

**MALZEME BİLİMİNİN AÇTIĞI YENİ UFUKLAR I:**  
**Dünyada Malzeme Bilimi ve**  
**Uygulamalarının Durumu İle Geleceği**



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



## 1. GİRİŞ

Malzemeler, medeniyetin kilometre taşlarını ve yaşamın fiziksel temelini oluşturmaktadır. Nitekim uygarlığın ilk dönemlerine, keşfedilen yeni malzemeler şekil vermiştir. İlk tarihsel dönemlerin “Taş Devri”, “Bakır Devri”, “Demir Devri”, “Tunç Devri; yakın dönemlerin ise “Çelik Çağı” ve “Silikon Devri” gibi malzeme adlarıyla anılması söz konusu malzemelerin ve ilgili tekniklerin medeniyetlerin gelişimi üzerindeki büyük etkisini göstermektedir.

İkinci Dünya Savaşı’ndan sonra metalürjiden ayrılarak bağımsız bir araştırma alanı hâline gelen malzeme bilimini, 21’inci yüzyılda büyük bir görev beklemektedir. Değişkenlik, belirsizlik, karmaşıklık ve muğlaklığın hâkim olduğu bu yeni dönemde insanlığın yeni bir itici güce ihtiyacı vardır. Bu itici güç hem ekonomide ve toplumda yeni ufuklar açmalı hem de çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen, verimli ve sürdürülebilir nitelikte olmalıdır.

Malzeme bilimi, Sanayi Devrimi’nden bu yana insan ihtiyaçlarına uygun çözümleri giderek daha hızlı bir şekilde sağlamıştır. Son yüzyılda geliştirilen polimerler, gelişmiş seramikler, metal alaşımlar ve yarı iletken malzemeler yaşamı değiştirmiştir. Ancak malzeme geliştirmek, uzun, zahmetli ve pahalı bir süreçtir. İstenilen niteliklerde malzemelere ulaşmak yıllarca harcanacak bolca emeğe ve kaynağa mal olmaktadır. Öte yandan küresel iklim değişikliğinde geri dönülmez noktaya ulaşmamak için şimdiden yaşamın her alanında kökten değişikliklere ihtiyaç vardır ve bunların birçoğu yeni bir tür malzeme geliştirmeden mümkün değildir.

21’inci yüzyıl teknolojileri, malzeme mühendislerine yeni malzeme geliştirme sürecini baştan aşağı değiştirecek teknolojik olanaklar sunmaktadır. Büyük veri,

yapay zekâ ve derin öğrenme teknolojileri, malzemelerin kataloglanmasına ve istenilen nitelikte malzemelerin formüllerinin ortaya çıkarılmasına, hatta malzemelerin fiziki testler yerine simülasyonlarla sınanmasına imkân tanımaktadır.

Bu tür bir ileri adım küresel ortamda çok büyük değişiklikler getirebilir. Elektrik depolanmasını sağlayacak malzemeler enerji güvenliğinin sağlanmasına, biyomalzemelerin geliştirilmesi doğayı kirleten plastiklerin rafa kaldırılmasına, akıllı malzemeler yüksek performanslı savunma sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilir.

STM ThinkTech olarak, bu son derece kritik dönüşümün şafağında malzeme alanındaki gelişmeleri gözler önüne sermek için bir Araştırma Raporu yazı dizisi hazırlamış bulunuyoruz. Yazı dizisinin ilk bölümünde dünyadaki mevcut malzemelerin kullanım alanlarına, pazar yapısına ve olası “malzeme devriminin” dinamiklerine göz atılacaktır. Dizinin ikinci kısmında Türkiye’de malzeme alanındaki durum ve çalışmalar incelenecek, üçüncü kısımda ise stratejik açıdan büyük önem taşıyan malzemelere ilişkin son çalışmalar irdelenecektir.

## 2. MALZEMELER VE MALZEME BİLİMİ

Bir malzeme devriminden bahsetmeden önce malzemenin ve malzeme biliminin genel çerçevesinin çizilmesi gereklidir. Bu bölümde malzemelerin tanımı, malzeme sınıflandırmaları ve malzeme biliminin doğuşu ve gelişimi hakkında bilgi verilmesi amaçlanmaktadır.

## 2.1 Malzeme

Uygarlık, insanın çevresindeki maddeleri farklı amaçlar için malzeme olarak kullanmasıyla başlamıştır. Malzemeler, maddelerin özellikleri düzenlenerek insan kullanımına elverişli kılınmış hâlleridir<sup>[1]</sup>. Ahşap ve taşla çalışıldığından bu yana insanlık, çok çeşitli malzemeleri işlemeyi ve sentezlemeyi öğrenmiştir. Metallerin işlenmesindeki ilerlemeler bronz, demir ve çeliğin kullanılmasına ve aynı adı taşıyan tarihsel dönemlerin başlamasına yol açmıştır.

Günümüzde temel malzemelerden bazıları çok eski tarihlerden beri farklı amaçlarla olsa da kullanılmaktadır. Örneğin yapılan arkeolojik araştırmalar, Antik Mısırlıların cam yapımını bildiğini, ancak bunları sadece süs eşyası ve dekorasyon için kullandığını ortaya koymuştur<sup>[2]</sup>. Romalılar camı pencerelerde kullanmış ama camın asıl yaygın kullanımı 17'nci yüzyıldan sonra başlamıştır. Cam bugün bir yapı malzemesi, telekomünikasyon devrimine yol açan cam elyafının ana unsuru ve mercek yapımıyla bilimin temel araçlarından biridir.

Cam, insanlık tarihinde belirleyici rol oynayan malzemelerden sadece birisidir. Malzemeler sadece eşya ve ürün yapılan unsurlar değil, ihtiyaç ve arzularımızın da ifadesidir. Örneğin yaklaşık M.Ö. 6500'den itibaren kullanılan beton<sup>[3]</sup>, sadece deprem ve diğer afetlerden insanları koruyan bir malzeme olarak barınma ihtiyacını ifade etmemektedir. Beton aynı zamanda, barınma ihtiyacının uzun ömürlü ve makul maliyetli biçimde çözülmesi isteğinin de bir sonucudur. Betonarme binalar uygun koşullarda yüzyıllarca ayakta kalabilmektedir ve maliyeti alternatiflerine göre daha düşüktür. Bu özelliklerinden dolayı beton bugün dünya genelinde yılda yaklaşık dört milyar ton civarında üretilen ve en çok kullanılan malzemedir<sup>[3]</sup>. Ancak betonun ana hammaddesi olan çimentonun üretim yöntemi, çevre üzerinde son derece olumsuz etkiler yaratmaktadır. Çimento, kireçtaşı ve kilin dev fırınlarda yaklaşık 2.700 derecede ısıtılmasıyla elde edilmektedir. Muazzam miktarda enerji kullanımı çimentonun büyük bir karbon ayak izine sahip olmasına yol açmaktadır. Küresel çimento endüstrisi her yıl yaklaşık 2,5 milyar ton karbondioksiti (CO<sub>2</sub>) atmosfere salmaktadır. Çimento endüstrisi, küresel CO<sub>2</sub> salımının yaklaşık yüzde 3'üne neden olmaktadır<sup>[3]</sup>. Bu nedenle yeni ve çevre dostu yapı malzemelerini geliştirmek veya "yeşil beton" üretmek, malzeme biliminin ve malzeme mühendislerinin en önemli görevlerinden biridir.

## 2.2 Malzeme Bilimi ve Malzeme Mühendisliği

Malzemenin bir bilim mi yoksa bir mühendislik dalı mı olduğu konusunda farklı görüşler vardır. Oxford Üniversitesi Malzeme Bilimi Bölümü bu uzlaşmazlığı göz önünde tutarak "Malzeme bilimi, maddenin fizik ve kimyasını, mühendislik uygulamalarını ve endüstriyel üretim süreçlerini kapsayan disiplinlerarası bir alandır"<sup>[4]</sup> tanımını getirmektedir.

Buna göre malzeme bilimi, bir malzemenin yapısı ve özellikleri arasındaki ilişkileri incelemektedir. Malzeme mühendisleri ise, malzeme biliminin sunduğu bilgiler ışığında insanların ve doğanın yeni ihtiyaçları doğrultusunda yeni malzemeler geliştirilmesine, bunları üretmek için

gelişmiş süreçlerin tasarlanmasına ve yeni malzemelerin uygulanmasına odaklanmaktadır<sup>[5]</sup>.

Tanımdan yola çıkarak, tarihin ilk dönemlerinden itibaren fizik ve kimya bilimlerinin ortaya çıktığı 17'inci yüzyıla kadar insanların daha çok "malzeme mühendisliği" yaptığını, hemen hemen tüm malzemeleri, teorik bir zemini olmadan, ampirik deneylerle (ve hatta çoğu kez kazara) keşfettiklerini veya geliştirdiklerini söylemek mümkündür. Modern fizik ve kimyanın doğuşu, ilerlemesi ve bunların malzeme bilimine uygulanması, insanlık tarihinde ilk kez, atomik seviyede ihtiyaçlara göre tasarlanmış malzemelerin geliştirilmesine imkân tanımıştır.

Modern malzeme bilimi, doğrudan madencilikten gelişen metalürjiden evrimleşmiştir<sup>[6]</sup>. Malzemelerin anlaşılmasında büyük bir atılım, 19'uncu yüzyılın sonlarında Willard Gibbs'in çeşitli fazlardaki atomik yapıyla ilgili termodinamik özelliklerin, bir malzemenin fiziksel özellikleriyle ilgili olduğunu gösterdiği zaman meydana gelmiştir<sup>[7]</sup>. 20'nci yüzyılın ilk yarısı platinlerin ortaya çıkışı gibi önemli gelişmelere sahne olsa da, modern malzeme biliminin önemli unsurları, İkinci Dünya Savaşı sonrasında ABD ile Sovyetler Birliği arasındaki nükleer silahlanma ve uzay yarışı esnasında geliştirilmiştir<sup>[1]</sup>. Kıtalararası balistik füze ve uzay araçları geliştirilmesinde yaşanan sıkıntılar, bu iki ülke hükümetlerini ve müttefiklerini yeni malzeme arayışına itmiş, 1970'li yıllarda metalürjiden uzaklaşan malzeme, ayrı bir bilim dalı hâline gelmiştir.

## 2.3 Malzemelerin Sınıflandırılması

Malzemeler, işlendikten sonra belirli yapı, bileşim ve özelliklere sahip olan ve işlevleri dikkate alınarak uygulanabilir maddelerdir. Literatürde farklı yaklaşımlardan doğan çok sayıda malzeme sınıflandırması bulunmaktadır.

### 2.3.1 Yapısal Malzemeler-İşlevsel Malzemeler

Yapısal malzemeler, mekanik, dayanım ve biçim verilebilirlik gibi özellikleri nedeniyle geniş bir uygulama alanı bulmaktadırlar. Metaller ve metal alaşımlar, çimento, seramik ve ahşap en çok kullanılan yapısal malzemelerdir.

İşlevsel (fonksiyonel) malzemeler ise ses, optik, elektrik, elektronik, manyetik ve termal özellikleriyle belli ölçüde diğerlerine göre benzersiz özelliklere sahip malzemeler olarak kullanılmaktadır. Nanomalzemeler, ince filmler, LED, doğal veya elektromanyetik miknatıslar ve fonksiyonel malzemeler bunlardan birkaçıdır.

### 2.3.2 Kimyasal Malzemeler-Fiziki Malzemeler

Malzemeler kimyasal bileşim esasına göre metalik, polimer, organik veya inorganik malzemeler olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca malzemeler fiziksel durumlarına göre yığın, film, gözenekli, parçacıklı, lifli vb. olarak da gruplandırılabilirler. Yine malzemeler, yarı iletken, manyetik, iletken, yalıtkan, ışık geçirgen, süper sert, yüksek sıcaklık mukavemetli gibi fiziksel özelliklerine göre de türlere ayrılabilir.

### 2.3.3 Atom Bağına Göre Malzemeler

Malzemeler bazen atomlar arasında mevcut olan bağ türüne göre sınıflandırılmaktadır. Söz konusu sınıflandırma Tablo 1'de verilmiştir.

Malzeme türü	Tanım	Örnekler
<b>İyonik Kristaller</b>	İyonik kristal, elektrostatik çekimleriyle birbirine bağlanmış iyonlardan oluşan bir kristaldir. İyonik kristaller, suda çözünür, elektriği iletir ve son derece sağlam yapıdadırlar.	Potasyum florür, potasyum klorür, potasyum bromür, potasyum iyodür, sodyum florür, sodyum bromür, sodyum klorür (sofra tuzu) bu tür kristal örnekleridir.
<b>Kovalent Kristaller</b>	Kovalent kristaller, katının bütünü içindeki atomlar arasında oluşan kovalent bağlar örgüsü ile meydana gelir. Kovalent bağlar çok güçlü olduğu için çok sert ve yüksek ergime noktasına sahiptir. Kesme ve aşındırma aracı olarak kullanılabilirler. Kovalent kristaller elektriği iletmez.	Elmas, silisyum karbür, kuartz, bor ve grafit.
<b>Metaller</b>	Metaller metalik bağ ile karakterize edilir ve periyodik tablodaki yerleşimleriyle kolayca ayırt edilebilirler. Metalik bağ nedeniyle metaller parlak, dayanıklı, şekil verilebilir ve iletkenlerdir. Hemen hemen tüm sektörlerde kullanım bulmaktadır.	Demir-çelik, bakır, alüminyum, berilyum, bizmut, kadmiyum, seryum, krom, kobalt ve diğer metaller.
<b>Metaller arası bileşikler (intermetalikler)</b>	İki veya daha fazla metalik element arasında düzenli bir katı hâl bileşiği oluşturan bir tür metalik alaşımdır. İntermetalikler genellikle sert ve kırılmalıdır, yüksek sıcaklıkta iyi mekanik özellikleri vardır ve bu yüzden seramiklere benzerler.	Ti3Al, Ni3Al, Platin Silicide, Nb3Sn, TiAl ve Ti3Al.
<b>Yarı İletkenler</b>	Normal şartlarda yalıtkan olan ama ısı, ışık, manyetik etki veya elektriksel gerilim gibi dış etkiler uygulandığında elektronlarının bir kısmı serbest hâl geçtiği için iletken hâl gelen malzemelerdir. Uygulanan bu dış etki veya etkiler ortadan kaldırıldığında (örn. elektrik kesildiğinde) yalıtkan duruma geri dönerler.	Germanyum, silisyum, selenyum elementleri; bakır oksit, galyum arsenid, indiyum fosfür, kurşun sülfür bileşikler.
<b>Polimerler</b>	Polimerler, doğada tek başına bulunabilen monomer adı verilen çok sayıda küçük moleküllerin kovalent bağlarla bir araya gelerek oluşturduğu makromoleküllerdir. Doğal polimerler olduğu gibi polimerizasyon denen işleme üretilen çeşitli sentetik polimerler de bulunmaktadır. <b>Doğal polimerler</b> , bitkiler, hayvanlar vb. organik kaynaklardan doğrudan elde edilen polimerlerdir. Bunlar faydalı hizmet ömürlerinin belirli bir süresinden sonra biyolojik olarak bozulur. <b>Yarı sentetik polimerler</b> , doğal polimerlerin bazen farklı uygulamalar için özelliklerini geliştirmek üzere kimyasal olarak modifiye edilmesiyle elde edilirler. <b>Sentetik Polimerler</b> , sentetik olarak kimyasal reaksiyonlarla elde edilirler. Bu polimer sınıfı tamamen insan yapımıdır ve sayıları çok büyüktür. Plastik malzeme olarak da bilinen suni polimerler, son 40-50 yıl içinde büyük bir gelişme göstererek günümüzde hacim olarak metallerle hemen hemen eşit oranda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun başlıca nedenleri; bu malzemelerin nispeten ucuz, kolay işlenebilir, hafif, yüksek kimyasal ve korozyon direncine sahip olmalarıdır. Ayrıca yüksek ısı ve elektriksel özelliklere ve yeterli mekanik özelliklere sahiptirler. Ancak polimerler kolayca biyolojik olarak parçalanamaz ve büyük miktarlarda atık üretimine yol açarlar.	<b>Doğal polimerler:</b> Ağaç, kauçuk, pamuk, yün, deri, ipek ve hatta protein, enzim, nişasta, selüloz. <b>Yarı sentetik polimerler:</b> Epoksitlenmiş doğal kauçuk, nitroselüloz, karbometoksi selüloz. <b>Sentetik polimerler:</b> Poliüretan, polipropilen, polister, polietilen, polivinilprolidon, PVC (polivinil klorür, florokarbon vb.).
<b>Kompozitler</b>	İki veya daha fazla bileşen malzemedan üretilen malzemedir. Yaygın malzemelerle karşılaştırıldığında daha ucuz, daha hafif, daha güçlü veya daha dayanıklı olan malzemelerdir.	Çeşitli metal alaşımları, betonarme, kontrplak, lif takviyeli polimer, cam elyafı, güçlendirilmiş plastikler, kompozit seramikler.
<b>Camlar ve seramikler</b>	Cam, silisli kum ya da potasyum katılarak yüksek ısıda eritilmesiyle elde edilen sert, saydam ve kırılğan cisimdir. Üretim sürecinde camların yapısına katılan maddelerde değişik özellik gösteren camlar üretilebilir. Seramik, bir ya da daha fazla metalin, metal olmayan elementle birleşmesi sonucu oluşan kil, kaolen vb. maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesiyle meydana gelir. Seramiklerin bazıları amorf, bazıları ise kristal yapıdadır.	Cam, soda-kireç cam, kurşun camı, borosilikat camı. Seramik, tuğla, kiremit, kil, cam-seramikler.

**Tablo 1:** Atom bağına göre malzeme türleri ve örnekleri<sup>[8], [9]</sup>.

### 2.3.4 Geleneksel Malzemeler-Gelişmiş Malzemeler

Demir-çelik, cam, çimento ve beton gibi geleneksel malzemeler uzun zamandır kullanılmaktadır ve malzeme işleme teknikleri olgundur. Ancak endüstriyel ve teknik motivasyonlar, malzeme işleme, kalite kontrol ve malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi hâlâ geliştirme aşamasındadır. Geleneksel malzemeler, ülke ekonomisinin gelişmesinde önemli rol oynadıkları için “temel malzemeler” olarak adlandırılmaktadır.

Buna karşılık, yeni ve gelişmiş malzemeler, yeni üretim tekniklerinin uygulandığı, yeni araştırmalarla gelişen ve üstün özelliklere sahip malzemelerdir. Genellikle yüksek teknoloji uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Grafen bazı ürünlerin yanı sıra diğer iki boyutlu malzemeler, gelişmiş kompozitler, nanoteknoloji, sıvı kristaller, yarı iletkenler, süper iletkenler, optikler, lazerler, sensörler, gözenekli malzemeler, ışık yayan malzemeler (örneğin LED), teknik seramikler, biyolojik malzemeler, manyetik malzemeler, ince filmler, kolloidler, enerji malzemeleri, fotovoltaikler, güneş pilleri, biyomalzemeler, fotonikler, ferroelektrikler, multiferroikler, metamalzemeler, biyomedikal malzemeleri, tıbbi görüntüleme malzemeleri, piller, süper kapasitörler, termoelektrikler, gelişmiş polimerler ve nanomalzemeler bu kapsamda değerlendirilebilir<sup>[10]</sup>. Literatürde söz konusu gelişmiş malzemeler arasında bulunan biyolojik malzemeler, nanomalzemeler ve akıllı malzemelerin ayrı kategoriler hâlinde ele alındığı da görülmektedir.

#### 2.3.4.1 Biyolojik Malzemeler

Biyolojik malzemeler biyolojik sistemlerle bütünleşen malzemelerdir. Vücutta kimyasal olarak tepki oluşturacak şekilde tasarlanmış biyoyumlu malzemeler bu kapsamda değerlendirilmektedir. Örneğin evcil hayvanlara takılan kimlik implantları (çipleri) bu tür vücutla etkileşime girmeyen malzemelerdir. Vücutla etkileşime giren, ancak olumlu bir şekilde etki yapan biyoaktif malzemeler de geliştirilmiştir. Yapay kalça, kemik plakaları, kalp kapakçıkları, kontakt lensler ve diş implantları bu kapsamda değerlendirilebilecek malzemelerdir. Tıbbi biyolojik malzemelerin yanı sıra, bitkisel ve bakteriyel içeriklerle kullanılarak hazırlanan biyolojik malzemelerin çeşidi de sürekli artmaktadır.

#### 2.3.4.2 Nanomalzemeler

Nanoteknoloji günümüzde çok sık duyulan bir terimdir ve giderek tüm sanayi kollarında ve sağlık alanında kullanımı artmakta ve insan hayatındaki sorunlara çözümler sunmaktadır. Nanoteknoloji, maddeleri atomik seviyede değiştirerek yeni bir yapı kazandıran bir teknolojidir. İlk kez 1981 yılında geliştirilen Taramalı Elektron Mikroskopu (TEM) ve 1986’da dünyaya tanıtılan Atomik Kuvvet Mikroskopu (AFM) gibi teknolojiler sayesinde yeni yapılar oluşturmak için atomları ve molekülleri manipüle etmek, hareket ettirmek ve basit atomik

düzeydeki bileşenlerden yapılmış yeni malzemeleri tasarlamak mümkün hâle gelmiştir<sup>[11]</sup>. Atomları dikkatli bir şekilde düzenleme yeteneği, başka türlü mümkün olmayan mekanik, elektrik, manyetik ve diğer özellikleri geliştirme fırsatları sağlamaktadır.

Nanomalzemelerin en çok kullanılan çeşitleri grafen ve karbon nanotüplerdir (CNT). Grafen ilk keşfedilen 2D nanomalzemedir. Grafen, karbon atomlarının bal peteği yapısında dizildiği çok katmanlı grafit katmanlarının ayrılmış hâlidir. Karbon nanotüpler (CNT) grafenin katlanmış ve bir tüp formunu almış hâlidir. Tek duvarlı ve çok duvarlı karbon nanotüpler olarak ayrılmaktadır. CNT’lerin kendilerine özgü kristal yapıları sayesinde birçok farklı özellikleri ve kullanım alanları vardır. CNT’ler çok ince çaplarına karşın oldukça uzun olabilirler. CNT’ler hafif ve esnek, elektriksel iletkenliği yüksek ve mekanik dayanıklılığı oldukça fazla olan malzemelerdir<sup>[12]</sup>.

#### 2.3.4.3 Akıllı Malzemeler

Akıllı malzemeler; ısı, sıcaklık, mekanik ve manyetik etkilerle değişim gösterebilen veya bu etkilere tepki verebilen malzemelerdir<sup>[13]</sup>. Bu malzemeler yapılarında kullanıldıklarında, daha fazla enerji üreten, daha az su tüketimi sağlayan, daha az sarf malzeme ve kaynak kullanımını başaran yapıların üretilmesine katkı sağlamaktadır.

Akıllı malzemeler doğal yapılarından ötürü herhangi bir harekete geçirici sisteme (aktüatör) gerek duymadan nitelik değiştirebilirler. Örneğin nitelik (şekil, renk, sertlik, akışkanlık, hâl vb.) hafızalı alaşımlarda, bir uyaran etkisiyle malzemenin atomik yapısında değişiklikler olmakta ve malzemenin bir veya birkaç niteliği değişmektedir. Bu malzemeler bir sıcaklık farkı altında faz değişimine giderek hacimsel ve geometrik şekil değişiklikleri göstermektedir. Doğru biçimde tasarlanır, “eğitilir” veya bir aktüatör aracılığıyla harekete geçirilirse bu değişimi ters yönde de tekrarlayabilirler<sup>[14]</sup>.

Günümüzde bakır-çinko-alüminyum-nikel, bakır-alüminyum-nikel ve nikel-titanyum alaşımlardan akıllı malzemeler geliştirilmiştir. Piezoelektrik seramikler de bir akıllı malzeme türüdür. Bu tür seramiklerin kristallerine basınç uygulandığında kristallerinde mekanik bir değişim görülmektedir.

Son yıllarda nanoteknolojideki atılımlarla yapay akıllı malzeme türlerinin hızla arttığı görülmektedir. Termoelektrikler, multiferroikler, magnetokalorik malzemeler, dev manyetizma dirençli malzemeler, magnetoreolojik ve elektoreolojik akışkanlar, şekil hafızalı malzemeler, ısı ve ışığa duyarlı polimerler bu sınıfa eklenmiştir<sup>[15]</sup>. Dış koşullarda (sıcaklık, çözücü bileşimi, pH) küçük bir değişikliklerle hacmini (polimer jellerinin çökmesi) yüzlerce kez değiştirebilen polimer jelleri de akıllı malzemeler olarak kabul edilir. Belli maddelerin emilimini, iletkenliğini, optik ve diğer özelliklerini önemli ölçüde değiştiren çeşitli polimer kaplamalar da sensör cihazlarında kullanılmaktadır<sup>[15]</sup>.

### 3. KÜRESEL MALZEME PAZARININ DURUMU VE TRENDLER

Küresel malzeme pazarı, son yıllarda COVID-19 pandemisi ve Ukrayna krizi başta olmak üzere, uluslararası ortamdaki belirsizlik ve gerilemelerden dolayı ağır darbe almış görünmektedir. Küresel tedarik zincirindeki aksamalar ve enerji fiyatlarındaki büyük artış başta metal piyasası olmak üzere tüm malzeme piyasalarında fiyatların artışına, bu arada talepteki gerileme ile birlikte bir durgunluğa yol açmıştır. Bu dönemde ülkelerin, başta tıbbi malzemeler, yarı iletkenler ve yenilenebilir enerji malzemeleri olmak üzere pek çok stratejik malzemenin yerel sanayiler tarafından üretilmesi için harekete geçtiği görülmektedir. Yeni yatırımlar ve küresel tedarik zincirinde çarkların yeniden dönmeye başlamasıyla malzeme pazarının tekrar hızlı bir büyüme ivmesi yakalayacağı tahmin edilmektedir.

#### 3.1 Küresel Malzeme Pazarlarının Durumu

Bu bölümde küresel malzeme piyasasının önemli bir kısmını oluşturan, metaller, yarı iletkenler, seramikler,

polimerler, kompozitler ve gelişmiş malzemeler piyasasının durumu değerlendirilecektir.

##### 3.1.1 Küresel Metal Piyasasının Durumu

Bazı metaller insanlar tarafından binlerce yıldır kullanılmaktadır. Altın, gümüş, demir veya bakırın çıkarılması ve dönüştürülmesi, neolitik dönemin sonunda başlamıştır. Dünya nüfusunun artması ve yaşam standardının genelde yükseliş göstermesi günümüzde metal tüketimini önemli ölçüde artırmıştır.

Bugün hâlâ en yaygın olarak madenciligi ve üretimi yapılan ve endüstriyel olarak kullanılan metal demirdir (pik demir, dökme demir ve çelik). 2021 verilerine göre dünyada 2.874.565.112 ton endüstriyel ve değerli metal cevheri üretilmiştir ve bunun yüzde 81,3'ü demir cevheridir (Tablo 2). Demir cevherinin yarısından biraz fazlası pik demir ve diğer demir ürünlerinin üretiminde, kalanı ise çelik üretiminde kullanılmaktadır.

Tarihsel olarak en çok kullanılan metal, demirin ardından bakır olmuştur. Ancak 20'nci yüzyıldan sonra alüminyum üretim miktarı hızla artmış ve ikinci sıraya

	Metal	Maden cevheri / Metal üretimi (ton)	Çin'in üretimindeki payı	Tahmini Küresel Rezerv (ton)	Çin'in küresel rezervdeki payı
Endüstriyel Madenler	Demir cevheri	2.338.400.000 <sup>(1)</sup>	%14 <sup>(1)</sup>	85.000.000.000 <sup>(2)</sup>	%8
	Demir ürünleri,	1.353.600.000 <sup>(1)</sup>	%64 <sup>(1)</sup>		
	Çelik	1.951.000.000 <sup>(1)</sup>	%52,9 <sup>(1)</sup>		
	Boksit	390.000.000 <sup>(3)</sup>	%22 <sup>(5)</sup>	32.000.000.00 <sup>(5)</sup>	%3
	Alüminyum	67.243.000 <sup>(4)</sup>	%54 <sup>(4)</sup>		
	Manganez	49.500.000 <sup>(6)</sup>	%6,5 <sup>(7)</sup>	1.500.000.000 <sup>(7)</sup>	%27,8
	Krom	41.000.000 <sup>(8)</sup>	-	570.000.000 <sup>(9)</sup>	-
	Bakır	21.840.000 <sup>(10)</sup>	%38,5 <sup>(11)</sup>	880.000.000 <sup>(11)</sup>	%3
	Çinko	12.790.000 <sup>(12)</sup>	%32 <sup>(13)</sup>	250.000.000 <sup>(13)</sup>	%17,6
	Titan	9.000.000 <sup>(14)</sup>	%33 <sup>(14)</sup>	700.000.000 <sup>(15)</sup>	%33
	Kurşun	4.690.300 <sup>(16)</sup>	%47 <sup>(17)</sup>	90.000.000 <sup>(17)</sup>	%20
	Nikel	2.718.000 <sup>(18)</sup>	%3,6 <sup>(18)</sup>	95.000.000 <sup>(19)</sup>	%2,9
	Zirkonyum	1.000.000 <sup>(20)</sup>	11,6 <sup>(21)</sup>	70.000.000 <sup>(21)</sup>	%0,7
	Magnezyum	950.000 <sup>(22)</sup>	%86 <sup>(22)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(23)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(23)</sup>
	Stronsiyum	360.000 <sup>(24)</sup>	%22,2 <sup>(24)</sup>	1.000.000.000 <sup>(24)</sup>	_(24)
	Uranyum	48.332 <sup>(25)</sup>	%3,9 <sup>(25)</sup>	6.147.800 <sup>(25)</sup>	%4
	Bizmut	19.000 <sup>(26)</sup>	%84,2 <sup>(26)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(26)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(26)</sup>
	Cıva	2.300 <sup>(27)</sup>	%87 <sup>(27)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(26)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(26)</sup>
Berilyum	260 <sup>(28)</sup>	%87	100.000	Veri mevcut değil <sup>(26)</sup>	

Tablo 2: Bazı metallerin 2021 yılı küresel toplam üretimi. (devam ediyor)

	Metal	Maden cevheri / Metal üretimi (ton)	Çin'in üretimindeki payı	Tahmini Küresel Rezerv (ton)	Çin'in küresel rezervdeki payı
Teknolojide de kullanılan değerli metaller	Galyum	430.000 <sup>(29)</sup>	%98 <sup>(29)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(29)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(29)</sup>
	Kalay	300.000 <sup>(30)</sup>	%30,3 <sup>(30)</sup>	4.900.000 <sup>(31)</sup>	%22,4 <sup>(31)</sup>
	Molibden	300.000 <sup>(32)</sup>	%43,3 <sup>(32)</sup>	16.000.000 <sup>(33)</sup>	%52 <sup>(33)</sup>
	Nadir toprak elementleri	280.000 <sup>(34)</sup>	%60 <sup>(34)</sup>	120.000.000 <sup>(35)</sup>	%37 <sup>(35)</sup>
	Kobalt	280.000 <sup>(36)</sup>	%1,3 <sup>(36)</sup>	7.600.000 <sup>(36)</sup>	%1 <sup>(36)</sup>
	Paladyum	200.000 <sup>(37)</sup>	>%1 <sup>(37)</sup>	70.000.000 <sup>(37)</sup>	>%1 <sup>(37)</sup>
	Platin	180.000 <sup>(37)</sup>	>%1 <sup>(37)</sup>	70.000.000 <sup>(37)</sup>	>%1 <sup>(37)</sup>
	Vanadyum	110.000 <sup>(38)</sup>	%66,3 <sup>(38)</sup>	24.000.000 <sup>(38)</sup>	%40 <sup>(38)</sup>
	Lityum	100.000 <sup>(39)</sup>	%14 <sup>(39)</sup>	22.000.000 <sup>(39)</sup>	%6,8 <sup>(39)</sup>
	Tungsten	79.000 <sup>(40)</sup>	%83,5 <sup>(40)</sup>	3.700.000 <sup>(40)</sup>	%51,4 <sup>(40)</sup>
	Niyobyum	75.000 <sup>(41)</sup>	>%1 <sup>(41)</sup>	17.000.000.000 <sup>(41)</sup>	>%1 <sup>(41)</sup>
	Renyum	59.000 <sup>(42)</sup>	%4,2 <sup>(42)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(42)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(42)</sup>
	Kadmiyum	24.000 <sup>(43)</sup>	%41,7 <sup>(43)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(43)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(43)</sup>
	Gümüş	24.000 <sup>(44)</sup>	%14,6 <sup>(44)</sup>	530.000 <sup>(44)</sup>	%7,7 <sup>(44)</sup>
	Altın	3.000 <sup>(45)</sup>	%12,3 <sup>(45)</sup>	54.000 <sup>(45)</sup>	%3,7 <sup>(45)</sup>
	Tantal	2.100 <sup>(46)</sup>	%33,3 <sup>(46)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(46)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(46)</sup>
	İndiyum	920 <sup>(47)</sup>	%57,6 <sup>(47)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(47)</sup>	Veri mevcut değil <sup>(47)</sup>

**Tablo 2:** Bazı metallerin 2021 yılı küresel toplam üretimi. (önceki sayfadan devam)

**Not:** Tablodaki kaynakça bilgisi analizin sonundaki Ek 1'de sunulmuştur.

yerleşmiştir. Alüminyum kullanımı son dönemde bakırdan daha güçlü artmaktadır. Sanayi Devrimi'nden bu yana metal üretiminde güçlü bir büyüme yaşanmış, farklı fiziki özelliklere sahip yeni tür metallerin kullanımı artmıştır. 2020 yılı itibarıyla endüstriyel metaller değer açısından küresel emtia talebinin yüzde 7'sini oluşturmaktadır<sup>[16]</sup>.

Metal sanayii küresel ekonominin en önemli payandalarından biridir. Küresel metal pazarının 2021'de yaklaşık 3,6 trilyon dolar büyüklüğünde olduğu, 2022 sonu itibarıyla yaklaşık 4 trilyon dolar, 2026 yılında ise 5,3 trilyon dolar büyüklüğe ulaşacağı tahmin edilmektedir<sup>[17]</sup>. Gelecek yıllarda demir ve alüminyum başta olmak üzere endüstriyel metallerin kullanımının yılda ortalama yüzde 3, ileri teknoloji sektörlerinde kullanılan çoğu değerli metal sınıfındaki metallerin kullanımının ise yılda ortalama yüzde 6 artması beklenmektedir<sup>[18]</sup>.

Tahminler iyimser olmakla birlikte, metallerin tüketimini olumlu veya olumsuz yönde değiştirebilecek pek çok faktör vardır. Bunların başında metal fiyatlarının seyri gelmektedir. Metal fiyatları, uluslararası emtia piyasalarının gösterge fiyatları üzerinden ülkeler arasındaki ikili anlaşmalarla belirlenmektedir. İlgili metalin madenlerden çıkarılması, işlenmesi, rafine edilmesi ve sevkiyatından oluşan tedarik zincirindeki herhangi bir aksaklık fiyatlar da ani düşüş ve yükselmelere neden olabilmektedir. Nitekim COVID-19 pandemisinde metal tedarik zincirinin tüm halkalarında aksaklıklar yaşanmış ve tüm metallerin fiyatları önce yüzde 16 civarında geriledikten sonra, 2021 yılı Mart ayında talepteki ani artış paralelinde son 10 yılın en yüksek seviyesine yükselmiştir<sup>[16]</sup>.

Metal fiyatlarında belirleyici etmenlerden biri de rezervlerin durumudur. Herhangi bir metalin rezerv durumuna ilişkin veriler ülkelerin ilgili kurumları tarafından tahmin olarak verilmekte, bu rakamlar metalin ne kadar nadir olduğu konusunda fikir vermekte fiyatların belirlenmesinde etkili olmaktadır. Ancak bazı ülkelerin rezervleri konusunda bilgi paylaşmaktan kaçındığı ve rezerv miktarlarını bazen abartılı yükseklikte, bazen de fiyatları yükseltmek amacıyla aşırı düşük düzeyde bildirildiği tahmin edilmektedir. Ayrıca rezerv miktarı, yeni teknolojilerin uygulanmasıyla hızlanan rezerv keşifleriyle sürekli değişmektedir.

Son yıllarda etkisini giderek artıran bir diğer faktör geridönüşümdür. Çoğu metal, yüzde 100 seviyesinde olmamakla birlikte, önemli ölçüde geri dönüştürülebilmektedir. Hurda metalin geri kazanımı tüm dünyada metal arzının karşılanmasında en önemli kaynaklardan biri hâline gelmiştir. 2020 yılında metal geridönüşüm pazarının büyüklüğünün 270 milyar dolara yükseldiği tahmin edilmektedir<sup>[19]</sup>.

Tıpkı üretimde olduğu gibi metal geridönüşümünde de demir-çelik ürünleri ağırlıktadır. 2021 yılında geri dönüştürülen çelik miktarının 748,2 milyon ton ile küresel çelik üretiminin üçte birine ulaştığı bildirilmektedir<sup>[21]</sup>.

Metal fiyatları kuşkusuz talepteki değişimlerden de etkilenmektedir. Örneğin bilişim ve iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle yeni cihazlarda kullanılan, dokunmatik ekranlarda vazgeçilmez bir metal olan indiyuma olan talep olağanüstü artmıştır.

Son olarak metal fiyatlarında uluslararası, ekonomik ve siyasi ilişkilerin yanı sıra küresel jeostratejik gelişmeler



- **Yüksek Teknoloji:** Fiber optik kabloların üretiminde germanyum, LED ekranlarda galyum ve indiyum ve bilgisayar çiplerinde galyum kullanılmaktadır.
- **Yenilenebilir Enerji Sektörü:** İnce film güneş pillerinin üretiminde galyum ve tellür, rüzgâr türbinlerinde neodim ve elektrikli bisiklet ve arabalarda neodim ve disprosyum kullanılmaktadır.
- **Enerji:** Enerji santrallerinde kullanılan gaz ve buhar türbinlerinde hafniyum ve renyum kullanılmaktadır.
- **Savunma ve Havacılık:** Kanatların gücünü ve dayanıklılığını artırmak için hafniyum, renyum veya praseodimyum kullanılmaktadır.

**Kutu 1:** Stratejik metallerin kullanım alanlarından bazıları<sup>[20]</sup>.

belirleyici olmaktadır. Örneğin Donald Trump döneminde ABD'nin, aralarında Türkiye'nin de bulunduğu pek çok ülkeden ithal ettiği metallere uyguladığı gümrük fiyatlarını artırması fiyatlarda büyük dalgalanmaya yol açmıştır<sup>[22],[23]</sup>. Daha yakın tarihte Ukrayna-Rusya krizi, bu iki ülkenin küresel üretimde büyük pay sahibi olduğu nikel gibi metallerin fiyatlarında sert artışlara yol açmıştır<sup>[24]</sup>.

Metal piyasasına yapılan bu tür müdahaleler ve piyasada yaşanan krizler bazı metallerin stratejik kabul edilerek uluslararası ticaretlerinde sıkı kontrollere tabi tutulmasına neden olmuştur. Bugün pek çok ülke ve ülke grubunun, ekonomileri ve teknolojileri açısından kritik önem taşıyan yaklaşık 50 metal türünü stratejik olarak kabul ettiği (lityum, kobalt, galyum, tungsten, platin, magnezyum, paladyum vb. ile nadir toprak elementleri) görülmektedir<sup>[20]</sup>. Üretimi yaygın ve hacmi yüksek olan demir, çelik, alüminyum ve bakır gibi metaller stratejik olmaktan çok ekonomik ve politik baskı aracı olarak kullanılmaktadır. Stratejik metallerin üretim hacimleri, endüstriyel metallere göre düşüktür ve çoğu zaman sınırlı sayıda ülke tarafından üretilmektedir. Küresel ölçekte, genellikle çok yüksek olan stratejik metallerin fiyatları, krizlere ve kıtlıklara yol açan önemli dalgalanmalar yaşayabilmektedir. Son olarak, kritik önemdedirler, çünkü stratejik metaller ileri imalat sanayii ve yüksek teknoloji için gereklidir (Kutu1).

Stratejik metallerde Çin'in pazar hâkimiyeti belirgindir. Güneş panelleri, uzay araçları ve elektronik devrelerde kullanılan galyumun neredeyse tamamına yakını; demiryolu ve havayolu araçları, ampuller ve boya sanayiinde kullanılan tungstenin yüzde 80'inden fazlası; tıptan uzay çalışmalarına, nükleer santrallerden elektrikli karayolu araçlarına kadar ileri teknolojinin her alanında yaygın olarak kullanılan nadir toprak elementlerinin üçte ikisinden fazlası Çin'de üretilmektedir. Çin, sadece bir metal üreticisi değil, büyük bir hızla büyüyen sanayii ve ileri teknolojisi ile önemli bir metal tüketicisidir. Dünyanın en büyük ikinci ekonomisi olan 1,4 milyar nüfuslu Çin; Avrupa Birliği (AB), ABD, Japonya ve Güney Kore ile

birlikte dünya metal tüketiminin yüzde 70'ini gerçekleştiren ülkeler arasındadır<sup>[18]</sup>.

Çin'deki büyümenin gelişimi, son 15 yılda metal üretimi ve tüketimi üzerinde çok güçlü bir etkiye sahip olmuştur. Dünya Bankasının 2021 verilerine göre, 2000 yılında metal tüketiminde yüzde 15-25 payı olan Çin, 20 yıl sonra yüzde 45-57 pay sahibi hâline gelmiştir<sup>[16]</sup>. Çin dünyanın en büyük rafine edilmiş metal üreticisidir ve pek çok metalin üretiminde değişen oranlarda yüksek paya sahiptir (Tablo 2). 2002-2018 yılları arasında Çin'in rafine alüminyum üretimi 8,1 kat, kurşun üretimi 3,7 kat, bakır üretimi 5,8 kat, nikel üretimi 12,8 kat, çelik üretimi ise 5,1 kat artmıştır<sup>[26]</sup>.

Çin'in metal emtia piyasalarındaki hâkim konumu, ona büyük bir pazar gücü vermektedir. Bu konumla Çin'in hammadde sektöründe fiyatları önemli ölçüde etkilemesi ve tedarik zincirlerini kontrol etmesi mümkündür. COVID-19 pandemisinde küresel metal piyasalarındaki önemi daha da artmıştır<sup>[26]</sup>. Pandemi sırasında petrol fiyatları yüzde 60 oranında düşerken metal fiyatları sadece yüzde 16 gerilemiş, ancak 2021'de hızla pandemi öncesi zirvesine ulaşmıştır. Mart 2021'de, çok sayıda metalin fiyatı son 10 yılın en yüksek seviyesine ulaşmıştır<sup>[16]</sup>.

- **Skandiyum:** Havacılık bileşenleri, civa-buhar lambaları, alkali piller, koruyucu boyalar, böcek ilaçları vb.
- **İtriyum:** Lazerler, mikrodalga filtreleri, LCD ve LED ekranlar, optik sistemler, enerji tasarruflu lambalar, tıbbi iğneler vb.
- **Lantanyum:** Karbon esaslı aydınlatma sistemleri, hibrid araç pilleri vb.
- **Prasedmiyum:** Hibrid otomobil motorları, rüzgâr türbinlerinin motor ve jeneratörleri, uçak alaşımları, lazerler, floresan ve enerji tasarruflu ampuller vb.
- **Neodimyum:** Güçlü mıknatis üretiminde, göz cerrahisi ve kozmetik cerrahinin yanı sıra deri kanserlerinin tedavisinde kullanılan yüksek güçlü kızılötesi yeşil lazerler vb.
- **Prometyum:** Uzay araçları ve uydular, radyasyon ölçüm cihazları, güdümlü füzeler, nükleer bataryalar, atomik kalp pilleri ve güneş pilleri vb.
- **Samaryum:** Aydınlatma sistemleri, bazı kanser türlerinin tedavisi, nükleer reaktörler, seramik, cam, hassas güdümlü silahlar.
- **Evropiyum:** Floresanlar, nükleer reaktörler, lazerler, kuantum bellek çipleri vb.
- **Gadolinyum:** MR görüntüleme sistemleri, nükleer reaktörler, mıknatislar, bilgisayar bellekleri ve çipleri.
- **Terbiyum:** Yakıt hücreleri, rüzgâr türbinleri, biyolojik ve tıbbi araştırmalar, bazı hastalıkların erken teşhis ve tedavisi vb.
- **Holmiyum (Ho):** Hassas radar sistemlerinde kullanılmaktadır.

**Kutu 2:** Bazı nadir toprak elementlerinin kullanıldığı alanlar<sup>[25]</sup>.

Çin'in ekonomik ve jeostratejik yükselişi ABD ile bu ülke arasında gerilimin artmasına yol açmaktadır. ABD çeşitli gerekçelerle Çin'i en büyük rakibi olarak tarif ederken, bu ülke üzerinde çeşitli baskı araçlarına başvurmaktadır. Bunlardan biri Çin'in ürettiği sanayi metallerine yüksek gümrük vergisi uygulamaktır. Örneğin ABD, Ocak 2020'den itibaren metaller ve metal ürünleri de dahil olmak üzere 550 milyar dolarlık Çin malına tarife uygulamaya başlamıştır<sup>[17]</sup>.

Dönemsel fiyat dalgalanmaları ve gerginliklere rağmen küresel metal piyasasında 20-30 yıl içinde büyük bir çok veya metal kıtlığı yaşanma olasılığı düşük görünmektedir. Endüstriyel metallerin küresel rezervleri talebe yetecek niteliktedir ve metallerin yeniden dönüşüm miktarı her geçen yıl artmaktadır. Bununla birlikte, belirli stratejik malzemeler üzerinde gerilimler ortaya çıkabilir ve fiyat artışı yaratan veya ikame malzeme gerektiren geçici tedarik sıkıntıları doğabilir.

### 3.1.2 Küresel Yarı İletkenler Pazarının Durumu ve Dinamikleri

Yarı iletkenler, küresel ekonominin en dinamik sektörlerinden biridir. Küresel yarı iletken pazarının 2022'de 573,44 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Ayrıca sektörün 2029'a kadar yıllık ortalama yüzde 122 büyüyerek 1,38 trilyon dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir<sup>[27]</sup>.

Yarı iletkenler, ulaşım, inşaat, sağlık ve endüstriyel metal sektörleri dahil olmak üzere pek çok sektörde kullanılmaktadır. Ancak yarı iletken sektörünün dinamizminin kaynağı elektronik sektörden gelmektedir. Normal hâlde iletken olmayan ancak ısı, ışık ve manyetik etkiye maruz bırakıldığında iletken özellik kazanan yarı iletkenlerin elektronik sektöründe ayrı bir yeri bulunmaktadır. Katkı maddeleriyle iletkenlikleri artırılan yarı iletkenler, elektronik devre elemanlarının üretiminde kullanılmaktadır. Elektrik-elektronik alanında en önemli yarı iletken germanyum ve silisyumdur (Tablo 3).

Günümüzde yarı iletken devre elemanı üretiminde, çabuk ısınan germanyum yerine büyük çoğunlukla

silisyum elementi kullanılmaktadır. Silisyum veya silikon, yeryüzünde en fazla bulunan elementlerden biridir. Yarı iletken özelliğe sahip oluşu; doğada bol miktarda bulunabilmesi; transistör, diyot ve hafızalarda kullanımının pratik ve hızlı oluşu; entegre devrelerin ve bilgisayarların silisyum teknolojisi üzerine inşa edilmesine olanak sağlamıştır.

Silikon, kumdan yapılabildiğinden dünyanın her yerinde bulunan bir hammaddedir. Çimento ve seramik yapımında silikon ve bileşiklerinden yararlanılmaktadır. Ancak silikonun stratejik bir malzeme hâline gelmesinin nedeni elektronikte yaygın olarak kullanılmasıdır.

Elektronik devreler ve çiplerde kullanılan silikon yüzeyler silika kumundan üretilmelidir. Silika yeryüzünün hemen her yerinde bulunmakla birlikte 2021 rakamlarına göre, üretilen 8.500 ton silikonun yüzde 98'i 16 ülkede üretilmektedir. Bunlar arasında Çin yüzde 70 pazar payı ile açık ara sektör lideridir<sup>[29]</sup>.

Çiplerin katmanlı yapısı "fotolitografi" adı verilen bir yöntemle kimyasallar, gazlar ve ışık kullanılarak oluşturulmaktadır. Çip üzerinde bulunan diğer bileşenlerle bağlantı yolları ise genelde ince bir metal katman oluşturmak amacıyla alüminyum kullanılarak uygulanmaktadır. Daha sonra fotolitografi ile metal katman kaldırılarak iletken bağlantı yolları ortaya çıkarılmaktadır<sup>[30]</sup>.

Çip, yarı iletken malzemelerin uygulama alanlarından sadece biri olmasına rağmen, yarı iletkenlerin çok kullanılması ve stratejik önemi nedeniyle, "yarı iletken" ile "çip" ifadelerinin aynı anlamda kullanıldığı görülmektedir.

Son 30 yılda yarı iletken endüstrisi hızlı bir büyüme yaşamış ve muazzam ekonomik etki sağlamıştır. Örneğin, 1995'ten 2015'e kadar, küresel GSYH'nin tahmini 3 trilyon dolarının doğrudan çip inovasyonundan kaynaklandığı ileri sürülmüş, dolaylı olarak 11 trilyon dolar daha fazla etki yarattığı hesaplanmıştır<sup>[31]</sup>. Çip performansı ve maliyet iyileştirmeleri, 1990'larda ana bilgisayarlardan PC'lere, 2000'lerde internet ve çevrimiçi hizmetlere ve 2010'larda akıllı telefon devrimine geçişi mümkün kılmıştır. Bugün bu küçük elektronik devreler, uzay araçları, araba bilgisayarları, akıllı telefonlar ve tıbbi cihazlar dahil olmak üzere milyonlarca cihazın beynidir. Yarı iletkenler, modern dünyamız için artık vazgeçilmez hâle gelmiştir.

Küresel yarı iletken pazarında ülkelerin aldığı paya ilişkin farklı değerlendirmeler bulunmaktadır. Firma bazında bakıldığında ABD merkezli firmaların pazarda büyük bir hâkimiyeti olduğu gözlemlenmektedir. Kişisel bilgisayar işlemcisi ve sunucu ekipmanları üreticisi Intel, kablosuz iletişim çipleri ve ekipmanları üreticisi Qualcomm, hafıza bellekleri üreticisi MicronTechnology, veri merkezi işlemcileri üreticisi Broadcom, görüntü kartları üreticisi Nvidia, LCD ekran üreticisi Applied Materials ve dünyanın ilk çip üreticisi Texas Instruments dünyanın en büyük 10 yarı iletken üreticileri arasında bulunan ABD merkezli firmalardır<sup>[32]</sup>. Söz konusu firmalar dünyada yarı iletken araştırmaları, patent sayıları, çalışan sayısı ve ihracat açısından da dünyada lider konumdadırlar<sup>[31]</sup>. Bu açıdan bakıldığında, ABD dünya yarı iletken pazarında yüzde 54 payla büyük bir hâkimiyete sahiptir. ABD'yi yüzde 22 ile Güney Kore, yüzde 9 ile Tayvan takip etmektedir. Avrupa

Element/Bileşik	Elektronikte Kullanımı
Germanyum	Diyot, transistör, entegre devre
Silikon	Diyot, transistör, entegre devre
Selenyum	Diyot
Bakır oksit (CuO)	Diyot
Galliyum Arsenid (GaAs)	Tünel diyot, lazer, fotodiyot, LED
İndiyum Fosfor (InP)	Diyot,transistör
Kurşun Sülfür (PbS)	Güneş pili (Fotosel)
Silikon Carbide (SiC)	LED
Galyum Nitrid (GaN)	Mikrodalga transistörleri, LED
Galyum Fosfit (GaP)	LED
Kadmiyum Sülfür (CdS)	Güneş pilleri

**Tablo 3:** Belli başlı yarı iletkenler ve bunların kullanım alanlarından bazıları<sup>[28]</sup>.

ülkeleri ve Japonya yüzde 6'şar paya sahiptirler. Çin ise yüzde 4 pay ile listede ABD'nin hayli gerisindedir<sup>[33]</sup>. Ancak söz konusu firmaların önemli bölümü, küresel otomotiv endüstrisi ve diğer yarı iletken kullanan sektörler gibi, çipleri markasız üretim yapan firmalara yaptırmaktadır. Bu açıdan bakıldığında Tayvan'ın yarı iletken piyasasında büyük ağırlığı ortaya çıkmaktadır. Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. (TSMC) ve ASE Technology gibi iki büyük yarı iletken şirketine sahip olan Tayvan, markasız çip üretiminde dünya pazarının yüzde 66'sına hâkim durumdadır. Güney Kore (yüzde 17) ve Çin (yüzde 8) Tayvan'ı takip etmektedir.

Markasız, sipariş üzerine çip üretiminin dünya için ne kadar önemli olduğu COVID-19 pandemisi sonrası daha iyi anlaşılmiştir. Pandemi sırasında pek çok markasız yarı iletken üreticisi; üretimlerine ara vermek zorunda kalmış, 2021 ortasından itibaren dünya ekonomisinin toparlanmasıyla beraber patlayan çip talebine, yüzde 100 kapasite ile çalışmasına rağmen yetişemez olmuştur. Ukrayna krizi, ABD'nin Çin'in en büyük çip üreticisi Semiconductor Manufacturing International Corporation'a (SMIC) uyguladığı ambargo ve Çin ile ABD arasında Tayvan'ın statüsüne ilişkin yaşanan gerilimler, esasında bir arz-talep krizi olan çip krizini daha da ağırlaştırıcı faktörler olmuştur. Dünya genelinde otomobilden ekran kartlarına, savunma sanayiinden oyun sektörüne kadar 169 sektör, 2020-2021 yıllarında başlayan ve Ağustos 2022 itibarıyla devam eden küresel çip krizinden etkilenmiştir<sup>[30]</sup>. Uzmanlar küresel çip krizinin 2023 yılına kadar devam edeceğini öngörmektedir. Çiplere olan talebin hâlen çok fazla olması ve nesnelere interneti gibi teknolojilerle birbirine bağlanan akıllı cihazların sayısının artması krizin yakın vadede kolay atlatılamayacağına işaret etmektedir<sup>[30]</sup>.

Ne var ki, çip krizi aralarında Türkiye'nin de bulunduğu çok sayıda ülkeyi, "yerli çip" üretimine yöneltmiş ve çok sayıda yeni yatırım planı açıklanmıştır. Nitekim ABD Başkanı Joe Biden, Temmuz 2022'de toplam tutarı 280 milyar dolar olan "Çip ve Bilim Kanunu 2022"yi imzalamıştır<sup>[34]</sup>. Bu nedenle çip krizinin ardından 2030 yılına kadar yarı iletkenler pazarında hızlı bir büyüme yaşanması beklenmektedir. Bu büyümede itici gücün Çin olması şaşırtıcı olmayacaktır. Küresel çip talebinin yarısına yakınının Çin'den gelmesine rağmen bu ülkenin çip üretimi, kendi ihtiyacının sadece yüzde 12'sini karşılayabilmektedir. Yerli ve yabancı 40'tan fazla şirketin Çin'de yatırım yapmaya hazırlandığı belirtilmektedir. Bu açıdan Çin'in 2030'lu yıllarda yarı iletken sektörünün üçte ikisine yakını elinde tutar hâle gelebileceği belirtilmektedir<sup>[35]</sup>. Silikon çiplerinin önemi sürmekle birlikte gelecekte grafen, kuantum bilgisayarlar ve optik bilgisayarlar alanlarındaki gelişmeler, bu teknolojinin terk edilmesine neden olabilir<sup>[36]</sup>.

### 3.1.3 Küresel Seramik Malzemeler Pazarının Durumu

Seramik; kum (silika veya kuvarz), kil, feldspat gibi doğada bol miktarda bulunan hammaddelerden geliştirilen, kimyasal tepkimeye girmeyen, ergime noktası

çok yüksek olan, sert, düşük iletken ancak kırılabilir bir malzemedir.

Çok geniş bir yelpazeye sahip olan seramikler geleneksel seramikler ve mühendislik ürünü seramikler olarak iki ana gruba ayrılabilir.

Geleneksel seramikler kapsamına çömlekçi ürünleri, sanatsal seramikler ve endüstriyel seramikler dahildir. Endüstriyel seramik malzemelere örnek olarak duvar karosu, yer karosu, porselen karo, lavabo, küvet, tuvalet taşı ve tuğla-kiremit ürünleri gibi yapı ürünleri, sofa ürünleri (porselen yemek ve çay takımları vb.), kilden yapılan altyapı boruları ve refrakterler verilebilir.

Mühendislik ürünü seramikler literatürde "gelişmiş", "ileri teknoloji ürünü" veya "teknik" seramikler olarak da anılmaktadır. Mühendislik seramikleri, işlenmiş hammaddelerden özel yöntemler kullanılarak üretilmektedir. Karbürler, brolürler, titanatlar seramik metal kompozitler vb. ürünleri içeren bu tür seramikler geleneksel seramiklere göre daha özel kullanım alanlarına sahip olup günümüzde kullanım alanları daha da genişleyerek büyük önem kazanmaktadır.

2021 yılı sonu itibarıyla küresel seramik pazarının büyüklüğüne ilişkin tahminler 130-160 milyar dolar arasında değişmektedir. Söz konusu pazarın 2030 yılına kadar yılda yüzde 7 civarında büyüme kaydedebileceği de öngörülmektedir.

Küresel seramik piyasasının yüzde 60-80'ini teşkil ettiği tahmin edilen geleneksel seramik yapı malzemeleri segmenti; toprak kaplar, sofa ve süs eşyaları ve refrakterleri kapsamaktadır. Bunlar arasında görsel çekicilikleri, aşınmaya dirençleri ve kolay bakımlarından dolayı yaygın kullanım bulan seramik kaplamalar en büyük pazar payına sahiptir. Türkiye'nin de dünyada ileri konumda olduğu seramik kaplama sektörü, küresel seramik pazarının üçte birinden fazlasını oluşturmaktadır<sup>[37]</sup>. Dünya genelinde gelir seviyesinde yükselme ile altyapı ve üstyapı inşaatlarının artması, seramik kaplamalara yönelik talebi giderek daha fazla artırmaktadır.

Geleneksel seramiklerin önemli bir bölümünü oluşturan refrakterler ise ısıya, mekanik strese veya kimyasallara karşı dirençleri nedeniyle sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Refrakter seramikler, yüksek sıcaklıklarda şekil ve mukavemetlerini koruduğu için çimento, cam, enerji, kimya sanayiinde aranan malzemelerdir.

Üretim miktarı düşük olmasına rağmen değer açısından küresel seramik pazarından yüzde 20-40 pay aldığı belirtilen mühendislik seramikleri ise aşınma ve elektrik direnci ile giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Bu tür seramikler boksit, tungsten ve kalsiyum karbür gibi katkı malzemeleriyle güçlendirilmektedir. Mühendislik seramikleri geçirgenlikleri, manyetizmaları, yalıtımları ve iletkenlikleri nedeniyle çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Nitekim enerjiden savunma sanayiine, otomotivden sağlığa kadar geniş bir yelpazede kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin biyoseramik denilen bir malzeme dişçilikte protez diş yapımında kullanılmaktadır<sup>[39]</sup>. Savunma sanayiinde ise yeni nesil tanklar ve diğer zırhlı araçların zırhları özel seramik malzemelerle güçlendirilmektedir<sup>[40]</sup>. Otomotiv sektörü, teknik seramikleri gelişmiş güvenlik sistemlerini

Ülkeler	2016 (milyon m <sup>2</sup> )	2017 (milyon m <sup>2</sup> )	2018 (milyon m <sup>2</sup> )	2019 (milyon m <sup>2</sup> )	2020 (milyon m <sup>2</sup> )	Dünya üretiminde payı (%)
1. ÇİN	10.265	10.146	9.011	8.225	8.474	%52,7
2. HİNDİSTAN	655	1.080	1.145	1.266	1.320	%8,2
3. BREZİLYA	871	867	872	909	840	%5,2
4. VİETNAM	485	560	602	560	534	%3,3
5. İSPANYA	492	530	530	510	488	%3
6. İRAN	340	373	383	398	449	%2,8
7. TÜRKİYE	330	355	335	296	370	%2,3
8. İTALYA	416	422	416	401	344	%2,1
9. ENDONEZYA	360	307	383	347	304	%1,9
10. MISIR	250	300	300	300	285	%1,8
TOPLAM	14.764	14.940	13.977	13.212	13.408	%83,3
DÜNYA TOPLAMI	17.110	17.414	16.557	15.827	16.093	%100

**Tablo 4:** Dünyada en çok seramik kaplama üreten 10 ülke ve pazar payları (2016-2020)<sup>[38]</sup>.

(ABS, ASR vb.) ve hava yastıklarını harekete geçiren hassas sensörlerden motor valf bileşenlerine kadar, kullanıcıların emniyeti ve konforunu artırmanın yanı sıra, maliyet etkinliği sağlamak için de seramik kullanılmaktadır. Medikal cihazlar ve elektronik sektörü de giderek daha fazla gelişmiş seramik malzemeler kullanılmaktadır.

Mühendislik seramikleri endüstrisi, akıllı telefonlar, dizüstü bilgisayarlar, tabletler ve diğer modern dijital cihazlar gibi elektrikli ve elektronik ekipmanlar için gerekli olan bileşenleri üretmektedir. Teknik seramikler, olağanüstü elektrik yalıtım özelliklerinden dolayı mikroçipler, devre kartları, devre kesici teknolojisi, seramik alt tabakalar, devre taşıyıcılar ve çekirdek malzemelerdeki kullanımları nedeniyle elektronik endüstrisi için temel malzemelerden biri hâline gelmiştir. Bu nedenle, elektrik ürünlerine yönelik tüketici talebi arttıkça teknik seramik endüstrisinde üretilen ürünlere olan talep de artmaktadır<sup>[41]</sup>.

Öte yandan yüksek maliyet, gelişmiş seramiklere yönelik talebin artışını frenleyebilir. Zira gelişmiş seramikler geleneksel seramik ürünlerinden katbekat pahalıdır. Bir ton yer ve duvar karosunun ton fiyatı 300 dolarken teknik seramik malzemelerin ton fiyatı 30.000 doları bulabilmektedir<sup>[42]</sup>. Teknik seramik endüstrisinde, dünyanın en önemli elektronik üreticilerinden biri olan Çin'in yüzde 40'ın üzerinde payı olduğu ifade edilmektedir<sup>[41]</sup>. Bu durumun çeşitli nedenleri bulunmaktadır: Ekonomik açıdan, ülkenin elektrik iletimine, kimyasallara ve metalürji sanayiine yapılan büyük yatırımlar, yüksek performanslı ve çok yönlü malzemeler için yaygın bir talep yaratmaktadır. Bunun yanı sıra Çin'in hem işçilik hem de malzeme maliyetlerinin düşük olması da bu ülkede üretimi cazip

kılmaktadır. Ayrıca Çin Hükümeti, ihracat potansiyeli olan yüksek teknolojili, yerli endüstrileri kapsamlı teşviklerle desteklemektedir.

### 3.1.4 Küresel Polimerler Pazarı

Hem doğal hem de sentetik polimerler, hijyen, sağlık, güvenlik ve konfor açısından son derece önemli malzemelerdir. Bilişim teknolojileri, ilaç, gıda, iletişim, ulaşım, tarım, inşaat tekstil başta olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır. Kamuoyunda daha çok "plastikler" olarak anılan sentetik polimerler, günlük yaşamdan endüstriyel uygulamalara kadar hayatın hemen her alanında kullanılmaktadır. Küresel düzeyde plastikler, ahşap, taş, boynuz ve kemik, deri, kâğıt, metal, cam ve seramik gibi birçok geleneksel malzemenin yerini almıştır.

Sentetik polimerler farklı kriterlere göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. İşleme şekillerine (ısıya ve çözücülere gösterdikleri davranışlara) göre polimerler dört sınıfta değerlendirilmektedir:

- **Termoplastik polimerler (Isıl plastikler-Isıl yoğruk plastikler -TP)**, özelliklerinde önemli değişiklikler olmadan defalarca ısıtılarak yeniden şekillendirilebilirler. Isı ve basınç altında yumuşayarak sıvı hâle gelirler ve böylece çeşitli formlarda şekillenebilirler. Ayrıca uygun çözücülerde çözünebilir ve çeşitli şekillere dönüştürülebilirler. Polietilen (PE), naylon ve PVC bunlardan bazılarıdır.
- **Termoset plastikler (Isıl sertleşen plastikler-Isıl dengeli plastikler -TS)**, kalıcı bir biçimde şekillendirilip kimyasal bir tepkimeyle olgunlaştıktan veya



sertleştikten sonra ısıtılarak yeniden yumuşatılmaz veya başka bir şekle sokulamazlar. Ancak çok yüksek sıcaklıklara ısıtılınca bozunurlar. Dolayısıyla termoset plastikler yeniden üretim çevrimine girmezler, bir diğer deyişle geri dönüştürülemezler. Isıl sert demesinin nedeni, plastiğin kalıcı olara şekillendirilebilmesi için ısıya ihtiyaç olması ve sertleştikten sonra ısı ile sertliğini kaybetmemesidir.

- **Elastomerler**, tabii ve sentetik lastiklerdir. Termoplastik malzemelerin bir alt grubudur. Çok düşük yükler altında yüksek deformasyon veren düşük elastiklik modülüne sahiptirler. Yük kaldırıldıktan sonra orijinal boyutlarına dönerler. Titreşimin önlenmesi, ses yalıtım ve şok emicilik özellikleriyle, makinelerin ses izolasyonunda; kayış, esnek hortum, kaplanmış tekerlekler ve lastiklerde kullanılırlar. Silikon kauçuğu, poliüretan ve kloropren kauçuğu da elastromerdir.
- **Fluidplastlar**, macunsu, uzayarak akan, yapışkanimsi olan çözücülerde kolay çözünen plastiklerdir. Polyster, poliüretan, silikon, epoksi gibi malzemeler bu sınıfa girmektedir.

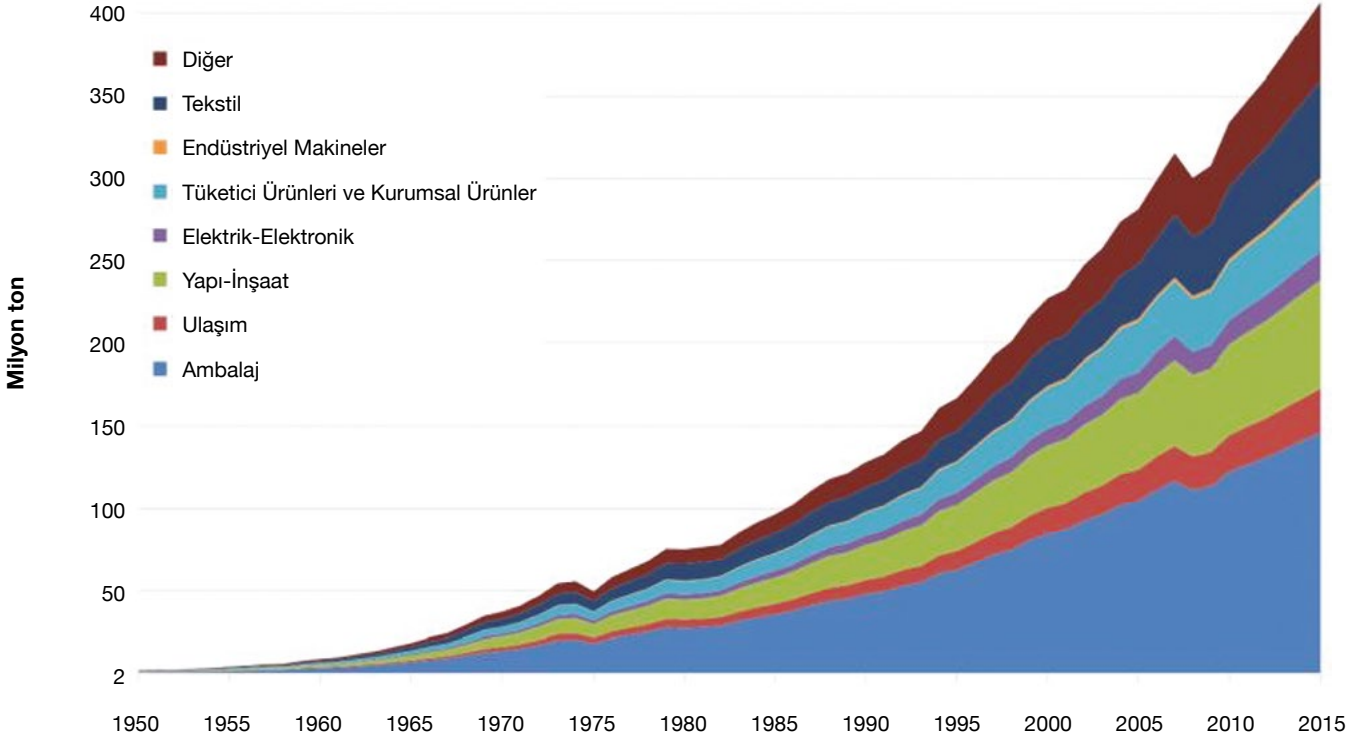
Bunlar küresel plastik sanayii tarafından üretilen polimer malzeme türlerinden sadece küçük bir kısmıdır. Son derece dinamik bir sanayi olan ve Ar-Ge çalışmalarına büyük önem veren sektör, her geçen gün daha fazla ürün piyasaya sürmektedir. Nitekim 1950 yılında sadece 2 milyon ton olan<sup>[43]</sup> küresel polimer malzeme sanayii üretimi, 2020 yılında 367 milyon tona çıkmıştır<sup>[44]</sup>. 2022 yılında polimer malzeme sektörünün büyüklüğünün 695 milyar dolara yükselmesi beklenmektedir<sup>[45]</sup>. Sektörün 2030'lu yılların ortasına kadar yılda en az yüzde 3 büyüyebileceği

tahmin edilmektedir. Bu hızla plastik üretiminin 2040 yılına kadar iki katına, 2050 yılına kadar ise iki buçuk katına çıkması beklenebilir<sup>[43]</sup>.

Ancak sentetik polimerler pazarının büyümesinin önünde ciddi engeller bulunmaktadır. Bunların başında sentetik polimerlerin küresel iklim değişikliği ve çevre kirliliğine etkisine dair tüm dünyada giderek daha fazla güçlenen farkındalık gelmektedir. Gerçekten de pek çok bilimsel araştırmanın ortaya koyduğu gibi, sentetik polimerler gerek üretim yöntemi gerekse doğada çözünlülüğe yüksek direnci nedeniyle son derece tehlikeli kirleticilerdir.

Polimer üretimi yüksek enerji tüketimi ile sera gazı emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Plastik üretimi oldukça enerji yoğunudur ve kilogram başına 62 ila 108 mega jul enerji gerektirir. Silikon üretmek için ise kilogram başına 235 mega jul enerjiye ihtiyaç vardır<sup>[44]</sup>. Birleşmiş Milletlerin 2021 tarihli bir raporunda, plastik üretiminin 2015 yılında küresel ısınmaya yüzde 4 oranında katkıda bulunduğu ve önlem alınmazsa bu oranın 2050 yılında yüzde 15'e çıkabileceği belirtilmiştir<sup>[47]</sup>.

Plastik kirliliği ise sadece karada değil, denizlerde hatta Büyük Okyanus'ta bile plastik çöpü adalarının<sup>[48]</sup> oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum tüm canlı yaşamını tehdit etmektedir. Ayrıca sentetik polimerler doğada yüzyıllarca çözülmeden kalabilir ve çok düşük oranlarda geri dönüştürülebilirler. OECD'nin 2018'de yayınladığı bir rapora göre, plastiklerin sadece yüzde 20'sinden azı geri dönüştürülmekte, yüzde 80'inden fazlası doğaya atılmaktadır<sup>[46]</sup>. Bu nedenle aralarında Türkiye'nin de bulunduğu çok sayıda ülkede özellikle plastik ambalaj kullanımını azaltmaya yönelik, hatta bunların kullanımını yasaklayan düzenlemeler getirilmeye başlanmıştır.



Şekil 1: Dünyada kullanıldığı sektörlere göre plastik üretimi (1950-2015)<sup>[46]</sup>

Birleşmiş Milletlerin “insanlığın varoluşsal tehdidi” olarak nitelendiği iklim değişikliği ve plastik kirliliğine ilişkin bilincin artmasına rağmen, özellikle gelişmekte olan ülkelerde plastik üretim ve tüketiminin kısa ve orta vadede düşeceğini değil, tam tersine artacağını tahmin etmek güç değildir. Nitekim dünyanın en büyük ikinci ekonomisi olmasına rağmen hâlen gelişmekte olan bir ülke sınıfında değerlendirilen Çin, dünyanın en büyük sentetik polimer üreticisidir. 2020’de Çin, tek başına küresel plastik malzeme üretiminin yüzde 32’sini gerçekleştirmiştir. Çin’in dünyanın en büyük plastik üreticisi olması da şaşırtıcı değildir. Çin’in aylık plastik üretimi (ortalama olarak) altı ila sekiz milyon ton arasında değişmektedir. Buna karşılık, Latin Amerika’nın tamamı, 2020 yılı boyunca yaklaşık 14,7 milyon ton plastik üretmiştir. Ayrıca, Çin’in plastik ihracatı 2019’da 14,23 milyon ton ve bu ihracatın değeri 48,3 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir<sup>[44]</sup>. Çin, Birleşmiş Milletlere 2030 yılına kadar karbon salım zirvesine ulaşma ve 2065 yılına kadar ise karbon nötr olma taahhüdünde bulunmuştur<sup>[49]</sup>. Bu sözünü yerine getirmek için bir dizi iddialı proje hayata geçirilmiştir. Bu kapsamda plastik kullanımının azaltılmasına yönelik adımlar atması da beklenebilir.

### 3.1.5 Küresel Kompozit Malzemeler Pazarının Durumu ve Dinamikleri

Tek bir bileşenle elde edilmeyen özelliklere sahip kompozitler, binlerce yıldır kullanılmaktadır. Bakır ve kalay karışımı bronz (tunç) bunlardan biridir ve tarihsel çağlardan birine (Tunç Çağı; M.Ö. 3000-1000) adını vermiştir. Yıllar geçtikçe kullanıcıların, özellikle imalat sanayiinin ihtiyaçlarına yanıt veren kompozit malzemelerin türü ve sayısı hızla artmıştır. Bir sektörde malzemenin hem hafif

hem de darbelere karşı mukavemetli olması beklenirken, bir başka sektörde ise hem termal olarak iletken hem de elektriksel olarak yalıtkan malzeme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla farklı fonksiyonel özellikleri bir arada sunabilen bu özel malzemeleri ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirebilmek ve daha verimli yeni kompozit üretim teknolojilerine geçiş yapabilmek, malzeme biliminin son yıllardaki en önemli araştırma alanlarından biri hâline gelmiştir.

Kompozit malzemeler üstün özellikteki malzemelerin birleştirilmesiyle oluşturulduğundan kullanıcılara yüksek dayanıklılık, yüksek katılık, yüksek yorulma dayanımı, mükemmel aşınma direnci, yüksek sıcaklık kapasitesi, gelişmiş korozyon direnci, iyi termal iletkenlik, düşük ağırlık ve istenilen nitelikte estetik görünüm gibi daha geniş bir pencerede avantajlar sunmaktadır. Buna karşılık, kompozit malzemelerin üretimi zordur, dolayısıyla maliyeti yüksektir, geridönüşüm olanağı neredeyse yoktur ve imalat sonrası yeniden işlenmeleri de güçtür<sup>[50]</sup>.

Kompozit malzemeler kısaca açıklandığı üzere, mekanik dayanımını yerine getiren farklı geometrik parçalardan (örneğin lif) ve bu parçaları bir arada tutan polimerik, metal veya seramik malzemelerden oluşur. Yapılarında pek çok malzeme barındıran kompozit malzemelerin sınıflandırılması çok değişik şekillerde yapılabilir. Fakat en yaygın sınıflandırma şekli, yapısında bulunan matris ve takviye malzemeye göre yapılmaktadır (Tablo 5):

Çeşidi sürekli artan kompozitler dünyada büyük bir endüstrinin doğmasına yol açmıştır. Küresel kompozitler pazarının 2021 yılında 94,34 milyar dolar büyüklüğe ulaştığı tahmin edilmektedir. Sektörün 2022-2030 yılları arasında yılda ortalama yüzde 6,3 büyüyerek 163,14 milyar dolar büyüklüğe ulaşacağı öngörülmektedir<sup>[58]</sup>.

Kompozit pazarını etkileyen başlıca faktörlerden bazıları savunma, otomotiv ve havacılık sektörlerinde hafif malzemelere olan ihtiyacın ortaya çıkması, boru ve sıvı tank üretiminin yanı sıra inşaat alanında kimyasal ve korozyona dayanıklı malzemelere olan talebin artmasıdır. Ayrıca, elektronik ve elektrik sektöründe yüksek sıcaklık ve elektrik direnci olan malzemelere olan artan ihtiyaç, kompozit pazarının büyümesini hızlandırmaktadır. Uygun maliyetli karbon fiberlerin artan gelişimi, kompozit reçineler ve geliştirilmiş performanslı cam elyafı, kompozit pazar dinamiklerini olumlu yönde etkilemektedir.

Kompozit malzeme pazarında, hafifliği, sağlamlığı ve hava koşullarına direnci ile cam elyafı ön plana çıkmaktadır. Küresel kompozit pazarında cam elyafı, yüzde 61,5 ile açık ara en büyük payı almaktadır<sup>[58]</sup>. Dünyada 2021 yılında 11 milyon tondan fazla cam elyafı üretilmiştir<sup>[59]</sup>. 2010'lu yıllarda cam elyafı üretimine büyük yatırımlar yapan Çin, günümüzde bu malzemenin üretiminde yüzde 65'ten fazla paya sahiptir<sup>[60]</sup>. Cam elyaf bazlı kompozitler

pazarda hâkim konumdadır ve onu karbon elyaf bazlı kompozitler takip etmektedir. Karbon fiberlerin yüksek sertlik, yüksek gerilme mukavemeti, düşük ağırlık, yüksek kimyasal direnç, yüksek sıcaklık toleransı ve düşük termal genleşme gibi birçok avantajı vardır. Bu özellikler, karbon fiberin havacılık, inşaat, savunma sanayii ve otomotivde rağbet görmesine neden olmuştur. Bununla birlikte, cam elyafı veya plastik elyaf gibi benzer elyaflarla karşılaştırıldığında nispeten pahalıdırlar. 2020'de 3,7 milyar dolar olan küresel karbon fiber pazar büyüklüğünün 2031'e kadar yıllık ortalama yüzde 8,6 büyüyerek 8,9 milyar dolara çıkması beklenmektedir<sup>[61]</sup>. Rüzgâr enerjisi ile havacılık ve savunma sanayiinde artan talebin, 2021 ile 2031 yılları arasında pazarın büyümesini yönlendirmesi beklenmektedir. Ayrıca, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde katı çevre dostu düzenlemelerin uygulanmasının piyasayı daha da beslemesi beklenmektedir.

Ancak kompozit malzemelerin yüksek üretim maliyetleri, ürün ve üretim maliyetlerinde standardizasyon sağlanamaması, kompozit üretiminde kullanılan reçineleri

Kompozit Sınıflandırması	Kompozit Alt Türü	Genel Özellikleri	Kullanım Alanları
<b>MATRİS MALZEMEYE GÖRE</b>	<b>Metal Matrisli Kompozit Malzemeler</b>	Çeşitli metal ve metal alaşımı olan kompozitlerdir. Metal esaslı malzemeler takviye edildikleri malzemelere göre üstün özelliklere sahiptir. Örneğin seramiklerin yüksek elastiklik özelliği ile metallerin plastik şekil değiştirme özellikleri bir araya getirilerek aşınmaya dayanıklı ve gerilme mukavemeti yüksek malzemeler elde edilebilir.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zırhlar, roket motorları</li> <li>Uzay yapıları ve antenleri</li> <li>Hava araçları gövdeleri, kompresör ve türbin kanatları</li> <li>Otomotiv motor blokları, pistonlar, bilyeler, akü plakaları</li> <li>Elektrik motoru fırçaları</li> <li>Elektronik (çipler, kasalar, robotlar vb.)</li> <li>Tıbbi protezler, tekerlekli sandalyeler</li> <li>Spor malzemeleri (raket, kayak, golf sopası, olta, bisiklet vb.)</li> <li>Tekstil makinelerinin mekikleri</li> <li>Yataklar</li> </ul>
	<b>Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler</b>	Yüksek sıcaklığa dayanıklı ve hafif oldukları için oldukça kullanışlıdır. Genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalar için kullanılırlar. Sert ve kırılğan olduklarından süneklilikleri (biçim verilebilirlik) ve sağlamlıkları çok düşüktür. Şekil vermesi zor olduğu gibi dayanıksızdır. Bu nedenle çoğunlukla liflerle takviye edilirler. Buna karşılık çok yüksek elastiklik özelliğine ve çok yüksek çalışma sıcaklıklarına sahiptirler.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isı eşanjörleri</li> <li>Türbin kanatları</li> <li>Yüksek performanslı fren sistemleri</li> <li>Daldırma brülör tüpleri</li> <li>Kurşun geçirmez zırh</li> <li>Isıtma elemanları</li> <li>Refrakter bileşenler</li> <li>Sıcak preslenmiş kalıplar</li> <li>Jet motorlarının itme kontrol kanatları</li> <li>Küçük silahların yalıtımı</li> <li>Pencere pervazları</li> <li>Sıcak sıvılar için filtreler</li> <li>Uzay araçları ısı kalkanı sistemleri</li> <li>Roket tahrik bileşenleri</li> </ul>
	<b>Polimer Matrisli Kompozitler</b>	Çoğunlukla petrokimya esaslı ürünlerdir ve günümüzde en yaygın kullanım alanı olan malzemelerdir. Polimer kompozitler aşınmaya dirençlidirler, uzun süreli kullanıma uygundur, işlenmesi kolaydır, kolay şekillendirilebilirler, birim kütle başına yük çekimi yüksek malzemelerdir.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Otomobil lastikleri, kaporta parçaları, motor parçaları, yakıt deposu, kaporta koruyucu boyaları, ön cam, farlar ve ayna yuvaları</li> <li>Hava araçları gövdeleri, tekerlekler, kabin donanımı</li> <li>Fiberglas ve karbon fiber gövdeli tekneler</li> <li>Tıbbi tarama cihazları (MRI, C tarayıcı, röntgen, mamografi), laboratuvar malzemeler, cerrahi malzemeleri, tekerlekli sandalyeler, protezler</li> <li>Ayakkabı tabanları, spor malzemeleri</li> <li>İnşaat malzemeleri</li> <li>Ambalaj malzemeleri</li> <li>Rüzgâr türbini kanatları</li> <li>Elektrikli ev aletleri</li> <li>Batarya ve piller</li> <li>Elektronik</li> <li>Boru hattı kaplama malzemeleri</li> </ul>

**Tablo 5:** Matris ve takviye edicilere göre kompozit malzeme türleri, özellikleri ve kullanım alanları<sup>[51], [52], [53], [54], [55], [56], [57]</sup>. (devam ediyor)

Kompozit Sınıflandırması	Kompozit Alt Türü	Genel Özellikleri	Kullanım Alanları
<b>TAKVİYE EDİCİYE GÖRE KOMPOZİT MALZEMELER</b>	<b>Elyaf Takviyeli Kompozitler</b>	Kompozit malzemelerin en yaygın türüdür. Takviye malzemesi olarak en çok cam elyafı kullanılmaktadır. Plastik reçineler en fazla kullanılan tür olup bunlardan da polyester ucuzluğu sebebiyle ilk sırayı almaktadır. Bileşen malzemeler, moleküler boyutta birbirinden farklıdır ve mekanik olarak birbirinden ayrılabilirler. Takviye lifleri, uzun liflerden, dokuma kumaş, kısa kesilmiş lifler vb. değişik formlarda olabilirler. Her biçim ayrı özelliklerle sonuçlanır. Malzemenin özellikleri, liflerin kompozit içerisinde nasıl uzandığına bağlıdır.	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Havacılık endüstrisi:</b>Gövde ve pervaneler</li> <li><b>Otomotiv endüstrisi:</b>Kaporta, şasi, motor parçaları</li> <li><b>İnşaat:</b> Güçlendirilmiş çimento ve beton, altyapı elemanları, boru hatları, prefabrik konutlar ve ofisler</li> <li><b>Tüketim malları:</b> Spor malzemeleri, müzik aletleri, çadırlar, kamera tripodları vb.</li> <li><b>Enerji sektörü:</b> Elektrik ve elektronik bileşenler, rüzgâr türbini kanatları</li> <li><b>Koruyucu ekipman:</b> Çelik yelek, yangına dayanıklı elbiseler, zırhlı araçlar</li> <li><b>Denizcilik altyapısı:</b> Tekne gövdeleri, deniz üstü platformlar vb.</li> </ul>
	<b>Parçacık Takviyeli Kompozitler</b>	Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar hâlinde bulunması ile elde edilirler. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları oldukça iyidir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beton</li> <li>Sunta</li> <li>Poliüretan kauçuk</li> <li>Bakır alaşımları</li> <li>Kartonpiyer</li> </ul>
	<b>Tabakalı Kompozitler</b>	Eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan kompozit yapı tipidir.Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isı ve neme karşı dayanıklı yapılarıdır. Metallerle göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Pek çok katmanlı kompozit düşük maliyet, yüksek dayanım veya hafifliğini korurken, aşınma direnci, gelişmiş görünüm ve mükemmel ısı genleşme özelliklerini kapsamaktadır.Kullanılan tipik lifler arasında selüloz, grafit, cam, bor ve silikon karbür bulunur ve bazı matris malzemeleri epoksiler, poliimidler, alüminyum, titanyum ve alüminadır.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oluklu mukavva</li> <li>Sandviç panel çatı ve bina kaplamaları</li> <li>Uzay araçları kaplamaları</li> <li>Kontrplak</li> <li>Parkeler</li> </ul>
	<b>Karma Kompozitler</b>	Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla takviye elemanı çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere “hibrid kompozitler” denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz bir elyaftır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise; düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyaf kullanılarak tasarlanan hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemetide kevlar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kevlar</li> <li>Kenaf-aramid</li> <li>Dokuma jüt/cam kumaş</li> <li>Karbon ilaveli sisal elyaf takviyeli polyester</li> </ul>

**Tablo 5:** Matris ve takviye edicilere göre kompozit malzeme türleri, özellikleri ve kullanım alanları<sup>[51], [52], [53], [54], [55], [56], [57]</sup>. (önceki sayfadan devam)

üreten az sayıda küresel tedarikçinin bulunması (2019 yılında pazar büyüklüğü 3,2 milyar dolar olarak değerlendirilen küresel kompozit yapılandırıcı pazarına genellikle ABD, Almanya, İsviçre ve İngiltere gibi küresel oyuncular hâkimdir), kompozit üretimin görece yavaşlaması sektörün hızlı ilerleme kaydetmesi önündeki engeller olarak belirmektedir<sup>[62]</sup>.

### 3.1.6 Küresel Gelişmiş Malzemeler Pazarının Durumu

“Teknik malzemeler”, “ileri teknoloji malzemeleri” veya “mühendislik malzemeleri” olarak da anılan gelişmiş malzemeler, malzeme biliminde 21’inci yüzyılda umut vadedilen çalışma alanlarının başında gelmektedir. Pek çok ülke gelişmiş malzemeler alanındaki araştırmalara büyük destek vermektedir ve ilk sonuçlar umutları pekiştirmektedir.

Gelişmiş malzeme pazarına ilişkin pazar verileri de sektörün gelecek vadettiğini göstermektedir. Maximize

Market Reserarch’e göre küresel gelişmiş malzeme pazarı 2021’de 84 milyar dolara yakın büyüklüğe ulaşmıştır ve 2027 yılına kadar yıllık ortalama yüzde 4,6 büyüme ile 115 milyar dolar büyüklüğe ulaşması beklenmektedir<sup>[63]</sup>.

Sektörün alt segmentlerine bakıldığında, gelişmiş seramik malzemelerinin 10 milyar dolardan fazla ciro ile en büyük pazar payına sahip olduğu görülmektedir<sup>[64]</sup>. Seramiklere, alüminyum, titan, zirkon ve silikon karbid gibi katkı maddeleriyle daha iyi iletkenlik, düşük ağırlığa rağmen üstün sertlik ve şekil verilebilirlik gibi gelişmiş özellikler kazandırılmaktadır. Katmanlı imalat teknolojisi ise karmaşık formlar alabilen gelişmiş seramikler, üstün korozyon direnci ve düşük termal genleşme özelliklerine de kavuşturulmaktadır. Bu özellikler, gelişmiş seramikleri askeri ve savunma, havacılık, otomotiv, enerji ve güç gibi çeşitli son kullanıcı endüstrileri için son derece uygun malzemeler hâline getirmiştir. Örneğin dünya genelinde havacılık, otomotiv, savunma sanayii ile hava



ve kara platformlarını yakıt tasarruflu hâle getirmeye çalışmaktadır. Bu nedenle, söz konusu sektörler hafif ve kırılmaya dayanıklı gelişmiş seramik bileşenlere yönelmektedir. Gelişmiş seramikler, biyomedikal alanında da giderek daha fazla kullanılmaktadır. Biyolojik uyumluluk, aşınmaya ve kimyasal tepkimelere direnç, yüksek basınç dayanımı, düşük sürtünme katsayısı ve toksik olmaması, gelişmiş seramiklerin tıbbi protez ve implant yapımında başvurulan malzemeler arasına girmesine neden olmuştur.

Gelişmiş malzeme pazarının ikinci önemli segmenti gelişmiş camlardır. Gelişmiş camlar, soda külü, doğalgaz ve silis kumu kullanılarak üretilen üstün kaliteli camlardır ve "seramik cam" olarak da anılmaktadır. Uygulamaya bağlı olarak, bu camlar çeşitli kimyasal ve mekanik prosedürlerden geçmektedir. Bu süreçler camları morötesi ışınlarına dayanıklı hâle getirirken insanları veya üzerinde bulunduğu yapı ya da cihazları bunların zararlı etkilerinden korurlar. Gelişmiş camlar aynı zamanda ses azaltır, dayanıklıdır, sıhhatli ve güvenlidirler. Söz konusu gelişmiş özellikleriyle inşaat, otomotiv, mutfak fırınları, elektronik, spor, optik, aydınlatma, havacılık ve savunma gibi farklı sektörlerde aranılan malzeme hâline gelmişlerdir.

Literatürde metal ve polimer kompozit malzemelerin tamamının veya bir kısmının gelişmiş malzemeler sınıfında değerlendirildiği görülmektedir. Bu durum, teknolojinin gelişmesiyle birlikte kompozit malzemelerle gelişmiş malzemeler arasındaki farkın giderek bulanıklaştığı şeklinde yorumlanabilir. Örneğin bazı kaynaklarda özellikle havacılık, yenilenebilir enerji, otomotiv ve uzay sektöründe yaygın biçimde kullanılan çok hafif metal malzemelerin<sup>[65]</sup> ve bazı polimer kompozit malzemelerin<sup>[65]</sup> gelişmiş malzeme olarak kabul edildiği anlaşılmaktadır.

Gelişmiş malzemeler arasında ayrı bir yeri bulunan nanomalzeme pazarı ise henüz emekleme aşamasındadır. Tahminlere göre küresel nanomalzeme pazarı 2020 yılında 8 milyar dolar değere ulaşmıştır ve 2028 yılına kadar yılda ortalama yüzde 14,1 büyümesi beklenmektedir<sup>[66]</sup>. Mükemmel fiziki ve kimyasal özelliklere sahip nanomateryallere elektronik, sağlık, havacılık ve tekstil başta olmak üzere pek çok sektör ilgi göstermektedir.

Nanomalzemelere en büyük talep sağlık alanından gelmektedir. 2020 yılında medikal cihaz üreticileri yüzde 30 payla sektörün en önemli müşterileri olmuştur. Nanomalzemeler sağlık sektöründe görüntüleme cihazlarında, hastanın metabolizmasına hedefe yönelik ilaç verilmesinde, cerrahi nanorobotların üretiminde, nanotani cihazları ve nanobiyosensörlerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır.

Nanomalzemelere ikinci olarak boya ve kaplama sektörleri de ilgi göstermektedir. Nanomalzemeler, boyaların ve kaplamaların sertleşmesini sağlamaktadır. Nanomalzemeler ayrıca boyaların morötesi ışınların emilimini artırmakta ve kaplamaların antibakteriyel özelliklerini iyileştirmektedir. Titanyumdioksit (TiO<sub>2</sub>) ve silikondioksit, boyalarda kullanılan başlıca nanomalzemelerdir. Ayrıca nanogümüş, üstün antimikrobiyal ve koku giderici özellikleri nedeniyle boyalarda giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Elektronikte de nanomalzemelere olan talep önemli ölçüde artmıştır. NANOelektronik devreler, nanoteller, spintronikler ve kuantum noktaları geliştirilmesinde nanomalzemeler kullanılmaktadır. Enerji ve elektrik sektörü açısından nanomalzemelerin önemi artmaktadır. Bataryalar, piller, yakıt hücrelerinde ve fotovoltaik film kaplamalarında nanomalzeme tüketimi artmıştır.

Nanomalzemeler arasında lityumiyon pillerde yaygın olarak kullanılan karbon nanotüpler küresel piyasada yüzde 23,7 ile en çok talep gören segmenttir<sup>[66]</sup>. Tanı ve tedavi amaçlı kimyasalları absorbe etme ve birleştirme yetenekleri, karbon nanotüplerin kullanılmasını da sağlamıştır.

Havacılık, kimya, çeşitli ilaç, aşı ve tıbbi uygulamalarda, tıp, petrokimya ve mimari alanlarında artan biçimde kullanılan titanyum nanoparçacıklar segmenti, 2020'de tüm nanomalzeme pazarında yüzde 22,2'lik önemli bir paya sahip olmuştur<sup>[66]</sup>. Bunlar ayrıca plastiklerde ve sabunlarda, nanoliflerde, bandajlarda, nanotellerde ve tekstillerde antibakteriyel olarak kullanılmaktadır.

Yüksek elektriksel iletkenlik, ayrık fiziksel ve optik özellikler ve biyokimyasal işlevsellik gibi benzersiz özellikleri nedeniyle gümüş nanoparçacıklar segmenti, 2020'de tüm nanomalzeme pazarında yüzde 13,5 paya sahip olmuştur. Gümüş nanoparçacıklar, antibakteriyel ajanlar, biyomedikal cihaz kaplamaları, ilaç dağıtım taşıyıcıları, görüntüleme problemleri, teşhis ve optoelektronik platformlar gibi geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır.

Alüminyum oksit nanomalzemeler, mekanik strese, kimyasallara ve aşınmaya karşı üstün direnç de dahil olmak üzere olağanüstü yapısal, fiziki ve kimyasal özellikleri nedeniyle talep görmektedir.

Nanomalzeme pazarının umut vadeden diğer bir segmenti ise grafendir. Küresel grafen pazar büyüklüğü 2020'de 94,4 milyon dolardır ve diğer nanomalzemelerle karşılaştırıldığında bu miktar ihmal edilebilir görülebilir. Ancak grafen pazarının 2028 yılına kadar ortalama yüzde 43,2 büyüme kaydetmesi beklenmektedir<sup>[67]</sup>. Elektronik, biyomedikal teknolojiler, enerji depolama dahil uygulama endüstrilerinde artan ürün talebi, kompozitler ve kaplamalar ile su ve atık su arıtımı muhtemelen grafen pazarının büyümesini hızlandıracaktır. Grafen, günümüzde şarj edilebilir pillerin şarj oranını ve enerji kapasitesini iyileştirme yeteneğine sahiptir. Ayrıca grafen, lityum iyon pillerin ömrünü iyileştirmede oldukça faydalıdır ve pil takımının toplam ağırlığını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, elektrikli kara araçları endüstrisinde grafen kullanımının artacağını tahmin etmek mümkündür.

Moleküler biyoloji ve mikrobiyoloji alanındaki gelişmeler, bir başka gelişmiş malzeme segmenti olan biyomalzemelerin geliştirilmesine ve yaygınlaşmasına yol açmıştır. Günümüzde özellikle tıp ve biyomedikal alanında kullanılan biyolojik malzemeler pazarının 2021 yılında 135,1 milyar dolara ulaştığı ve 2028 yılına kadar yılda ortalama yüzde 15,6 büyüme ile 372,7 milyar dolara yükseleceği tahmin edilmektedir<sup>[68]</sup>.

Tıpta en çok kullanılan biyomalzemeler kök hücreler, yeryüzünde selülozdan sonra en fazla bulunan doğal bir

biyopolimer olan kitosan, kalp kapakçıkları ve kemikler gibi sert dokuların yerine kullanılabilen polikaprolakton ve hasar gören dokuları onaran mezenkimal kök hücrelerdir. 2021'de 10,7 milyon hastanın yaralarının tedavi edilmesinde, doku implantı yapılmasında, ameliyatında ve tedavisinde başvurulan tıbbi cihazlarda en az bir biyomalzeme kullanıldığı tahmin edilmektedir<sup>[68]</sup>.

Biyomedikal malzemelerin çoğu, deri, kemik, kırıkta ve tendonlar gibi organik malzemelerden üretilmektedir. Biyolojik malzeme üretimi genellikle sentetik biyomedikal malzemelere göre daha uzun sürede ve daha pahalıya üretilmektedir. Ancak sentetik biyomedikal malzemeler, doğal materyallerle aynı özelliklere sahip değildir, dolayısıyla tıbbi tedavilerde etkisi kuşkuludur. Buna karşılık biyolojik temelli biyomalzemeler, doğal dokuların özelliklerini taklit edebildikleri için daha etkilidir.

Biyomalzemelerin sadece sağlık alanında değil otomotiv, inşaat ve uzay sektörlerinde de kullanılmasına yönelik çalışmalar sürmektedir. Örneğin özel bakteriler kullanarak kendi kendini onaran beton, mantar dokularından yapı izolasyon malzemesi, gıda çöplerinden sunta üretimi gibi teknolojiler gelişim safhasındadır<sup>[69]</sup>.

Otomotiv sektöründe ise biyomalzemeler, araçların daha az yakıt tüketmesini, plastik parçaların yerine güçlü ve sürdürülebilir malzemeler kullanılmasını ve dolayısıyla araçların üretiminden kullanımına kadar tüm süreçlerinde daha az sera gazı emisyonlu hâle gelmesini sağlamaktadır. Örneğin bitkisel atıklar ve özel bakterilerle üretilen biyoyakıtlar, sera gazı emisyonu yüksek fosil yakıtlara ciddi alternatif oluştururken, yine bitki özlü özel elyaflar araçlarda plastik parçaların yerine kullanılabilir<sup>[70]</sup>.

Uzay çalışmalarında ise biyomalzemeler, hem çok hafif hem de radyasyondan koruyan yapı elemanları, yara iyileştiren uzay kıyafetleri, antibakteriyel yüzeyler gibi ihtiyaçların karşılanması için düşünülmektedir.

Gelişmiş malzemeler arasında sayılabilecek son segment akıllı malzemelerdir. Akıllı malzemeler pazarının, henüz olgun bir piyasa olmaktan uzak olmasına rağmen, 2021 yılında 60 milyar dolara yakın bir büyüklüğe ulaştığı tahmin edilmektedir<sup>[71]</sup>.

Dış bir harekete geçiriciye maruz kaldığında termal, kimyasal, elektriksel, manyetik veya mekanik değişime uğrayan akıllı malzemelere talep giderek artmaktadır. Ürünlerindeki bileşen sayısını, ürünlerin karmaşıklığını veya ürün ağırlığını azaltırken tasarım esnekliğini yakalayarak uygunluk, kullanılabilirlik ve verimi artırmak isteyen çeşitli sektörlerdeki karar alıcılar bu tür malzemelere yönelmektedir. Akıllı malzemeler giderek daha fazla geleneksel malzemenin yerini tutmakta, yeni Ar-Ge çalışmalarıyla hızla çeşitlenmektedir.

Otomotiv, sağlık, inşaat, kimya, havacılık ve uzay sektörleri akıllı malzeme talebinin en yüksek olduğu sektörlerdir. Kinetik enerjiyi elektriğe çevirebilen piezoelektrik malzemeler hâlen bu segmentin en yüksek pazar payına sahiptir. Piezoelektrik malzemeler hoparlörler, sonarlar, stetoskoplar, alarm cihazları, doğal gaz ateşleme sistemleri ve otomobillerde tekerleklerin yol kinetiğinden elektrik üretmesinde kullanılmaktadır. Benzeri bir akıllı malzeme olan piezo sensörler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sensörler, basınç, gerilme, ısınma,

hızlanma veya kuvvet değişimlerini elektriğe çevirmektedir. Bu özellikleriyle savunma sanayii, havacılık ve uzay sektörlerinden büyük ilgi görmektedir. Piezoelektrik malzemeleri akıllı silah sistemlerinde kullanılmaktadır<sup>[72]</sup>. Şekil hafızalı akıllı malzemeler ise tıbbi tekstil, diş teli, stentler, protezler ve cerrahi sabitleme malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Giderek çeşitlenen akıllı malzemelerin yakın gelecekte çok daha fazla sektörde uygulama olanağı bulacağını tahmin etmek mümkündür. Ancak yaygın kullanımın artmasının önündeki en büyük engel yüksek üretim maliyetidir. Bu nedenle öncelikle akıllı malzemelerde ölççek ekonomisini sağlayacak üretim sistemlerinin geliştirilmesi beklenmektedir.

### 3.2 Küresel Malzeme Endüstrisinde Temel Eğilimler

Küresel malzeme pazarına kısa ve orta vadede yön verecek bazı genel eğilimler bu bölümde değerlendirilecektir.

#### 3.2.1 Sürdürülebilir “Yeşil” Malzemelere İhtiyaç Artıyor

Küresel iklim değişikliği ve COVID-19 pandemisi sonrasında tüm dünyada yaşanan ekonomik sıkıntılar, sürdürülebilir ve çevre dostu malzemelere talebi artırmıştır. Pek çok ülkede uygulamaya konulan yeşil dönüşüm programları, malzeme sektörünün sürdürülebilir ürünler geliştirme çalışmalarını hızlandırmasını adeta zorunlu kılmaktadır.

Malzeme endüstrisinden insan sağlığına ve çevreye zararlı kimyasal maddeler içeren sentetik malzemeler yerine doğal, yenilenebilir, tüm değer zincirinde karbon nötr (sera gazı emisyonu olmayan), geri dönüştürülebilir ve daha az enerji harcayan malzemeler geliştirilmesi ve bunların makul fiyatla erişilebilir hâle getirilmesi beklenmektedir. Sürdürülebilir malzemeler, karbon nötrlüğe ulaşmanın başlıca gereklerinden biri olan döngüsel ekonomilerin hayata geçmesi için kilit öneme sahiptir<sup>[73]</sup>.

Bu açıdan bakıldığında, geridönüşümü güç metal kompozitler, geridönüşümlü olmadığı gibi doğada yüzyıllarca çözünmeyen polimerler, üretiminde büyük miktarda fosil yakıt kullanılan çelik, çimento ve cam gibi temel malzemeler sürdürülebilir nitelikte değildir. Yeşil ekonomiler karbon ayak izi düşük metaller, geri dönüştürülebilir kompozitler, plastik ve metallerin yerini alabilecek düşük karbon ayak izli gelişmiş seramikler, biyomalzemeler, nanomalzemeler ve akıllı malzemeler üzerine inşa edilecektir. Ancak söz konusu malzemeler, henüz küçük miktarlarda üretilmektedir ve oldukça pahalıdır. Bir kilogram nanomalzemenin fiyatı 1.500 doları bulmaktadır<sup>[74]</sup>. Gelişmiş malzemelere erişimin artması için verimli üretim sistemleri geliştirilmesi, söz konusu malzemelere ilişkin ulusal ve uluslararası standartların oluşması ve kamu otoritelerinin desteğiyle kullanımının yaygınlaştırılması gereklidir<sup>[75]</sup>. Malzeme üretiminde enerji kullanımında karbon ayak izinin azaltılması için ise yine malzeme alanında inovasyonun hızlanmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi 2000'li yıllarda büyük ilerleme kaydetmiştir, ancak ülkelerin büyük kısmı elektrik üretiminde fosil yakıtlara yüzde 63,1 oranında bağımlı

konumdadır<sup>[76]</sup>. Rüzgâr ve güneş enerjisi üretiminin artması için, daha hafif ama büyük, kullanım ömrü uzun rüzgâr türbinleri geliştirilmesine imkân sağlayacak malzemelere ihtiyaç bulunmaktadır. Rüzgâr türbini üreticileri bu amaçla daha fazla karbon elyafı kullanmaktadır. Bununla birlikte, pahalıdır, özellikle hasara dayanıklı değildir ve imal edilmeleri zordur. Güneş panelleri ise kendilerini iklim ve doğa şartlarından daha iyi koruyacak kaplama malzemelerine ihtiyaç duymaktadır. Daha da önemlisi yenilenebilir enerjinin dezavantajlarını ortadan kaldıracak elektrik depolama teknolojisinin gelişimi için daha gelişmiş malzemelere ihtiyaç bulunmaktadır<sup>[77]</sup>. Bu açıdan bakıldığında yeşil bir gelecek için malzeme alanında daha fazla Ar-Ge ve teşvike ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır.

### 3.2.2 Hafif Malzemeler Daha da Hafifleyecek

Geleneksel olarak alüminyum, magnezyum, titanyum ve berilyum hafif metaller sınıfında ele alınmaktadır. Bunlar kolay işlenebilir ve şekil verilebilen, sağlamlık, dayanıklılık, ısı ve elektrik geçirgenlikleri ile en çok kullanılan hafif malzemelerdir. 20'nci yüzyılın başında bunlara kimyasallardan üretilen plastikler ve aynı yüzyılın sonunda sanayi tipi seramikler eklenmiştir<sup>[78]</sup>.

Günümüzde hafif malzeme olarak metal alaşımları ve kompozitler kullanılmaktadır. Alaşımlar ve kompozitler yüksek mukavemet-ağırlık oranına, olağanüstü korozyon direncine ve daha fazla tasarım esnekliğine sahiptir. Bu nedenle otomotiv, hava araçları ve rüzgâr türbinleri gibi strüktürlerde ya da ambalaj malzemesi olarak kullanılabilirler.

2020'de 168,1 milyar dolar değerine ulaşan küresel hafif malzeme pazarının, 2030 yılına kadar 261,6 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Zira gelecekte, özellikle ulaştırma alanında daha hafif malzemelere talep olacağı öngörülmektedir. Ülkeler yeşil dönüşüme yönelirken, çevre ve insan sağlığının korunması kadar, enerji tasarrufu ya da enerji verimliliği de ön plana çıkmaktadır. Hava ve kara taşıtlarında, tahrik sistemleri olarak elektrikli bataryalar veya hidrojen hücreleri yakıt pilleri seçenekleri üzerinde durulmaktadır. Ancak söz konusu bataryalar ağırdır. Bu durum araçların yakıt tüketimini artırmakta, menzillerini kısaltmaktadır. Sorunun giderilmesi için hem bataryaların hem de araçların genel ağırlığının düşürülmesi gereklidir. Araştırmalara göre araç ağırlığını yüzde 10 azaltmak, yüzde 6 ila yüzde 8 arasında yakıt

tasarrufu sağlamaktadır<sup>[79]</sup>. Dökme demir ve geleneksel çelik bileşenlerin yüksek mukavemetli çelik, magnezyum alaşımları, alüminyum alaşımları, karbon fiber ve polimer kompozitler gibi hafif malzemelerle değiştirilmesi, bir aracın gövdesinin ve şasisinin ağırlığını doğrudan yüzde 50'ye kadar azaltabilir ve dolayısıyla bir aracın yakıt tüketimini azaltabilir.

Otomotiv endüstrisi hafif malzemelere önemli ölçüde yatırım yapmaktadır. Öyle ki, tahminlere göre 2030 yılına kadar hafif otomobillerin pazar payı yüzde 70'e kadar çıkabilir<sup>[80]</sup>.

Havacılık endüstrisi de uzun süredir yakıt ekonomisi sağlamak üzere hafif malzemelere yönelmiş durumdadır. Avrupalı hava ve uzay taşıtları üreticisi Airbus, yeni nesil ticari uçaklarının yüzde 70 oranında hafif malzeme ile inşa edildiğini bildirmektedir<sup>[81]</sup>.

### 3.2.3 Katmanlı İmalat, Malzeme Endüstrisinin Ufkunu Açıyor

Gelişen katmanlı imalat teknolojisi, üç boyutlu yazıcı olarak anılan genellikle sentetik polimerle yapılan küçük çapta üretimi geride bırakmıştır. Katmanlı imalatta makineler ve ölçekler büyümüş, metaller, lifler, alaşımlar ve seramik malzemelerle kompozit üretimlere geçiş yapılmıştır. Yeni nesil katmanlı imalat teknolojisi diğer özelliklerinin yanı sıra geliştirilmiş iletkenlik, erime ve kimyasal dirence sahip tamamen yeni ve dayanıklı polimer filamentlerin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Katmanlı imalat ile hem biyomalzeme hem de geleneksel malzeme ile örneğin antibakteriyel, kir tutmayan, aşınmaya dayanıklı seramik veya metal yüzeyler geliştirilebilmektedir.

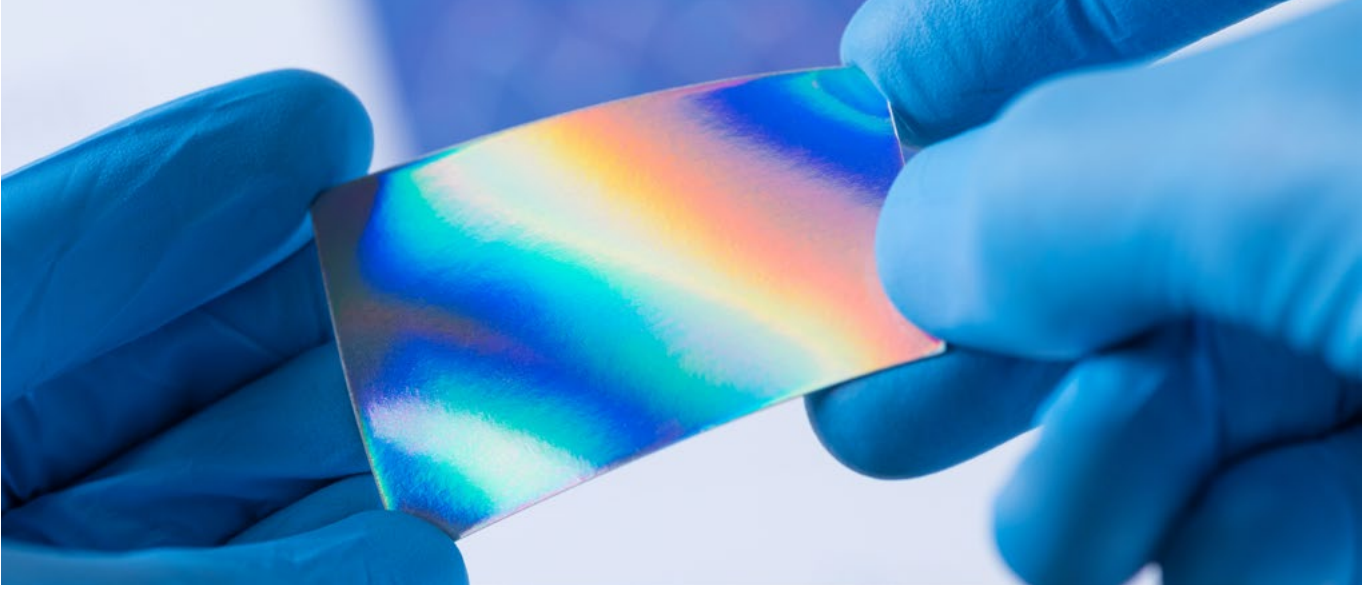
Katmanlı imalat teknolojileri, malzeme mühendisliğinde özellikle gelişmiş malzemelere ulaşılmasında yardımcı olmaktadır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, yeni kompozit araştırmalarında, farklı malzemelerin istenilen derecede birbirine karışmasını, homojen hâle gelmesini veya tam tersine matrislerin heterojen yapılarının korunmasını sağlayabilmektedir. Katmanlı imalat teknolojisi, yeni malzeme araştırmalarında kayıpları en aza indirmekte, geliştirme sürecini kısaltmakta ve dolayısıyla Ar-Ge sürelerini yalınlaştırıp maliyetini düşürmektedir. Katmanlı imalat ile geliştirilen ürünlerden çoğu zaman geleneksel yollarla geliştirilenlere göre daha iyi performans alındığı ifade edilmektedir<sup>[82]</sup>. Ancak katmanlı imalat teknolojisi, henüz kitlesel üretime uygun değildir.

### 3.2.4 Yeni Nesil Moda ve Tekstil Malzemeleri

Moda ve tekstil endüstrisi, deri, kürk, yün ve kuş tüyü gibi hayvansal ürünleri yoğun olarak kullanmaktadır. Ancak endüstriyel hayvancılık küresel iklim değişikliği, ekolojik hasar, kamu sağlığı riskleri ve hayvanlara kötü muamele gibi olumsuzluklara yol açmaktadır. Söz konusu doğal malzemelerin fiyatlarının yüksek olması çoğu polimer bazlı sentetik malzemelerin kullanımının artmasına neden olmuştur. Polimer bazlı malzemelerin çevresel etkileri alternatif arayışlarının devam etmesine neden olmuştur. Bugün dünyada 95 start-up şirket yeni nesil moda ve tekstil malzemeleri geliştirmek üzere çalışmalar yürütmektedir<sup>[83]</sup>. Söz konusu şirketler, bitkisel

Hafif Malzeme	Ağırlıkta Azalma Oranı
Magnezyum	%30-70
Karbon fiber kompozit	%50-70
Alüminyum ve Alüminyum matrisli kompozitler	%30-60
Titanyum	%40-55
Kalsiyum elyafı kompozitleri	%25-35
Gelişmiş yüksek mukavemetli çelik	%15-25
Yüksek mukavemetli çelik	%10-28

**Tablo 6:** Bazı hafif malzemelerin araçlarda ağırlık azaltımına etkileri<sup>[79]</sup>.



özler, mantar köklerinden elde edilen miselyum, hayvan hücresi kültürleri, çeşitli özel bakteriler, geri dönüştürülmüş malzemeler ve bazı özel malzemelerle yeni nesil deri, ipek, yün, kürk ve kuş tüyü malzemeler geliştirilmektedir. Söz konusu araştırmalar otomotiv şirketlerinden lüks modaevlerine, spor giyim markalarından mobilya şirketlerine uzanan geniş bir yatırımcı grubundan destek görmektedir. 2021 yılında söz konusu şirketlere yapılan yatırım miktarının 863,6 milyon dolara ulaştığı belirtilmektedir<sup>[83]</sup>. Değişen tüketici talepleri, hükümetlerin karbon nötrlüğe ulaşmak için uygulamaya koydukları planlar ve yeni ürünlerin yüksek performansının yanında estetik ihtiyaçlarını karşılama vaatleri düşünüldüğünde yeni nesil moda ve tekstil malzemeleri segmenti, malzeme sektörünün en hızlı gelişen segmenti olabilir.

### 3.2.5 Hesaplamalı Malzeme Mühendisliği

Hesaplamalı malzeme mühendisliği, bilgisayar simülasyonlarıyla ilgilenen bir malzeme bilimi dalıdır. Hesaplamalı malzeme bilimi, malzeme sistemini basitleştirmeye, bireysel birimlerin nasıl davrandığına ilişkin kuralları uygulamaya ve sonuçları işlemeye dayanır.

Hesaplamalı malzeme bilimi esasen 21'inci yüzyılın çığır açan teknolojilerinin bir meyvesidir. Yeni teknolojiler, geleneksel analiz araçlarının kabiliyetlerini artırırken, yapay zekâ ve gelişmiş algoritmalar söz konusu araçlardan elde edilen verilerden beklenen sonuçların elde edilmesini kolaylaştırmaktadır. Güçlü bilgisayarlarla entegre transmisyon elektron mikroskobu, taramalı prob mikroskobu, X-ışını (röntgen) ve nötron kırınımı ölçen çeşitli araçların<sup>[84]</sup> yanı sıra spektroskopi cihazları, hızlı görselleştirmeyi, örneğin malzemenin atom ölçeğinde incelenmesini mümkün kılmaktadır. Daha verimli araştırma tekniklerinin varlığı, yeni mühendislik malzemelerinin geliştirilmesini, tanıtılmasını ve yayınlattırılmasını kolaylaştırmaktadır.

Bu araçlar sayesinde bilgisayar simülasyonları, herhangi bir malzemenin küçük atom gruplarından

(moleküler dinamik) dalga fonksiyonlarına (yoğunluk fonksiyonel teorisi) ve büyük makro yapılara (sonlu elemanlar yöntemi) kadar her şeyi modelleyebilir. Bu modeller daha sonra gelişmiş algoritmaların yardımıyla simülasyonlara dönüştürülmektedir. Söz konusu simülasyonlar, daha geniş ve ilgili tüm tarafların erişebileceği platformlar hâline getirilmektedir. Son yıllarda bu çalışmalar laboratuvarlardan çıkarak ulusal ve hatta uluslararası girişimlere doğru ilerlemektedir. "Malzeme devrimi" olarak anılan bu dönüşüm dördüncü bölümde ele alınacaktır.

## 4. MALZEME DEVRİMİ

Malzeme bilimi, günümüzün ve geleceğin ihtiyaçlarını dikkate alarak yeni malzeme türlerinin keşfini amaçlayan bir bilim alanıdır. Yeni malzemelerin geliştirilmesi geleneksel olarak yavaş ve zahmetli bir süreç olmuştur. Araştırmacılar, istedikleri özelliklere sahip malzemeleri bulmak veya yenisini geliştirmek için yüzlerce, hatta binlerce malzemeyi tek tek denemek zorunda kalmıştır. Bu durum malzeme araştırmalarını, yıldırarak kadar pahalı hâle getirmektedir. Ancak son yıllarda malzeme geliştirme sürecinin eskisine kıyasla çok daha kısa sürede ve çok daha makul maliyette tamamlanmasını sağlayacak önemli adımlar atılmıştır.

### 4.1 Çığır Açan Teknolojiler Malzeme Sektörünü Şaha Kaldırabilir

Tarih boyunca yeni malzemelerin keşfi ve kullanılmaya başlanması büyük ekonomik ve sosyal değişimlere yol açmıştır ve bu açıdan değerlendirildiğinde tarihte pek çok kez malzeme devrimi yaşanmıştır.

21'inci yüzyılın devrimi ise yeni bir malzemenin keşfinden çok, yeni malzemelerin keşfi sürecinde yaşanmaktadır. Yeni malzemeler tarihte görülmemiş bir hızla keşfedilmeye, daha doğru deyişle "geliştirilmeye" başlanmıştır. Bunun temel nedeni, 21'inci yüzyıl teknolojilerinin malzeme bilimi alanında yaşanan ana sıkıntıları

hafifletmesidir. Yapay zekâ, makine öğrenmesi, derin öğrenme, bulut bilişim, bilgisayarlı modelleme ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin malzeme bilimi araştırmalarında uygulanmaya başlanmasıyla yeni malzemelerin geliştirilmesi süreci oldukça kısaldığı gibi, zahmetli ve yüksek maliyetli deneme-yanılma yöntemine başvurulmasına çoğu zaman gerek kalmamaktadır.

Malzeme geliştirilmesinde bilgisayarlı modelleme yönteminin kullanılması 2005 yılında ABD'nin MIT Üniversitesinde başlamıştır<sup>[85]</sup>. MIT'nin malzeme bilimi uzmanları, malzemelerin fiziki özelliklerinin simülasyonunu sağlayacak bir bilgisayar modellemesi geliştirmiştir. MIT tarafından modelleme daha sonra start-up şirketlere aktarılmış ve bunların aracılığıyla özel sektör şirketlerinin kullanımına sunulmuştur.

#### 4.2 ABD Malzemelerin “Gen Haritasını” Çıkararak Yeniden Liderliğe Oynuyor

ABD, imalat sanayiinde olduğu gibi malzeme endüstrisinde de dünya liderliğini Çin'e bırakmış olmakla birlikte, özellikle polimerler ve gelişmiş malzemeler sektörlerinde liderliğini sürdürmektedir.

ABD geleceğin malzemelerinde pazar liderliğini alabilmek için kapsamlı bir strateji yürütmektedir. Bu stratejinin merkezinde, ileri teknolojileri kullanarak malzeme inovasyonunu hızlandıracak bir malzeme platformunun oluşturulması yer almaktadır. Malzeme biliminde en önemli örgütlü adımlardan biri 2011 yılında ABD'de atılmıştır. Dönemin ABD Başkanı Barack Obama himayesinde, ABD'nin kamu kuruluşları, akademik camiası ve özel sektörü işbirliği ile “Malzeme Gemonu İnisiyatifi” (Material Genome Initiative -MGI)<sup>[86]</sup> kurulmuştur. Aralarında Enerji Bakanlığı, Savunma Bakanlığı, Ulusal Bilim Vakfı ve NASA'nın bulunduğu kuruluşların başlattığı inisiyatifin temel amacı, İnsan Genomu Projesi'ne<sup>[87]</sup> (1990-2003) benzer şekilde, yeni malzemelerin keşfi için mevcut malzemelerin temel özelliklerinin bir kataloğunu oluşturarak yeni malzemelerin geliştirilme süresini kısaltırken, geliştirme sürecinin maliyetini de azaltmaktır<sup>[88]</sup>. Söz konusu kuruluşlar, yeni malzeme keşfini hızlandırarak özel teşebbüsün inovasyonunun önünü açmak için milyonlarca dolarlık fon katkısı sağlamaktadır. Projenin ilk beş yılında (2011-2016) devlet kurumlarının sağladığı fon miktarının 500 milyon doları aştığı belirtilmektedir<sup>[88]</sup>.

MGI destekleri sayesinde giderek genişleyen bir malzeme veritabanı oluşturulduğu ve akademisyenlerden özel sektör araştırmacılarına kadar 2018 yılı itibarıyla 50.000'den fazla kullanıcıya sunulduğu belirtilmektedir<sup>[85]</sup>.

#### 4.3 Çin, Hâkimiyetini Sürdürmek İstiyor

Çin, dünyada tüm metallerin yüzde 60'ının üretildiği, işlendiği ve imalatta kullanıldığı ülke olup, endüstriyel malzemeler açısından özel bir yere sahiptir<sup>[89]</sup>. 1990'lı yıllarda metal üretiminde atılıma geçen Çin, daha 20 yıl bile geçmeden, 2010 yılında, dünyanın en büyük yapı ve altyapı metalleri üreticisi unvanını ABD'den almıştır<sup>[90]</sup>.

Dünyada yeşil dönüşüm için gerekli metallerin yüzde 90'ı Çin'de üretilmekte, işlenmekte ve kullanılmaktadır<sup>[89]</sup>. Bazı kaynaklara göre Çin, özellikle batarya ve

güneş enerjisi panellerinde kullanılan nadir elementlerin neredeyse yüzde 100'ünü üretmektedir<sup>[90]</sup>. Çin ayrıca özellikle Afrika ülkeleriyle yeşil teknoloji metalleri ve mineralleri için satın alma anlaşmaları imzalamıştır<sup>[89]</sup>. Öyle ki Çin'in kontrolünde olmayan kritik öneme sahip metal rezervleriyle, Çin dışında herhangi bir ülkenin yeşil dönüşümü gerçekleştirmesi güç gözükmektedir.

Çin günümüzde, teknoloji tabanlı seri üretim tüketim mallarının geliştirilmesi için kritik öneme sahip teknoloji metallerinin arz güvenliğini tümüyle sağlayan ilk ülkedir<sup>[90]</sup>.

Ancak Çin, metallerdeki hâkim konumuyla yetinmemiştir. 2040 yılına kadar Ay ve Mars'a insanlı seyahat düzenlemek, 2060 yılına kadar karbon nötrlüğü (yeşil dönüşüm) sağlamak, kendi ticari yolcu uçaklarını geliştirmek gibi iddialı hedefler belirlemiştir. Bunun için teknolojik atılımların yanı sıra malzeme biliminde ilerleme sağlanması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle malzeme bilimi araştırmalarına önemli ölçüde yatırım yapılmaktadır. 2008-2019 yılları arasında malzeme bilimi araştırmalarına sağlanan fonlar dört kat artmıştır. Aynı dönemde yeni malzemelere ilişkin bilimsel makaleler üç kat artışla 40.000'e yaklaşmıştır<sup>[91]</sup>. Çin, ABD'dekine benzer nitelikte bir malzeme katalogu oluşturarak yeni malzeme geliştirme hızını artırmak için harekete geçmiştir.

Çin'in bir ulusal malzeme veritabanı oluşturma çabaları, 1980'li yıllarda üniversiteler ve araştırma enstitülerinin devletin finansmanı ile 23 küçük ölçekli malzeme veritabanı oluşturmalarıyla başlamıştır. 2000 yılında ülke genelindeki 18 araştırma enstitüsü, iki adet ulusal malzeme veritabanı oluşturmak için harekete geçmiştir. Bu amaçla öncelikle malzemelere ilişkin veriler standart formatta toplanarak işlenir hâle getirilmiştir. 2016 yılında ise büyük veri teknolojisinin gelişmesiyle daha kapsamlı bir projenin startı verilmiştir. Çin tarafından 1 milyar yuan (yaklaşık 150 milyon dolar) bütçeyle 2016 yılında başlatılan MGE projesi, adından da anlaşılacağı üzere, ABD'nin MGI projesinin bir eşdeğerini oluşturmayı hedeflemektedir. Program bir yandan yeni malzeme araştırmalarını kolaylaştıracak bilgisayar modelleme ve simülasyonları üzerinde çalışırken, öte yandan malzeme kataloglarını oluşturmayı sürdürmektedir<sup>[91]</sup>.

Malzeme bilimi alanında yapılan yatırımlar sonucu Çin'in, nanomalzemeler, yoğun madde fiziği ve yapısal malzemeler alanında dünyada lider konuma yükseldiği ifade edilmektedir<sup>[91]</sup>. Örneğin Çin'de 30.000'den fazla grafen üreten şirket bulunmaktadır ve Çin, grafen işletmesi sayısında dünya lideridir<sup>[91]</sup>.

#### 4.4 Avrupa Eski Günlerini Arıyor

Birinci Sanayi Devrimi'nin beşiği Avrupa, günümüzde bir yandan Dördüncü Sanayi Devrimi'ne öte yandan küresel iklim değişikliğine karşı yeşil dönüşüme öncelik etmeye çalışmaktadır. Ancak Avrupa'nın her iki hedefe de ulaşma konusunda önemli bir dezavantajı bulunmaktadır. Dünyanın en eski ve en büyük metalürji şirketlerinden bazılarında sahip olmasına rağmen Avrupa, temel malzemeler, özellikle metallerde dışa bağımlı konuma gelmiştir. Dünya metal üretiminin yaklaşık yüzde 15'i Avrupa'da

yapılmaktadır. Ancak bu üretim miktarı Avrupa'nın ihtiyacını karşılamaktan uzaktır. AB, 2015 yılından bu yana net çelik ithalatçısıdır. Türkiye, çelikte AB'nin hem en büyük ithalat hem de ihracat partneridir. AB başta otomotiv endüstrisinde kullanılanlar olmak üzere bazı çelik ürünlerini Türkiye'ye ihraç etmekte, buna karşılık bazı temel çelik ürünlerini Türkiye'den ithal etmektedir. Birlik, ithalatının yaklaşık beşte birini Türkiye'den yapmaktadır<sup>[92]</sup>.

1980'lerden beri gerileyen Avrupa çelik endüstrisi, COVID-19 pandemisi sırasındaki büyük üretim kesintileri nedeniyle üretimi azaltmış, Ukrayna krizinin ardından artan enerji fiyatları, üretim maliyetlerinde büyük artışa neden olarak sektöre bir darbe daha vurmuştur.

AB'nin 2019'da açıkladığı Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) çerçevesinde yeşil dönüşüm için gerekli metallere de benzeri bir durum söz konusudur. Alüminyum, bakır, lityum, nikel ve çinko metallere AB ülkeleri büyük sıkıntı çekmektedir. Söz konusu metallere tedarikinde birlik üyeleri, dünyanın büyük bir kısmı gibi Çin'e bağımlı durumdadır<sup>[93]</sup>. Avrupa ülkeleri polimerler ve gelişmiş malzemeler konusunda dünyada iyi konumdadır. Ancak 2019'da ilan edilen AYM, polimer üretimi ve tüketiminden uzaklaşılmasını gerektirmektedir. Birlik lider konumu sürdürmek için Şubat 2022'de "Malzeme 2030 Manifestosu"<sup>[94]</sup>, Haziran 2022'de ise "Malzeme 2030 Yol Haritası"<sup>[95]</sup> kabul etmiştir.

Avrupa Malzeme 2030 Manifestosunda dört stratejik amaç belirlenmiştir:

- AB'nin teknoloji liderliğini korumak,
- Gelişmiş malzemeleri kullanarak çevre ayak izini azaltmak,
- Stratejik özerkliği sağlamak,
- Gelişmiş malzeme inovasyon pazarının lideri olmak.

Söz konusu manifesto, bir Avrupa malzeme ekosistemi oluşturulması için AYM'nin<sup>[96]</sup> uygulanmasından ortaya çıkacak yeni faaliyet alanlarının hepsinde yeni malzemelerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulacağını göstermektedir. AYM'de gelişmiş malzemeler alanında yapılacak araştırmalar için AB'nin bilimsel araştırma fonu Horizon Europe kapsamında destek verileceği belirtilmiş, program kapsamında çok sayıda gelişmiş malzeme araştırması için çağrıda bulunulmuştur. Bunlar arasında ABD'nin Malzeme Genomu İnisiyatifine benzer "Gelişmiş malzeme modellemesi ve karakterizasyonu" projesi de yer almaktadır.

#### 4.5 Japonya Yeniden Atağa Kalkmaya Hazırlanıyor

Doğal kaynakları sınırlı olmasına rağmen 2011 yılına kadar dünyanın en büyük ikinci, günümüzde ise dünyanın üçüncü büyük ekonomisi olan Japonya'nın başarısının sırlarından biri, gelişmiş malzeme alanındaki öncü konumudur. Japonya 1980'li yıllarda seramik süper iletkenler alanında ilk ticari ürünleri geliştirerek, büyük üstünlük kurmuş ve uzun süre dünyanın bir numaralı çip üreticisi olmuştur. Japonya, her ikisi de geliştiricilerine Nobel ödülü kazandırmış ışık yayan diyot (Light Emitting Diode) ve lityumiyon bataryalarının anavatanıdır. Japonya

ayrıca bugün elektrik depolamasında en iyi çözüm olarak görülen redoks akış bataryalarının da ilk kez ticari kullanıma sunulduğu ülkedir<sup>[97]</sup>. Japonya günümüzde 19 gelişmiş malzeme türünde küresel pazarda yüzde 100, 70 malzeme türünde ise yüzde 60'tan daha fazla paya sahiptir<sup>[98]</sup>. Gelişmiş malzeme ihracatı Japonya'nın ihracat gelirlerinin yüzde 20'sinden fazlasını oluşturmaktadır<sup>[99]</sup>.

Bununla birlikte, 2010'lu yıllarda Japonya, malzeme alanındaki öncülüğünü Çin, Güney Kore ve Tayvan gibi bölge ülkelerine kaptırmıştır. Bir dönemin çip lideri Japonya günümüzde ürettiği otomobillere çip bulmakta sıkıntı yaşamaktadır<sup>[100]</sup>. Japonya'nın dünya çip üretimindeki payı yüzde 10'a kadar gerilemiştir, ancak çip üretiminde kritik öneme sahip olan bazı özel kimyasallar ve silikon tabakalarının üretiminde hâlen dünya lideridir<sup>[101]</sup>. Öte yandan 2050 yılına kadar karbon nötrlüğe ulaşma hedefi belirleyen Japonya, yeşil stratejisinde kritik öneme sahip olan, öncüsü olduğu lityum iyon bataryaların üretiminde ihtiyaç duyulan metallere dışa, özellikle Çin'e bağımlı olmaktan rahatsızdır.

Bu nedenle Japonya Hükümeti bir taraftan ABD ile malzeme alanında, özellikle yarı iletkenlerde işbirliğine giderken<sup>[101]</sup>, bir taraftan da gelişmiş malzemeler alanında yeniden öncü konuma ulaşabilmek için yeni bir strateji benimsemiştir. Haziran 2020'de yayınlanan, "Malzeme İnovasyon Stratejisi"<sup>[98]</sup> dört ana amaç belirlemektedir:

- Malzeme araştırma ve geliştirme için veri merkezli bir platformun oluşturulması ve geliştirilmesi,
- Kilit malzeme teknolojilerinin ve uygulama alanlarının stratejik tanıtımı,
- Malzeme inovasyonu ekosisteminin oluşturulması,
- Malzeme yenilik kapasitesini desteklemek için yeteneklerin eğitimi ve sektörde istihdam edilmesi.

Söz konusu hedeflere ulaşmak için başvurulacak tüm yöntemlerde sürdürülebilirlik esasında hareket edilmesi gerektiği de Malzeme İnovasyon Stratejisi belgesinde belirtilmektedir.

Ülkenin malzeme alanındaki araştırmaları Japonya Ulusal Malzeme Bilimi Enstitüsü (NIMS) tarafından yönlendirilmektedir. Yıllık yaklaşık 20 milyon dolar bütçesi olan beş adet ulusal ve uluslararası gelişmiş malzeme araştırma merkezini yöneten NIMS, aynı zamanda ülkenin malzeme endüstrisinin ihtiyaç duyduğu insan kaynaklarının yetiştirilmesinde de büyük rol oynamaktadır<sup>[102]</sup>.

#### 4.6 Güney Kore, Çin Etkisinden Kurtulmaya Çalışıyor

Dünyanın en büyük 11'inci ekonomisi olan Güney Kore, başta metaller olmak üzere malzeme üretiminde dünyanın ilk sıralarında yer alan bir ülkedir. Dünyanın en büyük beşinci imalatçısı<sup>[103]</sup>, beşinci otomotiv üreticisi<sup>[104]</sup>, tonaj olarak en büyük ikinci gemi yapımcısı<sup>[105]</sup>, en büyük ikinci elektronik ürün ihracatçısı, en büyük üçüncü mobil cihazlar ihracatçısı<sup>[106]</sup> olan Güney Kore, bu sektörlere bağlı olarak malzeme üretiminde de üst sıralarda yer almaktadır. Güney Kore dünyada çelik üretiminde

beşinci<sup>[107]</sup>, yarı iletken üretiminde ikinci<sup>[108]</sup> ve biyomalzeme üretiminde ise ikinci en büyük ülkedir<sup>[109]</sup>.

Ancak, özellikle yeşil dönüşüm için gerekli metallerde dünyanın geri kalanı gibi Çin'e bağımlı olan Güney Kore, bu sorunu, gelişmiş malzeme araştırmalarına yönelerek aşmaya çalışmaktadır. Bu amaçla ilk kez 2017'de olmak üzere, dört yıllık "Gelişmiş Malzeme Stratejileri" hazırlanmaya başlanmış ve yürürlüğe konulmuştur. Söz konusu stratejinin ana hedefi, Güney Kore'yi gelişmiş malzemelerde dünyanın en ileri ülkesi hâline getirmektir.

Bu strateji, dört ana hedefte ifade edilmiştir:

- 2025 yılına kadar 100 yeni malzeme ve bileşen teknoloji geliştirmek ve dünyanın en büyük dört malzeme ve bileşen ihracatçısından biri olarak tanınmak,
- Sanayinin Dördüncü Sanayi Devrimi'ne hazır hâle gelmesi için yeniden yapılanma desteğinin artırılması,
- KOBİ'lerin verimliliğinin ve temel malzeme tedarikinde çevre dostu yöntemlerin geliştirilmesini desteklemek için malzeme ve bileşen endüstrisi için yüksek verimli, çevre dostu bir üretim sistemi oluşturmak,
- Malzeme ve bileşen şirketlerinin küresel rekabet gücünü artırmak.

Güney Kore Gelişmiş Malzeme Stratejisi, 2020 yılında yayınlanan Güney Kore Yeşil Mutabakatı bileşenleri arasında sayılmıştır. Bu kapsamda 2025 yılına kadar 61 milyar dolar harcanacak yeşil dönüşüm programlarından gelişmiş malzeme araştırmaları da pay alacaktır. Bir ulusal süper bilgisayar merkezine (NURION) sahip olan ülkenin, üzerinde durduğu bir program da, süper bilgisayarları kullanarak metal modellemeleri ve simülasyonları dijital platformu oluşturmaktır<sup>[110]</sup>.

Güney Kore'de araştırma ve geliştirme stratejileri, ulusal bir programla yukarıdan aşağıya doğru yönlendirilmektedir. Güney Kore Sanayi ve Ticaret Bakanlığına bağlı İleri Teknoloji Enstitüsü (KIAT) stratejinin uygulanmasından, Güney Kore Endüstriyel Teknoloji Enstitüsü

(KITECH) ise araştırmaların yönlendirilmesi ve finansmanından sorumludur. KITECH, üç araştırma merkezi ve altı şubesiyle doğrudan araştırmalar yürüttüğü gibi, küçük ve orta büyüklükteki işletmelere Ar-Ge fon desteği de sunmaktadır<sup>[111]</sup>. Yıllardır dünyada Ar-Ge'ye Gayri Safi Milli Hasılasından (GSMH) en çok pay ayıran ilk beş ülke arasında bulunan Güney Kore gelişmiş malzeme araştırmalarında da lider ülkelerden biridir<sup>[112]</sup>.

## 5. SONUÇ

Malzemeler insanlığın yaşamında öyle büyük öneme sahiptir ki, insani gelişimin büyük aşamalarına "Demir Çağı", "Tunç Çağı" gibi adlar verilmiştir. 20'nci yüzyılın son döneminin de pek çok uzman tarafından "Silikon Çağı" olarak anılması boşuna değildir. Çünkü silikon, hâlen dünyaya yön veren bilişim ve iletişim sektörünün temel malzemesidir. Aynı bilişim ve iletişim sektörü şimdi malzeme alanında büyük bir devrimin temel aracı olacaktır. Dünyanın belli başlı ekonomilerinde yürütülen çalışmalar başarıya ulaştığında dünya, eskiye kıyasla artık çok kısa sürede benzersiz özelliklere sahip, insan ve çevreye zararlı olmayan, geri dönüştürülebilir, dolayısıyla sürdürülebilir malzemelere çok daha kısa sürede sahip olacaktır.

Malzeme devrimi, bir yanda büyüme ve kalkınma baskısı, öte yanda küresel iklim değişikliği, okyanusların, denizlerin ve akarsuların kirlenmesi, doğal kaynakların tükenmesi ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi varoluşsal tehditlerin ortasında kalan insanlık ve uluslararası sistem için büyük bir umut ışığı olabilir. Çünkü yeni ve sürdürülebilir gelişmiş malzemelerin çeşidinin artması beraberinde inovasyonu, istihdamı ve sürdürülebilir büyümeyi getirecektir. Bu nedenle malzemede inovasyonu hızlandıracak çalışmalar yürütmek veya bu konuda uluslararası işbirliğine gitmek, tüm ülkeler için hem bir zorunluluk hem de büyük bir fırsattır. Bu konuda adım atmayan veya geç kalan ülkeleri ise savunmadan ekonomiye pek çok alanda ciddi tehditler beklemektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] C. M. Mody, Cyrus; D. Martin, Joseph; "MATERIALS SCIENCE", Carnegie Mellon University, <https://ips.library.cmu.edu/ETHOS/article/id/40/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [2] *History of Glass*, (2022), "Egyptian glass - Glass making in Egypt", <http://www.historyofglass.com/glass-invention/egyptian-glass/#:~:text=It%20is%20believed%20that%20the,%2Dsand%2C%20lime%20and%20soda>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [3] *Science Museum*, (2021), "BUILDING THE MODERN WORLD: CONCRETE AND OUR ENVIRONMENT", <https://www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories/everyday-wonders/building-modern-world-concrete-and-our-environment>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [4] *University of Oxford*, (2022), "Materials Science", (1 Eylül 2022), <https://www.ox.ac.uk/admissions/undergraduate/courses/course-listing/materials-science>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [5] *Bright Hub Engineering*, (2020), "What is Materials Engineering. History of Materials Engineering.", (20 Temmuz 2009), <https://www.brighthubengineering.com/structural-engineering/42738-materials-engineering/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [6] *CHEMEUROPE*, "Materials science", [https://www.chemeurope.com/en/encyclopedia/Materials\\_science.html](https://www.chemeurope.com/en/encyclopedia/Materials_science.html). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [7] *CHEMEUROPE*, "Josiah Willard Gibbs", [https://www.chemeurope.com/en/encyclopedia/Willard\\_Gibbs.html](https://www.chemeurope.com/en/encyclopedia/Willard_Gibbs.html). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [8] *Iowa State University*, "Composites", <https://www.nde-ed.org/Physics/Materials/Introduction/composites.xhtml>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [9] *Material-Properties*, "Classification of Materials", <https://material-properties.org/classification-of-materials/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)

- [10] Teh, Nee-Joo; (2020), "Global Expert Mission Advanced Materials in South Korea 2018", Innovate UK, (Aralık 2020), [https://ktn-uk.org/wp-content/uploads/2020/12/B3\\_7\\_KTN\\_SouthKorea\\_AdvancedMaterials.pdf](https://ktn-uk.org/wp-content/uploads/2020/12/B3_7_KTN_SouthKorea_AdvancedMaterials.pdf). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [11] *nanoteknoloji*, "Nanomalzemeler", <https://nanoteknoloji.org/nanomalzemeler/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [12] STM ThinkTech, (2019), "Grafen Teknolojisi ve Savunma Sanayiinde Kullanımı", (9 Eylül 2019), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/grafen-teknolojisi-ve-savunma-sanayiinde-kullanimi>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [13] Tuna Kayılı, Merve; (2020), "Akıllı Malzemelerin Kamu Yapılarında Uygulama Önerileri: Karabük Örneği", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Mart-Nisan 2020), <https://bit.ly/3eKW117>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [14] Aydıncak, İlke; "Akıllı Malzemeler ve Havaçılık", *Makine Mühendisleri Odası*, [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/91d584fced301b4\\_ek.pdf?dergi=48](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/91d584fced301b4_ek.pdf?dergi=48). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [15] Beşergil, Bilsen; "Malzemeler; Akıllı (smart materials)", <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/malzemeler-akill-smart-materials.html>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [16] *World Bank*, (2021), "Causes and consequences of metal price shocks", (Nisan 2021), <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/c5de1ea3b3276cf54e7a1dff4e95362b-0350012021/related/CMO-April-2021-special-focus.pdf>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [17] *Yahoo Finance*, (2022), "Metal Global Market Report 2022", (31 Mayıs 2022), <https://finance.yahoo.com/news/metal-global-market-report-2022-084000668.html>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [18] Hairy, Patrick; (2020), "Les métaux, vers une pénurie mondiale ?", *MetalBlog*, (22 Haziran 2020), <https://metalblog.ctif.com/2020/06/22/les-metiaux-vers-une-penurie-mondiale/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [19] S, Sonali; P, Amol; (2022), "Metal Recycling Market by Metal Type", *Allied Market Research*, (Şubat 2022), <https://www.alliedmarketresearch.com/metal-recycling-market>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [20] *Strategic Metal Invest*, "What are Strategic Metals", <https://strategicmetalsinvest.com/what-are-strategic-metals/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [21] *Globe Newswire*, (2022), "Global Steel Scrap Market to Reach 748.2 Million Metric Tons by 2026", (4 Temmuz 2022), <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/07/04/2473460/0/en/Global-Steel-Scrap-Market-to-Reach-748-2-Million-Metric-Tons-by-2026.html>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [22] *BBC News Türkçe*, (2018), "ABD'den Türkiye'ye yeni yaptırımlar: Çelikte gümrük vergisi artışı 13 Ağustos'ta yürürlüğe giriyor", (11 Ağustos 2018), <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-45154717>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [23] Egan, Matt; (2021), "Steel and lumber prices are sky-high. Lifting Trump's tariffs could help", *CNN*, (1 Haziran 2021), <https://edition.cnn.com/2021/06/01/business/lumber-steel-prices-tariffs-inflation/index.html>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [24] *Fast Markets*, (2022), "Ukraine crisis drives rush to secure supply in global metal markets", (8 Mart 2022), <https://www.fastmarkets.com/insights/ukraine-crisis-drives-rush-to-secure-supply-in-global-metal-markets>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [25] *STM ThinkTech*, (2020), "Nadir Toprak Elementleri", (16 Eylül 2020), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/nadir-toprak-elementleri>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [26] *Springer Link*, "Regional shifts in production and trade in the metal markets: a comparison of China, the EU, and the US", <https://link.springer.com/article/10.1007/s13563-022-00321-7/tables/1>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [27] *Fortune Business Insights*, "The global semiconductor market is projected to grow from \$573.44 billion in 2022 to \$ 1,380.79 billion by 2029, at a CAGR of 12.2% in forecast period, 2022-2029", <https://www.fortunebusinessinsights.com/semiconductor-market-102365>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [28] El Pro Cus, "What is Semiconductor Material : Types & Their Applications", <https://www.elprocus.com/semiconductor-material/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [29] K. Schnebele, Emily; (2022), "SILICON", *USGS Publication Warehouse*, <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-silicon.pdf>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [30] *STM ThinkTech*, (2021), "Global Çip Krizi ve Sonuçları", (12 Ağustos 2021), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/global-cip-kri-zi-ve-sonuclari>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [31] *Semiconductor Industry Association*, "2021 STATE OF THE U.S. SEMICONDUCTOR INDUSTRY", <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/09/2021-SIA-State-of-the-Industry-Report.pdf>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [32] REIFF, NATHAN; (2022), "10 Biggest Semiconductor Companies", *Investopedia*, (23 Ağustos 2022), <https://www.investopedia.com/articles/markets/012216/worlds-top-10-semiconductor-companies-tsmintc.asp>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [33] VERMA, RAHUL; (2022), "US companies seize worldwide semiconductor trade with over thirteen times more market share than China", *Business Insider*, (6 Nisan 2022), <https://www.businessinsider.in/tech/news/us-companies-seize-worldwide-semiconductor-trade-with-over-thirteen-times-more-market-share-than-china/articleshow/90682632.cms>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [34] Reklaitis, Victor; (2022), "Biden signs into law \$280 billion package for chips, scientific research — here's what's in it", *Market Watch*, (27 Temmuz 2022), <https://www.marketwatch.com/story/senate-passes-280-billion-bill-for-chips-scientific-research-in-64-33-vote-heres-whats-in-it-11658944681>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [35] Williams, Lara; (2022), "China to take lead in global semiconductor growth", *Investment Monitor*, (27 Temmuz 2022), <https://www.investmentmonitor.ai/analysis/china-lead-global-semiconductor-growth-2030>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [36] *STM ThinkTech*, (2020), "Dijital Çağın Geleceği Karanlık mı?", (24 Ağustos 2020), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/dijital-cagin-gelecegi-karanlik-mi>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [37] *Grand View Research*, "Ceramic Tiles Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Glazed, Porcelain), By Application (Wall, Floor), By End Use, By Region, And Segment Forecasts, 2022 – 2030", <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/ceramic-tiles-market>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [38] CCST, (2021), "DÜNYA SERAMİK KARO ÜRETİM VE TÜKETİMİ GENEL DEĞERLENDİRME", (Mart 2021), [https://ccst.org.tr/Uploads/arastirmaRaporlari\\_view/dunya-seramik-karo-uretimi-ve-tuketimi-genel-degerlendirme.pdf](https://ccst.org.tr/Uploads/arastirmaRaporlari_view/dunya-seramik-karo-uretimi-ve-tuketimi-genel-degerlendirme.pdf). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [39] K Tomer, Anil; (2020), "Bioceramics in Endodontics - A Review", *International Journal of Applied Dental Sciences*, <https://www.oraljournal.com/pdf/2020/vol6issue3/Part1/6-3-33-334.pdf>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [40] Bracamonte, L.; (2021), "Ceramic Armor", *ScienceDirect*, <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/ceramic-armor>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [41] Moore, Sarah; (2019), "Why the Technical Ceramics Industry is Growing in China", (18 Ekim 2019), <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=18609>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [42] Pekdemir, A. Devrim; (2019), "Teknik Seramikler", *Research Gate*, (Mart 2019), [https://www.researchgate.net/profile/A-Devrim-Pekdemir/publication/331993533\\_TEKNIK\\_SERAMIKLER/links/5c9a33c492851cf0ae98cd67/TEKNIK-SERAMIKLER.pdf](https://www.researchgate.net/profile/A-Devrim-Pekdemir/publication/331993533_TEKNIK_SERAMIKLER/links/5c9a33c492851cf0ae98cd67/TEKNIK-SERAMIKLER.pdf). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [43] ISO, "Rethinking the future of plastics" <https://www.iso.org/news/ref2792-1.html>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)



- [44] *Statista*, “Distribution of global plastic materials production in 2020, by region”, <https://www.statista.com/statistics/281126/global-plastics-production-share-of-various-countries-and-regions/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [45] *Future Marketing Insights*, “Plastic Market Outlook (2022-2032)”, <https://bit.ly/3yRTYZL>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [46] *OECD*, “Improving Plastics Management: Trends, policy responses, and the role of international co-operation and trade”, <https://www.oecd.org/environment/waste/policy-highlights-improving-plastics-management.pdf>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [47] *United Nations Environment Programme*, (2021), “From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution”, (21 Ekim 2021), <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [48] *National Geographic*, “Great Pacific Garbage Patch”, <https://bit.ly/3eFW6wy>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [49] Myers, Steven-Lee, (2020), “China’s Pledge to Be Carbon Neutral by 2060: What It Means”, *New York Times*, (23 Eylül 2020), <https://www.nytimes.com/2020/09/23/world/asia/china-climate-change.html>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [50] Baykal, Aleyna; (2022), “Kompozit Nedir? Kompozit Çeşitleri Nelerdir?”, *Taze Mühendis*, (26 Ocak 2022), <https://tazemuhendis.com/kompozit-nedir-kompozit-cesitleri-nelerdir/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [51] *Turkchem*, (2016), “Kompozit Nedir? Kompozit Malzemeler ve Özellikleri”, (22 Ağustos 2016), <https://www.turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [52] *Metallurjik*, (2016), “Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması”, (17 Kasım 2016), <https://www.metallurjik.com/kompozit-malzemelerin-siniflandirilmasi#more-556>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [53] *AZO Materials*, (2013), “Composite Metal Matrix Materials”, (14 Ağustos 2013), <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9843>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [54] *L&L Special*, (2018), “What Are Ceramic Matrix Composites?”, (30 Ağustos 2018), <https://lffurnace.com/blog/what-are-ceramic-matrix-composites/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [55] *AZO Cleantech*, (2019), “Applications of Fiber-Reinforced Plastic”, (19 Ağustos 2019), <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=917>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [56] R.M.Jamir, Mohammad; (2018), “Sustainable Composites for Aerospace Applications”, Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering”, *ScienceDirect*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081021316000086>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [57] *Polymerexpert*, (2018), “Applications of Polymer Matrix Composites”, (Aralık 2018), <https://polymerexpert.biz/industries/173-composites#:~:text=Polymer%20matrix%20composites%20are%20used,tools%2C%20wheelchairs%2C%20and%20prosthetics>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [58] *Precedence Research*, “Composites Market (By Resin: Thermoplastic, Thermosetting; By Product: Carbon Fiber, Glass Fiber; By Manufacturing Process: Injection Molding Process, Resin Transfer Molding Process, Pultrusion Process, Layup Process, Filament Winding Process, Compression Molding Process; End use: Electrical & Electronics, Automotive & Transportation, Wind Energy, Aerospace & Defense, Pipes & Tanks, Construction & Infrastructure, Other) - Global Market Size, Trends Analysis, Segment Forecasts, Regional Outlook 2022 – 2030”, <https://www.precedenceresearch.com/composites-market>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [59] *Statista*, “Glass fiber demand worldwide from 2011 to 2021”, <https://www.statista.com/statistics/759404/worldwide-glass-fiber-demand-and-capacity/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [60] *Business Wire*, (2017), “Global Fiberglass Building Products Market - Analysis, Technologies & Forecasts to 2021 - Driven by Urbanization & Increased Investments in Infrastructure Development - Research and Markets”, (26 Mayıs 2017), <https://bwnews.pr/3eOOxUi>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [61] *Markets and Markets*, “Carbon Fiber Market by Raw Material” [https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/carbon-fiber-396.html?gclid=CjwKCAjwpKyYBhB7EiwAU2Hn2XQ0VYSuWQlhZk83RUIpFT3wmdZtv40SM5JZ19iP67RafMbHiK5AXhoCDVQQAvD\\_BwE](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/carbon-fiber-396.html?gclid=CjwKCAjwpKyYBhB7EiwAU2Hn2XQ0VYSuWQlhZk83RUIpFT3wmdZtv40SM5JZ19iP67RafMbHiK5AXhoCDVQQAvD_BwE). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [62] *TTGV*, (2020), “Kompozit Malzeme Teknolojilerinin Endüstriyel Üretimde Yaratacağı Etkiler”, (Ekim 2020), <https://www.ttgvg.org.tr/tur/images/publications/604ce3d56185d.pdf>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [63] *Maximize Market Research*, “Advanced Materials Market: Global Industry Analysis and Forecast (2021-2027) by Material Type, End-Use Industry, and Region”, <https://www.maximizemarket-research.com/market-report/global-advanced-materials-market/55856/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [64] *Markets and Markets*, “Advanced Ceramics Market by Material”, <https://bit.ly/3UtTKjP>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [65] *Globe Newswire*, (2022), “Lightweight Materials Market Size to Surpass USD 278.9 Bn by 2030”, (14 Ağustos 2022), <https://bit.ly/3WtwjJ3>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [66] *Grand View Research*, “Nanomaterials Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Gold, Silver, Iron, Copper), By Application (Aerospace, Automotive, Medical), By Region, And Segment Forecasts, 2021 – 2028”, <https://www.grandview-research.com/industry-analysis/nanotechnology-and-nanomaterials-market>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [67] *Grand View Research*, “Graphene Market Size, Share & Trends Analysis Report By Material (Graphene Oxide, Graphene Nanoplatelets), By Application (Electronics, Composites), By Region (APAC, Europe), And Segment Forecasts, 2021 – 2028”, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/graphene-industry>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [68] *Globe Newswire*, (2022), “Global Biomaterials Market to Reach Value of \$372.7 Billion by 2028 | Demand For Biomaterials in the Healthcare Industry will Grow by 53% Over the Next Five Years”, (25 Ağustos 2022), <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/08/25/2504830/0/en/Global-Biomaterials-Market-to-Reach-Value-of-372-7-Billion-by-2028-Demand-For-Biomaterials-in-the-Healthcare-Industry-will-Grow-by-53-Over-the-Next-Five-Years.html>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [69] ALBERT, HELEN; (2021), “Biomaterials Are Making the Building Industry More Sustainable”, *Labiotech*, (14 Nisan 2021), <https://www.labiotech.eu/in-depth/biomaterials-building-industry-sustainable/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [70] *Start Us*, “Discover 5 Top Biomaterials impacting Automotive Companies”, <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/discover-5-top-biomaterials-impacting-automotive-companies/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [71] *Emergen Research*, (2022), “Smart Materials Market, By Product (Piezoelectric Materials, Electrochromic Materials, Phase Change Materials), By Application (Transducer, Structural Materials), By End-Use (Industrial, Consumer Electronics), and By Region Forecast to 2030”, (Temmuz 2022), <https://www.emergenresearch.com/industry-report/smart-materials-market>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [72] Jorgensen, Barbara; (2019), “Aerospace & Defense Expected to Drive Smart-Materials Demand”, *EETimes*, (4 Ağustos 2019), <https://www.eetimes.com/aerospace-defense-expected-to-drive-smart-materials-demand/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [73] *STM ThinkTech*, (2022), “Sera Gazı Salımını Azaltmada Yeni Teknoloji ve İnovasyonlar”, (6 Nisan 2022), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/sera-gazi-salimini-azaltmada-yeni-teknoloji-ve-inovasyonlar>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)

- [74] *Research Gate*, “Fig 7 - available via license: CC BY”, [https://www.researchgate.net/figure/The-average-cost-of-nanopowders-USD-kg-3-41\\_fig5\\_334158756](https://www.researchgate.net/figure/The-average-cost-of-nanopowders-USD-kg-3-41_fig5_334158756). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [75] Mundy, Jo; “Sustainability of Biomaterials in Construction”, [https://www.bre.co.uk/filelibrary/biocompass/Life\\_Cycle\\_Assessment\\_of\\_Biomaterials\\_in\\_Construction\\_\(Final\).docx#:~:text=Biomaterials%20have%20the%20potential%20to,Biodegradability%20at%20end%20of%20life](https://www.bre.co.uk/filelibrary/biocompass/Life_Cycle_Assessment_of_Biomaterials_in_Construction_(Final).docx#:~:text=Biomaterials%20have%20the%20potential%20to,Biodegradability%20at%20end%20of%20life). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [76] *International Energy Agency*, “Electricity”, <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [77] Martins, Rodrigo; (2021), “Materials as activator of future global science and technology challenges”, *ScienceDirect*, (Aralık 2021), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007121001763>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [78] *ASM International*, (2012), “Introduction and Uses of Lightweight Materials”, [https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/05355G\\_Sample.pdf](https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/05355G_Sample.pdf). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [79] *Energy.com*, “Lightweight Materials for Cars and Trucks”, <https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [80] *McKinsey*, “Lightweight, heavy impact”, [https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client\\_service/automotive%20and%20assembly/pdfs/lightweight\\_heavy\\_impact.ashx](https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/automotive%20and%20assembly/pdfs/lightweight_heavy_impact.ashx). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [81] *Airbus*, “A350 Family”, <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a350xwb-family.html>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [82] H, Zeming; (2017), “Additive manufacturing technologies applied in materials engineering”, *Pulsus*, (11 Eylül 2017), <https://www.pulsus.com/scholarly-articles/additive-manufacturing-technologies-applied-in-materials-engineering-4062.html>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [83] *Material Innovation Initiative*, (2022), “2021 STATE OF THE INDUSTRY REPORT: NEXT-GEN MATERIALS”, [https://www.materialinnovation.org/\\_files/ugd/858509\\_f2f76b597a0548799f85e00fd3269942.pdf](https://www.materialinnovation.org/_files/ugd/858509_f2f76b597a0548799f85e00fd3269942.pdf). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [84] *Anka Analitik*, “X-Işını Kırınımı”, <https://ankaanalitik.com.tr/x-isi-ni-kirinimi>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [85] SATELL, GREG; “Materials Science May Be the Most Important Technology of the Next Decade. Here’s Why”, *Inc.*, <https://www.inc.com/greg-satell/materials-science-may-be-most-important-technology-of-next-decade-heres-why.html>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [86] *Materials Genome Initiative*, “About the Materials Genome Initiative”, <https://www.mgi.gov/about>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [87] *STM ThinkTech*, (2020), “Gen Biliminin Geleceği”, (9 Ekim 2020), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/gen-biliminin-gelecegi>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [88] KALIL, THOMAS; WHITMAN, LLOYD; (2016), “The Materials Genome Initiative: The First Five Years”, *Obama White House*, (2 Ağustos 2016), <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2016/08/01/materials-genome-initiative-first-five-years>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [89] *Investor Intel*, (2022), “China owns the Green revolution with falling prices of critical technology minerals”, (26 Temmuz 2022), <https://investorintel.com/market-analysis/market-analysis-intel/china-owns-the-green-revolution-with-falling-prices-of-critical-technology-minerals/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [90] *Investor Intel*, (2022), “How the demand for Critical Materials for consumer goods has already made China the center of the Earth.”, (18 Mart 2022), <https://investorintel.com/market-analysis/market-analysis-intel/jack-lifton-on-how-the-demand-for-critical-materials-for-consumer-goods-has-made-china-the-center-of-the-earth/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [91] O’Meara, Sarah; (2019), “Materials science is helping to transform China into a high-tech economy”, *Nature*, (20 Mart 2019), <https://www.nature.com/articles/d41586-019-00885-5>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [92] *International Trade Administration*, (2019), “Steel Imports Report: European Union”, (Ağustos 2019), <https://legacy.trade.gov/steel/countries/pdfs/imports-eu.pdf>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [93] Gregoir, Liesbet; (2022), “Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe’s raw materials challenge”, *Ku Leuven*, (Nisan 2022), <https://drive.google.com/file/d/1Ds0qyiQ4EgaseC3d-2BH17sxHtj60hZeh/view>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [94] *Research and Innovation*, (2022), “MATERIALS 2030 MANIFESTO Systemic Approach of Advanced Materials for Prosperity – A 2030 Perspective”, (7 Şubat 2022), [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/document/download/fa1f3f35-7cac-49c7-a212-366879848f4c\\_en?filename=advanced-materials-2030-manifesto.pdf](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/document/download/fa1f3f35-7cac-49c7-a212-366879848f4c_en?filename=advanced-materials-2030-manifesto.pdf). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [95] *European Commission*, “Materials 2030 Roadmap”, (Haziran 2022), <https://prod5.assets-cdn.io/event/7788/assets/8344205751-b86a937e20.pdf>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [96] *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: 19 Ekim 2022)
- [97] WATANABE, SHIN; NAKAMURA, SHIMPEI; (2022), “China and Japan duel over ‘liquid’ batteries for green energy”, *Asia Nikkei*, (11 Ağustos 2022), <https://asia.nikkei.com/Business/Technology/China-and-Japan-duel-over-liquid-batteries-for-green-energy>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [98] *Cabinet Office, Government of Japan*, (2021), “Materials Innovation Strategy” Council for Integrated Innovation Strategy”, (27 Nisan 2021), [https://www8.cao.go.jp/cstp/material/material\\_honbun\\_en.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/material/material_honbun_en.pdf). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [99] *Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan*, (2020), “Toward Government Strategies for Enhancing Material Innovation Power (Report Compiled by the Strategy Preparation Meeting)”, (2 Haziran 2020), [https://www.mext.go.jp/content/20200818-mxt\\_nanozai-000007028\\_11.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200818-mxt_nanozai-000007028_11.pdf). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [100] TAKEZAWA, SHIHO; (2022), “Japan’s carmakers endured a tough 2021. Now it’s down to chips.”, *Japan Times*, (10 Şubat 2022), <https://www.japantimes.co.jp/news/2022/02/10/business/corporate-business/japan-carmakers-chips/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [101] Dooley, Ben; (2022), “Japan Once Led the World in Microchips. Now, It’s Racing to Catch Up.”, *New York Times*, (4 Ağustos 2022), <https://www.nytimes.com/2022/08/04/business/japan-semiconductors-chips.html>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [102] *National Institute for Materials Science*, (2022), “Summary of National Institute for Materials Science”, (1 Ekim 2022), <https://www.nims.go.jp/eng/nims/profile.html>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [103] Richter, Felix; (2020), “These are the top 10 manufacturing countries in the world”, *World Economic Forum*, (25 Şubat 2020), <https://www.weforum.org/agenda/2020/02/countries-manufacturing-trade-exports-economics/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [104] *World Population Review*, “Car Production by Country 2022”, <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/car-production-by-country>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [105] *Statista*, “Largest shipbuilding nations in 2021, based on deliveries”, <https://www.statista.com/statistics/263895/shipbuilding-nations-worldwide-by-cgt/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [106] SINGH, HEMANT; (2022), “List of Top mobile manufacturing countries in the world”, *Jagran Josh*, (22 Temmuz 2022), <https://www.jagranjosh.com/general-knowledge/list-of-top-mobile-manufacturing-countries-in-the-world-1594643135-1>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [107] *World Steel Association*, (2022), “December 2021 crude steel production and 2021 global crude steel production to-

- tals”, (25 Ocak 2022), <https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2022/december-2021-crude-steel-production-and-2021-global-totals/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [108] *Shiphub*, “World’s top semiconductor producers”, <https://bit.ly/3yMSYpp>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [109] *Research Gate*, “Table 3 - uploaded by Rudramuni Hiremath”, [https://www.researchgate.net/figure/Activity-Index-All-of-Top-Ten-Countries-in-Biomaterials\\_tbl2\\_315783909#:~:text=RCAP%20value%20of%20China%2C%20South,the%20field%20of%20Materials%20Science](https://www.researchgate.net/figure/Activity-Index-All-of-Top-Ten-Countries-in-Biomaterials_tbl2_315783909#:~:text=RCAP%20value%20of%20China%2C%20South,the%20field%20of%20Materials%20Science). (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [110] Farber, Rob; (2019), “Supercomputer Advances Material Science in South Korea”, (8 Şubat 2019), <https://www.rdworltonline.com/supercomputer-advances-material-science-in-south-korea/>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [111] *Kitech*, <https://eng.kitech.re.kr/introduction/page5.php>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)
- [112] Fleming, Sean; (2021), “These are the global innovation powerhouses of 2021”, *World Economic Forum*, (6 Ekim 2021), <https://www.weforum.org/agenda/2021/10/global-innovation-powerhouses-2021/#:~:text=The%20top%20three%20countries%20for,Switzerland%2C%20Sweden%20and%20the%20US>. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2022)

## EK 1

- (1) Çelik üretiminde diğer elementler ve mineraller de kullanıldığı için tablodaki demir ve çelik üretim miktarı, demir cevheri üretiminden fazladır. <https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/world-steel-in-figures-2022/>
- (2) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-iron-ore.pdf>
- (3) Alüminyum, boksit madeninin rafine edilmesinden elde edilmektedir. <https://www.statista.com/statistics/264964/production-of-bauxite/>
- (4) <https://international-aluminium.org/statistics/alumina-production/>
- (5) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-bauxite-alumina.pdf>
- (6) Manganezveyamangançelik üretiminde kullanılan a metal bileşimdir. <https://www.statista.com/statistics/1244066/global-manganese-production-volume-by-country/#:~:text=The%20total%20global%20production%20volume,element%20and%20a%20transition%20metal>
- (7) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-manganese.pdf>
- (8) <https://www.statista.com/statistics/598320/mine-production-of-chromium-worldwide/#:~:text=In%202021%2C%20the%20global%20mine,of%2023.7%20million%20metric%20tons>
- (9) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-chromium.pdf>
- (10) <https://www.mining-technology.com/comment/global-copper-output-grow/>
- (11) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-copper.pdf>
- (12) <https://www.statista.com/statistics/264882/world-mine-production-of-zinc/>
- (13) <https://www.statista.com/statistics/264878/world-production-of-zinc-metal/>
- (14) <https://www.statista.com/statistics/759972/mine-production-titanium-minerals-worldwide-by-country/>
- (15) Titan’ın elde edildiği “ilmenit” minerali rezervidir. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-titanium-minerals.pdf>
- (16) <https://www.miningreview.com/base-metals/global-lead-production-to-recover-by-4-6-in-2021/>
- (17) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-lead.pdf>
- (18) Tahminidir. <https://stainless-steel-world.net/wp-content/uploads/sites/3/2022/01/The-World-Nickel-Market.pdf>
- (19) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-nickel.pdf>
- (20) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-zirconium-hafnium.pdf>
- (21) [https://docs.publicnow.com/viewDoc?hash\\_primary=054B7C3B7BB9B7412099E879F6A4D2E3F44D94A9](https://docs.publicnow.com/viewDoc?hash_primary=054B7C3B7BB9B7412099E879F6A4D2E3F44D94A9)
- (22) <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/03/21/2407013/0/en/Magnesium-Market-Report-Global-Production-Drops-5-Due-to-Energy-Crisis-in-China-IndexBox.html>
- (23) Magnezyum çeşitli bileşik ve minerallerden elde edilmektedir. Söz konusu kaynaklar neredeyse sınırsız magnezyum kaynağı yaratmaktadır ve bunlar dünya geneline yayılmıştır. Çip krizi ile birlikte neredeyse
- Çin’in tekelinde bulunan Magnezyum üretiminin 2021 yılında yarıdan fazla kısıtlanması, özellikle otomotiv üretiminde kullanılan bazı metal aksamaların sertleştirilmesi ve hafifletilmesinde ilave bir krize yol açmıştır. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-magnesium-metal.pdf>
- (24) Dünya stronsiyum rezervinin 1 milyar ton civarında olduğu tahmin edilmekle birlikte ülkelerin net rezervlerine ilişkin kayıt bulunmamaktadır. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-strontium.pdf>
- (25) <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx>
- (26) Bizmut genellikle tungsten gibi madenlerin yan ürünü olarak çıkarıldığı için rezerv bilgisi yoktur, <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-bismuth.pdf>
- (27) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-mercury.pdf>
- (28) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-beryllium.pdf>
- (29) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-gallium.pdf>
- (30) [https://www.kitco.com/news/2022-02-18/Global-mine-tin-production-up-in-2021-as-consumer-demand-rebounded-report.html#:~:text=\(Kitco%20News\)%20%2D%20In%202021,to%202020%20\(264%2C000%20tonnes\)](https://www.kitco.com/news/2022-02-18/Global-mine-tin-production-up-in-2021-as-consumer-demand-rebounded-report.html#:~:text=(Kitco%20News)%20%2D%20In%202021,to%202020%20(264%2C000%20tonnes))
- (31) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-tin.pdf>
- (32) <https://investingnews.com/daily/resource-investing/industrial-metals-investing/molybdenum-investing/top-molybdenum-producers/>
- (33) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-molybdenum.pdf>
- (34) Lantanyum, seryum, praseodimyum, neodimyum, prometyum, samaryum, evropiyum, gadolinyum, terbiyum, disprosyum, holmiyum, erbiyum, tulyum, iterbiyum ve lutesyum nadir toprak elementlerinin başlıcalarıdır. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/rare-earth-investing/rare-earth-metal-production/>
- (35) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-rare-earths.pdf>
- (36) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-cobalt.pdf>
- (37) Dünya rezervleri platin grubu metaller (Paladyum, platin, iridyum, osmiyum, rodyum ve rutenyum) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-platinum.pdf>
- (38) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-vanadium.pdf>
- (39) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-lithium.pdf>
- (40) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-tungsten.pdf>
- (41) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-niobium.pdf>
- (42) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-rhenium.pdf>
- (43) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-cadmium.pdf>
- (44) Çin 2021’de en çok gümüş üreten ikinci ülke olmuştur. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-silver.pdf>
- (45) Çin, 2021’de dünyada en çok altın üreten ülke olmuştur. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-gold.pdf>
- (46) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-tantalum.pdf>
- (47) <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-indium.pdf>



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

