



2050: BİR UZAY DESTANI UZAY ÇALIŞMALARINDA GELECEK ÖNGÖRÜLERİ



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

İngiliz yönetmen Stanley Kubrick'in 1968'de, Ay'a ilk insanlı uçuştan bir yıl önce gösterime giren filmi *2001: Bir Uzay Destanı*, insanlığın uzay serüveninde ulaşacağı teknolojik seviyeye ilişkin öngörülerini ile bugün bile pek çok kişiyi şaşırtmaktadır. Filmde 2001 yılında insanlık Ay ve Mars'ta koloniler kurmuş, uzay madenciliğine başlamış, Dünya ile koloniler arasında düzenli yük ve yolcu seferleri başlamış, Güneş Sistemi'nin diğer gezegenlerinde yeni koloniler oluşturulması için araştırmalar başlamıştır. Filmde insanlığın, robotlar, yapay zekâ, uzay motorları ve daha pek çok alanda hayli ileri gittiği de öngörülmektedir.

Kubrick öngörülerinin büyük bölümünde isabetlidir ancak takvim konusunda yaklaşık 50 yıl kadar yanlış olabilir. Yapay zekâ, robotlar, uzay araçları ve pek çok konuda ilerleme kaydedilmiştir ancak başta uzayın kolonileştirilmesi olmak üzere pek çok alanda "Bir Uzay Destanı" yaratmak için insanlığın hâlâ bir miktar zamana ihtiyacı olacağı anlaşılmaktadır. Uzay fırlatma araçları ve uzay ulaşım araçlarındaki gelişmelerin yanı sıra nano-teknoloji, katmanlı imalat, mikroelektronik, malzeme bilimi, robot teknolojisi ve diğer bilişim teknolojilerindeki ilerlemelere bakıldığında, 2050 yılına doğru uzay alanındaki genel manzaranın Kubrick'in filminden çıkmışa benzer olacağını tahmin etmek mümkündür. Bu

çalışmanın amacı da 2050 yılına kadar uzay alanında kaydedileceğine inanılan ilerlemelere ilişkin öngörülerini aktarmaktır.

STM ThinkTech olarak Haziran 2020'de sunduğumuz, "Yeni Uzay Çağı: 21'inci Yüzyılda Kozmik Rekabet" Araştırma Yazı Dizimizin^[1] birinci bölümü olan "Uzay Teknolojilerinin Geleceği"nde, önemli öngörülerde bulunmuştur. Söz konusu öngörülerin, üzerinden nispeten kısa bir süre geçmesine rağmen güncellenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Söz konusu önemli gelişmelerden biri Türkiye'de yaşanmıştır. 2018 yılında kurulan Türkiye Uzay Ajansının 2022-2026 Stratejik Planı'nda^[2] sıralanan stratejik amaçlardan biri, "ülkemizdeki uzay ve havacılık sektörünü ve ekosistemini geliştirmek ve dünyada rekabet edebilir hâle getirmek" olarak belirlenmiştir.

Uzay alanında kamunun öncülüğünde akademik kuruluşlar ve özel sektör işbirliğinde rekabetçi bir sektör yaratılması vizyonunu yansıtan bu hedefe ulaşmak için küresel uzay sektörünün hedefleri ve bu hedeflere ulaşmak için yapılan çalışmalar yakından takip edilmelidir. Bu çalışmanın bir amacı da Türkiye'nin uzayla ilgili kurum ve kuruluşlarına, uzay çalışmalarında genel eğilimler konusunda fikir sunmaktır.

Bu amaçla analizimizde, son gelişmeler, açıklanan planlar, projeler ve yol haritaları ışığında uzay ekonomisinin, 2050 yılında varacağı boyutlara ilişkin öngörüler ele alınacaktır. Analizin ilk bölümünde, gelecek 30 yılda uzay ekonomisinin ön önemli bileşenleri olan fırlatma teknolojileri, uzay araçları ve üslerinin yapımının yanı sıra uzay lojistiği, uzay turizmi, uzayda enerji üretimi ve uzay madenciliği gibi yeni alanlardaki olası gelişmelere odaklanılacaktır. İkinci bölümde, gelecek 30 yılda uzay fırlatma, yörünge araçları ve derin uzay seyahatlerinde kullanılacak araçlara ve bu araçların dayanacakları teknolojilere ilişkin öngörülere göz atılacaktır. Üçüncü bölümde ise uzay yapıları, uzay üsleri, derin uzay seyahatlerine yönelik çalışmalar ve uzay asansörü kurma girişimleri ele alınacaktır.

2. UZAY TAŞIMACILIĞINDA YENİ ÇÖZÜMLER

Uzay taşımacılığı sektörü, uzay fırlatma araçları, yük ve yolcu (astronot, bilim insanı veya turist) taşıma araçları üretimi, fırlatılması ve ilgili hizmetleri kapsamaktadır. 2050 yılına kadar, fırlatma yöntemlerine yenilerinin katılması, mevcut fırlatma yöntemlerinin iyileştirilmesi, uzay taşımacılığında kullanılan araçların çeşit ve sayısının hızla artması beklenmektedir.

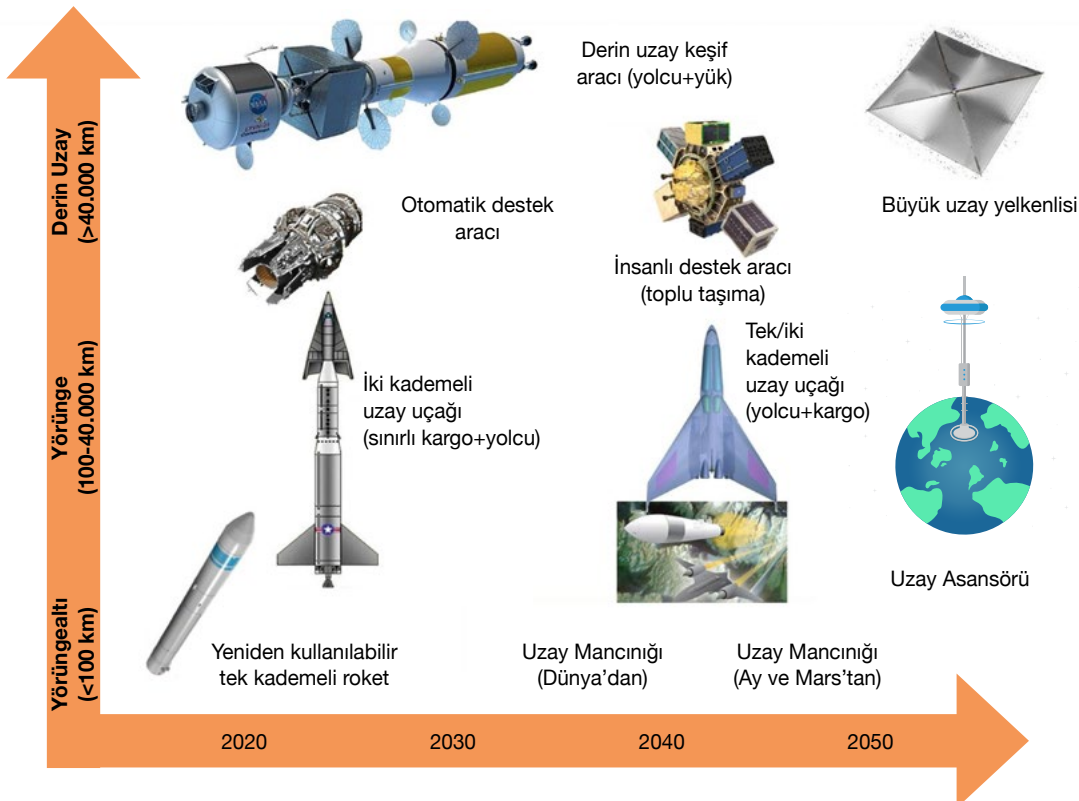
2.1 Fırlatma Yöntem ve Araçlarında Olası Değişimler

Görece düşük uzay fırlatma maliyetleri 21'inci yüzyıl uzay çalışmalarının veya "Yeni Uzayın" (New Space) temel

özelliklerinden biridir. 1970 ve 2000 yılları arasında, uza-ya yük göndermenin maliyeti nispeten sabit kalmıştır. Bu dönemde NASA'nın Uzay Mekiği programı aracılığıyla Uluslararası Uzay İstasyonu'na gönderilen kargonun kg başına maliyeti 54.500 doları bulmuştur^[4]. 2022'ye gelindiğinde bir Falcon 9 roketi kullanarak Dünya'nın alçak yörüngesine (LEO) kargo göndermek için kg başına 2.720 dolar^[5], Nisan 2022 itibarıyla sadece üç uçuş yapmış olan Falcon Heavy^[5] roketi ile fırlatma maliyetinin ise kg başına 1.410 dolar olduğu belirtilmektedir. Bir başka deyişle uzay araçlarını fırlatma maliyeti son 20 yılda en az 20 kat azalmıştır.

Fırlatma maliyetlerinin azalmasına paralel olarak; malzeme bilimi, mikroelektronik ve sensör teknolojilerindeki gelişmelerin ardından küp uyduların ortaya çıkması^[6], Dünya'nın alçak yörüngesinde uydu ve takım uydu sahibi olma maliyetini daha da aşağıya çekmiş ve talepte patlamaya yol açmıştır.

Küçük uydu pazarındaki patlamayla beraber minyatür roket üretim ve fırlatmasına yönelik projelerin sayısı hızla artmıştır. Aralarında Türkiye'nin de bulunduğu çok sayıda ülke, küçük uyduları Dünya'nın alçak yörüngesine taşımaya yetecek boyutlarda küçük roketlerin uzaya gönderilebileceği fırlatma merkezleri inşa etmek üzere harekete geçmiştir^[7]. Bu kapsamda Türkiye, Mikrouydu Fırlatma Sistemi (MUFS) projesi kapsamında 100 kg ve altındaki mikro uyduları 400 km irtifaya kadar alçak dünya yörüngesine taşımak üzere sıvı-katı hibrid roket geliştirme çalışmalarına başlamıştır. ROKETSAN tarafından geliştirilen bir roket, 2017 yılında gerçekleştirilen deneme uçuşunda 130 km irtifaya çıkmayı başarmıştır^[8].



Şekil 1: Uzay taşımacılığında 2020-2050 öngörülerini^[9].

2.1.1 Roketlerde Öncelikli Hedef Yeniden Kullanılabilirlik

Özel sektör firmalarının giderek daha fazla ağırlığını hissettirdiği fırlatma sektöründe tahrik sistemlerini çeşitlendirme yönünde girişimler bulunmaktadır. Hâlen fırlatmalarda katı yakıt roketleri kullanılmaktadır. Katı yakıt roketleri uzay çalışmalarının başlangıcından bu yana çok az değişikliğe uğramakla birlikte 21'inci yüzyıl teknolojileri onlara yepyeni bir kabiliyet kazandırmıştır: yeniden kullanılabilirlik.

Yeniden kullanılabilir roketler özel sektörün uzay çalışmalarına getirdiği bir yeniliktir. İlk başarılı örneklerini ABD'li Blue Origin ve SpaceX firmaları ile ABD-Yeni Zelanda ortaklığı Rocket Lab ortaya koymuştur.

Yeniden kullanılabilir roketler ticari başarı da göstermiştir. SpaceX firması ticari uçuşlarında, Falcon 9 roketlerinin motorlarının bulunduğu ve dolayısıyla ekonomik açıdan en önemli bölümü olan birinci kademesini yeniden kullanabilmektedir. Falcon 9 roketlerinin birinci kademesi Aralık 2015-Mart 2022 döneminde 143 kez uzaya fırlatılmış, bunların 103'ünde başarıyla yeryüzüne indirilmiştir. Aynı dönemde yeryüzüne indirilen roketler 83 kez yeniden kullanılmıştır^[9].

Diğer yeniden kullanılabilir roketler, daha mütevazı başarılar elde etmiştir. Yeni Zelanda-ABD şirketi Rocket Lab, katmanlı imalat teknolojisiyle ürettiği küçük Elektron roketlerinin birinci kademesini üç kez başarıyla yere indirmeyi başarmıştır^[10].

Yeniden kullanılabilir fırlatma araçlarının başarısı dünya genelinde ilgi uyandırmış ve benzeri araçları geliştirme çalışmalarına ilişkin duyurular art arda gelmiştir. Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency -ESA), yeniden kullanılabilir Themis roketini 2023 yılında^[11], Fransa merkezli Arianespace küçük "Maia" roketini 2026 yılında^[12], Rusya Uzay Ajansı Roscosmos "Amur" olarak da anılan yeniden kullanılabilir Soyuz-7 roketlerini yine 2026 yılında^[13], Hindistan Uzay Ajansı ISRO henüz adı konmamış yeniden kullanılabilir roketini 2030'lu yıllarda^[14] uzaya fırlatmayı planladığını açıklamıştır.

Çin'in de iki ayrı yeniden kullanılabilir roket planı bulunmaktadır: Devlete ait uzay araçları üreticisi CASC, Long March-8 roketlerinin yeniden kullanılabilir bir versiyonunu^[15], Çinli özel uzay şirketi i-Space ise Hyperbola-2 adını verdiği yeniden kullanılabilir roketi duyurmuştur^[16]. ABD merkezli özel uzay şirketi Relativity Space ise hem birinci hem de ikinci kademeleri yeniden kullanılabilir 20 ton taşıma kapasiteli "Terran 1" roketi üzerinde çalışmaktadır^[17].

2.1.2 Tek Kademeli Roketlere Doğru

2015 yılında SpaceX'in Falcon 9 roketinden bir ay önce, yeniden kullanılabilir roketiyle ilk başarılı denemeyi yaparak tarihe geçen Blue Origin'in New Shepard^[18] roketi, bir başka eğilime de öncü olmuştur. Zira New Shepard, tek kademeli bir fırlatma roketidir. Bugüne kadar 18 başarılı uçuş ve iniş gerçekleştiren New Shepard, yörünge altı turistik uçuşlar için tasarlanmış küçük bir roketdir. Yine de New Shepard'ın başarısı, uzay çalışmalarında maliyetleri

daha da düşürme arayışında olan sektör oyuncularının büyük ilgisini çekmiştir.

Açıklanan projelere göz atıldığında, tümüyle yeniden kullanılabilir roket kullanımının 2020'li yılların ikinci yarısında hızla artması beklenebilir. Örneğin Relativity Space, tümü katmanlı imalat teknolojisiyle üretilen ve tüm kademeleri yeniden kullanılabilir 20 ton taşıma kapasiteli Terran R sınıfı roketlerinin 2024 yılından itibaren uçuşlara başlayacağını bildirmiştir^[19]. Çok daha yüksek taşıma kapasiteli, tümüyle yeniden kullanılabilir roketlerin geliştirme çalışmaları da hızlanmıştır. SpaceX'in Starship'i bunlardan biridir. 120 m yüksekliğinde ve 9 m genişliğindeki muazzam boyutlara ve 100 tondan fazla yük taşıma kapasitesine sahip olan Starship'in^[20] testleri hâlen sürmektedir. Gezegenler arası yük ve yolcu taşımacılığına da uygun olacağı ileri sürülen Starship'in 2023'te Ay'a insanlı bir yolcu yapacağı ve Ay'a ilk turisti taşıyacağı belirtilmektedir^[20].

New Shepard, Terran R ve Starship, tümüyle yeniden kullanılabilen uzay araçları olmalarına rağmen birden fazla kademeye sahiptir. New Shepard'ın yapılan uçuş denemelerinde^[18] yolcular ve kargonun bulunduğu kapsül ile taşıyıcı roketler yeryüzüne ayrı ayrı inmiştir. Starship ve Terran R roketlerinin kademelerinin de aynı yöntemle yeryüzüne inmesi planlanmaktadır. Kademelerin ayrı ayrı yeryüzüne inişleri, yeniden kullanılabilir roketlerin bir sonraki misyona hazır oluş sürelerini uzatmakta ve operasyon maliyetlerini artırmaktadır.

Uzay uçuşlarının (özellikle daha çok turistik amaçlı yörünge altı uçuşlar ile alçak Dünya yörüngesine uydu yerleştirmek misyonlarının) maliyetinin daha da azaltılması için tümüyle yeniden kullanılabilir tek kademeli roketler ve uzay uçakları üzerinde durulmaktadır. Yeniden kullanılabilir tek kademeli roketler üzerinde 1990'lı yıllardan bu yana yapılan denemelerde, NASA'nın DC-X roketi^[21] gibi başarılı örneklerle rağmen, birtakım teknik ve mali sorunlar nedeniyle istenilen sonuca ulaşılamamıştır.

2.1.3 Uzay Uçakları Füzelerin Yerini Alabilir

Tümüyle yeniden kullanılabilir fırlatma araçlarında gelecek, uzay uçaklarının olacak gibi görünmektedir. Uzay uçakları, çeşitli yöntemlerle uzaya fırlatıldıktan sonra görev sonunda kanatları sayesinde herhangi bir havaalanına inebilen kanatlı uzay araçlarıdır.

Tarihte bu türün en bilinen örneği, NASA'nın Uzay Mekiği programı kapsamındaki uzay uçaklarıdır. Ancak uzay mekiklerinin, fırlatışta fırlatma roketlerinden yararlandıkları için tümüyle yeniden kullanılabilir olarak nitelenebilmeleri tartışmalıdır. NASA'nın yüksek maliyetli olmalarının yanı sıra bir dizi can kaybının yaşandığı kazaların ardından 2011 yılında uzay mekiği programına son vermesi, Yeni Uzay çağı için bir milat olarak kabul edilmektedir. Çünkü NASA'nın uzay mekiklerinin ardından fırlatma araçlarında Rusya'ya bağımlı hâle gelmesi özel havacılık şirketlerine fırsat yaratmıştır. Bunların başında gelen SpaceX'in sahibi Elon Musk ise önce yeniden kullanılabilir roketlere yönelmiş ancak 2017'de, "Gelecekte fırlatma için tümüyle yeniden kullanılabilir uzay uçaklarına yönelmemiz gerekecek" demiştir^[22].

Öte yandan SpaceX'in henüz kamuoyuna duyurulmuş bir uzay uçağı projesi bulunmamaktadır. Başarılı denemeler gerçekleştirdiği bilinen üç uzay uçağı (North American X-15^[23], SpaceShipTwo VSS Unity ve SpaceShip VSS Unity) dev uçaklardan fırlatılan yörünge altı roket motorlu uzay uçaklarıdır^[24]. Klasik uçaklar gibi pistten kalkabilen bir yörünge altı uzay uçağının denemeleri ise sürmektedir. Yeni Zelanda ve Hollanda merkezli Dawn Aerospace'in geliştirmeye çalıştığı Dawn MK-II Aurora'nın "günde birkaç kez 100 km irtifaya çıkabilecek" bir uzay uçağı olacağı kaydedilmektedir^[25]. Aynı şirket alçak Dünya yörüngesine 250 kiloya kadar uydu taşıyabilecek MK-III uzay uçağı üzerinde de çalışmaktadır.

Avrupa Birliğinin (AB) 2023'te denemelerine başlayacağı Space Rider^[26] ve ABD merkezli Sierra Nevada Corporation'ın 2022'de NASA adına Uluslararası Uzay İstasyonu'na astronot ve kargo taşımaya başlayacağını duyurduğu Dream Chaser^[27] da uzay uçağı projeleridir. Ancak her ikisi de uzaya, uzay mekikleri gibi taşıyıcı roketlerin desteğinde çıkacağı için konsept olarak tümüyle yeniden kullanılabilir olmayacaklardır.

Alçak Dünya Yörüngesi'ne (LEO) ulaştığı bildirilen iki uzay uçağı, ABD'nin Boeing X-37B^[28] ile Çin'in X-37B'ye çok benzediği ileri sürülen "yeniden kullanılabilir deneysel uzay araçları^[29]", askeri amaçla geliştirildiklerinden haklarında kamuoyuna açıklanmış çok az bilgi bulunmaktadır.

Dikkat çeken bir diğer uzay uçağı projesi Skylon'dur. İngiltere merkezli Reactions Engines'in 1989'dan bu yana üzerinde çalıştığı Skylon, SABRE motorlu, 85 m uzunluğunda, 15 tona kadar yük kapasiteli bir uzay uçağı olarak tasarlanmıştır. Skylon uzay uçağı projesi, hem ESA hem de İngiltere Uzay Ajansının (UKSA) desteğini almıştır. SABRE bir hibrid turbojet/roket motorudur. Atmosferde 25.000 m irtifaya kadar bir jet motoru görevi görmektedir ve Skylon'un hızını 5 Mach'ın üzerine çıkarabilecek güçtedir. 25.000 m'den sonra SABRE'nin kimyasal tahrik güçlü roketleri devreye girmektedir. Bu roket, Skylon'u 25 Mach hıza ulaştıracaktır^[1]. Sadece uzay çalışmalarını için değil küresel havacılık sektöründe de kullanılabilirliği belirtilen SABRE motorları üzerinde farklı ülkelerde çalışmalar sürmektedir. Reaction Engines'in roket motorunda sıvı hidrojen yerine, ondan yüzde 20 daha hafif ve daha fazla enerji üreten amonyaklı bir tahrik sistemi geliştirmek için harekete geçtiği belirtilmektedir^[30]. Boeing ve Rolls Royce tarafından da desteklenen Reaction Engines'in 2025 yılında ilk test uçuşlarına başlaması beklenmektedir^[31]. SABRE'nin ne zaman işlevsel hâle geleceği konusunda açıklama yapılmamıştır.

Görece yeni bir proje tam anlamıyla tek kademeli yeniden kullanılabilir bir uzay uçağı vadetmektedir. Bu kapsamda ABD merkezli Radian Aerospace, ABD'nin uçak gemilerinde kullandığı mançınıklara benzer kızaklı sistemle uzaya yollayacağı bir uzay uçağını tanıtmıştır^[32]. Tip olarak 2003'te uçuşlardan çekilen Concorde^[33], süpersonik uçaklarına benzeyen Radian 1 uzay uçağı, kızak-mancınıklarla yardımcıyla havalandıktan sonra roket motorları yardımcıyla Dünya'nın alçak yörüngesine ulaşacak, yük ve yolcu boşalttıktan sonra süzülerek yatay bir

yörüngeyle 3.000 m uzunluğunda pisti olan herhangi bir havalimanına inebilecektir^[32].

2.1.4 "Uzay Mancınığı" İle Fırlatma

Radian 1 için kullanılacak kızak-mancınıklar, gelecekte fırlatma maliyetlerinin daha da düşürülmesi için önerilen ve önemli ölçüde ilgi yaratmış bir konsepttir. "Elektromanyetik mançınıklar" veya "Uzay Mancınığı" olarak adlandırılan sistem, maglev (Magnetic levitation -manyetik kaldırma) trenlerinin manyetik hızlandırıcı prensibini uzay araçlarının fırlatılmasına uyarlamaktadır.

Geliştirilen projeler uzay mançınığının çalışma prensipleri hakkında fikir vermektedir. Örneğin Startram adı verilen ödüllü bir tasarımda, sürtünmeden etkilenmesi için ray üstünde manyetik olarak havaya kaldırılan uzay aracı^[34], en az 3.000 m yüksekliğindeki ve ortalama 45-55 derece eğimli bir dağa inşa edilmiş tünelde^[35] hareket ettirilerek fırlatılmaktadır. Söz konusu sistemin fırlatmadaki enerji ve operasyon maliyetlerini çok yüksek oranda düşüreceği ve fırlatma maliyetinin kg başına 50 dolara kadar inebileceği ileri sürülmektedir^[36]. Ancak söz konusu sistemin inşasının on yıllar alabileceği ve milyarlarca dolara mal olabileceği belirtilmektedir^[36].

Uzun proje süresi ve yüksek yatırım maliyeti elektromanyetik mançınıkların hayata geçmesine büyük bir engel gibi görünmektedir. Yine de ABD merkezli bir startup olan SpinLaunch'ın Temmuz 2019'da ABD Savunma Bakanlığı ile elektromanyetik mançınıklar geliştirmek için anlaşma imzaladığı belirtilmektedir^[37]. Savunma projesi olduğu için ayrıntıları açıklanmayan projenin 2030'ların ikinci yarısında tamamlanması beklenmektedir.

2.1.5 "Uzay Asansörü" Hayal Olmayabilir

Uzay asansörü, Dünya'daki bir noktadan, yaklaşık 35.000-40.000 km irtifadaki Yersabit Yörüngeye (GEO) gerilecek bir halat ile uzaya araç çıkarmayı amaçlayan, henüz kavramsal aşamadaki uzay seyahati yöntemidir. Söz konusu yöntemde, güçlü bir kablo, yaklaşık 100.000 km irtifada "karşı ağırlık" sağlayacak bir yapı ile yeryüzünde, tercihen ekvator bölgesinde bir noktaya yerleştirilecek demirleme noktasına bağlanacaktır (Şekil 2). GEO yörüngesindeki nesnelere dönüş hızı Dünya ile senkronizedir. Bu nedenle ağırlık merkezi GEO'da olacak uzay asansörünün kablosu her zaman dik açısını koruyacaktır. Dolayısıyla kablo üzerindeki bir kabin, dik bir rotada asgari seviyede enerji harcayarak yaklaşık bir hafta sürecek yolculuğu tamamlayabilecektir^[38]. Uzay asansörünü inşa etmek, Dünya'nın yerçekimini kırmak için büyük miktarda yakıtı ihtiyaç duymadan küçük roketlerin uzaydaki istasyonlardan yerleştirilmesine ve fırlatılmasına izin verecektir. Söz konusu yöntemin, hâlen 2.000-7.000 dolar^[39] arasında olan kg başına fırlatma maliyetini 200-500 dolara kadar düşürülebileceği ifade edilmektedir^[40]. Uzay asansörünün maliyet kazanımı dışında pek çok yararı olabilir^[41]:

- Uydular, uzay teleskopları, uzay istasyonları ve diğer yörünge araçları onarılabilir ve bunların bakımları yapılabilir, dolayısıyla kullanım ömürleri uzayabilir.

- Uzak asansörüne takılacak güneş panelleri ile Dünya'nın elektrik ihtiyacının bir bölümü düşük maliyetle karşılanabilir.
- Uzayda düşük yerçekimi ortamında imalat olanakları artabilir, derin uzay seyahati yapabilecek uzay araçları, dev güneş enerji santralleri, büyük yapılar imal edilebilir.
- Uzay çöpleri daha kolay ve daha düşük maliyetle temizlenebilir.
- Uzay turizmi olanakları artabilir.

100.000 km'den uzun bir kablo üzerinde yük ve yolcu gönderme fikrinin hayata geçme olasılığı düşük görünse de, bir uzay asansörü inşa etmek için bilimsel raporlar ve girişimler bulunmaktadır.

NASA için hazırlanan ve 2002'de yayınlanan bir raporda^[41] "karbon nanotüp malzemesi teknolojisi geliştiği takdirde" 2050 yılına kadar bir uzay istasyonu inşa edilebileceği ve bunun uzay çalışmalarına büyük ivme kazandıracığı belirtilmiştir. Söz konusu raporda, uzay asansörü için bir inşa yöntemi de önerilmiştir: GEO yörüngesinin ötesinden Dünya'ya uzatılacak karbon nanotüp kablo yeryüzünde sabitlenecek, daha sonra yeterli miktarda kabloyla bu hat güçlendirilebilecektir.

Karbon nanotüpler, uzun şeritler hâlinde sarılmış grafen tabakalarıdır. Araştırmalar, son derece hafif bu tür karbon nanotüplerin çelikten 100 kat daha güçlü ve

elmasın daha sert olduğunu kanıtlamıştır^[43]. Kırılmazlar ve neredeyse görünmezlerdir^[44].

Sahip olduğu özellikler karbon nanotüpleri, on binlerce km uzanacak kablunun karşılaşılabilecek çok sayıda tehlike (atmosferde patlak verecek kasırgalar, uzay çöpleri, kozmik radyasyon, meteor çarpması, terörist saldırılar vb.) karşı dirençli kılabilir. Ancak karbon nanotüpleri bir uzay asansörü inşasında kullanmak kolay olmayacaktır. Zira hâlen çok kısa karbon nanotüp şeritleri yapılabilmektedir ve rekor 360 m'dir^[45]. Uzay asansörü için ise on binlerce km karbon nanotüp gerekecektir. Kısa nanotüp şeritlerinin birbirine eklenmesi veya karbon nanotüplerle kaplı kompozitlerin kullanılması denenebilir. Ancak oluşacak kablunun gücü istenildiği kadar güçlü olmayacaktır^[46].

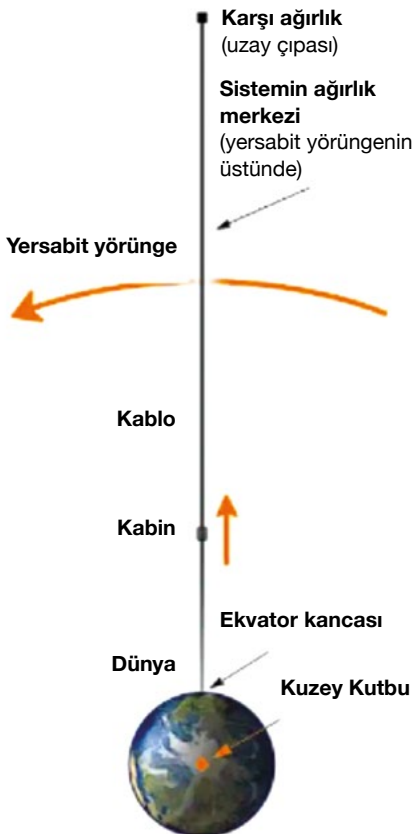
Uzak asansörü kablosu olarak kullanılabilecek uzunlukta ve dayanıklılıkta karbon nanotüp şeritleri geliştirme çalışmaları sürmektedir. Uzayda karbon nanotüp imalatı üzerinde bile durulmaktadır^[44]. Ayrıca grafen üretiminde yeni araştırmalar, bu malzemenin endüstriyel seri üretiminin yolunu açabilir. Nitekim ABD'nin Massachusetts Institute of Technology (MIT) Üniversitesi uzmanları elektronik cihazların ekranlarının cam yüzeyine elektronik devreleri yerleştirmede kullanılan R2R (Roll-to-roll) veya "makaradan makaraya" yöntemi ile "dakikada 2 m grafen lifi üretilebildiğini" bildirmiştir^[47].

Öte yandan bilim insanları uzay asansörü için alternatif malzemeler üzerinde de durmaktadır. Bunlardan biri elmas nanoipliklerdir (diamond nanothread). Elmas nanoiplikler karbondan değil elmasın yapı taşı olan benzenden yapılmışlardır. Elmas nanoiplikler karbon nanotüpler kadar ince, sağlam ve kırılmazdır. Ayrıca elmas nanoipliklerin strese dayanıklılığının karbon nanotüplerden üstün olduğu ifade edilmektedir. Üstelik elmas nanoipliklerin yapımı çok daha kolaydır^[48]. Ancak elmas nanoiplikler üzerindeki araştırmalar henüz başlangıç aşamasındadır.

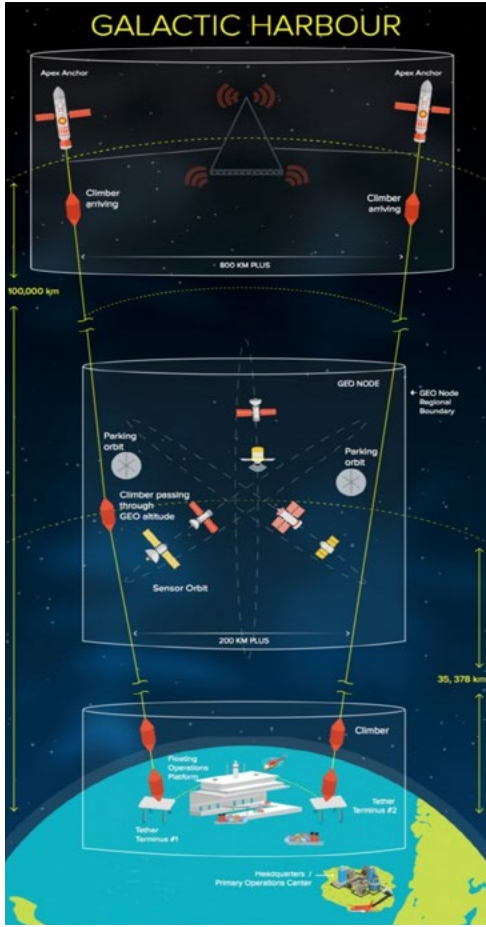
Bir diğer malzeme ise hegzagonal bor nitürdür. Pamuk şekeri hafifliğinde olmasına rağmen söz konusu malzeme yüksek termal şok direnci, yüksek ısı iletkenliği, elektriksel yalıtkanlık, kimyasal kararlılık, kayganlaşma, kolay işlenebilirlik gibi üstün özelliklere sahiptir. Kanada'da hegzagonal bor nitürden nanotüpler de geliştirilmiştir^[49]. Ancak bu malzeme için de henüz araştırma ve geliştirme çalışmalarının sürmesi gerekmektedir.

Uzak asansörleri için malzeme sorunu yaşandığına dair kuşku yoktur. Ancak bilim insanları 2050 yılına kadar gerekli malzemenin geliştirileceğine inanmaktadır. Bazı girişimciler de bu inancı paylaşmaktadır. Örneğin Kanadalı uzay ve savunma şirketi Thoth Technology Inc., "Thotx" adını verdiği bir uzay asansörü için patent almıştır. Ancak bu asansör, diğerleri gibi onbinlerce km'lik bir kablo üzerinde hareket eden bir kabin yerine, geleneksel inşaat yöntemleriyle 15 km'ye kadar ulaşması hedeflenen bir kuledir. Thoth söz konusu kulenin uzaya fırlatma maliyetlerini düşüreceğini, üzerine inşa edilecek otel ve seyir terası ile uzay turizmine katkı sağlayacağını belirtmektedir^[50]. Ancak asansörde kullanılacak malzeme ve inşaat tekniği konusu saklı tutulmaktadır.

UZAY ASANSÖRÜ



Şekil 2: Uzay Asansörü konsepti^[42].



Şekil 3: ISEC'in "Galaktik Limanları" sistemi önerisi^[55].

Bir diğer girişimin adresi ise Japonya'dır. Japonya, uzay asansörü alanına ciddiyle eğilen ülkelerin başında gelmektedir. Ülkede çok sayıda üniversitede uzay asansörü tasarımı ve malzemelerinin geliştirilmesi için çalışmalar yürütülmektedir. Hatta Shizuoka University, 2018 yılında sadece altı cm'lik bir mini uzay asansörü ile uzayda çeşitli testler gerçekleştirmiştir^[51].

Japonya'da daha iddialı bir proje inşaat şirketi Obayashi'den gelmiştir. 2050 yılına kadar faaliyete geçirmeyi planladığı bir uzay asansörü inşa etmekle ilgilendiğini açıklayan Obayashi'nin planı, manyetik lineer ile çalışan robotik arabalarla uzaya, uzunluğu 96.000 km'ye ulaşacak bir kablo çekmeyi gerektirmektedir. Şirket karbon nanoteknolojinin gelişmesi nedeniyle gerekli malzemeyi 2030 yılına kadar üretmenin mümkün olabileceğine inanmaktadır^[52].

Japonya'nın Kanagawa Üniversitesi bilim insanları ise aynı anda 30 insanı uzaya taşıyacak otonom kabinleri geliştirmek için çalışmaktadır^[53]. Japonya genelinde

üniversiteler uzay asansörünün mühendislik problemleri üzerinde çalışmaktadır ve her yıl bilgi ve önerilerini paylaşmak için yarışmalar düzenlemektedir.

Uzay asansörünün 2050 yılına kadar hayal olmaktan çıkabileceğine dair işaretler artmaktadır. Uzay asansörü projelerinde ilerlemelerin koordinasyonu, sürecin hızlanmasına katkıda bulunmak amacıyla Uluslararası Uzay Asansörü Konsorsiyumu (The International Space Elevator Consortium -ISEC) da kurulmuştur^[54]. ISEC, Dünya yörüngesinde 100.000 km'nin üzerine çıkacak iki uzay asansörünü Dünya'da "Galaktik Liman" adını verdiği (Galactic Harbour) tek noktada birleştirecek uzay asansörü sistemi üzerinde durmaktadır^[54]. Sistem temiz enerji kaynaklarını kullanacak ve mümkünse kendisi de uzayda elektrik üreterek Dünya'ya aktaracaktır^[55].

ISEC'e göre Büyük Okyanus, Atlas Okyanusu ve Hint Okyanusu'na birer Galaktik Liman kurulması hâlinde (Şekil 3) çok sayıda fayda elde edilecektir^[55]:

- Ticari kuruluşlar, araştırma kurumları ve turizm sektörüne sınırsız fırsatlar sunulacak.
- GEO yörüngesi ve ötesine yılda 170.000 ton kargo taşınabilecek.
- GEO, Lagrange noktası ve ötesinde uzay istasyonları kurulabilecek.
- Yörüngeye hızlı (saniyede 7,76 km), düzenli, güvenli, güçlü seyahat gerçekleştirilecek.
- Mars'a hızlı seyahate (61 gün) imkân tanıyacak.
- Roketlerin aksine küresel ısınmaya yol açan karbon salımı yaratılmayacak.
- Uzayda daha fazla çöp yaratılmasının önüne geçilecek.

ISEC'e göre uluslararası koordinasyon sağlanır, gerekli Ar-Ge çalışmaları yolunda giderse uzay asansörleri 21'inci yüzyılın ikinci yarısında faaliyete geçebilir.

Sadece Dünya için değil Ay ve Mars için de uzay asansörü kurulması teklif edilmektedir. Düşük yerçekimi nedeniyle Ay'a yapılacak yolculuklarda uzay asansöründen yararlanılmasının makul bir çözüm olacağı ileri sürülmektedir. Hatta daha ileri gidilerek Dünya ile Ay arasında gerilecek 400.000 km'lik bir kablo ile doğrudan bir Ay Asansörü inşasının en uygun çözüm olduğu da ileri sürülmektedir^[56]. Çin Fırlatma Araçları Akademisi (China Academy of Launch Vehicle Technology -CALT) Haziran 2022'de bir tür uzay asansörü sistemi olan "Uzay merdiveni" sisteminin Çin'in 2033'te gerçekleştirmeyi planladığı insanlı Mars yolculuğunda Mars yüzeyine inişte kullanılabileceğini açıklamış ancak ayrıntı vermemiştir^[57]. Çinli uzay yetkilileri daha önce de Uzay Merdiveni projesinden bahsetmişlerdir. İlk olarak Ay yolculuklarında kullanılması planlanan uzay merdiveninde yeryüzü ile Dünya yörüngesindeki bir uzay istasyonu arasında kurulacak nanotüp kablo üzerinde kapsüller hareket edecek, söz konusu kapsüller daha sonra Ay yörüngesindeki bir uzay istasyonuna, türü açıklanmayan bir tahrik sistemi ile gidecek ve burada yine kurulacak bir uzay asansörü ile Ay yüzeyine ulaşacaktır^[57].

2.1.6 Atmosfer Dışı Tahrik Sistemi Arayışları ve Uzay Yelkenlileri

Derin uzayda insan varlığını artırma, belki de ileride insanlı koloniler oluşturma planları, uzay yolculuklarının hızını artırıp süresini azaltma yönünde arayışları artırmıştır. Başlıca fırlatma araçları üreticilerinin planlarına göz atıldığında uzay çalışmalarının başından bu yana uzay araçlarının fırlatılmasında kullanılan kimyasal roketlerden 2050 yılına kadar da vazgeçilmeyeceği anlaşılmaktadır. Ancak NASA'nın SLS^[58], SpaceX'in Starship^[20], Blue Origin'in New Glenn^[59], ESA'nın Ariane 6, Çin'in CZ-9^[60] ve Rusya'nın Yenisei roketleri, devasa boyutları ve yük kapasiteleri ile 2020'li yılların ikinci yarısından itibaren hizmet vermeye başlayacaklar ve muhtemelen uzun süre çeşitli görevler üstleneceklerdir. Ayrıca Mars'ta donmuş buzların elektrolizi ile hidrojen ve oksijen elde edilebilecek olması^[61] veya dünyadan getirilecek bakterilerle roket yakıtı elde edilmesi yönündeki planlar^[62] bu tür roketlerin 2050'li yıllarda da kullanılabilirliğine işaret etmektedir.

Yeni nesil tahrik sistemleri arasında, 2022 yılında denenecek olan ve kimyasal tahrik sistemlerinden çok daha yüksek hızlara erişebildiği belirtilen zenon iyon motorlar (Xenon ion driver)^[63] ön plana çıkacak gibi görünmektedir.

İyon tahrik sisteminin çok daha güçlü olduğu belirtilen plazma tahrik motoru ise, kimyasal kullanmaksızın elektrik enerjisini ve mikrodalgaları kullanarak havayı plazma hâline getirmek ve bu yüksek enerjili havayı dışarı püskürtmek itiş gücü elde etmek prensibine dayanmaktadır^[64]. Çinli bilim insanlarının bu tür bir motorun prototipini geliştirdiği ileri sürülmüştür^[64]. ABD'li Astro Rocket şirketinin üzerinde çalışmalar yürüttüğü VASIMR de bir plazma tahrik sistemidir. VASIMR, yakıtı (hidrojen, helyum veya döteryum) plazmaya dönüştürmek için elektrik güç kaynağı kullanmaktadır. Elektrik alanları yakıtı plazmaya çevirmekte, oluşan manyetik alan da plazmayı motordan fırlatılırken doğru yöne yönlendirerek uzay aracı için itme yaratmaktadır^[65]. Astro Rocket, henüz geliştirme safhasındaki VASIMR'in aylar süren Mars yolculuğunu 39 güne indirebileceğini ileri sürmektedir^[66].

Bunların dışında nükleer füzyon tahrikli motorlar üzerinde de durulmaktadır. Geleneksel nükleer santrallerdekine benzer reaktörlere sahip nükleer füzyon reaktörlü roketler konusunda NASA^[67], Rusya^[68] ve Çin'den^[68] çeşitli açıklamalar gelmiştir. Söz konusu çalışmalar henüz başlangıç safhasındadır ve ne zaman sonuçlanacağına dair bir açıklama yapılmamıştır.

Derin uzay yolculukları için hiç yakıt kullanmayan tahrik sistemleri üzerinde de durulmaktadır. "Güneş yelkenleri" bunlar arasındadır. Güneş yelkeni, güneşin ışınlarının basıncını kullanarak kendisine bağlı uzay aracını hareket ettiren bir tahrik sistemidir. Güneş ışınlarının parçaları (fotonlar) yelkenin yüzeyine düşer ve çoğunlukla yansılır. Bu sırada çarptıkları noktadaki atomların enerjilerini değiştirerek bölgesel bir enerji aktarımına, dolayısıyla basınca neden olmaktadır. Bu basınç son derece düşük seviyede olmasına rağmen yeterince büyük

bir yelkeni olan bir uzay aracı, yakıt taşımadan inanılmaz hızlara ulaşabilir.

Uzay yelkenlisi teorisi yaklaşık 70 yıl önce ortaya atılmasına rağmen, uygulamasını görmek için 2010 yılını beklemek gerekmiştir. Japonya Uzay Ajansı, 2010 yılında Venüs misyonu için Güneşin Radyasyonu ile Hızlandırılmış Gezegenler Arası Uçurtma Gemisi'nin (IKAROS) 196 m²lik bir yelkenle kısa süre seyahat ettiğini açıklamıştır^[69].

IKAROS'un, buharlaştırılmış alüminyum ile kaplanmış ince poliamit filmden yapılmış yelkenine elektrik kontrolü likit kristal paneller yön vermektedir. Yelken yavaşça dönmekte ve bu paneller aracın duruşunu kontrol etmek için açılıp kapanmaktadır. Paneller açık olduklarında, ışığı yaymakta ve yelkenin o kısmına momentum transferini azaltmaktadır. Paneller kapalıysa ise yelken daha fazla ışık yansıtmakta ve daha fazla momentum aktarmaktadır. Böylece istenilen istikamete yelkeni çevirmektedirler. İnce film güneş pilleri de yelkene entegre edilerek uzay aracına güç sağlamaktadır^[70].

Ancak bir güneş yelkeni Güneş'ten uzaklaştıkça, güneş ışığı zayıflamakta ve mevcut itme kuvveti azalmaktadır. Bu nedenle derin uzay seyahatlerinde güneş enerjisi panelleri ve iyon tahrik motorlarıyla desteklenmiş güneş yelkenlilerinin kullanılması önerilmiştir. Örneğin yine JAXA'nın OKEANOS güneş yelkenlisi projesi için hibrid bir tahrik sistemi önerilmiştir. Jüpiter yakınlarındaki Trojan asteroitine yönelik keşif seyahatinde kullanılmak üzere önerilen OKEANOS, 50 m genişliğinde (toplam 2.500 m²) dev bir güneş yelkeni, küçük bir küp uzay aracı ve asteroitten örnek alacak bir indirme aracından oluşacaktır. OKEANOS, Güneş'ten uzaklaştıkça tahrik için iyon motorlarını kullanacaktır. İyon motorlarının ihtiyaç duyacağı elektrik ise yelken üzerine kaplanan ince film şeklindeki güneş pillerinden sağlanacaktır^[71].

OKEANOS önerisi henüz konsept aşamasını geçmemiştir. Uygulamaya yakınlık açısından bakıldığında, güneş yelkenlilerinin prensibinde çalışan uzay römorkları ön plana çıkmaktadır. NASA, 2010 yılında 10 m² kadar küçük bir yelkene sahip 4,5 kg ağırlığındaki NanoSail-D test güneş yelkenlisini LEO yörüngesine göndermiştir. NASA, 240 gün süren bu deney boyunca, yelken teknolojisini ve bu araçlarla LEO'daki uydu enkazlarını kaldırmamanın mümkün olup olmadığını test etmiştir^[72]. Kâr amacı gütmeyen Planetary Society tarafından geliştirilen 32 m²lik yelkenli LightSail-2 ise Haziran 2019'da LEO'ya gönderildikten sonra Mart 2022 itibarıyla uzayda 1.000 günden fazla süreyi geride bırakmayı başarmış bir güneş yelkenlisi test aracıdır ve bu açıdan uzayda en fazla kalabilmiş uzay yelkenlisidir^[73].

Başarılı örneklerin artması, bilim insanlarının, güneş yelkenlilerini uzay yük ve yolcu taşımalarının yanı sıra, yörünge lojistik operasyonlarında ciddi bir alternatif olarak görmesine neden olmuş ve bazı projeler geliştirilmiştir. Örneğin NASA 2015 yılında, derin uzay yolculuğu yapmak üzere tasarlanan Sunjammer adlı güneş yelkenlisi projesini yüklenici firma ile çıkan sorunlar nedeniyle iptal etmiştir. ESA 2013'te, kullanılmaz hâldeki uyduları yörüngeden çıkarmak için 25 m²lik bir güneş

yelkenlisine de sahip olan Gossamer uzay aracını başarıyla denemiştir^[74].

Güneş yelkenli örneklerinden birinin Haziran 2022'de uzaya fırlatılması beklenmektedir. NASA'nın geliştirdiği Yakın Dünya Asteroit Gözcüsü (NEA Scout), Artemis 1 misyonu kapsamında SLS füzesiyle uzaya fırlatılacak ve Dünya'ya yakın küçük bir göktaşını gözlemlemek üzere yola çıkacaktır. 86 m²lik bir güneş yelkeniyle hareket edecek olan NEA Scout, bir kamerayla asteroitin fiziksel özelliklerini belirlemeye yardımcı olacak fotoğraflar çekecektir^[75].

2016'da duyurulan Breakthrough Starshot projesi ise, güneş yelkenisiyle Güneş Sistemi dışına çıkılmasını hedeflemektedir. Aralarında Yuri Milner ve Mark Zuckerberg'in de bulunduğu bir grup girişimcinin desteklediği projede, üzerinde yaklaşık 12 cm²lik "Starchip" adı verilen çipler bulunan uzay yelkenlileri ile Dünya'ya 4,3 ışık yılı uzaklıktaki Alpha Centauri sistemine ulaşılması hedeflenmektedir. Starchip'in, irice bir pul büyüklüğünde olsa da, üzerinde nanoteknolojiyle küçültülmüş kameralar, ölçüm ve iletişim cihazları ile bir keşif uzay aracının tüm kabiliyetlerine sahip olacağı belirtilmektedir. Bu "nano uzay gemisinin" teorik olarak, Dünya'dan üzerine yöneltecek lazer ışınlarıyla "ışık hızının yüzde 20'si kadar hıza" ulaşabileceği ve böylece Alpha Centauri'ye 20-30 yılda ulaşabileceği de kaydedilmektedir. Ancak söz konusu çiplerin geliştirilmesinin "dünyanın en pahalı bilimsel çalışması olabileceği" de belirtilmektedir^[76].

2.2 Uzay Römorkları ve Uzayda Nakliye Araçları

Uzay faaliyetlerin artması ve çeşitlenmesiyle birlikte Dünya yörüngesinde ve ötesinde nakil ve taşıma araçlarına ihtiyaç ortaya çıkmıştır. Küçük uydu sayısının hızla artması bunların yörüngede herhangi bir kazaya yol açmaması için hassas biçimde konumlandırılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu amaçla uzay römorkları geliştirilmiştir. Ay ve Mars'a insanlı ve insansız uçuşların artması ise uzay araçlarına lojistik destek verecek ve hayat destek ünitesi gibi kullanılacak araçların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

2.2.1 Uydu Dostu Uzay Römorkörleri (Space Tugs)

Uzay römorkörleri, sahip oldukları tahrik güçleri ve manevra kabiliyetleriyle uzaya gönderilen uyduları istenilen noktaya hassas biçimde yerleştiren otonom robotlardır. Örneğin Northrop Grumman ve ThalesAlenia Space ortaklığı ile geliştirilen Cygnus, 2008'den bu yana 15 misyonda yüzlerce mikro uyduyu yörüngeye yerleştirebilmiştir. NASA adına 2014'ten bu yana Uluslararası Uzay İstasyonu'na kargo da taşıyan Cygnus, servis ve basınçlı kargo modüllerine sahiptir. Tümünüyle otonom bir uzay aracı olan Cygnus, henüz denenmemiş olmakla birlikte insan da taşıyabilmektedir.

Dikkat çeken bir diğer uzay römorkörü hizmeti Almanya merkezli Exolunch firması tarafından verilmektedir. Exolunch 2017 yılından bu yana Rus Soyuz ve Rocket Lab'ın Electron roketlerini kullanarak 200 kadar küp uyduyu ve mikro uyduyu yörüngeye

yerleştirmiştir^[77]. Exolunch römorkörleri yörüngede belli bir rotayı takip ederek uyduları istenilen noktalara konuşlandırmaktadır. Şirket 2022 yılından itibaren SpaceX Falcon 9 roketleriyle uzay römorkörü hizmeti verecektir^[78].

2.2.2 Uzay Destek Araçları Fırlatılmaya Hazır

Ay ve derin uzay çalışmalarına ve yolculuklarına destek amaçlı uzay araçları da geliştirilmektedir. Örneğin NASA'nın 2024'te başlayacağı yeni Ay programı Artemis'te ihtiyacı olacak bir "servis istasyonu" ESA tarafından geliştirilmiştir. ESA'nın Avrupa Servis Modülü'nün (European Service Module -ESM) NASA'nın Artemis 1 roketi ile Mayıs 2022'de fırlatılması beklenmektedir^[79]. ESA'nın Uluslararası Uzay İstasyonu'na kargo ulaştırmak için kullandığı Avrupa Otomatik Transfer Aracı'nın gelişmiş bir modeli olan ESM, ilk görevinde, NASA'nın derin uzay çalışmalarında kullanacağı yeni insanlı kapsül Orion ile hareket edecek ve ona su, hidrojen, nitrojen ve elektrik desteği verecektir. ESM ayrıca Orion'daki astronotlar için uygun havalandırma ve ısı kontrolünü de sağlayacaktır. ESA, ESM'yi daha sonraki Ay ve derin uzay yolculuklarında servis aracı olarak kullanmayı da planlamaktadır^[80].

ESA ayrıca Ay yörüngesine yerleştirilmek üzere büyük bir uluslararası uzay istasyonu olarak NASA liderliğindeki bir konsorsiyum tarafından planlanan The Gateway^[81] için de hizmet araçları geliştirmektedir. İlk araç I-Hab adı verilen, astronotlar için yaşam alanı sağlayacak bir modüldür. İkincisi ise ESPRIT olarak adlandırılan bir lojistik destek modüldür. ESPRIT^[82], The Gateway'in güçlendirilmiş iletişimini sağlayacak görev yüklerine, yakıt destek kabiliyetine ve Uluslararası Uzay İstasyonu'ndaki Cupola gibi gözlem yapılabilecek bir pencereye sahip olacaktır^[83].

Aslında The Gateway'in kendisi de insanlı Ay ve ilerdeki Mars yolculuklarında hizmet görececek bir lojistik istasyonu olarak tasarlanmıştır. The Gateway Ay veya daha uzaklardan gelen astronotların araç değiştirebileceği, uzay araçlarına yakıt ve diğer ihtiyaçlarını sağlayabileceği bir liman olacaktır^[84].

The Gateway'in güç ve tahrik bileşenleri Maxar Technologies tarafından geliştirilmektedir. HALO adı verilen çekirdek modül ise kontrol ve veri işleme kabiliyetleri, enerji depolama ve güç dağıtımı, termal kontrol, iletişim ve izleme kabiliyetleri ile çevresel kontrol ve yaşam destek sistemleri sağlayacaktır. Ayrıca, ziyaret araçları ve gelecekteki modüller için birkaç yerleştirme bağlantı noktasının yanı sıra bilimsel çalışma laboratuvarı ve depolama alanı da olacaktır. HALO, ABD merkezli Northrop Grumman tarafından geliştirilmektedir. The Gateway'e kargo ve diğer malzemelerin tedarikini ise SpaceX yapacaktır. The Gateway'in tahrik sistemleri ile HALO'nun Kasım 2004'te SpaceX'in Falcon Heavy roketi ile uzaya fırlatılması planlanmaktadır^[84]. The Gateway projesine NASA ve ESA'nın dışında Kanada ve Japonya'nın uzay ajansları da katılmıştır. Uzay limanının 2020'li yılların ikinci yarısında tam işlerlik kazanması beklenmektedir.

2.3 Derin Uzay Keşif ve Nakil Araçları

Uzay çalışmalarında bir sonraki yarış Mars'a insanlı bir seyahat gerçekleştirmek ve daha sonra mümkünse Mars'ta bir üs oluşturmak olacaktır. Hâlen Mars yörüngesi ve yüzeyinde ABD^[85], Avrupa (ESA)^[86], Çin^[87], Hindistan^[88] ve Birleşik Arap Emirlikleri'nin^[89] araçları bulunmaktadır. Daha önce Mars'a araçlar gönderen Rusya^[90] ile Japonya^[91] ve Güney Kore'nin^[92] Mars programları bulunmaktadır. Japonya ve Güney Kore gibi devlet aktörlerinin yanı sıra SpaceX de Mars planlarını duyurmuşlardır^[93]. Ayrıca Güneş Sistemi'nin diğer gezegenleri ve asteroit kuşaklarına da insansız seyahatler planlanmaktadır.

Gelecekte artması beklenen bu trafikte, uzun mesafeleri daha hızlı katedebilecek derin uzay araçlarının yanı sıra bunlara lojistik destek verebilecek ara istasyonlar veya eşlikçi araçlar üzerinde çalışmalar yürütülmektedir. Örneğin NASA'ya daha 2011 yılında böyle bir plan sunulmuştur. Söz konusu planda Derin Uzay Keşif Aracı (Daha sonra bu araca Orion adı verilmiştir) adı verilen seyahat aracına^[94] hizmet verecek bir "Ortak Yaşam Alanı" (Joint Habitat) da yer almıştır^[95]. Ortak Yaşam Alanı, insanlı Mars yolculuklarında bir ara durak olarak düşünülmüştür. Burada astronotlar dinlenebilecek, uzay araçlarına bakım ve yakıt desteği alabileceklerdi. Planda Ortak Yaşam alanının bilimsel laboratuvar olarak kullanılacağı ve bilim insanlarının burada uzun süre kalıp çalışma yürütebileceği de kaydedilmiştir. Söz konusu istasyon veya istasyonların Dünya yörüngesinde, Dünya ile Mars arasında bir noktaya veya Mars yörüngesinde kurulabileceği ifade edilmiştir^[95].

Çin'in Mars planlarında benzeri araç ve yapılar bulunmaktadır. Çin'in Mars yolculuğu yapacak araçları uzayda monte etmeyi planladığı, Mars yolculuğu yapan araçların öncelikle Mars yörüngesinde kurulacak bir uzay istasyonuna varacağı, söz konusu araçlardaki yük ve yolcuların bu istasyondaki iniş araçlarıyla Mars yüzeyine aktarılacağı belirtilmektedir^[96].

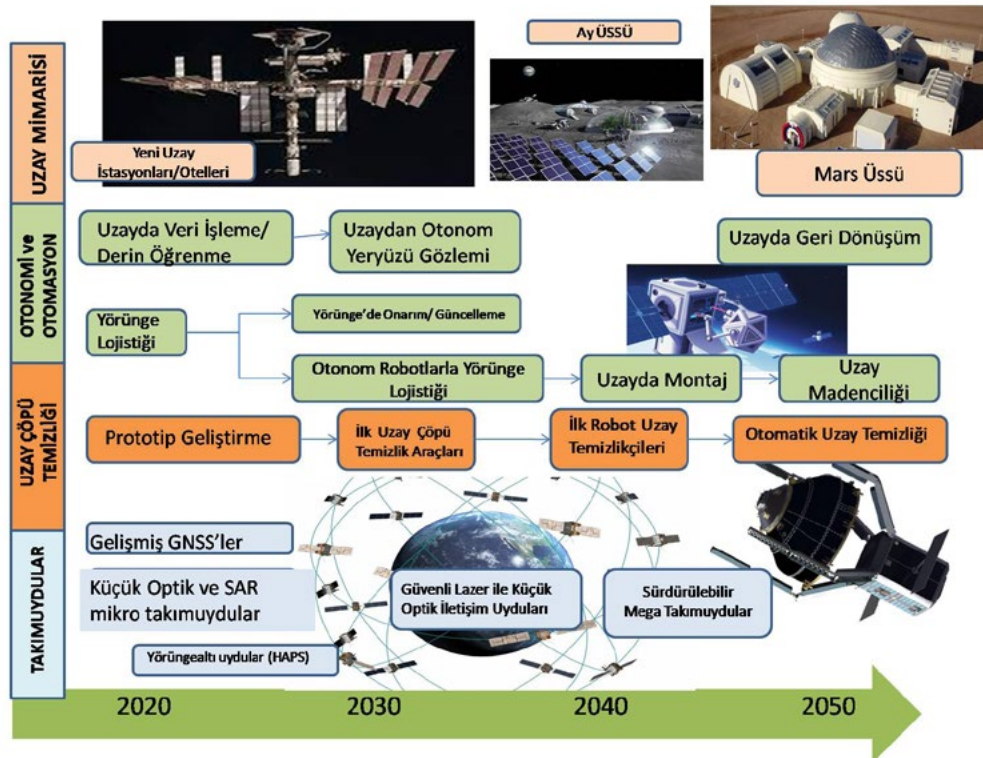
SpaceX ise kendi Mars yolculuğunda, geliştirme çalışmalarını sürdürdüğü Starship aracını kullanacaktır. Starship fırlatıldıktan sonra Dünya yörüngesine yerleştirileceği bir "yakıt istasyonundan" yakıt ikmali aldıktan sonra Mars yolculuğuna başlayacak ve araç doğrudan Mars yüzeyine inecektir.

3. YENİ UZAY FAALİYETLERİNE UYGUN ARAÇ VE YAPILAR

Uzay çalışmaları uzay ekonomisine doğru evrilirken, yeni ihtiyaçlar ortaya çıkmakta ve bunlar için yeni çözümler geliştirilmesi zorunluluk hâline gelmektedir. Mega takım uydular, Dünya yörünge ve ötesinde lojistik hizmetler, sayısı giderek artan uzay çöplerinin toplanması ve büyük uzay yapılarının inşası bunlardan sadece birkaçıdır.

3.1 Mega Takım Uydulara Doğru

Sovyetler Birliği'nin ilk uydu Sputnik 1'i uzaya fırlatmasından bugüne kadar 11.000'den fazla uydu uzaya gönderilmiştir ve bunlardan yaklaşık 5.000'i hâlen yörünge- de çeşitli irtifalarda aktiftir^[97]. Tahminler, 2030 yılına kadar 100.000'den fazla uydunun gezegenimizin yörüngesinde olabileceği yönündedir^[98].



Şekil 4: Uzayda yeni hizmetler ve bunlara uygun geliştirilmesi planlanan uzay araçları (2020-2050)^[9].

SpaceX, Amazon, OneWeb gibi çok sayıda şirket, yeryüzü geneline geniş bant internet erişimi sağlamak için binlerce uyduyu Dünya üzerinde orta ila düşük yörüngelere fırlatmayı planlamıştır. SpaceX yaklaşık 12.000 uydu, Amazon 3.236 uydu fırlatmak için onay almıştır. SpaceX, ilk 12.000 uyduya ek olarak 30.000 uydu daha fırlatmayı amaçladığını açıklarken OneWeb, 48.000 uydu fırlatma izni talep etmiştir^[99]. Çin de Gouwang internet ağını kurmak için uzaya yaklaşık 13.000 uydu yerleştirmeyi planladığını duyurmuştur^[100].

Sadece özel şirketler değil, aralarında Türkiye'nin de bulunduğu onlarca ülkenin kamu kuruluşları, akademik kuruluşları ve özel şirketleri de uzaya iletişim, yeryüzü gözlem, bilimsel araştırma ve savunma amaçlı uydu göndermektedir. Söz konusu uyduların yeryüzünün her noktasına internet ulaştırılması, okyanusların ve karadaki kaynakların anlık izlenmesi, ulaşım araçlarının takibi ve yönlendirilmesi, meteorolojik olaylar ile iklim değişikliği ve doğal felaketlerin anlık izlenmesi ve uyarı mekanizmalarının oluşturulması gibi sayısız yararı olmaya başlamıştır^[6]. ABD'nin GPS'ine karşı geliştirilen GNSS takım uyduları, giderek daha hassaslaşmakta ve hizmetleri çeşitlendirmekte, dolayısıyla hem savunmada hem de ticari alanda çığır açıcı sonuçlar doğurmaktadır^[101].

Ne var ki yörünge aşırı kalabalık hâle gelmesi beraberinde bazı sıkıntıları getirmektedir. Bunların başında, küçük ve mikro uyduların ömürlerinin kısa olması, güneş patlamalarından kolay etkilenmeleri^[102] veya birçoğunun fırlatmanın ardından çalışmaması gibi nedenlerden ötürü kısa sürede uzay çöpüne dönüşmesi gelmektedir. İkincisi, yörünge kalabalıklaşması kaza riskini de artırmaktadır^[103]. Üçüncüsü, yörüngede binlerce parlak ve elektromanyetik sinyal veren uydunun bulunması yeryüzündeki astronomi gözlem çalışmalarını olumsuz etkilemektedir^[104].

Söz konusu sorunlar için bazı çözüm yolları üzerinde durulmaktadır. Bunların başında yörünge uydularını çarpışmaya karşı manevra kabiliyetleri ile donatmak gelmektedir. Örneğin Hollandalı küp uydu üreticisi Hiber, "Hiber four" adını verdiği yeni nesil uydularını, diğer uydularla çarpışmaktan veya uzay çöplerinden korumak için tahrik sistemleri ile donatmıştır^[105].

Bir diğer seçenek ise ömrünü tamamlayan uyduların kendilerini son kez harekete geçirip uzayın derinliklerine fırlatmasını veya Dünya atmosferine girip yanmasını sağlayacak sistemlerle donatmaktır. Japonya Uzay Ajansı JAXA bu amaçla bir Japon özel şirketiyle ortak proje yürütmektedir^[106].

Uyduları uzaya değil atmosfere yerleştirmek de başka bir çözüm olabilir. Yüksek İrtifa Sözde Uydular (High Altitude Pseudo Satellites -HAPS) atmosferin stratosfer tabakasında (10.000 ila 30.000 m) konuşlandırılan sabit konumlu uydulardır. Bu konum onlara gerektiğinde daha kolay müdahale kolaylığı sağlamakta, faaliyetlerini görece sabit atmosfer koşullarında gece-gündüz yerine getirme imkânı tanımaktadır. Bazı ülke ve şirketler, internet hizmeti vermek, uzaktan algılama ve yeryüzü gözlem çalışmaları yürütmek üzere HAPS geliştirme çalışmaları yürütmektedir. HAPS, geniş bir görüş açısından istihbarat,

gözlem, keşif yapma imkânı tanıdığı ve arama-kurtarma kabiliyetlerini artırdığı için orduların da ilgi alanındadır^[107].

Uydunun stratosferde aylarca hatta yıllarca sabit kalması için çeşitli yöntemler denenmektedir. Hâlen dünya genelinde 40 kadar HAPS projesi yürütüldüğü belirtilmektedir^[108]. Helyum balonlar, zeplinler ve güneş enerjili insansız hava araçları bunlardan bazılarıdır. Google, yüksek irtifa balonu^[109], Facebook^[110] ile Boeing ise güneş enerjili insansız hava araçlarıyla^[111] denemeler gerçekleştirmiştir. Ancak söz konusu araçların uzun süre havada kalması, kalabilenlerin ise maliyetlerinin düşmesi sağlanamamıştır^[108].

Başarısız denemeler HAPS'a yönelik ilgiyi yine de azaltmamıştır. Örneğin ThalesAlenia, Fransa Savunma Bakanlığı için Stratobus adını verdiği zeplin HAPS projesi üzerinde çalışmaktadır^[112]. Lockheed Martin ise ABD Savunma Bakanlığı için bir zeplin HAPS çalışması yürütmektedir^[113]. ABD'li startup Sceye^[114], İsraili firma Atlas LTA^[115], Fransız firması Flying Whales^[116] ve Çek firması Stratosyst^[117] zeplin HAPS üzerinde çalışan diğer şirketlerdir. Çin'in de Yuanmeng adı verilen bir zeplin HAPS çalışması bulunmaktadır^[118]. Havada uzun kalma kabiliyetleri ile zeplinlerin, HAPS için en çok tercih edilen platform hâline geleceğini öngörmek mümkündür.

3.2 Çöpçü Robotlar ve Uzayda Geri Dönüşüm

21'inci yüzyılda uzay çalışmalarının patlama yapması, uzay çöpleri sorununu da beraberinde getirmiştir. Dünya yörüngesinde 130 milyondan fazla insan yapımı nesne vardır ve bunların 35.000'den fazlası 10 cm'den daha büyüktür^[119]. Gelecek yıllarda özellikle mega takım uyduların kurulmasıyla uzay çöplerinin sayısının katbekat artabileceği belirtilmektedir. Bu nedenle uzay çöplerinin toplanması ve bertarafı, uzay çalışmalarının güvenli ve sağlıklı biçimde yürütülmesi için geliştirilmesi zorunlu bir alandır.

Gittikçe daha kalabalık hâle gelen alçak Dünya yörüngesinde (LEO) çarpışma riski çok yüksektir. Özellikle LEO'daki uzay çöpleri sorununun büyüklüğüne dikkat çeken bilim insanları, herhangi bir çarpışmanın yaratacağı binlerce parçanın zincir reaksiyon hâlinde yüzlerce uyduyu daha enkaza çevirebileceğini, LEO'nun kullanılmaz hâle gelebileceğini vurgulamaktadır^[120].

Kendi çapında "dijital kıyametler" yaratabilecek kazaların önüne geçmek için çalışmalar başlamıştır. Japon start-up AstroScale'in ESA için geliştirdiği ELSA-d uzay çöpü temizleme teknoloji kanıtılaması misyonu, Ağustos 2021'de belirlenen uzay çöpü hâline gelmiş bir uyduyu yakalayarak başarı göstermiştir^[121]. ELSA-d beş test daha yapacak ve sonunda uzay çöpü yakalandıktan sonra, Dünya atmosferine yeniden döndürülerek yanarak yok edilmesi sağlanacaktır.

Bir başka Japon şirketi ALE^[122] ise uzay çöplerini yakalamak için bir tür "kement" geliştirmiştir. Şirket, herhangi bir uyduya eklenebilen ve uzayda uzatılabilen bir elektrodinamik ipele elektromanyetik alan yaratıp, uzay çöpünün yörüngesini hızla alçaltarak atmosfere girmesini sağlamayı amaçlamaktadır. ALE ayrıca elektromanyetik kement ile yakaladığı uzay çöpünü bir ağ ile sarıp

yörüngeden çıkarmaya zorladığı yeni bir çözüm üzerinde de çalışmaktadır^[123]. Her iki sistemin ne zaman deneneceği henüz açıklanmamıştır.

İngiltere'nin Surrey Üniversitesi liderliğindeki RemoveDEBRIS^[124] konsorsiyumu da bir dizi yakalama teknolojilerini denemektedir. Üniversitenin geliştirip Uluslararası Uzay İstasyonu'ndan gönderdiği RemoveDEBRIS sadece 100 kg ağırlığında, uzay çöplerini yakalamak için çeşitli araçlara sahip küçük bir küp şeklinde uzay aracıdır. Bu araçlardan biri olan zıpkın, uzay çöpünü yakaladığında zıpkın ipinin bağlı olduğu küçük bir araç RemoveDEBRIS'ten ayrılmakta ve çöpü yörünge dışına çekmektedir. RemoveDEBRIS, uzay çöplerini yakalamak için ağ ve uzay yelkenlerinden de yararlanabilmektedir. Aracın 2018'de başlayan denemeleri sürmektedir. ESA ayrıca, Alman firması HPS GmbH'in geliştirdiği Drag-Sail adı verilen ve yelkenleri ile uzay çöplerini yakalayıp atmosfere çekerek yok edilmesini sağlayacak aracı desteklemektedir^[125].

3.2.1 Çöpçü Robotlar Geliştiriliyor

Uzay çöpü temizliğinde sıradaki aşama temizleme robotlarının geliştirilmesi olacaktır. İlk robot ESA'nın da desteklediği İsviçreli bilişim ve teknoloji enstitüsü EPFL tarafından geliştirilen Clearspace-1^[126] olabilir. Girişimin sitesine göre dört robotik kolu olacak olan araç "saatte 28.000 km hızla giden bir nesneyi hassas biçimde yakalayabilecektir". Robot temizleyicinin ilk denemesinin 2025 veya 2026 yılında yapılması planlanmaktadır. Çinli Orion Space sadece 30 kg ağırlığındaki NEO-01 kod adı verilen uzay çöpü robotunu Nisan 2021'de uzaya gönderdiğini açıklamıştır^[127]. Ancak ayrıntıları paylaşılmayan söz konusu cihaz, kamuoyu ile paylaşılan tasarım çizimlerine bakıldığında, bir robottan çok ALE veya RemoveDEBRIS gibi bir temizleme aracına benzemektedir^[128].

3.2.2 Uzayda Geri Dönüşüm Planları

Uzay çöplerini atmosfere veya uzayın derinliklerine göndermek de çözüm olmayabilir. Söz konusu çöpler atmosferde veya Dünya'dan yaklaşık 40.000 km uzaklıktaki GEO yörüngesindeki değerli iletişim uydularına zarar verebilir. Ayrıca uzay çöpleri son derece değerli malzemelerden yapılmıştır. Dolayısıyla uzay çöplerinin geri dönüşümü, hem güvenlik hem de ekonomik açıdan büyük önem kazanmıştır. Bu nedenle toplanan uzay çöplerinin muhtemelen bir yörünge toplama merkezinde veya Ay'da oluşturulacak bir hurdalıkta depolanması fikri destek bulmaktadır. Geri dönüşüm uyduları, yalnızca uzayda daha fazla inşaat için hammadde sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bunu finanse etmek için gelir akışı sağlayabilir. Tahminlere göre mevcut uzay çöplerinin geri dönüşümü yılda sekiz milyar dolar ek gelir getirebilir^[129].

Bilim insanları hâlen uzayda "robot işçilerle" ve katmanlı imalat teknolojisiyle imalat yapmak için hammadde olarak yörüngedeki çöplerden yararlanmanın yollarını aramaktadır. NASA'nın Orbital Syngas/Commodity Augmentation Reactor (OSCAR) adlı yeni projesi, uzay çöpleriyle başa çıkmak için yenilikçi teknoloji geliştirmeye çalışmaktadır^[129]. OSCAR ile NASA, küçük çöp

parçalarını yüksek sıcaklıktaki bir reaktörde işleyerek, atılan malzemelerin uzun süreli, derin uzay görevlerinde yeniden kullanılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. OSCAR'ın testleri 2019'da başlamıştır.

2030 yılında uzayda "sıfır çöp" düzeyine ulaşma hedefi belirleyen ESA ise 2050 yılına kadar uzay çöplerini yeniden dönüştürmenin (recycling) ötesine geçerek bir döngüsel süreç yaratarak yeniden kullanmayı (reuse) hedeflemektedir^[130]. Her iki hedefe yönelik ilk adım, "Yörüngede Üretim, Montaj ve Geri Dönüşüm" (OMAR) çatısı altında bir girişimi başlatmıştır. Söz konusu girişim Orbit Recycling adı verilen projesiyle^[131] uzay çöplerinin toplanıp Ay'da bir geri dönüşüm merkezinde işlenmesi üzerinde durmaktadır. Bu yolla tonlarca alüminyum elde edilebileceği belirtilmektedir. Alüminyum özellikle Ay'da koloniler oluşturmada büyük önem kazanacaktır.

3.3 Uzay Lojistiğinden Uzay Madenciliğine

Yeni Uzay çalışmaları uzay ekonomisine doğru evrilirken, değer zincirinin en önemli halkalarından biri Dünya yörüngesinde ve derin uzayda yük ve yolcu taşımacılığının yanı sıra tamir bakım ve lojistik ihtiyaçlarını karşılayacak araçların faaliyete geçmesi olacaktır.

Lojistik destek uydusu, uzay aracına yakıt ikmali yapma ve uzay aracını yeniden yörüngesine oturtma yeteneğinden yörüngedeki yükseltmelere ve inceleme kadar çeşitli görevleri üstlenebilen uzay aracıdır. Söz konusu araçlar da birer uydudur ancak klasik uyduların aksine manevra ve kenetlenme gibi kabiliyetlere sahiptirler. Özel kabiliyetlerinden ötürü lojistik destek uyduları, "uzay insansız araçları" (space drones) olarak da anılmaktadır^[132].

Lojistik destek araçları, yörüngesinden sapan uyduların yeniden istenilen yörüngeye oturtulması; uydular ve yörünge istasyonlarına yakıt ve su ikmalinin yapılabilmesi; yörüngedeki araç ve istasyonlara onarım ve yedek parça desteği verilmesi; yörüngede ve derin uzaydaki istasyonlar arasında yolcu ve yük taşımacılığının yapılabilmesi gibi son derece önemli hizmetler sunmaktadır. Uzay lojistiğinin gelişmesi uyduların kullanım ömürlerini uzatacak; uzay istasyonlarında gereğinden fazla yedek parça, araç ve teçhizat tutulmasına gerek kalmayacak; uzayda daha büyük yapılar (daha büyük uzay istasyonları, aktarma istasyonları, uzay depoları, uzay güneş enerjisi santralleri vb.) kurulabilmesine imkân tanıyacaktır.

Uzayda lojistik destek ve onarım amacıyla tasarlanmış ve hayata geçmiş araçların sayısı son derece sınırlıdır. 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 takviyesinde bulunduğu, yörünge ve eğilimini düzelttiği bildirilmiştir^[133]. Şirketin ikinci uzay lojistiği aracı MEV-2 Grantos 2020'de uzaya fırlatılmış, Nisan 2021'de Intelsat-1002 uydusuna hizmet vermiştir^[133]. Northrop Grumman, 2024 yılında MRV adını verdiği gelişmiş bir robot kollu lojistik aracını uzaya göndereceğini duyurmuştur. ABD Donanması Araştırma Laboratuvarı tarafından geliştirilen RAS-1 adı verilen robot kolun,

uyduların üzerinde detaylı inceleme yapabildiği, uyduların yörüngesini düzeltebildiği, onarabildiği, devre dışı kalan uyduları toplayabildiği ve her türlü uzay aracıyla kenetlenemediği belirtilmektedir^[133]. Şirketin bir sonraki nesil uzay lojistik aracının ise Mission Extension Pods (Görev Uzatma Kapsülü -MEP) adı verilen, daha küçük ve daha düşük maliyetli araçlar olacağı açıklanmıştır. MEP'lerin, yaşanan uyduların tahrik güçlerini artırarak ömürlerini en az altı yıl artıracığı kaydedilmektedir^[133]. 2024'teki ilk uçuşunda üç MEP taşıyacak olan MRV, sonraki yıllarda ise uzaya yılda altı kapsül taşımayı planlamaktadır^[134].

NASA'nın Maxar Technologies ile geliştirdiği OSAM-1 adındaki uzay servis aracı üç adet robot kolu ile yörünge uydularının yakıt ihtiyaçlarını karşılamayı, antenlerini onarmayı ve pozisyonlarını düzeltmeyi amaçlamaktadır. İmalat aşaması Aralık 2021'de tamamlanan manevra kabiliyetine sahip yörünge destek aracının birkaç yıl içinde uzaya gönderilmesi planlanmaktadır^[135].

Yörüngede lojistik amaçlı robot uzay araçlarının geliştirilmesi, başta uydular olmak üzere pasif uzay araçlarının ömrünün uzatılmasının yanı sıra uzayda yeni yapıların inşasında da rol oynayabilir. Robot uzay araçları, katmanlı imalat gibi teknikleri kullanarak yörüngede, Ay'da veya ileride Mars'ta yapıların inşasını üstlenebilir. Bunların ilk örneklerinden biri yakında test amaçlı olarak uzaya gönderilecektir. NASA'nın desteklediği ABD'li bir start-up olan "Made-in-Space", "Archinout" adını verdiği robotik kollara ve üç boyutlu yazıcılara sahip "inşaat robotunu" 2022 yılında uzaya göndereceğini açıklamıştır^[136]. Test uçuşunda "Archinout" üç boyutlu yazıcılarını kullanarak iki inşaat kirişi inşa etmeye çalışacaktır. Bu girişler daha sonra yörüngede dev bir güneş enerjisi santrali inşasında kullanılacaktır. NASA aynı amaçla SpiderFab adı verilen bir uzay inşaat robotuna daha destek vermektedir^[137]. Archinout gibi robot kollar ve üç boyutlu yazıcılarla SpiderFab'ın tıpkı bir örümcek gibi uzayda bir km² alana yayılan yapılar inşa edebileceği belirtilmektedir. Ancak SpiderFab için denemelerin ne zaman başlayacağı henüz belirsizdir.

Uzay robotlarının sonraki aşaması ise uzay madenciliği için geliştirilenler olacaktır. Ay, Mars ve asteroidlerde başta su olmak üzere uzay faaliyetlerinin sürdürülmesi için gerekli mineral ve madenlerin elde edilmesi için robotlar ve robot sürüleri üzerinde durulmaktadır.

Ay, Mars ve asteroidlere gönderilen gezgin robotlar (rovers) ve küçük sondajlar yapabilmek dahil olmak üzere bunların giderek artan kabiliyetleri, uzay madenciliği robotlarının geliştirilmesinin imkânsız olmadığını göstermiştir. Bunlardan biri olan Çin'e ait Yutu-2 gezgini, Ocak 2019'dan bu yana Ay'ın yüzey altı jeolojisi hakkında bilgi toplamak için radar ve görüntüleme spektroskopisi gibi araçları kullanmaktadır^[138]. Japonya Uzay Ajansının Hayabusa-2 uzay aracı altı yıl süren beş milyar km'lik yolculuğun ardından Aralık 2020'de, Ryugu asteroidinden örnekler getirebilmiştir. LIDAR, optik, yakın-kızılötesi ve termal-kızılötesi kameraları kullanan Hayabusa-2, farklı yüzeylerden örnek toplamak için düşük yerçekimli arazide kısa mesafelerde gezinebilen dört küçük robotik iniş aracını fırlatmış, söz konusu robotlar asteroidin yüzeyini

ve topografyasını haritalayabilmiştir^[139]. NASA'nın OSIRIS-Rex aracının ise Ekim 2020'de Bennu asteroidinden aldığı malzemeleri 2023 yılında Dünya'ya getirmesi beklenmektedir^[140].

Çarpıcı gelişmelere rağmen uzay madenciliği yapabilen robotların geliştirilebilmesi için aşılması gereken pek çok güçlük bulunmaktadır. Robotların manevra kabiliyetleri artırılmalı; jeolojik verileri daha dikkatli inceleyebilmesi sağlanmalı ve inşaat yetenekleri geliştirilmelidir^[141]. Söz konusu kabiliyetlerin artırılması için robotik kabiliyetlerin yanı sıra özellikle yapay zekâ ve derin öğrenme teknolojilerinin daha ileri taşınması beklenecek gibi görünmektedir. Zira yeryüzünden yüz binlerce km ötedeki gök cisimlerinde madenlerin keşfi ve madencilik yapacak robot sürülerinin kontrolünün sağlanması için, öncelikle, uzay araçları üzerinde (veri depolama dahil olmak üzere) bilişim kabiliyetlerinin artırılması, ardından yörünge araçları ve yüzey robotlarının derin öğrenme destekli yapay zekâlarının ve bilgisayarlı görü sistemlerinin geliştirilmesi gereklidir^[142].

İhtiyaç duyulan sistemlerin geliştirilmesi için çalışmalar sürmektedir. 2009 yılında kurulan dünyanın ilk asteroid madenciliği şirketi Planetary Resources, Arkyd adını verdiği ve ileride asteroidlere inerek maden çıkaracağı belirtilen uzay platformunun dijital kontrol sistemleri ve uçuş sistemlerini denemeye devam etmektedir^[143]. Çinli özel uzay şirketi Origin Space ise, NEO-1 adını verdiği uzay madenciliği robotunu 2021 yılında denemeye başlamıştır. 2045 yılına kadar uzay madenciliğine başlamayı hedefleyen Origin Space'in, sadece madencilik robotlarını değil, asteroidlerin maden kaynaklarını gözlemlemek için bir uzay teleskobunu da uzaya göndermesi beklenmektedir^[144].

2025'te Ay'da madenciliğe başlamayı planlayan NASA ise^[145], Ay yüzeyinde basit maden kazısı yapabilecek, hatta yapılar inşa edebilecek bir robot sürüsü geliştirmek için Arizona Üniversitesinden bir araştırma ekibine 500.000 dolar destek vermiştir^[146]. Robotlar ve robot sürüleri uzay madenciliğinin vazgeçilmez araçları olacak gibi görünmektedir.

Japonya merkezli özel uzay şirketi iSpace^[147] ise hedeflerinin önce 2022 yılında "Ay'a iniş yapan ilk özel şirket olmak", ilerleyen zamanlarda ise "Maden ve diğer kaynakları aramak üzere Ay yüzeyine gezgin sürüleri (rover swarms) göndermek" olduğunu açıklamıştır. Dünya'daki madencilik, petrol ve doğalgaz sektörlerine yönelik robotlar geliştiren ABD merkezli Honeybee Robotics^[148], uzay madenciliği için de robot geliştirmek üzere harekete geçmiştir.

Uzay endüstrisi, teknolojik gelişme ilerledikçe ve maliyetler azaldıkça büyümeye devam etmektedir. Bununla birlikte, uzay robot teknolojisindeki gelişmelere ve uzaydaki denemelerin artmasına rağmen, uzay kaynaklarının ticari olarak işlenmesi için on yıllar beklemek gerekecektir.

3.4 Uzay Mimarisi

Dünya yörüngesi ve derin uzayda artan faaliyetler, insanlı ve insansız misyonların süresini uzatmaktadır. Uzay



madenciliği, uzay turizmi, Ay ve Mars trafiğinin artması Dünya yörüngesi ve ötesinde kalıcı yapıların varlığını gerektirmektedir. Söz konusu yapılar, enerji, ulaşım, gıda, su, sağlık ve diğer tüm temel ihtiyaçları karşılayacak karmaşık yapılar olmak zorundadır. Geniş kaynaklar gerektiren ve zaman alan bu projelerin hayata geçirilmesi için uluslararası işbirliği arayışları sürmektedir.

3.4.1 Yeni Uzay İstasyonları

Uzay istasyonları, alçak Dünya yörüngesine (LEO) konuşturulan, çeşitli amaçlar (laboratuvar, depo, enerji, yaşam alanı, gözlem vb.) için kullanılacak modüllerden oluşan uzay yapılarıdır. Sovyetler Birliği'nin MİR Uzay İstasyonu'nu uzaya gönderdiği 1986 yılından bu yana uzay istasyonları uzayda sürekli insan varlığını sağlamaktadır. MİR görevini 2000 yılında Uluslararası Uzay İstasyonu'na (ISS) bırakmıştır. Rusya, ABD, Avrupa (ESA), Japonya ve Kanada'nın ortaklığında yaklaşık 100 milyar dolar maliyetle^[149] kurulan ISS, binlerce bilimsel çalışmanın yürütüldüğü son derece önemli bir uzay yapısı olmuştur. Ancak ISS ömrünü 2031 yılında tamamlayacaktır^[150]. ISS'in ortakları (NASA, ROSCOSMOS, ESA, JAXA ve CSA) yeni uzay istasyonları kurmak için harekete geçerken, Çin kendi uzay istasyonunu kurmaya başlamıştır.

NASA, LEO'da yeni bir uzay istasyonu inşa edilecekse bunun sadece devlet kurumları ve üniversitelerin değil, özel sektör kuruluşlarının da kullanımına açık olmasını istemektedir. Bu amaçla 2021 yılında üç konsorsiyuma bir LEO üssü projesi geliştirmesi için toplam 415,6 milyar dolar teşvik vermiştir^[151].

NASA'nın destek verdiği projelerden biri, ABD merkezli uzay şirketi Blue Origin'in Orbital Reef projesidir. Uluslararası Uzay İstasyonu gibi modüllerden oluşacak olan Orbital Reef, ticari işletmelere açık bir uzay üssü olarak tasarlanmıştır. Boeing, Redwire Space, Sierra Space, Genesis Engineering Solutions ve Arizona Eyalet Üniversitesi'nin destek verdiği, en az bir milyar dolar maliyetli olacağı belirtilen Orbital Reef'in 2030'lu yıllarda 10 kişi kapasiteli olarak faaliyete geçmesi planlanmaktadır^[152].

Nanoracs'ın Lockheed Martin ortaklığıyla geliştireceğini bildirdiği NASA destekli StarLab da hem bir laboratuvar hem de ticari kullanıma açık bir uzay istasyonu olarak tasarlanmıştır. Dört astronot için tasarlanan ve kullanılmış uzay roketi kademeleri kullanılarak inşa edilecek^[153] olan Star Lab, Uluslararası Uzay İstasyonu'na eşdeğer güce, hacme ve faydalı yük kapasitesine sahip olacaktır^[154]. Ayrıca çok sayıda kenetlenme modülü ile büyümeye açık bir mimariye sahip olacaktır. Starlab, Lockheed Martin tarafından tasarlanan ve inşa edilen büyük bir şişirilebilir yaşam alanı, metalik bir yerleştirme modülü, bir güç ve tahrik birimi, kargo ve yüklere hizmet etmek için bir robotik kol, araştırma, bilim ve üretim yeteneklerine ev sahipliği yapacak bir laboratuvar içerecektir. Maliyeti konusunda bilgi bulunmayan Starlab'ın çekirdek modülünün 2027 yılında yörüngeye gönderilmesi planlanmaktadır^[155].

NASA'nın desteklediği üçüncü proje ise Northrop Grumman'ın henüz adı konulmamış uzay istasyonudur. Northrop Grumman'ın 15 yıl asgari ömürlü tasarımı, ilk etapta bilim, turizm ve endüstriyel deneylerde kullanılacaktır. Ayrıca ileride istasyonun "altyapı inşaatı" kabiliyetlerine sahip olacağı da kaydedilmektedir^[156].

NASA söz konusu üç yeni uzay istasyonu projesinin yanı sıra ileride bir başka özel uzay istasyonu kurulmasına yol açacak bir projeyi daha desteklemektedir. Axiom Space, Uluslararası Uzay İstasyonu'na yeni bir modül geliştirmek üzere NASA'dan 140 milyon dolar destek almıştır^[157]. Axiom Space, 2020'de ISS için 2024-2025 ortasına kadar en az bir yeni modül inşa etmek için bir sözleşme imzalamıştır. Axiom, zamanı geldiğinde bileşenlerini ayıracağını ve yeni bir istasyon için diğer parçalarla yeniden yapılandıracağını açıklamıştır^[151]. Axiom Station adı verilecek olan uzay üssünün, ISS'e göre çok daha düşük maliyetle inşa edileceği, başlangıçtaki ilk dört modülün toplam maliyetinin üç milyar dolar olacağı belirtilmektedir^[157].

JAXA, ESA ve CSA, Uluslararası Uzay İstasyonu'ndan sonra kendi uzay istasyonlarını kurma planı açıklamışlardır. Ancak NASA'nın Ay yörüngesine kurmayı planladığı Gateway Üssü projesine katılmışlardır. Bölüm 2.2.2'de aktarıldığı üzere Gateway, bir lojistik üs olarak tasarlanmıştır. Ancak Gateway, üzerinde sürekli insanlı çalışmaların yürütüleceği bir uzay laboratuvarı olarak da görev üstlenecektir. Üs, Ay yüzeyine yapılacak ziyaretler için hazırlık noktası olarak görev üstlenecek, Ay'ın uzaktan gözlemlenmesi için yörüngesel bir platform sağlayacak ve Ay kayalarını analiz etmek ve diğer bilimsel çalışmaları yürütmek için laboratuvar olarak kullanılacaktır^[84].

Gateway, NASA'nın Ay'a insanlı uçuşları yeniden başlatacağı Artemis programının da kritik bileşenidir. Artemis Programı kapsamında Mayıs 2022'de NASA'nın 111,2 m uzunluğundaki dev Uzay Fırlatma Sistemi (SLS) roketi ilk kez Orion uzay aracını insansız olarak fırlatacaktır. 2024 yılında ise bu kez insanlı uçuş için yeni bir SLS fırlatılacaktır. Orion ile Ay yolculuğuna çıkacak astronotlar önce Gateway'de konaklayacak, temel yaşam desteği alacaklardır. Gateway, Orion uzay aracını güçlendirmek ve mürettebat üyelerini desteklemek için komuta, kontrol ve veri işleme yetenekleri, enerji depolama ve güç dağıtımı, termal kontrol, iletişim ve izleme yetenekleri ile çevresel kontrol ve yaşam destek sistemleri sağlayacaktır^[84].

Rusya ise 2021 yılında kendi uzay istasyonunu beş veya altı yıl içinde LEO'ya göndermeyi planladığını açıklamıştır. Söz konusu uzay istasyonunun adı açıklanmadığı gibi tasarımı konusunda da çok az ayrıntı paylaşılmıştır. ROSCOSMOS tarafından yapılan duyuruda, Rusya'nın kendi uzay üssünün "Uluslararası Uzay Üssü kadar büyük olmayacağı ancak ondan daha verimli olacağı" belirtilmiştir. Ayrıca astronotların uzay yürüyüşü yapmasına gerek kalmaması için "Dış yüzeyinde çalışan robotlar olacağı" kaydedilmiştir. Rusya, istasyona hizmet vermek üzere Zeus adı verilen "nükleer tahrikli" uzay römorklarının da hizmete başlayacağını duyurmuştur^[158]. ROSCOSMOS'a göre 22 ton ağırlığında bir nükleer reaktöre sahip Zeus sadece yörüngede lojistik amaçlarla kullanılmayacak, 2030'lu yıllarda Jüpiter ve diğer gezegenlere yolculuk yapabilecek bir derin uzay yolcu gemisinin prototipini de oluşturacaktır^[159].

NASA ve Rusya projeler üzerinde çalışırken Çin, kendi uzay üssünü tamamlamak üzeredir. Çekirdek modülü

2021 yılında gönderilen ve insanlı misyonu başlayan Tiangong Uzay Üssü'nün tüm modüllerinin 2022 yılı sonuna kadar tamamlanması planlanmaktadır^[160]. Uluslararası Uzay İstasyonu'ndan biraz daha küçük olan Tiangong, bilimsel çalışmaların yanı sıra ticari araştırmalara da açılacaktır^[160].

2010'lu yıllarda uzay çalışmalarında hamle yapan Hindistan da kendi LEO üssünü açıklamıştır. Hindistan, 2023'te LEO yörüngesine ilk insanlı uçuşu gerçekleştirmeye hazırlanırken, 2030'lu yıllarda bir uzay istasyonu kurmayı planladığını da açıklamıştır^[161].

3.4.2 Ay ve Mars'ta Yüzey Üsleri Planları

Uzay çalışmalarının öncü oyuncularını 2050 yılına kadar Ay ve Mars'ta kalıcı üsler oluşturmak için projeler yürütmektedir. İlk adım, bekleneneği üzere Ay'da kalıcı üsler kurmak olacaktır. Ay'a seyahatler uzay çalışmalarının erken safhasında başlamış olmasına rağmen yakın tarihlere kadar burada kalıcı yapılar oluşturulmasına ilişkin girişimler kısıtlı kalmıştır. Uzay ajansları ve bazı özel girişimler Ay'da sürdürülebilir insan faaliyetini mümkün kılacak tesisler kurma planları önermektedir.

Ay Köyü (The Moon Village), önerilerden biridir. İlk kez 2015'te ESA'da görev yapan bir bilim insanı tarafından önerilen Uluslararası Ay Köyü, kavramsal olarak herhangi bir uzay ajansı veya özel girişime ait olmayacak, ancak devletler ve özel şirketler, oluşturulacak standartlar ve ihtiyaçlar hiyerarşisine göre uluslararası bağımsız bir komisyonun gözetiminde Ay'da birbirine eklenilebilen yapılar ve altyapılar oluşturulabilecektir. ABD, ESA ve Çin'in yanı sıra Blue Origin gibi özel şirketler plana ilgi göstermiş ve Ay Köyü için Viyana'da bir sekreteryaya oluşturulmuştur^[162]. Ancak projenin ne zaman hayata geçeceği belirsizliğini korumaktadır.

Rusya Uzay Ajansı ROSCOSMOS, 2010'lu yılların başında "Lunny Poligon" adında tamamen robotik bir ay üssü planlamıştır. Plana göre Lunny Poligon, bilimsel araştırmalar ve Ay minerallerinin araştırılması ve madencilik gibi Ay'daki endüstriyel faaliyetlerin denemesi için kullanılabilir. Proje 2020 için planlanmış, ancak daha sonra 2030'lu yılların ikinci yarısına ertelenmiştir^[163]. Öte yandan Rusya, Mart 2021'de Uluslararası Ay Araştırma İstasyonu'nun (ILRS) ortak inşaatı için Çin ile bir mutabakat zaptı imzalamıştır.

ILRS, 2020'de Çin'in önerdiği Ay'da ortaklaşa üs kurulması planıdır. ILRS, enerjisi, ulaşımı, Ay kaynaklarının kullanımı dahil olmak üzere bilimsel, ticari ve turistik bir Ay üssü planı olarak tanımlanmaktadır. Proje üç aşamadan oluşmaktadır: Keşif (2021-2025), inşaat (2030-2035) ve kullanım (2035 sonrası)^[164].

Ay'ın yüzeyine ve yörüngesine yapılacak uzun ve kısa görevleri desteklemeyi amaçlayan ILRS için beş tesis ve dokuz modül planlanmaktadır. Bunlardan biri Dünya ile Ay arasında gidiş-dönüş transferini, ay yörüngesini, yumuşak inişi, ay yüzeyinde kalkışı ve Dünya'ya yeniden girişi destekleyecek bir "Ay Limanı"dır. Yüzeyde uzun vadeli bir destek tesisi, bir komuta merkezi, enerji ve tedarik modülleri ve termal yönetimi içerecektir. Çin ve Rusya'nın ILRS projesine uluslararası uzay aktörlerini

davet broşüründe^[164], iki ülkenin her aşamada farklılaşan ve kabiliyetleri artan bir dizi fırlatma aracı ve Ay keşif araçlarını Ay'a göndereceği anlaşılmaktadır.

Çin'in Ay'ın kaynaklarını kullanma vurgusu, uzay çalışmalarının 2050'ye kadar seyri açısından önem taşımaktadır. Başta su ve "geleceğin enerji kaynağı" olarak sunulan Helyum-3 izotopu^[165] olmak üzere Ay kaynaklarının verimli biçimde kullanılabilirdiğinin ispatlanması hâlinde 2050'de Mars'ta bir insan kolonisinin kurulması hayalinin gerçekleşmesi de mümkün olabilecektir. Zira Kızıl Gezegen'de bir koloni kurmak için öncelikle su ve enerji kaynaklarının çıkarılması gerekmektedir. Bu gelişim için bilim insanlarının öngörülleri ise 2050 ve sonrasıdır^[166]. Öte yandan NASA, yüzeyinde olmasa da Mars yörüngesinde bir üs inşa etmeyi planlamaktadır. Tasarım ve geliştirme çalışmaları Lockheed Martin tarafından yapılan "Mars Base Camp" adı verilen üs, Mars ve uydularını ziyaret edecek astronotlar için bir aktarma istasyonu, Orion gibi NASA derin uzay araçları için ise lojistik destek merkezi görevi görecek^[167]. Lockheed Martin'in, 2030 yılında Mars'a insanlı uçuş yapılabilmesi için Mars Base Camp'ı 2028 yılında uzaya göndermeyi planladığı belirtilmektedir^[168].

4. SONUÇ

2050 yılına kadar uzay çalışmalarında öngörülen eğilimler, uzay alanının zaten karmaşık olan dinamiklerinde ve uzay ekonomisinin doğasında önemli bir genişleme ve değişime işaret etmektedir. Yeni fırlatma araçları ve yöntemleri geliştirilecek, fırlatma ve ilgili tüm maliyetler düştükçe mega takım uydular, Ay ve Mars yolculukları, uzay turizmi, uzay madenciliği ve düşük yerçekimli ortamda bilimsel çalışmaların maliyetleri de düşecektir. Alçak Dünya yörüngesi ve ötesinde lojistik faaliyetler başlayacak, uydular ve uzay üslerinin tamir ve bakımı

yapılabilecek, uzay çöpleri toplanıp geri dönüştürülebi- lecek, Ay ve Mars'a yolculuk yapan araçların ihtiyaçları karşılanabilecektir. Uzayda yapıların ve araçların üretim ve montaj faaliyetlerinin başlamasıyla derin uzayda yolculuk yapabilecek büyük araçlar, uzay istasyonları, yörüngede büyük güneş enerjisi santralleri, uzay otelleri, Ay ve Mars yüzeyinde üsler inşa edilebilecektir.

Öngörülleri gerçekleşirse, 2050'deki uzay faaliyetlerinin Dünya'ya katkısı büyük olacaktır. Mega takım uydular Dünya'nın her noktasına yüksek kaliteli internet hizmeti sağlayacak, uzaktan algılama uydu sistemleri küresel ısınma nedeniyle tükenmeye yüz tutan Dünya kaynaklarının verimli kullanılmasına yardımcı olacaktır. Kilometrelerce alana yayılabilecek uzay güneş enerjisi santralleri Dünya'nın enerji sorununu hafifletecek, uzay madenciliği Dünya'da az bulunan maden ve mineralleri küresel ekonomiye kazandıracaktır.

Elbette uzay pazarının büyümesi uzay aktörleri arasında paylaşım sorunları yaratabilir, siber terör uzaya taşınabilir, uzay çöpleri dijital kıyametler yaratabilir ve öngörülemeyen pek çok sorun ve tehdit ortaya çıkabilir.

Askeri veya ticari alanda rekabet hâlinde olan bazı ülkelerin uzay çalışmalarında dayanışma ve işbirliği içinde bazı çalışmalar yapmaları da önemli bir husus olarak değerlendirilmiştir.

Yine de ulusların, halklarına güvenlik ve refah sağlamak için uzay tabanlı hizmetlere giderek daha fazla bağımlı hâle geleceği bugünden görülmektedir. Gelecek 30 yılda uzay ekonomisi, bu alanda faaliyet gösteren kamu veya özel sektör oyuncularına önemli fırsatlar sağlarken, bu yarışta geri kalanlara telafisi güç dezavantajlar yaratabilir. Dijital uçurumda olduğu gibi bir uzay uçurumu, Dünya'da mevcut sosyo-politik ve ekonomik dinamikleri kökten değiştirebilir. Bu nedenle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin uzay çalışmalarının giderek artan bir ivme ile hızlandırılması gereklidir.

KAYNAKÇA

- [1] *STM ThinkTech*, (2020), "YENİ UZAY ÇAĞI: 21'İNCİ YÜZYILDA KOZMİK REKABET I - Uzay Teknolojilerinin Geleceği", (4 Haziran 2020), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1608904081_stm-yeni-uzay-cagi-1.pdf?v=1645660800018. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [2] *Türkiye Uzay Ajansı*, "2022-2026 Stratejik Plan", http://www.sp.gov.tr/upload/xSPStratejikPlan/files/UUwD2+TUA-Stratejik_Plan_2022-2026_.pdf. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [3] *The Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, (2019), "JSASS Space Vision 2050", (Mart 2019), https://www.jsass.or.jp/webe/wp-content/uploads/2019/05/JSASS_SpaceVision2050_20190313.pdf. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [4] Jones, Harry; (2018), "The Recent Large Reduction in Space Launch Cost", *Texas Tech University*, (8 Temmuz 2018); <https://ttu-ir.tdl.org/handle/2346/74082>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [5] *SpaceX*, "Capabilities & Services", <https://www.spacex.com/media/Capabilities&Services.pdf>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [6] *STM ThinkTech*, (2019), "Küçük Uydular ve Başarı Potansiyelleri", (22 Şubat 2019), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/kucuk-uydular-ve-basari-potansiyelleri>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [7] *TRT Haber*, (2021), "Cumhurbaşkanı Erdoğan: Mikro uydu fırlatma tesisi kuruyoruz", (8 Ocak 2021), <https://www.trthaber.com/haber/gundem/cumhurbaşkanı-erdogan-mikro-uydu-firlatma-tesisi-kuruyoruz-545457.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [8] İspir, Hatice; (2020), "Türkiye sıvı yakıtlı roket teknolojisinde ilk uzay denemelerine başlıyor", *Defence Türk*, (30 Ağustos 2020), <https://www.defenceturk.net/turkiye-sivi-yakitli-roket-teknolojisinde-ilk-uzay-denemelerine-basliyor>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [9] *SpaceX*, "FALCON 9", <https://www.spacex.com/vehicles/falcon-9/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [10] Wall, Mike; (2021), "Rocket Lab fishes Electron booster out of the sea (photos)", *Space.com*, (20 Kasım 2021), <https://www.space.com/rocket-lab-recovered-electron-booster-photos>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [11] *European Space Agency*, (2020), "ESA plans demonstration of a reusable rocket stage", (15 Aralık 2020), https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/ESA_plans_demonstration_of_a_reusable_rocket_stage. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [12] Berger, Eric; (2021), "Concerned about SpaceX, France to accelerate reusable rocket plans", *ars TECHNICA*, (12 Temmuz 2021), <https://arstechnica.com/science/2021/12/france-seeks-to-build-reusable-rocket-make-up-for-bad-choices-in-the-past/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [13] Wall, Mike; (2020), "Russia planning to go reusable in 2026 with new Amur rocket", *Space.com*, (14 Ekim 2020), <https://www.space.com/russia-announces-reusable-rocket-amur>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [14] Gohd, Chelsea; (2021), "India plans to build reusable rockets in the next decade (report)", *Space.com*, (7 Ocak 2021), <https://www.space.com/india-plans-reusable-rockets-for-2020s>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [15] Jone, Andrew; (2020), "China prepares to launch new rockets as part of push to boost space program", *Space.com*, (14 Şubat 2020), <https://www.space.com/china-space-program-new-long-march-rockets.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [16] Jones, Andrew; (2021), "China's iSpace advances with IPO plans, reusable launcher landing leg tests", *Space.com*, (19 Ocak 2021), <https://spacenews.com/chinas-ispac-advances-with-ipo-plans-reusable-launcher-landing-leg-tests/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [17] Etherington, Darrell; (2021), "Relativity Space unveils plans for a new, much larger and fully reusable rocket", *Tech Crunch*, (26 Şubat 2021), <https://techcrunch.com/2021/02/26/relativity-space-unveils-plans-for-a-new-much-larger-and-fully-reusable-rocket/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [18] *Blue Origin*, "New Shepard", <https://www.blueorigin.com/new-shepard/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [19] *Relativity*, "100X LESS PARTS", <https://www.relativityspace.com/rockets>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [20] *SpaceX*, "Starship SN15", <https://www.spacex.com/vehicles/starship/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [21] *Astronautix*, "Part of Delta Clipper", <http://www.astronautix.com/d/dc-x.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [22] Inverse, "SINGLE-STAGE-TO-ORBIT: HOW THE HOLY GRAIL OF SPACEFLIGHT COULD SOON BECOME REALITY", <https://www.inverse.com/innovation/single-stage-to-orbit>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [23] *Space.com*, (2013), "Photos: X-15 Rocket Plane Reaches Space in Test Flights", (29 Nisan 2013), <https://www.space.com/20876-x-15-rocket-plane-photos.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [24] Gohd, Chelsea; (2021), "Virgin Galactic launches Richard Branson to space in 1st fully crewed flight of VSS Unity", (11 Temmuz 2021), <https://www.space.com/virgin-galactic-unity-22-branson-flight-success>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [25] *Dawn Aerospace*, "Dawn Mk-II Aurora", <https://www.dawnaerospace.com/dawn-mkii-aurora>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [26] *European Space Agency*, (2021), "Announcement of opportunity to fly payloads on ESA's Space Rider", (26 Ekim 2021), https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Space_Rider/Announcement_of_opportunity_to_fly_payloads_on_ESA_s_Space_Rider. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [27] *Sierra Nevada Corp*, "Dream Chaser® - America's Spaceplane®", <https://www.sncorp.com/what-we-do/dream-chaser-space-vehicle/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [28] *Boeing*, "X-37B", <https://www.boeing.com/defense/autonomous-systems/x37b/index.page>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [29] Jones, Andrew; (2020), "China carries out secretive launch of 'reusable experimental spacecraft'", (4 Eylül 2020), <https://spacenews.com/china-carries-out-secretive-launch-of-reusable-experimental-spacecraft/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [30] Blain, Loz; (2021), "Reaction Engines assembles partners for its ammonia aviation project", *New Atlas*, (8 Kasım 2021), <https://newatlas.com/aircraft/reaction-engines-ammonia-aviation/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [31] *Daily Mail*, (2018), "Skylon spaceplane that will take tourists into orbit at five times the speed of sound could be a reality by 2025 after getting £26 million in funding", (12 Ekim 2018), <https://www.dailymail.co.uk/science-tech/article-5607485/Skylon-spaceplane-reality-2025-following-25m-banking-Boeing-Rolls-Royce.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [32] *Radian Aerospace*, <https://www.radianaerospace.com/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [33] *History*, "The Concorde makes its final flight", <https://www.history.com/this-day-in-history/the-concorde-makes-its-final-flight#:~:text=The%20supersonic%20Concorde%20jet%20makes,Airport%20on%20October%2024%2C%202003>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [34] Dodson, Brian; (2012), "Startram - maglev train to low earth orbit", *New Atlas*, (9 Mart 2012), <https://newatlas.com/startram-maglev-to-leo/21700/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [35] *Wikipedia*, "Rocket sled launch", https://en.wikipedia.org/wiki/Rocket_sled_launch. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [36] Zyga, Lisa; (2012), "Maglev track could launch spacecraft into orbit", *Phys.org*, (13 Mart 2012), <https://phys.org/news/2012-03-maglev-track-spacecraft-orbit.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [37] O'Callaghan, Jonathan; (2019), "This Startup Wants To Use A Hypersonic Catapult To Throw Satellites Directly Into Space By 2022", *Forbes*, (27 Haziran 2019), <https://www.forbes.com/sites/jonathano'callaghan/2019/06/27/this-startup-plans-to-throw-satellites-directly-into-space-with-a-hypersonic-catapult-by-2022/?sh=327ca0781a31>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [38] Matthews, Robert; "Will it ever be possible to build a space elevator?", *Science Focus*, <https://www.sciencefocus.com/space/will-it-ever-be-possible-to-build-a-space-elevator/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [39] Venditti, Bruno; (2022), "The Cost of Space Flight Before and After SpaceX", *Visual Capitalist*, (27 Ocak 2022), <https://www.visualcapitalist.com/the-cost-of-space-flight/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [40] Teofilov, Teodor; (2019), "Space Elevator: The Future of Mankind or Fiction", *The Startup*, (8 Kasım 2019), <https://medium.com/swlh/space-elevator-the-future-of-mankind-or-fiction-9412d47e6ab>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [41] C. Edwards, Bradley; "The Space Elevator", *NASA Institute for Advanced Concepts*, http://www.niac.usra.edu/files/studies/final_report/472Edwards.pdf. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [42] Young, Chris; (2020), "Shoot to the Stars: 15 Facts About the Fascinating Space Elevator Concept", *Interesting Engineering*, (23 Mayıs 2020), <https://interestingengineering.com/shoot-to-the-stars-15-facts-about-the-fascinating-space-elevator-concept>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [43] Lanning, Wade; (2019), "How Carbon Nanotubes are Redefining Strength of Materials", *Matmatch*, (13 Kasım 2019), <https://matmatch.com/resour>

- ces/blog/how-carbon-nanotubes-are-redefining-strength-of-materials/. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [44] *Factories in Space*, “Carbon Nanotubes”, <https://www.factoriesinspace.com/carbon-nanotubes>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [45] *Guinness World Record*, “Longest carbon nanotube”, <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/longest-carbon-nanotube#:~:text=The%20world's%20largest%20carbon%20nanotube,%2C%20Houston%2C%20Texas%2C%20USA>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [46] Aron, Jacob; (2016), “Carbon nanotubes too weak to get a space elevator off the ground”, *NewScientist*, (13 Haziran 2016), <https://www.newscientist.com/article/2093356-carbon-nanotubes-too-weak-to-get-a-space-elevator-off-the-ground/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [47] *Graphene-info*, “MIT team reports new roll-to-roll process for production of large sheets of high-quality graphene”, <https://www.graphene-info.com/mit-team-reports-new-roll-roll-process-production-large-sheets-high-quality>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [48] Anthony, Sebastian; (2014), “New diamond nanotubes could be the key material for building a space elevator”, *Extreme Tech*, (23 Eylül 2014), <https://www.extremetech.com/extreme/190691-new-diamond-nanotubes-could-be-the-key-material-for-building-a-space-elevator>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [49] Hamilton, Tyler; (2015), “Battle of the nanotubes”, (Ocak 2015), *Chemical Institute of Canada*, <https://www.cheminst.ca/magazine/article/battle-of-the-nanotubes/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [50] *Thoth Technology*, (2016), “Thothx Releases Space Elevator Animation”, (22 Ağustos 2016), <http://thothx.com/news/thothx-releases-space-elevator-animation>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [51] *Phys.org*, (2018), “Going up! Japan to test mini ‘space elevator’”, (4 Eylül 2018), <https://phys.org/news/2018-09-japan-mini-space-elevator.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [52] Filmer, Joshua; (2014), “Japanese Company Plans to Build a Space Elevator Within 40 Years”, *Futurism*, (26 Eylül 2014), <https://futurism.com/japanese-company-plans-build-space-elevator-within-40-years>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [53] Starr, Michelle; (2014), “Japanese company plans space elevator by 2050”, *CNET*, (23 Eylül 2014), <https://www.cnet.com/science/japanese-company-plans-space-elevator-by-2050/>
- [54] *International Space Elevator Consortium*, <https://www.isec.org/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [55] S. Williams, Matthew; (2021), “The Technologies That Could Finally Make Space Elevators a Reality”, *Interesting Engineering*, (23 Ekim 2021), <https://interestingengineering.com/tech-that-can-make-space-elevators-a-reality>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [56] Stuart, Colin; (2021), “Forget rockets – a lunar elevator is the future of Moon travel”, *Science Focus*, (6 Kasım 2021), <https://www.sciencefocus.com/space/lunar-elevator/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [57] Xiaoci, Deng; (2021), “Chinese rocket manufacturer outlines manned Mars mission roadmap, timetable”, *Global Times*, (23 Haziran 2021), <https://www.globaltimes.cn/page/202106/1226925.shtml>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [58] NASA, “Space Launch System”, <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/index.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [59] *Blue Origin*, “New Glenn”, <https://www.blueorigin.com/new-glenn>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [60] Zhen, Liu; (2021), “Countdown to 2028 for launch of China’s super heavy-lift CZ-9 rocket”, *South China Morning Post*, (30 Eylül 2021), <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3150624/countdown-2028-launch-chinas-super-heavy-lift-cz-9-rocket>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [61] Q. Choi, Charles; (2020), “Mars colonists could get fuel and oxygen from water on the Red Planet”, *Space.com*, (2 Aralık 2020), <https://www.space.com/mars-colonists-fuel-oxygen-production>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [62] Q. Choi, Charles; (2021), “Microbes could help future Mars explorers make rocket fuel and oxygen on the Red Planet”, *Space.com*, (27 Ekim 2021), <https://www.space.com/mars-rocket-fuel-from-microbes>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [63] Rao, Rahul; (2021), “NASA’s asteroid-slamming mission will test new ion drive system”, *Space.com*, (23 Kasım 2021), <https://www.space.com/dart-mission-test-next-c-ion-drive-propulsion>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [64] Makichuk, Dave; (2020), “Chinese researchers create prototype plasma jet engine”, *Asia Times*, (11 Mayıs 2020), <https://asiatimes.com/2020/05/chinese-researchers-create-prototype-plasma-jet-engine/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [65] NASA, “The Engine That Does More”, https://www.nasa.gov/audience/foreducators/k-4/features/F_Engine_That_Does_More.html. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [66] Zyga, Lisa; (2009), “Plasma Rocket Could Travel to Mars in 39 Days”, *Phys.org*, (6 Ekim 2009), <https://phys.org/news/2009-10-plasma-rocket-mars-days.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [67] NASA, (2021), “NASA Announces Nuclear Thermal Propulsion Reactor Concept Awards”, (13 Temmuz 2021), <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-announces-nuclear-thermal-propulsion-reactor-concept-awards>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [68] Bendix, Aria; (2021), “Russia plans to launch a nuclear-powered spacecraft that can travel from the moon to Jupiter”, *Business Insider*, (25 Mayıs 2021), <https://www.businessinsider.com/russia-nuclear-powered-spacecraft-moon-venus-jupiter-2021-5>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [69] Howell, Elizabeth; (2014), “Ikaros: First Successful Solar Sail”, *Space.com*, (8 Mayıs 2014), <https://www.space.com/25800-ikaros-solar-sail.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [70] *Japan Aerospace Exploration Agency*, (2010), “Small Solar Power Sail Demonstrator ‘IKAROS’ Successful Attitude Control by Liquid Crystal Device”, (23 Temmuz 2010), https://www.jaxa.jp/press/2010/07/20100723_ikaros_e.html. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [71] Matsumoto, Jun; (“Sampling Scenario for the Trojan Asteroid Exploration Mission”, *Japan Aerospace Exploration Agency*, http://www.hayabusa.isas.jaxa.jp/kawalab/astro/pdf/2015A_16.pdf. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [72] NASA, (2011), “NASA’s Nanosail-D ‘Sails’ Home -- Mission Complete”, (29 Kasım 2011), (https://www.nasa.gov/mission_pages/smallsats/11-148.html). (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [73] *The Planetary*, “LIGHTSAIL 2 MISSION CONTROL”, https://secure.planetary.org/site/SPageNavigator/mission_control.html. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [74] *European Space Agency*, “Deployable Gossamer Sail for Deorbiting”, <https://artes.esa.int/projects/deployable-gossamer-sail-deorbiting>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [75] NASA, “NEA Scout”, <https://www.nasa.gov/content/nea-scout>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [76] Parks, Jake; (2021), “Breakthrough Starshot: A voyage to the stars within our lifetimes”, *Astronomy*, (17 Haziran 2021), <https://astronomy.com/magazine/news/2021/06/breakthrough-starshot-a-voyage-to-the-stars-within-our-lifetimes>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [77] *Exolaunch*, <https://exolaunch.com/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [78] *Exolaunch*, (2021), “Exolaunch Introduces Eco Space Tug Program”, (12 Nisan 2021), <https://exolaunch.com/news-block-30.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [79] *Space.com*, (2022), “NASA’s Artemis 1 moon mission: Live updates”, (14 Nisan 2022), <https://www.space.com/news/live/nasa-artemis-1-moon-mission-updates>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [80] *European Space Agency*, “European Service Module”, https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Orion/European_Service_Module. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [81] NASA, “Gateway”, <https://www.nasa.gov/gateway>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [82] *European Space Agency*, “What is Esprit?”, https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/10/What_is_Esprit. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [83] *European Space Agency*, “I-Hab for Gateway”, https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2021/01/I-Hab_for_Gateway. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [84] NASA, “Gateway”, <https://www.nasa.gov/gateway/overview>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [85] NASA, “MARS Exploration Programme”, <https://mars.nasa.gov/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [86] *European Space Agency*, “Exploring Mars”, https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Mars. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [87] Mallapaty, Smriti; (2021), “Mars mission is China’s ‘first step’ in planetary exploration”, *Nature*, (24 Aralık 2021), <https://www.nature.com/articles/d41586-021-03849-w>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [88] *Indian Space Research Organisation*, “MARS ORBITER MISSION”, <https://www.isro.gov.in/pslv-c25-mars-orbiter-mission>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)

- [89] Rehm, Jeremy; Bartels, Meghan; (2021), "UAE Hope Mars orbiter: The Arab world's first interplanetary mission", *Space.com*, (4 Mayıs 2021), <https://www.space.com/hope-mars-mission-uae>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [90] *Russian Space Web*, "Robotic missions to Mars", http://www.russianspaceweb.com/spacecraft_planetary_mars.html. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [91] Atkinson, Nancy; (2021), "Japan's Mission to Mars' Moon Phobos Will Bring a Sample Home by 2029", *Science Tech Daily*, (27 Ağustos 2021), <https://scitechdaily.com/japans-mission-to-mars-moon-phobos-will-bring-a-sample-home-by-2029/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [92] Lee, Eun-Seok; (2004), "Design Study of a Korean Mars Mission", *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, (31 Aralık 2004), <http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200416049040979.page>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [93] SpaceX, "Mars & Beyond", <https://www.spacex.com/human-spaceflight/mars/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [94] NASA, "Orion Spacecraft", <https://www.nasa.gov/exploration/systems/orion/index.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [95] NTRS-NASA Technical Reports Server, "A Common Habitat Deep Space Exploration Vehicle for Transit and Orbital Operations", <https://ntrs.nasa.gov/citations/20210021084>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [96] Jones, Andrew; (2021), "China wants to build a sustainable human presence on Mars. Here's how.", *Space.com*, (17 Haziran 2021), <https://www.space.com/china-plans-mars-base-with-astronauts>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [97] *Union of Concerned Scientist*, (2005), "UCS Satellite Database", (8 Aralık 2005), <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [98] Klotz, Irene; (2021), "Burgeoning Satellite Industry Paving Way To \$1 Trillion Space Economy", *Aviation Week*, (24 Ağustos 2021), <https://aviationweek.com/aerospace/program-management/burgeoning-satellite-industry-paving-way-1-trillion-space-economy>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [99] Grush, Loren; (2020), "A future with tens of thousands of new satellites could 'fundamentally change' astronomy: report", *The Verge*, (26 Ağustos 2020), <https://www.theverge.com/2020/8/26/21401455/satellite-mega-constellations-astronomy-spacex-amazon-oneweb-bright-internet-space>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [100] Jones, Andrew; (2021), "China is developing plans for a 13,000-satellite megaconstellation", *Space News*, (21 Nisan 2021), <https://spacenews.com/china-is-developing-plans-for-a-13000-satellite-communications-megaconstellation/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [101] *STM ThinkTech*, (2021), "Navigasyon Savaşları", (30 Eylül 2021), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/navigasyon-savaslari>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [102] Lu, Donna; (2022), "SpaceX to lose up to 40 Starlink satellites after geomagnetic storm", *Guardian*, (9 Şubat 2022), <https://www.theguardian.com/science/2022/feb/09/spacex-to-lose-up-to-40-starlink-satellites-after-geomagnetic-storm>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [103] Pultarova, Tereza; (2021), "SpaceX Starlink satellites responsible for over half of close encounters in orbit, scientist says", *Space.com*, (18 Ağustos 2021), <https://www.space.com/spacex-starlink-satellite-collision-alerts-on-the-rise>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [104] *STM ThinkTech*, (2022), "Astronomi Gözleminde Yeni Nesil Uzay Teleskopları"; (28 Nisan 2022), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/astronomi-gozleminde-yeni-nesil-uzay-teleskoplari>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [105] Bergan, Brad; (2021), "Space is Too Crowded. De-Orbiting Satellites May Be the Solution", *Interesting Engineering*, (18 Şubat 2021), <https://interestingengineering.com/space-too-crowded-de-orbiting-satellites>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [106] Sharwood, Simon; (2020), "Japan to test self-destructing satellite to shrink space junk with string and an inanimate carbon blob", *The Register*, (9 Haziran 2020), https://www.theregister.com/2020/06/09/jaxa_post_mission_disposal_satellite_test/. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [107] Pubby, Manu; (2022), "MoD signs up Bengaluru startup for pseudo satellite deal", *The Economic Times*, (12 Şubat 2022), <https://economictimes.indiatimes.com/news/science/mod-signs-up-bengaluru-startup-for-pseudo-satellite-deal/articleshow/89516933.cms?from=mdr>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [108] Swinhoe, Dan; (2021), "Turbulence in the stratosphere: the state of HAPS post-Loon", *Data Center Dynamics*, (2 Eylül 2021), <https://www.datacenterdynamics.com/en/analysis/turbulence-in-the-stratosphere-the-state-of-haps-post-loon/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [109] Etherington, Darrell; (2021), "Alphabet gives some Loon patents to SoftBank, open sources flight data and makes patent non-assertion pledge", *Tech Crunch*, (30 Eylül 2021), <https://techcrunch.com/2021/09/30/alphabet-gives-some-loon-patents-to-softbank-open-sources-flight-data-and-makes-patent-non-assertion-pledge/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [110] Coldewey, Devin; (2018), "Facebook permanently grounds its Aquila solar-powered internet plane", *Tech Crunch*, (27 Haziran 2018), <https://techcrunch.com/2018/06/26/facebook-permanently-grounds-its-aquila-solar-powered-internet-plane/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [111] Papadopoulos, Loukia; (2018), "Boeing's Solar Autonomous Aircraft Can Fly Forever and It's Due in 2019", *Interesting Engineering*, (14 Kasım 2018), <https://interestingengineering.com/boeings-solar-autonomous-aircraft-can-fly-forever-and-its-due-in-2019>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [112] *Thales Group*, (2021), "THALES ALENIA SPACE'S STRATOBUS STRATOSPHERIC AIRSHIP PASSES A NEW DEVELOPMENT MILESTONE", (23 Eylül 2021), <https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/space/press-release/thales-alenia-spaces-stratobus-stratospheric-airship-passes-new>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [113] *Lockheed Martin*, "Hybrid Airships", <https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/aero/documents/hybridAirship/HybridAirshipLitho.pdf>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [114] Sceye, "STRATOSPHERIC PLATFORMS TO IMPROVE LIFE ON OUR PLANET", <https://www.sceye.com/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [115] *ATLAS*, <https://atlas-lta.com/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [116] *Flying Whales*, <https://www.flying-whales.com/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [117] *Stratosyst*, <https://www.stratosyst.com/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [118] *Air Recognition*, <https://www.airrecognition.com/index.php/archive-world-worldwide-news-air-force-aviation-aerospace-air-military-defence-industry/global-defence-security-news/global-news-2015/october/2064-china-starts-testing-the-yuanmeng-a-new-type-of-helium-stratospheric-reconnaissance-airship.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [119] *The European Space Agency*, (2022), "Space debris by the numbers", (10 Mayıs 2022), https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [120] Turner, Jez; (2019), "Space junk: a recycling station could be cleaning up in Earth orbit by 2050", *The Conversation*, (26 Temmuz 2019), <https://theconversation.com/space-junk-a-recycling-station-could-be-cleaning-up-in-earth-orbit-by-2050-119787>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [121] *Astroscale*, (2021), "Astroscale's ELSA-d Successfully Demonstrates Repeated Magnetic Capture", (25 Ağustos 2021), <https://astroscale.com/astroscales-elsa-d-successfully-demonstrates-repeated-magnetic-capture/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [122] *ALE*, (2022), "ALE and Tokio Marine & Nichido Fire Insurance begin cooperation on a debris mitigation device utilizing EDT ~Contributing to solving the space debris problem to create a sustainable space environment~", (11 Mart 2022), <https://star-ale.com/en/news/2022/03/11/2034331.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [123] Matsumura, Nobuhito; (2021), "Japanese Tech Startups Lead as Space Debris Sweepers"
https://japan-forward.com/japanese-tech-startups-lead-as-space-debris-sweepers/?fbclid=IwAR2n4d5rjTWLpA3DXKLoFP44trjalpD_K47ZAxV2EsUMIusUUVUlux4JE4Nc. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [124] *University of Surrey*, "REMOVEDEBRIS", <https://www.surrey.ac.uk/surrey-space-centre/missions/removedebris>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [125] *The European Space Agency*, (2021), "Deploying a drag sail", (28 Nisan 2021), https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2021/04/Deploying_a_drag_sail. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [126] *Clear Space*, <https://clearspace.today/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [127] *E&T Engineering and Technology*, (2021), "Robot prototype sent into orbit to catch and grill space debris", (27 Nisan 2021), <https://eandt.theiet.org/content/articles/2021/04/robot-prototype-sent-into-orbit-to-catch-and-grill-space-debris/#:~:text=A%20Chinese%20space%20mining%20start,March%206%20rocket%2C%20Xinhua%20said>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [128] *Gunter's Space Page*, "NEO 1", https://space.skyrocket.de/doc_sdat/neo-1.htm. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)

- [129] NASA, (2020), "NASA Technology Designed to Turn Space Trash into Treasure", (5 Haziran 2020), https://www.nasa.gov/spacetech/NASA_Technology_Designed_to_Turn_Space_Trash_into_Treasure. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [130] Jessica, (2022), "NASA Technology Designed to Turn Space Trash into Treasure", *Blogs ESA*, <https://blogs.esa.int/cleanspace/2022/01/10/recycling-in-space-wannabe-or-reality/#:~:text=While%20recycling%20has%20become%20a,space%20debris%2Dneutral%20by%202030>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [131] *Orbit Recycling*, <https://orbitrecycling.space/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [132] Room, (2018), "Satellite-servicing space drones set for launch in 2020", (12 Mart 2018), <https://room.eu.com/news/satellite-servicing-space-drones-set-for-launch-in-2020>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [133] *Northrop Grumman*, "SpaceLogistics", <https://www.northropgrumman.com/space/space-logistics-services/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [134] Erwin, Sandra; (2021), "Northrop Grumman to launch new satellite-servicing robot aimed at commercial and government market", *SpaceNews*, (23 Eylül 2021), <https://spacenews.com/northrop-grumman-to-launch-new-satellite-servicing-robot-aimed-at-commercial-and-government-market/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [135] NASA, (2021), "NASA's On-orbit Servicing, Assembly, and Manufacturing 1 Mission Ready for Spacecraft Build", (5 Mayıs 2021), <https://www.nasa.gov/image-feature/goddard/2021/nasa-s-on-orbit-servicing-assembly-and-manufacturing-1-mission-ready-for-spacecraft>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [136] Wall, Mike; (2019), "Archinaut, a Construction Robot for Space, Could Launch a Test Flight in 2022", *Space.com*, (13 Temmuz 2019), <https://www.space.com/made-in-space-archinaut-flight-test-2022.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [137] Hoyt, Robert; (2016), "SpiderFab: Process for On-Orbit Construction of Kilometer-Scale Apertures", *NASA*, (1 Aralık 2016), https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/2012_phase_1_fellows_hoyt_spiderfab.html. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [138] Amos, Jonathan; (2020), "China's Chang'e-5 mission returns Moon samples", *BBC*, (16 Aralık 2020), <https://www.bbc.co.uk/news/science-environment-55323176>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [139] JAXA, "Hayabusa2 Project", <https://www.hayabusa2.jaxa.jp/en/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [140] NASA, "About OSIRIS-Rex", <https://www.nasa.gov/osiris-rex>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [141] Lockhart, Andy; While, Aidan; Marvin, Simon; (2021), "Automation, Robotics and Off-World Frontier-Making", *Society and Space*, (24 Mayıs 2021), <https://www.societyandspace.org/articles/automation-robotics-and-of-world-frontier-making>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [142] Cook, Joshua; Samareh, Jamshid; (2020), "Machine Learning For Planetary Mining Applications", *NASA*, (Ocak 2020), <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/2020000703/downloads/2020000703.pdf>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [143] Wall, Mike; (2018), "Asteroid Miners' Arkyd-6 Satellite Aces Big Test in Space", *Space.com*, (25 Nisan 2018), <https://www.space.com/40400-planetary-resources-asteroid-mining-satellite-mission-accomplished.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [144] Jones, Andrew; (2021), "China launches space mining test spacecraft on commercial rideshare mission", *SpaceNews*, (27 Nisan 2021), <https://spacenews.com/china-launches-space-mining-test-spacecraft-on-commercial-rideshare-mission/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [145] Jamasmie, Cecilia; (2019), "Mining the moon ready to lift off by 2025", *Mining.com*, (1 Mart 2019), <https://www.mining.com/mining-moon-ready-lift-off-2025/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [146] Emily Dieckman, (2021), "Researchers Enlist Robot Swarms to Mine Lunar Resources", *University of Arizona*, (7 Eylül 2021), <https://news.arizona.edu/story/researchers-enlist-robot-swarms-mine-lunar-resources>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [147] *ispace*, <https://ispace-inc.com/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [148] *Honeybee Robotics*, "Terrestrial Mining, Oil & Gas", <https://honeybeerobotics.com/services/mining-oil-gas/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [149] Minkel, JR; (2010), "Is the International Space Station Worth \$100 Billion?", *Space.com*, (1 Kasım 2010), <https://www.space.com/9435-international-space-station-worth-100-billion.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [150] Stuart, Colin; (2022), "Why is the ISS being retired and what will happen to it?", *Science Focus*, (21 Şubat 2022), <https://www.sciencefocus.com/news/why-is-the-iss-being-retired-and-what-will-happen-to-it/#:~:text=NASA%20has%20announced%20that%20the,ISS%20has%20a%20rich%20history>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [151] Potter, Ned; (2021), "The Race for the Next-Gen Space Station NASA hopes private companies will replace the ISS by 2030—but which one(s)?", *IEEE Spectrum*, (16 Aralık 2021), <https://spectrum.ieee.org/private-space-stations>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [152] *Orbital Reef*, <https://www.orbitalreef.com/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [153] CHILDERS, TIM; (2020), "Space Is Littered With Dead Rocket Stages. What If We Turned Them Into Habitats?", *Popular Mechanics*, (13 Kasım 2020), <https://www.popularmechanics.com/space/satellites/a34661266/space-junk-debris-space-stations-nanoracks-outpost/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [154] *Nanoracks*, "Starlab", <https://nanoracks.com/starlab/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [155] NASA, (2021), "NASA Selects Companies to Develop Commercial Destinations in Space", (2 Aralık 2021), <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-selects-companies-to-develop-commercial-destinations-in-space>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [156] Northrop Grumman, (2021), "Company's design leverages flight-proven Cygnus spacecraft", (2 Aralık 2021), <https://news.northropgrumman.com/news/releases/northrop-grumman-signs-agreement-with-nasa-to-design-space-station-for-low-earth-orbit>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [157] Mundhra, Shreya; (2022), "World's First Private Space Station: As ISS Nears Retirement, Hi-Tech Corporates Vying To Build The Next 'Space Base'", *Eurasian Times*, (2 Şubat 2022), <https://eurasiatimes.com/iss-nears-retirement-hi-tech-corporates-vie-to-build-the-next-space-base/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [158] *India Today*, (2021), "Russia announces plans to construct Space Station within five years, says efficiency will be higher than ISS", (7 Eylül 2021), <https://www.indiatoday.in/science/story/russian-space-station-nasa-ros-cosmos-china-1850172-2021-09-07>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [159] Tangermann, Victor; (2021), "Russia Wants to Send a Nuclear-Powered 'Space Tug' to Jupiter", *Futurism*, (26 Mayıs 2021), <https://futurism.com/russia-nuclear-powered-spacecraft-jupiter>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [160] Jones, Andrew; (2022), "China to open space station to commercial activity", *SpaceNews*, (11 Mart 2022), <https://spacenews.com/china-to-open-space-station-to-commercial-activity/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [161] *Weather Channel*, (2021) "Gaganyaan, Chandrayaan-3 to Lift Off in 2022-23; India Aims to Set Up Space Station By 2030", (14 Aralık 2021), <https://weather.com/en-IN/india/space/news/2021-12-14-gaganyaan-chandrayaan-3-to-lift-off-in-2022-23>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [162] *Moon Village Association*, "Moon Village Implementation", <https://moonvillageassociation.org/about/moon-village-implementation/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [163] *Russian Space Web*, "Lunny Poligon concept" http://www.russianspaceweb.com/lunny_poligon.html. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [164] *China National Space Administration*, (2021), "International Lunar Research Station (ILRS) Guide for Partnership", (Haziran 2021), <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6812150/content.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [165] WHITTINGTON, MARK; (2021), "Solving the climate and energy crises: Mine the Moon's helium-3?", *The Hill*, (28 Şubat 2021), <https://thehill.com/opinion/technology/540856-solving-the-climate-and-energy-crises-mine-the-moons-helium-3>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [166] Kissel, Thomas; (2022), "What a Mars Colony Would Look Like", *Greek Reporter*, (22 Ocak 2022), <https://greekreporter.com/2022/01/22/mars-colony-2/>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [167] Howell, Elizabeth; (2016), "How Will a Human Mars Base Work? NASA's Vision in Images", *Space.com*, (21 Haziran 2016), <https://www.space.com/33123-nasa-human-mars-base-concept-images.html>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)
- [168] SHAFFI, ADEEL; (2016), "Lockheed Martin Plans to Send Humans to Mars by 2028", *Futurism*, (2 Haziran 2016), <https://futurism.com/lockheed-martin-plans-to-send-humans-to-mars-by-2028>. (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2022)



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

