

## 5G EKOSİSTEMİNDE LEO TAKIMUYDULARI

Abdullah Göksu<sup>1</sup>, Şule Şahin<sup>2</sup>, R. Erkam  
Yiğittürk<sup>3</sup>, Seda Çalık<sup>4</sup>  
Türksat A.Ş., Ankara

### ÖZET

*LEO takımuyduları kullanarak uzaydan internet sağlama fikri son yıllarda yeniden popülerlik kazanmıştır. Bu çalışmada 5G ekosisteminde uydunun yeri ve uydudan internet sunmak için mevcut ve planlanmış LEO takımuydularının teknik özellikleri incelenmiştir.*

### GİRİŞ

Dünya nüfusunun %48'i internete bağlı değildir [GSMA 2019]. Yakın gelecekte çevrimiçi olarak 6 milyar kullanıcı, 30 milyar cihaz ve 50 milyar makine olacağı tahmin edilmektedir. Kullanıcılar her zaman her yerde aynı kalitede internet deneyimine sahip olmayı bekler. Karasal çözümler herkese ekonomik olarak ulaşamaz. Uydunun son yeniliklerle güçlendirilen doğal yetenekleri, mobil operatörlerin artan talebin getirdiği zorluklarla yüzleşmesine yardımcı olabilir.

Geçmişte, kapalı bir yaklaşım izlenerek mobil protokoller geliştirildi. 2G, 3G ve 4G'nin uydu üzerinden çalışması için trafik manipülasyonu (hızlanma, optimizasyon vb.) açısından büyük çaba sarf edilmesi gerektiğinden uydu haberleşmesi gibi bitişik teknolojilerin ekosisteme katılması çok zordu. Buna karşılık, 5G'nin evrimi farklı olmuştur. 5G, mobil iletişimin geleceğinde uydulara tamamen entegre bir çözüm olma fırsatı vermektedir. Kasım 2019'da yapılan ITU WRC-19'dan sonra uyduya tahsis edilen spektrum 5G servislerine tahsis edilmeye başladı [ITU 5G]. Böylece uydu sektörü, 5G'nin uydu endüstrisi için de önemli iş fırsatları getireceğini fark etti.

### 5G'de Uydu

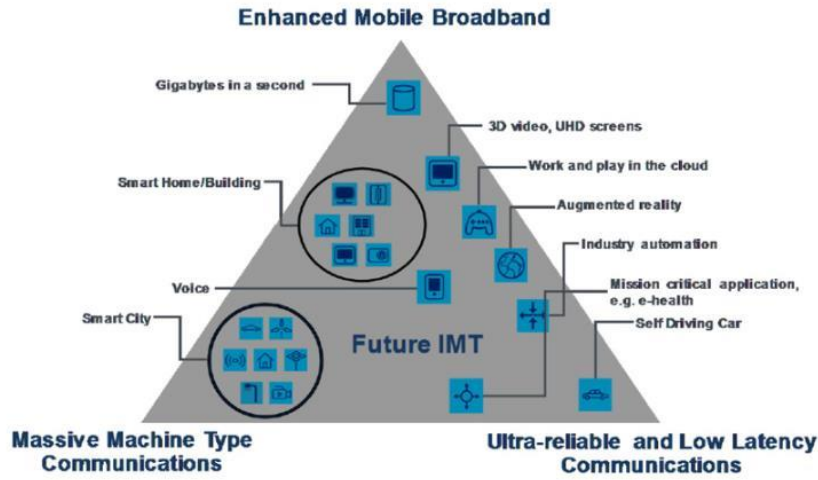
2020'lere girerken, uzay ve internet teknolojileri birbirine yaklaşıyor. Kendimizi bir uzay internet yarışının şafağında buluyoruz. 5G sadece geliştirilmiş bir 4G/LTE standardı değildir. 5G, Wi-Fi, küçük hücreler ve geleneksel mobil kablosuz gibi çoklu erişim teknolojilerinin yanı sıra karasal ve uydu ağlarını bir araya getiren yepyeni bir ağ mimarisinden (Networks of Networks) oluşacak. Uydudan internet, LEO takımuydusu projesine dayanan üçüncü nesil internet altyapı devrimidir. Uydu endüstrisi 5G protokollerini tanımlayan 3GPP standardizasyonunda çok aktiftir [3GPP]. Bu, uydu haberleşmesinin 5G ile tamamen birlikte çalışabilir olmasını ve 5G ağlarıyla entegre olmasını sağlar.

<sup>1</sup> T.Uzman, E-posta: agoksu@turksat.com.tr

<sup>2</sup> T.Personel, E-posta: sules@turksat.com.tr

<sup>3</sup> T.Personel, E-posta: reyigitturk@turksat.com.tr

<sup>4</sup> T.Personel, E-posta: scalik@turksat.com.tr

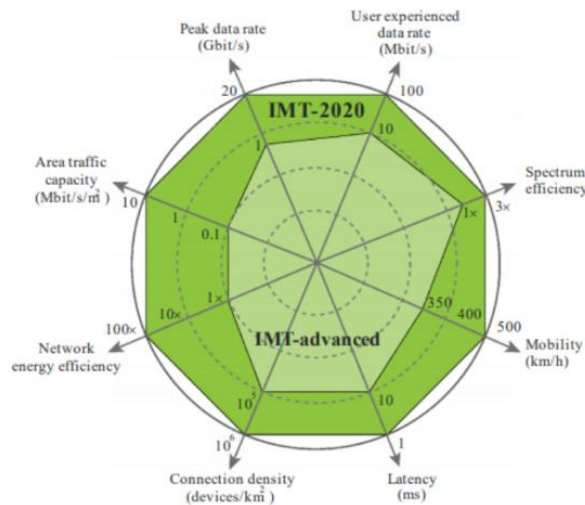


Şekil 1: 5G Kullanım alanları

5G'nin potansiyel kullanım alanları ITU tarafından üç kategoriye ayrılmıştır [ITU-R] (Şekil 1):

- Gelişmiş Mobil Geniş Bant (eMBB): artırılmış sanal gerçeklik, gelişmiş iç ve dış geniş bant, kurumsal iş birliği, vb.
- Devasa Makine Tipi İletişim (mMTC): akıllı evler ve şehirler, akıllı tarım, enerji izleme, akıllı izleme, vb.
- Ultra Güvenilir ve Düşük Gecikmeli İletişim (URLLC): endüstriyel otomasyon, sürücüsüz otomobiller, teletıp ve sağlık hizmetleri uzaktan ev izleme sistemleri, akıllı şebekeler vb.

Uydu, 5G için bu üç uygulamadan eMBB ve mMTC'ye mükemmel bir şekilde hizmet edebilir. Uydular için tek zorluk düşük gecikmeli uygulamalara hizmet etmektir. 5G'nin 3G için 210 ms, 4G için 60-98 ms olan gecikmeleri, URLLC verileri için 1 ms'nin altına azaltması beklenmektedir. 5G gecikme ölçütünün uydu kullanımını kısıtlayacağı kesin zamanlar vardır, ancak tüm uygulamalar kritik olarak gecikmeye duyarlı değildir. 5G'nin ağ dilimleme yeteneği sayesinde farklı istemciler farklı performans seviyelerini görür ve trafik gereksinimlere bağlı olarak akıllıca yönlendirilebilir. Aynı zamanda, 5G sınır bilişim (edge computing) yeteneği sayesinde gecikme gereksinimlerinin birçoğu çekirdeğe geri dönüşe gerek kalmadan kenarda çözülür. Sonuç olarak, uydu 5G için uygun bir çözüm haline gelir. Aksi takdirde, karasal ana taşıyıcı teknolojileri bile 1 ms'lik gereksinimi karşılayamaz. LEO uydularında gecikme süresi 20 ms civarındadır.

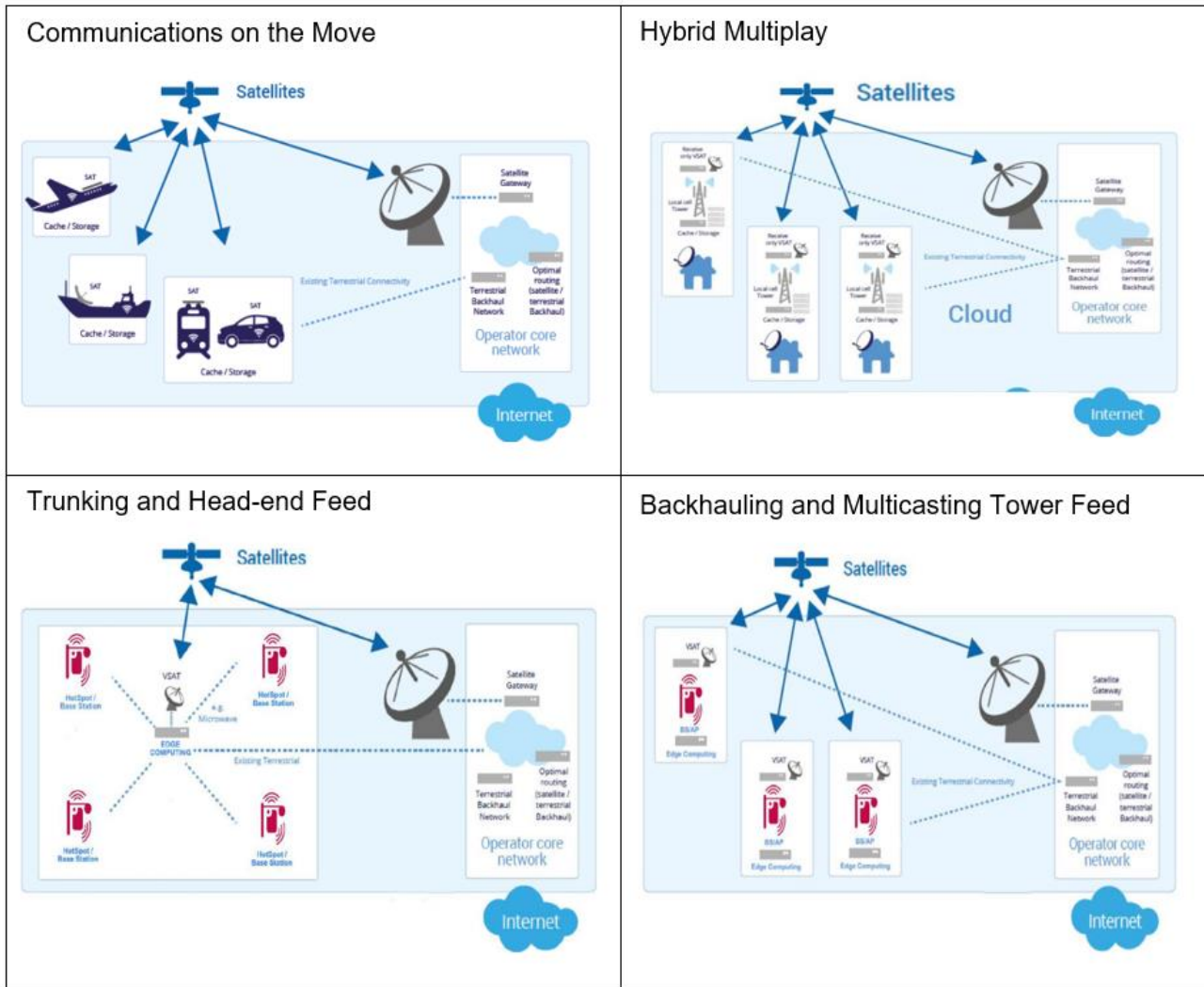


Şekil 2: 5G'nin gereksinimleri ve performans hedefleri IMT-2020

5G için ITU tarafından belirlenen teorik maksimum bağlantı hızı 20 Gbps'dir [ITU-R] (Şekil 2) . Ancak bu hedef hotspot alanlar içindir ve geniş alan kapsamı için minimum kullanıcı veri hızı bugün uydu haberleşmesi tarafından ulaşılabilen 100 Mbps'dir. Dahası, LTE tarihine bakıldığında 1 Gbps sunma hedefi ancak standardın tamamlanmasından 10 yıl sonra gerçekleşebildi. Dolayısıyla 5G'nin vaat-lerini bir gecede yerine getirmesi beklenmemektedir.

Uydular, 5G için kritik olan üç avantaj sunmaktadır:

- Uzak alan kapsamı ve mobilite: Uydular, karasal ağların kapsama alanı dışında kalan bölgeleri kapsayabilir ve hizmet sağlamak için ticari teşviklerin olmadığı kara kütlelerini kapsayabilir ve bu bölgelerde kara, hava ve deniz iletişimi sağlayabilir.
- Güvenilirlik: Karasal şebekeler doğal afetlere karşı savunmasız olduğundan, uydular gerektiğinde karasal altyapıdan neredeyse bağımsız çalışabilme yetenekleri ile iyi bir destek sunar. Ayrıca, uydular doğası gereği çoklu yedekleme ve güvenilirlik katmanlarıyla inşa edilir.
- Maliyet etkinliği: Uydular yetersiz hizmet alan bölgelerdeki karasal ağların zayıf bağlantılarını maliyet etkin bir şekilde geliştirebilir. Ayrıca, kapasite maliyeti kullanıcı sayısından veya iletişim noktaları arasındaki mesafeden bağımsızdır.



Şekil 3: 5G'de uydu tabanlı çözümler

5G'de uydu tabanlı çözümler dört ana kategoriye ayrılır (Şekil 3): [SaT5G D6.6]

- Harekat halinde iletişim: Uçaklara, gemilere ve kara araçlarına geniş bant iletişim hizmeti.
- Karma çoklu yayın: Binalarda bulunan her bir daireye video ve geniş bant iletişim bağlantısı.
- Trank ve santral besleme: Uzak bölgelere hizmet sağlama, özel hizmetler.
- Arka taşıma ve çoklu yayın veren kule beslemesi: Aşırı yüklü hücrelere aşırı kapasite ve yerel önbelleklere içerik dağıtımı (örn. video); son kullanıcılara verimli yayın hizmeti.

### LEO Takımyıldızları

Büyük LEO uydu takımları kullanarak uzaydan internet sağlama fikri son yıllarda yeniden popülerlik kazanmıştır. Mevcut veya planlanmış bazı LEO takımyıldızları hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir.

Oneweb: Şirketin amacı her yerde düşük gecikmeli geniş bant bağlantısı sağlamaktır [Oneweb], [Portillo, Cameron ve Crawley, 2019]. OneWeb, FCC'den (ABD Federal İletişim Komisyonu) 22 Haziran 2017'de onay aldı. Uydular, Fransa Toulouse'da ve Florida'daki Kennedy Uzay Merkezi'nin yakınında, Airbus ile işbirliği ile kurulan ayrı bir fabrikada üretilmektedir. OneWeb Uydu özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 4: OneWeb uydusu [Oneweb]

Tablo 1: OneWeb Uydu özellikleri

|                         |                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Şirket bilgileri</b> | Merkez: İngiltere Londra<br>Uydu operasyon: ABD, Virginia ve İngiltere Londra<br>Yer Ağı operasyon: İngiltere Londra<br>Ortaklar: SoftBank, Airbus, Bharti, Hughes, Virgin, Arianespace, Qualcomm vs.<br>Sermaye: 3.3 Milyar \$ |
| <b>Boyut</b>            | 1m x 1m x 1.3m                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Ağırlık</b>          | 145 kg                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Faydalı yük</b>      | 60 kg                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>İtki sistemi</b>     | Xenon HET                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Uydu Ömrü</b>        | 7 yıl                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Güç</b>              | Li-ion batarya, 200W                                                                                                                                                                                                            |

|                    |                                  |
|--------------------|----------------------------------|
| <b>Anten</b>       | 2 TTC Omni, 2 Ku band, 2 Ka band |
| <b>Yörünge</b>     | 1200km, 87° eğim, 18 kutupsal    |
| <b>Uydu sayısı</b> | 720 (18 düzlem*40 uydu)          |



Şekil 5: OneWeb takımuydu yörüngesi [Portillo, Cameron ve Crawley, 2019]

OneWeb sistemi kullanıcı iletişimi için Ku-bandını (D/L:10.7–12.7, U/L:12.75–14.5 GHz) ve ağ geçidi iletişimi için Ka-bandını (D/L:17.8-20.2 GHz, U/L:27.5–30.0 GHz) kullanır. Yer segmentinin her biri on adet 2,4 m'ye kadar ağ geçidi antenine sahip 50 veya daha fazla ağ geçidi yer istasyonu oluşturması öngörülmektedir. Sistem, kullanıcı tarafında, 30-75 cm'lik parabolik anten, faz dizili anten ve diğer elektronik olarak yönlendirilebilir antenler ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Her bir uydu Ka-bandında eşit olarak çalışan iki hüzmeli (aperture) antenine sahiptir. Her anten bağımsız olarak çalışabilen dairesel bir nokta ışını üretebilir. Her uydu servis alanı 1080 km x 1080 km'dir. Tek bir ışının D/L hızı 750 Mbps'ye ulaşabilir iken ve U/L hızı 375 Mbps'dir. Her uydunun kapasitesi 7.5 Gbps olup takımuydularının kapasitesi 6-7 Tbps'dir.

İlk 6 uydu 27 Şubat 2019'da Arianespace tarafından yörüngeye yerleştirildi. OneWeb şu ana kadar 74 uydu fırlattı (Tablo 2) ve gerekli 44 yer istasyonunun yarısını tamamladı.

Tablo 2: OneWeb Uydularını fırlatılma tarihçesi

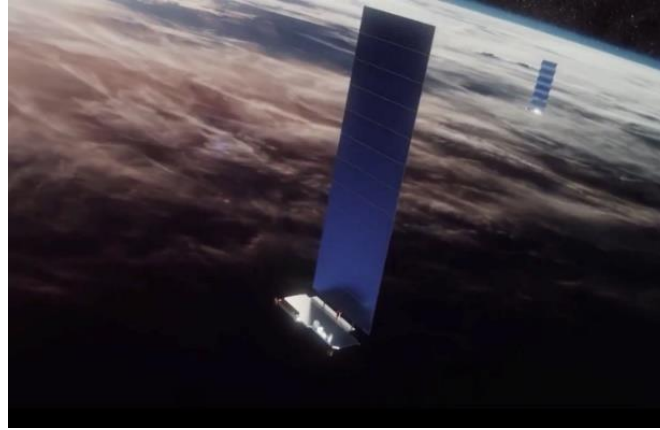
| <b>Fırlatma No</b> | <b>Fırlatma Tarihi</b> | <b>Uydu sayısı</b> | <b>Fırlatıcı</b>      | <b>Fırlatma yeri</b> |
|--------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|
| 1                  | 27 Şubat 2019          | 6                  | Soyuz-ST-B Fregat-M   | Kourou, ELS          |
| 2                  | 06 Şubat 2020          | 34                 | Soyuz-2.1b / Fregat-M | Baikonur, Site 31/6  |
| 3                  | 21 Mart 2020           | 34                 | Soyuz-2.1b / Fregat-M | Baikonur, Site 31/6  |
| 4                  | ? 2020                 | 36                 | Soyuz ST-B / Fregat-M | Kourou, ELS          |

OneWeb geçen yıl ilk LEO uyduları grubundan 32ms gecikme süresiyle 400 Mbit/s hıza ulaşabildiğini bildirdi.

OneWeb, 2020 Mart sonunda ABD'de iflas koruması için başvuruda bulundu. İflas dilekçesine göre, Oneweb'in yüzde 8,5 hissesine sahip Arianespace yaklaşık 238 milyon avroyla ana alacaklı durumundadır.

**SpaceX Starlink:** SpaceX Starlink projesi en iddialı NGSO takımuydu projesidir [SpaceX], [Portillo, Cameron ve Crawley, 2019]. SpaceX , gezegenin yetersiz hizmet alanlarına uydu internet bağlantısı sağlamanın yanı sıra kentsel alanlara rekabetçi fiyatlarla hizmet vermeyi amaçlamaktadır. SpaceX Kasım 2016'nın FCC'ye takımuydusu için dilekçe vermiştir.

Starlink uyduları, tek bir güneş paneline sahip düz bir panel tasarımına sahiptir. Starlink v0.9 modeli yaklaşık 227 kg, Starlink v1.0 modeli ise yaklaşık 260 kg'dır. Uydular, herhangi bir dağıtıcıya gerek kalmadan fırlatılacak şekilde istiflenmektedir. Uydu kripton yakıtlı Hall iticilere sahiptir. Uydular, uplink bağlantılı izleme verilerine göre çarpışmalardan kaçınmak için bağımsız olarak tasarlanmıştır. Ömürlerinin sonunda yörüngeden çıkartılacak Starlink uydularının %95'inin yanması beklenmektedir. Tablo 3'de Starlink LEO takımuydusunun detayları verilmiştir.

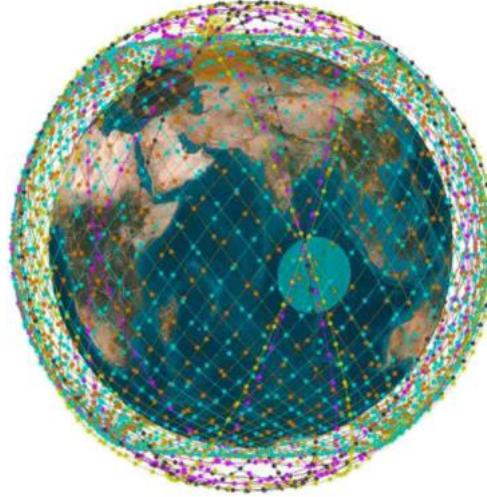


Şekil 6: SpaceX Starlink uydusu [SpaceX]

Tablo 3: SpaceX Starlink takımuydularının yörünge bilgileri

| Yörünge<br>düzlem<br>sayısı | Yükseklik<br>(km) | Eğim  | Uydu sayısı<br>/yörünge düzlemi | Uydu<br>sayısı | Frekans<br>bandı | Tamamlanma<br>yılı |
|-----------------------------|-------------------|-------|---------------------------------|----------------|------------------|--------------------|
| 72                          | 550               | 53°   | 22                              | 1584           | Ku/Ka            | Mart 2027          |
| 32                          | 1150              | 53°   | 50                              | 1600           | Ku/Ka            | Mart 2027          |
| 32                          | 1100              | 53.8° | 50                              | 1600           | Ku/Ka            | Mart 2027          |
| 8                           | 1130              | 74°   | 50                              | 400            | Ku/Ka            | Mart 2027          |
| 5                           | 1275              | 81°   | 75                              | 375            | Ku/Ka            | Mart 2027          |
| 6                           | 1325              | 70°   | 75                              | 450            | Ku/Ka            | Mart 2027          |
|                             | 345.6             | 53°   |                                 | 2547           | V                | Kasım 2027         |
|                             | 340.8             | 48°   |                                 | 2478           | V                | Kasım 2027         |
|                             | 335.9             | 42°   |                                 | 2493           | V                | Kasım 2027         |





Şekil 7: SpaceX Starlink takımyıdu yörüngesi [Portillo, Cameron ve Crawley, 2019]

SpaceX sistemini kullanıcı iletişimi için Ku-bandını (D/L:10.7-12.7 GHz, U/L:14.0 - 14.5 GHz) ve ağ geçidi iletişimi Ka-bandını (D/L:17.8 - 19.3 GHz, U/L: 27.5 - 30.0 GHz) kullanacaktır.

Her bir uydunun toplam kapasitesinin, kullanıcı terminalinin özelliklerine bağlı olarak 17-23 Gbps olduğu tahmin edilmektedir. Kullanıcı ışınları  $1.5^\circ$  ve istasyon ışınları  $1^\circ$  açılı spot ışınlardır. Bu ışınlar 7.8125 MHz bant genişliğine ayrılmış olup toplam bant genişliği 1 GHz'dir. Sistem, çok sayıda ışını dinamik olarak kontrol etmek ve talep üzerine kapasiteyi merkezileştirmek için faz dizili teknolojiyi kullanır.

Tablo 5: SpaceX Starlink ışın değerleri

|                   | Ka band            | Ku band         |
|-------------------|--------------------|-----------------|
| <b>G/T</b>        | 11.4-13.7 dB/K     | 8.7-9.8 dB/K    |
| <b>Maks. EIRP</b> | - 11,07 dBW / 4KHz | 18.64 dBW / MHz |
| <b>Min. EIRP</b>  | - 14,2 dBW / 4KHz. | 15.6 dBW / MHz  |

Her uydunun Dünya'ya bakan anteni ortalama 340 km yükseklikten  $52 \text{ km}^2$ 'lik bir alanı kapsayacaktır. Yeryüzünden bakıldığında yönlendirilebilir uydusu ışınlarının operasyonel minimum eleasayon açısı  $35^\circ$  'dir. Bugüne kadar 540 uydusu uzaya gönderilmiştir (Tablo 6).

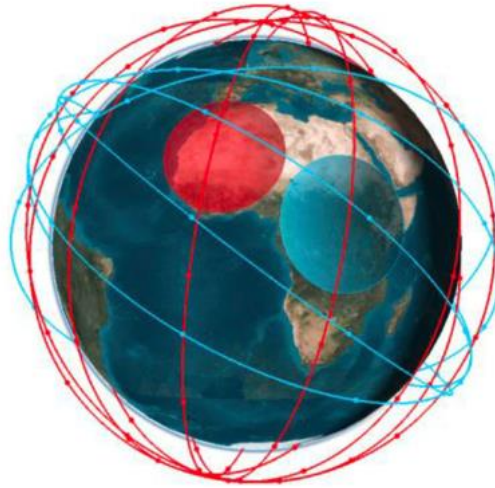
Tablo 6: SpaceX Starlink uydularının fırlatılma tarihçesi

| Fır. No | Fır. Tarihi   | Blok   | Uydu sayısı | Fırlatıcı               | Fırlatma yeri | Yükseklik (km) | Eğim         |
|---------|---------------|--------|-------------|-------------------------|---------------|----------------|--------------|
| 0       | 22 Şubat 2018 | Tenten | 2           | Falcon-9 FT             | SLC-4E        | 514            | $97.5^\circ$ |
| 1       | 24 Mayıs 2019 | v0.9   | 60          | Falcon-9 v1.2 (Block 5) | SLC-40        | 440-550        | $53^\circ$   |
| 2       | 11 Kasım 2019 | v1.0   | 60          | Falcon-9 v1.2 (Block 5) | SLC-40        | 550            | $53^\circ$   |
| 3       | 7 Ocak 2020   | v1.0   | 60          | Falcon-9 v1.2 (Block 5) | SLC-40        | 550            | $53^\circ$   |
| 4       | 29 Ocak 2020  | v1.0   | 60          | Falcon-9 v1.2 (Block 5) | SLC-40        | 550            | $53^\circ$   |

|    |                 |      |    |                         |         |     |     |
|----|-----------------|------|----|-------------------------|---------|-----|-----|
| 5  | 17 Şubat 2020   | v1.0 | 60 | Falcon-9 v1.2 (Block 5) | SLC-40  | 550 | 53° |
| 6  | 18 Mart 2020    | v1.0 | 60 | Falcon-9 v1.2 (Block 5) | SLC-39A | 550 | 53° |
| 7  | 22 Nisan 2020   | v1.0 | 60 | Falcon-9 v1.2 (Block 5) | SLC-39A | 550 | 53° |
| 8  | 4 Haziran 2020  | v1.0 | 60 | Falcon-9 v1.2 (Block 5) | SLC-40  | 550 | 53° |
| 9  | 12 Haziran 2020 | v1.0 | 58 | Falcon-9 v1.2 (Block 5) | SLC-40  | 550 | 53° |
| 10 | ? Ağustos 2020  | v1.0 | 57 | Falcon-9 v1.2 (Block 5) | SLC-39A | 550 | 53° |

SpaceX, 2020 sonunda Kanada ve ABD'lerinin bazı bölgelerinde hizmet vermeye başlamayı planlamaktadır.

**Telesat:** Telesat'ın SSTL tarafından yapılan ilk Leo uydusu 12 Ocak 2018'de Hindistan'ın PSLV rocketi ile fırlatılmıştır [Telesat], [Portillo, Cameron ve Crawley, 2019]. Telesat'ın takımyudusunda (Şekil 9), iki yörünge kümesine dağıtılmış 117 uydu vardır. Kutup yörüngeleri 6 dairesel yörünge düzleminde 1000 km yükseklikte ve 99.5° eğimde olacak ve düzlem başına en az 12 uydu bulunacaktır. Eğimli yörüngeler en az 5 dairesel yörünge düzleminde 1200 km yüksekliğinde ve 37.4° eğimde olacak ve düzlem başına minimum 10 uydu bulunacaktır.



Şekil 9: Telesat takımyu yörüngesi [Portillo, Cameron ve Crawley, 2019]

Bitişik uydular, optik uydu-uydu bağlantıları vasıtasıyla iletişim kuracaktır. Her uydu bir IP ağının düğümü olacaktır. Telesat takımyudusu, D/L için Ka bandında (17.8-20.2 GHz) 1.8 GHz bant genişliğini ve U/L için Ka bandında (27.5-30.0 GHz) 2.1 GHz bant genişliği kullanacaktır.

Sistemin 2022'de hizmet vermeye başlaması planlanmaktadır. Sistemin kontrol merkezi Kanada Ottawa'da olacaktır.

**Samsung:** Samsung'un 2028'e kadar 1400 km yörüngede 4600 uydu ile dünyadaki 5 milyar insana ayda 200 Gbps genişbant internet hizmeti sağlayabileceğini iddia ediyor [Samsung]. Samsung takımyudusunun henüz net bir detayı yoktur.



Facebook Athena: Athena uydusu, Facebook'un bir yan kuruluşu olan PointView Teknik LLC tarafından, bir takımuydu ile küresel genişbant internet erişimi sağlamak amacıyla, test için geliştirilen deneysel bir LEO iletişim uydusudur [Facebook].

SS/Loral tarafından SSL-100 veriyoluna dayanarak üretilen uydu 150 kg'dır. Athena, çok daha hızlı veri hızları vaat eden E-band (60-90 GHz) yüksek frekanslı milimetre dalga radyo sinyalleri kullanacaktır.

Amazon Kuiper: Kuiper Projesi, Amazon'un düşük gecikmeli, yüksek hızlı geniş bant için düşük Dünya yörüngesinde konuşlandırmayı planladığı 3.236 uydudan (590 km yükseklikte 33° eğimde 784 uydu, 610 km yükseklikte 52° eğimde 1296 uydu, 630 km yükseklikte 42° eğimde 1156 uydu) oluşur [Amazon]. Böylece, Dünya nüfusunun yaklaşık %95'inin yaşadığı 56° kuzey ve güney enlemleri arasında kapsama sağlanacaktır.

Galaxy Space: Galaxy Space, küresel olarak yüksek hızlı ve düşük gecikmeli iletişim hizmetleri sunmak istiyor [GalaxySpace]. Şirket bu amaçla küçük, düşük maliyetli ve yüksek performanslı Galaxy-1 uydu platformuna dayanan toplam 650 adet uydudan oluşacak küresel bir 5G LEO takımuydusu kurmayı planlamaktadır. Çin, test amacıyla 15 Ocak 2020'de 227 kilogram ağırlığında Yinhe-1 ticari 5G uydusunu LEO'ya gönderdi. Uydu 621 km × 638 km'lik yörüngede 86.4°'lik eğimdedir. Yinhe-1 uydusu ile 10 Gbps'ye kadar Q/V ve Ka-bandında iletişim testleri yapılacaktır. Platform, yörünge testlerinden çıkarılan dersler temelinde geliştirilecektir. Galaxy takımuyduları hizmet sürelerini sonuna yaklaştığında otomatik olarak manevralar yapacak ve daha sonra atmosferde yanacaktır.

## SONUÇ

5G'nin birçok gereksinime hiçbir teknolojinin sürdürülebilir bir şekilde karşılayamayacağı açıktır ve her bir 5G uygulaması için de gerekli değildir. Tersine, birçok kuruluş 5G'den ihtiyaç duyulan şeyin farklı uygulamaların gereksinimlerine başarılı bir şekilde uyum sağlamak olduğunu kabul etmiştir. Gerçekten bağlı bir Dünya vizyonunu desteklemek için 5G altyapısının birbirini tamamlayan küçük teknolojiler, uydu, Wi-Fi, geleneksel mobil kablosuz ağlar vs. gibi çeşitli teknolojileri kullanması gerekir. 5G, vaatlerini yerine getirmek için uyduya ihtiyaç duyar. Uydular, 5G'nin hedeflerine ulaşmak için kritik olan üç avantaj sunar: Uzak alan kapsamı, güvenilirlik ve maliyet etkinliği.

5G, uydu endüstrisi için harika faydalar sağlayacaktır. Sadece geleneksel kullanım (Backhaul ve Trunking) durumlarındaki büyümeyi hızlandırmakla kalmayacak, aynı zamanda araç bağlantısı veya hibrid ağlar gibi yeni dikey alanların kilidini açma potansiyeline de sahip olacaktır.

LEO takımuydusu karasal ağ altyapısı için ideal bir tamamlayıcıdır. 5G standartlarıyla uyumlu olan LEO takımuydusu küresel kapsamın yanı sıra düşük gecikme süresi ile kullanıcıların 5G ağlarına yüksek hızda kesintisiz erişmelerini sağlar. Küçük, akıllı, düşük maliyetli uydu kullanıcı terminalleri okullarda, evlerde, otomobillerde, uçaklarda ve diğer birçok senaryoda kullanıma uygundur.

Son söz olarak, internet gelecekte uzaydan gelecek.

**Kaynaklar**

Amazon, <https://spacenews.com/amazon-planning-3236-satellite-constellation-for-internet-connectivity/>, erişim tarihi:20 Mayıs 2020.

Facebook, <https://techcrunch.com/2019/04/04/amazon-joins-spacex-oneweb-and-facebook-in-the-race-to-create-space-based-internet-services/>, erişim tarihi:20 Mayıs 2020.

GalaxySpace,<https://spacenews.com/china-launches-yinhe-1-commercial-low-earth-orbit-5g-satellite/>, erişim tarihi:20 Mayıs 2020.

GSMA 2019, *The state of mobile Internet connectivity 2019*, GSM Assoc., London, U.K., Tech. Rep.Jul.2019, <https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2019/07/GSMA-State-of-Mobile-Internet-Connectivity-Report-2019.pdf>, erişim tarihi:20 Mayıs 2020.

ITU 5G, 2019, *5G-Fifth generation of mobile technologies*, ITU, <https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/5G-fifth-generation-of-mobile-technologies.aspx>, erişim tarihi:20 Mayıs 2020.

ITU-R, 2015, *M.2083: IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond*, [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-E.pdf), erişim tarihi: 20 Mayıs 2020.

Oneweb, <https://www.oneweb.world/>, erişim tarihi:20 Mayıs 2020.

Portillo I., Cameron B.G. ve Crawley E.F., 2019, *A Technical Comparison of Three Low Earth Orbit Satellite Constellation Systems to Provide Global Broadband*, Acta Astronautica 159 (2019), 123-135.

Samsung, <https://www.universetoday.com/141980/spacexs-starlink-constellation-construction-begins-2200-satellites-will-go-up-over-the-next-5-years/>, erişim tarihi:20 Mayıs 2020.

SpaceX, <https://www.spacex.com/>, erişim tarihi:20 Mayıs 2020.

SaT5G D6.6, 2018, *SaT5G Satellite and Terrestrial Network for 5G:D6.6 Exploitation Plan*, [https://sat5g-project.eu/wp-content/uploads/2019/04/SaT5G\\_D6.6\\_Exploitation-Plan.SES\\_v01.00\\_S.pdf](https://sat5g-project.eu/wp-content/uploads/2019/04/SaT5G_D6.6_Exploitation-Plan.SES_v01.00_S.pdf), erişim tarihi: 20 Mayıs 2020

Telesat, <https://www.telesat.com/services/leo/why-leo>, erişim tarihi:20 Mayıs 2020.

3GPP, <https://www.3gpp.org/>, erişim tarihi:20 Mayıs 2020.