

YEŞİL METALLER

**Yeşil Bir Gelecek İçin
Yüksek Teknoloji
Metalleri**

Doç. Dr. Nuray Karapınar [Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

Gelişen ve yükselen birçok yeni nesil teknolojiye yüksek teknoloji metalleri yeniliklerin tetikleyicisi konumundadır. Daha akıllı ve temiz teknolojilerin, ileri teknoloji ürünlerinin ve mühendislik sistemlerinin geliştirilmesi için özellikle bu metallerin kullanımına ihtiyaç duyulur.

Metaller dayanım, sağlamlık ve iletkenlik gibi kendilerine özgü özellikleri dolayısıyla tarih öncesi çağlardan günümüze çeşitli amaçlar için kullanılageldi. Altın, demir, bakır, kurşun ve gümüş gibi birkaç bin yıldır bilinen metallerin yanı sıra yakın geçmişte keşfedilen birçok metal oldu. Metaller; kimyasal ve fiziksel özellikleri, yerküredeki miktarları, üretim şekilleri ve insan yaşamında aldıkları roller gibi birçok açıdan farklı şekillerde sınıflandırılır: ağır metaller, kıymetli metaller, eser metaller, toksik (zararlı ve zehirli) metaller, nadir metaller ve minör metaller gibi...

Bu tanımlara 21. yüzyılda yeni biri daha eklendi: yüksek teknoloji metalleri. Bu metaller, isimlerinden de anlaşılacağı üzere, ileri teknoloji ürünlerinde ve mühendislik sistemlerinde kullanılır. Kullanıldıkları bileşeni teknolojik ürünlerin vazgeçilmez parçası yapan, kendilerine has olağanüstü özellikleri vardır. Birçok durumda nispeten az kullanılsalar da yüksek değere sahip ürün ve teknolojilere arzu edilen fonksiyonların kazandırılmasını sağlarlar. Son 20-30 yılda yaşanan gelişmeler ve teknolojik yenilikler çok istisnai özelliklere sahip bu metaller sayesinde gerçekleşti. Ayrıca, birçok teknolojik gelişmenin tetikleyicisi olmaları sebebiyle yüksek teknoloji metalleri “yeni çağ metalleri” olarak da anılıyor.

Günümüzde modern toplumun merkezinde yer alan birçok teknolojik yenilik çok özel niteliklere sahip bu metal ve onlarla elde edilen bileşiklerin kullanımı ile hayat buldu. Düz ekran televizyonlar, cep telefonları, temiz enerji teknolojileri, elektronik aletler ve çok sayıda başka teknolojik üründe bu metaller kullanılıyor. Dolayısıyla bu metallere olan talep de hızla artıyor.

Yeni ve Yükselen Teknolojiler

Küresel ölçekte gerçekleşen çok sayıda teknolojik yenilik ve gelişmelerden bazılarını aşağıda listeledik. Listede yer verilen bu teknolojik yeniliklerin ortak özelliği, ileri teknoloji metali kullanımına dayalı olmalarıdır. Ayrıca bu yeniliklerin yaygınlaşması dünya pazarında söz konusu metallere olan talebi önemli miktarda artırmıştır.

Yeni ve Yükselen Teknolojilerde Metallerin Yeri

Yeni ve Yükselen Teknolojiler	Metaller
Otomobil imalatı, uzay ve ulaştırma teknolojisi	
Hafif çelik konstrüksiyon	Al, Mg, Ti
Elektrik motorları (hibrit, elektrikli ve FC arabalar)	Nd, Dy, Pr, Tb (mıknatıs); Cu
Elektrikli arabalar için proton değişim membran (PEM) yakıt hücreleri	Pt
Süper kapasitörler	Al
Hafif alaşımlar	Al-Mg-Sc, Al-Li
Kara yolu araçlarının otomatik pilot uygulaması	Nd, Y, Al
Ticari amaçlı insansız hava aracı	Al, Mg-Sc-Zr (gövde); Rb, Cs, K (sensör)
Bilgi ve iletişim teknolojisi, optik teknolojiler, mikro teknolojiler	
Kurşunsuz lehimler	Sn, Ag, Cu, Zn, In, Ni, Ge, Au, Pt, Sb
RFID- Radyo frekansı tanımlama	Ag, Cu, Al (anten); Si (çip)
Ekran teknolojisi	In, Sn, Sb
Kızılötesi dedektörler (gece görüşlü)	V, Li, Nb, Pb, Ge, La, Sc, Nb, Ta
LED teknolojisi	Ga, In
Fiber optik kablo	Ge (doping)
Mikroelektronik kapasitörler	Ta, Nb, Mn, Sb, Ag, Pd, Ni, Ti, Sn, Ba
Enerji, elektrik ve itici teknolojiler	
Yüksek performanslı çipler	Ga, As, Ge, Cd, Te
Ultra etkin endüstriyel elektrikli motorlar	Cu
Termoelektrik jeneratörler	Te, Sb, Ge, Ag, Bi, Pb, Si, Hf, Zr, Mn, Co, Ni, Fe, Sn, Sb, Ru
Boyaya duyarlı güneş pilleri	Ru (boya); Ti (taşıyıcı); Sn, In, Pt, Ag (elektrot)
İnce film fotovoltailer	Yarı iletkenler (Cu, In, Se, Ga, Te, Cd)
Güneş enerjisi santralleri	Al, Ag (aynalar)
Katı oksit yakıt hücreleri (SOFC)	Y, Zr, Sc (katı elektrotlar); Y, Zr, Sc, Ni, La, Sr, Mn (elektrot)
Karbon yakalama ve hapsedme (CCS)	Cr, Ni, Co, Mn, Mo, V, Nb (ısıya dayanıklı çelik)
Lityum-iyon yüksek performanslı elektik depolama sistemleri (taşıtlar için)	Li; Co, Mn (katot)
Redox akış pilleri (depolama için)	Cr, V
Vakum yalıtımı	Si (çekirdek); Al (kasa/muhafaza kutusu); kurşunsuz lehim (pencere)
Elektik enerjisinin indükleyici transmisyonu	Cu
Termal depolama	K, Na, Li, Ca, Si
Mikro-enerji toplama	Sb, Se, Sn, Cr, Ti, Cu, Nd, Dy, Co
Rüzgâr enerjisi	Nd, Dy, Tb, Pr (mıknatıs/jeneratör); Cu
Kimya, üretim ve işleme teknolojisi, çevre teknolojisi, mekanik mühendislik	
Sentetik yakıtlar	Co, Pt
Deniz suyunun tuzdan arındırılması	Al, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Pd, Ti, V (paslanmaz çelik)
Endüstriyel imalat için katı hâl lazeri	Nd, Y, Er, Yb (lazer)
Nano gümüş	Ag
Medikal mühendislik	
Medikal protezler	Ti, Co, Cr, Mo
Medikal tomografi	Gd
Malzeme teknolojisi	
Süper alaşımlar	Ni, Co, Cr, Mo, W, Re, Ta, Nb, Hf
Yüksek sıcaklık süper iletkenleri	Y, Bi, Tl, Hg, Sr, Ba, Ca, Cu
Yüksek performanslı sabit mıknatıslar	Nd, Dy, Tb, Pr
4. Sanayi Devrimi	Li, La, Sc, Nb, Ta, Ge, Pb (sensör)
Karbon elyaf takviyeli plastikler	Çelik talebinde potansiyel azalma
Karbon nanotüpler (CNT)	Metal talebinde potansiyel azalma
Üç boyutlu yazıcılar	Cu (elektrik motoru)

Bazı Yüksek Teknoloji Metalleri ve Kullanım Alanları

Yüksek değere sahip ürün ve teknolojilere kilit fonksiyonların kazandırılması bu metaller sayesinde sağlanıyor. Dolayısıyla teknoloji geliştiren ülkeler için bu metallere erişim teknolojik rekabet yarışında geri kalmamak için son derece önemli.

Yüksek teknoloji metalleri	Temel kullanım alanları
Galyum (Ga)	Yarı iletkenler
Germanyum (Ge)	Yarı iletkenler, fiber optik, kızılötesi optikler
Gümüş (Ag)	Elektronikler, katalizörler
Hafniyum (Hf)	Süper iletkenler, seramikler
Tellür (Te)	Güneş pilleri
İndiyum (In)	LCD ekranlar
Kadmiyum (Cd)	Güneş pilleri, bataryalar
Kobalt (Co)	Bataryalar, süper iletken katalizörler
Lityum (Li)	Bataryalar, alaşımlar
Nadir toprak elementleri (NTE)	Katalizörler, alaşımlar, mıknatıslar, fosforlar
Platin grubu metalleri (PGM)	Katalizörler
Renyum (Re)	Süper alaşımlar, katalizörler
Selenyum (Se)	Cam renksizleştirme, Mn-rafinasyon, katalizörler, güneş pilleri, alaşımlar
Tantal (Ta)	Elektronikler, süper alaşımlar

Yeşil Metaller: Enerji Metalleri

21. yüzyıl enerji dönüşümünün yaşandığı bir yüzyıl oluyor. Artan iklim baskısı toplumları enerjinin karbondan arındırılmasına zorluyor. İklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek için sera gazı emisyonlarının azaltılması artık bir zorunluluk, enerji arzının güvence altına alınması da bir ihtiyaç. Dolayısıyla, düşük karbon teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulamaları dünya çapında hızla arttı.

Son yıllarda gelişme yaşanan teknolojik alanlardan biri de çevre dostu düşük karbon enerji teknolojileridir. Elektrikli araçlar, güneş panelleri, katalizörler gibi yenilenebilir enerji ve enerji etkin teknolojilerin geliştirilmesi özellikle yüksek teknoloji metallerinin kullanımına bağlıdır.

Düşük karbon salımına sahip çevre dostu enerji teknolojilerinin geliştirilmesinde kullanılan yüksek teknoloji metallerine “enerji metalleri” veya “yeşil metaller” de denir.

Düşük karbonlu enerji sistemlerine istenilen işlevselliği kazandıran bu metaller, bu sistemlerin sürdürülebilir dönüşümünü sağladıkları için son derece değerlidir. Örneğin, yüksek dönüşüm verimliliği sağlayarak güneş hücreleri ile enerjiye erişimde maliyeti düşüren ince film solar hücreler; indiyum, tellür ve galyum gibi yüksek teknoloji metalleri sayesinde üretilebilir. Rüzgâr türbinlerini daha verimli hâle getiren süper mıknatısların imalatında kullanılan nadir toprak elementleri (NTE) de yüksek teknoloji yeşil metallere örnek verilebilir.

Ayrıca, elektrikli araçlar için bilinen en iyi elektrik depolama aracı olan lityum-iyon pillerde kullanılan lityum da yeşil metallere aittir.

Yüksek teknoloji metallerin toplam tüketim miktarının %20'sinin temiz enerji teknolojilerinde kullanıldığı tahmin ediliyor.

Enerji Sistemleri Elementleri

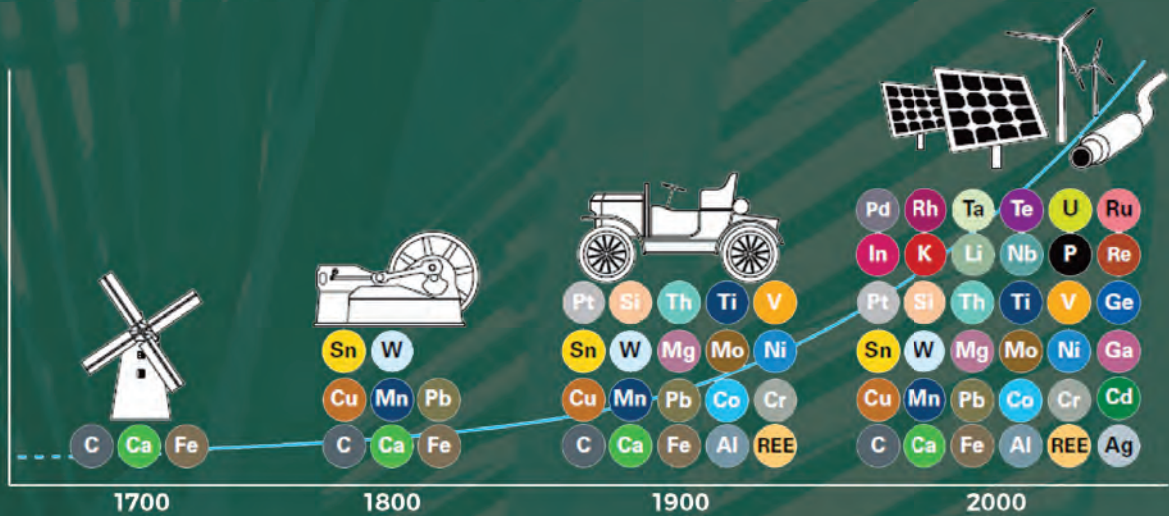
Düşük karbonlu bir gelecek inşa etmek için büyük miktarda mineral hammadde gerekir, çünkü fosil yakıt temelli elektrik üretimine kıyasla, düşük karbon teknolojilerinde, daha fazla çeşitte ve miktarda mineral hammaddeye ihtiyaç duyulur. Düşük karbon teknolojileri, özellikle de solar fotovoltaikleri (PV) ile rüzgâr enerjisi ve jeotermal enerji sistemleri fosil yakıt teknolojilerine göre daha fazla malzeme gerektirir. 1 megawatt güç potansiyeli için 300 güneş paneline, 200 megawatt'lık PV projesi için ise 550 futbol sahası kadar alana ihtiyaç duyulduğu dikkate alındığında, iklim değişikliğinin 2 °C ile sınırlandırılması tasarısına göre lityum ve kobalt ihtiyacının 2050 yılında, 2018 seviyesine göre, %450'den daha fazla artacağı öngörülmüyor.

Bununla birlikte, düşük karbonlu enerji sistemlerine istenilen işlevselliği kazandıran yüksek teknoloji

metallerine olan talebin yanı sıra yaygın bilinen ve kullanılan metallere olan talebin de artacağını belirtmek gerekir. Örneğin petrole dayalı arabalarda kullanılan bakır miktarına göre elektrikli arabalarda 3 kat fazla bakır kullanılıyor. Güneş ve rüzgâr enerjisi altyapıları, aynı güç kapasitesinde fosil yakıt veya nükleer enerji altyapısı ile karşılaştırıldığında, 15 kat fazla beton, 90 kat fazla alüminyum ve 50 kat fazla demir ve bakır kullanımını gerektirir.

Enerji üretimi için gereken element sayısı özellikle son 300 yılda, buhar makinesinden arabalarda kullanılan içten yanmalı motorlara ve günümüzün modern güneş teknolojileri gibi enerji teknolojilerine kadar önemli ölçüde arttı, hâlâ da artmaya devam ediyor. Element sayısında endüstri devriminden bu yana neredeyse eksponansiyel (üstel) olarak artan bir eğilim söz konusudur. Dolayısıyla, düşük karbonlu enerji teknolojileri için kritik olan bu metallerin tedarik zincirinde karşılaşılabilecek zorluklar, bu teknolojilerin yaygın kullanımına engel olabilir.

Düşük karbon teknolojilerinin yaygınlaştırılması, sadece iklim değişikliği ile mücadele etmek için değil; aynı zamanda enerjiye erişimi güvence altına almak ve ülke ekonomileri arasındaki rekabeti geliştirmek ve sürdürülebilirliği sağlamak için de kilit bir noktadadır. Bu nedenle düşük karbon enerji



Kaynaktan tüketiciye (kaynak, üretim, işlem, ürün, dağıtım ve kullanım) enerji üretiminde ihtiyaç duyulan malzemelerin zamanla değişimi.

teknolojileri metallerine, yani yeşil metallere erişimin güvence altına alınması; enerji sektöründe, özellikle de teknoloji üreten ülkeler için önemlidir.

Avrupa Birliği ilk defa 2007 yılında düşük karbon enerji teknolojilerine dair “Avrupa Stratejik Enerji Teknolojileri Planı (SET-Plan)” oluşturulması niyetini ortaya koydu ve ilk defa 2009 yılında stratejik olarak değerlendirdiği düşük karbon enerji teknolojilerini belirledi. Sonuçları 2013 yılında yayımlanan bir çalışmada ise, stratejik olarak belirlenen 17 düşük karbon teknolojisi için bu teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulamalarının yaygınlaştırılmasında ihtiyaç duyulan ve

gelecekteki talebinde 2010 yılındaki arzlarına göre %1’in üzerinde artış olacağı öngörülen metaller tespit edildi. Ayrıca, bu metaller içerisinde pazar koşulları ve jeopolitik şartlar göz önünde bulundurulduğunda tedarik zinciri darboğazı açısından temini riskli olanlar da listelendi.

Karbon salım miktarı düşük söz konusu 17 enerji teknolojisi için 2020-2030 yılları arasında talebinde artış yaşanacak yüksek teknoloji metali sayısı 32’dir. Pazar koşulları ve jeopolitik şartlar açısından değerlendirildiğinde, yüksek teknoloji metali olan birçok metalin tedarik ve temininin yüksek-orta riskli olduğu görülür.

Düşük Karbon Teknolojileri	Avrupa SET-Planı 2013 Yılı Düşük Karbon Teknolojileri Haritası
Nükleer enerji (filyon)	Rüzgâr enerjisi
Güneş enerjisi (fotovoltaikler-PV ve yoğunlaştırılmış Güneş enerjisi-CSP)	Güneş enerjisi (fotovoltaikler)
Rüzgâr enerjisi	Güneş enerjisi (CSP)
Biyoenerji (biyoyakıtlar dâhil)	Hidroelektrik enerjisi
Güç santrallerinde karbon yakalama ve depolama teknolojisi	Güç santrallerinde karbon yakalama ve depolama teknolojisi
Akıllı elektrik şebekeleri	Okyanus enerjisi
Hidroelektrik	Kojenerasyon (entegre ısı ve güç santrali)
Jeotermal enerji	Jeotermal enerji
Okyanus enerjisi	Gelişmiş fosil yakıt enerji üretimi
Kojenerasyon (entegre ısı ve güç santrali)	Nükleer enerji (filyon)
Gelişmiş fosil yakıt enerji üretimi	Nükleer enerji (füzyon)
Yakıt hücreleri ve hidrojen	Akıllı şebekeler
Elektrik depolama	Biyoenerji- güç ve ısı üretimi
Enerji etkin endüstriler ¹	Biyoyakıtlar (ulaşım sektörü)
Enerji etkin binalar ¹	Yakıt hücresi ve hidrojen
Etkin karayolu ulaşımı ²	Elektrik depolama
Desalinasyon (tuzdan arındırma) ^{1,2}	Sanayide enerji verimliliği ve karbon emisyonunun azaltılması (çimento, demir, çelik ve kâğıt endüstrisi)
	Binalarda enerji verimliliği
	Isı pompaları
	Isıtma ve soğutma teknolojileri

PV: solar fotovoltaiks; CSP: yoğunlaştırılmış güneş enerjisi

¹ 2009 yılı düşük karbon teknolojileri haritasında yer almaz.

² 2011 ve 2013 yıllarında revize edilen düşük karbon teknolojileri haritalarında yer almaz.

2010 yılı arzına göre 2020-2030 yılları arasında talebinde %1 üzerinde artış beklenen enerji metalleri (metal, metaloids ve mineral) listesi

Disprosyum (arabalar, rüzgâr)	Gümüş (güneş, aydınlatma)
Lityum (arabalar)	Lantan (arabalar)
Grafit (taşıtlar)	Samaryum (arabalar)
Tellür (güneş)	Bakır (entegre ısı ve güç santrali, güneş, arabalar, akıllı şebekeler)
Neodimyum-Praseodim (arabalar, rüzgâr)	Hafniyum (nükleer)
İndiyum (güneş, aydınlatma, nükleer)	Seryum (arabalar)
Platin (yakıt hücreleri)	Altın (aydınlatma)
Terbiyum (aydınlatma)	Renyum (fosil yakıtlar)
Kalay (güneş)	Tantal (jeotermal, fosil yakıtlar)
Evropiyum (aydınlatma)	Krom (desalinasyon)
Galyum (aydınlatma, güneş)	Vanadyum (karbon yakalama ve depolama)
Kobalt (arabalar, fosil yakıtlar)	Niyobyum (karbon yakalama ve depolama)
Nikel (desalinasyon, araba, jeotermal)	Selenyum (güneş)
Germanyum (aydınlatma)	Kurşun (akıllı şebekeler, depolama)
İtriyum (aydınlatma)	Kadmiyum (güneş)
Molibden (desalinasyon, rüzgâr)	Gadolinyum (aydınlatma)

(Listedeki metaller, belirlenen 17 düşük karbon teknolojisi için en fazla talep görecekten en düşüğe doğru sıralanmıştır.)

Düşük karbon teknolojileri için gerekli elementlerin tedarik ve temin riski derecelendirmesi

Element	Tedarik Temin Riski	İlgili olduğu teknoloji
NTE: Dy, Pr, Nd	Yüksek	Arabalar, rüzgâr
Nadir toprak metalleri: Eu, Tb, Y	Yüksek	Aydınlatma
Galyum	Yüksek	Aydınlatma, güneş
Tellür	Yüksek	Güneş
Grafit	Orta-Yüksek	Arabalar
Renyum	Orta-Yüksek	Fosil yakıtlar
Hafniyum	Orta-Yüksek	Nükleer
Germanyum	Orta-Yüksek	Aydınlatma
Platin	Orta-Yüksek	Yakıt hücreleri
İndiyum	Orta-Yüksek	Güneş, aydınlatma, nükleer
NTE: La, Ce, Sm	Orta	Arabalar
NTE: Gd	Orta	Aydınlatma
Kobalt	Orta	Arabalar, fosil yakıtlar
Tantal	Orta	Jeotermal, fosil yakıtlar
Niyobyum	Orta	Karbon yakalama ve depolama
Vanadyum	Orta	Karbon yakalama ve depolama
Kalay	Orta	Güneş
Krom	Orta	Desalinasyon

Yüksek Teknoloji Metallerinin Özellikleri

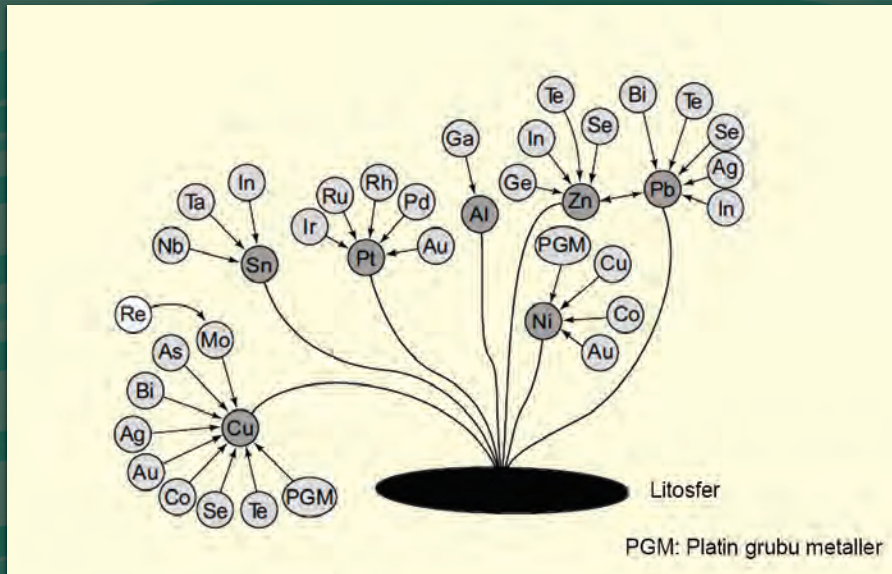
Yüksek teknoloji metallerinin temel özelliği genellikle kıt bulunmalarıdır. Bu kıtlık sadece jeokimyasal kıtlığın (kıtasal kabuktaki % miktarı) bir sonucu olarak değil; aynı zamanda ekonomik, teknolojik, sosyal, çevresel ve jeopolitik faktörlerin bir sonucu olarak gelişen arz ve talep arasındaki dengesizlikten kaynaklı bir durumdur. Dolayısıyla bu metaller, aynı zamanda nadir veya minör metal olarak da adlandırılır. Yani düşük miktarda üretilen (yıllık üretimi 25.000 tondan daha düşük) veya kullanılan, aynı zamanda cevher içerisinde düşük oranda bulunan ve borsalarda ticareti olmayan metallere aittir. Bununla birlikte, söz konusu metallerin global pazardaki arz talep oranı birkaç büyük üretici tarafından kontrol edilir. Yüksek teknoloji metallerinin birçoğu hem ekonomik önemi hem de tedariki yüksek riskli olduğu için kritik olarak nitelendiriliyor.

Bu metallerin diğer önemli özellikleri ise belirli majör metal yatakları ile yakından ilişkili olmaları ve genellikle baz metallerle birlikte bulunmalarıdır. Dolayısıyla bu metallerin üretimi ana (majör, baz) metalin üretimine bağlıdır, diğer bir deyişle yan ürün veya ikincil ürün olarak elde edilirler.

Genellikle kompleks ve çoklu metal cevherlerinde ppm (milyonda bir birim) seviyesinde bulunurlar. Madencilik için itici güç majör metalin üretimidir. Yan ürün metaller (by product metal), ekonomik olarak kazanılabilmeleri durumunda, genellikle ek getiri sağlar. Ancak bazı durumlarda ise safsızlık olarak kabul edilir ve ilave maliyete yol açabilirler. Yan ürün olarak elde edilen metale tipik bir örnek renyum üretimidir. Renyum, molibden üretiminde yan ürün olarak elde edilir; molibdenin kendisi de bakırın yan ürünüdür.

Bazı ileri teknoloji metaller ise metal çifti (coupled metals) olarak bulunur. Bunlar, genellikle aynı gruba ait metallere aittir ve birlikte çıkarılıp işlenirler. Platin grubu metalleri (PGM'ler), nadir toprak metalleri ve tantal-niyobyum bunlara örnektir.

Yan ürün olarak elde edilen bazı yüksek teknoloji metallerinin aynı zamanda birincil hammadde madenciliği de mevcuttur (örneğin kobalt, bizmut, molibden, altın, gümüş, PGM'ler ve tantal). Lityum ise tuzlardan elde edilir ve de mineral olarak kalay minerali ile birlikte bulunur.



Ev sahibi (majör metal) ve ona eşlik eden yol arkadaşı (minör metal) metaller

Bazı metallerin üretim sürecine ait karbon ayak izi miktarları

İleri teknoloji metallerin çevreye bir diğer etkileri de mevcut durumda geri kazanım oranlarının düşük olmasıdır. İleri teknoloji metalleri; devre kartı, katalizör ve LCD ekranlar gibi ürünlerde çok düşük oranlarda (ppm: milyonda bir seviyesinde) bulunur. Dolayısıyla bunların geri kazanım süreçleri daha zorludur.

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
* Lantanitler			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
* Aktinitler			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr



Şüphesiz ki yüksek teknoloji metallerine erişim daha sürdürülebilir bir toplum oluşturmak için hayati önem taşır. Gelişen ve yükselen birçok teknolojide yüksek teknoloji metalleri yeniliklerin tetikleyicisi konumundadır. Daha akıllı ve temiz teknolojilerin geliştirilmesi için özellikle bu metallerin kullanımına ihtiyaç duyulur. Ancak bu metallerin ortak özelliği, birçok faktöre bağlı olarak kıt bulunmalarıdır. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda, söz konusu metallerin ikamesinin yanı sıra başta ömrünü tamamlamış ürünlerin geri kazanımı ile daha temiz ve çevreci metal üretim teknolojilerinin geliştirilmesi olmak üzere, hem yüksek teknoloji metallerine erişimi güvence altına alacak hem de enerjide sürdürülebilir yeşil dönüşümü sağlayacak bilimsel ve teknolojik alanlarda daha fazla çabalamak gerekir. ■

Kaynaklar

- (1) Marscheider-Weidemann, F., Langkau, S., Hummen, T., Erdmann, L., Tercero Espinoza, L., Angerer, G., Marwede, M. & Benecke, S. (2016): Summary | Raw materials for emerging technologies 2016. – DERA Rohstoffinformationen 28: 13 S., Berlin.
- (2) Frenzel, M., Tolosana-Delgado R., Gutzmer J., “Assessing the supply potential of high-tech metals - A general method”, Resources Policy, 46, 45-58, 2015.
- (3) Skinner, B.J., “Earth resources”. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 76(9), 4212-4217, 1979.
- (4) Linkages of Sustainability. Thomas E. Graedel, Ester van der Voet, eds. Cambridge, MA: MIT Press, 532 sayfa, 2010.
- (5) Verhoef, E. V.; Gerard, P. J.; Reuter, M.A.: Process knowledge, system dynamics and metal ecology. J. Ind. Ecol. 2004, 8, pp. 23 – 43. (tekerlek)
- (6) Mario Schmidt, Resource efficiency – what are critical metals and how scarce are they? electronic displays 2012 Conference, Germany.
- (7) Metal Sustainability Global Challenges, Consequences, and Prospects. Ed. Reed M. Izatt, IBC Advanced Technologies, Inc., John Wiley & Sons, Ltd., 2016. |, 508p.
- (8) Zepf V., Reller A., Rennie C., Ashfield M. & Simmons J., BP (2014): Materials critical to the energy industry. An introduction. 2nd edition.
- (9) JRC SETIS (2009), 2009 Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan (SET Plan): Part –I: Technology Descriptions, JRC-SETIS Work Group.
- (10) JRC (2011), 2011 Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan (SET Plan): Technology Descriptions, EU24979 ENRC-SETIS Work Group.
- (11) JRC SETIS (2013), 2013 Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan (SET Plan): Technology Descriptions, JRC-SETIS Work Group.
- (12) United Nations Environment Programme: Recycling Rates of Metals – a Status Report, Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel, 2011.
- (13) Moss, R. L./Tzimas, E./Willis, P./Arendorf, J./Tercero Espinoza, L.: Critical Metals in the Path towards Decarbonisation of the EU Energy Sector – Assessing Rare Metals as Supply- Chain Bottlenecks in Low-Carbon Energy Technologies (Scientific and Policy Reports), Petten: European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport 2013.
- (14) Vidal, O., Goffe, B., Arndt, N., “Metals for a low-carbon society”, Nature Geoscience, 6, 894-896, 2013.
- (15) Karapınar N., “İleri teknoloji metalleri”, Madencilik Türkiye Dergisi, 70:140-146, 2018.