



KÜÇÜK UYDULAR VE BAŞARI POTANSİYELLERİ



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

Gelişmiş özelliklere sahip minik sensörler, büyük veriyi metalaştırılabilir bilgiye dönüştüren analitik yazılımlar, üç boyutlu yazıcılarla katmanlı imalat, bulut depolama ve yapay zekâ gibi 21'inci yüzyılın çığır açıcı teknolojileri uydu teknolojisinde de köklü değişimlere yol açmaktadır. Bu teknolojiler, geleneksel uydulardan çok daha küçük, ucuz ama çok sayıda görev yükü (Payload) barındıran uydulardan oluşan sistemlerin yörüngeye yerleştirilmesine olanak sağlarken devletler kadar özel şirketleri de uzay çalışmalarında iddialı konuma getirmektedir. Yeni nesil küçük uydular, tarımdan enerjiye tüm reel sektör bileşenlerine, sivil toplum örgütlerinden istihbarat servislerine ve üniversitelere kadar pek çok alandaki kurum ve kuruluşun çalışmalarına hizmet etmektedir. Bu kurumlar, bu küçük uydulardan, yeryüzünün herhangi bir noktası hakkında anlık, güvenilir ve yüksek kalitede görüntü ve/veya her türlü ölçülebilir bilgi sağlamaktadır. Bu analizde uzay çalışmalarında “Yeni Uzay (New Space)” adı verilen bir sektöre yol açan küçük uyduların tarihçesi, mevcut durumu, kabiliyetleri ve uygulama alanları ile bu teknolojinin geleceğine dair projeksiyonların aktarılması amaçlanmaktadır.

2. KÜÇÜK UYDULARIN TARİHÇESİ

Rusya'nın 62 yıl önce Dünya yörüngesine Sputnik-1 uydusunu yerleştirmesi ve ABD'nin buna üç ay sonra Explorer-1 uydusuyla yanıt vermesiyle başlayan uzay yarışı bugün yine yapay uydu alanında, ancak bu kez çok daha fazla oyuncuyla yeni bir evreye girmiş bulunmaktadır. Sadece 83 kilogram olan Sputnik-1 de 14 kilogram ağırlığındaki Explorer-1 de küçük uyduların ilk

örnekleridir. Ancak sonraki yıllarda uyduların büyüklükleri ve kabiliyetleri hızla artmıştır. Nitekim Sputnik-2 508, Sputnik-3 ise 1327 kilogram ağırlığındaydı.

1957'de Sputnik-1'in Dünya yörüngesine gönderilmesinden beri uzaya 41 binden fazla insan yapımı nesne fırlatıldı. Ancak bugün bunların sadece yüzde 5'i halen aktif konumdadır. Çünkü büyük bir kısmı uydu olan bu uzay araçlarının ömürleri kısadır. En uzun ömürlü uydu bile 20 yıldan fazla kullanımda kalamamaktadır^[1].

Geleneksel uydular, hem hacim hem ağırlık hem de maliyet açısından sorunlar yaratmaktadır. Geleneksel bir iletişim uydusu yaklaşık üç ton ağırlığındadır ve bir otobüs hacmine sahiptir. Ortalama 300 milyon dolara mal olan bu uyduların yazılım ve donanımlarının üretim süreci çok uzun sürmektedir. Öyle ki yörüngeye yerleştirilen çoğu uydunun sahip olduğu yazılımlar, zamanına göre modası geçmiş kalmaktadır^[2].

Büyük uyduların uzaya taşınmasının yüksek maliyeti uzay çalışmalarının mali yükünü artırmış, uzay ajansları, kamu kuruluşları, üniversiteler ve özel sektör, 1980'li yıllardan itibaren, uydu boyutlarını küçültürken kabiliyetlerini artıracak araştırmalara destek vermeye başlamıştır.

Ancak küçük uydu teknolojisinde sıçrama yaşanması için milenyum beklemek gerekmiştir. 2000'li yıllarda mikroelektronik üretim tekniklerinin ilerlemesi, daha küçük uyduların geliştirilmesinin önünü açmıştır. Mikro boyutlarda sensörler, kameralar ve ölçüm aygıtları uyduların hem geliştirme hem fırlatma hem de işletme maliyetlerini hızla düşürmüştür. Ayrıca internet, bulut depolama ve gelişmiş büyük veri analiz yazılımları uydu verilerinin hızlı biçimde ticarileştirilebilir ürünler sunmasını sağlamıştır^[3].

Pek çok yorumcu tarafından devrim olarak nitelenen bu değişimin iki itici gücü bulunmaktadır. Öncelikle 1990'lardan itibaren mobil iletişim ağlarının yaygınlaşmasıyla son yıllarda uzay yatırımları hızla artmaktadır. Küresel çapta genişbant internet ihtiyacı, nesnelerin interneti (IoT), makineden makineye iletişim (M2M) gibi uygulamaların artması da talebi güçlendirmiştir. Talep tarafında bu gelişmeler yaşanırken, uyduların uzaya taşınma maliyetinin düşürülmesi yönünde hem devletler tarafında hem de özel sektörde arayışların artması yeni bir teknolojinin hızla gelişmesine yol açmıştır^[4].

3. MEVCUT DURUM

Uzayın keşfi ve insani amaçlar için kullanılmaya başlanması kuşkusuz pahalı bir girişimdir. Ancak bu girişimler sayesinde hem Dünya hem de uzay hakkında bilgiler artarken günlük yaşama birçok katkı sağlanmaktadır. Uzay çalışmaları sayesinde daha isabetli hava durumu tahminleri elde etmek, aynı anda çok sayıda kanaldan iletişim sağlayabilmek, navigasyon sistemleriyle yol tayin etmek, afetlere daha hızlı yanıt vermek, güvenliği sağlamak ve askeri operasyonları yönlendirmek mümkün olabilmektedir.

Bu nedenlerle uzay araştırmaları ve yatırımları daha çok oyuncunun katılımıyla hızla artmaktadır. 2017 yılı sonu itibarıyla küresel uzay endüstrisinin büyüklüğü 388.5 milyar dolara ulaşmıştır^[5]. Bugün 10'dan fazla şirket, uzaya çıkış maliyetini düşürecek roket teknolojileri üzerinde çalışmaktadır. 2010'dan beri uydu sektöründe faaliyet gösteren firma sayısı 400'e yaklaşmıştır^[3].

Yeni yatırımlar da hız kesmemektedir. 2016 yılında küresel uzay yatırımlarının miktarı 344,5 milyon dolar olmuştur. Uzay yatırımlarının 260,5 milyon dolarını, yani yaklaşık üçte ikisini uydu yatırımları oluşturmaktadır^[6]. Uydu yatırımlarının yarıya yakını (127,7 milyon dolar) iletişim ve diğer hizmetler, beşte biri ise navigasyon bağlantılı sistemler (52,6 milyon dolar) için yapılmıştır. Ancak 2017 yılında uydu yatırımlarında belirgin bir değişim gözlenmiştir. Geçtiğimiz yıl 300'e yakın nano-uydu, yani ağırlığı 1 ila 10 kilogram arasında değişen uydu yörüngeye yerleştirilmiştir. Buna karşılık uzaya fırlatılan büyük uydu ve diğer uzay araçlarının sayısı 175'te kalmıştır^[1].

Uydu pazarının yüzde 85'i, kurulu uzay endüstrisi bulunan ABD, Rusya, Çin, Japonya, Hindistan ve beş AB ülkesinin elindedir. Ancak aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 50'den fazla ülkede daha uydu çalışmaları yürütülmektedir. Bu ülkeler uzaya yaklaşık 200 uydu göndermiş veya gönderme hazırlığı yapılmaktadır. Bu rakam, sözkonusu 50 ülkenin geçen 10 yılda uzaya gönderdiği uydu sayısının iki katıdır^[6].

Yeni küçük uydu teknolojisi, uzay çalışmalarını daha geniş bir tabana yayma potansiyeline sahiptir. Hatta küçük uyduların uydu sektöründe, kişisel bilgisayarların bilişim alanında yarattığı devrime benzer bir dönüşüme yol açacağı ifade edilmektedir^[3]. Zira küçük uyduların düşük maliyetlerine karşın artan kabiliyetleri, herhangi bir ulusun, kamu kuruluşunun, büyüklüğü ne olursa olsun özel

sektör şirketlerinin veya üniversitelerin uzaya görece çok daha düşük mali risklerle erişebilmesini sağlamaktadır. Aralarında Türkiye'nin de bulunduğu çok sayıda ülkenin uzay ajansları, üniversiteleri ve özel sermaye şirketleri yeni nesil küçük uyduları geliştirmekte ve bunları Dünya yörüngesine yerleştirmektedir. Dünya yörüngesinde ağırlığı 10 kilogramın altındaki uydu sayısının 2018'de 800'e ulaştığı ifade edilmektedir. Bu sayının gelecek yıllarda hızla artacağı tahmin edilmektedir. Çünkü bu alana özel sermayenin ilgisi hızla artmaktadır. Sadece 2017 yılında uzay çalışmaları için kurulan startup şirketler, yatırım fonlarından 1.8 milyar dolar yatırım almışlardır. Bu rakam 2000 yılında uzay şirketlerine yapılan yatırımın iki katıdır^[2].

4. KÜÇÜK UYDU TÜRLERİ

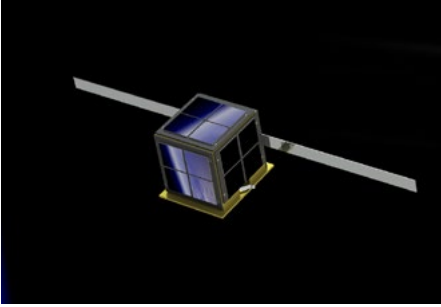
Literatürde yeni nesil küçük uydular, büyüklük ve işlevlerine göre farklı adlarla anılmaktadır. Ağırlık açısından farklı kriterler ortaya konmaktadır. Bazı uzmanlar 500 kilogramdan küçük uyduları baz alırken ABD Uzay Ajansı NASA ağırlığı 180 kilogramın altındaki uyduları küçük uydu olarak kabul etmektedir. NASA'nın yaptığı sınıflandırmaya göre ağırlığı 100 ila 180 kilogram arasında olanlar Mini-uydu (Minisatellite), 10 ila 100 kilogram arasında olanlar Mikro-uydu (Microsatellite), 1 ila 10 kilogram arasında olanlar Nano-uydu (Nanosatellite) olarak adlandırılmaktadır. NASA henüz örneği az olmakla birlikte ağırlığı 10 gramla 1 kilogram arasında uydulara Piko-uydu (Pico-Satellite), 1 gramla 10 gram arasındakilere ise Femto-uydu (Femtosatellite) adını uygun görmüştür^[7]. IBM'in Mart 2018'de tanıttığı, bir tuz tanesi büyüklüğünde ve sadece 10 cent maliyeti olduğunu bildirdiği mikro bilgisayar, NASA'nın öngördüğü Piko-uydu veya Femto-uyduların gelecekte sayılarının artacağına ve yüksek işlevsellik kazanacağına işaret etmektedir^[8].

1992'de kurulan "Kaygılı Bilim İnsanları Birliği"nin (Union of Concerned Scientists-UCS) hazırladığı veritabanına göre Ocak 2018 tarihi itibarıyla dünya yörüngesinde 1886 uydu bulunmaktadır. Bunların 1083'ü 180 kilogramdan ağır büyük uydu; 77'si 100-180 kg arası mini-uydu; 152'si 10-100 kg arası mikro-uydu; 435'i 1-10 kg arası nano-uydu; 139'u ise kütlesi açıklanmamış uydulardır. Bu ağırlığı belirsiz uydular arasında 1 kilogramdan hafif piko-uydu veya femto-uydulurun olduğu da tahmin edilmektedir^[9].

4.1 Küp Uydular

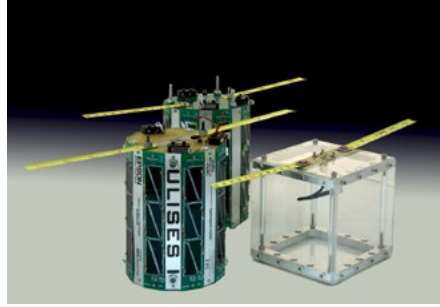
Küçük uydu sınıflandırmasında NASA küp uydulara ayrı bir sayfa açmaktadır. Çünkü küp uydular (CubeSat) bir uydu türü değil uydu ölçü birimidir. ABD'nin California Polytechnic State Üniversitesi ve Stanford Üniversitesi bilim insanları tarafından eğitim amaçlı olarak 1999'da geliştirilen standartta en küçük küp uydu birimi yaklaşık 1100 santimetre küplük hacme ve 800 gram ila 1,33 kilogram arasında ağırlığa sahiptir.

Bu standart üzerinden birkaç küp uydu bir araya getirilebilmekte, bunlar uzaya fırlatıldıktan sonra birbirine ekli veya birbirlerinden ayrı ancak bağlantılı takım uydular kurulabilmektedir. NASA'nın öncülüğünde belirlenen



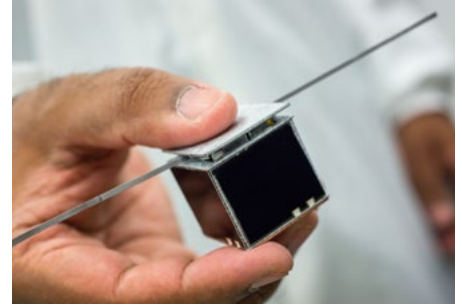
Şekil 1: Alba Orbital firmasının geliştirdiği bir PocketQube.

<https://www.thewhiskybond.co.uk/blog/pocketqube-shop/>



Şekil 2: Meksika Uzay Kolektifi tarafından yapılan TubeSat ve bir CubeSat.

<http://www.interorbital.com/Tubesat%20Kits>



Şekil 3: Arizona Eyalet Üniversitesinin geliştirdiği FemtoSat isimli SunCube.

<https://asunow.asu.edu/20160406-creativity-asu-suncube-femtosat-space-exploration-for-everyone>

standarda göre 1 ünite küp uydu boyutu (1U CubeSat) 10x10x11cm olarak kabul edilmiştir. Bugüne kadar uzaya gönderilen küp uydulardan en küçüğü 0.25U, en büyüğü ise 12U büyüklüğündedir. Çin, yakında 20U büyüklüğünde bir küp uyduyu yörüngeye yerleştireceğini açıklamıştır. Tasarım aşamasında 27U büyüklüğünde küp uydular da bulunmaktadır^{[10], [11]}.

Küp uyduların işlevleri ve maliyetleri tasarım amacına göre değişmektedir. Küp uyduların hemen hepsinde bir enerji ünitesi (Güneş paneli ve/veya batarya), diğer küp uydular ve yer istasyonu ile bağlantıyı sağlayan iletişim ünitesi, bir bilgisayar ve zararlı uzay koşullarına (Radyasyon, aşırı ısınma veya soğuma vb) dayanıklılığı artıran koruyucu tabakalar bulunur. Küp uydular kullanıma uygun olarak eklenmiş görev yükleri, yani ölçüm veya gözlem cihazlarıyla birbirinden farklılaşırlar. Bazı küp uydularda minyatür tahrik motorları ve/veya itici sistemler de bulunmaktadır^[12].

Bu standart boyutlar küçük uydu projelerinin görev sürelerinin kısalmasına yol açtığı gibi tasarım kolaylığı da sağlamıştır. Küp uyduların geliştirilmesi uzay fırlatma araçlarının tasarım ve ağırlığını da azaltmıştır. İlk küp uydu Ocak 2003'te Almanya tarafından uzaya gönderilmiştir. Geçen zaman içinde tek fırlatmada uzaya gönderilen küp uydu sayısı hızla artmıştır. 2014'de Rusya'dan fırlatılan bir Soyuz roketiyle çeşitli ülkelere ait 37 küp uydu uzaya yerleştirilmiştir. Bu rekor, Şubat 2018'de 104 küp uydula kırılmıştır. Hindistan'dan fırlatılan bir rokette bulunan küp uyduların 88'i ABD'li uzay firması Planet'e aittir^[2].

4.2 PocketQubes, TubeSat ve SunCubes

Küp uydular, uyduların yörüngeye yerleştirme maliyetlerini azaltmak amacıyla tasarlanmıştır. Nitekim küp uyduların, uydu inşa ve yörüngeye yerleştirme maliyeti 100 bin doların altına kadar inmiştir. Bu maliyeti daha da azaltmak için araştırmalar ve tasarım çalışmaları sürmektedir. 2009 yılında düzenlenen İkinci CubeSat Sempozyumu'nda bir kenarı beş santimetre olan cep küp uyduları (PocketQubes) önerilmiş, örnek bir uydu bir yıl sonra İtalya'nın Roma Üniversitesi tarafından deneme amaçlı olarak uzaya da gönderilmiştir. İngiltere'nin

Albaorbital şirketi, ESA ile işbirliğiyle PocketQuebes uydularını uzaya taşımaya hazırlanmaktadır^[13].

ABD'nin Interorbital System şirketi tarafından tasarlanan silindirik şeklindeki 12,7 santimetre yüksekliğinde, 8.9 santimetre çapındaki TubeSat, kamuoyuna duyurulmasının üzerinden altı yıl geçmesine rağmen uzaya henüz gönderilmemiştir. Bir kenarı üç santimetre olan küp uydu olarak tasarlanan SunCubes ise uydu maliyetini 10 bin doların altına, hatta 1000 dolara çekmeyi amaçlamaktadır ancak bu tasarım da henüz uygulama bulamamıştır^{[10], [14]}.

4.3 Mega Takım Uydu Projeleri

Son dönemde çok sayıda özel şirketin yüzlerce, hatta binlerce nano uydudan oluşacak "mega takım uydu" planlarını açıkladığı dikkat çekmektedir. Bugüne kadar 11 şirket mega takım uydu planı açıklamıştır^[15]. Bu şirketlerin önerdiği sistemlerdeki toplam uydu sayısı 25 bine yakındır. Bunlardan 23 bini iletişim, 1.500'ü yeryüzü gözlem, 800'ü ise çeşitli misyonlar amaçlıdır^[9].

ABD'nin havacılık ve uzay devi Boeing, iki yıl önce 1396 uydudan oluşan bir takım uydu sistemini 2022 yılına kadar oluşturmayı hedeflediğini açıklamıştır. Boeing'in planları arasında 1.560 uydudan oluşan ikinci bir takım uydu da bulunmaktadır. Boeing, bu iki mega takım uydu ile Dünya'da internet erişimi olmayan nokta bırakmama'yı hedeflemektedir^[16].

ABD merkezli Space X ise, yine internet erişimini küresel hale getirmek üzere, alçak yörüngeye 4.425 uydudan oluşan bir takım uydu yerleştireceğini açıklamıştır. Şirket, ikinci etapta 7.518 uydudan oluşan ikinci bir takım uydu sistemi planlamaktadır^[3].

ABD merkezli WorldVu Satellites Ltd., ağırlığı 125 ila 150 kilogram arasında değişen 720 mini uydudan oluşan, geniş bant internet erişimi sağlamayı amaçlayan bir sistem için ABD Ticaret Komisyonundan izin almıştır^[15]. OneWeb adı verilen bu takım uydunun 1.2 milyar dolara mal olacağı ve 2020 yılından itibaren hizmet vermeye başlayacağı ifade edilmektedir^[17].

Çin Halk Cumhuriyeti'nin 2022 yılına kadar ticari ve askeri amaçlı 700 nano uydudan oluşan bir takım uydu oluşturmak için harekete geçtiğini bildirilmektedir^[18].

China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC), 300'e yakın uydudan oluşacak Hongyan adı verilen bir iletişim mikro takım uydusu planını duyurmuştur. CASC ayrıca sadece nesnelere interneti uygulamaları için kullanılacak Xingyun adı verilen bir mini takım uydusunu 2025 yılına kadar 1000 kilometre irtifada yörüngeye yerleştirmeyi amaçlamaktadır^[19].

Kanada merkezli Kepler Communication şirketi ise 140 nano uydudan oluşan bir takım uydu sistemiyle taşımacılıktan tarıma kadar pek çok alanda hizmet vereceğini duyurmuştur^[15]. Bu planların küçük bir bölümünün bile yeterli olgunlukta hayata geçmesi, küçük uyduların seri üretimini sağlayacak tekniklerin geliştirilmesinin önünü açacaktır. Küçük uyduların ömürlerinin daha kısa olmakla birlikte uzaya taşınma maliyetlerinin düşmesi, uydu sektörüne çeviklik kazandıracak, uyduların teknolojik olarak yenilenme süreci kısıllanacaktır. Geniş ve yaygın takım uydu sistemleri, 5G mobil ağlarına yeryüzünün herhangi bir noktasında erişilmesini; kara, hava, deniz ve şehir içi trafiğinin optimal faydayla düzenlenmesini ve belki de Ay ve Mars'a kadar ulaşan bir Space Wide Web oluşmasını sağlayabileceklerdir.

4.4 Trendler ve Projeksiyonlar

180 kilogramın altındaki küçük uydu pazarının mevcut durumu ve gelişimine ilişkin rakamlar da geleceğe dair öngörüler de farklılık arz etmektedir. Ancak söz konusu raporlarda pazarın gelişimine dair öngörülerin pozitif yönde olduğu dikkat çekmektedir.

ABD merkezli enerji ve teknoloji pazarı araştırma şirketi BIS Research tarafından Kasım 2018'de yayınlanan bir raporda, nano uydu pazarının 2017 yılında 143,7 milyon dolara ulaştığı bildirilmiştir ve pazarın 2023 yılına kadar ortalama yüzde 13.43 büyüyerek 356,1 milyon dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir^[20].

Haziran 2018'de Danimarka merkezli Danske Bank'ın hazırladığı bir raporda, geleneksel büyük uyduların yüzde 15'inin yerini maliyeti çok daha düşük nano-uydulara bırakabileceği belirtilmektedir. Raporda nano-uyduların pazar potansiyelinin 8 milyar doların üzerine çıkabileceği de kaydedilmiştir^[21].

Merkezi ABD'nin Atlanta kentinde bulunan SpaceWorks Enterprises tarafından Ocak 2018'de yayınlanan raporda ise 2023 yılına kadar ağırlığı 100 kilogramın altında 2.600 mikro veya nano uydunun uzaya fırlatılmasının beklendiği belirtilmektedir. Rapora göre 2018 yılı sonunda ağırlığı 50 kilogramın altında 263 ile 413 arası uydu Dünya yörüngesine yerleştirilecektir. Bu rakam 2017'ye göre yüzde 15 azalmayı, fakat 2016'ya göre yüzde 160 artış işaret etmektedir. Raporda nano ve mikro uydu pazarının son beş yılda yüzde 200 büyüdüğü de ifade edilmektedir^[22].

Fransa merkezli danışmanlık şirketi Euroconsult'ın Ağustos 2017'de yayınladığı projeksiyona göre 2026 yılına kadar 6.200 küçük uydu uzaya fırlatılacak ve pazarın büyüklüğü 30,1 milyar dolara ulaşacaktır. 2007-2017 döneminde küçük uydu pazarının büyüklüğü 8,9 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir^[23].

4.5 Küçük Uydu Teknolojisinde Sorunlar ve Gelişmesi Gereken Alanlar

Küçük uydu üretiminin artmasını dizginleyen çok sayıda faktör bulunmaktadır. Bunların başında uzaya erişim kanallarının yetersizliği gelmektedir. Uzay araçlarının uzaya ulaştırılmasını sağlayan az sayıda roket firması ve fırlatma merkezi bulunmaktadır. SpaceX, BlueOrigin ve Virgin Galactic gibi özel firmalar, uzaya erişimin maliyetinin azaltılması için çalışmalar yürütmektedir. Japonya Uzay Ajansı Jaxa, Şubat 2018'de No.5 adını verdiği sadece 10 metre yüksekliğinde ve 50 santimetre çapında bir füzeyi denemiştir. No.5 sadece küçük uyduları uzaya taşımak için tasarlanmıştır^[24]. Sovyetler Birliği'nin dağılmasının ardından uzay merkezlerinin kontrolü birkaç ülkeye geçmiş ve bu da seçeneği artırmıştır. Çin ve Hindistan'ın uzay çalışmalarını hızlandırmasıyla uzaya erişimde geçmişe oranla daha fazla seçenek bulunmakla birlikte istenilen zaman ve maliyette erişim kısıtlı bulunmaktadır^[25].

Ayrıca, uydu sayısının hızla artması yeterli iletişim frekans spektrumu sorununu ortaya çıkarmıştır. Açıklandığı gibi gelecek 10 yıl içinde uzaya 25.000'e yakın uydu gönderilecekse yeni spektrumun artırılması ve bunun adil biçimde bölüşülmesi için uluslararası hukuki düzenlemeler gerekecektir^[26].

Nano-uydulara ilgi artarken bu uyduların teknolojisi-ne ilişkin aşılması gereken sorunları bulunmaktadır. Bu uydular elektronik parçaları küçük olduğu için uzay radyasyonuna karşı daha hassastırlar. Küçük oldukları için taşıyabilecekleri görev yüklerinin miktarı kısıtlıdır. Düşük maliyetleri büyük avantaj olmakla birlikte kısa ömürlüdürler. Birkaç hafta, ay veya yıl sonra ömürlerini tamamlayıp atmosfere girerek yok olurlar^[27]. Bu nedenle bazı uzmanlar nano uyduların uzay çöplerinin sayısını artıracığından ve uzay kazalarına yol açmalarından endişe etmektedir. Zira bugün dünyanın yörüngesinde 10 santimetreden büyük 23 binden fazla 'uzay çöpü' bulunmaktadır^[28].

5. KÜÇÜK UYDULARIN KULLANIM ALANLARI VE GÖREV YÜKLERİ

Küçük uydular 1980'li yıllardan beri, nano uydular ve küp uydular ise 15 yıldır uzaya gönderilmektedir. Bu yeni nesil uydular çoğunlukla uzaktan algılama, iletişim ya da bilimsel araştırma misyonlarıyla genellikle Dünya'nın yörüngesine konuşlandırılmaktadır. Uydular için üç ana yörünge belirlenmiştir: Yersabit Yörünge (GEO), Molniya Yörünge ve Alçak Kutupsal Yörünge (LEO). GEO yeryüzünden 35.786 kilometre, Molniya 40.000 kilometre, LEO ise sadece 300 ila 1000 kilometre uzaklıktadır. Alçak yörünge, daha az enerji gerektirdiği için uydu çalışmalarında popülerlik kazanmıştır. Ancak yörünge ötesi çalışmalarda nano uydular kullanılmaya başlanmıştır. 2018'de Mars'a iki adet küp uydu gönderilmiştir. Ay ve Jüpiter yörüngelerine de bu tür uydu gönderileceği açıklanmıştır^[27].

Estonyalı sistem mühendisi ve uydu operatörü Erik Kulu tarafından hazırlanan Nanasat.eu nano uydu

veritabanına göre Ekim 2018 itibarıyla aktif 1846 nano uydu ve küp uydu bulunmaktadır. 58 ülkeden 323 kamu ve özel sektör kuruluşuna ait bu uyduların kullanım amaçlarına göre dağılımı şöyledir^[29]:

- Bilimsel araştırma: 213
- Uzay teknolojisi: 957
- Yer gözlem: 537
- Küresel konumlandırma (GNSS): 34
- Meteoroloji: 211
- Savunma: 12
- Telekomünikasyon: 276

5.1 Uzaktan Algılama Uyduları

Uzaktan algılama, ilk uydular ortaya çıktığından beri başta gelen uygulama alanları arasında bulunmaktadır. 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, küçük ama yetkin sensörler ve kameralar sayesinde uzaktan algılama uyduları daha küçük, hafif ve daha ucuz hale gelmiştir. Akademik, kamusal veya ticari misyonların gerekliliklerine tam olarak uyan ne eksik ne de fazla büyüklükte olan bu uydular farklı görev yükü taşıyabilmektedir. Bu işlevselliğinden ödün vermeden bileşenlerinin daha da küçültülmesi yönündeki çalışmalar küçük uyduların sayısının artmasının yolunu açmaktadır.

Uzaktan algılama cihazları iki türdür: Aktif ve pasif sensörler. Aktif sensörler kendi enerji kaynaklarını (radyasyon) kullanarak gözlemlenen nesnelere aydınlatmaktadır. Sensör hedefinden yansıyan radyasyonu tespit eder ve ölçüm yapar. Lazerli yükseklikölçer, lidar, radar, mesafe ölçerler, saçınımölçer (Scatterometer), atmosferde dikey olarak sıcaklık, nem ve bulut oluşumlarını inceleyen ses iskandili (Sounder) aktif sensörler arasındadır. Pasif sensörler ise izlediği hedeflerin yaydığı enerjiyi inceleyerek ölçümlerde bulunurlar. İvmeölçer, görüntüleme radyometresi, radyometre, spektrometre ve spektroskopiyetrimetre pasif sensörler arasındadır^[30].

5.1.1 Yeryüzü Gözlem (EO) Uyduları

Yeryüzü gözlem (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. Ancak son yıllarda, onlarca küçük uydudan oluşan takım uydularının ortaya çıkışı, internet, bulut depolama, ileri işleme ve dağıtım metodları sayesinde EO büyük evrim geçirmiş, sadece devletlerin kısıtlı amaçları için yapılan bilgi toplama faaliyetinin ötesine geçerek ticari bir faaliyet alanı haline gelmiştir.

Gelişmiş görüntüleme cihazları, kızılötesi algılama cihazları, radar ve lidar gibi cihazlara sahip EO uyduları kullanılarak yapılabilecek ticari faaliyetlerin alanı son derece geniştir. Uydularla yeryüzü gözlem faaliyetlerini koordine etmek üzere 2002 yılında kurulan uluslararası

kuruluş The Group on Earth Observations (GEO), sekiz alan belirlemiştir^[31]:

- **Biyolojik Çeşitlilik ve Ekosistemin Sürdürülebilirliği:** Biyolojik çeşitliliğin durumu, türlerin dağılımı ve yayılmacı türlerin tespiti; ekosistemin izlenmesi; kıyı deniz canlıları ve sistemlerinin sağlığının izlenmesi ve değişimlerinin incelenmesi; ormanlar, tatlı su havzaları, okyanus adaları, tundra göllerinin izlenmesi.
- **Afet Yönetimi:** Depremler, seller, toprak kaymaları, kasırgalar, yanardağ patlamaları ve orman yangınlarının izlenmesi ve önceden tahmin edilmesi.
- **Enerji ve Mineral Kaynak Yönetimi:** Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğinin izlenmesi. Mineral kaynakların keşfi ve sürdürülebilir nitelikte üretiminin sağlanması.
- **Gıda Güvenliği ve Sürdürülebilir Tarım:** Yerel, ulusal veya bölgesel tarım, gıda, hayvancılık, ormancılık ve balıkçılık faaliyetlerinin izlenmesi; açlık, kuraklık ve aşırı iklim olayları tehlikesine karşı erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi; gıda güvenliği öngörülerini hazırlanması.
- **Üstyapı ve Ulaşım Yönetimi:** Baraj, yol, demiryolu, liman ve boru hatları gibi ulaşım altyapısının planlanması, izlenmesi ve yönetimine destek sağlanması, taşımacılıkta karbon salımının azaltılması için kara, hava ve deniz ulaşımının izlenmesi.
- **Kamu Sağlığı:** Hava kalitesinin, sıcak hava dalgalarının ve bulaşıcı hastalıkların izlenmesi ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi.
- **Sürdürülebilir Şehircilik:** Şehirlerin güvenliği, ekonomik faaliyetleri, afet riskleri, konut kapasitesi, ortak yaşam alanlarının izlenmesi.
- **Su Kaynakları Yönetimi:** Yer üstü ve yer altı su kaynaklarının izlenmesi; su kalitesi ve su tüketimindeki değişikliklerin tespiti ve uyarı sistemlerinin geliştirilmesi.

Yeryüzü gözlem uyduları, bu alanda hizmet veren özel sektör şirketlerinin armasıyla ticari çıkarlar, hatta ticari casusluk faaliyetleri için de kullanılmaya başlanmıştır. ABD'nin CNBC televizyonu 2010 yılında hazırladığı bir belgeselde, UBS bankasının bir analistinin Wall Mart süpermarketler zincirinin performansını tahmin edebilmek için özel bir uydu şirketinden Wall Mart süpermarketlerinin otoparklarının fotoğraflarını satın aldığını belgelemiştir. Habere göre çok sayıda yatırımcı ve onların mali araçları, ülkelerin, limanların veya şirketlerin mali performanslarını tahmin edebilmek için bu kurumlara ait tarla, liman, rafineri, otopark ve açık depolama alanlarının uydu fotoğraflarını incelemektedir^[32].

5.1.1.1 Yeryüzü Gözlem Uydularının Mevcut Durumu

Küçük uydular 2000'li yıllarda teknoloji, maliyet ve verimlilik açısından ticari olarak sürdürülebilirlik eşliğini

aştıktan sonra EO uydu sayısı hızla artmıştır. Yeryüzü gözlem uyduları halen aktif olan uyduların yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. UCS veritabanına göre Ekim 2018 tarihi itibarıyla dünya yörüngesinde 1886 uydu bulunmaktadır ve bunların 684'ü yeryüzü gözlem ve yer bilimleri araştırmalarında kullanılmaktadır. Yeryüzü gözlem uydularının sayısı 2016'dan beri yüzde 83 artmıştır. Yeryüzü gözlem uydularının amaçlarına göre tasnifi ise şöyledir:

- **Optik görüntüleme:** 342 uydu (95 büyük, 28 mini, 25 mikro, 187 nano-uydu, 7 belirsiz/açıklanmamış)
- **Meteoroloji:** 82 uydu (13 büyük, 2 mini, 5 mikro, 62 nano uydu)
- **Elektronik istihbarat:** 64 uydu (31 büyük, 3 mini uydu, 29 belirsiz/açıklanmamış)
- **Yer bilimleri:** 62 uydu (53 büyük, 1 mini, 3 mikro, 4 nano, 1 piko uydu)
- **Radar görüntüleme:** 49 uydu (33 büyük, 10 mikro, 6 belirsiz/açıklanmamış)
- **Kızılötesi görüntüleme:** 10 uydu (8 büyük, 2 mini uydu)
- **Diğer:** 75

Aynı veritabanına göre uyduların 308'i ticari, 202'si kamusal, 143'ü askeri, 31'i ise sivil ve bilimsel amaçlarla kullanılmaktadır. Ancak uyduların çoğunun birden fazla işlevi aynı anda gördüğü, aynı anda ticari, bilimsel veya askeri görevler alabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Büyüklüğü ve amacı açıklanmamış uyduların büyük bölümü ABD ve Çin'e ait askeri uydulardır^[9].

5.1.1.2 Ticari ve Sivil Amaçlı Yeryüzü Gözlem Uyduları

Planet ve Spire

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 300'den fazla küp uydu göndermiştir ve UCS veritabanına göre bunlardan 193'ü halen aktiftir^[33]. Bu açıdan Planet, uzay çalışmaları tarihinde uzayda en fazla aktif aracı bulunan kuruluşur^[34]. 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 getirmektedirler^[33].

Planet bu takım uydusuyla yeryüzünün tamamının her gün görüntüsünü alma misyonuna 2017 sonunda erişmiştir. Şirket bu görüntülerle Google benzeri bir arama motoru geliştirme safhasındadır. Böylece şirket, dileyen herkesin, bedel karşılığında yeryüzünün herhangi bir bölümüne veya tamamına ilişkin tarihsel görüntüleri elde edebilecek ve analiz edebilecektir^[33].

2012'de ABD'nin San Francisco kentinde kurulan Spire Global şirketinin ise uzayda 80 küp uydusu bulunmaktadır. İki yıl ömürlü olarak tasarlanan uydularda çok sayıda sensör bulunmaktadır. Otomatik Tanımlama Sistemi (OTS), ticari gemilerin takibi, yasadışı balıkçılık ve korsanlık faaliyetlerinin önlenmesi, sigorta ve arama kurtarma amaçlarına uygun olarak uydulara eklenmiştir. Ticari uçakların takibi için ADS-B sistemi de uydularda bulunmaktadır. Uydularda aynı zamanda çok sayıda meteoroloji sensörü bulunmaktadır. İskoçya'daki fabrikasında her hafta bir küp uydu üretebilmekte olan şirket, 150 uyduluk bir sisteme ulaşmayı hedeflemektedir^[34].

DMC

Bireysel küçük uyduların daha kullanışlı ve daha uzun ömürlü olmalarına rağmen bunlardan gerçek verim, takım uydu oluşturmaları halinde alınmaktadır. EO mikro uydu kümelerinin ilk örneği afet izleme takım uyduları olan DMC uydulardır. İngiltere'nin Surrey Satellite Technology Limited (SSTL) firması tarafından üretilen DMC uydularının mülkiyeti Türkiye, İngiltere, Çin, İspanya, Nijerya ve Cezayir devletlerine aittir ancak DMC International Imaging adlı uluslararası şirket tarafından yönetilmektedir. DMC'nin EO uyduları hem devletlerce hem de uluslararası çalışmalarda kullanılmaktadır. DMC, 2004'te Hint Okyanusu'nda yaşanan tsunami faciası ve 2005'te ABD'nin güney eyaletlerinde büyük yıkıma yol açan Katrina Kasırgası sırasında son derece etkin rol oynamıştır. Fakat afet izleme DMC faaliyetlerinin sadece yüzde 10-15'ini oluşturmaktadır. Kapasitesinin kalanı ulusal kaynakların izlenmesi ve özel sektöre veri aktarılmasında kullanılmaktadır^[35].

BİLSAT ve RASAT

Türkiye DMC sistemine BiLSAT uydusu ile katılmıştır. BiLSAT projesi, Türkiye'de küçük uydu teknolojilerini başlatmak, geliştirmek ve desteklemek amacıyla geliştirilmiştir. SSTL ile ortak olarak, küçük uyduların tasarımı ve üretimi için gerekli altyapı ve bir yer istasyonu kurulmuş ve Türkiye'nin ilk uzaktan algılama uydusu olan BiLSAT üretilerek 27 Eylül 2003 tarihinde yörüngeye yerleştirilmiştir. Uydunun, ÇOBAN ve GEZGİN adı verilen, iki görev yükü TÜBİTAK UZAY tarafından ve yerli sanayi katkılarıyla Türkiye'de tasarlanarak üretilmiş ve BiLSAT uydusuna yerleştirilmiştir. BiLSAT, Ağustos 2006'da bataryalarının güç yitmesiyle devre dışı kalmıştır^[36].

RASAT Araştırma Uydusu, Türkiye'nin ve TÜBİTAK UZAY'ın BiLSAT uydusundan sonra sahip olduğu ikinci uzaktan algılama uydusudur. RASAT, Türkiye'de tasarlanıp üretilen ilk yer gözlem uydusudur. Yüksek çözünürlüklü optik görüntüleme sistemine ve Türk mühendislerce

tasarlanıp geliştirilen yeni modüllere sahip olan RASAT, tasarım ömrü üç yıl olmasına rağmen Ağustos 2018 itibarıyla görevde 7 yılını doldurmuştur. RASAT, uzayda görev yaptığı süre boyunca Dünya üzerinde toplam 14 milyon 57 bin 100 km² alanın görüntüsünü çekmiştir. Türkiye'nin yaklaşık 18 katı büyüklükte görüntü alan RASAT, 2448 görevi başarıyla yerine getirmiştir. RASAT'tan elde edilen görüntüler haritacılık, afet izleme, akıllı tarım, çevre, şehircilik ve planlama çalışmalarında kullanılmaktadır. RASAT'ın çektiği görüntüler, TÜBİTAK UZAY'da bulunan Yer İstasyonuna iletilmektedir. Burada işlenen görüntüler Türkiye'nin ilk milli uydu görüntü portalı olan ve tüm Türkiye'yi kapsayan www.gezgin.gov.tr internet adresinde paylaşılmaktadır^[37].

LAGARI

Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. (STM) tarafından geliştirilen mikro gözlem uydusu Lagari'nin 2019 yılının ikinci yarısında uzaya gönderilmesi beklenmektedir. Adını roketle dikey uçuşu bulan ve kendini uçurmayı başaran mucit Lagari Hasan Çelebi'den alan Lagari uydusu 60 ila 65 kilogram arasında olacaktır. Lagari sahada taktik görüntü ihtiyacının yakın gerçek zamanlı karşılanması, orman ve bitki örtüsünün takibi, genel haritalama, doğal afet takibi gibi keşif gözetlemesi yapacaktır.

Renkli ve nokta/şerit görüntü alma kabiliyetlerine sahip Lagari, üzerinde taşıdığı yeni nesil elektro optik kamera sayesinde, bu alandaki boşlukları dolduracak olan tamamlayıcı uydu kategorisinde ilk milli yatırım olma özelliğini taşımaktadır^[38].

STM, yeni mikro uydular uzaya göndererek Lagari'yi bir takım uydu haline getirmeyi planlamaktadır^[39]. Lagari, 4-8 uyduluk bir takım uydu konsepti ile daha gelişmiş bir şekilde ilk uydudan elde edilen tecrübeler ışığında tekrar projelendirilecektir^[40].

PROBA Uyduları

Avrupa Uzay Ajansı ESA tarafından finanse edilen Proba uyduları yeryüzü gözlem çalışmalarında yeni bir sayfa açmıştır. 2001 yılında gönderilen 95 kilogram ağırlığında ve bir çamaşır makinesi büyüklüğündeki Proba-1 uydusu, iki yıl ömürlü olarak tasarlanmasına rağmen halen aktiftir. 2008'de yörüngeye yerleştirilen Proba-2 de halen aktiftir. Her iki uydu da yüksek çözünürlüklü görüntüleme spektrometrelere sahiptir. ESA, 2013'te Proba-V adını verdiği üçüncü bir uyduyu da yörüngeye yerleştirmiştir. Proba-V, Fransa'nın daha önce Spot-4 ve Spot-5 uydularında kullandığı bitki örtüsü izleme sensörlerine sahiptir. Proba-V, aynı zamanda iklim etki değerlendirme, afet yönetimi, su kaynakları yönetimi, tarım izleme ve gıda güvenliği tahminleme çalışmalarında kullanılmaktadır^[41].

5.1.2 Askeri Amaçlı Yeryüzü Gözlem Uyduları

Askeri uydular, elektronik istihbarat toplamak amacıyla ilk uyduların ortaya çıkışından bu yana üretilmektedirler. ABD donanması ilk navigasyon uydusunu 1960'ta kullanmaya başlamıştır^[42]. Askeri uydular, düşman hedeflerin hareketlerinin izlenmesi, iletişimlerinin takibi, nükleer

denemelerin tespit edilmesi, arama ve kurtarma çalışmalarına yardımcı olması gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Ancak bu uyduların büyük bölümü oldukça ağır ve pahalı olmalarına rağmen ömürleri de kısıtlıdır. Bu nedenle küçük uydu teknolojisindeki gelişmeler savunma bakanlıklarının uydu teknolojisine yaklaşımında değişikliğe yol açmaktadır.

ABD'li savunma düşünce kuruluşu Center for a New American Security (CNAS) tarafından Mart 2018'de yayınlanan bir raporda bu paradigma değişikliğine gerekçe olarak mevcut askeri uyduların gerçek zamanlı olarak veri sağlayamaması gösterilmiştir. Alçak yörünge uydularının hedef bölge üzerinde birkaç saat kalabildiği, insansız hava araçlarının ise birkaç gün kalabildiği belirtilen raporda, GEO yörüngesine yerleştirilen uyduların hedef üzerinde sürekli kalabildiği belirtilmektedir. Ancak yeterince GEO uydusunun bulunmadığı belirtilen raporda, alçak yörüngeye (LEO) konuşlandırılacak yüzlerce küçük uydudan oluşacak takım uydularla bu sorunun aşılabileceği kaydedilmektedir. Rapora göre böylece her bir küçük uydu farklı bir amaca yönlendirilebilecek, bu görevleri daha önce üstlenen büyük ve pahalı uyduların yerini alabilecektir. Takım uyduların varlığı rakip ülkelerin bunları yok etmesini de güçleştirecektir^[43].

Bahse konu raporda belirtilenler ABD yönetimi ve ordusu tarafından kısa sürede benimsenmiş benzerdir. Nitekim ABD Başkanı Donald Trump'ın "Uzay Ordusu" kurulması yönündeki açıklamasının ardından ülkenin savunma sektöründe küçük uydulara yönelik artmıştır. Boeing, Raytheon ve Lockheed Martin gibi savunma ve havacılık şirketleri küçük uydu üretmek üzere hazırlıklara girişmişler ve birtakım uydu üretim şirketlerini bünyelerine katmışlardır^[44].

ABD Stratejik Güçler Komutanlığı daha küçük ve etkin askeri uydular geliştirilmesi amacıyla, başarıyla ilerlediği kaydedilen Kestrel projesine de Ekim 2018'de son vermiştir. Dynetics adındaki firma ABD ordusu için "Gunsmoke L" projesiyle küçük uydular geliştirmek üzere seçilmiştir^[45].

ABD ordusu için Maryland Aerospace Inc. tarafından geliştirilen Kestrel Eye 2M'in, yaklaşık 50 kilogram ağırlığında yüksek çözünürlüklü görüntüleme amaçlı mikro uydu olması planlanmaktaydı. Ekim 2017'de yörüngeye yerleştirilen Kestrel Eye'in, muharip birliğlere gerçek zamanlı veya kısa bir gecikmeyle görüntüler iletmeyi amaçladığı bildirilmiştir^[46]. ABD ordusunun, 40 kadar Kestrel uydusunu yörüngeye yerleştirmeyi hedeflediği de ifade edilmiştir. ABD'nin böylece karadan havaya füzelerin tehdidi altındaki insansız hava araçları yerine daha güvenli, anlık gözlem ve görüntüleme araçlarına sahip olacağı da kaydedilmiştir^[47].

Rusya ve Çin'in yörüngeye askeri amaçlı küçük uydular yerleştirdiği ve hatta bunlarla, başta ABD olmak üzere diğer ülkelerin askeri ve sivil amaçlı uydularına saldırı düzenleme hazırlığı içinde olduğu ileri sürülmektedir^[48].

İngiltere Hava Kuvvetleri komutanı Sir Stephen Hillier, Mayıs 2018'de yaptığı bir konuşmada, 1 kilogramlık küp uydulardan oluşan bir askeri takım uydu planı hazırladıklarını belirtmiştir^[49].

Kanada yönetimi, 2U küp uydulardan oluşan QB50 adı verilen askeri ve sivil amaçlı bir takım uydu için araştırmalarını sürdürmektedir^[50].

Tayland Hava Kuvvetleri de Hollanda merkezli ISIS firmasına 6U büyüklüğünde bir istihbarat ve yeryüzü gözlem uydusu ısmarlamıştır. Uydu 2019'uncü üçüncü çeyreğinde yörüngeye yerleştirilecektir^[51].

ELISA, ESSAIM ve CERES

Fransa elektronik istihbaratta küçük uydulardan 2004'ten beri yararlanmaktadır. 120 kilogram ağırlığında ve bir çamaşır makinesi boyutlarındaki 4 ESSAIM mini elektronik istihbarat uydusu 2010'a kadar alçak yörüngede birbirinden birkaç kilometre mesafeli konuşlandırılmış ve görev yapmaya başlamıştır^[52]. 2011'de yine 120 kilogram ağırlığındaki dört adet ELISA mini uydusu görev yapmaya başlamıştır. ESSAIM uydularından daha gelişmiş olan ELISA takım uydusunu oluşturan her bir uydunun üzerinde Myriade adı verilen mikro uydular bulunmaktadır. ELISA takım uydusu, hedef bölgedeki her türlü iletişim sinyalini takip edebilecek kabiliyetlerle donatılmıştır^[53]. ELISA takım uydusu 2020 yılında yerini CERES takım uydusuna bırakacaktır. Ancak CERES takım uydusu üç uydudan oluşacaktır^[54].

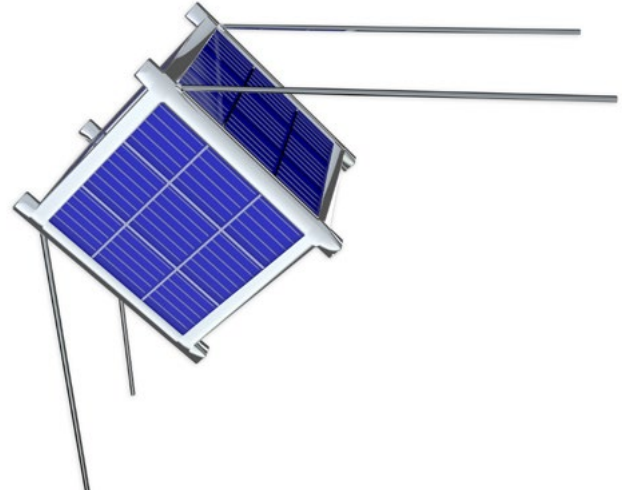
5.1.3 Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) Uyduları

Optik uydular, pasif veya aktif sensörleri ile hedeflerinden gelen sinyallerle inceleme yapmaktadır. Ancak optik sistemlerin performansı hava koşullarından, örneğin aşırı bulutlu ve yağışlı havalardan, menzil ve kapsama alanının artışından ve hedeflerin ayırt edici fiziksel özelliklerinin değiştirilmesinden olumsuz yönde etkilenmektedir. Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) görev yükü ise gece ve gündüz her türlü hava şartında uydu görüntüsü ihtiyacını karşılamaktadır. Sentetik açıklıklı radarlar, klasik radarların hareketlerini taklit ederek daha geniş bir bölgenin iki ve üç boyutlu görüntülerini daha net bir çözünürlükle öne çıkarmaktadır.

Bu avantajlarından ötürü çok sayıda ülkede SAR uyduları geliştirilmesi çalışmaları yürütülmektedir. ABD 1978'den beri SAR uydularına sahiptir. Halen 10'dan fazla kuruluşun elinde SAR uydusu bulunmaktadır. Öyle ki yeryüzü gözlem faaliyetlerinin yüzde 60'ı SAR uyduları tarafından yapılmaktadır^[55].

Ancak bu uydular tonlarca ağırlıkta ve milyonlarca dolar değerindedir. Bu nedenle SAR sensörlerinin küçük uydulara yerleştirilmesi çalışmaları da son yıllarda hızlanmıştır. Avrupa Uzay Ajansı ESA, 2000 yılından beri SAR taşıyan uyduları kullanmaktadır. ESA, 100 kilogramdan hafif bir SAR uydusu geliştiren Finlandiyalı bir startup olan ICEYE ile anlaşmaya varmıştır^[56]. Anlaşma kapsamında ICEYE-X1 Ocak 2018'de ICEYA-X2 ise Ekim 2018'de uzaya fırlatılmıştır. 2019 yılı sonuna kadar ICEYE'nin SAR sensörlü uydu sayısı dokuzaya ulaşacak ve en büyük SAR takım uydusunu oluşturacaktır^[57].

Merkezi ABD'nin San Francisco kentinde bulunan Capella Space, ICEYE uydularından da küçük SAR uydularından oluşan bir takım uyduyu uzaya gönderme hazırlıkları yapmaktadır. Capella takım uydusu en az 36



Şekil 1: Bir nano uydunun üç boyutlu illüstrasyonu.

uydudan oluşacaktır. Ağırlığının 40 kilogramın altında olacağı ileri sürülen Capella SAR uyduları, 2018 sonu ve 2019'da yörüngeye yerleştirilmeye başlanacaktır^[58]. Capella, sistemle sağlayacağı görüntülerin bir metre ve daha aşağı çözünürlükte olacağını ileri sürmektedir^[59].

Japonya Uzay Ajansı JAXA, ilk SAR sensörlü uydusu JERS-1'i 1992 yılında uzaya göndermiş, bunu ALOS-1 ve ALOS-2 takip etmiştir. Fakat bu uydular 1 ila 2 ton ağırlığındadır. Japon firması IQPS, 150 kilogram ağırlığında bir SAR uydusu geliştirdiğini ve 2018 sonuna kadar bunu uzaya fırlatacağını açıklamıştır. Firmanın amacı 36 SAR sensörlü bir takım uydu oluşturmak ve ticari amaçlar için kullanmaktır^[60].

Endonezya Uzay Ajansı LAPAN, LAPAN A5 adında SAR sensörlü bir mikro uydu geliştirmek üzere 2013'te Japonya'nın Chiba Üniversitesi ile bir mutabakata varmıştır. LAPAN, SAR mikro-uydusunu 2021 veya 2022'de yörüngeye yerleştirmeyi planlamaktadır^[61].

ABD Uzay Ajansı NASA, Hindistan Uzay Ajansı ISRO ile NISAR adı verilen bir mikro SAR uydusu geliştirmek için anlaşmaya varmıştır^[62].

Kanada Uzay Ajansı (CSA) 2019'un şubat ayından itibaren üç SAR uydusunu uzaya yerleştirmeye başlayacaktır. Radarsat takım uydusu, ağırlığı 500 ila 1000 kilogram arasında bulunan uydulardan oluşacaktır^[63]. CSA ayrıca Şubat 2018'de, ağırlığı 180 kilogramın altında bir SAR uydusu geliştirilmesi için Kanada merkezli Microsat Systems ile anlaşmaya varmıştır^[64].

5.1.4 Uzaktan Algılama Uydularına İlişkin Kaygılar

Uzaydan yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama faaliyetleri birkaç yıl önceye kadar devletlerin kontrolündeydi. Yeryüzü gözlem faaliyetlerine ticari şirketlerin katılması uzaktan algılama faaliyetlerini sadece bilim veya istihbarat amaçlı olmaktan çıkarmış, bir işkolu hali getirmiştir. Bu gelişme kişisel verilerin mahremiyetinin ihlali ve güvenlik kaygılarını da ortaya çıkarmıştır^[65]. Çünkü yeryüzü gözlem verilerine erişim de değişmiştir. Geliştirilen iş modelleri sayesinde çok yakında bireyler ya da KOBİ'ler, kullandıkları veri miktarı kadar bedel ödeyerek internet üzerinden EO uydularından bilgi alabileceklerdir. Üstelik

uyduların yüksek çözünürlük kabiliyeti artmaktadır. 2020 yılına kadar 0,5 metre çözünürlükte görüntü elde edilecek EO takım uyduları yörüngeye yerleştirilecektir^[3]. Bu açıdan ulusal güvenliğin ve bireysel mahremiyetin korunması için devletler bu bilgilere erişimin sınırlanması sağlayacak uluslararası anlaşmalara varmak zorunda kalacaklardır^[4].

5.2 İletişim Amaçlı Küçük Uydular

Telekomünikasyon uyduları, telefon, televizyon, radyo ve internet sinyallerini uzun mesafelerden ileten uydulardır. Yerel ağlarda elektrikle aktarılan bilgi, uydulara ışık veya elektromanyetik sinyaller olarak aktarılır ve buradan geniş bir coğrafyaya yansıtılırlar.

Tarihin ilk telemonükisyon uydusu ABD'nin AT&T firmasının Telstar uydusudur. Telstar 1962'de ilk televizyon görüntülerini, telefon konuşmalarını, faks görüntülerini ve ilk transatlantik canlı yayınının gerçekleşmesini sağlamıştır. Syncom 2, 1963'te Dünya'nın GEO yörüngesine oturtulan ilk iletişim uydusu olmuştur. 1 Temmuz 1969'da Intelsat III sisteminin tamamlanmasıyla küresel çapta ilk iletişim uyduları sistemi oluşturulmuştur. Intelsat, 20 Temmuz 1969'da Neil Armstrong'un Ay'a ayak basmasını Dünya'ya canlı olarak yayınlamıştır^[66].

Günümüzde iletişim uyduları pazarı hayli olgunlaşmıştır. (UCS veritabanına göre Ekim 2018 tarihi itibarıyla yörüngede 63 ülkeye ait 793 iletişim uydusu bulunmaktadır. Bu tasnife deniz ve hava araçlarının iletişimi için kullanılan uydular ile askeri amaçlı iletişim uyduları dahildir^[9]. Komünikasyon uydularının yüzde 80'i uydu televizyonu, uydu radyosu ve uydu genişbant interneti için kullanılmaktadır^[67]. Ancak mevcut iletişim uydularında mobil iletişim kullanımı düşüktür. Komünikasyon uydularının gelirlerinin yüzde 77'sini televizyon yayınları oluşturmaktadır. Mobil iletişim gelirleri ise yüzde 3'te kalmaktadır^[68].

Günümüzde haberleşme uyduları Yersabit Yörünge (GEO), Molniya Yörünge ve Alçak Kutupsal Yörüngelerde (LEO) konumlandılar. Kesintisiz televizyon yayınlarına uygun olduğu için GEO yörüngesi iletişim uyduları için en çok tercih edilenidir. Molniya yörüngesi, Rusya tarafından geniş Rusya coğrafyasına telefon, televizyon ve radyo yayınları ulaştırılması için oluşturulmuştur. LEO ise mobil iletişim ve internet uygulamalarının artmasıyla uydu yatırımcılarının ilgi alanına girmiştir. Çünkü alçak kutupsal yörünge yeryüzünden sadece 300-1000 kilometre irtifadadır ve bu yörüngedeki uydular Dünya'nın etrafını 90 dakika içinde katedebilmektedirler. Alçak irtifa, uydulara daha az enerji harcayarak veri alışverişi yapma imkânı tanımaktadır^[69].

Nitekim son yıllarda GEO uydu siparişleri ortalama 20-25'ten 2016'da 17'ye düşmüştür. Buna karşılık daha hızlı ve düşük gecikme süreli uydulara talep artmaktadır^[67]. Zira dünyanın önemli bir bölümünde henüz mobil iletişim ve internet altyapısı bulunmamaktadır. Sadece az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde değil, gelişmiş ülkelerin kırsal alanlarında internet ve mobil iletişim olanakları kısıtlıdır. Dünya nüfusunun yüzde 60'ının hızlı internet bağlantısı, yüzde 32'sinin 4G ve üstü mobil

bağlantısı yoktur. 1.6 milyar insanın yaşadığı bölgeler mobil iletişim ağlarından yoksundur^[67]. Talebin artışındaki bir diğer neden ise, 5G mobil, nesnelerin interneti, deniz (OTS) ve hava (ADS-B) araçlarının otomatik takibini sağlayan sistemlere artan ilgidir.

Küçük uydu teknolojisinin gelişmesinin ardında söz konusu talebin karşılanması yönünde çok sayıda girişiminin arayışları etkilidir. Birinci bölümde sektörün trendleri anlatılırken, çok sayıda firmanın mobil iletişim amaçlı olarak LEO yörüngede mega takım uydular oluşturmak üzere planlar açıkladığı belirtilmişti. Bunların dışındaki dikkate değer diğer girişimler aşağıda sıralanmıştır.

GOMSpace

Danimarka'da 2007'de kurulan GOMSpace, sivil uçakların takibi hizmetini 2013'ten itibaren uzaya gönderdiği küp uydularla vermeye başlamıştır. Şirket aynı zamanda nesnelerin interneti ve sesli mesaj hizmeti veren nano uydular da geliştirmektedir^[70].

Sky and Space Global (SAS)

İngiltere merkezli Sky and Space Global şirketi ise GOMSpace tarafından geliştirilen 200 kadar ayakkabı kutusu büyüklüğünde küp uydula 2020 yılından itibaren mobil sesli iletişim, internet ve nesnelerin interneti hizmeti vermeye hazırlanmaktadır. Şirket hedef bölge olarak Ekvator şeridi, Latin Amerika ve Afrika'yı belirlemiştir. Söz konusu bölgede mobil ve internet iletişimi kısıtlı üç milyar nüfus yaşamaktadır^[71].

Cloud Constellation

ABD'nin Los Angeles kentinde 2015'te kurulan Cloud Constellation şirketi ise "SpaceBelt" adını verdiği küçük uydulardan oluşan bir takım uydu oluşturarak uzay bulut hizmeti vermeye başlayacağını açıklamıştır. Sistem, yer iletişim ağlarına bağlı kalmadan veri aktarımı ve saklanmasını sağlamayı amaçlamaktadır^[72].

Swarm

ABD'nin California eyaletinde 2013'te kurulan Swarm Technologies, 200 nano uyduluk bir takım uydu ile dijital iletişim ihtiyaçlarının erişimini kolaylaştıracağı ve ucuzlatacağı iddiasını taşımaktadır. Şirketin ilk dört küp uydusu Şubat 2018'de uzaya gönderilmiştir^[73].

5.2.1 Uydu Bazlı Otomatik Tanımlama Sistemi (SAT-OTS)

Küçük uydu teknolojisi, gemilerin seyrüsefer güvenliği ve süreleri üzerinde olumlu etkisi bulunan Otomatik Tanımlama Sisteminin (OTS) tüm deniz ve okyanuslara taşınmasına da yol açabilecektir. Güvenli bir iletişim vasıtası olma özelliği taşıyan OTS'yi kullanan gemilere, daha güvenli bir seyrüsefer imkânı sağlanmaktadır. Ayrıca denizcilik otoritelerinin de deniz trafiğini daha sağlıklı izlemesine imkân tanınmaktadır.

Avrupa Uzay Ajansı (ESA), 74 kilometre menzilli sistemi uyduya taşımak üzere çalışmalar yürütmektedir. ESA'nın Avrupa Deniz Güvenliği Ajansı (EMSA) ile 1990'lı yıllardan beri yürüttüğü ESA-ARTES projesi ilk

aşamasını 2013'te tamamlamış ve sistemin uydularının yörüngeye yerleştirme işlemleri de 2019'da tamamlanacaktır. Sistem, E-SAIL adı verilen mikro uydulardan oluşmaktadır. Sistemin 2022 yılına kadar devreye girmesi beklenmektedir^[74].

Norveç de 70'den fazla küçük uydudan oluşan bir uydu OTS sistemini oluşturmak için harekete geçmiştir. Sistemin ilk iki uydusu NorSat-1 ve NorSat-2 Temmuz 2017'de yörüngeye gönderilmiştir. Uydular kazalara karşı deniz yolu trafiğini düzenlemenin yanı sıra, yasadışı balıkçılığı önleme ve arama-kurtarma çalışmalarına katkı sağlama amaçlarını taşımaktadır^[75]. 2009'da kurulan ExactEarth, 2017'den itibaren dokuz küp uyduyla gemilere iletişim, takip ve uyarı hizmeti vermektedir^[76].

ABD'nin San Francisco kentinde 2016'da kurulan Spire Global, yeryüzü gözlem faaliyetlerinin yanı sıra 50 küp uyduyla deniz yolcu araçlarının takibi hizmeti vermeye de başlamıştır^[77].

NANOSAT

Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. (STM) tarafından milli imkânlarla tasarlanan 6U boyutlarındaki (10cm x 20cm x 35cm) "NanoSat" nano uydu platformu ile uzay-tabanlı Otomatik Tanımlama Sistemi (OTS) Türkiye'de ilk defa uygulamaya geçirilecek. "NanoSat", OTS verisi sağlayacak takım uydu sisteminin ilk uydusu olacak.

Uzay-Tabanlı Otomatik Tanımlama Sistemi (OTS), özellikle açık denizlerde ve tehlikeli sularda gemiler için güvenli ve önemli bir iletişim vasıtası olma özelliği taşıyor. Uzay tabanlı bu sistemi kullanan gemiler, sistem üzerinden; adı, çağrı kodları, koordinatları, rotası, hızı, gemi boyutları, gidecekleri liman ve tahmini varış zamanları gibi oldukça detaylı bilgileri yayınlayabiliyor. Bu sayede; gemilere daha güvenli bir seyrüsefer imkânı sağlanacağı gibi, denizcilik otoritelerinin de deniz trafiğini daha sağlıklı izlemesi mümkün hale gelecek.

NanoSat boyutları ile OTS uygulamalarında teknolojik açıdan yeni bir konsept özelliği de taşıyor. İlk uydunun görevini başarı ile gerçekleştirmesinden sonra, takım nano uydularla Türkiye'nin gerçek ihtiyacının karşılanmasına yönelik ilk adım atılmış olacak.

Proje kapsamında üniversiteler ve KOBİ'ler tarafından yerli olarak geliştirilecek birçok elektronik bileşen ve deneysel ürün de NanoSat uydusunda kullanılacak. Böylelikle milli uzay teknolojisinin geliştirilmesine katkıda bulunulacak.

5.2.2 Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Küçük Uydular

Nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarının dünyada hızla yaygınlaşması daha hızlı ve geniş internet bağlantısı sağlanması yönündeki arayışları yoğunlaştırmıştır. Sektör hızla büyümektedir. İnternete bağlı cihazların sayısının 2020'de 20 milyarı, 2025 yılında 30 veya 50 milyarı aşabileceği belirtilmektedir^[78]. Akıllı şehir uygulamalarının yaygınlaşması ve sürücüsüz araç teknolojisindeki gelişmelerin nesnelerin interneti ağının yükünü daha da artıracığı ifade edilmektedir^[79].

Buna karşılık maliyet baskısından ötürü yer internet ağı genellikle yoğun nüfusun olduğu yerleşimlere yapılmaktadır. Bu yüzden yer ağları bugün yeryüzünün sadece yüzde ikisini kapsam altına almaktadır^[80].

Mevcut internet altyapısı ayrıca bu kadar cihazın internete sınırsız bağlantısıyla başa çıkabilecek nitelikte değildir. Bu yüzden sektör uzmanları uydu teknolojisinden yararlanmanın yollarını aramaktadır. Avrupa Uzay Ajansı ESA, uzay tabanlı bir IoT sisteminin kurulması için başlattığı loTEE projesinde bu amaçla özel tasarlanmış bir alıcı-verici cihaz da tasarlamıştır^[80].

Yeni roket sistemlerinin geliştirilmesi, küçük uydu teknolojisinin maliyetinin düşmesi ve LEO yörünge uydularının GEO yörünge uydularına göre daha düşük gecikme hızı sunması nesnelerin interneti uygulamalarına özel uzay internet altyapılarının geliştirilmesi yönündeki girişimleri hızlandırmıştır^[81].

Son yıllarda en az 18 startup şirket, küp uydu teknolojisinin avantajlarından yararlanarak IoT izleme faaliyetlerinin maliyetini düşürecek çözümler üzerinde çalışmalar yürüttüğünü açıklamıştır. Küp uyduların düşük maliyeti bu firmalara birkaç milyon dolar yatırım ile takım uydu sahibi olma imkânı tanımaktadır. Nitekim bu firmaların vaatleri gerçekleşirse gelecek beş yılda IoT uygulamalarına tahsis edilmiş en az 1600 uydu Dünya yörüngesinde faaliyete geçecektir^[82].

ORBCOMM

ABD'de 1990'lı yıllarda kurulan uzay şirketi Orbcomm, halen aktif olan en geniş IoT ve M2M servisine sahip şirkettir. Şirketin internet uygulamaları için kullanılmak üzere LEO yörüngesine yerleştirdiği 22 kilgogram ağırlığındaki 51 mikro uydudan 50'si halen aktiftir. Şirketin, "Yüzde 100 IoT için kullanılacağını" bildirdiği OG2 adını verdiği ikinci nesil uyduların LEO'ya yerleştirilmesi çalışmaları ise sürmektedir^[83].

Fleet

2015'te kurulan Avustralya merkezli Fleet, Fransa Uzay Ajansı CNES ile işbirliği yapmaktadır. Fleet-CNES ortaklığı endüstriyel nesnelerin interneti uygulamalarında kullanılmak üzere en az 100 nano uydudan oluşan bir takım uydu oluşturmayı hedeflemektedir. Fleet'in ilk iki uydusu 3U küp uydular olacaktır. Sonrakiler ise 12U büyüklüğünde olacaktır. Fleet uydularının en az 15 yıl ömürlü olacağını da ileri sürmüştür^{[84],[85]}.

SAT4M2M

2014'te kurulan Almanya merkezli SAT4M2M, küresel çapta güvenilir ve IoT bağlantılarına has bir nano takım uydusu oluşturmak için harekete geçmiştir. NASA ve ESA'nın da desteğini alan SAT4M2M, tarihin ilk LPWA uydusunu geliştirmiştir. İngilizce "düşük güç geniş alan" kelimelerinin baş harflerinden alan LPWA, adından da anlaşılacağı üzere oldukça düşük güç tüketimi olan uzun mesafelerden haberleşebilen kablosuz haberleşme standardını ifade etmektedir. 10 yıl içinde bir milyon IoT cihazına aynı anda hizmet verebilecek bir uydu sistemi oluşturmayı amaçlayan Alman şirketi, teknoloji

geliştirmek üzere Japon Fujitsu Electronics ile de bir anlaşmaya varmıştır^[86].

ASTROCAST

İsviçreli Astrocast firması da uzaydan IoT hizmeti vermek üzere harekete geçmiştir. Şirket, 64 küp uyduyu 400 ila 600 kilometre irtifaya yerleştirerek nesnelere interneti uygulamalarına hizmet vermeyi amaçlamaktadır. Şirketin ilk 10 uydusu 2019 başında İtalyan D-Orbit tarafından uzaya taşınacaktır^[87].

HELIOS WIRE

Kanada'nın Vancouver kentinde 2016'da kurulan Helios Wire, yaklaşık 20 kilogram ağırlığındaki mikro uydularla makineler arası internet erişimi sağlamayı amaçlamaktadır. Şirket ilk uydusunu Ağustos 2018'de uzaya göndermiştir. Şirketin uzaya şimdilik üç uyduda daha gönderme planı bulunmaktadır^[88].

5.2.3 5G Mobil İletişim ve Küçük Uydular

Küçük uyduların gelişmesi, beşinci nesil mobil iletişim (5G) ekosisteminin gelişmesine de katkıda bulunabilecektir. Çünkü dünyada 4K videolara, küresel çapta anlık mesajlaşma ve video konferans görüşmelerine, genişbantta büyük veri elde etmeye ve nesnelere interneti uygulamalarına erişmek için talep hızla artmaktadır. Ancak küçük uyduların 5G altyapısına hizmet verebilmesi için öncelikle frekans tahsisinin yapılması gerekmektedir. Bu sorunun çözülmesi için 30 ila 300 Ghz aralığında milimetrik dalga frekansının kullanılması önerilmektedir^[89]. Avrupa Uzay Ajansı ESA, 75 GHz bandında milimetre dalgaların denenmesi için bir deneyi desteklemiştir. Bu amaçla Finlandiya merkezli Reaktor Space Labs tarafından geliştirilen beş kilogramdan daha hafif W-Cube adındaki bir küp uyduda 2019'da uzaya gönderilecektir^[89]. 5G sisteminin frekans tahsisi 2019'da World Radio Communication konferansında belli olacaktır^[81].

5.3 Bilimsel Amaçlı Küçük Uydular

Küçük uydu teknolojisi, özellikle küp uydular, akademik kuruluşların bilimsel amaçlı uzay çalışmalarında son yıllarda geometrik artışa yol açmıştır. 2012-2017 döneminde uydu üreten üniversitelerin sayısı üç kat artmıştır. Bunların yüzde 90'ı uydularını aynı zamanda işletmektedir^[90].

UCS veritabanına göre, Ekim 2018 itibarıyla Dünya yörüngesinde bilimsel araştırma veya teknoloji geliştirmek amacıyla taşıyan, aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 32 ülkenin 288 uydusu bulunmaktadır. Bunların 189'u, bir başka deyişle yüzde 65'i, NASA sınıflandırmasına göre küçük uydudur. Bilimsel amaçlı küçük uyduların üçte ikisi ise 10 kilogramdan daha hafif nano uydulardır^[9].

Nano uydular, özellikle küp uydular, düşük maliyetleriyle uzayın yerçekimsiz ortamında bilimsel deney ve araştırma yapma olanağını, kurulu uzay endüstrisi bulunan ülkelerin tekelinden çıkarmıştır. Üniversiteler, sivil toplum örgütleri, bireysel araştırmacılar ve hatta

öğrenciler, kendi uydularını geliştirip, 3.000 dolara kadar düşen maliyetlerle uzaya gönderebilmektedir.

Bugüne kadar uzaya gönderilen küçük uyduların büyük bölümü, küp uydu teknolojilerinin testini amaçlamaktadır. Bunun dışında astronomik gözlem, astrobiyoloji, dış atmosfer gözlemi, optik ve astrofizik araştırmaları ve tıp alanında çalışmalar için nano uydular LEO yörüngesine yerleştirilmiştir^[91].

Bilimsel amaçlı uyduların kullanım amaçlarının yakın gelecekte çeşitlenmesi ve derin uzay araştırmalarında daha fazla kullanılması beklenmektedir. Nitekim Ağustos 2018'de NASA, 2019 başından itibaren bilimsel amaçlı küçük uydu projelerine her yıl 100 milyon dolar bütçe ayıracağını açıklamıştır^[92]. ESA ve diğer uzay ajansları da benzeri teşvik programları uygulamaya koymuştur.

Tokyo Üniversitesi ile Japonya Uzay Ajansı JAXA, derin uzay araştırmaları için 50 kilogram ağırlığında PROCYON adı verilen bir mikro uydu geliştirmiş ve 2015'te uzaya göndermiştir^[93].

Avrupa Birliği ise üniversitelerin uydu projelerini QB50 projesi ile desteklemektedir. Yönetimi Belçika'nın Karman Enstitüsü tarafından üstlenilen QB50, Avrupa ülkelerindeki üniversitelerin uzaya yolladığı 2U ve 3U küp uyduları arasında işbirliğini artırarak bilimsel çalışmalarını koordinasyon halinde yürütmelerini ve böylece, takım uydu avantajlarından tüm üniversitelerin yararlanmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Sistemde 36 uyduda ulaşılmıştır. Hedef 50 küp uydudur^[94]. QB50 projesi kapsamında akademik kurumlar tarafından geliştirilen küp uyduların termosfer tabakasına yerleştirilmesiyle yerinde çok noktadan ortam ölçümleri yapılması, yapılan ölçümlerin Dünya'nın farklı yerlerinde bulunan yer istasyonları tarafından toplanması, toplanan bilgilerin paylaşılması amaçlanmaktadır^[95].

5.3.1 Türkiye'nin Bilimsel Amaçlı Küçük Uyduları

Türkiye de bilimsel amaçlı küçük uydular konusunda ilerleme kaydeden ülkeler arasındadır.

HAVELSAT

Avrupa Birliği'nin QB50 projesi kapsamında HAVELSAN ile İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ortaklığında geliştirilen HAVELSAT, 17 Nisan 2017'de Uluslararası Uzay İstasyonu'na gönderilmiş ve 2017'nin Mayıs ayında buradan serbest bırakılarak alçak kutupsal yörüngeye yerleştirilmiştir. 2U küp uydu olan HAVELSAT, iletişim amaçlı SDR antenlerine ve görüntü işleme donanımına sahiptir. HAVELSAT'ın QB50 için taşıdığı görev yükleri arasında çok antenli Langmuir cihazı (mNLP) da bulunmaktadır. Bu cihaz çevresindeki elektron yoğunluğunu ölçmektedir^[96].

BeEagleSat

Yine QB50 projesi kapsamında İTÜ ile Hava Harp Okulu tarafından geliştirilen BeEagleSAT, HAVELSAT ile aynı tarihte yörüngesine yerleştirilmiştir. BeEagleSat küp uydusunun görev yükleri Langmuir cihazı ile Sabancı Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi işbirliğinde geliştirilen X-Ray algılayıcılarıdır. Uydu, yönelim

belirleme ve kontrol sistemi, uçuş bilgisayarı, haberleşme alt sistemi, elektrik güç, yapı ve ısıl kontrol alt sistemlerini barındırmaktadır^[97].

5.4 Teknoloji Gösterimi Amaçlı Küçük Uydular

Teknoloji gösterimi uyduları, bilimsel veya operasyonel amaçlarla değil, yeni bir uzay teknolojisinin amaçlara uygun olarak çalışır halde olduğu göstermeyi amaçlayan uydulardır. Kurumlar ve şirketler bu uydularla, tasarımlarını yerçekimsiz ortamda tanıtmaya imkânına sahip olurlar. Ulusal uzay ajansları bu yüzden teknoloji gösterimi amaçlı uydu projelerini desteklemektedir. Halen NASA 10 farklı teknoloji gösterimi misyonunu desteklemektedir^[98]. NASA bu desteğinin amacını “Bilimsel ve mühendislik sorunları ile bu sorunları çözecek teknolojik yenilikler arasında köprü kurarak yeni uzay misyonlarının önünü açmak” olarak açıklamaktadır.

Japonya Uzay Ajansı JAXA da mikro uydu olması koşuluyla teknoloji gösterimi misyonlarını desteklemektedir. Program ile küçük uyduların teknolojisinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. JAXA bu amaçla teknoloji gösterimi uydularına Epsilon roketini tahsis etmiştir^[99]. ESA ve diğer ulusal uzay ajanslarının teknoloji gösterim misyonlarında tercihleri küçük uydulardır. Nitekim “UCS veritabanına göre Ekim 2018 itibarıyla uzayda faal olan teknoloji gösterimi amaçlı 12 uydunun tamamı 180 kilogramın altındaki küçük uydulardır^[9].

5.5 Deneysel Uydular

Deneysel uydular, sınırlı bilimsel misyonları yerine getirmek veya uzay teknolojisi deneyi yapmak amacıyla kullanılmaktadır. UCS veritabanına göre 200 kadar deneysel uydu Ekim 2018 itibarıyla aktiftir ve bunların yüzde 90’ı küçük uydulardır^[9]. Deneysel uyduların bazıları teknoloji gösterim uyduları gibi geliştirilen bir teknolojinin çalıştığını ispatlamak için kullanılmaktadır. Bazıları ise daha büyük bir misyon öncesi ön hazırlık görevlerini üstlenmektedir. Türkiye dahil pek çok ülkenin kuruluşları deneysel uydular uzaya göndermiştir.

İTÜ-pSAT1

İTÜpSAT1, İTÜ Uzay Mühendisliği bölümünde öğrenim gören öğrencilerin yaptığı ilk deneysel mini yapay uydudur. 2009’da Hindistan’dan uzaya fırlatılan uydu sadece 1U küp uydu büyüklüğündedir ve 990 gram ağırlığındadır. Görev ömrü 6 ay olarak biçilen İTÜ-pSAT1, aradan neredeyse 10 yıl geçmesine rağmen halen aktiftir. Uydunun birinci görevi, üzerinde yer alan edilgen denge sisteminin davranış ve verimliliğini incelemek ve ikinci bir amacı da üzerindeki 640x480 çözünürlüklü bir kamerayla fotoğraf çekmek ve ivmeölçer, manyetometre gibi diğer algılayıcıların verilerini dünyaya yollamaktır^[100].

UBAKUSAT

İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Uzay Sistemleri Tasarım ve Test Laboratuvarı

tarafından deneysel amaçlı geliştirilen küp uydu UBAKUSAT, 2008’in Mayıs ayında uzaya gönderilmişti. 3U küp uydu olan UBAKUSAT, Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı’nın (UDHB) Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü (HUTGM) katkı ve genel koordinesinde Japonya Hükümeti ile işbirliği altında geliştirilmiştir. UBAKUSAT görev yükü olarak bir lineer transponder ve radyasyon ölçümü yapacak bir kart uydu taşımaktadır. Uydu yaklaşık 3,3 kilogram ağırlığındadır. Ses verisi transferinde kullanılacak haberleşme uydusunun donanım gideri yaklaşık 100 bin dolar civarındadır. Uydunun yörüngede 1 ila 2 yıl arası görev yapması beklenmektedir^[101].

MAYAK

MAYAK, Rusya’da üniversite öğrencileri tarafından geliştirilen ve bir kitle fonlaması kampanyasının ardından 2017’de uzaya gönderilen bir küp uydudur. Sadece 3U büyüklüğündeki küp uydunun sıra dışı özelliği ise taşıdığı piramit şeklinde bir paraşüttür. Her bir kanadı dört metre kare olan bu paraşüt güneş ışığını parlak biçimde yansıtacak malzemelerle kaplanmıştır. Alçak kutupsal yörüngeye yerleştirilen küp uydu bu yapısı sayesinde geceleri yeryüzünden bakıldığında yıldızlardan biri olduğu yanlış anlaşılabilir ve hızla hareket etmesinden ötürü de kayan yıldız etkisi yaratmaktadır. Küp uydunun amacı bu teknolojiyle artık herkesin kendi uydusunu tasarlayıp uzaya gönderebileceği bir dönemin başladığı konusunda farkındalığı artırmaktır. Mayak ayrıca, uzay çöplerini yörüngelerinden çıkartacak bir aerodinamik frenleme sisteminin işe yarayabileceği göstermeyi amaçlamaktadır^[102].

Longjiang-1 ve Longjiang-2

Aralık 2018’de Chang’e-4 aracını Ay yüzeyine inmek üzere uzaya yollayan Çin Halk Cumhuriyeti, Mayıs 2018’de iki adet deneysel amaçlı küp uyduyu Ay yörüngesine göndermiştir. Harbin Teknoloji Üniversitesi öğrencileri tarafından tasarlanan, Hollanda ve Suudi Arabistan’dan teknoloji desteği alarak üretilen Longjiang-1 ve Longjiang-2 adı verilen ikiz uyduların her biri 47 kilogram ağırlığındadır. Bu mikro-uydular kendi tahrik sistemlerine sahiptir ve Ay yörüngesine sorunsuz geçiş yapmışlardır. İki mikro-uydunun asıl amacı ise Çin’in ay misyonunda kullanılacak araçlarla yeryüzü kontrol arasında iletişimi sağlayacak teknolojinin denemelerini gerçekleştirmektir^{[103], [104]}.

Prometheus Takım Uydusu

ABD’nin New Mexico eyaletindeki Los Alamos National Laboratory (LANL) tarafından üretilen Prometheus takım uydusu, PROMETHEUS 2-1 ve PROMETHEUS 2-3 uydularından oluşmaktadır. Her biri 1,5U küp uydu büyüklüğündeki bu uyduların maliyeti 100 bin doların altındadır. Küçük taktik operasyonlara uygun bu uyduların asıl amacı, düşük maliyetli işlevsel uydular üretilebileceğini kanıtlamaktır^{[105], [106]}.

6. SONUÇ

Yukarıda ayrıntılarıyla aktarıldığı üzere küçük uydular uzay çalışmalarının pek çok alanında kullanılmaya başlanmıştır. Hem devletler, hem akademik kuruluşlar hem de özel sektör, giderek artan bir ilgiyle bu alandaki gelişmeleri takip etmekte ve küçük uydu projelerini yatırım programlarına almaktadır. Küçük uydular, büyük uydulara göre hem maliyet hem teknoloji açısından avantaj sahibidir ve uzay çalışmalarını birkaç devletin ilgi alanı olmaktan çıkarıp tabana yaymaktadır.

Buna karşılık, küçük uydular büyük uydulara rakip değil tamamlayıcı roller üstlenmektedir. Örneğin iletişim alanında küçük uydular televizyon yayınlarını değil, nesnelerin interneti, mobil iletişim ve genişbant internet erişimi gibi büyük uydular tarafından kısıtlı miktarda üstlenilen işlevler yüklenmişlerdir. Aynı şekilde STM'nin Lagari takım uydusu, Göktürk-1 ve Göktürk-2 istihbarat uydularının rakibi değil bunları tamamlayıcı rol üstlenecektir.

Küçük uydularda kullanılan teknolojiler temelde büyük uyduların kullandıklarından farklı değildir. Fark, yeni teknolojilerin adapte edilme hızında ve özellikle düşük

maliyette hızlı ürün döngüsü yakalanmasındadır. Bir diğer önemli fark da küçük uyduların, takım uydular oluşturarak görev yükünü dağıtması ve bu sayede misyonun risklerini azaltmasıdır.

Çok sayıda kuruluş ve girişim, yakın gelecekte yüzlerce küçük uydudan oluşan mega takım uydu planları açıklamıştır. Bu mega takım uydular, özellikle iletişim alanında büyük değişiklikler yaratma potansiyeline sahiptir. Bu takım uydular sayesinde yeryüzünde internet ve mobil iletişim kapsamında olmayan nokta kalmayabilir, Dördüncü Sanayi Devrimi'nin belkemiği olan insansız akıllı fabrikalar gerçek hale gelebilir, afetlere karşı gelişmiş erken uyarı sistemleri geliştirilebilir, göç hareketleri veya terör gruplarının manevraları anlık olarak takip edilebilir, orduların caydırıcılık gücü artırılabilir.

"Yeni Uzay" sektörü, canlılığı ve yenilikçiliği ile uzay çalışmalarını hızlandırırken, dünya nüfusuna çok sayıda fayda üretme potansiyeline sahiptir. Bu açıdan küçük uydu teknolojisinin gelişimi girişimlerinin desteklenmesi ve teşvik edilmesi büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Levchenko, Igor; Keidar, Michael; Cantrell, Jim; Wu, Yue-Liang; Kuninaka, Hitoshi; Bazaka, Kateryna; Xu, Shuyan; (2018), "Explore space using swarms of tiny satellites", *Nature*, 8 Kasım 2018, <https://www.nature.com/articles/d41586-018-06957-2>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [2] Vance, Ashlee; (2017), "The Tiny Satellites Ushering in the New Space Revolution", *Bloomberg*, 29 Haziran 2017, <https://www.bloomberg.com/news/features/2017-06-29/the-tiny-satellites-ushering-in-the-new-space-revolution>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [3] Sweeting, Martin N, (2018), "Modern Small Satellites— Changing the Economics of Space", *IEEE*, 3 Mart 2018, <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8303876>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [4] Thornhill, John; (2018), "Eyes in the sky: a revolution in satellite technology", *Financial Times*, (15 Şubat 2018), <https://www.ft.com/content/c7e00344-111a-11e8-940e-08320fc2a277>. (E.T: 12 Şubat 2018)
- [5] *www.space.com*, (2018), "Space Foundation Report Reveals Global Space Economy at \$383.5 Billion in 2017", (19 Temmuz 2018), <https://www.spacefoundation.org/news/space-foundation-report-reveals-global-space-economy-3835-billion-2017>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [6] *Research and Markets*, (2017), "Satellites to be Built & Launched from 2017-2026 - A Market of \$304 Billion" (13 Aralık 2017), <https://globenewswire.com/news-release/2017/12/13/1261399/0/en/Satellites-to-be-Built-Launched-from-2017-2026-A-Market-of-304-Billion.html>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [7] NASA, (2017), "What are SmallSats and CubeSats?", (7 Ağustos 2017), <https://www.nasa.gov/content/what-are-small-sats-and-cubesats>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [8] Gent, Edd; (2018), "IBM's New Computer Is the Size of a Grain of Salt and Costs Less Than 10 Cents", *Singularity Hub*, 26 Mart 2018, <https://singularityhub.com/2018/03/26/ibms-new-computer-is-the-size-of-a-grain-of-salt-and-costs-less-than-10-cents/#sm.0000o09t8l4anezf11qh6w9pfz7jv>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [9] https://s3.amazonaws.com/ucs-documents/nuclear-weapons/sat-database/8-10-18-update/UCS_Satellite_Database_5-1-2018.xlsx
- [10] *Nanosats*, "What is nanosatellite?", <https://www.nanosats.eu/cubesat.html>
- [11] *Federal Business Opportunities*, (2018), "Announcement of Cubesat Launch Initiative", (2 Ağustos 2018), <https://www.fbo.gov/index?s=opportunity&mode=form&tab=core&id=796eee6afa5fb908226a0314a6814142>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [12] *Universe Today*, (2016), "What are CubeSats?", (2 Ekim 2016), <https://www.universetoday.com/82590/cubesat/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [13] *Alba Orbital*, "Launch", <http://www.albaorbital.com/launch/>
- [14] Matchar, Emily; (2016), "These Tiny Satellites Can Be Launched Into Space for as Little as \$1,000", *Smithsonian Mag*, (20 Nisan 2016), <https://www.smithsonianmag.com/innovation/these-tiny-satellites-can-be-launched-into-space-little-1000-180958804/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [15] Allevan, Monica; (2017) "From Boeing to SpaceX: 11 companies looking to shake up the satellite space", *Fierce Wireless*, (21 Ağustos 2017), <https://www.fiercewireless.com/wireless/from-boeing-to-spacex-11-companies-looking-to-shake-up-satellite-space>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [16] Masunaga, Samantha; (2016), "Boeing applies for license to launch proposed satellite constellation", *LA Times*, <https://www.latimes.com/business/la-fi-boeing-satellites-20160623-snap-story.html>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [17] *www.oneweb.com*, (2018), "Official Statement", (28 Aralık 2018), <http://www.oneweb.world/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [18] Fisher Jr., Richard D. (2018), "China Plans Giant Constellations of Tiny Satellites", *Aviation Week*, (2 Ocak 2018), <http://aviationweek.com/connected-aerospace/china-plans-giant-constellations-tiny-satellites>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [19] Jones, Andrew; (2018), "China to build 300-satellite Hongyan communications constellation in low-Earth orbit", *gbtimes*, (26 Şubat 2018), <https://gbtimes.com/china-to-build-300-satellite-hongyan-communications-constellation-in-low-earth-orbit>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [20] *PR Newswire*, (2018), "The global nano satellite market generated \$143.7 million in 2017 and is estimated to grow at a CAGR of 13.43% during 2018-2023", (7 Kasım 2018), <https://www.prnewswire.com/news-releases/the-global-nano-satellite-market-generated-143-7-million-in-2017-and-is-estimated-to-grow-at-a-cagr-of-13-43-during-2018-2023--300745649.html>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [21] *Danske Bank*, (2018), "GomSpace", (29 Haziran 2018), [https://research.danskebank.com/link/GomSpace290618ioc/\\$file/GomSpace_290618_ioc.pdf](https://research.danskebank.com/link/GomSpace290618ioc/$file/GomSpace_290618_ioc.pdf). (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [22] Messier, Doug; (2018), "SpaceWorks Announces Release of 2018 Nano/Microsatellite Market Forecast" (31 Ocak 2018), <http://www.parabolicarc.com/2018/01/31/spaceworks-announces-release-2018-nanomicrosatellite-market-forecast/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [23] Adamowski, Jaroslaw; (2017), "Smallsat market forecast to exceed \$30 billion in coming decade", (9 Ağustos 2017), <https://spacenews.com/smallsat-market-forecast-to-exceed-30-billion-in-coming-decade/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [24] *Japan Times*, (2018), "Japan successfully launches world's smallest satellite-carrying rocket", (4 Şubat 2018), https://www.japantimes.co.jp/news/2018/02/04/national/science-health/japan-successfully-launches-worlds-smallest-satellite-carrying-rocket/#.W_7HM2j7Syl. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [25] Crisp, N.H.; Smith, K.; Hollingsworth, P. (2015), "Launch and deployment of distributed small satellite systems", *Science Direct*, (Eylül-Ekim 2015), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009457651500171X>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [26] Johnson, Christopher D.; "Legal and Regulatory Considerations of Small Satellite Projects", *Secure World Foundation*, https://swfound.org/media/188605/small_satellite_program_guide_-_chapter_5_-_legal_and_regulatory_considerations_by_chris_johnson.pdf. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [27] Howell, Elizabeth; (2018), "CubeSats: Tiny Payloads, Huge Benefits for Space Research" *www.space.com*, (19 Haziran 2018) <https://www.space.com/34324-cubesats.html>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [28] Pultarova, Tereza; (2017), "Could Cubesats Trigger a Space Junk Apocalypse?", *www.space.com*, (19 Nisan 2017) <https://www.space.com/36506-cubesats-space-junk-apocalypse.html>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [29] Kulu, Eric; "Database", *Airtable*, <https://airtable.com/sh-rafcwXODMMKeRgU/tbldJoOBP5wINOJQY>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [30] *Earthdata*, "Remote Sensors", <https://earthdata.nasa.gov/user-resources/remote-sensors>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [31] Group on Earth Observations, "GEO Strategic Plan 2016-2025: Implementing GEOSS", http://www.earthobservations.org/documents/GEO_Strategic_Plan_2016_2025_Implementing_GEO-SS.pdf. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [32] Javers, Eamon; (2010), "Spying For Profits: The Satellite Image Indicator" *Cnbc.com*, (16 Ağustos 2010), <https://www.cnbc.com/2010/08/17/Spying-For-Profits-The-Satellite-Image-Indicator.html?slide=1>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [33] Baylor, Michael; (2018), "Planet Labs targets a search engine of the world", *NASA*, (29 Ocak 2018), <https://www.nasaspaceflight.com/2018/01/planet-labs-targets-search-engine-world/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [34] Werner, Debra; (2018), "Spire Global is expanding cubesat constellation to offer persistent global view", *Space News*, (10 Ocak 2018), <https://spacenews.com/spire-global-is-expanding-cubesat-constellation-to-offer-persistent-global-view/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)

- [35] Stephens, Paul; (2003), "Launch of the international Disaster Monitoring Constellation; the development of a novel international partnership in space", *IEEE*, (20-22 Kasım 2003), <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1303972>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [36] TÜBİTAK, "BİLSAT", <http://uzay.tubitak.gov.tr/uydu-uzay/bil-sat>. TÜBİTAK, "BİLSAT", (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [37] TÜBİTAK, "RASAT", <http://uzay.tubitak.gov.tr/uydu-uzay/rasat>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [38] *Defence Turk*, (2018) "LAGARİ Mikro Yer Gözlem Uydusu", (7 Eylül 2018), <https://www.defenceturk.net/lagari-mikro-yer-gozlem-uydusu>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [39] *MSI*, (2018) "STM, PİRİSAT'ı Görücüye Çıkarı; LAGARİ'yi ise Yeniledi" (3 Ocak 2018), <http://www.milscint.com/tr/stm-pirisati-gorucuye-cikardi-lagariyi-ise-yeniledi/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [40] Gözütok, Ahmet; (2017) "Milli nano uydu PiriSat gün yüzüne çıkıyor" *Donanım Haber*, (7 Kasım 2017), <https://www.donanimhaber.com/Milli-nano-uydu-PiriSat-gun-yuzune-cikiyor--95007> (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [41] European Space Agency, "About Proba-V", https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Proba-V/About_Proba-V. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [42] *World Atlas*, (2018) "Countries By Number of Military Satellites", (16 Mart 2018), <https://www.worldatlas.com/articles/countries-by-number-of-military-satellites.html>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [43] Brimley, Shawn; (2018), "BUILDING THE FUTURE FORCE Guaranteeing American Leadership in a Contested Environment" Center for a New American Security, (Mart 2018), <https://s3.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNASReport-FutureForce-Final.pdf?mtime=20180309142929>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [44] Gregg, Aaron; (2018), "Defense giants bet big on small satellites", *Washington Post*, (16 Eylül 2018), https://www.washingtonpost.com/business/2018/09/16/defense-giants-bet-big-small-satellites/?utm_term=.ce97ca424d61. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [45] Erwin, Sandra; (2018), "U.S. Army kicks off new small satellite program", *Space News*, (14 Kasım 2018), <https://spacenews.com/u-s-army-kicks-off-new-small-satellite-program/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [46] Cutshaw, Jason B.; (2017), "Army deploys Kestrel Eye satellite", *www.army.mil*, (25 Ekim 2017), https://www.army.mil/article/195548/army_deploys_kestrel_eye_satellite . (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [47] *www.spaceflight101.com*, "Kestrel Eye 2M Satellite", <http://spaceflight101.com/dragon-spx12/kestrel-eye-2m/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [48] Mizokami, Kyle; (2018), "Is Russia's Mysterious New Satellite a Space Weapon?", *Popular Mechanics*, (16 Ağustos 2018), <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a22739471/is-russias-mysterious-new-satellite-a-space-weapon/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [49] Pultarova, Tereza; (2018), "UK military looking at smallsats to increase space resilience", *Space News*, (23 Mayıs 2018), <https://spacenews.com/uk-military-looking-at-smallsats-to-increase-space-resilience/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [50] <https://space.skyrocket.de>, "NUDTSat (QB50 CN06)", https://space.skyrocket.de/doc_sdat/nudtsat.htm. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [51] Todd, David; (2018), "Thai military orders small observation satellite from Innovative Solutions in Space (ISIS)", *Seradata*, (10 Eylül 2018), <https://www.seradata.com/thai-military-orders-small-observation-satellite-from-innovative-solutions-in-space/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [52] Spyworld Actü, (2005), "Microsatellites Essaim : aspirateur d'ondes" <http://www.spyworld-actu.com/spip.php?article933>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [53] <https://space.skyrocket.de>, "CNES: Myriade / EADS Astrium → Airbus Defence and Space: AstroSat-100", https://space.skyrocket.de/doc_sat/astrium_myriade.htm. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [54] <https://ceres.cnes.fr/>, (2015) "Ceres", (10 Haziran 2015), <https://ceres.cnes.fr/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [55] www.unoosa.org, <http://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2017/SouthAfrica/slides/Presentation23.pdf>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [56] <https://www.iceye.com>, "Synthetic-Aperture Radar", <https://www.iceye.com/resources/technology/synthetic-aperture-radar>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [57] <https://earth.esa.int/>, (2018), "ICEYE-X1", (4 Ekim 2018), <https://earth.esa.int/web/guest/missions/3rd-party-missions/current-missions/iceye-x1>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [58] <https://space.skyrocket.de>, "Capella 1, 2 (SpaceCap)", https://space.skyrocket.de/doc_sdat/capella-1.htm. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [59] Werner, Debra; (2018), "Capella's first satellite launching this fall", *Space News*, (8 Ağustos 2018), <https://spacenews.com/capella-satellite-launching-this-fall/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [60] <https://i-qps.net>, (2017), "World smallest SAR system for less than 150kg satellite which was developed and supplied by iQPS Inc. was press released by Chiba University Professor Josaphat Laboratory (JMRS�)", (22 Haziran 2017), <https://i-qps.net/news/61>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [61] Goh, Deyana; (2017), "Indonesia, Japan to develop world's first microsatellite with SAR", (11 Eylül 2017), <http://www.spacetechasia.com/indonesia-japan-to-develop-worlds-first-microsatellite-with-sar/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [62] *NASA Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology*, "NASA-ISRO SAR Mission (NISAR)", <https://nisar.jpl.nasa.gov/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [63] *Canadian Space Agency*, "What is the RCM?", <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/what-is-rcm.asp>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [64] Messier Doug, (2018), "Microsat Systems Canada Selects MDA to Provide Microsatellite Synthetic Aperture Radar (MSAR)", *Parabolic Arc*, (15 Şubat 2018), <http://www.parabolicarc.com/2018/02/15/microsat-systems-canada-selects-md-a-provide-microsatellite-synthetic-aperture-radar-msar/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [65] Vance, Ashlee; (2017) "The Tiny Satellites Ushering in the New Space Revolution" *Bloomberg*, (29 Haziran 2017), <https://www.bloomberg.com/news/features/2017-06-29/the-tiny-satellites-ushering-in-the-new-space-revolution>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [66] De Gaudenzi, Riccardo; (2018), "Challenges in Future Satellite Communications", *European Space Agency*, (15 Mayıs 2018), <http://ctw2018.ieee-ctw.org/files/2018/05/Challenges-in-future-satellite-communications-v1.0.pdf>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [67] Galla, Tim; (2018) "Emerging trends in satellite communications: High throughput satellites in LEO, MEO, and GEO", *MWEE*, (22 Şubat 2018), <http://www.mwee.com/design-center/emerging-trends-satellite-communications-high-throughput-satellites-leo-meo-and-geo>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [68] Dreher, Lisa; (2018), "How The Satellite Industry Will Change The Way We Communicate", *Forbes*, (22 Ocak 2018), https://www.forbes.com/sites/forbescommunicationscouncil/2018/01/22/how-the-satellite-industry-will-change-the-way-we-communicate/?_ga=2.12681655.1485700700.1542908480-1902615050.1542355408#785822573e1b. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [69] *Bright Hub*, "Types of Communication Satellites", <https://www.brighthouse.com/science/space/articles/3376.aspx>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [70] <https://gomspace.com>
- [71] Bowler, Tim; (2018), "The low-cost mini satellites bringing mobile to the world", *BBC News*, (23 Şubat 2018), <https://www.bbc.com/news/business-43090226>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [72] <http://spacebelt.com/>
- [73] Spangelo, Sara; (2018) "Introducing Swarm: The World's Lowest-Cost Global Communications Network", *Medium*, (30 Ağustos 2018), <https://medium.com/swarm-technologies/introducing-swarm-549b804f1fa1>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [74] Artes, "Satellite - Automatic Identification System (SAT-AIS) Overview", <https://artes.esa.int/sat-ais/overview>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)

- [75] Ellingsen, Berit; (2017), “NorSat-1 and NorSat-2 launched!”, *Norsk Romsenter*, (12 Temmuz 2017), <https://www.romsenter.no/eng/News/News/NorSat-1-and-NorSat-2-launched>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [76] <https://www.exactearth.com/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [77] <https://spire.com/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [78] Lueth, Knud Lasse; (2018), “State of the IoT 2018: Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating”, *IoT Analytics*, (8 Ağustos 2018), <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [79] *ELE Times*, (2018) “What Is The Immediate Future In The Satellite Communication Space”, (20 Ocak 2018), <https://www.eletimes.com/immediate-future-satellite-communication-space#>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [80] <https://phys.org>, (2018), “Space IoT takes off”, (10 Temmuz 2018), <https://phys.org/news/2018-07-space-iot.html>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [81] Pallone, Tony; (2018), “5 trends in satellite communications on the horizon”, *ITU News*, (7 Ağustos 2018), <https://news.itu.int/satellite-communications-trends/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [82] Mohny, Doug; (2018), “The 2018 summer of satellite IoT – 18 startups, over 1,600 satellites”, *Space It Bridge*, (4 Temmuz 2018), <https://www.spaceitbridge.com/the-2018-summer-of-satellite-iot-18-startups-over-1600-satellites.htm>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [83] *ORBCOMM*, (2016), “ORBCOMM Announces Commercial Service for Its Final 11 OG2 Satellites”, (1 Mart 2016), <https://www.orbcomm.com/en/company-investors/news/2016/orbcomm-announces-commercial-service-for-its-final-11-og2-satellites>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [84] Henry, Caleb; (2017), “Fleet details 10 nanosat constellation for Internet of Things connectivity”, (6 Aralık 2017), <https://spacenews.com/fleet-details-10-nanosat-constellation-for-internet-of-things-connectivity/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [85] <https://www.fleet.space/>
- [86] *Microwave Journal*, (2018), “SAT4M2M and Fujitsu to Develop IoT Communications via Satellites”, (14 Mart 2018), <http://www.microwavejournal.com/articles/29976-sat4m2m-and-fujitsu-to-develop-iot-communications-via-satellites>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [87] Foust, Jeff; “D-Orbit to launch 10 Astrocassat satellites on Vega rocket”, *Space News*, (7 Ağustos 2018) <https://spacenews.com/d-orbit-to-launch-10-astrocast-satellites-on-vega-rocket/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [88] Werner, Debra; (2018), “Helios Wire sees a hidden fortune in finding lost assets”, *Space News*, (8 Ağustos 2018), <https://spacenews.com/helios-wire-sees-a-hidden-fortune-in-finding-lost-assets/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [89] Alba, Michael; (2018), “5G in Space?”, www.engineering.com, (15 Haziran 2018), <https://www.engineering.com/Electronics-Design/ElectronicsDesignArticles/ArticleID/17112/5G-in-Space.aspx>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [90] Bryce Space and Technology, (2018), “Smallsats by the Numbers 2018”, https://brycetechnology.com/downloads/Bryce_Smallsats_2018.pdf. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [91] Martins, J Vanderlei; (2017), “SmallSat revolution: Tiny satellites poised to make big contributions to essential science”, *Scroll in*, (31 Mart 2017), <https://scroll.in/article/827888/smallsat-revolution-tiny-satellites-poised-to-make-big-contributions-to-essential-science>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [92] Foust, Jeff; (2018), “NASA bolsters smallsat science programs”, *Space News*, (6 Ağustos 2018), <https://spacenews.com/nasa-bolsters-smallsat-science-programs/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [93] *EO*, “PROCYON (P)roximate Object Close flyby with Optical Navigation”, <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/p/procyon>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [94] QB50, <https://www.qb50.eu/index.php/project-description-obj.html>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [95] HAVELSAN, (2016), “HAVELSAT-Küp Uydusu Fırlatmaya Gün Sayıyor”, (2 Haziran 2016), <http://www.havelsan.com.tr/tr/news/havelsat-kup-uydusu-firlatmaya-gun-sayiyor>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [96] <https://space.skyrocket.de>, “HAVELSAT (QB50 TR02)”, https://space.skyrocket.de/doc_sdat/havelsat.htm. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [97] Kılıç, Çağrı; (2015), “Beeaglesat Küp Uydusu Görev Analizleri”, <https://polen.itu.edu.tr> (16 Şubat 2015), <https://polen.itu.edu.tr/xmlui/handle/11527/14477>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [98] NASA, “Space Technology Mission Directorate”, https://www.nasa.gov/mission_pages/tdm/main/index.html. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [99] *JAXA Research and Development Directorate*, “Innovative satellite technology demonstration program”, <http://www.kenkai.jaxa.jp/eng/research/innovative/innovative.html>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [100] <https://web.archive.org/web/20130530043859/http://ustl.itu.edu.tr/tr/itupsat1-hakkinda-ayrintili-bilgi.php>
- [101] İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Uzay Sistemleri Tasarım ve Test Laboratuvarı, (2018), “Ülkemizin Uzaya gönderilen Uydusu UBAKUSAT İTÜ’den”, (10 Mayıs 2018), <http://usttl.itu.edu.tr/2018/05/10/ulkemizin-uzaya-gonderilen-uydusu-ubakusat-ituden/>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [102] www.n2yo.com, “MAYAK”, <https://www.n2yo.com/satellite/?s=42830>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [103] www.n2yo.com, “LONGJIANG 2”, <https://www.n2yo.com/satellite/?s=43472>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [104] www.n2yo.com, “LONGJIANG 1”, <https://www.n2yo.com/satellite/?s=43471>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [105] www.n2yo.com, “PROMETHEUS 2-1”, <https://www.n2yo.com/satellite/?s=41854>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)
- [106] Jones, Andrew; (2018), “A tiny Chinese satellite is orbiting the Moon and allowing radio amateurs to download images”, *gbtimes*, (4 Eylül 2018), <https://gbtimes.com/a-tiny-chinese-satellite-is-orbiting-the-moon-and-allowing-radio-amateurs-download-images>. (Erişim Tarihi: 27.01.2019)



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

