

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü



Haziran
2017

© 2017 Uluslararası İmar ve Kalkınma Bankası/Dünya Bankası 1818 H Street NW
Washington, DC 20433
Telefon: 202-473-1000 İnternet:
www.worldbank.org

Bu çalışma, dış katkılarla Dünya Bankası personelinin bir ürünüdür. Bu çalışmada ifade edilen bulgular, yorumlar ve sonuçlar Dünya Bankası'nın, İcra Direktörleri Kurulu'nun veya temsil ettikleri hükümetlerin görüşlerini yansıtmak zorunda değildir.

Dünya Bankası bu çalışmada yer alan verilerin doğruluğunu garanti etmez. Bu çalışmadaki herhangi bir haritada gösterilen sınırlar, renkler, adlandırmalar ve diğer bilgiler, Dünya Bankası'nın herhangi bir bölgenin yasal statüsü veya bu sınırların onaylanması veya kabulü ile ilgili herhangi bir yargıya vardığı anlamına gelmez.

Haklar ve İzinler

Bu çalışmadaki materyal telif hakkına tabidir. Dünya Bankası bilgi birikiminin yayılmasını teşvik ettiğinden, bu çalışmaya tam atıfta bulunulduğu sürece, bu çalışma ticari olmayan amaçlarla kısmen veya tamamen çoğaltılabilir.

Tali haklar da dahil olmak üzere haklar ve lisanslar ile ilgili her türlü soru için aşağıdaki adrese

başvurulmalıdır: Dünya Bankası Yayınları
Dünya Bankası Grubu
1818 H Street NW
Washington, DC 20433 ABD
Faks: 202-522-2625

İçindekiler

Kısaltmalar	viii
Teşekkür	ix
Önsöz	x
Yönetici Özeti	xii
Giriş	xvi
1. Araştırma Metodolojisi	1
Notlar	6
2. Karbon Kısıtlı Bir Geleceğin Madencilik ve Metaller Üzerindeki Etkileri	7
Temel Teknolojilerdeki Malzeme Gereksinimleri	7
Metal Talebi Trend Tahminleri	10
Metal Talebi Artacak, Ama Hangi Metaller İçin?	18
Notlar	24
3. Gelişmekte Olan Ülkeler için Çıkarımlar	26
Kilit Metallerin Rezerv ve Üretim Seviyelerinin Küresel Dağılımı	
Temiz Enerji Geleceği için Kritik Öneme Sahip	28
Notlar	57
4. Sonuç	58
İleriye Doğru	59
Notlar	61
Ek A. Literatür Taraması	62
Sistem Geneline Yaklaşım	62
Teknolojiye Özel Çalışmalar	63
İncelenecek Teknoloji ve Metallere İlişkin Sonuçlar	73
Notlar	76
Ek B: Enerji Depolama Bataryası Senaryolarının Hesaplanmasının Detaylandırılması	77
Not	78
Ek C. Derin Sera Gazı Azaltım Senaryoları	79
Karbon Azaltım Girişimi (CMI) ve Stabilizasyon Takozları (Princeton Çevre Enstitüsü)	79
Derin Dekarbonizasyon Yolları (Derin Dekarbonizasyon Yolları Projesi [DDPP] 2015)	80
"%100 Temiz ve Yenilenebilir Rüzgar, Su ve Güneş Işığı (WWS) Tüm Sektör Dünyanın 139 Ülkesi için Enerji Yol Haritaları" (Stanford Üniversitesi ve Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesi; Jacobson ve ark. 2017)	80
Dünya Enerji Görünümü Özel Raporu 2015: 450 Senaryosu (IEA 2015c)	81

Politika Yapıcılar için Çalışma Grubu 3'ün Avrupa Komisyonu'na Katkılarının Özeti	
Beşinci Değerlendirme Raporu (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli PCC 2014)	82
Bulguların Özeti	83
Notlar	84
Sözlük	85
Bibliyografya	88

Şekiller ve Tablolar

Rakamlar

1.1	Elektrik Kurulu Kapasitesi için IEA Teknoloji Senaryoları	1
2.1	Uluslararası Enerji Ajansı Enerji aryları için Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretimi Teknolojisi Perspektifleri SenSenaryoları	11
2.2	2050'ye kadar	12
	Küresel Rüzgar Türbini Üretimi için Kümülatif Neodimyum Talebi Aralıkları	12
2.3	2050'ye kadar Rüzgar Teknolojilerinin Tedariki için Medyan Metal Talebi Senaryosu	12
2.4	Solar PV Elektrik Üretimi	13
2.5	CIGS Solar PV Teknolojisi için Kümülatif İndiyum Talebi Aralıkları	14
2.6	2050'ye Kadar Güneş PV Teknolojisi için Kümülatif Gümüş Talebi Aralıkları	15
2.7	2050'ye kadar Güneş Fotovoltaiklerinin Tedariki için Medyan Metal Talebi Senaryosu	15
2.8	Enerji Depolama Teknolojilerinin Tedariki için Medyan Metal Talebi Senaryosu	17
2.9	Küresel Enerji Depolama Kapasitesi Senaryoları	18
2.10	2050'ye Kadar Lityum-İyon Pil Teknolojisine Talep	21
2.11	Bu Çalışmada İncelenen Teknolojiler için Ortalama Kümülatif Talep, 2013-50	22
3.1	Alüminyum Üretimi	28
3.2	Alümina Rafineri Üretimi	30
3.3	Boksit Üretimi ve Rezervleri	31
3.4	Kadmiyum Üretimi	32
3.5	Krom Üretimi ve Rezervleri	34
3.6	Kobalt Üretimi ve Rezervleri	35
3.7	Bakır Üretimi ve Rezervleri	36
3.8	İndiyum Üretimi	38
3.9	Demir ve Çelik Üretimi	39
3.10	Demir Cevheri Üretimi ve Rezervleri	40
3.11	Kurşun Üretimi ve Rezervleri	42
3.12	Lityum Üretimi ve Rezervleri	43
3.13	Manganez Üretimi ve Rezervleri	44
3.14	Molibden Üretimi ve Rezervleri	46
3.15	Nikel Üretimi ve Rezervleri	47
3.16	Platin Üretimi ve Rezervleri	49
3.17	Nadir Toprak Üretimi ve Rezervleri	50
3.18	Silikon Üretimi	51
3.19	Gümüş Üretimi ve Rezervleri	53
3.20	Titanyum Mineral Konsantreleri Üretim ve Rezervleri	54
3.21	Çinko Üretimi ve Rezervleri	56
A.1	Kümülatif Metal Talebindeki Değişim 6 Derece Senaryosu ile Karşılaştırıldığında Bu Çalışmada İncelenen Tüm Teknolojiler için, 2013-50	75

Masalar

1.1	Senaryo Çalışmasına Dahil Edilmek Üzere Literatür Taramasıyla Belirlenen Metaller	3
1.2	Bu Çalışmaya Dahil Edilen Enerji Teknolojileri	3
1.3	Bu Analizde Kullanılan IEA Enerji Senaryoları	4
1.4	Karbon Kısıtı Senaryoları ile Metal Talebini İlişkilendiren Temel Varsayımlar	5
2.1	Dışlı ve Doğrudan Tahrikli Rüzgar Türbinlerinde Metal İçeriğinin Karşılaştırılması	8
2.2	Güneş Fotovoltaik Teknolojilerindeki Metal İçeriğinin Karşılaştırılması	9
2.3	Kurşun-Asit ve Lityum-İyon Akülerdeki Metal İçeriğinin Karşılaştırılması	10
3.1	Alüminyum İzabe Üretimi ve Kapasitesi, 2015 (bin metrik ton)	29
3.2	Alümina Rafineri Üretimi, 2015 (bin metrik ton)	30
3.3	Boksit Üretimi ve Rezervleri, 2015 (bin metrik ton)	31
3.4	Kadmium Üretimi, 2015, (metrik ton)	33
3.5	Krom Üretimi ve Rezervleri, 2015 (bin metrik ton)	34
3.6	Kobalt Üretimi ve Rezervleri, 2015 (metrik ton)	35
3.7	Bakır Üretimi ve Rezervleri, 2015 (bin metrik ton)	37
3.8	İndiyum Üretimi, 2015 (metrik ton)	38
3.9	Demir ve Çelik Üretimi, 2015 (milyon metrik ton)	39
3.10	Demir Cevheri Üretimi ve Rezervleri, 2015 (milyon metrik ton)	41
3.11	Kurşun Üretimi ve Rezervleri, 2015 (bin metrik ton)	42
3.12	Lityum Üretimi ve Rezervleri, 2015 (metrik ton)	43
3.13	Manganez Üretimi ve Rezervleri, 2015 (bin metrik ton)	45
3.14	Molibden Üretim ve Rezervleri, 2015	46
3.15	Nikel Üretimi ve Rezervleri, 2015 (metrik ton)	48
3.16	Platin Grubu Metaller (PGM) Üretim ve Rezervleri, 2015 (kilogram)	49
3.17	Nadir Toprak Üretimi ve Rezervleri, ^{2015a} (metrik ton)	50
3.18	Silisyum Üretimi, 2015 (bin metrik ton)	52
3.19	Gümüş Üretimi ve Rezervleri, 2015 (metrik ton)	53
3.20	Titanyum (İlmenit) Mineral Konsantreleri Üretim ve Rezervleri, 2015 (bin metrik ton)	55
3.21	Çinko Üretimi ve Rezervleri, 2015 (bin metrik ton)	56
A.1	Rüzgar Türbini İmalatında Kullanılan Metaller	64
A.2	Güneş Fotovoltaik Tesislerinde Kullanılan Metaller	65
A.3	Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (CSP) Tesislerinde Kullanılan Metaller	66
A.4	Karbon Yakalama ve Depolama Tesislerinde Kullanılan Metaller	67
A.5	Nükleer Elektrik Üretim Tesislerinde Kullanılan Metaller	67
A.6	LED Üretiminde Kullanılan Metaller	68
A.7	Elektrikli Araç Üretiminde Kullanılan Metaller	70
A.8	Lityum-İyon Pillerde Kullanılan Metaller	71
A.9	Gelişmiş Bir Ultra-Süperkritik Sistemin Nikel Bazlı Bileşenlerinde Kullanılan Metaller Gaz Yakıtlı Türbin	71
A.10	Kombine Çevrim Gaz Türbinli Elektrik Santralinde Kullanılan Metaller	72

Şekiller ve Tablolar

A.11	Mevcut Son Teknoloji Kazanlarda ve Boru Tesisatında Kullanılan Metaller ve Gelecekteki Gelişmiş Ultra Süperkritik Kömür Yakıtlı Enerji Santralleri.....	72
A.12	Literatür Taraması Kapsamındaki Enerji Teknolojileri	73
A.13	Bu Çalışma için Anahtar Metaller	74
A.14	Bu Senaryo Çalışmasında İncelenen Metaller ve Enerji Teknolojileri Matrisi.....	75
B.1	Mevcut Şebeke Ölçeğinde Enerji Depolama Ortamı	78

Kısaltmalar

2DS	2 derece senaryosu
4DS	4 derece senaryosu
6DS	6 derece senaryosu
CCS	karbon yakalama ve depolama
CdTe	kadmiyum tellür
CIGS	bakır indiyum galyum selenid
CMI	Karbon Azaltım Girişimi
CSP	yoğunlaştırılmış güneş enerjisi
CO ₂	karbondioksit
DDPP	Derin Dekarbonizasyon Yolları Projesi
SERA GAZI	sera gazı
GWh	gigawatt-saat
ICMM	Uluslararası Madencilik ve Metaller Konseyi
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
LED'ler	Işık Yayan Diyotlar
ppmv	hacim olarak milyonda parça
PV	fotovoltaik
SDG	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
TWh	terawatt-saat
BMiDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
USGS	Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma
DÜNYA BANKASI	Dünya Bankası Grubu

Teşekkür

Bu rapor, Dünya Bankası'nın Enerji ve Maden Çıkarma Küresel Uygulaması (GEEDR) Petrol, Gaz ve Madencilik ekibi ile İklim Değişikliği Grubu (CCSA) arasında bir işbirliği olarak geliştirilmiştir. Ekip Daniele La Porta ve Kirsten Hund ile Michael McCormick ve Jagabanta Ningthoujam tarafından yönetilmiştir. John Drexhage birincil yazardır. Helen Ba Thanh Nguyen organizasyonel destek sağlamıştır.

Ekip, katkılarından dolayı aşağıdaki kişilere teşekkür eder:

Öngörülen metal talebi ve modellemesine ilişkin birincil veriler ve anlatı, tarafından hazırlanmıştır:

- Grant Kopec, Foreseer Ltd.
- Tim Laing, Brighton Üniversitesi
- Simone Cooper, Cambridge Üniversitesi
- Jagabanta Ningthoujam

Modelcilerin çalışmalarını ortaklaşa destekleyen Uluslararası Madencilik ve Metaller Konseyi'ne teşekkür ederiz. Ayrıca ICMM Sekreteryasında görev yapan aşağıdaki kişilere de destekleri ve perspektifleri için teşekkür ederiz:

- Tom Butler, Aidan Davy, Ross Hamilton, Benjamin Davies

Diğerleri ise yazarlarla röportajlar yaparak zamanlarını :

- Roderick G. Eggert, Kritik Malzemeler Enstitüsü
- René Kleijn, Leiden Üniversitesi
- Thomas Graedel, Yale Ormancılık ve Çevre Çalışmaları Okulu

Son olarak, ekip Michael Stanley, Christopher Sheldon, Sheila Khama, Stephen Hammer, Riccardo Puliti ve James Close'un katkı ve rehberliklerine büyük teşekkür borçludur.

Önsöz

İnsan faaliyetlerinin dünyanın ekosferi üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğuna dair farkındalık giderek artıyor; öyle ki artık pek çok kişi yeni bir jeolojik dönemi tanımlıyor: Antroposen, insanların dünyanın fiziksel değişimlerinde itici güç haline geldiği bir dönem. Küresel insan nüfusunun 2050 yılına kadar 9 milyarı aşması beklenirken, kentleşme, enerjiye erişim, altyapı geliştirme ve yoksulluğun azaltılması gezegenimizin doğal kaynakları ve çevresi üzerinde benzeri görülmemiş bir baskıya neden olmaktadır. Bu durumun kalkınma için yarattığı uzun vadeli risk göz önüne alındığında, Dünya Bankası düşük karbonlu kalkınma stratejileri, yenilenebilir enerji ve dirençli şehirler ve peyzajlar da dahil olmak üzere sürdürülebilir kalkınma için entegre bir yaklaşımı savunmaya devam etmektedir.

Düşük karbon ekonomisine geçişin bir parçası olarak, yenilenebilir enerji teknolojilerinde şimdiden kayda değer bir büyüme görüyoruz ve bu teknolojiler küresel enerji tüketiminin yaklaşık %17'sini oluşturuyor. Düşük karbonlu bir gelecek için çabalarırken gelecekteki enerji taleplerini karşılama ihtiyacı önemsiz değildir.

2015'te 170'ten fazla ülke Paris İklim Değişikliği Anlaşmasını imzaladığında, hem iklim değişikliğinin etkilerine uyum hem de Sera Gazı (GHG) emisyonlarını azaltmaya yönelik önlemler de dahil olmak üzere müdahale önlemlerinin bilimselliğini ve uygulanabilirliğini kapsayan etkileyici bir analiz yelpazesi üstlenilmiştir. Azaltım konuları genellikle sera gazı emisyonlarının azaltılmasının ekonomik, politika, teknoloji ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini kapsamaktadır. Ancak, karbon kısıtlı bir geleceğin maddi sonuçları üzerine nispeten az analiz yapılmıştır.

Bu nedenle, iklim dostu teknolojilerin hızla benimsenmesinin emtia talebi ve bu yeni teknolojileri üretmek için gereken maden kaynakları üzerindeki etkilerini araştırmak ve analiz etmek önemlidir.

Dünya Bankası, "*Düşük Karbonlu Bir Gelecek için Minerallerin Büyüyen Rolü*" raporun yayınlanmasıyla, karbon kısıtlı bir geleceğin sonuçlarının anlaşılmasında bu konuya hak ettiği yerin verilmesine katkıda bulunmaktadır.

Banka, Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) Enerji Teknolojisi Perspektifi kapsamında geliştirilen iklim ve teknoloji senaryolarına dayanarak 2050 yılına kadar bir dizi emtia talep projeksiyonu geliştirmiştir. Bunu, 2°C, 4°C ve 6°C'lik üç farklı küresel ısınma senaryosunun karşılanmasına yardımcı olmak için gereken üç ayrı iklim dostu teknolojinin (rüzgar, güneş ve enerji depolama pilleri) alım düzeyine ilişkin en iyi tahminleri sağlayarak yaptık.

"*Düşük Karbonlu Bir Gelecek için Minerallerin Büyüyen Rolü*", karbon kısıtlı bir gelecekte madencilik ve metal endüstrisi için fırsatlar ve zorluklar etrafında daha odaklı ve tutarlı bir diyalog başlatmayı amaçlamaktadır. Kuşkusuz, bu raporda incelenenden daha geniş kapsamlı karbon kısıtlı teknolojilerin maden talebi üzerindeki etkisinin analiz edilmesi ve geri dönüşümün madenler üzerindeki etkisi de dahil olmak üzere, daha fazla analiz bekleyen teknolojiyle ilgili birçok konu vardır.

Bu analizin bir diğ er faydası da iklim, temiz enerji ve maden çıkarma endüstrileri bileşenleri arasında bir diyalog başlatmak için kritik bir alan sağlaması olmuştur. Bu gruplar arasındaki dinamiğe çok uzun zamandır kutupla ma hakim olmuştur. Özellikle de belirli bir ülkenin kalkınma planlarıyla etkili bir şekilde uyumlu iklim ve sürdürülebilir kalkınma politikalarının geliştirilmesi söz konusu olduğunda, kendi kendini yenilgiye uğrattığı ortaya çıkan tanımlamalar ve nitelendirmeler. Bu dersin artık ulusal düzeyde iletilmesi ve entegre edilmesi gerekmektedir: daha yeşil, daha sürdürülebilir bir gelecek için maden kaynaklarının rakip değil tamamlayıcı olarak geliştirilmesi.

-Riccardo Puliti
Kıdemli Direktör ve Küresel Enerji ve Maden
 ıkarma Uygulama Grubu Başkanı
Dünya Bankası

Yönetici Özeti

İklim ve sera gazı (GHG) senaryoları, düşük/sıfır karbonlu bir geleceği gerçekleştirmek için gerekli olan metal etkilere genellikle çok az dikkat etmiştir. 2015 Paris İklim Değişikliği Anlaşması, sera gazı yoğunluğunu önemli ölçüde azaltacak kalkınma modellerine geçme konusunda küresel bir kararlılığa işaret etmektedir. Karbon kısıtlı bir gelecekte yenilenemeyen kaynak geliştirme ve kullanımının da azalması gerekeceği varsayılabilir. Bu rapor bu varsayımı test etmekte, böyle bir senaryoya dahil olan emtiaları tanımlamakta ve ilgili kaynak zengini gelişmekte olan ülkeler için sonuçlarını araştırmaktadır.

Rüzgar, güneş ve enerji depolama bataryalarını örnek olarak kullanan çalışma, karbon kısıtlı bir geleceği sağlayabilmek için hangi metallere olan talebin artacağını inceliyor. Büyüyen bir pazar görebilecek metaller arasında alüminyum (ana bileşeni boksit dahil), kobalt, bakır, demir cevheri, kurşun, lityum, nikel, manganez, platin grubu metaller, kadmiyum, molibden, neodimyum ve indiyum-gümüş dahil nadir toprak metalleri, çelik, titanyum ve çinko bulunmaktadır. Rapor daha sonra, kaynak zengini gelişmekte olan ülkeler için çıkarımlara odaklanarak, ilgili metallerin üretim ve rezerv seviyelerini küresel olarak haritalandırmaktadır. Rapor, kritik araştırma boşluklarını ve gelecekteki çalışmalar için önerileri belirleyerek sona ermektedir.

Rapor ilk olarak düşük karbonlu bir gelecekte maden talebini tahmin etmek için bir çerçeve geliştirmektedir. Dünya Bankası, Uluslararası Madencilik ve Metaller Konseyi (ICMM) ile işbirliği içinde, düşük karbonlu bir geleceğe geçişi desteklemek için gelecekteki metal talebinin tahmini bir analizini yaptırmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2°C (2DS), 4°C (4DS) ve 6°C (6DS) küresel sıcaklık artışı hedeflerine ulaşmanın yenilenebilir teknoloji sonuçlarına odaklanan 2016 Enerji Teknolojisi Perspektifleri¹ kullanılarak düşük karbonlu bir gelecek öngörülmüştür. Yenilenebilir enerji üretimi (hidroelektrik ve biyokütle dahil) üç iklim senaryosunda mevcut enerji karışımının %14'ünden 6DS %18'ine, 2DS ise %44'üne yükselmektedir.

Çalışma, düşük/sıfır sera gazı emisyonu seviyelerinde gelecekteki enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında kilit unsurlar olarak kabul edildikleri için rüzgar, güneş ve enerji depolama bataryalarına odaklanmaktadır. Bununla birlikte, Paris'te verilen güçlü iklim taahhütlerinin yerine getirilmesi için enerji, ulaşım, binalar, sanayi ve arazi kullanımı yönetimi sektörlerini kapsayan birçok başka teknoloji ve iletim modunun gerekli olduğunun farkındayız. Bu çalışmayla, diğer birçok teknoloji ve iletim sisteminin de ele alınması gerektiğini kabul ederek, bu kritik konuda daha geniş bir tartışma başlatmayı amaçlıyoruz.

Bir sonraki adım, bu teknolojilerin ölçeklendirilmiş üretiminde hangi malzemelerin gerekli olduğunu ve bu talebin 2DS, 4DS ve 6DS küresel iklim senaryoları tarafından ne ölçüde yönlendirileceğini ele almaktadır. Rapor, temiz enerji değişiminde yer alacağı varsayılan teknolojilerin -rüzgar, güneş, hidrojen ve elektrik sistemleri- aslında mevcut geleneksel fosil yakıt temelli enerji tedarik sistemlerinden çok daha fazla malzeme yoğun olduğunu açıkça göstermektedir. Gerçek enerji tüketimine ilişkin kesin tahminler Metallere olan talep en az iki bağımsız değişkene bağlıdır: küresel uluslar topluluğunun uzun vadeli Paris iklim hedeflerine ulaşmada ne ölçüde başarılı olacağı ve teknoloji içi tercihlerin niteliği. Başka bir deyişle, örneğin, sadece kaç tane rüzgar türbini, güneş paneli ve düşük emisyonlu karayolu aracının

konuslandırılacağı, ancak hangi rüzgar, güneş teknolojileri ve sıfır/düşük emisyonlu araçların baskın olacağı.

Araştırma ayrıca düşük karbon teknolojisi gereksinimlerinin ve dolayısıyla ilgili metal talebinin 4DS ve 2DS senaryoları arasında hızla arttığını göstermektedir. Bunun en önemli örneği, ilgili metallerdeki - alüminyum, kobalt, demir, kurşun, lityum, manganez ve nikel - talep artışının 4DS altında nispeten mütevazı bir seviyeden 2DS altında yüzde 1000'den fazla olduğu elektrikli depolama pilleridir.

Son adım olarak rapor, kaynak zengini gelişmekte olan ülkelerin düşük karbonlu enerji dönüşümüne yanıt gelişen emtia piyasasından faydalanmak için kendilerini en iyi şekilde nasıl konumlandırabileceklerini incelemektedir. Yenilenemeyen maden kaynakları, dünya GSYİH'sinin dörtte birini, dünya nüfusunun yarısını ve aşırı yoksulluk çekenlerin yaklaşık yüzde 70'ini oluşturan 81 ülkede baskın bir rol oynamaktadır.² Sonuç olarak, giderek artan sayıda düşük gelirli ülke, ekonomik büyüme planlarının temeli olarak kaynak çıkarma ve işleme faaliyetlerine odaklanmaktadır. Bu tür yatırımlar, ilgili emtiaların uzun ömürlülüğüne ilişkin temel varsayımların (madenlerin tipik ömrü nedeniyle) genellikle yarım yüzyıldan daha uzun bir süreye uzanmasıyla birlikte, önemli ön sermaye maliyetleri taşır.

Gelişmekte olan ülkelerin, iklim hedeflerine ve ilgili Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SKH'ler) yanıt veren gelecekteki emtia piyasasından nasıl yararlanacaklarına karar vermek için daha iyi bir konuma gelmeleri önemlidir. Rapor, yukarıda belirtildiği üzere, karbon kısıtlı bir geleceğe enerji geçişinde potansiyel olarak önemli bir rol oynayacağı varsayılan metallerin bilinen üretim seviyelerini ve rezervlerini izleyen kapsamlı bir dizi küresel emtia haritası sunmaktadır.

Düşük karbonlu enerjiye geçiş, bir dizi mineral açısından küresel fırsatlar yaratacaktır. Latin Amerika bölgesi (Şili, Brezilya, Peru, Arjantin ve potansiyel olarak Bolivya) küresel iklim dostu enerji geçişini tedarik etmek için mükemmel bir konumdadır. Bölge bakır, demir cevheri, gümüş, lityum, alüminyum, nikel, manganez ve çinko açısından önemli bir stratejik avantaja sahiptir. Platin, manganez, boksit ve krom rezervleriyle Afrika da bu kaynaklar için gelişen bir pazar görevi görmelidir.

Asya ile ilgili olarak en dikkat çekici bulgu, Çin'in karbon salınımlı bir dünyada teknoloji tedarik etmek için gerekli olan hem baz hem de nadir toprak metalleri konusunda sahip olduğu küresel hakimiyettir. kısıtlı bir gelecek. Hem üretim hem de rezerv seviyeleri, kaynak zengini gelişmiş ülkelerle (Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri ve daha az ölçüde Avustralya gibi) kıyaslandığında bile genellikle diğerlerini gölgede bırakmaktadır. Hindistan demir-çelik ve titanyum konusunda baskındır; Endonezya boksit ve nikel konusunda, Malezya ve Filipinler ise kobalt konusunda daha az fırsatlara sahiptir. Son olarak, Okyanusya'da Yeni Kaledonya'da bulunan devasa nikel rezervleri göz ardı edilmemelidir.

Araştırma, gelişmekte olan ülke bölgelerinde (Afrika, Latin Amerika ve Asya) ilgili mineral/metal kaynaklarının haritalanmasına ilişkin güncel ve sağlam verilerin sağlanmasında önemli boşluklar olduğunu göstermiştir. Önemli metallerin coğrafi dağılımında üretim faaliyetleri ile rezerv seviyeleri arasındaki anomaliler de dikkat çekicidir. Örneğin, boksit ile ilgili olarak, gelişmekte olan ülkeler (Çin hariç) boksit üretiminin sadece %30'unu temsil etmektedir, ancak

küresel rezervlerin %63'ünü temsil etmektedir. Afrika'da (Gine) ise küresel üretimin sadece %6,5'ini, ancak bilinen rezervlerin %26'sını temsil etmektedir.

Raporun sonuç bölümünde, daha fazla araştırma yapılması gereken veya politika ve teknoloji olmak üzere iki kategoriye ayrılan alanlara ilişkin bir dizi tavsiye yer almaktadır.

Politika ile ilgili araştırma alanları aşağıdakileri içerir:

- Gelecekteki çevresel ve maddi etki performansı için çıkarımlar. Karbon kısıtlı bir geleceğin emtia üzerindeki etkileri üzerine yapılan çalışmalar genellikle mevcut rezervlere odaklanmaktadır ve temiz teknoloji üretim senaryolarını tedarik etmek için malzemelere erişim ve kullanılabilirliğin göreceli düzeyi. Bununla birlikte, karbon kısıtlı bir gelecek için gerekli temiz teknolojilerin tedarik edilmesinin, madenlerin ve kaynakların sürdürülebilir kalkınması için yeni bir dizi zorluk yaratabileceği konusunda da artan bir hassasiyet söz konusudur. Bir diyalog Kaynak zengini gelişmekte olan ülkelerdeki ulusal ve sivil toplum düzeylerinde, madencilik-metaller ve iklim-çevre-temiz enerji bileşenleri arasında, önemli emtialar için potansiyel büyüyen bir pazarı sürdürülebilir bir gelecekle uyumlu hale getiren bir yol geliştirmek için gereklidir.
- Gelişmekte olan ülkelere madenlerin haritalanması. Başta Afrika olmak üzere birçok gelişmekte olan ülke bölgesinde veri ve mineral haritalama konusunda önemli bir boşluk bulunmaktadır. Bu alandaki kapasite kaynak zengini gelişmekte olan ülkelerin kendi ülkelerindeki potansiyel ekonomik büyümeden en iyi şekilde faydalanabilmeleri için kritik öneme sahiptir.
- Arz kısıtlamaları ve talep modellerine dayalı olarak teknoloji seçiminin tahmin edilmesi. Yukarıda belgelendiği üzere, birçok teknoloji için potansiyel talebe ilişkin belirsizliğin büyük bir kısmı metaller, teknolojiler arası tercihlerden olduğu kadar teknoloji içi tercihlerden de kaynaklanmaktadır. Arz kısıtlamalarının nerede olabileceğini ve fiyatların en çok nerede yükselebileceğini anlamak, bu tercihlerden bazılarının olası yönü hakkında bilgi vermeye yardımcı olabilir ve bu da talebi netleştirmeye yardımcı olabilir.
- Ağların geliştirilmesi ve farkındalığın artırılması. Bu analizin sonuçlarından biri, bu çalışmanın etkilerinin geleneksel maden ve minerallerin çok ötesine geçtiğinin farkına varılmasıdır. metaller topluluğu. Araştırma ve sosyal topluluklar arasındaki bağlantılar takip edilmeli ve kolaylaştırılmalıdır.

Teknolojiyle ilgili araştırma alanları çoğunlukla gelecekteki temiz teknolojilerin kapsamının genişletilmesiyle ilgilidir.

Kapsanacak alanlar aşağıdakileri içerebilir:

- Elektrik kabloları ve yüksek verimli elektrik motorları.
- Araçların hafifletilmesi.
- Enerji verimli teknolojiler ve binalar.
- İletim ve dağıtım.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

- › Geleneksel ve yeni nesil fosil yakıt tesislerinin ve nükleer tesislerin metal yoğunluğu.
- › Metal tedarik ve metal aileleri.
- › Nadir toprak metalleri ile olarak, hem bu ürünler için ayrıştırma kapasitesi (nadir toprak metalleri tipik olarak ekonomik veya fiziksel olarak ayrı cevherler olarak geri kazanılabilir, ancak yukarıda çinko için belirtildiği gibi genellikle diğer baz metallerle iç içe geçmiştir) ve jeolojik konumları.
- › Geri dönüşüm oranı. Ömrünü tamamlamış ürünlerden elde edilen metallerin geri dönüşümü, bu metallerin gelecekte kullanılabilirliğini artırabilir, ancak hem mevcut hem de gelecekteki metal geri dönüşüm oranlarına ilişkin veriler genellikle zayıftır. Enerji sektöründeki metal kritikliğinin bu analizini iletirmek için, mevcut ve gelecekteki geri dönüşüm oranlarına ilişkin veriler geliştirilmelidir.

Bu rapor, bu kritik bileşenlerden ikisinin (geleceğin ulaşımına yakıt sağlamak için kullanılan güç ve bataryalar) alt kümelerine yakından bakarak, düşük karbonlu enerji geleceğinin tedarikinde madencilik ve metal endüstrisi için değişen malzeme gereksinimlerinin etkilerini incelemek için bir ilk adımdır. Temiz enerji, iklim ve maden toplulukları arasında karbon kısıtlı bir gelecek için küresel çözümün bir parçası olma konusundaki rolleri hakkında daha geniş bir diyalog başlatılması amaçlanmaktadır. İleriye dönük olarak Dünya Bankası, karbon kısıtlı bir geleceğin mineraller ve metaller üzerindeki etkilerini daha fazla tanımlamak ve aşağıdakileri sağlayan uygun politikalar ve önlemler geliştirmek için bu kilit bileşenlerle birlikte çalışmayı amaçlamaktadır.

geçişin, çevresel ve diğer maddi etki konularından gelişmekte olan ülkelerde devam eden ekonomik ve adil büyümenin desteklenmesine kadar bir dizi sürdürülebilir kalkınma önceliğini tamamlayacak şekilde yönetilmesini sağlamaya yardımcı olacaktır.

Notlar

1. <http://www.iea.org/etp>.
2. <http://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/overview>.

Giriş

Madencilik sektörüne yönelik beklentilerle ilgili olarak, zaman içinde kömüre olan talebin azalmasının sektör üzerindeki etkilerine çok dikkat edilmiştir (ilgili sera gazı emisyonlarının yönetilmesine yardımcı olacak karbon yakalama ve depolama potansiyeline rağmen).

Buna karşılık, yenilenebilir teknolojilerin ve sıfır emisyonlu altyapının inşası için gereken malzemelere yönelik artan talebin sonuçlarına çok az dikkat edilmiştir. Mineraller ve metaller, önemli ölçüde yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişte kilit bir rol oynayacaktır.

daha düşük karbonlu bir gelecek, mineral ve metal piyasası için potansiyel olarak önemli değişiklikler. Metaller, enerjinin üretilme ve kullanılma şekli açısından hayati önem taşımaktadır. Gelecekte düşük karbonlu elektrik üretimine ve enerjiyi verimli kullanan teknolojilere dayalı düşük karbon ekonomisine geçiş, mineral ve metallerle olan talebin hem ölçeğini hem de bileşimini değiştirme konusunda büyük bir potansiyele sahiptir.

Nature dergisinde yayınlanan bir makalede şöyle denmektedir: "Düşük karbonlu bir topluma geçiş, büyük miktarlarda metal ve mineral gerektirecek bir değişimdir. Sadece madencilik büyük miktarda enerji gerektirdiği için değil, aynı zamanda 'dünya temiz teknolojiler üretmek için yeterli hammadde tedariki olmadan iklim değişikliğiyle mücadele edemeyeceği' için de maden kaynakları ve iklim değişikliği ayrılmaz bir şekilde bağlantılıdır" (Ali vd. 2017, 367).

Literatür incelendiğinde, karbon kısıtlı geleceğin emtia tedariki konusunun genellikle belirli teknolojiler için gerekli olan mineral ve metallerle, endüstrinin düşük karbonlu bir geleceği karşılamak için gerekli unsurları tedarik etme kapasitesine ilişkin endişelere, bu kaynakların çıkarılmasının artmasının çevresel ve enerji kullanımı üzerindeki etkilerine ve gelişmiş ülkelerin temiz enerji geçişi için gerekli kritik unsurların tedariki konusundaki göreceli kırılganlığına odaklandığı görülmektedir. Bu çalışma, düşük karbonlu bir geçişin maddi sonuçlarının bir özetini sunmaktadır. Rüzgar, güneş ve enerji depolama bataryalarını olarak kullanmakta ve alüminyum, bakır, demir cevheri, nikel, lityum ve çelik gibi baz metaller ile molibden, neodim ve indiyum gibi bazı önemli nadir toprak metallerine odaklanmaktadır. Bu metaller, sera gazı içermeyen teknolojilerin üretimi için gerekli elementler olarak yaygın bir şekilde tanımlandıkları için seçilmiştir. Rapor daha sonra, kaynak zengini gelişmekte olan ülkeler için çıkarımlara odaklanarak, ilgili metallerin üretim ve rezerv seviyelerini küresel olarak haritalandırmaktadır. Rapor, kritik araştırma boşluklarını ve gelecekteki çalışmalar için önerileri belirleyerek sona ermektedir.

Çalışmanın hedef kitlesi Dünya Bankası Grubu ve ilgili müşteri hükümetler olsa da, madencilik ve metaller ile iklim değişikliği ve temiz enerji topluluğu arasında daha geniş bir diyalog başlatmayı da amaçlamaktadır. Bu ikisi arasındaki etkili işbirliği çoğu zaman çıkarların çatıştığı algısıyla engellenmiştir: bu çalışma, düşük karbonlu enerjiye geçişin büyük ölçüde sağlam, sürdürülebilir ve verimli bir madencilik ve metal endüstrisine bağlı olacağını etkili bir şekilde göstererek bu tikanıklığı aşma girişimidir.

Raporun amacı - maden zengini gelişmekte olan ülkeler için değişen emtia piyasasının sağladığı fırsatlar konusunda farkındalık yaratmak - aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulduğunda önemlidir:

- WBG'nin küresel net sıfır karbon geçişini desteklemede aktif bir rol oynamaya verdiği yüksek öncelik.

- › Özellikle gelişmekte olan ÷lkelerdeki madencilik ve metal akt÷rleri arasında sıfır karbon gelecek senaryolarına ilişkin farkındalık eksikliği ve bunun emtia piyasası.
- › Maden zengini gelişmekte olan ÷lkelerin ulusal kalkınma ve ekonomik hedeflerine ulaşırken iklim değişikliğinin ele alınmasına katkıda bulunmaları için sağlayabileceği fırsat.

Rapor aşağıdaki d÷zenlenmiştir:

- › Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2015 Enerji Teknolojisi Perspektiflerini (IEA 2015a) ana referans iklim ve enerji kullanımı senaryosu olarak kullanan 1. b÷l÷m Madencilik ve metal end÷strisi için karbon kısıtlı bir geleceğin etkilerini tanımlamak için çerçeve.
- › Böl÷m 2, üç düşük karbon teknolojisinin (rüzgar, güneş ve enerji depolama bataryaları) yaygınlaştırılmasında hızlanan bir artışı mineral ve metaller üzerindeki etkilerini tahmin etmektedir.
- › Böl÷m 3, bu metalleri küresel olarak bilinen rezervleriyle eşleştirerek, mineral zengini gelişmekte olan ÷lkeler için özel çıkarımları belirlemeyi amaçlamaktadır.
- › Böl÷m 4, temel sonuçları ve araştırma boşluklarını tanımlamakta ve bu çalışmanın devamı niteliğindeki faaliyetler için tavsiyelerde bulunmaktadır.
- › Ek A, karbon kısıtlı bir gelecekte hangi teknolojilerin ve metallerin önemli bir rol oynamasının en muhtemel olduğunu belirlemek için yapılan literatür taramasını özetlemektedir.
- › Ek B'de enerji depolama bataryası senaryoları ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.
- › Ek C, çeşitli derin sera gazı azaltım senaryolarını kısaca gözden geçirmektedir.

1. Araştırma Metodolojisi

Son on yılda, karbon temelli bir ekonomik modelden küresel geçiş için farklı seçenekleri inceleyen çok sayıda hakemli senaryo geliştirilmiştir. İçin

Bu raporun amaçları doğrultusunda, bu senaryolar iki gruba ayrılabilir: İlk grup, ulusal, bölgesel veya uluslararası düzeylerde belirlenen siyasi hedeflere bakılmaksızın, böyle bir geçişin gerçekleştirilmesi için en olası ihtimalleri incelemektedir. Bu senaryolar genellikle özel sektörden gelmektedir¹ ve karbonsuzlaştırma eğilimlerini yüzyıl boyunca potansiyel olarak önemli görme eğiliminde olsalar da, Paris Anlaşması'nın 2 santigrat derece (2°C) sıcaklık artışından kaçınma hedefini karşılamak için gereken boyuta yakın değildirler. Dolayısıyla, bu senaryolarda önümüzdeki birkaç on yıl içinde fosil yakıtların yakıtlar hakim olmaya devam edecek, yenilenebilir enerji kaynaklarının nüfuzu hala önemli olmakla birlikte 2°C'lik bir artışı önlemek için gerekli seviyelerden uzaktır.

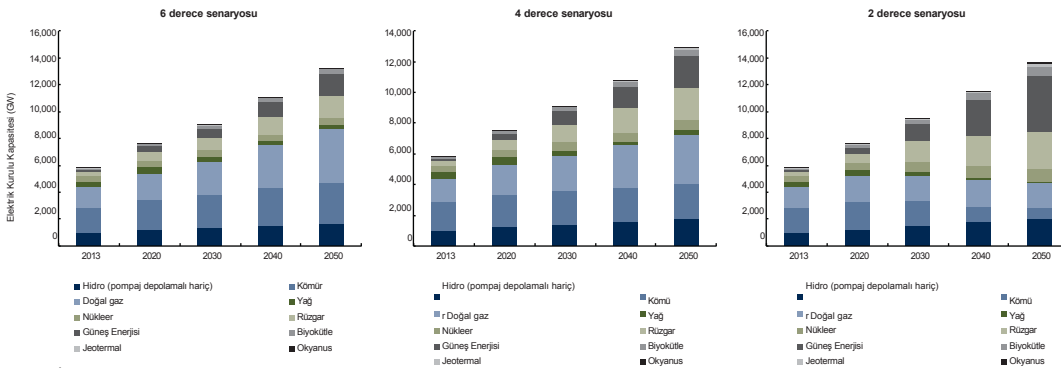
İkinci grup senaryolar, 2°C'nin çok altında bir küresel ısınma hedefinden kaçınma taahhüdünün gerçekçi ve hatta ulaşılabilir olup olmadığı konusunda bir önyargıda bulunmamakta veya bunu incelememektedir.² Aslında bu çalışmalar, 2°C senaryosunun önemli ölçüde ötesine geçmekte ve bu nedenle ilgili metaller için potansiyel büyüme beklentilerini abartma eğilimindedir.³ Diğerleri ise İklim değişikliği hedefleriyle belirli bir bağlantısı olmayan "kalkınma senaryoları".⁴ Gelecekteki düşük karbon senaryolarının daha derinlemesine bir analizi için lütfen Ek C'ye bakınız.

Sonuç olarak, Dünya Bankası, Uluslararası Madencilik ve Metal Konseyi (ICMM) ile işbirliği içinde, düşük karbonlu bir geleceğe geçişi desteklemek için gelecekteki metal talebinin tahmini bir analizini, mevcut en güncel verilerden yararlanarak yaptırmıştır: Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2015 yılında yayınlanan Enerji Teknolojisi Perspektifi (ETP) senaryoları (IEA 2015a), yenilenebilir teknolojinin etkilerine odaklanmaktadır

2°C (2DS), 4°C (4DS) ve 6°C (6DS) küresel sıcaklık ısınma senaryolarının karşılanması. Çoğunlukla belirli teknolojiler için metal konsantrasyonlarına ilişkin varsayımları doğrulamak amacıyla diğer senaryolar da dikkate alınmış olsa da, ETP senaryosu, düşük karbonlu bir gelecekte kaynaklanan madencilik ve metallerle yönelik gelecekteki talep projeksiyonlarının temelini oluşturmaktadır.

Şekil 1.1, IEA'nın ETP senaryolarından elde edilen teknoloji sonuçlarını göstermektedir.

ŞEKİL 1.1 Elektrik Kurulu Kapasitesi için IEA Teknoloji Senaryoları



Kaynak: IEA 2016.

Not: GW= gigawatt; IEA= Uluslararası Enerji Ajansı.

Yenilenebilir enerji üretimi (hidroelektrik ve biyokütle dahil) üç senaryoda (2DS, 4DS, 6DS) mevcut enerji karışımının yüzde 14'ünden 6DS senaryosunda yüzde 18'ine ve 2DS senaryosunda yüzde 44'e yükselmektedir. Rüzgar ve güneş enerjisi üretiminin, düşük karbonlu bir geleceği karşılamak için 2013-2050 yılları arasında kullanımının en fazla artması beklenen iki yenilenebilir teknoloji olduğu göz önüne alındığında, bu rapor bu iki temel enerji üretim teknolojisine odaklanmaktadır.

Bu çalışmanın bu enerji teknolojilerini üretmek için kullanılan metalleri sınırlı olduğunu, ancak dağıtılmış enerji sistemlerinin çoğalmasıyla ilişkili iletim altyapısının büyümesinden kaynaklanabilecek ek metal gereksinimlerini araştırmadığını belirtmek de önemlidir. Enerji sektörü üretimin ötesine geçip ilettime doğru genişlediğinde, iletim altyapısı gereksinimlerinin de artacağı varsayılmaktadır. olağan durumlardan güneş ve rüzgar tesisleriyle entegre akıllı şebeke sistemlerinin inşasına kadar katlanarak büyüyecektir.

Enerji kullanan teknolojiler küresel ekonomide çok sayıda bulunmakta ve kapsam ve bileşim açısından büyük farklılıklar göstermektedir. Bu analiz, düşük karbon ekonomisine geçişte önemli bir rol oynayacağı öngörülen potansiyel bir enerji kullanım teknolojisine odaklanmaktadır: elektrikli araçlar için gerekli batarya depolama üniteleri. Toplam emisyonların yaklaşık yüzde 20'sini oluşturan ulaşım emisyonları azaltılmadan iklim değişikliğiyle mücadele etmek mümkün olmayacaktır (Bajželj, Allwood ve Cullen 2013). Önemli bir elektrikli araç filosu ve bunu destekleyen şarj altyapısı, yaygın merkezi olmayan enerji depolama tesisleri olarak da kullanılabilir. Bu, gelecekteki düşük karbonlu enerji sisteminin rüzgar ve güneş enerjisinden elektrik üretimindeki doğal değişkenliğe uyum sağlamasına yardımcı olabilir. Bu nedenle elektrikli araçlar, düşük karbonlu enerji sisteminin önemli bir parçasıdır.

Denklemin hem üretim hem de kullanım tarafları için düşük karbonlu geçiş. Bu çalışmada analiz sadece elektrikli araçlar ve kesintili yenilenebilir enerji üretimi için gerekli olan potansiyel batarya depolama tesislerine odaklanmıştır.⁵

ICMM-Dünya Bankası işbirliği analizi, üç aşamalı bir metodoloji göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır:

1. *Literatür kapsam belirleme çalışması* - Bu raporun A ekinde belgelenen kaynaklara dayanarak, enerji tedarikinde ve enerji kullanan teknolojilerde metal kullanımına ilişkin literatür incelemesi tamamlanmıştır. Bu incelemeye dayanarak, analize dahil edilecek metallerin bir listesi (tablo 1.1) ve bu çalışmanın odak noktası olan üç yenilenebilir seçenekle doğrudan ilgili olan araştırılacak enerji teknolojilerinin bir listesi (tablo 1.2) geliştirilmiştir. Tüm temiz teknolojileri olmasa da diğerlerini kapsayan tam bir literatür taraması ek A'da verilmiştir.

Bu literatür taraması sırasında, tablo 1.1.1'2'deki teknolojiler için bir miktar elektrik üretim kapasitesi üretmek için gerekli olan ve tipik olarak kurulu megawatt başına kilogram birimleriyle ifade edilen tablo deki metallerin ağırlığına ilişkin veriler toplanmıştır. Bu veriler, belirli bir enerji teknolojisinde bir metalin kullanımına ilişkin birden fazla çelişkili veri bulunması halinde "düşük, "medyan" ve yüksek" veri noktaları olarak kategorize edilmiştir.

2. *İklim senaryolarında enerji teknolojileri için öngörülen metal kullanımının hesaplanması* - Kurulu kapasite birimi başına metal kullanımı öngörülen yıllık kapasite ile çarpılmıştır

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

TABLO 1.1 Senaryo Çalışmasına Dahil Edilmek Üzere Literatür Taramasıyla Belirlenen Metaller

Metal	Metal	Metal
Alüminyum	Demir	Molibden
Krom	Lityum	Gümüş
Bakır	Kurşun	Çelik
İndiyum (Nadir toprak)	Manganez	Çinko

Not: Diğer metaller de incelenmiştir (bkz. Ek A), ancak bu alt küme bu çalışma için en uygun olanı olarak seçilmiştir.

TABLO 1.2 Bu Çalışmaya Dahil Edilen Enerji Teknolojileri

	Teknoloji
1a	Rüzgârdan elektrik üretimi-karada
1b	Rüzgârdan elektrik üretimi-açık deniz
2a	Güneş fotovoltaikleri-kristal silikon
2b	Güneş fotovoltaikleri-CdTe
2c	Güneş fotovoltaikleri-CIGS
2d	Güneş fotovoltaikleri-amorf silikon
3a	Enerji depolama-otomotiv (lityum-iyon, kurşun-asit ve diğer arasında bölünmüş)
3b	Enerji depolama-şebeke ölçeği (lityum-iyon, kurşun-asit ve diğer arasında bölünmüş)
3c	Enerji depolama-merkezi olmayan (lityum-iyon, kurşun-asit ve diğer arasında bölünmüş)

Not: CdTe = kadmilyum tellürid; CIGS = bakır indiyum galyum selenid. Diğer enerji teknolojileri de incelenmiştir (bkz. Ek A), ancak bu teknolojilerin bu alt kümesi bu çalışma için en uygun olanı olarak seçilmiştir.

dikkate alınan her bir enerji teknolojisi için kurulum. Enerji sistemi projeksiyonları için IEA'nın 2DS, 4DS ve 6DS senaryoları kullanılmıştır. Bu projeksiyonlar, alt teknolojiler arasındaki bölünme için diğer senaryolarla desteklenmiştir. Örneğin, Elshkaki ve Graedel (2013) kara ve deniz rüzgarı kurulu kapasiteleri arasındaki dağılımın 2007'de sırasıyla yüzde 98 ve yüzde 2 iken 2050'de yüzde 50/50 olarak değişeceğine dair bir projeksiyondan bahsetmektedir. Kullanılan enerji senaryoları Tablo 1.3'te açıklanmaktadır.

3. Bu enerji senaryoları ve metal verileri kullanarak bir Microsoft Excel modelinin oluşturulması-Bu model kullanılarak, belirli bir enerji teknolojisinde belirli bir metal için 2007 ve 2050 yılları arasındaki yıllık talep (1) enerji teknolojisi, (2) ilgili metal, (3) enerji senaryosu ve (4) düşük, medyan veya yüksek metal-birim-kapasite verilerinin kullanılıp kullanılmayacağı (birden fazla veri noktası mevcutsa) seçilerek hesaplanmıştır. Varlık ömrü ve alt teknolojiler arasındaki dağılım da ayarlanabilir.

TABLO 1.3 Bu Analizde Kullanılan IEA Enerji Senaryoları

Senaryo	Açıklama
IEA Enerji Teknoloji Perspektifler 2° senaryo (2DS)	2DS, IEA'nın <i>Enerji Teknolojisi Perspektiflerinin</i> ana odak noktasıdır. Bu 2DS bir enerji sistemi yayılım yolu ve bir emisyon yörüngesi ortaya koymaktadır ortalama küresel ısınmayı sınırlama şansının en az yüzde 50 olmasıyla tutarlı sıcaklık artışı 2°C'ye kadar. 2DS, kalan toplam kümülatif sıcaklık artışını 2015 ve 2100 yılları arasında enerji ile ilgili CO ₂ emisyonlarını 1.000 GtCO ₂ 'ye düşürmek. 2DS, CO ₂ emisyonlarını (yakıt yanması ve proses kaynaklı emisyonlar dahil) azaltmaktadır. ve sanayide hammadde emisyonları) 2050 yılına kadar neredeyse yüzde 60 oranında azaltacaktır (karşılaştırıldığında 2013 ile), karbon emisyonlarının 2050 yılından sonra azalacağı öngörülmektedir. karbon nötrlüğüne ulaşılır.
IEA Enerji Teknoloji Perspektifler 4° senaryo (4DS)	4DS, ülkelerin emisyonları sınırlama ve iyileştirme yönündeki son taahhütlerini dikkate almaktadır Uzun vadeli sıcaklık artışının 4°C ile sınırlandırılmasına yardımcı olan enerji verimliliği. Her ne kadar 4DS senaryosunun zararlı sonuçlara yol açacağı kesin olsa da dünya çapında iklim değişikliği, mevcut durumdan önemli değişiklikler gerektirecektir. politika ve teknoloji uygulamaları. Ayrıca, uzun vadeli sıcaklığın sınırlandırılması 4°C'deki artış, bu dönemde emisyonlarda önemli ek kesintiler gerektirmektedir 2050'den sonra.
IEA Enerji Teknoloji Perspektifleri 6° senaryo (6DS)	6DS büyük ölçüde mevcut eğilimlerin bir uzantısıdır. Birincil enerji talebi ve CO ₂ emisyonları 2013'ten 2050'ye kadar yaklaşık yüzde 60 oranında artacak ve yaklaşık 1.700 GtCO ₂ kümülatif emisyonu yol açacaktır. İklim değişikliğini dengeleme çabalarının yokluğunda sera gazlarının atmosferik konsantrasyonu, ortalama küresel sıcaklık artışının uzun vadede neredeyse 5,5°C'ye ulaşacağı öngörülmektedir ve bu yüzyılın sonuna kadar neredeyse 4°C'ye ulaşacaktır.

Kaynak: IEA (<http://www.iea.org/publications/scenariosandprojections/>).

Not: CO₂= karbondioksit; GHG= sera gazı; GtCO₂= gigaton CO₂.

Enerji depolama senaryoları IEA Enerji Teknolojisi Perspektifleri 2015 senaryolarına açıkça dahil edilmemiştir, bu nedenle diğer literatürden alınmıştır. Bu analizin enerji depolama bataryalarına yönelik senaryoları nasıl içerdiğine dair ayrıntılı bir açıklama için Ek A'ya bakınız, ancak bu noktada üç iklim senaryosunun (6DS, 4DS ve 2DS) sırasıyla 189 gigawatt (GW), 305 GW ve 500 ^{GW6} şebeke ölçeğinde enerji depolama çıktısına ihtiyaç olduğunu varsaydığını söylemek yeterlidir. Merkezi olmayan ("arkası") enerji depolamanın herhangi bir yılda şebeke ölçeğindeki enerji depolamanın yüzde 10'u olduğu varsayılmıştır.

Tablo 1.4'te analizde kullanılan bazı temel varsayımlar yer almaktadır.

TABLO 1.4 Karbon Kısıtı Senaryoları ile Metal Talebini İlişkilendiren Temel Varsayımlar

	Varsayım	Açıklama	Riskler ve azaltılması
1	Kurulu kapasite birimi başına metal talebinin sabit kalacağı varsayımı	Birim kapasite başına düşen metal miktarının 2050 yılına kadar sabit kalacağı varsayılmıştır.	İkame malzemeler bulunursa veya belirli teknolojileri daha küçük maliyetlerle üretmenin yolları bulunursa, gelecekteki metal talebi bu analizde olduğundan fazla tahmin edilebilir. belirli metallerin miktarları. Bu varsayım, mevcut olan yerlerde metal kullanımı için "düşük", "medyan" ve "yüksek" veri noktaları dahil edilerek biraz hafifletilmiştir.
2	Alt-karışımların varsayımı gelecek enerji senaryolarında teknolojiler	Alt teknolojiler arasındaki karışımlar, literatür taramasına dayalı varsayılmıştır.	Alt teknolojiler arasındaki bölünmenin varsayılan değer olarak bırakılması senaryo hatasına yol açabilir. Bu riski azaltmak için bu parametre Excel modelinde ayarlanabilir. Ancak model, teknoloji karışımını değiştirirken teknoloji değiştirme oranı sınırlarını dikkate almaz. ^a
3	Teknoloji ömürleri varsayımı	Enerji teknolojilerinin kullanım ömrünün günümüzün ortalama değerlerine uygun olduğu varsayılmıştır.	Bu kullanım ömrü değeri, her yıl emekliye ayrılanların yerine konacak kapasite miktarının hesaplanması için gereklidir. Teknoloji ömürleri artarsa, her yıl daha az yeni kapasite inşa edilmesi gerekecek ve bu da metal talebini düşürecektir. Bu değer Excel modelinde herhangi bir teknoloji için değiştirilebilir, ancak şu anda yıldan yıla değişemez.
4	Metal geri dönüşüm oranları	Bu analizde metal geri dönüşüm oranları göz ardı edilmiştir.	Bu analiz, enerji teknolojilerinin metallere olan toplam talebini hesaplar, ancak bu talebin ne kadarının geri dönüştürülmüş metalle karşılanabileceğine dair bir faktör içermez. Bir geri dönüşüm oranının dahil edilmesi, işlenmemiş metal talebini şu miktarda azaltacaktır her yıl geri dönüştürülmektedir.

^aÖrneğin, bir kullanıcı 2050 yılında karadaki rüzgar türbinlerinin doğrudan tahrikli olan kısmını yüzde 100 olarak belirlerse, model, 2050 yılına kadar hizmet dışı kalacak dişli türbinlerin oranına göre bunun gerçekçi olup olmadığına bakmaksızın, 2050 yılına kadar tüm dişli türbinlerin değiştirildiğini varsayacaktır.

Son bir söz: Bu çalışmada bir dizi inandırıcı senaryo sunmak için gösterilen özene rağmen, aşağıdakiler de dahil olmak üzere bir dizi zorluğun akılda tutulması gerekmektedir:

- *Çok çeşitli üretim ve enerji kullanım teknolojileri için tutarlı projeksiyonların olmaması.* IEA'nın enerji üretim senaryoları enerji kullanımını içermemektedir teknolojileri. Bu nedenle bu çalışma, farklı kaynaklardan elde edilen senaryoları bir araya getirmekte ve bu da tutarlılık sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Diğer birçok senaryo (ek B'de ele alınmıştır) doğrudan belirli iklim temelli hedefleri ele almamakta ancak başka parametreler kullanmaktadır, bu nedenle bu sonuçları bu analizin temelini oluşturan IEA'nın Enerji Teknolojisi Perspektifleri ile karşılaştırmak zordur.
- *Teknoloji içi tercihlere yönelik projeksiyonlarda derinlik eksikliği.* Kıyı ve açık deniz rüzgârı arasındaki seçim, metal talebi için genel talep kadar temelde önemli olabilir. rüzgar üretiminin ölçeği. Ancak, böyle bir seçim için çok az sayıda projeksiyon bulunmaktadır.
- *Literatürde farklı teknolojiler için çeşitli metallere yönelik megawatt başına ton tahmini değerlerinde büyük farklılıklar bulunmaktadır.* Gelecekteki metal yoğunluğunun bu aralıkta nerede olacağını tahmin etmek teknolojilerinin yatacağını söylemek zordur ve bu da tüm senaryolarda metal talebine ilişkin nihai tahminlerin genel belirsizliğini artırmaktadır.

Notlar

1. Örnek olarak Shell'in "Yeni Mercek Senaryoları" (Shell International BV 2015) ve CIM Magazine'in "Yeni Enerji Ortamında Madencilik" başlıklı Mart/Nisan 2016 sayısı verilebilir.
2. IPCC'nin 5. Değerlendirme Raporu'nun bir parçası olarak Sentez Raporu, 2100 yılına kadar hacimce milyonda 450 parça (ppmv) CO₂ eşdeğerine ulaşmanın teknik olarak mümkün olduğu sonucuna varmıştır; bu da kabaca bu yüzyılda sıcaklık değişimini 2°C'nin altında tutma olasılığına karşılık gelmektedir; ancak gerekli teknolojik ve davranışsal seçeneklerin uygulanması (450 ppmv'ye ulaşmak için) önemli sosyal, kurumsal ve teknik zorluklar ortaya çıkarmaktadır.
3. Örnekler arasında Vidal ve diğerleri (2013) ile Kleijn ve diğerleri (2011) yer almaktadır.
4. Elshkaki ve Graedel'e (2013) ve Yale Üniversitesi'nin Endüstriyel Ekoloji programındaki çalışmalara bakınız.
5. Düşük karbonlu bir geleceğin etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi için çok sayıda başka temiz teknoloji ve iletim modunun gerekli olduğu açıktır - karbon yakalama ve depolama, hidro sistemler, nükleer enerji, gelgit yenilenebilir enerjileri, merkezi olmayan şebeke sistemleri ve gaz türbinleri bunlardan birkaçıdır. Bu ek teknolojilerden bazıları ek A'daki literatür taramasında hafifçe ele alınmış olsa da, düşük karbonlu bir geleceğin malzeme talebi üzerindeki etkilerinin tam olarak anlaşılabilmesi için bu alanlarda çok daha fazla çalışma yapılması gerekecektir.
6. 2DS enerji depolama senaryosu için 500 GW rakamı, IEA tarafından öngörülen maksimum gerekli şebeke ölçeğinde enerji depolama çıktısına karşılık gelmektedir.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

2. Karbon Kısıtlı Bir Geleceğin Madencilik ve Metaller Üzerindeki Etkileri

2015 Paris İklim Değişikliği Anlaşması, emtia piyasası için potansiyel olarak önemli sonuçlar doğuracak şekilde, önemli ölçüde daha az sera gazı yoğun kalkınma modellerine geçme konusunda küresel bir kararlılığa işaret ediyor gibi görünmektedir. Sivil toplum ve medyanın bazı kesimlerinde öne çıkan bir varsayım, doğal kaynaklara dayalı ekonomik faaliyetlerin karbon kısıtlı bir gelecekte daha az öne çıkacağıdır. Bu bölüm bu varsayımı test etmekte ve küresel olarak karbon kısıtlı bir geleceğin sonucu olarak talebin artacağı emtiaları incelemektedir.

Temel Teknolojilerdeki Malzeme Gereksinimleri

Bölüm 1, düşük karbonlu bir gelecekte malzeme talebini tahmin etmek için bir çerçeve oluşturmuştur. Bu analiz, bu yüzyılda düşük karbonlu bir geleceğin gerçekleştirilmesi için üç temel teknolojiye odaklanmıştır: rüzgar, güneş ve enerji depolama (bataryalar). Elbette, Paris'te verilen güçlü iklim taahhütlerinin yerine getirilmesi için enerji, ulaşım, binalar, sanayi ve arazi kullanım yönetimi sektörlerini kapsayan birçok başka teknoloji ve iletim modu gereklidir; bu rapor, bu diğer alanların da ele gerektiğini kabul etmekte, ancak yukarıda tanımlanan üç teknolojiye odaklanmaktadır.¹

"net sıfır" veya karbon kısıtlı bir gelecekte oynayacakları rol. Bu bizi bir sonraki adıma götürüyor: Bu teknolojilerin ölçeklendirilmiş üretiminde hangi malzemeler gerekli ve bir dizi küresel iklim senaryosunu karşılamak için ne derece gerekli olacaklar?

Devam etmeden önce, iklim ve karbon senaryolarının büyük çoğunluğunun, karbon kısıtlı geleceği "beslemek" için gerekli malzemelere yönelik gereksinimlerin sonuçlarına çok az dikkat ettiğini belirtmek gerekir. Ancak bu durum, farklı kalkınma senaryolarının maddi sonuçlarını inceleyen ve giderek artan bir araştırma grubu (endüstriyel ekoloji) ile değişmektedir (Clift ve Druckman 2016).^{2,3} Uluslararası Kaynak Paneli de yakın zamanda karbon kısıtlı bir geleceğin maddi sonuçları hakkında güncellenmiş bir araştırma sunmuştur.⁴ Ulusal olarak finanse edilen bazı girişimler de yeni "yeşil" teknolojilerin malzeme ihtiyaçlarını ve bunların ülkeler için hazır olup olmadığını incelemektedir. Örnekler arasında ABD merkezli Kritik Malzemeler Enstitüsü⁵ ve Avrupa Birliği merkezli Kritik Hammaddelerin Tanımlanmasına İlişkin Geçici Çalışma Grubu (Avrupa Komisyonu 2014) yer almaktadır. Buna ek olarak, Uluslararası Jeoloji Bilimleri Birliği, gelecek yüzyılda küresel toplum için mineral, enerji ve su kaynaklarının tedarikini sağlamaya yönelik uzun vadeli hedefi ele alan ve temiz teknolojilerin malzeme ihtiyaçlarına hizmet etmeye de odaklanacak bir girişim başlatmıştır.⁶

Bu çabaların amacı, mineral ve metal arzındaki potansiyel sıkıntıları incelemektir

Bu raporun amacı sadece belirli bir dizi teknoloji için kritik unsurları belirlemek ve ardından mineral kaynakları açısından zengin gelişmekte olan ülkelerdeki emtia piyasası için potansiyeli stratejik olarak değerlendirmektir.

Üç temel düşük karbon teknolojisinin metal ve mineraller üzerindeki etkilerini belirleyen Uluslararası Madencilik ve Metaller Konseyi-Dünya Bankası analizinin sonuçları aşağıdadır:

Rüzgar Teknolojileri için Anahtar Metaller

Rüzgâr için teknoloji seçenekleri çok sayıdadır ve türbinin boyutunu ve dikey veya yatay olarak dönmesini içerir. Maliyeti en aza indirmek için endüstri

büyük, yatay olarak dönen türbinlerde. Bu tasarımlar için, metal talebi üzerinde önemli etkileri olan temel seçim, doğrudan tahrikli türbinlere karşı dişli türbinlerdir.

Dişli türbinleri şu anda kurulu tabanın büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Türbinin nispeten düşük dönüş hızını jeneratör için çok daha yüksek bir hıza (dakikada binlerce devir) dönüştürmek için bir dişli sistemi kullanılır. Dişli türbinler, önemli miktarda bakır gerektiren bobin tahrikli jeneratörler kullanır, ancak kalıcı mıknatıslara sahip değildir. 2009 yılında, kurulu tüm rüzgar türbini kapasitesinin yüzde 85'i dişli modellerden oluşuyordu (Morris 2011). Dişli türbinleri geleneksel olarak daha pahalı bir jeneratör kullanmak zorunda olan doğrudan tahrikli türbinlere göre maliyet avantajına sahiptir. Ancak dişli türbinlerin güvenilirliği, karmaşık dişli kutusu nedeniyle geleneksel olarak daha kötü olmuştur.

Doğrudan tahrikli rüzgar türbinlerinde dişli kutusu yoktur, bu nedenle genellikle dişli modellerden daha güvenilirlerdir. Bununla birlikte, genellikle nadir toprak metalleri içeren kalıcı mıknatıslarla inşa edilen daha karmaşık ve pahalı bir düşük hızlı jeneratör kullanılır. Bu tasarım geleneksel olarak dişli türbinlere göre daha yüksek maliyetlere yol açmıştır. Çünkü

Doğrudan tahrikli türbinler, dişli türbinlerin sahip olduğu karmaşık yatak ve dişli düzenine sahip olmadığından, genellikle daha yüksek rüzgar hızlarının dişli kutuları üzerinde daha fazla baskı yaratacağı ve bakım yapmak için türbine erişimin daha zor olacağı yerlerde kullanılmıştır. Her iki faktör de doğrudan tahrikli türbinlerin daha yüksek rüzgarlı ve erişimin daha zor olduğu açık deniz konumlarına daha fazla kurulmasına yol açarken, dişli türbinleri daha düşük rüzgar hızlarına ve daha kolay erişime sahip kara konumlarına kurulmuştur.

Wind Power International, "Doğrudan tahrikli türbinlerin küresel rüzgar türbini kurulumları içindeki payının 2006 yılında yaklaşık %18,2 iken 2011 yılında %19,8'e yükseldiğini ve 2020 yılında %29,6'ya çıkmasının beklendiğini" belirtmektedir.⁷

Bu çalışmada incelenen metaller arasında, tablo 2.1'de görüldüğü gibi, bu iki teknoloji önemli metal içeriği farklılık göstermektedir.

TABLO 2.1 Dişli ve Doğrudan Tahrikli Rüzgar Türbinlerindeki Metal İçeriğinin Karşılaştırılması

	Dişli	Doğrudan tahrik
Alüminyum	X	X
Krom	X	X
Bakır	X	X
Demir	X	X
Kurşun		X
Manganez	X	X
Neodimyum		X
Nikel	X	X
Çelik	X	X
Çinko	X	X

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

Güneş Teknolojileri için Anahtar Metaller

Güneş fotovoltaik (PV) hücrelerinin yapımına yönelik her bir teknolojinin farklı avantajları ve dezavantajlarının yanı sıra farklı metal içerikleri vardır. Bu bölümde yaygın olarak kullanılan dört teknoloji incelenmektedir:

- Kristal silikon hücreler mevcut pazarın yaklaşık yüzde 85'ini oluşturmaktadır. Tek kristalli, polikristal veya amorf silikon olarak üretilirler.
- Bakır indiyum galyum selenit (CIGS) bir "ince film" güneş teknolojisidir. Kristal silikona göre daha ince hücreler haline getirilebilir, bu da malzeme ve üretimi azaltabilir esnek hücrelere izin verirken maliyetleri düşürür.
- Kadmiyum tellür (CdTe) başka bir ince film teknolojisidir. Kristal silikon ile rekabet edebilir maliyettedir ve iyi bir verimliliğe sahiptir. Bununla birlikte, kadmiyumun toksisitesi ve tellürün gelecekteki arzı, bu teknolojinin geleceğini belirsiz hale getirmektedir.
- Amorf silikon veya amorf silikon-germanyum güneş pilleri burada ele alınan son ince film teknolojisidir. Bu teknoloji aşağıdakilerden daha düşük performansa sahiptir Kristal silikon, ancak esnek malzemeler üzerine basılabilir.

2015 yılında, tüm ince film teknolojilerinin pazar payı, toplam yıllık üretimin yaklaşık yüzde 8'ini oluşturmuştur.

Bu çalışmada incelenen metaller arasında, tablo 2.2'de görüldüğü gibi, bu teknolojilerin önemli metal içeriği büyük farklılıklar göstermektedir.

TABLO 2.2 Güneş Fotovoltaik Teknolojilerindeki Metal İçeriğinin Karşılaştırılması

	Kristal silikon	Bakır indiyum galyum selenit	Kadmiyum tellür	Amorf silikon
Alüminyum	X			
Bakır		X	X	
İndiyum		X		
Demir	X			
Kurşun	X			
Nikel	X			
Gümüş	X			
Çinko			X	X

Enerji Depolama Bataryaları için Anahtar Metaller

Üç iklim senaryosunun her biri için toplam enerji depolama altyapısı üç teknoloji arasında paylaştırılmıştır: kurşun-asit, lityum-iyon ve "diğer". "Diğer" kategorisi nikel-metal-hidrit ve sodyum-sülfür gibi diğer birçok batarya kimyasını içermektedir.

TABLO 2.3 Kurşun-Asit ve Lityum-İyon Akülerdeki Önemli Metal İçeriğinin Karşılaştırılması

	Enerji depolama bataryaları	
	Kurşun asit	Lityum iyon
Alüminyum		X
Kobalt		X
Kurşun	X	
Lityum		X
Manganez		X
Nikel		X
Çelik	X	X

bataryaların yanı sıra pompaj depolamalı hidroelektrik, volanlar ve hidrojen gibi batarya dışı enerji depolama. Kurşun-asit ve lityum-iyon akülerin farklı avantajları ve dezavantajlarının yanı sıra farklı metal içerikleri vardır:

1. Kurşun-asit aküler daha olgun bir teknolojidir ve geleneksel olarak lityum-iyon akülere göre maliyet avantajına sahiptir. Zayıf güç/ağırlık ve enerji/ağırlık oranlarına sahiptirler.
2. Lityum-iyon piller mükemmel enerji/ağırlık oranlarına sahiptir ve fiyatları son on yılda büyük ölçüde düşmüştür.

Bu teknolojilerin önemli metal içeriği, tablo 2.3'te görüldüğü gibi lityum veya kurşun yük taşıyıcısına bağlıdır; her iki akü tipi de tipik olarak plastik veya çelik yapı kullanır.

Metal Talebi Trend Tahminleri

Bu bölümde üç teknolojiye (rüzgar enerjisi, güneş fotovoltaikleri ve enerji depolama) tedarik sağlayan metallere yönelik talep eğilimleri daha derinlemesine ele alınmaktadır.

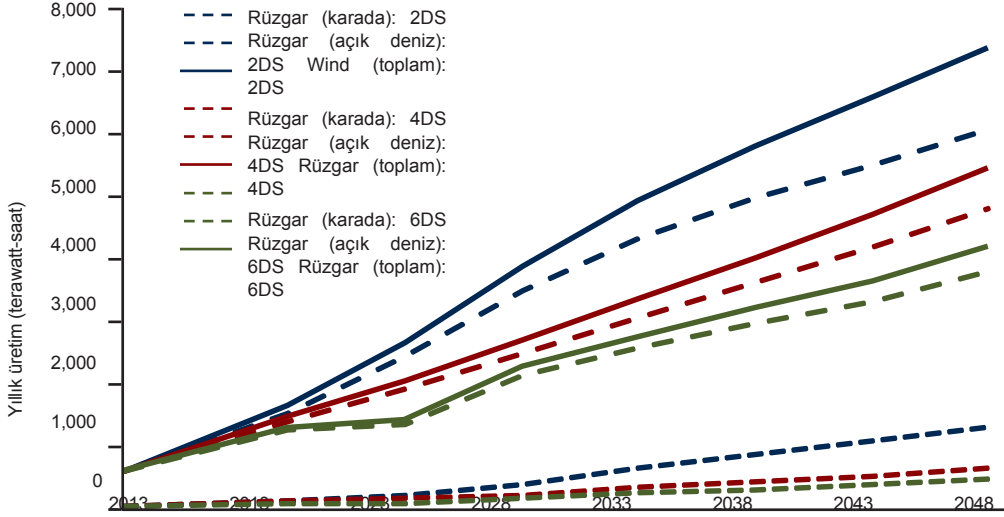
Rüzgar Enerjisi

Rüzgâr türbini boyutlarındaki artışlar, ölçek ekonomileriyle birleşerek rüzgârdan elektrik üretim fiyatlarını birçok alanda fosil yakıt üretimiyle rekabet edebilir düzeye indirmiştir ve Channell ve diğerlerine (2013, 53) göre "İtalya, İspanya, Birleşik Krallık ve Çin de dâhil olmak üzere bir dizi büyük pazarda ortalama toptan elektrik fiyatına yaklaşmakta ve Brezilya'da şimdiden pariteyi yakalamış ve aşmış durumdadır."

Şekil 2.1'de 2 derece, 4 derece ve 3 derece için rüzgar enerjisi üretim eğrileri gösterilmektedir. 6 santigrat derece senaryoları (sırasıyla 2DS, 4DS ve 6DS). Bu senaryolarda, başta kara rüzgarı olmak üzere rüzgar enerjisinden elektrik üretimi 2050 yılına kadar hızla artacaktır.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

ŞEKİL 2.1 Uluslararası Enerji Ajansı Enerji Teknolojisi Perspektifleri Senaryoları için Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretimi Senaryoları



Not: 2DS= 2 derece senaryosu; 4DS= 4 derece senaryosu; 6DS = 6 derece senaryosu.

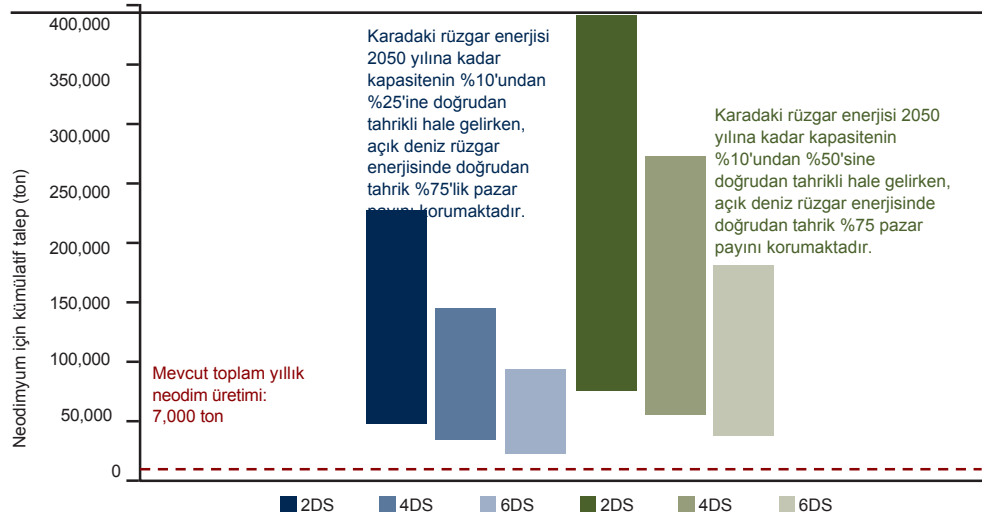
Bu üç senaryonun genel olarak enerji sistemi için gelecekteki olası sonuçları kapsamalarına rağmen, son kanıtların yenilenebilir teknolojilerin beklenen penetrasyon seviyelerine ilişkin aşırı muhafazakar tahminlere işaret ettiği unutulmamalıdır. Örneğin, Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2010 yılında yayınlanan Mavi MAP senaryoları⁸, dünyanın 2015 yılında rüzgar enerjisinden yaklaşık 300 terawatt-saat (TWh) elektrik üreteceğini tahmin ederken, aslında 2015 yılındaki gerçek üretim 700 olmuştur ve bu da rüzgar kapasitesinin öngörülenden çok daha hızlı bir şekilde arttığını göstermektedir.

Gelecekteki metal talebi. Rüzgar endüstrisinde gelecekteki metal talebi, hem kurulu toplam kapasite miktarına hem de bu iki rakip teknoloji arasındaki seçimlere bağlı olacaktır. Elshkaki ve Graedal (2013) açık deniz rüzgar türbinlerinin

Gelecekte neredeyse tamamen doğrudan tahrikli tasarıma sahip olacağı varsayılan santraller, 2050 yılına kadar toplam kurulu üretim kapasitesinin yüzde 50'sini oluşturacaktır. Ancak karadaki ve denizdeki tesisler arasındaki ve hatta bu iki konumdaki dişli ve doğrudan tahrikli tesisler arasındaki ayırım henüz belirlenmemiştir. Morris (2011), dişli tasarımların güvenilirliğini artırma ve doğrudan tahrikli tasarımların maliyetini düşürme yönünde ilerleme kaydedildiğini belirtmektedir.

Şekil 2.2, öngörülen talebi bu yüzyılda öne çıkacak rüzgar teknolojisi türünden büyük ölçüde etkilenen bir element olan neodimyum hakkında ilginç bir örnek sunmaktadır.⁹

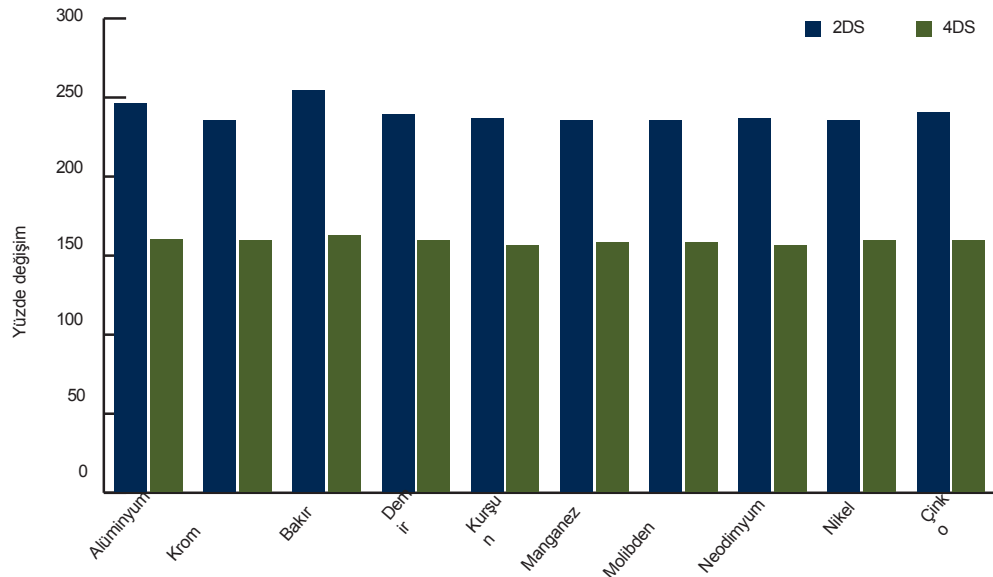
ŞEKİL 2.2 2050 Yılına Kadar Küresel Rüzgar Türbini Üretimi için Kümülatif Neodimyum Talebi Aralıkları



Not: 2DS = 2 derece senaryosu; 4DS = 4 derece senaryosu; 6DS = 6 derece senaryosu. Her çubuk bir enerji senaryosunu (2DS, 4DS veya 6DS) ve doğrudan tahrikli ve dişli rüzgar türbini teknolojilerinin pazara girişine ilişkin bir dizi varsayımı temsil etmektedir. Çubuğun yüksekliği, metal talebinin yoğunluğundaki belirsizliktir (her bir jeneratördeki neodimyum miktarının yüksek ve düşük tahminleri). Bu şekilde, açık deniz rüzgar türbinleri 2013'ten 2050'ye kadar sırasıyla doğrudan tahrikli ve dişli sistemler için tutarlı bir 75/25 dağılımına sahiptir. Mavi senaryolarda, karadaki rüzgar türbinleri 2013'ten 2050'ye sırasıyla doğrudan tahrikli ve dişli sistemler için tutarlı bir 25/75 oranına sahiptir. Yeşil senaryolarda, karadaki rüzgar türbinlerinde doğrudan tahrikli sistemler 2013 yılında yüzde 25'lik bir pazar payından 2050 yılında yüzde 50'lik bir pazar payına ulaşmaktadır.

Şekil 2.3, 6DS ile karşılaştırıldığında 2DS ve 4DS altında rüzgar teknolojilerinin temel metal talebi üzerindeki sonuç etkisine ilişkin bir "medyan" senaryo ortaya koymaktadır. 4DS altında rüzgar teknolojileri için metal talebinde yüzde 150'lik bir artış ve 2DS altında neredeyse tüm ilgili metaller için yüzde 250'ye yakın bir artış göstermektedir.

ŞEKİL 2.3 2050'ye kadar Rüzgar Teknolojilerinin Tedariki için Medyan Metal Talebi Senaryosu



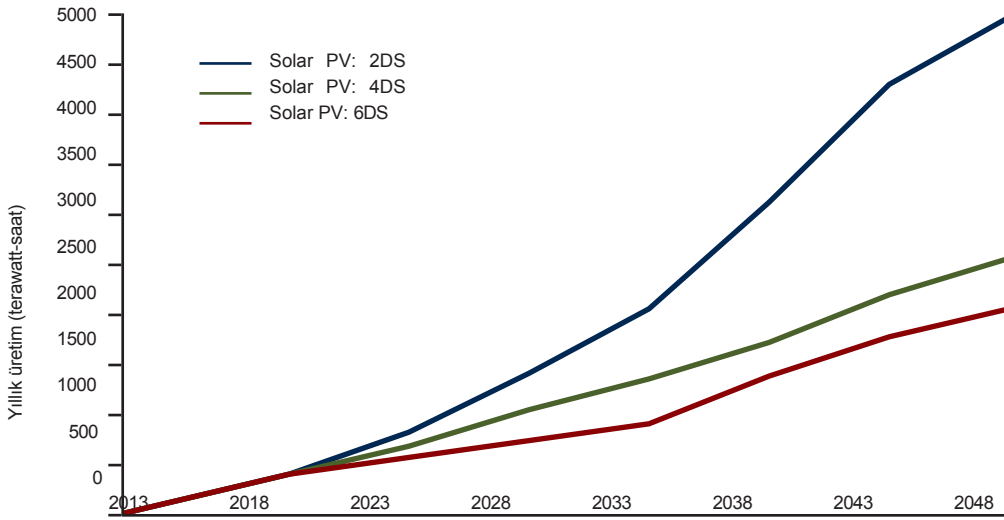
Not: 2DS = 2 derece senaryosu; 4DS = 4 derece senaryosu; 6DS = 6 derece senaryosu. Şekil, 6DS ile karşılaştırıldığında rüzgar teknolojileri için metal talebindeki değişimi göstermektedir.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

Güneş Fotovoltaikleri

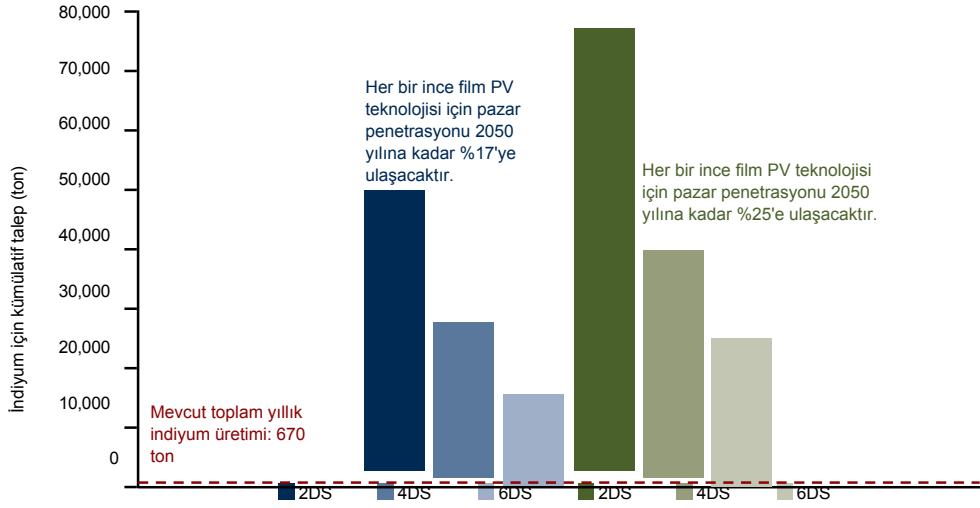
Solar PV teknolojisi güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürmektedir. Solar PV için yüzde 22 ile yüzde 40 arasında değişen yüksek öğrenme oranı¹⁰, güneş enerjisi fiyatlarında belirgin düşüşlere yol açmıştır. Son yıllarda PV teknolojisi maliyetleri - şu anda watt başına yaklaşık 1 \$ ve 2025 yılına kadar 0,50 \$ olacağı tahmin ediliyor. Solar PV artık küçük ölçeklerde yaygındır (örneğin, bireysel ev çatılarında şebekeden bağımsız alanlarda cihazlar), orta ölçekte (bireysel işletmeler için) ve büyük ölçekte (örneğin, birçok megawatt elektrik üreten güneş PV çiftlikleri). Şekil 2.4, 2DS, 4DS ve 6DS IEA Enerji Teknolojisi Perspektifleri senaryoları için güneş PV'den öngörülen yıllık elektrik arzını ortaya koymaktadır (IEA 2015a). Küresel PV elektrik üretimi 2013 yılında yaklaşık 140 TWh olarak gerçekleşmiştir ve tüm senaryolarda hızla artacağı öngörülmektedir. Ancak, IEA verileri gelecekte kullanılabilecek güneş enerjisi teknolojilerinin karışımını belirtmemektedir.

ŞEKİL 2.4 Güneş FV Elektrik Üretimi



Güneş enerjisi endüstrisinde gelecekteki metal talebi, hem kurulan toplam güneş enerjisi miktarına hem de rakip güneş enerjisi teknolojileri arasındaki seçimlere bağlı olacaktır. Örneğin, indiyum talebi sadece güneş PV'sinin penetrasyonuna değil, aynı zamanda bu kurulumların yüzde kaçının CIGS teknolojisi olduğuna da bağlıdır. Birçok çalışma, güneş enerjisi kurulumlarının çoğunun Gelecekteki güneş PV kurulumları kristal silikon çeşidinden olacaktır. Şekil 2.5'te görüldüğü gibi, 2050 yılına kadar toplam talep, CIGS pazar penetrasyonundaki küçük değişikliklere bağlı olarak büyük ölçüde değişmektedir. Bu rakamlar 700 tonluk mevcut yıllık indiyum üretimi ile karşılaştırılabilir.

ŞEKİL 2.5 2050 Yılına Kadar CIGS Solar PV Teknolojisi için Kümülatif İndiyum Talebi Aralıkları

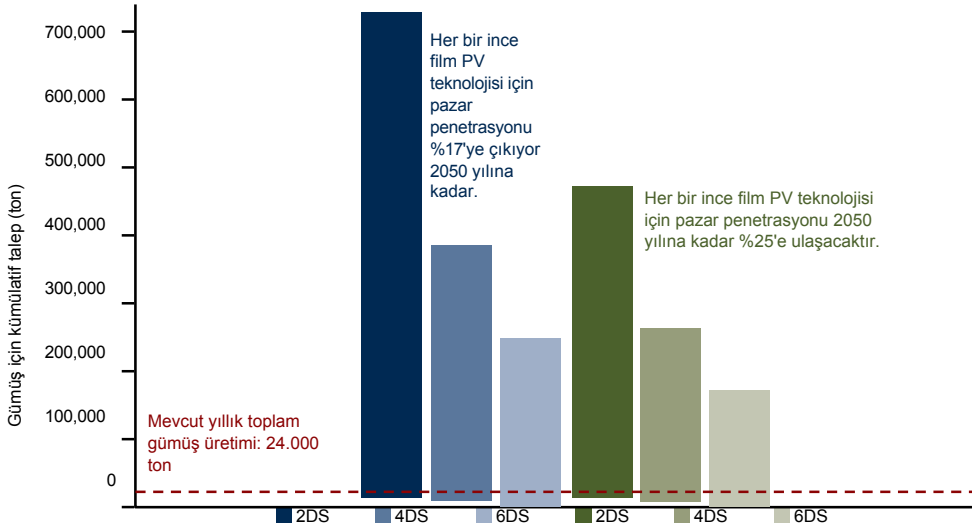


Not: 2DS = 2 derece senaryosu; 4DS = 4 derece senaryosu; 6DS = 6 derece senaryosu; CIGS = bakır indiyum galyum selenit; PV = fotovoltaik. Her çubuk bir enerji senaryosunu (2DS, 4DS veya 6DS) ve farklı PV teknolojilerinin pazara girişiyle ilgili bir dizi varsayımı temsil etmektedir. Çubuğun yüksekliği, metal talebinin belirsizliktir (her bir güneş pilindeki indiyum miktarının yüksek ve düşük tahminleri). Mavi renkli senaryolarda, CIGS pazar payını bugün yaklaşık yüzde 7'den 2050'de yüzde 17'ye çıkarmaktadır. Yeşil renkli senaryolarda, CIGS teknolojisi 2013 yılındaki yüzde 7'lik pazar payından 2050 yılında yüzde 25'lik pazar payına yükselmekte ve buna bağlı olarak indiyum talebi de artmaktadır.

Şekil 2.6, PV teknolojilerinden kaynaklanan kümülatif gümüş talebi aralığını göstermektedir. Gümüş, karbon kısıtlı bir gelecekte potansiyel talep artışı büyük ölçüde teknoloji içi seçimlere tabi olan bir başka metal örneğidir. İndiyum için potansiyel talebin aksine, ince film teknolojilerinin pazara girişinin arttığı senaryolar PV sektöründe gümüşe olan talebi azaltmaktadır, çünkü sadece kristal silikon PV hücreleri önemli miktarda gümüş kullanmaktadır.¹

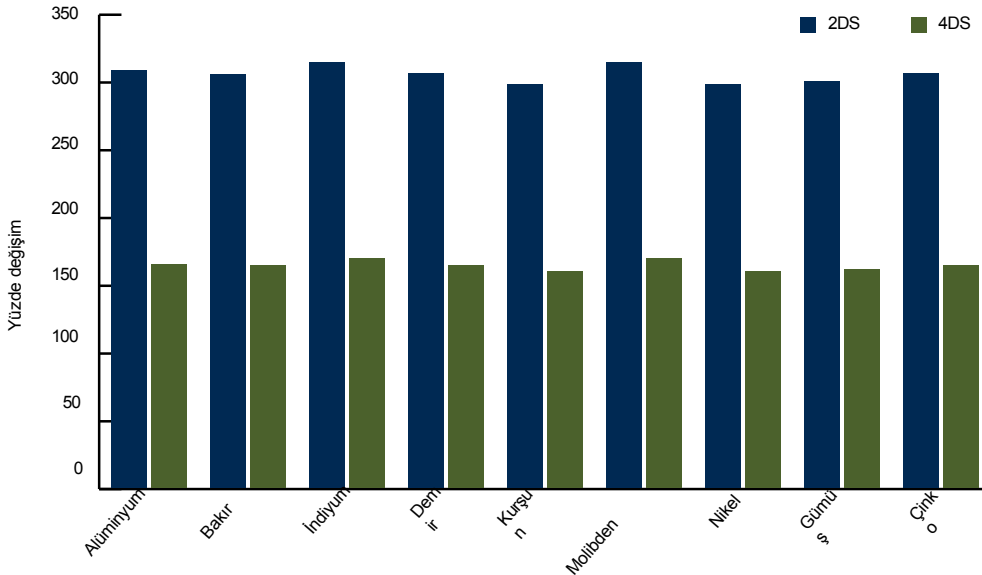
Şekil 2.7'de güneş PV için medyan bir senaryo ve bunun sonucunda 6DS ile karşılaştırıldığında 2DS ve 4DS için temel metal talebi üzerindeki etki ortaya konmaktadır. Güneş PV için öngörülen metal talebinde 4DS ve 2DS arasındaki fark, rüzgar teknolojilerinde olduğundan daha da belirgindir; ilgili metallerin üretiminin güneş PV için yaklaşık yüzde 300 artması öngörülmektedir (rüzgar altında, 2DS yüzde 250'lik bir artış görmektedir).

ŞEKİL 2.6 2050 Yılına Kadar Solar PV Teknolojisi için Kümülatif Gümüş Talebi Aralıkları



Not: 2DS = 2 derece senaryosu; 4DS = 4 derece senaryosu; 6DS = 6 derece senaryosu; PV = fotovoltaik. Her çubuk bir enerji senaryosunu (2DS, 4DS veya 6DS) ve farklı PV teknolojilerinin pazara girişiyle ilgili bir dizi varsayımı temsil etmektedir. Çubuğun yüksekliği, metal talebinin yoğunluğundaki belirsizliktir (her bir güneş pilindeki gümüş miktarına ilişkin yüksek ve düşük tahminler). Mavi renkli senaryolarda, ince film teknolojilerinin her biri pazar paylarını bugün yaklaşık yüzde 7'den 2050'de yüzde 17'ye çıkarmaktadır. Yeşil renkli senaryolarda, ince film teknolojilerinin her biri 2013'teki yüzde 7'lik pazar payından 2050'de yüzde 25'lik pazar payına yükselirken, gümüşe (kristal silikon PV hücrelerinde kullanılan) olan talepte buna karşılık gelen bir düşüş yaşanmaktadır.

ŞEKİL 2.7 2050'ye kadar Güneş Fotovoltaiklerinin Tedariki için Medyan Metal Talebi Senaryosu



Not: 2DS = 2 derece senaryosu; 4DS = 4 derece senaryosu; 6DS = 6 derece senaryosu. Şekil, 6DS ile karşılaştırıldığında güneş fotovoltaik teknolojileri için metal talebindeki değişimi göstermektedir.

Enerji Depolama

Enerji depolama teknolojisi, enerjiyi üretildiği anda daha sonra ihtiyaç duyulduğunda kullanılmak üzere depolar. Bu analiz, enerji depolamayı üç uygulamaya ayırmaktadır: otomotiv, şebeke ölçeği ve merkezi olmayan. Otomobiller (ve otobüsler, kamyonetler ve kamyonlar dahil olmak üzere diğer tekerlekli kara taşıtları) için enerji depolama ortamı hızla değişmektedir. Günümüzde tüm araçlarda, motoru çalıştırmaya yardımcı olmak ve araç elektroniğine güç sağlamak için neredeyse her zaman kurşun-asit akü olmak üzere bir miktar akü enerji deposu bulunmaktadır. Enerji verimliliğini artıran yeni teknolojiler hepsi daha fazla enerji depolama kapasitesi gerektirmektedir. Bu teknolojiler, enerji depolama kapasitesindeki en küçük artıştan en büyük artışa kadar, start-stop araçlar, mikro-hibrit araçlar, hibrit araçlar ve elektrikli araçlar. Start-stop araçların pazarda yaygınlaşmasının kurşun-asit akülere olan talebi artırması muhtemelen, lityum-iyon akü teknolojisi, yüksek enerji yoğunluğu-ağırlık oranı nedeniyle tam elektrikli araçlar için muhtemelen tek uygun adaydır. Gelecekteki hibrit araçlar için enerji depolama teknolojisi seçenekleri daha az kesindir; kurşun-asit aküler, lityum-iyon aküler, nikel-kimya aküler, sıkıştırılmış hava depolama ve volan enerji depolama pazar payı için rekabet etmektedir.

Şebeke ölçeğinde enerji depolama, şebeke voltajının düzenlenmesi (çok kısa zaman ölçeklerinde) ve kesintili üretim kaynakları güneş PV ve rüzgar) tarafından üretilen elektriğin gerektiğinde kullanılmak üzere depolanması dahil olmak üzere bir dizi farklı amaç için kullanılmaktadır. Şebeke ölçeğinde enerji depolama altyapısı, otomotiv uygulamalarının yüksek enerji yoğunluğu-ağırlık oranını gerektirmediğinden, pompaj depolamalı hidro, basınçlı hava ve bir dizi akış bataryası kimyası dahil olmak üzere çok daha fazla rakip teknoloji seçeneği vardır, hidrojen, kurşun-asit bataryalar ve lityum-iyon bataryalar. Mevcut şebeke ölçekli enerji depolama altyapısı neredeyse tamamen (yüzde 99'dan fazlası) pompaj depolamalı hidroelektriktir; burada su, enerji depolamak için bir yüksekliğe kadar pompalanır ve daha sonra yokuş aşağı akması ve elektrik üretmek için türbinleri döndürmesi için serbest bırakılır.

Düşen maliyetler ve pompaj depolamalı hidroelektrik için uygun yeni sahaların sınırlı sayıda olması nedeniyle bataryaların gelecekteki şebeke ölçeğindeki enerji depolamada artan bir pay alması muhtemeldir. Merkezi olmayan (veya "sayaç arkası") elektrik depolama, bireysel, küçük ölçekli, yenilenebilir enerji tesislerinde kullanılır. Örneğin, bir ev veya işletme, çatıdaki güneş enerjisi panelinden elde edilen elektriği gece boyunca kullanmak üzere depolamak için merkezi olmayan enerji depolamayı kullanabilir. Bu kurulumlarda tipik olarak batarya teknolojisi (örneğin kurşun asit veya lityum iyon) ya da volan veya termal enerji depolama gibi bir çözüm kullanılır.

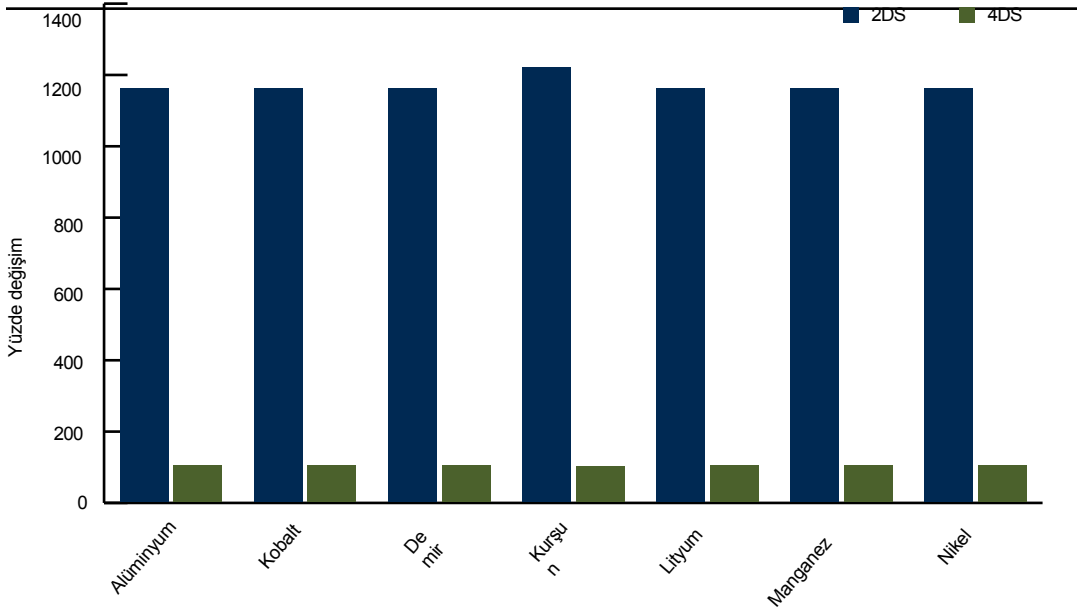
Bu raporda incelenen üç enerji teknolojisi arasında, enerji depolamanın gelecekteki pazarı tahmin edilmesi en zor ve dolayısıyla en belirsiz olanı olarak kabul edilmektedir. IEA'nın Enerji Teknolojisi Perspektifleri senaryoları (IEA 2015a) enerji depolama için açık senaryolar içermemektedir. Şekil 2.9 elektrikli araçlar ve diğer enerji depolama türleri için batarya enerji depolamasına yönelik eğilimleri yansıtmaktadır.

Batarya endüstrisinde gelecekteki metal talebi büyük ölçüde enerji sistemindeki genel depolama talebine, enerji depolama teknolojilerinin seçimine ve özellikle lityum-iyon bataryalar için daha az metal gerektiren teknolojilerin geliştirilmesine bağlıdır.

Şekil 2.8'de enerji depolama teknolojileri için medyan bir senaryo ve bunun sonucunda 6DS ile karşılaştırıldığında 2DS ve 4DS kapsamında kilit metallerle olan talep üzerindeki etki gösterilmektedir.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

ŞEKİL 2.8 2050'ye kadar Enerji Depolama Teknolojilerinin Tedariki için Medyan Metal Talebi Senaryosu

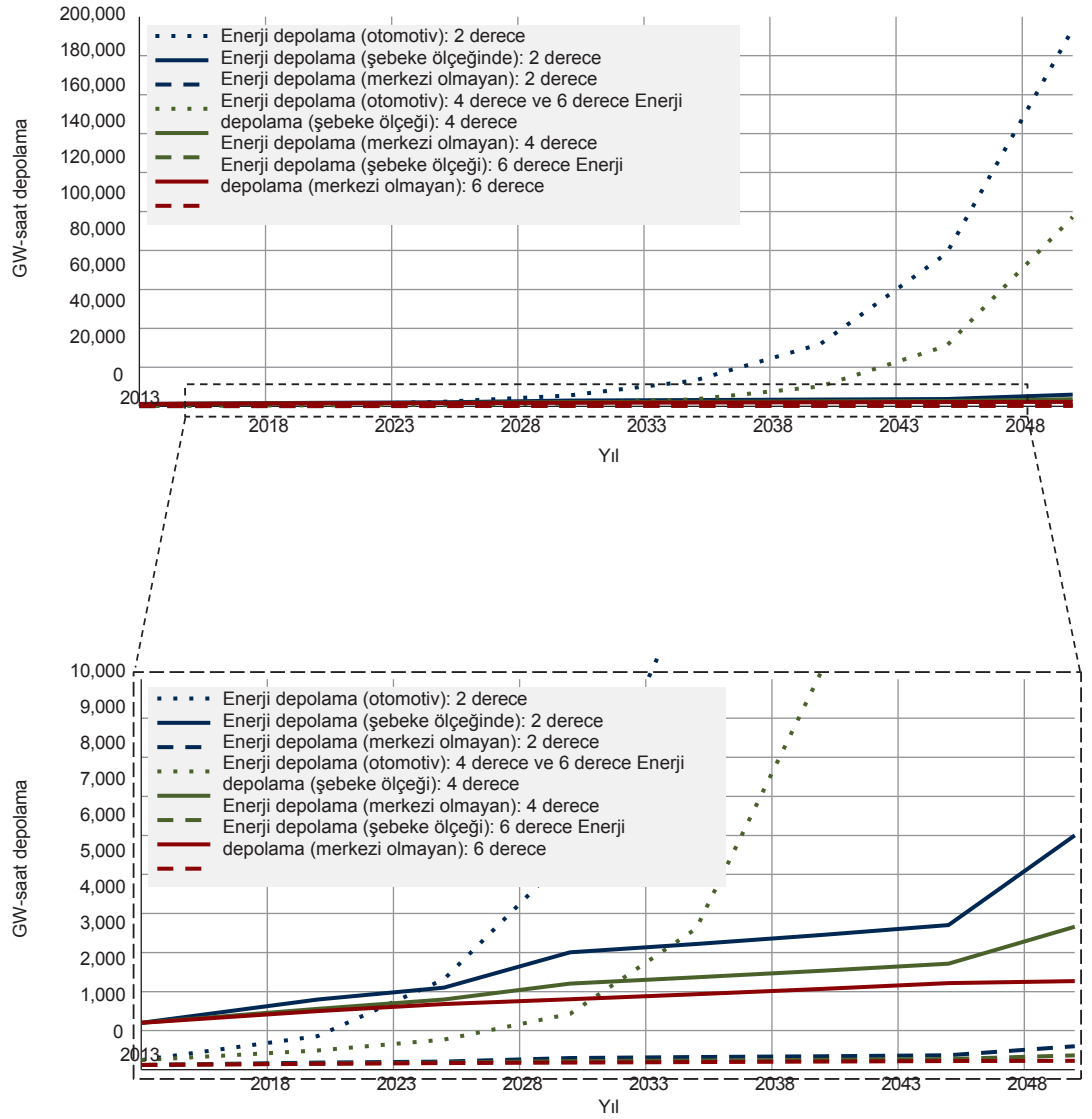


Not: 2DS = 2 derece senaryosu; 4DS = 4 derece senaryosu; 6DS = 6 derece senaryosu. Şekil, 6DS ile karşılaştırıldığında enerji depolama teknolojileri için metal talebindeki değişimi göstermektedir.

Bu şekilde gösterilmeyen metaller bu teknolojide büyük ölçüde kullanılmamaktadır. En dikkat çekici husus, 2DS ve 4DS konfigürasyonları arasında ilgili metaller için öngörülen talepteki kayda değer farktır. Talebin 4DS kapsamında kademeli olarak artması beklenirken, 2DS'nin yürürlüğe girmesi halinde yüzde 1.000'den fazla artması muhtemeldir.

Bu analizde, Şekil 2.9'da görüldüğü gibi, her üç uygulama için gerekli enerji depolama (gigawatt-saat cinsinden) 2013'ten 2050'ye kadar öngörülmüştür. Şekil 2.9'da, potansiyel aşırı 2DS elektrikli araç trendi açıkça görülmektedir. Bu senaryoda (Uluslararası Enerji Ajansı [2016a]'da belgelenmiştir), daha kötümser 4DS ve 6DS senaryolarında yaklaşık 25 milyon üniteye karşılık 2030 yılına kadar 140 milyon elektrikli araç faaliyette olacaktır. Senaryo verilerinin eksikliği nedeniyle, 2030 sonrası otomotiv batarya enerji depolama projeksiyonları yılda yaklaşık %20'lik büyüme oranı varsayımlarına dayanmaktadır. Şekil 2.9'un alt panelinde diğer enerji depolama türleri için enerji depolama kapasitesinin yakınlştırılmış bir görünümü yer almaktadır.¹²

ŞEKİL 2.9 Küresel Enerji Depolama Kapasitesi Senaryoları



Not: 2DS = 2 derece senaryosu; 4DS = 4 derece senaryosu; 6DS = 6 derece senaryosu. Küresel enerji depolama senaryoları. Veriler IEA Enerji Teknolojisi Perspektifleri senaryolarından (2015a) ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu'nda (2009) açıklanan senaryolardan elde edilmiştir.

Not: Küresel enerji depolama senaryoları, 2DS elektrikli araç dışındaki tüm senaryoların ayrıntılarını görmek için yakınlaştırılmıştır. Veriler IEA Enerji Teknolojisi Perspektifleri senaryolarından (2015a) ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu'nda (2009) açıklanan senaryolardan elde edilmiştir.

Metal Talebi Artacak, Ama Ne İçin Metaller?

Yukarıdaki tartışmadan çıkarılacak net sonuç, rüzgar, güneş ve enerji depolama alanlarındaki temel düşük karbon teknolojilerinin yaygınlaştırılmasındaki hızlanmanın emtia piyasası üzerinde gerçek etkileri olduğu ve sadece nadir toprak elementlerinin değil

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

indiyum ve neodim gibi. Alüminyum, bakır, gümüş, boksit, demir, kurşun ve diğerlerinin hepsi düşük karbon teknolojilerine güçlü bir geçişten potansiyel olarak fayda sağlayacaktır. Tüm düşük karbonlu enerji sistemlerinin yüksek karbonlu sistemlerden daha fazla metal yoğun olmasını beklemek mantıklı olacaktır. Aslında, temiz teknolojilerin tedarikine yönelik malzeme ve metal etkilerini inceleyen tüm literatür, bu teknolojilerin inşasının geleneksel fosil yakıt mekanizmalarına göre çok daha fazla malzeme yoğun taleple sonuçlanacağı konusunda hemfikirlerdir.

Bir sonraki kritik soru, *hangi* metallerin talepte güçlü artışlar yaşayacağıdır: Metal talebinin nasıl artacağı, hem rüzgar ve güneş enerjisi arasındaki denge gibi teknolojiler arası seçimlere hem de kara ve deniz rüzgarı arasındaki denge, farklı güneş PV hücreleri arasındaki seçim ve araçların ne ölçüde tamamen elektrikli veya hafif hibrit olacağı ve hangi tür pillerin baskın olacağı gibi teknoloji içi seçimlere bağlı olduğundan, cevap net olmaktan uzaktır.

Bu farklı tercihlerin, tek tek metallere olan talep üzerinde derin etkileri vardır. Her bir yenilenebilir enerji kategorisindeki belirli teknolojik tercihler arasındaki dengeyi tahmin etmek bir yana, tek tek yenilenebilir teknolojiler arasındaki genel enerji dengesini veya elektrikli araçların pazara ne ölçüde nüfuz edeceğini tahmin etmek bile yeterince karmaşıktır.

Bu analiz, metal talebi için en büyük üç belirsizlik kaynağını ölçmeye çalışmaktadır:

- › Enerji sisteminin evrimi
- › Metaller için daha yüksek veya daha düşük gereksinimlere sahip olabilen aynı teknoloji için farklı tasarımlar arasındaki rekabet
- › Sunulan hizmet birimi başına belirli bir teknolojiye kullanılan metal miktarını azaltabilecek yenilik.

Belirli metallere olan talebi tam olarak tahmin etmek imkansız olsa da, talepleri için net aralıklar türetilabilir ve daha yenilenebilir enerji yoğun bir ekonomiye geçişin metal için daha fazla genel taleple sonuçlanacağı açıkça ifade edilebilir.

Rüzgar enerjisi, zorluğun boyutunu göstermektedir. Bir bütün olarak teknolojinin, özellikle önemli rüzgar kaynaklarına sahip olanlar olmak üzere, birçok ülkenin enerji sistemlerinin giderek daha önemli bir bileşeni haline geleceği tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, rüzgar enerjisi içinde iki ana teknoloji seçenekleri mevcuttur: karada ve açık denizde rüzgar. Coğrafi olarak birbirinden ayrılan bu teknolojiler arasındaki temel teknoloji farkı, açık deniz rüzgarında sabit mıknatısların kullanılmasına karşılık karada dişli tahriklerin kullanılmasıdır. Kalıcı mıknatıslar daha pahalı ve metal yoğun bir seçenektir, ancak bu teknolojinin kullanımı daha az bakım ve değiştirme gerektirir ve bu nedenle açık deniz rüzgarının çalıştığı zorlu koşullara daha uygundur.

Dolayısıyla, açık deniz rüzgarının daha fazla nüfuz etmesini içeren bir enerji senaryosu, sabit mıknatıslar ve neodimyum gibi nadir toprak metalleri için çok daha fazla taleple sonuçlanacaktır. Bu nedenle neodimyum talebi açık deniz rüzgarının yaygınlığına bağlı olacak, bu da yerel planlama kısıtlamaları gibi çok çeşitli faktörlere bağlı olacaktır.

Bölüm 2: Karbon Kısıtlı Bir Geleceğin Madencilik ve Metaller Üzerindeki Etkileri

açık deniz rüzgarı, deniz yönetimi imar kararları, açık deniz rüzgarının ve ilgili altyapısının sağlamlığındaki gelişmeler ve hatta sabit miktatların fiyatını ve açık deniz ile kara rüzgarı arasındaki seçimi etkileyecek olan diğer kaynaklardan nadir toprak metallerine olan talep.

Güneş PV hücrelerinin de genel enerji karışımının önemli bir parçası haline geleceği tahmin edilmekte olup, temel senaryoda toplam enerji üretiminin yüzde 2'sinden, yenilenebilir teknolojilerin en fazla yaygınlaşmasını öngören senaryoda yüzde 25'ine kadar çıkmaktadır. Yine de bu geniş kategori içinde en az dört potansiyel teknoloji seçeneği bulunmaktadır (ticari olarak mevcut olmayan çok daha fazla sayıda gelecek seçeneği ile birlikte): kristal silikon, CIGS, CdTe ve amorf silikon. Bu alternatifler arasındaki dengenin indiyum, gümüş ve çinko gibi metaller üzerinde büyük etkileri vardır. Kristal silikon PV diğer teknolojilere kıyasla çok daha fazla miktarda gümüş gerektirirken, CIGS diğerlerine kıyasla çok daha fazla indiyum gerektirmektedir. Dolayısıyla, solar PV sınıfındaki çeşitli teknolojilerin nasıl geliştiği ve bu teknolojiler arasındaki ekonomik ve teknolojik tercihlerin nasıl evrimleştiği, çok çeşitli metallere olan talebi belirleyecektir.

Enerji depolama teknolojileri de belirli metallere yönelik talepte potansiyel belirsizliğe yol açmaktadır. Taşımacılığın geleceğini tahmin ederken ortaya çıkan önemli bir soru, sadece yollardaki araç sayısı değil, önümüzdeki birkaç on yıl içinde araç filosunun ne ölçüde tamamen elektrikli olacağı, hem elektrik hem de geleneksel benzin kullanan hibrit araçların hakim olacağı veya hatta hidrojen yakıt hücreleri gibi daha önce tahmin edilen "altın mermileri" kullanan araçlarla doldurulacağıdır.

Bu üç seçenekten birinin ortaya çıkması, lityum, kurşun veya platin grubu metallerin talepte büyük artışlar yaşayıp yaşamayacağını belirleyecektir. Bu üç seçenekten herhangi biri, içten yanmalı bir filonun devam ettiği bir temelden büyük değişiklikler gerektirecektir, Ancak daha da önemlisi, üç seçenek arasında yapılacak seçimdir. Tamamen elektrikli bir filonun, elektrikli araçlardaki lityum-iyon bataryalarda kullanılan lityum talebinde büyük artışlar yaratacağı tahmin edilmektedir. Buna , elektrik teknolojisinin daha az nüfuz ettiği ve hafif hibrid araçların hakim olduğu bir filo, çok daha düşük seviyelerde lityum talebine, ancak kurşun-asit akülerde kullanılmak üzere çok daha yüksek kurşun talebine yol açabilir. Hidrojen yakıt hücresel araçların ağırlık kazanması halinde platin grubu metallere olan talep hızla artabilir. Bu seçeneklerden hangisinin (eğer varsa) tekrar ortaya çıkacağı, batarya teknolojisindeki maliyet düşüşlerinin ölçüğü; elektrikli şarj altyapısının ne ölçüde geliştirilebileceği gibi çok çeşitli faktörlere bağlıdır.

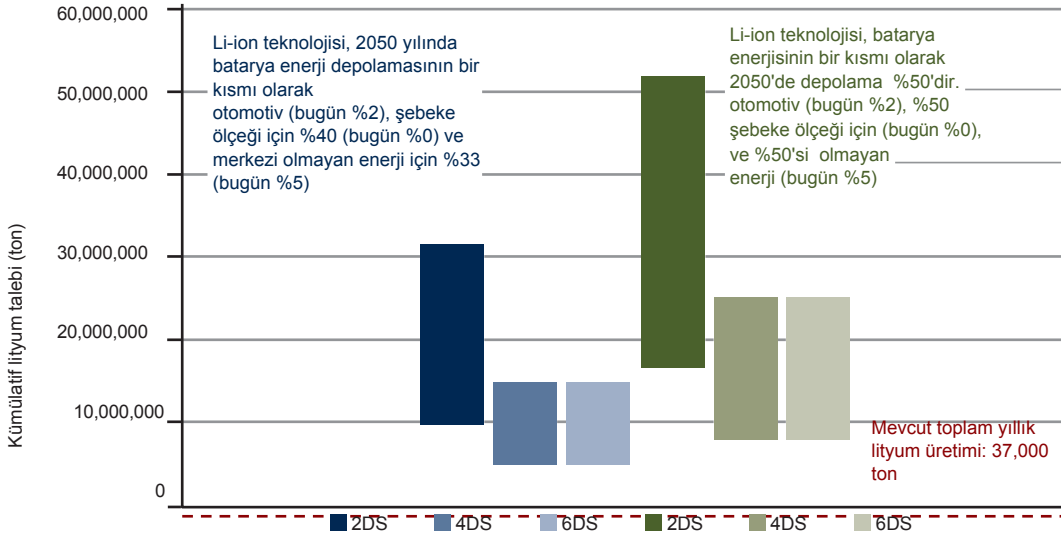
ucuz ve uygulanabilir bir şekilde inşa edilmesi; aralıklı yenilenebilir üretim için depolama olarak da kullanılabilecek bir araç filosuna yönelik gereksinimler; düşük emisyonlu, verimli araçlara yönelik değişen tüketici tercihleri ve hatta temel bileşen metallerin göreceli maliyetleri.

Bu nedenle talebin artacağı metal gruplarını tahmin etmek son derece zordur, ancak bu üç temiz enerji aracından birinin önemli ölçüde artacağı kesin olarak söylenebilir. Kişisel araçlara yönelik teknoloji içi tercihlerin tek tek metallere yönelik genel talebi nasıl etkileyebileceğine dair bu üç örnek, tek tek metallere yönelik uzun vadeli talebi anlama görevinin boyutunu göstermektedir. Herhangi bir teknoloji sınıfının büyümesini tahmin etmek zordur ve her sınıf içindeki belirli seçimleri tahmin etmek iki kat daha zordur. Yine de tek tek metallere olan talebi belirleyecek olan bu seçimlerdir.

Şekil 2.10, bir metalin (bu durumda lityum-iyon) talebinin, otomotiv, şebeke ölçeği ve merkezi olmayan enerjiye hizmet veren enerji depolama pillerinin penetrasyonuna bağlı olarak nasıl önemli bir olasılık yelpazesi taşıdığına dair bir örnek sunmaktadır.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

ŞEKİL 2.10 2050'ye kadar Lityum-İyon Pil Teknolojisine Talep



Not: Her çubuk bir enerji depolama senaryosunu (2DS-ES, 4DS-ES veya 6DS-ES) ve lityum-iyon pil teknolojisi pazar penetrasyonu senaryosunu temsil etmektedir. Çubuğun yüksekliği metal talebinin yoğunluğundaki belirsizliktir (batarya enerji depolama birimi başına lityum miktarının yüksek ve düşük tahminleri). Mavi renkli senaryolarda lityum, 2050 yılında otomotiv sektöründe pazar payını bugün yaklaşık yüzde 2'den yüzde 30'a (gigawatt-saat cinsinden toplam enerji depolama kapasitesi ile ölçülür), şebeke ölçeğinde enerji depolamada yüzde 0'dan yüzde 40'a ve merkezi olmayan enerji depolamada yüzde 5'ten yüzde 33'e çıkarmaktadır. Yeşil renkli senaryolarda, lityum-iyon piller 2050 yılına kadar her üç sektörde de yüzde 50 pazar penetrasyonuna yükselmektedir.

Metal piyasasının karbon-nötr teknolojilerden nasıl etkilenebileceğinin bir örneği olarak Oliveira (2017) *Mining Weekly*'de, lityum önemli metallerle olan talebin mevcut üretim seviyelerini aşma riski altında olduğunu ve düşük karbon teknolojisi üreticilerinin lityum tedarikçilerinin eğilim ve kapasitelerini rehin alma potansiyeline sahip olduğunu bildirmektedir. Fizaine ve Court (2015), metaller ve enerji üretimi arasındaki karşılıklı bağımlılığın, büyük ölçüde karbon-nötr veya kısıtlı teknolojilerdeki büyüme nedeniyle arttığını öne sürerek, hakemli akademik dergiler de aynı anlatıyı taşımaktadır.

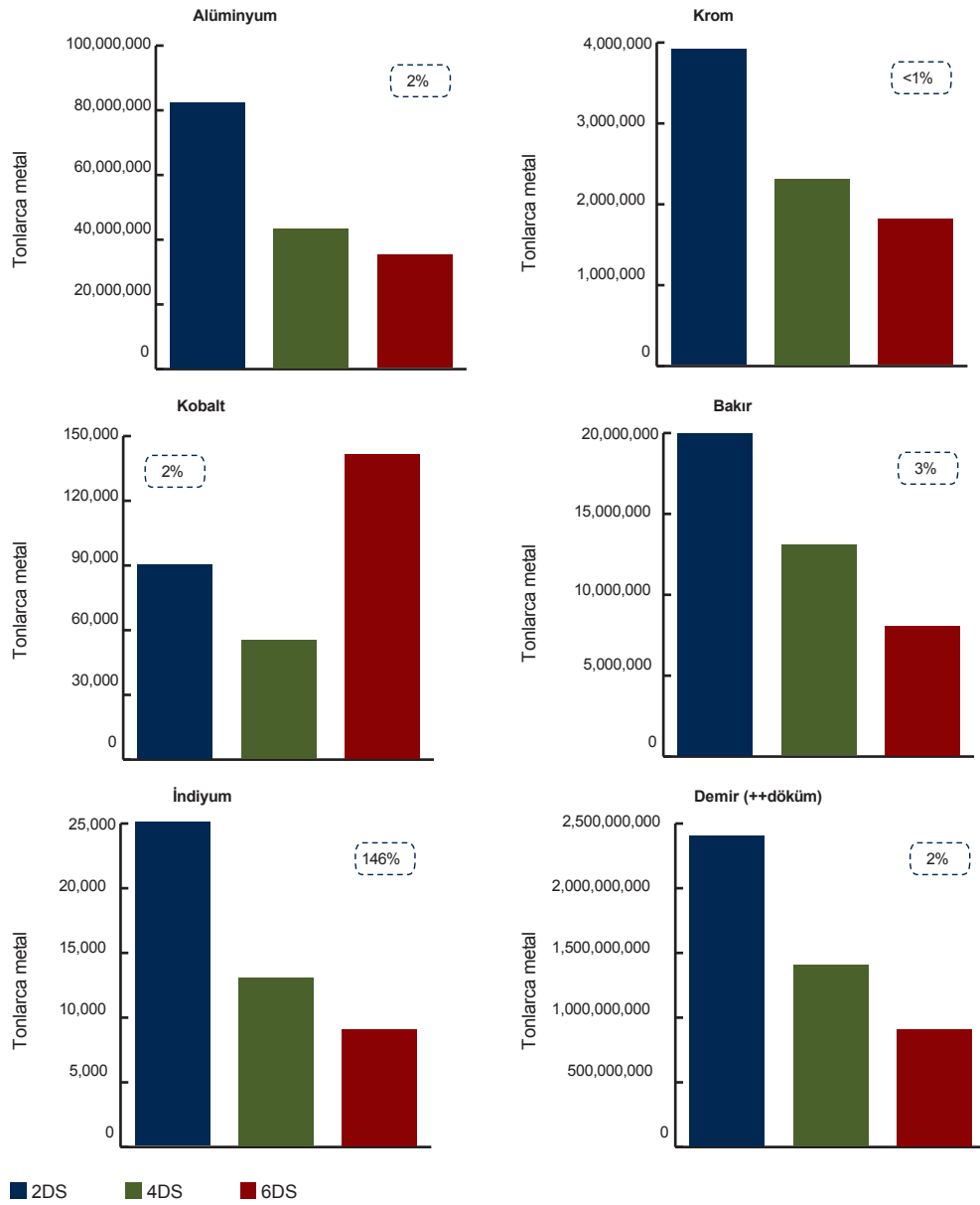
Karbon-nötr teknolojilere yönelik talepteki hızlı değişimlerin emtia piyasasında yol açtığı dalgalanmanın bir başka örneği de silikon. Geçtiğimiz birkaç yıl içinde, kristal silikon güneş enerjisinin ana unsuru olan silikon, nispeten kısa bir süre içinde düşük kapasiteden aşırı kapasiteye geçmiştir, ancak güneş enerjisinin mevcut oranlarda büyümeye devam etmesi halinde talebin bir kez daha arzın önüne geçmesi ve bunun sonucunda belirli güneş enerjisi teknolojilerinin genel ve uzun vadeli ekonomik fizibilitesi üzerinde etkilere yol açması riski hala mevcuttur (Bye ve Ceccaroli 2014).

Bu örnekler, üreticilerin yalnızca düşük karbon senaryoları altında metallerle yönelik artan genel talebi karşılamak için değil, aynı zamanda ekonomik ve teknik gelişmeler teknolojiler arasındaki bu geniş seçeneklerin daralmaya başlamasına neden olduğu için tek tek metallerle yönelik değişen talebi karşılayacak kadar esnek olmak için daha iyi hazırlanmaları gerektiği mesajını vermektedir.

Bölüm 2: Karbon Kısıtlı Bir Geleceğin Madencilik ve Metaller Üzerindeki Etkileri

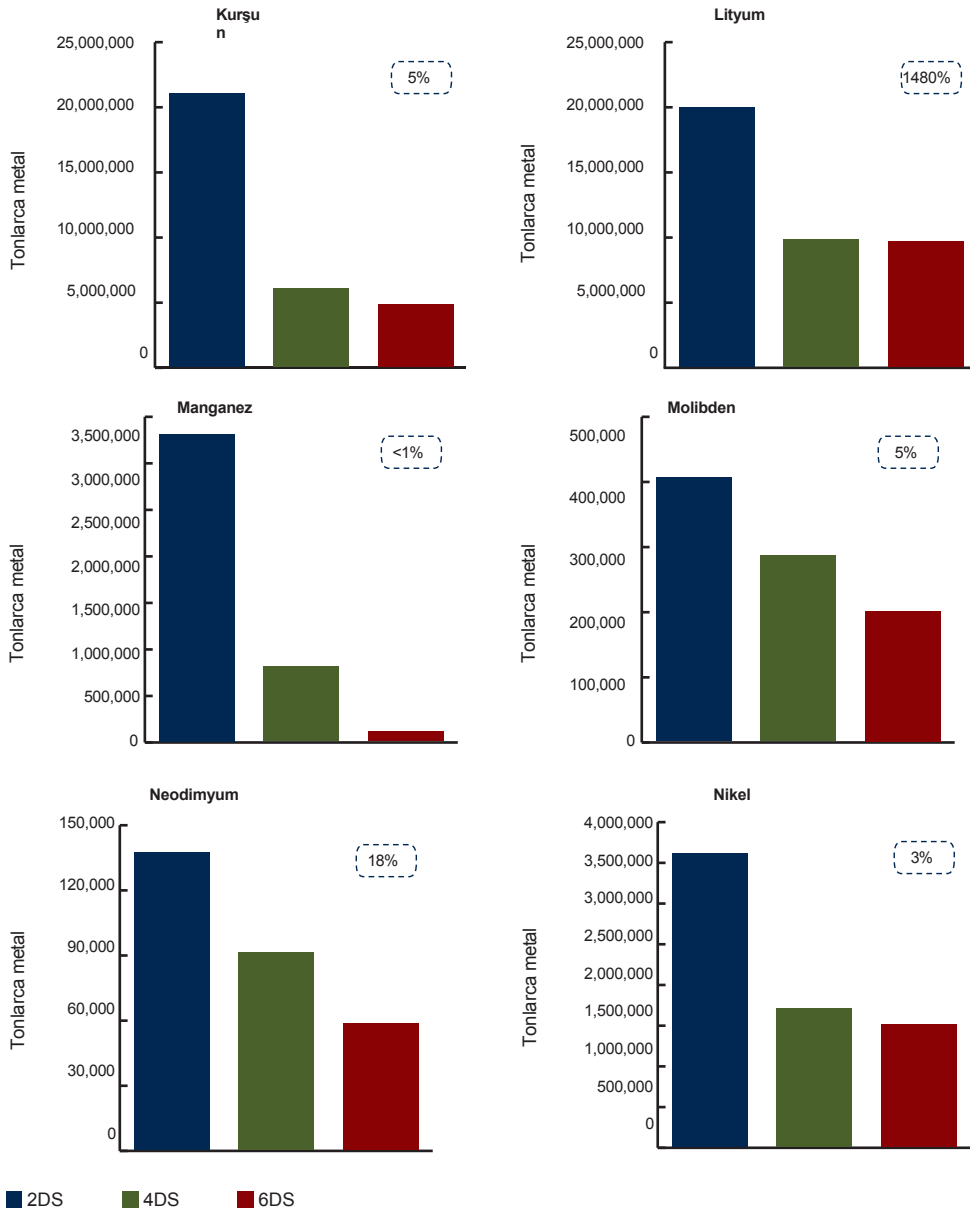
Şekil 2.11, 2050 yılına kadar metallere yönelik toplam talebin bu raporda tanımlanan teknolojilere yönelik talep artışından nasıl etkilenebileceğine dair çok ön bir bakış sunmaktadır. Bu şekil, metaller ve karbon kısıtlı bir gelecek arasındaki bağlantılara ilişkin bir hikaye başlatmayı amaçlamaktadır; yani karbon kısıtlı bir geleceği destekleyen teknolojiler, çok çeşitli baz metallerin yanı sıra nadir toprak metallerine olan talebin artmasına neden olacaktır. Bu ilk çalışmanın, karbon kısıtlı bir geleceği destekleyen teknolojilerin

ŞEKİL 2.11 Bu Çalışmada İncelenen Teknolojiler için Ortalama Kümülatif Talep, 2013-50 (2DS senaryosu altında, 2013 üretim seviyelerinin 2050 yılına kadar sürdürülmesi halinde kümülatif talebin bir olarak 2050 yılına kadar ilgili metallerin kümülatif talebi üzerindeki etki).



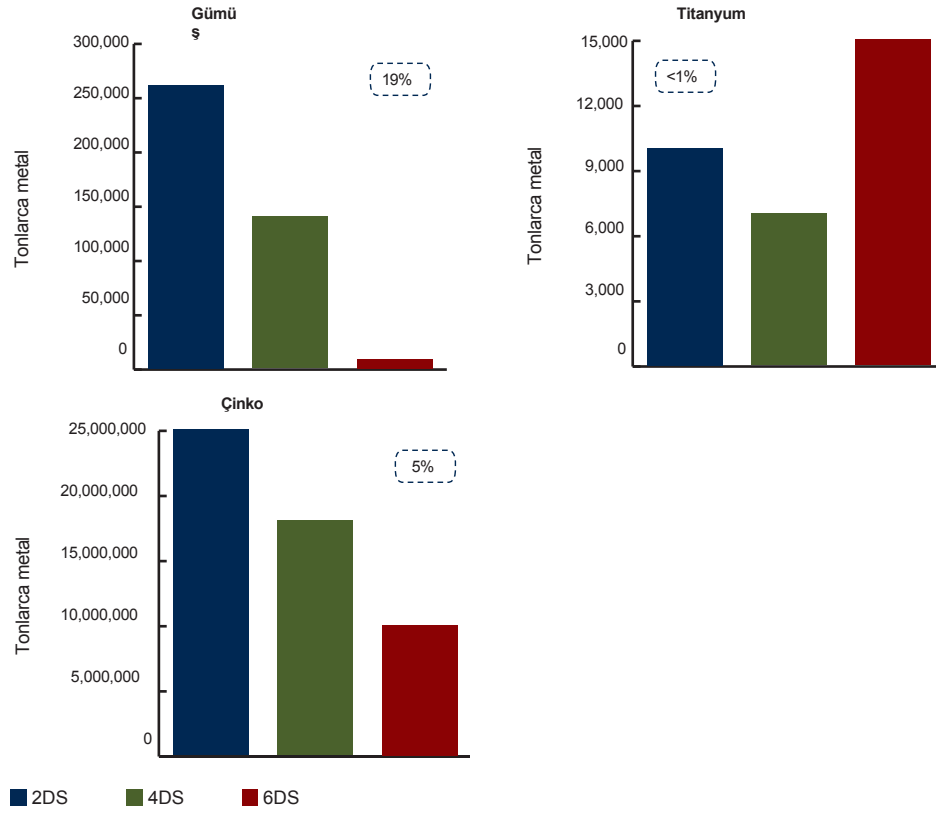
Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

ŞEKİL 2.11 Devamı



(devam)

ŞEKİL 2.11 Devamı



temel metallere yönelik genel talep üzerinde daha fazla etkisi olabilecek temel teknolojiler ve yöntemler. Örneğin, bu çalışmanın kapsamı (ve bütçesi) elektrikli motorların taşıtlar üzerindeki etkilerinin incelenmesini içermemektedir; oysa yakın tarihli bir çalışma gelecekteki elektrikli araç pazarının bakır ve kobaltta yönelik talepte büyük bir artış yaratabileceğini iddia etmektedir (*Economist* 2014).

Notlar

1. Diğer temiz teknoloji seçeneklerinden bazıları ek A'daki literatür taramasında hafifçe ele alınmıştır.
2. Bu ilerlemeye rağmen, IPCC'nin 5. Değerlendirme Raporu'nda (IPCC 2015), önceki tüm değerlendirme raporlarıyla tutarlı olarak, bir dizi iklim-kalkınma senaryosunun maddi sonuçları konusunu açıkça ele almadığı belirtilmelidir.
3. Michigan Üniversitesi Doğal Kaynaklar ve Çevre Okulu, Endüstriyel Ekolojinin aşağıdaki tanımını yapmaktadır (Garner ve Keoleian 1995, 4): "Endüstriyel ekolojinin hala genel kabul gören tek bir tanımı yoktur. Ancak çoğu tanım, farklı vurgularla birlikte benzer nitelikler içermektedir. Bu özellikler aşağıdakileri içerir:
 - endüstriyel ve ekolojik sistemler arasındaki etkileşimlere sistemsel bir bakış
 - malzeme ve enerji akışlarının ve dönüşümlerinin incelenmesi

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

- multidisipliner bir yaklaşım
- geleceğe yönelik bir yönelim
- doğrusal (açık) süreçlerden döngüsel (kapalı) süreçlere geçiş, böylece bir sektörden çıkan atıkların başka bir sektör için girdi olarak kullanılması
- endüstriyel sistemlerin ekolojik sistemler üzerindeki çevresel etkilerini azaltmaya yönelik bir çaba
- endüstriyel faaliyetlerin ekolojik sistemlere uyumlu bir şekilde entegre edilmesine vurgu yapılması
- endüstriyel sistemlerin daha verimli ve sürdürülebilir doğal sistemleri taklit etmesini sağlama fikri
- Potansiyel çalışma ve eylem alanlarını gösteren endüstriyel ve doğal sistem hiyerarşilerinin belirlenmesi ve karşılaştırılması."

4. IRP (2017): *Yeşil Teknoloji Seçimleri: Düşük Karbon Teknolojilerinin Çevresel ve Kaynaklara Etkileri*. Suh, S., Bergesen, J., Gibon, T. J., Hertwich, E., Taptich, M. Uluslararası Kaynak Paneli Raporu. Birleşmiş Milletler Çevre Programı, Nairobi, Kenya, 2017.
5. Kritik Malzemeler Enstitüsü web sitesi: <https://cmi.ameslab.gov/>.
6. Bu hakkında daha fazla bilgiye <http://iugs.org/index.php?page=resourcing-the-future-> adresinden ulaşabilirsiniz. Bu çalışma henüz başlamaktadır ve birkaç yılı kapsamı beklenmektedir.
7. Worldwind Teknoloji. "Büyüme için Hazırlanan: Küresel Rüzgar Enerjisi Pazarı" (<http://tinyurl.com/h6rzsgn>).
8. Bkz. <http://erpuk.org/wp-content/uploads/2015/03/ERP-Scenario-analysis-IEA-BLUE-Map.pdf>.
9. Bu analiz için kullanılan ve okuyucunun daha fazla bilgi için yönlendirildiği temel kaynaklar arasında, enerji endüstrisi için kritik olan metalleri belgeleyen ve miknatıslar ve potansiyel ikameler için nadir toprak elementlerine olan talep hakkında iyi veriler ve açıklamalar sağlayan Zepf ve diğerleri (2014) ve yenilenebilir enerji teknolojileri için gelecekteki metal kullanımına ilişkin analizlerinde çeşitli güneş PV teknolojilerinde kullanılan metalleri belgeleyen Elshkaki ve Graedel (2013) bulunmaktadır.
10. "Öğrenme oranı", kümülatif üretimin her iki katında maliyetteki kesirli azalma olarak tanımlanır.
11. Bu analiz için kullanılan temel kaynaklar arasında, yenilenebilir enerji teknolojileri için gelecekteki metal kullanımına ilişkin analizlerinde çeşitli güneş PV teknolojilerinde kullanılan metalleri belgeleyen Elshkaki ve Graedel (2013); tarihsel ve öngörülen metal kullanımına ilişkin mükemmel veriler sağlayan Channell ve diğerleri (2013) yer almaktadır. güneş PV penetrasyon oranları ve fiyatları; ve ince film ve kristal silikon güneş teknolojilerinin piyasa penetrasyonuna ilişkin verilere sahip Fraunhofer Enstitüsü.
12. Bu analiz için kullanılan ve okuyucunun daha fazla bilgi için yönlendirildiği temel kaynaklar arasında, şebeke ölçeğinde enerji depolamanın yaygınlaştırılmasına yönelik senaryolar hakkında belgeler sunan Kempener ve Borden (2015); gelecekteki enerji depolama talebine yönelik hesaplamalar sunan Inage (2009); lityum iyon pil piyasasına yönelik projeksiyonlar sunan Pillot (2015) ve çeşitli iyon pil teknolojileri için depolanan enerji birimi başına lityum kullanımına ilişkin veriler sunan Teske ve diğerleri (2015) yer almaktadır.

3. Gelişmekte Olan Ülkeler için Çıkarımlar

Dünya Bankası'nın Maden Çıkarma Endüstrilerine Genel Bakış¹ başlıklı raporunda da belirtildiği üzere, yenilenemeyen maden kaynakları, dünya GSYİH'sinin dörtte birini, dünya nüfusunun yarısını ve aşırı yoksulluk çekenlerin yaklaşık yüzde 70'ini oluşturan 81 ülkede baskın bir rol oynamaktadır. Sonuç olarak, giderek artan sayıda düşük gelirli ülke, ekonomik büyüme planlarının temeli olarak kaynak çıkarma ve işleme faaliyetlerine odaklanmaktadır. Bu tür yatırımlar, ilgili emtiaların uzun ömürlülüğüne ilişkin temel varsayımların (madenlerin tipik ömrü nedeniyle) genellikle yarım yüzyıldan daha uzun bir süreye uzanmasıyla birlikte, önemli ön sermaye maliyetleri taşır. Gelişmekte olan ülkelerin, örneğin uygun fiyatlı ve temiz enerjiyi teşvik ederek, iklim ve ilgili Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine yanıt veren gelecekteki emtia piyasasından nasıl yararlanacaklarına karar vermek için daha iyi bir konuma gelmeleri önemlidir.

Bu bölüm, karbon kısıtlı bir geleceğe enerji geçişinde potansiyel olarak önemli bir rol oynayacağı varsayılan aşağıdaki emtiaların bilinen üretim seviyelerini ve rezervlerini izleyen kapsamlı bir dizi küresel emtia haritası sunmaktadır:² alüminyum (alümina ve boksit dahil), krom, kobalt, bakır, demir cevheri ve çelik, indiyum, lityum, mangan, molibden, nikel, platin grubu metaller, nadir toprak metalleri (kadmiyum, indiyum ve neodimyum dahil), gümüş, titanyum ve çinko.

Bu raporun amacı doğrultusunda - iklim dostu teknolojilere küresel geçişin neden değişen emtia piyasasından kaynaklanan mineral zengini gelişmekte olan ülkeler için fırsatlar konusunda farkındalık yaratmak - haritalama çalışmasından tutarlı sonuçlar çıkarmak kolay değildir. Aslında çıkarılabilecek en çarpıcı sonuç, gelişmekte olan ülke bölgelerindeki (Afrika, Asya ve Latin Amerika) ilgili mineral ve metal kaynaklarının haritalandırılması için güncel ve sağlam verilerin sağlanmasında önemli eksikliklerin mevcut olduğudur. Örneğin, U.S. Geological Survey'in 2016 yılında bu alıştırma kapsamındaki metallerin üretim ve rezerv seviyelerine ilişkin küresel haritalaması, kadmiyum, molibden, gümüş, nadir toprak metalleri ve çinko için Afrika'dan potansiyel katkılar için HİÇBİR profil ve bakır, demir cevheri ve lityum için nispeten küçük profiller göstermektedir.

Ayrıca, üretim faaliyetleri için kilit metallerin coğrafi dağılımındaki anormallikler ve rezerv seviyeleri ile tahmini kaynaklar arasındaki farklılıklar da dikkat çekicidir. Örneğin, alüminyum üretimi için gerekli kilit bir metal olan boksit (şekil 3.3; tablo 3.3) ile ilgili olarak, Çin hariç gelişmekte olan ülkeler boksit üretiminin yüzde 30'unu, ancak küresel rezervlerin yüzde 63'ünü oluşturmaktadır. Afrika, özellikle de Gine, küresel üretimin yüzde 6,5'ini, ancak bilinen rezervlerin yüzde 26'sını oluşturmaktadır. Araştırma, dünyadaki boksitin yüzde 94'ünün gelişmekte olan ülke bölgelerinde bulunduğunu tahmin etmektedir.

Lityum (şekil 3.12; tablo 3.12), karbon kısıtlı gelecek için (özellikle elektrikli araçlardaki enerji depolama bataryaları için) gerekli olan ve rezervleri özellikle Güney Amerika'daki gelişmekte olan ülke bölgelerinde bulunan bir başka kilit metal örneğidir. Üretim yüksek değildir, ancak gerçek kaynaklar önemli ölçüde daha yüksektir. için

Örneğin Latin Amerika'da Bolivya'nın erişilebilir rezervi yok olarak listelenmiştir ancak jeolojik oluşumlarında yaklaşık 9 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Afrika'da ise sadece Zimbabve'nin nispeten küçük rezervlere sahip olduğu belirtilirken, Demokratik Kongo Cumhuriyeti kaynaklarının 1 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Aynı şey manganez için de söylenebilir (şekil 3.13; tablo 3.13) - Afrika'nın dünya rezervlerinin yaklaşık yüzde 32'sine sahip olduğu tahmin edilirken, ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu Güney Afrika'nın tek başına dünya çapındaki manganez kaynaklarının yüzde 75'ine sahip olduğunu tahmin etmektedir.

Çin, Brezilya, Hindistan ve Malezya dışında gelişmekte olan hiçbir ülke bölgesinde nadir toprak metalleri (Şekil 3.17; Tablo 3.17) için kayıtlı üretim, rezerv veya kaynak verisi dikkat çekicidir. Bu kritik metaller bu bölgelerde bulunabilse de, varlıklarını doğru bir şekilde haritalandırmak için ortak bir çaba sarf edilmemiştir; bu faaliyet, bu elementlerin çoğunun çinko gibi baz metallerin içine gömülü "ikincil" mineraller olduğu gerçeği nedeniyle şüphesiz karmaşıktır (şekil 3.21; tablo 3.21).

Bu noktada dünyanın bazı bölgeleri, özellikle Afrika ve dünya çapındaki diğer bazı düşük gelirli ülkeler için mevcut verilerin sınırlı olmasına rağmen, bazı eğilimler yine de dikkate değerdir. Maden zengini gelişmekte olan ülkelerle ilgili olarak, Latin Amerika'nın küresel iklim dostu enerji geçişi için bir "tedarikçi" olma konusunda nispeten güçlü bir konumda olduğu açıktır; Brezilya, Şili, Arjantin ve Peru en iyi konumdaki ülkelerdir. Bolivya da lityum gibi kaynaklarını tanınmış rezervlere dönüştürebildiği takdirde potansiyel olarak fayda sağlayacaktır. Latin Amerika'nın sahip olduğu belirli metaller önemli stratejik avantajlar arasında bakır (şekil 3.7; tablo 3.7), demir cevheri (şekil 3.10; tablo 3.10), gümüş (şekil 3.19; tablo 3.19) ve lityum yer almaktadır; bölge ayrıca alüminyum, nikel, manganez ve çinko sektörlerinde de aktiftir.

Platin cevheri rezervleri göz önüne alındığında Afrika'nın potansiyel rolü de büyük önem taşımaktadır (şekil 3.16; tablo 3.16), manganez, boksit ve krom (şekil 3.5; tablo 3.5). Bu rezervlerin ve üretim faaliyetlerinin çoğu, Gine hariç, Güney Afrika bölgesi ile sınırlıdır. Daha önce de belirtildiği gibi, güney dışındaki metallere ilişkin veri ve bilgi eksikliği, bu metallerin gerçekten bulunmamasından ziyade araştırma boşluklarının bir sonucu olabilir. Örneğin, Afrika'nın aslında nadir toprak metalleri içerdiği göreceli bir kesinliktir.

Potansiyel kaynakları ve bu kaynakların rezerve dönüştürülmesinin ne kadar zor olabileceği konusunda kapsamlı bir araştırma yapılmamıştır.

Asya ile ilgili olarak en dikkat çekici bulgu, Çin'in karbon salınımlı bir dünyada teknoloji tedarik etmek için gerekli olan hem baz hem de nadir toprak metallerinde sahip olduğu küresel hakimiyettir. kısıtlı bir gelecek. Hem üretim hem de rezerv seviyeleri, kaynak zengini gelişmiş ülkelerle (Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri ve daha az ölçüde Avustralya gibi) kıyaslandığında bile genellikle diğerlerininkini gölgede bırakmaktadır. Hindistan demir-çelik ve titanyum konusunda baskındır ve Endonezya, Malezya gibi boksit ve nikel konusunda daha az ölçüde fırsatlara sahiptir. Son olarak, Okyanusya'da, Yeni Kaledonya'da bulunan devasa nikel rezervleri göz ardı .

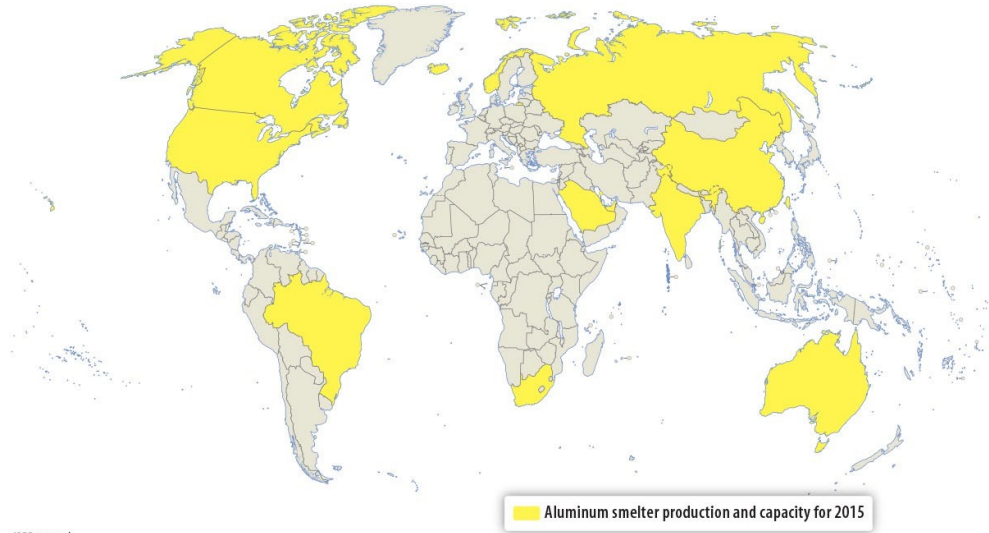
Bölüm 3: Gelişmekte Olan Ülkeler için Çıkarımlar

Temiz Enerji Geleceği İçin Kritik Öneme Sahip Temel Metallerin Rezerv ve Üretim Seviyelerinin Küresel Dağılımı

Bu alıştırmanın amaçları doğrultusunda -karbon kısıtlı gelecekte kritik metallere yönelik rezervlerin haritalandırılması- aşağıdaki mineraller ve metaller bu ekin özel odak noktasıdır: çelik ve demir cevheri bileşeni, alüminyum (alümina ve boksit dahil), kadmiyum, krom, kobalt, bakır, indiyum, lityum, manganez, molibden, nikel, nadir toprak metalleri, platin grubu metaller, silikon, gümüş, titanyum ve çinko. Bu ek, bu kaynakların üretim ve rezerv seviyelerini haritalandırmakta ve mineral zengini gelişmekte olan ülkelerin ne kadar iyi konumda olduklarını incelemektedir bu pazara tedarik için. Bu bilgilerin kaynağı, Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı'nın Hammadde Ticareti web sitesine yapılan çapraz referanslarla teyit edilen Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları (USGS) 2016 Mineral Emtia Araştırması'dır. USGS verilerinin şu anda kamuya açık olan en kapsamlı veriler olduğu varsayılmakla birlikte, sağlanan verilerin diğer araştırmalarla tam olarak tutarlı olmayabileceğinin tamamen farkındayız. OECD'nin "Hammadde Ticareti" web sitesindeki veri tabanı ile karşılaştırma yapılmış ve verilerin USGS verileri ile oldukça tutarlı olduğu görülmüştür.

Ayrıca bir açıklama olarak, haritalar ilgili metaller için üretim ve rezerv seviyelerini ele alsa da, USGS zaman zaman rezervlerden ayırt edilmek üzere "kaynak" seviyelerine de atıfta bulunmaktadır. USGS Maden Kaynakları Programı 2012, kaynakları "yerkabuğunun içinde veya üzerinde doğal olarak oluşan katı, sıvı veya gaz halindeki malzemenin, konsantrasyondan bir malın ekonomik olarak çıkarılmasının halihazırda veya potansiyel olarak mümkün olduğu şekil ve miktardaki konsantrasyonu"³ olarak tanımlarken, rezervleri "rezerv tabanının tespit edildiği tarihte ekonomik olarak cazip olabilecek veya üretilebilecek kısmı" olarak tanımlamaktadır.⁴ Bu rapor resmi olarak sadece ilgili metaller için rezerv ve üretim seviyelerini "haritalandırmaktadır"; ancak potansiyel kaynak seviyeleri tartışmayla ilgili görüldüğünde belirtilmiştir. Bununla birlikte, kaynak seviyelerinin spesifik haritalandırılması dahil edilmemiştir çünkü veriler metaller ve bölgeler arasında tutarsız bir şekilde uygulanmıştır.

ŞEKİL 3.1 Alüminyum Üretimi



Kaynak: USGS 2016, 23.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.1'deki "Diğer" satırı dahil edilmemiştir.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

TABLO 3.1 Alüminyum İzabe Üretim ve Kapasitesi, 2015 (bin metrik ton)

	Üretim	Kapasite
Çin	32,000	36,000
Rusya	3,500	4,180
Kanada	2,000	3,270
Hindistan	2,350	3,850
Birleşik Arap Emirlikleri	2,340	2,400
Avustralya	1,650	1,720
Birleşik Devletler	1,600	2,000
Norveç	1,320	1,550
Bahreyn	960	970
İzlanda	820	840
Brezilya	780	1,600
Suudi Arabistan	740	740
Güney Afrika	690	715
Katar	640	640
Diğer ülkeler	2,340	2,400
Toplam	58,300	68,800

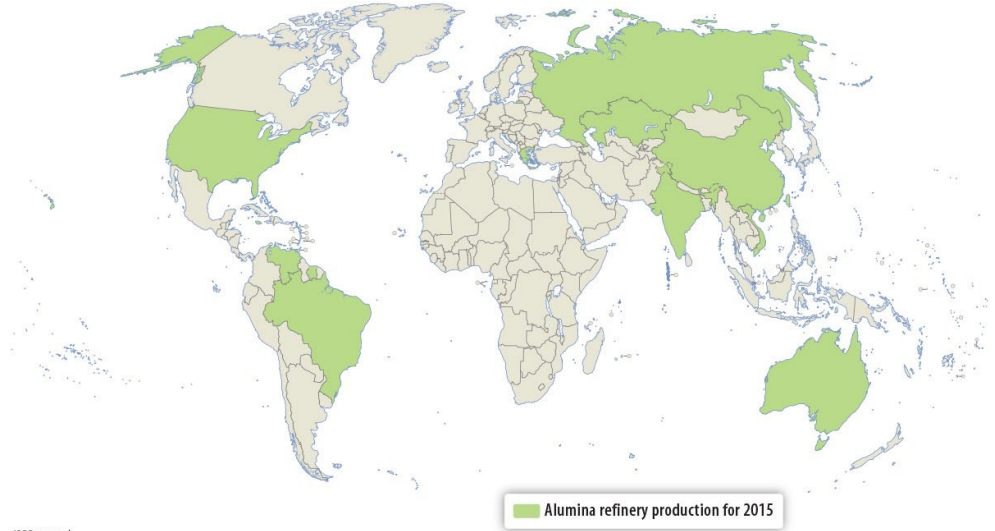
Kaynak: USGS 2016, 23.

Gelişmekte olan ülkelerin alüminyum izabe üretim ve kapasitesindeki payı: Çin ve Orta Doğu ülkeleriyle birlikte yüzde 70; onlar olmadan ve sadece Brezilya, Hindistan ve Güney Afrika dahil olmak üzere yüzde 6,5.

Dünya kaynakları: Küresel kaynakların 55 milyar ila 75 milyar ton arasında olduğu ve gelecekte de dünya metal talebini karşılamaya yeteceği tahmin edilmektedir.

İkameler: Magnezyum, çelik ve titanyum kara taşımacılığında ve yapısal kullanımlarda alüminyumun yerini alabilir. Kompozitler, çelik, vinil ve ahşap inşaatta alüminyumun yerini alabilir. Bakır, elektrik ve ısı değişimi uygulamalarında alüminyumun yerini alabilir.

ŞEKİL 3.2 Alümina Rafineri Üretimi



Kaynak: USGS 2016, 33.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.2'deki "Diğer " satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.2 Alümina Rafineri Üretimi, 2015 (bin metrik ton)

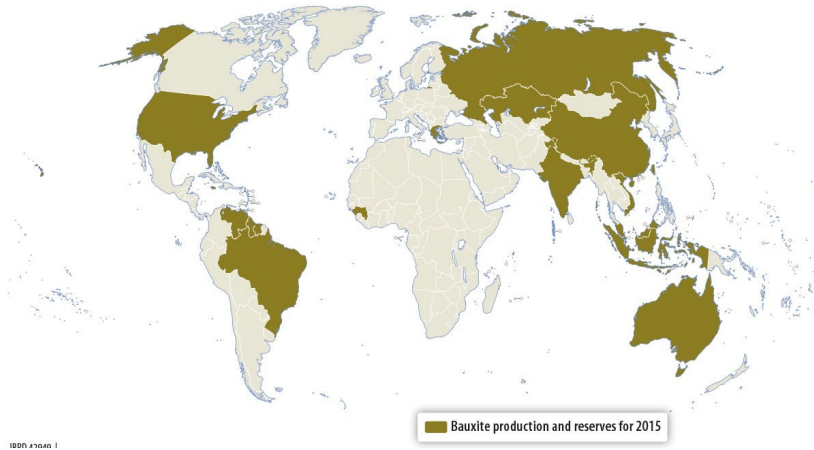
	Rafineri üretimi
Çin	57,000
Avustralya	20,200
Brezilya	10,300
Hindistan	5,470
Birleşik Devletler	4,000
Rusya	2,580
Jamaika	1,950
Kazakistan	1,600
Surinam	970
Yunanistan	800
Venezuela	780
Vietnam	500
Diğer ülkeler	11,400
Toplam	118,000

Kaynak: USGS 2016, 33.

Gelişmekte olan ülkelerin alümina rafineri üretimindeki payı: Yüzde 67; Çin hariç yüzde 18.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

ŞEKİL 3.3 Boksit Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 33.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.3'teki "Diğer " satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.3 Boksit Üretimi ve Rezervleri, 2015 (bin metrik ton)

	Maden üretimi	Rezervler
Gine	17,700	7,400,000
Avustralya	80,000	6,200,000
Brezilya	2,000	2,600,000
Vietnam	1,100	2,100,000
Jamaika	10,700	2,000,000
Endonezya	1,000	1,000,000
Guyana	1,700	850,000
Çin	60,000	830,000
Hindistan	19,200	590,000
Surinam	2,200	580,000
Venezuela	1,500	320,000
Yunanistan	6,600	250,000
Rusya	6,600	200,000
Kazakistan	5,200	160,000
Malezya	21,200	40,000
Birleşik Devletler	N/A	20,000
Diğer ülkeler	8,500	2,400,000
Toplam	274,000	28,000,000

Kaynak: USGS 2016, 33.

Not: N/A= mevcut değil.

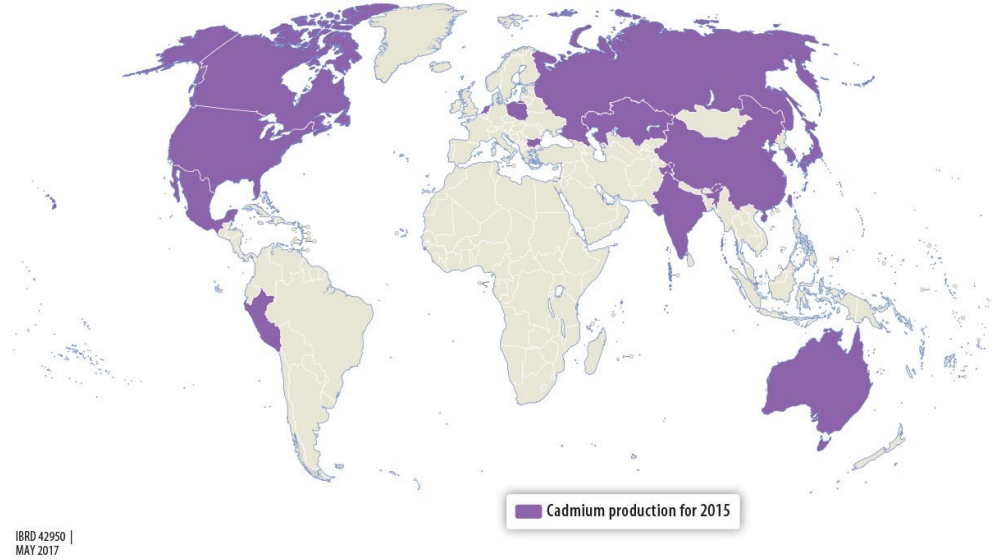
Gelişmekte olan ülkelerin boksit üretimindeki payı: Yüzde 52; Çin hariç yüzde 30.

Gelişmekte olan ülkelerin boksit rezervlerindeki payı: Yüzde 65; Çin hariç 63.

Dünya kaynakları: Boksit kaynaklarının 55 milyar ila 75 milyar ton arasında olduğu tahmin edilmektedir: Afrika (yüzde 32), Okyanusya (yüzde 23), Güney Amerika ve Karayipler (21), Asya (yüzde 18) ve diğer yerler (yüzde 6).

İkameler: Boksit, dünyada ticari ölçekte alümina üretiminde kullanılan neredeyse tek hammaddedir, ancak bu durum değişiyor olabilir. Her ne kadar şu anda Ekonomik olarak boksitle rekabet edebilecek geniş ABD ve küresel kil kaynakları teknik olarak uygulanabilir alümina kaynaklarıdır. Çin'deki bazı rafineriler kömür külünden alümina elde etmektedir ve kilden alümina elde etme süreçleri Avustralya ve Kanada'da ekonomik olarak rekabetçi olup olmayacaklarını belirlemek için test edilmektedir.

ŞEKİL 3.4 Kadmiyum Üretimi



Kaynak: USGS 2016, 43.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.4'teki "Diğer " satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.4 Kadmiyum Üretimi, 2015, (metrik ton)

	Üretim	Rezervler
Çin	8,090	N/A
Kore Cumhuriyeti	4,250	N/A
Japonya	1,970	N/A
Kanada	1,480	N/A
Meksika	1,460	N/A
Kazakistan	1,190	N/A
Rusya	1,170	N/A
Peru	850	N/A
Hollanda	640	N/A
Polonya	640	N/A
Hindistan	460	N/A
Avustralya	380	N/A
Bulgaristan	340	N/A
Birleşik Devletler	N/A	N/A
Diğer ülkeler	1,130	N/A
Toplam	24,200	N/A

Kaynak: USGS 2016, 43.

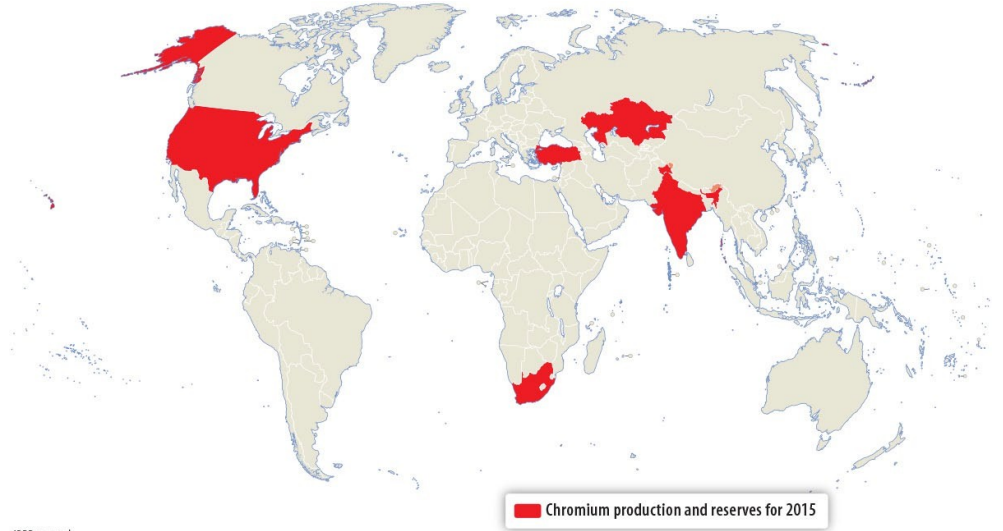
Not: N/A = mevcut değil. Kadmiyum rezervlerine ilişkin nicel tahminler mevcut değildir. Tipik olarak çinko cevherlerinden yüzde 0,03 tenör seviyelerinde geri kazanılır.

Gelişmekte olan ülkelerin kadmiyum üretimindeki payı: Yüzde 45; Çin hariç yüzde 11.

Dünya kaynakları: Kadmiyum genellikle çinko cevherlerinden ve konsantrelerinden elde edilir. Ekonomik açıdan en önemli çinko minerali olan sfalerit, genellikle çinko ile bazı benzer kimyasal özellikleri paylaşan ve genellikle sfalerit kristal kafesinde çinko yerine geçen az miktarda kadmiyum içerir. Kadmiyum minerali greenockite sıklıkla ayrılmış sfalerit ve wurtzite ile ilişkilidir. Orta Amerika Birleşik Devletleri'nin çinko içeren kömürleri ve diğer ülkelerin Karbonifer yaşlı kömürleri de büyük alt ekonomik kadmiyum kaynakları içerir.

İkameler: Lityum-iyon ve nikel-metal hidrit piller bazı uygulamalarda nikel-kadmiyum pillerin yerini almaktadır. Ancak bu alternatiflerin daha yüksek maliyetli olması, daha ucuz ürünlerde kullanımlarını kısıtlamaktadır. Bir kaplamanın yüzey özelliklerinin kritik olduğu durumlar dışında (örneğin, uçaklar için bağlantı elemanları), çinko veya buharla biriktirilmiş alüminyum kaplamalar birçok kaplama uygulamasında kadmiyum yerine kullanılabilir.

ŞEKİL 3.5 Krom Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 49.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.5'teki "Diğer " satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.5 Krom Üretimi ve Rezervleri, 2015 (bin metrik ton)

	Üretim	Rezervler
Kazakistan	3,800	230,000
Güney Afrika	15,000	200,000
Hindistan	3,500	54,000
Türkiye	3,600	N/A
Birleşik Devletler	N/A	N/A
Diğer ülkeler	4,600	N/A
Toplam	30,500	~ 480,000

Kaynak: USGS 2016, 49.

Not: N/A= mevcut değil.

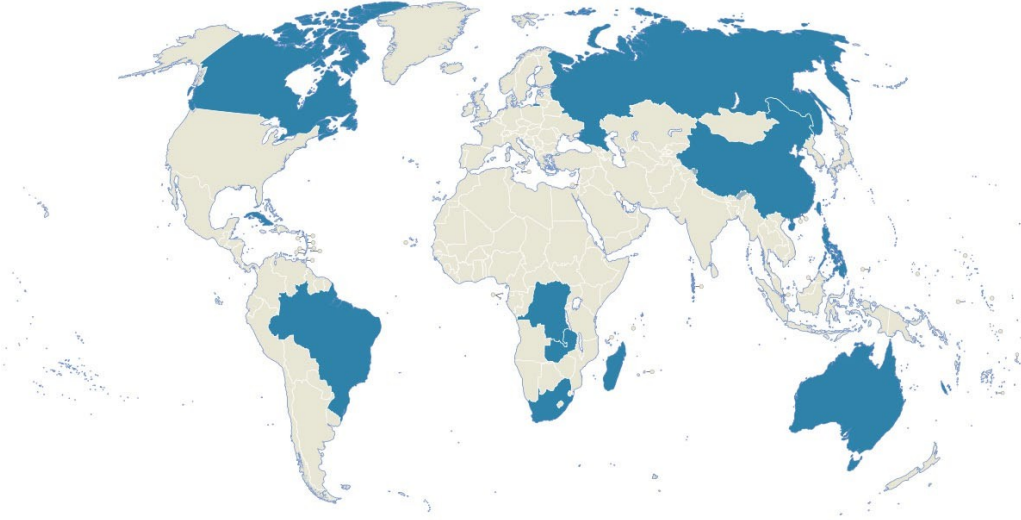
Gelişmekte olan ülkelerin krom üretimindeki payı: yüzde 84; rezervler, yüzde 100.

Dünya kaynakları: Dünya kaynakları 12 milyar tondan fazla nakliye kalitesinde kromit içermekte olup, bu miktar yüzyıllar boyunca olası talebi karşılamaya yetecektir. Dünya krom kaynaklarının yaklaşık yüzde 95'i coğrafi olarak Kazakistan ve Güney Afrika'da yoğunlaşmıştır.

İkameler: Kromun önde gelen nihai kullanım alanı olan paslanmaz çelikte veya başlıca stratejik nihai alanı olan süper alaşımlarda ikamesi yoktur. Krom içeren hurdalar bazı metalürjik kullanımlarda ferrokromun alabilir.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

ŞEKİL 3.6 Kobalt Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 52.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.6'daki "Diğer " satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.6 Kobalt Üretimi ve Rezervleri, 2015 (metrik ton)

	Maden üretimi	Rezervler
Kongo (Kinshasa)	63,000	3,400,000
Avustralya	6,000	1,100,000
Küba	4,200	500,000
Zambiya	2,800	270,000
Filipinler	4,600	250,000
Rusya	6,300	250,000
Kanada	6,300	240,000
Yeni Kaledonya	3,300	200,000
Madagaskar	3,600	130,000
Çin	7,200	80,000
Brezilya	2,600	78,000
Güney Afrika	2,800	31,000
Diğer ülkeler	7,700	633,000
Toplam	120,400	7,162,000

Kaynak: USGS 2016, 52.

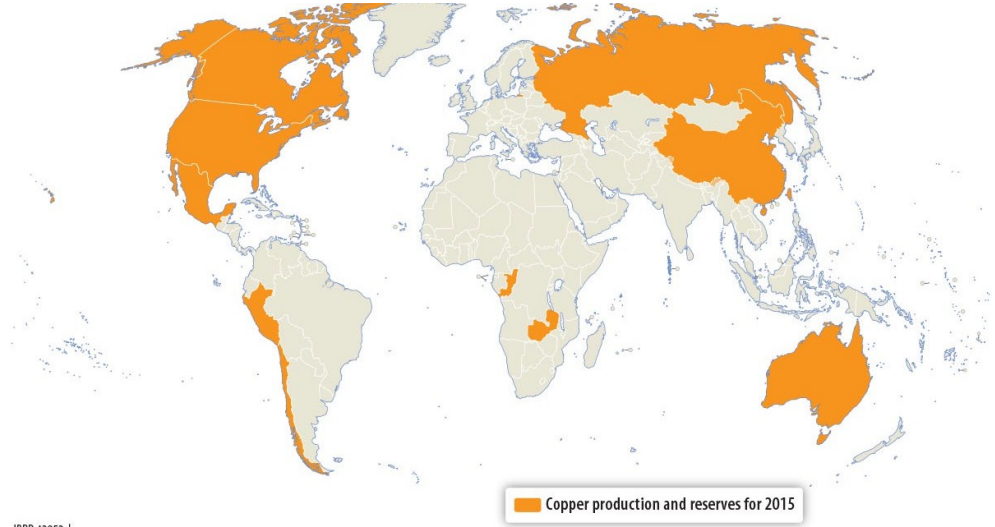
Gelişmekte olan ülkelerin kobalt üretimindeki payı: Yüzde 75; Çin hariç yüzde 70.

Gelişmekte olan ülkelerin kobalt rezervlerindeki payı: Yüzde 68; Çin hariç yüzde 67.

Dünya kaynakları: Karada tespit edilen dünya kobalt kaynakları yaklaşık 25 milyon ton, Atlantik, Hint ve Pasifik Okyanuslarının tabanlarında ise 120 milyon tondan fazladır.

İkameler: ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu, lityum-iyon piller için demir-fosfor ve manganez de dahil olmak üzere farklı faaliyetlerde kobaltın yerini alabilecek 15'ten fazla element tanımlamaktadır.

ŞEKİL 3.7 Bakır Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 55.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.7'deki "Diğer " satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.7 Bakır Üretimi ve Rezervleri, 2015 (bin metrik ton)

	Üretim	Rezervler
Şili	5,700	210,000
Avustralya	960	88,000
Peru	1,600	82,000
Meksika	550	46,000
Birleşik Devletler	1,250	33,000
Rusya	740	30,000
Çin	1,750	30,000
Demokratik Kongo Cumhuriyeti	990	20,000
Zambiya	600	20,000
Kanada	695	11,000
Diğer ülkeler	3,900	150,000
Toplam	18,700	720,000

Kaynak: USGS 2016, 55.

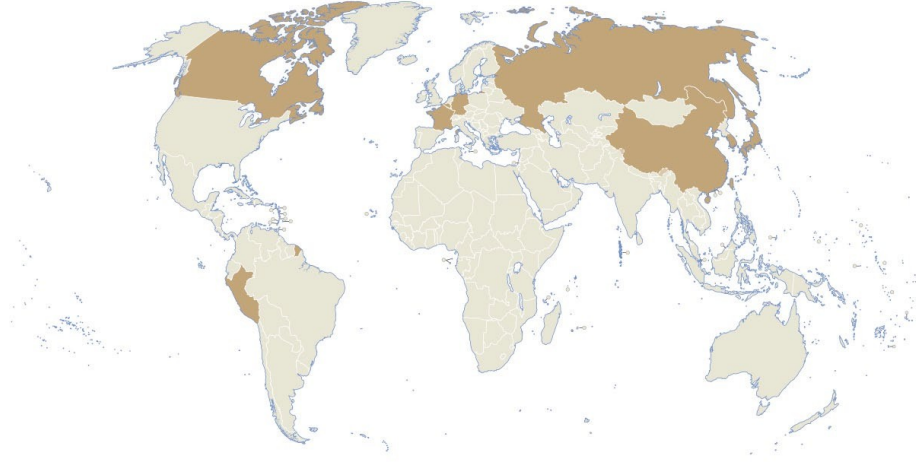
Gelişmekte olan ülkelerin bakır üretimindeki payı: Yüzde 57; Çin hariç yüzde 47.

Gelişmekte olan ülkelerin bakır rezervlerindeki payı: Yüzde 50; Çin hariç yüzde 46.

Dünya kaynakları: 2014 ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu'nun bakır yataklarına ilişkin küresel değerlendirmesi, tespit edilen kaynakların yaklaşık 2,1 milyar ton bakır içerdiğini (porfir yatakları bu kaynakların 1,8 milyar tonunu oluşturmaktadır) ve keşfedilmemiş kaynakların tahmini 3,5 milyar ton içerdiğini göstermiştir.

İkameler: Güç kablosu, elektrikli ekipman, otomobil radyatörleri ve soğutma ve soğutma borularında bakır yerine alüminyum; ısı eşanjörlerinde titanyum ve çelik; telekomünikasyon uygulamalarında bakır yerine fiber optik; su borusu, drenaj borusu ve sıhhi tesisat armatürlerinde bakır yerine plastik kullanılır.

ŞEKİL 3.8 İndiyum Üretimi



Kaynak: USGS 2016, 81.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.8'deki "Diğer" satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.8 İndiyum Üretimi, 2015 (metrik ton)

	Üretim
Çin	370
Kore Cumhuriyeti	150
Japonya	72
Kanada	65
Fransa	38
Belçika	25
Peru	15
Almanya	10
Rusya	10
Toplam (yuvarlanmış)	755

Kaynak: USGS 2016, 81.

Not: Rezerv seviyeleri mevcut değildir.

Gelişmekte olan ülkelerin indiyum üretimindeki payı: Yüzde 50; Çin hariç yüzde 1,5.

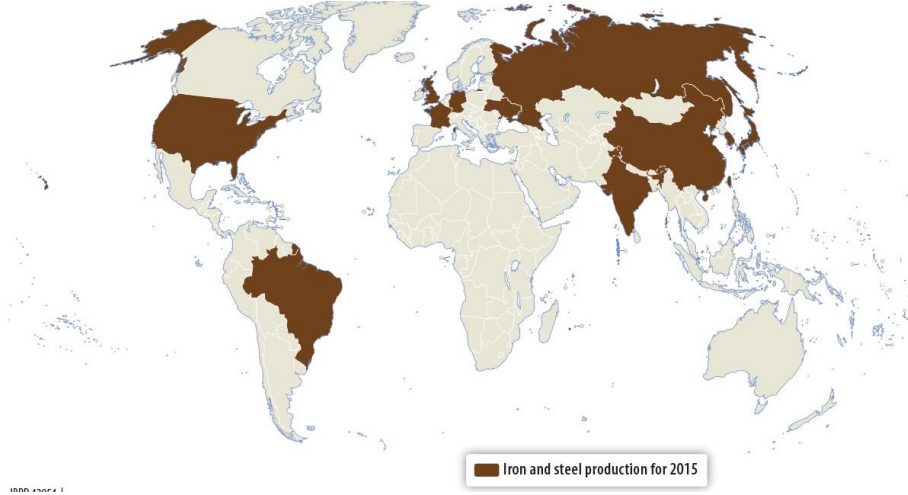
Dünya Kaynakları: İndiyum en yaygın olarak çinko-sülfür cevher mineral yataklarından elde edilir. Elde edildiği çinko yataklarının indiyum içeriği milyonda 1 parçadan az ile milyonda 100 parça arasında değişmektedir.

İkameler: Antimon kalay oksit kaplamalar LCD'lerde ITO kaplamalara alternatif olarak geliştirilmiştir ve LCD cama başarıyla tavlansmıştır; karbon nanotüp

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

kaplamalar esnek ekranlarda, güneş pillerinde ve dokunmatik ekranlarda ITO kaplamalara alternatif olarak geliştirilmiştir. Grafen, güneş pillerinde ITO elektrotlarının yerini almak üzere geliştirilmiştir. Galyum arsenit, güneş pillerinde ve birçok yarı iletken uygulamasında indiyum fosfitin yerini alabilir.

ŞEKİL 3.9 Demir ve Çelik Üretimi



Kaynak: USGS 2016, 85.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.9'daki "Diğer" satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.9 Demir Çelik Üretimi, 2015 (milyon metrik ton)

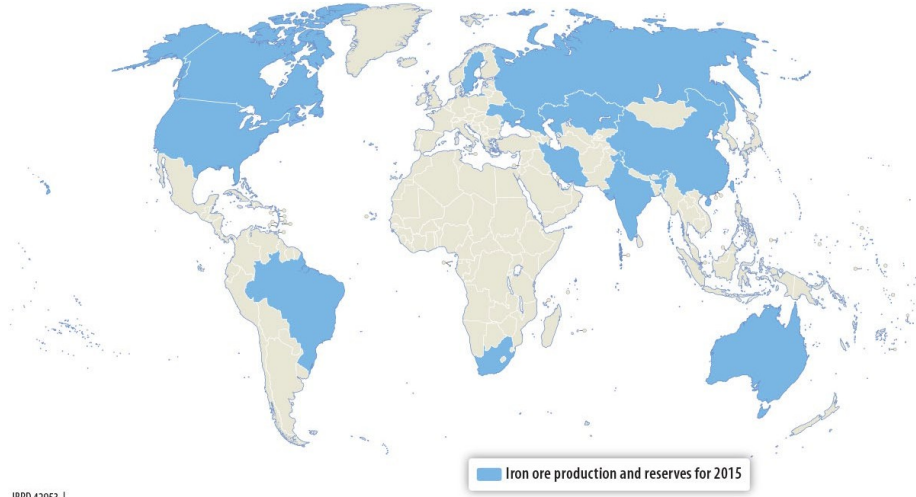
	Üretim	
	Pik demir	Ham çelik
Çin	710	822
Japonya	84	111
Birleşik Devletler	26	81
Hindistan	54	83
Kore Cumhuriyeti	47	72
Rusya	51	71
Almanya	54	44
Brezilya	30	34
Ukrayna	25	27
Fransa	11	17
Birleşik Krallık	9	12
Diğer ülkeler	101	258
Toplam	1,180	1,640

Kaynak: USGS 2016, 85.

Gelişmekte olan ülkelerin pik demir üretimindeki payı: Yüzde 67; Çin hariç, yüzde 7. Gelişmekte olan ülkelerin ham çelik üretimindeki payı: Yüzde 57; Çin hariç yüzde 7. Dünya Kaynakları: Geçerli değildir. Bkz. demir cevheri.

İkameler: Demir en ucuz ve en yaygın kullanılan metaldir. Çoğu uygulamada demir ve çelik ya daha ucuz metal olmayan malzemelerle ya da performans avantajına sahip daha pahalı malzemelerle rekabet eder. Demir ve çelik, motorlu taşıt endüstrisinde alüminyum ve plastik gibi daha hafif malzemelerle; inşaatla alüminyum, beton ve ahşapla; kaplarda ise alüminyum, cam, kağıt ve plastikle rekabet eder.

ŞEKİL 3.10 Demir Cevheri Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 91.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.10'daki "Diğer " satırı dahil edilmemiştir.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

TABLO 3.10 Demir Cevheri Üretim ve Rezervleri, 2015 (milyon metrik ton)

	Üretim	Rezervler	
		Ham cevher	Demir içeriği
Çin	1,380	23,000	7,200
Avustralya	824	54,000	24,000
Brezilya	428	23,000	12,000
Hindistan	129	8,100	5,200
Rusya	112	25,000	14,000
Güney Afrika	80	1,000	650
Ukrayna	68	6,500	2,300
Birleşik Devletler	43	11,500	3,500
Kanada	39	6,300	2,300
İsveç	37	3,500	2,200
İran	33	2,700	1,500
Kazakistan	25	2,500	900
Diğer ülkeler	125	18,000	9,500
Toplam	~3,320	190,000	85,000

Kaynak: USGS 2016, 91.

Gelişmekte olan ülkelerin demir cevheri üretimindeki payı: Yüzde 62,5; Çin hariç yüzde 21.

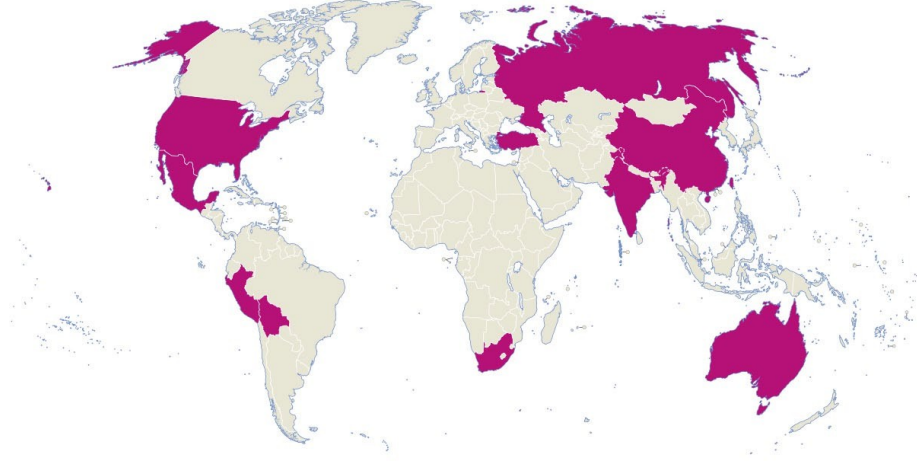
Gelişmekte olan ülkelerin ham cevher rezervlerindeki payı: Yüzde 32; Çin hariç yüzde 20.

Gelişmekte olan ülkelerin demir içeriği rezervlerindeki payı: Yüzde 32; Çin hariç yüzde 23.

Dünya kaynakları: Dünya kaynaklarının 230 milyar tondan fazla demir içeren 800 milyar tondan fazla ham cevher olduğu tahmin edilmektedir.

İkameler: Birincil demirin tek kaynağı, doğrudan sevkiyat cevheri olarak kullanılan veya briket, konsantre, demir külçesi, pelet veya sintere dönüştürülen demir cevheridir. Bazı yüksek fırın operasyonlarında, demir hurdası yüksek fırın hammaddesinin %7'sini oluşturabilir, demir külçeleri ve hurdalar elektrik ark ocaklarında çelik üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. fırınlarında ve demir çelik dökümhanelerinde kullanılmaktadır, ancak hurda bulunabilirliği sınırlı olabilir. Hematitin atık havzalarından geri kazanılmasına ve peletlenmesine olanak tanıyan teknolojik ilerlemeler kaydedilmiştir.

ŞEKİL 3.11 Kurşun Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 97.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.11'deki "Diğer " satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.11 Kurşun Üretimi ve Rezervleri, 2015 (bin metrik ton)

	Üretim	Rezervler
Avustralya	385	35,000
Çin	2,300	15,800
Rusya	90	9,200
Peru	300	6,700
Meksika	240	5,600
Birleşik Devletler	385	5,000
Hindistan	130	2,200
Polonya	40	1,700
Bolivya	82	1,600
Güney Afrika	40	300
Türkiye	54	860
Diğer ülkeler	225	3,000
Toplam	4,271	86,960

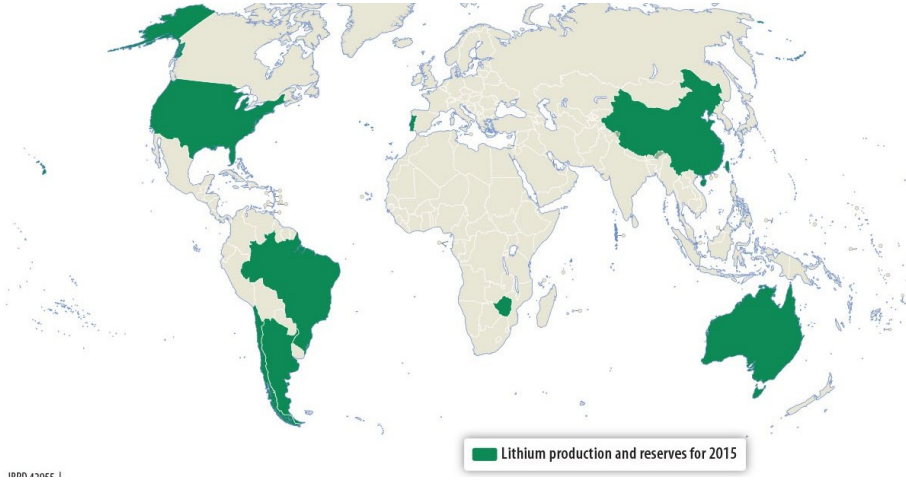
Gelişmekte olan ülkelerin kurşun üretimindeki payı: Yüzde 71; Çin hariç yüzde 14.

Gelişmekte olan ülkelerin kurşun rezervlerindeki payı: Yüzde 66; Çin hariç yüzde 47.

Dünya Kaynakları: Tanımlanmış dünya kurşun kaynaklarının toplamı 2 milyar tondan fazladır. Son yıllarda, Avustralya, Çin, İrlanda, Meksika, Peru, Portekiz, Rusya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde (Alaska) çinko ve/veya gümüş veya bakır yatakları ile birlikte önemli kurşun kaynakları tespit edilmiştir.

İkame maddeler: Plastiklerin ikame edilmesi kablo kaplamalarında ve kutularda kurşun kullanımını azaltmıştır. Kalay, içme suyu sistemleri için lehimde kurşunun yerini almıştır.

ŞEKİL 3.12 Lityum Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 101.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.12'deki "Diğer" satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.12 Lityum Üretimi ve Rezervleri, 2015 (metrik ton)

	Üretim	Rezervler
Şili	11,700	7,500,000
Çin	2,200	3,200,000
Arjantin	3,800	2,000,000
Avustralya	13,400	1,500,000
Portekiz	300	60,000
Zimbabve	900	23,000
Brezilya	160	48,000
Birleşik Devletler	N/A	N/A
Toplam	~ 32,500	~ 14,000,000

Kaynak: USGS 2016, 101.

Not: N/A= mevcut değil.

Gelişmekte olan ülkelerin lityum üretimindeki payı: Yüzde 52; Çin hariç yüzde 45.

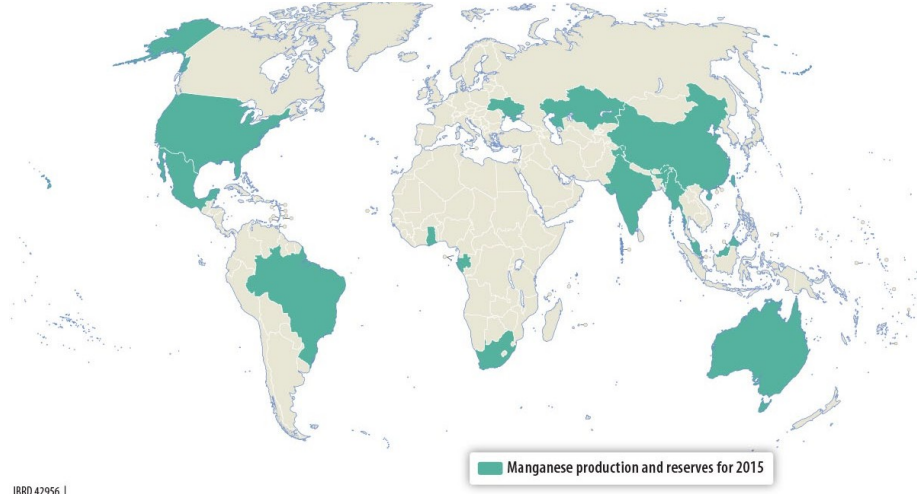
Gelişmekte olan ülkelerin lityum rezervlerindeki payı: Yüzde 91; Çin hariç yüzde 68.

Dünya kaynakları: Amerika Birleşik Devletleri'nde tespit edilen lityum kaynakları 6,7 milyon ton olarak revize edilmiş olup diğer ülkelerde toplam yaklaşık 34 milyon tondur. Bolivya ve Şili'de tespit edilen lityum kaynakları sırasıyla 9 milyon ton ve 7,5 milyon tondan fazladır. Başlıca üretici ülkelerde tespit edilen lityum kaynakları Arjantin'dir,

6,5 milyon ton; Avustralya, 1,7 milyon ton; ve Çin, 5,1 milyon ton. Ayrıca Kanada, Kongo (Kinshasa), Rusya ve Sırbistan'ın her biri yaklaşık 1 milyon tonluk kaynağa sahiptir. Brezilya ve Meksika'da tespit edilen lityum kaynaklarının her biri 180.000 ton, Avusturya'da ise 130.000 tondur.

İkameler: Pillerde, seramiklerde, greslerde ve imal edilmiş camlarda lityum bileşiklerinin ikamesi mümkündür. Örnekler, birincil pillerde anot malzemesi olarak kalsiyum, magnezyum, cıva ve çinkodur.

ŞEKİL 3.13 Manganez Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 107.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.13'teki "Diğer " satırı dahil edilmemiştir.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

TABLO 3.13 Manganez Üretim ve Rezervleri, 2015 (bin metrik ton)

	Üretim	Rezervler
Güney Afrika	6,200	200,000
Ukrayna	390	140,000
Avustralya	2,900	91,000
Hindistan	950	52,000
Brezilya	1,000	50,000
Çin	3,000	44,000
Gabon	1,800	22,000
Gana	390	13,000
Kazakistan	390	5,000
Meksika	240	5,000
Malezya	400	N/A
Burma	100	N/A
Birleşik Devletler	N/A	N/A
Diğer ülkeler	740	Küçük
Toplam	18,000	620,000

Kaynak: USGS 2016, 107.

Not: N/A= mevcut değil.

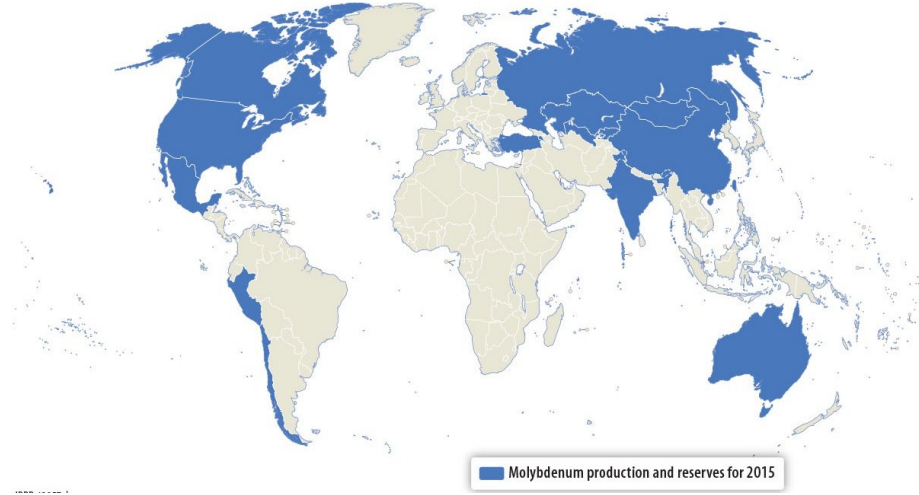
Gelişmekte olan ülkelerin manganez üretimindeki payı: Yüzde 79; Çin hariç yüzde 63.

Gelişmekte olan ülkelerin manganez rezervlerindeki payı: Yüzde 54; Çin hariç yüzde 47.

Dünya kaynakları: Kara kökenli manganez kaynakları büyüktür ancak düzensiz dağılmıştır. Güney Afrika, dünyada tespit edilen manganez kaynaklarının yaklaşık yüzde 75'ini, Ukrayna ise yaklaşık yüzde 10'unu oluşturmaktadır.

İkameler: Manganezin başlıca uygulamalarında tatmin edici bir ikamesi yoktur.

ŞEKİL 3.14 Molibden Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 113.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.14'teki "Diğer" satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.14 Molibden Üretim ve Rezervleri, 2015

	Üretim (metrik ton)	Rezervler (bin metrik ton)
Çin	101,000	4,300
Birleşik Devletler	56,300	2,700
Şili	49,000	1,800
Peru	18,100	450
Meksika	13,000	130
Kanada	9,300	260
Ermenistan	7,300	150
Rusya	4,800	250
İran	4,000	43
Moğolistan	2,000	160
Türkiye	1,400	100
Özbekistan	520	60
Avustralya	0	190
Kazakistan	0	130
Kırgız Cumhuriyeti	N/A	100
Toplam	267,000	11,000

Kaynak: USGS 2016, 113.

Not: N/A= mevcut değil.

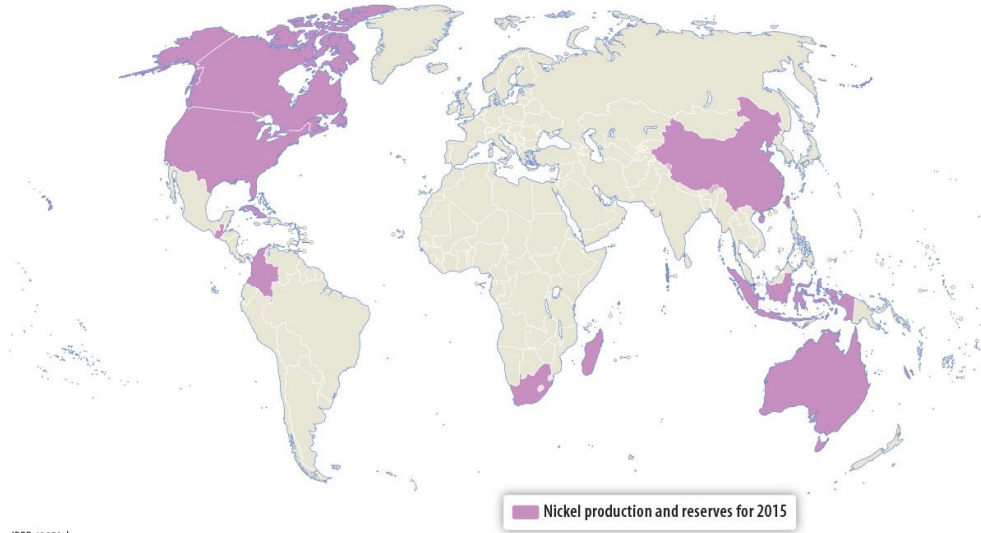
Gelişmekte olan ülkelerin molibden üretimindeki payı: Yüzde 69; Çin hariç yüzde 31.

Gelişmekte olan ülkelerin molibden rezervlerindeki payı: Yüzde 66; Çin hariç yüzde 27.

Dünya kaynakları: Dünyada tespit edilmiş molibden kaynakları 19,4 milyon tondur. Molibden kaynakları, öngörülebilir gelecekte dünya ihtiyaçlarını karşılamak için yeterlidir.

İkameler: Çeliklerde ve dökme demirlerde alaşım elementi olarak ana uygulamasında molibden için çok az ikame vardır. Aslında, molibdenin bulunabilirliği ve çok nedeniyle, endüstri metalin alaşım özelliklerinden yararlanan yeni malzemeler geliştirmeye çalışmıştır.

ŞEKİL 3.15 Nikel Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 115.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.15'teki "Diğer " satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.15 Nikel Üretimi ve Rezervleri, 2015 (metrik ton)

	Üretim	Rezervler
Avustralya	234,000	19,000,000
Yeni Kaledonya	190,000	8,400,000
Küba	57,000	5,500,000
Endonezya	170,000	4,500,000
Güney Afrika	53,000	3,700,000
Çin	102,000	3,000,000
Kanada	240,000	2,900,000
Guatemala	50,000	1,800,000
Madagaskar	49,000	1,600,000
Kolombiya	73,000	1,100,000
Birleşik Devletler	26,500	160,000
Diğer ülkeler	410,000	6,500,000
Toplam	2,530,000	79,000,000

Kaynak: USGS 2016, 115.

Gelişmekte olan ülkelerin nikel üretimindeki payı: yüzde 29; Çin hariç, yüzde 25.

Gelişmekte olan ülkelerin nikel rezervlerindeki payı: Yüzde 37; Çin hariç yüzde 34.

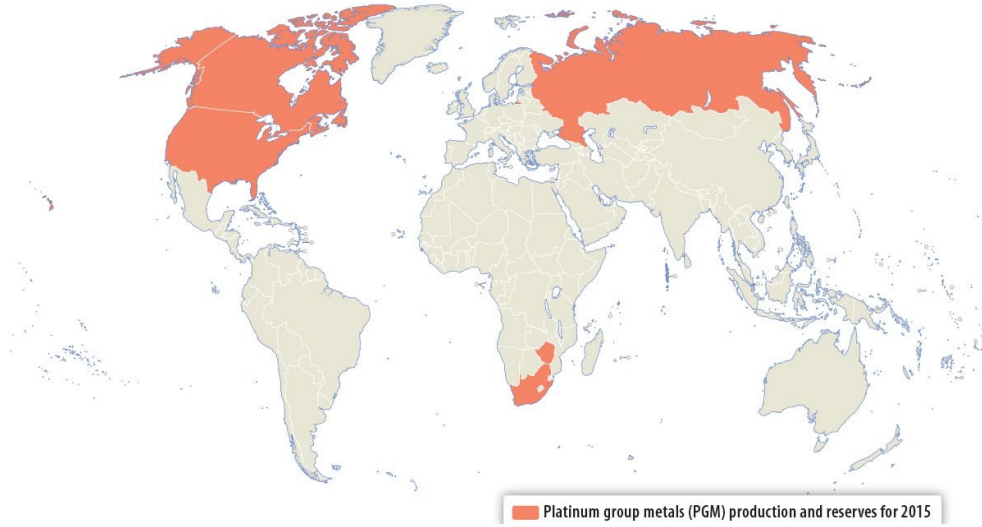
Dünya kaynakları: Ortalama yüzde 1 veya daha fazla nikel içeren tanımlanmış kara kökenli kaynaklar, yaklaşık yüzde 60'ı lateritlerde ve yüzde 40'ı sülfür yataklarında olmak üzere en az 130 milyon ton nikel içermektedir. Okyanus tabanındaki manganez kabuklarında ve nodüllerde de geniş nikel kaynakları bulunmaktadır. Geleneksel maden bölgelerinde yeni sülfür yataklarının keşfedilmesindeki düşüş, doğu-orta Afrika ve subarktik gibi daha zorlu yerlerde arama yapılmasına yol açmıştır.

İkameler: Düşük nikelli, dubleks veya ultra yüksek kromlu paslanmaz çelikler inşaatta östenitik kalitelerin yerine kullanılmaktadır. Nikel içermeyen özel çelikler bazen enerji üretimi ve petrokimya endüstrilerinde paslanmaz çelik yerine kullanılmaktadır.

Titanyum alaşımları, aşındırıcı kimyasal ortamlarda nikel metal veya nikel bazlı alaşımların yerini alabilir. Belirli uygulamalarda nikel-metal hidrit yerine lityum-iyon piller kullanılabilir.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

ŞEKİL 3.16 Platin Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 127.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.16'daki "Diğer " satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.16 Platin Grubu Metaller (PGM) Üretim ve Rezervleri, 2015 (kilogram)

	Üretim		Rezervler
	Platin	Paladyum	PGM
Güney Afrika	125,000	73,000	63,000,000 (+)
Rusya	23,000	80,000	1,100,000
Zimbabve	12,500	10,000	N/A
Birleşik Devletler	3,700	12,500	900,000
Kanada	9,000	24,000	310,000
Diğer ülkeler	4,800	8,000	800,000
Toplam	178,000	208,000	66,000,000

Kaynak: USGS 2016, 127.

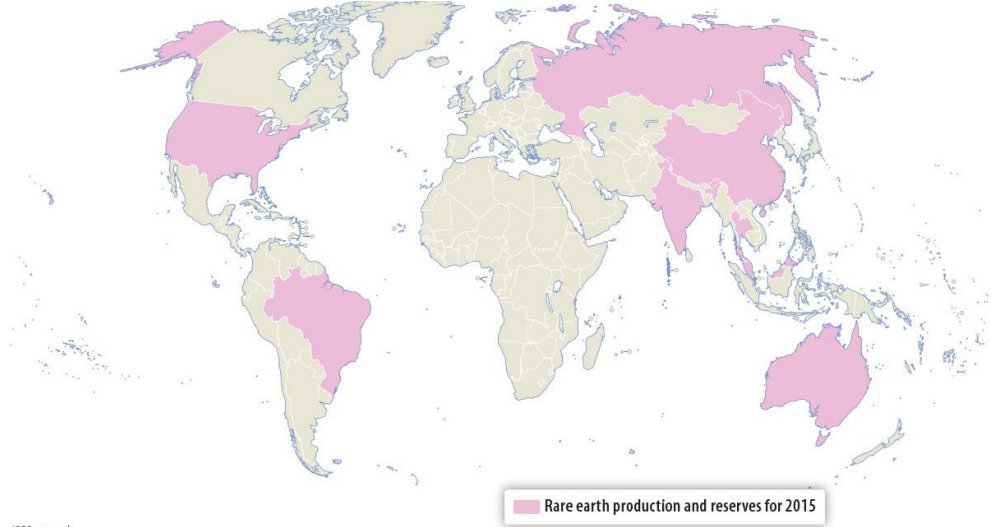
Not: N/A= mevcut değil.

Gelişmekte olan ülkelerin platin üretimindeki payı: Yüzde 77 (Çin'de hiç yok). Gelişmekte olan ülkelerin paladyum üretimindeki payı: Yüzde 40 (Çin'de hiç yok). Gelişmekte olan ülkelerin PGM rezervlerindeki payı: yüzde 95'ten fazla (Çin'de hiç yok).

Dünya kaynakları: Dünya PGM kaynaklarının toplam 100 milyon kilogramdan fazla olduğu tahmin edilmektedir. En büyük rezervler Güney Afrika'daki Bushveld Kompleksi'ndedir.

İkameler: Benzinli motor katalitik konvertörlerinin çoğunda platin yerine daha ucuz olan paladyum kullanılmaktadır. Dizel katalitik konvertörlerde rutin olarak platin yerine yaklaşık yüzde 25 paladyum ikame edilebilir; bu oran bazı uygulamalarda yüzde 50'ye kadar çıkabilir. Bazı endüstriyel son kullanımlar için, bir PGM diğerinin yerine geçebilir, ancak verimlilikte kayıplar olur.

ŞEKİL 3.17 Nadir Toprak Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 135.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.17'deki "Diğer" satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.17 Nadir Toprak Üretimi ve Rezervleri, ^{2015a} (metrik ton)

	Üretim	Rezervler
Çin	105,000	55,000,000
Brezilya	0	22,000,000
Avustralya	10,000	3,200,000
Hindistan	N/A	3,100,000
Birleşik Devletler	4,100	1,800,000
Malezya	200	30,000
Rusya	2,500	(Diğer ülkelerde listelenmiştir)
Tayland	2,000	N/A
Diğer ülkeler	N/A	41,000,000
Toplam	124,000	130,000,000

Kaynak: USGS 2016, 135.

Not: N/A= mevcut değil.

aNeodim de dahil olmak üzere bazı düşük karbon teknolojileri için gerekli temel metalleri içerir.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

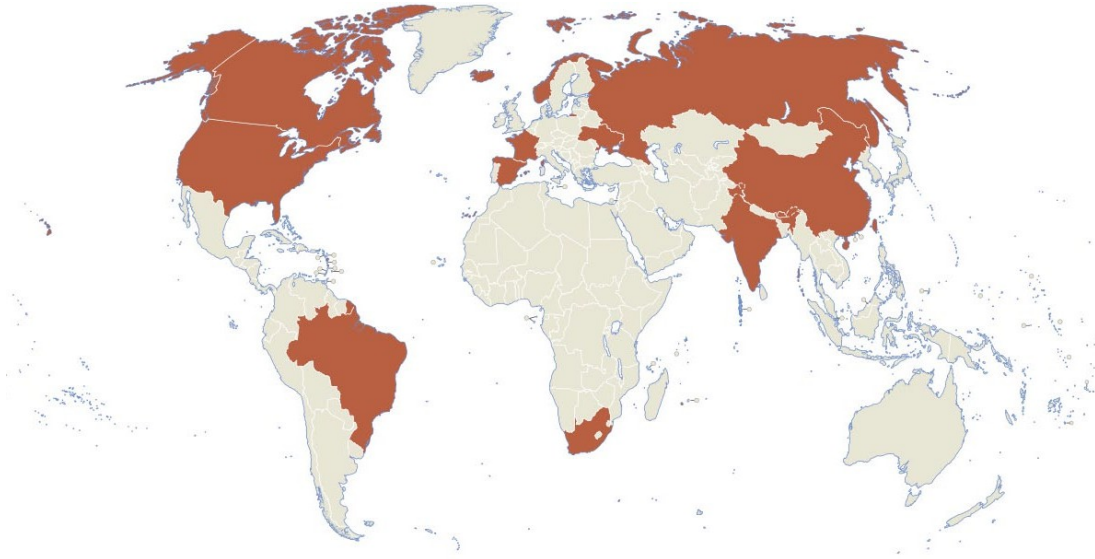
Gelişmekte olan ülkelerin nadir toprak üretimindeki payı: yüzde 86; Çin hariç, yüzde 2.

Gelişmekte olan ülkelerin nadir toprak rezervlerindeki payı: Yüzde 62; Çin hariç yüzde 19.

Dünya kaynakları: Nadir toprak elementleri yerkabuğunda nispeten bol miktarda bulunur, ancak keşfedilen çıkarılabilir konsantrasyonlar diğer cevherlerin çoğundan daha az yaygındır. Dünya kaynakları öncelikle bastnäsit ve monazitte bulunur. Çin ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bastnäsit yatakları dünyadaki nadir toprak ekonomik kaynaklarının en büyük yüzdesini, monazit yatakları ise ikinci en büyük dilimini oluşturmaktadır.

İkameler: Birçok uygulama için ikameler mevcuttur ancak genellikle daha az etkilidir.

ŞEKİL 3.18 Silikon Üretimi



Kaynak: USGS 2016, 151.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.18'deki "Diğer " satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.18 Silisyum Üretimi, 2015 (bin metrik ton)

	Üretim
Çin	5,500
Rusya	680
Birleşik Devletler	410
Norveç	330
Brezilya	150
Fransa	130
Hindistan	86
Güney Afrika	84
İspanya	81
İzlanda	75
Bhutan	72
Ukrayna	70
Kanada	52
Diğer ülkeler	380
Toplam	8,100

Kaynak: USGS 2016, 151.

Gelişmekte olan ülkelerin silikon üretimindeki payı: Yüzde 77; Çin hariç yüzde 10.

Dünya kaynakları: Silisyum metallerin üretimi için küresel kaynaklar (silika formunda) bol miktarda bulunmaktadır ve uzun yıllar boyunca dünya gereksinimlerini karşılamak için fazlasıyla yeterlidir.

İkameler: Nispeten yeni bir kristal malzeme olan perovskitler, güneş panellerinde silikona uygulanabilir bir alternatif olarak ciddi bir şekilde lanse edilmektedir.

ŞEKİL 3.19 Gümüş Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 153.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.19'daki "Diğer " satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.19 Gümüş Üretimi ve Rezervleri, 2015 (metrik ton)

	Üretim	Rezervler
Peru	3,800	120,000
Avustralya	1,700	85,000
Polonya	1,300	85,000
Şili	1,600	77,000
Çin	4,100	43,000
Meksika	5,400	37,000
Birleşik Devletler	1,100	25,000
Bolivya	1,300	22,000
Rusya	1,500	20,000
Kanada	500	7,000
Diğer ülkeler	5,000	50,000
Toplam	27,300	570,000

Kaynak: USGS 2016, 153.

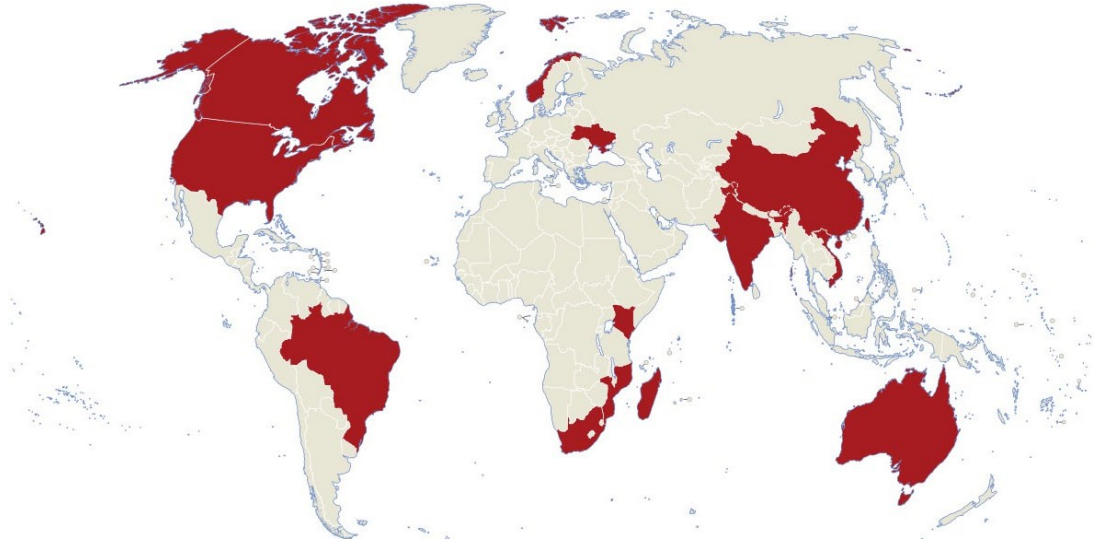
Gelişmekte olan ülkelerin gümüş üretimindeki payı: Yüzde 40; Çin hariç 25.

Gelişmekte olan ülkelerin gümüş rezervlerindeki payı: Yüzde 46; Çin hariç yüzde 38.

Dünya kaynakları: Gümüş birçok madende ana ürün olmasına rağmen, üretim sırasına göre kurşun-çinko madenleri, bakır madenleri ve altın madenlerinden yan ürün olarak elde edilmiştir. Gümüşün elde edildiği polimetalik cevher yatakları dünya kaynaklarının üçte ikisinden fazlasını oluşturmaktadır. Son gümüş keşiflerinin çoğu altın oluşumları ile ilişkilendirilmiştir; ancak bakır ve kurşun-çinko Yan ürün gümüş içeren oluşumlar, gelecekteki rezerv ve kaynakların önemli bir oluşturmaya devam edecektir.

İkameler: Gümüş olmayan piller bazı uygulamalarda gümüş pillerin yerini alabilir. Gümüş, arazi araçları için katalitik konvertörlerde daha maliyetli metallerin yerine kullanılabilir.

ŞEKİL 3.20 Titanyum Mineral Konsantreleri Üretim ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 179.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.20'deki "Diğer" satırı dahil edilmemiştir.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

TABLO 3.20 Titanyum (İlmenit) Maden Konsantreleri Üretim ve Rezervleri, 2015 (bin ton)

	Üretim	Rezervler
Çin	900	200,000
Avustralya	720	140,000
Hindistan	210	85,000
Güney Afrika	480	63,000
Kenya	430	54,000
Brezilya	100	43,000
Madagaskar	240	40,000
Norveç	420	37,000
Kanada	360	31,000
Mozambik	450	14,000
Ukrayna	240	5,900
Birleşik Devletler	100	2,000
Vietnam	540	1,600
Diğer ülkeler	90	26,000
Toplam	5,610	740,000

Kaynak: USGS 2016, 179.

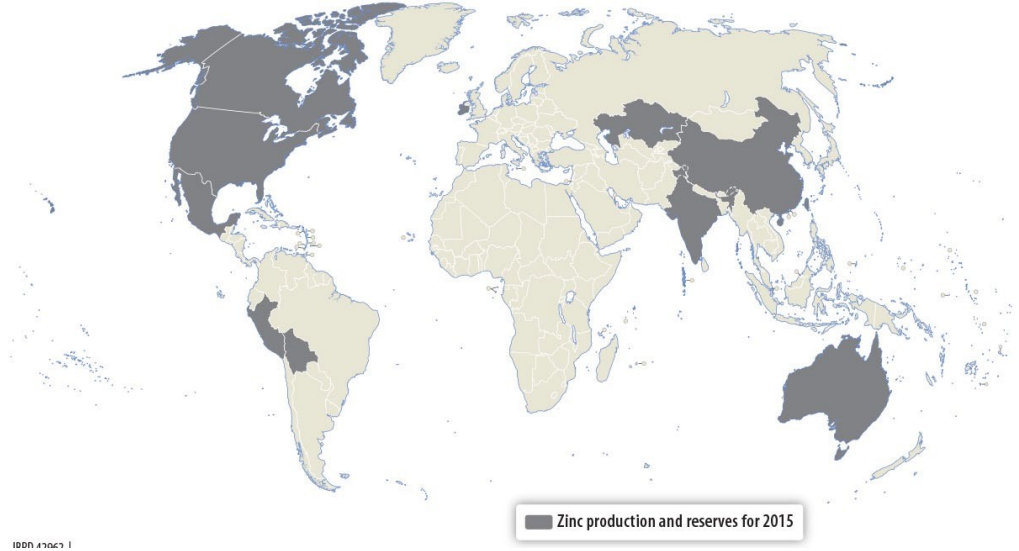
Gelişmekte olan ülkelerin titanyum (ilmenit) üretimindeki payı: Yüzde 61; Çin hariç yüzde 44.

Gelişmekte olan ülkelerin titanyum (ilmenit) rezervlerindeki payı: Yüzde 70; Çin hariç yüzde 42.

Dünya Kaynakları: İlmenit, dünya titanyum mineralleri tüketiminin yaklaşık yüzde 92'sini oluşturmaktadır. Dünya anataz, ilmenit ve rutil kaynakları toplam 2 milyar tondan fazladır.

İkame maddeler: İlmenit, lökoksen, rutil, cüruf ve sentetik rutil, TiO_2 pigmenti, titanyum metali ve kaynak çubuğu kaplamaları üretmek için hammadde kaynakları olarak rekabet etmektedir.

ŞEKİL 3.21 Çinko Üretimi ve Rezervleri



Kaynak: USGS 2016, 193.

Gelişmekte olan ülkelerin payı hesaplanırken tablo 3.21'deki "Diğer" satırı dahil edilmemiştir.

TABLO 3.21 Çinko Üretimi ve Rezervleri, 2015 (bin metrik ton)

	Üretim	Rezervler
Avustralya	1,580	63,000
Çin	4,900	38,000
Peru	1,370	25,000
Meksika	660	15,000
Hindistan	830	10,000
Birleşik Devletler	850	11,000
Kanada	300	6,200
Bolivya	430	4,600
Kazakistan	340	4,000
İrlanda	230	1,100
Diğer ülkeler	1,870	26,000
Toplam	13,400	200,000

Kaynak: USGS 2016, 193.

Gelişmekte olan ülkelerin çinko üretimindeki payı: Yüzde 59; Çin hariç yüzde 22.

Gelişmekte olan ülkelerin çinko rezervlerindeki payı: Yüzde 41; Çin hariç 22.

Dünya kaynakları: Dünyada tespit edilmiş çinko kaynakları yaklaşık 1,9 milyar metrik tondur.

İkameler: Alüminyum ve plastikler otomobillerde galvanizli sacın yerini alır; ve alüminyum alaşım, kadmiyum, boya ve plastik kaplamalar diğer uygulamalarda çinko kaplamaların yerini alır. Alüminyum ve magnezyum bazlı alaşımlar çinko bazlı kalıp döküm alaşımları için önemli rakiplerdir.

Notlar

1. <http://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/overview>.
2. Tüm veriler ve istatistikler United States Geological Survey (USGS) 2016 Mineral Commodity Summaries'den alınmıştır.
3. USGS Programı 2012, Ek C, Bölüm A, s. 193 (<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcsapp2012.pdf>).
4. USGS Programı 2012, Ek C, Bölüm A, s. 194 (<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcsapp2012.pdf>).

4. Sonuç

Bu çalışma, madencilik ve metallerin bu yüzyılda küresel sıfır karbon geçişinde oynaması gereken kritik rol hakkında farkındalık yaratmayı amaçlamaktadır.

Mineral kaynak zengini gelişmekte olan ülkelerin karbon kısıtlı geleceği tedarik etme konumu ve kapasitesi.

Bu yüzyıl boyunca küresel ısınmanın 2 santigrat dereceyi (2°C) aşmaması (ve 1,5°C'ye ulaşmak için en iyi çabanın gösterilmesi) yönündeki Paris iklim hedefine ulaşılması için küresel olarak enerji tedarik ve iletim sistemlerinin radikal bir şekilde (yani kökten) yeniden yapılandırılmasıdır.¹ Ayrıca, temiz enerji değişimini dolduracağı varsayılan teknolojiler (rüzgar, güneş, hidrojen ve elektrik sistemleri) aslında mevcut geleneksel fosil yakıt bazlı enerji tedarik çok daha fazla malzeme yoğunudur (Vidal, Goffé ve Arndt 2013). Bölüm 2'deki analizimiz, 4DS ve 2DS iklim hedefine ulaşılması arasında ilgili teknolojilere ve bağlantılı metallere yönelik talepte hızlı bir artış olduğunu göstermektedir. İlgili metallere olan talep rüzgar ve güneş enerjisi teknolojileri için kabaca iki katına çıkmaktadır, ancak en önemli artış enerji bataryası depolamada gerçekleşmektedir teknolojileri - söz konusu temiz enerji seçeneği için gerekli metallere yüzde 1000'den fazla artış.

Diğerlerinin yanı sıra bakır, gümüş, alüminyum (boksit), nikel, çinko ve muhtemelen platin gibi temel baz metallerin yüzyıl boyunca düşük karbonlu enerji değişiminden faydalanması beklenmektedir. Kilit nadir toprak metalleri (en azından bu çalışmada derinlemesine analiz edilen üç teknoloji için) diğerlerinin yanı sıra neodim ve indiyumdur. Bununla birlikte, dramatik artışlar yaşayacak olan asıl metaller belirsizdir ve tahmin edilmesi son derece zordur.

Ayrıca, metal talebinin ne şekilde artacağı hem rüzgar ve güneş enerjisi arasındaki denge gibi teknolojiler arası tercihlere hem de belirli teknolojiler içindeki teknoloji içi tercihlere bağlıdır.

Teknoloji içi seçimlerle ilgili olarak,

- Rüzgar teknolojileri için bu, dişli (karada) veya doğrudan tahrikli (açık deniz) teknolojiler arasında nihai bir karışım meselesidir. Bunun sonuçlarına bir örnek vermek gerekirse metaller, doğrudan tahrikli sistemler neodimyum gerektirirken, dişli sistemler gerektirmez.
- Güneş enerjisi için bu, farklı güneş fotovoltaik hücre tipleri arasında bir seçim meselesidir. Örneğin, alüminyum ve bakır farklı güneş teknolojilerini besler ve gerçek önümüzdeki birkaç on yıl boyunca bu metallerin muhtemel pazarları için sonuçlar doğuracaktır.
- Ancak, belirli metallerin gelecekteki pazarları üzerindeki etkilerin muhtemelen en belirgin olduğu alan ulaşımıdır. Elektrikli (lityum) mevcut üç seçenek, hibrid (kurşun) ve hidrojenin (platin) her birinin kendine özgü metal ihtiyaçları vardır.

Bu seçenekler, dünyanın yalnızca düşük karbon senaryoları altında metallere yönelik artan genel talebi karşılamaya değil, aynı zamanda teknolojiler arasındaki ve içindeki bu geniş seçenekler ekonomik ve teknik gelişmeler yoluyla daralmaya başladıkça tek tek metallere yönelik değişen talebi karşılamak için esnek olmaya hazır olması gerektiğini göstermektedir.

Karbon kısıtlı teknolojileri tedarik etmek için gereken kaynakların birçoğu kaynak zengini geliştirmekte olan ülkelerde öne çıksa da, nadir toprak metalleri de dahil olmak üzere kritik metallere ilişkin coğrafi veri düzeyinin birçok ülkede eksik olduğu da açıktır.

Geliştirmekte olan ülkeler (Brezilya, Şili, Çin ve Güney Afrika istisnalar arasındadır). İkinci olarak, geliştirmekte olan ülkelerde rezervler tespit edilmiş olsa bile, üretim seviyeleri zaman daha gelişmiş ülkelerdekinden (örneğin Avustralya) belirgin bir şekilde daha düşüktür. Ayrıca, kritik cevher yataklarının (Bolivya ve Demokratik Kongo Cumhuriyeti'ndeki lityum gibi) "rezerv" statüsüne sahip olmak için yeterince gelişmemiş olduğu bazı durumlar da vardır.

İleriye Doğru

Bu çalışma, düşük karbonlu bir gelecekte kaynaklanan gelecekteki metal eğilimlerini belirlemeye ve geliştirmekte olan ülkeler için beklentileri saptamaya yönelik nispeten küçük bir ilk adımdır.

Daha fazla araştırma veya inceleme yapılması gereken alanlar iki kategoriye ayrılabilir: politika ve teknoloji.

Politika ile ilgili araştırma alanları aşağıdakileri içerir:

- Gelecekteki çevresel ve maddi etki performansı için çıkarımlar. Karbon kısıtlı bir geleceğin emtia üzerindeki etkileri üzerine yapılan çalışmalar genellikle mevcut rezervlere odaklanmaktadır ve temiz teknoloji üretim senaryolarını tedarik etmek için malzemelere erişim ve kullanılabilirliğin göreceli düzeyi. Bununla birlikte, karbon kısıtlı bir gelecek için gerekli olan temiz teknolojilerin tedarik edilmesinin, madenlerin ve kaynakların sürdürülebilir kalkınması için yeni bir zorluk yaratabileceği konusunda da artan bir duyarlılık söz konusudur. Basitçe ifade etmek gerekirse, yeşil teknoloji geleceği maddi açıdan yoğundur ve uygun şekilde yönetilmediği takdirde, tedarikçi ülkelerin aşağıdaki hedeflerine ulaşma çabalarını ve politikalarını engelleyebilir. İklim ve ilgili Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri. Ayrıca yerel ekosistemler, su sistemleri ve topluluklar için potansiyel olarak önemli etkiler taşımaktadır. Kaynak zengini geliştirmekte olan ülkelerdeki ulusal ve sivil toplum düzeylerinde, madencilik-metaller ve iklim-çevre-temiz enerji bileşenleri arasında, önemli emtialar için potansiyel büyüyen bir pazarı sürdürülebilir bir gelecekle uyumlu hale getiren bir yol geliştirmek için bir diyalog gereklidir.
- Geliştirmekte olan ülkelerde madenlerin haritalanması. Başta Afrika olmak üzere birçok geliştirmekte olan ülke bölgesinde veri ve mineral haritalama konusunda önemli bir boşluk bulunmaktadır. ABD Jeoloji Bakanlığı Survey, emtia üretimi ve rezervleri hakkında kamuya en açık, sofistike ve güncel bilgileri sağlar, ancak birincil müşterisi doğal olarak ABD hükümetidir. Buna ek olarak, Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa Birliği ve Japonya, temiz enerji teknolojilerinin tedarikinde de rol oynayabilecek kritik ve nadir toprak metallerine erişimi ve bu metallerin mevcudiyetini takip eden ulusal olarak finanse edilen programlar oluşturmuştur. Geliştirmekte olan ülkelerin çoğunda böyle bir kurumsal kapasite bulunmamaktadır. Bu alandaki kapasite, kaynak zengini geliştirmekte olan ülkelerin kendi ülkelerindeki ekonomik büyümeden en iyi şekilde faydalanabilmeleri için kritik önem taşımaktadır.
- Arz kısıtlamaları ve talep modellerine dayalı olarak teknoloji seçiminin tahmin edilmesi. Yukarıda belgelendiği üzere, birçok teknoloji için potansiyel talebe ilişkin belirsizliğin büyük bir kısmı

Bölüm 4: Sonuç

metaller, teknolojiler arası olduğu kadar teknoloji içi tercihlerden de kaynaklanmaktadır. Bu tür tercihler için olası itici faktörlerden biri temel metal girdilerinin bulunabilirliği ve en önemlisi de maliyetidir. Arz kısıtlamalarının nerede olabileceğini ve fiyatların en çok nerede yükselebileceğini anlamak, bu tercihlerden bazılarının olası yönü hakkında bilgi vermeye yardımcı olabilir ve bu da talebi netleştirmeye yardımcı olabilir.

- Ağların geliştirilmesi ve farkındalığın artırılması. Bu analizin sonuçlarından biri, bu çalışmanın etkilerinin geleneksel madenlerin çok ötesine geçtiğinin farkına varılmasıdır ve metaller topluluğu. Aşağıdakiler gibi araştırma ve sosyal topluluklar arasında bağlantılar kurulmalı ve kolaylaştırılmalıdır
- İlgili gelişmekte olan ülke hükümetleri ve kaynak çıkarımını destekleyen programlar
- İklim değişikliği ve temiz enerji toplulukları ve araştırma kuruluşları.
- Kaynak geliştirme ve Sürdürülebilir Kalkınma araştırma kuruluşları
- Kritik metaller enstitüleri ve birlikleri
- Endüstriyel ekoloji akademik programları

Teknolojiyle ilgili araştırma alanları çoğunlukla gelecekteki temiz teknolojilerin kapsamının genişletilmesiyle ilgilidir. Ek A'da yer alan literatür taraması, düşük karbonlu gelecek için hayati önem taşıyan diğer temiz teknolojileri hafifçe kapsıyor olsa da, bu alanların her birinde daha detaylı araştırma yapılması kritik önem taşıyacaktır. Diğer teknoloji seçenekleri ve iletim modları (örneğin, merkezi olmayan şebekelerin altyapı etkileri) da Literatür Taramasına dahil edilmemiştir, ancak ele alınmalıdır. Kapsanacak alanlar aşağıdakileri içerebilir:

- Elektrik kabloları ve yüksek verimli elektrik motorları. Hem bakır hem de alüminyum uzun zamandır elektrik tellerinde ve elektrik motorlarında iletken olarak kullanılmaktadır. Alüminyumun yaygınlaşması dağıtılmış enerji üretimi ve elektriğe erişimin gelecekte daha fazla elektrik kablolanmasına yönelik talebi artırması muhtemeldir. Ancak, bu kablolama için talep artışı ve bakıra karşı alüminyum kablolanmanın pazar payı belirsizdir. Benzer şekilde, elektrik motorları için, çok sayıda çalışma bakır rotorlu ve statör motorlarının alüminyum rotorlu olanlardan verimli olduğunu göstermektedir (Kirtley et al. 2009; Waide and Brunner 2011). Yüksek verimli motorlara olan ihtiyaç arttıkça, motor uygulamaları için bakıra olan talep de buna bağlı olarak artabilir, ancak bu eğilime ilişkin nicel tahminler sınırlıdır.
- Araçların hafifletilmesi. Daha hafif araçlar yakıt açısından daha verimlidir. Bunları oluşturmak için alaşım karışımlarının değiştirilmesi, çeliğin alüminyumla değiştirilmesi veya araçlardaki metallerin değiştirilmesi gerekebilir. genel olarak karbon fiber ile. Bu ikameler metal talebini önemli ölçüde etkileyebilir.
- Enerji verimli teknolojiler ve binalar. Düşük karbon geçişinin büyük bir kısmı, aşağıdakiler de dahil olmak üzere enerji verimliliği önlemlerinin uygulanmasıyla sağlanacaktır yeni teknolojiler. Bu tür teknolojilerin metal ayak izi önemli olabilir, ancak ışık yayan diyot (LED) aydınlatma üzerine yapılan bazı çalışmalar dışında bu alanda çok az veri vardır veya hiç yoktur.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

- › İletim ve dağıtım, enerji sisteminin hayati bir parçasıdır ve metal talebinin önemli bir kaynağıdır. Gelecekteki iletim ve dağıtım sistemleri de muhtemelen özellikle de dağıtılmış yenilenebilir üretimin önemli ölçüde artması durumunda, bugünkünden farklı görünecektir. Elektrik şebekelerinin metal yoğunluğuna ilişkin literatür çok sınırlıdır ve şebekelere gelecekte yapılacak yatırımların kapsamına ilişkin çok az senaryo mevcuttur. Bu alanda daha fazla araştırma yapılması son derece faydalı olacaktır.
- › Geleneksel ve yeni nesil fosil yakıt tesislerinin ve nükleer tesislerin metal yoğunluğu. Literatürün büyük bir kısmı yenilenebilir teknolojilerin metal yoğunluğuna odaklanmaktadır. Ancak, düşük karbon ekonomisine geçişin etkilerinin tam olarak anlaşılabilmesi için güvenilir bir temel oluşturulması gerekmektedir. Fosil yakıt üretim teknolojilerinin mevcut ve potansiyel metal ayak izini inceleyen literatür yetersizdir. Nükleer santrallerin de dahil edilmesi, bu alanda mevcut olan karmaşık teknolojik seçenekler nedeniyle tabloyu daha da karmaşık hale getirmektedir. Karbon yakalama ve depolamanın potansiyel metal yoğunluğu, ticari olarak faaliyet gösteren tesislerin eksikliği nedeniyle daha da karmaşık bir katman oluşturmaktadır. Enerji endüstrisinin mevcut metal ayak izinin ve olağan bir metal ayak izinin nelerden oluşabileceğinin iyi bir şekilde anlaşılması için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.
- › Metal arzı ve metal aileleri. Bazı kritik metallerin mevcudiyeti ve maliyeti, boksit ya da diğer metaller gibi cevherlerde bulunan ikincil metaller olmaları nedeniyle karmaşıktır. Birincil metalin ana ekonomik değeri oluşturduğu bakır. Örneğin, indiyum ve germanyum gibi nadir toprak metalleri çinko üretimine bağlıdır ve sonuç olarak bu üç metal için arz ve talep dengesi birbirine karışmıştır. Kısacası, yan ürünlere yönelik talep ana metale yönelik talebi nasıl yönlendirecektir?
- › Nadir toprak metalleri ile olarak, hem bu ürünler için ayrıştırma kapasitesi (nadir toprak metalleri tipik olarak ekonomik veya fiziksel olarak ayrı cevherler olarak elde edilebilir, ancak yukarıda çinko için belirtildiği gibi genellikle diğer baz metallerle iç içe geçmiştir) ve jeolojik konumları. Halihazırda, başta Afrika olmak üzere gelişmekte olan dünyanın kilit bölgelerindeki mevcut nadir toprak elementlerinin çok az haritalaması yapılmıştır.
- › Geri dönüşüm oranı. Ömrünü tamamlamış ürünlerden elde edilen metallerin geri dönüşümü, bu metallerin gelecekte kullanılabilirliğini artırabilir, ancak hem mevcut hem de gelecekteki metal geri dönüşüm oranlarına ilişkin veriler genellikle zayıftır. Enerji sektöründeki metal kritikliğinin bu analizini iletirmek için, mevcut ve gelecekteki geri dönüşüm oranlarına ilişkin veriler geliştirilmelidir.

Notlar

1. Bir hatırlatma olarak, bu çalışmanın amaçları doğrultusunda, bu rapor Paris Anlaşması'nın hedeflerine ulaşılmasına yönelik gerçek beklentileri değerlendirmemektedir. Dünya Bankası politikası, 2°C veya daha fazla sıcaklık artışından kaçınılması gerektiği konusunda nettir ve bu çalışma bu rehberlik doğrultusunda ilerlemektedir.

Ek A. Literatür Taraması

İki tür çalışma, gelecekteki düşük karbon ekonomisinde metallere olan talebi değerlendirmektedir. Bunlardan ilki enerji sisteminin dönüştürülmesine odaklanmakta ve çok çeşitli düşük karbonlu enerji teknolojileri için metal talebini ve arz kaynaklarını incelemektedir. Bu çalışmalar ya bölgesel ya da küresel ölçeğe odaklanmaktadır. İkinci literatür kategorisi, bireysel düşük karbonlu enerji teknolojilerini daha ayrıntılı olarak incelemektedir. Bu çalışmalar farklı seçeneklerin ana hatlarını çizmektedir. Her bir düşük karbonlu enerji teknolojisinin tasarlanması ve her bir seçenek için metal etkilerinin tartışılması. Bu iki tür çalışma, hem yenilenebilir ve diğer enerji üreten teknolojileri hem de aydınlatma, araçlar ve motorlar gibi enerji kullanan teknolojileri incelemektedir.

Sistem Geneline Yaklaşım

ABD Enerji Bakanlığı (2011), nadir toprak metallerinin ve diğer malzemelerin 2025 yılı için ABD ekonomisinde düşük karbonlu enerji alanındaki rolünü incelemektedir. Rapor, rüzgar, güneş fotovoltaikleri (PV), elektrikli araçlar ve aydınlatma dahil olmak üzere bir dizi düşük karbon teknolojisine odaklanmakta ve bu teknolojilerin üretiminin beş nadir toprak metalinin (disprosyum, neodim, terbiyum, europium ve itriyum) kısa vadeli tedarik zorlukları nedeniyle kesintiye uğrayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu metaller rüzgar türbinleri ve elektrikli araçlardaki mıknatısların ve enerji tasarruflu aydınlatmadaki fosforların üretimi için kritik öneme sahiptir.

Avrupa Birliği'ndeki benzer çalışmalar, abiyotik ve biyotik malzemeler (Avrupa Komisyonu 2014) ve Avrupa Birliği'nin 2020 yılına kadar Stratejik Enerji Teknolojisi Planını karşılamada kritik metaller için potansiyel tedarik darboğazlarını incelemektedir (Moss . 2011; Moss vd. 2013). Moss ve diğerleri (2011) rüzgar, güneş PV ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP), karbon yakalama ve depolama, nükleer fisyon, biyoenerji teknolojileri ve güncellenmiş bir elektrik şebekesi üretmek için malzeme gereksinimlerini incelemektedir. Çalışmada beş metalin sıralandığı tespit edilmiştir "tellür, indiyum, galyum, neodimyum ve disprosyum. Takip eden çalışma (Moss ve ark. 2013) yakıt hücreleri, elektrik depolama, elektrikli araçlar ve aydınlatma dahil olmak üzere diğer teknolojileri incelemektedir. Sekiz metal tespit edilmiştir

Bu teknolojiler için kritik öneme sahip olanlar: disprosyum, europium, terbiyum, itriyum, praseodim, neodim, galyum ve tellür.

Grandell ve diğerleri (2016) tarafından yapılan kapsamlı bir çalışma, 2050 yılına kadar düşük karbon ekonomisine küresel geçişte darboğazlar arayan rüzgar, güneş, yakıt hücreleri, piller, elektroliz, hidrojen depolama, elektrikli araçlar ve enerji verimli aydınlatma dahil olmak üzere bir dizi teknolojiyi incelemektedir. Küresel bir enerji modeli kullanan yazarlar, gümüşün özellikle kritik öneme sahip olduğunu tespit etmişlerdir ve daha az ölçüde tellür, indiyum ve disprosyum. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin yenilenebilir enerji senaryolarının, özellikle güneş PV ve CSP için kritik nadir toprak metallerindeki potansiyel kıtlıkları dikkate almadıkları için eksik olduğu sonucuna varmışlardır.

Dawkins ve diğerleri (2012) tarafından hazırlanan bir rapor, düşük karbon teknolojilerinde beş temel metalin (kobalt, lityum, neodimyum, indiyum ve tellür) kullanımını incelemiştir. Uluslararası Enerji Ajansı ve Dünya Ekonomik Forumu'nun senaryolarını kullanarak, güneş PV'sinin

Endüstrinin metal kıtlığından etkilenme olasılığı en yüksek olup, indiyum ve tellür için ciddi, neodimyum için orta ve kobalt ve lityum için sınırlı kümülatif arz açığı riskleri bulunmaktadır.

Speirs, Gross ve diğerleri (2014), düşük karbon geçişinde kritik metallerin gelecekteki talebi ve arzına ilişkin kanıtları incelemek için bir dizi modelleme çalışmasını gözden geçirmiştir. Araştırmalarını, ince film PV, ışık yayan diyot (LED) aydınlatma, lityum-iyon piller, hidrojen yakıt hücreleri, elektrikli araçlar, CSP, nükleer ve rüzgar türbinleri gibi kilit teknolojilerde kullanılan kobalt, galyum, germanyum, indiyum, lityum, platin grubu metaller, nadir toprak metalleri, selenyum, gümüş ve tellür üzerine odaklıyorlar. İncelemelerinden, bu kritik metallere olan talebin önemli ölçüde artmasının beklendiği sonucuna varmışlardır; çok az kanıt vardır. Kaynak sıkıntısının bugün üretim artışını etkilediğini ya da kısa vadede etkileyeceğini söylemek mümkün değildir, ancak katlanarak artan üretim hızları sonsuza kadar devam edemez. Bazı kritik metallerin bulunabilirliği ve maliyeti, birincil metalin ana ekonomik değeri oluşturduğu boksit veya bakır gibi cevherlerde bulunan ikincil metaller olmaları nedeniyle karmaşıktır. Ömrünü tamamlamış ürünlerden elde edilen kritik metallerin geri dönüşümü gelecekteki mevcudiyete yardımcı olabilir, ancak tüm talebi karşılamak için yeterli olması olası değildir.

Teknolojiye Özel Çalışmalar

Bu bölümde, temel enerji tedarik ve enerji kullanım teknolojilerinin metal ayak izlerini araştıran çalışmalar incelenmektedir. Birçok türde yenilenebilir elektrik üretim teknolojisi kullanılabilir. Her biri farklı bir olgunluk aşamasındadır. Bununla birlikte, yenilenebilir elektrik üretiminde metallerin kullanımına ilişkin literatür ağırlıklı olarak iki teknolojiye odaklanmıştır: rüzgar ve güneş enerjisi. Hidroelektrik, jeotermal, dalga ve gelgit enerjisi, biyoyakıtlar ve hidrojen yakıt hücreleri gibi diğer birçok yenilenebilir seçenek mevcuttur; ancak, bu teknolojiler yukarıda tartışılan sistem genelindeki literatürün çoğunda ele alınmış olmasına rağmen, teknolojiye özgü literatür eksikliği vardır. Literatürde, gelecekteki enerji sistemlerinde bu teknolojileri üretmek için metal tedariki konusunda beklenen herhangi bir sorun olmadığı konusunda bir mutabakat vardır.

Rüzgar

Rüzgar enerjisi, elektrik jeneratörlerini çalıştıran rüzgar türbinlerinin döndürülmesiyle elektrik enerjisine dönüştürülür. Wilburn (2011), 2030 yılına kadar ABD elektrik talebinin yüzde 20'sinin rüzgârdan karşılanması için 1,5 milyon metrik ton çelik, 310.000 metrik ton dökme demir, 40.000 metrik ton bakır ve 380 metrik ton neodimyum gerekeceğini tahmin etmektedir, ancak yalnızca neodimyum arzı sorun olabilir.

Avrupa Birliği'nde yenilenebilir enerji teknolojileri için çeşitli metallerin kritikliğini araştıran Öhrlund (2012), rüzgar ve güneş enerjisinin yaygın olarak kullanılmasının sekiz metale olan talebi önemli ölçüde artırabileceğini tespit etmiştir: galyum, indiyum, selenyum, tellür, disprosyum, neodim, praseodim ve terbiyum. Bu metallere yönelik talep neredeyse tamamen işlenmemiş hammadde çıkarımı ile karşılanacaktır.

Rüzgar türbini üretimi için gerekli metaller için Tablo A.1'e bakınız.

Ek A: Literatür Taraması

TABLO A.1 Rüzgar Türbini İmalatında Kullanılan Metaller

Metal	Tahmin aralığı (kilogram/megawatt)	Notlar
Alüminyum (Al)	Bilinmiyor	-
Bor (B)	0.8-7.0	Düşük tahmin yüksek-orta hızlı türbinler içindir; yüksek tahmin ise düşük hızlı türbinler içindir.
Krom (Cr)	789-902	-
Bakır (Cu)	1,140-3,000	-
Disprosiyum (Dy)	2.8-25.0	Düşük tahmin yüksek-orta hızlı türbinler içindir; yüksek tahmin ise düşük hızlı türbinler içindir.
Demir (mıknatıs içinde)	52-455	Düşük tahmin yüksek-orta hızlı türbinler içindir; yüksek tahmin ise düşük hızlı türbinler içindir.
Demir (döküm)	20,000-23,900	-
Kurşun (Pb)	Bilinmiyor	-
Manganez (Mn)	32.5-80.5	-
Molibden (Mo)	116-136	-
Neodimyum (Nd)	0-186	Düşük tahmin mevcut nesil kara türbinleri içindir; yüksek tahmin ise doğrudan tahrikli ve hibrit tahrikli türbinlerin 2025 karışımı içindir.
Nikel (Ni)	557-663	-
Praseodim (Pr)	4-35	Düşük tahmin yüksek-orta hızlı türbinler içindir; yüksek tahmin düşük hızlı türbinler içindir
Çelik	103,000-115,000	-
Terbiyum (Tb)	0.8-7.0	Düşük tahmin yüksek-orta hızlı türbinler içindir; yüksek tahmin düşük hızlı türbinler içindir
Çinko (Zn)	5,150-5,750	Mühendislik çeliğini galvanizlemek için kullanılan çinko miktarına göre tahmin edilmiştir.

Güneş Fotovoltaikleri

Solar PV, yarı iletken malzemeler kullanarak ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Candelise, Speirs ve Gross (2011) tellür ve indiyumun sınırlı bulunabilirliği nedeniyle ince film PV üretiminde gelecekte yaşanabilecek potansiyel kısıtlamalara ilişkin kanıtları incelemektedir. Yazarlar, her iki malzemenin tedarikinin üretimi kısıtlayabileceğine dair çok az kanıt bulmalarına rağmen, PV için gelecekteki maliyet düşüşlerini kısıtlayabileceği sonucuna varmışlardır. Bu bulgu, bir sistem dinamiği modeli kullanarak, ince film PV'nin maksimum büyümesinin, Andersson (2000) gibi önceki çalışmalarda tahmin edilenden daha az tellür mevcudiyeti ile kısıtlandığını bulan Houari ve diğerleri (2014) tarafından desteklenmektedir.

PV'nin büyük ölçekli üretim potansiyeli ve bu üretim için metal gereksinimleri Keshner ve Arya (2004) tarafından tahmin edilmiştir. Wadia, Alivisatos ve Kammen (2009), metal mevcudiyetinin PV üretimini sınırlayabileceği ihtimaline karşılık olarak 23 potansiyel yarı iletken malzeme için çıkarma maliyetlerini ve tedarik kısıtlamalarını incelemiş ve bunlar arasında malzeme çıkarma maliyetlerinde büyük farklılıklar bulmuştur.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

Fthenakis (2009), ince film PV üretiminde kullanılan minör metallerin arzının yıllık baz metal üretimi ile kısıtlanabileceğini, ancak bunun yenilenebilir enerji yayılımı için en agresif senaryoları durdurma olasılığının düşük olduğunu vurgulamaktadır. Birincil üretim sırasında gelişmiş geri kazanım, kullanım ömrü sonunda modüllerin geri dönüşümü ve yarı iletken katmanların kalınlığının azaltılmasının talepteki artışları hafifletmesi beklenmektedir.

Solar PV için gerekli metaller için Tablo A.2'ye bakınız.

TABLO A.2 Güneş Fotovoltaik Tesislerinde Kullanılan Metaller

Metal	Tahmin aralığı (kilogram/megawatt)	Notlar
Alüminyum (Al)	102	-
Bor (B)	0.0008	-
Kadmiyum (Cd)	0.93-83.51	Düşük tahmin CIGS güneş pilleri içindir; yüksek tahmin CdTe fotovoltaikler içindir.
Bakır (Cu)	16.97-2194.1	Düşük tahmin CIGS güneş pilleri içindir; yüksek tahmin ise yüzde 80 c-Si, yüzde 10 a-Si, yüzde 5 CdTe, yüzde 5 CIGS karışımı içindir.
Galyum (Ga)	0.12-6.17	Aralık CIGS içindir ancak iki farklı kaynaktan alınmıştır.
Germanyum (Ge)	Bilinmiyor	-
İndiyum (In)	4.5-83.79	Aralık CIGS içindir ancak iki farklı kaynaktan alınmıştır.
Kurşun (Pb)	72.38-269.3	Düşük tahmin c-Si içindir; yüksek tahmin ise yüzde 80 c-Si, yüzde 10 a-Si, yüzde 5 CdTe, yüzde 5 CIGS karışımı içindir.
Molibden (Mo)	0-bilinmiyor	İnce film teknolojileri kısmen veya tamamen molibdenden oluşan bir arka elektrot kullanılabilir. Kurulu kapasite birimi başına molibden kullanımına ilişkin bilgiler sınırlıdır.
Nikel (Ni)	Bilinmiyor	-
Selenyum (Se)	0.5-84.41	Aralık CIGS içindir ancak iki farklı kaynaktan alınmıştır.
Silisyum (Si)	0-18.4	Düşük tahmin c-Si içindir; yüksek tahmin a-Si içindir.
Gümüş (Ag)	5.17-19.2	-
Çelik	Bilinmiyor	Güneş paneli yapıları için kullanılır.
Tellür (Te)	4.7-90.38	Düşük tahmin CIGS için; yüksek tahmin CdTe içindir.
Kalay (Sn)	5.95-463.1	Düşük tahmin CIGS içindir; yüksek tahmin ise yüzde 80 c-Si, yüzde 10 a-Si, yüzde 5 CdTe, yüzde 5 CIGS karışımı içindir.
Çinko (Zn)	29.99	-

Kaynaklar: Veriler temel olarak Moss ve diğerleri (2011) ve Ohrlund'dan 2012) alınmıştır.

Not: a-Si = amorf silikon; CdTe = kadmiyum tellür; CIGS = bakır indiyum galyum selenid; c-Si = kristal silikon.

TABLO A.3 Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (CSP) Tesislerinde Kullanılan Metaller

Metal	Tahmin aralığı (kilogram/megawatt)	Notlar
Alüminyum (Al)	Bilinmiyor	CSP yapıları için kullanılır.
Gümüş (Ag)	3.75-13.75	Alt tahminler parabolik oluklar içindir; üst uç ise Fresnel yansıtıcılar içindir.
Çelik	Bilinmiyor	CSP yapıları için kullanılır.

Kaynak: Veriler esas olarak Moss ve diğerlerinden (2011) alınmıştır.

Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi

CSP, teknolojinin göreceli basitliği nedeniyle PVden çok daha küçük bir metal yelpazesi kullanır. Işık, bir çalışma sıvısını ısıtmak için reflektörlerle küçük bir alana yoğunlaştırılır ve bu sıvı daha sonra bir elektrik jeneratörünü çalıştırmak üzere buhar üretmek için kullanılır. Bu teknoloji hem Grandell ve diğerleri (2016) hem de Moss, Gross ve diğerleri (2011) tarafından sistem çapında bir yaklaşımla ele alınmıştır; her iki çalışma da CSP'deki yansıtıcı aynalarda gümüşün kritik kullanımını vurgulamaktadır. CSP için gerekli metaller için Tablo A.3'e bakınız.

Karbon Yakalama ve Depolama

Kleijn ve diğerleri (2011) karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojilerinin düşük karbonlu bir enerji sistemini daha metal yoğun hale getirdiğini vurgulamaktadır. Her iki teknoloji için de CCS'nin Gaz ve kömürle çalışan elektrik santralleri, geleneksel üretime göre önemli ölçüde daha fazla metal yoğunluğuna sahiptir ve önemli CCS kapasitesine sahip düşük karbon bazlı bir elektrik üretim sistemine geçiş yapmak için mevcut madencilik faaliyetlerinde önemli bir genişleme gerekecektir. CCS için gerekli metaller için Tablo A.4'e bakınız.

Nükleer Elektrik Üretimi

Peterson ve diğerleri (2005) çeşitli nükleer santral tasarımları için çelik ve beton girdilerinin ölçeğini incelemiştir. Son zamanlarda inşa edilen tesislerin 1970'lerdeki tasarımlara kıyasla çelik ve beton girdilerinde önemli artışlar göstermesine rağmen, yeni nesil reaktörlerin hem 1970'lerdeki tasarımlara hem de mevcut tasarımlara kıyasla çelik ve beton yoğunluğunda önemli azalmalar gösterdiğini bulmuşlardır. Nükleer üretim için gerekli metaller için Tablo A.5'e bakınız.

LED Aydınlatma

Wilburn (2012) ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu adına LED üretiminin nadir toprak metallerine ve daha yaygın metallerin madenciliğinin yan ürünü olan metallere bağımlılığını inceleyen bir rapor hazırlamıştır. Raporda arsenik, galyum, indiyum ve nadir toprak metalleri seryum, europium, gadolinium, lanthanum, terbium ve yttrium'un LED için yarı iletken üretiminde çok önemli olduğu belirtilmektedir. Bu metallerin üretiminin çoğu şu anda Çin'de yapıldığından ve LED'lerin geri dönüşümü çok az olduğundan veya hiç olmadığından, potansiyel

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

TABLO A.4 Karbon Yakalama ve Depolama Tesislerinde Kullanılan Metaller

Metal	Tahmin aralığı (kilogram/megawatt)	Notlar
Alüminyum (Al)	Bilinmiyor	-
Krom (Cr)	326	-
Kobalt (Co)	7.5	-
Bakır (Cu)	692	-
Manganez (Mn)	3,761	-
Molibden (Mo)	7.5	-
Nikel (Ni)	1,145	-
Niobyum (Nb)	100	-
Çelik	Bilinmiyor	Çelik, karbon yakalama ve depolama için yapılar ve boru hatları inşa etmek için kullanılır.
Vanadyum (V)	100	-

Kaynak: Veriler esas olarak Moss ve diğerlerinden (2011) alınmıştır.

TABLO A.5 Nükleer Elektrik Üretim Tesislerinde Kullanılan Metaller

Metal	Tahmin aralığı (kilogram/megawatt)	Notlar
Kadmiyum (Cd)	0.5	-
Krom (Cr)	427	-
Kobalt (Co)	0	-
Bakır (Cu)	59.6	-
Hafniyum (Hf)	0.5	Reaktör kontrol çubuklarında kullanılır.
İndiyum (In)	1.6	Reaktör kontrol çubuklarında kullanılır.
Kurşun (Pb)	4.3	-
Molibden (Mo)	20-71	Daha düşük değer küçük modüler reaktörler içindir.
Nikel (Ni)	256	-
Niobyum (Nb)	2	-
Gümüş (Ag)	8.3	-
Çelik	Bilinmiyor	-
Kalay (Sn)	4.6	-
Titanyum (Ti)	1.5	-
Tungsten (W)	5	-
Vanadyum (V)	0.6	-
İtiryum (Y)	0.5	-
Zirkonyum (Zr)	30.5	-

Kaynak: Veriler esas olarak Moss ve diğerlerinden (2011) alınmıştır.

TABLO A.6 LED Üretiminde Kullanılan Metaller

Metal	Tahmin aralığı (miligram/100 kandela)	Notlar
Alüminyum (Al)	0.026	-
Antimon (Sb)	0.008	-
Seryum (Ce)	Bilinmiyor	-
Krom (Cr)	0.020	-
Bakır (Cu)	0.010	-
Europium (Eu)	Bilinmiyor	-
Galyum (Ga)	0.001	-
Altın (Au)	0.036	-
İndiyum (In)	Bilinmiyor	-
Demir (Fe)	95.52	-
Lantan (La)	Bilinmiyor	-
Kurşun (Pb)	Bilinmiyor	-
Molibden (Mo)	Bilinmiyor	Safir alt tabaka yapmak için potalarda ve LED çiplerinin ısı emicisinde kullanılır.
Nikel (Ni)	1.253	-
Gümüş (Ag)	0.160	-
Terbiyum (Tb)	Bilinmiyor	-
İtriyum (Y)	Bilinmiyor	-
Çinko (Zn)	0.015	-

Kaynaklar: Veriler temel olarak Lim ve diğerleri (2011) ve Wilburn'den (2012) alınmıştır.

Not: LED = ışık yayan diyot. Bu tablodaki değerler LED çipi ve fosfor, ancak LED ampulün içinde bulunabilecek diğer elektronik parçaların değerlerini içermez.

LED üretimini kolaylaştıracak malzemelerin tedarikinde Çin'e olan kısa vadeli bağımlılık için. LED aydınlatma için gerekli metaller için Tablo A.6'ya bakınız.

Hibrit ve Elektrikli Araçlar

Çeşitli hibrit ve elektrikli araç türleri gelecekteki ulaşım sistemlerinde baskın hale gelebilir. Bunlar arasında mikro hibritler, tam hibritler, plug-in hibritler, elektrikli araçlar ve yakıt hücreli araçlar bulunmaktadır. Elektrikli araçların metal içeriğine ilişkin araştırmaların çoğu yukarıda incelenen sistem genelindeki çalışmalara dahildir. Sullivan, Kelly ve Elgowainy (2015) bir plug-in hibrit, bir yakıt hücreli araç ve bir içten yanmalı motor için güç aktarma organlarının malzeme bileşimini tahmin etmiş ve yakıt hücreli araçların daha az

metal içeriği plug-in hibritlere göre daha azdır ve bu da standart içten yanmalı motorlara göre daha az metal kullanır. Bu araçlar, tam hibrit, plug-in hibrit ve tam elektrikli araçlarda tahrik işlevselliği sağlayan lityum veya nikel bazlı bataryalar ile bir dizi batarya teknolojisi kullanılabilir.

Mikro hibritler de özellikle Avrupa'da yaygın olarak kullanılmakta ve start-stop işlevi sağlamak ve rejeneratif frenlemeden enerji depolamak için kurşun aküler kullanılmaktadır. Tam hibritler, plug-in hibritler ve tam elektrikli araçların hepsi de araç elektroniğine (örneğin, güvenlik ve konfor özellikleri) güç sağlamak için kurşun akü kullanılmaktadır.

Gruber ve diğerleri (2011) kritik bir metal olan lityuma odaklanmakta ve 2100 yılına kadar gelecekteki arz ve talebi tahmin etmektedir. Elektrikli araçlardaki bataryalar için lityum talebine odaklanmakta ve küresel bir elektrikli araç filosunun oluşturulmasının etkisini incelemektedirler. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin büyüme senaryoları ve projeksiyonlarından elde edilen verileri kullanarak Credit Suisse'in piyasa penetrasyon tahminlerini dikkate alarak, lityum pillere yönelik araç dışı talep de hesaba katıldığında, belirlenen rezervlerin yüzyılın sonuna kadar gelecekteki karşılamak için yeterli olduğu sonucuna varmışlardır. Daha sonraki bir çalışmada Speirs ve diğerleri (2014) benzer bir analiz yaparak malzeme yoğunluğu, pazar büyüklüğü ve pazar payına ilişkin belirsizliğe dayalı olarak hem talep hem de arz tahminlerinin geniş bir yelpazede yer aldığını vurgulamaktadır. Yazarlar şu sonuca varmaktadır lityum talebinin 2050 yılına kadar hızla artacağını, ancak mevcut rezervlerin talebi karşılamak için yeterli belirtmiştir.

Kurşun, lityum ve nikel akülerde kullanılan malzemelerin mevcudiyetine ilişkin olarak EUROBAT ve diğerleri (2014) akü teknolojilerinde kullanılan malzemelerin uzun vadeli mevcudiyetine ilişkin bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışma, mevcut veya gelecekteki kaynakların Kurşun ve nikel bazlı akülerin üretiminde kullanılan malzemelerin bulunabilirliği ile ilgili sorunlar. Yüksek kullanım ömrü sonu geri dönüşüm oranları (Avrupa ve Kuzey Amerika'da yüzde 99) ve kurşun akülerin yüksek geri dönüşümlü içeriği (yüzde 85'ten fazla) kurşun için bu sonucu doğrulamaktadır. Rapor, düşük kullanım ömrü sonu geri dönüşümü nedeniyle lityum iyon piller gibi pil teknolojileri için gelecekte kaynak bulunabilirliği ile ilgili bazı sorunları vurgulamaktadır.

Elektrikli araç üretimi için gerekli metaller için Tablo A.7'ye bakınız.

Enerji Depolama Bataryaları

Bataryalar sadece elektrikli araçlar için değil, aynı zamanda mobil elektronik cihazlarda (cep telefonları ve dizüstü bilgisayarlar) ve güneş enerjisi ve rüzgar gibi merkezi olmayan, kesintili düşük karbonlu üretim teknolojileriyle üretilen elektrik için merkezi olmayan enerji depolamada da elektrik enerjisini depolamak için kullanılmaktadır.¹ Bir dizi batarya kimyası mevcut olmasına rağmen, bu inceleme lityum iyon bataryalara odaklanmaktadır çünkü otomobiller, mobil elektronik cihazlar ve küçük evsel enerji depolama tesisleriyle ilgili boyutlarda enerji depolama pazarında önemli bir oyuncu olmaları muhtemeldir (Kempener ve Borden 2015). Ancak, kurşun, nikel ve akış pilleri gibi daha yeni piller de dahil olmak üzere bir dizi pil teknolojisinin kullanılması beklenebilir. Lityum-iyon bataryalarda kullanılan metaller için Tablo A.8'e bakınız.

TABLO A.7 Elektrikli Araç Üretiminde Kullanılan Metaller

Metal	Tahmin aralığı (kilogram/araç)	Notlar
Bor (B)	0.01-0.09	-
Seryum (Ce)	0-1.03	-
Kobalt (Co)	0-13.91	Düşük tahmin hibrit elektrikli araçlar içindir; yüksek tahmin bataryalı elektrikli araçlar içindir (70 kilowatt motor).
Bakır (Cu)	0-71.08	-
Disprosiyum (Dy)	0.0005-0.43	-
Galyum (Ga)	0.004-0.001	-
Germanyum (Ge)	0.00003-0.00005	-
Altın (Au)	0.00016-0.0002	-
İndiyum (In)	0.00003-0.00005	-
Lantan (La)	0-1.16	-
Kurşun (Pd)	8-12	Elektrikli araçlarda kullanım için alt tahmin; mikro hibritler için üst tahmin.
Lityum (Li)	0.09-12.7	Düşük tahmin hibrit elektrikli araçlar içindir; yüksek tahmin ise bataryalı elektrikli araçlar içindir.
Manganez (Mn)	0-91.5	Düşük tahmin düşük yoğunluklu bataryalı elektrikli araçlar içindir; yüksek tahmin yüksek yoğunluklu bataryalı elektrikli araçlar içindir.
Neodimyum (Nd)	0.0062-2.91	Düşük tahmin bataryalı elektrikli araçlar içindir; yüksek tahmin ise yakıt hücresi 90 kilowatt motorlu araç içindir.
Nikel (Ni)	0-46.5	Düşük tahmin hibrit elektrikli araç içindir; yüksek tahmin lityum-iyon bataryalı tamamen elektrikli araç içindir.
Paladyum (Pd)	0.00064-0.0008	-
Praseodim (Pr)	0-0.08	-
Samaryum (Sm)	0-0.08	-
Gümüş (Ag)	0.005-0.007	-
Terbiyum (Tb)	0.009-0.021	-
Titanyum (Ti)	0-38.78	-

Not: Bu değerlere araç yapısında, elektronik aksamda, motorlarda ve aküde kullanılan metaller dahildir.

TABLO A.8 Lityum-İyon Pillerde Kullanılan Metaller

Metal	Tahmin aralığı (kilogram/kilowatt-saat enerji depolama)	Notlar
Alüminyum (Al)	0-0.05	-
Kobalt (Co)	0.2-0.25	-
Demir (Fe)	0-1.2	-
Lityum (Li)	0.1-0.4	Lityum-sülfür teknolojisi en yüksek lityum kullanımına sahipken, lityum-hava en düşük kullanıma sahiptir.
Manganez (Mn)	0-0.4	-
Nikel (Ni)	0-0.4	-

Kaynak: Simon, Ziemann ve Weil 2015.

Gaz Türbinli Elektrik Üretimi

Gaz türbini verimliliğindeki gelişmeler daha yüksek sıcaklıkta buhar gerektirmekte, bu da türbinin bu yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi için metal gereksinimlerini değiştirecektir. Moss ve diğerleri (2013) gelişmiş ultra-süper kritik tasarımların kullanımıyla artan verimliliğin nikel bazlı alaşımlara olan talebi artıracaklarını tahmin etmektedir. Tablo A.9, yalnızca türbinin nikel bazlı bileşenleri için metal gereksinimlerine ilişkin tahminlerini göstermektedir. Ne yazık ki, mevcut en iyi teknolojinin türbin bileşimi için karşılaştırılabilir veriler mevcut değildir. Moss ve diğerleri (2013) ayrıca Tablo A.10'da görüldüğü gibi tesisin bakiyesinin metal içeriğini tahmin etmek için yaşam döngüsü analizi verilerini kullanmaktadır.

TABLO A.9 Gelişmiş Ultra-Süperkritik Gaz Yakıtlı Türbinin Nikel Bazlı Bileşenlerinde Kullanılan Metaller

Metal	Gelişmiş ultra-süperkritik santraller (kilogram/megawatt)	Notlar
Alüminyum (Al)	0	-
Krom (Cr)	26.25	-
Kobalt (Co)	13.96	-
Demir (Fe)	2.38	-
Manganez (Mn)	0.88	-
Molibden (Mo)	10	-
Nikel (Ni)	64.79	-
Titanyum (Ti)	1.42	-

Kaynak: Moss ve ark. 2013.

TABLO A.10 Kombine Çevrim Gaz Türbinli Elektrik Santralinde Kullanılan Metaller

Metal	Mevcut en iyi teknoloji (kilogram/megawatt)	Gelişmiş ultra-süperkritik tesisler (kilogram/megawatt)	Notlar
Alüminyum (Al)	1,100	1,100	Tesisin bakiyesi için metal talebinin şu şekilde olduğunu varsayar mevcut en iyi teknoloji ve gelişmiş ultra süper kritik teknoloji için benzerdir.
Krom (Cr)	2.44	2.44	
Kobalt (Co)	1.8	1.8	
Bakır (Cu)	1,100	1,100	
Nikel (Ni)	15.75	15.75	
Çelik (Krom)	4,500	4,500	

Kaynak: Moss ve ark. 2013.

TABLO A.11 Mevcut ve Gelecekteki Gelişmiş Ultra Süperkritik Kömür Yakıtlı Enerji Santrallerinin Kazanlarında ve Boru Tesisatında Kullanılan Metaller

Metal	Mevcut tahmin (kilogram/ megawatt)	Gelişmiş ultra-süperkritik santraller için tahmin (kilogram/megawatt)	Şunlar için geçerlidir	Notlar
Krom (Cr)	111.25	281.25	Kazanlar ve boru tesisatı	-
Kobalt (Co)	0	187.5	Kazanlar ve boru tesisatı	-
Demir (Fe)	1,091.25	0	Kazanlar ve boru tesisatı	-
Manganez (Mn)	6.25	3.75	Kazanlar ve boru tesisatı	-
Molibden (Mo)	5	56.25	Kazanlar ve boru tesisatı	-
Nikel (Ni)	2.5	656.25	Kazanlar ve boru tesisatı	-
Niyobyum (Nb)	0.75	9.38	Kazanlar ve boru tesisatı	-
Titanyum (Ti)	0	21.56	Kazanlar ve boru tesisatı	-
Tungsten (W)	18.75	0	Kazanlar ve boru tesisatı	-
Vanadyum	2.5	0	Kazanlar ve boru tesisatı	-

Kaynak: Moss ve ark. 2013.

Temiz Kömür Yakıtlı Elektrik Üretimi

Gaz yakıtlı elektrik üretiminde gibi, daha verimli kömür yakıtlı elektrik santrali tasarımlarının, tablo A.11'de gösterildiği gibi krom, kobalt, molibden, titanyum ve özellikle nikel açısından daha metal yoğun olması muhtemeldir. Bu metaller, mevcut tasarımlara kıyasla daha yüksek sıcaklıklara ve daha korozif ortamlara dayanıklı bileşenler inşa etmek için önemlidir.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

İncelenecek Teknoloji ve Metallere İlişkin Sonuçlar

Bu literatür taramasının amacı, bu projede incelenecek enerji teknolojileri ve metallerin listesini oluşturmaktır. Tablo A.12, bu literatür taramasının önemli olarak tanımladığı enerji teknolojilerini listelemektedir.

Proje teklifinde yer ilk listedeki enerji üretim teknolojileri için güvenilir veriler bulunmuştur: rüzgar, güneş PV, CSP, nükleer elektrik üretimi ve CCS. Bu teknolojilerin her biri için metal kullanım aralıkları, her kategorideki farklı teknoloji seçenekleri iyi kanıtlar sağlamaktadır.² Birleşik ısı ve güç teknolojisi için mevcut veriler, metal kullanımının günümüz sistemlerinden önemli ölçüde farklı olmayacağını göstermektedir.

Enerji gerektiren teknolojiler için, elektrikli araçlarda metal kullanımına ilişkin iyi kanıtlar bulunmuştur. Doğal gazlı araçlar ve hafif araçlar çalışma dışında bırakılmıştır. İki için araç başına metal kullanımının günümüz araçlarına göre önemli ölçüde değişmesi muhtemel değildir ve ikincisi için sağlam veri bulunmamaktadır. İnşaat malzemelerindeki değişikliklerin metal kullanımı üzerinde çok az etkisi olduğu görülmüştür.

Lityum-iyon ve kurşun-asit batarya enerji depolama teknolojileri incelenmiştir - çalışma zaman diliminde geniş çapta yaygınlaşan enerji depolama teknolojisi olmaları muhtemeldir ve önemli metal kullanımı etkileri vardır. Tablo A.13, bu literatür taramasının bu çalışmaya dahil edilmesi için önemli olarak tanımladığı metalleri listelemektedir.

Danışmanların Uluslararası Madencilik ve Metaller Konseyi ile istişare ederek çalışmaya dahil etmek üzere başlangıçta belirlediği metallerden iridyum, osmiyum, rodyum ve rutenyumun incelenen enerji teknolojilerinde önemli bir kullanımı olmadığı görülmüştür. Uranyum ve toryum, nükleer teknolojiler için önemli olmakla birlikte, sermaye ekipmanından ziyade yakıt olarak oynadıkları rol nedeniyle dahil edilmemiştir.

TABLO A.12 Literatür Taraması Kapsamındaki Enerji Teknolojileri

#	Teknoloji
1a	Rüzgârdan elektrik üretimi-karada
1b	Rüzgârdan elektrik üretimi-açık deniz
2a	Güneş fotovoltaikleri-kristal silikon
2b	Güneş fotovoltaikleri-CdTe
2c	Güneş fotovoltaikleri-CIGS
2d	Güneş fotovoltaikleri-amorf silikon
3	Kömür yakıtlı elektrik üretimi
4	Gaz yakıtlı elektrik üretimi
5	Nükleer enerji
6a	Enerji depolama-kurşun asit
6b	Enerji depolama-lityum iyon

Not: CdTe= kadmiyum tellürid; CIGS= bakır indiyum galyum selenid.

TABLO A.13 Bu Çalışma için Anahtar

Metaller

Metal	Metal	Metal
Alüminyum	Demir	Silikon
Krom	Kurşun	Gümüş
Kobalt	Lityum	Çelik
Bakır	Manganez	Çinko
İndiyum	Molibden	

Tablo A.14 bu ekte kapsanan metalleri ve teknolojileri özetlemektedir.

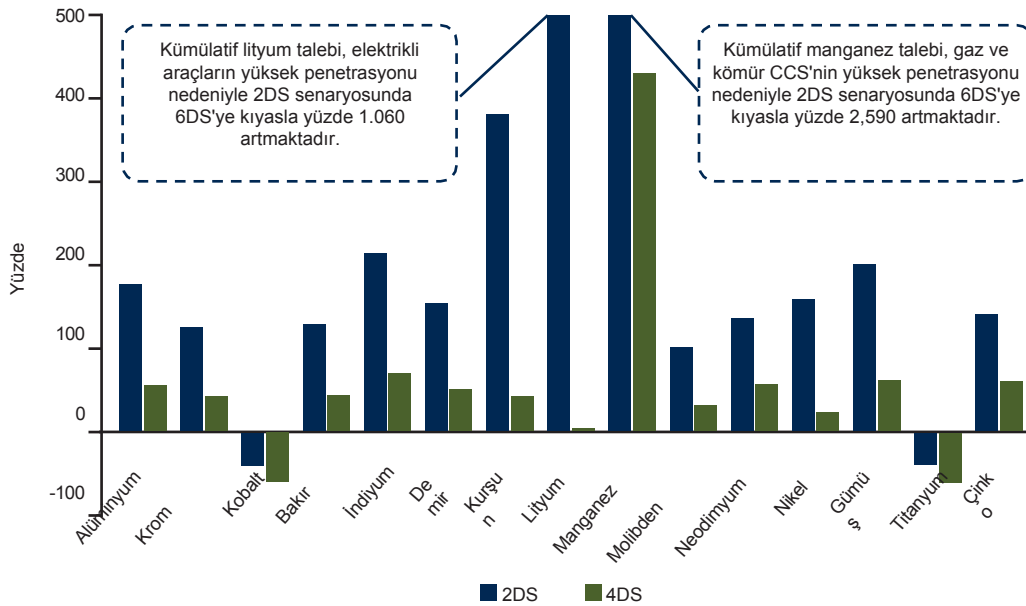
Tüm bu teknolojiler dikkate alındığında, şekil A.1 düşük karbon geçişinden faydalanabilecek temel metaller için "medyan" düzeyde bir senaryo ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları Vidal, Goffé ve Arndt (2013) ve Kleijn vd. 2011 tarafından yapılan benzer iki çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, bu çalışmanın en temel sonucu olan yenilenebilir enerji tedarik teknolojilerinin, karbon yakalama ve depolama ve enerji depolama teknolojilerinin artan penetrasyonunun genel olarak daha fazla metal talebine yol açacağı sonucunu doğrulamıştır.³

TABLO A.14 Bu Senaryo Çalışmasında İncelenen Metaller ve Enerji Teknolojileri Matrisi

	Rüzgar	Güneş fotovoltaik	Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi	Karbon yakalama ve depolama	Nükleer enerji	Işık yayan diyotlar	Elektrikli araçlar	Enerji depolama	Elektrik motorları
Alüminyum	X	X	X	X		X		X	X
Krom	X			X	X	X			
Kobalt				X	X		X	X	
Bakır	X	X		X	X	X	X		X
İndiyum		X			X	X	X		
Demir (döküm)	X		X			X		X	
Demir (mıknatıs)	X								X
Kurşun	X	X			X	X			
Lityum							X	X	
Manganez	X			X			X	X	
Molibden	X	X		X	X	X			
Neodimyum (nadir topraklar için vekil)	X						X		
Nikel	X	X		X	X	X	X	X	
Gümüş		X	X		X	X	X		
Çelik (Mühendislik)	X								
Çinko		X				X			

ŞEKİL A.1 Bu Çalışmada İncelenen Tüm Teknolojiler için 6 Derece Senaryosu ile Karşılaştırıldığında Kümülatif Metal Talebindeki Değişim, 2013-50



Notlar

1. Örneğin, Tesla'nın Powerwall'u (https://www.tesla.com/en_CA/powerwall?redirect=no) bir lityum-iyon pil ev enerji depolama paketidir.
2. Örneğin, rüzgar türbinlerinde farklı jeneratör seçimleri farklı miktarlarda metal talebine yol açacaktır.
3. Ancak hem Vidal, Goffé ve Arndt (2013) hem de Kleijn ve diğerleri (2011) yenilenebilir enerji ve ilgili teknolojilerin yaygınlaşmasının metal talebi üzerinde çok daha fazla etkisi olacağını öngörmektedir. Vidal, Goffé ve Arndt (2013), 2050 yılında güneş ve rüzgar teknolojilerinden 25.000 terawatt-saat elektrik üretmek için alüminyum, bakır ve çelik üretiminde yıllık yüzde 5-18'lik bir artışa ihtiyaç duyulacağı sonucuna varmıştır. Kleijn ve diğerleri (2011) şunları varsaymaktadır, Tüm birincil enerjinin yenilenebilir kaynaklardan geldiği ve hidrojen ile elektriğin iki birincil enerji taşıyıcısı olduğu bir 2050 senaryosunda, toplam küresel metal talebi önemli ölçüde artacaktır. Uç enerji senaryolarına ek olarak, hidrojen boru hatları ve elektrik iletim altyapısında metal kullanımına ilişkin tahminleri de içermektedir; bu teknolojiler bu çalışmaya dahil edilmemiştir.

Ek B: Enerji Depolama Bataryası Senaryolarının Hesaplanması Detaylandırılması

Otomotiv akü enerji depolama sektörü için Pillot'un (2015) 2025 yılına kadar olan projeksiyonlarından tek bir senaryo alınmıştır. Bu projeksiyonlar daha sonra 2050 yılına kadar ekstrapole edilmiştir. Pillot'un projeksiyonu, lityum-iyon bataryaların elektrikli araç ve hibrit araç pazarlarına giderek daha fazla nüfuz edeceğini öngörmektedir. Aynı zamanda, kurşun-asit aküler içten yanmalı motorlu araçlarda marş ve ateşleme işlevleri için kullanılmaya devam edecek ve start-stop teknolojisi ve hafif hibrit araçlarda giderek daha fazla kullanılacaktır. Nikel metal hidrit de dahil olmak üzere diğer otomotiv akü teknolojilerinin, lityum iyon ve kurşun asit kimyalarına karşı pazar payı kaybedeceği öngörülmektedir.

2015 yılında dünya genelinde yaklaşık 100 GW şebeke ölçekli enerji depolama tesisi faaliyete geçmiştir. Bazıları Bunun yüzde 99,3'ü pompalı hidro depolamadır ve basınçlı hava enerji depolaması dışında kalan kısmı neredeyse tamamen sodyum-sülfür bataryalardır. Şebeke ölçeğinde enerji depolamaya ilişkin projeksiyonlar Inage'e (2009) dayanmaktadır. Inage'nin analizi, yenilenebilir enerji kaynaklarının artan penetrasyonu nedeniyle, "...yapılan simülasyonlar, dünya çapında 189 GW ila 305 GW arasında değişen enerji depolamanın gerekli olacağını göstermektedir." demektedir. Ayrıca, 2014 IEA Enerji Teknolojisi Perspektifleri (IEA 2014) 500 GW'a kadar enerji depolamaya ihtiyaç duyulabileceğini belirtmektedir. 2050'ye kadar ihtiyaç duyulacaktır. Bu rakamlar, şebeke ölçeğinde enerji depolamanın 12 saat şarj edilmeden önce günde 12 saat çalıştığı varsayılarak GWh enerji depolama kapasitesine dönüştürülmüştür. Bu 12 saatlik çalışma süresi varsayımı, mevcut enerji depolama teknolojilerine ilişkin verilerle desteklenmektedir. Tablo B.1'de görüldüğü gibi, mevcut şebeke ölçekli enerji depolama tesislerinin ortalama enerji-güç oranı yaklaşık 12'dir. Ancak bu oran depolama türleri arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Teknoloji karışımı şu şekilde değişirse gelecekte, enerji/güç oranı da değişebilir; bu kullanıcı girdisi modelde değiştirilebilir.

Tablo B.1'deki rakamlar 2DS, 4DS ve 6DS ETP senaryolarına karşılık gelecek üç enerji depolama senaryosu oluşturmak kullanılmıştır. Bu senaryolar, 6DS-ES, 4DS-ES ve 2DS-ES, sırasıyla 189 GW, 305 GW ve 500 ^{GW1} şebeke ölçeğinde enerji depolama çıktısına ihtiyaç olduğunu varsaymaktadır. Merkezi olmayan ("sayacın arkasında") enerji depolama herhangi bir yılda şebeke ölçeğinde enerji depolamanın yüzde 10'u olduğu varsayılmıştır. Bu yaklaşık bir projeksiyondur.

TABLO B.1 Mevcut Şebeke Ölçeğinde Enerji Depolama Ortamı

Teknoloji	Güç kapasitesi (GW)	Enerji kapasitesi (GWh)	Enerji/güç oranı
Pompajlı hidro	127	1,500	11.81
Basınçlı hava enerji depolama	0.44	3.73	8.48
Sodyum sülfür pil	0.316	1.9	6.01
Lityum-iyon pil	0.07	0.017	0.24
Kurşun-asit akü	0.035	0.07	2.00
Nikel kadmiyum pil	0.027	0.00675	0.25
Volanlar	0.025	0.004	0.16
Redoks akış bataryası	0.003	0.012	4.00
Toplam	128	1,506	11.77*

Kaynak: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu 2009.

*Bu sayı toplam değil, ağırlıklı ortalamadır.

Not

1. 2DS-ES senaryosu için 500 GW rakamı, IEA tarafından öngörülen maksimum şebeke ölçekli enerji depolama çıktı ihtiyaçlarına karşılık gelmektedir.

Ek C. Derin Sera Gazı Azaltım Senaryoları

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) Teknoloji Perspektifleri Senaryoları dışında incelenen diğer senaryolar aşağıdakileri içermektedir:

- › Karbon Azaltım Girişimi ve Stabilizasyon Takozları (Princeton Çevre Enstitüsü)¹
- › Derin Dekarbonizasyon Yolları (Derin Dekarbonizasyon Yolları Projesi)
- › "139 Ülke için %100 Temiz ve Yenilenebilir Rüzgar, Su ve Güneş Işığı (WWS) Tüm Sektör Enerji Yol Haritaları" (Stanford Üniversitesi ve Kaliforniya Üniversitesi Berkeley; Jacobsen ve ark. 2014)
- › Dünya Enerji Görünümü Özel Raporu 2015: 450 Senaryosu (IEA 2015c)²
- › Çalışma Grubu 3'ün Beşinci Değerlendirme Raporuna Katkısının Politika Yapıcılar için Özeti (IPCC 2014).

Karbon Azaltım Girişimi (CMI) ve Stabilizasyon Takozları (Princeton Çevre Enstitüsü)³

CMI, British Petroleum ve Ford Motor Company tarafından desteklenen Princeton Üniversitesi'nin bir projesidir ve çalışmalarını ilk olarak 2004 yılında Robert Socolow tarafından geliştirilen "sektörel takozlar" kavramına dayandırmaktadır. Socolow, 2060 yılına kadar her biri yılda (en az) 1 milyar ton emisyonun kaçınmak için çalışacak ayrı bir dizi kama önermektedir. Ekibi, yılda yaklaşık 9 milyar ton emisyonun önlenmesi gerektiğini ve bunun için de dokuz kama gerektiğini öne sürmektedir. Sonuç, küresel emisyonları önümüzdeki 50 yıl boyunca sabit tutmak ve sonrasında sürekli ve önemli düşüşler sağlamak olacaktır. Belirlenen kama stratejileri aşağıdakileri içermektedir:

- › Enerji verimliliği ve tasarrufu
 - › Artan taşıma verimliliği*
 - › Azaltılmış kilometre seyahati
 - › Artan bina verimliliği*
 - › Elektrik üretiminde artan verimlilik*
- › Nükleer enerji
 - › Nükleer elektrik*
- › Fosil yakıt temelli stratejiler
 - › Yakıt değişimi (kömürden gaza)*
 - › Karbon yakalama ve depolama (CCS)* ile fosil bazlı elektrik
 - › CCS ile kömür sentezi*
 - › CCS* ile fosil bazlı hidrojen yakıtı

› Yenilenebilir enerji kaynakları ve biyo-depolama

- › Rüzgarla üretilen elektrik*
- › Güneş elektriği*
- › Rüzgarla üretilen hidrojen yakıtı*
- › Biyoyakıtlar*
- › Orman depolama
- › Toprak depolama

Yıldız işaretiyle listelenen stratejiler, mineraller ve metaller üzerinde etkileri olan bir değişim veya yeni teknolojiler gerektirecek stratejilerdir. Kama stratejilerinin büyük çoğunluğunun mineral veya metal girdileri gerektireceği açıktır. Çoğu senaryoda olduğu gibi, CMI kama stratejilerinin emtia piyasası üzerindeki maddi etkileri hakkında hiçbir analiz sunmamaktadır.

Derin Dekarbonizasyon Yolları (Derin Dekarbonizasyon Yolları Projesi [DDPP] 2015)

DDPP, aşağıdakiler için derin dekarbonizasyon yollarını belirleyen "aşağıdan yukarıya" bir analizdir. 16 ulusal ekonomi, şu anda küresel emisyonların yüzde 74'ünü oluşturmaktadır. Her ülkenin derin karbonsuzlaştırma yolu "kendi ülkesindeki" uzmanlar ve araştırma enstitüleri tarafından geliştirildiği için aşağıdan yukarıya doğrudur. Kapsanan ülkeler arasında Avustralya, Brezilya, Kanada, Çin, Fransa, Almanya, Hindistan, Endonezya, İtalya, Japonya, Kore, Meksika, Rusya, Güney Afrika, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri bulunmaktadır. Ayrıca, 2°C küresel ısınma senaryosuyla tutarlı olarak 2050 yılı için sera gazı emisyon azaltım hedefleri belirleyen ve ardından her ülkenin bu hedeflere ulaşmak için neler yapabileceğini inceleyen bir "back cast" çerçevesinde çalışmaktadır. DDPP'nin mevcut çalışması, 2010 ve 2050 yılları arasında GSYH büyüme oranının yüzde 250 olacağı varsayımıyla, 2010 seviyelerinin 9.8-11 gigaton veya yüzde 48-57 altında potansiyel azaltımlar belirlemektedir.

Elektriğin karbondan arındırılması, yakıt üretiminin karbondan arındırılması ve alternatif araçların yaygınlaştırılması için spesifik teknoloji değişikliği vurgulanmaktadır. Başarılı bir şekilde Bu üç önlemin uygulanması, 3.800 gigawatt (GW) güneş enerjisinden elektrik üretimi (844 milyar ABD\$ tahmini maliyetle); 4.100 GW rüzgar enerjisi (127 milyar ABD\$ tahmini maliyetle); 1,2 milyar elektrikli, hibrit ve yakıt hücreli yolcu aracı ve 250 milyon alternatif yakıtlı yük aracı (911 milyar ABD\$ tahmini maliyetle) ile sonuçlanacaktır.

"Dünyanın 139 Ülkesi için %100 Temiz ve Yenilenebilir Rüzgar, Su ve Güneş Işığı (WWS) Tüm Sektör Enerji Yol Haritaları" (Stanford Üniversitesi ve Berkeley'deki California Üniversitesi; Jacobson vd. 2017)

Ülkelerin net sıfır karbonlu bir geleceğe dönüşme potansiyel ve kapasitelerinin en kapsamlı dökümünü içeren bu analiz, çok amaçlı enerji altyapılarının (elektrik, ulaşım, ısıtma ve soğutma için) dönüştürülmesine yönelik yol haritaları geliştirmektedir, sanayi ve tarım/ormancılık/balıkçılık) 139 ülkenin rüzgar, su ile çalışanlara dönüştürülmesi,

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

ve güneş ışığı (WWS) ile 2030 yılına kadar yüzde 80 ve 2050 yılına kadar yüzde 100 WWS sistemlerine dönüşüm. Her ne kadar pek çok kişi çalışmadaki böylesine ani bir değişimin - ki bu, hakemli senaryolar arasında bu türden en büyük dönüşümdür - teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir olduğu iddialarına haklı olarak itiraz edecek olsa da, bu senaryoyu kullanmanın amacı Net sıfır karbonlu bir gelecek için gerekli kritik sektör ve teknolojilerin belirlenmesinde diğer senaryolarla tutarlılık.

Bu bağlamda, kümülatif düzeyde, çalışma 2050 yılına kadar tam bir WWS dönüşümüne ulaşmanın çoğunlukla şu ana teknolojilerle karşılanacağını tahmin etmektedir: kara rüzgarı (yüzde 19,8 veya 1,2 milyon 5 megavat birim), açık deniz rüzgarı (yüzde 12,7 veya 761.000 5 megavat birim), şebeke düzeyinde fotovoltaik (yüzde 40,4 veya 503.000 50 megavatlık şebeke ölçekli üniteler), çatı üstü fotovoltaikler (yüzde 6,5 veya konutlar için 779 milyon 5 kilovatlık ünite ve 42,2 milyon 100 kilovatlık sistem), hidroelektrik (yüzde 4 veya 0 yeni sistem) ve jeotermal (yüzde 0,8 veya 840 100 megavatlık jeotermal tesis).

Buna ek olarak, teknoloji değişimi ve bu teknolojileri oluşturan mineral ve metaller üzerinde net etkileri olan tedbirler arasında aşağıdakiler yer almaktadır:

- Süper ve akıllı şebekelerin geliştirilmesi
- 2020'ye kadar yeni fosil yakıtlı enerji santrali inşa edilmemesi (nükleer veya CCS dahil)
- Tüm yeni ev ve ofis eşyaları
- Gemiler, demiryolu ve tüm karayolu araçları dahil olmak üzere tüm ulaşım modlarında tam elektrifikasyon ve hidrojen kullanımı. Küçük uçakların 2040 yılına kadar elektrikli hale getirilmesi.

Dünya Enerji Görünümü Özel Raporu 2015: 450 Senaryosu (IEA 2015c)

Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) ve başlıca gelişmekte olan ülke ulusal hükümetleri tarafından hakem değerlendirmesi yapılan bu belgenin dördüncü bölümü, sera gazı emisyonlarının hacimce milyonda 450 parça (ppmv) olması halinde, dünyanın 2 santigrat derece °C) küresel ısınma hedefine yüzde 50 olasılıkla ulaşmasını sağlayacak bir yol ortaya koymaktadır. Özellikle, net sıfır karbonlu bir geleceğe ulaşmak için üç temel önlem önermektedir:

- Enerji sektöründe düşük karbon teknolojilerinin yaygınlaştırılması
- Sera gazı emisyonlarını keskin bir şekilde azaltmak için endüstriyel verimlilikte teknolojik ilerlemeler
- Düşük karbonlu karayolu taşımacılığına ulaşmak.

Enerji sektöründeki reformlar, 450 ppmv hedefine ulaşmak için gereken emisyon azaltımlarının yarısından fazlasını oluştururken, bunu sanayi sektöründeki reformlar (yüzde 26) takip etmektedir, ulaşım (yüzde 16) ve binalar (yüzde 6). Rapor daha spesifik olarak şunları tanımlamaktadır

Net sıfır karbonlu bir geleceğin başarıya ulaşması kesinlikle gerekli olacak üç grup teknoloji:

- Değişken yenilenebilir enerji kaynakları: Enerji arzına katkılarının bugün yüzde 3'ten 2040'a kadar yüzde 20'ye çıkarılması (bugün 450 gigawatt olan kurulu kapasitenin 2040'ta 3.300 gigawatt'a çıkarılması)
- Karbon yakalama ve depolama: En geç 2025 yılına kadar hızlı bir genişleme gerekmektedir (2040 yılına kadar kümülatif olarak 52 gigaton karbondioksit [CO₂] emisyonunun Yüzde 60'ı enerji sektörünü, geri kalanı ise çimento, demir-çelik ve kimyasallar dahil olmak üzere ağır sanayiye hedeflemektedir)
- Alternatif yakıtlı araçlar: 2040 yılına gelindiğinde, elektrikli araç satışları küresel olarak toplam binek otomobil satışlarının yüzde 40'ını aşacaktır. Raporda yakıt hücreli araçlara da yer veriliyor ancak emisyonların azaltılmasındaki etkileri konusunda iyimserdir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasının önündeki kritik engellerden biri, özellikle rüzgar ve güneş enerjisi kurulumları için enerji depolamadır ve şu anda bir teknoloji olarak çok yeni bir aşamadır. Bu alandaki teknoloji yayılımının 2050 yılına kadar 400 gigawatt'a çıkması gerekecek ve bu da bu bataryaları inşa etmek için gereken metaller için önemli sonuçlar doğuracaktır.

Çalışma Grubu 3'ün Beşinci Değerlendirme Raporuna Katkısının Politika Yapıcılar İçin Özeti (Hükümetlerarası Panel İklim Değişikliği Üzerine (IPCC 2014))

IPCC'nin 3. Çalışma Grubu, iklim değişikliği bulmacasının azaltım kısmını ele almaktan sorumludur. Bu nedenle, net sıfır karbon gelecek senaryolarını ele alan ilgili tüm hakemli literatürün bir özetini ve sera gazı emisyonlarına ve bunların azaltılmasına katkıda bulunan tüm sektörlerin ayrı bölümlerle kapsamlı analizini sunmaktadır. Politika Yapıcılar İçin Özet, azaltımla ilgili tüm konulardaki geniş kapsamlı araştırmaların durumunu sentezlemeye çalışmaktadır.

450 ppmv, 2°C senaryosuyla ilgili olarak, enerji sistemlerinde büyük ölçekli değişiklikler yoluyla yüzyılın ortasına kadar insan kaynaklı emisyonlarda önemli azalmalar gerekeceği, 2040-70 yılları arasında 2010 seviyelerinden yüzde 90 küresel azalma ve 21. yüzyılın sonuna kadar net sıfır seviyelerine ulaşılacağı sonucuna varmaktadır.

Azaltımların gerçekleştirilmesinde çok önemli olacağı belirlenen belirli sektörler, enerji arzı ve enerjinin son kullanım faaliyetlerini kapsamaktadır. Birincisi ile ilgili olarak, elektrik ilk kilit adım olarak kabul edilmektedir: en hızlı karbonsuzlaştırma oranı elektrik arzı ile gerçekleşir ve düşük karbonlu kaynaklar (yenilenebilir enerji, CCS ve nükleer dahil) 2050 yılına kadar elektrik arzının yüzde 30'luk mevcut payından yüzde 80'ini oluşturur. Bu yaklaşım, yeni tesislerin çoğunluğunu yenilenebilir enerjilerin oluşturmaya devam etmesini içerecektir (ilk olarak 2012'de ulaşılan bir kilometre taşı). Doğal gaz ve biyoenerji bu senaryoda "köprü rolü" oynayabilir, ancak sadece bunlara CCS teknolojileri eşlik etmektedir. Nükleer potansiyel olarak büyük bir katkı sağlayabilecek olsa da, kamuoyunda olumsuz görüşlerin artmasına katkıda bulunan bir dizi sorun nedeniyle kullanımına aynı derecede güven duyulmamaktadır.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

Enerjinin nihai kullanım tarafında, ulaştırma, sera gazı emisyonları eğilimini bükme için kilit bir sektör olarak kabul edilmektedir. Sera gazı emisyonlarının tersine çevrilmesi, 2050 yılına kadar tüm kaynaklardan kaynaklanan CO₂ emisyonlarının iki katına çıkacağına dair temel tahminler göz önüne alındığında özellikle zor olacaktır. Politika Yapıcılar için Özet, en iyi ihtimalle, bu sektörden kaynaklanan emisyonların temel projeksiyona göre yüzde 40 oranında azaltılabileceği sonucuna varmaktadır (yine de sera gazı emisyonlarında mutlak büyümeyi temsil etmektedir). İtibaren Teknoloji açısından bakıldığında, bu azalma yakıt verimliliği ve araç performansı ile sağlanacaktır. Elektrik temelli güçten bahsedilmesine rağmen, çoğu güven kısa vadede trenler ve halk otobüsleri için kullanımında bulunmuştur. Elektrikli araçlar ve hidrojenle çalışan yolcu araçları, enerji depolama ve düşük karbonlu ulaşım yakıtlarının nispeten düşük enerji yoğunluğu ile ilgili sorunlar nedeniyle kısıtlanmaktadır.

Bina sektöründe emisyon azaltma potansiyeli, düşük enerji kodlarının benimsenmesinde ve binaların ısıtma ve soğutma sistemlerinde iyileştirilmiş teknolojiler yoluyla sera gazlarının azaltılmasında bulunabilir. Son olarak, sanayi için emisyon azaltımları, mevcut en iyi teknolojilerin yükseltilmesi, değiştirilmesi ve yoluyla enerji yoğunluğu iyileştirmeleri yoluyla elde edilebilir.

Bulguların Özeti

Bu derin sera gazı azaltım senaryolarının karşılaştırmalı analizi, her senaryonun amaçlanan karbonsuzlaştırma hedefine ulaşmak için neyin gerekli olacağını ölçmek için kendi matris setini kullanması nedeniyle karmaşıktır. Bununla birlikte, tüm senaryolarda ortak olan bir dizi kritik mesaj, iklim dostu bir geleceğe ulaşmak için gereken kritik sektörleri ve teknolojileri belirlememize yardımcı olabilir.

- ▶ Ele alınması gereken ilk ve en kritik sektör elektrik veya enerjidir. Tüm senaryolar, 450 ppmv hedefine ulaşmaya başlamak için en kritik sektörün elektrik olduğu konusunda güçlü bir fikir birliği içindedir. hedefi ve en yakın vadede sera gazı azaltımı için en fazla potansiyelin bulunduğu yer, enerji ve elektrik sektörüdür. Tüm senaryolar, geleneksel yenilenebilir enerji tesislerinin (özellikle rüzgar ve güneş) 2050 yılına kadar mevcut seviyelerine göre 5 ila 10 kat büyümesi gerektiği konusunda hemfikirdir. CCS, senaryoların çoğunda kilit bir bileşen olarak tanımlanmakta ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılaştırılabilir düzeyde katkıda bulunmaktadır. Burada maliyetleri, güvenliği, atık bertarafı sorunları ve genel olarak olumsuz kamuoyu görüşü ile ilgili önemli endişelerin dile getirilmesiyle, nükleer enerji sektörüne potansiyel katkısı konusunda önemli ölçüde daha az fikir birliği bulunmaktadır.
- ▶ Senaryolar, çeşitli enerji son kullanım kategorilerinin (ulaşım, binalar ve sanayi) potansiyeli konusunda önemli ölçüde daha az tutarlılık sergilemektedir:
- ▶ Ulaştırma iki cephede zorluk teşkil etmektedir: Sektörde beklenen büyüme o kadar güçlüdür ki, en sağlam senaryolar yalnızca sektörün büyümesinde bir azalma öngörmektedir. Sera gazı emisyonlarının 2050 yılına kadar mutlak olarak azaltılması değil. Bazıları mutlak azaltımların ancak yüzyılın sonuna doğru mümkün olabileceğini ileri sürmektedir. İkinci olarak, sıfır emisyonlu araçların (ister elektrikli araçlar ister hidrojen bazlı araçlar olsun) pazara başarılı bir şekilde girme kapasitesine duyulan güven, çoğunlukla destekleyici altyapı ve batarya depolama kapasitesi sorununa ilişkin devam eden endişeler nedeniyle orta düzeydedir.

- › Binalarla ilgili azaltımların büyük çoğunluğu, iyileştirmelerle, ısıtma ve soğutma sistemlerine güç sağlamak için sağlanan temiz elektrikle ve "sıfır emisyonlu" binaların ortaya çıkışı.
- › Sanayide azaltım fırsatları genellikle enerji verimliliği ve mevcut en iyi teknolojilerin kullanımı ile ilgilidir, ancak ilginç bir şekilde CCS de anahtar olarak kabul edilmektedir, Özellikle çimento, demir, çelik ve kimya endüstrileri için.
- › Senaryoların sonuçları ve etkileri, ilgili teknolojileri üretmek için gerekli unsurları hesaba katmamaktadır. Açıklanan senaryolar tipik olarak aşağıdaki konuları ele almaktadır ekonomik etkiler (örneğin GSYİH), istihdam, eşitlik veya ilgili çevresel ve sosyal konularla ilgilidir. Hiçbiri, bu raporun tam da amacı olan karbon kısıtlı bir geleceğe hizmet etmek ve tedarik etmek için gereken malzemelerin potansiyel mevcudiyetini ele almamaktadır.

Notlar

1. Stabilizasyon Takozları: Karbon Azaltım İnisiyatifi, Princeton Üniversitesi (<http://cmi.princeton.edu>).
2. Geçiş Başarmak: Uzun Vadeli Enerji Sektörü Dönüşümü (IEA [2015c] Bölüm 4).
3. Stabilizasyon Takozları: Karbon Azaltım İnisiyatifi, Princeton Üniversitesi (<http://cmi.princeton.edu>).

Sözlük

2DS 4DS, 6DS: 21. yüzyılda 2 derece, 4 derece ve 6 santigrat derecelik küresel ısınma senaryolarını ifade eder. Bu çalışmada, yüzyılın ortalarına kadar potansiyel teknoloji ve metal taleplerini belirlemek için referans olarak kullanılmıştır.

Baz Metaller: Hava veya neme maruz kaldığında nispeten kolay oksitlenen, kararar veya korozyona uğrayan metallerdir. Baz metaller ticari ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğada daha bol bulunurlar ve bu nedenle altın, gümüş ve platin gibi değerli metallerden çok daha ucuzdurlar. Baz metaller arasında alüminyum, bakır, kurşun, nikel, kalay ve çinko bulunur.

Biyoenerji: Biyolojik kaynaklardan elde edilen yenilenebilir enerji.

Karbon Yakalama ve Depolama (CCS): Sera gazı emisyonlarını, özellikle de karbonu atmosferden Dünya'nın jeolojik yapılarına yönlendirmeyi amaçlayan teknoloji. Genellikle kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıtların "karbondan arındırılmasında" kilit bir teknoloji olarak kabul edilir.

Karbon Nötrlüğü: Bakınız Net Sıfır Karbon.

Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (CSP): Enerji üretmek için aynalar kullanan güneş enerjisi teknolojisi.

Kritik Malzemeler Girişimi (CMI): ABD Enerji Bakanlığı bünyesinde yer alan CMI, temel modern teknolojileri desteklemek için gerekli olan kritik malzemelerin (neredeyse sadece nadir toprak metalleri) kaynaklarını çeşitlendirebilecek, yetersiz tedarik edilen malzemeler için ikame sağlayabilecek veya üretimde daha fazla verimlilik ve gelişmiş geri dönüşüm yoluyla mevcut kaynakların kullanımını iyileştirebilecek teknolojilere odaklanan bir dizi üniversite tabanlı araştırma tesisi tarafından yönetilmektedir.

Elektrikli Araçlar: Güç kaynağı olarak batarya depolama şeklinde elektrik kullanan karayolu araçları.

Enerji Depolama Bataryaları: Daha esnek ve uygun maliyetli bir enerji altyapısı oluşturmak için güç arzını yönetmeyi amaçlayan enerji depolama sistemlerinde birincil teknoloji. Bu çalışmanın amaçları doğrultusunda, karbon kısıtlı bir geleceğin teşvik edilmesini destekleyen bataryalar iki kategoriye ayrılabilir:

Kurşun-Asit Bataryalar daha olgun bir teknolojidir ve geleneksel olarak lityum-iyon göre maliyet avantajına sahiptir. Zayıf güç/ağırlık ve enerji/ağırlık oranlarına sahiptirler.

Lityum-İyon Bataryalar mükemmel bir enerji/ağırlık oranına sahiptir ve fiyatları son on yılda büyük ölçüde düşmüştür. Elektrikli araçların gelecekte büyüme ihtimali olması için genellikle çok önemli olarak kabul edilir.

Enerji Teknolojisi Perspektifleri (bkz. Uluslararası Enerji Ajansı'nın Enerji Teknolojisi Perspektifleri)

Gigawatt-saat (GWh): Bir milyar (1,000,000,000) watt saati temsil eden, 1 milyon kilowatt saate eşdeğer bir enerji birimi. Gigawatt saat genellikle büyük elektrik santrallerinin çıktısının bir ölçüsü olarak kullanılır.

Sera Gazları (GHGs): Bu rapor bağlamında, karbondioksit, metan, azot oksit ve yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip ancak nispeten düşük üretim seviyelerine sahip bir dizi daha karmaşık gazı kapsayan, insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkan başlıca küresel ısınma katkılarını ifade eder.

Hibrit Araçlar: Bu çalışma bağlamında, iki farklı güç türünü kullanan karayolu araçlarını ifade eder: içten yanmalı motor ve elektrik motoru.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC): Ulusal hükümetler tarafından aday gösterilen tanınmış uzmanlardan oluşan IPCC, insan kaynaklı iklim değişikliği riskinin anlaşılmasıyla ilgili bilimsel, teknik ve sosyoekonomik bilgileri değerlendirir.

Uluslararası Madencilik ve Metaller Konseyi (ICMM): 23 madencilik ve metal şirketi ile 34 bölgesel ve emtia birliğinden oluşan ICMM'nin görevi güvenli, adil ve sürdürülebilir bir madencilik endüstrisine odaklanmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın Enerji Teknolojisi Perspektifi (IEA's ETP): İklim ve sürdürülebilir enerji hedeflerini desteklemek üzere temiz enerji teknolojilerinin göreceli alımına ilişkin yıllık bir güncelleme sağlar. 2015 yılında IEA ETP, yüzyıl boyunca 2°C, 4°C ve 6°C sıcaklık artışlarına ulaşmak için üç enerji teknolojisi senaryosu geliştirmiştir.

Işık Yayan Diyotlar (LED'ler): Geleneksel aydınlatma yöntemlerine kıyasla çok daha az enerji harcayarak ışık yayan teknoloji.

Mikro Hibrit Araç: Araç durduğunda içten yanmalı motoru durdurmak ve sürücü hızlandığında yeniden çalıştırmak için rejeneratif frenleme teknolojisini kullanan karayolu araçları.

Net Sıfır Karbon veya Karbon Nötrlüğü: Atmosfere salınan sera gazlarının ölçülen miktarının, tutulan veya dengelenen eşdeğer bir miktarla dengelenmesini ifade eder, böylece emisyonların küresel atmosferdeki net etkisi sıfır olur. Uzmanlar arasında, Paris'in küresel sıcaklık artışını 2°C'nin çok altında tutma hedefine ulaşmanın, dünyanın bu yüzyıl içinde, muhtemelen 2050 yılına kadar karbon nötr hale gelmesini gerektireceği konusunda güçlü bir fikir birliği vardır.

Paris Anlaşması: BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında 2015 yılında müzakere edilen ve 25 yıldır devam eden müzakerelerde ilk kez tüm ülkelerin iklim değişikliğiyle mücadele için çaba sarf etmeyi kabul ettiği küresel anlaşma. Bu haliyle küresel iklim çabalarında yeni bir rota çizmektedir. Paris Anlaşması'nın temel amacı, bu yüzyılda küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 2° Celsius altında tutarak iklim değişikliği tehdidine karşı küresel tepkiyi güçlendirmek ve sıcaklık artışını 1.5° Celsius ile daha da sınırlandırmaya yönelik çabaları sürdürmektir.

Fotovoltaik (PV): Tipik olarak güneş panellerinin iletim malzemesi olarak kullanılması yoluyla enerji üreten güneş enerjisi teknolojisi.

Değerli Metaller: Nadir bulunan veya yüksek ekonomik değere . sahip olduğu düşünülen metallerBu metallerin yüksek göreceli değerleri, nadir bulunmaları, endüstriyel süreçlerde ve yatırım aracı . olarak kullanılmaları gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadırYatırımcılar arasında en popüler değerli metaller altın, platin ve gümüştür ve endüstriyel süreçlerde kullanılan değerli metaller arasında özel alaşımlarda kullanılan iridyum ve elektronik ve kimyasal uygulamalarda kullanılan paladyum bulunur.

Nadir Toprak Metalleri: Periyodik tablodaki 17 kimyasal elementten oluşan bir dizi, tipik olarak modern ekonomiyle ilişkili teknolojilerin desteklenmesinde kilit rol oynayan elementlerle ilişkilidir - elektroninin minyatürleştirilmesinden yeşil enerji ve tıbbi teknolojilerin etkinleştirilmesine ve sayısız temel telekomünikasyon ve savunma sisteminin desteklenmesine kadar. "Nadir" olarak adlandırılrsa da toprak elementleri" aslında o kadar da nadir değildir ve yerkabuğunda nispeten bol miktarda bulunurlar ve doğada birlikte bulunma eğilimindedirler ve birbirlerinden ve diğer baz metallerden ayrılmaları zordur. Bununla birlikte, jeokimyasal özellikleri nedeniyle, nadir toprak elementleri tipik olarak dağınıktır ve ekonomik olarak işletilebilir cevher yataklarında nadir toprak mineralleri olarak konsantre halde bulunmazlar.

Rezervler ve Kaynaklar: Bu çalışma bağlamında jeolojik oluşumlardaki maden yataklarının durumunu ifade eder. Kaynaklar tipik olarak potansiyel mineral harcamalarının daha geniş bir tahminini kapsarken, rezervler daha resmi olarak tanımlanır ve daha ayrıntılı veriler taşır. Daha fazla bilgi için lütfen bu raporun 3. bölümüne bakınız.

Güneş Teknolojileri: Dört alt kategoriye ayrılabilen, güneşten gelen enerjiyi kullanarak güç kaynağı sağlayan teknolojiler:

Kristal Silikon hücreler mevcut pazarın yaklaşık yüzde 85'ini oluşturmaktadır. Tek kristalli, polikristal veya amorf silikon olarak üretilebilirler.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

Bakır İndiyum Galyum Selenid (CIGS) bir "ince film" güneş teknolojisidir. Kristal silikondan daha ince hücreler haline getirilebilir ve böylece esnek hücrelere izin verirken malzeme ve üretim maliyetlerini azaltabilir.

Kadmiyum Tellür (CdTe) başka bir ince film teknolojisidir. Kristal silikon ile rekabet edebilir maliyettedir ve iyi bir verimliliğe sahiptir. Ancak kadmiyumun toksik olması ve tellürün gelecekteki tedariki bu teknolojinin geleceğini belirsiz kılmaktadır.

Amorf Silikon veya Amorf Silikon-Germanyum güneş pilleri burada ele alınan son ince film teknolojisidir. Bu hücreler kristal silikondan daha düşük performansa sahiptir, ancak esnek malzemeler üzerine basılabilirler.

Start-Stop Araçlar: Araç dururken motoru otomatik olarak kapatan ve sürücü freni kaldırdığında veya 1. vitesi seçmek için debriyaja bastığında motoru otomatik olarak yeniden çalıştıran sistemlere sahip motorlu kara taşıtları.

Terawatt-Saat (TWh): Metrik bir güç ölçüm birimi. Terawatt, 1 trilyon watt'a ($10^{12}W$) eşittir.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçevesi (UNFCC): İklim değişikliğinin ele alınması için çok uluslu müzakere organı.

Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS): ABD İçişleri Bakanlığı'na bağlı bir kurum olan USGS'nin başlıca sorumlulukları ABD'deki kamu arazilerini haritalamak, jeolojik yapıları incelemek ve hem ABD içinde hem de küresel olarak maden kaynaklarını değerlendirmektir. USGS'nin görev alanı son birkaç on yılda yeraltı suları, ekosistemler, çevre sağlığı, doğal tehlikeler ve iklim ve arazi kullanım değişikliği ile ilgili araştırmaları kapsayacak şekilde genişlemiştir. 2012 yılında,

Kaynak çıkarma ve kullanımının ekonomik ve çevresel etkileri de dahil olmak üzere maden ve enerji kaynaklarının yeri, miktarı ve kalitesi hakkında araştırma ve değerlendirmeler yapma yetkisine sahip Enerji ve Mineraller Görev Alanı oluşturmuştur.

Rüzgar Teknolojileri: Rüzgar kullanımı yoluyla güç kaynağı sağlayan teknolojileri ifade eder. Rüzgar teknolojileri iki geniş kategoriye ayrılır:

Dişli Türbinler, tipik olarak kara tabanlı rüzgar türbinlerinde bulunur ve türbinin nispeten düşük dönüş hızını jeneratör için çok daha yüksek bir hıza (dakikada binlerce devir) dönüştürmek için bir dişli sistemi kullanır. Dişli türbinler, önemli miktarda bakır kullanan bobin tahrikli jeneratörler kullanır, ancak kalıcı mıknatıslara sahip değildir.

Doğrudan Tahrikli Rüzgar Türbinleri tipik olarak açık deniz kurulumlarıdır ve bir dişli kutusuna sahip değildir, bu nedenle genellikle dişli modellerden daha fazla güvenilirliğe sahiptirler. Bununla birlikte, genellikle nadir toprak metalleri içeren kalıcı mıknatıslarla inşa edilen daha karmaşık ve pahalı bir düşük hızlı jeneratör kullanırlar.

Bibliyografya

- Ali, Saleem H., Damien Giurco, Nicholas Arndt, Edmund Nickless, Graham Brown, Alecos Demetriades, Ray Durrheim ve diğerleri. 2017. "Sürdürülebilir Kalkınma için Maden Temini Kaynak Yönetişimi Gerektirir." *Nature* 543 (16 Mart): 367-72.
- Andersson, B. 2000. "Büyük Ölçekli İnce Film Fotovoltaikler için Malzeme Bulunabilirliği." *Fotovoltaikte İlerleme: Araştırma ve Uygulamalar* 8 (1): 61-76.
- Bajželj, ., J. M. Allwood, ve J. M. Cullen. 2013. "İklim Değişikliğini Azaltma Planlarının Tasarlanması" *Çevre Bilimi ve Teknolojisi* 47 (14): 8062-69. <http://doi.org/10.1021/es400399h>.
- Bye, Goran, ve Bruno Ceccaroli. 2014. "Güneş Enerjisi Sınıfı Silikon: Teknoloji Durumu ve Endüstriyel Eğilimler." *Güneş Enerjisi Malzemeleri ve Güneş Pilleri* 130: 634-46.
- Candellise, C., J. F. Speirs, ve R. J. K. Gross. 2011. "İnce Film (TF) PV Teknolojilerinin Geliştirilmesi için Malzeme Bulunabilirliği: Gerçek Bir Endişe mi?" *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri* 15 (9): 4972-81. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2011.06.012>.
- Chandler, Graham. 2016. "Geleceğe Yakıt Sağlamak: Enerjinin Değişen Manzarası." *CIM Magazine*, Mart-Nisan.
- Channell, Jason, Heath Jansen, Alastair Syme, Sofia Savvantidou, Edward Morse ve Anthony Yuen. 2013. *Enerji Darwinizmi: Enerji Endüstrisinin Evrimi*. Citi Global Perspectives and Solutions. <http://www.growsolar.org/wp-content/uploads/2014/10/Energy-Darwinism-The-Evolution-of-the-Energy-Industry.pdf>.
- Clift, Roland ve Angela Druckman, eds. 2016. *Taking Stock of Industrial Ecology*. Cham, İsviçre: Springer Uluslararası Yayıncılık.
- Cully, Jonathan. 2012. "Yenilenebilir Enerjinin Mineral İhtiyacını Karşılama için Madencilik Gerekli." 13 Şubat. [miningfacts.org. miningfacts.org/Blog/Mining-News/Mining-needed-to-meet-mineral-needs-of-renewable-energy/](http://miningfacts.org/miningfacts.org/Blog/Mining-News/Mining-needed-to-meet-mineral-needs-of-renewable-energy/).
- Dawkins, E., M. Chadwick, K. Roelich, ve R. Falk. 2012. *Düşük Karbon Ekonomisinde Metaller: Kaynak Kıtlığı, İklim Değişikliği ve Sonlu Bir Dünyada İş Dünyası. Proje Raporu*. Stockholm: Stockholm Çevre Enstitüsü. <https://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/SEI-ProjectReport-Dawkins-MetalsInALowCarbonEconomy-2012.pdf>.
- Derin Dekarbonizasyon Yolları Projesi. 2015. *Derin Dekarbonizasyon Yolları: 2015 Raporu- Yönetici Özeti*. SDSN-IDDRI. http://deepdecarbonization.org/wp-content/uploads/2015/06/DDPP_EXESUM.pdf.
- Economist*. 2014. "En Zengin Damar: Madencilik Şirketleri Kendilerini Bir Delikten Çıkardı: Elektrikli Araçlar ve Bataryaların Bakır ve Kobalt için Büyük Talep Yaratması Bekleniyor." Mart 11. <http://www.economist.com/news/business/21718532-electric-vehicles-and-batteries-are-expected-create-huge-demand-copper-and-cobalt-mining>.
- Elshkaki, Ayman, ve T. E. Graedel. 2013. "Elektrik Üretim Teknolojilerindeki Küresel Metal Akışlarının ve Stoklarının Dinamik Analizi." *Journal of Cleaner Production* 59 (Kasım): 260-73. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.003>.
- Enerji Şüpheci. 2014. "Yüksek Teknoloji Sona Eremez: Rüzgar, Güneş, için Gerekli Sınırlı Mineral ve Metaller Mikroçipler, Arabalar ve Diğer Yüksek Teknoloji Aletleri ." *Peak Energy & Resources*, Climate Change, and the Preservation of Knowledge blog yazısı, 26 Şubat. com/2014/high-tech-cannot-last-rare-earth-metals/.

- EUROBAT, Uluslararası Kurşun Birliği, Japonya Otomobil Üreticileri Birliği, ACEA ve Kore Otomobil Üreticileri Birliği. 2014. "Battery Materials Analysis." http://www.eurobat.org/sites/default/files/resource_availability-final_long_version.pdf.
- Avrupa Komisyonu. 2014. "AB için Kritik Hammaddeler Raporu, Kritik Hammaddelerin Tanımlanmasına ilişkin Geçici Çalışma Grubu Raporu." Brüksel. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/crm-report-on-critical-raw-materials_en.pdf.
- Fizaine, Florian, ve Victor Court. 2015. "Yenilenebilir Elektrik Üreten Teknolojiler ve Metal Tükenmesi: EROI Kullanılarak Yapılan Bir Duyarlılık Analizi." *Ekolojik Ekonomi* 110 (Şubat): 106-18. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800914003681>.
- Fthenakis, V. 2009. "Fotovoltaiklerin Sürdürülebilirliği: İnce Film Güneş Pilleri Örneği." *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri* 13 (9): 2746–50. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2009.05.001>.
- Garner, Andy, ve Gregory Keoleian. 1995. *Endüstriyel Ekoloji: Bir Giriş*. Yüksek Öğrenim için Ulusal Kirlilik Önleme Merkezi. Ann Arbor, MI: Michigan Üniversitesi.
- Grandell, L., A. Lehtil, M. Kivinen, T. Koljonen, S. Kihlman ve L. S. Lauri. 2016. "Temiz Enerji Teknolojilerinin Gelecekteki Piyasalarında Kritik Metallerin Rolü." *Yenilenebilir Enerji* 95 (Eylül): 53–62. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.102>.
- Gruber, P. W., P. A. Medina, G. A. Keoleian, S. E. Kesler, M. P. Everson ve T. J. Wallington. 2011. "Küresel Lityum Mevcudiyeti: Elektrikli Araçlar İçin Bir Kısıtlama mı?" *Endüstriyel Ekoloji Dergisi* 15 (5): 760–75. <http://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00359.x>.
- Houari, Y., J. Speirs, C. Candelise ve R. Gross. 2014. "CdTe PV için Telluryum Kullanılabilirliğinin Sistem Dinamiği Modeli." *Fotovoltaikte İlerleme: Araştırma ve Uygulamalar* 22: 129-46. <http://doi.org/10.1002/pip>.
- Inage, Shin-Ichi. 2009. *Karbondan Arındırılmış Güç Şebekelerinde Büyük Ölçekli Enerji Depolama için Beklentiler*. Uluslararası Enerji Ajansı Çalışma Belgesi. Paris: OECD/IEA. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publications>.
- IEA (Uluslararası Enerji Ajansı). 2014. *Enerji Teknolojisi Perspektifleri 2014: Elektrik Potansiyelinden Yararlanma*. Paris.
- . 2015a. *Enerji Teknolojisi Perspektifleri 2015: İklim Eylemini Hızlandırmak için İnovasyonu Harekete Geçirmek*. Paris.
- . 2015b. *Dünya Enerji Görünümü 2015*. Paris. <http://www.worldenergyoutlook.org/weo2015/>.
- . 2015c. *Dünya Enerji Görünümü Özel Raporu: Enerji ve İklim Değişikliği*. Paris.
- . 2016a. *Enerji Teknolojisi Perspektifleri 2016: Sürdürülebilir Kentsel Enerji Sistemlerine Doğru*. Paris'e.
- . 2016b. *Global EV Outlook 2016 Elektrikli Araçlar Girişimi: Bir Milyon Elektrikli Otomobilin Ötesinde*. Paris'e.
- Uluslararası Elektroteknik Komisyonu. 2009. *Elektrik Enerjisi Depolama Beyaz Kitap*. Cenevre: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu. <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-energystorage-LR-en.pdf>.
- IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli). 2014. "Politika Yapıcılar için Özet." *İklim Değişikliği 2014 içinde: İklim Değişikliğinin Azaltılması. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Beşinci Değerlendirme Raporuna Çalışma Grubu III'ün Katkısı*, derleyen O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler ve diğerleri. Cambridge, Birleşik Krallık ve New York, NY, ABD: Cambridge University Press. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf.

---. 2015. *Beşinci Değerlendirme Raporu*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>.

IRP (2017). *Yeşil Teknoloji Seçimleri: Düşük Karbonlu Teknolojilerin Çevresel ve Kaynaklara Etkileri*. Suh, S., Bergesen, J., Gibon, T. J., Hertwich, E., Taptich, M. Uluslararası Kaynak Paneli Raporu. Birleşmiş Milletler Çevre Programı, Nairobi, Kenya, 2017.

IUGS (Uluslararası Jeoloji Bilimleri Birliği). "IUGS Geleceğe Kaynak Sağlamak için Girişim Başlattı." <http://iugs.org/index.php?page=resourcing-the-future-initiative>.

Jacobson, Mark Z., Mark A. Delucchi, Zack A. F. Bauer, Savannah C. Goodman, William E. Chapman ve Mary A. Cameron. 2017. "Dünyanın 139 Ülkesi için %100 Temiz ve Yenilenebilir Rüzgar, Su ve Güneş Işığı (WWS) Tüm Sektör Enerji Yol Haritaları." Stanford Üniversitesi ve Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesi. stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles//CountriesWWS.pdf.

Jones, Nicola. 2013. "Nadir Metallerin Azlığı Yeşil Teknolojileri Engelliyor." Yale Environment 360. http://e360.yale.edu/feature/a_scarcity_of_rare_metals_is_hindering_green_technologies/2711/.

Kempener, R., ve E. Borden. 2015. *Yenilenebilir Enerji için Batarya Depolama: Pazar Durumu ve Teknoloji Görünümü*. Abu Dabi: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı.

Keshner, M. S. ve R. Arya. 2004. *PV Modüllerinin Süper Büyük Ölçekli Üretiminden Kaynaklanan Potansiyel Maliyet Düşüşlerinin İncelenmesi: Nihai Alt Sözleşme Raporu*. Golden, CO: Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı.

King, Hobart. 2015. "Nadir Toprak Elementleri ve Kullanım Alanları." Geology.com. <http://geology.com/articles/rare-earth-elements/>.

Kirtley, J., R. Schiferl, D. Peters ve E. Brush. 2009. "Yüksek Verimli Cer Motorları için Döküm Bakır Rotorlu İndüksiyon Motorları Örneği." SAE Teknik Belgesi. <http://doi.org/10.4271/2009-01-0956>.

Kleijn, R., E. van der Voet, G. J. Kramer, L. van Oers ve C. van der Giesen. 2011. "Düşük Karbonlu Enerji Üretiminin Metal Gereksinimleri." *Enerji* 36 (9): 5640-48. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2011.07.003>.

Lim, S. R., D. Kang, O. A. Ogunseitan, ve J. M. Schoenung. 2011. "Işık Yayan Diyotların (LED'ler) Potansiyel Çevresel Etkileri: Metalik Kaynaklar, Toksisite ve Tehlikeli Atık Sınıflandırması." *Çevre Bilimi ve Teknolojisi* 45 (1): 320-27. <http://doi.org/10.1021/es101052q>.

Metalpedia. "Nadir Toprakların Kaynak Dağılımı ve Üretimi." http://metalpedia.asianmetal.com/metal/rare_earth/resources&production.shtml.

Morris, Lindsay. 2011. "Doğrudan Tahrik vs. Şanzıman: Her İki Cephede de İlerleme." Power Engineering web sitesi. <http://tinyurl.com/z2v8ppe>.

Moss, R. L., E. Tzimas, H. Kara, P. Willis, ve J. Kooroshy. 2011. *Stratejik Enerji Teknolojilerinde Kritik Metaller: Düşük Karbonlu Enerji Teknolojilerinde Nadir Metallerin Tedarik Zinciri Darboğazları Olarak Değerlendirilmesi*. Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC65592>.

Moss, R. L., Peter Willis, Espinoza Luis Tercero, Evangelos Tzimas, Josephine Arendorf, Paul Thompson, Adrian Chapman ve diğerleri. 2013. *AB Enerji Sektörünün Dekarbonizasyonuna Giden Yolda Kritik Metaller: Nadir Metallerin Düşük Karbonlu Enerji Teknolojilerinde Tedarik Zinciri Darboğazları Olarak Değerlendirilmesi*. Petten, Hollanda: Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi: Enerji ve Ulaştırma Enstitüsü. <http://doi.org/10.2790/46338>.

Düşük Karbonlu Bir Gelecek İçin Mineral ve Metallerin Büyüyen Rolü

- OECD, 2016. Hammadde Ticareti, <http://www.oecd.org/tad/benefitlib/export-restrictions-raw-materials.htm>
- Öhrlund, I. 2012. "Fotovoltaik Hücreler ve Rüzgar Türbinlerinden Kaynaklanan Gelecekteki Metal Talebi: Yenilenebilir Enerji Sistemlerine Geçiş Engelleme Potansiyel Riskinin Araştırılması." Avrupa Parlamentosu Bilim ve Teknoloji Seçenekleri Değerlendirmesi, Brüksel. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/etudes/2011/471604/IPOL-JOIN_ET\(2011\)471604_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/etudes/2011/471604/IPOL-JOIN_ET(2011)471604_EN.pdf).
- Oliveira, David. 2017. "Arz Açığı: Elektrikli Otomobil Üretimi Artarken Teknik Metal Arzı Talebin Gerisinde Kalıyor." Mining Weekly, 17 Mart. http://m.miningweekly.com/article/tech-metals-supply-lagging-demand-as-electric-car-production-increases-2017-03-10/rep_id:3861.
- Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) Hammadde Ticareti Web Sitesi, 2016.
- Peterson, John. 2016. "Lityum-İyonda Kobalt, Lityum ve Grafit için Arz ve Talep Giga-Riski." Yatırımcı Intel, Mart.
- Peterson, P. F., H. Zhao ve R. Petroski. 2005. "Çeşitli Nükleer Enerji Santralleri için Metal ve Beton Girdileri." Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley.
- Pillot, C. 2015. "Şarj Edilebilir Pil Pazarı ve Ana Trendler 2013-2025." 31. Uluslararası Batarya Semineri ve Sergisi. Avicenne Energy. http://www.avicenne.com/pdf/Fort_Lauderdale_Tutorial_C_Pillot_March2015.pdf.
- Radford, Tim. 2013. "Yenilenebilir Enerji Büyük Mineral Arzına İhtiyaç Duyuyor." *Climate News*, Kasım. <http://www.climatecentral.org/news/renewable-energy-needs-huge-mineral-supply-16682>.
- Shell International BV. 2015. "Yeni Mercek Senaryoları: Yeni Bir Dünya Dönüşümü için Perspektifte Değişim."
- Simon, B., S. Ziemann ve M. Weil. 2015. "Lityumda Aktif Malzemelerin Potansiyel Metal Gereksinimi-Elektrikli Araçların İyon Batarya Hücreleri ve Rezervler Üzerindeki Etkisi: Avrupa'ya Odaklanma." *Resources, Conservation and Recycling* 104: 300-10. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.07.011>.
- Speirs, Jamie. 2015. "Elektrikli Araçlar ve Kritik Metaller; Stratejik Enerji Teknolojisi Bilgi Sistemleri." Imperial College Centre for Energy Policy and Technology. <https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-magazine/materials-energy/electric-vehicles-and-critical-metals-jamie-speirs>.
- , M. Contestabile, Y. Houari ve R. Gross. 2014. "Elektrikli Araç Bataryaları için Lityum Mevcudiyetinin Geleceği." *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri* 35: 183-93. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.018>.
- Speirs, J., R. Gross, M. Contestabile, C. Candelise, Y. Houari ve B. Gross. 2014. *Düşük Karbonlu Teknolojiler için Malzeme Bulunabilirliği: Kanıtların Değerlendirilmesi*. UKERC Teknoloji ve Politika Değerlendirme Fonksiyonu.
- Steven Winter Associates. 2014. "Net Sıfır Enerji Binaları." Tüm Bina Tasarım Kılavuzu, Ulusal Bina Bilimleri Enstitüsü, Washington, DC. <https://www.wbdg.org/resources/netzeroenergybuildings.php>.
- Sullivan, J., J. Kelly ve A. Elgowainy. 2015. "Araç Malzemeleri: Güç Aktarma Sistemlerinin Malzeme Bileşimi." Sistem Değerlendirme Grubu, Enerji Sistemleri Bölümü, Argonne Ulusal Laboratuvarı.
- Teske, S., N. Florin, E. Dominish ve D. Giurco. 2015. "Yenilenebilir Enerji ve Derin Deniz Madenciligi: Arz, Talep ve Senaryolar." Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney, Avustralya.
- UNEP (2016). Küresel Malzeme Akışları ve Kaynak Üretkenliği. UNEP Uluslararası Kaynak Paneli Değerlendirme Çalışması. H. Schandl, M. Fischer-Kowalski, J. West, S. Giljum, M. Dittrich, N. Eisenmenger, A. Geschke, M. Lieber, H. P. Wieland, A. Schaffartzik, F. Krausmann, S. Gierlinger,

- K. Hosking, M. Lenzen, H. Tanikawa, A. Miatto ve T. Fishman. Paris, Birleşmiş Milletler Çevre Programı. 2016.
- UNEP (2017). Kaynak Verimliliği: Potansiyel ve Ekonomik Etkiler. Uluslararası Kaynak Paneli'nin bir raporu. Ekins, P., Hughes, N., . 2017.
- ABD Enerji Bakanlığı. 2011. *ABD Enerji Bakanlığı: Kritik Malzemeler Stratejisi*. Washington, DC: ABD DOE.
- USGS (ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu). 2012. Maden Kaynakları Programı. Reston, VA: ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu.
- . 2016. *Mineral Emtia Özetleri 2016*. Reston, VA: ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu.
- . Tarihsiz. "Nadir Toprak İstatistikleri ve Bilgileri." Reston, VA: U.S. Geological Survey. Vidal, Olivier, Bruno
- Goffé ve Nicholas Arndt. 2013. "Düşük Karbonlu Bir Toplum için Metaller." *Nature Geoscience* 6 (Ekim): 894-96. <http://www.nature.com/ngeo/journal/v6/n11/full/ngeo1993.html>.
- Wadia, C., A. P. Alivisatos, ve D. M. Kammen. 2009. "Malzemelerin Bulunabilirliği Büyük Ölçekli Fotovoltaik Dağıtım Fırsatını Genişletiyor." *Çevre Bilimi ve Teknolojisi* 43 (6): 2072-77. <http://doi.org/10.1021/es8019534>.
- Waide, P., ve C. U. Brunner. 2011. *Elektrikli Motor Tahrikli Sistemler için Enerji Verimliliği Politikası Fırsatları*. Çalışma Belgesi, Uluslararası Enerji Ajansı, Paris.
- Wilburn, D. R. 2011. *Amerika Birleşik Devletleri'nde Rüzgar Enerjisi ve 2010'dan 2030'a Kadar Kara Bazlı Rüzgar Türbini Endüstrisi için Gerekli Malzemeler*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011-5036. <http://pubs.usgs.gov/sir/2011/5036>.
- . 2012. *Işık Yayan Diyotların Üretiminde Kullanılan Yan Ürün Metaller ve Nadir Toprak Elementleri - Seçilmiş Pazarlar için Başlıca Tedarik Kaynakları ve Malzeme Gereksinimlerine Genel Bakış*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011-5215. <http://pubs.usgs.gov/sir/2012/5215>.
- Dünya Bankası Grubu. 2016. "İklim Eylem Planı." Dünya Bankası, Washington, DC. <http://pubdocs.worldbank.org/tr/677331460056382875/WBG-Climate-Change-Action-Plan-public-version.pdf>.
- Zepf, Volker, John Simmons, Armin Reller, Morag Ashfield ve Cameron Rennie. 2014. *Enerji Endüstrisi için Kritik Malzemeler: Bir Giriş*, 2. baskı. Londra: BP p.l.c.

