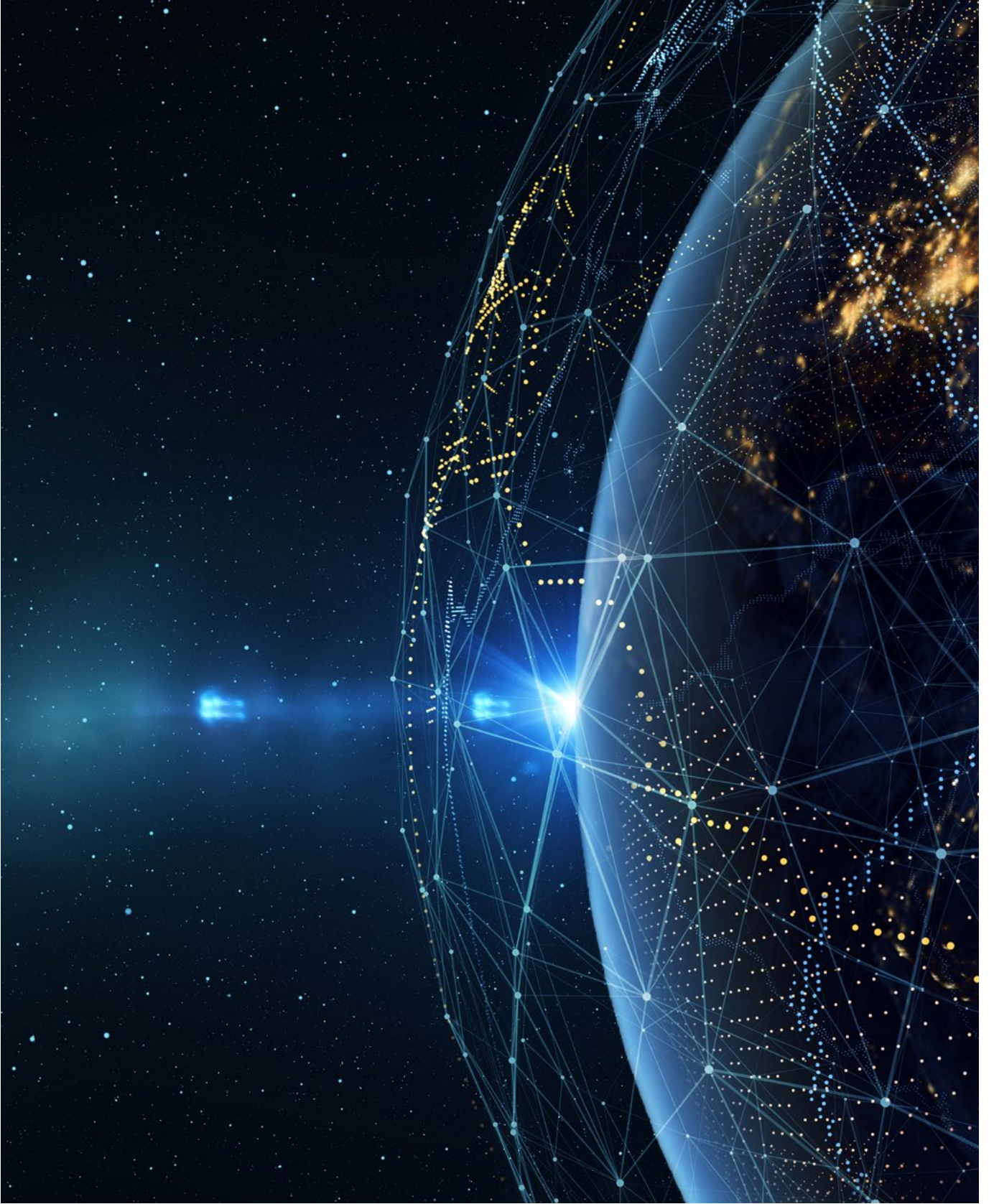


**YENİ UZAY ÇAĞI:
21'İNCİ YÜZYILDA KOZMİK REKABET I
Uzay Teknolojilerinin Geleceği**

ARAŞTIRMA RAPORU HAZİRAN 2020



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.



1. GİRİŞ

Ay'a ayak basmasının üzerinden yarım asırdan fazla zaman geçtikten sonra insanlık bir kavşak noktasına gelmiştir. 21'inci yüzyıl teknolojilerinin verdiği ivmeyle yoğunlaşan uzay çalışmaları 2020'den itibaren meyvelerini vermeye başlayacaktır. Şayet son anda patlak veren koronavirüs salgını engel olmazsa, bu yıl yeni fırlatma araçları denenecek, Ay ve Mars'a yeni robotik araçlar gönderilecek, uydu internet pazarı yükselişe geçecek ve yörünge ötesine yerinden insanlı uçuşlar gerçekleştirmek için adımlar atılacaktır.

ABD Uzay Ajansı NASA, bugüne kadar inşa edilen en güçlü roket olduğunu iddia ettiği Space Launch System (SLS) ve Ay'a astronot taşıyacak olan Orion^[1] kapsülünüyle ilk fırlatma denemesini 2020 yılı içinde gerçekleştirecektir^[2]. Elon Musk'ın ünlü SpaceX şirketi ise, NASA ile birlikte gerçekleştirdiği program çerçevesinde, ABD'li astronotlar Doug Hurley ve Bob Behnken'i taşıyan uzay aracı Crew Dragon'u Falcon-9 roketiyle, Kennedy Uzay Üssü'nden başarıyla fırlatmış ve araç Uluslararası Uzay İstasyonu'na sorunsuz bir şekilde kenetlenmeyi başarmıştır^[3].

Ay'a taykonot göndermeye hazırlanan Çin^[4] ise, bu yıl Chang'e-5 uzay aracını fırlatacaktır. Chang'e-5 misyonunun hedefi Ay'dan toprak örneği alarak Dünya'ya geri getirmektir. Misyon başarılı olursa Çin, ABD ve Rusya'nın ardından Ay'dan toprak örneği alabilen üçüncü ülke olacaktır. Çin ayrıca, yeni uzay istasyonu Tiangong-3'ün ilk modüllerini bu yıl içinde yörüngeye taşımaya başlayacaktır^[5]. ABD ise Ay yörüngesinde "Lunar Getaway" adını verdiği istasyonun inşasına 2021'de başlamayı planlamaktadır^[6].

Japonya ise 2020 yılında bir göktaşından örnek alıp Dünya'ya taşıyabilen ilk ülke olmaya hazırlanmaktadır. Ryugu göktaşından örnek alan Hayabusha-2 aracı, bu yıl yeryüzüne dönecektir^[6].

Birleşik Arap Emirlikleri de bu yıl bir ilke imza atarak Mars'a robotik araç gönderen ilk Arap ülkesi olacaktır. Kızıl gezegenin atmosferinde araştırmalar yapacak Hope Mars yörünge aracının, Temmuz 2020'de uzaya fırlatılması planlanmaktadır^[7].

2020'de üç yeni robotik araç Mars yüzeyine indirilmeye çalışılacaktır. ABD ve Rusya ile işbirliği yapan Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency -ESA), Mars'a yeni nesil araştırma ve analiz robot araçlarını gönderecektir. Çin ise ilk kez Mars'a bir araç göndermeye hazırlanmaktadır^[8].

2020 uzay madenciliği için de dönüm noktası olacaktır. NASA'nın OSIRIS-REx aracı, değerli metaller ve maden cevherleri olduğu tahmin edilen Bennu göktaşından Temmuz 2020'de numune almayı deneyecektir^[9].

Bu yılın ayrıca uydu hizmetleri açısından da atılım yılı olması beklenmektedir. İki büyük takımuydu da faaliyete geçecek ve uzay tabanlı internet hizmetleri başlayacaktır. SpaceX'in "Starlink"^[10] ve OneWeb'in aynı isimli takımuydularının^[11] yılsonuna kadar aktif hale gelmesi beklenmektedir.

Uzay alanında artan faaliyetler gelecek yıllarda daha da yoğunlaşacaktır. Uzay sektörü büyük bir dönüşüm içindedir. Bu döneme pek çok kaynakta "Yeni Uzay (New Space)" adı verilmektedir. Yeni Uzay, yeni bir yatırım felsefesine ve ticari güdülerle hareket eden özel uzay

şirketlerinin gelişmesine yol açan bir dizi teknolojik ilerlemeyi içeren küresel bir eğilime verilen addır^[12].

Yeni Uzay döneminde dünyanın dört bir yanında yeni aktörler sektöre girmekte, teknolojideki ilerlemelerle birlikte yatırımlar artmakta ve uzay ekonomisinin büyümesine katkı sağlamaktadır. Bugün çok sayıda devlet ve özel sektör şirketi yatırım çekebilme, yatırımlar uzaya erişim maliyetlerini düşürmekte, düşen maliyetler daha fazla yatırımcının gözünü uzaya çevirmesine neden olmaktadır. Mali kaynakların artması girişim ve inovasyonu körüklemekte, uzay faaliyetleri çeşitlenmekte, yeni faaliyet alanları türemektedir. İnsanın uzayda daha fazla var olmasını sağlayacak bir tedarik zinciri oluşmaya başlamaktadır. Uzay çalışmalarına özel sektörün artan ilgisi ve teknolojik ilerlemeler; uzay alanında, 18'inci yüzyıldaki buhar makinesi ve 19'uncu yüzyıldaki elektrikle yaşanan sanayi devrimlerini hatırlatmaktadır. Yeni teknolojilerin yeryüzünde yarattığı Dördüncü Sanayi Devrimi, uzaya da aksetmektedir.

Uzay çalışmalarına ilginin artması savunma sektörünün de bu alana ilgisini artırmıştır. ABD'nin "Uzay Kuvvetleri Komutanlığı" kurması, Rusya ve Çin'in uzay güvenliği alanında attığı adımlar, savunma amaçlı yeryüzü uydularının sayısındaki hızlı artış bu ilginin ispatıdır.

"Yeni Uzay Çağı: 21'inci Yüzyılda Kozmik Rekabet" konulu, dört bölümden oluşacak araştırma raporumuzun amacı, Türkiye'nin Ulusal Uzay Ajansı kurup, savunma sanayii dahil farklı alan, sektör ve amaçlara yönelik uydu çalışmaları yürüttüğü bir dönemde, yeni teknolojilerin uzay çalışmalarına etkisini ve gelecekte uzay ekonomisi ile savunma sektöründe yaratabileceği olası dönüşümleri ortaya koyabilmektir. Bu kapsamda araştırma raporumuzun "Uzay Teknolojilerinin Geleceği" başlıklı ilk

bölümünde uzay ekonomisini oluşturan bileşenlerdeki mevcut durum analiz edilecektir. Sonraki bölümlerde ise gelişen teknolojilerin, mevcut alanlara etkileri ile yeni uzay çağında açtığı yeni alanlara göz atılacaktır.

2. TRİLYON DOLARLIK UZAY EKONOMİSİNE DOĞRU

Modern uzay çalışmaları 1950'li yılların sonunda Sovyetler Birliği ile ABD arasında uzay uçuşları kabiliyetleri açısından bir üstünlük yarışı olarak başlamıştır. Bu rekabet bir uzay sektörünün oluşmasında tetikleyici olmuş, yeni teknolojilerin geliştirilme ve uygulama hızı artmıştır. Ancak Soğuk Savaş'ın son bulmasının ardından uzay çalışmaları durgunlaşmış, uydu sektörü ve Uluslararası Uzay İstasyonu odaklı insanlı çalışmalarla kısıtlı kalmıştır.

2011 yılında ABD'nin uzay mekiği programına son vermesi yeni bir kırılma noktası olmuştur. NASA, insanlı uzay çalışmalarında Rusya'ya bağımlı hale gelmiş, bu bağımlılıktan kurtulmak için özel sektörle işbirliğine gidilmesine karar verilmiştir. Bu karar uzay sektöründe taşların yerinden oynamasına yol açmıştır. Öncü özel firmaların başarısı, uzay alanına ilgi duyan özel sermayenin ilgisini artırmıştır. Özel sektör başarılarıyla rüştünü ispatlamakla kalmamış, kamu sektörünün öncülüğüne gerek kalmadan yeni alanlara ilgi duymaya başlamıştır. Bugün uzay rekabeti sadece devletler arasında değil özel sektör şirketleri arasında da yaşanmaktadır. Bu nedenle geçmişte uzay sektörü olarak anılan faaliyet alanı, günümüzde uzay ekonomisine doğru evrilmektedir.





OECD uzay ekonomisini, “Uzayın keşfi, araştırılması, anlaşılması, yönetilmesi ve kullanımıyla insanların faydasına değer yaratan her türlü eylemler” olarak tanımlamaktadır^[13]. Uzay ekonomisi, uzayla ilişkili ürün ve hizmetlerin yanı sıra uzay araştırmalarından elde edilen bilimsel verileri de içermektedir. Uzay ekonomisinin aktörleri devletler ile özel sektördür. Uzay ekonomisi, gelir yaratan ticari faaliyetlerin yanı sıra devletler, uluslararası kuruluşlar ve akademik kuruluşların girişimlerini de içermektedir.

Küresel uzay ekonomisinin büyüklüğüne ilişkin farklı rakamlar ileri sürülmektedir. Tahminler 350 ila 415 milyar dolar arasında değişmektedir^[14]. 2005’ten bu yana her yıl yüzde 5’in üzerinde büyüme kaydeden^[15] uzay ekonomisinin, 2040 yılında 1 trilyon dolarlık büyüklüğe ulaşacağı belirtilmektedir^[16].

ABD merkezli Uzay Vakfı’nın (Space Foundation) verdiği rakamlara göre, uzayda faaliyet gösteren ülke sayısı 61, uzay ekonomisinin sağladığı istihdam ise 1 milyona ulaşmıştır^[14]. Uzay ekonomisi 2010’dan itibaren belirgin bir büyüme sağlamıştır. Bu büyümede itici güç ise artık devletler değil ticari faaliyetlerdir. Devletlerin uzay ekonomisindeki payı, 20’nci yüzyılda neredeyse yüzde 100 iken, bu oran 2018 sonunda yüzde 23’e kadar gerilemiştir^[17].

Özel uzay uçuşları ve minyatür uydu sektörlerinin ortaya çıkışıyla birlikte uzay ekonomisinin geleneksel sınırları ve iş modelleri radikal biçimde değişmektedir. Uzay ajansları, fırlatma araçlarından en küçük parçalara kadar pek çok imalatı ve ilişkili hizmetleri özel sektör firmalarına yaptırmaktadır. Örneğin NASA’nın yeni süper ağır roketi SLS’in parçalarının üretimi için ABD’nin 44 eyaletine dağılmış 1100’den fazla şirketten ürün ve hizmet alınmıştır^[2]. Çin devletinin yeni roket sistemleri, uydu imalatı ve uzay lojistiği gibi alanlarda sunduğu teşviklerle, Çin’de kurulan uzay şirketinin sayısı 100’e yaklaşmıştır^[18].

Uzay ekonomisindeki dönüşüm, sektörün geleneksel kurum ve kuruluşlarını yeni gelir alanlarına yönlendirirken yeni aktörlerin sektöre giriş yapmasını sağlamıştır. Sektöre yeni girenler yeni ürünler ve fırsatları beraberinde getirmiştir. Yeni Uzay adı verilen bu dönemde yeni teknolojiler ve iş modellerinde maliyet düşürücü çözümlere yönelinmiş, daha fazla ürün ve hizmet sunarak daha fazla müşteriye ulaşılır hale gelmiştir.

Yeni Uzay hareketinin hız kazandığına dair işaretlerin başında bu alana çekilen sermaye miktarı gelmektedir. 2000-2006 döneminde uzay start up’larına sermaye akışı 2 milyar doların biraz üzerindeyken, bu miktar 2010-2018 döneminde 21 milyar doların üzerine çıkmıştır^[19].

Uzay start up’larına yatırımlar 2019 yılında en üst seviyeye çıkmıştır. Dünya çapında 178 start up, 5,8 milyar dolar yatırım almıştır. Bu miktar bir önceki yıla göre yüzde 38 artışı ifade etmektedir^[19]. Yeni uzay girişimlerine finansman sağlayan kuruluşların sayısı 500’ü, yatırım çeken firma sayısı ise 400’ü geçmiştir^[20]. Yatırımcıların üçte ikisi ABD’dedir. Japonya, İngiltere, İsrail, Kanada, İspanya, Hindistan ve Çin’de de çok sayıda yatırımcı, uzay girişimlerine finansman sağlamaktadır.

Yeni girişimler sayesinde uzay sektörünün sağladığı hizmetler çeşitlenmeye başlamıştır. Geleneksel uzay hizmetlerinin başında uzaya erişimi sağlayan fırlatma hizmetleri gelmektedir. Uydu imalatı ve işletilmesi de oldukça olgunlaşmış bir ekonomik faaliyet olarak ortaya çıkmıştır. Navigasyon ağı kurmak üzere takımuydu imalatı ve işletilmesi faaliyeti de olgunluk safhasındadır. Bir yandan da askeri amaçlı uzay faaliyetleri, uzay bilimleri ve uzay keşif faaliyetleri sürmektedir^[12].

Geleneksel olarak nitelenebilecek uzay faaliyetlerine son yıllarda yenileri eklenmiştir. Küresel konumlama ve navigasyon hizmetleri bunlar arasındadır. Özel fırlatma

şirketleri, yeniden kullanılabilen roketler gibi yeni fırlatma sistemleri kullanmaya başlamışlardır. Coğrafi bilgi sistemleri, küçük uydu üretimi ve bunlardan takımyılduzlar oluşturarak işletmek, küçük uydu görev yüklerinin imalatı faaliyetleri de hız kazanmıştır. Uydu ve uzay araçlarının uzayda taşınması, tamiri, bakımı, yakıt desteği sağlanması gibi lojistik hizmetler de verilmeye başlanmıştır ve bu hizmetlerin yakın gelecekte ivme kazanması beklenmektedir. Çok yakın gelecekte yeryüzünün herhangi bir noktasına internet hizmeti sağlanması ve uzay turizmi faaliyetleri de başlayacaktır. Orta ve uzun vadede ise, uzay çöplerinin toplanması, düşük yerçekimli ortamda imalat, uzay madenciliği, uzayda enerji elde edilmesi, uzay yaşam alanları veya uzay kolonilerinin kurulması gibi faaliyetlerin de başlaması beklenmektedir.

3. UZAYA ERİŞİM LÜKS OLMAKTAN ÇIKIYOR

Uzay çalışmalarının lokomotifi fırlatma sektörüdür. Bu sektör uzay fırlatma araçları üreticileriyle fırlatma üslerinin işletmeci kuruluşlarından oluşmaktadır. Geleneksel olarak devletlerin elinde bulunan bu sektöre son yıllarda özel firmalar da girmektedir. Hatta Yeni Uzay döneminin,

fırlatma sektörüne özel firmaların girmesiyle başladığı ifade edilmektedir. ABD’li Space X firmasının geliştirdiği Falcon tipi roketin taşıdığı Dragon kapsülünün Uluslararası Uzay İstasyonu’na vardığı 25 Mayıs 2012 tarihinin Yeni Uzay çalışmaları için milat olarak görülmesi gerektiği belirtilmektedir^[21].

Uzaya erişimin anahtarı uzay fırlatma teknolojisine sahip olmaktır. Çok sayıda ülke, uluslararası pazarda rekabet edebilmek veya uzaya erişim gerektiren ulusal güvenlik stratejileri gereği uzay fırlatma kabiliyeti geliştirmiştir. ABD, Rusya, Çin, Hindistan, Japonya, Güney Kore, İsrail, İran ve Kuzey Kore’nin fırlatma üsleri bulunmaktadır. Minyatür roketlerin geliştirilmesiyle birlikte Yeni Zelanda ve Avustralya gibi ülkeler de fırlatma üslerine sahip olmuşlardır. ESA ise 22 Avrupa ülkesine uzaya çıkış olanağı sağlamaktadır. Kuzey Kore^[22], İsrail^[23] ve bir dizi başarısız denemeye rağmen İran^[24], alçak Dünya yörüngesi’ne (Low Earth Orbit - LEO) uydu fırlatmışlardır.

Son yıllarda artan uzay çalışmaları fırlatma sektöründe büyüme sağlamıştır. Yapılan araştırmalara göre sektörün büyüklüğü, 2018 sonunda 11 milyar 360 milyon dolara yükselmiştir. Sektörün büyüme ivmesinin 2020’li yıllarda daha da artacağı ve 2026’da 30 milyar dolar büyüklüğün üzerine çıkılacağı tahmin edilmektedir^[25].





3.1 Fırlatma Sektöründe Yeni Teknolojiler

Fırlatma araçları uzay çalışmalarının başından bu yana hemen hemen aynı teknolojileri kullanmaktadır. Kimyasal tepkimeyi tahrik gücü olarak kullanan bu roket sistemleri, tek kullanımlık olması, verimsizliği, yüksek maliyeti ve çevreye etkileri nedeniyle eleştirilmektedir. Roket sistemleri yerine uzay asansöründen santrifüjlü tahrik sistemlerine, uzay mancınığından Ay veya Mars'a kablo döşenmesine kadar pek çok konsept ileri sürülmüştür^[26]. Ancak söz konusu önerilerin kısa ve orta vadede hayata geçmesi beklenmemektedir. Buna karşılık düşük maliyetli, yeniden kullanılabilir ve çevreyi kirlilemeyen fırlatma teknolojilerine ihtiyaç artmaktadır. Yakın gelecekte, çok sayıda ülke insanlı ve insansız yörünge veya derin uzay misyonu başlatacak veya var olan programlarını hayata geçirecektir. Derin uzay çalışmaları yapabilecek uzay araçları teknolojisine sahip ABD, Rusya, Çin, Avrupa Uzay Ajansı, Japonya, Hindistan ve Güney Kore; Ay, Mars ve diğer gök cisimlerine ulaşmaya çalışacaklarını açıklamışlardır. Bunun yanı sıra başta ABD merkezli SpaceX gibi firmalar da Ay ve Mars'a insanlı seyahatler planlamaktadır. Uydu teknolojisindeki değişimle birlikte yörüngeye yönelik seyahatlerde de artış yaşanmıştır. Uzay ekonomisindeki canlılıkla yıllık fırlatma sayısı 2018'de 1990 yılından beri ilk kez 100'ün üzerine çıkmıştır. Gelecek yıllarda sayının daha da artması beklenmektedir^[27].

Artan talebin paralelinde kimyasal tahrikli fırlatma sistemlerinin iyileştirilmesi çalışmaları sürmektedir. Fırlatma maliyetlerini azaltmak, fırlatma araçları kapasitesi ve kabiliyetlerini artırmak için yapılan bu değişiklikler son yıllarda ivme kazanmıştır.

3.1.1 Katmanlı İmalat Ürünü Minyatür Roketler

Fırlatma sektöründe canlılık yaratan yeni teknolojilerin başında katmanlı imalat veya üç boyutlu (3D) yazıcı teknolojisi gelmektedir. Bu teknoloji öncelikle araştırma geliştirme faaliyetlerinde sektörün can simidi olmuştur. Katmanlı imalat istihdam maliyetini azaltırken, parça ağırlığını düşürmekte, üretimi daha güvenli hale getirebilmektedir.

Katmanlı imalat teknolojisi roket üreticilerine tasarımdan imalata kadar tüm süreçlerde zaman kazandırmakta, yenilik ve yaratıcılığı da teşvik etmektedir. Örneğin dünyanın çeşitli ülkelerinde 3D yazıcılarla "katı roket yakıtı" imalatı üzerine çalışmalar son safhasına gelmiştir^{[28],[29]}. İskoçya merkezli Skyrora adlı firma ise, plastik atıklarından kerosen elde edecek bir yöntem geliştirmiş, bu keroseni de 3D yazıcılarla imal ettiği Skyrora XL roketinde Şubat 2020'de başarıyla denemiştir^[30].

Katmanlı imalat teknolojisi roketlerin pek çok parçasının üretilmesinde kullanılmaktadır. Yeni teknolojilerin sunduğu olanakların harekete geçirdiği roket üreticileri, roket tasarımlarını da gözden geçirmeye başlamışlardır. Çünkü katmanlı imalat verim artışı sunmaktadır. Örneğin genelde roketler 100 binden fazla parçadan oluşmaktadır. 3D yazıcı teknolojisi sayesinde bu rakamı binin altına düşürmek mümkündür. Katmanlı imalat sayesinde müşterilerin talebine kısa sürede yanıt verebilecek minyatür roketler üretmek de mümkün olabilmektedir. Literatürde minyatür roketler 1 tondan daha az taşıma kapasiteli fırlatma araçları için kullanılmaktadır. Bu roketler genellikle küp veya mikro uydu sistemleri taşımak için tasarlanmıştır.

Bu tür fırlatıcılarla denemeler başlamıştır. Yeni Zelanda ve ABD merkezli Rocket Lab, 3D yazıcılarla

üretmiş motorlara sahip Electron roketleriyle çok sayıda başarılı ticari sefer yapmıştır^[31]. ABD merkezli Relativity Space ise tüm parça ve roketleri 3D yazıcı ile imal edilmiş Terran-1 roketlerini, 2021’de test etmeye başlayacağını duyurmuştur^[32]. Kaliforniya’da 2015’te kurulan şirket, “Stargate 3D” adı verilen dev metal yazıcılar sayesinde roket parça sayısını 1.000’e, roket imalat süresini ise 60 güne indirebildiğini bildirmiştir^[32].

Ancak yukarıda bahsettiğimiz şirketlerin geliştirdiği roketler düşük yük taşıma kapasitesine sahiptir. Yapılan araştırmalar minyatür roketlerin zaman avantajına rağmen sadece alçak yörüngeye minyatür uydular taşıyabileceğini, taşıma maliyetlerinin ise kilogram başına 20.000 ila 25.000 dolar arasında, yani hayli yüksek kalacağına işaret etmektedir^[12].

Minyatür roketlerin kapasite sorunu nedeniyle ekonomik uzay uçuşları için yeni arayışlar sürmektedir. Geleneksel tahrik sistemli yüksek kapasiteli roketlerin, daha yüksek kapasiteli yeni nesillerinin geliştirilmesine çalışılmaktadır. Üretiminde karbon kompozit materyaller, 3D yazıcı teknolojisi, nanoteknoloji ve minyatürleşme teknolojileri kullanılarak geliştirilen yeni nesil roketlerin önemli bölümü ölçek ekonomisi sağlamaktadır. Örneğin Ariane roketlerinin yeni nesli Ariane 6’nın, Ariane 5’e göre kilogram başına taşıma maliyetinin yüzde 44 daha az olacağı belirtilmektedir. NASA’nın Ay ve Mars misyonları için üzerinde çalıştığı süper ağır SLS roketinin ise 1970’lerin dev Saturn V roketine göre yüzde 86 daha düşük maliyette uzaya erişim sağlayacağı belirtilmektedir. Açıklanan tüm yeni nesil ağır yük roketlerinin kilogram başına taşıma maliyeti 10 bin doların altındadır^[12]. Ancak uzaya erişimin gerçek anlamıyla ekonomik hale gelmesi için bu rakamın kilogram başına 2.000, hatta 1.000 doların altına gerilemesi gerektiği belirtilmektedir.

Fırlatma maliyetlerini düşürmek için daha büyük roket imal etmek dışında üç yeni yöntem üzerinde durulmaktadır: Uzay uçağı, havada fırlatma ve yeniden kullanılabilir roketler.

3.1.2 Uzay Uçakları (Spaceplanes)

“Uzay uçakları”, roketle fırlatılan, yeryüzüne dönüşte bir uçak gibi iniş yapabilen araçlardır. “Uzay uçaklarının” geçmişi 40 yıl önceye gitmektedir. ABD, Uzay Mekiği Programı ile 1981-2011 döneminde uzaya yeniden kullanılabilir araçlarla erişim sağlamıştır. Uzay mekikleri kimyasal tepkili roketlerle uzaya çıkmakta, dönüşte bir uçağın üzerinde yeryüzüne indirilmekte veya bir uçak gibi tekerlekleri üzerine iniş yapabilmekteydi. Ancak uzay mekiklerinin imalat ve fırlatma maliyeti hayli yüksek kalmıştır. Öyle ki Uluslararası Uzay İstasyonu’na taşınan kargonun kilogram başına maliyeti 85.000 dolara kadar çıkmıştır^[33]. NASA, yaşanan ölümcül kazalardan^[34] ötürü programa son vermiştir^[35].

Günümüzde ABD ve Rusya’nın uzay uçak projeleri bulunmaktadır. Amerikan Hava Kuvvetleri için geliştirildiğinden özellikleri ve amacı gizli tutulan Boeing X-37^[36], Uzay Mekiği döneminin ardından operasyonel hale gelen ilk uzay uçağıdır^[37]. Sierra Nevada Corp. ise NASA’ya

insanlı ve insansız uçuşlar için bir uzay uçağı geliştirmiştir. Uzay mekiklerinin dörtte biri boyutlarındaki Dream Chaser^[38], otonom bir uzay aracı olarak tasarlanmıştır. İlk uçuşunu 2021 yılında gerçekleştirmesi beklenmektedir^[39]. ESA da alçak yörüngeye uydu konumlandırmak ve bazı bilimsel deneyler gerçekleştirmek üzere (daha sonra PRIDE adını alacak olan) bir uzay uçağı üzerinde çalışmalar yürütmektedir^[40].

Ne var ki bahsedilen bu üç uzay uçağı modeli fırlatmada değil, inişte ekonomik olmaktadır. Hem fırlatmada hem de inişte kendi motorlarını kullanan “tek fazlı” bir uzay uçağı ise henüz tasarım aşamasındadır. İngiltere merkezli Reactions Engines’in 1989’dan bu yana üzerinde çalıştığı “SABRE” motorlu “Skylon” uzay uçağı, hem ESA hem de Britanya Uzay Ajansı’nın (UKSA) desteğini almıştır. SABRE bir hibrit turbojet/roket motorudur. Atmosferde 25.000 metre irtifaya kadar bir jet motoru görevi görmektedir ve Skylon’un hızını 5 Mach’ın üzerine çıkarabilecek güçtedir. 25.000 metreden sonra SABRE’nin kimyasal tahrik güçlü roketleri devreye girmektedir. Bu roket, Skylon’u 25 Mach hıza ulaştıracaktır^[41]. Motorun ne zaman işlevsel hale geleceği konusunda açıklama yapılmamıştır. 85 metrelik uzay uçağı Skylon’un, 15 tona kadar yük taşıyabileceği, 200 kadar uçuş yapabileceği, taşıma maliyetinin kilogram başına 1050 ile 1950 sterlin arasında olacağı belirtilmektedir^[42].

3.1.3 Havada Fırlatma (Air Launch)

Havada fırlatma yönteminde, uzay aracı başka bir hava aracıyla çok yüksek irtifaya çıkarılmakta, uzay aracının roketleri hedef irtifaya ulaştığında ateşlenmektedir. Böylece yerden ateşlenen roketlere göre hız ve irtifa avantajı sağlanmakta, roketin üç veya dört faza sahip olması gerekmemektedir. Bu da roketin ağırlığını azaltmakta ve maliyetini düşürmektedir. Ayrıca roketlerin ateşlenmesi için uygun hava koşullarının oluşmasına gerek kalmamakta, istenildiği zamanda fırlatma mümkün olmaktadır^[43]. Havada fırlatmanın bir diğer avantajı, uzaya erişimde pahalı fırlatma tesislerine gerek kalmamasıdır. İstenilen havaalanından kalkacak özel gövdeli uçaklarla fırlatma yapılabilir^[44].

Hava fırlatmasıyla yörüngeye başarıyla ulaşan ilk roket Pegasus’tur. Orbital ATK tarafından NASA için geliştirilen roket 1990 yılında yörüngeye küçük bir NASA uydusu taşımıştır. Orbital ATK daha sonra ABD merkezli savunma sanayii şirketi Northrop Grumman tarafından satın alınmıştır. Northrop Grumman’ın devam ettirdiği projenin ikinci safhası olan Pegasus XL füzelerinin denemesi de Ekim 2019’da başarılı olmuştur^[45]. Üç fazlı bir roket olan Pegasus, büyük bir ticari uçağın gövdesinden en az 12.000 metre irtifada bırakılmakta, yaklaşık beş saniyelik serbest düşüşün ardından roket motorlarını harekete geçirmektedir^[46].

ABD’li Stratolaunch firması da havada fırlatma teknolojisini geliştirmek üzere harekete geçmiştir. Şirket bu amaçla çift gövdesiyle dünyanın en büyük uçağını geliştirmiş ve ilk uçuşunu Nisan 2019’da başarıyla tamamlamıştır. Fakat bu uçuşta roket fırlatma denemesi yapılmamıştır^[47].



Havada fırlatma teknolojisi sadece yörüngeye kargo taşımak için değil uzay turizmi için de kullanılacaktır. ABD merkezli Virgin Galactic firmasının geliştirdiği "SpaceShip Two" adlı uzay aracı, altı yolcuyu 100 kilometre irtifaya çıkartıp, beş dakika kadar yerçekimsiz ortam deneyimi yaşattıktan sonra yeryüzündeki bir havalanına iniş yapmak üzere tasarlanmıştır. Uzay uçağı, çift gövdeli "WhiteKnight Two" adı verilen büyük bir uçağın gövdesinde 12.000 metre irtifanın üzerine çıkarılmakta, burada roketini ateşleyerek yörünge altına seyahat etmektedir. Virgin Galactic'in 2007'de ilk uzay turistlerini taşıma planı, yaşanan olumsuzluklar, kazalar ve mali sıkıntılar nedeniyle henüz gerçekleşmemiş, SpaceShip Two sadece iki başarılı uçuş yapabildiği^[48].

3.1.4 Yeniden Kullanılabilir Roketler

Uzay uçakları ve havadan fırlatma teknolojisi, yerden roketle fırlatma teknolojisine göre maliyet ve hız avantajına sahip olmasına karşın kritik bir dezavantaja da sahiptir: Kapasite. Uzay uçaklarının kapasitesi beş tonun altındadır. Çoğu uzaya küçük uydu ve 500 kilogramdan az kargo taşımak üzere tasarlanmıştır. Havadan fırlatmalı roketlerin kapasiteleri ise onları taşıyan hava araçlarının kapasiteleriyle sınırlıdır. Buna karşılık artan uzay çalışmaları ve maliyet baskıları uzaya tek seferde daha fazla yük ve insanın çıkartılmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla yeni

teknolojilerin kimyasal tepkimeli roketlere tam anlamıyla alternatif olamadığını söylemek mümkündür.

Alternatif teknolojilerin kapasite sorunu, yerden fırlatmalı roketlerin maliyetini azaltma arayışlarını tetiklemiştir. Bu arayışın ilk sonucu, yeniden kullanılabilir fırlatıcı sistemlerinin geliştirilmesi olmuştur. Geleneksel roketler, görev yüklerinin Dünya atmosferinden çıkmasını sağladıktan sonra yeryüzüne düşmekte ve bir daha kullanılamamaktadır. Oysa fırlatma sisteminin tahrik sistemi, uzay roketlerinin imalat maliyetinin yaklaşık yüzde 70'ini oluşturmaktadır^[49]. Motorların bir bölümü veya tamamı kurtarılabilir ve yeniden kullanılabilirse fırlatma maliyetleri büyük oranda düşecektir. Yeniden üretim maliyetlerinin düşmesinin yanı sıra, yeniden kullanılabilir roketler zaman da kazandıracaktır. Geleneksel yöntemde tek kullanımlık roketler yeni üretildikleri için testlere tabi olacaktır. Bu testlerin tamamlanması aylar alabilmektedir. Yeniden kullanılabilir roketler ise üzerinde çatlak olup olmadığı gibi en fazla birkaç hafta sürecek kontrollerin ardından tekrar uzaya fırlatılabilecektir^[50]. Ancak yeniden kullanılabilirlik sınırsız değildir. Bugüne kadar üretilen roketlerin en iyisi dahi 20-25 kullanımlıktır.

Yukarıda NASA'nın uzay mekiklerinin yeniden kullanılabilir ilk uzay araçlarının örneklerinden biri olduğunu belirtmiştik. Ancak bir uzay uçağı olarak uzay mekikleri, uzaya çıkmak için roket desteği almak zorundaydılar ve

bu nedenle maliyet avantajı yaratmadılar. Uzay araçlarını yeniden kullanılabilir itici roketlerle gönderme fikri ise yıllardır dile getirilmekle birlikte, son 10 yıla kadar bu pahalı deneye aday olan şirket ve kuruluş ortaya çıkmamıştır. Yeniden kullanılabilir roketlerle ilk yörünge altı uçuş Kasım 2015'te ABD merkezli Blue Origin firmasının geliştirdiği roketle mümkün olabilmektedir. Firmanın geliştirdiği BE-3 motoru, New Shepard kapsülünü alt yörüngeye gönderdikten sonra ayrılmış, önceden belirlenen indirme platformuna sağlam biçimde inmeyi başarmıştır^[51].

Blue Origin bu denemeye tarihe geçmiştir. Ancak ticari olarak başarı sağlayan ilk yeniden kullanılabilir roket bir başka firma tarafından geliştirilmiştir. Yine ABD merkezli Space X, Blue Origin'in başarılı denemesinden bir ay sonra, Aralık 2015'te, Falcon 9 roketinin birinci faz fırlatıcılarını başarılı biçimde yere indirdiğini duyurmuştur. Üstelik deneme, ticari bir uçuşta, alçak yörüngeye altı uydu yerleştirilmesi sırasında gerçekleşmiştir^[52]. SpaceX, üç yeniden kullanılabilir Falcon 9 itici motorlu Falcon Heavy'yi de 2018'de hizmete sokmuştur. 64 tonluk kapasitesiyle Falcon Heavy'nin operasyonel roketlerin en güçlüsü olduğu ifade edilmektedir^[53]. İki fazlı ve yeniden kullanılabilir birinci faz motorlu Falcon Heavy 2018'den beri üç başarılı uçuş gerçekleştirmiştir. 2020'de dördüncü bir uçuşa hazırlanan Falcon Heavy, NASA'nın 2022'de planladığı metal zengini Psyche göktaşını incelemek üzere geliştirdiği uzay aracını uzaya taşıyacaktır^[54].

SpaceX ve Blue Origin'in fırlatma sistemleri şimdilik roketlerin birinci fazını yeniden kullanılabilir hale getirmektedir. Ancak birinci faz roket motorları nedeniyle en değerli parçalardır ve bunların yeniden kullanılabilir olması maliyetlerde önemli azalmaya yol açabilmektedir. Araştırmalar, yeniden kullanma sayısı artıkça kilogram başına fırlatma maliyetinin Falcon 9'da 1000, Falcon Heavy'de ise 500 doların altına düşebileceğini göstermektedir^[42]. Bu iki firmanın amacı tümüyle yeniden kullanılabilir sistemler geliştirmektir^[55], ^[56].

Blue Origin ve SpaceX'in başarılı denemeleri, yenilenebilir roketlere ABD dışından da ilgiyi artırmaktadır. Çin'de hem kamu hem de özel sektör yeniden kullanılabilir roket üretmek üzere çalışmalar yürütmektedir. Çin'in ana roket üreticisi China Aerospace Science and Technology Corporation'ın, yeniden kullanılabilir Long March-8 roketinin ilk denemesini 2020'de yapacağı belirtilmektedir. Long March roketlerinin ağır yük modeli Long March-9 roketinin de yeniden kullanılabilir roketlere sahip olarak tasarlandığı da belirtilmektedir. En az 100 metre uzunluğunda ve 140 ton taşıma kapasiteli olarak tasarlanan Long March-9'un 2030'dan önce operasyonel olması beklenmemektedir^[57].

Çin'de iki özel firma yeniden kullanılabilir roketler üzerinde çalışmaktadır. Ülkenin ilk özel uzay şirketi LinkSpace, Ağustos 2018'de yeniden kullanılabilir bir roketi başarıyla denemiştir^[58]. Pekin merkezli uzay şirketi i-Space ise Hyperbola-2 adının verdiği 1,9 ton kapasiteli yeniden kullanılabilir roketi 2021'de deneyeceğini açıklamıştır^[59].

Avrupalı roket üreticisi Ariane Space, Fransa Uzay Ajansı CNES ile yeniden kullanılabilir Themis roketlerini üretmek üzere anlaşmaya varmıştır^[60]. Ariane ayrıca ESA ile Prometheus füzelerini geliştirmektedir. Likit oksijen ve metan tahrik güçlü Prometheus'un testleri 2020 yılında başlayacaktır. Projenin amacı fırlatma maliyetini büyük oranda düşürmektir. Prometheus'un Ariane-5'in Vulcain-2 roketlerine göre yüzde 90 daha ucuz olacağı belirtilmektedir. Projenin 2030 yılında operasyonel hale gelmesi beklenmektedir^[61].

Hindistan Uzay Ajansı ISRO da tüm fazları yeniden kullanılabilir olan roket üzerinde çalışmaktadır. Bu amaçla RLV adı verilen bir uzay aracının denemeleri 2016'da başlamıştır. RLV iki fazlı bir roketdir. ISRO, RLV'nin ilk fazının Space X'in Falcon 9 roketi gibi yeryüzüne döneneğini, uzay mekiği veya bir uzay uçağına benzeyen uzay aracının görev yükünü alçak yörüngeye bıraktıktan



sonra, hava kullanan turbo jet motoru ve otonom iniş sistemleri sayesinde yere bir uçak gibi inebileceğini belirtmektedir. ISRO RLV'nin henüz görev yüklü test uçuşunu gerçekleştirmediği^[62]. Rusya'da ise Laros adındaki özel firmanın yeniden kullanılabilir roketler üretmek üzere harekete geçtiği, ilk roket denemesini 2020 yılı içinde gerçekleştireceği belirtilmektedir^[63]. Japonya Uzay Ajansı JAXA da yeniden kullanılabilir roket çalışmaları yürütmektedir^[64].

4. AKILLI TAKIMUYDULAR ÇAĞI BAŞLIYOR

Uzay yarışı 1957'de Sovyetler Birliği'nin Sputnik-1 uydusunu yörüngeye göndermesiyle başlamış, ABD buna yaklaşık dört ay sonra Explorer-1 uydusu göndererek yanıt vermiştir. Uydu üretimi başlangıcından itibaren uzay ekonomisinin en canlı ve gelişen alanı olmuştur. Savunma, sivil veya ticari amaçlı uyduların üretimi ve bunlarla verilen hizmetler uzay ekonomisinin dörtte üçünü oluşturmaktadır. Uydu araçları imalatı faaliyetlerinin toplam geliri 2018 yılında 20 milyar dolara yaklaşmış, bunun yanı sıra uydu yer kontrol sistemleri sektörünün büyüklüğü ise 100 milyar doları aşmıştır^[14].

Uydu imalatı sektöründeki belirgin canlanmaya, uydu hizmetlerinde yeni teknolojilerin uygulamasıyla birlikte değişen paradigmalara yol açmaktadır. Uzay ekonomisinin aktörleri, Yer Sabit Yörüngeye (GEO) yönelik büyük ve pahalı uydu imal etmek yerine, Alçak Yörüngeye (LEO) küçük uydu kümeleri göndermeyi tercih etmektedir. Nesnelerin interneti ve 5G mobil bağlantı teknolojisinin yaygınlık kazanmaya başlamasıyla alçak yörüngede hızlı, gecikmesiz geniş bant internete talep artmakta ve uydu internet şebekelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu talebi karşılamak üzere takımuydu projelerine hız verilmiştir^[65]. Ocak 2020 itibarıyla yörüngede 1.307 nano-uydu (Ağırlığı 10 kilogramdan az uydular), 1.200'den fazla da küp uydu vardır. 65 ülkenin nano-uydusu bulunmaktadır. Türkiye'nin nano-uydu sayısı 5'tir. Küçük uydu üreten ve işleten firma sayısı ise 467'ye çıkmıştır. Gelecek altı yılda uzaya fırlatılacak küçük uydu sayısı ise en az 2.500 olacaktır^[66].

Ağırlığı 500 kilogramın altındaki bu küçük uydular gelişen teknolojilerin eseridir. Geleneksel uydulardan çok daha küçük, ucuz ama çok sayıda görev yükü barındıran uydulardan oluşan sistemler (takımuydular) yörüngeye yerleştirilmektedir. Bu küçük uydular, yeryüzünün herhangi bir noktası hakkında anlık, güvenilir ve yüksek kalitede görüntü ve/veya her türlü ölçülebilir bilgi sağlamaktadır. Küçük uyduların teknolojileri ve bu alandaki gelişmelerin ayrıntılı bir incelemesine STM ThinkTech olarak hazırladığımız "Küçük Uydular ve Başarı Potansiyelleri" başlıklı analizden ulaşılabilmektedir^[67].

Uydu imalat sektörü, uydu işletici kuruluşlardan gelen talepleri karşılayabilmek için inovasyona hız vermişlerdir. Uydu işletmecisi kuruluşların taleplerinin başında yeryüzü gözlem veya uzaktan algılama yapabilen daha küçük ve daha gelişmiş uyduların geliştirilmesi gelmektedir. Küçük

uydu teknolojisi bir kilonun altında bile (Piko-uydu) uydu geliştirilmesine elverişli hale gelmiştir. Ancak bu tür uyduların hacimleri hayli küçük olduğu için görev yükleri de sınırlı kalmaktadır. Düşük hacim gelişmiş görev yükü beklentisini karşılamak üzere çok sayıda nano ve mikro uydudan oluşan takımuydu sistemi geliştirilmektedir. Bazıları binlerce nano-uydudan oluşacağı belirtilen bu takımuydular, daha geniş bir coğrafi alanda çok sayıda görevi aynı anda yerine getirebilmek için tasarlanmaktadır. Örneğin SpaceX, uydu internet erişim hizmeti Starlink için 12.000'den fazla uydu fırlatmak üzere izin almıştır ve bunun 600 kadarını uzaya göndermiştir^[68]. Takımuyduların sayısının artması uydular arası iletişim ve koordinasyonun önemini ortaya çıkarmıştır. Bu amaçla uydular arası iletişim teknolojisi (Intersatellite link)^[69] geliştirilmesi için çalışmalar yürütülmektedir. Bu teknoloji sayesinde takımuydu birimleri görev dağılımı yapabilecek, Sentetik Açıklık Radarı (SAR)^[70] gibi yeni uygulamalarla koordinasyon kurabilecek ve işlevlerini hassas biçimde yerine getirebileceklerdir. Bu koordinasyonu daha hızlı, gecikmesiz ve yüksek kapasitede veri akışı sağlayacak şekilde oluşturmak için optik (lazer) bağlantı sistemleri geliştirilmektedir^[71].

İkinci önemli talep ise uyduların daha gelişmiş ve güvenli veri işleme kapasitesine sahip olmasıdır. Böylece gerekli verilerin daha hızlı şekilde aktarılması beklenmektedir. Daha iyi veri işleme kapasitesi için daha iyi işlemciler ve yapay zekâya sahip uyduların geliştirilmesi gerekmektedir. Yapay zekâ teknolojisi ise küçük uyduları veri işlemcisi hale getirmektedir. Uydu Üstü Bilgi İşlem Teknolojisi (Onboard Information Processing)^[72] sayesinde uydular topladıkları verileri uzayda analiz edebilecek, sadece istenilen ya da gerekli veri veya görüntüler yeryüzüne veya diğer uzay araçlarına aktarılabilir. Büyük takımuyduların aynı zamanda otomatik öğrenme sistemlerine de sahip olacağı belirtilmektedir^[73]. Yeryüzündeki akıllı istasyon ağları ile makine öğrenme sistemleri sayesinde büyük takımuyduların sevk ve idaresi optimal hale getirilebilir.

Güvenli veri aktarımı için ise kuantum uyduları kullanılmaya başlanmıştır. İlk defa Çin tarafından geliştirilen kuantum iletişim uydusu, mobil yer istasyonlarının da devreye girmesiyle işlerlik kazanmıştır. Uydunun bankalara güvenli iletişim hizmeti vereceği kaydedilmektedir^[74].

Uydulardan hızlı veri aktarımı için de yeni teknolojilerden faydalanılmaktadır. Bazı küp uydularda saniyede yüzlerce megabit, hatta gigabit veri aktarabilen KuBant ve Ka Band aktarıcılar mevcuttur^[75]. Lazer iletişim sistemleri sayesinde gelecek yıllarda çok daha hızlı veri transferi mümkün olacaktır^[76].

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 hale gelebilir. Airbus'ın OneSat^[77], Boeing'in 702X^[78] ve Thales Alenia Space'in "Space Inspire"^[79] gibi uydu ve takımuydu platformları esnek bir yapıya sahiptir. Bunların farklı uydu operatörlerine hizmet

verebilecekleri ve düşük ağırlıklarıyla ağır yük roketlerine ihtiyaç olmadan yörüngeye yerleştirilebilecekleri belirtilmektedir. Yeniden programlanabilir uydu sistemlerinin, 2022-2023 yıllarında yörüngeye yerleştirilmeye başlanacağı belirtilmektedir^[79].

Son olarak uydu ve takımuyduların imalatının kısa sürede tamamlanması ve ömürlerinin uzun olması istenmektedir. Katmanlı imalat teknolojisi, uydu imalatında teslimat süresinin kısaltılması için en büyük yardımcı görevini görmektedir. Üretimi yıllar sürebilecek parçalar veya ana uydu çerçevesi, aylar ve hatta haftalar içinde imal edilebilmektedir. Yeniden programlanabilir esnek uydular, bu talebe de ihtiyaç verecek niteliktedir. Klasik uydu imalatı yıllar alabilirken, dijital üretim süreçleriyle elde edilmiş uydular stokta tutulup, müşterilerin beklenti ve arzularına göre yeni yazılımlarla yüklenip birkaç hafta veya birkaç ay içinde fırlatmaya hazır hale getirilebilmektedir^[80].

Küp uydular ve diğer küçük uyduların ömrünün uzatılması için ise farklı sistemler üzerinde durulmaktadır. Bunlardan biri küp uyduların minik tahrik sistemlerine sahip hale getirilmesidir. Mevcut küçük uyduların büyük bölümü bu tür sistemlerden yoksundur. Küçük uyduların elektrikli, kimyasal veya sadece suyla çalışan tahrik sistemlerine sahip olması, yörüngedeki olası sapmalarda uydunun doğru yörüngeye tekrar oturmasını sağlayacaktır. Ayrıca tahrik sistemleri, uydulara sayıları giderek artan uzay çöplerine karşı kendilerini de koruma imkânı verecektir. Bu tür tahrikli sistemleri geliştirmek üzere Avusturya merkezli Enpulsion gibi start up'lar destek ve yatırım almaktadır^[81]. Tahrik sistemlerine sahip olunması, uyduların ömürlerini tamamladığında uzay çöpü haline gelmesini de önleyebilecektir. ESA^[82] ve NASA^[83] bu tür sistemler üzerinde çalışmaktadır. Çalışmalar başarılı olursa yeni nesil uydular, ömürlerini tamamladıklarında, tahrik sistemlerini son kez çalıştırarak Dünya yörüngesini terk edeceklerdir. Bu sayede diğer uydu ve uzay araçlarını tehdit edemeyeceklerdir.

5. UZAY TEDARİK ZİNCİRİNİN HALKALARI TAMAMLANIYOR

Fırlatma maliyetlerindeki düşüş ve alçak yörünge uydularının sayısındaki geometrik artış, yörünge uydu hizmetleri ve uzay lojistiği gibi yeni hizmet alanlarına kapı aralamıştır. Uydu, uzay istasyonu veya uzay araçlarına kenetlenip hizmet verebilen uzay robotları ve araçlarının sayısı artmaktadır. Bu araçların çoğunlukla yüksek manevra kabiliyetli elektrikli tahrik sistemleri ve en az iki robot kolları bulunmaktadır. Hassas sensörleri ve gelişmiş yapay zekâları bulunan bu lojistik robotları; uydu ve uzay araçlarının bakımını yapmakta, ömrünü tamamlayan parçaları değiştirmekte; elektrik, oksijen, hidrojen, su ve elektrik takviyesinde bulunmakta, gerekirse yörünge sapmaları ve açılarını düzeltmektedir. Bazı uzay lojistiği araçları gerektiğinde astronotların sığınabileceği yaşam ünitelerine bile sahip hale getirilmektedir.

Northrop Grumman'ın geliştirdiği Mission Extension Vehicle-1 (MEV-1), 25 Şubat 2020'de Intelsat IS-901 uydusuna kenetlenerek bu alanda hizmet veren ilk uzay aracı olmuştur. MEV-1'in telekomünikasyon uydusuna bakım yaptığı, yakıt takviyesine bulunduğu, yörünge ve eğilimini düzelttiği bildirilmiştir^[84]. İngiltere merkezli Effective Space de "SpaceDrone" adını verdiği lojistik hizmet uydu aracını 2020 yılında uzaya göndereceğini açıklamıştır^[85]. MEV-1 gibi SpaceDrone da, uyduların ömrünü uzatacak lojistik destek sağlamak üzere tasarlanmış tam otomatik bir uzay robotudur. Oldukça küçük boyutlardaki SpaceDrone özellikle GEO uydularına hizmet vermeyi amaçlamaktadır^[86]. Benzeri amaçlarla Altius Space Machine de araçlar geliştirmektedir^[87].

ABD merkezli Orbit Fab ise Haziran 2019'da Uluslararası Uzay İstasyonu'na su sağlayan RAFT-1 aracıyla dikkatleri üzerine toplamıştır^[88]. Şirketin hedefi uzay araçları için "yakıt istasyonu" haline gelecek depolar kurmak ve bu araçlara su hizmeti sağlamaktır^[89]. Lockheed





Martin ile Boeing ortaklığı olan United Launch Alliance (ULA) da uzay lojistiğine inovatif bir çözüm getirmek için harekete geçmiştir. ULA, normalde görev yükünü bırakıp uzayda birkaç saat kaldıktan sonra atmosfere girip yanıp yok olan üst fazını uzay lojistiğinde kullanacağını açıklamıştır. “Advanced Cryogenic Evolved Stage (ULA ACES)” adı verilen bu uzay aracı, görev yükünü yörüngeye veya Ay yakınlarına bıraktıktan sonra geri dönebilecek ve yakıt istasyonu veya servis modülü olarak kullanılacaktır^[90]. ACES’in 2020’li yılların ortasında hazır hale getirilerek uzaya fırlatılması beklenmektedir^[91].

5.1 Uzay Römorkörleri

Uzay lojistiği faaliyetlerine yakında “uzay römorkörleri” de katılacaktır. ABD merkezli Momentus Space^[92], “Vigoride” adını verdiği uzay römorkörleriyle 2020 yılının üçüncü çeyreğinde hizmet vermeye başlayacağını açıklamıştır. Şirketin iddiasına göre su tahrikli Vigoride araçları, uzaya uydularla birlikte gönderilmekte, hedef yörüngeye ulaşıldığında uyduları istenilen konuma, farklı yörünge ve irtifalarda olsa bile yerleştirebilmektedir. Tek kullanımlık Vigoride araçları 4.000 kilograma kadar uydulara hizmet sunabilmektedir^[93].

Ay, Mars ve diğer Güneş Sistemi misyonları için uzay taşımacılığı ve lojistiği yapacak araçların üretimine de başlamıştır. NASA’nın 2024’te Ay’a ilk kadını ve 50 yıl sonra ilk insanı taşıyacak Artemis Programı için bu tür uzay lojistiği araçları önerilmiştir. Northrop Grumman ve Thales Alenia Space ortaklığı ile geliştirilen Cygnus bunlardan biridir^[94]. NASA adına 2014’ten bu yana Uluslararası Uzay İstasyonu’na kargo taşıyan Cygnus, servis ve basınçlı kargo modüllerine sahiptir. Tümüyle otonom bir uzay aracı olan Cygnus, canlı dahil her türlü kargo taşıyabilmektedir. Gelişmiş aviyonik sistemleri sayesinde ISS’e otomatik olarak kenetlenilmekte, kenetli

olduğu süre zarfında uzay laboratuvarı görevi görmektedir. Yörüngeye küp uydu yerleştirme kabiliyeti bulunan Cygnus’un, Artemis misyonunda kargo taşıyabileceği ve yaşam desteği (geçici barınma) görevi üstlenebileceği belirtilmektedir. Cygnus, NASA’nın Ay misyonu için geliştirdiği insanlı Orion kapsülüne de kenetlenilecek ve burada dört kişiyi 60 gün boyunca barındırabilecektir^[95]. Bu nedenle NASA tarafından Ay yörüngesinde inşa edilecek “Moon Getaway” adı verilen uzay istasyonunun yaşam ünitesi olarak seçilmiştir^[96].

ESA da uzay lojistiği için araç geliştirmektedir. ESA, halen Otomatik Transfer Araçları (Automated Transfer Vehicles- ATV) ile Uluslararası Uzay İstasyonu’na kargo taşımaktadır. Yakın gelecekte buna Avrupa Servis Modülü (European Service Module ESM) de katılacaktır. ATV mimarisi üzerine inşa edilen ESM, NASA’nın Artemis misyonunda ikmal istasyonu görevini görecektir. Orion uzaya gönderildikten sonra ESM aracına kenetlenilecektir. ESM, Orion’a ay yolculuğu boyunca elektrik, su, oksijen ve nitrojen verecek, aynı zamanda uzay aracının doğru sıcaklıkta kalmasını sağlayacaktır^[97].

5.2 Uzay Fabrikaları: Uzayda İmalat ve İnşaat

Uzaydaki ticari faaliyetlere yakın gelecekte, konaklamalı uzay turizmi, uzayda enerji üretimi ve uzay madenciliği de eklenecektir. En az üç şirket, uzay turizmine birkaç yıl içinde başlayacağını açıklamıştır. ABD merkezli Bigelow Industries, Eylül 2019’da şifirilebilir uzay yaşam ünitelerinin tanıtımını yapmıştır^[98]. Şirket, bu yaşam üniteleriyle uzayda astronotların ve uzay turistlerinin konaklayabileceğini bildirmiştir. Ay yakınlarında bir uzay istasyonu (“Uzay Limanı” ifadesi tercih edilmektedir) kurmayı amaçlayan Getaway Vakfı, gelir elde etmek için uzayda bir otel inşa edeceğini açıklamıştır. Von Braun adı verilecek bu uzay istasyonu Dünya yörüngesine kurulacaktır. Dönerek yapay



yerçekimi sunacak olan bu istasyonda toplam 450 turist konaklayabilecektir. İstasyonda villalar yapılması bile düşünülmektedir^[99]. İstasyonun 2025 yılında hizmete girmesi beklenmektedir. Orion Span adlı şirket ise altı kişinin konaklayabileceği Auroro Uzay İstasyonu'nu modüller halinde 2021'de uzaya fırlatmayı ve 2022'den itibaren misafir kabul etmeyi planlamaktadır^[100].

Uzayda elektrik üretip bunu Dünya'ya aktarma fikri de yakın gelecekte hayata geçecektir. ABD ve Çin yönetimleri Dünya yörüngesinde çapı iki kilometreyi aşan dev güneş enerjisi istasyonları kurmaya hazırlanmaktadır^[101]. ABD'de Space Energy Inc. adındaki şirket ise 2025 yılından sonra üretime başlayabileceğini ileri sürmektedir^[102]. Şirket, Dünya yörüngesine dev güneş enerjisi istasyonları kurarak bunu düşük yoğunluklu mikrodalga ışınlarıyla yeryüzündeki alıcı antenlere, oradan da şehir şebekelerine aktarabileceğini belirtmektedir^[101].

Uzay madenciliği ise henüz emekleme safhasında olan bir uzay faaliyet alanıdır. Gökcisimlerinden maden ve su elde edeceğini açıklayan şirketler yaşadıkları mali sorunlar nedeniyle açıkladıkları programların gerisindedirler^[103]. Bu şirketler önce uzay araçlarıyla gök cisimlerinin maden potansiyelini araştıracaklarını, ardından madencilik faaliyetlerini yürütmek üzere uzay kolonileri oluşturacaklarını açıklamışlardır.

Bu tür yeni faaliyetler insanlığın uzaydaki varlığını sürdürülebilir ve kalıcı kılacaktır. Ancak bu yeni uzay faaliyetlerinin gelişmesi için uzayda imalat ve inşaat yetkinliklerinin gelişmesi gerekmektedir. Ay ve Mars misyonları, uzay turizmi, uzay madenciliği ve uzay lojistiği gibi ticari uzay faaliyetlerinde artış uzayda imalatı da gündeme getirmiştir.

Uzayda daha uzun süre kalacak insanların gıda, ilaç ve diğer ihtiyaçlarının karşılanması; uydu ve uzay araçlarının ihtiyacı olan parça ve hizmetlerin tedariki; uzay istasyonlarının kurulması ve daha ileride Ay, Mars ve kaynakça zengin gökcisimlerinde insanlı ve insansız koloniler oluşturulması için malzemelerin uzaya çıkarılması ve bunların uzay çöprü yaratılmadan montajlanması gerekmektedir. Ancak bunların yeryüzünde bütün olarak veya parça parça imal edilip uzaya çıkarılması sorunlu bir konudur. Sağlanan ilerlemelere rağmen fırlatma araçlarının kapasite, form ve maliyet sorunları sürmektedir. Uzay araçları ne kadar büyük olursa olsun, fırlatma maliyeti ne kadar aşağı çekilirse çekilsin, uzaya çıkarılacak ekipmanların formu, uzay aracının formuna uygun olmak zorunda kalacaktır.

Ayrıca uzayda imalat artık bir zorunluluk haline gelmiştir. Örneğin her türlü olumsuzluğa tedbir olarak Uluslararası Uzay İstasyonu'nun her parçasının bir yedeği bulunmaktadır. Bu kadar parça fazla yer kapladığı gibi çoğu hiç kullanılmayacaktır. Oysa bu parçaların toplam değerinin 1,4 milyar doları bulunduğu belirtilmektedir^[104].

Yükselen maliyetler, yer, kaynak ve zaman kayıplarından ötürü uzayda imalat olanaklarının araştırılmasına başlanmıştır. Önerilen çözüm, gerekli parça, uzay aracı ve yapıların uzay kaynakları kullanılarak, katmanlı imalat ve robot teknolojisi ile uzayda üretilmesidir. Uzayda ilk üretim çalışmaları 2014 yılında başlamıştır. Made in Space firması tarafından üretilen 3D yazıcı, Uluslararası Uzay İstasyonu'na gönderilmiş ve burada bazı parçalar ile alet edevatın üretimi sağlanmıştır^[105]. Bir yıl sonra ESA, Thales Alenia tarafından üretilen 25 santimetre-küpük bir 3D yazıcıyla uzayda imalata başlamıştır^[106].

Made in Space 2016'da İleri İmalat Tesisi (Advanced Manufacturing Facility) adını verdiği ikinci nesil katmanlı imalat makinesini Uluslararası Uzay İstasyonu'na göndermiştir. Şirketin geliştirdiği "Vulcan" adındaki 3D yazıcı ile metal parça üretimi de yapılabilmektedir^[107]. NASA, uzayda imalatı desteklemek amacıyla başlattığı ISM projesi kapsamında özel şirketlerden, Uluslararası Uzay İstasyonu'nun atıklarını geri dönüşümden geçirerek kullanmalarını istemektedir. Bu amaçla istasyona Şubat 2019'da "Refabricator" adı verilen bir 3D yazıcı gönderilmiştir. Tethers Unlimited tarafından geliştirilen bu yazıcı, plastik atıklarını kullanarak parça üretmektedir^[108]. Uzayda insanlı misyonların sadece plastik ve diğer katı atıkları değil biyolojik atıkları dahi 3D yazıcılarda kullanması için çalışmalar yürütülmektedir. Kanada'nın Calgary Üniversitesi uzmanları, insani atıkları "Astroplastik" adı verilen 3D yazıcı ile üretimde kullanılabilir bir malzemeye dönüştürmek üzere araştırma yürütmektedir^[109].

Bugün uzayda imalat alanında 40'tan fazla firma faaliyet göstermektedir. Bu firmaların önerdiği imalat yöntemleri ve ürünler de çeşitlenmektedir. Tayland'da kurulan Space Zab firması, Çin'in insanlı uzay programları için yenilenebilir ve yenilenemez ürünler imalatı için sıvı ve yarı sıvı malzemelerle üretim yapmayı planlamaktadır^[111]. Zero G Kitchen adlı ABD'li şirket ise bir "Uzay Mutfağı" inşa etmek için hareket geçmiştir^[112]. Firma, Aralık 2019'da geliştirdikleri uzay fırını ile Uluslararası Uzay İstasyonu'ndaki astronotlara kurabiye pişirmiştir^[113].

ABD merkezli Fiber Optic Manufacturing in Space (FOMS) firması, Uluslararası Uzay İstasyonu'nda küçük bir bavalı büyüklüğünde üretim cihazıyla fiber optik kablo ürettiğini açıklamıştır. Firmanın amacı uydular ve uzay araçlarının fiber optik ihtiyaçlarını uzayda karşılamaktır^[114]. İsraili şirket Aleph Farms, uzayda üç boyutlu yazıcılarla gıda üretimine odaklanmıştır. Şirket, ABD'li ve Rus ortaklarıyla Uluslararası Uzay İstasyonu'nda biftek üreterek dikkatleri üzerine çekmiştir^[115]. ABD'nin MIT ve California Üniversiteleri, uzun uzay yolculuklarında astronotların ilaç ihtiyaçlarını en kısa sürede sağlamak amacıyla uzay araçlarına yerleştirilebilecek küçük bir "ilaç fabrikası" üzerinde çalışmaktadır^[116]. Ancak bütün bu üretim faaliyetleri yaşamsal öneme sahip olmakla birlikte küçük üretim makinelerinden ibarettir.

Uzay istasyonları, daha büyük güneş panelleri, lojistik destek yapıları, iletişim antenleri, aynalar, radyasyon panelleri ve diğer hacimli yapıların inşası için ise daha gelişmiş uzay imalatı araçlarına ihtiyaç vardır. Güneş panelleri, teleskoplar ve lensler gibi özel parçaların uzayda üretilmesi henüz mümkün görünmemektedir. Ancak bunların çerçeveleri, iskeleleri ve birleştirici parçaları uzayda üretilebilir. Bu tür yapı elemanlarının üretimi için girişimler başlamıştır. İngiltere merkezli MagnaParva ise patentli karbon kompozit uzay imalat sistemleri geliştirmektedir^[117].

Made in Space ise otonom imalat robotu Archinaut'u geliştirmiştir. Archinaut'un bir 3D yazıcısı bulunmakta, bu yazıcıdan çıkan parçalar robot kollarla belirlenen noktalara yerleştirilmektedir. NASA'nın mali desteğini alan aracın uzaya çıkışının 2023 yılını bulacağı

belirtilmektedir^[118]. NASA aynı zamanda çapı bir kilometreyi bulan antenler ve güneş enerjisi istasyonları inşa etmek üzere Tethers Unlimited ile anlaşmıştır. Tethers'in SpiderFab sistemi, 3D yazıcı ve robot teknolojisiyle örümcek ağına benzeyen yapılar üretmek üzere tasarlanmıştır^[119].

Ancak önerilen yapı teknikleri, Dünya'nın yörüngesinde sınırlı ihtiyaçları giderebilecek alanların inşasında kullanılabilecektir. Ay, Mars ve diğer gök cisimlerinde sürdürülebilir koloniler oluşturmak isteniyorsa daha kalıcı yapılara ihtiyaç olacaktır. Günümüzde katmanlı imalat teknolojisiyle, kum ve metal malzeme kullanarak binalar inşa etmek mümkün olabilmektedir^[120]. Ancak Ay, Mars veya diğer gök cisimlerinde yapı inşa etmek için gereken metal, kum ve suyun dünyadan taşınması güç ve pahalı olacaktır. Bu malzemelerin gök cisimlerinden elde edilmesi gerekecektir. Bu açıdan uzay madenciliği ile uzayda inşaat ve imalatın paralel gelişim göstermesi gerekecektir.

6. SONUÇ

Bu analizde, uzay alanında 2020 ve sonrası için planlanan çalışma, teknolojik ilerleme ve yeni faaliyetler araştırılmıştır. Ortaya çıkan tablo ümit vadetmektedir. 21'inci yüzyılın çığır açan teknolojileri her alanda olduğu gibi uzay sektöründe de inovasyonu körükleyerek taşları yerinden oynatmıştır. Uzay çalışmalarında fikir, konsept, tasarım, üretim ve uygulama patlaması yaşanmaktadır. Maliyetler hızla düşmekte, uzay çalışmaları hızla ulusal ve uluslararası uzay ajanslarının tek elinden çıkmaktadır. Uzay ajansları, uzay araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin hem tasarlayıcısı hem de uygulayıcısı rolünü geride bırakmakta, tasarımdan üretime birçok faaliyetini, özellikle fırlatmada ve uzay araç, makine ve ekipmanları üretiminde rüşünü ispat eden firmalara devretmektedir. Bu durum, uzay faaliyetlerinde iş süreçleri ve iş yapış biçimlerini değiştirmekte, kamu-özel sektör işbirliğini geliştirmektedir. Uluslararası işbirlikleri artmaktadır. Uzay çalışmalarında bilgi ve birikimine katkı yapan devletler ve özel sektör aktörlerinin sayısı hızla artmaktadır. Uzay çalışmalarının ivmesi artarken, yeni faaliyet alanları ortaya çıkmakta ve uzay ekonomisinin tedarik zinciri halkaları hızla tamamlanmaktadır. Bu gelişmeler 2030 yılına gelmeden uzay sektörünün bir trilyon dolarlık devasa bir faaliyet alanı haline geleceği öngörülerini desteklemektedir. Bu gelişmeler Türkiye gibi Ulusal Uzay Ajansını yeni kurmuş, uzay faaliyetleri alanında tecrübe kazanan ve bu tecrübeyi uzay alanında gelişmiş ülkeler seviyesine erişmek için, ileriye yönelik projelerde kullanmayı hedefleyen ülkeleri de cesaretlendirmelidir. Büyüyen uzay ekonomisinden pay almak, bilimsel ve teknolojik gelişmeleri şahlandırmak için, uzay alanında kamu-özel sektör arasındaki yeni iş modelleri incelenmeli ve işbirlikleri teşvik edilmelidir. Uzayda yaşanan sanayi devrimini yakalamak için bu sinerjiye ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

- [1] NASA, (2019), "Orion Overview", (31 Temmuz 2019), <https://www.nasa.gov/exploration/systems/orion/about/index.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [2] NASA, (2020), "NASA Artemis Program and Stennis Space Center Set the Stage for Testing in 2020", (23 Ocak 2020), <https://www.nasa.gov/feature/nasa-artemis-program-and-stennis-space-center-set-the-stage-for-testing-in-2020>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [3] Bogage, Jacob; Davenport, Christian ; (2020), "Dragon capsule achieves orbit, heads towards space station", *Washington Post*, (31 Mayıs 2020), <https://www.washingtonpost.com/technology/2020/05/30/spacex-nasa-launch-live-updates>. (Erişim Tarihi: 1 Haziran 2020)
- [4] Jones, Andrew; (2019), "This Is China's New Spacecraft to Take Astronauts to the Moon (Photos)", *Space.com*, (2 Ekim 2019), <https://www.space.com/china-new-spacecraft-crewed-moon-missions.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [5] Weitering, Hanneke; (2020), "NASA has a plan for yearly Artemis moon flights through 2030. The first one could fly in 2021", *Space.com*, (12 Şubat 2020), <https://www.space.com/nasa-artemis-moon-landing-timeline-2021-budget.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [6] BBC, (2019), "Hayabusa-2: Japan spacecraft leaves asteroid to head home", (13 Kasım 2019), <https://www.bbc.com/news/world-asia-50403272>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [7] NASA, (2020), "Emirates Mars Mission (Hope)", <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=EMM-HOPE>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [8] Wall, Mike; (2019), "4 Mars Missions Are One Year Away from Launching to the Red Planet in July 2020", *Space.com*, (25 Temmuz 2019), <https://www.space.com/4-mars-missions-one-year-from-july-2020-launch.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [9] *Asteroid Mission*, "Mission Operations", <https://www.asteroid-mission.org/objectives/mission-operations/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [10] Malik, Tariq; (2019), "SpaceX's Starlink Broadband Service Will Begin in 2020: Report", *Space.com*, (24 Ekim 2019), <https://www.space.com/spacex-starlink-satellite-internet-service-2020.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [11] Sawers, Paul; (2020), "OneWeb readies internet satellites for launch", *Venture Beat*, (30 Ocak 2020), <https://venturebeat.com/2020/01/30/oneweb-readies-internet-satellites-for-launch/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [12] *European Investment Bank*, (2019), "The future of the European space sector", https://www.eib.org/attachments/thematic/future_of_european_space_sector_en.pdf. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [13] *OECD*, (2011), "The Space Economy at a Glance 2011", (22 Temmuz 2011), <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264111790-en.pdf?expires=1582829583&id=id&accname=guest&checksum=264254C205FDC43C9F4CC110752376DB>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [14] *OECD*, (2019), "The Space Economy Scorecard", https://www.thespacereport.org/wp-content/uploads/2020/02/SpaceFoundation_2020_Scorecard.pdf. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [15] *Research And Markets*, (2018), "Global Space Industry Market and Technology Forecast to 2026", (Nisan 2018), <https://www.researchandmarkets.com/reports/4582139/global-space-industry-market-and-technology>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [16] Foust, Jeff; (2018), "A trillion-dollar space industry will require new markets", *Space.com*, (5 Temmuz 2018), <https://space-news.com/a-trillion-dollar-space-industry-will-require-new-markets/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [17] *Bryce Space and Technology*, (2018), "2018 Space Economy", <https://brycetechnology.com/reports.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [18] Beall, Abigail; (2019), "China's private space industry is rapidly gaining ground on SpaceX", *Wired*, (28 Ağustos 2019), <https://www.wired.co.uk/article/china-private-space-industry>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [19] *Bryce Space and Technology*, (2019), "Start-Up Space", <https://brycetechnology.com/reports.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [20] Henry, Caleb; (2019), "Space startup investments continued to rise in 2018", *SpaceNews*, (4 Şubat 2019), <https://spacenews.com/space-startup-investments-continued-to-rise-in-2018/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [21] Grush, Loren; (2019), "This was the decade the commercial spaceflight industry leapt forward", *The Verge*, (11 Aralık 2019), <https://www.theverge.com/2019/12/11/20981714/spacex-commercial-spaceflight-space-industry-decade-nasa-business>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [22] Wall, Mike; (2016), "North Korea Launches Satellite to Space", *Space.com*, (8 Şubat 2016), <https://www.space.com/31860-north-korea-satellite-launch.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [23] Neiman, Rachel; (2019), "Did you know Israel sent a rocket into space in 1961?", *Israel21c*, (26 Şubat 2019), <https://www.israel21c.org/did-you-know-israel-sent-a-rocket-into-space-in-1961/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [24] Pickrell, Ryan; "Iran tried and failed for the fourth time in a row to put a satellite into orbit", *Business Insider*, <https://www.businessinsider.com/iran-satellite-launch-fails-for-fourth-time-in-a-row-2020-2>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [25] *Content Engine*, "Space Launch Services Market Update in 2020 by Industry Size, Share and Global Demand by 2026", <https://contentengine.com/2020/02/25/space-launch-services-market-update-in-2020-by-industry-size-share-and-global-demand-by-2026/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [26] *Science Direct*, (2005), "Non-Rocket Space Launch and Flight", <https://www.sciencedirect.com/book/9780080447315/non-rocket-space-launch-and-flight>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [27] Kyle, Ed; (2019), "Worldwide Orbital Launch Summary by Year", *Space Launch Report*, (31 Aralık 2019), <https://www.spacelaunchreport.com/logyear.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [28] Button, Keith; (2019), "3D-printed rocket fuel", *AeroSpace America*, (Nisan 2019), <https://aerospaceamerica.aiaa.org/departments/3d-printed-rocket-fuel/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [29] Clark, Corey; (2017), "Gilmour Space Technologies receives \$3.7 million investment to launch into space with 3D printed rocket fuel", *3D Printing Industry*, (31 Mayıs 2017), <https://3dprintingindustry.com/news/gilmour-space-technologies-receives-3-7-million-investment-launch-space-3d-printed-rocket-fuel-114612/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [30] Etherington, Darrell; (2020), "Launch startup Skyrora successfully tests 3D-printed rocket engines powered by plastic waste", *Tech Crunch*, (3 Şubat 2020), <https://techcrunch.com/2020/02/03/launch-startup-skyrora-successfully-tests-3d-printed-rocket-engines-powered-by-plastic-waste/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [31] Rocketlabusa, "Electron", <https://www.rocketlabusa.com/electron/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [32] Wall, Mike; (2020), "Relativity Space will 3D-print rockets at new autonomous factory in Long Beach, California", *Space.com*, (28 Şubat 2020), <https://www.space.com/relativity-space-autonomous-rocket-factory.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [33] *FutureTimeline*, "Launch costs to low Earth orbit, 1980-2100", <https://www.futuretimeline.net/data-trends/6.htm>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [34] Haberman, Clyde; (2014), "Challenger, Columbia and the Nature of Calamity", *New York Times*, (1 Haziran 2014), <https://www.nytimes.com/2014/06/01/science/challenger-columbia-and-the-nature-of-calamity.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)

- nytimes.com/2014/06/02/us/challenger-columbia-and-the-nature-of-calamity.html. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [35] NASA, (2017), "Space Shuttle Era", (4 Ağustos 2017), https://www.nasa.gov/mission_pages/shuttle/flyout/index.html. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [36] Boeing, "X-37B", <https://www.boeing.com/defense/autonomous-systems/x37b/index.page>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [37] Wall, Mike; (2019), "X-37B: The Air Force's Mysterious Space Plane", *Space.com*, (27 Ekim 2019), <https://www.space.com/25275-x37b-space-plane.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [38] "Dream Chaser® - America's Spaceplane™", *Sierra Nevada Corporation*, <https://www.sncorp.com/what-we-do/dream-chaser-space-vehicle/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [39] Thompson, Amy; (2020), "Sierra Nevada eyes 2021 launch of Dream Chaser space plane", *Space.com*, (16 Ocak 2020), <https://www.space.com/sierra-nevada-dream-chaser-launch-2021.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [40] *United Space in Europe*, "Intermediate eXperimental Vehicle", http://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/IXV/Intermediate_eXperimental_Vehicle. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [41] *Reaction Engines*, "Sabre", <https://www.reactionengines.co.uk/beyond-possible/sabre>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [42] Dove-Jay, Ashley; (2015), "Spaceplanes vs reusable rockets – which will win?", *The Conversation*, (14 Aralık 2015), <https://theconversation.com/spaceplanes-vs-reusable-rockets-which-will-win-51938>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [43] Carter, John; (2016), "Air Launch –Low-Cost Small Satellite Launch", *NASA*, (Eylül 2016), <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170005245.pdf>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [44] A. Michell, Rebeca; (2012), "A Conceptual Analysis of Spacecraft Air Launch Methods", *University of Colorado*, (20 Aralık 2012), https://www.colorado.edu/faculty/kantha/sites/default/files/attached-files/42797-36621_-_rebecca_mitchell_-_dec_20_2012_710_am_-_final_project_mitchell.pdf. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [45] Clark, Stephen; (2019), "NASA satellite to study ionosphere launches after two-year delay", *SpaceFlight Now*, (11 Ekim 2019), <https://spaceflightnow.com/2019/10/11/nasa-satellite-to-study-ionosphere-launches-after-two-year-delay/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [46] *Northrop Grumman*, "Pegasus Rocket", <https://www.northropgrumman.com/space/pegasus-rocket/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [47] Stratolaunch, <https://www.stratolaunch.com/how-we-launch/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [48] Howell, Elizabeth; (2019), "SpaceShipTwo: On a Flight Path to Space Tourism", *Space.com*, (5 Mart 2019), <https://www.space.com/19021-spaceshiptwo.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [49] Bryce, "Global Space Industry Dynamics", https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-03/global_space_industry_dynamics_-_research_paper.pdf. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [50] Torrieri, Marisa; "Reusable Rockets: Where are They Going Next?", *Via Satellite*, <http://interactive.satellitetoday.com/via/july-2019/reusable-rockets-where-are-they-going-next/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [51] Cofield, Calla; (2015), "Blue Origin Makes Historic Reusable Rocket Landing in Epic Test Flight", *Space.com*, (24 Kasım 2015), <https://www.space.com/31202-blue-origin-historic-private-rocket-landing.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [52] Wall, Mike; (2015), "Wow! SpaceX Lands Orbital Rocket Successfully in Historic First", *Space.com*, (22 Aralık 2015), <https://www.space.com/31420-spacex-rocket-landing-success.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [53] SpaceX, "Falcon Heavy", <https://www.spacex.com/falcon-heavy>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [54] Clark, Stephen; (2020), "NASA taps SpaceX's Falcon Heavy rocket to launch mission to metal asteroid", *SpaceFlight Now*, (4 Mart 2020), <https://spaceflightnow.com/2020/03/04/nasa-taps-spacexs-falcon-heavy-rocket-to-launch-mission-to-metal-asteroid/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [55] SpaceX, "Reusability", <https://www.spacex.com/reusability-key-making-human-life-multi-planetary>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [56] Blue Origin, "New Shepard", <https://www.blueorigin.com/new-shepard/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [57] *Space Daily*, (2019), "Super-powerful Long March 9 said to begin missions around 2030", (12 Mart 2019), https://www.spacedaily.com/reports/Super_powerful_Long_March_9_said_to_begin_missions_around_2030_999.html. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [58] *Global Times*, "China successfully launches largest reusable rocket", (10 Ağustos 2019), <https://www.globaltimes.cn/content/1160951.shtml>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [59] Mehta, Ivan; (2019), "Private Chinese space company aims to rival SpaceX with a reusable rocket by 2021", *The Next Web*, (23 Ekim 2019), <https://thenextweb.com/space/2019/10/23/private-chinese-space-company-aims-to-rival-spacex-with-a-reusable-rocket-by-2021/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [60] Howell, Elizabeth; (2019), "Europe's ArianeWorks Aims for Reusable Rockets (with a Very SpaceX Look)", (10 Eylül 2019), <https://www.space.com/arianeworks-reusable-rockets-the-mis-callisto-video.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [61] *United Space in Europe*, (2017), "Prometheus to power future launchers", (14 Aralık 2017), https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Prometheus_to_power_future_launchers. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [62] *First Post*, (2019), "ISRO's Space Shuttle-like Reusable Launch Vehicle will attempt its first landing in Karnataka", (16 Ekim 2019), <https://www.firstpost.com/tech/science/isro-space-shuttle-like-reusable-launch-vehicle-will-attempt-its-first-landing-in-karnataka-7506051.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [63] TASS, (2019), "First Russian reusable carrier rocket similar to that of SpaceX to be launched in 2020", (22 Ekim 2019), <https://tass.com/science/1084427>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [64] Inomata, Rimi; (2018), "Japan space agency to test reusable rocket to shave costs", *Nikkei Asian Review*, (2 Mayıs 2018), <https://asia.nikkei.com/Business/Technology/Japan-space-agency-to-test-reusable-rocket-to-shave-costs>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [65] Howell, Elizabeth; (2019), "Space Companies Are Investing Big in 5G Technology", *Space.com*, (20 Ekim 2019), <https://www.space.com/5g-in-space-internet-satellites.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [66] *Nanosats Database*, "Figures", <https://www.nanosats.eu/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [67] *STM ThinkTech*, (2019), "Küçük Uydular ve Başarı Potansiyelleri", (22 Şubat 2019), <https://thinktech.stm.com.tr/detay.aspx?id=207>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [68] *The Guardian*, (2020), "Companies' plans for satellite constellations 'put night sky at risk'", (9 Ocak 2020), <https://www.theguardian.com/science/2020/jan/09/companies-plans-for-satellite-constellations-put-night-sky-at-risk>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [69] Motzigemba, Matthias; (2019), "Optical Inter Satellite Links for Broadband Networks", *IEEE Xplore*, (22 Temmuz 2019), <https://ieeexplore.ieee.org/document/8767795>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [70] *UNAVCO*, "Synthetic Aperture Radar (SAR) Satellites", <https://www.unavco.org/instrumentation/geophysical/imaging/sar-satellites/sar-satellites.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)

- [71] Kelder, Diederik; (2019), “Inter-satellite laser links for commercial communications”, *ITU News*, (23 Mayıs 2019), <https://news.itu.int/inter-satellite-laser-links-for-commercial-communications/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [72] *United space in Europe*, “Onboard processing”, https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Onboard_processing. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [73] *European Space Agency*, “Machine Learning And Artificial Intelligence For Satellite Communications (ARTES FPE 1A.104)”, <https://artes.esa.int/funding/machine-learning-and-artificial-intelligence-satellite-communications-artes-fpe-1a104-0>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [74] Lu, Donna; (2020), “China has developed the world’s first mobile quantum satellite station”, *New Scientist*, (9 Ocak 2020), <https://www.newscientist.com/article/2229673-china-has-developed-the-worlds-first-mobile-quantum-satellite-station/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [75] McNicholas, Matt; (2017), “Low cost Ka-band transmitter for CubeSat systems”, *IEEE Xplore*, (6 Mart 2017), <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/7869213/7869753/07869770.pdf>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [76] NASA, (2019), “NASA Demos CubeSat Laser Communications Capability”, (9 Nisan 2019), <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=7371>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [77] *Airbus*, “OneSat”, <https://www.airbus.com/space/telecommunications-satellites/onesat.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [78] *Boeing*, (2019), “New Boeing 702X Satellites Offer Unique Multi-Mission Flexibility”, (9 Eylül 2019), <https://boeing.mediaroom.com/2019-09-09-New-Boeing-702X-Satellites-Offer-Unique-Multi-Mission-Flexibility>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [79] *AeroTime Hub*, (2019), “Reprogrammable satellites: the future of the satellite market?”, (19 Eylül 2019), <https://www.aerotime.aero/from.space.with.love/23963-reprogrammable-satellites-the-future-of-the-satellite-market>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [80] Pultarova, Tereza; “Satellite Manufacturing in a State of Transition”, *Via Satellite*, <http://interactive.satellitetoday.com/via/march-2019/satellite-manufacturing-in-a-state-of-transition/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [81] Fost, Jeff; (2018), “More startups are pursuing cubesats with electric thrusters”, *Space News*, (23 Temmuz 2018), <https://spacenews.com/more-startups-are-pursuing-cubesats-with-electric-thrusters/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [82] *United space in Europe*, (2014), “How to catch a satellite”, (21 Şubat 2014), https://www.esa.int/Safety_Security/Clean_Space/How_to_catch_a_satellite. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [83] NASA, (2019), “Passive Deorbit Systems”, (12 Mart 2019), <https://sst-soa.arc.nasa.gov/12-passive-deorbit-systems>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [84] *Northrop Grumman*; (2020), “Companies demonstrate groundbreaking satellite life-extension service”, (26 Şubat 2020), <https://news.northropgrumman.com/news/releases/northrop-grumman-successfully-completes-historic-first-docking-of-mission-extension-vehicle-with-intelsat-901-satellite>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [85] *ILS*, (2018), “International Launch Services (ILS) And Effective Space Announce The ILS Proton Breeze M Launch Of Two Satellite-Servicing Space Drone™ Spacecraft In 2020”, (12 Mart 2018), <https://www.ilslaunch.com/international-launch-services-ils-and-effective-space-announce-the-ils-proton-breeze-m-launch-of-two-satellite-servicing-space-drone-spacecraft-in-2020-2/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [86] *Effective Space*, “Pioneering last-mile logistics in space”, https://25ce73ad-d841-4d59-a48c-7f2ebabac6e1.filesusr.com/ugd/58bc6d_d6a1cc93baaf402eb47837fbc27376dc.pdf. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [87] *Altius Space Machines*, <https://www.altius-space.com/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [88] Etherington, Darrell; (2019), “Orbit Fab becomes first startup to supply water to ISS, paving the way for satellite refueling”, *Tech Crunch*, (18 Haziran 2019), <https://techcrunch.com/2019/06/18/orbit-fab-becomes-first-startup-to-supply-water-to-iss-paving-the-way-for-satellite-refueling/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [89] *Orbit Fab*, “Products & Hardware”, <https://www.orbitfab.space/products>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [90] *ULA*, (2018), “Advanced Cryogenic Evolved Stage”, (25 Mayıs 2018), https://www.ulalaunch.com/docs/default-source/upper-stages/aces-overview-25may2018-isdc.pdf?sfvrsn=c36a8a2_2. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [91] Henry, Caleb; (2019), “ULA gets vague on Vulcan upgrade timeline”, *Space News*, (20 Kasım 2019), <https://spacenews.com/ula-gets-vague-on-vulcan-upgrade-timeline/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [92] *Momentum Space*, <https://momentus.space/rides/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [93] *Space Watch Global*, “Momentum Space Aims To Offer Full Commercial In-Space Shuttle Service By 2021”, <https://spacewatch.global/2020/02/momentus-space-aims-to-offer-full-commercial-in-space-shuttle-service-by-2021/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [94] *Northrop Grumman*, “Cygnus Spacecraft”, <https://www.northropgrumman.com/space/cygnus-spacecraft/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [95] Walz, Carl; “Cygnus Beyond Low-Earth Orbit – ygy Logistics and Habitation in Cis-Lunar Space”, *NASA*, https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/03-Walz_Cygnus_Beyond_Low-Earth_Orbit.pdf. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [96] Foust, Jeff; (2019), “NASA to sole source Gateway habitation module to Northrop Grumman”, *Space News*, (23 Temmuz 2019), <https://spacenews.com/nasa-to-sole-source-gateway-habitation-module-to-northrop-grumman/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [97] *United space in Europe*, “European Service Module”, https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Orion/European_Service_Module. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [98] Mosher, Dave; (2019), “A Las Vegas hotel billionaire unveiled an inflatable space pod designed to ferry NASA astronauts to the moon and Mars — take a look inside”, *Business Insider*, <https://www.businessinsider.com/bigelow-aerospace-mars-transporter-inside-interior-pictures-photos-2019-9>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [99] *Gateway Foundation*, “Von Braun Class Station”, <https://gatewayspaceport.com/von-braun-station/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [100] Wall, Mike; (2018), “‘Luxury Space Hotel’ to Launch in 2021”, *Space.com*, (5 Nisan 2018), <https://www.space.com/40207-space-hotel-launch-2021-aurora-station.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [101] Rosenbaum, Eric; Russo, Donovan; (2019), “China plans a solar power play in space that NASA abandoned decades ago”, *CNBC*, (17 Mart 2019), <https://www.cnbc.com/2019/03/15/china-plans-a-solar-power-play-in-space-that-nasa-abandoned-long-ago.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [102] Atkinson, Nancy; (2009), “New Company Looks to Produce Space Based Solar Power Within a Decade”, *Universe Today*, (18 Şubat 2009), <https://www.universetoday.com/25754/new-company-looks-to-produce-space-based-solar-power-within-a-decade/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [103] Foust, Jeff; (2019), “The asteroid mining bubble has burst”, *The Space Review*, (7 Ocak 2019), <https://www.thespacereview.com/article/3633/1>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)

- [104] O'Connell, Cathal; (2019), "The future of in-space manufacturing", *Cosmos*, (1 Şubat 2019), <https://cosmosmagazine.com/space/the-future-of-in-space-manufacturing>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [105] NASA, (2020), "In-space Manufacturing (ISM): Pioneering Space Exploration", (Nisan 2020), <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20150016175.pdf>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [106] Brabaw, Kasandra; (2015), "Europe's 1st Zero-Gravity 3D Printer Headed for Space", *Space.com*, (30 Ocak 2015), <https://www.space.com/28418-european-3d-printer-in-space.html>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [107] Molitch-Hou, Michael; (2018), "Hybrid Metal 3D Printer from Made In Space Gets NASA Funding", *Engineering.com*, (11 Mayıs 2018), <https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/16929/Hybrid-Metal-3D-Printer-from-Made-In-Space-Gets-NASA-Funding.aspx>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [108] Iftikhar, Umair; (2019), "NASA installs Tether Refabricator aboard ISS for in-space 3D printing", *3D Printing Industry*, (11 Şubat 2019), <https://3dprintingindustry.com/news/nasa-installs-tether-refabricator-aboard-iss-for-in-space-3d-printing-148728/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [109] Chen, Xingyu; (2018), "Astroplastic: A start-to-finish process for polyhydroxybutyrate production from solid human waste using genetically engineered bacteria to address the challenges for future manned Mars missions", *bioRxiv*, (2 Nisan 2018), <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/288746v1>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [110] *Factories in Space*, (2020), "Space Manufacturing Companies", (25 Şubat 2020), <https://www.factoriesinspace.com/manufacturing-companies>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [111] *Space Zab*, <https://www.spacezab.com/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [112] *Zero G Kitchen*, <https://www.zerogk.space/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [113] Panos, Kristina; (2020), "First Space Cookies: Cosmic Cooking Is Half-Baked", *Hackaday*, (11 Şubat 2020), <https://hackaday.com/2020/02/11/first-space-cookies-cosmic-cooking-is-half-baked/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [114] Werner, Debra; (2019), "FOMS reports high-quality ZBLAN production on ISS", *Space News*, (7 Kasım 2019), <https://space-news.com/foms-reports-high-quality-zblan-production-on-iss/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [115] Klein, Jeffrey; (2020), "3D Printed Meat: Most Promising Projects in 2020", *All 3DP*, (19 Şubat 2020), <https://all3dp.com/2/3d-printed-meat-most-promising-projects/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [116] Nawrat, Allie; (2020), "Manufacturing medicines in space: how astronauts will make their own drugs", *Pharmaceutical Technology*, (23 Ocak 2020), <https://www.pharmaceutical-technology.com/features/medicines-in-space-astronauts-make-own-drugs/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [117] *Space Daily*, (2016), "UK increases investment in Magna Parva in-space manufacturing tech", (22 Eylül 2016), https://www.spacedaily.com/reports/UK_Ministry_Of_Defence_increases_investment_in_Magna_Parva_in_space_manufacturing_technology_999.html. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [118] NASA, (2020), "Archinaut One", (11 Şubat 2020), https://www.nasa.gov/mission_pages/tm/archinaut/index.html. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [119] *Congratulatory Message*, (2019), "NASA develops 3D printing factory in space", (26 Ağustos 2019), <http://www.congratulatorymessage.com/2019/08/26/nasa-develops-3d-printing-factory-in-space/>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)
- [120] McFadden, Christopher; (2020), "7 of the Most Beautiful 3D Printed Houses and Cabins", *Interesting Engineering*, (10 Ocak 2020), <https://interestingengineering.com/7-of-the-most-beautiful-3d-printed-houses-and-cabins>. (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020)





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

