



MALZEME BİLİMİNİN AÇTIĞI YENİ UFUKLAR III: Stratejik Malzemeler ve Uygulama Alanları



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

 STM ThinkTech

1. GİRİŞ

Kanadalı yönetmen James Cameron'un gişe rekorları kıran *Avatar* filmlerinde, cennetvari Pandora gezegenindeki insana benzer Na'vi halkının, "Dünya'da kilosunun 20 milyon dolar" olduğu söylenen "unobtainium" mineralinin peşinde, beş yıllık uzay yolculuğuyla gezegenlerine gelen işgalci insanlarla mücadelesi anlatılır. Fantastik edebiyatta sıkça atıfta bulunulan "unobtainium"; İngilizce "unobtainable", yani "elde edilemez" veya "bulunmaz" kelimesinden türetilmiş, bazen "süper enerji kaynağı", bazen de "yerçekimine meydan okuyan mega miktatsız" olabilmek gibi mucizevi özelliklere sahip hayali bir madendir.

İlk *Avatar* filminin gösterime girmesinden (2009) bir yıl sonra Çin ile Japonya arasında çıkan bir kriz, aslında Dünya'da çok sayıda "unobtainium" bulunduğunu ve bunların çoğunun Çin'in elinde olduğunu ortaya çıkarmıştır. Dünyanın geri kalanı Çin'in başta Nadir Toprak Elementleri (NTE) olmak üzere, 21'inci yüzyıla yön verecek teknoloji ve sektörler açısından son derece önemli çok sayıda mineralde neredeyse tekel konumunda olduğunun ve bunları yeri geldiğinde uluslararası ilişkilerde silah olarak kullanabileceğinin farkına varmıştır.

İkinci *Avatar* filminin gösterime girdiği 2022 yılında ise başka krizler, COVID-19 pandemisi ve Rusya Ukrayna Savaşı, kritik mineral arzını aksatabilecek farklı riskleri ortaya çıkarmıştır. Bu tür mücbir nedenlerin, ambargoların ve yaptırımların, tedarik zincirinde kopmalara ve en azından aksamalara neden olabileceği anlaşılmıştır. Bunların, bilişim teknolojilerinden enerjiye, savunmadan sağlığa ve hatta gıdaya kadar pek çok sektörde darboğazlara yol açabileceği görülmüştür.

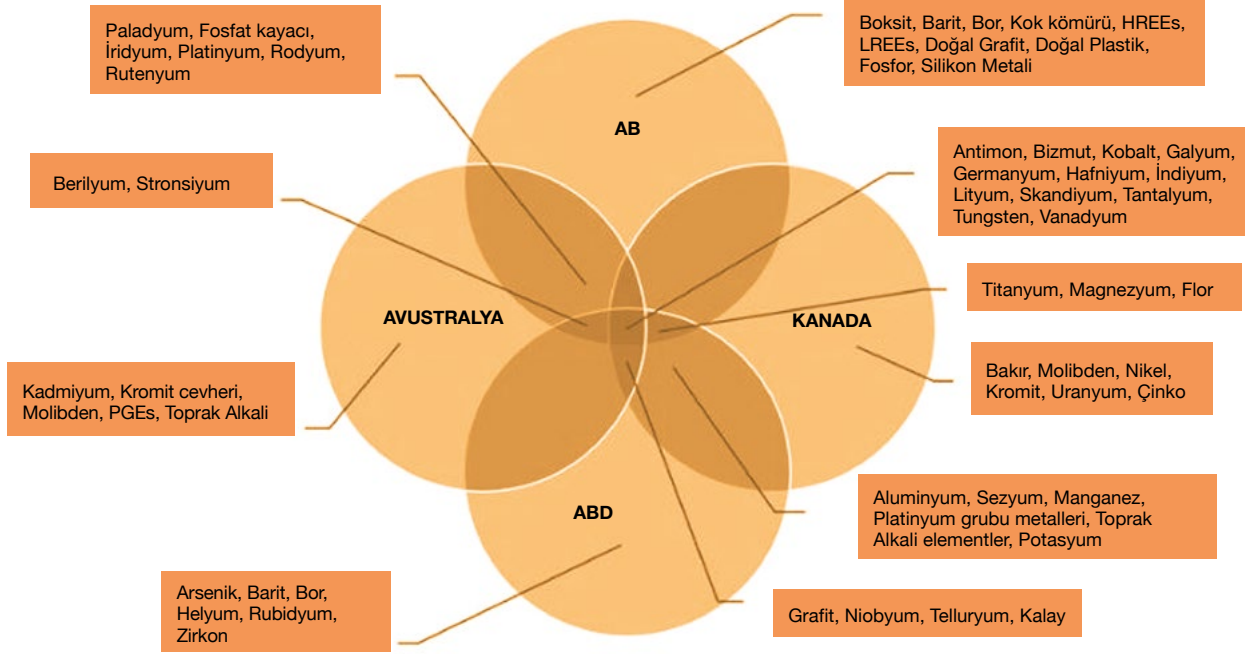
Bugün ülkeler ve ülke grupları az bulunan veya birkaç ülkenin kontrolünde bulunan mineraller ve malzemeler

konusunda son derece hassas hâle gelmiştir. Zira bir yandan küresel iklim değişikliği ile mücadele için acil adım atma zorunluluğu, diğer yandan da pandemi sonrası ekonomik toparlanma ihtiyacı, yeşil politikalara yönelimi hızlandırmıştır. Rüzgâr türbinleri, güneş enerjisi panelleri, otonom nesnelere, elektrikli ulaşım araçları, biyomedikal cihazlar, bilişim ve iletişim teknolojileri, havacılık ve uzay araçları, yeşil politikaların amaçlarına ulaşması için kilit önem taşımaktadır. Bu teknolojilerin etkinliği ve verimliliği ise giderek artan sayıda kritik malzemelere bağlıdır.

Kritik malzemelerin artan önemi, ülkeleri bu malzemelerin tedariki noktasında stratejiler geliştirmeye, araştırma yapmaya ve çeşitli mekanizmalar oluşturmaya zorlamaktadır. Araştırma dizimizin üçüncü ve son bölümünde, ülkeleri bu adımları atmaya yönlendiren nedenler ele alınacaktır. Kritik malzemelerin bazı seçilmiş sektörlerde oynadığı roller özetlenecek, kritik malzeme tedarik güvenliğinin sağlanması için başvurulan yöntemler gözden geçirilecektir.

2. STRATEJİK MALZEME KAVRAMININ GELİŞİMİ

Strateji, bir ulusun veya uluslar topluluğunun, barış ve savaşta benimsenen politikalara destek vermek amacıyla politik, ekonomik, sosyolojik, psikolojik ve askeri güçleri bir arada kullanma bilimi ve sanatıdır. Dolayısıyla bir nesnenin "stratejik" olup olmadığını söz konusu politika, plan, hedef ve amaçlar belirlemektedir ve son derece subjektiftir.



Şekil 1: Avrupa Birliği, ABD, Avustralya ve Kanada'nın kritik hammaddeler listelerinin karşılaştırılması^[1].

Bu tanımdan yola çıkarak, “stratejik malzemenin”, bir grubun, kuruluşun, ülkenin veya ülkeler grubunun stratejik planları ve tedarik zinciri yönetimi için önemli olan her türlü hammadde ve malzeme olduğunu söylemek mümkündür. Stratejik malzemelerin tedarik edilmemesi, söz konusu grupları bu malzemeleri gerektiren ürünlerin imalatının kesintiye uğraması riskine karşı savunmasız bırakabilir.

Bir malzemenin “stratejik” olup olmadığı da subjektiftir. Bir grup için stratejik bir malzeme, diğeri için önemsiz olabilir. Stratejik veya kritik malzeme listeleri, teknolojiye gelişmeler, büyük üretici ülkelerdeki siyasi istikrarsızlıklar, çevresel baskılar ve kaynakların keşfi, geliştirilmesi veya tükenmesi nedeniyle zamanla değişir. Yine de bu listelerin ortak noktaları her zaman olabilir. Günümüzde stratejik malzeme listelerine sahip ülke ve ülke gruplarının bu listelerinde kesişim kümeleri bulunmaktadır (Şekil 1).

Ülkelerin stratejik malzemelere yaklaşımı da farklılık göstermektedir. “Stratejik” kelimesinin yerine “kritik”, “malzeme” yerine “mineral” veya “hammadde” ifadelerinin tercih edilmesi, yaklaşım farklılıklarını işaret etmektedir. ABD’de “stratejik malzemeler”, “acil durumlarda askeri, endüstriyel veya sivil ihtiyaçlar için gerekli malzemeler” olarak tanımlanmıştır^[2]. Bu tanım belirsizdir; “gereklinin” nasıl yorumlandığına ve “ulusal acil durumun” nasıl tanımlandığına bağlıdır. Daha yakın zamanlarda, “stratejik” terimi, genel refah için gerekli unsurları içerecek şekilde daha geniş bir şekilde yorumlanmıştır. Nitekim ABD Başkanlık Ofisi, Şubat 2022’de yayınladığı bir bildiriye “stratejik” yerine “kritik” ifadesini; “malzemeler” yerine “mineraller” ifadesini kullanmış ve “Kritik mineraller, birçok modern teknolojinin yapıtaşlarıdır, ulusal güvenliğimiz ve ekonomik refahımız için gereklidir” tanımını yapmıştır^[3].

“Stratejik” yerine “kritik” ifadesinin tercih edilmesinde, ulusal güvenlik kavramının genişlemesinin ve derinleşmesinin etkisi bulunmaktadır. Tarihsel olarak, stratejik malzemeler, ulusal bir acil durumda (savaş, afetler, salgın hastalıklar vb.) kritik önem taşıyan ve tedarik edilmesi zor olan hammaddeler ve yarı mamuller olarak kabul edilmiştir. Bu anlayışa göre, bir malzemeyi veya hammaddeyi stratejik yapan unsur, olası güvenlik krizlerinde, genellikle söz konusu malzemenin ilgili ülkede nadir olarak bulunması, yeteri kadar üretilmemesi ve/veya temininde bir veya sınırlı sayıda ülkeye bağımlı olunmasıdır. Bazen barış zamanı bol bulunan malzemeler de savaş veya diğer olağanüstü durumlarda nadir hâle gelebilir.

Birinci Dünya Savaşı’nda stratejik malzemeler, kömür, çelik, yün ve petroldür^[4]. İkinci Dünya Savaşı’nda bunların yanına alüminyum, krom, manganez, cıva, mika, molibden, kalay, nikel, tungsten, uranyum ve vanadyum gibi yeni elementler ile doğal veya sentetik kauçuk da eklenmiştir^[5]. Soğuk Savaş döneminde nükleer silahlar, balistik füzeler, askeri ve sivil jet uçakları, uzay araçları ve 70’li yılların ortalarından itibaren de bilişim teknolojilerinin oynamaya başladığı önemli rol kritik malzeme listelerine nadir toprak elementlerinin ve silisyum gibi yeni malzemelerin eklenmesine neden olmuştur. Soğuk Savaş’ın sona ermesi ve ekonomide artan küreselleşmeyle birlikte, daha geniş bir stratejik ve gelişmiş malzeme kavramı ortaya çıkmıştır. Yeni bakış açısı, ulusal güvenlik alanının, askeri etmenlerin yanı sıra ekonomik, sosyal ve siyasi etmenleri de kapsadığını ve bir toplumun genel refahının da güvenlik perspektifiyle ele alması gerektiğini kabul etmektedir. Günümüzde bir malzemenin stratejik olması, ekonomik veya askeri amaçlar için hayati önem taşımasından kaynaklanmaktadır.

2.1 21'inci Yüzyılda Stratejik Malzemeler Rekabeti

21'inci yüzyılın dinamikleri stratejik malzeme sınıflarının genişlemesine neden olmuştur. Hızlanan teknolojik gelişmelerin yanı sıra iklim değişikliği, salgın hastalıklar ve gıda güvenliği gibi küresel tehditler dünya genelinde hükümetleri bu alanlarda politika üretmeye, Ar-Ge çalışmalarını hızlandırmaya ve yatırım yapmaya zorlamaktadır. Bu dönemde dijitalleşme; enerji, ulaşım ve üretimde yeşil dönüşüm, döngüsel ekonomi ve ekolojik koruma gibi ön plana çıkan politikaların uygulanabilmesi ve sürdürülebilir kılınması için hayati önem taşıyan malzemeler de stratejik olarak kabul edilmiştir.

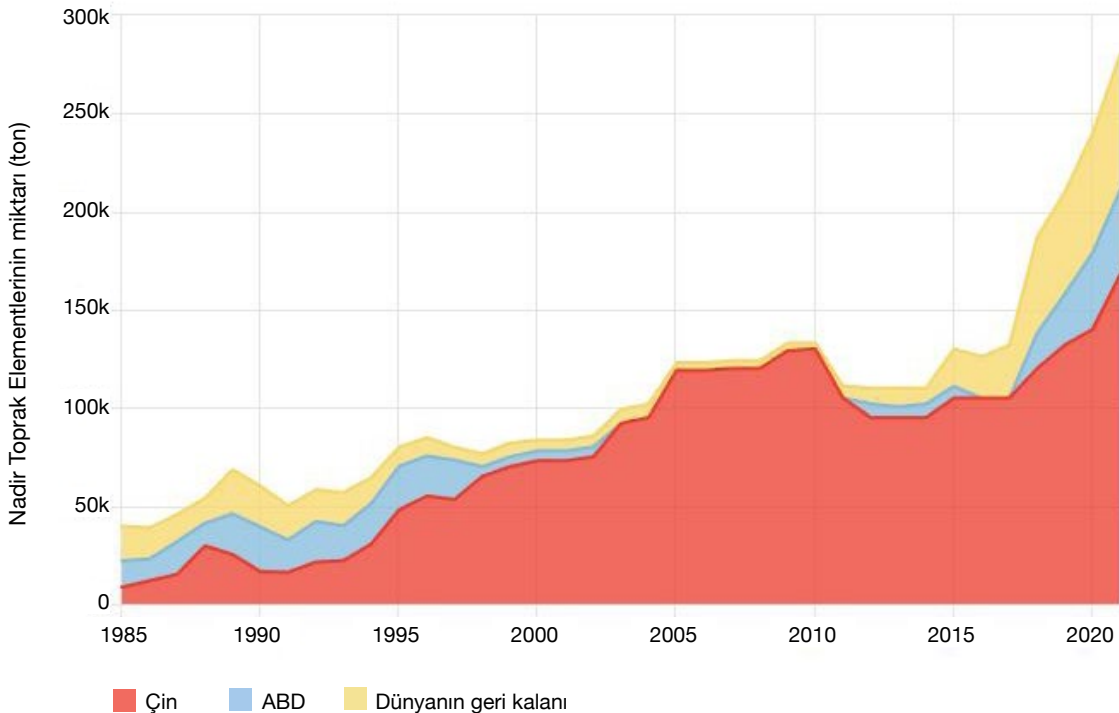
Öyle ki, söz konusu malzemelerin, fosil yakıtların 20'nci yüzyılda oynadığı büyük jeopolitik rol kadar büyük rol oynamaya başladığı ifade edilmektedir.

Stratejik malzeme kavramının gelişiminde yakın geçmişte Çin Halk Cumhuriyeti'nin kritik önem taşıyan metaller, mineraller ve özellikle nadir toprak elementlerinde dünya genelinde bir tekel oluşturma yönünde attığı adımlar etkili olmuştur. Yazı dizimizin önceki bölümlerinde aktarıldığı üzere^[6] Çin, kritik önemi haiz pek çok malzemenin hem rezervlerinde hem de üretiminde dünya çapında hâkim konumdadır. Çin'in kritik malzemelerdeki hâkim konumu bu ülkenin 1980'li yıllardan bu yana yürüttüğü bilinçli bir politikanın sonucudur. ABD, 1980'li yıllara kadar dünyanın başlıca nadir toprak elementleri tedarikçisi olmuştur. Çin'in dışa açılmaya başlamasıyla birlikte, yabancı şirketler 1980'li yıllarda Çin'in düşük istihdam maliyetlerinden yararlanmak için madenlerinin önemli bir bölümünü kapatarak Çin'de üretim yapmaya veya ihtiyaçlarını Çin'den tedarik etmeye başlamışlardır. Bunların başında üretimi karmaşık, pahalı ve çevreye zararlı nadir toprak elementleri gelmektedir.

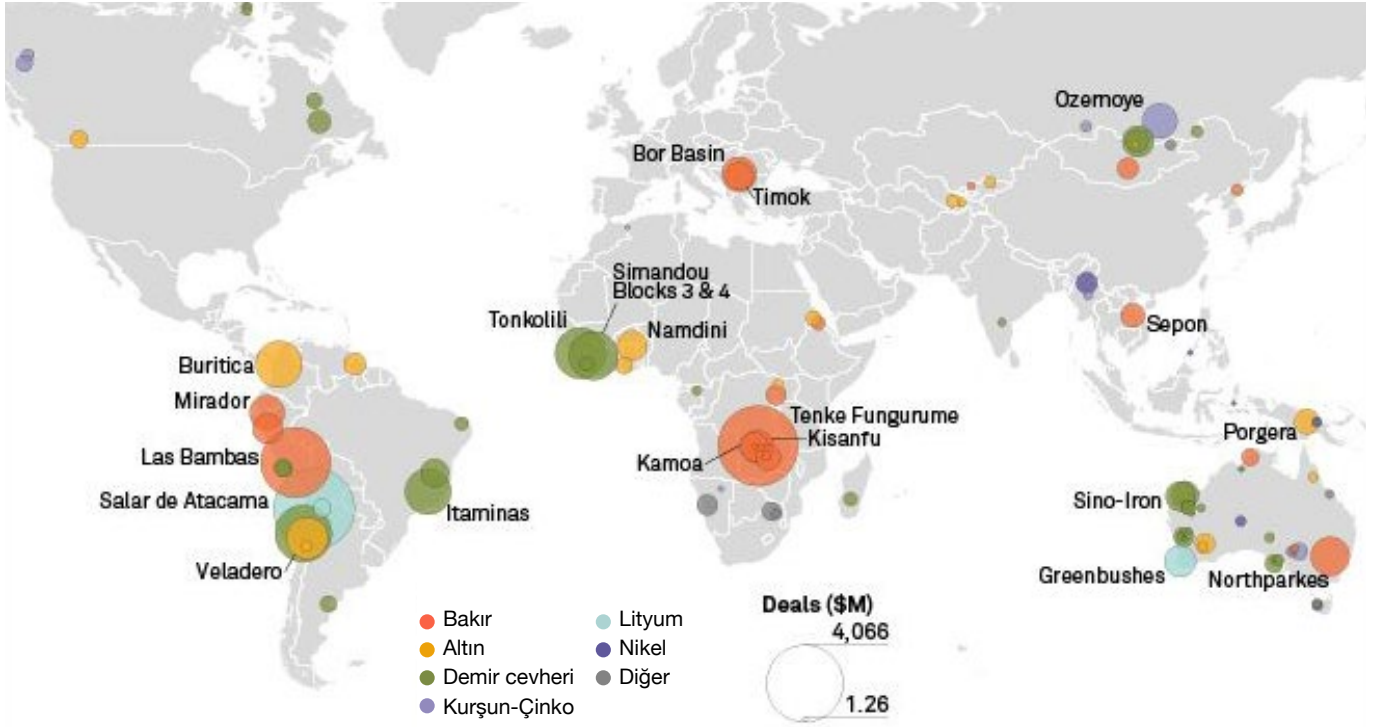
Çin'de 1986'da yürürlüğe konan "Ulusal Yüksek Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Programı -Program-863"; biyoteknoloji, uzay, bilgi teknolojileri, lazer, otomasyon ve yeni malzemeler üzerinde yoğunlaşarak, Çin ile Batı arasındaki teknolojik gelişim farkını kapatmak amacıyla planlanmıştır^[7]. Planda ileri teknolojilerin hemen her alanında kritik önem taşıyan nadir toprak elementlerinin üretiminin artırılacağı da vurgulanmıştır.

İstihdam maliyeti düşük ve çevre koruma düzenlemeleri o dönemde gevşek olan Çin, nadir toprak elementleri üretimi için son derece cazip hâle gelmiştir. Bu dönemde Çin'in 21 eyaletinde nadir toprak elementleri keşifleri yapılmış ve teknoloji transferi için yabancı madencilik şirketlerinin, Çinli şirketlerle ortak olması şartıyla, nadir toprak elementleri madenciliği yapmasına izin verilmiştir. Ayrıca Pekin yönetimi, 1990 yılında nadir toprak elementlerini "stratejik mineral" olarak ilan etmiş ve koruma altına almıştır. Bu tarihten sonra yabancı şirketlerin nadir toprak elementleri madenciliği yapmasına izin verilmemiştir. Dönemin Çin Devlet Başkanı Deng Şiaoping, 1992 yılında "Ortadoğu'nun petrolü bizim ise nadir toprak elementlerimiz var" sözleriyle ülkesinin bu konuya stratejik yaklaştığını göstermektedir^[8]. 2000'li yıllarda ABD'nin en büyük nadir toprak elementleri madeni olan Kaliforniya eyaletindeki "Mountain Pass" madeni kapatılırken, Çin dünyanın en büyük nadir toprak elementleri tedarikçisi konumuna gelmiştir^[9]. 2010 yılında Çin'in nadir toprak elementleri pazarındaki payının yüzde 90'ı bulunduğu kaydedilmektedir^[10].

Nadir toprak elementlerinin stratejik önemi, dünya tekeli hâline gelen Çin'in, 2010'da Japonya ile yaşadığı bir krizde ortaya çıkmıştır. O tarihte Doğu Çin Denizi'nde yer alan, Çin ile Japonya arasında ihtilafı Senkaku/



Şekil 2: Dünya nadir toprak elementleri üretimi (1985-2020)^[9].



Şekil 3: Çinli şirketlerin yurtdışı maden yatırımları^[13].

Diaoyu Adaları civarında avlanan bir Çinli balıkçı teknesi kaptanının Japonya tarafından gözaltına alınması üzerine Pekin yönetimi, Japonya'ya nadir toprak elementleri ambargosu uygulamıştır^[11]. Kriz, iki aylık ambargonun ardından Japonya'nın geri adım atmasıyla çözülmüştür. Kriz, gelişmiş ülkelerin nadir toprak elementleri açısından Çin'e ne kadar bağlı olduğunu göstermiş ve pek çok ülkenin alarma geçmesine yol açmıştır.

Çin, sonraki yıllarda bir yandan başka ülkelerin nadir toprak elementleri kapasitelerini kullanmak için anlaşmalar yaparken, diğer yandan kurduğu nadir toprak elementleri rafinerileriyle bu kritik malzemelerin işlenmesinde merkezi konumunu pekiştirmiştir. Çin ayrıca, Afrika, Avustralya ve Latin Amerika'da çeşitli anlaşmalarla bakır, kobalt ve lityum gibi yeşil teknolojiler açısından kritik öneme sahip madenlerin işletme haklarını almış (Şekil 3) veya bu madenlerin ithalatında öncelik hakkını elde etmiştir^[12].

Senkaku krizi ardından Çin, 2012 yılından itibaren çevre kaygılarını gerekçe göstererek nadir toprak elementleri ihracına kısıtlamalar koymaya başlamış, bu da küresel olarak nadir toprak elementleri fiyatlarının önemli ölçüde yükselmesine neden olmuştur.

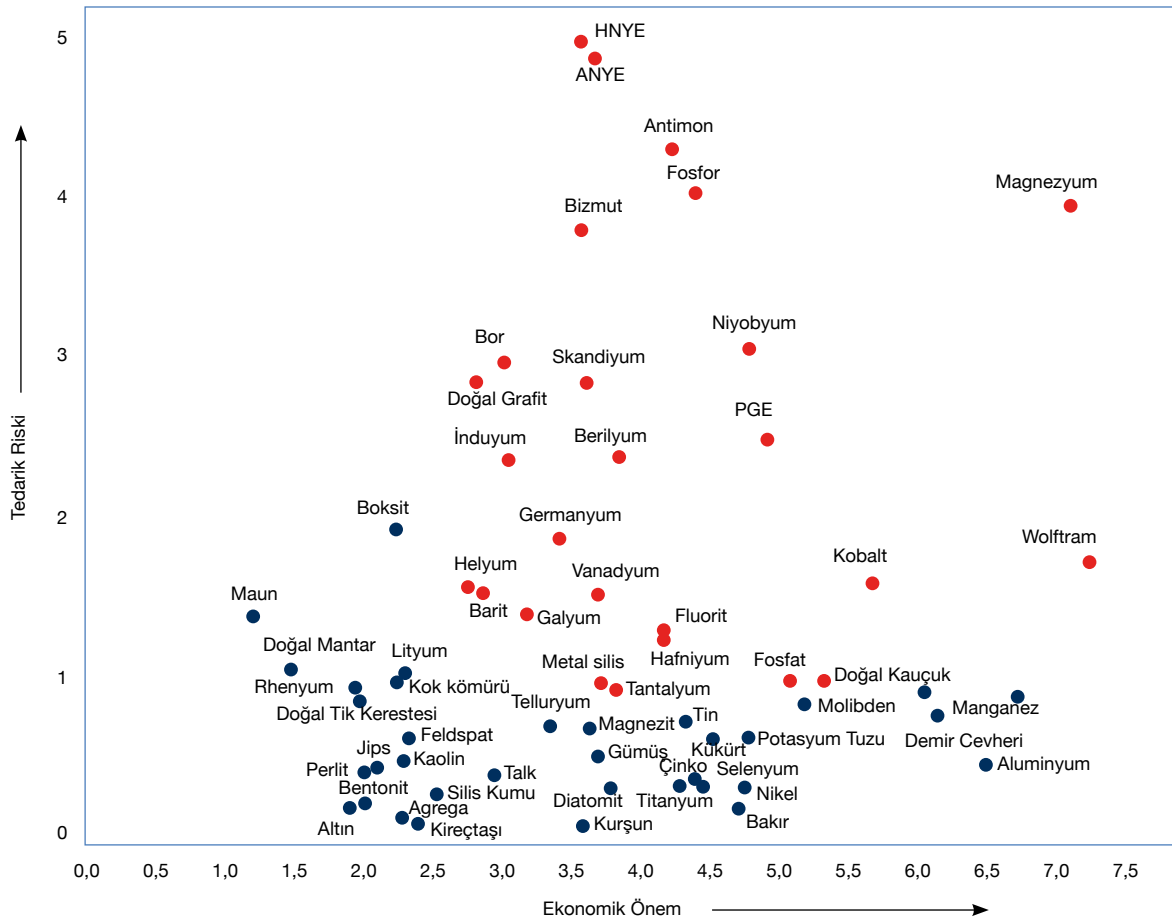
Çin'in stratejik malzemeler üzerinde hâkimiyetini artırıcı adımları ve bu malzemeleri uluslararası ilişkilerinde koz olarak kullanmaya başlaması üzerine, dünya genelinde bu alanda strateji üretme gayretleri yoğunlaşmıştır. Pek çok ülke ulusal nadir toprak elementleri ve diğer stratejik malzeme kaynaklarını geliştirmek ve/veya çeşitli ortaklıklar ve ittifaklar kurarak stratejik malzemeleri daha geniş tedarik zincirlerinden temin ederek kaynak çeşitliliği yaratma yoluna gitmiştir. Bu çabaların sonunda Çin'in dünya nadir toprak elementleri cevheri pazarındaki hâkimiyeti yüzde 60'a kadar gerilemiştir^[10]. Bununla birlikte

Çin rafine edilmiş nadir toprak elementleri pazarında hâlen yüzde 90 civarında pazar payına sahiptir^[9].

Dünyanın geri kalanının başta nadir toprak elementleri olmak üzere kritik mineral üretiminde büyük artışlar yakalaması, sadece Çin'e bağımlılığı azaltmak için değil, gelecekte geometrik olarak artacak talebe yanıt verme zorunluluğunun da bir sonucudur. Nitekim 190'dan fazla ülkenin imza attığı Birleşmiş Milletler Paris İklim Anlaşması'nın öngördüğü, 2050 yılına kadar karbon nötr olunması hedefine ulaşılması için kritik mineral üretimini dünya genelinde önemli ölçüde artırmak gerekecektir. Uluslararası Enerji Ajansının tahminlerine göre, sadece enerji alanında karbon nötrlüğe ulaşmak için 2040 yılına kadar kritik mineral ihtiyacının en az altı kat artması gerekecektir. Bu oran lityum için 40 kat, kobalt ve nikel için ise 20-25 kata kadar çıkmaktadır^[14]. Bilhassa elektrikli araçlarda ve rüzgâr türbinlerinde ihtiyaç duyulan nadir toprak elementlerine talebin 2040 yılına kadar yedi kat artması beklenmektedir^[15]. Söz konusu talep patlaması, dünyada dengeleri değiştirecek niteliktedir. Zira söz konusu mineraller dünya genelinde petrol ve doğalgazdan bile daha fazla coğrafi yoğunlaşma içindedir. Bir avuç ülke kritik mineraller pazarının önüm bir kısmını elinde tutmaktadır. Dolayısıyla bu durum, stratejik malzemelerin "21'inci yüzyılın petrol ve doğalgazı" olacağı ve jeopolitik gerilimlerin merkezinde yer alacağı yönündeki iddiaları güçlendirmektedir^[16].

2.2 Avrupa Birliğinin Kritik Malzemelere Yaklaşımı ve Girişimleri

Uzun bir madencilik geçmişi bulunan Avrupa'da yüze yakın maden ve mineral yataklarının önemli bir kısmı tükenmiştir. Yoğun nüfuslu bölgelerde bilinen yataklar



Şekil 4: AB'de kritik malzemelerin tedarik riski (2017)^[18].

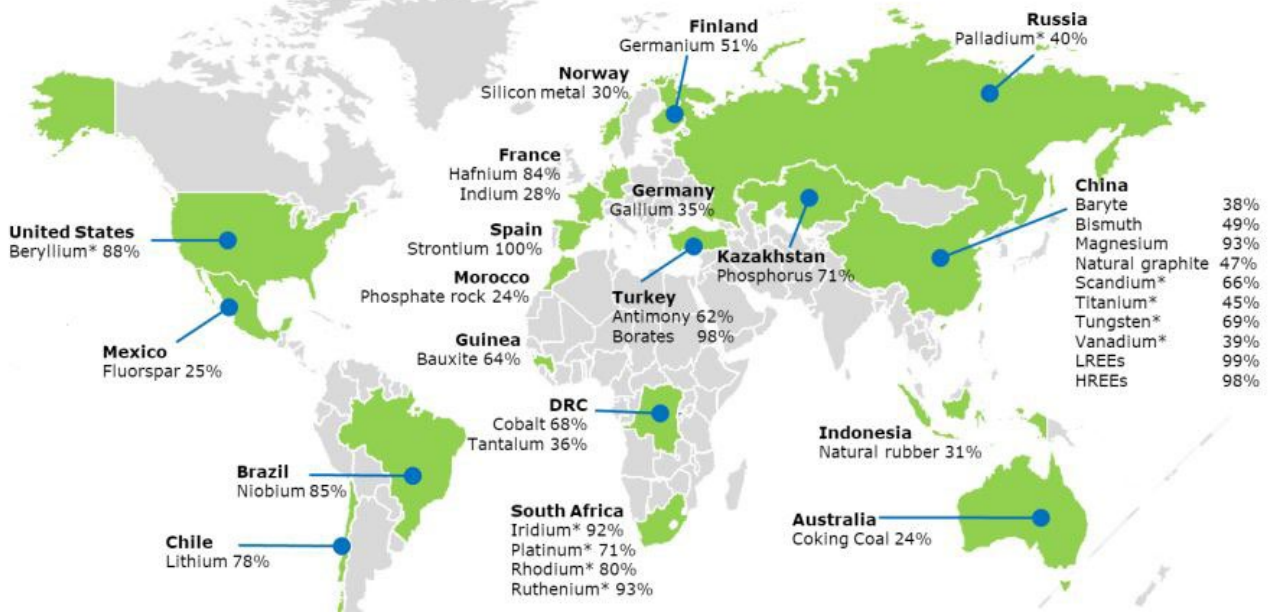
ise katı çevre mevzuatı nedeniyle işletilememektedir. Dolayısıyla özellikle Orta ve Batı Avrupa'da yeni maden açmak dünyanın geri kalanına kıyasla çok daha zordur. Hammaddede dışa bağımlılık ve kritik malzemelere uygun fiyatla güvenli biçimde erişmek Avrupa'nın pek çok sanayileşmiş ülkesinde endişe kaynağıdır.

Çin ile Japonya arasında yaşanan Senkaku krizi, AB'nin öteden beri kritik malzemeler konusunda taşıdığı kaygıların alarm boyutuna yükselmesine neden olmuştur. AB, Senkaku krizinin ardından bir yandan ABD ve Japonya ile birlikte hareket edip Çin'i Dünya Ticaret Örgütüne şikâyet etmek gibi diplomatik girişimlerde bulunmuşlar, diğer yandan da stratejik malzemelerde dışa bağımlılığı azaltmak için çeşitli çözümlere başvurmuşlardır. Kritik malzeme araştırmalarına kaynak sağlanması, kritik malzemelerin yeni bağımlılıklar yaratmayacak ikamelelerinin geliştirilmesi ve bu tür malzemelerin geridönüşümünün artırılması, üzerinde durulan çözümlerden bazılarıdır^[17].

AB'nin stratejik malzeme listesi son 10 yılda sürekli olarak artmıştır. AB, üye ülkelerin endişelerini dikkate alarak 2011 yılından başlayarak her üç yılda bir kritik hammadde raporunu açıklamaktadır. Hammaddelerin kritiklik derecesi "ekonomik önemlerine" ve "tedarik risklerine" göre belirlenmektedir. Malzemelerin ekonomik önemleri, söz konusu malzemelerin Avrupa'nın

büyük endüstrilerindeki kullanım oranları ve bu endüstrilerin AB GSYH'sına katkısına oranlanarak tespit edilmektedir. Tedarik riski ise, kaynak ülkesindeki siyasi istikrar, güvenlik, devlet etkinliği, hukukun üstünlüğü faktörleri üzerinden hazırlanan Avrupa Komisyonu Dünya Yönetişim İndikatörü'ne (WGI) bağlı olarak tespit edilmektedir (Şekil 4).

Avrupa Komisyonu 2011 yılında bu kriterleri dikkate alarak, 41 adet enerji ve gıda dışı malzemeden, kobalt, florit, grafit, magnezyum, platinyum grubu elementler (PGE), nadir toprak elementleri, tungsten, tantal, antimon, berilyum, galyum, germanyum, indiyum ve niyobyum olmak üzere 14'ünü "kritik" olarak nitelendirmişti^[19]. Komisyonun 2014'te yayınladığı raporda ise 54 malzeme incelenmiş ve bunlardan 19'u kritik olarak değerlendirilmiştir. 2011 listesinde yer alan tantal ve skandiyum kritik mineraller listesinden çıkarılmış; kok kömürü, bor, krom, magnezit, fosfat kayası ve silisyum kritik malzemeler arasına girmiştir^[20]. 78 malzemenin incelendiği 2017 raporunda ise barit, bizmut, hafniyum, helyum, doğal kauçuk, fosfor, skandiyum, tantal ve vanadyum ilk kez kritik olarak nitelendirilmiştir^[21]. 83 malzemenin yer aldığı 2020 kritik malzemeler listesine 2017 listesinde yer almayan boksit, lityum, titanyum ve stronsiyum girerken, ekonomik değeri düşen helyum çıkarılmıştır^[22].



Şekil 5: AB'nin en önemli kritik malzeme tedarikçileri 2020^[22].

AB'nin en büyük kritik hammadde tedarikçisi Çin olmakla birlikte, AB birçok farklı hammadde için farklı tedarikçi ülkelerle ticaret yapmaktadır (Şekil 5). Örneğin Rusya ve Güney Afrika, AB'nin en büyük platin grubu metal (PGM) tedarikçileridir. AB ayrıca bor (%98) ve antimon (%62) ihtiyacının çok büyük kısmını Türkiye'den karşılamaktadır.

AB'nin kritik malzemeler listesinin dokuz yıl içinde önemli ölçüde genişlemesi, birliğin genel politika önceliklerindeki değişimi de yansıtmaktadır. 2011 listesi, özellikle bilişim teknolojileri için önemli malzemelere odaklanırken, sonraki raporlarda yeşil teknolojiler için hayati önem taşıyan malzemelerin listeye eklendiği görülmektedir. Listenin bir başka özelliği de savunmadan çok ekonomi odaklı olmasıdır. ABD'de ise savunma odaklı bir stratejik malzeme yaklaşımı söz konusudur.

Avrupa Komisyonu, bu çalışmalarla yetinmemiş, "AB Kritik Hammadde Yasasını" Eylül 2022'de tartışmaya açmıştır. Yasa tasarisinin gerekçesinde, lityum ve nadir toprak elementlerinin yakın gelecekte petrol ve doğalgazdan daha önemli hâle geleceği ve 2030 yılında nadir toprak elementlerine olan talebin beş katına çıkacağı öngörüsüyle, "Birliğin bu gibi kritik elementlerin tedarik zinciri, madenciligi, rafine edilmesi ve geridönüşümüne dair stratejik projeleri belirlemesi; tedarik zincirinin güvenliği için stratejik depolama dahil olmak üzere yeni tedbirler alması gerektiği" vurgulanmıştır. Yasa kapsamında, "Öncelikle, dijital ve yeşil dönüşüm süreci, savunma ihtiyaçları, ekonomik önem, arz yoğunluğu ve muhtemel arz sıkıntıları dikkate alınarak hangi kritik hammaddelerin stratejik olduğunun belirleneceği, bir AB Hammadde Ajansları Ağı oluşturulacağı ve stratejik depolama yoluyla AB genelinde arz güvenliğinin sağlanacağı" kaydedilmiştir^[23].

2.3 ABD'nin Kritik Malzemelere Yaklaşımı

Senkaku krizinin ardından Çin'in ihracat kısıtlamalarına gitmesi, ABD'yi de nadir toprak elementleri ve diğer kritik malzemelerin tedarikini güvence altına alma yönünde adımlar atmaya zorlamıştır. ABD, AB ve Japonya ile birlikte hareket ederek Çin'i nadir toprak elementleri ihracat kısıtlamalarını kaldırmaya zorlamış ve 2015'te istediği sonucu almıştır. Yerli üretimi artırmak için 2002 yılında kapatılan ülkenin en büyük nadir toprak elementleri madeni Mountain Pass'ın, başka bir firma kurularak yeniden faaliyete geçmesi sağlanmıştır^[9]. Bu arada ABD Savunma Bakanlığı ve Enerji Bakanlığı, stratejik malzemeler konusunda olası kriz senaryoları üzerinden stratejiler üretmek üzere çalışmalara başlamışlardır.

ABD Savunma Bakanlığının 2013 yılında yaptırdığı çalışmada, "ABD'nin dahil olduğu, en az dört yıl sürecek topyekün bir savaş" senaryosu üzerinden 76 tür malzemenin stok durumu incelenmiş ve bunlardan 23'ünde sıkıntı yaşanacağı ortaya konmuştur. Buna göre, ABD özellikle kalay, antimon, alüminyum oksit, bizmut, manganez, silikon karbür ve florit temininde sıkıntı yaşayabilir. Ayrıca ABD'nin nadir toprak elementleri açısından da önemli ölçüde dışa bağımlı olduğuna dikkat çekilmiştir^[24].

ABD Enerji Bakanlığı ise temiz teknolojiler (rüzgâr türbinleri, elektrikli araçlar, fotovoltaike ince filmler, enerji verimli aydınlatma vb.) geliştirmek için başta nadir toprak elementleri, lityum vetellür olmak üzere 16 malzemenin kritik önem taşıdığı belirlenmiştir^[25].

Bu çalışmaların yanı sıra ABD hükümetleri, kritik malzemelerde dışa bağımlılığı azaltacak araştırmaları destekleyeceklerini açıklamışlar; AB, Kanada, Japonya, Güney Kore, İngiltere, Avustralya, Hindistan ve diğer ülkelerle kritik malzemelerin tedarikini güvence altına almaya yönelik ittifaklar kurmuşlardır.



Şekil 6: Çeşitli ülke ve ülke gruplarının Çin'den nadir toprak elementleri ithalatına bağımlılık oranları (2008-2018)^[9].

Söz konusu çabalara rağmen ABD; AB, Japonya ve Güney Kore ile kıyaslandığında nadir toprak elementleri tedarikinde Çin'e bağımlılığını en az azaltan ülke konumdadır (Şekil 6). 2008'de yüzde 91,3 oranında Çin'e bağımlı olan ABD, 10 yıl sonra bu oranı ancak yüzde 80'e kadar çekebilmiştir. Aynı dönemde nadir toprak elementlerinde Çin'e bağımlılık oranını Japonya yüzde 90'dan yüzde 58'e, Güney Kore ise yüzde 77'den yüzde 57'ye kadar azaltabilmiştir^[9]. AB ise, nadir toprak elementleri tedarikinde 2008 yılında yüzde 58 oranında Çin'e bağımlıyken bu oranı 2015 yılında yüzde 30'a kadar geriletebilmiş, 2018'de ise bu oran yeniden yükselerek yüzde 55'e kadar çıkmıştır.

2.4 Diğer Ülkelerde Stratejik Malzemelere İlişkin Yaklaşımlar

Japonya, Çin ile yaşadığı Senkaku krizinden dersler çıkarmış ve Çin'e bağımlılığını azaltmak için arayışlara başlamıştır. Tokyo Hükümeti öncelikle devlete ait maden şirketi Jogmec'i canlandırıp yurtiçi ve yurtdışında nadir toprak elementleri kaynaklarının geliştirilmesi için yetkilendirmiştir. Bu arayışın sonucu olarak ülkenin güneydoğusundaki Minamitori Adası'nda önemli miktarda nadir toprak elementleri rezervi bulunmuştur^[26]. Jogmec ayrıca Japonya'nın kritik malzeme tedarikini çeşitlendirmek için yurtdışında yatırımlara girişmiştir. Avustralya'nın ve dünyanın en büyük nadir toprak elementleri üreticilerinden Lynas şirketine 250 milyon dolar tutarında yatırım yaparak^[27] mali sıkıntılar yaşayan şirketin çökmesine veya Çinlilere satılmasına engel olduğu gibi, şirketin Malezya'da gelişmiş bir nadir toprak elementleri rafinerisi inşa etmesini de sağlamıştır^[9].

Dünyanın önde gelen bazı otomotiv üreticilerine sahip olan Japonya, elektrikli araçlara yönelik talep artışını göz önüne alarak kritik malzemelerin tedarikinin güvence altına alınması konusunda daha fazla adım atmaya kararlı görünmektedir. Japonya, Aralık 2022'de ülkenin dışa bağımlılığını azaltmak amacıyla "stratejik olarak kritik önem taşıyan dokuz malzemeyi" belirlemiştir. Bunlar yarı iletkenler, bataryalar, antimikrobiyal malzemeler, nadir toprak elementleri, endüstriyel robotlar, sıvılaştırılmış doğalgaz, gübre, gemi ve uçak bileşenleri ile bulut bilişim uygulamaları olarak sıralanmıştır. İlgili yasal düzenlemede, pandemi sırasında özellikle Çin malı tıbbi malzemelere olan aşırı bağımlılığın tehlikelerine dikkat çekilmiş ve gelecekte Çin ile Tayvan arasında olası gerginliklerin yol açabileceği tedarik zinciri aksamalarının göz önünde tutulması gerektiği vurgulanmıştır^[28].

Çin'in devlet destekli şirketlerinin kritik malzemeler üzerindeki kontrolüne karşı adım atan ülkelerden biri de Kanada'dır. 2021 yılında 41 adet kritik mineral belirleyen ve dünyada bu minerallerin tedarikinin sürekliliğini sağlamak için "kritik mineral deposu" olma stratejisini benimseyen Kanada^[29], Çin'e karşı doğrudan adımlar da atmıştır. Ottawa Hükümeti Ekim 2022'de, bundan böyle yabancı devlet destekli madencilik şirketlerinin Kanada'da faaliyet göstermesine sadece çok olağanüstü koşullarda izin verileceğini açıklamış ve Çinli şirketlerden Kanadalı nikel ve kobalt üreticisi şirketlerdeki ortaklıklarına son vermesini istemiştir^[30].

Güney Kore de 2021 yılı sonunda, elektrikli araç bataryaları ve yenilenebilir enerji de dahil olmak üzere kritik endüstriler açısından hayati önem taşıyan hammadelerde arz istikrarını sağlamak amacıyla oluşturulan



stratejik nikel, kobalt ve diğer kritik metal stoklarını büyük ölçüde artırma kararı almıştır. Bu karara göre, belirlenen 35 kritik malzemenin stratejik stok miktarı 100 günlük ihtiyacı karşılayacak şekilde artırılabacaktır. Daha önceki düzenlemede bu süre 57 gün olarak belirlenmiştir^[31]. Güney Kore'nin nadir toprak rezervleri vardır ancak ülke, bu mineralleri rafine etme kapasitesine sahip değildir. Bununla birlikte son yıllarda yeşil teknolojiler için kritik öneme sahip malzemelerin ülkede geliştirilmesi için adımlar atılmaktadır. Nadir toprak elementlerinden miktansız üreten bir tesis bunlar arasında yer almaktadır.

Güney Kore'nin kritik malzemelerde entegre bir tedarik zinciri oluşturmaya yönelik ilk adımı, Australian Strategic Metals'in bir yan kuruluşuyla Avustralya'dan temin edilen hammaddelerle nadir toprak metalleri üretmek üzere bir ortak girişim kurulması olmuştur. Bu ortak girişim, Güney Kore'nin üç kentinde üretim tesisleri kurmuş ve Mayıs 2022'de faaliyete geçirmiştir. Şirket yılda 5.000 ila 10.000 ton nadir toprak metali üretmeyi planlamaktadır^[32]. Güney Kore'de rafine edilecek nadir toprak metalleri, bu tesislerde miktansızlara dönüştürülecektir.

Hindistan, geniş topraklara ve doğal kaynaklara sahip olmasına rağmen, özellikle yeşil teknolojiler için gerekli elementler ve mineraller açısından yeterli kaynaklara sahip olmayan ülkeler arasında bulunmaktadır. Hindistan Hükümeti, ülke ekonomisi ve savunması açısından kritik öneme sahip 49 mineral belirlemiştir. Nikel, kobalt, molibden ve bazı nadir toprak elementleri rezervlerine sahip bulunan Hindistan, güneş enerjisi panelleri için gerekli silikon, gümüş, iridyum, arsenik, galyum, germanyum ve tellürün yanı sıra lityum ve kobalt açısından dışa bağımlı konumdadır^[33]. Hindistan, söz konusu minerallerin temini için ABD ve Avustralya ile işbirliği anlaşmaları imzalamıştır^[33].

2.5 Stratejik Malzeme İttifakları

Stratejik malzemelerin giderek artan önemi ve özellikle Çin'in bu malzemelerde hâkim konumu, diğer ülkeleri

tedarik güvenliğinin sağlanması için ittifaklar kurmaya itmektedir. Son yıllarda ikili, üçlü ve çok taraflı anlaşmalarla çeşitli kritik malzeme zincirleri oluştuğu görülmektedir.

2.5.1 Mineral Güvenliği Ortaklığı

ABD, AB Komisyonu, Avustralya, Kanada, Finlandiya, Almanya, Japonya, Güney Kore ve İngiltere Haziran 2022'de, "Mineral Güvenliği Ortaklığı" (Minerals Security Partnership) kurduklarını bildirmişlerdir^[34]. Yeni ortaklık, küresel talep arttıkça temiz enerji ve diğer teknolojiler için gerekli olan nikel, lityum ve kobalt gibi kritik minerallerin tedarikini güvence altına almayı amaçlamaktadır^[35]. İttifak, Çin'in kritik mineraller üzerindeki hâkim konumuna en büyük meydan okuma olarak görülmektedir.

2.5.2 Avrupa Hammadde İttifakı

AB öncülüğünde 2020 yılında kurulan Avrupa Hammadde İttifakı (European Raw Materials Alliance -ERMA), AB'nin üçüncü ülkelere kritik hammadde bağımlılığını azaltmak için bilimsel araştırma, bilgi değişimi, Ar-Ge, finansman ve yatırım işbirliğini artırmayı hedeflemektedir. İttifaka topluluk genelinden özel şirketler, üniversiteler, sektör birlikleri, kamu kuruluşları ve ilgili tüm kuruluşlar davet edilmiş, daha sonra Kuzey Amerika, Ortadoğu ve Kuzey Afrika'dan pek çok kuruluşun ittifaka dahil olmasının önü açılmıştır^[36]. ERMA, AB Kritik Malzemeler Eylem Planı çerçevesinde belirlenen alanlarda araştırma ve yatırımları desteklemektedir.

2.5.3. Lityum Dörtlüsü

Lityum iyon bataryalar, elektrikli araçlardan cep telefonlarına pek çok teknolojik üründe vazgeçilmez bir unsurdur. Bu nedenle lityuma olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Lityum üretiminde Şili, Arjantin ve Bolivya önde gelen ülkeler arasındadır. Üçü de Güney Amerika'da yer alan bu ülkelerden Bolivya dünyanın en büyük lityum rezervlerine sahipken, Şili dünyanın en büyük ikinci lityum üreticisi, Arjantin ise dördüncü büyük üreticisidir^[37].

Meksika, lityumda dünyada söz sahibi bir ülke olmasına rağmen bir maden ülkesidir ve Kuzey Amerika ve Avrupa pazarlarına diğer Güney Amerika ülkelerine kıyasla daha yakındır. Meksika bu konumunu, Latin Amerika'nın mevcut rezervlerinden daha fazla yararlanmak ve Meksika'yı kritik minerallerin rafine edildiği bir üs hâline getirmek için kullanmak istemektedir. Bu amaçla Mayıs 2022'de Bolivya, Arjantin ve Şili'ye "Lityum Dörtlüsü" adında bir ittifak kurulması çağrısında bulunmuştur. Kurulması hâlinde Lityum Dörtlüsü, bu madende dünyanın bir numaralı grubu olacaktır^[38].

2.5.4. Güneydoğu Asya Uluslar Birliği Mineral İşbirliği

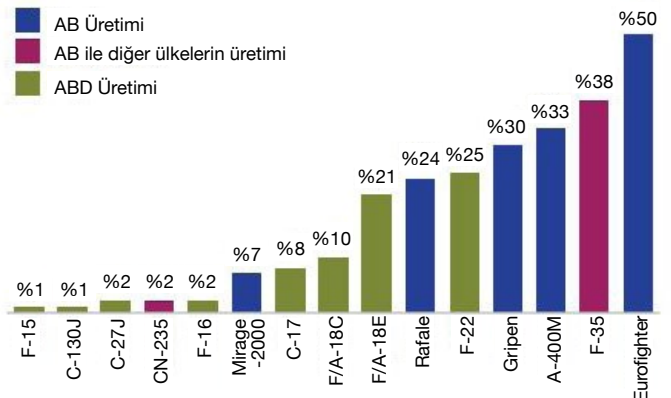
Güneydoğu Asya'nın 10 ülkesinin oluşturduğu Güneydoğu Asya Uluslar Birliği (Association of Southeast Asian Nations -ASEAN), 2005 yılında kritik mineraller konusunda işbirliğini artırmak amacıyla ASEAN Mineral İşbirliği ittifakını oluşturmuştur. ASEAN, mineral hammaddelerin tedariği için dünyanın en büyük pazarlarından biridir. ASEAN ülkeleri, başlıca mineral ve metal ürünlerinin en büyük küresel tedarikçileri arasındadır. Küresel maden ticaretinin yüzde 21'i ASEAN ülkeleri arasında yapılmaktadır. ASEAN Mineral İşbirliği, jeolojik araştırma, kaynak değerlendirme ve haritalama, maden rehabilitasyonu ve sürdürülebilir kalkınma, madencilik ruhsatlandırması, madencilik işi ve nadir toprak elementleri için yatırım fırsatları gibi alanlar dahil olmak üzere ilgili alanlarda ASEAN üye devletlerinde kapasitelerini geliştirmeye odaklanmaktadır^[39].

3. ASKERİ AÇIDAN STRATEJİK MALZEMELER

Tarihte savunma konseptlerinin evriminde hiç şüphesiz teknoloji en belirleyici rolü oynamıştır. 20'nci yüzyılın özellikle ikinci yarısında elektronik, iletişim ve malzeme teknolojilerindeki gelişmeler, askeri alanda da önemli atılımların yolunu açmıştır. Bu gelişmelerin 21'inci yüzyıla yansımaları, savaşın icrasını kökünden değiştirmiştir. Bilişim teknolojileri, siber savaş, ileri malzemeler ve üretim teknolojileri, otonom sistemler, yapay zekâ, modelleme, simülasyon ve görüntüleme teknolojileri, alternatif tahrik sistemleri ile birlikte, "Dördüncü Nesil Savaş"^[40] veya "Algoritmik Harp"^[41] adı verilen bu yeni çağın harp ortamında belirleyici unsurları olmuşlardır. Bu yeni dönemde kalabalık ordular, yerlerini birbiriyle ağ bağlantılı insan ve makinelerden oluşan küçük birliklere terk etmektedir. Orduların harp sahasındaki etkinliğini ise, bekası ve manevra kabiliyeti yüksek birbirine entegre kara, hava, deniz ve uzay savaş platformlarının gelişmişlik düzeyi belirlemektedir. İleri teknoloji savaş unsurları ordulara, izleme, erken algılama, düşman kabiliyetlerini azaltma, siber saldırıları önleme, erişilmez alanlara ulaşma, can kayıplarını azaltma, ordu envanterini verimli kullanma ve daha pek çok kabiliyeti sunmaya başlamıştır. Ancak sivil alanda olduğu gibi söz konusu savunma teknolojilerinin geliştirilmesi için giderek daha fazla stratejik hâle gelen malzemelerin kullanılması gerekmektedir.

Günümüzün harp platformları yüksek performans sağlayan malzemeler gerektirmektedir. Bu malzemelerin benzersiz mekanik, fiziksel, elektronik, manyetik (veya elektromanyetik) ve kimyasal özellikleri bulunmalıdır. Çok yüksek veya çok düşük sıcaklık, yüksek basınç, aşırı hız, sürtünme, korozyon, titreşim, sarsıntı, güçlü darbe veya patlamalara dayanıklı malzemelerin hem hafif hem şekil alabilir hem esnek hem de dirençli olması beklenmektedir. Gelişmiş alaşımlar, kompozit malzemeler, ileri teknoloji malzemeleri, nanoteknoloji malzemeleri ve iki boyutlu polimerler^[42] bu ihtiyaçlara uygun çözümler hâline gelmektedir. Ancak söz konusu malzemelerde de kritik mineraller sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin niyobyum, vanadyum veya molibden içeren yüksek performanslı alaşımlar, askeri uçak gövdelerinde kullanılmaktadır^[43]. Berilyum ise çelikten altı kat daha hafif ve güçlü olduğu için savaş uçaklarında, helikopterlerde ve uydularda hafif alaşımlarda kullanılmakta, böylece uçağın ağırlığı azaltılmakta ve hava platformlarına yüksek hız ve manevra kabiliyeti sağlanmaktadır^[44]. Titanyum bazlı alaşımlar, çelik ve nikel bazlı süper alaşımların sadece yarısı ağırlığındadır ve yüksek özgül mukavemete ve mükemmel korozyon direncine sahiptir^[45]. Karbon fiber ise, üstün boyutsal stabilitesi, düşük termal genişleme katsayıları, yüksek mukavemetleri, yüksek sertlikleri, düşük yoğunlukları ve yüksek aşınma dirençleri sayesinde askeri uçakların, stratejik füzelerin (ve uyduların) önemli bir bileşenidir^[46].

Günümüzde stratejik ve kritik malzemeler savunma sanayiinde nadiren element hâlinde kullanılmaktadır. Bunlar daha çok yüksek dereceli alaşımlar ve kompozitler olarak kullanılmaktadır (Şekil 7). Molibden^[47] ve berilyum içeren alaşımlar^[48], yüksek mekanik strese maruz kaldıklarında güçlerini ve fiziksel özelliklerini koruyabilirler. Bu nedenle bu tür alaşımlar uçakların iniş takımlarında kullanılırlar. Silah namlularında, namlu ömrünü uzatmak ve performansı artırmak için aşınmaya ve ısıya dayanıklı manganez, nikel, molibden, krom ve vanadyum alaşımları bulunmaktadır. Elektronik ve optik sistemlerde (özellikle çoklu savunma uygulamaları için kızılötesi dedektörler ve diyotlarda) yarı iletken malzemeler ve antimon gibi çok çeşitli mineraller kullanılmaktadır^[49].



Şekil 7: ABD ve Avrupa üretimi hava savaş platformlarında kompozit kullanım oranları^[17].

Malzeme	Kullanım alanı	Malzeme	Kullanım alanı
Alüminyum (boksit)	Savaş uçakları, füzeler, uzay araçları, küçük savaş gemileri	Nikel	Füzeler ve uzay araçları, uçaklar, motorlu araç parçaları
Alimüna	Aşındırıcılar, refrakterler	Paladyum	Motorlu araç parçaları, yarı iletkenler, elektron tüpleri, elektronik parçalar
Antimon	Mühimmat, plastik malzeme, reçine, elektrik bataryası	Platin	Motorlu araç parçaları, uçak motorları ve motor parçaları, bilgisayar depolama cihazları
Berilyum	Elektronik parçalar, bilişim teknolojileri ve nükleer uygulamalar	Praseodmiyum	Boyalar, seramikler fiber optik, medikal görüntüleme, alaşım elementi
Bizmut	Mühimmat, mercekler ve optik araçlar	Kuars kristali	Elektrik ve sinyal testi, diğer elektronik parçaları
Kadmium	Elektrik bataryaları, kablosuz iletişim araçları, uçaklar	Renyum	Jet motorları, kablosuz iletişim araçları, petrol rafinerileri
Seryum	Yarı iletkenler ve elektron tüpleri, elektrik bataryaları, cam ürünleri motorlu araç parçaları	Rodyum	Uçak, elektrikli makineler, nükleer reaktörler
Krom	Motorlu araç parçaları, uçaklar, füzeler, uçak motorları ve motor parçaları	Kauçuk	Tekerlekler, contalar, paketleme ve mühürleme cihazları
Kobalt	Savaş uçakları motorları ve motor parçaları, arama, tespit ve navigasyon cihazları, yarı iletkenler ve elektron tüpleri	Rutenyum	Kablolama cihazları, yarı iletkenler, elektron tüpleri, temel inorganik kimyasallar
Kolombiyum	Savaş uçakları, füzeler, uzay araçları, uçak motorları ve motor parçaları	Samaryum	Nükleer reaktörlerde nötron emiciler, lazerler, mıknatıslar ve kapasitörler
Bakır	Metal borular, fiber optik ve diğer kablolar, kablosuz iletişim araçları, mühimmat	Skandiyum	Elektrik ampülü ve parçaları, petrol rafinerileri, yarı iletkenler, elektron tüpleri, diğer uçak parçaları ve ekipmanları
Disprosiyum	Nükleer kontrol çubukları, mıknatıslar, elektronik araçlar için	Selenyum	Yarı iletkenler ve elektron tüpleri, cam ürünleri
Erbium	Komünikasyon, enerji hatları ve kabloları, yarı iletkenler ve elektron tüpleri	Silisyum	Alüminyum üretimi, plastik malzemeler, reçineler, diğer temel organik kimyasallar
Evropiyum	Nükleer kontrol çubukları, lazerler, aydınlatma ve göstergeler için fosfor	Silisyum karbür	Aşındırıcı ürünler, motorlu araç parçaları, kablosuz iletişim araçları
Gadolinyum	Bilgisayar depolama araçları, yarı iletkenler ve elektron tüpleri, elektro-medikal cihazlar, manyetik ve optik kayıt cihazları	Gümüş	Arama, tespit ve navigasyon araçları, kablosuz iletişim araçları, fotoğraf filmleri ve kimyasalları
Galyum	Yarı iletkenler, elektron tüpleri, bilimsel Ar-Ge	Stronsiyum	Kimyasal madde üretimi
Germanyum	Fiber optik cihazlar, kızılötesi optik cihazlar, elektronik cihazlar	Tantal	Elektronik parçalar, uçak motorları ve motor parçaları, cerrahi malzemeler
Hafniyum	Elektrik ampulleri, yarı iletkenler ve elektron tüpleri, metal kesme ve şekil verme araçları, çeşitli metal ürünler	Tellür	Metal üretimi, temel inorganik kimyasallar, endüstriyel gazlar
Holmiyum	Elektronik parçalar, yarı iletkenler ve elektron tüpleri	Terbiyum	Lazerler, aydınlatma ve göstergeler için fosfor, mıknatıslar, mıknatıslı alaşımlar
İndiyum	Bilimsel Ar-Ge, demir dışı metal ürünler, yarı iletkenler ve elektron tüpleri	Tülyum	Yarı iletkenler ve elektron tüpleri, diğer elektronik parçalar, ışınlama cihazları, kablolama cihazları
İridyum (Platin grubu)	Elektronik parçalar, uçak motorları ve motor parçaları	Kalay	Elektronik parçalar, metal kaplama, kesme, ısı aktarma
Lantan	Bataryalar	Titanyum sünger	Uçaklar, füzeler, uzay araçları, uçak motorları ve motor parçaları
Kurşun	Bataryalar, mühimmat, kablosuz iletişim teçhizatı	Tungsten	Arama, tespit ve navigasyon araçları, uçaklar, kablosuz iletişim araçları
Lityum	Seramikler, bataryalar, alüminyum ürünler	Vanadyum	Gemi inşa ve onarımı, motorlu araç parçaları, uçaklar
Lütesyum	Elektromedikal araçlar, iletişim, enerji kabloları, yarı iletkenler ve elektron tüpleri	İterbiyum	Komünikasyon, enerji hatları, yarı iletkenler, ışınlama araçları
Magnezyum	Kablosuz iletişim, metal kutular, demir dışı metallerin eritilmesi ve arıtılması	İtrium	Göstergeler ve aydınlatma
Manganez	Bataryalar, uçak motorları ve motor parçaları, motorlu araç parçaları, gemi inşa ve onarımı	Çinko	Motorlu araç parçaları, gemi inşa ve onarımı, çeşitli metal ürünler
Cıva	Temel inorganik kimyasallar, arama, tespit ve navigasyon araçları, kablolama araçları	Zirkonyum metali	Füzeler ve uzay araçları, uçak motorları ve motor parçaları, türbinler, türbin jeneratörleri, nükleer yakıt
Molibden	Uçaklar, füzeler ve uzay araçları, uçak motorları ve motor parçaları	Zirkonyum cevheri	Uçak motorları ve motor parçaları, metal kaplama, ısı aktarımı ve ilgili faaliyetler
Neodim	Mıknatıslar, lazerler, kondansatörler		

Tablo 1: Bazı stratejik malzemelerin savunmada kullanıldığı alanlar^[24].

Savunma sanayii uygulamalarında kullanılan diğer karmaşık alaşım örnekleri arasında uçak gövdeleri ve motorlarında kullanılan yüksek mukavemetli TA6V^[50] alaşımı (yüzde 90 titanyum, yüzde 6 alüminyum ve yüzde 4 vanadyum içerir) ve uçakların tahrik sistemlerinde kullanılan PER718 süper alaşımı^[51] (yüzde 53,9 nikel, yüzde 18,5 demir, yüzde 18 krom, yüzde 5,2 niyobyum, yüzde 3 molibden, yüzde 0,9 titanyum ve yüzde 0,5 alüminyum) sayılabilir.

Savunma alanında stratejik malzeme listeleri ülkelerin bunların tedarikinde gördüğü olası risklere göre şekillenmektedir. Örneğin nükleer güç küresel jeopolitikte hâlâ en önemli unsurlardan biri olmasına rağmen, nükleer silah sahibi ülkelerin uranyum gibi radyoaktif malzemeleri, tedarik riski görmedikleri için stratejik malzeme listelerine almadıkları görülmektedir^[52]. Buna karşılık uzun kritik malzeme listeleri yayınlanmıştır. Örneğin ABD Savunma Bakanlığının 2013 yılında yayınladığı kritik malzeme listesinde 70'ten fazla malzeme bulunmaktadır ve bunlardan bazıları silah, mühimmat, haberleşme araçları ve savaş platformları gibi doğrudan savunma ile ilgili alanlarda kullanılan malzemeler olduğu kadar; metal üretimi, petrol arıtma, kimyasallar, medikal cihazlar ve malzemeler, camlar ve seramik üretimi gibi dolaylı olarak savunmanın ilgi alanına giren sanayilerde kullanılan malzemelerdir (Tablo 1).

ABD Savunma Bakanlığının kritik malzemelere ilişkin 2021 tarihli raporunda^[53], ABD'nin savunma alanında, stratejik ve kritik malzemelerin tedarikinde dışa bağımlılığının sürdüğünün altı çizilmiştir. Rapora göre, ABD stratejik ve kritik olarak nitelendirilen 59 malzemeden 17'sinde yüzde 100, 39'unda ise yüzde 75 ve üstü oranlarda dışa bağımlıdır.

Dışa bağımlılık, ABD'nin kritik savunma projeleri açısından tehlikeli boyutlardadır. Zira örneğin, F-35 savaş uçaklarının her biri, 417 kilogram nadir toprak elementi içermektedir^[54]. Bu da bu beşinci nesil uçakları dış müdahalelere açık hâle getirmiştir. Nitekim Çin, ABD'nin bazı yaptırımlarına misilleme olarak, Temmuz 2020'de, aralarında F-35 savaş uçaklarının da bulunduğu çok sayıda savaş platformunun ve silahın önde gelen üreticisi olan ABD merkezli Lockheed Martin'e yaptırım uygulayarak kilit parçaları üretmek için gereken nadir toprak elementlerine erişimini kısıtlamıştır^[55].

Avrupa Komisyonu için hazırlanan 2020 tarihli bir araştırmada ise, Avrupa savunma sanayiinin 39 malzeme yüksek dışa bağımlılığı bulunduğu kaydedilmiştir^[7]. Bunlardan 14'ü yüzde 100 ithal edilmektedir. 20'si ise yüzde 80'in üzerinde dışa bağımlıdır. İhtiyacın üçte biri Çin'den, yüzde 15'i ABD'den, yüzde 8'i Güney Afrika Cumhuriyeti'nden, kalanı ise Avustralya, Şili ve Rusya başta olmak üzere çeşitli ülkelerden temin edilmektedir.

Savunma teknolojilerindeki gelecekteki gelişmeler, birçok stratejik veya kritik nitelikteki malzemeye talebi artıracaktır. Örneğin lityum iyon bataryalar, ordular tarafından özellikle taşınabilir cihazlarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Gelecekte lityum iyon batarya kullanımının zırhlı araçlar, sahil güvenlik tekneleri, askeri hava

araçları, denizaltılar ve hatta daha fazla ısı üretmesinden dolayı termonükleer silahlar da dahil olmak üzere birçok gelişmiş silahlarda kullanılması beklenmektedir^[56]. Savunma alanında pek çok kabiliyeti beraberinde getirecek olan 5G mobil iletişim teknolojisi için^[57] lityum, iridyum, rutenyum, bizmut, galyum, itriyum gibi malzemeler kritik öneme sahiptir^[58].

Gelecekte harp ve ülke güvenliğinde büyük rol oynayacağı tahmin edilen, lazerler, mikrodalga silahları, e-bomba, yönlendirilmiş enerji silahları ve yüksek güçlü sonik silahlar gibi Yönlendirilmiş Enerji Silahları^[59] için de iterbiyum, neodimyum, disprosyum, praseodim, tulyum ve titanyum gibi kritik malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Yeni nesil savaş uçakları ve savaş gemilerinin yanı sıra insansız hava, kara ve deniz araçlarında^[60] standart özellik hâline gelen düşük görünürlük teknolojisinin yanı sıra önemi giderek artan akıllı mühimmat ve roketlerin^[61] geliştirilmesinde de başta nadir toprak elementleri olmak üzere çok sayıda kritik öneme sahip malzeme kullanılmaktadır^[62].

Stratejik ve kritik malzemelerin günümüzün ve geleceğin harp alanında artan önemi ülkeleri, bu malzemelerin tedarikinin güvence altına alınması, rakip güçlerin veya terör örgütlerinin eline geçmesinin engellenmesi veya kritik malzeme kullanımını azaltacak alternatiflerin geliştirilmesi konusunda girişimlerini artırmaya zorlamaktadır. Örneğin ABD Savunma Bakanlığı, 2013 yılından itibaren düzenli olarak yayınladığı ve son olarak Şubat 2022'de güncellenen "Savunma Açısından Kritik Tedarik Zincirlerini Güvence Altına Almak" başlıklı raporlarında şu tavsiyelerde bulunmaktadır^[63]:

- Yurtiçi üretim kapasitesi (maden geliştirme, rafineriler, alaşım ve kompozit üretimi) artırılmalıdır,
- Ortaklar ve müttefiklerle tedarik zinciri oluşturulmalı ve bu zincirin elastikiyeti artırılmalıdır,
- Kritik malzemelerde, coğrafi, ulusal tekel ve tröst oluşumlarının önüne geçilmeli, ulusal kaynakların yabancı şirketlerin kontrolüne geçmesi önlenmelidir,
- Savunmada kritik malzemelerin alternatiflerinin geliştirilmesi için bilimsel çalışmalar desteklenmelidir.

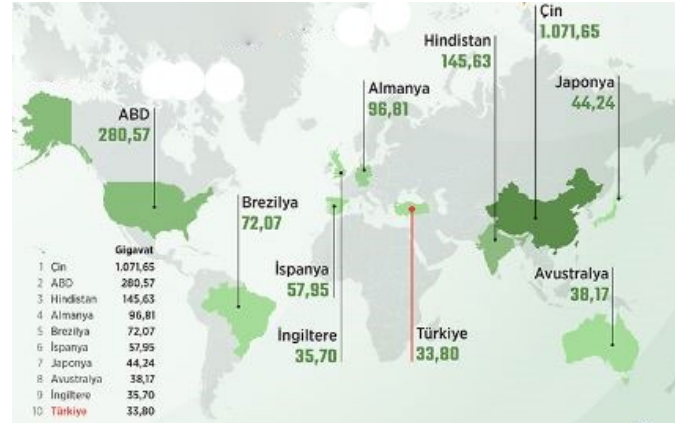
Benzeri tavsiyeler AB tarafından da dile getirilirken, birliğin raporlarında farklı olarak kritik malzemelerin geridönüşümünün sağlanması ve savunma açısından kritik malzemeler için bir döngüsel ekonomi yaratılmasının önemi de vurgulanmaktadır^[22].

Savunma açısından kritik malzemelerde kapasitenin geliştirilmesi Türkiye'nin de gündemindedir. T.C. Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığının yürüttüğü veya gündeme aldığı projeler arasında, "Katmanlı imalat, nadir toprak elementleri, refrakter grubu metaller gibi Kritik Malzeme Teknolojilerinde Savunma Sanayiinin Tam Bağımsızlığı İçin Stratejik Yol Haritalarının Belirlenmesi" ve "Savunma Sanayii Malzeme Yerlileştirme Programı Başlatılması ve en az beş malzeme/alt sistemin yerlileştirme çalışmalarına başlanması" da yer almaktadır^[64].

4. ENERJİ DÖNÜŞÜMÜNDE STRATEJİK MALZEMELER

Enerji, günümüz uygarlığının, ulusal ve küresel refahın vazgeçilmez unsurudur. Günümüzde insanoğlu gıda, temiz su, ulaşım, ısıtma, soğutma gibi temel gereksinimlerini temin etmek amacıyla farklı formlarda enerjiye ihtiyaç duymaktadır^[65]. Birleşmiş Milletler (BM) tarafından yapılan projeksiyonlar, 2040 yılında dünya nüfusunun 9,7 milyara yükseleceğini göstermektedir^[66]. Bu durum 2022'ye kıyasla 1,7 milyar daha fazla insana enerji arzı sağlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Enerji sektörü dünya genelinde büyük dönüşüm içindedir. İnsanlık için bir varoluşsal tehdit hâline gelen küresel iklim değişikliği ve Rusya Ukrayna Savaşı ile ağırlığını olabildiğince hissettiren küresel enerji krizi, gelecekte enerji istikrarının yakalanması için fosil yakıt odaklı enerji sistemlerinin yerini yeşil enerjilere bırakmasını zorunlu kılmaktadır.

Bugün, küresel enerji sistemi temiz enerjiye geçiş için büyük çaba sarf etmektedir. Başta AB, Çin ve ABD olmak üzere pek çok ülke ve ülke grubu “yeşil mutabakat” adı verilen kapsamlı dönüşüm projelerinin ana eksenini enerjide dönüşüme ayırmaktadır^[67]. Enerji dönüşüm stratejilerinin odağında ise rüzgâr ve güneş başta olmak üzere yenilenebilir enerjilere yatırımların artırılması; ulaşım, sanayi ve tarımın elektrikli hâle getirilmesi ve elektrik depolama teknolojilerinin geliştirilmesi bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji yatırımları her geçen gün artmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yayınlanan “Dünya Enerji Yatırımları 2022” raporuna göre^[68], küresel enerji yatırımının 2022’de, bir önceki yıla kıyasla yüzde 8 artarak 2,4 trilyon dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Artışın büyük kısmına temiz enerji yatırımları neden olmaktadır. Danışmanlık firması McKinsey&Company, dünya genelinde özellikle gelişmiş ülkeler ve Çin’deki yatırımlarla, yenilenebilir kaynakların enerji pazarındaki



Şekil 8: 2022-2027 döneminde dünyanın en yüksek yenilenebilir enerji üretim kapasite artışına göre en büyük 10 ülke^[71].

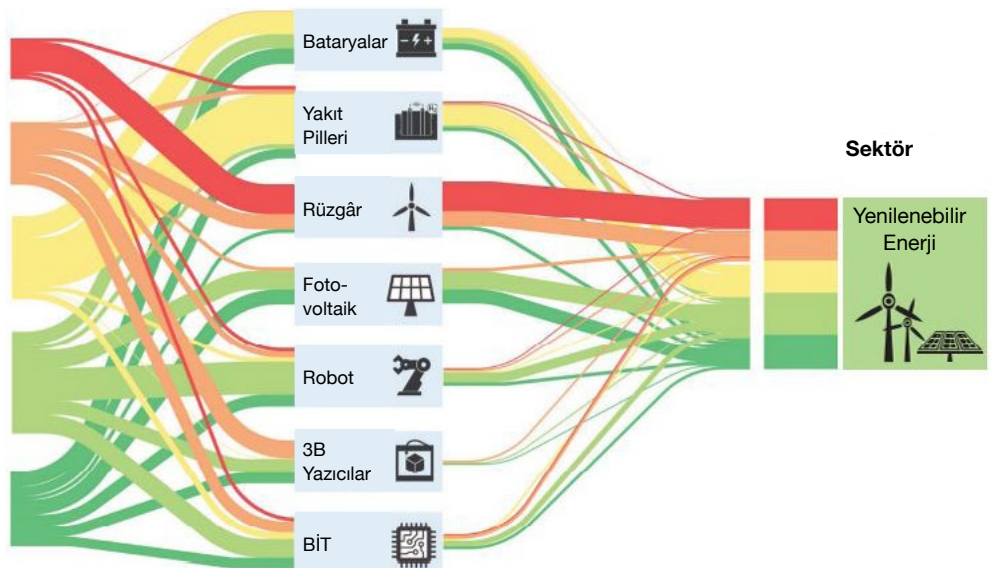
payının 2030’a kadar yüzde 50’ye, 2050’ye kadar ise yüzde 85’e ulaşacağını öngörmektedir. 146 ülkeden verilerin yer aldığı, 55 sektör ve 70’ten fazla enerji ürünü üzerinde yapılan detaylı incelemenin sonuçlarını sunan McKinsey&Company’nin “Küresel Enerji Perspektifi 2022” raporunda^[69], toplam fosil yakıt talebinin 2030’dan önce zirveye ulaşacağı ve küresel enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların payının 2022’ye kıyasla 2035 yılına kadar iki katına çıkacağı öngörülmektedir.

Küresel iklim değişikliğiyle mücadelede, ülkelerin karbon nötr olmak için ortak hedef tarihi olan 2050 yılına kadar yeşil enerji yatırımlarının daha da artacağı tahmin edilmektedir. BloombergNEF’in “Yeni Enerji Görünümü 2020” başlıklı raporuna göre, enerji sektöründeki yatırımlar daha çok yenilenebilir enerjide ve bağlantılı teknolojilerde yoğunlaşmaktadır. Rapora göre, 2050’ye kadar yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılmasına yaklaşık 15,1 trilyon dolar yatırım yapılması beklenmektedir. Bu yatırımın 5,9 trilyon doları rüzgâr enerjisine, 4,2 trilyon doları güneş enerjisine yapılacaktır. Bu sermaye

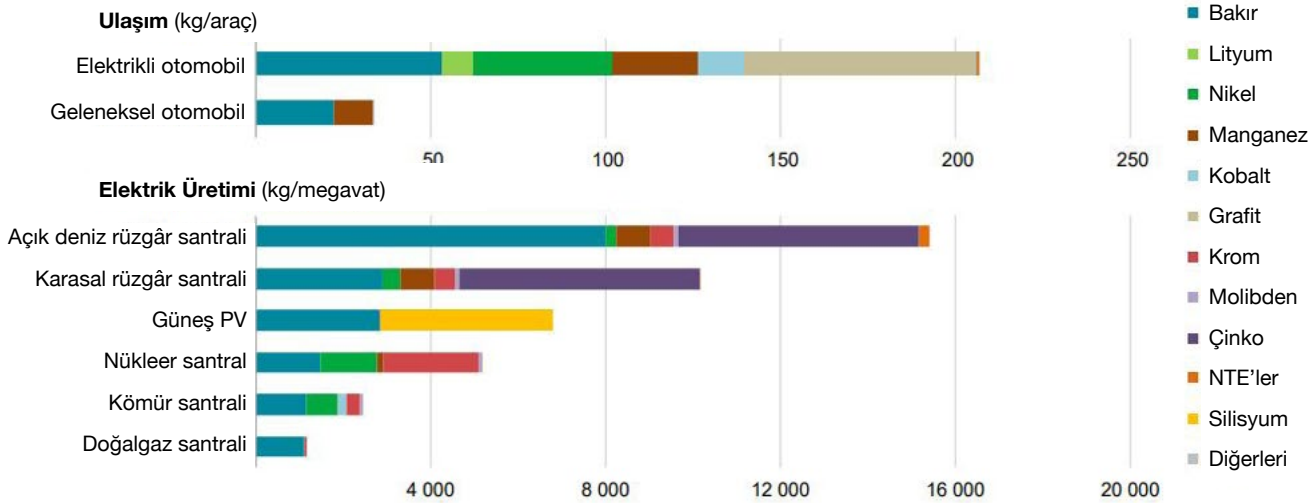
Tedarik Riski

(Risk yüksekliğine göre sıralanmıştır)

Çok yüksek	Ağır NTE’ler Hafif NTE’ler
Yüksek	Magnezyum, Mobiyum, Germanyum, Bor, Skandiyum
Orta	Stronsiyum, Kobalt, Platin Grubu Metaller, Doğal Grafit
Düşük	İndiyum, itriyum, tungsten, titanyum, galyum, hafniyum, metal silisyum
Çok Düşük	Manganez, Krom, Zirkonyum, Tellür, Nikel, Bakır



Şekil 9: AB’nin 2020 yılı tedarik riskine göre mineraller ve bunların yenilenebilir enerji teknolojilerinde kullanım oranları^[17].



Şekil 10: Ulaşım araçları ve elektrik santrallerinde mineral kullanımı karşılaştırması^[74].

yatırımının yüzde 45'inin Çin ve Hindistan başta olmak üzere Asya-Pasifik ülkelerinde gerçekleşmesi, onu ABD ve Avrupa'nın izlemesi beklenmektedir^[70]. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansının (IRENA) 2020 tarihli bir raporunda yer alan "Dönüşen Enerji Senaryosu"na göre, 2050'de küresel toplam enerji tüketiminin yüzde 66'sının ve küresel elektrik enerjisi üretiminin ise yüzde 86'sının başta rüzgâr ve güneş olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi beklenmektedir^[70]. Uluslararası Enerji Ajansının tahminlerine göre, mevcut yatırım ortamı sürdürüldüğü takdirde Türkiye, 2027 yılında yenilenebilir enerjide dünyanın en büyük 10 ülkesinden biri hâline gelebilir (Şekil 8).

Öte yandan enerjide dönüşümün en önemli bileşenlerinden biri olan ulaşım da enerji değiştirmektedir. Dünya genelinde bireysel amaçlarla kullanılan hafif araçların yanı sıra toplu taşımada kullanılan elektrikli araçların sayısı çoğalmakta ve şehir içi ulaşımda elektrifikasyon yaygınlaşmaktadır. IRENA'ya göre, 2019'da 18 milyon olan elektrikli ulaşım aracı (otomobil, toplu ulaşım araçları iki tekerlekli ve üç tekerlekli motosikletler) sayısının 2050 yılına kadar 1,78 milyara ulaşması beklenmektedir^[72].

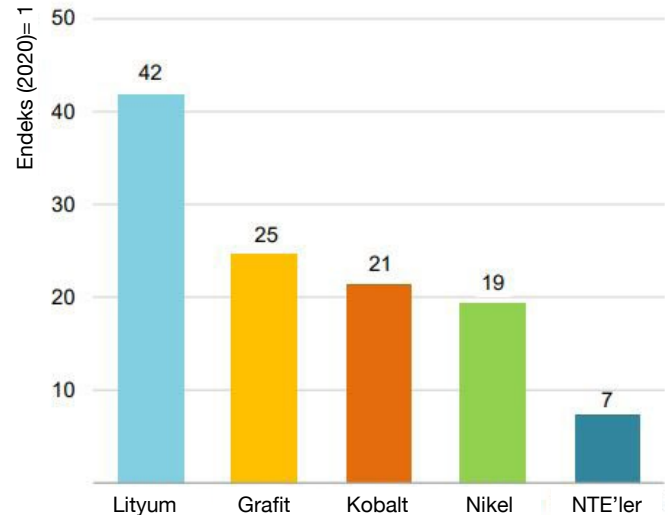
Yenilenebilir enerji ve elektrikli araç sektörünün dayalı olduğu teknolojilerde (bataryalar, yakıt pilleri, robot teknolojisi, katmanlı imalat/3B yazıcılar, bilişim ve iletişim teknolojileri) yoğun olarak bakır, lityum, nikel, kobalt ve nadir toprak elementleri gibi kritik mineraller kullanılmaktadır (Şekil 9).

Kullanılan mineral türleri teknolojiye göre değişmektedir. Örneğin, neodim, disprosyum ve praseodimyum gibi bazı kritik nadir toprak elementleri, yüksek performanslı rüzgâr türbinlerinde kullanılan kalıcı mıknatısların temel bileşenleridir. Lityum, nikel, kobalt, manganez ve grafit, bataryaların daha uzun ömürlü olması ve daha yüksek güç üretmesi açısından çok önemlidir. Nadir toprak elementleri, rüzgâr türbinleri ve EV motorları için hayati önem taşıyan kalıcı mıknatıslar için gereklidir. Güneş enerjisi, robotlar ve dijital teknolojilerde bor, galyum, germanyum, indiyum ve silikon metal gibi kritik önemi haiz minerallere ihtiyaç vardır. Elektrik şebekeleri, büyük miktarda bakır ve alüminyuma ihtiyaç duymaktadır. Yüksek

elektrik iletim kabiliyeti nedeniyle bakır ayrıca elektrikle ilgili tüm teknolojilerde büyük önem taşımaktadır. Dünya Bankası, 2045 yılına kadar elektrik üretmek ve iletmek için 550 milyon ton bakıra ihtiyaç duyulacağını tahmin etmektedir. Bu miktar son 5.000 yılda insanlar tarafından çıkarılan tüm bakıra eşdeğerdir^[73].

Uluslararası Enerji Ajansının Mart 2022'de yeniden gözden geçirerek yayınladığı, "Kritik Minerallerin Temiz Enerjiye Geçişteki Rolü^[74]" başlıklı raporuna göre, bir elektrikli otomobil, fosil yakıtlarla çalışan araçlara göre iki kat; bir rüzgâr santrali ise bir doğalgaz santraline kıyasla dokuz kat daha fazla mineral gerektirmektedir (Şekil 10).

Çin, AB, Hindistan ve ABD gibi enerji tüketimi oldukça yüksek olan ve yeni enerji teknolojisi ile bağlantılı ürünler üreten büyük ekonomilerin hızlı bir enerji dönüşümü sürecinde olması, kritik minerallere olan küresel talebin tırmanmasına yol açmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansına göre, 2010'dan bu yana yenilenebilir enerjinin payı arttıkça, ihtiyaç duyulan ortalama mineral miktarı yüzde 50 artmıştır. Bu artış, 2040 yılına doğru görülmemiş bir



Şekil 11: 2040 yılında enerjide bazı minerallere talep miktarının 2020 yılına göre artış oranları^[74].

hıza ulaşacaktır (Şekil 11). Uluslararası Enerji Ajansının farklı senaryolarına göre, enerjide yeşil dönüşüm için lityum talebinin 2020'ye kıyasla 40 katın üzerinde, grafit talebinin 25 kat, nikel talebinin ise yaklaşık 20 kat artış yaşaması muhtemeldir.

Enerji dönüşümünün ekonomik ve teknolojik boyutunun dışında jeopolitik bir etkisi de söz konusudur. Kritik mineral üretimindeki yoğunlaşma piyasada istikrarsızlığa yol açabilmekte ve yatırımları etkilemektedir. Dolayısıyla kritik mineraller giderek yeni enerji jeopolitiğinin öznesi hâline gelmekte ve 20'nci yüzyıl boyunca fosil yakıtlar özelinde şekillenen enerji jeopolitiğinin ve uluslararası ilişkilerin gündeminde kendine yer edinmektedir^[70].

Enerjide yeşil dönüşüm zaruritesi ülke ve ülke gruplarını, kritik malzemeler konusunda tedbirler almaya zorlamaktadır. Söz konusu tedbirler şöyle özetlenebilir:

- Kritik mineral üretimini artırarak kaynak çeşitliliğini sağlamak için yatırımları teşvik etmek,
- Fiyat istikrarı ve tedarik güvenliğini sağlamak için uzun vadeli stratejik kritik malzeme stokları oluşturmak,
- Kritik malzemelerin verimini artırmak veya ikamelerini geliştirmek üzere bilimsel çalışmaları desteklemek.
- Kritik malzemelerin küresel tedarik zincirinde aksamlara yol açacak piyasa yoğunlaşması ve kartelleşmelerin önüne geçmeye çalışmak.

Ancak Uluslararası Enerji Ajansının altını çizdiği üzere söz konusu tedbirlerin çeşitli kusur ve sakıncaları bulunmaktadır. Örneğin Uluslararası Enerji Ajansının değerlendirmelerine göre, kritik minerallerin üretiminin artırılması için yapılacak madencilik yatırımları, keşiften üretime geçmeye kadar ortalama 16 yıl sonra netice vermeye başlamaktadır^[74]. Bu süre kritik malzemelere yönelik talepteki geometrik artışla karşılaştırıldığında oldukça uzundur. Artan talebe yanıt vermek için mevcut kaynakların daha fazla kullanılmaya çalışılması ise bir başka güçlük doğurmaktadır: Maden kalitesinde düşme. Örneğin, Şili'deki ortalama bakır cevheri tönürü (cevherdeki saf metal miktarı) 2015'ten bu yana yüzde 30 düşmüştür^[74]. Düşük dereceli cevherlerden metal içeriği çıkarmak daha fazla enerji gerektirmektedir ve bu da üretim maliyetlerini yükseltmekte, sera gazı emisyonlarını ve atık miktarını artırmaktadır. Daha fazla madencilik faaliyetlerine yönelmek, daha fazla toprak ve su kirliliği, tarım alanlarını olumsuz etkiler ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi olumsuz etkileri de beraberinde getirebilir. Ayrıca bakır ve lityum madenciliği diğerlerine kıyasla daha fazla su tüketimi gerektirdiğinden su stresi yaşayan bölgelerde baskıyı daha fazla artırabilir.

Uluslararası Enerji Ajansının söz konusu zorlukları dikkate alarak ülkelerin siyasi karar alıcılarına önerdiği ek tedbirler, dikkate alınmaya değerdir^[74]:

- Kritik malzeme tedarik zinciri boyunca tüm noktalarda teknolojik inovasyon teşvik edilmelidir. İnovasyon, maliyetleri düşürecek, kaynak çeşitliliğini geliştirecek, fiyat ve tedarik istikrarını sağlayacaktır.

- İhracat yasakları, ambargolar veya yaptırımlar gibi mekanizmalara başvurmak yerine tedarik zinciri esnekliğini ve piyasa şeffaflığını artırıcı tedbirlere başvurmak, küresel pazarlarda üreticilerle tüketicilerin daha fazla temas kurabileceği mekanizmalar kurmak, kritik malzemelerde pazar yoğunlaşması, tekelleşme ve bu malzemelerin jeopolitik silah olarak kullanılması gibi risklerden kaçınılmasında daha etkili olabilir.

5. DİJİTAL DÖNÜŞÜMDE STRATEJİK MALZEMELER

TÜBİTAK'ın Dijital Akademisi, dijital dönüşümü, "hızla gelişen bilgi ve iletişim teknolojilerinin sunduğu imkânlar ve değişen toplumsal ihtiyaçlar doğrultusunda, organizasyonları daha etkin kılmak, verimli hizmet vermek ve faydalanıcı memnuniyeti sağlamak üzere insan, iş süreçleri ve teknoloji unsurlarında gerçekleştirdiği bütüncül dönüşüm" olarak tanımlamaktadır^[75]. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisinin internet sitesine göre dijital dönüşüm, "yarının rekabetçi ekonomisinde bir güç olarak var olabilmek, ancak zamanın getirdiklerini yorumlayan ve hızlı karar alarak uygulayabilen çevik bir yönetim anlayışı ve yenilikçi teknolojik çözüm üretebilme kapasitesi ile mümkün" olduğu için zorunlu hâle gelmiş bir değişimi ifade etmektedir^[76].

Nesnelere interneti, bulut bilişim, blok zinciri, büyük veri ve yapay zekâ gibi birçok teknolojiye dayanan bu dönüşüm, iş süreçlerinde ve sosyal hayatta köklü değişiklikleri de beraberinde getirmektedir. Dijitalleşme, insanlara yeni refah kaynakları sunmakta, girişimcilerin yaşadıkları her yerde yenilik yapmalarına, işlerini kurmalarına ve büyütmelerine olanak tanımakta, küresel pazarlara girişi kolaylaştırmakta, yatırımların önünü açmakta ve giderek artan iş olanağı yaratmaktadır^[77].

Birleşmiş Milletlere göre dijitalleşme, aşırı yoksulluğun sona erdirilmesinden önce ve bebek ölümlerinin azaltılmasına, sürdürülebilir çiftçiliğin ve insana yakışır işlerin teşvik edilmesine ve evrensel okuryazarlığın sağlanmasına kadar 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefinin her birine ulaşılmasını destekleyerek ve hızlandırarak, "dünyamızı daha eşitlikçi, daha barışçıl ve daha adil hâle getirmeye yardımcı olabilir"^[78]. Muhtemel veya kanıtlanmış etkilerinden dolayı, dünya genelinde dijital dönüşüme büyük önem verilmekte ve yatırım yapılmaktadır. Küresel dijital dönüşüm pazarının 2020 yılında 735 milyar doların üzerinde bir değere ulaştığı ve bu değer 2028 yılına kadar yılda ortalama yüzde 22,1'lik büyük bir oranla büyüyerek 35 trilyon doların üzerine çıkması beklenmektedir^[79].

Yazılım dijital dönüşümün önemli bir parçasıdır ancak öncelikle bir "donanım dönüşümünün" sağlanması gerekmektedir. Bilgisayarlar, fiber optik malzemeler kablolar, bilgisayar çipleri ve kondansatörler, ekranlar, diyetler ve diğerleri, dijital ekonominin temel taşlarını oluşturmaktadır. Hızlanan dijital dönüşüm bilişim ve bilişim teknolojilerinin donanımları için gerekli hammadde olan talebi de geometrik olarak artırmaktadır. Söz

Mineral	Kullanım Alanı	Mineral	Kullanım Alanı
Bor	Yarı iletkenler, HDD sabit sürücüler, kalıcı mıknatıslar	Platin Grubu Metaller	Seramik kapasitörler, bağlantı parçaları
Kobalt	Sabit sürücüler, yarı iletkenler ve entegre devreler	Manganez	Bellek saklama teknolojileri ve bataryalar
Galyum	Yarı iletkenlerde (Galyum Arsenit), LED ekranlar, blu-ray oynatıcılar (Galyum Nitrit), akıllı telefonlar	Bakır	Elektronikler, konektörler, basılı devreler, kablolama, kaynaklamalar, entegre devreler, yarı iletkenler
Germanyum	Fiber-optik kablolar, kızılötesi optikler (gece görüş), yarı iletkenler.	Altın	Konnektörler, anahtarlar, röle kontaklar, lehim bağlantıları, bağlantı telleri ve şeritler, bellek yongaları ve devre kartları
Silisyum (Silikon)	Yarı iletkenlerde elektronik, SSD sabit diskler, mikroelektronikler	Gümüş	Lehimleme ve lehimleme alaşımları, elektrik kontakları ve basılı devre kartları
Lityum	Bataryalar	Krom	Paslanmaz çeliklerde, elektronik kaplama, boya hammaddeleri
Grafit	Grafen üretimi, elektrik termal iletken malzeme	Antimon	Kurşun bataryalarda alaşım elementi
İndiyum	Ekranlar (İndiyum oksit)	Berilyum	Elektrik bağlantıları ve iletişim uyduları
Magnezyum	Yüksek performanslı alüminyum-magnezyum alaşımları	Brom	Akıllı telefonları kasalarında alev geciktirici
NTE'ler	Mıknatıslar, HDD, ekranlar, LED, Lazerler, devre kartı ve bellekler	Kalay	Kurşunsuz lehim
Tungsten	Devreler, ısı direnci gerektiren cihaz bileşenleri	Vanadyum	Yeniden doldurulabilir bataryalar

Tablo 2: Bilişim ve İletişim Teknolojileri (BİT) donanımlarında kritik öneme sahip bazı mineraller^{[17], [80]}.

konusu hammaddeler arasında ülkelerin stratejik veya kritik kabul ettiği malzemeler de bulunmaktadır (Tablo 2).

Bilişim ve İletişim Teknolojilerinde (BİT) kullanılan kritik malzemelerde sorun sadece kısıtlı maden kaynağı değil, söz konusu mineralleri işleyecek tesislerin de azlığıdır. BİT öğelerine genellikle %99,999 saflıkta ihtiyaç duyulur^[80]. Bu saflığa erişmek için çoğu diğer metaller ve minerallerle birlikte çıkarılan kritik malzemelerin ayrıştırılması ve ardından bir başka rafineride saflaştırma işleminden geçmesi gerekmektedir. Çin'in kritik malzemelerin saflaştırılmasında da küresel bir hâkimiyete sahip olduğu görülmektedir. İkinci bölümde vurgulandığı üzere Çin, sahip olduğu yüksek teknoloji metal rafinerileri sayesinde, rafine edilmiş nadir toprak elementleri, galyum ve germanyumda yüzde 80'in üzerinde pazar payına sahiptir.

Bu malzemenin geridönüşümle ekonomiye yeniden kazandırılması üzerinde durulmaktadır. Ancak çoğu zaman kritik malzemelerin geridönüşümü mümkün olamamaktadır. Elektronikteki birçok kritik mineral son derece düşük miktarda kullanılır ve bunların kullanılmış cihazlardan geri kazanılması ya fiziksel olarak imkânsız ya da çok yüksek maliyetlidir^[81].

Ancak BİT donanım teknolojileri de hızla değişmektedir. Minyatürleşme, nanoteknoloji ve iki boyutlu polimer kullanımı gibi yöntemler sayesinde, çok da uzak olmayan bir gelecekte kolay erişilebilir, ucuz ikame

malzemeler geliştirilebilir ve dolayısıyla kritik minerallere bağımlılık bertaraf edilebilir. Örneğin selenyum, BİT metallerine olan talebin kısa süreler içinde nasıl önemli ölçüde değiştiğinin bir kanıtıdır. Selenyum bir dönem fotosellerde ve fotokopi makinelerinde ışık iletkenliği nedeniyle gözde bir malzeme olmuştur. Ancak 1980'lerden itibaren bazı organik bileşiklerin fotoreseptör olarak kullanılmaya başlanması selenyumun önemini büyük ölçüde azaltmıştır^[80]. Benzer şekilde germanyum, 1947'de transistörün icadıyla sadece birkaç bilim insanının bildiği bir element olmaktan çıkıp uluslararası ticaretin gözde malzemelerinden biri hâline gelmiştir. Ancak transistör yapımında germanyum yerine çok daha kolay erişilebilir silisyumun (silikon) tercih edilmeye başlanmasıyla o da değer yitirmiştir.

Gelecekte bu tür ikamelerin çok daha hızlı keşfedilmesi mümkündür. Yazı dizimizin birinci bölümünde aktarıldığı üzere; AB, Çin, Japonya ve ABD, "Malzeme genomu" veya benzeri adlarla başlattıkları projelerle malzeme bilminde devrim yaratacak keşiflere ve buluşlara zemin oluşturacak dijital platformlar üzerinde çalışmaktadır^[82]. Yeni malzemelerin keşfi, kuantum bilgisayarları, nanoteknoloji, biyoteknoloji, uzay teknolojileri ve yeni nesil iletişim teknolojileri gibi alanlarda inovasyonu hızlandırabilir. Bu da diğer alanlarda da kritik minerallere bağımlılığın azalmasına yol açabilir.

6. DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİNDE STRATEJİK MALZEMELER

En yalın hâliyle “sanayinin dijital dönüşümü” olarak nitelendirilen Dördüncü Sanayi Devrimi, üretim zincirindeki her ekipmanın, makinenin ve robotun dijital olarak birbirine bağlanmasıyla değer zincirindeki tüm paydaşların (imalatçılar, tedarikçiler, çalışanlar, müşteriler, kamu yönetimi ve toplum), iletişim hâlinde olduğu, arz ve talebi anlık olarak buluşturabilen, hatasız ve atıksız kişiye özel üretimin yapılabildiği optimize edilmiş bir sistemi ifade etmektedir^[83]. “Endüstri 4.0” olarak da anılan Dördüncü Sanayi Devriminin kazanımları arasında; daha az maliyetle, minimum enerji sarfiyatıyla, az ısı üretimiy-le, daha az zamanda, daha az kaynak ve bellek kullanımıyla, yüksek hızda, yüksek güvenilirlikte, kaliteli ve verimli üretim bulunmaktadır.

Endüstri 4.0 kavramı 2011’de Almanya’da ortaya atıldığından^[84] bu yana dünya genelinde dikkatleri üzerine çekmiş, özel şirketlerin olduğu kadar hükümetlerin de sanayi ve bilişim teknolojileri politikalarının önceliklerinden biri hâline gelmiştir. Türkiye’de de “Sanayinin dijital dönüşümü”, 2023 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi’nin en önemli unsurlarından biridir. Strateji belgesinde Dördüncü Sanayi Devrimine yönelik olarak her ülkenin, kendi gereksinimleri, altyapısı ve planları doğrultusunda stratejiler ve politikalar ürettiğine dikkat çekilmekte ve Türkiye’nin de bu süreçte Milli Teknoloji Hamlesi ile kendi yol haritasını hayata geçireceği kaydedilmektedir^[85]. Boston Consulting Group’un bir araştırmasına göre, Dördüncü Sanayi Devrimi, üretim sistemlerinin yüzde 30 hızlı

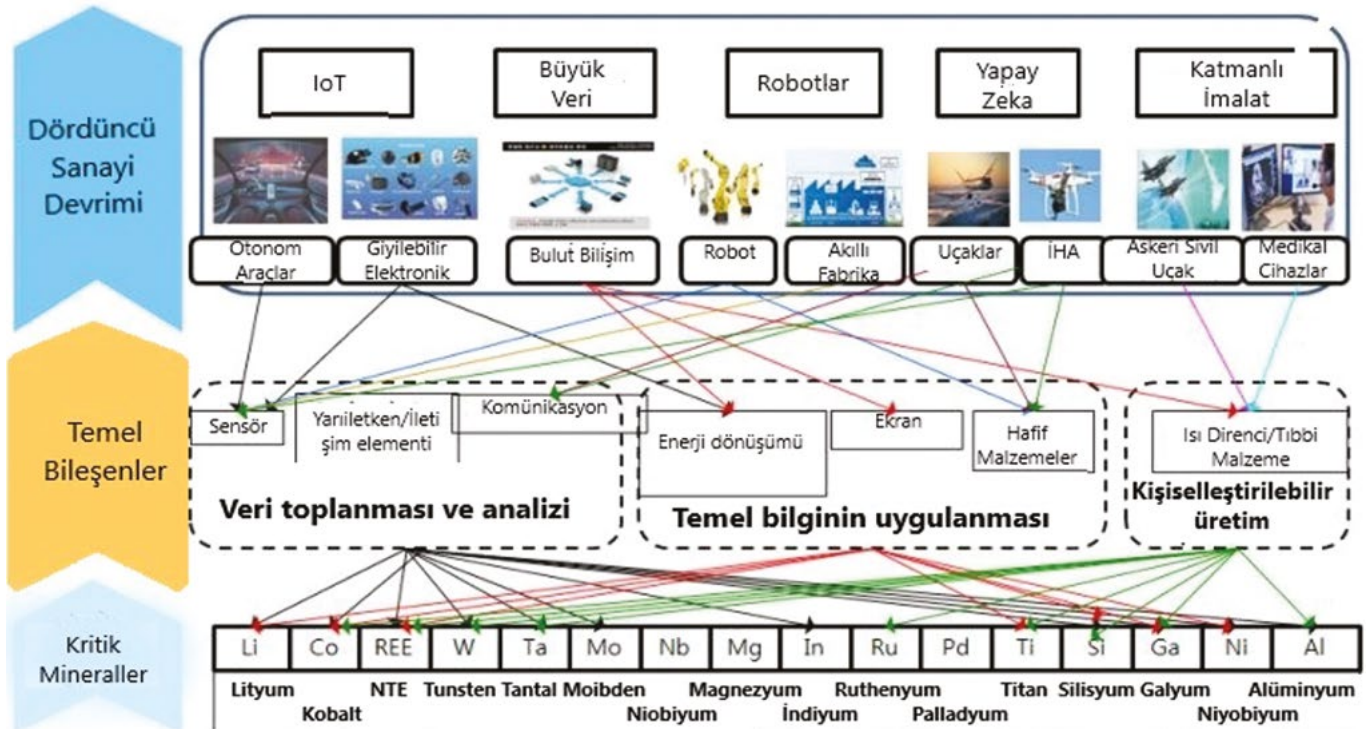
çalışmasını sağlayacak ve etkisi sektörden sektöre değişse de en az yüzde 15–25 arasında verimlilik artışı getirecektir. Dünya Ekonomik Forumu, bu verimlilik artışının 2025 yılına kadar dünya ekonomisine 3,7 trilyon dolar kazandıracağını tahmin etmektedir^[86].

Planlanandan az veya çok üretim, hatalı üretim ve stok israfı gibi verimsiz üretim süreçlerini ortadan kaldırmayı hedefleyen bu sistem, üretimi etkileyen tüm süreçlerin yenilenmesini ve akıllı hâle getirilmesini de zorunlu kılmaktadır.

Sistemin akıllı hâle getirilmesi için en ileri teknolojilerden yararlanılması gereklidir. Dördüncü Sanayi Devrimi’nin dayalı olduğu teknolojiler hakkında literatürde çeşitli öneriler dile getirilmektedir. Söz konusu önerilerin ortak paydasında nesnelerin interneti (IoT), büyük veri, robotlar, yapay zekâ ve katmanlı imalat olduğunu belirtmek mümkündür (Şekil 12).

IoT, özellikle “endüstriyel IoT” ile Endüstri 4.0, temel olarak sebep-sonuç ilişkisine sahip kavramlardır. Endüstri 4.0’da akıllı fabrikalardan başlayarak tüm üretim değer zincirindeki tüm unsurların çevrimiçi bağlantı içinde olması gereklidir. Nesnelerin interneti, sensörlerden alınan çeşitli verilerin toplanması açısından Endüstri 4.0’da kritik öneme sahiptir. İdeal bir Endüstri 4.0 sisteminde sensörlerden alınan veriler bulut bilişim ile toplanarak büyük veri hâline getirilmekte, yapay zekâ bu verileri analiz ederek bilgiye çevirmekte ve tercihen otomatik olarak alınan kararlar doğrultusunda makinelerle belirlenen işi hatasız ve atıksız olarak yapması sağlanmaktadır.

Nesnelerin interneti giderek yaygınlaşmakta olan bir teknolojidir. Tahminlere göre 2019 yılında 8,6 milyar olan IoT cihazı sayısı, 2022 yılı sonunda 13,14 milyara ulaşmıştır. Bu rakamın, özellikle 5G mobil teknolojisinin



Şekil 12: Dördüncü Sanayi Devrimi'nin temel bileşenleri ve kritik mineraller^[87].

yaygınlaşmasının etkisiyle 2030 yılına kadar iki kattan fazla artarak 29,42 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir^[88].

Nesnelerin interneti uygulamalarında geometrik artışın, beraberinde bir büyük veri patlaması getireceğini tahmin etmek de güç değildir. Tahminlere göre 2010 yılında dünya genelinde 2 zettabayt veri veya bilgi yaratılmış, elde edilmiş, kopyalanmış veya tüketilmişken, bu miktar 2022 yılında yaklaşık 50 kat artarak, 97 zettabayta ulaşmıştır. 2025 yılında da bu rakamın iki kata yakın bir artışla 181 zettabayta ulaşacağı öngörülmektedir^[89]. Yeni bir veri aktarım ve depolama teknolojisi geliştirilmediği hâlde bu devasa büyüklükteki veri trafiğine yanıt verilebilmesi için ilgili tüm iletim ve bilgi işlem altyapısı kapasitesinin önemli ölçüde artırılması gerekecektir. Dolayısıyla çok da uzak olmayan bir gelecekte büyük ölçekte veri depolama, veri aktarım hızı, enerji kullanımı, ölçeklenebilirlik ve güvenilirlik açısından sorunlar ortaya çıkması muhtemeldir^[90].

Üretilen verilerin büyüklüğü, büyük veri teknolojilerinin önemini bir kat daha artıracaktır. Büyük veri, geleneksel veri işleme uygulamaları için çok büyük veya çok karmaşık olan veri kümelerini ifade eden bir terimdir. “Tek bir sunucuya sığmayacak büyüklükte (>100 terabayt), satır ve sütun şeklinde yapılandırılmamış veya durgun bir veri ambarına sığamayacak türde sürekli akan veri” olarak da tanımlanmaktadır^[91]. Mobil iletişim sektörünün yanı sıra bulut bilişim, yapay zekâ ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin hızla gelişmesi veri trafiğini yoğunlaştırmış, veri hacmini artırmış ve bunların depolanıp analiz edilmesini karmaşıklaştırmıştır. Bu yoğun trafikte büyük verilerden anlamlı bilgiler elde edilmesine yönelik talebin karşılanması için gün geçtikçe karmaşıklaşan analitik araçlara başvurulmaktadır. Bu gelişmiş analitik araçlar, bilgi geliştirmeye ve elde edilen bilgiler ışığında karar vermeye yardımcı olmaktadır. Büyük veri, dünyada hızla büyüyen bir pazar oluşturmuştur. Küresel büyük veri pazarının, 2022’de 271,3 milyar dolara ulaştığı tahmin edilmektedir. Bu pazarın 2028 yılına kadar yıllık ortalama yüzde 14,9 büyüyerek 624,27 milyar dolara ulaşması beklenmektedir^[92]. Büyük veri alanına yapılan yatırımlar, büyük bir beklentiyi işaret etmektedir. Büyük verinin analizinin kısa vadede imalat sektörüne milyarlarca dolar kazandırması ve yeni iş fırsatları yaratması beklenmektedir^[91].

Dördüncü Sanayi Devrimi’nin vazgeçilmez unsurları endüstriyel robotlardır. Endüstriyel robotlar, 1960’lardan bu yana kullanılıyor olsa da teknoloji hâlen gelişim aşamasındadır. Robot teknolojisi hâlen endüstriyel ve hizmet amaçlı olmak üzere iki tür robot geliştirmektedir. Endüstriyel robotlar mevcut pazarın yüzde 80’ini oluşturmaktadır^[17]. Dünya genelinde 2017-2022 yılları arasında her yıl 400.000-450.000 adet yeni endüstriyel robot satılmaktadır ve bu sayının 2024 yılında 500.000’in üzerine çıkacağı tahmin edilmektedir^[93].

Endüstriyel robotlar, rutin ve sürekli tekrarlanan manuel görevleri verimli ve aksatmadan gerçekleştiren özel bir endüstriyel ekipman sınıfıdır. Endüstri 4.0’ın ortaya çıkışıyla birlikte bu robotlar, yapay zekâ ve makine öğrenmesi teknolojileriyle yeni kabiliyetler edinmektedir.

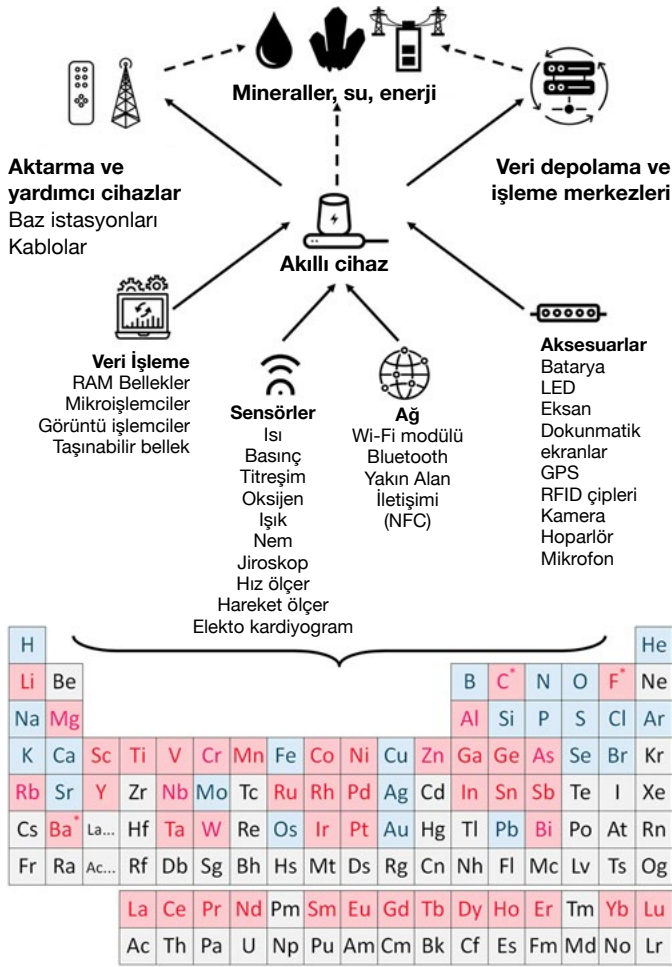
Endüstriyel robotlar, gerçekleştirdikleri görevlerde daha esnek olmalarının yanı sıra, üretkenliği, hizmet kalitesini ve güvenilirliği iyileştirmek için kendileri hakkında veri toplayabilir ve analiz edebilirler. Üstelik elde ettikleri bilgileri benzer robotlara da aktarabilirler. Böylece üretim süreçlerinde ortaya çıkan sorunlar ekipman arızası ve zaman kaybına yol açmadan çözümlenebilirler. Dolayısıyla üretim kayıpları en aza indirilebilirler.

Endüstri 4.0’da sanayi, esnek yapıya sahip, kolay güncellenebilir veya ölçeklendirilebilir, kişiselleştirilmiş ürünleri hatasız ve atıksız hassas şekilde üretebilecek makinelere ihtiyaç duymaktadır. Her geçen gün gelişen ve çeşitlenen katmanlı imalat teknolojisi bu ihtiyaca yanıt verebilir. Zira katmanlı imalat ile karmaşık geometriler ve yapımı güç parçalar üretilebilir. Katmanlı üretim, hızlı prototiplemeye imkân sağlayarak tasarım döngüsündeki zamanı azaltır ve ürün optimizasyonunu hızlandırır. Olası arıza ve hasarlarda gerekli parçaların hızla üretilmesini sağlayan üretim kayıplarına engel olabilirler. Katmanlı imalat, montaj hattı araçları için özel parçalar imal edilmesine olanak tanıyarak, seri üretim tesisleri için bir cankurtaran olabilir. Katmanlı imalat düşük hacimli özelleştirilmiş ürünler üreten küçük üreticiler için de verimlilik artışı ve inovasyon imkânı sunmaktadır.

Katmanlı imalat teknolojilerinin yararları küresel pazarın hızla büyümesini sağlamıştır. Üç boyutlu baskının avantajları, pazarın önemli ölçüde büyümesini sağlamıştır. 2022’de küresel 3B baskı pazarının değerinin 22,9 milyar dolara ulaştığı ve 2032’ye kadar yılda ortalama yüzde 20,5 büyüyerek yaklaşık 148,4 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir^[94].

Başlangıçta çeşitli polimerlerle üretim yapılabilen katmanlı imalat makineleri, günümüzde silisyum ve metal tozlarıyla da üretim imkânı sunmaktadır. Üretim yöntemi de çeşitlenmiştir. Elektron ışını ve lazer eritme tabanlı sistemlerin yanı sıra metal tozları kullanan bağlayıcı püskürtme ve nozül işlemleri, metal tel ve çeşitli lazer polimerizasyonu kullanılarak tel ve ark katkılı imalat (kaplama) ve diğer kaplama teknikleri gibi çok çeşitli teknolojiler kullanılabilir. Bazı katmanlı imalat makineleri, karmaşık geometrilere sahip parçalar üretmek için termosetler ve termoplastiklere ek olarak ışığa duyarlı reçineler, kompozit filamentler ve diğer malzemelerle de üretim yapabilmektedir^[95].

Endüstri 4.0’ın temel teknolojik bileşenlerinde kritik malzeme kullanımı yaygındır. Nesnelerin interneti uygulamaları, bağlantılı tüm sistemler de dikkate alındığında, çok sayıda kritik malzemeye ihtiyaç duymaktadır (Şekil 13). Büyük veri için kritik yapılar olan veri merkezlerinde de çok sayıda stratejik malzemeye ihtiyaç vardır. En basit tanımla bir veri merkezi, kuruluşların kritik uygulamalarını ve verilerini barındırmak için kullandıkları fiziksel bir tesisdir. Yönlendiriciler, anahtarlar, güvenlik duvarları, depolama sistemleri, sunucular ve uygulama denetleyicileri bir veri merkezinin temel bileşenleri arasında bulunmaktadır^[96]. Endüstri 4.0’da siber güvenlik riskleri dikkate alındığında ideal olan, işletmelerin kendi yüksek güvenilirlikli veri merkezlerini kurmalarıdır. Ancak bu son derece yüksek maliyetli bir yatırımdır. Ayrıca veri merkezleri,



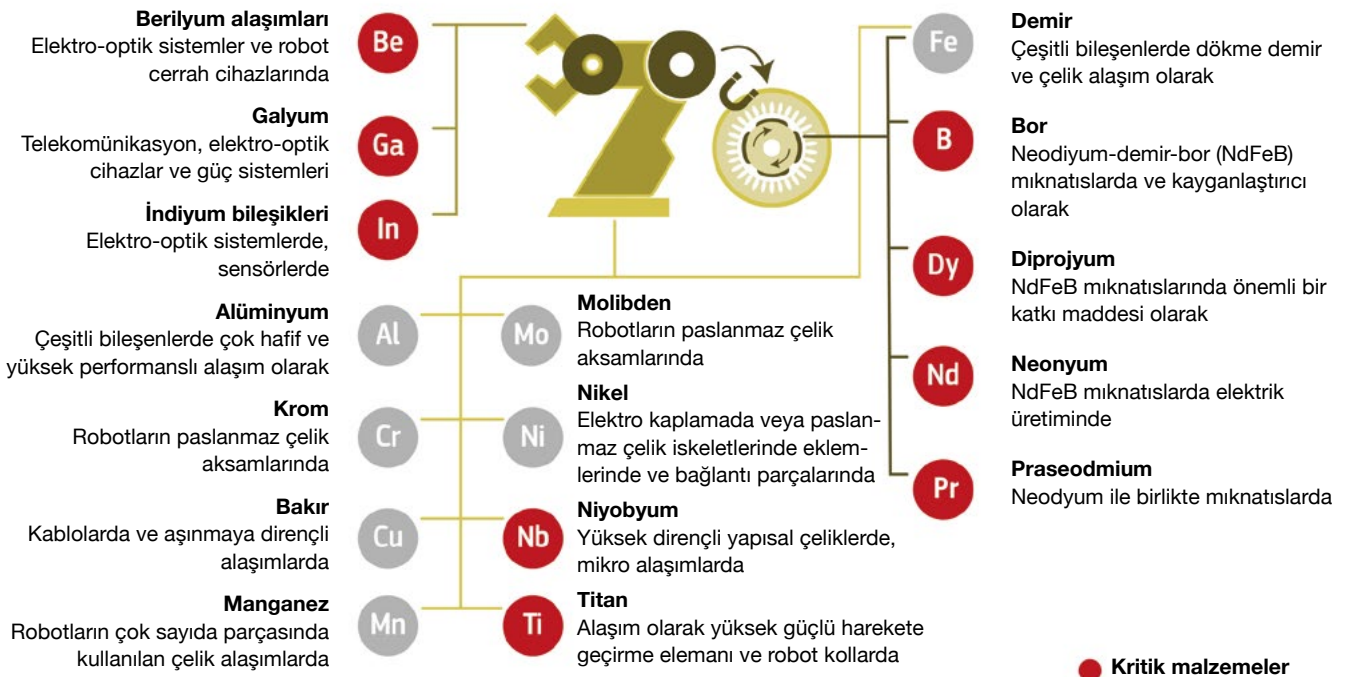
Şekil 13: Nesnelerin interneti evreni ve gereken elementler^[81].

Not: Periyodik cetvelde kırmızı ile işaretli olanlar kritik öneme sahip elementlerdir. Mavi ile işaretli olanlar tedarik güçlüğü bulunmayanlardır, işaretsiz olanlar ise düşük miktarda kullanılmaktadır.

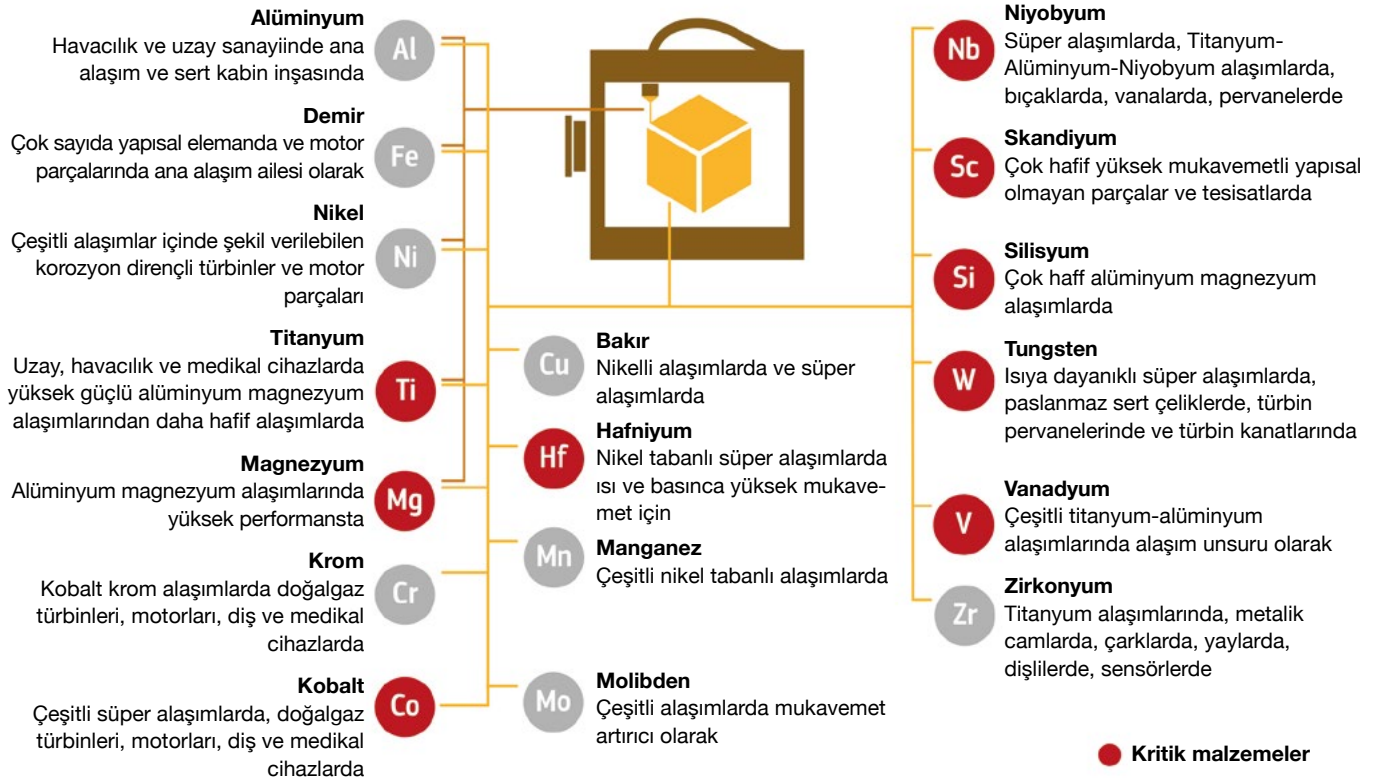
yüksek enerji ve su sarfiyatı nedeniyle işletme maliyeti de yüksek yapılardır. Bu nedenle pek çok işletme, büyük veri merkezlerine sahip olan bulut bilişim hizmeti sunan kuruluşlardan yararlanmayı tercih etmektedir.

Veri merkezleri, genel olarak diğer dijital teknolojiler gibi, çipler ve veri depolama cihazları başta olmak üzere geniş yelpazede manyetik, optik veya mekanik cihazlara sahiptir. Söz konusu cihazların üretilmesinde ise geniş bir malzeme yelpazesinden yararlanmak gerekir. Bu unsurlardan bazıları kritik malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır. Örneğin, RAM (Rastgele Erişimli Bellek) ve CPU'lar (Merkezi İşlem Birimi), sürücü kartları ve ana kartlar en yüksek miktarda altın (kartın tonu başına 855 gram), gümüş (ton başına 1802 gram) ve paladyum (ton başına 36 gram) içermektedir. Sürücü panoları aynı zamanda en büyük miktarlarda nadir toprak elementleri (disprosyum, neodimyum ve itriyum gibi) içerir. Elektronik kartlar, galyum, indiyum ve tungsten gibi diğer kritik malzemeler ihtiva etmektedir^[97]. Veri merkezlerinin beynini oluşturan bellekler ve veri depolama cihazları için ise, kobalt, platin, tantal, niyobyum, iridyum, germanyum, antimon, tellür, arsenik, selenyum, hafniyum, indiyum, neodimyum, rutenyum ve tungsten gibi kritik elementlerin bileşiklerine veya alaşımlarına ihtiyaç bulunmaktadır^[90].

Dördüncü Sanayi Devrimi'nin kritik malzemelerle en iç içe teknolojisi robotlardır. Bu malzemeler endüstriyel robotların kabiliyetlerinde ve bunların gelişmesinde belirleyici rol oynamaktadır (Şekil 14). Endüstriyel robotlarda günümüzün en büyük zorluklarından biri, daha küçük ama daha kabiliyetli esnek robot mimarisinin oluşturulmasıdır. Daha verimli robot tasarımları, algılama, hareket, enerji toplama ve enerji depolama gibi süreçleri entegre eden çok işlevli malzemeler gerektirir. Örneğin, vanadyum bazlı malzemeler gibi yenilikçi malzemelerin



Şekil 14: Robotlarda kullanılan mineraller ve malzemeler^[17].



Şekil 15: Katmanlı imalatta kullanılan bazı mineraller ve malzemeler^[17].

geliştirilmesi, minyatürleştirilmiş, çok işlevli motorların ve yapay kasların oluşturulmasına katkıda bulunabilir^[17]. Daha küçük ve daha verimli güç kaynaklarının (piller, bataryalar veya diğer enerji kaynakları) ve elektrik motorlarının geliştirilmesi, dış iskeletler için özellikle önemlidir. Titanyum, magnezyum ve alüminyum alaşımları gibi hafif metal alaşımları, yeni nesil robotlara uygun güç-ağırlık oranları sağlayabilir. Dişliler, motorlar, güç üniteleri gibi robotların ana bileşenlerinin; özellikle dış iskeletlerin daha hafif ve daha küçük hâle gelmesi, endüstriyel robotları sadece ağır sanayi işletmeleri için değil, küçük ve orta büyüklükte imalat şirketleri için de erişilebilir ve verimli kılabilir.

Kritik malzemeler katmanlı imalatta teknoloji bileşenleri için değil, hammadde olarak önem taşımaktadır (Şekil 15). Katmanlı imalat, havacılıktan medikal cihazlara, rüzgâr türbinlerinden otonom araçlara pek çok alanda ihtiyaç duyulan karmaşık parçalar ve süper alaşımların imal edilmesinde kullanılmaktadır. İmal edilen en yaygın süper alaşım malzemeleri, alüminyum-magnezyum, titanyum, nikel, paslanmaz çelik ve özel alaşımların tozlarıdır. Bu alaşımlarda, çeşitli fiziki veya kimyasal özellikler sunan belirli miktarlarda ek alaşım elementleri kullanılmaktadır. Katmanlı imalat için en uygun alaşım elementleri kobalt, hafniyum, niobyum, magnezyum, skandiyum, titanyum, vanadyum, tungsten ve zirkonyumdur. Örneğin yüksek mukavemet ve hafif uygulamalar için çeşitli titanyum alaşımları kullanılmaktadır^[17]. Gelecekte, yeni malzeme keşifleriyle yenilerinin eklenmesi muhtemeldir.

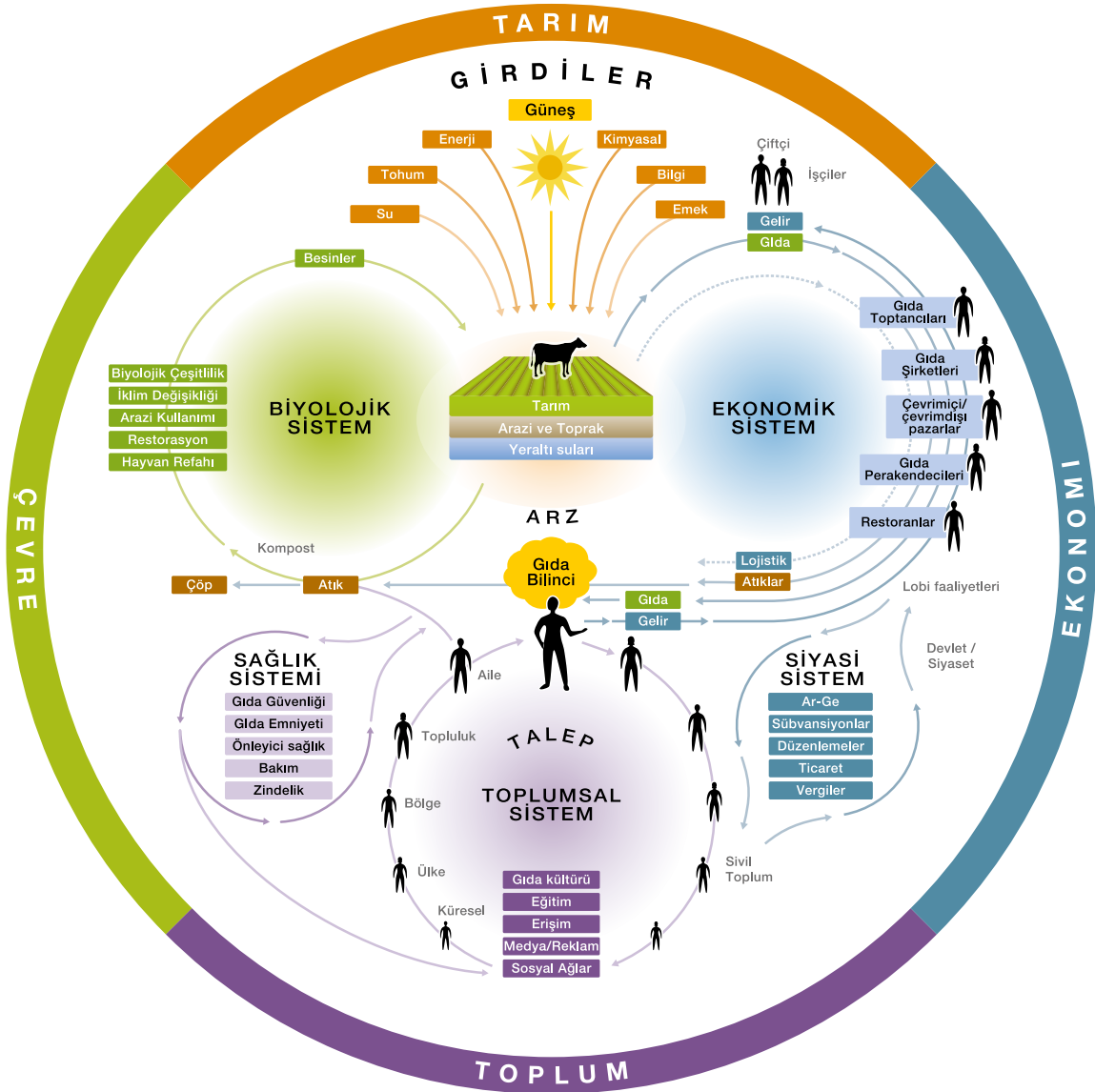
7. GIDA GÜVENLİĞİNDE STRATEJİK MALZEMELER

Bir gıda sistemi, üretimden tüketime gıda tedarik zincirinin ötesinde; ekonomik, siyasi, toplumsal ve çevresel etmenleri de kapsamaktadır (Şekil 16). Gıda sisteminin güvenliğinin sağlanması için tüm faktörlerin dikkate alınması gereklidir. Ayrıca dünya nüfusunun 2050 yılında 10 milyara yaklaşacak olması, küresel refah artışı, şehirleşme, küresel iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı ve olası tedarik şokları dikkate alınarak gıda güvenliğini sağlayacak tedbirlerin sürdürülebilir ve elastikiyete sahip bir gıda sistemi yaratacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir^[98].

Söz konusu etmenler, gıda sistemlerinde yeni üretim yöntemlerinin geliştirilmesine, çevre koruma tedbirlerinin sıklaştırılmasına, gıda değer zincirinin her halkasında daha fazla ileri teknoloji kullanılmasına ve döngüsel gıda sistemlerine ulaşılmasına yönelik stratejilerin ortaya konulmasını gerektirmektedir.

Tarımsal üretimde, organik tarım, onarıcı tarım, topraksız tarım, hassas tarım, Tarım 4.0 gibi yeni yöntemler ağırlık kazanırken, şehir tarımı ve dikey tarım giderek daha fazla teşvik almaktadır^[98]. Ayrıca gıda üretiminde "hücre tarım", "akıllı gıda" ve katmanlı imalat yöntemiyle gıda üretimi gibi yeni tarım dışı gıda üretim yöntemleri de ilgi görmektedir.

21'inci yüzyılda gıda sistemlerinde birbirine zıt gibi görünen iki ana eğilim göze çarpmaktadır: Birincisi tüm



Şekil 16: Gıda sistemlerinin unsurları^[99].

gıda sisteminde doğaya zarar verici unsurlardan kurtulmak için doğal yöntemlere geri dönüş durumudur. Tarımda kimyasalların (gübre ilaç, antibiyotik vb.) kullanımına son verilmesi, zararlı tarım pratiklerinin (tarla sürülmesi, anız yakma tek tip bitki üretimi, endüstriyel hayvancılık) terk edilmesi, katı koruma tedbirleriyle (imar yasağı, ormansızlaştırmanın yasaklanması, yeraltı barajlarının inşası vb.) yeraltı ve yerüstü sularının korunması, koruma alanları oluşturularak biyolojik çeşitliliğin eski hâline getirilmesi, gıda bilincinin yaygınlaştırılması, beslenme alışkanlıklarının değiştirilmesi, gıda bilincinin yaygınlaşması ve gıda atıklarının geri kazanımı gibi politikalar norm hâline gelmektedir.

Ancak söz konusu tedbirler en azından kısa ve orta vadede gıda üretiminde verim kayıplarına yol açabilecek niteliktedir. Nihayetinde bu tedbirler daha küçük arazilerde rekoltesi düşük bitki üretimine yol açabilir ve endüstriyel tarım ve hayvancılığın maliyet avantajlarını yok edebilir. Oysa dünya nüfusu artmakta ve gıda tüketimi (özellikle protein tüketimi) hızla tırmanmaktadır^[98].

Bu ihtiyaç gıda sistemlerinde ikinci eğilimi beraberinde getirmiştir: yoğun teknoloji kullanımı. Başta AB olmak üzere^[100], pek çok ülke ve ülke grubu gıda üretiminde ileri teknoloji kullanımını yaygınlaştırarak verimi artırmayı teşvik etmektedir. Örneğin nesnelerin interneti uygulamaları su, enerji, gübre ve ilaç gibi temel girdilerde önemli miktarlarda tasarruf sağlayan, hayvancılıkta hayvan refahını artıracak tedbirlerin zamanında yapılmasına imkân tanıyan, dolayısıyla çiftçi refahının artışında büyük rol oynayabilen hassas tarım uygulamalarının yaygınlaşmasına yol açabilir^[101]. Otonom araçlar (İHA'lar, sürücüsüz traktörler ve tarım makineleri) dünya genelinde tarımsal insan kaynaklarının göçler nedeniyle kırsal nüfusun sürekli azaldığı ve yaşlandığı dikkate alınır, daha az işgücüsüyle daha yüksek veri elde edilmesine katkı sağlayabilir^[102]. Yeşil enerjilerin (rüzgâr, güneş, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle vb.) kullanılması küresel sera gazı emisyonlarının neredeyse üçte birinden (yüzde 31)^[103] sorumlu olan gıda sistemlerin karbon nötrlüğe ulaşmasına önemli ölçüde katkı sağlayabilir. Otonom nesnelere ve elektrikli

araçlar gıda lojistiğinde ulaşım sorunlarından kaynaklanan kayıpların azalmasını sağlayabilir^[104]. Dijital platformlar^[105], yapay zekâ^[106] ve blok zinciri uygulamaları^[107] gıda değer zincirinin tüm halkalarında iyi uygulamaların yaygınlaşmasına, pazara erişimin kolaylaşmasına, gıda sağlığının korunmasına, gıda kayıplarının azaltılmasına ve gıdada döngüsel ekonominin yaratılmasına imkân tanıyabilir. Biyoteknoloji ve katmanlı imalat teknolojileri, başta hayvansal ve bitkisel protein üretimi olmak üzere tarım dışı gıda üretiminin yolunu açabilir^[98].

İleri teknolojiler aynı zamanda gıda sistemlerinde “doğal olana dönüşü” de hızlandırabilir. Örneğin uzaktan algılama uyduları destekli coğrafi bilgi sistemleri, iklim değişikliğinin risklerinin (aşırı iklim olayları ve sıklaşan doğal afetler) takip edilmesi, ormansızlaştırmanın önlenmesi, su kaynaklarının miktarının ve kalitesinin izlenmesine, daha isabetli mahsul verim tahminlerinin yapılmasına izin vererek çiftçilere, yerel yöneticilere ve siyasi karar alıcılara yardımcı olabilir^[108].

Teknoloji ve gıda sistemi iç içe geçerken, 2050 yılına kadar bir dizi dönüşüm geçirmek zorunda kalacağı anlaşılan gıda sistemlerinin, enerjiden ulaşım, havacılık ve uzaydan bilişim teknolojilerine kadar geniş bir yelpazede sektörlere stratejik ve kritik malzemede yaşanacak sıkıntıların doğrudan etkileneceğini tahmin etmek mümkündür.

8. SAĞLIK ALANINDA STRATEJİK MALZEMELER

Sağlık hem kişisel hem de toplumsal olarak büyük önem taşımaktadır. Toplumsal açıdan sağlık, refah ve esenliğin merkezinde yer almaktadır. Ayrıca ekonomik açıdan bakıldığında sağlık hizmetleri, dünyanın en büyük sektörlerinden biridir. Kalite, erişim ve maliyet sorunları sürmekle birlikte modern sağlık hizmetleri hızla ilerlemekte, geçmişe oranla çok daha fazla hastalığa çare bulunmaktadır. Yeni teknolojiler, tedavi yöntemlerine benzersiz yenilikler getirmektedir. Geniş bant internet ve mobil iletişim teknolojileri, giyilebilir elektronik, nesnelerin interneti, bulut bilişim ve robotlar gibi yeni teknolojiler sayesinde sağlıkta büyük bir dönüşüm yaşanmaktadır^[109].

Ancak giderek daha fazla teknolojiye bağımlı hâle gelen sağlık sektörü bununla ilintili sorunlar da yaşamaktadır. Sağlık sektöründe siber güvenlik sorunlarının büyümesi bu sonuçlardan biridir^[110]. Küresel veya bölgesel şoklarda tedarik sıkıntılarının artması da bir diğer sonuçtur. Aralık 2019’da patlak veren ve hâlen devam eden COVID-19 krizi, küresel ekonomiyi ve dünyanın büyük bölgelerine ilaç ve sağlık hizmetleri için temel hammaddelerin tedarikini etkilemeye devam etmektedir. Bilhassa pandeminin ilk aylarında ilaç, aşı ve kişisel



Malzeme	Kullanım Alanı	Malzeme	Kullanım Alanı
Antimon	İlaç yapımı	Magnezyum	İlaç ve tıbbi malzeme yapımı.
Barit	Röntgen cihazları, ilaç yapımı.	Doğal grafit	Medikal cihazlar.
Berilyum	Optik cerrahi, Isı direnci ile radyasyon seviyesini azaltır. Röntgenlerin ve bilgisayarlı tomografinin verimini artırır. Mamografide kullanılır.	Gümüş	Antibiyotiklerin aktif malzemesi, Antibakteriyel, Antimikrobiyal bandajlar, Röntgen cihazları, Elektrik ve ısı iletkenliği.
Bizmut	İlaç yapımı.	Uranyum	Röntgenler, MRI tarayıcıları, Tıbbi araştırma ve keşifler, Radyasyon tedavisi, Hastalıkların ve kanserin tedavisi.
Bor	İlaç yapımı.	Çinko	Taşınabilir oksijen tüpleri, Medikal araç imalatı, Soğuk algınlığı tedavisi, Hasta izleme.
Bakır	Antimikrobiyal dokunmatik ekranlar, MR tarama cihazları, İleri teknoloji bilgisayarlar.	Lityum	Kalp pilleri, Otomatik elektroşok cihazı, Taşınabilir medikal cihazlar.
Kobalt	Kobalt-60 izotopu, Kanser tedavisinde (radyoterapi), Radyasyonla gıda koruma.	Titan	İmplantlarda, Güneş kremlerinde.
Kok Kömürü	İlaç yapımı.	Doğal Kauçuk	Kişisel korunma ürünleri, Borular, hortumlar, İmplantlar.
Flourspat	Diş bakımı ve diş sağlığı malzemeleri.	Fosfat	İlaç yapımı.
Platin Grubu Metaller	Korozyona dirençli parçalar, Kemoterapi ilaçları, Radyasyon tedavisi implantları, Kardiyoloji teknolojisi (Kalp pili).	Stronsiyum	Diş bakımı ve tedavisi, İlaç yapımı, Kanser tedavisi (Sr-89).
Galyum	Kanser taraması ve akut iltihap tedavisinde, Radyoterapide.	Tantal	Cerrahi implantlarda, Beyin cerrahisinde.
Germanyum	Mikroskop lensleri.	Tungsten	Radyoterapi makineleri, Bilgisayarlı tomografi cihazları, onkoloji araçları.
Nadir Toprak Elementleri	İltihapların dokuya zarar vermeden giderilmesinde radyoaktif Erbiyum-169, İtrium-90 ve Renyum-196 izotopları; Karaciğer kanseri tedavisinde Holmiyum izotopları; yumuşak doku kanserleri tedavisinde ise Lütisyum izotopları kullanılmaktadır.	Vanadyum	Vitamin ilaçları yapımında.

Tablo 3: Sağlıkta kullanılan bazı kritik mineraller ve malzemeler^{[111], [112], [113]}.

koruyucu ekipman için gerekli malzemeler önemli ölçüde arz sıkıntısı yaşanmıştır. COVID-19 salgını, ülkelerin sağlık cihazları, ilaçlar ve ham maddelerinde dışa bağımlı olmasının sağlık hizmetleri tedarik zincirlerini kesintiye uğratabileceğini veya yavaşlatabileceğini açıkça ortaya koymuştur.

Sağlıkta tedarik şoklarının temel nedeni, ilaç üretiminde, radyoterapi gibi kritik tedavi yöntemlerinde, modern tanılama cihazlarında ve hatta kişisel korunma malzemelerinde cihazlarda çok sayıda kritik nitelikte malzeme kullanılmasıdır (Tablo 3). Mineraller ve metaller modern tıp dünyamız için vazgeçilmezdir ve bugün gördüğümüz tıbbi yeniliklerin çoğunun anahtarıdır, doktorların ve hastaların her gün güvendiği hayat kurtaran tıbbi cihazların ve ilaçların yapı taşları olarak hizmet etmektedir (Tablo 3). Bu minerallerde var olan pazar yoğunlaşmaları diğer

pek çok sektör gibi sağlık sektörünün istikrarına yönelik bir tehdit yaratmaktadır.

COVID-19 krizi sağlık sistemlerinin başta malzemelerde dışa bağımlılık ve sağlık personeli eksikliği olmak üzere bir dizi zafiyetini ortaya çıkarmıştır ve sistemlerin elastikiyetinin artırılması için tedbirleri gündeme getirmiştir. Sağlık sistemi elastikiyeti, sağlık aktörlerinin ve kurumlarının temel işlevlerini sürdürürken krizlere (salgın hastalıklar, doğal afetler, siyasi isyanlar vb.) etkili bir şekilde yanıt verme ve bunlardan kurtulma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır^[114]. Esnek sağlık sistemleri, sistemin güçlü yönlerinin ve kırılganlıklarının farkındadırlar ve nihayetinde, bir kriz sırasında ve sonrasında herkese sağlık hizmeti ulaştırabilirler. Bu elastikiyetin sağlanması için güçlü ve esnek bir sağlık tedarik zincirinde kaynak çeşitliliğinin güvence altına alınması gereklidir. Medikal

cihazlardan ilaca ve serum hortumundan sağlık kayıtlarının tutulduğu veri merkezlerine kadar pek çok üründe yurtiçi ve yurtdışı tedarik alternatiflerinin geliştirilmesi buna dahildir.

9. SONUÇ

21'inci yüzyıl, insanlık tarihinde yeni bir çağ olduğunu iyiden iyiye hissettirmektedir. Bu çağ hem küresel iklim değişikliği, enerji, gıda ve sağlıkta devasa sorunları hem de bunlara panzehir olacak teknoloji ve yöntemleri barındırmaktadır. Bu yeni çağın yapı taşları da öncekilerden farklı olacak gibi görünmektedir. Dünya'da yaşamı korumak için önceki yüzyıla yön veren fosil yakıtlar ve kirlenici metaller ve polimerlerden kurtulmak, yepyeni malzemeler geliştirmek gerekmektedir ve bunun için de adımlar atılmaktadır. Bu adımları atarken, 21'inci yüzyılın

ilk çeyreğinde yaşandığı gibi yeni bağımlılıklar geliştirilmemelidir. Nitekim dünya bugün savunmadan enerjiye, bilişim teknolojilerinden yeşil ulaşıma, gıdadan sağlığa tüm alanlarda kritik malzemelerde birkaç ülkeye bağımlı olmasının sıkıntılarını yaşamaktadır. 20'nci yüzyılda yaşandığı gibi birkaç mineral kaynağa odaklı bir jeopolitiğe saplanıp kalınmaması, 21'inci yüzyılda kritik malzeme bağımlılığının kurtarılacak çözümler geliştirilmesi gereklidir. Bu açıdan bakıldığında, yazı dizimizin ilk bölümünde aktardığımız üzere, "malzeme genomu" gibi projeler büyük önem taşımaktadır. Bu projeler sürdürülebilir ikameler geliştirerek dünyayı yeni gerilimlerden kurtarıırken, yeşil dönüşüm, enerji güvenliği, gıda güvenliği ve sağlık sistemlerinde elastikiyetin sağlanması için acil konulara odaklanılmasının önünü açabilir. Böylece gelecekte yeni "unobtoniumlar" aramak için onlarca ışık yılı ötedeki gezegenleri işgal etmek zorunda kalmayız.

KAYNAKÇA

- [1] Ulusoy, Uğur; (2021), "Geleceğimizi Kritik Mineraller mi Şekillendirecek?", *Akademik Akıl*, (29 Kasım 2021), <https://www.akademikakil.com/gelecegimizi-kritik-mineraller-mi-sekillendirecek/uulusoy/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [2] "STRATEGIC MATERIALS", <https://www.hsdl.org/?view&did=1794>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [3] White House, (2022), "FACT SHEET: Securing a Made in America Supply Chain for Critical Minerals", (22 Şubat 2022), <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/02/22/fact-sheet-securing-a-made-in-america-supply-chain-for-critical-minerals/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [4] Chancerel, Pierre; (2015), "Raw Materials", *Encyclopedia*, (16 Temmuz 2015), https://encyclopedia.1914-1918-online.net/article/raw_materials. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [5] Huebert, Ed; (2001), "World War II - Mineral Properties & Inventory Issues", *Abandoned Mines*, (26 Haziran 2001), <https://abandoned-mines.org/pdfs/wwii.pdf>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [6] STM ThinkTech, (2022), "MALZEME BİLİMİNİN AÇTIĞI YENİ UFUKLAR I: Dünyada Malzeme Bilimi ve Uygulamalarının Durumu İle Geleceği", (9 Kasım 2022), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/malzeme-biliminin-actigi-yeni-ufuklar-i-dunyada-malzeme-bilimi-ve-uygulamalarinin-durumu-ile-gelecegi>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [7] STRATFOR, "Rare Earths Primer", https://nanopdf.com/downloadFile/95724ree-summary_pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [8] Hanke, Steve H.; (2021), "China Rattles Its Rare-Earth-Minerals Saber, Again", *CATO Institute*, (25 Şubat 2021), <https://www.cato.org/commentary/china-rattles-its-rare-earth-minerals-saber-again>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [9] *China Power*, "Does China Pose a Threat to Global Rare Earth Supply Chains?", <https://chinapower.csis.org/china-rare-earths/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [10] KAWAJI, YOSUKE; HIRUTA, SHOKO; (2022), "Rare-earth prices fall on supply increase and China auto slowdown", *Nikkei Asia*, (13 Ağustos 2022), <https://asia.nikkei.com/Spot-light/Supply-Chain/Rare-earth-prices-fall-on-supply-increase-and-China-auto-slowdown>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [11] *Stratcom*, "The 2010 Senkaku crisis", https://stratcomcoe.org/cuploads/pfiles/senkaku_crisis.pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [12] Shen, Bruce; (2022), "China's Dominance Over Critical Minerals Faces New Challengers", *The Diplomat*, (10 Kasım 2022), <https://thediplomat.com/2022/11/chinas-dominance-over-critical-minerals-faces-new-challengers/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [13] Yao, Shunyu; Holden, Jason; (2021), "Jason", *S&P Global*, (12 Mart 2021), <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/chinese-foreign-mining-investment-8212-china-s-private-sector-eyes-low-cost-regions-63066809>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [14] *International Energy Agency*, "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions -Executive Summary", <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/executive-summary>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [15] *International Energy Agency*, "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions -Introduction", <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/mineral-requirements-for-clean-energy-transitions>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [16] *AAPG Explorer*, (2021), "Are Critical Minerals the New Oil and Gas?", (Ocak 2021), <https://explorer.aapg.org/story/article-id/59110/are-critical-minerals-the-new-oil-and-gas>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [17] European Commission, (2020), "Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU", https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [18] *T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı*, "Nadir Toprak Elementleri Raporu", <https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/plan-program/NadirToprakElementleriSektorRaporu.pdf>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)

- [19] *EUR-Lex*, “COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS TACKLING THE CHALLENGES IN COMMODITY MARKETS AND ON RAW MATERIALS” <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52011DC0025&locale=en>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [20] *EUR-Lex*, “COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS On the review of the list of critical raw materials for the EU and the implementation of the Raw Materials Initiative” <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52014DC0297&locale=en>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [21] *European Commission*, (2017), “COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS on the 2017 list of Critical Raw Materials for the EU”, (13 Eylül 2017), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0490&from=EN>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [22] *European Commission*, (2020), “COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability”, (3 Eylül 2020), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [23] *European Commission*, (2022), “Critical Raw Materials Act: securing the new gas & oil at the heart of our economy | Blog of Commissioner Thierry Breton”, (14 Eylül 2022), https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/STATEMENT_22_5523. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [24] *Minerals Make Life*, (2013), “Strategic and Critical Materials 2013 Report on Stockpile Requirements”, (Ocak 2013), https://mineralsmakelife.org/assets/images/content/resources/Strategic_and_Critical_Materials_2013_Report_on_Stockpile_Requirements.pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [25] *National Energy Technology Laboratory*, “Critical Minerals and Materials Program”, <https://www.netl.doe.gov/resource-sustainability/minerals-sustainability/program-overview/background>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [26] Stone, Maddie; (2018), “Don’t Get Too Excited Over Japan’s New ‘Semi-Infinite’ Rare Earth Stash”, *Gizmodo*, (12 Nisan 2018), <https://gizmodo.com/dont-get-too-excited-over-japans-new-semi-infinite-rare-1825185977>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [27] Smith, Peter; Soble, Jonathan; Hook, Leslie; (2010), *Financial Times*, “Japan secures rare earths deal with Australia”, (24 Kasım 2010), <https://www.ft.com/content/63a18538-f773-11df-8b42-00144feab49a>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [28] *Agenzia Nova*, (2022), “Japan identifies eleven “critical materials” for maintaining supply chains”, (21 Aralık 2022), <https://www.agenzianova.com/en/news/japan-identifies-eleven-critical-materials-for-maintaining-supply-chains/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [29] Lasley, Shane; (2021), “Canada set to be critical minerals store”, *Mining News North*, (10 Temmuz 2021), <https://www.miningnewsnorth.com/story/2021/09/16/critical-minerals-alliances/canada-set-to-be-critical-minerals-store/6968.html>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [30] *Reuters*, (2022), “Canada strengthening guidelines to protect critical minerals sectors”, (28 Ekim 2022), <https://www.reuters.com/markets/commodities/canada-strengthening-guidelines-protect-critical-minerals-sectors-2022-10-28/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [31] Byung-wook, Kim; (2021), “S. Korea to beef up critical metals stockpile”, (5 Ağustos 2021), *The Korea Herald*, <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20210805000737>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [32] Bo-eun, Kim; (2022), “Korea on track to cut dependency on China for rare earths”, *Korea Times*, (28 Haziran 2022), https://www.koreatimes.co.kr/www/biz/2022/06/488_331765.html. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [33] Joshi, Rakesh; (2022), “India’s quest for critical minerals”, *Business India*, (24 Temmuz 2022), <https://businessindia.co/magazine/indias-quest-for-critical-minerals#:~:text=India%20has%20significant%20resources%20of,evaluate%20the%20economically%20minable%20resources>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [34] *U.S. Department of State*, (2022), “Minerals Security Partnership”, (14 Haziran 2022), <https://www.state.gov/minerals-security-partnership/#:~:text=The%20goal%20of%20the%20MSP,benefit%20of%20their%20geological%20endowments>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [35] *Reuters*, (2022), “U.S. and partners enter pact to secure critical minerals like lithium”, (15 Haziran 2022), <https://www.reuters.com/markets/commodities/us-partners-enter-pact-secure-critical-minerals-lithium-2022-06-14/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [36] *European Raw Materials Alliance*, <https://erma.eu/about-us/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [37] *Buenos Aires Times*, (2022), “Mexico seeks lithium ‘partnership’ with Argentina, Bolivia and Chile”, (3 Mayıs 2022), <https://www.batimes.com.ar/news/economy/mexico-seeks-lithium-partnership-with-argentina-bolivia-and-chile.phtml>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [38] *Reuters*, (2022), “Mexico seeks lithium association with Argentina, Bolivia and Chile”, (3 Mayıs 2022), <https://www.reuters.com/world/americas/mexico-seeks-lithium-association-with-argentina-bolivia-chile-2022-05-03/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [39] *ASEAN*, “ASEAN Minerals Cooperation”, <https://asean.org/our-communities/economic-community/asean-minerals-cooperation/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [40] Mevlütoğlu, M. Arda; (2017), “Geleceğin Savaşları: Yakın Gelecekte Muharebe Alanı Nasıl Şekillenecek?”, *STM ThinkTech*, (1 Kasım 2017), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/gelecegin-savaslari-yakin-gelecekte-muharebe-alani-nasil-sekille-necek>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [41] *STM ThinkTech*, “Dünyada Savunma Doktrinlerini Değiştiren Yeni Konsept: Algoritmik Harp”, (22 Şubat 2019), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/dunyada-savunma-doktrinlerini-degistiren-yeni-konsept-algoritmik-harp>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [42] *STM ThinkTech*, (2022), “İki Boyutlu Polimerler”, (11 Mayıs 2022), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/iki-boyutlu-polimerler>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)

- [43] *Refractory Metal*, “Tag: The Uses Of Vanadium In The Aerospace Industry”, <https://www.refractorymetal.org/tag/the-uses-of-vanadium-in-the-aerospace-industry/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [44] *Evrım Ağacı*, “Berilyum”, <https://evrimagaci.org/berilyum-9859>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [45] Öztürk, Fahrettin; (2021), “HAVACILIK ENDÜSTRİSİNDE TITANYUM”, *Global Savunma*, (20 Aralık 2021), <https://www.globalsavunma.com.tr/havacilik-endustrisinde-titanyum.html>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [46] *STM ThinkTech*, “Katmanlı İmalat Çağında Füze Teknolojisi”, https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1608900215_stm-blog-katmanli-imalat-caginda-fuze-teknolojisi.pdf
- [47] *ScienceDirect*, (2012), “Molybdenum Alloys”, <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/molybdenum-alloys>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [48] *Bartın Üniversitesi*, “İntermetalik Malzemeler”, <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503e-d6ffb/intermetalikmalzemeler5.hafta.pdf>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [49] Talin, Ali Osman; (2019), “Antimon Nedir? Antimon Element Özellikleri ve Kullanım Alanları”, *Malzeme Bilimi*, <https://malzembilimi.net/antimon-nedir-antimon-element-ozellikleri-ve-kullanim-alanlari.html>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [50] *Acnis International*, “Titanium Ti6Al4V Grade 5”, <https://acnis-titanium.com/en/produit/titanium-ta6v-grade-5/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [51] Gulseven, Cosku; (2016), “Machinability of Inconel 718 Superalloys - (Inconel 718 Süper Alaşımının İşlenebilirliğinin İncelenmesi)”, *Academia*, https://www.academia.edu/37543417/Machinability_of_Inconel_718_Superalloys_Inconel_718_S%C3%BCper_Ala%C5%9F%C4%B1m%C4%B1n%C4%B1n%C4%B0%C5%9Flenebilirli%C4%9Finin_%C4%B0ncelenmesi. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [52] CAMPBELL, KEITH; (2015), “Strategic minerals and the aerospace and defence industries”, *Mining Weekly*, (Nisan 2015), <https://www.miningweekly.com/article/strategic-minerals-and-the-aerospace-and-defence-industries-2015-04-30>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [53] *White House*, (2021), “BUILDING RESILIENT SUPPLY CHAINS, REVITALIZING AMERICAN MANUFACTURING, AND FOSTERING BROAD-BASED GROWTH”, (Haziran 2021), <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [54] Narayanan, Pratish; Deaux, Joe; (2019), “US fighter jets and missiles in China’s sights as trade war weapons”, *The Sydney Morning Herald*, (30 Mayıs 2019), <https://www.smh.com.au/business/markets/us-fighter-jets-and-missiles-in-china-s-sights-as-trade-war-weapons-20190530-p51sm8.html>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [55] Xuanzun, Liu; Daye, Chu; Lei, Tu; (2020), “Lockheed Martin faces China’s sanctions over Taiwan deal”, (14 Temmuz 2020), <https://www.globaltimes.cn/content/1194528.shtml>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [56] *STM ThinkTech*, (2019), “Teknolojide Lityum Bağımlılığı”, (14 Haziran 2019), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/teknolojide-lityum-bagimliliği>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [57] *STM ThinkTech*, (2022), “5G Askeri Alanda Nasıl Kullanılabilir?”, (25 Ocak 2022), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/5g-askeri-alanda-nasil-kullanilabilir>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [58] Patent-Art, “MATERIALS USED IN 5G COMMUNICATION”, <https://www.patent-art.com/knowledge-center/materials-used-in-5g-communication/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [59] *STM ThinkTech*, (2019), “Directed Energy Weapons: Technologies, Applications and Expectations”, (25 Eylül 2019), <https://thinktech.stm.com.tr/en/directed-energy-weapons-technologies-applications-and-expectations>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [60] *STM ThinkTech*, (2019), “SAVAŞ UÇAKLARI VE ASKERİ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ GELECEĞİ”, (Kasım 2019), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1608993921_stm-savas-ucaklari-ve-askeri-ihalarin-gelecegi.pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [61] *STM ThinkTech*, (2021), “YAPAY ZEKÂDA ‘SOĞUK SAVAŞ’ DÖNEMİ VE JEOPOLİTİK ALANDA OLASI SONUÇLARI”, (Eylül 2021), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1632396141_stm-yapay-zekada-soguk-savas-donemi.pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [62] Parthemore, Christine; (2011), “Rare Earth Woes Could Mean Trouble For U.S. Stealth Fleet”, *CNAS*, (11 Mayıs 2011), <https://www.cnas.org/press/in-the-news/rare-earth-woes-could-mean-trouble-for-u-s-stealth-fleet>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [63] *U.S. Secretary of Defense*, (2022), “Securing Defense-Critical Supply Chains An action plan developed in response to President Biden’s Executive Order 14017”, (Şubat 2022), <https://media.defense.gov/2022/Feb/24/2002944158/-1/-1/1/DOD-EO-14017-REPORT-SECURING-DEFENSE-CRITICAL-SUPPLY-CHAINS.PDF>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [64] *Millisavunma.com*, “Savunma Sanayii Başkanlığı’nın Yürüttüğü Projeler”, <https://www.millisavunma.com/news/savunma-sanayii-baskanliginin-yuruttuğu-projeler/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [65] *STM ThinkTech*, (2022), “Enerji Depolama Teknolojilerindeki Son Gelişmeler”, (5 Ocak 2022), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/enerji-depolama-teknolojilerindeki-son-gelismeler>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [66] *United Nations Department of Economic and Social Affairs*, (2022), “World Population Prospects 2022: Summary of Results”, (Temmuz 2022), https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesa_pd_2022_wpp_key-messages.pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [67] *STM ThinkTech*, (2021), “Yeni İklim Rejimine Doğru: Avrupa Yeşil Mutabakatı Ve Türkiye’ye Etkileri Üzerine Bir İnceleme”, (22 Aralık 2021), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/yeni-iklim-rejimine-dogru-avrupa-yesil-mutabakati-ve-turkiyeye-etkileri-uzerine-bir-inceleme>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [68] *International Energy Agency*, “World Energy Investment 2022”, <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2022>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [69] *McKinsey*, (2022), “Global Energy Perspective 2022”, (26 Nisan 2022), <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2022>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [70] Kakişım, Cemal; (2022), “Kritik Minerallerin Türkiye’nin Enerji Dönüşümüne Etkisi: Teknoloji Bağımsızlığı Açısından Yeni Jeopolitik Tehdit”, *Mukaddime*, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1687853>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)

- [71] Kaya, Nuran Erkul; (2022), "Türkiye, yenilenebilir enerjide dünyanın en büyük 10 ülkesinden biri olma yolunda", Anadolu Ajansı, (6 Aralık 2022), <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiye-yenilenebilir-enerjide-dunyanin-en-buyuk-10-ulkesinden-biri-olma-yolunda/2756394>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [72] *International Renewable Energy Agency*, (2022), "World Energy Transitions Outlook 2022 1.5° C PATHWAY", https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2022.pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [73] Lasley, Shane; (2021), "Forging Critical Minerals Alliances", *Mining News North*, (Eylül 2021), <https://www.miningnews-north.com/story/2021/09/16/critical-minerals-alliances/forging-critical-minerals-alliances/6966.html>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [74] *International Energy Agency*, (2022), "The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions", (Mart 2022), <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [75] *TÜBİTAK DİJİTAL AKADEMİ*, "Dijital Dönüşüm", <https://bit.ly/3RRSjM4>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [76] *T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi*, "Dijital Dönüşüm", <https://cbddo.gov.tr/dijital-donusum/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [77] EUROPEAN COMMISSION, (2021), "COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade", (9 Mart 2021), https://commission.europa.eu/system/files/2023-01/cellar_12e835e2-81af-11eb-9ac9-01aa75ed71a1.0001.02_DOC_1.pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [78] *United Nations*, "The Impact of Digital Technologies", <https://www.un.org/en/un75/impact-digital-technologies>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [79] Fortune Business Insights, (2022), "Digital Transformation Market Size (2021-2028) Worth USD 3,546.80 Billion, 22.1% CAGR", *GlobeNewswire*, (2 Kasım 2022), <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/11/02/2546392/0/en/Digital-Transformation-Market-Size-2021-2028-Worth-USD-3-546-80-Billion-22-1-CAGR.html>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [80] *UNCTAD*, (2020), "DIGITAL ECONOMY GROWTH AND MINERAL RESOURCES Implications for Developing Countries", (Aralık 2020), https://unctad.org/system/files/official-document/tn_unctad_ict4d16_en.pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [81] Blumenthal, Jonathan; Diamond, L.; (2022), "Sustainability of the Internet of Things Requires Understanding of Mineral Demands and Supplies", *ACS Publications*, (8 Temmuz 2022), <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c03124>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [82] *STM ThinkTech*, (2022), "MALZEME BİLİMİNİN AÇTIĞI YENİ UFUKLAR I: Dünyada Malzeme Bilimi ve Uygulamalarının Durumu İle Geleceği", (Kasım 2022), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1667983618_stmmalzemebilimi1.pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [83] *STM ThinkTech*, (2018), "ENDÜSTRİ 4.0 İLE GELEN DİJİTAL DÖNÜŞÜM VE RİSK ALTINDAKİ MESLEKLER", (Mayıs 2018), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1608973288_stm-endustri-40-ile-gelen.pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [84] Kablan, Ali; (2018), "ENDÜSTRİ 4.0, "NESNELERİN İNTERNETİ" - AKILLI İŞLETMELER VE MUHASEBE DENETİMİ", Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi", <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1037042>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [85] Varank, Mustafa; (2019), "2023 SANAYİ VE TEKNOLOJİ STRATEJİSİ", *T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı*, (18 Eylül 2019), <https://www.sanayi.gov.tr/2023-sanayi-ve-teknoloji-stratejisi>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [86] *STM ThinkTech*, (2019), "Fabrikaların Geleceği "Karanlık"", (25 Ocak 2019), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/fabrikaların-gelecegi-karanlik>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [87] Tae Kim, Hyun; (2019), "Digital Transformation Trends of the Energy and Mineral Resources Development Industries in the Era of the Fourth Industrial Revolution", *J. Korean Soc. Miner. Energy Resour.*, <https://www.jksmer.or.kr/articles/pdf/kMyN/ksmer-2019-056-05-10.pdf>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [88] *Statista*, "Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2021, with forecasts from 2022 to 2030", <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [89] *Statista*, "Volume of data/information created, captured, copied, and consumed worldwide from 2010 to 2020, with forecasts from 2021 to 2025", <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [90] Y. Ku, Anthony; (2018), "Anticipating critical materials implications from the Internet of Things (IOT): Potential stress on future supply chains from emerging data storage technologies", *Sustainable Materials and Technologies*, (Nisan 2018), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993717301252>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [91] *STM ThinkTech*, (2019), "Dördüncü Sanayi Devrimi ve Büyük Veri Analitiği", (9 Nisan 2019), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/dorduncu-sanayi-devrimi-ve-buyuk-veri-analitigi>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [92] *Expert Market Research*, "Global Big Data Market: By Component: Solution, Services; By Hardware: Storage, Network Equipment, Server, Others; By Deployment Mode; By Organisation Size; By Application; By End Use; Regional Analysis; Historical Market and Forecast (2018-2028); Market Dynamics; Competitive Landscape; Industry Events and Developments", <https://www.expertmarketresearch.com/reports/big-data-market#:~:text=What%20was%20the%20global%20big,of%20nearly%20USD%20271.30%20billion>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [93] *Statista*, "Worldwide installations of industrial robots from 2004 to 2020, with a forecast through 2024", <https://bit.ly/3RQP6Mx>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [94] *OpenPR*, (2023), "3D Printing Market to Receive Overwhelming Hike US\$ 148.4 Billion in Revenues by 2032 | Report by FMI", (18 Ocak 2023), <https://www.openpr.com/news/2887638/3d-printing-market-to-receive-overwhelming-hike-us-148-4#:~:text=The%20global%203D%20>

- printing%20market,US%24%2022.9%20Billion%20in%202022. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [95] Suman, Amritesh; (2022), “3DP Is Shifting Gears from Traditional to Smart Manufacturing Image courtesy of Alamy”, *DesignNews*, (17 Ekim 2022), <https://www.designnews.com/3dp/3dp-shifting-gears-traditional-smart-manufacturing>
- [96] *STM ThinkTech*, (2021), “VERİ MERKEZLERİNİN SİBER GÜVENLİĞİ”, (Haziran 2021), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1630414161_stm-veri-merkezlerinin-siber-guvenligi.pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [97] *Data Center Sustainability*, “Data centers and critical raw materials”, <https://datacentersustainability.org/data-centers-and-critical-raw-materials/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [98] *STM ThinkTech*, (2023), “Tarım 2050: Gıda Güvenliği, Yeni Tarım Teknolojileri ve İstikrarsızlaşan Bir Dünyada 10 Milyar İnsanı Doymak”, (31 Ocak 2023), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/tarim-2050-gida-guvenligi-yeni-tarim-teknolojileri-ve-istikrarsizlasan-bir-dunyada-10-milyar-insani-doyurmak>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [99] *Nourish Life*, “Nourish Food System Map”, https://www.nourishlife.org/pdf/Nourish_Food_System_Map_18x24.pdf. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [100] European Commission, “Farm to Fork strategy”, https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [101] Dholu; Manishkumar Ghodinde, K.A.; (2018), “Internet of Things (IoT) for Precision Agriculture Application”, *IEEE Xplore*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8553720>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [102] Martínez-Rodríguez, Belén; (2021), “Autonomous Vehicles in Smart Farming”, *Research Gate*, (Mayıs 2021), https://www.researchgate.net/publication/351482906_Autonomous_Vehicles_in_Smart_Farming. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [103] *United Nations*, (2021), “New FAO analysis reveals carbon footprint of agri-food supply chain”, (8 Kasım 2021), <https://news.un.org/en/story/2021/11/1105172#:~:text=The%20new%20data%20finds%20that,the%20world's%20agri%20food%20systems>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [104] N.K. Duong, Linh; (2020), “A review of robotics and autonomous systems in the food industry: From the supply chains perspective”, *Trends in Food Science & Technology*, (Aralık 2020), <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224420306518>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [105] *Bain & Company*, “The Digital Innovations Transforming the Global Food System”, <https://www.bain.com/insights/digital-innovations-transforming-the-global-food-system-interactive/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [106] Camaréna, Stéphanie; (2022), “Artificial Intelligence (AI) for Sustainable Institutional Food Systems: Implementation of AI Tools for School Nutrition Program Management in the United States of America”, *frontiers*, (2 Haziran 2022), <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2022.743810/full>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [107] *Fairfood*, “Blockchain in food supply chains”, <https://fairfood.org/en/blockchain/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [108] *MDPI*, “Special Issue “Remote Sensing in Food Production and Food Security””, https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/rs_food_production_security. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [109] *STM ThinkTech*, (2019), “İLERİ SAĞLIK TEKNOLOJİLERİ I Akıllı Sağlık Uygulamaları ve Veri Analizi ile Sağlık Sorunlarını Tanımlamak”, (Mayıs 2019), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1608905321_stm-ileri-saglik-teknolojileri-1.pdf?v=1674232522046. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [110] *Defence Turkey*, (2020), “STM Yeni Siber Tehdit Durum Raporunu Açıkladı”, (21 Ocak 2020), <https://www.defenceturkey.com/en/content/stm-yeni-siber-tehdit-durum-raporunu-acikladi-3814>
- [111] *National Mining Association*, “Minerals in the Medical Supply Chain”, <https://nma.org/minerals-in-the-medical-supply-chain/>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [112] *National Mining Association*, “Our Medical Supply Chain Needs a Strong Domestic Mining Industry”, <https://nma.org/wp-content/uploads/2020/04/Minerals-and-Medical-Applications-Fact-Sheet.pdf>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [113] Haschke, Michael; (2022), “The Impact of COVID-19 on Critical Raw Material Supplies needed for the Healthcare and Possible Mitigation Actions”, *Research Gate*, (Nisan 2022), <https://bit.ly/3YqYGZ1>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- [114] Cannedy, Shay; (2022), “Health System Resiliency and the COVID-19 Pandemic: A Case Study of a New Nationwide Contingency Staffing Program”, *MDPI*, (27 Ocak 2022), <https://www.mdpi.com/2227-9032/10/2/244>. (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)



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

