



# SIZDIRMAZLIK TEKNOLOJİLERİNDE KOMPOZİT MALZEMELER İLE TASARIM

*DESIGN WITH COMPOSITE MATERIALS IN SEALING TECHNOLOGIES*

**Öz Erman Arusan  
Ezgi Özgünerge Falay  
Burcu Çalışkanelli**

## ÖZET

Malzeme teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte, kompozit malzemeler sanayi ve teknoloji uygulamalarında gittikçe artan oranlarda kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit malzemeler havacılık ve uzay, robot, kimya, inşaat ve yapı, otomotiv, elektrik-elektronik, gıda ve tarım sektörleri gibi çok çeşitli alanlarda kullanılabilir. Son yıllarda hızla gelişen malzeme teknolojisi, diğer sektörlerde olduğu gibi sızdırmazlık sektöründe de kompozit özellikteki mühendislik plastiklerinin yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Bu bildiride, mühendislik plastiklerinin gelişimi ve sızdırmazlık teknolojilerinde kullanım alanları ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir. Ayrıca, sızdırmazlık sektöründe kullanılan mühendislik plastiği türlerinin mekanik ve tribolojik özellikleri ile sızdırmazlık performansları karşılaştırılıp, avantajlarına ve dezavantajlarına göre kullanım alanlarında yarattıkları farklar belirtilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit malzemeler, Sızdırmazlık elemanları, Mühendislik plastikleri.

## ABSTRACT

Developments in material technology, composite materials have been increasingly used in industry and technology applications. Composite materials can be used in a wide variety of fields such as, aerospace, robotics, chemical, construction, automotive, electrical-electronics, food and agriculture industries. The rapidly developing material technology in recent years has made it possible to use engineering plastics widely in the sealing sector as well as in other sectors. In this paper, detailed information is given about the development of engineering plastics and their usage areas in sealing technologies. In addition, the mechanical and tribological properties and sealing performances of the engineering plastic types are compared, and the differences in the usage areas according to their advantages and disadvantages are specified.

**Key Words:** Composite materials, Sealing elements, Engineering plastics.



## 1. GİRİŞ

Yaşantımızı kolaylaştıran çoğu teknolojinin gelişimi, uygun malzemelerin üretilebilirliği ile yakından ilişkilidir. Modern dünyada hızla değişen ihtiyaçları karşılayabilmek için her geçen gün yeni malzemeler tasarlanıp üretilmektedir. Endüstriyel ürün tasarımlarında demir, çelik, nanoteknoloji ürünleri, polimerler, seramikler gibi birçok farklı malzeme kullanılmaktadır. Bir ürünün malzeme seçimi aşamasında ürünün görsel özelliklerinin yanında, korozyon dayanımı, mukavemeti, elektrik iletkenliği gibi teknik özellikleri de büyük önem taşımaktadır. Teknik özellikleri açısından ön plana çıkan yeni ve özellikleri iyileştirilmiş ileri malzemeler ilk başlarda yalnızca mühendislik alanında kullanılsa da zamanla mimari, sanat ve teknolojik ürün tasarımı alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır. Malzeme alanındaki bu gelişmeler günümüzde farklı sektörlerde uygulama alanları bularak araştırma geliştirme yatırımları yapan firmalar tarafından verimli, dayanıklı, çevreye daha az zararlı, geri dönüştürülebilir malzeme tasarımları için değerlendirilmektedir.

Kompozit malzemeler ortam koşullarına dayanıklı, esnek ve bağlayıcı özelliğe sahip polimer esaslı matris reçine ile yüksek mekanik dayanımlı takviye edici cam, karbon ve/veya kevlar gibi elyafların bir araya getirilmesi ile elde edilen üstün nitelikli bir mühendislik malzemesidir. Kompozit malzemeler, son 25-30 yıl içerisinde önemli gelişmeler göstererek günlük yaşantımızda ve endüstrinin hemen her alanında kullanılan malzemeler haline gelmiştir. Endüstriyel ürün tasarımlarında yaygın olarak polimerik kompozit malzemeler olan elastomerler, termosetler ve termoplastikler kullanılmaktadır. Polimer malzemelerin gelişimi plastiğin özelliklerine sahip doğal malzemelerin (kauçuk, nitroselüloz, kolajen, galalit vb.) kullanımıyla başlamış ve ardından kimyasal olarak değiştirilmiş doğal malzemelerin gelişimiyle devam etmiştir. Son olarak bundan 100 yıl önce **modern plastikler** olarak tanıdığımız tamamen sentetik malzemeler geliştirilmeye başlanmıştır. Polivinil klorür (PVC) ilk olarak 1838-1872 yılları arasında polimerleştirilmiş ve Leo Baekeland'ın 1907 yılında ilk gerçek sentetik seri üretim plastiğini (bakalit) yaratmasıyla önemli bir dönüm noktası yaşanarak pek çok sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Polimerler, yapıları gereği çelik ve diğer konvansiyonel malzemelerden farklıdır. Polimerlerin düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci, düşük sürtünme katsayısı ve seri üretilebilme imkânı gibi avantajlı özellikleri kullanım alanlarını giderek genişletmektedir. Birçok üstün özelliğinin yanı sıra mekanik özellikler açısından değerlendirildiğinde sertlik, dayanıklılık gibi özelliklerinin düşük olması polimer malzemelerin güçlendirilmesi ve geliştirilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmasına neden olmuştur [1; 2; 3].

Yıllar içerisinde değişen sektörel beklenti ve ihtiyaçlar, kompozitler gibi farklı fonksiyonel özellikleri bir arada sunabilen yenilikçi malzeme çözümlerinin endüstriyel ürün tasarımlarında kullanılmasını sağlamıştır. Malzeme teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, kompozit malzemeler sanayi ve teknoloji uygulamalarında gittikçe artan oranlarda kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit malzemeler sahip oldukları karakteristik özellikleri, düşük üretim maliyetleri, kolay şekil almaları ve amaca uygun üretilebilmeleri nedeniyle havacılık ve uzay, robot, kimya, inşaat ve yapı, otomotiv, elektrik-elektronik, gıda ve tarım sektörleri gibi pek çok alanda verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Kompozitler üzerindeki bilimsel çalışmalar da günümüzde yoğun bir şekilde devam etmektedir [4; 8]. Kompozit malzemelere yönelik araştırma faaliyetleri sadece kompozit üreticisi firmalarda değil, kullanım durumuna göre diğer firmalarda da sıkça yapılmaktadır. Bu faaliyetler sayesinde kompozit malzemeler ile tasarım sektöründe yeni çözümler üretmek ve geliştirme alternatifleri sağlamak mümkün olabilmektedir.

Sızdırmazlık elemanları çok çeşitli ekipmanlarda kullanılan, hareketli veya hareketsiz makine parçaları arasında her türlü maddenin sızmasını önleyen elemanlardır. Sızdırmazlık elemanları, otomotivden havacılık sanayisine, sıhhi tesisattan petrokimya endüstrisine kadar her türlü makine ve iletim sisteminin en önemli parçalarındandır [1; 3]. Bu kadar yaygın kullanım alanına sahip olan sızdırmazlık elemanlarının malzemeleri ülkemizde genellikle ithal olarak temin edilmektedir. Çoğu zaman basit bir bileşen olarak görülen sızdırmazlık elemanlarının ömrü, kalitesi ve güvenilirliği sistemin genel verimliliği üzerinde büyük etkiler yaratır. Görünüş olarak birbirine çok benzeyen sızdırmazlık elemanları, ölçüm toleransı, kesit farkı, malzeme kalitesindeki farklılık gibi özelliklerden dolayı uygulamada beklenmeyen ve istenmeyen kötü sonuçlar yaratabilir. Plastik türevlerinin sızdırmazlık elemanları üretimi için kullanılması ilk kez 1937 yılında halka şeklinde olan ve kauçuktan imal edilen, kanallara tam ölçüsünde oturan O-ringlerin üretimi ile başlamıştır. Bununla bir silindir içinde kayan pistonun sızdırmazlığı güvenilir bir şekilde sağlanmıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte son yıllarda kompozit özellikteki mühendislik plastikleri sızdırmazlık teknolojilerinde de kullanılmaya başlanmıştır [1; 4].

## 2. KOMPOZİT MALZEMELER

### 2.1. Genel Özellikler ve Kullanım Alanları

İlk insanların kullandıkları malzemeler sınırlı sayıda olup, taş, ahşap, kil, deri gibi doğal özellikte olan malzemelerdir. Zamanla, doğal olanlardan daha üstün özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç duyulmuş ve bu malzemeleri üretmek için yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bir malzemenin özelliklerinin ısı işlem veya başka maddelerin eklenmesi yöntemleriyle değiştirilebileceğinin keşfedilmesi ile modern ve karmaşık toplumumuzun ihtiyaçlarını karşılayan oldukça gelişmiş özelliklerde on binlerce farklı malzeme üretilmiştir. Malzemeler kimyasal yapılarına göre metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler olmak üzere dört temel kategoride gruplandırılmaktadır. Son yıllarda geliştirilmeye başlanmış olan kompozit malzemeler grubu nanokompozitler, biyokompozitler ve hibrit kompozitlerden oluşmaktadır.

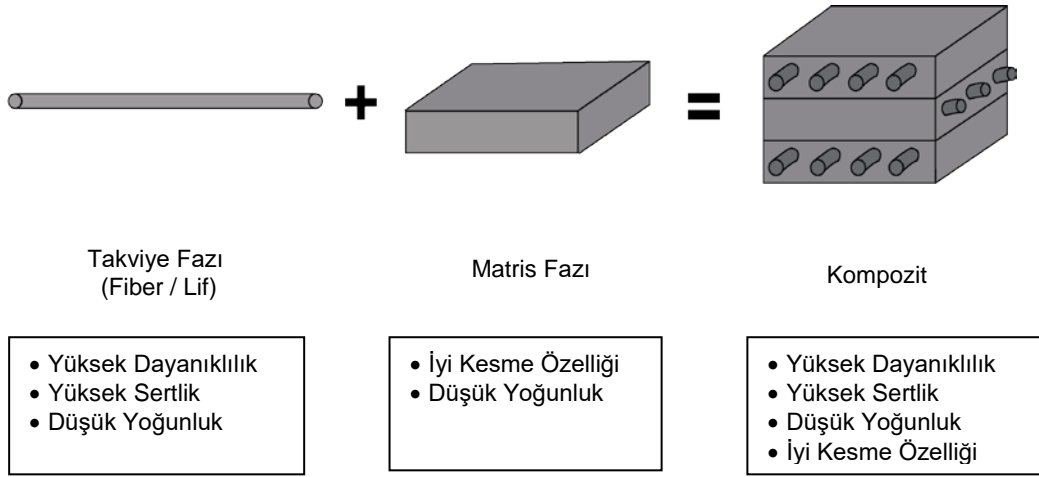
**Metaller**, kendine özgü parlaklığı olan, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahip, şekillendirilmeye yatkın, katyon oluşturma eğilimi yüksek, oksijenle birleşerek çoğunlukla bazik oksitler veren elementlerdir. Metaller, kendi aralarında soy metaller (altın, gümüş, platin) ve soy olmayan metaller (demir, çinko, alüminyum) şeklinde sınıflandırılabilir. Yarı metal olan elementler (silisyum, bor, antimon, arsenik) iyi metal özelliği göstermez. Bu elementler hem metal hem de ametallik özellik gösterir.

**Seramikler**, metalik ve metalik olmayan elementler arasındaki bileşiklerdir. Yaygın olarak kullanılan seramik malzemeler arasında alüminyum oksit (alümina-  $Al_2O_3$ ), silikon dioksit (silika-  $SiO_2$ ), silikon karbür ( $SiC$ ), silikon nitrür ( $Si_3N_4$ ) bulunur. Yaygın kullanım örnekleri; sırlı veya sırsız camsı olmayan çömlükler, porselenler ve tuğlalardır. Seramik malzemeler düşük elektrik iletkenliklerine sahip oldukları için ısı ve elektriğin geçişine karşı yalıtıcıdır ve yüksek sıcaklıklara, zorlu ortamlara, metallere ve polimerlere göre daha dayanıklıdır. Seramikler, mekanik açıdan sert ve güçlü malzemeler olmasına rağmen kırılmaya karşı oldukça hassastır.

**Polimerler**, piyasada bilinen plastik ve kauçuk malzemeleri içermektedir. Birçoğu, kimyasal olarak karbon, hidrojen ve diğer metalik olmayan elementlerin (O, N ve Si) birleşiminden oluşan organik bileşiklerdir. Genellikle karbon atomlarından oluşan uzun zincirli çok büyük moleküler yapıya sahiptirler. Yaygın olarak bilinen polimer türleri; polietilen (PE), poliheksametilen adipamat (nylon), polivinil klorür (PVC), polikarbonat (PC), polistiren (PS) ve silikon kauçuktur. Polimerlerin mekanik özellikleri metal ve seramik malzemelerden farklıdır. Polimerler diğer malzeme türleri kadar sert ve güçlü değildir. Polimerlerin çoğu son derece sünek ve esnektir, bu nedenle kolayca karmaşık şekillere dönüştürülebilir. Polimerler, kimyasal olarak inert malzemeler olup, çoğu ortamda reaktif değildir. Polimerlerin belli sıcaklıklarda yumuşama ve/veya bozulma eğilimi göstermeleri en önemli dezavantajlarıdır.

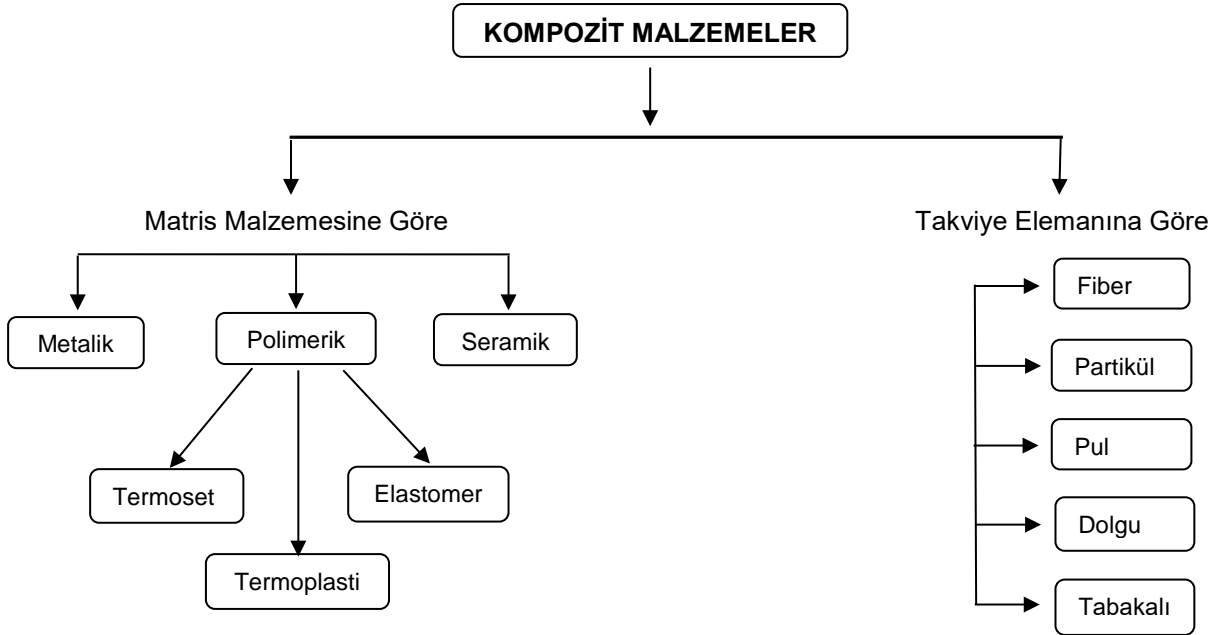
**Kompozit malzemeler**, iki veya daha fazla malzeme grubundan (metaller, seramikler ve polimerler) oluşmakta olup, malzeme bilimi açısından değerlendirildiğinde yeni ve ileri teknoloji malzemeler olarak adlandırılmaktadır. İki veya daha fazla malzemenin fiziksel bazı özelliklerinin (hafiflik, dayanım, esneklik, vb.) geliştirilmesi amacıyla birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde birleştirilmesiyle elde edilen ve meydana geldiği malzemelerden farklı özelliklere sahip yeni tür malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit malzemeler, tek bir malzeme grubu tarafından gösterilemeyen özelliklerin kombinasyonunu elde etmek ve bileşen malzemelerin en iyi özelliklerini bir araya getirmek için geliştirilmiş özel malzemelerdir. Çok sayıda kompozit türü, farklı metal, seramik ve polimer birleşimlerinden elde edilmektedir [4].

Kompozit malzemeler; matris fazı ve takviye fazı olmak üzere iki farklı bileşenden meydana gelmektedir (Şekil 2.1). Matris fazı ana faz olup; sürekli, esnektir, takviye malzemesini bir arada tutar ve uygulanan yükün homojen dağıtılmasını sağlar. Takviye faz genellikle matristen daha kuvvetlidir, matris içinde sürekli veya rastgele şekilde düzenlenmiş halde bulunabilir. Takviye fazının malzemesi fiber, partikül veya pul formunda olabilir. Takviye faz ve matris fazı arasındaki etkileşim kuvvetli kimyasal bağlardan zayıf sürtünme kuvvetlerine kadar farklı şekillerde olabilir [8].



Şekil 2.1 Kompozitlerin yapısı [4]

Matris faz bir polimer, metal, seramik, karbon veya biyopolimer olabilir. Polimer ve metal matrisler kısmen esneyebilir yapılardır, oysa seramik matrisler kırılındırlar ve takviye malzemeler kullanılarak kırılmaya karşı dayanıklı hale getirilmeleri gerekir. Kompozitler, matris malzemesine göre metalik, polimerik ve seramik kompozitler olarak, takviye elemanına göre ise fiber, partikül, pul, dolgu ve tabakalı kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Son birkaç yılda malzeme bilimi ve mühendisliği alanında kaydedilen muazzam ilerlemelere bağlı olarak, daha karmaşık yapıdaki özel malzemeler olan kompozit malzemeler geliştirilmeye başlanmıştır. Amerika'da 1930'lu yıllarda cam elyafın bulunması ile modern kompozitin üretimi başlamış ve cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler dünya pazarında yerini almıştır. Günümüzün ve geleceğin malzemesi olan kompozitler, sundukları yenilikçi çözümler ile malzeme dünyasında önemli bir etki yaratmıştır. Kompozitler, havacılık, uzay, inşaat, otomotiv, enerji, savunma, elektrik-elektronik, denizcilik ve kimya dâhil olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Özellikleri gereği dayanıklı, esnek ve hafif tasarımlara imkân sağlayan kompozit malzemeler, ulaşım araçlarında, kentsel alt ve üst yapılarda, elektronik donanımlarda, fiber optik sistemlerde, yüksek enerji yoğunluklu pillerde, lazerlerde, manyetik bilgi depolama alanlarında ve sıvı kristal ekranlar (LCD'ler) gibi yüksek teknolojik cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [8].

## 2.2. Kompozit Malzeme Türleri

### 2.2.1. Polimer Matris Kompozitler

Polimer matrisli kompozitler (PMK) matris olarak bir polimer, takviye ortamı olarak da fiberler, dolgular ve/veya diğer takviye malzemeleri içeren kompozitlerdir. PMK'lerde matris malzemesi olarak termosetler ve termoplastikler, katkı malzemesi olarak ise; cam fiberler, bor fiberler, alümina fiberler, karbon fiberler ve kevlar fiberler kullanılmaktadır. Kompozit malzemenin özellikleri, kullanılan matris ve takviye elemanının özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. PMK'ler, içerisinde kullanılan katkı malzemesi ve polimer matrisine göre sınıflandırılmaktadır. Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir [12].

**Tablo 2.1** Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri [12]

Özellik	Birim	Grafit / Epoksi	Cam / Epoksi	Çelik	Alüminyum
Özgül Ağırlık	-	1.6	1.8	7.8	2.6
Young Modülü	GPa	181	38.6	206.8	68.95
Maksimum Çekme Dayanımı	MPa	150	1062	648.1	234.4
Termal Genleşme Katsayısı	$\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$	0.02	8.6	11.7	23

Polimer matrisli kompozitler, kompozit uygulamalarında en çok kullanılan kompozit türüdür. PMK'lerin gerilme mukavemeti, kırılma / çatlama dayanıklılığı, aşınma ve korozyon dirençleri yüksektir. PMK'lerin en önemli dezavantajları termal dirençlerinin düşük ve termal genleşmelerinin yüksek olmasıdır [7]. PMK'ler hafiflikleri, korozyon dirençleri, yanma dayanıklılıkları ve kolay montaj olabilmeleri gibi nedenlerle çok çeşitli alanlarda tercih edilen malzemelerdir. PMK'lerin başlıca kullanım alanları ise, korozyon direnci sebebiyle denizcilik uygulamaları, hafiflikleri sebebiyle spor malzemeleri ile otomotiv ve diğer taşımacılık endüstrileri, yanma dayanıklılıkları sebebiyle otomotiv iç dekorasyon alanları olarak gösterilebilir [8].

### 2.2.2. Seramik Matris Kompozitler

Seramik matrisli kompozitler (SMK'ler), karbon veya silisyum karbür gibi liflerle güçlendirilmiş alümina kalsiyum, alümina silikat gibi seramik bir matrise sahip olan kompozitlerdir. SMK'lerin avantajları arasında yüksek mukavemet, sertlik, yüksek servis sıcaklığı limitleri, kimyasal eylemsizlik ve düşük yoğunluk sayılabilir. Bununla birlikte, seramikler kendi başlarına düşük kırılma tokluğuna sahiptir. Çekme veya darbe yüklemesi altında ise dayanıksızdırlar. Seramiklerin silisyum karbür veya karbon gibi fiberlerle güçlendirilmesi, kompozitin kademeli olarak bozulmasına neden olduğu için kırılma tokluğunu artırır. Fiber ile seramik matrisin bu birleşimi, yüksek mekanik özelliklerin ve aşırı servis sıcaklıklarının istendiği uygulamalar için SMK'leri daha avantajlı hale getirir. Seramik matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir [12].

**Tablo 2.2** Seramik matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri [12]

Özellik	Birim	SiC / LAS	SiC / CAS	Çelik	Alüminyum
Özgül Ağırlık	-	2.1	2.5	7.8	2.6
Young Modülü	GPa	89.63	121	206.8	68.95
Maksimum Çekme Dayanımı	MPa	496.4	400	648.1	234.4
Termal Genleşme Katsayısı	$\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$	3.6	4.5	11.7	23

Seramik matrisli kompozitler, metal ve polimer matrisli kompozitlerin kullanılmadığı yüksek sıcaklıktaki uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Özellikle yüksek mukavemetleri ve düşük yoğunlukları göz önüne alındığında SMK'lerin kullanımı daha avantajlı olmaktadır. SMK'ler genellikle oksitleyici ve yüksek sıcaklıklı ortamlarda kesici takım uçlarında kullanılmaktadır. Textron Systems Corporation, geleceğin uçak motorları için SCS™ monofilament fiber takviyeli seramikler geliştirmiştir [12].

### 2.2.3. Metal Matris Kompozitler

Metal matrisli kompozitler (MMK), metal bir matrise sahip olan kompozitlerdir. Bu tür kompozitlerde kullanılan matrislere alüminyum, magnezyum, titanyum, fiberlere ise karbon ve silisyum karbür örnek olarak verilebilir. Metaller, tasarım ihtiyacını karşılamak üzere kendi özelliklerini artırmak veya azaltmak için başka bir malzeme ile takviye edilir. MMK'lerin polimer matrisli kompozitlere göre çeşitli avantajları vardır. Bu avantajlar; elastikiyet, servis sıcaklığı, su tutma kapasitesi, elektrik ve termal iletkenlik, aşınma ve yorulma direnç değerlerinin daha yüksek olmasıdır. MMK'lerin mekanik özellikleri Tablo 2.3'te verilmiştir.

**Tablo 2.3** Metal matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri [12]

Özellik	Birim	SiC / Alüminyum	Grafit / Alüminyum	Çelik	Alüminyum
Özgül Ağırlık	-	2.6	2.2	7.8	2.6
Young Modülü	GPa	117.2	124.1	206.8	68.95
Maksimum Çekme Dayanımı	MPa	1206	448.2	648.1	234.4
Termal Genleşme Katsayısı	$\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$	12.4	18	11.7	23

Metal matrisli kompozitler esas olarak çelik ve alüminyum gibi monolitik metallere göre avantajlar sağlamak için kullanılır. Bu avantajlar arasında, alüminyum ve titanyum gibi düşük yoğunluklu metalleri güçlendirerek daha yüksek özgül mukavemet, grafit gibi düşük termal genleşme katsayılarına sahip liflerle takviye ederek daha düşük termal genleşme katsayıları ve yüksek sıcaklıklarda mukavemet gibi özelliklerin korunması yer alır [12]. Bu malzemeler daha çok uzay ve havacılık alanı uygulamalarında kullanılmakta olup uzay teleskobu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları kullanım yerlerine örnek olarak verilebilir [9].

#### 2.2.4. Nanokompozitler

Nanokompozitler, kendini oluşturan fazlardan birinin 100 nanometreden küçük bir, iki veya üç boyuta sahip olduğu kompozitlerdir. Bir nanokompozit, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip en az biri nanomalzeme olan iki veya daha fazla malzemeden oluşur. Nanokompozit malzemeler, kendilerini oluşturan malzemelerin özelliklerini büyük ölçüde aşan başka özellikler sergilemek üzere tasarlanmıştır. Genellikle nanotüpler, nanolifler veya nanopartiküller ile takviye edilirler. Polimerik, metalik veya seramik bir matrise sahip olmalarına rağmen, bir polimer matris ile birlikte kullanımları daha yaygındır [14].

Nanokompozitlerin mekanik, elektriksel, termal ve manyetik özellikleri yapılarına farklı malzemeler eklenerek iyileştirilebilmektedir. Böylece nanokompozit malzeme çeşitli uygulamalar için kullanıma uygun hale getirilmektedir. Bu nedenle nanokompozitler, son yıllarda hızla büyüyen çok işlevli malzemeler grubunda yer almaktadır. Nanoparçacık ile matris arasındaki moleküler düzeydeki etkileşimler ve çok yüksek nanoparçacık - matris ara yüzey alanının varlığı, nanokompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemede önemli bir rol oynamaktadır. Nanokompozitler tıbbi uygulamalar, elektrik-elektronik ve otomotiv sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sürtünmeye ve yüksek sıcaklıklara dayanma özelliklerinden dolayı havacılık ve uzay sektöründeki uygulamalarda da tercih edilmektedir [15].

#### 2.2.5. Biyokompozitler

Biyokompozitler, biyobozunur polimer bir matris ve biyobozunur takviye malzemelerden oluşan kompozitlerdir. Biyobozunur malzemeler, canlı organizmalar tarafından parçalanabilen malzemelerdir. Biyokompozitlerde kullanılan dolgu malzemeleri genellikle biyofiberlerdir. Biyokompozitler, biyolojik olarak parçalanabilir, yenilenebilir, ucuz ve doğal kaynaklardır. Bu özelliklerinden dolayı biyokompozitlerin çevre dostu olduğu söylenebilir. Günümüzde polimer bilimi ve teknolojisi yenilenebilir kaynaklardan yapılan biyokompozitlere odaklanmış durumdadır [14].

#### 2.2.6. Hibrit Kompozitler

Hibrit kompozitler, iki veya daha fazla farklı fiberin (karbon ve cam, karbon ve kevlar gibi) bir yapı içinde bir araya getirilmesiyle elde edilen kompozitlerdir. Hibrit kompozitler, konvensiyonel kompozitlerin üstün fiziksel ve mekanik özellikleri ile mikrofil kompozitlerin düzgün yüzey oluşumlarını bir araya getirmek için geliştirilmiş kompozit türleridir. Dolgu malzemesi genellikle bir mikrofil ve tanecik boyutu yaklaşık olarak 0,4 - 1 µm arasında olan küçük dolgulardır. Hibrit kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri konvensiyonel kompozitlere kıyasla daha gelişmiştir [13].

### 2.3. Dünya’da ve Türkiye’de Kompozit Kullanımı

Kompozit sektörü ülkemizde, dünyadaki küresel ekonomik gelişmeler paralelinde ve diğer sektörlerde olduğu gibi hızlı bir şekilde gelişmektedir. Türkiye’deki sektörel büyüme oranı, Avrupa ve Dünya’da görülen büyüme oranının üzerindedir. Geçtiğimiz yıllarda dönemin ekonomik durumuna bağlı olarak Türkiye’de %8-%12 arası bir büyüme görülmüştür. Kompozit sektörü, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de ikame malzemelerden pay alarak büyümektedir. Ülkemizdeki kompozit malzeme pazarı günümüzde 1,5 milyar Avro ve 280.000 tonluk bir hacime ulaşmıştır. Kompozitler katma değeri yüksek ürünler olup, geleceğin malzemesi oldukları için kompozit sektörü ülkemiz açısından çok önemli bir sektördür. Dünya’da bir **“Gelişmişlik Kriteri”** olarak kabul edilen kişi başına düşen kompozit tüketim miktarlarına bakıldığında, Dünya’da 4-10 kg arasında bir dağılım izleyen bu miktar ülkemizde 3,5 kg düzeyindedir (Tablo 2.4). Dünyada 6,9 €/kg olan ortalama fiyat seviyesi ise ülkemizde 5,3 €/kg düzeyindedir [10].

**Tablo 2.4** Ülkelere göre kişi başına düşen kompozit tüketim miktarları [10]

Ülke	Kişi Başına Düşen Kompozit Tüketim Miktarı (kg)
Benelux	10.600
Almanya	9.100
ABD	7.100
Japonya	5.850
İtalya	4.700
İskandinav ülkeleri	4.400
Avusturya	4.000
Fransa	3.900
Türkiye	3.400
Yunanistan	3.250
İspanya / Portekiz	3.100
Birleşik Krallık / İrlanda	2.300

**Kaynak:** 11. Kalkınma Planı Kimya Sanayii Çalışma Grubu Raporu, 2022

Ülkemizde kompozitlerin kullanımı, 1950'li yıllarda liflerle takviye edilmiş sentetik reçinelerin endüstride kullanılması ile başlamıştır. 1960'lı yıllarda seri üretimi yapılmış ilk yerli otomobil olan "ANADOL"un kaportası fiberglas malzemesinden üretilmiştir. Bu yıllarda su deposu, küvet, sıvı tankları, çatı levhaları, küçük boy deniz tekneleri gibi ürünlerin imalatında, basit üretim teknikleri kullanılarak başlayan kompozit malzeme üretimi ilerleyen yıllarda daha hızlı ve kaliteli üretim prosesleri kullanılarak devam etmiştir. Günümüzde ise havacılık, gemicilik, enerji gibi birçok sektörde kullanılmak üzere çok farklı kompozit malzemeler ve ürünler geliştirilmiştir [11].

Kompozit malzemeler; yüksek mukavemetleri, hafif olmaları, tasarım esneklikleri, elektrik yalıtımları, paslanmaz ve aşınmaz olmaları nedeniyle uzun süreli hizmet ömrüne sahiptir. Bunların yanı sıra geleneksel malzemelerden farklı olarak tek parçada kalıplama yapılabilme, uzun süre bakım gerektirmeden kullanılabilme, daha az maliyet ile üretilebilme ve çeşitli sektörlerde başarılı olarak kullanılabilme özelliklerinden dolayı ülkemizde ve dünyada çelik, alüminyum ve metal alaşımlı geleneksel malzemelere göre çok daha fazla tercih edilmektedir.

Kompozit malzemeler dünyada en yaygın olarak taşımacılık-otomotiv (%28), yapı-inşaat (%19) ve elektrik-elektronik (%16) sektörlerinde kullanılmaktadır. Ülkemizde bu sıralama boru-tank (%36), taşımacılık-otomotiv (%24) ve yapı-inşaat (%21) sektörleri olarak sıralanmaktadır (Tablo 2.5). Son yıllarda ülkemizde ileri teknoloji ürünlerin üretiminin artması ile birlikte, özellikle rüzgâr enerjisi, uzay, elektrik-elektronik ve havacılık sektörlerinde daha fazla miktarda kompozit malzeme kullanımının gerçekleşmesi beklenmektedir. Ülkemizde yüksek büyüme potansiyeline sahip diğer kompozit uygulamaları; karbon elyafı, boru, seracılık, otomotiv, taşımacılık, güneş enerjisi panelleri, inşaat donatıları, mühendislik plastikleri ve denizcilik uygulamalarıdır [10].



**Tablo 2.5** Sektörlerin kompozit malzeme kullanım oranları [10]

Sektörler	Dünya (%)	Avrupa (%)	Türkiye (%)
Taşımacılık-otomotiv	28	30	24
Yapı-inşaat	19	20	21
Elektrik-elektronik	16	14	5
Boru-altyapı	15	13,5	36
Tüketici malları	8	3	3
Rüzgâr gücü	7	12	7
Denizcilik	3	5	2
Savunma ve havacılık	0,5	0,5	-
Diğer	3,5	2	2

**Kaynak:** 11. Kalkınma Planı Kimya Sanayii Çalışma Grubu Raporu, 2022

Ülkemizde kompozitler en çok termoset reçine üretimi (polyester, vinilester, epoksi), termoplastik reçine üretimi (poliamid-PA, polipropilen-PP, poliftalamid-PPA, Polibutilenterefitalat-PBT), elyafı (cam, karbon, kevlar) tekstil üretimi ve cam elyafı üretimi için kullanılmaktadır. Kompozit endüstrisinde takviye malzemesi olarak en yaygın kullanılan cam elyafı %87, karbon elyafı ise %11 oranında ülkemizde üretilmektedir. Reçinelerden ise doymamış polyester reçinesi ve vinilester reçine ülkemizde üretilirken, epoksi reçineler ile termoplastik reçineler ithal edilmektedir [10].

Bugün tüm dünyada gerek havacılık ve uzay sektöründe gerekse de otomotiv sektöründe enerji ve fosil yakıt kullanımının azalması, kompozit malzemelerin bu sektörlerde penetrasyonu ile doğru orantılı olarak gelişmiştir. Bu kapsamda, kompozit malzemelerin ülkemizde daha etkin ve yaygın kullanımının gerçekleşmesi ile birlikte Türkiye’de kompozit üretiminin katma değeri yüksek sektörlerde de büyümesi mümkün olacaktır. İleri kompozitlerin ülkemizde yaygın olarak üretilmesi ile birlikte Avrupa ülkelerine olduğu gibi tüm dünyaya da ihracat potansiyeli artacaktır.

Küresel kompozit pazarının büyüklüğü 2019 yılı itibariyle 88,4 milyar dolara ulaşmıştır. COVID-19 salgınının neden olduğu küresel ekonomik krize bağlı olarak kompozit pazarının 2020’de 74 milyar dolara gerilemesine karşın tedarik zincirlerindeki toparlanma ile talebin yeniden canlanarak 2025 yılına kadar 112,8 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Hızla büyüyen kompozit pazarında otomotiv ve ulaştırma sektörünün öncü olması ve pazar payı bakımından üstünlüğünü koruması beklenmektedir [16].

### 3. SIZDIRMAZLIK TEKNOLOJİLERİNDE KOMPOZİT MALZEMELERİN KULLANIMI

Sıvı veya gaz akışkanlar ile çalışan hareketli veya hareketsiz sistemlerde yüzeyler arasında yağ, toz, su gibi kirlenmelerin geçişini engellemek amacı ile özel olarak tasarlanan ekipmanlar sızdırmazlık elemanı olarak adlandırılmaktadır. Temel olarak kullanılan sızdırmazlık elemanları; boğaz keçeleri, piston keçeleri, toz keçeleri, simetrik keçeler, statik keçeler, yataklama elemanları ve destek ringleridir. Çoğu zaman basit bir bileşen olarak görülen sızdırmazlık elemanları her türlü makine ve iletim sisteminin en önemli parçalarından biri olup ömrü, kalitesi, dayanıklılığı ve güvenilirliği sistemlerin doğru çalışması için yüksek önem taşımaktadır. Sızdırmazlık elemanları, makine, madencilik, tarım, iş makineleri, otomotiv, su pompaları, gazlı amortisörler, metalurji, gıda işleme, denizcilik, savunma, demir-çelik, petrokimya olmak üzere hemen her sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Son 30-40 yılda malzeme teknolojisinde yaşanan gelişmeler, sızdırmazlık elemanları performansında da oldukça çarpıcı gelişmeler yaratmıştır. Kompozit malzemeler, gelişen teknolojiyle birlikte son yıllarda sızdırmazlık teknolojilerinde de kullanılmaya başlanmış olup kullanım alanları çok geniş bir yelpazeye yayılmıştır. Sızdırmazlık elemanlarının kullanıldığı sektörler kompozit malzemelerin yaygın

olarak kullanıldığı sektörler ile aynı olduğu için kompozit malzemeler sızdırmazlık sektöründe de ihtiyaçlar doğrultusunda sıklıkla kullanılmaktadır [1; 2; 5].

Kompozit malzemelerin tribolojik (sürtünme, yağlama, aşınma, hafiflik) özelliklerinin çok iyi olması sızdırmazlık elemanı hammaddesi olarak tercih edilmesinde etkili olmaktadır. Sızdırmazlık elemanı üretiminde hammadde olarak en çok tercih edilen kompozitler polimer matrisli olanlardır. Kullanılan matris malzemesinin türüne göre sızdırmazlık elemanının özellikleri değişmektedir. Sızdırmazlık elemanının kullanılacağı yerin koşulları göz önünde bulundurularak Tablo 3.1'de verilen polimer türleri arasından matris malzemesi seçimi yapılabilir.

**Tablo 3.1** Matris malzemelerinin özellikleri

Matris	Polimer Adı	Matris Özellikleri
Termosetler	Polyester (PET)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mekanik ve kimyasal dayanımları iyidir.</li><li>• Yüksek sertlik ve dayanıklılık özelliği gösterir.</li><li>• Su emilimi çok düşüktür.</li><li>• Kayma sürtünmesi ve kayma aşınması değerleri düşüktür.</li><li>• 70°C'ye kadar olan sıcaklıklarda hidrolize karşı dirençlidir.</li><li>• Alkol içeren ortamlarla temasa uygun değildir.</li><li>• Asitlere karşı iyi kimyasal direnç gösterir.</li><li>• İyi yapışma ve kaynaklanma kabiliyetine sahiptir.</li></ul>
	Epoksi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yapışma gücü yüksektir, suya ve yüksek ısıya dayanıklıdır.</li><li>• Suya, aside, yağa ve kimyasallara direnci çok iyidir, zamanla direnç özelliğini yitirmez, uzun ömürlüdür.</li><li>• Mükemmel mekanik dayanıklılığa sahiptir.</li><li>• Islak iken 140°C, kuru iken 220°C'ye kadar ısıl dayanıma sahiptir.</li><li>• Yüksek elektrik direncine sahiptir.</li><li>• Güçlü temizlik malzemelerine karşı dayanıklıdır.</li><li>• Kararma yapmaz ve kolay temizlenir.</li></ul>
	Fenol Formaldehit (PF)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sert, esnemeyen, kırılğan özelliktedir.</li><li>• Bazı özelliklerinin iyileştirilmesi için dolgu maddeleri ilave edilir.</li><li>• İzolasyon özellikleri çok iyidir ve yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır.</li><li>• Kimyasal maddelere ve zayıf asitlere dayanıklıdır, su emilimi çok düşüktür.</li></ul>
Termoplastikler	Poliüretan (PU)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüksek basınçlarda çalışabilen sızdırmazlık elemanlarında kullanılır.</li><li>• Polar solventlere, aromatlara, fren sıvılarına, asit ve alkalilere karşı direnci zayıf olup, mineral yağlara, greslere, alifatik hidrokarbonlara, hava ve ozona karşı oldukça dayanıklıdır.</li><li>• -30°C ile 100°C sıcaklık aralığında kopma, yırtılma ve aşınmaya karşı oldukça dirençlidir.</li></ul>
	Politetrafloroetilen (PTFE)	<ul style="list-style-type: none"><li>• -250°C gibi düşük sıcaklıklarda bile fiziksel özelliklerini kaybetmeden çalışabilir.</li><li>• Erimiş alkali metaller ve yüksek reaksiyon gösteren kimyasallardan (florin hariç) etkilenmez.</li><li>• Yüksek kimyasal dirence sahiptir ve çözücülerde çözünmez.</li><li>• Kimyasala ve ısıya yüksek dayanım gerektiren çalışma koşullarında kullanılır.</li></ul>

**Tablo 3.1** Matris malzemelerinin özellikleri (devamı)

Matris	Polimer Adı	Matris Özellikleri
Termoplastikler	Poliamid (PA 6)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüksek ve düşük sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilen bir mühendislik plastiğidir.</li><li>• Sert, rijit, kaygan ve iyi mekanik dayanıma sahip bir polimerdir.</li><li>• Kimyasal direnci orta seviyededir, bazı asit ve bazlara karşı direnç gösterir.</li><li>• Yüksek su emme özelliği vardır. Bu nedenle su ile temas edilmesi gereken alanlarda pek tercih edilmez.</li><li>• Yüksek elektrik yalıtım özelliği sayesinde elektrik malzemelerinde yoğun olarak kullanılmaktadır.</li></ul>
	Poliamid (PA 6/12)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Poliamid türlerinin içinde en iyi mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olanıdır.</li><li>• Düşük su emme ve nem tutma özelliği olan bir naylondur. Bu özelliğinden dolayı PA 6 veya PA 6/6'dan daha az sünekliğe sahiptir.</li><li>• Dişliler, kamalar, inşaat yapıları ve elektrik bileşenleri dâhil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda kullanılır.</li><li>• Yağlayıcı takviyesi ile aşınma direnci ve fiziksel özellikleri iyileştirilebilir.</li><li>• Boyutsal kararlılık, yüksek ısı, nem ve kimyasal direnç gerektiren uygulamalarda kullanılmak için mükemmel bir malzemedir.</li></ul>
	Poliamid (PA 11&12)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Otomotiv, petrol ve gaz endüstrisi gibi endüstrilerde yaygın olarak kullanılan %100 biyolojik bazlı bir poliamid türüdür.</li><li>• Üstün mekanik özelliklere sahiptir.</li><li>• Kullanım kolaylığı ve tasarım esnekliğinden dolayı eklemeli imalat için kullanımı uygundur.</li></ul>
	Polietilen (PE)	<ul style="list-style-type: none"><li>• En belirgin özelliği kimyasallara karşı yüksek direnç göstermesidir.</li><li>• Uzunca bir raf ömrüne sahip olan gıdaların, emniyetle taşınacak ve dağıtılacak kimyasal maddelerin, temiz su borularının, çizilmelerden korunması gereken ürünlerin ekonomik olarak paketlenmesi için kullanılır.</li><li>• 160°C - 250°C sıcaklık aralığında çalışacak uygulamalarda kullanılır.</li><li>• Esneklik ve dayanıklılık özellikleri gelişmiştir, kolay işlenebilir.</li><li>• Alev geciktirme özelliği vardır.</li><li>• Düşük su emme özelliği vardır.</li></ul>
	Poliketon (PK)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yarı kristal özellikte olan bir mühendislik plastiğidir.</li><li>• İyi mekanik özelliklere ve boyutsal kararlılığa sahiptir.</li><li>• Mükemmel aşınma ve korozyon direncine sahiptir.</li><li>• Yüksek sıcaklık direnci gösterir.</li><li>• Elastikiyeti yüksektir.</li></ul>

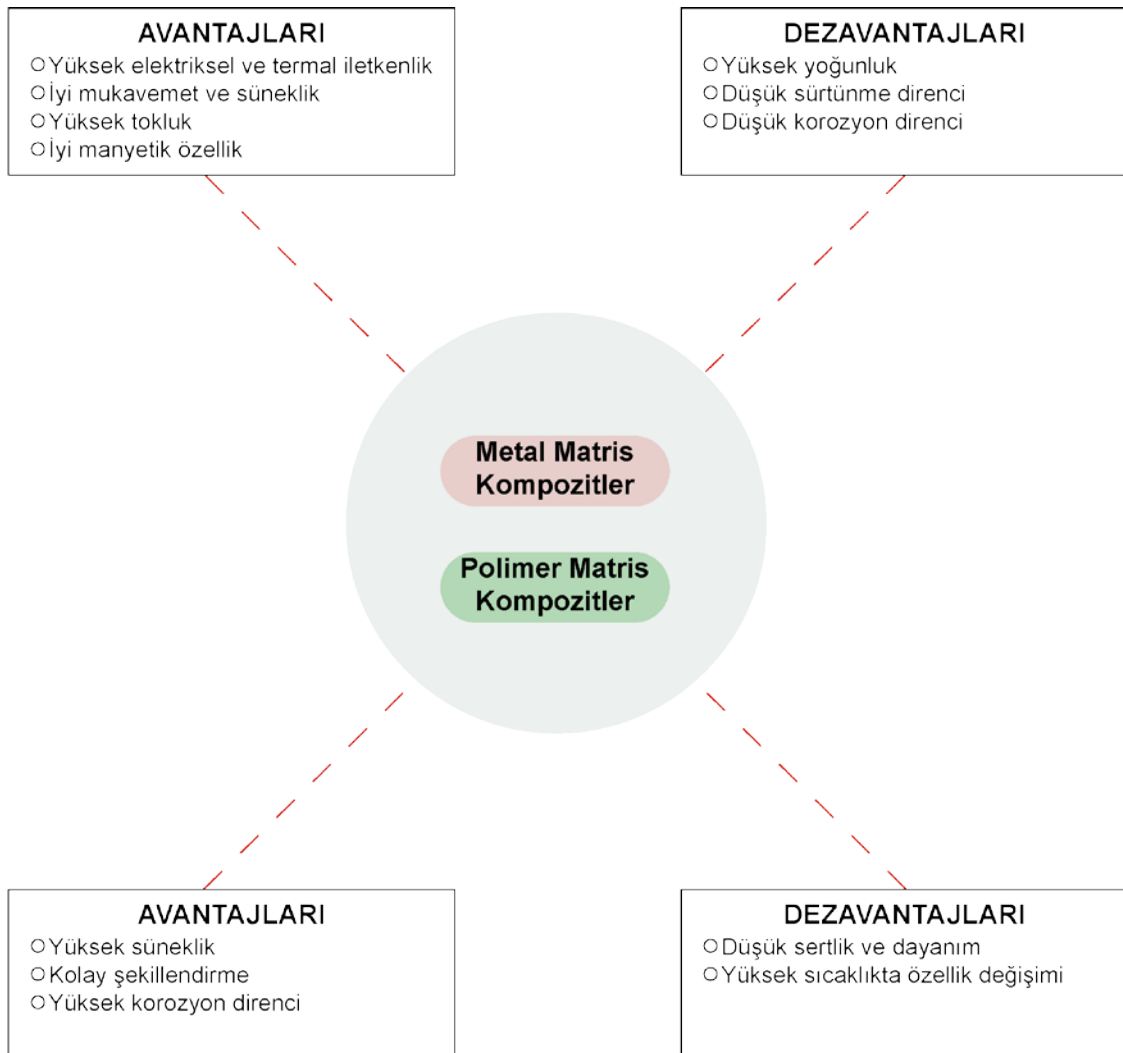
**Tablo 3.1** Matris malzemelerinin özellikleri (devamı)

Matris	Polimer Adı	Matris Özellikleri
Termoplastikler	Poliimid (PI)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 470°C'ye kadar yüksek ısı dayanımı gösterir.</li><li>• -270°C'ye kadar iyi kriyojenik özellikler gösterir.</li><li>• 260°C üzeri yüksek sıcaklıklarda dahi yüksek dayanım gösterir ve sertlik özelliğini bozulmadan korur.</li><li>• Mükemmel ısı ve elektrik yalıtımına sahiptir.</li><li>• İyi işlenebilirlik özelliği vardır.</li><li>• Kendinden alev geciktirici özelliği vardır.</li></ul>
	Polieter eter keton (PEEK)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mükemmel kimyasal uyum gösteren yarı kristal bir mühendislik plastiğidir.</li><li>• 260°C'ye kadar olan sıcaklıklarda çalışabilir ve erime noktası 341°C civarındadır.</li><li>• Genellikle sıcak su veya buhar ortamlarında kullanılmakta olup esneme ve çekme dayanımı gibi fiziksel özelliklerini büyük ölçüde korur.</li><li>• Hafiftir, güçlüdür ve zorlu ortamlarda daha uzun süre dayanır.</li></ul>
Elastomerler	Nitril Kauçuk (NBR)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yağlara ve çözücülere karşı dirençlidir.</li><li>• Otomobil endüstrisinde sıvı sızdırmazlığının sağlanması gereken yerlerde kullanılabilir.</li><li>• Hidrolik yağ hortumları taşıyıcı bantları, yazıcı ruloları, contalar yaygın kullanım yerleridir.</li><li>• Kopma dayanımı ve camsı geçiş sıcaklığı yüksektir.</li><li>• -40°C ile 105°C arasındaki sıcaklıklarda kullanılır, aralıklı çalışmalarda 120°C'ye kadar dayanıklıdır.</li></ul>
	Hidrojene Nitril Kauçuk (H-NBR)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüksek mekanik dayanım ve aşınma direncine sahiptir.</li><li>• -40°C ile 105°C arasındaki sıcaklıklarda kullanılır, aralıklı çalışmalarda 150°C'ye kadar dayanıklıdır.</li></ul>
	Florokarbon Kauçuk (FKM)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüksek sıcaklık ve yüksek devir (sürtünme) gerektiren uygulamalarda ve ağır iş makinalarında kullanılır.</li><li>• Solventlere, kimyasallara, deterjanlara karşı dayanıklıdır.</li><li>• Alev almayan bir kauçuktur. Isıya dayanımı -20°C ile 240°C arasındadır.</li></ul>
	Etilen Propilen Kauçuğu (EPDM)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Su geçirmeyen özelliği sayesinde yalıtımda tercih edilmeye başlanmış bir malzemedir.</li><li>• -40°C ile +140°C sıcaklık aralığında dayanıklıdır.</li><li>• Zararlı güneş ışınlarına karşı yüksek direnç gösterir.</li><li>• Yağlara ve çeşitli kimyasallara karşı dayanıklıdır.</li><li>• Anti bakteriyel ve geri dönüşümlü bir ürün olması EPDM kauçuk malzemesini sektörde popüler ürün haline getirmiştir.</li></ul>
	Silikon (VMQ)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Silisyum elementinden kompleks seri reaksiyonlar sonucu elde edilen sentetik bir kauçuktur.</li><li>• Normal kauçuklardan farklı bir yapıya sahip olduğu için kauçuğun modern ihtiyaçlara yetemediği yerlerde kullanılmaktadır.</li><li>• -50°C ile 232°C arasındaki sıcaklıklarda kullanılır.</li><li>• Dinamik uygulamalar için önerilen bir malzeme değildir.</li><li>• Sıcak havaya, UV radyasyonuna, motor ve transmisyon yağlarına, organik yağlara ve sıvılara karşı dayanımı yüksektir.</li></ul>

### 3.2. Sızdırmazlık Sektöründe Kompozit Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları

Sızdırmazlık sektöründe metal matrisli ve polimer matrisli kompozitlerden yapılan ürünler tercih edilmektedir. Metal matrisli kompozitlerden yapılan sızdırmazlık elemanlarının, yüksek elektriksel ve termal iletkenlik, yüksek mukavemet ve süneklik, yüksek tokluk ve iyi manyetik özellikler gösterme gibi avantajları bulunmaktadır. Bu ürünlerin dezavantajları ise yoğunluklarının yüksek olması ile sürtünme ve korozyon dirençlerinin düşük olmasıdır.

Diğer grup olan polimer matrisli kompozitler; sızdırmazlık elemanlarına yüksek süneklik, kolay şekillendirilme ve yüksek korozyon direnci gibi önemli özellikler sağlamaktadır. Bu avantajlarının yanında düşük sertlik ve dayanım ile sıcaklığa bağlı olarak özelliklerinin değişmesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Polimer matrisli ve metal matrisli kompozit malzemelerin sızdırmazlık uygulamalarında kullanımı için belirli bir seçim standardı bulunmamaktadır. Sızdırmazlık elemanı malzemesi kullanılacak ortamın özellikleri ile malzemenin özellikleri birlikte değerlendirilerek en avantajlı ve en uygun olacak şekilde seçilir. Sızdırmazlık sektöründe kompozit kullanımının avantaj ve dezavantajları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Kompozit kullanımının avantaj ve dezavantajları

#### 4. KOMPOZİTLERİN SIZDIRMAZLIK SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMALARI

Farklı sektörlerde kullanılan sistemlerin güvenli ve uzun ömürlü çalışmasını sağlamaya yönelik tasarlanan sızdırmazlık elemanlarının üretiminde ana hedef düşük sürtünme, düşük sızdırma ve uzun faydalı ömür sağlamaktır. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesi ve üretilen parçanın çalışma koşullarına uyum sağlayabilmesi için sızdırmazlık elemanlarının üretiminde kullanılan malzeme büyük önem taşımaktadır. Sızdırmazlık elemanlarının üretiminde hem metal hem de plastik malzemeler kullanılmaktadır. Yapılan deneysel araştırmalar sızdırmazlık sektöründe metal malzeme kullanımının zamanla yüksek potansiyel hasar ve güç kaybı oluşturması nedeniyle çok verimli olmadığını göstermiştir. Endüstriyel uygulamaların ve çalışma ortamlarının zaman içerisinde çeşitlenmesi sonucu sızdırmazlık sektöründe sızdırmazlığı ve dayanıklılığı artırmak için yeni malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu durum, sızdırmazlık elemanları üretiminde kompozit malzemelere yönelimi artırmıştır [2]. Günümüzde sızdırmazlık elemanlarının üretiminde kullanılan çeşitli türde polimer matrisli kompozit bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan polimer matrisler Poliimid (PI), Polieter eter keton (PEEK), Politetrafloroetilen (PTFE) ve Poliamid (PA 6, PA 6/12, PA 11&12) grubudur. Bu polimerler ve bunların çeşitli kompozitleri kullanılarak üretilen sızdırmazlık elemanları yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve aşındırıcı kimyasalların kullanıldığı çalışma koşulları için verimli bir şekilde kullanılmaktadır.

Yüksek elektriksel yalıtıklık, düşük sürtünme katsayısı, kimyasal maddelere karşı eylemsizlik ve kötü hava koşullarına dayanıklılık gibi avantajlı özelliklerinden dolayı PTFE sızdırmazlık uygulamalarında ilk sıralarda tercih edilmektedir [2]. Sızdırmazlık sektöründe PTFE'den sonra en çok tercih edilen kompozitler Poliimid (PI), Polieter eter keton (PEEK) ve Poliamid (PA)'dir. Yüksek sıcaklıklara dayanabilme özelliği, kimyasallara ve elektriğe karşı yüksek direnç gösterme, boyut kararlılığı ve kendi kendini yağlama özelliği PEEK'in sızdırmazlık elemanı üretimi için en çok tercih edilen kompozitlerden biri olmasını sağlamıştır. Poliimid (PI) ise, yüksek termal kararlılık, yüksek kimyasal direnç ve mükemmel mekanik özellikleri nedeni ile sızdırmazlık elemanı üretiminde kullanılan bir diğer popüler malzemedir. Poliamid (PA) ise; silikon sentetik bir kauçuk olup silisyum elementinden bir seri kompleks reaksiyonlar sonucu elde edilmektedir. Dinamik uygulamalar için önerilen bir malzeme olmamakla birlikte, sıcak havaya, UV radyasyonuna, motor ve transmisyon yağlarına karşı dayanımı yüksektir. Silikon normal kauçuktan farklı bir yapıya sahip olduğu için kauçuğun modern ihtiyaçlara yetemediği durumlarda kullanılmaktadır (Tablo 3.1) [5; 6].

Polimer matrisli kompozit malzemeler üzerine Mnif ve arkadaşları (2013) tarafından yapılan bir çalışmada viskoelastisitenin valf contalarında kullanılan PTFE kompozit malzemesinin tribolojik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Katkısız PTFE, karbon grafit dolgu malzemesi kullanılarak oluşturulmuş PTFE ve molibden disülfür ( $\text{MoS}_2$ ) (%5) ile cam elyafı (%15) dolgu malzemeleri kullanılarak oluşturulmuş PTFE kompozit contaları kullanılıp parçacıklı dolgu maddelerinin PTFE matrisine dâhil edilmesinin sürtünme katsayısı ve aşınma mekanizması üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda  $\text{MoS}_2$  (%5) ile cam elyafı (%15) dolgu malzemeleri kullanılmasının PTFE kompozitinin sürtünme katsayısını düşürüp aşınmayı azaltmada destekleyici etkisi olduğu gözlemlenmiştir [2].

Ayrıca, çalışmada PTFE'ye eklenen dolgu malzemelerinin basınç dayanımında yol açtığı değişim incelenmiştir. Karbon parçacıklarının varlığının, karbon-grafit dolgulu PTFE kompozite maksimum basınç dayanımı kazandırdığı ve aynı şekilde cam elyaf dolgulu PTFE'nin de kenetlenme kuvvetinde önemli bir artış olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar saf PTFE ile karşılaştırıldığında, kullanılan dolgu malzemelerinin PTFE matrisine dâhil edilmesi ile 0,3 mm dayatılan bir yer değiştirme için kenetlenme kuvvetinin %130 civarında arttığı gözlemlenmiştir. Basınç dayanımındaki bu artış, dolgu malzemelerinin PTFE malzeme matrisine kıyasla daha yüksek rijitlik ve ezilme mukavemeti göstermesi ile açıklanmaktadır [2].

Gong ve arkadaşlarının 2013 yılında yaptığı çalışmada ise; PTFE matris olarak, Grafit, molibden disülfür ( $\text{MoS}_2$ ) ve bakır (Cu) ise katkı malzemesi olarak kullanılarak oluşturulan kompozit malzemenin tribolojik özellikleri incelenmiştir. Sistem sıcaklığı ve basınç etkisinin PTFE kompozit contanın sürtünme katsayısı ve yüzey özelliklerinde yol açtığı değişim analiz edilmiştir. Sistem sıcaklığının  $50^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$  ve  $130^\circ\text{C}$  olduğu her üç durum için de sisteme uygulanan kuvvet arttıkça sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür. Ancak sızdırmazlık yükünün artmasıyla birlikte sürtünme katsayısı azalmaya başlamış ve sürtünme durumu oluşmuştur. Sistem çalışma koşulları altında PTFE matrisli

kompozit sızdırmazlık elemanının tribolojik özelliklerindeki değişim incelendiğinde, sızdırmazlık elemanının yüzeyinde meydana gelen abrasif ve adeziv aşınmanın termal yorgunluk ve sistemin aşındırıcı etkisi ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür. PTFE kompozit malzeme yüzeyinde meydana gelen aşınmaları azaltmak için kullanılan dolgu malzemesinin seçiminin ve malzemenin homojen olarak dağılmasının önemli olduğu ve bileşim ayrıntılarının optimizasyon ile mümkün olabileceği öngörülmüştür [5].

Gong ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptığı bir başka çalışmada ise çeşitli dolgu malzemeleri kullanılarak hazırlanmış PTFE, PEEK ve PI matrisli kompozit malzemelerin farklı çalışma ortamlarındaki sızdırmazlık performansları tribolojik ve viskoelastik özellikleri yönünden karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada kurulan özel test düzeneği ile %25 bronz katkılı PTFE, %20 cam elyaf katkılı PEEK, %25 molibden disülfür ( $MoS_2$ ) ve %5 grafit katkılı PI kullanılarak üretilmiş 3 farklı tür sızdırmazlık elemanının yüksek basınç ve yüksek hız altındaki dinamik sızdırmazlık performansı ve yüzey özelliklerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Çalışmadan elde edilen veriler doğrultusunda kullanılan katkı malzemelerinin her üç kompozit malzemenin sürtünme katsayısını düşürüp aşınmada azalma sağladığı görülmüştür. PTFE ve PEEK kompozitindeki düşüş PI kompozitindeki düşüşten daha fazladır. PTFE için kullanılan bronz dolgu maddesinin sürtünmeyi en düşük seviyeye ulaştırdığı görülmüştür. Sonuçlar, PTFE ve PEEK kompozitlerinin sürtünme katsayılarının PI kompozitinin %79-90'ı seviyelerinde olduğunu göstermiştir. Sürtünme katsayıları arasındaki farkın ise çalışma esnasında yüzey sıcaklıklarındaki yükselmeden kaynaklandığı tespit edilmiştir. PI kompozitinin yüzey sıcaklığı en yüksek seviyeye ulaşmış ve dolayısıyla sürtünme katsayısı ile aşınma davranışını etkilemiştir [4].

Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, kompozitlerin dolgu malzemesi ile desteklenmesinin kullanılan kompozitin yapısını değiştirdiği ve malzemenin yapışma aşınması direncini artırdığı görülmüştür. Özellikle yüksek basınç altında PTFE malzemesinden daha yüksek aşınma direncine sahip bronz parçacıklarının temas bölgesinin büyük bir alanı işgal etmesi nedeniyle PTFE kompozitinde ciddi boyutta aşınmalar gözlemlenmemiştir. Üç farklı kompozit malzemeden üretilmiş sızdırmazlık elemanlarının sızdırmazlık performansları değerlendirildiğinde ise sızıntı oranları arasındaki farkın çok az olduğu tespit edilmiştir. Sızıntı miktarının sıvıdaki merkezkaç oranına bağlı olarak dönüş hızı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür.

## SONUÇ

Bu çalışmada, sızdırmazlık sektöründeki endüstriyel tasarımlarda yaygın bir kullanım alanı bulan kompozitlerin genel özellikleri, kullanım avantajları ve uygulama alanları ele alınmıştır. Kompozit malzemeler hem günlük yaşantımızın tüm alanlarında hem de teknolojiye yön veren sektörlerde önemli bir yer edinmiştir. Kompozit sektörü dünyada ve ülkemizde güçlü bir yükseliş trendi göstermektedir. Bu trendi sürdürmek için ülkemizde katma değeri yüksek olan savunma, havacılık, otomotiv, rüzgâr enerjisi, raylı sistemler gibi alanlarda ileri kompozit malzeme uygulamalarına öncelik verilmektedir. Bu sektörler aynı zamanda sızdırmazlık elemanlarının da yaygın olarak kullanıldığı sektörlerdir. Sızdırmazlık sektöründeki ihtiyaçlar zamanla değiştikçe sektörde kompozit kullanımı da yaygınlaşarak artmaya devam etmektedir. Sızdırmazlık elemanlarının özelliklerini iyileştirmek için polimer matrisli kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sızdırmazlık elemanlarının performansını artırmak için kullanılacak dolgu malzemesinin seçimini doğru şekilde gerçekleştirmek ve dolgu malzemesinin polimer matris içinde homojen dağılımını sağlamak gerekmektedir. Kompozitlerin sızdırmazlık teknolojilerinde farklı kombinasyonlar ile çeşitlendirebilme kolaylığı ve bu özelliğin gelişime açık olması, endüstriyel tasarımda yaratıcılık ve özgürlüğü artırmaktadır. Malzeme bilimi sayesinde yeni kompozitler geliştirmenin sınırı olmadığı gibi, endüstriyel tasarımın da sınırı yoktur. Bu iki olgu birbirini destekleyerek sızdırmazlık sektöründe kullanılan kompozitleri geliştirmeye devam edecektir.



## KAYNAKLAR

- [1] LIU, Q., CHENG, Y., YUAN, L., FANG, Y., SHI, D., KONG, S., A New Effective Method and New Materials for High Sealing Performance of Cross-Measure CMM Drainage Boreholes, Journal of Natural Gas Science and Engineering, 21, 805-813, 2014.
- [2] MNIF, R., BEN JEMAA, M. C., KACEM, N. H., & ELLEUCH, R., Impact of Viscoelasticity on The Tribological Behavior of PTFE Composites for Valve Seals Application, Tribology Transactions, 56 (5), 879-886, 2013.
- [3] ZHAI, C., HAO, Z., LIN, B., Research on a New Composite Sealing Material of Gas Drainage Borehole and Its Sealing Performance, Procedia Engineering, 26, 1406 – 1416, 2011.
- [4] GONG, R., LIU, M., ZHANG, H., & XU, Y., Experimental Investigation on Frictional Behavior and Sealing Performance of Different Composites for Seal Application, Wear, 342, 334-339, 2015.
- [5] GONG, R., WAN, X., & ZHANG, X., Tribological Properties and Failure Analysis of PTFE Composites Used for Seals in The Transmission Unit, Journal of Wuhan University of Technology-Material Science Ed., 28(1), 26-30, 2013.
- [6] FLITNEY, B., Composite Seal Material to Compete With PTFE, Sealing Technology, 8-11, 2005.
- [7] ALDOUSIRI, B., SHALWAN, A., CHIN, C.W., A Review on Tribological Behavior of Polymeric Composites and Future Reinforcements, Advances in Materials Science and Engineering, 1-8, 2013.
- [8] FRIEDRICH, K., CHANG, L., HAUPERT, F., Current and Future Applications of Polymer Composites in The Field of Tribology, Composite Materials, Springer, New York, 29-167, 2011.
- [9] MAZUMDAR, S., Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering, Taylor & Francis, 2001.
- [10] 11. KALKINMA PLANI 2019-2023, KİMYA SANAYİ ÇALIŞMA GRUBU RAPORU
- [11] ZOR, M., “Kompozit Malzeme Mekaniği Ders Notları”, 2018.
- [12] KAW, A. K., “Mechanics of Composite Materials”, CRC press, 2005.
- [13] BEŞERGİL, B., Hibrit Kompozit, <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/hibrid-kompozit-hybrid-composite.html>, 2022.
- [14] CHAWLA, K. K., “Composite Materials: Science and Engineering”, Springer Science & Business Media, 2012.
- [15] SUI, G., FUQUA, M.A., ULVEN, C.A., ZHONG, W.H., Bioresource Technology, 100:1246, 2009.
- [16] MARKETS & MARKETS RESEARCH, 2020.

## ÖZGEÇMİŞ

### Öz Erman Aruman

1983 yılı İstanbul doğumlu olan Öz Erman ARUSAN lise öğrenimini İzmir Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2005 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. İNAN Makine A.Ş firmasında çalıştıktan sonra ARNES Mekanik Makine San. ve Tic. Ltd. Şti firmasında çeşitli alanlarda görev almaya başlamıştır. 2012 yılından itibaren ARNES firmasının Hidrolik & Pnömatik Sızdırmazlık Teknolojileri bölümünde görev almaya başlamıştır. 2017 yılından beri “Polimer Matrisli Kompozit Ürünler” konusunda araştırmalar yapmakta olup bu alanda AR-GE ve Tasarım projeleri yürütmektedir. 2006 yılından beri ARNES firmasında çalışmakta ve 2019 yılından beri firmada Tasarım Merkezi Koordinatörü olarak görev almaktadır.

### Ezgi Özgürnerge Falay

1983 yılı İzmir doğumlu olan Ezgi ÖZGÜNERGE FALAY lise öğrenimini Atakent Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2005 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Lisansüstü eğitimlerini Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'nde tamamlayarak 2008 yılında Yüksek Mühendis, 2016 yılında Doktor Mühendis unvanlarını almıştır. 2009-2013 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Hava Kirliliği Departmanı'nda Proje Mühendisi olarak görev yapmıştır. Ezgi ÖZGÜNERGE FALAY, 2020 yılından beri ARNES Mekanik Makine San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasında Kalite Müdürü olarak görev yapmaktadır.





### **Burcu Çalışkanelli**

1993 yılı İzmir doğumlu olan Burcu ÇALIŞKANELLİ lise öğrenimini İzmir Karşıyaka Lisesi'nde tamamlamıştır. 2020 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2022 yılında Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başlamış olup halen eğitimine devam etmektedir. Burcu ÇALIŞKANELLİ, 2020 yılından beri ARNES Mekanik Makine San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasında Kalite Güvence Mühendisi olarak görev yapmaktadır.