok yakın olmasından dolayı LEO uyduları atmosferik etkilere maruz kalmakta ve 11 GHz'den yüksek frekanslar düşük frekanslara göre daha fazla etkilenmektedir. Böylece uydunun hızı düşebilmekte ve yörüngesi bozulabilmektedir. LEO'nun diğer bir dezavantajı ise çok hızlı olmasıdır. LEO üzerindeki uydular çok hızlı hareket ettikleri için dünyanın herhangi bir yeri üzerinde çok kısa kalabilmektedir. Ayrıca karasal mobil sistemlere göre avantajlarının yanı sıra halihazırda daha yüksek maliyet dezavantajına ve bu sistemlere göre yüksek gecikmeye sahiptir.<sup>69</sup>

LEO uydularının yeni olması, yakın geçmişte yaşanan başarısızlıklar, birçok girişimin aynı anda başlaması neticesinde uzaya binlerce uydunun gönderilmesi bazı endişeleri de beraberinde getirmektedir. Genelde beş yıl gibi kısa ömürlü olarak tasarlanan ve çok yüksek hıza sahip LEO uyduları nedeni ile uzayda yaşanacak trafik ve ömrü dolan uyduların oluşturacağı çöpler önemli riskler olarak belirtilmektedir. Uzayda irili ufaklı 30 bin civarında cismin dolaştığı ve çarpışma ihtimalinin 2030 yılına kadar 7 kat artacağı öngörülmektedir.<sup>70</sup>

<sup>67</sup> Benefits of LEO Satellites

<https://satellites.com/technology/satellite-time-and-location-stl/benefits-of-leo-satellites/>

<sup>68</sup> Record Rollout of Faster Internet Connections

<https://www.ofcom.org.uk/news-centre/2022/record-rollout-of-faster-internet-connections>

<sup>69</sup> Alpagu, E. (2019). X-band Isoflux Microstrip Patch Antenna Array Desing For Low Earth Orbit Satellites (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi).

<sup>70</sup> Herding Rockets: Improved Space Traffic Management Will Accelerate Industry Growth <https://spacenews.com/op-ed-herding-rockets-improved-space-traffic-management-will-accelerate-industry-growth/>



## 4.2. Uydudan İnternet Hizmet Arzını Etkileyen Faktörler

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği'nin (ITU) tahminlerine göre günümüzde 2,7 milyar insanın, yani neredeyse dünya nüfusunun üçte birinin çevrimdışı olduğu, Dünyanın %25'inin ise 3G veya 4G sinyalinin kapsama alanı dışında yaşadığı tahmin edilmektedir.<sup>71</sup> Kırsal alanlarda özellikle imalat, hastaneler ve sağlık tesisleri, petrol, gaz ve elektrik üretimi olmak üzere birçok sektörde bağlantı ihtiyacı bulunmaktadır.<sup>72</sup>

ITU'nun genişbant yaygınlığının ekonomik etkisi üzerine yaptığı bir araştırmada, orta gelirli ülkelerde mobil genişbant yaygınlığında %10'luk bir artışın gayri safi yurtiçi hasılda (GSYİH) %1,8'lik bir artış sağladığı kaydedilmiştir. Düşük gelirli ülkelerde ise, genişbant yaygınlığındaki bu artışın, GSYİH'de %2'lik bir artışla sonuçlanması beklenmektedir.<sup>73</sup>

Dijitalleşmede yaşanan artış ve küresel COVID-19 salgını da günlük hayatımızdaki bağlantı ihtiyacını artırmıştır. Artan yoğun kullanım ve bağlantılı kişi/cihaz sayısı, internet altyapılarına yönelik yatırımları çeşitlendirme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Özellikle Amerika'da son yıllarda bazı özel şirketler baz istasyonları inşa etmenin veya fiber ağ kurmanın mümkün olmadığı veya aşırı maliyetli olduğu uzak bölgelerde internet bağlantısı sağlamak amacıyla LEO uydu mega takımyıldızları inşa etmektedir.

### 4.2.1. Yakın Dönemde Alçak Yörünge Uydu Sistemleri

Son yıllarda uzay yatırımcılarının Ay'a veya Mars'a ulaşmak için değil, dünyanın bağlantısız ve az bağlantılı nüfuslarını birbirine bağlamak için yarıştığı başka bir döneme adım atılmıştır. Birçok şirket dünyanın dört bir yanındaki işletmelere, hükümetlere, okullara ve bireylere uygun maliyetli yüksek hızlı internet hizmetleri sunmak için yüzlerce veya binlerce uydudan oluşan mega takımyıldızlar oluşturmak ve uzaya göndermek için çaba sarf etmektedir.

Bu şirketlerin potansiyel amaçları arasında ulaşım endüstrisi için daha iyi bir bağlantı, filo yönetimi ve uzaktan bakım gibi süreçler ile IoT cihazları için iletişim omurgaları, eğitim ve acil müdahale konularına giren kamu hizmetleri ve hizmetin zayıf olduğu veya hiç olmadığı kırsal alanlar ve diğer alanlar dahil olmak üzere doğrudan tüketici pazarına yönelik hizmetleri verebilmek bulunmaktadır.<sup>74</sup>

Tüm bunlar daha iyi genişbant hizmeti sunabilen uydu hizmetlerine yönelimi artırmış, LEO uydularının büyük takımyıldızlarını kullanarak uzaydan internet sağlama fikri, 90'lı yıllardaki başarısızlıklara rağmen son yıllarda yeniden popülerlik kazanmıştır. 2014 ve 2016 yılları arasında küresel genişbant sağlamak için düşük LEO uydu takımyıldızları için yeni bir dönem başlamıştır. Uzaya uydu gönderme maliyetlerin azalması ve teknik yeteneklere ek olarak genişbant veri talebinin artması ve mobil pazarın büyümesine ilişkin beklenti bu sistemlerin geliştirilmesi için büyük teşvik sağlamıştır<sup>75</sup>(Şekil 13).

71 Internet Surge Slows, Leaving 2.7 Billion People Offline in 2022 <https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/PR-2022-09-16-Internet-surge-slows.aspx>  
GSMA Intelligence Report; Look Out: LEO Satellite Goes Commercial

<https://data.gsmaintelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=60621069&file=140621-LEO-satellite.pdf>

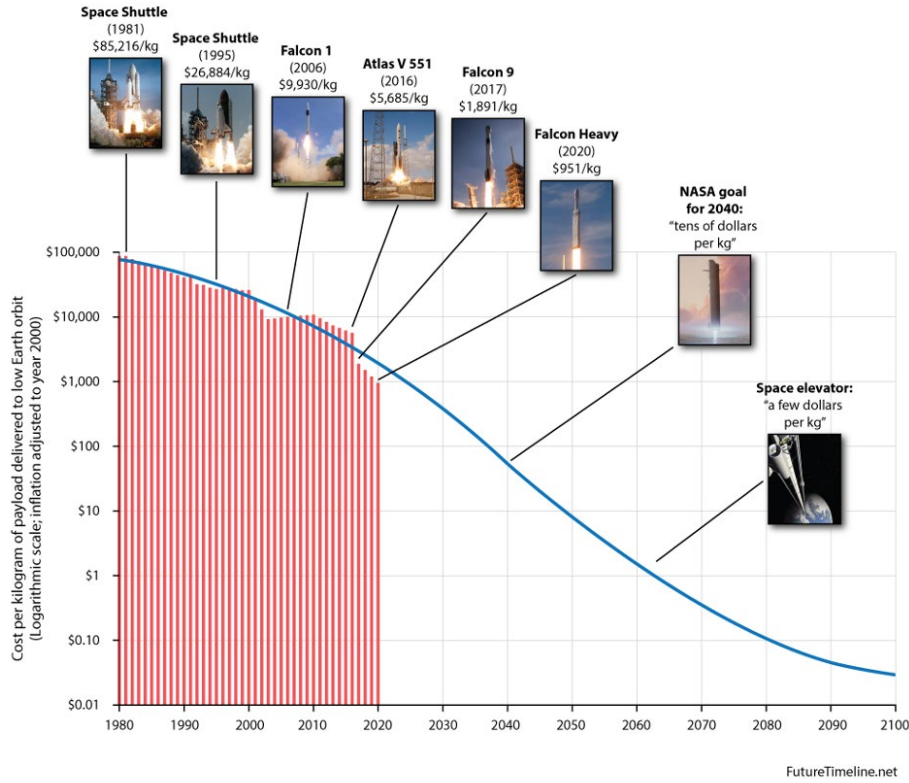
72 GSMA Intelligence Report; Look Out: LEO Satellite Goes Commercial <https://data.gsmaintelligence.com/research/research-2021/look-out-leo-satellite-goes-commercial>

73 Measuring the Information Society Report (2014) [https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/mis2014/MIS2014\\_without\\_Annex\\_4.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/mis2014/MIS2014_without_Annex_4.pdf)

74 The Satellite Broadband Industry Is Moving At Hyperspeed <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/future-of-satellite-internet.html>

75 Launch Costs to Low Earth Orbit, 1980-2100 <https://www.futuretimeline.net/data-trends/6.htm>

1980'lerde uzaya gönderilen malzemelerin maliyeti kg başına 80 bin ABD Doları civarında iken yıllar içinde bu maliyet 1.000 ABD Dolarının altına inmiş olup ve bu azalma eğilimi devam etmektedir. Bu durum hem genel olarak uzaya ilgiyi artırmakta hem de LEO uyduları gibi ticari girişimleri cesaretlendirmektedir.<sup>76</sup>



Şekil 13: Yıllara göre uzaya gönderme maliyetleri

SpaceX, OneWeb ve Project Kuiper gibi projelerin hedeflerine ulaşmaları halinde 2027 yılına kadar yörüngede toplamda yaklaşık 8.300 uduya sahip olmaları beklenmektedir. Birleştirilmiş takımyıldızlarının, mobil geniş bant ağlarının %80-90'lık kapsama alanına kıyasla, henüz internet erişimi olmayan kişilerin %100'ünü etkili bir şekilde kapsamaları beklenmektedir. Bu aşamada planların yeniden ortaya çıkışı, artan genişbant talebine, uyu teknolojilerinin ilerlemesine ve şirketlerin yatırım yapma kabiliyetini artıran bağlantı yoluyla gelişen yenilikçi iş modellerine bağlı olarak gerçekleşmiştir.<sup>77</sup>

Örneğin Birleşik Krallık'ın telekomünikasyon ve posta sektörü düzenleyici kurumu Ofcom, kırsal bölgelere genişbant ağların sağlanmasında uyu teknolojisinin kullanımına dair bir rapor hazırlamıştır. Genişbant hizmetleri kırsal kesimlere konumları nedeniyle kablolar ile götürülemediğinden, genişbant arzının uyu TV hizmeti gibi uyu üzerinden taşınarak sunulması planlanmıştır. Hazırlanan raporda uyu operatörlerinin daha geniş bir yelpazede genişbant hizmeti sunabilmeleri için daha fazla radyo dalgasına erişmelerine izin verileceği ve bu kapsamda, bir yerde sabit kalan ve uyu iletişim hizmetlerini sağlamanın birincil yolu olan geleneksel sabit yörüngeli (GSO) uydular yerine OneWeb ile SpaceX gibi operatörler tarafından da kullanılan ve sürekli olarak Dünya yörüngesinde dönen NGSO (Sabit Konumda Durmayan Uyu Sistemleri

<sup>76</sup> Launch Costs to Low Earth Orbit, 1980-2100 <https://www.futuretimeline.net/data-trends/6.htm>

<sup>77</sup> GSMA Intelligence Radar <https://www.gsma.com/iot/resources/gsmairadar-june-2020/>

-Nongeostationary Orbit) uydularının kullanılacağı açıklanmıştır.<sup>78</sup>

Avrupa Birliği'nin de diğer ülkeler tarafından gelişen LEO uydu takım sistemleri karşısında hem askeri hem de sivil hizmetler konusunda geride kalmamak için yatırım yapmayı planladığı Avrupa Birliği Uzay Programı Ajansı tarafından duyurulmuştur.<sup>79</sup>

2020'de 2.500'den fazla LEO uydu bulunduğu tespit edilmiş olup sayılarının on yıl içinde yaklaşık 50.000'e çıkması beklenmektedir.<sup>80</sup> Birleşmiş Milletler Dış Uzay İşleri Ofisi'nin açıklamasına göre 2021'e kadar toplam fırlatılan uydu sayısının 9.000 olduğu değerlendirildiğinde bu rakam onun 5 katından bile fazlasına tekabül etmektedir.<sup>81</sup>

Bununla birlikte, aşırı sayıda uydunun, LEO'daki çok fazla nesnenin gelecekte belirli yörünge aralıklarının kullanılmasını imkânsız hale getirmesinden endişe edilmektedir. Ayrıca uyduların belirli bir ömrü bulunmaktadır ve ömrü biten uydu yörüngede işlevsiz olarak kalarak uzayı kirletmektedir. Bu uyduların parlak olması sebebiyle gece gökyüzü görüşünü bozma ve radyo tarafından kullanılan frekansları etkileme gibi olumsuz yönleri bulunmaktadır. LEO yörüngelerinin çok sıkışık hale gelmesi de uyduların çarpışma ihtimalini artırmaktadır. Çarpışmaların gerçekleşmesi ise, günlük hayatımızda kritik olan hava durumu izleme, küresel konumlandırma sistemleri ve telekomünikasyon gibi hizmetleri sağlayan operasyonel uyduları bozmaları riskini beraberinde getirmektedir.<sup>82</sup>

Yörüngesel sürdürülebilirlik zorlukları göz önüne alındığında, sektörün yeterince düzenlenip düzenlenmediği konusunda soru işaretleri oluşturmaktadır. Sürdürülebilir bir geçiş, aynı anda dünyanın yörünge canlılığını korurken, dijital uçurumu kapatmak için sektörün gelişimini dengelemeyi gerektirecektir. Sektörde ciddi bir büyüme yaşanmaktadır ve gelişimi yönlendiren kurum ve kuruluşların rolleri çok net değildir. Mega takımyıldızları inşa eden veya inşa etmeyi planlayan aktörlerin toplumsal kalkınma hedeflerine etkin bir şekilde yardımcı olan iş modellerini nasıl oluşturacağı belirlemeleri de oldukça önemlidir.

#### 4.2.2. LEO Uyduları ve Nesnelerin İnterneti İlişkisi

Nesnelerin interneti teknolojisi (IoT), uydu bağlantısı için en büyük ve en hızlı büyüyen fırsat alanıdır. Orbcomm, SkyWave, Iridium Communications ve Inmarsat dahil olmak üzere bir dizi yerleşik şirket halihazırda bu alanda faaliyet göstermektedir. Uydu hizmeti, askeri araçlar, ticari kamyon taşımacılığı ve nakliye gibi uzun mesafeler boyunca takip gerektiren veya açık denizdeki petrol kuleleri ve maden ocakları gibi karasal tabanlı ağların erişemediği uzak alanlarda verilebilecek faaliyetlere odaklanmaktadır. LEO uydularının üç çarpıcı özelliği onları ön plana çıkarmaktadır. Bu özellikler yeni uydu hizmetlerinin mevcut yüksek fiyatları düşürebilecek olması, yörüngede daha fazla uydu ve daha fazla sayıda yer istasyonu bulundurarak sürekli kapsama sağlama yeteneği sağlaması ve bulutta gelişmiş analitik yetenekler sunabilmesidir.<sup>83</sup>

<sup>78</sup> How New Satellite Technology Could Unlock Broadband For Remote Homes

<https://www.ofcom.org.uk/news-centre/2022/how-new-satellite-technology-could-unlock-broadband-for-remote-homes>

<sup>79</sup> The New IRIS Constellation Will be Beneficial to EU Citizens in Several Ways, Find Out 5 of Them!

<https://www.euspa.europa.eu/newsroom/news/new-iriss-constellation-will-be-beneficial-eu-citizens-several-ways-find-out-5-them>

<sup>80</sup> McKinsey, Large LEO Satellite Constellations: Will It be Different This Time?

<https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/large-leo-satellite-constellations-will-it-be-different-this-time>

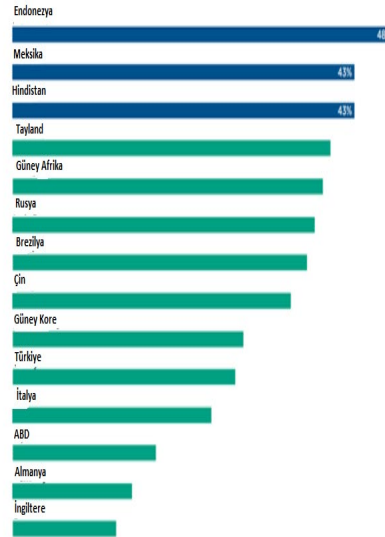
<sup>81</sup> Online Index of Objects Launched into Outer Space [https://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp?lf\\_id=](https://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp?lf_id=)

<sup>82</sup> Adilov ve diğerleri, 2018

<sup>83</sup> GSMA Intelligence, Radar <https://www.gsma.com/iot/resources/gsmair-radar-june-2020/>

Kırsal ve uzak yerlerdeki endüstriyel IoT dağıtımları, uydu bağlantısı için önemli bir fırsat alanı olarak görülmektedir. Halihazırda bu alanda faaliyet gösteren bir dizi yerleşik şirket, lojistik ve denizcilik kullanım durumları için hizmetler sunmaktadır. Uydu yer istasyonlarına geçişin, pazardaki mevcut işletmeciler için büyük bir zorluk teşkil etmesi ve bağlantı, bilgi işlem ve analitik arayan kırsal kesimdeki kurumsal müşteriler için hazır bir çözüm sağlaması çok mümkün görünmektedir.

Uydu tabanlı IoT'ye olan ilginin çoğu Endonezya, Meksika ve Hindistan gibi yüksek büyüme gösteren gelişmekte olan ekonomilerden gelmektedir<sup>84</sup> (Şekil 14). Gelişmekte olan pazarlarda kırsal internet temini ve ana taşıyıcı kapasitesi, sabit genişbanttan daha somut bir fırsattır. Mobil operatörlerin uzak bölgelerde kapsama sağlayabilmesi; kulelerin yüksek maliyeti, merkezi bir alana veri iletimi kapasitesi, şebeke elektriği erişiminin olmaması ve çok uzun mesafelerde veri iletmek için düşük frekans spektrumu ihtiyacı nedenleri ile sınırlıdır. Ayrıca kırsal bölgelerdeki düşük gelir nedeni ile bu bölgelerde erişim talebi de sınırlı olmaktadır. Bu ortamda uydu haberleşmesine olan talep, ekonomik altyapı modeli geliştirme arayışıyla ortaya çıkmaktadır.



Şekil 14: IoT için Uydu Bağlantısının Planlı Kullanımı

#### 4.2.3. LEO Uyduları ve Mobil Hizmetler Arasındaki İlişki

LEO uyduları genel düzeni birkaç alanda değiştirmiştir. Öncelikle LEO takımyıldızları mobil operatör ağlarıyla, yani 3G, 4G ve 5G bağlantılarıyla entegre olabilmektedir. 2G ve 3G'yle entegre olan GEO mimarilerine kıyasla LEO takımyıldızlarındaki en büyük değişiklik daha fazla veri hızı ve daha düşük gecikme sürelerini desteklemesi noktasında olmuştur. Ayrıca büyük bazı girişim projelerinin ardından dikkat çeken LEO alanına giren birçok şirket, takımyıldızı konuşlandırılması projelerine yatırım yaparak rekabeti artırmaktadır. Nitekim SpaceX her iki haftada bir yaklaşık 60 uyduyu fırlatmaktadır. Bu hızla devam edilirse 2023 ortasına kadar tüm uyduların konuşlandırılması planlanmaktadır. Onweb ise daha küçük bir takımyıldızına sahip olsa da toplamdaki 648 uydusunun yaklaşık %30'unu fırlatmış olması sebebiyle küresel kapsamada daha ileri bir noktadadır.<sup>85</sup>

84 GSMA IoT Enterprise Survey 2018

85 GSMA Intelligence, Look Out: LEO Satellite Goes Commercial <https://data.gsmaintelligence.com/research/research/research-2021/look-out-leo-satellite-goes-commercial>

Uydu haberleşme sistemlerinin küresel genişbant sağlayıcılarıyla olan durumu oldukça rekabetçi bir pazarı işaret etse de mevcut uydu yatırımları ve bu yatırımların işletme maliyetlerine yansıtılmasıyla yine de fiyat olarak ciddi bir avantaj sağlayamayacağı da iddia edilmektedir. Ancak kamu hizmeti olarak görülebilecek noktalarda ülkelerin gerekli desteği sağlayarak kırsal kesime ve gelişmekte olan ülkelere bu hizmetin sunulmasını sağlamaya çalışması bu hizmeti oldukça anlamlandırabilecektir.

Gelinen noktada mobil operatörlerin hibrit bir çalışmayı benimseyerek kapsama alanlarını genişletmesi mümkündür. Hali hazırda bazı şirketler uydu tabanlı çözümler sunmak için uydu şirketleriyle birlikte çalışmaktadır. Örneğin, Vodafone ve Inmarsat hücresel ve uydu tarafından yönetilen bağlantı sağlarken, AT&T uydu, uydu ikili modu ve uydu ana taşıyıcısı hizmeti sunmaktadır. Bu sayede operatörler kendi ağlarının ötesinde kesintisiz kapsama alanına ihtiyaç duyan müşterilerin ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir.<sup>86</sup>

Öte yandan uydu haberleşme şirketleri ve mobil operatörler arasında ağ kapsamı olmayan kişileri, işletmeleri ve nesnelere gerçek son kullanıcı bağlantılarına dönüştürmek için ortaklıklar kurularak norm haline getirilebileceği değerlendirilmektedir. Uydunun kapsadığı alan ile kapsamı gereken yerler tam olarak örtüşmeyeceğinden, LEO operatörleri mobil operatörlerin yerine geçmek yerine tamamlayıcı unsur olarak değerlendirilebilir. Nitekim yakın zamanda telefon üreticisi Apple'ın piyasaya sürdüğü yeni cihazında acil durum haberleşmesi için Globalstar ile anlaşığına yönelik haberler basında yer almıştır.<sup>87</sup>

Uydu haberleşme sağlayıcıları teknik zorlukların ve satış ve dağıtım altyapısı eksikliğinin üstesinden gelmek için mobil operatörlerle kuracakları ortaklıklarda LEO dağıtımları için büyük bir fırsat yakalanabileceği, uydu şirketlerinin toptan bağlantı geliri ücreti alırken, mobil operatörlerin ise perakende-müşteri ilişkisinden sorumlu olabileceği modeller söz konusudur.

### 4.3. Alçak Yörünge Uydu Projeleri

#### 4.3.1. Starlink

Amerikan uydu şirketi SpaceX, uydu interneti erişimi sağlamak üzere inşa edilmiş olan LEO uydu sistemi Starlink için Kasım 2016'da yaklaşık 1.110 ila 1.325 kilometre yükseklikte 83 yörünge düzleminde 4.425 uydudan ve ilgili yer kontrol tesisleri, ağ geçidi yer istasyonları ile son kullanıcı yer istasyonlarından oluşması planlanan takım uydu sistemi için FCC'ye (Federal İletişim Kurumu) başvuruda bulunmuştur.<sup>88</sup> Hâlihazırda yörüngede çalışan 3.660<sup>89</sup> uydusu bulunan şirket, 26 Mayıs 2021 tarihi itibarıyla gönderilen uydularla 1. faz tamamlanmıştır. İkinci faz uydu gönderimlerini ise 570 km yüksekliğinde ve 70°eğimle yerleştirilmesi planlanmaktadır.<sup>90</sup> Sistem, dünya çapında konut, ticari, kurumsal, resmi ve profesyonel kullanıcılar için genişbant uydu hizmeti sunmak üzere tasarlanmıştır. Dizi-ışın oluşturma ve dijital işleme teknolojileri ile sistemin Ku ve Ka band spektrum kaynaklarını verimli kullanma ve bu spektrumun diğer lisanslı kullanıcılarla paylaşma esnekliği sağlaması amaçlanmıştır. Kullanıcı terminallerinde, sistemin alçak yörünge uydularını

<sup>86</sup> GSMA Intelligence, Satellite Aims for Blast-off in IoT <https://data.gsmaintelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=51249207&file=050220-Satellites.pdf>

<sup>87</sup> Apple Picks Globalstar for Emergency Satellite Service on iPhone 14 <https://www.reuters.com/technology/apple-picks-globalstar-satellite-service-iphone-14-series-2022-09-07/>

<sup>88</sup> FCC Authorizes SpaceX to Provide Broadband Satellite Services <https://www.fcc.gov/document/fcc-authorizes-spacex-provide-broadband-satellite-services>

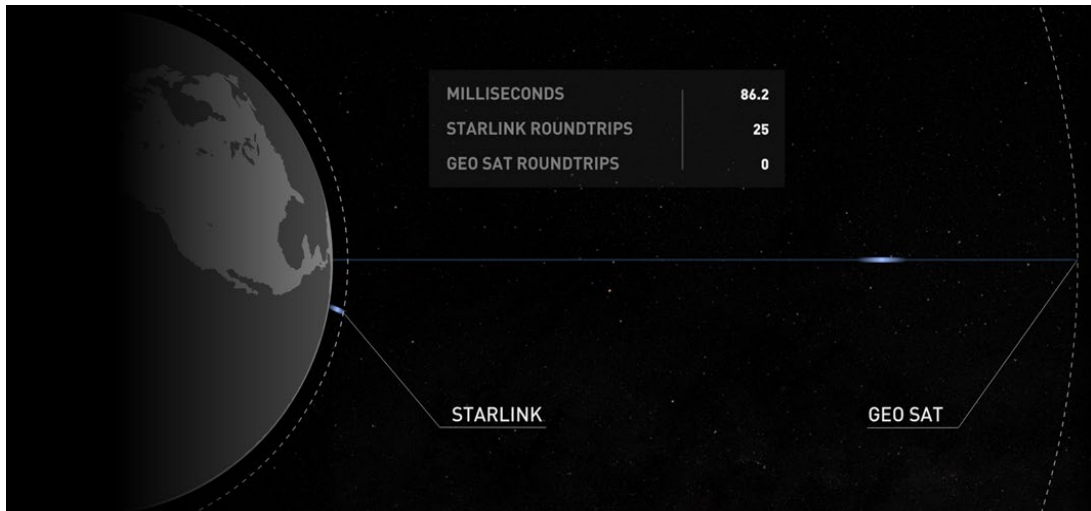
<sup>89</sup> Starlink Statistics <https://planet4589.org/space/stats/star/starstats.html>

<sup>90</sup> Starlink Wikipedia <https://tr.wikipedia.org/wiki/Starlink>

izleyen yönlendirilmiş anten kullanılacaktır. Ana uydu yer istasyonları tek bir ağ geçidi alanında aynı anda birden çok NGSO (Sabit Konumda Durmayan Uydu Sistemleri - Nongeostationary Orbit) uydusuyla iletişim kurmak için yüksek kazançlı yönlendirilmiş ışın teknolojileri uygulayacaktır ve ABD'de başlangıç olarak 200 tane kurulmak üzere şebeke ihtiyaçlarına göre artırılması mümkün olacak şekilde planlanmıştır. Sistem aynı zamanda kesintisiz ağ yönetimi ve hizmet sürekliliği için uydular arası optik bağlantıları da kullanacak ve diğer sistemlerle spektrum paylaşımını da kolaylaştıracaktır.

Starlink projesini yürüten SpaceX firması, 2015 yılında açıkladığı proje kapsamında 40.000 uyduyu alçak dünya yörüngesine yerleştirerek dünyayı kapsayan bir internet ağı kurmayı hedeflemektedir. Şirket ilk olarak TinTinA ve TinTinB adlı iki Starlink test uydusunu Şubat 2018'de fırlatmıştır. İşlemin sorunsuz geçmesi ile birlikte, SpaceX tarafından düzenleyicilerden filusunun başlangıçta planlanandan daha düşük irtifalarda çalışmasına izin verilmesi istenmiştir. Ardından 23 Mayıs 2019'da 60 Starlink uydusu, bir SpaceX Falcon 9 roketiyle fırlatılmış ve uydular, 550 kilometre irtifasına başarıyla ulaşmıştır. Yaklaşık 260 kilogram ağırlığında olan bu uyduların beş yıllık bir ömrü bulunmaktadır.<sup>91</sup>

2022 yılı Mart ayı itibarıyla 2.112 Starlink uydusu yörüngeye yerleştirilmiştir (Şekil 15).<sup>92</sup> Bu sistemle dünyada kırsal bölgelerden de ulaşılabilecek, ucuz, güvenilir ve erişilebilir geniş bantlı yüksek hızlı internet hizmeti hedeflenmiştir. Starlink Projesi, uzay çöpü kaygıları ile birçok kesim tarafından eleştirilmiş, firma yetkilileri, uzay çöpü yaratmamak için tüm düzenlemelere ve sektör standartlarına uyacaklarını belirtmiştir.<sup>93</sup> Bugüne kadar tek seferde en fazla uydu yerleşiminin tek bir projede planlanmış olması, hem teknolojik olarak ne kadar büyük hedeflere ulaşılabileceğini hem de bu teknolojinin uygulanması aşamasında yaşanabilecek sorunların da tartışılmasına yol açmıştır.



Şekil 15: Starlink Çalışma Şekli<sup>94</sup>

Starlink'in karasal altyapılar aracılığıyla internet sinyalleri göndermek yerine, fiber optik kablolarla göre %47 daha hızlı hareket ettiği uzay boşluğundan bilgiyi ışınlayarak çalıştığı belirtilmiştir. Geleneksel olarak uydudan

91 Starlink Satellites: Everything You Need to Know About The Controversial Internet Megaconstellation <https://www.space.com/spacex-starlink-satellites.html#section-starlink-satellite-tracker>

92 Starlink Wikipedia <https://tr.wikipedia.org/wiki/Starlink>

93 Özden, N. (2020). A Space Law Matter: SpaceX Starlink and Minds-On

94 Starlink Technology <https://www.starlink.com/technology>

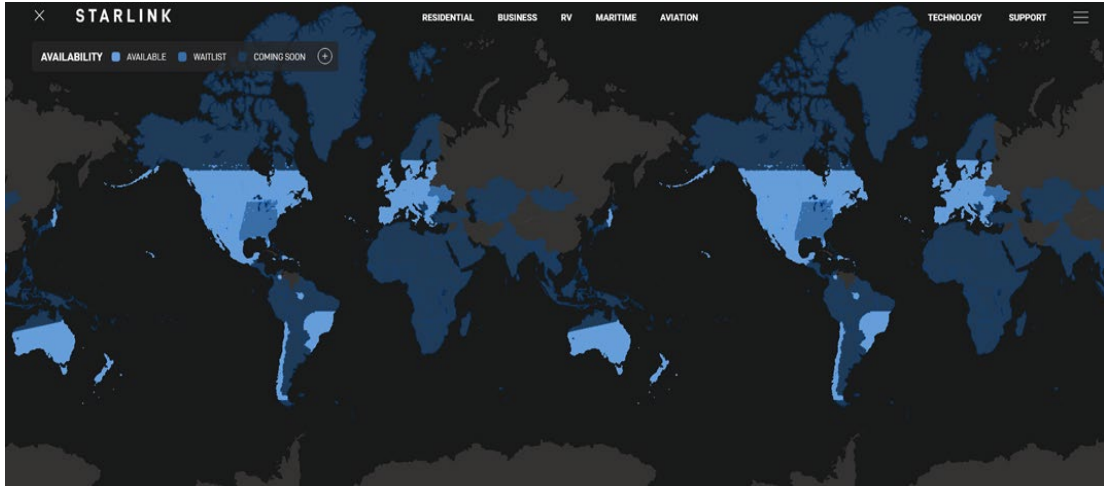


internet arzının sağlanması, Dünya üzerindeki belirli bir noktanın 35.786 km üzerinde yörüngede dönen büyük uzay aracını kullanarak yapılmaktadır. Ancak bu mesafede, genellikle veri gönderme ve almada önemli gecikmeler olur. Starlink'in Dünya'ya daha yakın olması ve uyduların birlikte ağ oluşturmaları sayesinde büyük miktarda bilgiyi, fiber optik kabloların döşenmesinin pahalı olacağı, ulaşılması son derece zor olan yerlerde bile, Dünya üzerindeki herhangi bir noktaya hızla taşınacağı belirtilmiştir.<sup>95</sup>

Uydu internet hizmetlerinin çoğu, gezegenin yörüngesinde 35.786 km'de dönen tek sabit uydulardan gelmekle birlikte, kullanıcı ile uydu arasındaki gidiş-dönüş veri süresi (gecikme süresi) yüksektir. Starlink, Dünya'ya çok daha yakın, yaklaşık 550 km'de yörüngede dönen ve tüm dünyayı kaplayan binlerce uydudan oluşan bir takım yıldızdır. Starlink uyduları düşük bir yörüngede olduğundan, gecikme süresi de büyük bir ölçüde daha düşüktür.<sup>96</sup>

Tam ve sürekli küresel genişbant uydu hizmeti sağlamayı amaçlayan SpaceX; V band için de toplamda 7.518 uydudan oluşacak yeni bir sistem planlamıştır. Gerekli kapsamı sağlamak için fazla uydu konuşlandırılması gerektiği belirtilirken, LEO ile geniş kapsamı, VLEO'yla ise yüksek band genişliği ihtiyacını karşılanmayı hedeflemektedir.<sup>97</sup>

Starlink, her ay çoklu uydu kümeleri fırlatarak, 6 yıl içinde takım uydu sisteminin yarısını operasyonel hale getirme hedefini gerçekleştirmeyi planlamaktadır<sup>98</sup> (Şekil 16).



Şekil 16: Starlink Kullanılabilirlik Haritası (Ekim 2022)<sup>99</sup>

Starlink, yüksek hızlı, düşük gecikmeli hizmeti, Dünya çevresinde düşük yörüngede çalışan uydu takımıyla aracılığıyla sağlarken; hareket halinde kullanım için Flat High Performance adlı bir eklenti sunulmuştur. Araca kalıcı olarak takılmak üzere tasarlanan bu donanımın sahip olduğu geniş görüş alanı ve gelişmiş GPS yetenekleri ile hareket halindeyken tutarlı bağlantıya izin verdiği belirtilmiştir. Ayrıca mobil Starlink uygulaması ile ayarların özelleştirilmesi, güncellemelerin yapılması, teknik desteğe erişilmesi ve indirme hızı, gecikme ile

95 Starlink Satellites: Everything You Need to Know About The Controversial Internet Megaconstellation, <https://www.space.com/spacex-starlink-satellites.html#section-starlink-satellite-tracker>

96 How Starlink Works <https://www.starlink.com/technology>

97 FCC, 2020c <https://fcc.report/IBFS/SAT-LOA-20170301-00027/1190018>

98 FCC OKs Lower Orbit For Some Starlink Satellites <https://spacenews.com/fcc-oks-lower-orbit-for-some-starlink-satellites>

99 Starlink [www.starlink.com](http://www.starlink.com)

çalışma süresi gibi gerçek zamanlı performans verilerinin görülmesinin sağlandığı da açıklanmıştır.<sup>100</sup>

Genişbant performans test firmalarından Ookla'nın Starlink'in sağladığı veri hızına ilişkin Eylül 2022 tarihinde yaptığı değerlendirmede, Starlink 2022 ikinci çeyreğinde Kuzey Amerika'da en az 60 Mbps'lik bir medyan indirme hızına ulaşırken, Porto Riko'daki Starlink, 112,22 Mbps'lik indirme hızıyla Kuzey Amerika'daki en hızlı uydu sağlayıcısı olmuştur. Porto Riko'yu, 80,17 Mbps'lik hızla Meksika, Kanada (75,73 Mbps) ve ABD'deki Starlink (62,53 Mbps) izlemiştir. Brezilya'daki Starlink ise 2022'nin ikinci çeyreğinde 128,38 Mbps'lik medyan indirme hızıyla Güney Amerika'daki en hızlı uydu sağlayıcısı olmuştur. Ayrıca Starlink, Avrupa'da yer alan 16 ülke için sabit genişbant internetten daha iyi performans göstermekle birlikte, 10 ülkede 100 Mbps'nin üzerinde indirme hızına ulaşmıştır. 123,01 Mbps ile Portekiz, Hollanda (122,43 Mbps), Avusturya (112,01 Mbps), Fransa (110,98 Mbps) ve Belçika (110,40 Mbps) indirme hızı açısından Avrupa'nın en hızlı ülkeleri olmuştur.<sup>101</sup>

#### 4.3.2. Oneweb

OneWeb, 648 LEO uydudan oluşan bir takımyıldız tarafından desteklenen küresel bir iletişim ağıdır. Kullanıcı tarafında, OneWeb bu sinyalleri almak ve çevredeki alanlara 3G, 4G ve WiFi üzerinden internet sağlamak için güneş enerjisiyle çalışan düşük maliyetli terminaller geliştirmiştir. Takımyıldızlarını 1.200 km yükseklikte konumlandırmıştır. Tüm takımyıldızı saniyede 10 Terabit kapasiteye ve her uydu 8 Gbps'lik bir verime sahiptir. GEO uydularına kıyasla Dünya'ya 35 kat daha yakın oldukları için, son kullanıcıya 30 ms'nin altındaki gecikmelerde ve alıcılara 50 Mbps kadar yüksek hızlarda bağlantı sağlamayı vadetmektedir.<sup>102</sup> Ağ geçidi ışınları, 2,4 m ile 3,5 m arasında çapa sahip antenlere sahip olacak ve stratejik olarak konumlandırılmış bir ağ geçidine bağlanarak kullanıcılara internet bağlantısı sağlaması planlanmıştır.<sup>103</sup>

OneWeb sistemi, dünyanın herhangi bir yerinde bulunan küçük, düşük maliyetli kullanıcı terminallerine yüksek kaliteli, genişbant erişimi sağlamayı, tüketicilere, işletmelere, okullara ve karasal yöntemlerle teknik veya ekonomik olarak hizmet verilemeyen diğer topluluk konumlarına ses ve veri erişimi sağlayan yeni kapsama alanlarına hizmet etmek için mobil operatör ve İSS şebekelerini genişletebilmeyi öngörmüştür.<sup>104</sup>

Diğer taraftan şirket Mart 2020'nin sonlarında, COVID-19 pandemisinin neden olduğu mali zorluklar nedeniyle iflas için başvuruda bulunmuştur. İngiliz hükümeti ve Hindistan mobil ağ operatörü Bharti Global, Temmuz 2020'de OneWeb'i satın almıştır.<sup>105</sup> 36 coğrafi yörünge uydusu filosuna sahip olan Eutelsat, OneWeb'in uydudan internet erişimi sağlayabilen LEO uydu kümesiyle birleştirilecektir.<sup>106</sup>

100 Starlink Map <https://www.starlink.com/map>

101 Starlink Slowed in Q2, Competitors Mounting Challenges

<https://www.ookla.com/articles/starlink-hughesnet-viasat-performance-q2-2022>

102 Velivela, V. (2015). Small satellite constellations: The promise of Internet for all. ORF Issue Brief, (107), 1-12.

103 Pachler, N., del Portillo, I., Crawley, E. F., & Cameron, B. G. (2021). An updated comparison of four low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband. IEEE.

104 Bilgin, T. (2020). Yeni nesil uydular üzerinden haberleşme hizmeti verilmeine yönelik düzenleyici öneriler.(BTK Uzmanlık Tezi).

105 Court Approves Sale of OneWeb to The UK Government and Bharti Global

<https://oneweb.net/resources/court-approves-sale-oneweb-uk-government-and-bharti-global>

106 Two of Europe's Biggest Internet Satellite Companies are Merging to Take on Starlink <https://www.engadget.com/oneweb-eutelsat-merger-internet-satellite-spacex-starlink-151433993.html>

### 4.3.3. Iridium Next

Iridium Next, uydu aramaları ve veri aktarımı için ikinci nesil küresel iletişim sistemi olarak, Amerikalı Iridium Communications Şirketi tarafından işletilen alçak yörüngeli bir iletişim uydu sistemidir (Şekil 17). Yörüngede yer alan 66 aktif uydudan oluşan Iridium Next tam küresel kapsama alanı sağlayarak, telekomünikasyon altyapısının bulunmadığı yerlerde iletişim sağlanabilmesi için kurulmuştur. Dolayısıyla sistemin bağımsız olması planlanmıştır.<sup>107</sup>

İlk olarak proje kapsamında yapılan hesaplamalar doğrultusunda, tam küresel kapsama ulaşmak için 77 uyduya ihtiyaç duyulacağı belirtilmiş ve projeye atom numarası 77 olan elementin adı olan Iridium adı verilmiştir. Uzay segmenti ve müşteri terminallerinden oluşan Iridium sisteminin geliştirilmesinde, uyduları inşa etmek için ileri havacılık ve teknoloji şirketi olan Lockheed Martin ile Motorola tarafından anlaşmalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk beş Iridium uydusu Mayıs 1997'de fırlatılmış ve 66 aktif uzay aracı ve altı yedek parçadan oluşan tam takımyıldızı, Mayıs 1998'in ortalarında kurularak 1 Kasım 1998'de hizmet vermeye başlamıştır.



Şekil 17: Iridium Next uydusu<sup>108</sup>

Mevcut mimarinin sürekliliğini sağlayarak, kapasiteyi artırmak, daha yüksek veri hızlarını desteklemek ve bakım ile standart operasyonlar kapsamında daha uygun maliyetli yeni hizmetler sunmak için Iridium takımyıldızını yenileme planı 2007'de açıklanmış ve Iridium Next adı verilmiştir.<sup>109</sup>

Iridium Next uyduları, en az 15 yıllık bir öngörülen görev ömrüne sahip olmakla birlikte 66 aktif takımyıldız uydusuna ek olarak yörüngeye altı yedek yerleştirilmiş ve yerde tutulan dokuz yedek uydu ile risklerin azaltılarak hizmetlerin 2030 ve ötesine uzatılmasını sağlanması hedeflenmiştir.<sup>110</sup>

Iridium Next, uyduların kutuplarda birbirine yakınsamasına izin vererek, yüksek enlem bölgelerinde kapsama alanı sunarak, L-bandı frekansı kullandığı belirtilmiştir. Ayrıca uzaydaki her bir Iridium Next uydusu, çapraz olarak diğer dört uyduya bağlı şekilde yer alırken; bu yerleşim biçiminin güvenilirlik ve esneklik açısından

<sup>107</sup> Iridium-NEXT <https://spaceflight101.com/spacecraft/iridium-next/>

<sup>108</sup> Iridium-NEXT <https://spaceflight101.com/spacecraft/iridium-next/>

<sup>109</sup> Iridium-NEXT <https://spaceflight101.com/spacecraft/iridium-next/>

<sup>110</sup> Iridium-NEXT <https://spaceflight101.com/spacecraft/iridium-next/>

avantaj kazandırdığı ifade edilmiştir. Bu çapraz bağlantılar, ağ optimizasyonu ve yedekli çalışma sağlayarak, olumsuz şartlarda bile verilerin yeniden yönlendirilebilmesine ve yüksek hızda iletilebilmesine yardımcı olmaktadır.<sup>111</sup>

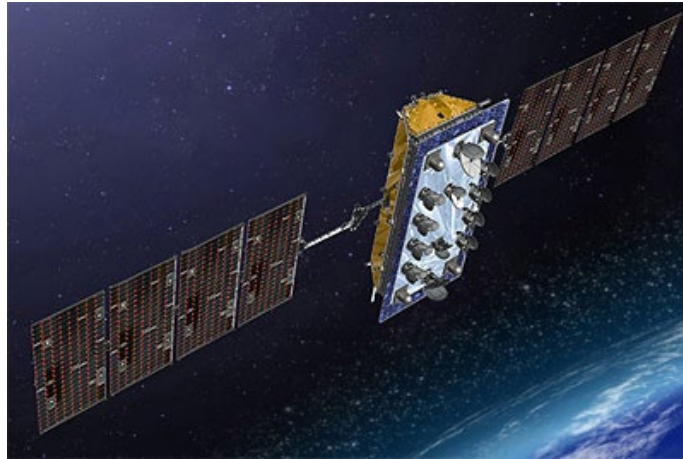
Proje kapsamında LEO uydularına bağlanması, takım uydusu sistemindeki uyduların her birinin bir anahtarlama düğümü olarak işlev görmesi ve tüm mesaj yönlendirme ve biçimlendirme işlemlerini gerçekleştirmek için yerleşik işlemcilerin (OBP) kullanılması planlanmıştır.<sup>112</sup>

#### 4.3.4. Leosat

LeoSat, kutup bölgelerinde veri iletişimi üzere 108 uyduya olarak planlanmış bir takımyıldızı projesidir (Şekil 18). Takımyıldızı, telekom ana taşıyıcısı, petrol ve gaz arama, denizcilik ve uluslararası iş pazarlarındaki iş operasyonları için yüksek hızlı, düşük gecikmeli ve son derece güvenli iletişim ve bant genişliği sağlamayı hedeflemiştir. LeoSat takımyıldızındaki her uydusu;

- Her biri müşteri terminallerine 50 Mbps ile 1,6 Gbps arasında simetrik veri bağlantısı sağlayabilen 10 Ka-bant yönlendirilebilir kullanıcı antenini
- 10 Gbps'ye kadar birleştirilmiş aktarım hızına sahip iki yönlendirilebilir ağ geçidi antenini
- 4 optik uydusu arası bağlantıyı

desteklemek üzere planlanmıştır. Bununla birlikte Kasım 2019'da yeterli yatırım sermayesi bulunamadığından proje sonlandırılmıştır.<sup>113</sup>



Şekil 18: LEOsat uydusu<sup>114</sup>

111 Iridium Network <https://www.iridium.com/network/>

112 Pratt Timothy, Allnutt Jeremy, 2020, Satellite Communications, USA

113 LeoSat [https://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/leosat.htm](https://space.skyrocket.de/doc_sdat/leosat.htm)

114 LeoSat [https://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/leosat.htm](https://space.skyrocket.de/doc_sdat/leosat.htm)

#### 4.3.5. Telesat

Kanada'ya uydu iletişim hizmetleri sağlamakla görevli ticari bir şirket olan Telesat, 1969 yılında kurulmuştur. 1972 yılında dünyanın jeostatik (yer sabit) yörüngedeki ilk ticari yerel iletişim uydusu olan Anik A1'i göndermiş, 1978 yılında ise küresel DTH (Direct to Home) endüstrisinin temellerini atarak, ilk doğrudan eve (DTH) televizyon hizmetinin sunulduğu ilk ticari Ku-bant uydusunu fırlatmıştır.

2004 yılında Telesat, tüketicilerine Ka-bant genişbant hizmetleri sunmak hedefiyle bu kapsamdaki ilk uydu olan Anik F2'yi fırlatmıştır. Ayrıca 2018'de yeni bir genişbant takımyıldızının başlangıcı olan Faz 1 LEO uydusunu göndermiştir. Böylece Telesat ilk LEO uydusunu 2018'de atarak, ilk genişbant uydu linkinin çalışabilirliğini kanıtlamıştır. Telesat günümüzde, Vodafone ve Surrey Üniversitesi ortaklığıyla dünyanın ilk LEO uydusu üzerinden 5G ana taşıyıcısı projesi için çalışmalar yürütmektedir.<sup>115</sup>

Telesat takım uydu sistemi, bağlanabilirliğe ve kutuplarda kapsamaya olan ihtiyacı ve karasal, sabit ve mobil sistemlerin kaynaşmasına yönelik trendi dikkate alarak, yerdeki veri şebekeleri ile entegre olabilecek 298 LEO uydudan oluşan küresel şebeke planlanmaktadır. Telesat takım uydu sistemi, 1.015 km irtifada kutup yörüngesinde 6 düzlemde 78 uydu ve 1325 km'de eğimli yörüngede 220 uydudan oluşacaktır. OBP ve optik uydular arası link kullanımı ile mesh şebeke yapısı oluşturulacaktır. Ka band spektrumu (Uplink: 27.5-29.1 GHz ve 29.5-30.0 GHz, Downlink: 17.8-19.3 GHz ve 19.7-20.2 GHz) ve elektronik olarak yönlendirilebilir antenler ile karada, havada, denizde ve kamunun genişbant ihtiyaçlarına yönelik ticari çözümler sunmak üzere 2020 de kutup yörüngesini 2023 de de tüm projeyi tamamlayarak global kapsama sağlamayı amaçlamaktadır.<sup>116</sup>

#### 4.3.6. Kuiper

Amazon şirketi tarafından tasarlanan Kuiper, dünya çapında hizmet verilmeyen ve yetersiz hizmet alan topluluklara düşük gecikmeli, yüksek hızlı genişbant uydu hizmeti sağlamak amacıyla oluşturulan uydu takımyıldızı projesidir. 590 km, 610 km, 630 km, irtifada 3.236 uydunun Ka-bandında kullanılması planlanmaktadır. Uyduların 5 dalga halinde fırlatılması beklenmektedir. İlk dalga, iki büyük yatay bantta internet hizmeti verecek 578 uydudan oluşacaktır; ilki 39 derece kuzey ile 56 derece kuzey (yaklaşık Cebelitarık Boğazı'ndan Moskova'ya). İkincisi 39 derece güney ile 56 derece güney (yaklaşık olarak Hastings, Yeni Zelanda'dan Atlantik Okyanusu'ndaki Büyük Britanya'nın Güney Sandwich Adaları'na) ve kalan 4 dalga, ekvatora ulaşana kadar ilk iki geniş bant arasındaki kalan tüm enlemleri kaplayacaktır.<sup>117</sup>

Kuiper projesi kapsamında iki prototip uyduyu başlatmak, dağıtmak ve işletmek için Federal İletişim Komisyonu'na (FCC) deneysel bir lisans başvurusunda bulunulmuştur. Bu uydular KuiperSat-1 ve KuiperSat-2'dir. KuiperSat-2 görevini tamamladıktan sonra imha edilecektir.<sup>118</sup>

<sup>115</sup> Our History <https://www.telesat.com/history/>

<sup>116</sup> ITU, 2020h, Satellite Webinars Part 2 & Part 3: Non-Geostationary Satellite Systems, 2020 <https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/sat-webinars/Pages/default.aspx>

<sup>117</sup> Pallisé Perelló, B. (2021). Study of the benefits and applications of LEO for communications and definition of space new business models: project Kuiper-Amazon (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

<sup>118</sup> Project Kuiper Announces Plans and Launch Provider For Prototype Satellites <https://www.aboutamazon.com/news/innovation-at-amazon/project-kuiper-announces-plans-and-launch-provider-for-prototype-satellites>

## 5. UYDU SİSTEMLERİ (ÖZELLİKLE ALÇAK YÖRÜNGE SİSTEMLERİ) HAKKINDA ULUSLARARASI VE ULUSAL DÜZENLEMELER

### 5.1. ITU

ITU, kıt bir kaynak olan radyo spektrumunun yönetimini sağlayan, sürekli artan spektrum ihtiyacını karşılayabilmek için uydu sektörü de dahil olmak üzere radyo frekansı kullanan tüm sektörlerin dünya genelinde radyo frekans kullanımını düzenli olarak kontrol eden uluslararası bir kuruluştur.<sup>119</sup>

ITU, uydular tarafından kullanılan radyo frekansları üzerinde iş birliğine dayalı bir uluslararası koordinasyon sistemini yönetir. Burada amaç bu tür sistemlerin birbirleriyle veya diğer radyo sistemleriyle karışmasını önlemektir. ITU üye ülkelerin iş birliği sayesinde, ITU Radyokomünikasyon Bürosunun yönetim ve denetimi ile uydu sistemlerinin radyo parazitini olmadan uzayda uyumlu bir şekilde çalışması sağlanmaktadır.

Bununla ilgili ülkelerin birlikte uyum içinde hareket edebilmesi ve bunun sürekliliğinin sağlanması oldukça önemlidir. İlgili yasal metne bakılacak olursa ITU Telsiz Yönetmeliği ve ITU Tüzüğünde (No. 197, Madde 45) bununla ilgili tedbir şu şekilde belirtilmektedir;

*"Amaçları ne olursa olsun bütün istasyonlar, diğer üyelerin, tanınmış işletim ajanslarının veya bir radyo hizmetini yürüten diğer yetkili işletim ajanslarının radyo hizmetlerine veya iletişimlerine zararlı etkileşime neden olmayacak şekilde kurulmalı ve işletilmeli, Telsiz Yönetmeliklerine uygun olarak çalışmalıdır".*

ITU, Radyokomünikasyon Sektörü aracılığıyla (ITU-R) dört ana alanda faaliyet göstermektedir. Bu görevler;

1. Radyo frekans spektrumu ve uydu yörüngelerinin kullanımına ilişkin uluslararası düzenlemelerin oluşturulması ve güncellenmesi
2. Radyo frekans spektrumu ve uydu yörüngelerinin kullanımına ilişkin uluslararası düzenlemelerin değerlendirilmesi ve uygulanması
3. Ulusal spektrum yönetimi faaliyetlerine ilişkin en iyi uygulamalar da dahil olmak üzere, radyo frekansı spektrumunun ve uydu yörüngelerinin en verimli kullanımı için dünya çapında tavsiyelerin, raporların ve el kitaplarının oluşturulması ve güncellenmesi
4. Radyokomünikasyon konularında ITU-R üyelerine bilgi verilmesi ve yardım sağlanması olarak ifade edilebilir.<sup>120</sup>

Söz konusu görev tanımlarıyla birlikte ITU Radyokomünikasyon Sektörü (ITU-R) ve yürütme kolu olan Radyokomünikasyon Bürosu (BR) radyo frekansı spektrumunun ve uydu yörünge kaynaklarının yönetimini sağlamaktadır. Kablosuz hizmetlerin küresel ölçekte büyük bir hızla büyümesiyle birlikte, radyo dalgalarına ihtiyaç duyan tüm hizmetlerin kullanıcı sayısı ve trafiği artmakta, ITU-R çalışmaları daha kritik ve önemli hale gelmektedir.

<sup>119</sup> About International Telecommunication Union (ITU) <https://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx>

<sup>120</sup> ITU-R: Managing The Radio-Frequency Spectrum For The World <https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/itu-r-managing-the-radio-frequency-spectrum-for-the-world.aspx>



Uydu sistemlerinde ITU'nun rolü temel seviyede incelendiğinde, uydu fırlatmak isteyen şirketin öncelikle ulusal yetkili organlardan gerekli lisans yetkisini alması gerekmektedir. Yetkili kurum önerilen sistemin işletilmesi için başvuruyu onayladıktan sonra, Radyo Yönetmelikleri adı verilen radyo frekanslarının kullanımını düzenleyen uluslararası anlaşmanın hükümlerine uygun olarak gerekli frekans taleplerini ITU'ya sunmaktadır. Yani ITU, tek başına uyduları veya takımyıldızları onaylamamaktadır, ancak uydular tarafından iletilen ve alınan belirli radyo frekanslarının uluslararası koordinasyonunu, bildirimini ve kaydını yönetmektedir.<sup>121</sup>

ITU yalnızca radyo frekanslarının kullanımını ele almaktadır ve ITU Radyo Düzenlemelerinin temel amacı, zararlı radyo parazitlerinden kaçınmaktır. Uzayda kullanılan tüm radyo frekansı atamalarını içeren bir Ana Uluslararası Frekans Kaydı'na (MIFR) sahip olan ITU, telsiz frekans atamaları ve yörünge pozisyonları uygunluklarını bu kayda göre yönetmektedir.<sup>122</sup> ITU üye ülkeler, mevcut uydu sistemlerinin ya da yeni dahil olacakların kendi uydu sistemlerinde parazite yol açması durumlarından endişe duyduğunda ITU aracılığıyla ikili teknik çözümler değerlendirilmektedir. Bir enterferans söz konusu olduğunda ise ilk gelen ilk hizmeti alır prensibine göre hizmeti sonradan alan bu enterferansı sonlandırmakla yükümlü olmaktadır.<sup>123</sup> ITU'nun uzaya yerleştirilen uydular gibi fiziksel nesnelere diğer yönlerini düzenleme veya yönetme görevi bulunmamaktadır. Uzaydaki uydular gibi nesnelere ilgilenmek üzere Birleşmiş Milletler bünyesinde "Dış Uzayın Barışçıl Kullanımı Komitesi (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space-COPUOS)" 1959'da kurulmuştur.<sup>124</sup>

Yeni nesil hızlı ve düşük gecikmeli genişbant hizmeti sunmayı hedefleyen ve alçak yörüngede çalışması planlanan uyduların uzayda yönetilme zorlukları bulunmaktadır. Küçük uyduların geniş kapsama alanı sunabilmesi için takım halinde çalışması, birçok uydunun uzaya fırlatılması birçok etki alanı doğurmaktadır. Tüm uydular kendi içinde frekans tahsisi, üretim ve fırlatma maliyeti planlaması, enterferanstan korunması ve uzayda enkaz oluşturması gibi sorunlar meydana getirmektedir.

ITU tarafından düzenlenen Dünya Radyokomünikasyon Konferansı WRC-19'da bu tip yeni uyduların sorunsuz yönetilebilmesi için önemli kararlar alınmıştır. Buna göre bu tip uydular takım halinde çalıştığı için fırlatılacak bütün uyduların tamamının hizmete girmesi için çok geniş bir zamana yayılmaması ve spektrumun verimsiz kullanılmasına yol açmaması için "kullanıma girme zamanı" ile ilgili özel bir tanımlama getirilmiştir. Takım halinde fırlatılacak uyduların süreci sistemli bir şekilde yürütmesi gerektiğinden yola çıkılarak 2 yıl içinde %10'unun 5 yıl içinde %50'sinin ve 7 yıl içinde tamamının yörüngede konuşlandırılması karara bağlanmıştır.

125

Ayrıca WRC-23'te GEO dışındaki uydular için yeni frekans bantlarının kullanımı konusunun ve gelecekteki frekans ihtiyaçlarının görüşülmesi planlanmaktadır.<sup>126</sup>

121 ITU and Space: Ensuring Interference-Free Satellite Orbits In LEO and Beyond <https://www.itu.int/hub/2022/02/itu-space-interference-free-satellite-orbits-leo/>

122 Master International Frequency Register (MIFR) <https://www.itu.int/en/ITU-R/terrestrial/broadcast/Pages/MIFR.aspx>

123 ITU RADIO REGULATORY FRAMEWORK FOR SPACE SERVICES [https://www.itu.int/en/ITU-R/space/snl/Documents/ITU-Space\\_reg.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-R/space/snl/Documents/ITU-Space_reg.pdf)

124 Committee on the Peaceful Uses of Outer Space <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/index.html>

125 Radio Regulations 2020 <https://www.itu.int/hub/publication/r-reg-rr-2020/>

126 ITU and Space: Ensuring Interference-Free Satellite Orbits In LEO and Beyond <https://www.itu.int/hub/2022/02/itu-space-interference-free-satellite-orbits-leo/>

## 5.2. CEPT

CEPT posta ve telekomünikasyon konularıyla ilgilenen ve 48 üye ülkeye sahip Avrupa bölgesel örgütüdür. CEPT çalışmalarını Elektronik Haberleşme Komitesi (ECC), ITU Politikaları Komitesi (Com-ITU) ve Posta Düzenlemeleri Avrupa Komitesi (CERP) olmak üzere üç bağımsız komiteye bağlı olarak yürütmektedir.

Elektronik Haberleşme Komitesi (ECC), elektronik haberleşme ile ilgili özellikle spektrum kullanımı, uydu yörünge pozisyonları ve numaralandırma konularını inceleyerek bu kaynakların Avrupa'da etkin ve verimli kullanımlarının sağlanması için ortak politikalar ve düzenlemeler geliştirmekle görevlidir. ECC'nin Tavsiye Kararları, spektrum ve numaralandırma kullanımını uyumlu hale getirmeye yönelik CEPT üyeliğinin gerektirdiği tedbirlerdir.<sup>127</sup>

Bu kapsamda ECC kararları aracılığıyla belirli spektrum aralıklarında enterferans koşulları dikkate alınarak spektrum harmonizasyonu ve uyumlaştırma ile bireysel ruhsatlandırmadan muaf tutma kararları alınmakta ve yayınlanmaktadır. Bağlayıcılığı olmamasına karşın üye ülkeler yayınlanan kararları desteklemekte, üreticilerin ve servis sağlayıcıların belirli standartlarla Avrupa ülkelerinde güvenli iş yapmalarına olanak sağlamaktadır.

## 5.3. ETSI

ETSI, Avrupa Komisyonu'nun talebi üzerine CEPT tarafından 1988 yılında kurulmuştur. ETSI her türlü uydu iletişim sistemleri, hizmetleri ve uygulamaları, yer istasyonları ve yer istasyonu ekipmanları, özellikle radyo frekansı, ağ ve kullanıcı ara yüzleri ile yer istasyonları ve uydu sistemlerinde uygulanan protokollerle ilgili standardizasyondan sorumludur.

Bu kapsamda ETSI düzenli olarak belirli frekans bantlarında çalışan, hareketli veya sabit, radyo ekipmanı veya yer istasyonları için çeşitli standartlar belirlemede ve yayınlamaktadır.<sup>128</sup>

Ülkelerin uzaya gönderdiği uydular arasında yaşanacak olası bir enterferans sorununun önüne geçilebilmesi için, ülkeler mevcut ulusal frekans planlamalarını ITU tarafından belirlenen standartlara ve prosedürlere uygun olarak oluşturmaktadır. Ülkelerin uydu yetkilendirme şartlarında ve izin prosedürlerinde kendi iç düzenlemelerine bağlı olarak ufak farklılıklar bulunsa da temelde bu alanda faaliyet göstermek isteyen şirketlerin sağlaması gereken husus, talep edilen uydu yer istasyonunun ülkelerin oluşturduğu ulusal frekans planlamasına uygun ve uyumlu olması gerektiğidir.

Bu kapsamda önde gelen bazı ülkelerin uydu lisanslama koşulları değerlendirildiğinde İngiltere'de yeni nesil takım uyduların kendilerine özgü fırsatlar sunarken birtakım spektrum yönetim zorluklarını da beraberinde getirmesine ilişkin olarak belirsizliklerin azaltılması ve daha öngörülebilir şartların oluşturulması için bazı tedbirler alınması hedeflenmiştir. Ulusal frekans tahsislerine ve ITU prosedürlerine uyum sağlanması ve güncellenen koordinasyon şartlarına uyum sağlanması gerektiği belirlenmiştir.<sup>129</sup>

Almanya'da uydu yetkilendirmelerine ilişkin uygunluk görüşü için talep edilen frekansın frekans kullanım planına uygun olması, frekans kullanımının uluslararası koordinasyonu tamamlanmış uydu şebekesi ile

<sup>127</sup> CEPT <https://cept.org/>

<sup>128</sup> TC SES Activity Report 2021 <https://www.etsi.org/committee-activity/activity-report-ses>

<sup>129</sup> Supporting the UK's wireless future, Our spectrum management strategy for the 2020s [https://www.ofcom.org.uk/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0017/222173/spectrum-strategy-statement.pdf](https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0017/222173/spectrum-strategy-statement.pdf)

sağlanması, talep edilen hizmete ilişkin tahsisin frekans tahsis tablosunda yer alması gerekmektedir.<sup>130</sup>

ABD’de enterferans riski taşımayan veya çok düşük olan uydular için toplu lisans verilmesi teşvik edilmektedir. Öte yandan ABD’nin telekomünikasyon alanındaki düzenleyici Kuruluşu olan Federal Communication Commission (FCC), sayıları giderek artan LEO uydularının işgal ettikleri uydu pozisyonları konusunda yeni bir düzenleme hazırlığında olup, halihazırda görev süresi biten uydular için 25 yıl olarak uygulanan yörüngede kalabilme süresini 5 yıla indirmeyi planlamaktadır. Bu düzenleme ile sayıları giderek artan uzaydaki çöp uyduların diğer uydular için oluşturacağı risklerin azaltılması amaçlanmaktadır.<sup>131</sup>

<sup>130</sup>The Space Law Review: Germany <https://thelawreviews.co.uk/title/the-space-law-review/germany>

<sup>131</sup>FCC to Set Five-Year Deadline for Deorbiting LEO Satellites <https://spacenews.com/fcc-to-set-five-year-deadline-for-deorbiting-leo-satellites/>

## 6. SONUÇ

LEO uydularının oluşturduğu ekonomi 2021 yılında 4,1 milyar ABD Doları iken, bu rakamın 2031'de 16,5 milyar ABD Dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir.<sup>132</sup> Her ne kadar şimdiye kadar yürütülen birçok proje uzun süreli faaliyet gösterememiş ve sonlanmış olsa da günümüzde fırlatılan LEO uyduları geçmiş tecrübelerle göre daha yüksek teknoloji içermektedir. Ayrıca, uzaya uydu gönderme maliyetlerindeki düşüşler, genişbant internete olan ilgi ve talep, dünyanın her noktasından bağlantılı kalma ihtiyacı, günümüzde bu amaca yönelik geliştirilen LEO projelerinin başarı ihtimalini artırmaktadır.

Bununla beraber uydu üretiminde kullanılan hammaddelerin maliyetlerinde yaşanan iniş-çıkışlar ve uyduların kısa görev ömürleri bu hizmeti veren şirketler için önemli riskler olarak gösterilmektedir. Buna ilave olarak, LEO uydu kullanımının yaygınlaşması ve hükümetler nezdinde desteklenmesi ile daha hafif materyallerin üretimde kullanılabileceğine yönelik beklentiler uydu projelerine yapılacak yatırımları destekleyebilecektir.

ITU verilerine göre Dünyada internet erişimi olmayan ve herhangi bir genişbant mobil şebekenin kapsamında bulunmayan nüfusun önemli bir kısmı en az gelişmiş ülkelerde yaşamaktadır. Bu anlamda, LEO uyduları üzerinden genişbant internet hizmeti gelişmiş ülkelerin genel nüfusu açısından büyük bir yenilik getirmemekte, hatta sağlanabilen hızlar mevcut karasal sistemlerin gerisinde olabilmektedir. Ancak ekonomik nedenlerle altyapının olmadığı ülkeler için kolay kuruluma sahip uydu üzerinden internet projeleri önemli fırsatlar getirebilir. Desteklenecek projelerle en azından okul, hastane, kütüphane gibi halkın genel erişimine açık noktalarda uydu üzerinden sağlanacak internet hizmeti ile ülkeler arasındaki sayısal uçurumun büyümesi azaltılabilir.

Tüm dünyada karasal internet şebekeleri her geçen gün gelişmekte ve kullanıcılara daha yüksek hızlar sunabilmektedir. 5G mobil şebekeler giderek yaygınlaşırken fiber üzerinden gigabit seviyelerine varan internet hızı alabilen abonelerin sayısı da artmaktadır. Bu nedenle, ticari olarak faaliyete başlayan LEO uydu projelerinin başlangıçta vadettiği yüksek hızları abone sayısı belirli bir seviyeye ulaştığında devam ettirip ettiremeyeceği veya artırıp artıramayacağı doğrudan rakibi olmasa da karasal sistemler karşısındaki ticari başarısını önemli ölçüde etkileyecektir.

LEO uyduları üzerinden sunulan hizmetler mobil hizmetlerin ikamesi olmak yerine tamamlayıcı bir hizmet olarak konumlandırılmaktadır. Mobil operatörlerin LEO uydu operatörleri ile yapacakları anlaşmalar ve kullanıcı el terminallerinin her iki sistemi de desteklemesi halinde kullanıcıların ilave bir işlemine gerek kalmaksızın mobil operatörün kapsamı ile sınırlı olmayan haberleşme alanlarına kavuşmaları mümkün olabilecektir. Bazı telefon modellerinin yalnızca acil durumlarda uydu kullanabileceği şimdiden duyurulmakta olup, uydu-mobil iş birliğinin acil durumlar dışında da yakın gelecekte kullanılabileceği tahmin edilmektedir.

Ülkemiz açısından LEO projeleri, sabit veya mobil genişbant altyapılarının henüz ulaşmadığı kırsal alanlar, endüstriyel bölgeler ve hızlı kentleşme nedeni ile altyapının istenen hızları sağlayamadığı nüfus-yoğun ancak merkezden göreceli uzak alanlar için bir tercih ve alternatif olabilecektir. Dönemsel olarak internet kullanımının çok arttığı turistik bölgeler ile altyapı götürmenin ekonomik olarak anlamlı olmadığı ama internet ihtiyacının

<sup>132</sup> <https://www.researchandmarkets.com/reports/5633495/low-earth-orbit-leo-satellites-global-market>

olduğu alanlarda da bu tür bir alternatif altyapıya talep olacağı açıktır. LEO uydularından hizmet alabilmek için gerekli cihazların giderek küçülmesi ve fiyatların makul düzeylere inmesi kurumsal kullanıcıların yanı sıra yüksek hareketliliğe sahip bireysel kullanıcıların da bu hizmetten yararlanabilmesinin önünü açacaktır. Alçak yörünge uydularının, büyük bir coğrafyaya ve önemli doğal afet risklerine sahip ülkemiz için afet ve acil durum haberleşmesi anlamında önemli bir imkân sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Haberleşmenin yanı sıra LEO uydularının sağlayabildiği üç boyutlu görüntü alma, güvenlik, tarım gibi uygulamalar ilerleyen zamanda daha fazla ön plana çıkabileceğinden, LEO uydu projelerinde ülkemizin aktif olarak yer almasının gündeme gelebileceği değerlendirilmektedir.

LEO uydu sistemlerine olan yatırımların artması halinde uzaydaki trafiğin yönetimi, spektrum ve yörünge tahsisi ile yaşam süresi sona eren veya arızalanan uyduların parçalarından kaynaklanan uzay çöplüğü konularının uluslararası kuruluşlar tarafından daha sıkı kurallara bağlanmaları gerekecektir.

## KAYNAKÇA

- Adilov ve diğerleri (2018).
- Alçak Yörünge Optik Gözlem Uydu Sistemleri,  
[https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2c2fdc4b0dc658f_ek.pdf)
- Alpagu, E. (2019). X-band Isoflux Microstrip Patch Antenna Array Desing For Low Earth Orbit Satellites (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi).
- Apple picks Globalstar for emergency satellite service on iPhone 14  
<https://www.reuters.com/technology/apple-picks-globalstar-satellite-service-iphone-14-series-2022-09-07/>
- Arslan, E. (2009). Savunma Teknolojileri Kapsamında Uyduların Gelişimi ve Sınıflarının İncelenmesi. XI. Akademik Bilişim Konferansı, 11-13.
- Aselsan Dergisi Sayı: 62 Temmuz 2001.
- Aydın, Ö., (2006). Uydu Haberleşme Sistemleri ve Savunmada Kullanımı. Yüksek Lisans. Sakarya Üniversitesi.
- BeiDou Navigation Satellite System  
<http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/>
- Benefits of LEO Satellites  
<https://satelles.com/technology/satellite-time-and-location-stl/benefits-of-leo-satellites/>
- Bill Gates Has Not Forgotten Teledesic – Might We See Another Broadband LEO Constellation?  
<https://circleid.com/posts/20200917-bill-gates-has-not-forgotten-teledesic/>
- Bilgin, T. (2020). Yeni nesil uydular üzerinden haberleşme hizmeti verilmeine yönelik düzenleyici öneriler. (BTK Uzmanlık Tezi).
- CEPT  
<https://cept.org/>
- Court Approves Sale of OneWeb to The UK Government and Bharti Global  
<https://oneweb.net/resources/court-approves-sale-oneweb-uk-government-and-bharti-global>
- Elbert Bruce R., 2014. The Satellite Communication Ground Segment and Earth Station Handbook, Artech house, USA.
- Elon Musk's SpaceX And T-Mobile To Link Satellites To Mobile Phones, Eliminating Dead Zones Worldwide  
<https://www.businessinsider.com/elon-musk-spacex-t-mobile-starlink-satellites-mobile-cell-phones-2022-8>
- European Space Agency  
[https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What\\_is\\_Galileo](https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What_is_Galileo)



- European Space Agency Low Earth Orbit  
[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2020/03/Low\\_Earth\\_orbit](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/03/Low_Earth_orbit)
- European Space Agency Glonass General Introduction  
[https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS\\_General\\_Introduction](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_General_Introduction)
- FCC OKs Lower Orbit For Some Starlink Satellites  
<https://spacenews.com/fcc-oks-lower-orbit-for-some-starlink-satellites>
- FCC Authorizes SpaceX to Provide Broadband Satellite Services  
<https://www.fcc.gov/document/fcc-authorizes-spacex-provide-broadband-satellite-services>
- FCC To Set Five-Year Deadline For Deorbiting LEO Satellites  
<https://spacenews.com/fcc-to-set-five-year-deadline-for-deorbiting-leo-satellites/>
- FCC, 2020c  
<https://fcc.report/IBFS/SAT-LOA-20170301-00027/1190018>
- Gaber, A., ElBahaay, M. A., Mohamed, A. M., Zaki, M. M., Abdo, A. S., & AbdelBaki, N. (2020). 5G and satellite network convergence: Survey for opportunities, challenges and enabler technologies. In *2020 2nd Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)* (pp. 366-373). IEEE.
- GSMA Intelligence Radar  
<https://www.gsma.com/iot/resources/gsmairadar-june-2020/>
- GSMA Intelligence Report; Look Out: LEO Satellite Goes Commercial  
<https://data.gsmaintelligence.com/research/research/research-2021/look-out-leo-satellite-goes-commercial>
- GSMA Intelligence, Satellite Aims for Blast-off in IoT,
- GSMA IoT Enterprise Survey 2018
- Herding Rockets: Improved Space Traffic Management Will Accelerate Industry Growth  
<https://spacenews.com/op-ed-herding-rockets-improved-space-traffic-management-will-accelerate-industry-growth/>
- Heybet, M., & Durukan, T (2018). Uydu Sektörünün Gelişimi ve Sınıflarının İncelenmesi. In *International Congress of Business, Economics and Marketing* (p. 128).
- How New Satellite Technology Could Unlock Broadband For Remote Homes  
<https://www.ofcom.org.uk/news-centre/2022/how-new-satellite-technology-could-unlock-broadband-for-remote-homes>
- How Starlink Works  
<https://www.starlink.com/technology>

- Internet Surge Slows, Leaving 2.7 Billion People Offline in 2022

<https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/PR-2022-09-16-Internet-surge-slows.aspx>

- Iridium Network

<https://www.iridium.com/network/>

- Iridium-NEXT

<https://spaceflight101.com/spacecraft/iridium-next/>

- ITU and Space: Ensuring Interference-Free Satellite Orbits in LEO and Beyond

<https://www.itu.int/hub/2022/02/itu-space-interference-free-satellite-orbits-leo/>

- ITU, 2020h, Satellite Webinars Part 2 & Part 3: Non-Geostationary Satellite Systems, 2020

<https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/sat-webinars/Pages/default.aspx>

- ITU-R: Managing The Radio-Frequency Spectrum For The World

<https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/itu-r-managing-the-radio-frequency-spectrum-for-the-world.aspx>

- JO, Kenneth Y., Artech House. Satellite Communications: Network Design and Analysis

- John Wiley & Sons, (2002). Handbook on Satellite Communications, ITU, USA

- Kenneth M. Peterson, (2003). Satellite Communications, Academic Press. Communications

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0122274105006736>

- Küresel Konum Belirleme Sistemi (Gps) ve Uygulaması

[https://www.emo.org.tr/ekler/7de7eb570312f4c\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/7de7eb570312f4c_ek.pdf)

- Launch Costs to Low Earth Orbit, 1980-2100

<https://www.futuretimeline.net/data-trends/6.htm>

- LeoSat

[https://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/leosat.htm](https://space.skyrocket.de/doc_sdat/leosat.htm)

- Low Earth Orbit

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/low-earth-orbit>

- McKinsey, Large LEO Satellite Constellations: Will It Be Different This Time?

<https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/large-leo-satellite-constellations-will-it-be-different-this-time>

- Measuring The Information Society Report (2014)

[https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/mis2014/MIS2014\\_without\\_Annex\\_4.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/mis2014/MIS2014_without_Annex_4.pdf)

- Online Index of Objects Launched into Outer Space  
[https://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp?lf\\_id=](https://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp?lf_id=)
- Our History  
<https://www.telesat.com/history/>
- Özden, N. (2020). A Space Law Matter: SpaceX Starlink and Minds-On
- Pachler, N., del Portillo, I., Crawley, E. F., & Cameron, B. G. (2021). An updated comparison of four low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband. IEEE.
- Pallisé Perelló, B. (2021). Study of the benefits and applications of LEO for communications and definition of space new business models: project Kuiper-Amazon (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Pratt Timothy, Allnutt Jeremy, 2020, Satellite Communications, USA
- Project Kuiper Announces Plans and Launch Provider For Prototype Satellites  
<https://www.aboutamazon.com/news/innovation-at-amazon/project-kuiper-announces-plans-and-launch-provider-for-prototype-satellites>
- Radio Regulations 2020  
<https://www.itu.int/hub/publication/r-reg-rr-2020/>
- Record Rollout of Faster Internet Connections  
<https://www.ofcom.org.uk/news-centre/2022/record-rollout-of-faster-internet-connections>
- Research and Markets  
<https://www.researchandmarkets.com/reports/5633495/low-earth-orbit-leo-satellites-global-market>
- Sag, E., & Kavas, A. (2018). Modelling and Performance Analysis of 2.5 Gbps Inter-satellite Optical Wireless Communication (IsOWC) System in LEO Constellation. *J. Commun.*, 13(10), 553-558.
- Satellites  
<https://data.gsmaintelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=51249207&file=050220-Satellites.pdf>
- Sattelite Communications Digital Notes  
[https://mrcet.com/downloads/digital\\_notes/ECE/IV%20Year/SATELLITE%20COMMUNICATIONS.pdf](https://mrcet.com/downloads/digital_notes/ECE/IV%20Year/SATELLITE%20COMMUNICATIONS.pdf)
- Satellite Communication – TCM Subsystem
- [https://www.tutorialspoint.com/satellite\\_communication/satellite\\_communication\\_tcm\\_subsystem.htm](https://www.tutorialspoint.com/satellite_communication/satellite_communication_tcm_subsystem.htm)
- Starlink Map  
<https://www.starlink.com/map>
- Starlink Satellites: Everything You Need to Know About The Controversial Internet Megaconstellation

<https://www.space.com/spacex-starlink-satellites.html#section-starlink-satellite-tracker>

- Starlink Slowed in Q2, Competitors Mounting Challenges

<https://www.ookla.com/articles/starlink-hughesnet-viasat-performance-q2-2022>

- Starlink Statistics

<https://planet4589.org/space/stats/star/starstats.html>

- Starlink Technology

<https://www.starlink.com/technology>

- Starlink Wikipedia

<https://tr.wikipedia.org/wiki/Starlink>

- Starlink

[www.starlink.com](http://www.starlink.com)

- TC SES Activity Report 2021

<https://www.etsi.org/committee-activity/activity-report-ses>

- The Global Risks Report 2022, World Economic Forum

- The New IRISS Constellation Will be Beneficial to EU Citizens in Several Ways, Find Out 5 of Them!

<https://www.euspa.europa.eu/newsroom/news/new-iriss-constellation-will-be-beneficial-eu-citizens-several-ways-find-out-5-them>

- The Satellite Broadband Industry Is Moving At Hyperspeed

<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/future-of-satellite-internet.html>

- T-Mobile and SpaceX Starlink Say Your 5G Phone Will Connect To Satellites Next Year

<https://www.theverge.com/2022/8/25/23320722/spacex-starlink-t-mobile-satellite-internet-mobile-messaging>

- Topcu M., (2017). Türkiye Uydu Haberleşme Sistemlerindeki Gelişmeler ve Gps Uygulamaları. Yüksek Lisans. Eskişehir Anadolu Üniversitesi.

- Tübitak, Türkiye'nin Haberleşme ve Gözlem Uyduları

<https://services.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf;jsessionid=DxAdJAzeWXJSaabP917F-9JN?dergiKodu=4&cilt=55&sayi=1124&sayfa=97&yaziid=46407>

- Türkiye'nin 8. Uydusu Uzayda

<https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/turkiyenin-8inci-uydusu-uzayda/2451461>,

- Türkiye'nin Haberleşme ve Gözlem Uyduları

<https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/content/turkiyenin-haberlesme-ve-gozlem-uydulari>

- Türksat Ömrünü Tamamlamış Uydular

<https://www.turksat.com.tr/tr/uydu/turksat-uydu/omrunu-tamamlamis-uydular>,

- Türksat Uydu Filosu

<https://uydu.turksat.com.tr/tr/uydu-filosu>

- Türksat Uydu Tarihçesi

<https://uydu.turksat.com.tr/tr/hakkimizda/uydu-tarihcesi>,

- Türksat, Uydu Haberleşmesi 101

<https://uydu.turksat.com.tr/sites/default/files/2021-09/TURKSAT-UYDUHABERLESMESI-101.pdf>

- Two of Europe's Biggest Internet Satellite Companies are Merging to Take on Starlink

<https://www.engadget.com/oneweb-eutelsat-merger-internet-satellite-spacex-starlink-151433993.html>

- UCS Satellite Database

<https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>

- Uğurlu, H. (2015). Uydu iletişimi ve TÜRK SAT haberleşme uyduları sistemi (Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi).

- Uydu Nedir?

<https://tua.gov.tr/tr/blog/havacilik-ve-teknoloji/uydu-nedir>

- Uydu Üzerinden Genişbant İnternet Hizmeti ve Regülasyonlar

<https://telkoder.org.tr/uydu-uzerinden-genisbant-internet-hizmeti-ve-regulasyonlar-2/>

- Velivela, V. (2015). Small satellite constellations: The promise of Internet for all. ORF Issue Brief, (107), 1-12.