



UZAY MADENCİLİĞİNİN GELECEĞİ VE EKONOMİSİ

TREND ANALİZİ MART 2023



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

İnsanlık, tarih boyunca sürekli bir gelişim göstermiştir. Her gelişim aşamasında yeni hammaddeler keşfedilerek daha gelişmiş ve faydalı ekipmanlar ortaya çıkmış ve yeni teknolojiler insanların hayatına girmiştir. İnsanlar yeni alanları araştırmaya devam ettikçe ulaşılması imkânsız gibi görünen uzay da giderek daha erişilebilir hâle gelmiştir.

İnsanlığın keşfetme merakının merkezinde yer alan uzay, dünya kaynaklarının azalmasıyla her geçen gün daha ilgi çekici bir hâle gelmiştir. Ulaşılması nispeten kolay olan uydumuz Ay, son yıllarda bilim insanlarının radarına iyiden iyiye giren Mars gibi yakın gezegenler, rotalarında hızla ilerleyen kuyruklu yıldızlar, gezegen ya da uyduların üzerine düşebilen asteroitler ve daha bilinmeyen sonsuz alanıyla derin uzay, dünyanın bugün ve gelecekte ihtiyaç duyduğu tüm hammaddeler için sınırsız kaynaklar ihtiva etmektedir. Ancak sınırları belirsiz olan uzayda, insanlar için uluslararası düzenlemelerle belirlenmiş sınırlar bulunmaktadır.

Bilim insanları uzaydaki yeni hammadde kaynaklarına ulaşabilmek için çeşitli maden çıkarma yöntemleri üzerine araştırmalar yapmaktadır. Uzay madenciliği henüz gelişim aşamasındaki bir alan oluşu için bu konuda ciddi araştırmalar yapılması, risklerin değerlendirilmesi, kanunların gözden geçirilmesi ve maliyetlerin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Analizimizde uzay madenciliğinin; gelişim evreleri, ekonomik etkileri, teknolojileri ve geleceği incelenirken, farklı ülkelerin bu alanda yapmakta olduğu çalışmalar değerlendirilecektir.

2. UZAY MADENCİLİĞİ NEDİR?

Uzay madenciliği, Ay'da, diğer gezegenlerde ve Dünya'ya yakın asteroitlerde (Near-Earth Asteroid- NEA's) bulunan doğal kaynakların keşfedilmesi, işletilmesi ve kullanılmasını tanımlamaktadır. Bu anlamda uzayda öncelikle, mineraller, gazlar (esas olarak Helyum-3), metaller ve su gibi zengin çeşitlilikte faydalı maddelerle karşılaşılabilir. Uzay madenciliği ile enerji ve hammaddeleri temin ederek insanlık daha uzun ve başarılı bir gelecek inşa edebilir. Uzay madenciliği ayrıca uzay keşiflerinin sağlayabileceği imkânlar ve uzay araştırmalarının geleceği için de anahtar niteliğindedir^[1].

Dünya'nın azalan hammadde kaynaklarına çözüm olabilmenin yanında, dünya ekonomisine vadettiği devasa ekonomik katkı, uzay madenciliğini hem devletler hem de özel sektör için cazip kılmaktadır. Bu bağlamda, Mars ve Jüpiter arasındaki asteroit kuşağında bulunan gök cisimlerinin yanı sıra, Ay da Dünya'ya yakınlığı ve sahip olduğuna inanılan milyonlarca ton buz hâlindeki su ve Helyum-3 maddesi sayesinde, uzay madenciliğinde önemli bir basamak olarak görülmektedir^[2].

Bazı bilim insanları kritik hammaddelerin ya da değerli metal ve elementlerin keşfedilmesi için uzayda yürütülecek araştırma ve operasyonlar için gereken finansmanın özel sektörden gelmesini önermektedir. Yüksek başlangıç maliyetleri ve yüksek risk ülkelerin uzay madenciliğine güvenli bir şekilde yatırım yapmasını zorlaştırmaktadır^[3].

Uzay madenciliğinin teorik bağlamdan öteye geçebilmesi için, insanlık katetmesi gereken yolun henüz başındadır. ABD'nin Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi

(National Aeronautics and Space Administration -NASA) gibi kurumlar aracılığıyla inovasyonda çok hızlı gelişmeler yaşanmasına rağmen, asteroit madenciliğinin hayata geçebilmesi için en az 10 yıllık bir süreç gerekmektedir^[4].

Uzay madenciliğinin ilerleyişi, gelişim evreleri ve gelecek beklentilerinin anlaşılması için geçmişinin de iyi bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir.

3. UZAY MADENCİLİĞİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

1960'larda ABD ve SSCB arasında başlayan uzay yarışı, beraberinde getirdiği karışıklıkların giderilmesi amacıyla ilk uzay antlaşmasının ortaya çıkmasıyla sonuçlanmıştır. 1967 yılında Dış Uzay Antlaşması (Outer Space Treaty- OST) olarak da bilinen "Ay ve Diğer Gök Cisimleri Dahil, Uzayın Keşfi ve Kullanımında Devletlerin Faaliyetlerini Düzenleyen İlkeler Hakkında Antlaşma (Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, Including the Moon and Other Celestial Bodies)" oluşturulmuştur^[5].

1970'lerden önce bilim kurgudan öteye geçemeyen uzay madenciliği fikri, 1969'da gerçekleşen Ay'a ilk inışten sonra uzun bir süre akademik dünyanın ilgi odağı hâline gelmiştir. 1980'lerin sonlarına doğru asteroit kuşakları yerine Dünya'ya daha yakın olarak bilinen Apollo ve Amor asteroitlerine olan ilgi yavaş yavaş Mars'ın uyduları olan Phobos ve Deimos'a kaymıştır.

1990'larda ortaya çıkan Dünya kaynaklarının aşırı tüketilmesi gibi çevresel endişeler güneş veya rüzgâr enerjisi gibi temiz enerji kaynakları ile alternatif tüketim kaynaklarına yönelimi artırmıştır. Bu yıllarda NASA uzayda hangi minerallerin olabileceği üzerine çalışmalara başlamıştır. Bu süreler boyunca uzay madenciliği birçok kez serbest metaller, uçucular ve geniş toprak kaynakları açısından değerlendirilmiş ve hep tasarı aşamasında kalmıştır^[6].

Uzay madenciliğinin geliştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen ilk somut çalışma, 2012 yılında ABD Seattle merkezli bir havacılık şirketi olan Planetary Resources'tan gelmiştir. Planetary Resources'un çalışmaları daha sonra benzer bir şirket olan Deep Space Industries tarafından da yakından takip edilmiştir. Her iki şirket de madencilik için önemli potansiyele sahip yaklaşık 15.000 asteroit tanımlayan uzay uyduları tasarlayarak bu alanda önemli katkılarda bulunmuştur. Aynı dönemde NASA'nın Dünya'ya yakın olarak bilinen Bennu asteroitinden 400 gram ile 1 kg numune alma projesi olan OSIRIS-REx görevi yedi yıl sürmüş ve bir milyar doların üzerinde bir maliyet oluşmuştur. Bu gibi yüksek maliyetleri karşılayamayan her iki şirket de 2018 ve 2019 yıllarında farklı sektörlerde hizmet veren başka şirketlere satılmıştır^[7].

2022 yılında kurulan bir şirket olan Astroforge, uzay madenciliği fikrini günümüzde yeniden canlandıran öncülerden biri olmuştur. SpaceX'den ve Virgin Galactic'den ayrılan mühendislerce kurulan şirket, uzay madenciliğinin kârlılık içerdiği düşüncesiyle bu alanda yeni araştırmalar yapmaya başlamıştır^[8].

Günümüzde uzay madenciliği ile ilgili finansal konuların çözüme ulaşması hâlinde geriye yasal prosedürlerin aşılması kalacaktır.

4. UZAY MADENCİLİĞİNİN YASAL SINIRLARI

Dış Uzay Antlaşması (Outer Space Treaty -OST) uzay madenciliği ile ilgili en önemli yasal dayanaktır. Bu antlaşma 19 Aralık 1966 tarihinde gerçekleşen toplantı ile ABD, İngiltere ve SSCB tarafından imzalanarak 10 Ekim 1967 tarihinde yürürlüğe konulmuştur. 2015 yılının Eylül ayı itibarıyla 104 ülke sözleşmeyi kabul etmiş, 24 ülke ise onaylama sürecini tamamlamamıştır.

Antlaşmanın bazı önemli maddeleri şöyle sıralanmaktadır^[9]:

- Ay ve diğer gök cisimleri dahil olmak üzere uzayın keşfi ve kullanımı, ekonomik veya bilimsel gelişmişlik derecelerine bakılmaksızın tüm ülkelerin yararına ve çıkarlarına yönelik olarak yürütülecek ve tüm insanlığın ilgi alanı olacaktır.
- Ay ve diğer gök cisimleri dahil olmak üzere dış uzay, hiçbir ayırım gözetilmeksizin, eşitlik temelinde ve uluslararası hukuka uygun olarak tüm devletler tarafından keşif ve kullanım için serbest olacak ve gök cisimlerinin tüm alanlarına serbest erişim sağlanacaktır.
- Ay ve diğer gök cisimleri dahil olmak üzere uzayda bilimsel araştırma özgürlüğü olacaktır. Devletler bu tür araştırmalarda uluslararası işbirliğini kolaylaştıracak ve teşvik edecektir.
- Ay ve diğer gök cisimleri dahil olmak üzere uzay, egemenlik iddiasıyla, kullanım veya işgal yoluyla veya başka herhangi bir yolla ulusal tahsise tabi değildir.
- Ayrıca ay ve diğer gök cisimleri, antlaşmaya taraf olan tüm devletler tarafından sadece barışçıl amaçlarla kullanılacaktır. Gök cisimleri üzerinde askeri üs, tesis ve tahkimatın kurulması, her türlü silahın denemesi ve askeri operasyonların yapılması yasaktır. Askeri personelin bilimsel araştırma veya diğer barışçıl amaçlar için kullanılması yasaklanmayacaktır. Ayın ve diğer gök cisimlerinin barışçıl bir şekilde keşfedilmesi için gerekli olan herhangi bir ekipman veya tesisin kullanılması da yasaklanmayacaktır.

Soğuk Savaş döneminde uzayda bir silahlanma yarışı ve bir "alan" hücumunu engellemek için hazırlanan Dış Uzay Antlaşması, günümüzün özel ve ticari girişimlerini dikkate almamıştır. Antlaşmanın sahiplenmemesi, ulusların bir bayrak dikerek veya bir alanı işgal ederek gök cisimleri üzerinde hak iddia etmesini engellemektedir. Ancak, bir gök cisiminden çıkarılan kaynaklara sahip olmayı ve kaynakları kullanmayı açıkça yasaklamamaktadır. Aslında, antlaşmanın bazı maddeleri bu tür bir kullanıma izin verildiğini ima etmektedir.

ABD, Sovyetler Birliği, Japonya ve Çin'in bilimsel örnekler elde etmek için yaptığı geçmiş ve devam eden

operasyonlar, hiçbir zaman ciddi bir şekilde antlaşmayı ihlal etme şeklinde değerlendirilmemiştir. Açıkça ticari uzay madenciliğinin küresel yönetimini oluşturan ikinci bir uluslararası antlaşma olan Ay Antlaşması (Moon Agreement), çoğu ülke ve uzayda madencilik yapma araçları ve amacı olan oluşumlar tarafından geniş çapta reddedilmiştir^[10].

ABD, Dış Uzay Antlaşması'nın ticari kaynak çıkarımına izin verdiğini uzun zamandır kabul etmektedir. ABD bu bağlamda hem ulusal hem de uluslararası hukukun izin verdiği şekilde uzay madenciliği yapılmasında öncü bir rol üstlenmektedir.

ABD Kongresi 2015'te Başkan Obama'nın onayıyla dünyanın ilk ulusal uzay kaynakları yasasını imzalamıştır. Bu yasanın adı Amerika Birleşik Devletleri Uzay Madenciliği Yasası'dır (Commercial Space Launch Competitiveness Act of 2015)^[11]. Yasa, ABD'de ikamet edenlerin uzayda toplanan materyallere sahip olma haklarını tanımıştır. Ancak ABD'nin, gök cisimlerinin üzerinde özel mülkiyetini iddia etmemektedir. Bu yasaya göre ABD vatandaşları gök cisimlerinin tamamında hak iddia etmeden madencilik gibi faaliyetlerde bulunabilir^[10].

Güneş sisteminde metallerin, minerallerin ve enerji kaynaklarının hatta buz ve farklı şekillerde su kaynaklarının bulunması uzaya karşı politik ve ticari ilgiyi artırarak bu kavramı giderek daha gerçekçi ve ulaşılabilir hâle getirmektedir. Uzay madenciliğinde çalışan bilim insanlarına göre kaynakların araştırılması ve elde edilmesi bu sürecin asıl önemli kısmını oluşturmamaktadır. Dünya üzerindeki madencilik faaliyetlerinin bile yürütülmesi ve uygulanması çok kapsamlı ve zor iken, uzay madenciliği bundan çok daha hassastır. Bu süreçte küresel ölçekte yasal düzenlemelere uyum, asteroitlere ulaşım ve kaynakların taşınması gibi lojistik sorunlar ve fiziki zorluklar daha büyük öneme sahiptir.

OST ve Ay Antlaşması uzay faaliyetlerinin yürütülmesi üzerine düzenleyici rejim olarak işlev görürken, Cape Town Konvansiyonu Uzay Protokolü (The Space Protocol of the Cape Town Convention)^[12] finansal kaynakların sağlanmasında önemli rol oynamaktadır. Uzay Protokolü, Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (International Civil Aviation Organisation -ICAO) ve Uluslararası Özel Hukukun Birleştirilmesi Enstitüsü (International Institute for the Unification of Private Law -UNIDROIT) tarafından yapılan toplantılardan sonra 2012 yılında Berlin'de kabul edilmiştir.

Cape Town Konvansiyonu Uzay Protokolü'nün amacı, doğası gereği sabit bir konuma sahip olmayan uçak gövdeleri, uçak motorları ve helikopterler gibi yüksek değerli varlıklarda belirli hakların elde edilmesini ve kullanımını, verimli bir şekilde finanse edilmesini kolaylaştırmaktır. Protokol vesilesiyle, uzay varlıklarında uluslararası çıkarların oluşturulmasını ve uygulanmasını yönetmek için tekdüze bir rejim getirerek, finansörler için şeffaflık ve öngörülebilirliğin artmasının sağlanması ve ticari uzay sektöründe finansmanın daha yaygın bir şekilde elde edilebilir hâle getirilmesidir. Bu yolla finansman maliyetlerinin düşürüleceği öngörülmektedir^[13].

Uzayda uluslararası anlaşmalarca belirlenen sınırlar çerçevesinde yapılan araştırmalar önem kazandıkça,

finansal zorluklarla mücadele edilmesi amacıyla uzayda bulunan maden ve kaynakların neler olduğunun da anlaşılması gerekmektedir.

5. UZAYDA BULUNAN MADENLER

Uzayda bulunan asteroitler için çok çeşitli sınıflandırmalar bulunmaktadır. Bazı asteroit kuşaklarında çok yüksek saflıkta maden ve kaynaklar olduğu düşünülmektedir. NASA'nın gerçekleştirdiği bir çalışmaya göre asteroit kuşakları 700 katrilyon dolar değerinde kaynak barındırmaktadır^[14].

En yaygın kullanılan sınıflandırmalardan birine göre C-Tipi asteroitler madencilik için minimal materyal içermektedir. S-Tipi asteroitler bolca materyal içerirken M-Tipi asteroitler S-Tipi'ne göre 10 kat daha fazla materyal içermektedir.

Asteroitlerde en sık rastlanan mineraller arasında demir, nikel, iridyum, paladyum, platinyum, altın ve magnezyum bulunmaktadır. Ancak asteroitlerden minerallerin yanında elde edilebilecek bir diğer kaynak ise sudur^[4].

Ay regoliti (kaya ayrışması ile oluşan toprak örtüsü) ise nükleer füzyonda büyük öneme sahip olan Helium-3'ün yüksek oranda bulunduğu bir alandır. Ay regoliti oldukça önemlidir. Hatta İngiliz şirketi olan MetalYSIS, ay regolitinden oksijen çıkarabilecek bir yöntem dahi geliştirmiştir^[15].

Ay yüzeyinde özellikle kraterlerin karanlık kısımlarında buz olması beklenmektedir. Kuyruklu yıldızlar, asteroitler ve Mars'ta da yüzeyin altında buz olduğu düşünülmektedir. Suyun varlığı aynı zamanda bu alanlarda yaşamın devam ettirilmesi için bir olasılık da sunmaktadır^[6].

Dünya'ya düşen bazı meteorlar üzerinde yapılan çalışmalarda da çeşitli kaynaklara rastlanmıştır. Bazı meteorlarda elmas özelliğinde kaynaklar gözlemlenirken metal anlamında da zengin meteorlar olabilmektedir^[7].

Meteorların yanında güneş sistemindeki bazı gezegenlerde de elmas oluşumları gözlemlenmiştir. Satürn halkalarından gezegenin atmosferine elmas yağdığı ve yüksek ısı ile Satürn'de elmas okyanusları oluştuğu düşünülmektedir. Jüpiter'in de benzer bir oluşumla elmas okyanusları barındırdığı gibi görüşler araştırılırken, Neptün ve Plüton'un çekirdeğine yakın noktalarda elmas oluşabileceği düşünülmektedir^[8].

5.1 Uzay Madenciliğine Uygun Gezegenler

Uzay madenciliği için en önemli hedeflerden biri Ay'dır. NASA'nın çalışmalarının da gösterdiği üzere ilk ticari uzay madenciliği için Ay en uygun yerlerden biridir. Ay'ın Dünya'ya yakın olması, iletişim gecikmelerinin en az düzeyde oluşması, uzaktan kontrol edilebilen robot sistemlerinin çalışabilmesi ve Ay'ın düşük yerçekimi sayesinde çıkarılan madenlerin Dünya'ya gönderilmesinde çok düşük enerji sarfiyatı gerekmesi gibi unsurlar Ay'ı cazip kılmaktadır.

Asteroitler ise uzay madenciliğinde ikincil önceliğe sahiptir. Dünya çevresinde oldukça fazla asteroit bulunmaktadır. Bunlar ağırlıklı olarak Ay'dan daha uzakta

olmasına rağmen oldukça düşük bir enerji harcayarak buralara ulaşmak mümkündür. Hatta bazı küçük ölçekli asteroidlerin Dünya'nın yörüngesine çekilmesi dahi mümkün görülmektedir.

Mars ise yüksek yerçekimi (Ay'ın iki katı) ve diğer alternatiflere göre çok daha uzakta olması nedeniyle Dünya yakınında değerlendirilen en son seçenektir. Ancak Mars'ın gelecekte yapılacak uzay araştırmalarında bir ikmal istasyonu gibi kullanılmasının daha olası olduğu düşünülmektedir^[16].

Avustralya'da faaliyet gösteren bir şirket Venüs'ten nadir toprak elementlerini çıkarmak üzere bazı araştırmalar yapmaktadır. Venüs Metal Corporation adlı şirketin robotik uzay araçları ile uzaktan maden çıkarmayı planladığı bilinmektedir. Venüs'ün güneşe yakın olmasından faydalanarak, maden çıkarma ve ulaşım gibi yüksek enerji ihtiyacı duyulan operasyonlarda güneş enerjisinin birincil kaynak olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. Şirketin hedefinin 2025 yılına kadar uzay aracının üretimini tamamlamak ve 2030 yılına kadar maden çıkarma operasyonlarına başlamak olduğu açıklanmıştır. Venüs atmosferinde nadir toprak elementi izlerine rastlanması, bu elementlerin gezegende bulunabilecekleri düşüncesini pekiştirmektedir. Venüs'ün düşük yerçekimi de çıkarılan elementlerin kolaylıkla Dünya'ya gönderilmesine imkân verme potansiyelindedir. Venüs'te madencilik faaliyetlerinin önündeki en büyük engel ise 480 santigrat derece sıcaklığa ulaşan yüzey ısısıdır. Atmosferin yoğunluğu ise bir başka zorluk yaratmaktadır^[19].

Mars'ın uyduları olan Phobos ve Deimos'un da uzay madenciliği için imkân yaratacağı düşünülmektedir. Bu uydularda yüksek konsantrasyonda Olivin ve düşük konsantrasyonda Piroksen bulunmaktadır. Olivin, entegre demir-çelik fabrikalarında cüraf düzenleyicisi ve sinterleşme derecesini düşüren bir hammadde olarak kullanılmaktadır. Piroksen ise değişik kimyasal bileşimlere sahip, kayaç oluşturucu silikat mineralleri grubunun ortak adıdır. Bu önemli mineraller grubunda özellikle kalsiyum, magnezyum ve demir bakımından zengin üyeler egemendir^[20].

Satürn'ün halkaları yüzyıllardır insanlığı büyüleyen bilim insanları Satürn'e elmas yağdığını fark etmiştir. Bu gaz devinde bol miktarda karbon bulunduğundan, şimşek fırtınaları metanı kuruma dönüştürmekte ve bu kurum sertleşerek grafit parçalarına ve ardından nadir bulunan elmaslara dönüşmektedir. Bu elmaslar sonunda gezegenin sıcak çekirdeğinde sıvı bir elmas denizine dönüşmektedir. Diğer bir gaz devi olan Jüpiter, yağın elmaslar açısından Satürn'e oldukça benzemesiyle ünlüdür. Jüpiter'in atmosferinin en derinlerinde koşullar o kadar yoğundur ki, oluşan elmaslar sıvı elmas okyanusları oluşturabilmektedir.

Neptün ve Uranüs'ün atmosferlerinin az miktarda metan ile birlikte hidrojen ve helyumdan oluştuğu bilinmektedir. Ancak bu atmosferik katmanların altında su, metan ve amonyak gibi maddelerden oluşan aşırı sıcak ve yoğun bir sıvının olduğu düşünülmektedir. Uzay elmaslarının bu sıcak, yoğun malzemede oluştuğu tahmin edilmektedir. Jüpiter ve Satürn'ün aksine, Uranüs ve

Neptün'ün çekirdekleri çok daha soğuktur ve bu nedenle elmasların erimesine neden olan yüksek sıcaklığa asla ulaşmaz. Bu nedenle Neptün ve Uranüs'teki elmasların katı formunu koruduğu düşünülmektedir^[18].

5.2 Uzay Madenciliğine Uygun Asteroidler

Uzay madenciliğinin hedef aldığı gezegenler sınırlı olmakla beraber, çok daha fazla sayıda olan asteroidler de ilgi çekmektedir. İlk olarak dünyamıza düşen asteroid parçalarından yola çıkılarak fark edilen zengin maden içeriği bilim insanlarının dikkatini uzayda bulunan asteroidlere yöneltmiştir.

Bu konuda önemli örneklerden biri Afrika'dadır. Afrika'ya düşen iki meteorda insan saçından daha ince ama çok yüksek sertlikte elmaslar tespit edilmiştir. Lonsdaleite olarak adlandırılan bu elmasların uzak geçmişte parçalanan bir cüce gezegenden koparak uzayda oluştuğu düşünülmektedir. Dünya üzerinde oluşan elmaslar kübik kristal yapısına sahipken, Lonsdaleite altıgen yapıdadır^[17].

Uzay madenciliği için bilinen 15 asteroid bulunmaktadır. Bunlardan en yüksek değer potansiyeline sahip olanları Anteros (5,57 trilyon dolar), 2001 SG10 (544,48 milyar dolar), 2002 DO3 (334,44 milyar dolar) ve Ryugu'dur (82,76 milyar dolar)^[21].

2003 yılında asteroidlerden örnek toplamak için uzaya gönderilen birinci nesil Hayabusa adlı keşif aracı asteroid keşfinde ilk girişim olduğundan deneysel bir uzay görevi olarak değerlendirilmiştir. Hayabusa'nın iniş cihazı asteroide yaklaştığı sırada arızalanmış ve Itokawa asteroidinden az sayıda ince parçacık toplayabilmiştir.

Daha sonra geliştirilerek tekrar uzaya gönderilen Hayabusa2 ise daha başarılı bir araştırma ortaya koymuştur. 27 Haziran 2018'de Dünya'ya yakın asteroidlerden biri olan Ryugu ile uzayda buluşan Hayabusa2, asteroidi bir buçuk yıl boyunca incelemiş ve numuneler almıştır.

18 ay boyunca 0,6 mil genişliğinde ve elmas şeklindeki asteroidin çevresini dolaşarak uzaktan gözlemler yapan Hayabusa2, ayrıca veri ve görüntü toplamak ve örnek toplayabileceği potansiyel alanları keşfetmek için Ryugu'ya birkaç küçük robot göndermiştir. Tekerlekli geleneksel gezicilerin aksine, Hayabusa2'nin robotları, Ryugu'nun yüzeyini zıplayarak geçmiştir.

Hayabusa2, asteroitten Kasım 2019'da ayrılmış ve örnekleri 5 Aralık 2020'de Dünya'ya ulaştırmıştır. Gelen örneklerde 5,4 gramdan fazla toprak bulunurken 0,1 gramlık proje hedefi de fazlasıyla aşılmıştır.

Psyche adı verilen bir asteroid ise Mars ve Jüpiter arasındaki ana asteroid kuşağında Güneş'in yörüngesinde dönmektedir. En geniş noktası yaklaşık 280 km olan asteroidin güneş sisteminin herhangi bir yerinde metal açısından zengin malzemeden oluşan tamamen farklı bir cismin arta kalan parçası olduğu da düşünülmektedir^[22].

Uzay madenciliği şimdilik Dünya yakınındaki gezegen, uydu ve asteroidlere odaklanmaktadır. Yaşanacak bilimsel ve teknolojik gelişmelerle gelecekte güneş sistemi dışında çok daha farklı kaynaklara ulaşmak da mümkün olabilecektir.



6. ÜLKELERİN UZAY MADENCİLİĞİ PROJELERİ

Uzay madenciliğinin gelecek beklentileri hem ekonomik hem de bilimsel anlamda büyük umutlar vadetmektedir. Yüksek maliyetler projeleri geriletmiş olsa da günümüz teknolojilerinin katkısıyla uzay madenciliği bir hayalden gerçekleşebilir bir teoriye evrilmiştir. Bu konuda ülkelerin ve özel sektörün çeşitli çalışmaları bulunmaktadır.

Uzayla ilgili çalışmalar yapan ülkeler uzayın zengin kaynakları konusunda hemfikirdir. Uzay araştırmaları ve operasyonlarından bahsedilince ilk akla gelen ülke ABD ve ilk kurum NASA olsa da diğer ülkelerin de araştırmaları ve çeşitli başarıları dikkat çekmeye başlamıştır. Son yıllarda Çin, Hindistan ve İsrail uzay gemileri Ay ziyaretleri gerçekleştirmiş ve Güney Kore gözlem için Ay'a bir yörünge uydusu fırlatmayı planlamış ve gerçekleştirmiştir. Geçmişte yaşanan uzay yarışından farklı olarak 21'inci yüzyılın uzay yarışı beraberinde çok büyük zenginlikler getirme potansiyeli barındırmaktadır^[23].

6.1 ABD

Uzay araştırmaları ve uzay madenciliği alanında en eski çalışmalar ABD'de görülmektedir. 2022'nin Ağustos ayında Mars ve Jüpiter arasında bulunan Psyche adlı asteroidin araştırılması için NASA tarafından bir uzay sondası gönderilmiştir. Dünya'dan yapılan gözlemlerde asteroidin yüzeyinin bulanık ve puslu olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum bilim insanlarının asteroidin metal

açısından zengin olduğunu düşünmelerine neden olmuştur. Asteroidin çekirdeğinin metalik demir, nikel ve altın kökenli olduğu varsayılmaktadır. Asteroidin barındırdığı kaynakların ise 10 katrilyon dolar olabileceği öngörülmektedir. Psyche asteroidi Davida asteroidinin arkasından gelmektedir. Bu asteroidin ise 27 katrilyon değerinde kaynağa sahip olduğu düşünülmektedir^[24].

Psyche asteroidine planlanan yolculuk 2011 yılında başlamıştır. Tamamlanan aşamalardan sonra 450 milyon kilometre olarak planlanan yolculuk için üretilen sonda, 2021'in Ocak ayında tamamlanmış ve 2022'nin Nisan ayında ABD'nin Florida'da bulunan Kennedy Uzay Merkezine gönderilmiştir. Ancak uzun yıllar boyunca yapılan çalışmalar, araştırma aşamaları ve planlamalara rağmen geciken süreçler nedeniyle proje 2022 yılının Haziran ayında ertelenmek zorunda kalmıştır. NASA uzay sondasının fırlatılmasıyla ilgili test süreçlerini henüz tamamlayamamıştır^[25].

ABD'li TransAstra şirketi her ne kadar yapılan çalışmaların maliyetleri ve uzun planlama süreçleri nedeniyle sürecin daha fazla zaman alacağına inansa da, asteroidlerden roket iticisi olarak kullanılmak üzere su çıkarmayı hedeflemektedir. Ayrıca zamanla asteroidlerin üzerinde bulunan diğer metallerin de kâr amacıyla çıkarılabileceğinin işaretlerini vermektedir. TransAstra gelecek beş ila yedi yıl içinde ilk uzay madenciliği faaliyetlerine başlayabileceklerini açıklamıştır.

ABD'li bir diğer şirket olan AstroForge ise uzay madenciliği faaliyetlerini planlarken, çıkaracağı madenleri

uzayda rafine ederek Dünya'ya getirmek yoluyla maliyetleri düşürüp daha fazla kazanç elde edebileceğini öne sürmektedir. AstroForge'a göre uzay madenciliğinde yaşanabilecek en büyük zorluk hangi asteroidin kazılacağı ile ilgilidir. Bu duruma karar verildikten sonra yapılacak çalışmalar en doğru bütçe ve kârlılığı sağlayacaktır. En yüksek konsantrasyona sahip asteroidin seçilmesi için de detaylı araştırmalar yapılmalıdır^[8].

NASA'nın asteroidlerin yapısını belirlemek amacıyla gerçekleştirdiği çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan biri olan OSIRIS-Rex uzay gemisi, Bennu asteroidiyle temas gerçekleştirerek dönüş yoluna geçmiştir. Ayrıca Çifte Asteroid Yeniden Yönlendirme Testi (Double Asteroid Redirection Test -DART) olarak bilinen gezegen savunma teknolojisi bir asteroide ateş açma veya yönünü değiştirme özelliğine sahiptir^[26].

6.2 Avustralya

Avustralya da uzay madenciliği ile ilgilenen ülkeler arasındadır. Ülke 2018 yılında Avustralya Uzay Ajansını kurmuştur. Ajans gelişen teknolojiler ve uzay yatırımları için 12 milyar Avustralya doları bütçe ve 20.000 kişiye iş imkânını 2030 yılına kadar gerçekleştirmeyi taahhüt etmiştir. Avustralya ayrıca Dünya Gözlemi için Ulusal Uzay Görevi projesi kapsamında 1,2 milyar Avustralya doları daha yeni kaynak yaratmıştır. Avustralya uzay araştırmalarında uzaktan kontrol sistemlerinin kullanımı da düşünülmektedir. Oluşturulan Uzay ve Dünya için Avustralya Uzaktan Kontrollü Operasyonlar (Australian Remote Operations for Space and Earth -AROSE) kurumu endüstriyel sektörün uzay madenciliğine girişi için değerlendirmektedir^[27].

6.3 Çin

Çin'in özel ve devlete ait havacılık ve uzay şirketlerinin bazı faaliyetleri, uzayda ekonomik ve askeri hâkimiyet için artan çalışmaların net bir kanıtıdır. Çin Uzay Bilimi ve Teknolojisi Şirketine (China Aerospace Science and Technology Corporation - CASC) ait olan Havacılık ve Uzay Katı Tahrik Teknolojisi Akademisi (Academy of Aerospace Solid Propulsion Technology -AASPT) şimdiye kadar dünyanın en büyük itiş gücüne sahip en güçlü katı roket motorunu test etti. 500 tonluk itiş gücü; insanlı Ay inişleri, derin uzay araştırmaları ve dünya dışı kaynak çıkarma gibi uzay görevleri için çeşitli talepleri karşılayabilecek kapasitededir. Asteroidler ve gezegenlerden kaynak çıkarma gibi uzay görevleri için çeşitli beklentilere cevap verebilecek olan ağır kaldırma roketleri uzay görevleri için önemli bir aşamadır.

Pekin'in uzay programı, Çin'in uzay temelli kaynaklar üzerindeki kontrolünü de artırmak istediğini açıkça göstermektedir. Araştırmalara göre, Çin'in hedeflediği platin açısından zengin, yaklaşık 200 metre çapındaki küçük bir asteroidin 300 milyon dolar değerinde olabileceği tahmin edilmektedir. Bu şekilde binlerce küçük asteroidin olduğu düşünüldüğünde, Çin'in gelecekte uzay madenciliğinde var olma isteği normal gözükmektedir^[28].

Çin'e ait Yutu-2 gezgini ise Ocak 2019'dan bu yana Ay'ın yüzey altı jeolojisi hakkında bilgi toplamak

için radar ve görüntüleme spektroskopisi gibi araçları kullanmaktadır^[29].

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^[30].

6.4 Rusya

Çin'le birlikte Rusya da uzay madenciliği ile ilgilenmektedir. Hatta Rusya ve Çin'in ortak hedefler doğrultusunda teknolojik güçlerini birleştireceği ve Ay görevlerinde ortak çalışmalar yürüteceği düşünülmektedir. Ancak bu ortaklığın Artemis Antlaşmaları gibi sıkı bir bağlayıcılıkla oluşacağına ihtimal verilmemektedir^[23].

6.5 Japonya

Japonya uzay araştırmaları ve uzay madenciliği ile ilgilenen bir diğer ülkedir. Japonya Parlamentosu, şirketlerin uzay kaynaklarını çıkarmasına ve kullanmasına izin veren yasa'yı 2021 yılında onaylamıştır. Japonya'nın onayladığı yasa ABD Uzay Madenciliği Yasası ile benzerlikler göstermektedir. Bu yasa uzayda madenlerin çıkarılmasına izin verirken asteroidlerin sahiplenilmesini katı bir şekilde yasaklamaktadır.

Benzer yasaları Lüksemburg ve Birleşik Arap Emirlikleri de çıkartarak uzay madenciliği yarışında var olma isteklerini göstermiştir^[31].

Japonya Uzay Ajansının Hayabusa-2 uzay aracı, altı yıl süren beş milyar km'lik yolculuğun ardından Aralık 2020'de Dünya'ya geri dönmüştür. LIDAR, optik, yakın kızılötesi ve termal kızılötesi kameraları kullanan Hayabusa2, farklı yüzeylerden örnek toplamak için tasarlanmıştır. Hayabusa2 bu özellikleri ile asteroidlerin topoğrafyasını kaydedebilme özelliğindedir^[32].

İnsansız keşif araçları uzay araştırmalarında önemli bir rol edinmeye başlamıştır. 2022 yılının sonlarında hazırlanarak Ay'a gönderilen bir insansız uzay aracı ise Dünya'dan aya ulaşarak araştırma çalışmaları gerçekleştiren ilk ticari araç olma potansiyelindedir. Bir Japon firması olan ispace'e^[33] ait olan Hakuto-R Mission 1 isimli insansız araç, 2022'nin Aralık ayında SpaceX roketleri ile uzaya gönderilmiş ve Ay yolculuğuna başlamıştır. Ancak Ay'a ticari araç gönderme yarışına katılan iki farklı firma bu yarışta Japon firmasını geçme potansiyeli göstermektedir. ABD kökenli Intuitive Machines firmasına ait Nova-c Mart 2023'de Falcon-9 roketleriyle ateşlenerek yaklaşık altı günde Ay'a ulaşmayı hedeflemektedir. Bir başka ABD kökenli firma olan Astrobotics Technology tasarımı olan Peregrine İniş Aracı ise Mart 2023 sonunda yeni bir tasarım olan Vulcan Centaur roketiyle Ay'a ulaşmayı planlamıştır.

Hakuto-R Mission 1'in hafif ve sade yapısı daha fazla yük taşımaya imkân vermektedir. Kamera ve iki keşif aracı taşıyan (biri neredeyse bir beyzbol topu kadar) aracın tasarruflu yapısı uzun bir yolculuk yapmasını sağlamaktadır. Hakuto-R Mission 1'in Ay'a inişinin Nisan 2023

sonlarına doğru, diğer iki şirketin araçlarının ise daha önce Ay'a ulaşmasıyla sonuçlanabilir^[34].

6.6 Fransa

2019 yılında Fransa kökenli bir firma olan ArianeGroup, 2025'ten önce Ay'a gitme olasılığını incelemek ve orada çalışmalara başlamak için Avrupa Uzay Ajansı ile bir sözleşme imzalamıştır. Bu çalışma için, ArianeGroup ve bağlı kuruluşu Arianespace, iniş aracının tedarikini sağlayacak bir Alman girişimi olan PT Scientist ve yer segmenti, iletişim ekipmanı ile hizmet operasyonlarını tedarik edecek bir Belçikalı kuruluş olan Space Applications Services ile işbirliği anlaşması yapmıştır^[35].

6.7 Diğer Ortak Oluşumlar

Asya-Pasifik Uzay İşbirliği Örgütü (Asia-Pacific Space Cooperation Organization -APSCO) uzay teknolojileri alanında yaşanan gelişmeleri takip etmek, bilgi paylaşımında bulunmak ve eğitim vermek için kurulmuş bir uluslararası organizasyondur. Merkezi Pekin'de bulunan APSCO, 2008 yılında hükümetler arası bir organizasyon olarak kurulmuştur. APSCO, bölgedeki gelişmekte olan ülkelerin uzayın barışçıl amaçlarla kullanımı için işbirliğine dayalı bir mekanizmayı sunmaktadır.

Uzay bilimi, uzay teknolojisi ve uzay uygulamalarında kaynak paylaşımı ile APSCO, üyelerinin kapasite geliştirmesini kolaylaştırmak üzere çok taraflı işbirliğini desteklemektedir. Coğrafi olarak birbirine uzak olan üye ülkelerin işbirliğini kuvvetlendirmek için Veri Paylaşım Ağı, Uzay Segmenti Ağı ve Yer Sistemlerinin Ara Bağlantıları, Yere Dayalı Uzay Nesnesi Gözlemi (Asia-Pacific ground-base Optical Satellite Observation System -APOSOS), Afet İzleme Ağı, Uzay Uygulama Ağı, Eğitim ve Uygulama Merkezi gibi ağ ve merkezlerle eşgüdüm imkânı sunmaktadır^[36].

ABD'nin öncülüğünde başka birçok ülkenin de katılımıyla kurulan Artemis Antlaşmaları (Artemis Accords), Artemis programı aracılığıyla 2025 yılına kadar Mars için yapılacak uzay araştırmalarını desteklemek amacıyla Ay'a insan göndermeyi hedeflemektedir. ABD ile birlikte Avrupa'dan sekiz, Asya'dan yedi, Kuzey Amerika'dan üç, Okyanusya'dan iki, Afrika'dan iki ve Güney Afrika'dan iki ülkenin katılımıyla oluşturulan Artemis Antlaşmalarının toplam katılımcısı 24 ülkedir. Antlaşmalar topluluğu hâlen başka ülkelerin katılımı ve desteğine açıktır^[37].

7. TÜRKİYE'DE UZAY ARAŞTIRMALARI VE MADENCİLİĞİ

Türkiye son yıllarda uzay araştırmaları için önemli çalışmalara dahil olmaya başlamıştır. Türkiye; Çin, Pakistan, Endonezya, Bangladeş, Peru, İran, Moğolistan ve Tayland ile birlikte APSCO'nun dokuz kurucu üyesinden biridir. Katılım sözleşmesi 1 Haziran 2006'da imzalanmıştır. APSCO, Nisan 2007'de Birleşmiş Milletler tarafından Birleşmiş Milletler Antlaşmasının 102'nci maddesi

kapsamında Çok Taraflı Uluslararası Kuruluş olarak kabul edilmiştir. Meksika APSCO'ya 2015 yılında gözlemci olarak katılmıştır. 2016 yılında ise Mısır yedek üye olarak kabul edilmiştir^[38].

2018 yılında kurulan Türkiye Uzay Ajansı da uzay araştırmaları konusunda atılan önemli adımlardan biridir. Türkiye Uzay Ajansı (TUA), uzay ve havacılık bilimi ve teknolojilerine yönelik orta ve uzun vadeli amaçları, temel ilke ve yaklaşımları, hedef ve öncelikleri, performans ölçütlerini, bunlara ulaşmak için izlenecek yöntemler ile kaynak dağılımlarını da içeren stratejik planlar hazırlamakla görevli devlet kuruluşudur^[39].

Türkiye'nin uzay çalışmalarına ilişkin projeleri daha çok uydu alanına yönelik olarak ilerlemeye devam etmektedir. Ancak uzay madenciliğine yönelik bazı çalışmalar da başlatılmıştır^[40].

Türkiye'nin daha önce açıklamış olduğu Ay'a sert iniş projesinin 2024 yılına kadar tamamlanması hedeflenmektedir. Bu projenin tamamlanması durumunda Türkiye'nin de uzay madenciliği alanında yer edinmesine olası gözüyle bakılmaktadır. Milli Uzay Programı kapsamında uzay madenciliği çalışmaları büyük bir önem taşımaktadır. Uzay madenciliğinin teknolojik altyapı çalışmaları göz önüne alındığında Türkiye'nin erken dönemde bu çalışmaların temelini oluşturması önemli bir avantaj sağlayabilir^[41].

8. UZAY MADENCİLİĞİNİN GÜNÜMÜZ VE GELECEKTEKİ EKONOMİK ETKİLERİ

Uzay madenciliğinin en belirgin etkisi küresel ekonomi üzerinde olacaktır. Uzay madenciliği bir taraftan bireyler için önemli bir servet üretebilir, diğer taraftan da dünyada daha büyük bir refah düzeyine erişime kaynak sağlayabilir.

Uzay madenciliği ile ilgili teknolojilerin teşvik edilmesi, yeni bir uzay ekonomisi alanının geliştirilmesinin anahtarı olabilir^[7].

Yeni Uzay çalışmaları uzay ekonomisine doğru evrilenken, 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.

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.

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^[42].

Ay ve Mars görevleri ekonomik ve bilimsel olarak gerçek dünyadaki anlamlarından çok, ülkelerin siyasi

kapasiteleriyle ilgilidir. Bununla birlikte, uzay madenciliği ile ilgili teknolojiler, uzun vadeli getiri arayan Larry Page, eski Google CEO'su Eric Schmidt ve ünlü yönetmen James Cameron gibi özel kurum destekçileri tarafından ilgi görmeye başlamıştır. Uzay madenciliği pazarı 2017 yılında yaklaşık 500 milyon dolar civarındadır. Bu pazarın 2025 yılına kadar 2,84 milyar dolara çıkması beklenmektedir^[43].

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 bir süre daha beklemek ve teknolojilerin güvenilirliğini test etmek gerekebilir^[42].

9. UZAY MADENCİLİĞİNİN RİSKLERİ VE GELECEĞİ

Uzay madenciliği insanlığın geleceği için önemli bir adımdır. Ancak önce bu alanda gelecekte neler planlandığı, ne gibi riskler bulunduğu ve uzay madenciliğinin avantajları belirlenmelidir.

Uzay madenciliği çalışmalarında günümüzde önemli bir yere sahip olan AstraForge'a göre; mevcut teknolojiler bu alanın gelişimi için yeterli olgunluğa ulaşmak üzeredir. Mevcut teknolojiler kontrol edilebilir, operasyonlar kontrol edilebilir; ancak uzay madenciliğinin bir bilinmezi ve henüz yeterli seviyede kontrol edilemeyen bir yanı bulunmaktadır. Bu bilinmezlik asteroitlerin kendisidir. Asteroitlerin iyi incelenmesi uzay madenciliğinin geleceği için oldukça önemlidir. Ne yazık ki bazı asteroitlerin maden içerikleri yanlarına gidilene kadar anlaşılacak uzaklıktadır^[8].

Uzay madenciliği uzun dönemli yatırımlar için elverişli olabilecek bir alandır. Asteroitlere olan mesafe mevcut teknolojilerle oldukça uzun bir yolculuk gerektirmektedir. AstraForge'un yaptığı bazı araştırmalar metal yapısı zengin olan Mars ve Jüpiter arasında hedeflenen asteroitlere gidiş geliş süresinin 14 yıl olduğunu göstermektedir. Ancak bütün zorluklarına rağmen uzay madenciliği bir rönesans dönemine girmiştir. Açılan birçok yeni şirketin katkılarıyla bu alanda çok daha hızlı ve fazla gelişme olması beklenmektedir^[44].

Uzay madenciliği ile ilgili çevresel kaygılar da ortaya çıkmaya başlamıştır. Uzay madenciliğinin çevresel etkiyi azaltmak için olumlu bir adım olacağı düşünülebilir, ancak neden olduğu kütleli toz miktarının daha olumsuz bir etkisi de olabilir. Asteroitlerde yapılacak kazılarla ortaya çıkacak toz ve enkaz Dünya'ya gelebilir, uydulara ve gezegenin yörüngesindeki herhangi bir uzay çöplüne veya bir uzay aracına çarpabilir^[45].

Uzay madenciliğinin önemli bir alanı olan Ay'da maden çıkarma faaliyetleri için de önce önemli bazı sorunların çözülmesi gerekmektedir. Ay yüzeyinde yaşanan yüksek sıcaklık değişiklikleri bunlardan biridir.

Ay yüzeyinin güneş alan kısımlarında sıcaklık 120 santigrat dereceye çıkabilirken, karanlık tarafı ise -232 santigrat dereceye kadar düşebilmektedir. Bu yüksek sıcaklık farklarında çalışabilecek ekipmanların tasarlanması gerekir. Ayrıca kozmik ışınlar ve radyasyon da başka bir risk yaratmaktadır. Ay'da bulunan ay tozu da madencilik faaliyetleri için bir risk yaratmaktadır. Ay tozu son derece ince yapıda ve yüksek aşındırıcılık özelliğine sahiptir. Bu nedenle hareketli makine aksamalarının çok iyi korunması gerekmektedir^[35].

Artan nüfus, tükenen Dünya kaynakları ve yeni teknolojilerin üretimi için artan talep en az uzay madenciliğinin olumsuz olasılıkları kadar ciddi sorunlardır. Uzay madenciliği insanlığın geleceği için önemli bir adım olsa da sonrasında atılacak adımların dikkatle incelenmesi ve hesaplanması gerekmektedir. Uzay madenciliği yeni nesil uzay endüstrisinin kapılarını açacaktır^[46].

10. SONUÇ

Dünya kaynakları her geçen gün hızla azalmaktadır. Ancak gelişen yeni teknolojiler ve bu teknolojilere artan talep küresel bir hammadde sorunu yaratmaktadır. İnsanlığın sağlığı ve geleceği için mevcut kaynakları daha fazla tüketmek yerine alternatif kaynaklar yaratmak çok daha mantıklı bir yaklaşımdır. Ancak bu yeni kaynakların başlangıç aşamasından sonra kendi kendini destekleyen bir yapıda oluşturulması çok daha avantajlı olacaktır. Uzay madenciliği bu avantaja ulaşmanın en önemli yollarından biridir. Uzayda bulunan madenlerin, diğer kaynakların ve değerli elementlerin dünya ekonomisine çok büyük katkısı olabilir. Geçmişte yapılan araştırmalar yüksek maliyetler ve teknoloji yetersizliği gibi nedenlerle rafa kalkmış olsa da yeni gelişmeler ışığında uzay madenciliğinin çok yakında aktif bir endüstriyel alan olması kaçınılmazdır.

Uzay madenciliği ile ilgili bütün çalışmalarda en çok dikkat edilmesi gereken konu bu çalışmaların herkesin yararına olacak şekilde dünya genelinde fayda sağlayacak nitelikte planlanmasıdır. Uzay herkese aittir. Uzaya erişim teknolojisine sahip herkes de eşit şartlarda uzayda maden arama ve araştırma yapma hakkına sahiptir. Bu hakların korunması için tüm dünya uluslarının birlikte çalışması ve araştırmalara katkı sağlaması gerekmektedir. Dünya'nın ve insanlığın geleceği son sınır olan uzayda saklıdır.

KAYNAKÇA

- [1] *Space Generation*, "Space mining", <https://spacegeneration.org/sgac-ecsl-un-model/67883-2>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [2] Göncü, Ceren; (2021), "Uzay Madenciliği Ve Derin Uzayda Rekabet", *TA-SAM*, (25 Eylül 2021), https://tasam.org/tr-TR/Icerik/67964/uzay_madenciligi_ve_derin_uzayda_rekabet. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [3] *Massachusetts Institute of Technology*, "Asteroid Mining", <https://web.mit.edu/12.000/www/m2016/finalwebsite/solutions/asteroids.html>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [4] General Kinematics, "MINING IN SPACE", <https://www.generalkinematics.com/blog/mining-in-space/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [5] Law on Mars, "THE SPACE TREATIES", <https://www.lawonmars.com/the-space-treaties>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [6] *Wikipedia*, "Asteroid mining", https://en.wikipedia.org/wiki/Asteroid_mining. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [7] Yarlagadda, Shriya; (2022), "Economics of the Stars: The Future of Asteroid Mining and the Global Economy", *Harvard International Review*, (8 Nisan 2022), <https://hir.harvard.edu/economics-of-the-stars/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [8] Petrova, Magdalena; (2022), "The first crop of space mining companies didn't work out, but a new generation is trying again", *CNBC*, (9 Ekim 2022), <https://www.cnbc.com/2022/10/09/space-mining-business-still-highly-speculative.html>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [9] *UN Office for Outer Space Affairs*, (1966), "RESOLUTION ADOPTED BY THE GENERAL ASSEMBLY", <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/outerspacetreaty.html>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [10] Gilbert, Alex; (2021), "Mining in Space Is Coming", *Milken Institute Review*, (26 Nisan 2021), <https://www.milkenreview.org/articles/mining-in-space-is-coming>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [11] *U.S. Congress*, (2015), "U.S. COMMERCIAL SPACE LAUNCH COMPETITIVENESS ACT", (25 Kasım 2015), <https://www.congress.gov/114/plaws/publ90/PLAW-114publ90.pdf>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [12] *UN Office for Outer Space Affairs*, (2018), "The Space Protocol of the Cape Town Convention", (14 Kasım 2018), https://www.unoosa.org/documents/pdf/hlf/HLF2018/Pres/4_Tirado_UN_HLF_Presentation_-_Space_Protocol.pdf. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [13] Rodoplu Şahin, Didem; Bebitova, Matluyba; (2022), "UZAY MADENCİLİĞİNE İLİŞKİN ZORLUKLAR VE POTANSİYEL ÇÖZÜMLERİ", *Nişantaşı Üniversitesi Journal of Social Science*, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2400887>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [14] Maxey, Kyle; (2017), "Asteroid Mining – Who Wants to be a Trillionaire?", (21 Temmuz 2017), *Engineering.com*, <https://www.engineering.com/story/asteroid-mining-who-wants-to-be-a-trillionaire>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [15] *European Space Agency*, (2020), "Turning Moon dust into oxygen", (27 Kasım 2020), https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Turning_Moon_dust_into_oxygen. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [16] Dello-Iacovo, Michael; Saydam, Serkan; (2022), "Humans have big plans for mining in space – but there are many things holding us back", *The Conversation*, (15 Mayıs 2022), <https://theconversation.com/humans-have-big-plans-for-mining-in-space-but-there-are-many-things-holding-us-back-181721>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [17] Kizer Whitt, Kelly; (2022), "Rare space diamonds found in meteorites", *earthsky*, (15 Eylül 2022), <https://earthsky.org/space/space-diamonds-rare-and-ultrahard-found-in-meteorites/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [18] Borkar, Abhijeet; (2022), "It's Raining Diamonds on Saturn", *Natural Diamonds*, (22 Haziran 2022), <https://www.naturaldiamonds.com/industry-insights/its-raining-diamonds-on-saturn/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [19] *Faster Capital*, "Space Resources Startup Wants To Mine Venus For Rare Earth Elements", <https://fastercapital.com/content/Space-Resources-Startup-Wants-To-Mine-Venus-For-Rare-Earth-Elements.html>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [20] Ronnet, T.; (2016), "THE COMPOSITION OF THE MARTIAN MOONS PHOBOS AND DEIMOS IN A GIANT IMPACT SCENARIO", *USRA*, <https://www.hou.usra.edu/meetings/psc2016/pdf/1941.pdf>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [21] *Statista*, "Value and estimated profit of the most cost-effective asteroids to mine (in billion U.S. dollars)", <https://www.statista.com/statistics/656590/cost-effective-asteroid-mining-value-and-profit-estimates/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [22] *STM ThinkTech*, (2021), "4,6 Milyar Yıl Öncesinden Gelen Taşların Hikâyesi", (9 Aralık 2021), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/46-milyar-yil-onesinden-gelen-taslarin-hikayesi>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [23] Osburg, Jan; Lee, Mary; (2022), "Governance in Space: Mining the Moon and Beyond", *Rand Corporation*, (18 Kasım 2022), <https://www.rand.org/blog/2022/11/governance-in-space-mining-the-moon-and-beyond.html>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [24] Gamillo, Elizabeth; (2022), "This Metal-Rich, Potato-Shaped Asteroid Could Be Worth \$10 Quintillion", *Smithsonian Magazine*, (4 Ocak 2022), <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/asteroid-16-psyche-may-be-worth-more-than-planet-earth-at-10-quintillion-in-fine-metals-180979303/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [25] NASA, "Psyche Mission", <https://solarsystem.nasa.gov/missions/psyche/in-depth/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [26] David, Leonard; (2023), "Space mining startups see a rich future on asteroids and the moon", *Space.com*, (7 Ocak 2023), <https://www.space.com/space-mining-grinding-into-reality>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [27] Spelbrink, Laura; (2022), "Australia's booming space industry: creating opportunities for mining", *Ausimm*, (26 Nisan 2022), <https://www.ausimm.com/bulletin/bulletin-articles/australias-booming-space-industry-creating-opportunities-for-mining/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [28] Cohen, Ariel; (2021), "China's Space Mining Industry Is Prepping For Launch – But What About The US?", *Forbes*, (26 Ekim 2021), <https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2021/10/26/chinas-space-mining-industry-is-prepping-for-launch--but-what-about-the-us/?sh=4c25fb732ae0>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [29] Amos, Jonathan; (2020), "China's Chang'e-5 mission returns Moon samples", *BBC*, (16 Aralık 2020), <https://www.bbc.com/news/science-environment-55323176>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [30] 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: 7 Mart 2023)
- [31] Foust, Jeff; (2021), "Japan passes space resources law", *SpaceNews*, (17 Haziran 2021), <https://spacenews.com/japan-passes-space-resources-law/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [32] JAXA, "Hayabusa2", <https://www.hayabusa2.jaxa.jp/en/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [33] *ispace*, <https://ispace-inc.com/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [34] *Economist*, (2023), "Which firm will win the new Moon race?", (18 Ocak 2023), <https://www.economist.com/science-and-technology/2023/01/18/which-firm-will-win-the-new-moon-race>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [35] Henriquet, Pierre; (2022), "Mining in space: can we do it?", *Polytechnique*, (17 Mayıs 2022), <https://www.polytechnique-insights.com/en/braincamps/space/extraterrestrial-mining/mining-in-space-can-we-do-it/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [36] *Asia-Pacific Space Cooperation Organization*, "About Us", <http://www.apsco.int/html/comp1/channel/aboutus/24.shtml>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [37] *Wikipedia*, "Artemis Accords", https://en.wikipedia.org/wiki/Artemis_Accords. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [38] *Türkiye Uzay Ajansı*, "Asya Pasifik Uzay İşbirliği Örgütü", <https://tua.gov.tr/tr/uluslararası-uyelikler/asya-pasifik-uzay-isbirligi-orgutu>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [39] *Türkiye Uzay Ajansı*, <https://tua.gov.tr/tr>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [40] *İstanbul Teknoloji Transfer Ofisi*, (2020), "Türkiye'nin Uzay Çalışmaları", (12 Mayıs 2020), <https://www.istanbultto.com/turkiyenin-uzay-calismalari/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [41] *cementürk*, (2022), "'Uzay Madenciliği' geleceği şekillendirecek", (26 Ekim 2022), <https://cementurk.com.tr/uzay-madenciligi-gelecegi-sekillendirecek/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [42] *STM ThinkTech*, (2022), "Uzay Madenciliği" geleceği şekillendirecek", (31 Mayıs 2022), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/2050-bir-uzay-destani-uzay-calismalarinda-gelecek-ongoruleri>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [43] Joseph, Alex; (2022), "Fantasy vs Function: The Abysmal Economics Of Space Asteroid Mining", *Disruption Banking*, (21 Haziran 2022), <https://www.disruptionbanking.com/2022/06/21/fantasy-vs-function-abysmal/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [44] Gent, Edd; (2023), "AstroForge's Space Mining Tech Will Get Its First Real-World Test This Year", *Singularity Hub*, (27 Ocak 2023), <https://singularityhub.com/2023/01/27/space-mining-will-get-its-first-real-world-test-this-year/>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [45] Ambrecht, Arwen; (2016), "Asteroid mining: is this the next space race?", *World Economic Forum*, (5 Şubat 2016), https://www.weforum.org/agenda/2016/02/asteroid-mining-next-space-race/?DAG=3&gclid=EAlalQobChMnLay1oWi_QIVht-yCh30rQDLEAAYAIAAEgJkvd_BwE. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)
- [46] *Futurism*, (2016), "Humanity's Future in Space Depends on Asteroid Mining", (23 Haziran 2016), <https://futurism.com/humanitys-future-in-space-depends-on-asteroid-mining>. (Erişim Tarihi: 7 Mart 2023)



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

