

**EKONOMİK, TEKNOLOJİK
VE ÇEVRE BOYUTUYLA
DERİN DENİZ MADENCİLİĞİ**



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



1. GİRİŞ

Dünya gittikçe hızlanan teknolojik atılımların büyüleyici sonuçlarıyla gelişimini sürdürmektedir. İletişimden savunmaya, sürücüsüz araçlardan batarya ve çip teknolojilerine yeni gelişmeler her geçen gün hayatı kolaylaştırırken, diğer yandan bu yeniliklere yönelik üretimler için temel element ve mineraller başta olmak üzere yeni doğal kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır. Doğal kaynakların keşfedilmesi, çıkarılması ve ekonomik hâle getirilmesi ise dünyayı tehdit eden iklim krizini şiddetlendiren çevre risklerini doğurmaktadır. Üstelik teknolojik üstünlük peşinde koşan ülkelerin, çeşitli madenlerin sahipliği ve kullanımında rakiplerinden öne geçme istekleri de ülkeler arası rekabeti bambaşka boyutlara taşımaktadır.

Sonu gelmeyen kaynak ihtiyacında karaların yanında son yıllarda öne çıkan bir başka odak alanı ise okyanuslar ve derin denizler olmuştur. Teknik olanaksızlıklar nedeniyle bugüne kadar ulaşılması mümkün olmayan okyanusların derinliklerindeki değerli maden ve mineral rezerv alanlarının günümüzde erişilebilir hâle gelmesi, dünyanın önde gelen madencilik şirketlerinin gözünü okyanusların derinliklerine çevirmesine yol açmıştır. Ancak derin denizlerdeki doğal yaşam habitatlarının henüz keşfedilmemiş olması, derin deniz madenciliğinin doğaya verebileceği zararların olası sonuçlarının yeteri kadar bilinmemesi gibi unsurlar nedeniyle bilim insanları ve çevre aktivistleri bu tehlikeli girişime karşı ciddi uyarılarda bulunmaktadır. Sonuç itibarıyla dünyamız bir yandan küresel iklim değişikliğinin çarpıcı sonuçlarıyla mücadele etmeye çalışırken öte yandan çevreye olağanüstü

zarar verme potansiyeli taşıyan yeni bir tehdit alanıyla karşı karşıyadır. Tüm bu unsurlar çerçevesinde analizimizde, derin deniz madenciliğinin gelişim süreci, ekonomik, teknolojik ve çevresel etkileri ile sonuçları değerlendirilmiştir.

2. DERİN DENİZ MADENCİLİĞİ NEDİR VE NASIL YAPILIR?

Derin deniz madenciliği, okyanus tabanında, yüzeyin yüzlerce hatta binlerce metre altında bulunan değerli maden yataklarından kritik önem taşıyan maden ve minerallerin çıkarılması işlemidir. Bu derinliklerde henüz oldukça sınırlı bir kısmını bilebildiğimiz çok çeşitli deniz yaşamının yanı sıra, önemli miktarlarda bakır, kobalt, nikel, çinko, gümüş, altın ve nadir toprak elementleri rezervleri bulunmaktadır. Bu rezervler, sıfır karbonlu enerji bileşenleri ve diğer teknolojilerin inşası için gerekli olan, ancak oldukça sınırlı kaynaklardır.

Bahse konu maden ve mineraller derin denizde oldukça yavaş oluşan polimetallik nodüllerin yanı sıra polimetallik sülfürler (kükürt bileşiklerinden ve hidrotermal menfezlerin etrafında oluşan diğer metallerden oluşan büyük birikintiler) ve sualtındaki metal açısından zengin tabakalarda (deniz dağları) bulunmaktadır. Onlarca yıldır bu minerallere yönelik ticari bir ilgi olsa da yakın zamanda teknolojiye yaşanan son gelişmeler, deniz tabanındaki madenleri toplamak için araçlar göndererek bu alanlarda madencilik yapılmasını mümkün kılmıştır^[1].

Derin deniz yatağının derinliği 200 metreden fazla olup, toplam deniz tabanının yaklaşık üçte ikisini kaplamaktadır^[2]. Karasal yatakların tükenmesi ve uluslararası pazarda metal talebinin artması gibi nedenlerle ticari derin deniz madenciliğine ilgi son yıllarda hızla artmaktadır^[3]. Şu anda derin deniz madenciliğinin ana odak noktalarından biri polimetallik nodüllerdir. Derin deniz madenciliği sürecinde okyanus dibine gönderilecek madencilik araçları, üst tortu katmanlarıyla birlikte tarlayı süren bir traktör gibi, deniz yatağının yüzeyindeki mineral yataklarını toplayacaktır. Toplanan malzemeler daha sonra işlenmek üzere bir yüzey teknesine aktarılacak, çöktürülür ve diğer organik malzemeler gibi atıklar su süntününe geri pompalanacaktır^[1].

2.1 Derin Deniz Madenciliğinin Gelişimi ve Güncel Durumu

Okyanus tabanının zengin çeşitlilikte değerli mineralere ev sahipliği yapabileceği fikri ilk kez modern okyanus biliminin öncüsü olarak kabul edilen İngiltere'ye ait HMS Challenger gemisinin 1873 yılında Pasifik, Hint ve Atlantik okyanuslarının dibinden bir dizi manganez nodülü çıkarmasıyla düşünülmüştür^[4]. O dönemde, bu mineralleri bulmak için deniz tabanını tarama işlemi henüz gelişmemişti ve mineraller çok az ekonomik değer sağlamaktaydı.

1965 yılına gelindiğinde, okyanus madenciliğinin babası olarak tanınan John L. Mero, okyanusun dibinde yatan ekonomik potansiyel hakkında daha ayrıntılı araştırmalar yapmış ve manganez nodüllerinin madenciliğinin sadece 20 yıl içinde uygulanabilir bir iş hâline gelebileceğini belirlemiştir. Mero'nun tahmin ettiğinden daha geç olmakla birlikte, bugün derin deniz madenciliği hayli cazibe kazanmış durumdadır^[5].

Günümüzde ekipman testleri nedeniyle keşif amaçlı madencilik küçük ölçekte gerçekleştirilmiş olsa da derin deniz madenciliği henüz ticari olarak yapılmamıştır. Ancak bazı ulusal hükümetler ve madencilik şirketleri, önümüzdeki birkaç yıl içinde derin deniz madenciliğine başlamayı planlamaktadır.

Dünya Ekonomik Forumunun Derin Deniz Mineralleri Diyalogu adlı girişimi, dünyanın endüstriyel kalkınma, ekonomik büyüme ve yeşil dönüşüme yön vermek için maden aradığına dikkat çekerek, derin denizlerin bu minerallerin bir kısmının sağlanmasına yardımcı olabileceğini belirtmekle birlikte çevresel kaygılara da dikkat çekmektedir. Savunucuları, geleneksel madencilikle karşılaştırıldığında, derin deniz madenciliğinin potansiyel faydalarını vurgulamaktadır. Buna göre, derin deniz madenciliği karadaki bakır maden sahalarına yönelik baskıyı hafifletebilir, daha az karbon yoğun maden çıkarma olanağı sunabilir ve özellikle ekonomik açıdan savunmasız ada ülkeleri için ekonomik gelir sağlayabilir. Ancak öte yandan bilim insanları dünyanın el değmemiş deniz tabanlarındaki zengin ve yeterince anlaşılmayan biyolojik çeşitlilik konusunda derin endişelerini dile getirmektedir. Zira insanlığın kısa vadeli tedarik sorunlarına çözüm, bin yıllara yayılan bir yıkıma neden olabilecektir. Bu çerçevede Dünya Ekonomik Forumu Derin Deniz Mineralleri

Diyalogu, sorumlu kaynak kullanımı hususlarına dikkat çekerek, alınacak kararların insanlık ve Dünya için en akıllıca karar olmasının ancak geniş katılımı sağlanabileceğini belirtmektedir^[6].

3. DERİN DENİZ MİNERALLERİ VE KULLANIM ALANLARI

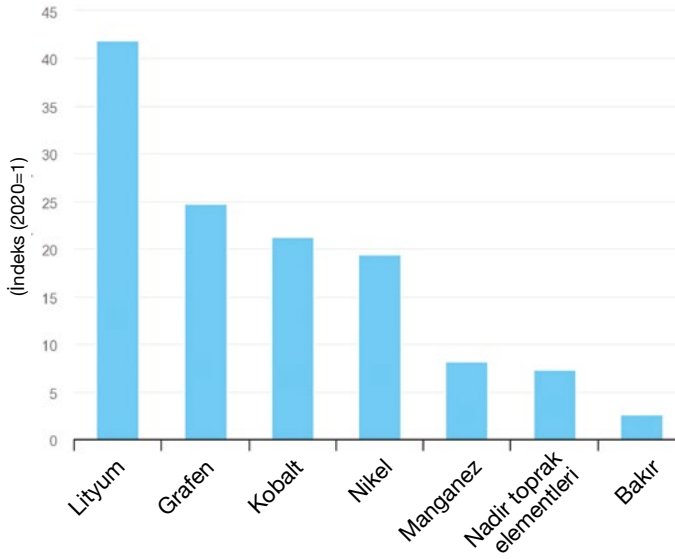
3.1 Derin Deniz Minerallerinin Kullanım Alanları

Hızla gelişen teknoloji sayesinde hayatımıza giren ve artık vazgeçilmez hâle gelen cihaz ve sistemlerin büyük çoğunluğu üretim aşamalarında hammadde işlevi gören değerli maden ve minerallere ihtiyaç duymaktadır. Akıllı telefonlardan dizüstü bilgisayarlara, güneş panellerinden rüzgâr türbinlerine ve elektrikli araçlardan çiplere kadar günümüz ekonomisine ve insanların gündelik yaşamına yön veren temel teknolojilerin üretilmesinde genellikle yeraltında ve deniz tabanının altında bulunan bakır, nikel, alüminyum, çinko, lityum, kobalt ve manganez gibi değerli metaller büyük rol oynamaktadır^[7].

Öte yandan, önümüzdeki dönemde dünya toplumlarının hem çevresel hem de ekonomik açıdan benzeri görülmemiş zorlukların üstesinden gelmesinde metaller ve mineraller anahtar rol oynayacaktır. Zira 20-30 yıl içinde küresel ekonomiye güç kazandırmada en kritik emtialar hidrokarbonlar değil, diğer uygulamaların yanı sıra temiz enerji üretimi, iletimi ve depolama teknolojilerinde kullanılan metaller olacaktır^[8]. Lityum, kobalt ve grafit gibi malzemeler, dünyanın enerji sistemlerine giderek daha fazla güç sağlayan düşük karbonlu teknolojilerin temel bileşenleridir. Fosil yakıt enerjisinden güneş, rüzgâr ve su ile beslenen sistemlere geçiş, bu sınırlı kaynakların büyük miktarlarını gerektirmektedir. Örneğin, tek bir rüzgâr türbini 500 kg nikel gerektirirken, elektrikli bir araç inşa etmek ortalama içten yanmalı motorlu otomobil için gereken bakır miktarının üç katına ihtiyaç duymaktadır^[5].

Dolayısıyla dünya güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji gibi yeşil geçişe güç verecek enerji türlerine giderek daha fazla yöneldikçe ve karbonsuzlaştırmaya doğru ilerledikçe, bu enerjilerin temelini oluşturan kobalt, lityum ve bakır gibi minerallerin tüketiminin belirgin şekilde artacağı öngörülmektedir. Tahminler, dünyanın rüzgâr ve güneş enerjisine, elektrikli araçlara, pillere ve diğer sıfır karbon teknolojilerine olan bağımlılığının artmasıyla birlikte, bu tür minerallere yönelik küresel talebin önümüzdeki on yıllarda yüzde 400 ila yüzde 600 kadar artabileceğini göstermektedir^[1].

Dünya Bankası, küresel sıcaklık artışını 2°C'nin altında tutmak için gereken temiz enerji teknolojilerini üretmek için üç milyar tondan fazla mineral ve metale ihtiyaç duyulacağını tahmin etmektedir. Paris Anlaşması'nın 1,5°C hedefine ulaşmak için daha da büyük miktarlara ihtiyaç duyulabilecektir^[8]. Yine Dünya Bankasına göre, karbonsuzlaşmayı sağlayacak enerjilere olan talebi karşılamak için kobalt üretiminin 2018'den 2050'ye kadar yüzde 450 oranında artması gerekmektedir. Analize göre, azaltılmış veya sıfır kobalt içeriğine sahip yeni pil teknolojileri geliştirilme aşamasındadır, ancak bu



Şekil 1: Temiz enerji teknolojilerinden bazı minerallere olan talepteki artış (2020'ye göre 2040 yılı tahminleri)^[12].

teknolojilerin ve döngüsel ekonomi yeniliklerinin genel kobalt talebini ne sürede ve ne kadar azaltabileceği henüz belirlenmemiştir^[9].

Scientific American dergisi, temiz enerji teknolojilerinin, artan talebe ayak uydurmak için 2050 yılına kadar lityum ve kobalt üretiminde yüzde 500'lük bir artış gerektireceğini bildirmiştir^[10]. Benzer şekilde, Uluslararası Enerji Ajansı, 2020 ve 2040 yılları arasında bakır talebinin üç katına çıkacağını, manganez talebinin sekiz kat, nikel talebinin 19 kat ve kobalt talebinin ise 21 kat artacağını tahmin etmektedir^[11].

Sera gazı emisyonlarını azaltma ve iklim değişikliğini dizginleme yarışında yaşanan talep artışları, kritik madenlerin karasal rezervlerini hızla tükettiğinden önemli miktarda maden kaynağına ev sahipliği yapan uluslararası sulardaki el değmemiş rezervlere olan ilgi de gün geçtikçe artmaktadır^[13]. Derin deniz madenciliğinin savunucuları, okyanus ve derin denizlerde bulunan kaynakların dünyanın kritik minerallere yönelik acil ihtiyacının



Şekil 2: Derin deniz madenciliği açısından önemli bir alan olan Doğu Pasifik'te bulunan Clarion-Clipperton Bölgesi'ndeki deniz tabanındaki mineral nodülleri^[1].

karşılmasına yardımcı olabileceğini ileri sürmektedir. Derin deniz tabanında bu metaller için büyük potansiyel kaynaklar tespit edilmiştir ve çoğu zaman birkaç önemli mineral aynı yerde bulunmaktadır^[8]. Derin deniz madenciliği, kobalt ve diğer metalleri sağlama potansiyeline sahiptir ve çok ihtiyaç duyulan yeşil teknolojilerin hammadde maliyetini ve karbon ayak izini azaltabilir. Üstelik derin denizde bulunan potansiyel yeni bir mineral kaynağı, 10 yıldan kısa bir süre içinde akü tedarik zincirlerine girebilecektir^[9].

Dünya Ekonomik Forumunun yayınladığı bir rapor ise, sürdürülebilir bir gelecek için gelecekteki maden talebinin, mümkün olan en geniş ölçüde, iş modeli ve teknoloji inovasyonu ve davranış değişiklikleri yoluyla azaltılması gerektiğine işaret etmektedir. Rapora göre, geri kalan talep ise genel olarak işlenmemiş cevher madenciliğinden daha düşük çevresel etkiye sahip olan döngüsel ekonomideki ilerlemelerden karşılanmalıdır: "Geleneksel hurda geridönüşümü, kentsel madencilik, döngüsel iş modelleri ve döngüselliğe yönelik diğer yenilikçi çözümlerin hepsinin oynayacak rolleri var. Ancak önümüzdeki yıllarda da yeni maden ve mineral kaynaklarına ihtiyaç duyulacak. Şu anda pil teknolojileri mevcut olduğundan, karbondan arınma için gerekli olan tüm düşük karbonlu teknolojilerin inşasına yetecek kadar metal henüz dolaşımında bulunmuyor. Uluslararası Enerji Ajansı, geri dönüştürülmüş kaynaklardan elde edilen bakır, lityum, nikel ve kobaltın 2040 yılına kadar arzın yalnızca yüzde 10'una katkıda bulunabileceğini öngörüyor. Döngüsel kaynaklardan gelen arz boşlukları mevcut olduğunda, bunlar çevresel ve sosyal açıdan en az zararlı olan mevcut yollarla kapatılmalıdır^[8]."

3.2 Derin Deniz Madenleri ve Özellikleri

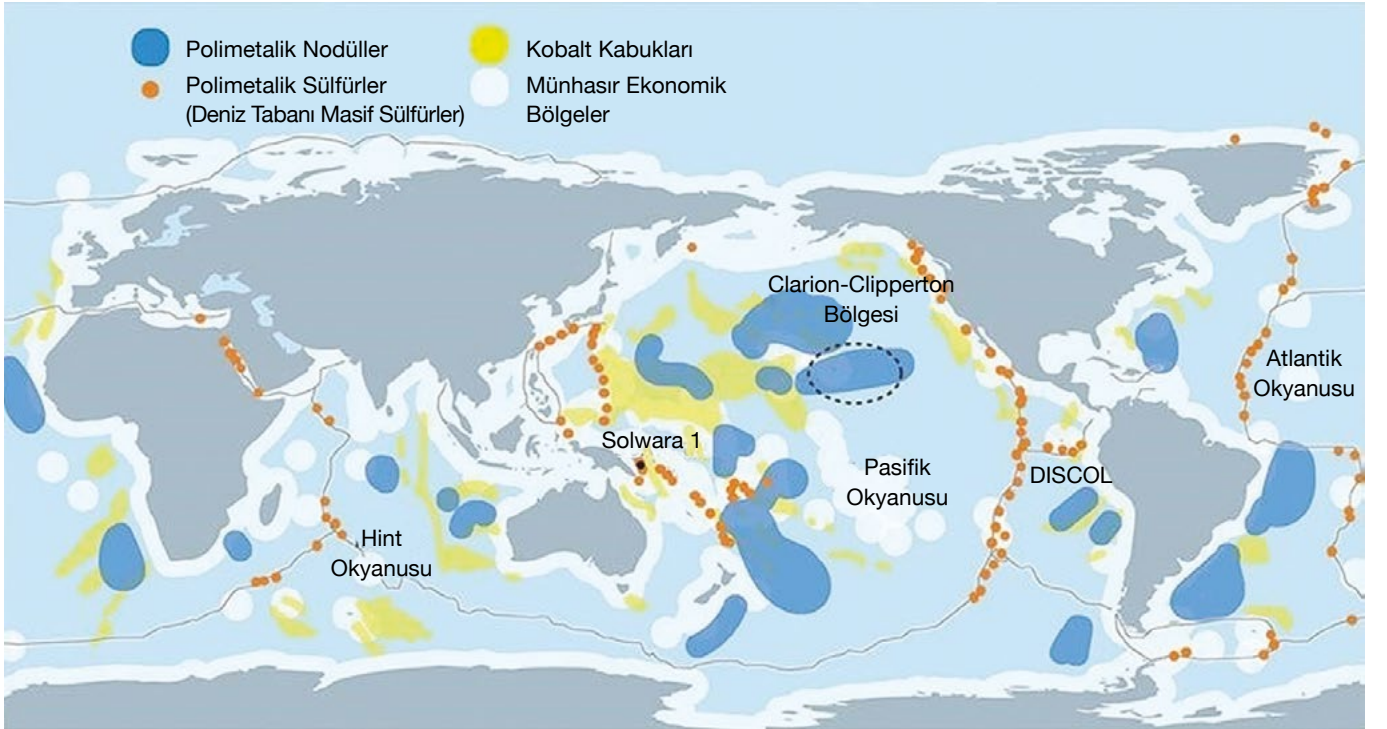
Okyanus tabanında hâlihazırda ticari amaçlı üç tür deniz madeni yatağı bulunmaktadır. Her bir kategorinin çıkarılmasında farklı zorluklar ve çevresel riskler söz konusudur.

3.2.1 Polimetalik Nodüller

Polimetalik nodüller deniz tabanındaki maden yataklarının en iyi bilinenleridir. Çapları genellikle 5 ila 10 cm arasındadır ve manganez ve demir hidroksitlerin milyonlarca yıl boyunca yavaş yavaş birikmesiyle oluşurlar. Bu nodüller madencilik endüstrisinde büyük bir heyecan yaratmaktadır çünkü bunlar genellikle birkaç santimreden biraz daha fazla tortuyla kaplanmakta ve deniz tabanında toplanmayı beklemektedir. Ancak bunları ekonomik açıdan en uygun şekilde yüzeye çıkarmak, deniz tabanında geniş alanların mayınlanmasını gerektirecektir^[5]. Polimetalik nodüller okyanus boyunca deniz yüzeyinden 3.500 ila 5.500 metrenin altında bulunmaktadır. Demir, manganez, bakır, kobalt, nikel, çinko gibi çok çeşitli metaller ile az miktarda molibden, titanyum, lityum, niyobyum ve yeterli miktarda kurşun içerirler. Doğu Pasifik'teki Clarion-Clipperton Bölgesi (CCZ), Orta Hint Okyanusu Havzası ve Cook Adaları, Kiribati ve Fransız Polinezyası bölgeleri muazzam miktarda nikel, manganez ve kobalt içermektedir^[3].

Yatak Türü				
	Kobalt bakımından zengin kabuklar	Polimetallik nodüller	Deniz tabanı masif sülfürler (aktif menfezler)	Deniz tabanındaki masif sülfürler (aktif olmayan menfezler)
Fiziksel tortu özellikleri	Deniz altı dağlarının tepelerinde ve yanlarında 25 cm'ye kadar ince bir yüzey tabakası.	Boyutları küçük bir çakıl taşından patatese kadar değişebilir ve derin okyanusun abisal düzlüklerinin çoğunda, deniz yatağında bağımsız olarak bulunabilir.	Çözünmüş metaller açısından zengin suyun hidrotermal menfezlerden deniz tabanına püskürtülmesiyle oluşan, onlarca metre kalınlığındaki tümsekler.	
Mineral içeriği profili	Diğer metallerin yanı sıra kobalt, manganez ve nikel.	Bakır, kobalt, manganez, nikel ve diğer metalleri içerebilir.	Mevcut metaller bakır, altın ve çinko içerebilir.	
Coğrafi dağılım	Dünya okyanuslarında yaygın olarak dağıtılır.	Önemli nodül alanları, uluslararası deniz tabanı içindeki Clarion-Clipperton Bölgesi'ni içerir. Orta Pasifik'teki bölge ve Cook Adaları'nın ulusal yargı alanındaki bölgeler.	Havalandırma delikleri (hem aktif hem de aktif olmayan), uluslararası deniz tabanı alanındaki jeolojik aktivite alanlarında, Japonya ve Norveç gibi ülkelerin kıyı sularında bulunur.	
Deniz yaşamı profili	Mercanlar ve süngerler içeren karmaşık ekosistemlere ev sahipliği yapabilir.	Nodül alanlarında tür çeşitliliği ve nadirliği çok yüksektir, ancak biyota küçük olma eğilimindedir.	Aktif havalandırma delikleri, dünyadaki en aşırı ortamlardan bazıdır ve başka hiçbir yerde bulunmayan birçok yaşam biçimine ev sahipliği yapar.	Aktif olmayan menfezler, aktif havalandırma deliklerine kıyasla normal okyanus koşullarında daha tipik olan omurgasız ve mikrobiyal biyotayı barındırır.

Tablo 1: Derin deniz mineral yataklarının temel özellikleri^[9].



Şekil 3: Derin deniz maden yataklarını gösteren harita^[9].

3.2.2 Polimetalik Sülfürler (Deniz Tabanı Masif Sülfürler)

Deniz tabanı masif sülfür birikintileri ağırlıklı olarak tektonik plaka sınırları boyunca veya yüksek düzeyde volkanik aktiviteye sahip bölgelerde bulunur. Deniz suyu, deniz tabanı çatlaklarına sızarak mineralleri çözer ve hidrotermal bacalar ve diğer birikintiler bunları oluşturdukları yüzeye geri taşır. Bu formdaki minerallerin toplanması, karadaki açık ocak madenciliğine benzer bir işlemi içerecek, metalik cevherler ezilerek bir bulamaç hâlinde okyanus yüzeyine pompalanacaktır. Bu birikintiler deniz tabanının altına uzandığından, madencilik nispeten küçük bir alanda gerçekleştirilebilir^[5]. Tektonik plaka sınırlarındaki yaklaşık 2.000 metre su derinliği, okyanus ortası sırtlar, aktif volkanik yaylar ve yay arkası sırtlar bakır, çinko, gümüş, demir ve altın açısından zengin kaynaklardır. Binlerce yıllık hidrotermal aktivite bu yatakları oluşturur^[3].

3.2.3 Kobalt Kabukları

Sert kaya maddelerinin yüzeyinde her bir milyon yılda, bir ila beş mm arasında kobalt bakımından zengin kabuklar oluşur. Bu kabukların yaklaşık yüzde 57'sinin Pasifik Okyanusu'nda bulunduğu inanılmaktadır, ancak kabuğun alttaki kayalardan çıkarılmasının zorluğu nedeniyle madencilik sürecinin oldukça emek yoğun olması beklenmektedir. Oluşumlarının uzun sürmesine rağmen 25 cm'den daha kalın kabuklar bulunmuştur. Japonya'nın güneybatısındaki Prime Crust Zone olarak bilinen bölgenin 7,5 milyar ton kobalt açısından zengin kabuk içerdiği tahmin edilmektedir^[5]. Japonya'nın doğusu, Pasifik Okyanusu'ndaki Magellan Deniz Dağları ve Mariana Adaları kobalt kabukları için en muhtemel alanlardır. Bu deniz dağlarının su derinlikleri 400 ila 7.000 metre arasında değişmektedir. Deniz suyundan

minerallerin çökmesi, nadir toprak elementlerinin yanı sıra demir, manganez, kobalt, nikel, bakır içeren kobalt kabuklarını oluşturur^[3]. Bu üç türün temel özellikleri Tablo 1'de yer almaktadır.

Her üç kategori de toplu olarak zengin bakır, manganez, çinko, kobalt, platin ve diğer değerli metal yataklarını içerebilir. Su yüzeyinin binlerce metre altında bulunan minerallerin çoğu, modern dijital ekonomi için gereklidir ve öngörülebilir gelecekte de öyle kalmaya adaydır. Özellikle polimetalik nodüllerden elde edilen erbiyum, evropiyum ve itriyum gibi nadir toprak metallerinden bazıları, ileri teknolojilerde önemli roller oynamaktadır^[5]. Deniz yatağı maden rezervlerinin birçok farklı bölgede 94.000 ton kobalt içerdiği tahmin edilmektedir; bu da mevcut kara kökenli rezervlerin yaklaşık altı katı anlamına gelmektedir^[9]. Şekil 3'teki haritada, dünya üzerindeki derin deniz maden yatakları gösterilmektedir.

Devlet kurumları ve özel şirketler derin deniz madenciliği için hazırlık yapmakta ve bu tür kaynakların keşfedilmesi, değerlendirilmesi ve çıkarılmasına yönelik teknolojilerin araştırılması ve geliştirilmesine yönelik önemli yatırımlar yapmaktadır^[13]. Dünya çapındaki mevcut derin deniz madeni aramaları Tablo 2'de yer almaktadır.

3.3 Manganez Nodüllerinin Okyanus Tabanından Çıkarılması

Manganez nodülleri, 4 ila 10 cm çapında, patates benzeri biçimde manganez, demir ve diğer metallerden oluşur. Deniz suyundaki bakteriler tarafından manganezin oksidasyonu sonucu manganez nodüllerinin oluşması milyonlarca yıl alır. Bu nodüller öncelikle yüzde 28 manganez, yüzde 1,3 nikel, yüzde 1,1 bakır, yüzde 0,2 kobalt, yüzde 0,059 molibden, yüzde 0,081 nadir toprak metalleri ve eser miktarda platin ve tellür içermektedir^[3].

Yetki	Derin deniz mineral yatağı tipi	Geliştirme durumu
Uluslararası deniz dibi alanı	Polimetalik nodüller	Clarion Clipperton Zonen, Hint Okyanusu ve Batı Pasifik Okyanusu'nda yayınlanan 19 arama sözleşmesi.
	Deniz tabanı masif sülfürler	Güneybatı Hint Sırtı, Orta Atlantik Sırtı ve Orta Hint Okyanusu'nda yayınlanan yedi arama sözleşmesi.
	Kobalt bakımından zengin kabuklar	Batı Pasifik Okyanusu, Pasifik Okyanusu'ndaki Magellan Dağı ve Batı Pasifik Okyanusu'nda beş arama sözleşmesi imzalandı.
Japon ulusal suları	Deniz tabanı masif sülfürler	2017 yılında mineral kullanımı için test edilmiş ekipman.
	Kobalt bakımından zengin kabuklar	2020'de mineral kullanımı için test edilmiş ekipman.
Cook Adaları ulusal suları	Polimetalik nodüller	Arama ruhsatlandırma süreci Ekim 2020'de başlatıldı.
Norveç ulusal suları	Deniz tabanı masif sülfürleri	2023-2024 yıllarında işletme lisansları verebilir.

Tablo 2: Dünya çapındaki mevcut derin deniz maden aramalarına genel bakış^[8].

4. DERİN DENİZ MADENCİLİĞİNİN TEKNOLOJİK BOYUTU

Derin denizde madencilik yapmak son derece teknik ve zorlu bir süreç gerektirmektedir. Exeter Üniversitesinden Deniz Biyoloğu Dr. Kirsten Thompson, binlerce metre derinlikler, yüksek basınç, düşük sıcaklıklar ve karanlık gibi koşullar nedeniyle -ticari madencilik şirketleri geçmişte madencilik yapmayı düşünmüş ve pilot uygulama yapmış olsalar da- derin deniz madenciliğini gerçeğe dönüştürebilecek teknolojinin ancak günümüzde geliştirilmiş olduğuna dikkat çekmektedir^[5].

Maden kaynaklarını araştırırken derin denizlerdeki hidrostatik basınç (atmosferin yaklaşık 500 katı), zifiri karanlık, ekosistemler hakkında sınırlı bilgi, madenciliğin sonuçlarının net olarak anlaşılabilmesi, farklı deniz tabanı özellikleri ve değişen akıntılar ve su derinliği gibi ekstrem koşullarla başa çıkabilmek için en son teknolojiye ihtiyaç vardır.

Teknolojik ekipman ihtiyaçları, kaynakların türüne ve araştırmanın jeolojik konumuna bağlıdır. Manganez nodülleri ve kabukların haritalanması, diğer minerallerin araştırılmasına kıyasla kolaydır ve üç aşaması bulunmaktadır^[3]:

- Konumlandırma
- Örnekleme
- Sondaj

Derin deniz madenciliğinde teknolojinin verimliliği, maden sahasının büyüklüğü, ortalama nodül bolluğu vb. gibi farklı teknik hususların dikkate alınması önem taşımaktadır. Birleşmiş Milletler Okyanus Ekonomisi ve Teknoloji Şubesi (The United Nation Ocean Economics and Technology Branch) manganez nodül maden sahasının seçimine yönelik standartlar geliştirmiştir. Bu standartlar şöyledir:

- Kesme derecesi = %1,8 Cu+Ni
- Bolluğun kesilmesi = 5 kg / m².
- Yıllık geri kazanım (Ar) = 3 milyon kuru ton
- Süre (D) = 20 yıl
- Topografya = kabul edilebilir

Madencilik sisteminin verimliliğindeki ve ortalama nodül bolluğundaki değişiklik madencilik masraflarını etkilemektedir. Derin deniz yatağı madencilik sistemleri dört temel bileşenden oluşur:

- Çıkarma (Ekstraksiyon) aracı
- Kaldırma sistemi
- Yüzey platformu
- Bertaraf sistemi

Bu bileşenler, çeşitli derin deniz yataklarına göre değişiklik göstermektedir. Madencilik faaliyetlerinin boyutu

ve süresi, deniz ortamı ve potansiyel gelir gibi diğer faktörler, madencilik sistemi bileşenlerinde farklılıklara yol açmaktadır.

Madencilik sisteminin verimliliği tarama başlığının ve kaldırma sisteminin toplama verimliliğine bağlıdır. Tarama başlığı deniz tabanını süpürmek ve nodülleri toplamak için kullanılır; oysa kaldırma sistemi, mineralleri bir hava asansörü veya hidrolik asansör kullanarak yüzeye çıkarır. Hava asansörünün bakımı kolay olmasına rağmen hidrolik asansörden 2-5 kat daha fazla güç gerektirir. Ek olarak, hidrolik asansör, taşıma için daha yüksek yoğunluklara izin verir ve nodüllerin kaldırılması için daha küçük borular gerektirir, ancak bakımı karmaşıktır^[3].

Derin deniz yatağı madenciliği, artan arıza riskiyle birlikte yüksek yatırım gerektirmektedir. Madencilik teknolojisi geliştirilen farklı aşamaları vardır. En büyük zorluk, hidrojenik koşullar (düşük veya yüksek sıcaklık, akım, karanlık), meteorolojik koşullar (rüzgârlar, yağışlar, siklonlar) ve deniz tabanı ortamı (tortu yoğunluğu ve kalınlığı, topografya) gibi aşırı okyanus koşullarında çalışmalarını sağlamak için alt sistemlerin ölçeklendirilmesini ve entegrasyonunu sağlamaktır.

Robotik manipülatörler, 3D algılama, otonom navigasyon ve aşırı okyanus ortamlarına dayanıklı araçlar gibi en son teknolojiler, bu zorlukların üstesinden gelmek için en iyi seçeneklerdir. Ancak bu kadar büyük sistemlerin ölçeklendirilmesi, dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli sorundur. Yüzen petrol platformları, derin su ve aşırı hava koşulları için donanımlar, deniz altı güç sistemleri ve madencilik pompaları gibi diğer konuların da modern teknolojilerle çözülmesi gerekmektedir.

4.1 Derin Deniz Madenciliği İçin Pilot Projeler

Son yıllarda Avrupa Birliği (AB) tarafından finanse edilen dört proje -2016 tarihli Midas, 2018 tarihli Mavi Madencilik (Blue Mining) ve VAMOS! ile 2019 tarihli Mavi Nodüller (Blue Nodules)- derin deniz maden kaynaklarını sürdürülebilir bir şekilde keşfetmek, değerlendirmek ve çıkarmak için yeni teknolojiler ve bilgiye dayalı çözümler geliştirmek üzere Avrupa'daki araştırmaları yeniden canlandırmıştır. Avrupa off-shore endüstrileri ve deniz araştırma kurumları küresel deneyime sahiptir ve hâlihazırda tarama ile petrol ve gaz sektörlerine teknoloji sağlamaktadır. Ayrıca Almanya, özellikle deniz araştırmaları, çıkarma ve işleme teknolojilerinde çok önemli rol oynamaktadır. Yaklaşık 400.000 çalışana ve 50 milyar avruluk ciroya sahip olması, Almanya'daki madencilik sektörünün ekonomik önemini göstermektedir^[13].

4.1.1 Blue Mining Projesi

AB 7. Çerçeve Programı tarafından finanse edilen "Derin Deniz Maden Kaynaklarının Sürdürülebilir Araştırılması ve Çıkarılması İçin Çığır Açan Çözümler (Breakthrough Solutions for the Sustainable Exploration and Extraction of Deep Sea Mineral Resources)" projesi 2014 yılında endüstriden, araştırma kurumlarından ve akademiden 19 AB ortağıyla başlamıştır. Dört yıl boyunca konsorsiyum, bilgiyi teşvik etmek ve derin deniz madenciliğinin teknolojik hazırlık düzeyini yükseltmek için disiplinlerarası bir

çalışma yürütmüştür. Çalışma programı, keşiften çıkarma ve kaldırma işlemlerine ve ekonomik değerlendirmelere kadar geniş bir yelpazedeki konuları içermektedir. Bilgisayar modellemesinde, yeni keşif yöntemlerinde ve teknoloji kavramlarında adım adım değişiklikler yapılmış ve denizdeki yeni araştırma gezileri sırasında benzersiz jeolojik veri setleri elde edilmiştir. Çok boyutlu ve zengin kapsamlı laboratuvar testleri dikey taşıma sistemine odaklanmıştır. Blue Mining’de geliştirilen bilgisayar kodları ayrıca yükseltici dinamiklerinin ve bulamaç taşıma süreçlerinin ayrıntılı simülasyonuna olanak sağlamıştır. Almanya Aachen’daki RWTH Aachen Üniversitesinin iş paketinin kapsamı da, sürdürülebilir madencilik, mevduat modellemesi ve derin deniz madenciliğinin ekonomik değerlendirmesi için teknik çözümler içermiştir^[13].

5. DERİN DENİZ MADENCİLİĞİNİN EKONOMİK DEĞERLENDİRMESİ

5.1 Derin Deniz Madenciliğinin Ekonomik Zorlukları

Derin denizler, geleceğin küresel ekonomisine güç vermenin anahtarı olabilecek biyolojik ve mineral kaynaklar için ciddi fırsatlar barındırmaktadır. Bu kaynaklar, onlara mümkün olduğunca hızlı, ucuz ve sürdürülebilir bir şekilde ulaşabilen kuruluşlar için kazançlı bir gelir akışı sağlayabilecektir. Ancak derin deniz madenciliği yapan şirketler için çok çeşitli ekonomik zorluklar bulunmaktadır. Bunlar arasında:

- Arama faaliyetlerinin son derece yüksek başlangıç maliyetleri,
- Hammadde fiyatlarındaki dalgalanmalar,
- Bilgi gelirlerini paylaşma yükümlülüğü,
- Artan çevresel kaygılar

bulunmaktadır. Derin deniz madenciliğinde talep ve arz küresel, endüstriyel ve bölgesel olmak üzere üç perspektifte kategorize edilmektedir. Bu kategoriler, derin deniz yatağı madenciliğini teşvik etmek için aşağıdaki farklı ekonomik yön katmanlarını göstermektedir^[3]:

- **Küresel**
 - Metallerle olan talebin artmasının küresel ekonomik büyümeye yol açması
 - Sanayileşme ve kentleşme nedeniyle gelişen ekonomi
 - Temel hammaddelerin güvenliği
 - Yeşil ekonomi
- **Endüstriyel**
 - Yüksek kâr marjları ve derin deniz yatağı madenciliğinden elde edilen gelirler gibi ekonomik faydalar
 - Karasal madencilik kıyasla derin deniz madenciliği için daha düşük maliyet

- Okyanus topraklarında karasal topraklardan daha yüksek dereceli yataklar
- Yenilikçi sınırların geliştirilmesi
- Kaynakların yeterli mevcudiyeti

● Bölgesel

- Alternatif ekonomik kalkınma nedeniyle istihdam, büyüme ve yerel endüstriler için fırsatlar
- Teknoloji ihracatı için yeni pazar
- Araştırma ve geliştirme fırsatları
- Yeni malzemelerin geliştirilmesi

5.2 Derin Deniz Madenciliğinin Ekonomik Boyutları

Maden talebindeki dramatik artış metal fiyatlarını artırmaktadır. Tedarikçiler kaynakların daha fazla araştırılmasını zorlamakta, dolayısıyla derin deniz madenciliğine olan ilgileri artırmaktadır. 2010 yılının yarısındaki ortalama metal fiyatları ile karşılaştırıldığında, yıllık toplam metal üretim değeri 1,04 milyar dolar olarak tahmin edilirken, 2020 yılında 137 milyar dolara ulaşmıştır. 2000’den 2020’ye kadar tek bir maden sahasından yılda 1,5 milyon ton madencilik oranıyla yaklaşık 20,85 milyar dolar gelir sağlandığı tahmin edilmektedir. Daha yüksek metal konsantrasyonuna sahip alanları kazmaya yönelik teknolojik yeniliklerin getirisinin ise çok daha büyük olması beklenmektedir. Hâlihazırda dünya okyanuslarındaki toplam kaynaklar içinde yalnızca uluslararası sular tahmin edilmektedir; bu da, derin deniz maden kaynaklarının mevcudiyetinin kabul edilenden çok daha fazla olacağı anlamına gelmektedir. Bilinmeyen riskler veya arızalar hariç, tek bir derin deniz yatağı madenciliği maliyetinin 11,90 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle, derin deniz madenciliğine başlama süresini ve masraflarını belirlemek için arazideki cevher mevcudiyeti ve metal fiyatları açısından ekonomik hususların değerlendirilmesi önem taşımaktadır^[3]. Nadir toprak metallerinin dünya çapındaki yıllık maden üretimi şu anda 100.000 ton civarındayken, yalnızca Clarion-Clipperton Bölgesi’nin 15 milyon ton nadir toprak oksidi içerdiği tahmin edilmektedir^[5].

Derin deniz madenciliği sektörünün ABD ekonomisine katacağı değer yıllık 1 trilyon dolar olabileceği düşünülmektedir. Bunun yanında sadece deniz tabanındaki tüm altın yataklarının değerinin 150 trilyon dolar civarında olduğu tahmin edilmektedir^[5].

Derin deniz madenciliğinin ekonomik çerçevesine dair en kapsamlı araştırmalardan biri AB tarafından yürütülmüştür. Manganez nodüllerinin ve deniz tabanındaki masif sülfürlerinin kaynak potansiyelini araştıran Blue Mining projesi, toplumların derin deniz madenciliğine ihtiyacı olup olmadığını ve ekonomilerinin bundan nasıl yararlanabileceğini araştırırken, derin denizde madencilik yapmanın ekonomik açıdan anlamlı olup olmadığı sorusuna yanıt aramıştır. Araştırma sonucunda, derin deniz yataklarının kullanılmasının, AB ekonomisi için büyük önem taşıyan ve tedarikleri riskli olan hammaddelere erişime olanak tanıyabileceği sonucuna varılmıştır^[13].

Kritik Hammaddeler	Galyum Manyezit	Galyum Manyezit	Silikon Metal Koklaşabilir taş kömürü Kalsiyum floriti <u>Germanyum</u> <u>İndiyum</u>	Krom Tungsten	Antimon Berilyum Borat Kobalt Magnezyum Doğal Grafit Niyobyum PGM'ler* Fosfat Kayası <u>Nadir Toprak Elementleri (Ağır)</u> <u>Nadir Toprak Elementleri (Hafif)</u>
AB Arzı	> %20	< %20	< %10	< %3	< %1
Kritik Olmayan Hammaddeler	Killer (ve Kaolin) Diatomit Feldispat Hafniyum Kireçtaşı Perlit Kesilmiş Yumuşak Ağaç Silika kumu <u>Tellür</u>	Bentonit Alçı Potas Kağıt hamuru <u>Selenyum</u> Talk	Alüminyum Bakır Renyum Gümüş Çinko	Baritler Bok- sit <u>Demir Lityum</u> Nikel	Altın Manganez Molibden Doğal Kauçuk Skandiyum Tantal Teneke <u>Titanyum</u> Vanadyum

Tablo 3: Avrupa'nın ithalat bağımlılıkları ve derin deniz madenciliği potansiyeli^[13].

* PGM: Platin Grubu Metaller (Palladyum, rodyum, iridyum, osmiyum, rutenyum ve platinyum elementleri)

Not: Tabloda kalın olarak işaretlenen metaller Blue Mining projesi kapsamındaki ekonomik anahtar metaller olarak tanımlanmaktadır. Manganez nodülleri ve deniz tabanı masif sülfürleri başka öğeler de içerebilir (Tabloda altı çizili olanlar).

5.2.1 Derin Denizlerin Mineral Potansiyeli

Teknolojik gelişmeler sonucunda artan maden ihtiyacı Avrupa'da madenlerin kapanmasına yol açmış, dolayısıyla Avrupa'nın ithalat bağımlılığı artmıştır. Özellikle kritik olmayan statüdeki maden kaynaklarının AB'ye ithalatı oldukça yüksek olup, AB'nin de bu malzemelere ihtiyacı bulunmaktadır (Tablo 3)^[13].

Bu bakımdan uluslararası deniz yatakları, Avrupa ekonomisi için maden tedarikini güvence altına alma potansiyeli taşımaktadır. Tablo 3'de kalın olarak işaretlenen metaller Blue Mining projesi kapsamındaki ekonomik anahtar metaller olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca manganez nodülleri (SMnN) ve deniz tabanı masif sülfürleri (SMS) başka öğeler de içerebilir (Tablo 3'de altı çizili olanlar). Ekonomik modellere göre nikel, kobalt, bakır ve manganez, SMnN yatakları için temel unsurlar olarak tanımlanırken; bakır, altın, gümüş, kurşun ve çinko SMS projeleri için temel unsurlar olarak kabul edilmektedir.

SMnN okyanuslarda yaygındır ve en önemli oluşumları Doğu Pasifik Okyanusu, Peru Havzası, Orta Hint Okyanusu Havzası ve Penrhyn Havzası'ndadır. SMnN alanlarının yüzde 81'i Bölge'de (Blue Mining projesi kapsamında uluslararası sulardaki SMS ve SMnN derin deniz yatakları Bölge olarak adlandırılmıştır), yüzde 14'ü münhasır ekonomik bölgelerde ve yüzde 5'i tavsiye edilen kıta sahanlığının genişletilmesinin bir parçasıdır. Toplam alanın 38 milyon km² olduğu tahmin edilmektedir ve günümüzde yalnızca 1.275.000 km²'si arama ruhsatına sahiptir^[13]. Uluslararası Deniz Yatağı Otoritesi (International Seabed Authority -ISA), Clarion Clipperton Bölgesi'ndeki toplam nodül miktarının 21 milyar tonu aştığını ve bunların yaklaşık 6 milyar ton manganez, 270 milyon ton nikel, 230 milyon ton bakır ve yaklaşık 50 milyon ton kobalt içerdiğini tahmin etmektedir^[14].

SMS yatakları derin denizde okyanus ortası sırtlarında, arka havzalarda ve deniz altı volkanik yaylarında

bulunmaktadır. Bunların, karada bulunan ve günümüzde küresel metal tedarikine önemli bir katkı sağlayan eski volkanik masif sülfür (VMS) yataklarının modern analogları olduğu düşünülmektedir. Dünya okyanuslarının neovolkanik bölgesinde boyutları 100 ton ile 10 milyon ton arasında değişen tahmini 1.000 yatak ile birlikte, 600 milyon ton SMS yatağı 3,2 milyon km²'lik bir alanı kaplamaktadır. Ortalama olarak ağırlıkça yüzde 3 bakır, yüzde 9 çinko, 2 ppm altın ve 100 ppm gümüş içerirler (Herhangi bir karışımda toplam madde miktarının milyonda 1 birimlik maddesine 1 ppm denir). Eksenden çok uzakta olan ve potansiyel olarak deniz çökeltileri tarafından gömülen soyu tükenmiş birikintilerin tespit edilmesi zordur. Bu nedenle, uluslararası kabul görmüş raporlama standartlarına uygun kaynak tahminlerine sahip SMS yatağı işlemleri çok nadirdir. Toplam 3,2 milyon km²'lik bir alan, SMS yatakları için uygun olabilir; bunların yüzde 58'i Bölge'de, yüzde 36'sı münhasır ekonomik bölgelerde ve yüzde 6'sı kıta sahanlığına genişletme tekliflerinde yer alan alanlarda yer almaktadır. Bölgede şu anda yalnızca 60.000 km²'lik alan lisans sözleşmeleri kapsamındadır. Derin deniz madenciliği için ekonomik ve teknolojik hazırlık ya da yasal bir çerçeve (madencilik kanunu) mevcut olmadığından, derin deniz yataklarının hiçbiri henüz rezerv olarak sınıflandırılmamaktadır. Bu hem SMnN hem de SMS için geçerlidir^[13].

SMnN, AB ekonomisi için stratejik öneme sahip olan kobalt, nadir toprak elementleri, tellür ve galyum gibi kritik elementler içermesine rağmen, bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğu nikel, kobalt, bakır ve isteğe bağlı olarak manganez ekstraksiyonuna odaklanmıştır. Odak noktası esas olarak nikel, kobalt ve bakır metalleri olsa da manganezin geri kazanımı şu anda ekonomik nedenlerden dolayı vazgeçilmezdir. Blue Mining araştırmasının ekonomik sonuçlarına göre, tek bir derin deniz madenciliği projesinin metal üretimi, Almanya gibi ileri düzeyde

sanayileşmiş ve ithalata bağımlı ülkelerin ithal bağımlılığını önemli ölçüde azaltabilir.

Araştırmaya göre SMnN madenciliği dışında SMS'nin işlenmesi, karadaki masif sülfürler için belirlenmiş rutinelere çok benzer olacaktır. Ekonomik açıdan ilgi duyulan metaller bakır, altın, gümüş, kurşun ve çinkodur. Ancak küresel üretim ve günümüzün en büyük aktif bakır madenleriyle karşılaştırıldığında tek bir SMS madeninin metal üretiminin önemsiz olduğu varsayılmaktadır. Yılda yaklaşık 5.000 ton bakır, 0,4 ton altın, 2 ton gümüş, 70 ton kurşun ve 390 ton çinko üretilebilmektedir. Ancak sorumlu ülkeler hammaddeyi yanı sıra vergi gelirlerinden, telif ücretlerinden ve diğer ekonomik kârlardan da yararlanacaktır.

Bu üretim oranlarının yanı sıra Blue Mining, DSM projeleri için başka önemli üretim rakamları da geliştirmiştir. Bu tür içgörüler, örneğin fizibilite çalışmaları ve maden planlaması gibi gelecekteki madencilik operasyonlarının planlanmasına ve hesaplanmasına yardımcı olmaktadır. Alan başına SMnN verimine göre madencilik süresi tahmin edilebilmekte, ayrıca kaynak kullanımı, madencilik verimliliği ve ekstraksiyon verimliliği de hesaplanabilmektedir. 20 yıllık tipik bir proje süresi boyunca, örneğin kabaca Lüksemburg büyüklüğünde (2.300 ila 3.700 km²) bir alanda madencilik yapılacaktır; bu, Doğu Almanya'nın E1 ruhsat alanının yaklaşık yüzde 4 ila 6'sını temsil etmektedir. Buna karşılık SMS madenciliği daha az alan gerektirmektedir. 20 yıllık bir süre içinde 40 milyon ton cevher çıkarılacağı varsayıldığında, toplam arazi tüketiminin toplamı yaklaşık 3,8 km²'ye ulaşmaktadır^[13].

Derin denizden maden tedarikinin potansiyellerini gerçekleştirmek amacıyla, madencilik şirketleri denizde üretim sahaları hazırlamak için ekonomik olarak uygulanabilir konseptlere ihtiyaç duymaktadır. Geleneksel madencilikte olduğu gibi, maden yatağının bilgisi gelecekteki maden kurulumunu planlamak için çok önem taşımaktadır. Bu tür maden ve proje planlarının hazırlanması, sonuç olarak maliyetlerin hesaplanmasına ve dolayısıyla ekonomik değerlendirmelere olanak sağlamaktadır. Maden planı bir madencilik projesini yürütmek için gerekli tüm bilgileri gösteren bir haritayı temsil etmektedir. Örneğin, nodül bolluğu, metal kaliteleri ve eğim açıları da dahil olmak üzere batimetrik bilgiler gibi deniz tabanı jeolojisi hakkında bilgi sağlamaktadır. Böyle bir planda arama verilerinden elde edilen jeolojik bilgilerin yanı sıra maden sahaları ve maden rotaları da ana hatlarıyla belirtilmektedir. Bir lisans alanının, madenciliğin daha uzun bir süre boyunca (muhtemelen birkaç yıl) gerçekleştirilebileceği birkaç "maden sahasına" bölünmesi önerilmektedir. SMnN madenciliği için Blue Mining konsepti, yüksek teknoloji tarım endüstrisinden ilham almıştır ve uzun, dar şeritlere bölünmüş bir tarlanın hasat edilmesini içermektedir. 1,5 ila 2 milyon tonluk bir üretim elde etmek için yılda yaklaşık 250 günde, yaklaşık 60 ila 100 futbol sahası büyüklüğünde alanın hasat edilmesi gerekmektedir. Blue Mining vaka çalışmasından elde edilen varsayımlara ve tahminlere dayanarak yapılan hesaplamalara göre, SMnN ve SMS madenciliği yatırım hacminin toplamda 1,3 ila 1,5 milyar dolar olduğu

tahmin edilmekte ve işletme maliyetleri 200 ila 340 doları/dmt (dmt -kuru metrik ton) arasında değişmektedir^[13].

Blue Mining araştırması, hem SMnN hem de SMS madenciliği için yüksek ekonomik potansiyele işaret etmektedir. Her iki derin deniz madenciliği projesi türü de gelecekte teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, tahminlerin doğruluğunun, örneğin teknolojilerin, metodolojilerin ve araçların test edilmesi ve sürekli olarak daha da geliştirilmesi yoluyla iyileştirilmesi gerekmektedir. Örneğin, yenilenebilir enerjilerin ve e-mobilitenin genişlemesini sürdürmek için ekonomik olarak önemli hâle gelebilecek nadir toprak elementleri gibi az bulunan metallerin geri kazanımı ile ilgili daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Blue Mining çalışmasına göre, derin deniz madenciliği olumlu bir ekonomik değerlendirme göstermektedir. Yüksek metal kaliteleri ve aşırı yükün kaldırılmaması nedeniyle derin deniz madenciliği, karadaki madencilik faaliyetleriyle rekabet edebilir görünmektedir. Mevcut konseptler daha yüksek tonaj ve kalitelere yükseltilirse, derin deniz madenciliği yatırımcılar ve madencilik şirketleri için cazip hâle gelecektir. SMnN, dört metalin (nikel, bakır, kobalt ve manganez) üretimi, işlenmesi ve pazarlanmasının gerçekleştirilebildiği durumlarda yüksek bir ekonomik potansiyel göstermektedir. Araştırma, manganezin üretimi ve satışı ile makul maliyet ve fiyat seviyelerinde ekonomik fizibiliteyi göstermektedir. Ayrıca SMnN madenciliğinin, ithalata bağımlı ekonomiler için önemli bir stratejik rol oynayabileceği belirlenmiştir. Çalışmanın ortaya koyduğu sonuçlardan biri de, hâlihazırda büyük bir derin deniz madenciliği projesinin Almanya'nın kobalt talebinin tamamını karşılayabileceği yönündedir. Sonuç olarak derin deniz madenciliği, AB'ye stratejik hammadde tedarikini önemli ölçüde artıracaktır^[13].

5.2.2 Yatırımdaki Yüksek Risk UNSURLARI

Deniz tabanında bulunan minerallerin birçoğuna yönelik küresel talep hâlihazırda yüksek seyretmektedir. Bunun yanında, Çin şu anda dünya metal tüketiminin yarısından fazlasını oluşturmakta ve ülkenin ekonomik gidişatı, hammadde talebinin daha da artacağına işaret etmektedir. Bu trendin diğer gelişmekte olan ülkelere de benzer şekilde seyretmesi beklenmektedir. Dolayısıyla derin deniz madenciliği, yatırımcılarına ekonomik açıdan olumlu bir görünüm sunmaktadır. Ancak bu yeni pazara girmeye karar veren şirketlerin belirli bir düzeyde riski de kabul etmesi gerekmektedir. Okyanusun derinliklerine ulaşmak için gereken teknik gelişmişlik ve büyük miktarda yatırım gerektirmektedir. Dahası, böyle deneysel bir alanda genellikle gecikmeler ve bütçe aşırımları meydana gelmektedir^[5].

Bu riskleri göze alan ve en bilinen derin deniz madenciliği şirketlerinden biri olan Nautilus Minerals, 2011 yılında, Papua Yeni Gine hükümeti tarafından Solwara 1 projesi için 20 yıllık lisans verildikten sonra derin deniz madenciliği haklarını kazanan ilk şirket olmuştur. Şirket, 2018'in Eylül ayında bir deniz tabanı üretim sisteminin tasarımı ve inşası için 16,7 milyon dolar değerinde sözleşme yapmayı taahhüt etmiştir. Ancak şirket yönetimi hissedarlarına

yönelik olarak yayınladığı bir uyarı notunda, bu rakamın artmasının kuvvetle muhtemel olduğunu da beyan etmiştir^[5]: “Şirket, personel sınırlamaları, finansal riskler, metal fiyatları, izin ve diğer düzenleyici onaylar, sermaye artırma ihtiyacı, kaynak kıtlığı, gelir eksikliği, ekipman arızaları ve üçüncü taraf yükleniciler veya ortaklarla olası anlaşmazlıklar, gecikmeler veya diğer başarısızlıklar dahil olmak üzere erken aşamadaki işletmelerde görülen risklerin çoğuna tabidir.” Yine de Nautilus ve okyanusun zorlu koşulları altında geçici girişimler yapmaya karar veren az sayıdaki diğer işletme için potansiyel pazarın büyüklüğü, bu kadar yüksek düzeyde riski de kabul edilebilir hâle getirmektedir^[5].

5.2.3 Derin Deniz Madenciliğinin Gelişmekte Olan Ülkeler Üzerindeki Olumsuz Etkisi

Derin deniz madenciliğinde daha az üzerinde durulan bir konu ise, derin deniz madenciliğinin, aynı metallerin karadan madenciliğine dayanan gelişmekte olan ekonomiler üzerindeki etkisidir. ISA tarafından hazırlanan yakın tarihli bir raporun konusu da budur^[15].

Küresel deniz yatağı alanı herhangi bir ulusal yetki alanının dışındadır, ancak ISA madenciliği düzenlemektedir. Keşif görevlerini gerçekleştirmek için devlet destekli şirketlerin, 150.000 km²'ye kadar deniz yatağı alanlarına özel erişim sağlayan bir ISA lisansı alması gerekmektedir. Bugüne kadar 30 lisans verilmiştir ve beş lisansla Çin en fazla lisans alan ülkedir. ABD, ISA üyesi bir ülke olmadığı için lisans almaya uygun değildir, ancak ABD'nin önde gelen savunma firması Lockheed Martin'in İngiltere'deki yan kuruluşu aracılığıyla lisansı bulunmaktadır.

ISA'nın raporunda, çoğunluğu Afrika'da olmak üzere 13 ülkenin pazara giren ilave metal arzına karşı en savunmasız ülkeler olduğu belirtilmektedir. Tanımlanan her ülke şu anda ihracat gelirlerinin en az yüzde 10'unu derin deniz madenciliğinin hedeflediği bir veya daha fazla önemli metalden (bakır, kobalt, nikel ve mangan) elde etmektedir. Raporla Zambiya, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Eritre, Şili, Lao Demokratik Halk Cumhuriyeti, Moğolistan ve Peru'nun açık denizden bakır tedarikinin piyasaya akışına karşı savunmasız olduğu belirtilmektedir. Bakır, elektriği ve ısıyı iletme yeteneğinden dolayı yenilenebilir kaynaklarda önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca pillerde kullanılan kobaltın neredeyse tamamı bakır üretiminin bir yan ürünü olduğundan bu ülkeleri de etkileyebilecektir. Madagaskar ve Zimbabve ekonomileri, elektrikli araçlarda ve yüksek kapasiteli pillerde önemli bir rol oynaması beklenen yeni nikel arzından etkilenecektir. Gabon'un ise, yüksek kaliteli çelik üretiminde kullanılan yeni mangan tedarikinden etkileneceği tahmin edilmektedir. Moritanya, Namibya ve Papua Yeni Gine ise, belirtilen tüm metallerin kümülatif etkisi nedeniyle risk altındadır. Bu çerçevede ISA'nın temel tavsiyelerinden biri, derin deniz madenciliği başlatılırsa bu ülkelere tazminat ödenmesi gerektiği yönündedir ve bunun 2027'de gerçekleşeceği öngörülmektedir. Bu ekonomik desteğin gerekliliği, 1994 yılında yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi ile bağlantılıdır^[15].

6. DERİN DENİZ MADENCİLİĞİ VE ÇEVRE

Küresel iklim değişikliği ile mücadele çerçevesinde insanlık petrol çağından metal çağına geçme aşamasındadır. Geleceğin ekonomisine 20'nci yüzyıl boyunca olduğu gibi kritik emtialar ile yeraltından çıkarılıp tüketilen fosil yakıtların değil, elektrik enerjisini geniş ölçekte temiz bir şekilde üretmek, iletme ve depolamak için gerekli olan metallerin güç vereceği bir dönemin kapısı açılmıştır. Karbonsuzlaşmanın temel gerekliliği olarak görülen değerli metaller kullanıldıkça tükenen fosil yakıtların aksine, metaller kolaylıkla geri dönüştürülebilir ve dögüsel bir ekonomiye geçişte kritik bir rol üstlenecektir.

Ancak değerli metallere olan talep de olağanüstü bir hızla artmakta ve bu metallerin karasal rezervleri de gelecekteki tüketimi karşılamaktan günbegün uzaklaşmaktadır. Ayrıca yakın zamanda yapılan bir araştırma, madencilik alanlarının yüzde 8'inin ulusal olarak belirlenmiş koruma alanları, yüzde 7'sinin önemli biyolojik çeşitlilik alanları ve yüzde 16'sının kalan yaban hayatı ile örtüşüğünü göstermektedir^[6]. Çalışmaya göre yenilenebilir enerji teknolojileri için mineral üretimi arttıkça biyolojik çeşitlilik tehditlerinin de artacağı ve “stratejik planlama olmadan biyolojik çeşitliliğe yönelik bu yeni tehditlerin, iklim değişikliğinin hafifletilmesiyle önlenen tehditleri aşabileceği” sonucuna varılmıştır.

Karasal maden sahalarının çevre ve iklimle yönelik olumsuz etkisi nedeniyle derin deniz madenciliğinin bir seçenek olarak gittikçe daha fazla gündeme getirilmesi ise bir başka ikilem doğurmaktadır. Zira hem okyanus hem de kara ortamlarının korunması gezegen sağlığı, küresel ekonomi ve sürdürülebilir bir gelecek için temel öneme sahiptir. Dolayısıyla artan metal talebi ve karadaki maden alanlarının iklim üzerindeki olumsuz etkisi, derin deniz madenciliğinin iklimle zarar vermeyeceği anlamına gelmemektedir.

Özellikle dünyadaki okyanuslar, şimdiye kadar insan faaliyetleri nedeniyle üretilen CO₂'nin neredeyse yarısını emdiği gibi, üç milyardan fazla insan geçim kaynakları için okyanusların biyolojik çeşitliliğine bağımlıdır. Yalnızca piyasa değeri dikkate alındığında, deniz ve kıyı kaynakları ve endüstrileri küresel GSYH'nin yaklaşık yüzde 5'ini oluşturmaktadır. Derin deniz ise dünya üzerindeki en büyük yaşam alanıdır ve teknik imkânsızlıklar nedeniyle biyolojik çeşitliliği büyük ölçüde keşfedilmemiştir. Bu durum ise, derin deniz madenciliğinin potansiyel etkilerini değerlendirmeyi, deniz ortamını ve geçim kaynakları deniz ve kıyıların biyolojik çeşitliliğine bağlı olan üç milyar insanı korumak için yeterli önlemleri almayı zorlaştırmaktadır^[6].

Yakın zamana kadar çok karanlık ve aşırı soğuk olduğu ve yeterli besin bulunmadığı için canlı yaşamından yoksun olduğu düşünülen derin denizlerin, yavaş yavaş ilerleyen bilimsel keşifler sayesinde artık gezegendeki en büyük yaşanabilir alan olduğu ve göz kamaştırıcı bir yaşam dizisine ev sahipliği yaptığı bilinmektedir. Bugüne kadar, derin okyanusta on binlerce tür bulunmuş ve

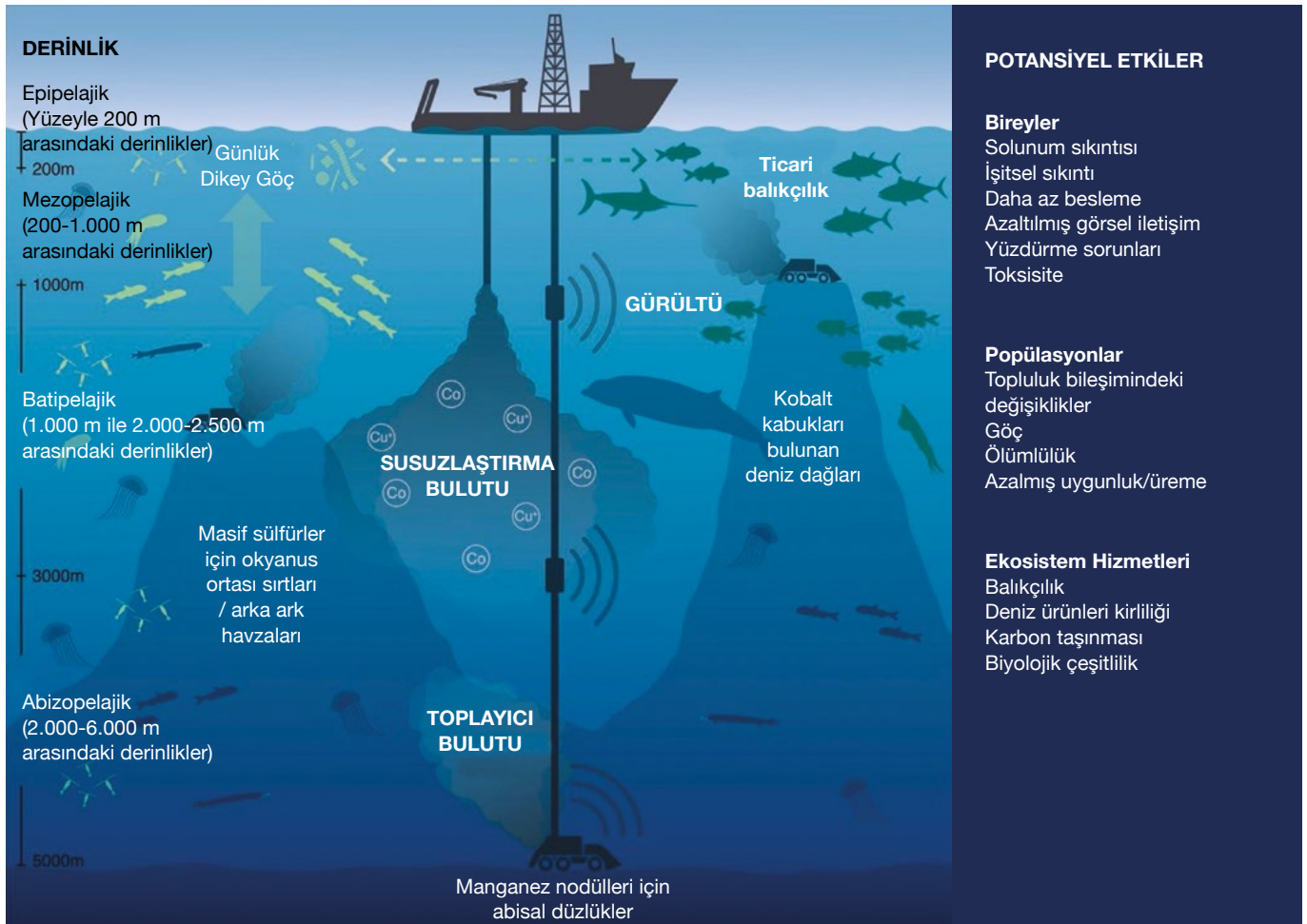
milyonlarca türün daha olabileceği tahmin edilmektedir. Araştırmacılar sadece Clarion-Clipperton Bölgesi'nde, son zamanlarda bilim için tamamen yeni olan 5.000'den fazla tür keşfetmişlerdir. Keşif ve testler henüz başlangıç aşamasındayken, derin deniz madenciliğinin olası ekolojik etkilerini belirlemek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir^[1].

Deniz tabanı çok çeşitli jeolojik özelliklere sahiptir. Bunlar arasında deniz yüzeyinin 3.500-6.500 metre altındaki abisal düzlükler, deniz dağları olarak bilinen volkanik sualtı dağları, volkanik aktiviteyle ısınan suyun fıskırdığı hidrotermal menfezler ve Mariana Çukuru gibi derin hendekler yer almaktadır. Bu uzak yerler, güneş ışığı eksikliği ve yüksek basınç gibi zorlu koşullara benzersiz şekilde uyum sağlayan canlı türlerini barındırmaktadır. Dolayısıyla derin deniz madencilik faaliyetlerinin aşağıdaki etkileri derin denizlerin ve okyanusların biyolojik çeşitliliğini ve ekosistemlerini etkileyebilecektir^[2]:

● **Deniz Tabanının Bozulması:** Okyanus tabanının makinelerle kazılması ve ölçülmesi, derin deniz yaşam alanlarını değiştirebilir veya yok edebilir. Dolayısıyla birçoğu başka hiçbir yerde bulunmayan türler kaybolabilir ve ekosistemin yapısı ve işlevi parçalanabilir. Derin deniz madenciliğinden kaynaklanan en

doğrudan etki deniz tabanının bozulmasıdır ve neden olduğu hasar büyük olasılıkla kalıcı olacaktır.

- **Deniz Yaşamına Doğrudan Zarar:** Derin deniz madenciliği, deniz tabanındaki ince çökeltileri hareket ettirecek ve asılı parçacıklardan oluşan bulutlar oluşturacaktır. Bu durum madencilik gemilerinin yüzeye atık su boşaltmasıyla daha da kötüleşmektedir. Bilim insanları bu parçacıkların yüzlerce kilometre uzağa dağılabileceğinden, deniz tabanına yeniden yerleşmelerinin uzun zaman alabileceğinden ve ekosistemler ile ticari açıdan önemli veya hassas türleri etkileyebileceğinden endişe etmektedir. Örneğin, bu tür toz bulutları hayvanları boğabilir, süzülerek beslenen türlere zarar verebilir ve hayvanların görsel iletişimini engelleyebilir^[2]. Sıcak maden atık suları, aşırı ısınma ve zehirlenme yoluyla da deniz yaşamı zarar görebilir^[1].
- **Kirlilik:** Balina, ton balığı ve köpek balıkları gibi türler, madencilik ekipmanı ve yüzey gemilerinin neden olduğu gürültü, titreşim ve ışık kirliliğinin yanı sıra yakıt ve toksik ürünlerin olası sızıntı ve dökülmelelerinden etkilenebilir^[2]. Hâlihazırda iklim değişikliği ve diğer insan faaliyetleri nedeniyle zor durumda olan popülasyonlar için derin deniz madenciliği daha fazla



Şekil 4: Derin deniz madenciliğinden kaynaklanan potansiyel etkiler^[2].

risk oluşturabilir. Birçok derin deniz türü nadir görül-
düğünden, uzun ömürlü olduğundan, üremeleri ya-
vaş olduğundan ve polimetallik nodüller derin deniz
türleri için önemli bir yaşam alanı olduğundan bilim
insanları bu riskten oldukça emindir ve ekosistem-
lerin toparlanması için çok uzun süreler gerekeceği
belirlenmektedir^[1].

- **Balıkçılık ve Gıda Güvenliği Üzerindeki Olası Etkiler:** Deniz madenciliği nedeniyle risk altında olan yalnızca deniz tabanı değildir. Madencilik gemilerinden atık deşarjı, potansiyel olarak mayınlı alanlardan kilometrelerce uzağa büyük mesafelere yayılabilir. Bu, Kiribati, Vanuatu ve Marshall Adaları da dahil olmak üzere Pasifik'te gelişmekte olan birçok küçük ada devletinin ekonomisini desteklemeye yardımcı olan uluslararası balıkçılık için hayati önem taşıyan ton balığı gibi açık okyanus balıkları ve omurgasızlar için bir tehdit oluşturabilir. Madencilik atıklarının etkileri arasında boğulma, solunum ve beslenme yapılarının hasar görmesi, türler içinde ve türler arasında görsel iletişimin bozulmasının yanı sıra deniz suyunun oksijen içeriği, pH'ı, sıcaklığı ve toksisitesindeki değişiklikler yer alabilir. Ancak bu etkileri tam olarak anlamak için deşarj dumanlarının özellikleri ve okyanus türlerinin toleransı hakkında daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır^[1].
- **Ekonomik ve Sosyal Riskler:** Ekstraksiyon açık denizde gerçekleştirilecek olsa da, derin deniz madenciliği endüstrisi, malzemenin işlenmesi veya aktarılması için kıyı şeridi tesislerine ihtiyaç duyacaktır. Arazi edinimi ve geliştirmeyi gerektirecek olan bu durum, tarihsel olarak deniz kaynaklarına en çok bağımlı olan kıyı topluluklarını etkileyen habitat kaybına yol açmaktadır. Her ne kadar BM açık deniz madenlerini "insanoğlunun ortak mirası" olarak tanımlamış ve herhangi bir maden çıkarma işleminin tüm uluslara fayda sağlaması gerektiğini ilan etmiş olsa da, ISA'nın mevcut düzenleyici rejimi, gelişmekte olan ülkeleri kapsamak yerine, madencilik kârlarının gelişmiş devletlere veya madencilik şirketlerine akışını teşvik ediyor görünmektedir^[1].
- **İklim Potansiyel Etkileri:** Okyanus dünyanın en büyük karbon toplayıcısıdır ve tüm CO₂ emisyonlarının yaklaşık yüzde 25'ini emer. Mikroskobik organizmalar bu iklim düzenleyici sistemde kritik bir rol oynamakta; derin denizdeki karbonun tutulmasına ve metan gibi gezegeni ısıtan diğer gazların emisyonlarının deniz tabanı çökeltilerinden azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Madencilik faaliyetleri sonrasında derin deniz biyoçeşitliliğinin kaybı, okyanusun karbon döngüsünü etkileyebilir ve küresel sıcaklık artışını azaltmaya yardımcı olma yeteneğini azaltabilir^[1].

Derin deniz madenciliği projelerinin büyük ölçüde keşfedilmemiş ekosistemlere verebileceği olası zararlar ilgili çevresel kaygılar gittikçe artmaktadır. ISA tarafından polimetallik nodüller için verilen 17 arama lisansından biri hariç tümü, Pasifik Okyanusu'nda özellikle yüksek

düzeyde biyolojik çeşitlilik sergileyen 4,5 milyon km² lik bir alan olan Clarion-Clipperton Bölgesi ile ilgilidir. Clarion-Clipperton Bölgesi'nde yapılan araştırmalar bu bölgenin aynı zamanda yaşam bolluğu ve çeşitliliğini de barındırdığını ortaya çıkarmıştır. Süngerler ve anemonlar da dahil olmak üzere bazı türler beslenmek için nodüllere bağlanırlar. Yakın zamanda keşfedilen ve yumurtalarını ölü süngerlerin saplarına bağlayan "Casper" lakaplı ahtapot gibi diğer türler de nodüllere dolaylı olarak güvenmektedir. *Scientific Reports*'ta 2016 yılında yayınlanan bir araştırma, Clarion-Clipperton Bölgesi'ndeki mega faunanın kabaca yarısının sert bir substrat habitatı olarak nodüllere bağlı olduğunu öne sürmüştür^[15]. Yakın zamanda yapılan bir araştırma, Clarion-Clipperton Bölgesi'nde bulunan 154 kıl kurdu türünün yüzde 70'inin daha önce bilim tarafından bilinmediğini ortaya çıkarmıştır^[1].

Exeter Üniversitesinden Deniz Biyoloğu Dr. Kirsten Thompson'a göre derin deniz madenciliğini çevreleyen en büyük endişelerden biri, hiçbir zaman elde edilemeyecek potansiyel bilgidir. "Bazı yazarlar derin deniz tabanının yalnızca yüzde 0,0001'inin kapsamlı bir şekilde örneklendiğini öne sürüyor. Tür çeşitliliği ve derin denizle ilgili süreçler konusunda büyük belirsizlikler var" diyen Thompson, derin deniz madenciliği ile denizlerin korunmasına yönelik birbirine zıt hedeflerin şu anda dengelemeyeceği görüşünü dile getirmektedir. Deniz tabanının insan müdahalesinden kurtulmasının ne kadar süreceğini bilmek de pek mümkün görünmemektedir. Belçikalı Global Sea Mineral Resources firması, türlerin derin deniz madenciliği için temizlenen alanlara yeniden yerleşmesinin ne kadar süreceğini belirlemek amacıyla Nisan 2019'da küçük ölçekli bir deneme gerçekleştirmiştir. Ancak önceki çalışmalar çevreciler tarafından tatmin edici bulunmamıştır. 2015 yılında, Pasifik Okyanusu'nun Peru Havzası'nda deniz tabanını bozma deneyinin gerçekleştirilmesinden 26 yıl sonra, deniz faunası seviyeleri düşük kalmaya devam etmiştir^[5].

En iyi senaryo olan, "derin deniz madenciliği projelerinin neden olduğu çevresel hasarın nispeten küçük bir alanla sınırlı kalması" fikri dahi güven verici görünmemektedir. Zira derin deniz madenciliği şirketlerinin kârları arttıkça projelerini genişletme çabasına direnmek zorlaşabilecek, işletmeler ve yatırımcılar, ulusal hükümetlere daha fazla madencilik lisansı vermeleri için baskı yapabileceklerdir. Daha çarpıcı olarak ise gözden uzak alanlarda gerçekleştirilecek madencilik faaliyetlerinin ekolojik etkisinin gizlenmesinin kolay olmasıdır^[5].

Bu noktada, önemli bir konu da derin deniz madenciliğinin gerçekten gerekli olup olmadığı sorusudur. WRI'ya göre önümüzdeki 15-20 yıl içinde maden geri dönüşümü, malzeme gereksinimlerinin büyük bir kısmı için madenciliğe uygun bir alternatif hâline gelebilecektir. Dünya Bankası, kullanım ömrü sona eren pillerin geridönüşüm oranlarının 2050 yılına kadar önemli ölçüde artması durumunda, yeni çıkarılan minerallere olan ihtiyacın bakır, nikel ve lityum için yaklaşık dörtte bir oranında ve kobalt için yaklaşık yüzde 15 oranında azalabileceğini tahmin etmektedir. Bununla birlikte, kısa vadede (2030 yılına kadar), geridönüşümü uygulanabilir bir yaklaşım

hâline getirmek için dolaşımda bu minerallerden yeterince bulunmayacaktır. Öte yandan elektronik ve elektrikli ekipmanlar gibi yerleşik atık akışlarında daha iyi geridönüşüm uygulamaları, gelecekte sıfır karbonlu enerji ürünlerini işlemek için ikincil tedarik zincirini hazırlarken kısa vadeli tedarik baskısını hafifletmeye yardımcı olabilir. Ayrıca, kömür veya sert kaya madeni atıklarından geri kazanım da dahil olmak üzere, bakir topraklarda madencilik yapılmadan gerekli mineralleri elde etmek için bir dizi araştırma çalışması yürütülmektedir. Son olarak, batarya teknolojileri gelişmeye devam ettikçe, bu tür minerallere dayanmayan alternatif teknolojilerin yaygınlaşmasıyla derin deniz maden yataklarının çekiciliğini kaybetmesi de olasıdır. Örneğin, nikel manganez kobalt oksit (NMC) pillerden lityum demir fosfat (LFP) pillere doğru giderek artan bir geçiş söz konusudur ve bu pillerin temel malzemeleri olan lityum ve demir, derin deniz madenciliğinin hedefi değildir. Sodyum iyon piller gibi gelişmekte olan teknolojiler, lityum ve kobaltı daha ucuz ve daha bol seçeneklerle değiştirerek elektrikli araç pil pazarını değiştirme potansiyeline de sahiptir^[1].

Dünya Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği (The International Union for Conservation of Nature -IUCN) de madencilikten kaynaklanan metallere olan bağımlılığın; yeniden tasarlama, yeniden kullanma ve geridönüşüm yoluyla azaltılabileceğini savunmaktadır. IUCN'ye göre derin deniz madenciliği deniz ekosistemlerine onarılamaz şekilde zarar verebileceği ve derin denizin insanlığa sağladığı birçok faydayı sınırlayabileceği için araştırmalar bunların kullanımına yönelik daha sürdürülebilir alternatifler oluşturmaya odaklanmalıdır^[2].

7. DERİN DENİZ MADENCİLİĞİNİN HUKUKİ ÇERÇEVESİ

Çevresel kaygılar, el değmemiş okyanus ekosistemlerinin görebileceği zararlar, derin denizlerdeki henüz çok azını bildiğimiz canlı yaşamı için oluşturduğu tehditler nedeniyle derin deniz madenciliğinin hukuki çerçevesi de gün geçtikçe daha çok önem kazanmaktadır.

Ticari derin deniz madenciliği yapılmasına izin veren iki ana yol bulunmaktadır. Birincisi, her ulus devlet kendi karasularında arama ve madencilik izinlerinin verilmesini kontrol etmektedir. İkinci olarak ise, uluslararası sularda, Birleşmiş Milletler tarafından Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi (United Nations Convention on the Law of the Sea -UNCLOS) adı verilen bir yönetim yasası bulunmaktadır. Ulus devletlerin çoğu bu yasayı imzalayarak onaylamıştır^[3].

UNCLOS uyarınca, maden kaynakları insanlığın ortak mirasıdır. Bu, ekonomik faydaların paylaşılması; deniz bilimsel araştırmalarına destek ve deniz ortamının etkin bir şekilde korunması da dahil olmak üzere, tüm insanlık adına ve insanlığın çıkarları doğrultusunda yönetilmeleri gerektiği anlamına gelmektedir^[2].

Dünya Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliğinin Marsilya'da düzenlediği Dünya Koruma Kongresi'nde (Eylül 2021), kurum üyeleri, bir dizi koşul karşılıncaya

kadar derin deniz madenciliğine erteleme getirerek, derin okyanus ekosistemlerini ve biyolojik çeşitliliği korumak için 122 sayılı kararı kabul etmiştir. Karar şunları içermektedir:

- Madenciliğin riskleri kapsamlı bir şekilde anlaşılacak şekilde etkin koruma sağlanabilir.
- Kapsamlı temel çalışmalara dayanarak titiz ve şeffaf etki değerlendirmeleri yürütülmektedir.
- İhtiyati Tedbir İlkesi ve “Kirlenen Öder İlkesi” uygulanmaktadır.
- Minerallerin yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesine yönelik dögüsel ekonomi ilkelerini içeren politikalar geliştirilmiş ve uygulanmıştır.
- Karar alma sürecinde halka danışılır.
- Derin deniz madenciliğinin yönetimi şeffaf, hesap verilebilir, kapsayıcı, etkili ve çevreye karşı sorumludur.

ISA ise okyanus tabanındaki madenciliği ulusal sınırların ötesinde organize etmek, düzenlemek ve denetlemek için kurulmuştur. Kurum çevre düzenlemelerini, fayda paylaşımına yönelik mali ödeme rejimini ve diğer standart ve yönergeleri belirlemektedir. Düzenlemeler tamamlanıp üye ülkeler tarafından kabul edildikten sonra, madenciliğin başlaması için deniz yatağı işletme sözleşmeleri yapılabilecektir.

Buna paralel olarak, deniz kaynaklarını kullanma konusunda tek hakka sahip olduğu münhasır ekonomik bölgelerinde maden yatakları bulunan ülkeler de madencilik tekniklerini araştırmakta ve kendi mevzuatlarını oluşturmaktadır. Örneğin Japonya, maden ithalatına bağımlılığı azaltmak amacıyla 2017'de derin deniz tabanından maden çıkarmayı başarıyla denemiştir. Hükümetler ve derin deniz madenciliği şirketleri, 30 yılı aşkın bir süredir mineral içeriğini araştırmakta, derin deniz çevre verilerini ölçmekte ve derin deniz tabanından maden çıkarma teknolojilerini test etmektedir^[9].

2021'de Pasifik Adası ülkesi Nauru, uluslararası sularda madencilik yapmaya başlama planlarını ISA'ya bildirmiş ve bu durum, başta çevresel kaygılar olmak üzere çeşitli nedenlerle BM Deniz Hukuku Sözleşmesi'nde “İki Yıl Kuralı” olarak bilinen tartışmalı bir hükmü tetiklemiştir. İki Yıl Kuralı, bu bildirim tarihinden iki yıl sonra başlayarak, ISA'nın, nihai bir düzenleme seti üzerinde anlaşmaya varılıp varılmadığına bakılmaksızın, madencilikle ilgili başvuruları “değerlendirmesi” ve “geçici olarak onaylaması” gerektiğine hükmetmektedir^[1].

ISA iki yıllık dönem sona erdiği 2023'ün Temmuz ayında Jamaika'da bir konferans düzenlenmiş ve bu konferans 20'den fazla hükümetin hızlandırılmış lisanslara karşı çıkmasıyla endüstriyel ölçekli madenciliğin başlatılması için yeşil ışık yakmadan ve gelecek yıl deniz ortamının korunması konusunda resmi tartışmalar yapmak üzere anlaşmayla sona ermiştir. Başka bir deyişle, dünya çapındaki ülkeleri temsil eden müzakereciler, şirketlerin enerji geçişinde gerekli kritik mineraller için okyanusun dibinde madencilik yapıp yapamayacaklarına

ilişkin kararı ertelemiştir^[16]. Hâlihazırda ISA, düzenlemeleri 2025 yılına kadar kabul etmek amacıyla çalışmalarını sürdürmektedir ve kurum bu arada gelebilecek başvuru taleplerinin nasıl değerlendirileceğine karar vermemiştir. Bu durum yasal bir boşluğun kaldığı yönünde eleştirilere yol açmıştır^[17]. Hâlâ taslak hâlindeki düzenleyici çerçeve, kurumun 2023'ün Kasım ayında yapılacak toplantısında yeniden tartışılacaktır^[18].

7.1 Derin Deniz Madenciliğine Taraf Olan ve Karşı Çıkan Ülkeler

Derin denizlerde madenciliğin başlamasını savunan ve karşı çıkan ülkeler bulunmaktadır. ISA'nın son toplantısında Brezilya, Kanada, Kosta Rika, Şili, Finlandiya, Almanya, Portekiz, İsviçre ve Vanuatu derin deniz madenciliğinin yasaklanmasını, moratoryumunu veya ihtiyati olarak duraklatılmasını destekleyen 21 ülke arasında yer alırken; Çin, Norveç, Nauru, Meksika ve İngiltere derin deniz madenciliği için hızlandırılmış lisansları desteklemiştir. Kurumun bir sonraki toplantısı 2024 yılının ortalarında gerçekleşecektir^[18].

Madenciliğin devam etmesini isteyen Çin, bu konunun 2024 yılında gündeme alınmasına izin vermeyi kabul etmiştir. "Sonuçlarını tam olarak ölçemediğimizde ve dolayısıyla deniz ekosistemlerimize geri dönüşü olmayan bir zarar verme riski taşıdığımızda yeni bir endüstriyel faaliyete başlayamayız ve başlamamalıyız" diyen Fransa'nın denizlerden sorumlu Dışişleri Bakanı Hervé Berville, Fransa'nın derin deniz madenciliğinin yasaklanması çağrısını güçlendirmiştir. Kosta Rika'nın ISA temsilcisi Gina Guillén Grillo ise, "Deniz çevresinin korunmasının, üye devletler olarak yükümlülüğümüzün çok büyük bir parçası olduğuna inanıyoruz" diyerek derin deniz madenciliğine karşı çıkmıştır. Öte yandan "Nauru'nun iklim değişikliğiyle mücadelede enerji geçişimizi hızlandırmaya yardımcı olma potansiyeline sahip olduğunu düşündüğü bir sektörün gelişimini desteklemek için bir fırsat penceresimiz var" diyen Nauru Başkanı Russ Kun, ISA'nın henüz düzenlemeleri kabul etmemiş olmasından duyduğu hayal kırıklığını dile getirmiştir. Toplantı süresince BM İnsan Hakları Yüksek Komiseri, 37 küresel finans kurumu, deniz ürünleri grupları, bilim insanları ve yerli gruplar derin deniz madenciliğinin durdurulması çağrısında bulunmuştur^[17].

IUCN, değerlendirmelerin, etkili düzenlemelerin ve hafifletme stratejilerinin uygulamaya konması da dahil olmak üzere, IUCN tarafından belirlenen kriterler karşılanana kadar derin deniz madenciliğinin durdurulmasını savunmaktadır: "Derin deniz ekosistemleri ve bunların insanlara sağladığı gıda ve karbon tutumu gibi hayati faydalar hakkındaki anlayışımızı geliştirmek için kapsamlı çalışmalara ihtiyaç vardır. Araştırmalar, derin deniz madenciliğinin deniz biyolojik çeşitliliğine ve ekosistemlere ciddi şekilde zarar verebileceğini öne sürmekte ve hâlen koruma sağlayacak bilgi ve araçlara sahip değiliz^[2]."

WRI da önce kaynakları çıkarmak ve sonuçlarına daha sonra değinmek yerine, herhangi bir faaliyete başlamadan önce derin deniz madenciliğinin çevresel ve sosyal sonuçlarını düşünmek gerektiğini belirtmektedir.

Alınan herhangi bir kararın insanlara, doğaya veya iklime ciddi bir zarar verilmemesini sağlayacak kadar sağlam kanıtlara dayanması gerektiğini savunan kuruluş, derin deniz madenciliği olasılığını devam ettirmek için temel soru ve bilgi boşluklarının ISA, madencilik endüstrisi, bilim insanları ve ulusal hükümetler tarafından ele alınması gerektiğini savunmaktadır. Enstitü'ye göre bu sorular şunlardır^[1]:

- Derin deniz madenciliğinin deniz türleri ve çevreleri üzerindeki potansiyel büyüklüğü ve kapsamı nedir ve olası ekolojik sonuçları nelerdir?
- Derin deniz madenciliğinin potansiyel sosyal ve ekonomik etkileri nelerdir? Sektörün, UNCLOS'un sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı, uluslararası işbirliğini ve tüm ülkeler için adil ticari büyümeyi teşvik etme hedefini karşılayacak şekilde ilerlemesi mümkün müdür?
- Çevreye müdahale eden uygulamalara olan ihtiyacı azaltmak için döngüsel bir maden ekonomisi daha fazla nasıl geliştirilebilir? Verimlerini artırmak için arazi bazlı ve kentsel madencilik uygulamalarına yönelik daha fazla araştırma yapılmasının yanı sıra, kritik minerallere olan talebi azaltmak ve geri dönüşümlerini artırmak için ürün tasarımını iyileştirmeye yönelik daha fazla araştırma yapılmalıdır.
- Derin deniz madenciliğinin BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ulaşmada ve derin deniz ortamlarına yönelik araştırmaları ilerletmede olası olumlu ve olumsuz etkileri nelerdir?
- Derin deniz madenciliği faaliyetlerinden elde edilen mali faydaların, eğer gerçekleşirse, ülkeler arasında adil bir şekilde dağıtılmasını sağlamak için hangi düzenlemeler geliştirilebilir?

Kilit paydaşlarla tam ve şeffaf bir işbirliği içinde mevzuat tasarımları hazırlanmasını öneren WRI'ya göre, bu düzenlemeler bilim ve diğer bilgi türleri ile desteklenmeli, uygulanabilir olmalı ve hassas deniz ortamlarını madenciliğin etkilerinden etkili bir şekilde koruma sağlamalıdır.

8. SONUÇ

Günümüzde dünyaya yön veren temel teknolojiler için hammadde işlevi gören bakır, nikel, alüminyum, çinko, lityum, kobalt, manganez gibi değerli metaller aynı zamanda sürdürülebilir bir dünya yaratmak için elzem hâle gelen enerji geçişinin de temel unsurlarıdır. Ancak bu değerli metal ve minerallere olan aşırı talep karasal rezervleri hızla tüketmekte, bu da madencilik şirketlerini yeni kaynaklar için el değmemiş okyanusların derinliklerinde madencilik faaliyetine yönlendirmektedir.

Ancak okyanus ve derin deniz habitatlarının ve ev sahipliği yaptığı canlı yaşamının henüz tam olarak bilinmemesi çevresel kaygıları tetiklemektedir. Hâlihazırda derin deniz madenciliğinin hukuki çerçevesi tam olarak kesinleşmediği için derin deniz madenciliği aktif olarak

yapılmamakta, ancak Uluslararası Deniz Yatağı Otoritesinin çeşitli ülkelerin baskıları sonucunda yakın bir gelecekte gerekli izinleri sağlayabileceğinden endişe edilmektedir.

Yapılan araştırmalar çerçevesinde derin deniz madenciliğinin, dünyanın ihtiyaç duyduğu değerli metallerin temini ve küresel ekonomiye kazandırılmasında anlamlı bir potansiyel vadettiği söylenebilir. Ancak öte yandan küresel iklim değişikliğine verebileceği zararlar da kesin olarak belirlenememiştir. Dünya, madencilik ve işleme operasyonlarının çevresel ve sosyal riskleri en aza indirecek şekilde nasıl sorumlu bir şekilde

ölçeklendirilebileceğini ele almalıdır. Birçok uluslararası uzman ve kuruluş, denizlerin korunması ile derin deniz madenciliğini uzlaştırmanın bir yolu olmadığı için endüstrinin gelişimini durduracak en az 10 yıllık bir moratoryum çağrısında bulunmaktadır. Dünya Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği de madencilikten kaynaklanan metallere olan bağımlılığın; yeniden tasarlama, yeniden kullanma ve geridönüşüm yoluyla azaltılabileceğini savunmaktadır. Dünya 20'nci yüzyılda fosil kaynakların iklim üzerinde yarattığı tahribatı 21'inci yüzyılda bu kez değerli metallerin yaratmaması için gereken uzlaş ve işbirliğini sağlama sınamasıyla karşı karşıyadır.

KAYNAKÇA

- [1] Ashford, Oliver; (2023), "What We Know About Deep-sea Mining – And What We Don't", *World Resources Institute*, (19 Temmuz 2023), <https://www.wri.org/insights/deep-sea-mining-explained>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [2] *The International Union for Conservation of Nature*, (2022), "Deep-sea mining", (Mayıs 2022), <https://www.iucn.org/resources/issues-brief/deep-sea-mining>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [3] Herwade, Pranita; (2021), "Deep-seabed mining: Economic, Technical and Environmental Aspects", LinkedIn (16 Nis 2021), <https://www.linkedin.com/pulse/deep-seabed-mining-economic-technical-environmental-aspects-herwade/>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [4] *Royal Museums Greenwich*, "HMS Challenger", <https://www.rmg.co.uk/stories/topics/hms-challenger-expedition-oceanography-trailblazer>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [5] Ballard, Barclay; (2019), "Deep-sea mining could provide access to a wealth of valuable minerals", *The New Economy*, (13 Mayıs 2019), <https://www.theneweconomy.com/energy/deep-sea-mining-could-provide-access-to-a-wealth-of-valuable-minerals>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [6] *World Economics Forum*, "Deep-Sea Minerals Dialogue", <https://www.weforum.org/projects/deep-sea-mining>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [7] *Economist Impact*, (2022), "Is deep-sea mining a sound investment?", (27 Haziran 2022), <https://impact.economist.com/ocean/biodiversity-ecosystems-and-resources/is-deep-sea-mining-a-sound-investment>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [8] *World Economics Forum*, (2022), "Decision-Making on Deep-Sea Mineral Stewardship: A Supply Chain Perspective", (Nisan 2022), https://www3.weforum.org/docs/WEF_Decision_Making_on_Deep_Sea_Mineral_Stewardship_2022.pdf. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [9] Yeh, Winnie; (2020), "Deep-sea minerals could meet the demands of battery supply chains – but should they?", *World Economics Forum*, (3 Ağustos 2020), <https://www.weforum.org/agenda/2020/08/deep-sea-minerals-could-meet-the-demands-of-battery-supply-chains-but-should-they/>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [10] W. Lodge, Michael; (2020), "How to Mine the Oceans Sustainably", *Scientific American*, (11 Ağustos 2020), <https://www.scientificamerican.com/article/how-to-mine-the-oceans-sustainably/>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [11] *International Energy Agency*, "Mineral requirements for clean energy transitions", <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/mineral-requirements-for-clean-energy-transitions>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [12] *International Energy Agency*, (2021), "Growth in demand for selected minerals from clean energy technologies by scenario, 2040 relative to 2020", (5 Mayıs 2021), <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/growth-in-demand-for-selected-minerals-from-clean-energy-technologies-by-scenario-2040-relative-to-2020>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [13] Lehnen, Felix; "Economic Evaluation of Deep-Sea Mining", *Mining Report*, <https://mining-report.de/english/economic-evaluation-of-deep-sea-mining/>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [14] *Wikipedia*, "Clipperton Fracture Zone", https://en.wikipedia.org/wiki/Clipperton_Fracture_Zone#:~:text=Deep%20sea%20mining,-The%20zone%20has&text=ISA%20estimates%20that%20the%20total,mining%20exploration%20within%20this%20area. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [15] Dacey, James; (2020), "Deep-Sea Mining May Have Deep Economic, Environmental Impacts", *Eos*, (3 Ağustos 2020), <https://eos.org/articles/deep-sea-mining-may-have-deep-economic-environmental-impacts>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [16] Worland, Justin; (2023), "Deep-Sea Mining Brings Bold Climate Promises—And Big Financial Risks", *Time*, (3 Ağustos 2023), <https://time.com/6301463/deep-sea-environment-financial-risk/>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [17] McVeigh, Karen; (2023), "International talks end without go-ahead for deep-sea mining", *The Guardian*, (29 Temmuz 2023), <https://www.theguardian.com/environment/2023/jul/29/deep-sea-mining-international-talks-isa-jamaica>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)
- [18] Symons, Angela; (2023), "Deep sea mining: Here's which countries oppose and support the controversial practice", *Euronews*, (2 Ağustos 2023), <https://www.euronews.com/green/2023/08/02/deep-sea-mining-heres-which-countries-oppose-and-support-the-controversial-practice>. (Erişim Tarihi: 16 Ekim 2023)



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

