



**YENİ UZAY ÇAĞI:
21'İNCİ YÜZYILDA KOZMİK REKABET III
Takım Uydular Çağında Fırsat ve Tehditler**



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/ bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.

 STM ThinkTech

1. GİRİŞ

21'inci yüzyılda uzay yarışında değişen dinamikleri incelediğimiz “Yeni Uzay Çağı: 21'inci Yüzyılda Kozmik Rekabet” araştırma raporumuzun üçüncü bölümünde, 2020 sonrasında büyük ivme kazanması beklenen takım uydularını mercek altına alacağız. Zira takım uydular 21'inci yüzyıl uzay teknolojilerinde sunduğu fırsatlar ve yaratabileceği tehditler açısından en çok dikkati çeken unsurlardan olacak gibi görünmektedir.

Takım uydular da yazı dizimizin önceki bölümlerinde altını çizdiğimiz gibi, 21'inci yüzyılın çığır açan teknoloji ve iş yapış biçimindeki değişimin bir ürünüdür. Yeni teknolojiler ve yeni iş modelleriyle finansman sorunlarını çözen özel sektörün uzaya ilgisinin artması, uzay fırlatma maliyetlerini düşürürken; mikro elektronik, nesnelerin interneti (IoT), katmanlı imalat (Üç boyutlu yazıcılar) gibi teknolojiler küçük, hatta mikro boyutlu uyduların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Ancak bu küçük ve mikro uydular genellikle boyutlarından ötürü karmaşık görev yükleri taşıyamamakta ve sabit yörüngede (GEO) faaliyet göstermeye elverişli olamamaktadır. Ancak küçük ve mikro uydular aşağıda değinilecek bir dizi avantajdan ötürü alçak yörüngede (LEO) ve orta yörüngede (MEO) senkronize olarak kullanılmaya başlanmış ve verim elde edilmiştir.

2020 yılı itibarıyla sadece takım uydular (Satellite Constellation) çağına değil “mega takım uydular (Mega Constellation Satellites)” çağına da girilmiş bulunmaktadır. Özellikle 2019 yılından itibaren küçük uydulardan yüzlercesi hatta binlercesi, alçak yörüngeye yerleştirilmeye başlanmıştır. Bu yeni bir uzay mimarisine işaret etmektedir.

Küçük girişimlerden (Startup) büyük teknoloji ve havacılık şirketleri ile kamu girişimlerine kadar pek çok oyuncu, iletişim (internet, IoT, uydu telefonu, 5G mobil iletişim, TV ve radyo yayınları), yeryüzü gözlem ve savunma gibi amaçlarla geleneksel iş modellerini bir kenara iterek bu yeni mimarileri takip etmektedir.

Yetersiz hizmet alan veya uzak alanlara iletişim hizmetleri sağlama dahil olmak üzere çeşitli nedenlerle, çoğunlukla alçak yörüngede giderek daha fazla sayıda takım uydular planlanmaktadır. Bir iddiaya göre 2030 yılına kadar 107 bin parça alçak yörünge uydusunun uzaya gönderilmesi planlanmaktadır^[1]. Nisan 2020 itibarıyla Dünya yörüngelerinde (LEO, MEO ve GEO) 2.666 kadar aktif uydular bulunmaktadır^[2] ve bu hesaba Nisan 2020'den beri uzaya gönderilen çok sayıda Starlink ve BlackSky uyduları dahil değildir. Bu durumda, yeni takım uyduların sayısı yakında daha önce fırlatılan tüm uydulardan daha fazla olacaktır.

Ancak takım uydularındaki astronomik artış bir dizi bilimsel ve ekonomik kaygıların yanı sıra, güvenlik ve kirlilik endişelerini de beraberinde getirmiştir. Bu kaygılar takım uyduların sürdürülebilir olup olmayacağına dair kuşku doğmasına yol açmaktadır.

Gerek gelişim dinamikleri, gerek yaratacağı fırsatlar ve gerekse ortaya çıkabilecek sorunlar açısından takım uydular yakından incelemeyi hak etmektedir. “Yeni Uzay Çağı: 21'inci Yüzyılda Kozmik Rekabet” konulu yazı dizimizin üçüncü bölümünde önce takım uyduların genel çerçevesi çizilecek ardından kullanım alanlarına göz atılacak, belli başlı takım uydular projeleri hedefleri sıralandıktan sonra bu teknolojinin sürdürülebilir olup olmayacağı yönündeki görüşlere göz atılacaktır.

2. TAKIM UYDULAR VE KULLANIM ALANLARI

Uydu sektörü insanlığın uzay çalışmaları ile eşzamanlı olarak başlamış ve belli bir olgunluğa erişmiştir. 21'inci yüzyıl teknolojileri uydu sektöründe de paradigmaları değiştirmiş, birçok önemli amaç için uyduların tasarlanması, inşa edilmesi ve konuşlandırılması için önemli çaba sarf edilmeye başlanmıştır. Son zamanlarda takım uydular olarak adlandırılan ağlar konuşlandırılmakta ve çok daha büyük ağların Dünya yörüngesine yerleştirilmesi planlanmaktadır. Peki, takım uydu nedir? Neden bu tür sistemlere ihtiyaç ortaya çıkmıştır? Takım uydu sistemleri ne tür avantajlar sunuyor? Bu sistemler hangi alanlarda kullanılabilir? Bu bölümde bu sorulara yanıtlar aranacaktır.

2.1 Takım Uydu Tanımı ve Avantajları

Uluslararası Astronomi Birliği (International Astronomical Union-IAU), takım uyduyu, "Paylaşılan kontrol altında, ortak bir amaç için benzer, tamamlayıcı, yörüngelerde olacak şekilde tasarlanmış, benzer tipte ve işlevde bir dizi uydu" olarak tanımlamaktadır^[3].

Takım uydular, yer kontrol istasyonları ile birlikte, belirli görevleri, beyin nöronları gibi paylaşarak ve birbirleriyle iletişim ve veri aktarımı içinde kalarak yerine getirmektedir. Bu açıdan birer "yapay sinir ağları (Neural Networks)^[4] örneğidir. Aynı nedenle Dağıtık Uzay Misyonları (Distributed Space Missions -DSMs) olarak da anılmaktadırlar^[5].

Literatürde çeşitli tanımlar bulunmakla birlikte hepsi IAU tanımında olduğu gibi uydu sistemlerine vurgu yapmaktadır. Bu anlamda takım uydu olarak nitelendirilebilecek uydu sistemleri uzun süredir faaliyet göstermektedir. Çoğunlukla yer sabit yörünge (GEO) ve orta yörüngede konuşlandırılmış savunma, navigasyon (GSM, GLO-NASS, Galileo, BeiDou, NAVIC ve QZSS), TV yayınları, uydu interneti ve uydu telefonu hizmeti sağlayan telekomünikasyon amaçlı uydu kümeleri (IMMARSAT, IRIDIUM, EUTELSAT vb.) bu kapsamda değerlendirilebilir.

Ancak takım uydular kavramından, genellikle alçak yörüngeye yerleştirilen küçük (500 kilogramdan daha az)^[6] uydulardan oluşan sistemlerin anlaşıldığı gözlemlenmektedir. Bunda binlerce küçük uydudan oluşacağı ileri sürülen, dünyanın hemen her noktasına internet erişimi ulaştırma iddiasını taşıyan Starlink, OneWeb ve Telesat gibi projelerin yarattığı tartışmaların payı vardır. Çoğunlukla "Mega takım uydular (Mega Constellation)"^[7] olarak anılan bu sistemler henüz başlangıç aşamasındadır ancak 2030 yılına kadar binlerce parça uydudan oluşan karmaşık sistemler haline geleceği belirtilmektedir.

Takım uydu projelerinin ortaya çıkışında temel etmenin, uzay imkânlarından daha düşük maliyette ve daha verimli biçimde yararlanma arayışı olduğu ifade edilmektedir. Takım uydu projelerinin büyük bölümü internet erişimi ve ticari uzaktan algılama (Remote Sensing) faaliyetlerini hedeflemektedir. Halen dünya nüfusunun yüzde 62'si internet erişimine sahiptir ve bu oran Afrika'da

yüzde 42,2'ye kadar gerilemektedir. Üstelik Avrupa ve Kuzey Amerika'da erişim oranı yüzde 85'in üzerinde olmasına rağmen kırsal bölgelerde internet erişimi son derece kısıtlıdır^[8]. Başta yeryüzü gözlem (Earth Observation) olmak üzere, uzaktan algılama faaliyetlerine talep hızla artmaktadır. Küresel uzaktan algılama pazarı 2019 yılında 12 milyar 400 milyon dolara ulaşmıştır ve pazarın 2027 yılına kadar ortalama yüzde 11,6 büyüyeceği tahmin edilmektedir^[9].

Takım uydu projelerine destek verenlere göre bu sistemler, yukarıda belirtilen eksikliklerin giderilmesi ve uygulama alanlarının artması yönünde bir dizi avantajı beraberinde getirecektir. Birlikte çalışan birden fazla uzay aracını kullanmak, bu sınırlamaların çoğunun üstesinden gelebilir ve küçük uyduların kullanım alanını genişletebilir.

2.1.1 Boyut Avantajları

Küçük uydular boyutlarından ötürü düşük geliştirme, imalat ve fırlatma maliyeti avantajları sunmaktadır. Uydular geleneksel olarak müşteri ihtiyaçlarına göre düşük sayılarda imal edilmektedir ve seri üretimi söz konusu değildir. Ölçek ekonomisinden yararlanılamadığı ve uzun ömürlü olmaları istendiği için örneğin büyük bir iletişim uydusunun maliyeti kilogram başına 60.000 dolara ulaşmaktadır^[10].

Buna karşılık, mikro elektronik alanındaki ilerlemeler ve üç boyutlu yazıcı teknolojisi sayesinde küçük uyduların tasarım, geliştirme ve imalat maliyetleri hayli düşüktür^[6]. Yapılan hesaplamalara göre OneWeb takım uydularının her bir uydusunun kilogram maliyeti 3.333 dolar, Starlink uydularının ise 3.700 dolardır ve üstelik bu rakamlara fırlatma maliyetleri dahildir^[10].

Minyatür boyutlar ve avantaj bu uyduların fırlatma maliyetlerini de aşağı çekmektedir. Geleneksel uydular bir otobüs büyüklüğüne ulaşabilmektedir ve bu yüzden bir fırlatmada ancak bir veya birkaç büyük uydu uzaya götürülebilmektedir. Buna karşılık en büyüğü bir çamaşır makinesi boyutlarında olan küçük uydulardan onlarca hatta yüzlercesi tek seferde fırlatılabilmektedir. Örneğin Hindistan Uzay Ajansı ISRO, Şubat 2017'de 104 küçük uyduyu tek bir roketle uzaya gönderebilmiştir^[11]. SpaceX, Ağustos 2020'de 58 küçük uyduyu uzaya taşımıştır^[12]. Küçük uydu alanındaki gelişmeler sayesinde yörüngeye yerleştirilen uyduların sayısı patlama yaşamaktadır (Tablo 1). 2012 öncesi alçak yörüngeye gönderilen uydu sayısı 100'den azdır^[13]. Sonrasında ise sayı katlanarak artmıştır. Sadece 2018 yılında 44 fırlatmada 322 uydu uzaya taşınmıştır^[14].

2.1.2 Operasyonel Avantajlar

Küçük uydulardan oluşan takım uydular operasyonel açıdan da geleneksel büyük uydular ve uydu sistemlerine göre bir dizi avantaja sahiptir. Bunların başında operasyon başlangıç verimliliği gelmektedir. Geleneksel büyük uyduların tasarım, üretim ve testleri uzun sürmekte; aktif hâle gelmeleri yıllar alabilmektedir. Bu nedenle bazı uydular aktif hâle geldiklerinde teknolojileri eskimiş olabilmekte, bu da operasyonel ömürlerini kısaltmaktadır^[16].

Yıl	Telekomünikasyon	Yeryüzü Gözlem	Navigasyon	Teknoloji Geliştirme	Uzay Bilimleri	Çok amaçlı / Diğer
2000	24	2	3	1	4	1
2001	13	2	1	2	1	2
2002	31	4	0	1	2	2
2003	19	4	3	2	3	1
2004	15	6	3	2	3	2
2005	23	8	1	1	1	2
2006	20	13	5	1	3	2
2007	31	14	6	3	3	1
2008	29	29	1	5	4	2
2009	29	17	3	12	1	3
2010	33	18	11	3	4	2
2011	40	26	11	6	2	2
2012	37	26	8	12	2	3
2013	45	29	3	23	3	5
2014	51	51	11	22	4	6
2015	53	35	14	35	10	3
2016	25	69	15	17	4	5
2017	76	229	14	40	7	22
2018	82	160	22	75	17	9
2019	102	56	5	33	7	139
2025*	500	300	25	100	20	200

Tablo 1: Yıllara göre uzaya fırlatılan uydu sayısı ve türleri^[15].

(*) 2025 rakamları tahminidir.

Buna karşılık küçük uydulardan oluşan takım uyduların geliştirme ve imalat süreçleri daha kısa sürmekte, tek fırlatmada onlarca uzaya gönderilebilmektedir. Ayrıca takım uyduların faaliyete geçmesi için tüm kümenin uzaya fırlatılmış olmasına gerek yoktur. Tüm küme yerine oturmadan önce yüksek düzeyde hizmet sağlayacak şekilde düzenlenebilir.

Küçük uyduların ömürleri, büyük uydulara göre daha kısadır. Ancak takım uydu sistemleri bu dezavantajı da avantaja çevirebilir. Uydular ömrü dolduğu, arıza yaptığı, kaza geçirdiği veya saldırıldığı için devre dışı kalabilirler. Büyük tekil uydular devre dışı kaldığında bütün sistem kabiliyetlerini yitirebilir. Küçük uydu kümelerinde ise bir veya birkaç uydunun devre dışı kalmasının sistemin faaliyetlerine etkisi sınırlı kalacaktır. Ayrıca devre dışı kalan uyduların yerine yenilerinin konulması da, geleneksel büyük uydulardan daha kısa süre alacaktır ve maliyeti de düşüktür^[16].

Alçak yörünge uyduları ile GEO statik uydularına göre bir avantaj da herhangi bir nokta ile kesintisiz iletişimi sağlayabilmesidir. Statik GEO uydusu ile terminal (çanak antenle uyduya bağlanan noktalar) arasında (Uydu görüş hattı) coğrafi engeller veya nesnelere (ağaç, yamaç vb.) bulunursa bu engel kaldırılmadıkça uydu ile iletişim kurulamaz. Hareketli olan LEO uydusu ise, uydu hareketi nedeniyle terminalin yakınında bir engel bulursa bile bağlanabilir^[17].

2.1.3 Üstün Kabiliyetler

MEO ve LEO takım uyduları, kabiliyetleri açısından GEO uydularına göre bir dizi avantaj sunar. Başlıca avantajı düşük gecikme süresidir. Yeryüzünden yaklaşık 36.000 kilometre uzaklıktaki GEO uydularında gecikme, 125 milisaniye civarındadır. Buna karşılık yeryüzünden 500 ila 200 kilometre arasına konuşlandırılan LEO uyduları için gecikme süresi teorik olarak yaklaşık 1-4 milisaniyedir^[18]. Düşük gecikmesi gerçek zamanlı işlemlerin önemli olduğu (bankacılık, IoT uygulamaları vb.) alanlarda bu sistemlerin tercih edilmesini sağlayabilecektir.

Bazı kaynaklarda LEO takım uydularının, çoğu GEO uydularından ve yeryüzündeki diğer iletişim olanaklarından (Kablolu, bakır ve 5G hariç mobil iletişim) daha fazla bant genişliği sağladığı ileri sürülmektedir^[10].

LEO takım uyduları projeleri çoğunlukla uydu interneti projeleridir ve yüksek hızda güvenli veri transferi iddiasındadır. Büyük LEO takım uydu projelerinde esas olarak Ka bandının kullanılması planlanmaktadır. Bazıları da V bandı önermektedir. Bu frekansların daha yüksek hızlı ve güvenli veri akışı sağladığı, kullanıcılar açısından erişim olanağını artırdığı (çanak anten yerine daha küçük antenler yeterlidir) belirtilmektedir. Ka ve V bantları daha yüksek frekanslara göre hava koşullarından daha az etkilenmektedir^[10].

Takım uydular, spektrumun daha iyi kullanılmasının yanı sıra, aktif antenlerdeki ilerlemeler sayesinde daha fazla veri akışı da sağlayabilmektedir. Uydular arasında bağlantılar (Intersatellite Links-ISL) verilerin uydular arasında paylaşımını ve yeryüzüne aktarılmadan önce burada analizini mümkün kılmaktadır. Bu sayede iletişim kalitesi bozulmadan bant genişliği ihtiyaçları azaltılabilmektedir^[13].

Takım uydular özellikle yeryüzü gözlem faaliyetlerinde istenen hassasiyeti de sağlamaktadır. Bu tür sistemlerde görevler uydular arasında bölünebilmekte, alçak yörünge avantajından yararlanarak, daha geniş kapsama alanı, daha düşük gecikme oranı ve yüksek çözünürlük ile ihtiyaçları karşılayabilmekte ya da büyük uydular tarafından sağlanan yüksek hassasiyetli veriler arasındaki boşlukları doldurabilmektedir^[13].

2.2 Takım Uyduların Kullanım Alanları

Takım uydular, navigasyondan jeodeziye, uydu telefonu veya yeryüzü gözleme kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu bölümde takım uyduların kullanım alanlarına göz atılacaktır.

2.2.1 Geniş Bant Veri Aktarımı

Takım uydu projelerinin önemli bölümü yeryüzünün hemen her noktasına internet ulaştırmayı hedeflemektedir. Dünyada geniş coğrafyalarda erişilebilen internete talep sürekli artmaktadır. Devletler, şirketler ve uluslararası kuruluşların tümü, ekonomik büyümeyi ve sosyal içermeyi teşvik etmek ve tüketici talebini karşılamak için dijital uçurumun üstesinden gelmenin önemini kabul etmektedir. Örneğin Avrupa Birliği, internete erişimi bir hak olarak görmekte ve birlik vatandaşlarının tümüne geniş bant internet erişimi sağlanmasını hedeflemektedir^[19]. Bununla birlikte, milyarlarca insan, özellikle kırsalda veya uzak bölgelerde yaşayanlar olmak üzere, geniş bant internet erişiminden mahrumdur. Dünyada yaklaşık 3,5 milyar insanın internet bağlantısı bulunmamaktadır^[20]. ABD’de internete erişim oranı yüzde 90’ın üzerindedir ama kırsal alanda yaşayan 20 milyon kişi internet erişiminden mahrumdur^[21]. Çöller, yağmur ormanları, yüksek dağlar, derin vadiler ve diğer düşük nüfus barındıran yörelerle açık denizdeki gemiler, açık deniz enerji platformları ve yolcu uçaklarına bilgiye erişiminin sağlanması için çözümler aranmaktadır. Ayrıca IoT uygulamalarının giderek daha fazla yaygınlık kazanması endüstriyel veri akışı için geniş bant internet erişimine ihtiyacı artırmaktadır.

Geniş coğrafyalara geniş bant veri akışı sağlanması için geliştirilen yöntemlerin en verimlisi uydu internetidir. Uydu sistemleri, geniş bant internetin kapsama alanını genişletmek için önemli avantajlar sunar. Zorlu coğrafyadan bağımsız olarak geniş coğrafyalarda anında kapsama alanı sağlarlar. Bunlar güvenilirdir: Hırsızlık, çatışma alanları ve doğal afetler dahil diğer ağların karşılaştığı birçok riske karşı büyük ölçüde bağımsızdır^[22].

Halen çok sayıda uydudan veri akışı sağlanabilmektedir. Viasat, Eutelsat, Hughes, Iridium, O3b Networks^[23], ve diğerleri uydu internet erişimi sunmaktadır. Ancak

halen uydu interneti pahalıdır ve sınırlı kapsama alanı sunmaktadır. Söz konusu hizmet yeryüzüne yaklaşık 36.000 kilometre uzaklıktaki büyük GEO uyduları tarafından sağlanmaktadır. Bu uydulardan gelen bilgiler, fiber optik kablodan yüzde 47 daha hızlı akabilir^[24]. Ayrıca uzak alanların uydu tabanlı hizmete erişmesi, kilometrelerce uzunlukta kablo döşemekten çok daha kolaydır. Ne var ki bu tür uydularda gecikme hızı yüksektir. Bu uydulardan gelen radyo dalgaları, 125 milisaniye veya daha fazla gecikme süresine sahip olabilir, bu da maksimum veri aktarım hızını sınırlar ve gecikmeye bağlı uygulamaların çalıştırılmasını zorlaştırır^[24]. Söz konusu güçlü uydularla on binlerce müşteriye hizmet verilebilmektedir. Ancak söz konusu uydular pahalıdır. Çoğunun maliyeti 100 milyon doların üzerindedir.

Bu sebeplerden ötürü, yüksek hızda, geniş kapsamlı ve düşük gecikme hızlı olmasının yanında düşük maliyetli çözümler aranmıştır. Yeryüzüne daha yakın yörüngedeki küçük bir uydu, yere daha yakın yörüngede dönerek bu gecikmeyi azaltabilir. Ancak alçak yörüngede tek bir küçük uydu Dünya etrafında çok hızlı dönecektir ve bağlantı kurulabilen süre çok kısa kalacaktır. Çözüm, yerden alçak yörüngede (LEO) bulunan daha küçük uydulardan oluşan bir ağıdır. Bir takım uydu, Dünya’nın dönüşünden bağımsız olarak yörüngede dönen bağlı bir uydu ağıdır. Uydular birbirlerinden tam olarak ayrılmıştır, böylece bir uydu menzil dışına çıkarken diğeri sinyali devralabilir.

Bir kez konuşlandırıldıklarında, bu takım uydular yalnızca gecikmeyi azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda yüksek hızlı interneti neredeyse tüm dünya nüfusunun kullanımına sunabilecektir. Üstelik GEO sabit uydular yer tabanlı antenlere, kablolar, bir baz istasyonuna ve ağ donanımına dayanırken, takım uydular bu bileşenleri kullanıcı terminaline entegre etmektedir.

Düşük maliyetli her yerde bulunan geniş bant bağlantısının sağlanması, farklı endüstrilerde IoT uygulamalarını etkinleştirecek, hızlandıracak ve özellikle havacılık, denizcilik ve açık deniz enerji platformları (Petrol, doğalgaz ve rüzgâr enerjisi platformları) gibi dünyaya bağlı geniş bant ağlarının kapsamının ötesinde çalışan sektörleri etkileyecektir. Halihazırda hizmet verilen alanlar ve kullanıcılar için bile, yeni LEO sistemleri daha fazla kapasite sunacak ve rekabet nedeniyle fiyatları düşürecektir.

Takım uydu projelerinin hayata geçmesinin ekonomik getirisi yüksek olacaktır. Morgan Stanley tahminlerine göre küresel uydu interneti sektörünün geliri yaklaşık 350 milyar dolarken bu rakam 2040 yılında 1,1 trilyon dolara, uydu internetine bağlı hizmetlerin geliri ise 410 milyar dolara ulaşabilir^[25].

Ulaşılması zor alanlara düşük maliyetli, hızlı internet sağlamak önemli bir hedefdir. Kırsal alanlardaki ve altyapısı zayıf olan bölgelerdeki insanların internete bağlanması, onlara uzaktan sağlık ve eğitim hizmetlerinin yanı sıra, dijital ekonomiye katılma fırsatı da sunacaktır^[26]. Ayrıca takım uydular, gelişmekte olan ülkelerde sabit telefon hatları inşa etmeye gerek kalmadan iletişim sağladığı gibi, ülkeleri pahalı fiber optik kablo döşeme külfetinden de kurtarabilir^[27].



2.2.2 Yeryüzü Gözlem

Yeryüzü gözlem (Earth Observation -EO), Dünya'nın fiziksel, kimyasal ve biyolojik sistemleri hakkında uzaktan algılama teknikleriyle bilgi toplama, analiz etme ve değişimleri ortaya koyma çalışmalarına verilen addır. Bu açıdan EO amaçlı uydular, uydu teknolojisinin ortaya çıkışından beri vardır. Askeri hareketlilikler, doğal afetler, tarımsal üretim veya deniz ve hava araçlarının takibi için uzaktan algılama uyduları ve takım uyduları sistemleri geliştirilmiştir. Nano-teknoloji, üç boyutlu yazıcılar, sensörler ve kameralar sayesinde uzaktan algılama uyduları daha küçük, hafif ve daha ucuz hâle gelmiştir. Akademik, kamusal veya ticari misyonların gerekliliklerine tam olarak uyan, optimal büyüklükte olan bu uydular farklı görev yükü taşıyabilmektedir. Bu işlevselliğinden ödün vermeden bileşenlerinin daha da küçültülmesi yönündeki çalışmalar küçük uyduların sayısının artmasının yolunu açmaktadır^[6].

EO uyduları tarafından elde edilen veriler, görüntüleri (su, nehirler, orman, altyapılar, gemiler ve diğer varlıklar-gibi) sınıflandırmak ve bitki örtüsü, su ve hava kalitesini karakterize eden jeofiziksel değişkenleri oluşturmak için kullanılabilir. Okyanus izleme ve kirlilik tespiti gibi alanlara ilişkin veriler ve bilgiler, yeryüzündeki ekolojik değişiklikleri daha iyi anlamak için de hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle EO uyduları, sağladıkları sürekli, küresel veriler aracılığıyla önemli bir rol oynamaktadır^[13].

Son yıllarda, onlarca küçük uydudan oluşan takım uyduların ortaya çıkışı, internet, bulut depolama, ileri işleme ve dağıtım yöntemleri sayesinde yeryüzü gözlem faaliyetleri evrim geçirmiş, sadece devletlerin belirli amaçları için yapılan bilgi toplama faaliyetinin ötesine geçerek ticari bir faaliyet alanı haline gelmiştir.

Küçük uydular, neredeyse gerçek zamanlı uydu görüntülerine erişimi sağlayabilmektedir. Bu da şirketlerin yeryüzünün herhangi bir noktasındaki varlıklarını (limanlar hareket halindeki kara, hava ve deniz araçları, fabrikalar, depolar vb.) aynı anda izlemelerini sağlayabilmektedir. Küçük uydulardan oluşan takım uydular, EO görüntüleme hizmetlerinin maliyetini de düşürerek, bu hizmetlere erişimi daha demokratik hâle getirmektedir^[13].

Halen aktif takım uydularla yeryüzü gözlem hizmetleri sunan şirketler bulunmaktadır. Bunların bazıları bir sonraki bölümde incelenecektir. Planet ve Spire Global gibi olgun örneklerin yanı sıra, start-up şirketleri de daha gelişmiş optik görüntüleme, daha sık aynı bölge veya noktayı yeniden ziyaret etme sayısının yanı sıra her türlü hava koşulunda gece/gündüz gözlem kabiliyetine sahip SAR (Sentetik Açıklıklı Radar - Syntetic Aperture Radar) uydularıyla yeryüzü gözlem pazarına girmektedir.

Artan talebe bağlı olarak ticari yeryüzü gözlem faaliyetlerindeki canlanma bir yandan sunulan hizmetleri çeşitlendirirken öte yandan hizmetlerin maliyetinin de azalmasını beraberinde getirmektedir. Çoğalan takım uydu şirketleri; endüstriyel tesislerin, tarım alanları ve ürünlerinin, enerji ve altyapı tesislerinin, deniz taşımacılığı araç ve tesislerinin izlenmesi faaliyeti yürütürken, başta sigorta şirketleri olmak üzere gelişmiş yapay zekâ ve analitik çözümlerle finansal kuruluşlar, kamu ve özel sektör kurumlarına, kaynak yönetimi, iş zekâsı ve diğer veri odaklı karar alma destek uygulamaları sunmaktadır. Savunma Analizleri Bilim ve Teknoloji Politika Enstitüsünün tahminine göre EO pazarı 2015'te 15 milyon dolarken bu rakam 2020'de 164 milyon dolara çıkacaktır^[27].

2.2.3 5G İletişim

Yukarıda belirtildiği gibi telekomünikasyon amaçlı çok sayıda uydu ve uydu kümesi halen faal durumdadır. Takım uydular ise telekomünikasyonda yeni nesil iletişim için vazgeçilmez olacak niteliktedir. Bilindiği gibi 5G şebekeler, özellikle IoT uygulamaları için dönüm noktası olacak özellikler taşımaktadır. Alçak yörüngelerde uçan ve hep birlikte bir iletişim ağı olarak çalışan yüzlerce küçük uzay aracına sahip küçük takım uydular, 5G Yeni Radyo (5G NR-5G New Radio) standardında ve ötesinde iletişimlerini desteklemek ve tamamlamak için çekici bir çözüm olarak görülmektedir.

Alçak yörüngeye yerleştirilecek takım uydular 5G için üç temel hizmet sağlayabilecektir. Bunlar “Büyük Makine Tipi İletişim (Massive Machine Type Communication-mMTC)”, “Geliştirilmiş Mobil Geniş Bant (Enhanced Mobile Broadband -eMBB)” ve “Ultra Güvenilir Düşük Gecikmeli İletişimler (Ultra-Reliable Low-Latency Communication -URLLC)’dir”. eMBB kullanıcılara, diğerleri ise IoT uygulamalarına yöneliktir^[28].

Ancak alçak yörünge takım uyduları kesintisiz veri aktarımı konusunda riskler taşıdığı ve kaplama alanının kısıtlı olabileceği düşüncesiyle, Küresel Mobil Operatörler birliği (3GPP), 5G şebekesi için yer sabit yörünge (GEO), orta yörünge (MEO) ve alçak yörünge (LEO) uydu kümelerinden oluşan karma çözüm üzerinde durmaktadır^[28].

2.2.4 Mobil İletişim

Takım uydu projeleri sadece 5G iletişimi değil mevcut mobil iletişim nesillerinin kapsama alanını yeryüzüne yaymayı da amaçlamaktadır. Sonraki bölümde aktarılacağı üzere yeni bir teknoloji firması, her türlü akıllı cep telefonunu doğrudan uydu bağlantısıyla mobil şebekelere bağlayabildiğini bildirmektedir. Dünyada 800’den fazla mobil operatörü olmasına rağmen şebekeleri yeryüzünün yüzde 90’ını kapsamamaktadır. Üstelik doğal felaketlerde bu şebekeler altyapının zarar görmesi veya kullanıcılarının aşırı yüklenmesi sonucu hizmet dışı kalabilmektedir. Kullanıcıların doğrudan uydu bağlantısı kurabilmesi hem cep telefonu şebekelerinin kurulum maliyetini azaltacak hem de kırsal alanlar veya üçürcü bölgelerde yaşayan dezavantajlı grupları mobil iletişime kavuşturacaktır.

2.2.5 Savunma ve İstihbarat

Uydular neredeyse ilk ortaya çıktığından beri savunma ve istihbarat alanında kullanılmaktadır. Çoğalan takım uydular, savunma amaçlı uzay faaliyetlerine yeni kabiliyetler kazandıracak niteliktedir. Takım uydu sistemleri askeri operasyonlar için giderek daha fazla hayati hâle gelen anlık geniş bant veri akışını sağlayabilir.

Otonom nesnelerin (İHA, SİHA, otonom kara muharebe araçları, insansız gemi ve denizaltılar, robotlar) muharebe alanlarında giderek daha fazla kullanılması hızlı ve güvenilir veri akışını gerekli kılmaktadır. Nitekim ABD ordusunun araştırma laboratuvarı DARPA, “Yer istasyonu komuta bağlantısı bulunmadığında bile, uyduların birden çok yörünge düzleminde birden çok iletişim bağlantısı, birden çok yer istasyonu ve/veya birden çok uzak (taktik

kullanıcıyla özerk çalışması” nedeniyle LEO takım uyduları üzerinde durduğunu bildirmiştir^[29].

Çoğalmış LEO iletişim takım uyduları, günümüzde ticari uydu iletişiminin yetersiz hizmet verdiği savaş alanlarında da kapsama alanı sunabilir. Örneğin yer sabit yörüngedeki uydular, önemi giderek artan kutup bölgeleri ile açık denizleri kapsama altına alamamaktadır. Çoğalan ticari LEO takım uyduları, küresel kapsama alanları nedeniyle her iki bölgede daha fazla iletişim imkânı sağlayacaktır.

Bir diğer önemli getiri, yüksek çözünürlüklü görüntü alanında olacaktır. Mevcut savunma uydularının büyük bölümü yüksek çözünürlüklü görüntü sağlayamazken, takım uydular sahip oldukları algoritmalarıyla elde ettikleri görüntülerin kalitesini de artırmaktadır. Özellikle SAR uydularına da sahip takım uydular, her türlü hava koşulunda gece ve gündüz kesintisiz anlık görüntü ve operasyonel üstünlük sağlayabilecektir.

Takım uyduların savunma ve istihbarat alanında sağladığı bir diğer avantaj esnekliktir. Yeniden programlanabilir uydulardan oluşan takım uydular sayesinde, değişen koşullar ve ihtiyaçlar doğrultusunda takım uyduların uçuş düzeni ve kabiliyetleri değiştirilebilir, güncellenebilir ve artırılabilir olacaktır. Örneğin ABD Hava Kuvvetleri, esnek bir takım uydu sistemi oluşturmak amacıyla harekete geçmiştir. Hypergiant tarafından geliştirilecek takım uydu, yeniden programlanabilen 36 uydudan oluşacaktır^[30].

Takım uydular ayrıca terör ve suç örgütlerinin faaliyetlerinin izlenmesi, kaçakçılık, yasadışı avlanma, denizlerdeki münhasır ekonomik bölgelerdeki yasadışı faaliyetlerin (Korsanlık, kaçak avlanma, izinsiz enerji arama ve çıkarma faaliyetler vb.) önlenmesinde de rol oynayabilecektir.

Elbette, sonraki bölümde ele anılacağı gibi bu yeni yetenekler potansiyel rakipler için de mevcut olacak. Çoğalan takım uydular, hasım devletlerle terör ve suç şebekeleri tarafından da istismar edilerek kendi çıkarlarına göre kullanılacaktır.

2.2.6 Uzayda Elektrik Üretimi

Takım uydular uzayda elektrik üretilip dünyaya aktarmak üzere de tasarlanmaktadır. Açıklanan projelere göre uydular güneş panelleriyle elektrik üretecek ve bunu ya lazerle ya da mikrodalga ile yeryüzündeki istasyona aktaracaktır. Dünyada bu alanda hizmet vermek üzere takım uydu tasarladığını duyuran üç firma bulunmaktadır. Ancak yeryüzünde büyük elektrik depolama tesisi bulunmasını gerektirecek söz konusu projelerin ne zaman hayata geçirileceği henüz netleşmemiştir.

2.3 Belli Başlı Takım Uydu Projeleri

Ekim 2020 itibarıyla dünyada 224 adet takım uydu projesi duyurulmuştur. Ancak bunlardan 89’u henüz ne uydu fırlatmaya başlamış ne de takım uydularının kaç uydudan oluşacağını açıklamışlardır. Aralarında Amazon ve Apple’ın da bulunduğu 49 kuruluş ise uydu sayılarını açıklamış olmakla birlikte henüz uydu fırlatmaya başlamamıştır. 16 firma ise takım uydularının ilkinin veya ilk

grubunu test amaçlı olarak uzaya göndermiş olmakla birlikte planladığı takım uydunun büyüklüğünü saklı tutmaktadır. Bazı girişimler ise daha hayata geçmeden rafa kaldırılmaktadır. Rusya'nın 640 uydudan oluşması planlanan internet ve yeryüzü gözlem amaçlı Sfera (Elir) takım uydusu bunlardan biridir^[31].

Takım uydu programını tümüyle açıklamış ve ilk grubunu yörüngeye oturtmuş firmaların sayısı ise 70'tir^[32].

2.3.1 SpaceX – Starlink

Starlink

İşletici kuruluş/ülke	: SpaceX /ABD
Ana faaliyet alanı	: İnternet
Yörünge yüksekliği	: 340-1550 km
Aktif uydu sayısı	: 900
Planlanan uydu sayısı	: 41.493
Uzaya ilk fırlatma tarihi	: 2018
Planlanan tamamlanma tarihi	: 2024

Kaynak: Starlink.com, Nanosat.eu^[32]

Temmuz 2020'de uzaya insan taşıyan ilk özel şirket unvanını alan SpaceX, daha sonra uzayda en çok uydusu bulunan şirket olma unvanını da kazanmıştır. Falcon 9 roketiyle Ağustos, Eylül ve Ekim 2020'deki fırlatmalarla Starlink takım uydusundaki uydu sayısı 900'e yaklaşmıştır^[33]. Starlink takım uydusunun birkaç yıl içinde 12.000 uydudan oluşan bir ağa dönüşmesi beklenmektedir. Starlink takım uydusunun 42.000 parçaya ulaşabileceği belirtilmektedir^[34]. Her bir uydu ortalama 350 kilogram kapasitesinde ve fırlatma kapasitesinden azami şekilde yararlanılmak üzere kompakt tasarımıdır^[35].

Yeryüzü Gözlem (16'sı SAR, 4'ü kızılötesi görüntüleme)	87
İnternet	60
IoT	39
Komünikasyon (6'sı 5G)	17
Navigasyon/Hava-deniz trafik kontrol	19
Veri saklama/Veri analiz	9
Meteoroloji	8
Blockchain	1
Astronomi	3
Enerji Üretimi	3

Tablo 2: Açıklanan projelerin ana faaliyet alanlarına göre dağılımı^[32]
Kaynak: Nanosats.ea

(*) Bazı takım uydular birden fazla alanda faaliyet göstermek için tasarlandığından tablodaki sayılar toplam proje sayısından farklılık göstermektedir.

(**) Savunma ve istihbarat amaçlı takım uydular açıklanmamakta veya farklı faaliyet alanı kapsamında gösterilmektedir.

SpaceX, uydular arası bağlantıları için Ka ve Ku bantlarını kullanmayı planlıyor. Mega takım uydusu için 25-35 milisaniyelik gecikmeler bekleniyor^[36]. Mevcut uydu geniş bant hizmetlerinin gecikme hızı 600 milisaniyeye kadar yükselmektedir^[37]. Starlink 2020 yılında ABD ve Kanada'da hizmet vermeye başlayacağını, hizmetini 2021'de küresel seviyeye taşıyacağını belirtmektedir^[35].

2.3.2 OneWeb

OneWeb

İşletici kuruluş/ülke	: OneWeb/ İngiltere- Hindistan
Ana faaliyet alanı	: İnternet
Yörünge yüksekliği	: 1200 km
Aktif uydu sayısı	: 74
Planlanan uydu sayısı	: 48.000
Uzaya ilk fırlatma tarihi	: 2019
Planlanan tamamlanma tarihi	: Belirsiz

Kaynak: OneWeb.world , Nanosat.eu^[32]

Mega takım uydusu projelerinin en eskisi ve en başarılı çıkışlarının OneWeb olduğunu söylemek mümkündür. 2012'de ABD'li teknoloji girişimcisi Greg Whyler tarafından kurulan şirket "Herkes her yerde internet" sloganı ve ABD Ticaret Bakanlığından yörüngede 48.000 kadar uydu bulundurma izni başvurusunda bulunarak dikkatleri çekmiştir. Şirket uydu seri üretimi için Airbus Space ile anlaşmaya varmıştır. Ancak firma finansman sıkıntıları nedeniyle Mart 2020'de iflasını vermek zorunda kalmış, Temmuz 2020'de İngiltere devleti ve Hintli Bharti şirketi tarafından satın alınarak yeniden ayakları üzerinde durabilmiştir^[38].

OneWeb uydularının 150 kilodan hafif ve bir çamaşır makinesi boyutlarında olacağı ve Ku bandını kullanacağı açıklanmıştır. Şirketin uydu internetini tüm ABD çapında yaymak için bir buçuk milyondan fazla baz istasyonu kurmaya hazırlandığı belirtilmektedir^[39]. Ancak projenin geleceği belirsizliğini korumaktadır.

2.3.3 Amazon Project Kuiper

Project Kuiper

İşletici kuruluş/ülke	: Amazon / ABD
Ana faaliyet alanı	: İnternet
Yörünge yüksekliği	: 590-630 km
Aktif uydu sayısı	: 0
Planlanan uydu sayısı	: 3.236
Uzaya ilk fırlatma tarihi	: Belirsiz
Planlanan tamamlanma tarihi	: 2029

Kaynak: Amazon Web Services^[40], Nanosat.eu^[32]

Project Kuiper, mega takım uydusu projelerinin en iddialılarından biridir ama projenin ayrıntıları henüz bilinmemektedir. Şirketin ABD Ticaret Bakanlığından onay aldıktan

sonra organizasyon ve uydu tasarım çalışmalarına başladığı açıklanmış ancak ayrıntı verilmemiştir.

Nisan 2020’de takım uydunun yeryüzünden 590, 610 ve 630 kilometre (367, 379 ve 391 mil) yükseklikte üç yörüngeye yerleştirilmesi planlandığı belirtilmiştir^[39].

Amazon, Project Kuiper’ı yalnızca şu anda yetersiz hizmet alan milyarlarca potansiyel müşteriye geniş bant internet hizmeti sunmak için değil, aynı zamanda LTE ve 5G hizmeti vermek, Amazon’un çevrimiçi perakende satışlardan Amazon Web Services’in bulut bilişim platformuna kadar uzanan diğer iş kollarını kolaylaştırmak için kullanmayı planladığı belirtilmektedir^[38]. Projenin 10 milyar dolara mal olacağı da belirtilmektedir^[41].

2.3.4 TELESAT

Telesat LEO

İşletici kuruluş/ülke	: Telesat/Kanada
Ana faaliyet alanı	: İnternet
Yörünge yüksekliği	: 1.000 – 1.250 km
Aktif uydu sayısı	: 2
Planlanan uydu sayısı	: 1671
Uzaya ilk fırlatma tarihi	: 2018
Planlanan tamamlanma tarihi	: Belirsiz

Kaynak: Telesat^[42], Nanosat.eu^[32]

Kanada’nın en büyük Telekom operatörü olan Telesat, Telesat LEO adını verdiği bir takım uydu ile internet hizmeti vermeye hazırlanmaktadır. Şirket 1.671 uydu için izin almıştır ancak şirketin sitesinde sistemin en azından ilk etapta 298 uydudan oluşacağı belirtilmektedir^[42].

Yer sabit yörüngede (GEO) 17 telekomünikasyon uydusu bulunan firma, veri analiz edebilen LEO uydularıyla geniş bant internet hizmeti sunmanın yanında analiz hizmetleri vermeyi de amaçlamaktadır^[43].

2.3.5 PLANET LABS

DOVE

İşletici kuruluş/ülke	: Planet Labs/ ABD -Almanya
Ana faaliyet alanı	: Yeryüzü Gözlem
Yörünge yüksekliği	: 630 km
Aktif uydu sayısı	: 418
Planlanan uydu sayısı	: 150
Uzaya ilk fırlatma tarihi	: 2013
Planlanan tamamlanma tarihi	: 2028

Kaynak: Planet^[44], Nanosat.eu^[32] ve Space News^[45]

Yeryüzü gözlem uydularının sayısının son yıllardaki büyük artışının ardında ABD merkezli iki şirket, Planet ve Spire’in faaliyetleri yatmaktadır. NASA’dan ayrılan üç mühendis tarafından 2011’de kurulan Planet, 2013’ten bu yana uzaya 400’den fazla küp uydu göndermiştir ve en fazla aktif aracı bulunan kuruluştur. Planet uydularının 175’i ortalama 4-5 kilogram ağırlığında ve bir ayakkabı

kutusu büyüklüğündeki “Dove” adı verilen küp uydulardır. Dove uydularında Planetscop adı verilen üç metre çözünürlükte görüntü alabilen optik görüntüleme sistemi bulunmaktadır. Planet ayrıca satın almalarla envanterine kattığı beş RapidEye uydusuna ve 13 Skysat uydusuna sahiptir. 2009’dan bu yana uzayda bulunan RapidEye uyduları beş metre çözünürlüğe sahiptir. Planet’in Google’dan satın aldığı Skysat uyduları ise bir metrenin de altında çözünürlüğe sahiptir ve bu açıdan Planet’i dünyanın en gelişmiş yeryüzü gözlem takım uydusuna sahip şirketi haline getirmektedir.

2.3.6 SATREVOLUTION REC

REC

İşletici kuruluş/ülke	: Satrevolution / Polonya
Ana faaliyet alanı	: Yeryüzü Gözlem
Yörünge yüksekliği	: yaklaşık 1.000 km
Aktif uydu sayısı	: 3
Planlanan uydu sayısı	: 1.024
Uzaya ilk fırlatma tarihi	: 2019
Planlanan tamamlanma tarihi	: 2028

Kaynak: Satrevolution^[46], Nanosat.eu^[32] ve AerospaceEngineering^[47]

Polonya’da 2016’da kurulan bir teknoloji şirketi, takım uydu projelerinin en iddialılarından birini hayata geçirmeye hazırlanmaktadır. Satrevolution’in yeryüzü gözlem amaçlı REC (Real-Time Earth Observation Constellation /Gerçek Zamanlı Yeryüzü Gözlem Takım Uydusu) takım uydusu, 50 santimetre çözünürlük ve 30 saniyede bir yenileme iddiasıyla dikkatleri üzerine çekmiştir.

REC uyduları genellikle 4U ve 6U küp uydularından oluşacaktır. Küp uyduların gelişmiş sensörler, kameralar ve teleskopların yanı sıra uydu üzerinde analiz yapabilmeyi sağlayan gelişmiş veri analiz sistemi bulunmaktadır.

Şirket aralarında Airbus’ın da bulunduğu çok sayıda şirketle ortak hareket etmekte ve sistemi 2023’ten itibaren devreye almayı planlamaktadır.

2.3.7 Lynk

Lynk

İşletici kuruluş/ülke	: Lynk / ABD
Ana faaliyet alanı	: Mobil iletişim
Yörünge yüksekliği	: 500 km
Aktif uydu sayısı	: 1
Planlanan uydu sayısı	: 1.000
Uzaya ilk fırlatma tarihi	: 2019
Planlanan tamamlanma tarihi	: Belirsiz

Kaynak: Lynk^[48], Nanosat.eu^[32] ve AerospaceEngineering^[47]

ABD merkezli start-up Lynk, Starlink, Kuiper Project veya OneWeb’in interneti küresel hâle getirme iddiasına benzer biçimde, mobil telefon bağlantısını küresel hâle getirmek üzere yola çıkmıştır. Lynk, patentli teknolojisiyle

sıradan akıllı cep telefonlarını herhangi ek bir cihaz veya yazılım gerektirmeden uydu telefonları haline getirip yeryüzünün herhangi bir noktasında erişilebilir hâle getirdiğini belirtmektedir^[48]. Yaklaşık bir milyar insanın yaşadığı yeryüzünün yüzde 90'ının cep telefonu şebekelerinin kapsama alanı dışında kaldığı dikkate alınır, Lynk'in mobil iletişim için hayli ileri bir adım olacağı söylenebilir. Lynk'in uzaya gönderdiği ilk 25 kilogramlık uydu ile Şubat 2020'de yaptığı denemenin başarılı olduğu belirtilmektedir^[49]. Yine ABD Merkezli AST&Science da 243 uyduyla uydu telefonuyla doğrudan bağlantı vermeye hazırlandığını açıklamıştır^[50].

2.3.8 GalaxySpace YİNHE

YİNHE

İşletici kuruluş/ülke	: GalaxySpace/Çin
Ana faaliyet alanı	: 5G ve İnternet
Yörünge yüksekliği	: 700 km
Aktif uydu sayısı	: 1
Planlanan uydu sayısı	: 1.000
Uzaya ilk fırlatma tarihi	: 2020
Planlanan tamamlanma tarihi	: Belirsiz

Kaynak: Yinhe^[51], Nanosat.eu^[32] ve NewSpace^[52]

Yeni teknoloji şirketleri küresel çapta düşük maliyetli ama yüksek performanslı 5G iletişimi sağlamak için de takım uydulara başvurmaktadır. Örneğin Çinli uydu üreticisi GalaxySpace, ilk 5G takım uydusu Yinhe'nin ilk uydusunu Şubat 2020'de uzaya fırlatmıştır. İlk uydunun yaklaşık 300.000 kilometrekarelik bir alanı kapsadığı belirtilmektedir.

Yinhe-1'in 227 kilogram ağırlığında olduğu Q/V ve Ka bantlarında 10 Gbps'ye kadar veri aktarımını test etmeyi amaçladığı açıklanmıştır^[53]. Platform, yörünge üzerindeki testlerden alınan derslere göre geliştirilecektir.

Galaxy Space, önümüzdeki üç yıl içinde takım uydu için 144 uydu fırlatmayı planlamaktadır.

ABD'de de 5G takım uydusu için hazırlık yürütülmektedir. Mangata Networks, ilk uydusunu 2023'te uzaya fırlatmaya hazırlanmaktadır. Ayrıntıları belli olmayan projenin 791 uydudan oluşacağı belirtilmektedir^[54].

2.3.9 SWARM TECHNOLOGIES

SWARM SPACE

İşletici kuruluş/ülke	: Swarm Technologies / ABD
Ana faaliyet alanı	: IoT
Yörünge yüksekliği	: 460-530 km
Aktif uydu sayısı	: 12
Planlanan uydu sayısı	: 600
Uzaya ilk fırlatma tarihi	: 2018
Planlanan tamamlanma tarihi	: 2022

Kaynak: SwarmTechnologies^[55], Nanosat.eu^[32] ve Space News^[56]

Teknoloji şirketleri düşük maliyetli IoT bağlantısı sağlamak için de takım uydulara başvurmaktadır. ABD merkezli Swarm Technologies bunlar arasında en iddialısıdır. Firma, kendi ürettiği Swarm Space adı verilen evrak çantası boyutlarında 12 uydu ve IoT cihazlarına takılacak avuç içine sığan SwarmTile adı verilen uydu modemi ile ABD'de hizmet vermeye başlamıştır. Firmadan aralarında Ford'un da bulunduğu 200'den fazla şirket bağlantı hizmeti almaktadır^[56]. İngiltere, Yeni Zelanda, Almanya ve İsveç'te de lisans alan şirket, uydu sayısını 600'e çıkarıp yeryüzünün tamamında hizmet vermeyi planlamaktadır.

Şirketler, düşük maliyetli IoT hizmeti sunmak için yarışmaktadır. ABD Merkezli Skylo, ayda 1 ABD dolarından başlayan veri planları sunarak müşterileri çekmeyi planlamaktadır^[56]. Kanada Merkezli Kepler Communication da IoT hizmeti verecek 360 uydudan oluşacak bir takım uydu için lisans almış ve ilk iki deneme uydusunu yörüngeye göndermiştir^[57]. Almanya merkezli KLEO Connect ise 300 uyduyla hizmet vermeye hazırlanmaktadır^[32].





3. TAKIM UYDU PROJELERİNİN İNOVASYONA ETKİLERİ

Yeni teknolojiler ve takım uydular karşılıklı etkileşim içerisinde. Takım uydular 21'inci yüzyıl teknolojilerinden beslenirken, takım uydu projelerinin artması inovasyonu körüklemektedir. Takım uydu projelerinin artması yeni fırlatma teknolojileri ve tesislerinin gelişiminde, yörünge uydu hizmetlerinin ortaya çıkışında ve uyduların güvenli biçimde servis dışı bırakılmasına ilişkin sistemlerin geliştirilmesinde rol oynamaktadır. Takım uydu projeleri henüz olgunluktan uzaktır ve çoğunun aşması gereken bir dizi teknolojik, operasyonel ve finansal sorunları bulunmaktadır. Ancak zamanla bunlara çözüm üretileceğinin işaretleri gelmektedir. Bu bölümde takım uydularla birlikte ortaya çıkan yeni teknoloji ve hizmetlere göz atılacaktır.

3.1 Küçük Uydular İçin Yeni Fırlatma Teknolojisi ve Çözümleri

“Yeni Uzay Çağı: 21'inci Yüzyılda Kozmik Rekabet” yazı dizimizin ilk bölümünde aktardığımız üzere^[59], genel olarak uzay ekonomisi faaliyetlerinin artması, yeni fırlatma teknolojileri ve kabiliyetleri arayışını beraberinde getirmiştir. Günümüzde fırlatma tesis ve kabiliyetine sahip şirketler sınırlıyken, özellikle küçük uydular ve takım uydu projelerindeki artış ülkeleri bu alana yatırım yapmaya sevk etmektedir. “Yeni Uzay Çağı: 21'inci Yüzyılda Kozmik Rekabet” yazı dizimizin ikinci bölümünde aktardığımız üzere, Brezilya, Portekiz, Kanada ve Güney

Afrika Cumhuriyeti'nde fırlatma üsleri oluşturulmasına yönelik çalışmalar hızlanmıştır^[59]. Söz konusu arayışın bir diğer sonucu mikro fırlatma araçlarının ortaya çıkışıdır. Tahminlere göre, dünyada küçük uydu fırlatma amacına yönelik 148 roket ve fırlatma aracı projesi yürütülmektedir. Bunlardan bazıları başarısız olsa bile gelecekte küçük uydu roketi sayısının artması beklenmektedir^[60].

Bu girişimlerden biri de Türkiye'de ROKETSAN tarafından yürütülmektedir. ROKETSAN, T.C. Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığı ile 2018 yılında imzalanan sözleşmeyle Mikro Uydu Fırlatma Sistemi (MUFS) geliştirilmesi çalışmalarına başlamıştır^[61]. İlk prototipi PAS 2019 Fuarı'nda tanıtılan MUFS tamamlandığında, 100 kilogramdan hafif uydularının 400 kilometre irtifada yörüngeye yerleştirilmesi planlanmaktadır^[62]. MUFS, Türkiye'ye kendi ticari ve askerî uydularını bağımsız olarak uzaya taşıma kabiliyeti sunacaktır. Küçük uydulara yönelik fırlatma teknoloji ve çözümlerden bazıları bu bölümde incelenecektir.

3.1.1 Roketler Uzaya Santrifüje Fırlatılacak

Mikro fırlatma roketlerinin sayısı artmakla birlikte geliştirilen tasarımlar geleneksel katı veya sıvı yakıt roketlerinin tahrik sistemlerine sahiptir. ABD ve Yeni Zelanda merkezli RocketLab, dokuzu başarılı 14 fırlatma ile pazar lideridir^[60]. Yeni Zelanda'da katmanlı imalat teknolojisiyle ürettiği roketleri yine bu ülkedeki üssünden fırlatan ABD merkezli firma, müşteri portföyüne ABD Savunma Bakanlığını da eklemiştir. Bakanlığa Bağlı Ulusal Keşif Ofisi bir keşif uydusunun uzaya fırlatılması için firmayla anlaşmıştır^[63].

Ancak yenilikçi çözümler de sunulmaya başlanmıştır. Örneğin ABD merkezli SpinLaunch roketlerinde ayrıntıları gizli tutulan vakumlu bir santrifüj kullanılmaktadır^[64]. Bu sistemde bir futbol sahası büyüklüğünde santrifüj makinesi inşa edilmekte, hızı saatte 8.000 kilometrenin üzerine çıkan makine, roketi atmosferin en üst tabakasına fırlatabilmektedir. Atmosferin uzay sınırında roketler ilk ve son kez motorlarını ateşleyerek kendilerini hedef yörüngeye konuşturacak tahrike sahip olacaktır. Sistemin denemeleri henüz sürmekte, yapılan ilk testlerin ümit verici olduğu belirtilmektedir. Santrifüjlü tahrik sistemi başarılı olursa sadece küçük uydu sektörü için değil tüm uzay ekonomisinde paradigma değişikliği getirebilir.

3.1.2 Roketler Havaalanından Havalanacak

Küçük uydular için düşünülen alternatif fırlatma yöntemlerinden biri havada fırlatmadır. Bu yöntemde roket büyük bir uçakla yüksek irtifaya taşınmakta ve burada serbest bırakılmaktadır. Kısa süreli serbest düşüşün ardından tek aşamalı roketin motorları ateşlenmekte ve uzaya çıkararak uydular alçak yörüngeye konuşturılmaktadır. Bu sistem, roketlerin tasarımını bir veya iki faza düşürmekte, gece-gündüz veya her türlü hava koşulunda herhangi bir havaalanından fırlatma yapılabilmesine imkân tanımaktadır. Bu açıdan roket tasarımından fırlatma maliyetlerine kadar bir dizi tasarruf sağlamaktadır. Ancak havada fırlatma yöntemi roketleri taşıyan uçakların kapasitesiyle kısıtlı kaldığı için sadece küçük uyduları alçak yörüngeye taşımaya uygun görünmektedir.

Havadan fırlatılan roketler arasında başarısı kanıtlanmış tek örnek NorthropGrumman'a ait Pegasus XL roketleridir. Roketle 1990'dan beri 43 uydu yörüngeye taşınmıştır. Ancak projenin geleceği belirsizliğini korumaktadır^[65].

Virgin Orbit bu yöntemi ticari olarak uygulayanlardan biri olmaya hazırlanmaktadır. Küçük uydu taşıyacak Launcher 1 roketiyle denemeler ABD'de başlamıştır. Ancak ilk denemelerde başarı sağlanamamıştır^[66]. Yine de şirket, ABD Uzay Kuvvetleri'nin 44 askeri uydusunun Launcher 1 ile uzaya fırlatılması konusunda anlaşmaya varabilmiştir^[67].

3.1.3 Toplu Taşınacak Römorkör Robotlar Uyduları Yerine Yerleştirilecek

Mikro uydu roketleri ve havada fırlatma çözümlerinin kapasite sorunu, takım uydu projelerini geleneksel büyük roket operatörlerine yönlendirmektedir. Fırlatma kabiliyetine sahip kuruluşlar da büyüyen takım uydu sektöründen daha fazla pay alabilmek için çözümler ortaya koymaktadır.

Örneğin taksi ve bisiklet operatörlerinin yolculuk paylaşımı (ridesharing) veya lojistik şirketlerinin parça (parsiyel) taşımacılık modeli küçük uydu operatörlerine sunulmaya başlanmıştır. Soyuz, Arian ve SpaceX asli yüklerinin dışında kalan hacimlerini küçük uydu işletmecilerine kullanılmaktadır. SpaceX, sadece küçük uydu taşınan paylaşımlı uçuşlar düzenlemeye başlamıştır. Firma kilogram başına taşıma maliyetini 5.000 dolara (200

kilograma kadar 1 milyon dolar) çekerek rekabetçi fiyat uygulamaya başlamıştır^[68].

Çin ve Hindistan'dan kuruluşlar da paylaşımlı modelle küçük uydu fırlatma pazarından daha fazla pay alabilmek için harekete geçmiştir. Mikrouydu fırlatma araçları pazarına hazırlananlar arasında Hindistan ve Çinli firmalar da bulunmaktadır. Hindistan Uzay Ajansının Küçük Uydu Fırlatma Aracı (SSLV), ilk uçuşunu 2020'nin sonunda yapmaya hazırlanmaktadır. 34 metre yüksekliğinde üç aşamalı ve katı yakıt tahrikli füze 500 kilogram taşıma kapasitesine sahiptir^[69].

Çin'in Aerospace Science and Industry Corporation (CASIC) şirketinin Kuaizhou-1A füzesi ise 20 metre yüksekliğinde, üç fazlı ve sıvı yakıt tahriklidir. CASIC'in yan kuruluşu Expac tarafından işletilen Kuaizhou-1A, 200 kilogramlık yükü 700 kilometre irtifaya taşıyabilmektedir. Roket Yinhe takım uydusuyla bazı askeri uyduları yörüngeye taşımıştır. Gelişmiş modeli Kuaizhou-11'in çalışmaları sürmektedir^[53].

Paylaşımlı fırlatma modeli halen çok sayıda küçük uydu işleten kuruluş tarafından tercih edilmekle birlikte özel yörünge parametreleri gerektiren uydular için uygun değildir. Bu tür uydular için RocketLab veya ROCKETSAN'ın MUFS'si uygun olacaktır. Ancak paylaşımlı modellerle uzaya taşınan uyduların yörüngelerine oturtulması için de çözümler geliştirilmektedir. Örneğin İtalya merkezli D-Orbit^[70] ve ABD merkezli Momentus^[71] gibi şirketler uzay römorkörleri geliştirdiklerini duyurmuşlardır. Uzay römorkörleri (Space Tugs) adı verilen bu robotik cihazlar, tahrik sistemleri ve robot kollarıyla uyduları yörüngeye oturtacak, ayarlarını yapacak ve ömürlerini tamamladıklarında güvenli biçimde yörünge dışına atılacaklardır (Uzay lojistiği faaliyetlerine ilişkin ayrıntılı bir inceleme "Yeni Uzay Çağı: 21'inci Yüzyılda Kozmik Rekabet" araştırma raporumuzun ilk bölümünde yapılmıştır^[58]).

3.2 Uydu Üretim Süreleri Kısılıyor

Son yıllarda küçük uydulara yönelik artan talep çok sayıda uydu fabrikası ve test merkezinin inşa edilmesine yol açmıştır. Türkiye'de de 2015'te Ankara'da TUSAŞ tesislerinde Uzay Sistemleri Entegrasyon ve Test Merkezi açılmıştır. Yaklaşık 3.800 m²lik 100.000 sınıfı (ISO 8) temiz oda ve yer destek ekipmanlarına sahip merkezde, kütlesi beş tona kadar birden fazla uydunun aynı anda montaj, entegrasyon ve test faaliyetleri gerçekleştirilebilmektedir^[72].

Küçük uydulara talebin artmasına rağmen sektörün beklediği üretim hızına henüz ulaşamamıştır. Uydu üretimi aylar hatta yıllar alabilmektedir. Gelişmiş katmanlı imalat teknikleri soruna çözüm olarak görülmektedir. Küçük uydu pazarında büyük sıçrama kaydedilmesine yol açan RocketLab'ın 100 kilogram kapasiteli Electron roketlerinin motorları üç boyutlu yazıcıyla 24 saatte imal edilebilmektedir^[73].

ABD merkezli Relativity Space ise sahip olduğu ve "dünyanın en büyüğü" olduğunu iddia ettiği metal üç boyutlu yazıcılarla roketin tamamını 60 günde tamamlayabildiğini iddia etmektedir. Üstelik firmanın ürettiği



roketler 140 kilogram taşıma kapasitesine ulaşabilmektedir. Firma ayrıca roketin tek elden çıkmasının büyük lojistik avantaj sağlayacağını ve tasarım esnekliği getirdiğini ve olası kayıpları azalttığını belirtmektedir^[74].

3.3 Yapay Zekâ İle Uydular Arası Yapay Sinir Ağları Oluşturulacak

Yüzlerce hatta binlerce küçük uydudan oluşan megatamim uydular koordinasyon ve yönetim sıkıntılarını da beraberinde getirmektedir. Tamim uydular yeryüzünün herhangi bir noktasında yüksek hızlı ve kesintisiz veri aktarımı sağlama iddiasındadır. Bu nedenle yeryüzünün herhangi bir noktası sürekli olarak bir uydunun kapsama alanında olmak zorundadır. Alçak yörüngede Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönme hızından çok daha hızlı dönen uydularla sürekli kapsama alanı sağlamak için uyduların hassas diziliminde olması gerektiği gibi, birbirlerine kayıpsız veri aktarabilmesi de gereklidir.

Uydular arasında sağlıklı veri aktarımı için geliştirilen yöntemlerin başında Uydular Arası Lazer Bağlantısı (Intersatellite Laser Link -ISLL) gelmektedir. ISLL sayesinde uydular olumsuz hava şartlarında yer istasyonlarıyla doğrudan görüşe sahip olmasa da verilerini uygun uydulara veya sistemde varsa SAR uydularına aktararak hizmetin sürmesini sağlayabilmektedir.

Ancak ISSL sistemlerini uydulara eklemek maliyet ortaya çıkarmaktadır. Uyduların ISLL sistemlerine göre ayarlanmaları gerekecektir. Bu da uyduların ağırlığını ve formunu değiştirmekte, fırlatma maliyetlerini artırmaktadır. Üstelik lazerli sistemler uyduların enerji tüketimini de artırmaktadır. Üstelik ISLL sistemleri daha tam

anlamıyla operasyonel hâle getirilmemiştir. Nitekim bu tür risklerden ötürü SpaceX ve OneWeb firmaları takım-uydularının birinci fazında ISLL kullanmayacaklarını açıklamışlardır^[75].

Ne var ki takım uydularda ISLL'den vazgeçmenin de maliyeti vardır. ISLL olmadığı takdirde işletici kuruluşlarının yer istasyonlarının sayısını artırması gerekmektedir. ABD'nin MIT Üniversitesinin hazırladığı bir modellemeye göre 720 uyduluk OneWeb takım uydusunun azami verimle çalışması için 71 yer istasyonu yeterli olacaktır^[76]. Buna karşılık ISLL sistemine sahip olmayan takım uydular için gecikme süresinin artmaması için bundan çok daha fazla yer istasyonu kurmak gerekecek ve bunların bir bölümünün riskli ülkelerde yer alması kaçınılmaz olacaktır^[77].

Yüksek maliyetine ve risklere rağmen ISLL takım uydular için geleceğin standart ve vazgeçilmez unsuru olacak gibi görülmektedir. Zira ISLL sayesinde takım uydu operatörleri dünyada talebi giderek artan veri analiz hizmetleri de sunabilecektir. Yukarıda belirtildiği üzere, yeryüzü gözlem (EO) hizmetlerine talep gittikçe artmaktadır. Ancak EO uydularının hassas sensörler, kameralar ve eletromanyetik cihazlarla elde ettiği veriler büyük boyutludur ve bunlar arasında aranılan nitelikte bilgiye erişmek ek külfet yaratmaktadır. Bu nedenle EO uydularının elde ettikleri verileri analiz ederek istenilen nitelikte bilgiyi yeryüzüne aktarması beklenmektedir. Ne var ki takım uydulardaki uydular genellikle sınırlı görev yüklerine sahiptir. Bu nedenle lazer iletişimine sahip takım uydular veri analiz yükünü de paylaşarak, "yapay bir sinir ağı" oluşturabilecektir^[78].

Yapay sinir ağları gibi hareket eden takım uydular oluşturulması için çözümler geliştirilmektedir. Makine

öğrenmesi yazılımlarına sahip uydu süperbilgisayarları bunlardan biridir^[78].

Bir diğer çözüm ise gelişmiş uydu yönetim sistemine sahip tek bir yer istasyonu geliştirerek, yapay sinir ağları haline getirilen takım uyduların elde ettikleri verileri tek bir yer istasyonuna aktarıp, analiz yükünü yeryüzü ile paylaşmaktadır^[79]. Bu tür bir uydu yönetim sistemi, takım uydu işletici kuruluşları çok sayıda yer istasyonu gerekliliğinin mali yük ve risklerinden de uzak tutabilecektir.

3.4 Uydular İstenildiğinde İşlev Değiştirecek

Uyduların çoklu görevleri yerine getirmesini sağlayacak daha gelişmiş yapay zekâ, sensör ve radarlara sahip olması da bir diğer önemli beklentidir. Uydu operatörleri yeniden programlanabilir uydular geliştirilmesini istemektedir. Böylece örneğin televizyon hizmetleri için uzaya yollanan bir uydu bir süre sonra internet hizmeti sunabilir hâle gelebilmelidir. Büyük uydu üreticileri bu türden uydularını tanıtmaya başlamıştır. Airbus'ın OneSat^[80], Boeing 702X^[81] ve Thales Alenia Space'in Inspire^[82] uyduları yeniden programlanabilir özellikleriyle ön plana çıkmıştır. Yeniden programlanabilir uydu sistemlerinin, 2022-2023 yıllarında yörüngeye yerleştirilmeye başlanacağı belirtilmektedir. Öte yandan yeniden programlanabilir uydulardan oluşan takım uydularının geliştirilmesine de başlanmıştır. Örneğin ABD merkezli Hypergiant, ABD Hava Kuvvetleri için 36 yeniden programlanabilir uydudan oluşan bir takım uydu üzerinde çalıştığını bildirmiştir. Ocak 2020'de yapılan açıklamaya göre takım uydunun misyonu ve üstleneceği görevler "gerçek zamanlı ortaya çıkacak senaryolara uygun olarak" değiştirilebilecektir^[30]. İlk uydunun 2021 yılında uzaya gönderilmesi beklenmektedir.

Ancak uyduların yeniden programlanabilir olması yeni bir siber tehdidi de beraberinde getirmektedir. Uydular siber saldırılarla silah haline getirilebilir veya kötü amaçlar için kullanılabilir. Bu nedenle özellikle uydularla iletişiminin son derece güvenli olması büyük önem taşımaktadır^[83].

4. TAKIM UYDULAR HAKKINDA KAYGILAR

Takım uydu projeleri ve bu projelerdeki uydu sayılarının hızlı biçimde artması beraberinde birtakım kaygıları da beraberinde getirmiştir. Bu kaygılar aşağıda değinilen bilimsel, ticari, hukuki, çevresel ve güvenlik başlıkları altında incelenecektir.

4.1 Bilimsel Kaygılar

Alçak yörüngede küçük uydulardan oluşan takım uydu projelerine onay verilmesi, yeryüzünde yapılan astronomi çalışmalarında kaygı yaratmıştır. Ağustos 2020'de yayınlanan bir raporda, sayıları artan parlak alçak yörünge uydularının astronomi ve derin uzay çalışmalarını olumsuz yönde etkileyeceği öne sürülmüştür^[84]. Astronomlara göre küçük uyduların ihtiyacı olan elektriği üreten solar panel aynalarıyla, son derece hassas olmalarına rağmen

gökyüzünün büyük alanlarını tarayan yeni nesil teleskoplarla elde edilen verilerde yanlışlıklara yol açabilir^[34].

4.2 Ekonomik ve Ticari Kaygılar

Büyük çoğunluğu küresel hizmet sağlayıcılığı veya yeryüzü gözlem hizmetleri odaklı olan takım uydu projeleri ekonomik ve ticari açıdan bazı endişeleri de beraberinde getirmiştir. Zira söz konusu projelerin önemli bir kısmı start-up şirketlere aittir ve finansman konusunda yatırımcı kuruluşlara bağımlıdır. Söz konusu şirketler halen önemli miktarda yatırım çekmektedir. Bazı yorumcular söz konusu projelerin 1990'lardaki internet balonu türünden krizlere yol açmasından endişe etmektedir. Ancak son 20 yılda koşullar değişmiştir: Uydu teknolojisi gelişmiştir ve bant genişliği talebi gözle görülür bir yavaşlama olmaksızın yükselmektedir. Şirketler, bağlantıdan kâr elde etmek için yaratıcı iş modelleri geliştirmektedir. Yatırımcılar da risklerini dağıtacak (Kuluçkalar, melek yatırımcı havuzları, kitlesel kaynak platformları vb.) çözümler geliştirmiştir. Ancak sermayenin rayında gitmeyen uzay girişimlerine gösterdiği sabrın sonsuza kadar sürmeyeceği açıktır^[10]. Nitekim son yıllarda çok sayıda takım uydu projesinin ilk başta uyandırdığı ilgiye rağmen artan maliyetler, düşük getiri ve diğer mali sıkıntılardan ötürü rafa kaldırıldığı gözlemlenmektedir^[10].

Bir diğer endişe ise küresel internet hizmet sağlayıcılığı pazarında tekeli oluşumların ortaya çıkmasıdır. Bir avuç büyük oyuncunun uydu sektörüne egemen görünüşü, özellikle SpaceX'in uydu fırlatma araçlarından uydu hizmetlerine kadar artan ağırlığı, Google ve Facebook'un dünyadaki teknoloji pazarının büyük bölümlerindeki hakimiyetine benzetilmektedir. Yeni yeni ayakları üzerinde durmaya başlayan uzay ekonomisinin birkaç girişimcinin hakimiyetine girmesi sektörün sürdürülebilirliği ve elastikeyet açısından endişe vericidir^[85].

4.3 Uluslararası Hukuk ve Savunma Kaygıları

Tüm uzayda ekonomik faaliyetlerde olduğu gibi takım uydulara ilişkin hukuki düzenlemeler tartışma konusudur. Örneğin halen firma ve kuruluşlar küresel çapta hizmet sunacaklarını açıklasalar bile lisanslarını merkezlerinin kurulduğu ülkelerin hukukuna göre almaktadır. Uzay faaliyetlerine ilişkin uluslararası anlaşma, düzenleme ve mekanizmaların yokluğunda ülkeler, kendi sınırları içinde faaliyet gösteren şirketlerin uzay faaliyetlerini düzenlemekle yetinmektedir. Oysa takım uydu faaliyetlerinin sınır ötesi sonuçları olacaktır. Takım uydu işletici kuruluşlar merkezlerinin kurulu olduğu ülkelerin dışında da yer istasyonları kurmak zorunda kalacaklar, hizmet pazarlaması yapacaklar ve belki de söz konusu üçüncü ülkelerin ticari ve savunma çıkarlarına aykırı faaliyet yürüteceklerdir. Ancak olası sınır ötesi sorunların nasıl çözüleceğine dair elde bir kılavuz bulunmamaktadır. Uzay topluluğu ve onu düzenleyen kuruluşlar çözüme kadar, bu sorunlar birikmeye devam edecektir^[26]. Örneğin alçak yörüngede uydu sayısının artmasıyla ortaya çıkacak sorunlardan biri, kazalar olacaktır. İki uydu herhangi bir sebepten ötürü çarpışsa ne yapılacaktır? İki uydu arasındaki ilk çarpışma, 2009 yılında, devre dışı

birakılmış bir Rus iletişim uydusu ile çalışır durumda bir ABD uydusu arasında meydana gelmiştir. SpaceX'in Starlink uyduları üzerinde çarpışma algılama yazılımı bulunmaktadır. 2019 yılı başlarında bir Starlink uydusu, Avrupa Uzay Ajansının bir uydusuyla tehlikeli biçimde yakınlaşmış, çarpışma algılama sistemi kazayı son anda önlemiştir^[26]. Buna karşılık Şubat 2018'de Rusya'ya ait devre dışı bırakılmış bir iletişim uydusu olan Cosmos 2251, Sibiryada üzerinde 750 kilometre irtifada Iridium 33 adlı operasyonel bir ABD iletişim uydusuna çarpmış, her iki uydu da kullanılmaz hâle gelmiştir. Uyduların dağılan enkaz parçaları hızlı hareket ederek diğer çalışan uydulara çarpma riskini artırmıştır^[86].

Çoğalmış takım uyduların yaratacağı güvenlik sorunları kazalarla sınırlı kalmayacaktır. Yukarıda belirtildiği üzere, uydular arası iletişim ve veri analizinde kullanılan sistemler siber saldırılara maruz kalabilir ve uydular devletler, terör ve suç şebekeleri tarafından kötü amaçlar için kullanılabilir^[27]. Uydular, düşman harp araçlarının yanı sıra ekonomik çıkarlarını, altyapısını, ticari ve askeri hareketli varlıklarını tehdit edebilir. Bu tür tehditlerle baş edilmesi için uluslararası işbirliği sağlanması gerekmektedir.

4.4 Uzay Çöpleri ve Uzay Güvenliği Sorunu

Takım uydularla ilgili bir diğer endişe kaynağı uzay çöplerinin artmasıdır. Takım uydularda görev alacak küçük uyduların ömürleri birkaç yıla sınırlıdır. Ömrünü tamamlayan uyduların yörünge dışına çıkarılmasını veya atmosfere yönlendirilerek yanıp yok olmasını sağlayacak çözümler geliştirilmediği takdirde bunlar var olan uzay çöpleri arasına karışacaklardır. Avrupa Uzay Ajansına göre, Dünya yörüngesinde yaklaşık 5.000 uydu bulunmaktadır ve bunlardan sadece yüzde 40'ı operasyoneldir. Devre dışı kaldığı halde yörüngede dönmeye devam eden uydulardan kopan yaklaşık 34.000 parça bulunduğu tahmin edilmektedir^[87].

Her biri yüzlerce hatta binlerce parça uydudan oluşacak takım uydu projeleri uzay güvenliği açısından büyük endişe kaynağıdır. Uzay çöpleri beraberinde uzaya erişim ve uzay altyapılarının kesintisiz kullanımı bakımından büyük riskler getirmektedir. Burada en kritik konu, uzay çöplerinin daha da fazla uzay çöpüne sebep olması dolayısıyla çarpışma olasılıklarının da aynı şekilde artmasıdır. Modern hayatın çok önemli araçları olan uydular haberleşme, navigasyon, görüntüleme ve bilimsel araştırma gibi birçok alanda kullanılmaktadır. GPS sistemi üzerinde oluşacak bir tehdit, uzay çöplerinin uydular için oluşturduğu tehlikeye örnek verilebilir. Böyle bir tehdit hem sivil, hem de askeri alanda birçok uygulamanın durmasına neden olacaktır. Haberleşme uyduları üzerinde oluşacak potansiyel bir zarar, sadece uydu sistemlerine bağımlı olarak haberleşme erişimine sahip bölgelerle bağlantının kopmasına neden olabilecektir^[88].

Bu kaygılardan ötürü takım uydu operatörleri uydulara, ömürleri tamamlandığında bunları son kez çalıştırıp dünya yörüngesinin dışına atacak küçük roket motorları eklediklerini duyurmuşlardır. Ayrıca bu tür sisteme sahip olmayan alçak yörünge uydularının ömürlerini

tamamladıkları zaman, yaklaşık beş yıllık bir sürede atmosfere girerek yok olacağı da ileri sürülmektedir^[35]. Ancak atmosferde yanan binlerce küçük uydunun çevresel etkilerinin ne olacağı henüz bilinmemektedir^[26].

4.5 Operasyonel ve Teknolojik Kaygılar

Küçük uydulardan oluşan bir mega takım uydu inşa ederken aşılması gereken birçok teknik engel vardır. Öncelikle, projenin tam olarak finanse edilmesi, ardından düzenleyici onayların alınması ve diğer uydu sistemleriyle güvenli bir şekilde bir arada bulunmasını sağlamak için frekansların koordine edilmesi gerekir. Daha sonra projenin ekonomik olarak ayakta kalabilmesi için peyderpey devreye alınması gereklidir. Ancak ilk etapta uyduların doğrudan faal hâle getirilebileceği kuşkuludur. Muhtemelen uyduların büyük bölümü çeşitli aksaklıklardan ötürü çalışır hâle getirilmeyecektir. Nitekim SpaceX'in Starlink için Mayıs 2019'da uzaya gönderdiği uyduların yüzde 60'ı aktif hâle getirilememiştir^[89]. Öte yandan bazı projelerde uyduların büyük bir kısmı fırlatılıp çalışır hâle gelene kadar hizmete başlamak mümkün olmayacaktır. Birçok yeni şirket ve yatırımcı bu engelleri hafife almakta ve yüzlerce uydunun eylemini, sistem mimarisini ve hizmet sürekliliğini sağlamanın karmaşıklığını kavramadan girişimlere dahil olmaktadır.

Dahası takım uydular alçak yörüngede tek başlarına olmayacaklardır. Yüzlerce projeden önemli bölümü havyata geçerse elektromanyetik spektrumda sinyal sıkıntısı baş gösterebilecektir. İletişim uyduları için telsiz kaynaklarının, yalnızca yeni LEO sistemleri arasında değil, aynı veya bitişik frekans bantlarında çalışan diğer yörüngelerdeki eski sistemler arasında paraziti önlemek için dikkatli bir şekilde yönetilmesi gerekir.

5. SONUÇ

Takım uydu teknolojisi, yarattığı endişelere rağmen, ortaya çıkabilecek teknolojik, hukuki ve operasyonel engellerin üstesinden geldiği takdirde, pek çok ekonomik, ekolojik ve toplumsal fayda üretecek niteliktedir.

Halen sürmekte olan COVID-19 pandemisinin öneminin son derece açık biçimde gösterdiği gibi, dünyanın geri kalmış veya ücra köşelerine internet ulaştırılması, dezavantajlı grupların daha iyi eğitim ve sağlık hizmetlerine ulaşmasını sağlayacağı gibi yeni ekonomik fırsatlar da sunabilir. Yeryüzü gözlem faaliyetlerinin artması, Dünya'nın daha iyi anlaşılması, kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kullanılması ve ekolojik sistemin korunmasına önemli katkı sağlayabilir.

Öte yandan dile getirilen savunma ve güvenlik endişeleri yabana atılmamalıdır. Takım uydu kabiliyetlerinin yanlış ellere geçmesi dünyada onarılması zor zarar ve kayıplara yol açabilir. Yeni uzay faaliyetleri yarattığı fırsatlar nedeniyle desteklenmesi gereken bir alan olmakla birlikte, uluslararası toplumun bir an önce kural ve kaidelerini belirlemesi gereken bir alan olarak görülmelidir.

KAYNAKÇA

- [1] Strickland, Ashley; (2020), "Bright satellites in the thousands could impact future space discoveries", *CNN*, (28 Ağustos 2020), <https://edition.cnn.com/2020/08/28/world/satellite-constellations-astronomy-scen-trnd/index.html>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [2] *Union of Concerned Scientists*, (2020), "UCS Satellite Database", (1 Ağustos 2020), <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>
- [3] *International Astronomical Union*, "Satellite Constellations", <https://www.iau.org/public/themes/satellite-constellations/#n2>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [4] T. Michailidis, Emmanouel; (2020), "AI-Inspired Non-Terrestrial Networks for IIoT: Review on Enabling Technologies and Applications", *MDPI*, <https://www.mdpi.com/2624-831X/11/3/pdf>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [5] Nag, Sreeja; (2014), "Cost and risk analysis of small satellite constellations for earth observation", Research Gate, (Mart 2014), <https://bit.ly/3eVZSO5>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [6] *STM ThinkTech*, (2019), "Küçük Uydular ve Başarı Potansiyelleri", (Şubat 2019), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/222201917224520_stm_kucuk_uydular_ve_basari_potansiyelleri.pdf. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [7] Skibba, Ramin; (2020), "How satellite mega-constellations will change the way we use space", *MIT Technology Review*, (26 Şubat 2020), <https://www.technologyreview.com/2020/02/26/905733/satellite-mega-constellations-change-the-way-we-use-space-moon-mars/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [8] *Internet World Stats*, "INTERNET USAGE STATISTICS", <https://www.internetworldstats.com/stats.htm>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [9] *Grand View Research*, (2020), "Remote Sensing Technology Market Size, Share & Trends Analysis Report By Technology (Active, Passive), By Application (Agriculture, Military, Disaster Management, Weather), By Platform, By Region, And Segment Forecasts, 2020 – 2027", (Eylül 2020), <https://bit.ly/36qs2Nr>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [10] Daehnick, Chris; (2020), "Large LEO satellite constellations: Will it be different this time?", *McKinsey*, (4 Mayıs 2020), <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/large-leo-satellite-constellations-will-it-be-different-this-time>
- [11] *Indian Space Research Organisation*, "PSLV-C37 Successfully Launches 104 Satellites in a Single Flight", <https://www.isro.gov.in/pslv-c37-successfully-launches-104-satellites-single-flight>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [12] Thompson, Amy; (2020), "SpaceX launches 58 Starlink satellites and 3 SkySats, sticks rocket landing", *Space.com*, (18 Ağustos 2020), [https://www.space.com/spacex-starlink-11-planet-sky-sats-launch-august-2020.html#:~:text=The%20two%2Dstage%20Falcon%209,Cape%20Canaveral%20Air%20Force%20Station](https://www.space.com/spacex-starlink-11-planet-sky-sats-launch-august-2020.html#:~:text=The%20two%2Dstage%20Falcon%209,Cape%20Canaveral%20Air%20Force%20Station.). (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [13] Lagi Steinar; "Mega-constellation satellites on the horizon", *DNV GL*, <https://www.dnvgl.com/to2030/technology/mega-constellation-satellites-on-the-horizon.html>
- [14] Goldberg, Rube; (2020), "India's ISRO Snags Global Small Satellite Market", *INDVSTRVS*, (6 Ocak 2020), <https://indvstrvs.com/indias-isro-snags-global-small-satellite-market/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [15] *Union of Concerned Scientists*, "Satellites launched per year", <https://datawrapper.dwcdn.net/7UELV/2/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [16] Preston, Robert; (2004), "Distributed Satellite Constellations Offer Advantages Over Monolithic Systems", *RAND Corporation*, https://www.rand.org/pubs/research_briefs/RB92.html. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [17] Qu, Zhicheng; (2017), "LEO Satellite Constellation for Internet of Things", *IEEE Xplore*, (4 Ağustos 2017), <https://ieeexplore.ieee.org/document/8002583>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [18] *Satellite Evolution Group*, (2018), "Developing new satellite Constellations", (Kasım/Aralık 2018), <https://www.satelliteevolutiongroup.com/articles/constellations.pdf>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [19] Davies, Ron; *European Parliament*, (2015), "Broadband Infrastructure", (Eylül 2015), [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2015/565891/EPRS_IDA\(2015\)565891_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2015/565891/EPRS_IDA(2015)565891_EN.pdf). (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [20] Kemp, Simon; (2018), "Digital In 2018: World's Internet Users Pass The 4 Billion Mark", *We Are Social*, (30 Ocak 2018), <https://wearesocial.com/blog/2018/01/global-digital-report-2018>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [21] Lyons, Kim; (2020), "The FCC's broadband survey is missing 20 million people, a new study suggests", *The Verge*, (6 Şubat 2020), <https://www.theverge.com/2020/2/6/21126744/fcc-broadband-survey-high-speed-internet-access-wireless>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [22] *International Telecommunication Union*, "Non-geostationary satellite systems", <https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/Non-geostationary-satellite-systems.aspx>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [23] Jarvis, David; (2019), "High speed from low orbit: A broadband revolution or a bunch of space junk?", *Deloitte*, (9 Aralık 2019), <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/technology-media-and-telecom-predictions/2020/satellite-broadband-internet.html>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [24] Greenwood, Matthew; (2020), "The Era of Satellite Constellations Has Arrived", *Engineering.com*, (5 Şubat 2020), <https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/19889/The-Era-of-Satellite-Constellations-Has-Arrived.aspx>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [25] *Morgan Stanley*, (2020), "Space: Investing in the Final Frontier", (24 Temmuz 2020), <https://www.morganstanley.com/ideas/investing-in-space>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [26] Krishna, Swapna; (2019), "The Year of the Satellite Mega-constellation", *Slate*, (26 Aralık 2019), <https://slate.com/technology/2019/12/space-satellite-constellations-spacex-starlink-junk.html>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [27] A. Hallex, Matthew; S. Cottom, Travis; (2020), "Proliferated Commercial Satellite Constellations", (31 Mart 2020), https://ndupress.ndu.edu/Portals/68/Documents/jfq/jfq-97/jfq-97_20-29_Hallex-Cottom.pdf?ver=2020-03-31-130614-940. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [28] Leyva-Mayorga, Israel; (2019), "LEO Small-Satellite Constellations for 5G and Beyond-5G Communications", *Research Gate*, (Aralık 2019), <https://bit.ly/36v4G9w>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [29] Leonard, Matt; (2018), "DARPA wants collaborating satellite constellations", *GCN*, (23 Mart 2018), <https://gcn.com/articles/2018/03/23/darpa-collaborating-satellites.aspx>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [30] Strout, Nathan; (2020), "Hypergiant is building a reprogrammable satellite constellation with the Air Force", *C4ISRNET*, (27 Temmuz 2020), <https://www.c4isrnet.com/battlefield-tech/space/2020/07/27/hypergiant-is-building-a-reprogrammable-satellite-constellation-with-the-air-force/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [31] *NewSpace Index*, "Efir / Sfera", <https://www.newspace.im/constellations/efir-sfera>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)

- [32] *Air Table*, “Constellations”, <https://airtable.com/shrbfAxBYJ8AbCo0O/tbl9y3pPy04L6QZjV>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [33] Etherington, Darrell; (2020), “SpaceX launches 60 more satellites during 15th Starlink mission”, *Tech Crunch*, (24 Ekim 2020), <https://techcrunch.com/2020/10/24/spacex-launches-60-more-starlink-satellites-during-15th-starlink-mission/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [34] V. Patelarchive, Neel; (2020), “Satellite mega-constellations risk ruining astronomy forever”, *MIT Technology Review*, (2 Eylül 2020), <https://www.technologyreview.com/2020/09/02/1007938/satellite-mega-constellations-risk-ruining-astronomy-forever/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [35] *Starlink*, <https://www.starlink.com/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [36] *Earth Observation*, “Starlink Satellite Constellation of SpaceX”, <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/starlink>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [37] *Federal Communication Commission*, “Measuring Broadband America Fixed Report – 2015”, <https://www.fcc.gov/reports-research/reports/measuring-broadband-america/measuring-broadband-america-2015>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [38] Boyle, Alan; (2020), “Amazon vows to invest \$10B in Kuiper satellites after getting FCC’s go-ahead”, *Geek Wire*, (30 Temmuz 2020), <https://www.geekwire.com/2020/fcc-says-amazon-can-proceed-kuiper-satellites-will-accommodate-rivals/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [39] Boyle, Alan; (2019), “Amazon’s Project Kuiper and OneWeb raise the curtain higher on their satellite plans”, *Geek Wire*, (1 Ekim 2019), <https://www.geekwire.com/2019/amazons-project-kuiper-oneweb-raise-curtain-higher-satellite-plans/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [40] AWS, “AWS Ground Station”, <https://aws.amazon.com/tr/ground-station/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [41] Etherington, Darrell; (2020), “Amazon gains FCC approval for Kuiper internet satellite constellation and commits \$10 billion to the project”, *Tech Crunch*, (31 Temmuz 2020), <https://techcrunch.com/2020/07/31/amazon-gains-fcc-approval-for-kuiper-internet-satellite-constellation-and-commits-10-billion-to-the-project/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [42] *Telesat*, “Affordable, Quality Internet Everywhere”, <https://www.telesat.com/leo-satellites/>
- [43] Boucher, Marc; (2020), “Telesat patiently prepares for LEO Satellite Constellation business”, *Space Q*, (4 Mart 2020), <https://spaceq.ca/telesat-patiently-prepares-for-leo-satellite-constellation-business/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [44] *Planet*, <https://www.planet.com/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [45] Werner, Debra; (2018), “Planet sets sights on the long game: Building robust subscription business”, *Space News*, (10 Aralık 2018), <https://spacenews.com/planet-sets-sights-on-the-long-game-building-robust-subscription-business/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [46] *Satre Revolution*, “Real-time Earth-observation Constellation”, <https://satrevolution.com/products/rec/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [47] Aero Space Engineering, (2020), “Podcast Ep. #40 – Earth-observation Satellite Constellations with SatRevolution”, (16 Eylül 2020), <https://aerospaceengineeringblog.com/satrevolution/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [48] *Lynk*, <https://lynk.world>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [49] Grush, Loren; (2020), “Space startup Lynk uses satellite to send text message to unmodified Android phone”, *The Verge*, (18 Mart 2020), <https://www.theverge.com/2020/3/18/21184126/lynk-mega-constellation-text-message-android-smartphone-cell-towers-space>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [50] *AST Science*, <https://ast-science.com/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [51] *Yinhe*, <http://www.yinhe.ht/indexEn.html>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [52] *NewSpace Index*, “Galaxy Space (Yinhe)”, <https://www.news-space.im/constellations/galaxy-space>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [53] Jones, Andrew; (2020), “China launches Yinhe-1 commercial low Earth orbit 5G satellite”, *Space News*, (16 Ocak 2020), <https://spacenews.com/china-launches-yinhe-1-commercial-low-earth-orbit-5g-satellite/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [54] Henry, Caleb; (2020), “Megaconstellation startup Mangata Networks joins T-Mobile-backed 5G incubator”, *Space News*, (17 Eylül 2020), <https://spacenews.com/megaconstellation-startup-mangata-networks-joins-t-mobile-backed-5g-incubator/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [55] Spangelo, Sara; (2020), “Announcing Products and Pricing for the World’s Lowest-Cost Satellite Communications Network”, *Swarm*, (29 Eylül 2020), <https://swarm.space/blog/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [56] Werner, Debra; (2020), “Swarm Technologies reveals plan to connect devices for \$5 per device per month”, *Space News*, (29 Eylül 2020), <https://spacenews.com/swarm-reveals-prices/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [57] Henry, Caleb; (2018), “Kepler Communications opens launch bids for Gen-1 LEO constellation”, *Space News*, (29 Ağustos 2018), <https://spacenews.com/kepler-communications-opens-launch-bids-for-gen-1-leo-constellation>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [58] *STM ThinkTech*, (2020), “YENİ UZAY ÇAĞI: 21’İNCİ YÜZYILDA KOZMİK REKABET I - Uzay Teknolojilerinin Geleceği”, (Haziran 2020), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/462020102014272_stm_yeni_uzay_cagi_1.pdf. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [59] *STM ThinkTech*, (2020), “YENİ UZAY ÇAĞI: 21’İNCİ YÜZYILDA KOZMİK REKABET II - Seçili Ülkelerin Uzay Programları Işığında Uzay Stratejileri”, (Temmuz 2020), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/16102020103626226_stm_yeni_uzay_cagi_2.pdf. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [60] Werner, Debra; (2019), “How many small launch vehicles are being developed? Too many to track!”, *Space News*, (4 Eylül 2019), <https://spacenews.com/carlos-launch-vehicle-update-iac/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [61] ROKETSAN, “Mikro Uydu Fırlatma Sistemi”, <https://www.roketsan.com.tr/urun/mikro-uydu-firlatma-sistemi>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [62] *Savunma Haber*, (2019), “Roketsan Unveils Micro Satellite Launch System and Navigation Solutions”, (20 Eylül 2019), <https://www.savunmahaber.com/en/roketan-unveils-micro-satellite-launch-system-and-navigation-solutions/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [63] Strout, Nathan; (2020), “The US will launch its next spy satellite from New Zealand”, *C4ISRNET*, (23 Ocak 2020), <https://www.c4isrnet.com/battlefield-tech/space/2020/01/23/the-us-will-launch-its-next-spy-satellite-from-new-zealand/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [64] *Wired*, (2020), “Inside SpinLaunch, the Space Industry’s Best Kept Secret”, (29 Ocak 2020), <https://www.wired.com/story/inside-spinlaunch-the-space-industrys-best-kept-secret/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [65] Clark, Stephen; (2019), “Rockets purchased by Stratolaunch back under Northrop Grumman control”, *Space Flight Now*, (10 Ekim 2019), <https://spaceflightnow.com/2019/10/10/rockets-purchased-by-stratolaunch-back-under-northrop-grumman-control/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [66] Clark, Stephen; (2020), “Virgin Orbit’s air-launched rocket fails on first test flight”, *Space Flight Now*, (25 Mayıs 2020), <https://spaceflightnow.com/2020/05/25/virgin-orbits-air-launched-ro>

- cket-fails-on-first-test-flight/#:~:text=Designed%20to%20haul%20small%20satellites,stage%20engine%2C%20the%20company%20said. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [67] Strout Nathan; (2020), "Space Force picks launch provider for 44 technology demonstration satellites", *C4ISRNET*, (13 Nisan 2020), <https://bit.ly/2K0zx65>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [68] *Space X*, "SMALLSAT RIDESHARE PROGRAM", <https://www.spacex.com/rideshare/#:~:text=COST%20AS%20LOW%20AS%20%241,LEO%2C%20GTO%2C%20and%20TLI>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [69] *First Post*, (2020), "SSLV Test Flight: Isro To Attempt Launch Of Its New Rocket-In-Development By Dec 2020", (8 Ekim 2020), <https://bit.ly/3nIWfEg>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [70] *D Orbit*, "The origin mission has successfully Ended!", <https://www.dorbit.space/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [71] *Momentum*, <https://momentum.space/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [72] *TUSAŞ*, "Uzay Sistemleri Entegrasyon ve Test Merkezi", <https://www.tusas.com/urun/uzay-sistemleri-entegrasyon-ve-test-merkezi>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [73] *Rocket Lab USA*, "Electron", <https://www.rocketlabusa.com/electron/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [74] *Relativity Space*, <https://www.relativityspace.com/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [75] Press, Larry; (2019), "Inter-Satellite Laser Link Update", *Circle ID*, (6 Eylül 2019), http://www.circleid.com/posts/20190906_inter_satellite_laser_link_update/. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [76] Press, Larry; (2019), "Simulation of OneWeb, SpaceX and Telesat's Proposed Global Broadband Constellations", *Circle ID*, (2 Ocak 2019), http://www.circleid.com/posts/20190102_simulation_of_oneweb_spacex_telesats_broadband_constellations/. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [77] Press, Larry; (2019), "Are Inter-Satellite Laser Links a Bug or a Feature of ISP Constellations?", *Circle ID*, (3 Nisan 2019), http://www.circleid.com/posts/20190403_inter_satellite_laser_links_bug_or_feature_of_iss_constellations/. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [78] Chaturvedi, Aditya; (2019), "Using Machine Learning and Neural Networks for advanced space solutions", *Geospatial World*, (18 Kasım 2019), <https://www.geospatialworld.net/blogs/machine-learning-neural-networks-space-solutions/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [79] Blinde, Loren; (2020), "Raytheon Intelligence & Space working on satellite constellation management solution", *Intelligence Community News*, (1 Temmuz 2020), <https://intelligencecommunitynews.com/raytheon-intelligence-space-working-on-satellite-constellation-management-solution/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [80] Henry, Caleb; (2019), "Airbus to build trio of Inmarsat-7 satellites", *Space News*, (30 Mayıs 2019), <https://spacenews.com/airbus-to-build-trio-of-inmarsat-7-satellites/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [81] Henry, Caleb; (2019), "Boeing unveils small GEO product as part of new 702X satellite lineup", *Space News*, (8 Eylül 2019), <https://spacenews.com/boeing-unveils-small-geo-product-as-part-of-new-702x-satellite-lineup/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [82] *Thales Group*, (2019), "Thales Alenia Space Releases Fully Digital Satellite To Address Fast Moving Market Needs", (10 Eylül 2019), <https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/space/press-release/thales-alenia-space-releases-fully-digital-satellite-address-fast>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [83] Henry, Caleb; (2019), "Reprogrammable satellites make cybersecurity more critical, experts say", *Space News*, (6 Mayıs 2019), <https://spacenews.com/reprogrammable-satellites-make-cybersecurity-more-critical-experts-say/>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [84] C.Walker; (2020), "Impact of Satellite Constellations on Optical Astronomy and Recommendations Toward Mitigations", *AAS*, (Ağustos 2020), <https://aas.org/sites/default/files/2020-08/SATCON1-Report.pdf>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [85] SpaceChain Foundation, "The Future of Satellite Constellations", *Medium*, <https://medium.com/blogspacechain/the-future-of-satellite-constellations-b1516baf2756>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [86] *NASA*, (2009), "COSMOS_2251", (18 Şubat 2009), <https://apod.nasa.gov/apod/ap090218.html>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [87] Press, Larry; (2020), "Low-Earth Orbit (LEO) Satellite Internet Service Developments for 2019", *Circle ID*, (14 Şubat 2020), http://www.circleid.com/posts/20200114_low_earth_orbit_leo_satellite_internet_developments_for_2019/. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [88] *STM ThinkTech*, (2019), "Dünyamızı Bekleyen Yeni Bir Tehdit: Uzay Çöpleri", (Mart 2019), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/131020209245528_stm_uzay_copleri.pdf. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)
- [89] Foust, Jeff; (2019), "Starlink Failures Highlight Space Sustainability Concerns", *Space.com*, (3 Temmuz 2019), <https://www.space.com/starlink-failures-highlight-space-sustainability-concerns.html>. (Erişim Tarihi: 13 Kasım 2020)



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

