



KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KOMPOZİT MALZEMELER VE
ÖZELLİKLERİ**

Projeyi Hazırlayan: 190220082, Alper KAYA

Projeyi Yöneten: Doç. Dr. Şaban Hakan ATAPEK

Aralık, 2022

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEMELERİN YAPISI.....	2
2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	3
2.2. Matris Malzemeye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	3
2.3. Takviye Ediciye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	4
2.4. Dünyada ve Türkiye’de Kompozit Sektörü	5
2.5. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	8
2.5.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	8
2.5.2. Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	8
2.5.2.1. El Yatırma Yöntemi	8
2.5.2.2. Püskürtme Yöntemi	9
2.5.2.3. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi	10
2.5.2.4. Helisel Sarma Yöntemi.....	10
2.5.2.5. Vakum Torbalama Yöntemi	11
3. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN KOMPOZİT MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ	12
3.1. Kompozit Malzemelerin Testi.....	13
3.2. Çarpmaya Dayanıklılık	14
3.3. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Kompozit Malzeme Örnekleri	15
3.4. Otomotiv Endüstrisinde Doğal Lifler.....	18
3.5. Yüksek Performanslı Araçlarda Kompozit Malzeme Kullanımı	20
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	21
5. KAYNAKÇA	0
ŞEKİLLER DİZİNİ	0

1.GİRİŞ

Kompozit kelime olarak, iki veya daha fazla parçadan oluşan bir malzeme anlamına gelmektedir. Kompozit malzeme; özet olarak farklı fiziksel, kimyasal ve mekaniksel özelliklere sahip, makro ölçüde birbirinden farklı iki veya daha fazla malzemenin bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan yeni ve kendini oluşturan malzemelerden daha iyi özelliklere sahip olan malzemeler şeklinde tanımlanabilir. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler çoğunlukla özelliklerini korumaktadırlar [1].

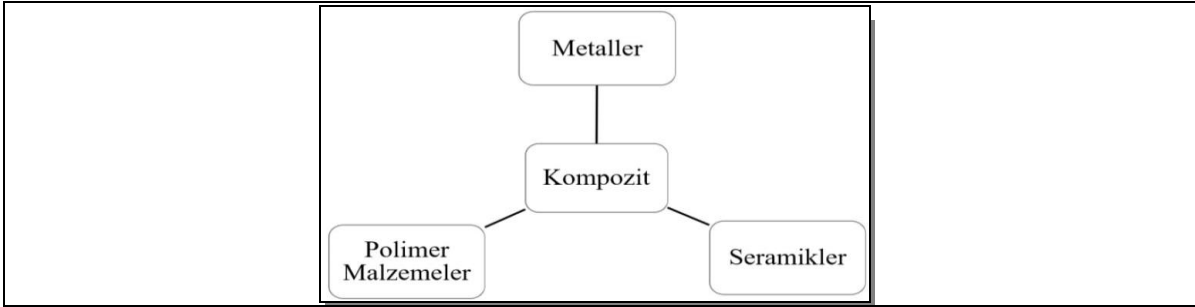
Tarihsel süreç içerisinde, kompozit malzemelerden daha binlerce yıl önce, evlerin yapımında saman takviyeli kerpiç bloklar şeklinde faydalanılmıştır. Amerika'da 1930'lu yıllarda cam elyafın bulunması ile modern kompozitin üretimi başlamış ve cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler dünya pazarında yerini almıştır [1]. Günümüzde ise geleneksel malzemelerin yetersiz olduğu veya özelliklerinin geliştirilmesi gerektiği durumlar için özel malzeme olarak faydalanılmaktadır. Kompozit malzemeler otomotiv, uzay ve havacılık, savunma, gıda, tekstil sanayi, spor malzemeleri gibi birçok alanda artık yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler malzeme bilimi açısından değerlendirildiğinde nispeten yeni ve ileri teknoloji malzemeler olarak görülebilir. Kompozit malzemenin en önemli özelliği mikro düzeyde homojen olmasıdır [2].

Endüstride kullanılan malzeme çeşitlerinin artmasıyla kompozit malzemelerin üretim yöntemlerinin araştırılması ve geliştirilmesi de devam etmektedir. Kullanım alanına göre, alternatifleri içinde kıyaslama yapılarak ürün geliştirme çalışmaları yapılmaktadır [2].

Otomotiv sektöründe çok sayıda farklı tip malzeme çeşidi kullanılmaktadır. Kullanılan malzeme çeşitlerine alternatif olarak kompozit malzemeler değerlendirilmektedir. Kompozit malzemeler bu sektörde geniş kullanım alanı bulundurmaktadırlar [1]. Kompozit malzemeler otomotiv sektöründe alternatif malzeme olarak kullanıldıklarında taşıtlarda hafiflik, yolcu güvenliği ve parça sağlamlığı için uygun sertliğe, dayanıklılığa sahiplik, çevre dostu düşük emisyon tüketimi ve düşük enerji tüketimi gibi otomotiv sektöründe ki gereksinimler, bu malzemelerin kullanılmasıyla karşılanabilmektedir. Kompozit malzemelerin otomotiv sektöründe ki kullanımları kısmen yenidir ve bu da tasarım ve üretim süreçlerinde, testlerde gelişme gerektirmez. Bu proje otomotiv endüstrisinde kullanılan kompozit malzemeleri göstermektedir. İlgili malzemenin nerelerde ve ne amaçla kullanıldığını açıklanmıştır. Yüksek düzeyde yenilikçilik gösteren kompozit malzemelerin yapısı, özel kullanımları, üretim yöntemleri, Dünyada ve Türkiye'de kullanımı, otomotiv sektöründe ki kullanılan parçaları, çarpma dayanımı ve testleri, doğal lifler ve yükek teknoloji otomobiller deki kullanım alanları belirtilmiştir.

2.KOMPOZİT MALZEMELERİN YAPISI

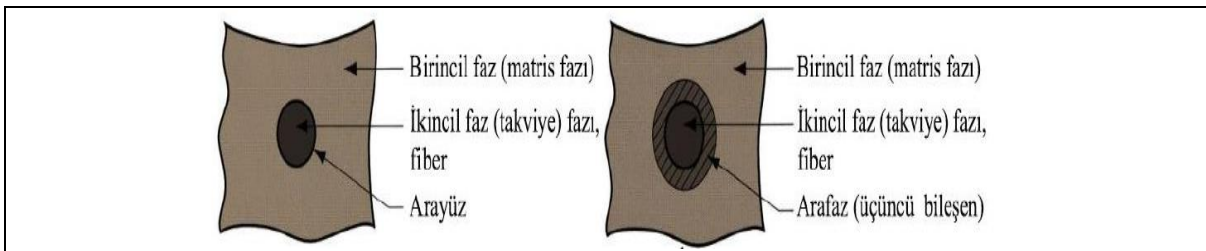
Genel itibariyle malzemeler; metal, seramik ve organik malzemeler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Bu üç sınıf malzemenin kendilerine göre bazı üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak, bu malzemelerden iki veya daha fazlasının üstün özelliklerini Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi tek bir malzemede toplanması amacıyla makro düzeyde birleştirilerek üretilen yeni malzeme kompozit malzemedir [2].



Şekil 2.1. Malzemelerin bir araya gelerek kompozit oluşturması [2].

Kompozit malzemeler temel olarak geleneksel malzemelerin mukavemet, korozyon dayanımı, termal dayanım, elektrik iletkenliği, ağırlık, estetik görünüm ve fiyat gibi bazı özelliklerinin bir veya birkaçını iyileştirmek amacıyla yapılmaktadır. Kompozit malzeme matris ana fazı ve bunun içine dağılmış takviye elemanlardan oluşur [2].

Takviye ve ana malzeme olarak genellikle cam, seramik, plastik ve metaller kullanılmaktadır. Matris yapı elemanı uygulanan bir kuvveti ara yüzey bağı vasıtasıyla takviye edici faza iletir ve dağıtır. Böylece takviye fazını planlanan şekilde tutarak tahribatı önler. Kompozit malzemelerde yükü taşıyan takviye elemanlarının fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri bakımından matris malzemelerinin mekanik özelliklerinin önemi büyüktür. Takviye faz, üretim esnasında matris fazın tane büyüklüğünü kontrol eder ve iletilen yükleri paylaşarak karşı koyar. Matris yapı ile takviye elemanı arasında bağlayıcılık görevi yapan ara yüzey bağı ise, genellikle kırılma eğilimi göstermesine rağmen oluşan herhangi bir kuvveti çözülmeye ve kırılmaya uğramadan takviye fazına iletir. Şekil 2.2'de bu fazların örneklendirmesi görsel olarak sunulmuştur. Kompozit malzemenin dayanıklılığı ara yüzey bağının istenilen şekilde olmasına bağlıdır [3].



Şekil 2.2. Kompozit malzemenin faz yapısı [3].

2.1.Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

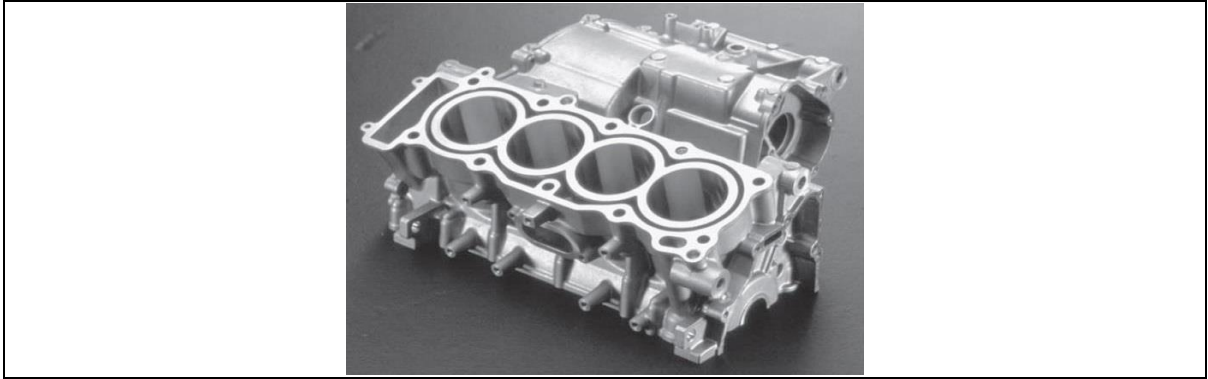
Kompozit malzemeler kısaca açıklandığı üzere, mekanik dayanımını yerine getiren farklı geometrik parçalardan (örneğin lif) ve bu parçaları bir arada tutan polimerik, metal veya seramik malzemelerden oluşur [3]. Yapılarında pek çok malzeme barındıran kompozit malzemelerin sınıflandırılması çok değişik şekillerde yapılabilir. Fakat en yaygın sınıflandırma şekli, yapısında bulunan matris ve takviye malzemeye göre yapılmaktadır [4].

2.2.Matris Malzemeye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Matris malzemeler, kompozit malzemenin kullanım amacına ve üretim tekniğine göre metal, seramik veya polimer malzemelerden oluşabilir [4].

Metal Matrisli Kompozit Malzemeler;

Ana malzemeleri çeşitli metal ve metal alaşımı olan kompozitlerdir. Metal matrisli kompozit malzemeler tek bileşenli alaşımlarla elde edilemeyen özellikleri sağlamak amacıyla bir metal matris içinde sürekli veya kısa fiber veya partikül şeklinde takviye fazı içerir [4]. Bu kompozitlerde metal esaslı yapı içine gömülen ikinci faz (takviye), değişik geometrik şekilde olabilir. Metal esaslı malzemeler takviye edildikleri malzemelere göre üstün özelliklere sahiptir. Seramiklerin yüksek elastiklik modülü ile metallerin plastik şekil değiştirme özellikleri bir araya getirilerek aşınmaya dayanıklı ve gerilme mukavemeti yüksek malzemeler elde edilebilir [4]. Otomotiv de motor blokları metal matriksli kompozit malzemelerden üretilirler. Şekil 2.3.'deki motor bloğu metal matrisli bir kompozitten üretilmiştir.



Şekil 2.3. Grafit ve alümina takviyeli alüminyum metal matrisli kompozit motor bloğu [5].

Seramik matrisli kompozit malzemeler;

Seramik malzemeler, yüksek sıcaklığa dayanıklı ve hafif oldukları için oldukça kullanışlıdır. Seramik esaslı kompozit malzemeler genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalar için kullanılırlar. Sert ve kırılğan olduklarından çok düşük süneklik ve tokluğa sahiptirler ayrıca termal şoklara karşı dayanıksızdırlar. Bu nedenle çoğunlukla liflerle takviye edilirler [6]. Buna karşılık çok yüksek elastiklik modülüne ve çok yüksek çalışma sıcaklıklarına sahiptirler. Seramik kompozitler, yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım göstermekle birlikte gevrek bir yapıya sahiptirler. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi yalıtkan özelliği gösterirler [6].

Polimer matrisli kompozit malzemeler;

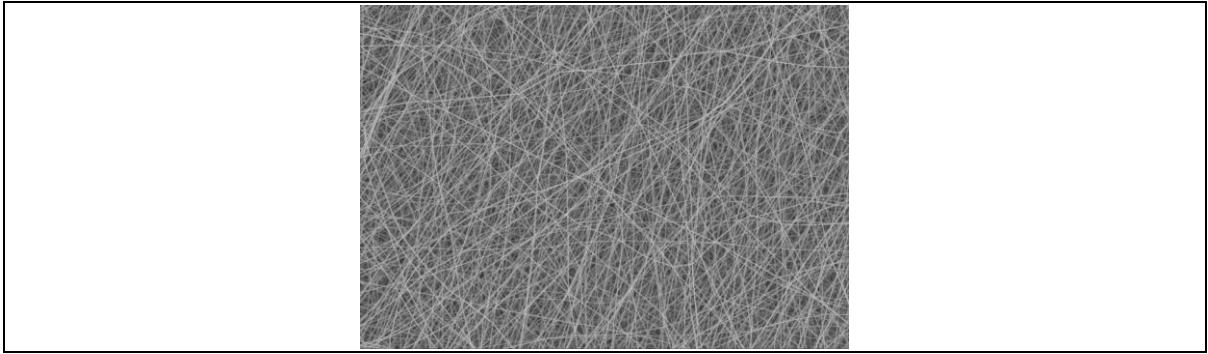
Polimer matrisli kompozitler, çoğunlukla petrokimya esaslı ürünlerdir ve günümüzde en yaygın kullanım alanı olan malzemelerdir. Polimerik kompozitler korozyona dirençli, uzun süreli kullanıma uygun, işlenmesi kolay, şekillendirilebilen, birim kütle başına yük kapasitesi yüksek malzemelerdir [7].

2.3.Takviye Ediciye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler kullanılan takviye elemanının şekline göre dört sınıfa ayrılabilir. Bunlar elyaf takviyeli, parçacık takviyeli, tabakalı ve karma kompozit malzemelerdir.

Elyaf takviyeli kompozitler;

Kompozit malzemelerin en yaygın türü elyaf takviyeli kompozitlerdir. Elyaf takviyeli kompozitlerde takviye malzemesi olarak ilk sırayı cam almıştır. Matris malzeme olarak plastik reçineler en fazla kullanılan tür olup bunlardan da polyester ucuzluğu sebebiyle ilk sırayı almaktadır. Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi lif takviyeli kompozit malzemelerde bileşen malzemeler, moleküler boyutta birbirinden farklıdırlar ve mekanik olarak birbirinden ayrılabilirler. Matris (reçineler) termoset veya termoplastik olabilir. Takviye lifleri, uzun liflerden, dokuma kumaş, kısa kesilmiş lifler vb. değişik formlarda olabilirler. Her biçim ayrı özelliklerle sonuçlanır. Kompozit malzemenin özellikleri, liflerin kompozit içerisinde nasıl uzandığına bağlıdır [7].



Şekil 2.4. Elyaf takviyeli kompozit malzemenin SEM görüntüsü [7].

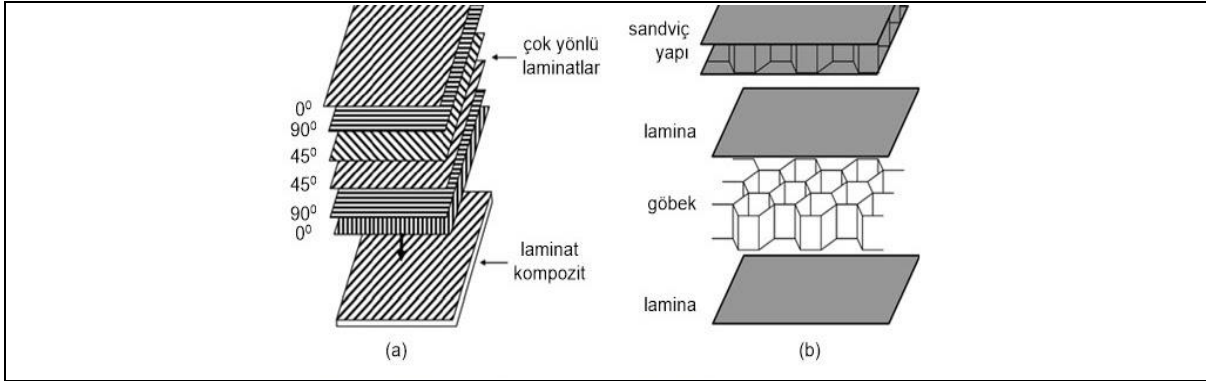
Parçacık takviyeli kompozitler;

Takviye malzemesinin boyutları, takviye malzeme özelliklerinin, kompozit malzemeye olan katkısını belirler. Parçacıklar, çoğunlukla kompozitin sertliğini artırmada etkili fakat dayanımı artırmada fazla bir etkiye sahip değildirler. Parçacık dolgular, her ne kadar yaygın olarak fiziksel ve mekanik özellikleri artırmak için kullanılsa da birçok durumda sadece maliyeti azaltmak için kullanılırlar. Parçacık dolgulu malzemede performansı etkileyen çok değişik unsurlar vardır. Bunların içinde, parçacık boyutları boyut dağılımları, yüzey enerjileri, hacimsel oranlar, homojen dağılıp dağılmadıkları, eksen oranı kompozit özelliklerini etkiler [6].

Tabakalı kompozitler;

Tabakalı kompozit yapı en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan kompozit yapı tipidir. Oluşumu Şekil 2.5.'de örneklendirilmiştir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isı ve neme karşı dayanıklı yapılardır. Metallere 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 [7].



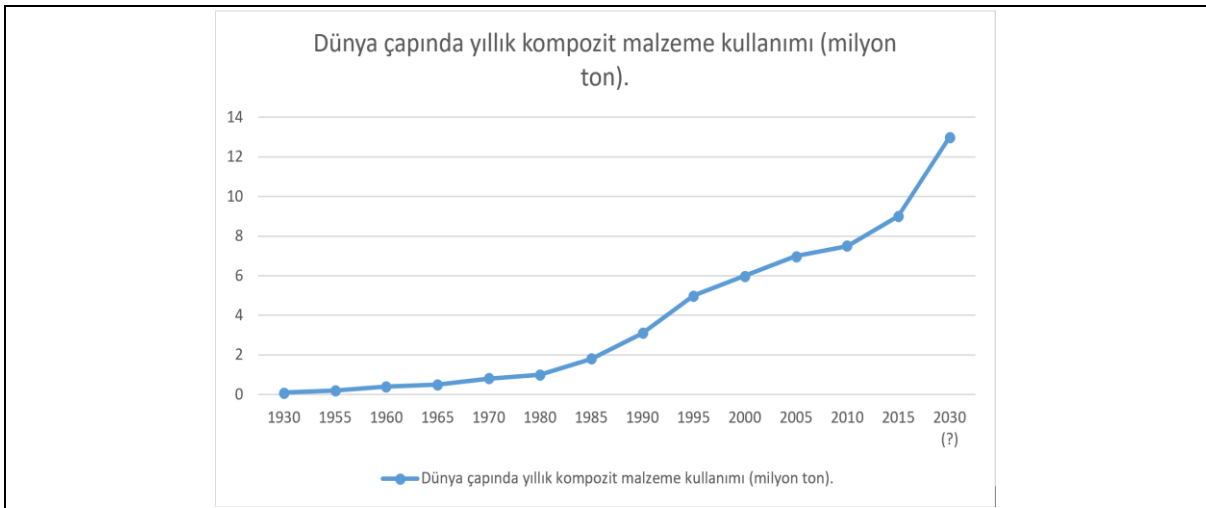
Şekil 2.5. Tabakalı kompozitlerin üretiminin örneklendirilmiş görseli [7].

Karma kompozitler;

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 elyafdır 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 [7].

2.4.Dünyada ve Türkiye’de Kompozit Sektörü

Son 50 yıldır dünyada kullanılan kompozit miktarı Şekil 2.6.’da yıllık kompozit malzeme kullanımının yıllara göre dağılımına bakılarak görüldüğü gibi ağırlıkça yıllık ortalama olarak yüzde %8 artmıştır [8]. Ülkemizde son yıllardaki bu değer %10’dur. Kriz döneminde dünyada ekonomik büyüme olmamasına rağmen bu kriz, kompozit sektörünü sadece %5 küçültmüştür. 2013 yılı verilerine bakıldığında dünyada tüketilen kompozit miktarı ağırlıkça 7.8 milyon ton olmuştur [8].



Şekil 2.6. Yıllık milyon ton cinsinden kullanılan kompozit malzemenin yıllara göre kullanımı [8].

Tablo 2.1.'de görüldüğü üzere; Kuzey Amerika 2.7 milyon ton kompozit kullanımıyla dünyada %35'lik paya sahiptir. Asya yüzde %36'lık oranla 2.8 milyon ton. Avrupa ise yüzde 22'lik oranla 1.7 milyon ton kompozit malzeme tüketmektedir [9].

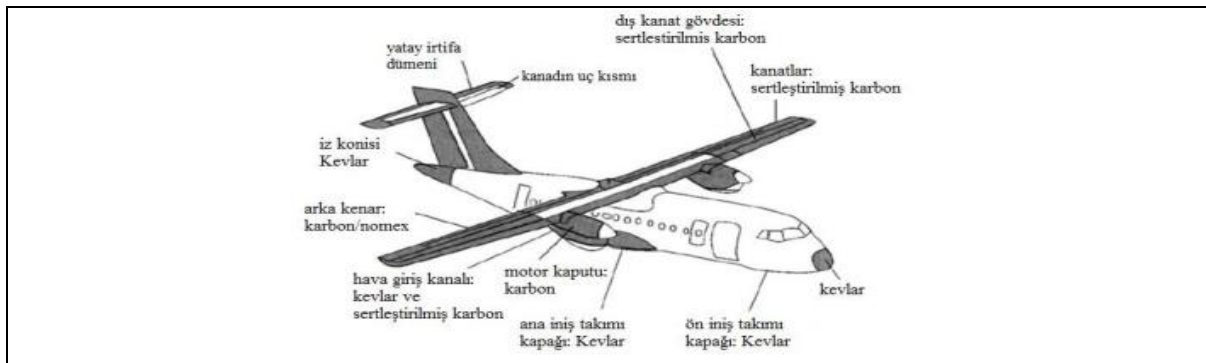
Tablo 2.1. Ülkeler ve kıtalarda kullanılan kompozit miktarı [9].

Kıtalar/Ülkeler	Kullanım Miktarı (Milyon Ton)	Kullanım Oranı (%)
Kuzey Amerika	2.7	35
Asya	2.8	36
Avrupa	1.7	22
Diğer Ülkeler	0.6	7

Ekonomik açıdan gelişmekte olan dört büyük ülke ayrıca değerlendirildiğinde BRIC(Brezilya, Rusya, Hindistan ve Çin) ise yüzde %27'lik orana sahiplerdir. BRIC ülkeleri arasında en fazla kompozit malzeme kullanan Çin'dir. Çin, aynı zamanda son 10 yıldır kompozit malzeme kullanımı en hızlı artan ülke konumundadır. Gelişmekte olan ülkeler arasında kabul edilen ülkemiz, 120 bin ton kompozit malzeme tüketim kapasitesiyle, dünya kullanım oranının oldukça gerisindedir. Ülkelerdeki kompozit sektörü büyüklüğü, ülkenin ekonomik gelişim seviyesiyle paralellik göstermektedir. Buna ek olarak; kompozit malzemelerin yüksek katma değere sahip olmaları ve ileri teknoloji üretim süreçleri gerektirmeleri, ülke ekonomisinde itici unsur olarak rol almalarına neden olmaktadır [9].

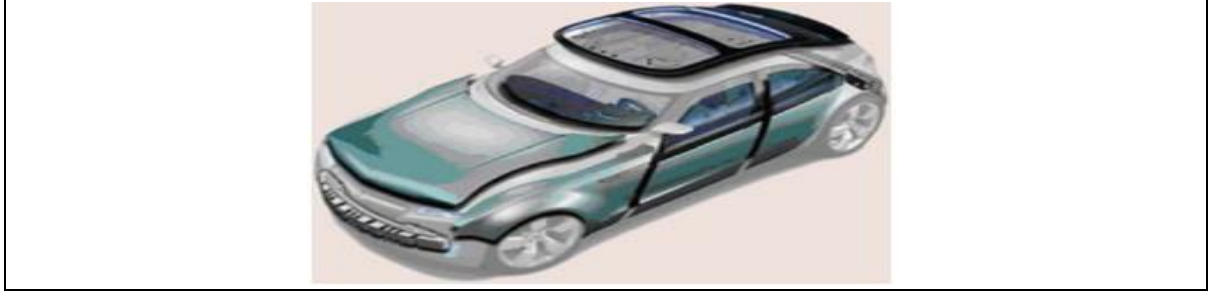
Amerika'da kişi başına düşen kompozit tüketimi 9-10 kg iken BRIC ülkelerinde 2 kg'dır [9]. Türkiye ise 1.7 kg gibi düşük bir değer ile dünya sıralamasında sonlarında yer almaktadır. Kompozit malzemeler hafiflik, yüksek özgül mukavemet, yüksek korozyon dayanımı gibi rekabetçi bir çok özelliğinden dolayı gün geçtikçe alışlagelmiş malzemelerin(çelik, alüminyum vs.) yerini almaktadır.

Yapılan araştırmalara göre, bu ülkelerdeki kompozit kullanımının yakın zamanda doygunluğa erişmeyeceği ortaya çıkmaktadır. Özellikle ulaşım, inşaat ve otomotiv sektörlerinde hızlı artışlar gözlenmektedir. Şekil 2.7.'de uçakta kullanılan kompozit malzemeler gösterilmiştir. Hala geliştirme süreçleri devam eden yeni nesil yolcu uçaklarında yüzde %50 oranında kompozit malzeme kullanılmaktadır [10].



Şekil 2.7. Boeing 747 uçağında ki kompozit malzemeler ve üretim malzemesi [10].

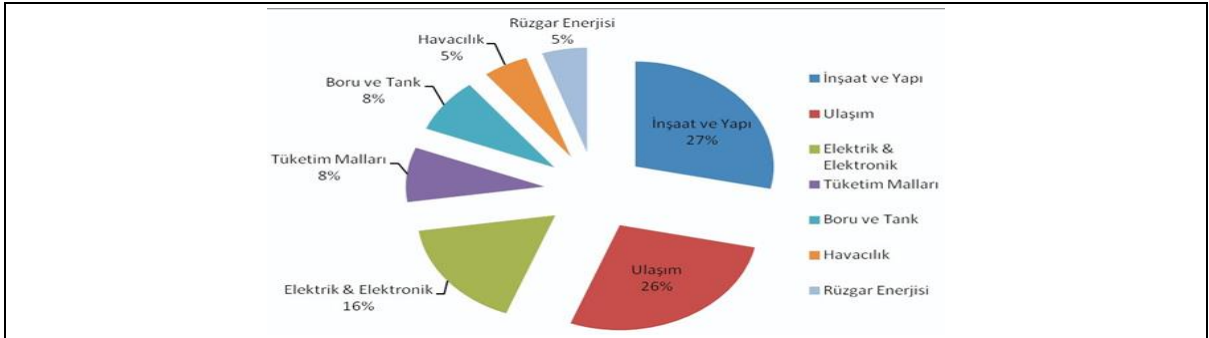
Geleceğin elektrikli araçlarında da kompozit malzeme kullanımı, günümüzdeki yakıtlı araçlara oranla fazla olacaktır. Bunun temel sebebi ise araçların hafiflemesinin yakıt tasarrufu sağlamasıdır. Şekil 2.8.'de verilen örnekte yeni nesil araçların büyük bir bölümünde kompozit malzeme kullanıldığı görülmektedir [11].



Şekil 2.8. Volt marka elektrikli araçta kompozit parça kullanımı (yeşil renkli) [11].

Araştırma sonuçları: Kuzey Amerika ve Avrupa'nın kompozit alanında öncülük ettiği teknolojik yenilikler, mevcut araştırmalar ve geliştirme programları sayesinde yeni pazarların açılacağını göstermektedir. Üniversiteler ve endüstriyel araştırma-geliştirme merkezleri kompozit parça üretiminde kullanılan reçineden elyafa, prosesten ekipmanlara kadar uzanan birçok konudaki gelişmelere öncülük etmekte ve bu gelişmeler sonucunda birçok endüstri uygulamaları etkilenmektedir. Kompozit malzemelerin daha da yaygınlaşmasında iki önemli faktör rol almaktadır.

Gün geçtikçe termoplastik reçinelerin, termoset reçinelerin yerini alması kompozit malzemelerin kullanımının artmasındaki en önemli faktör olarak gösterilmektedir. 2002 yılında dünyada tüm sektörlerde, kompozit parça üretiminde kullanılan termoplastik reçinelerin oranı yüzde 30 iken, günümüzde bu değer yüzde 40'a ulaşmıştır. Fakat bu değer havacılık sektöründe farklılık göstererek, termosetlerin kullanım oranı yüzde 95'lere kadar çıkmaktadır [12]. Şekil 2.9.'da kompozit malzemelerin ağırlıkça en çok kullanıldığı sektörler, inşaat ve altyapı ve ulaşım.



Şekil 2.9. Sektöre göre kompozit malzeme kullanım oranları [12].

Havacılık sektöründe kullanılan kompozit malzemeler, diğer sektörlerde kullanılanlara oranla daha kaliteli ve yüksek mukavemetli olmasından dolayı aşırı pahalıdır. Bu nedenle havacılık sektörü ağırlıkça dünya da yüzde 5 kullanım oranına sahipken, fiyat temel alındığında yüzde 21'lik orana sahiptir. Dünya'da temiz enerji öneminin artmasına paralel olarak kompozit malzeme kullanım artışının en hızlı olduğu sektör, enerji sektörü olmuştur. Bu sektördeki kompozit malzeme kullanım oranı, günümüz ile 2002 yılı karşılaştırıldığında ağırlıkça 5 kat artmıştır. 320 bin ton ile enerji sektöründeki kompozit malzeme kullanım oranı dünyada ağırlıkça yüzde %5'e yükselmiş ve 3.6 milyar avro satış rakamına ulaşmıştır [12]. Temiz enerji kullanımının öneminin artması ve ülkemizin rüzgar enerji potansiyelinin yüksek olması her geçen gün kurulan rüzgar türbinlerinin sayısının ve

kapasitesinin artmasına sebep olmaktadır. İlerleyen zamanlarda sektörde tecrübeli personelin artmasına paralel olarak, yerli rüzgar türbin kanadı üreten firmaların sayısında da artış beklenmez. Rüzgar türbin kanatlarında 40-50 metre kadar cam elyaf kullanılırken, daha uzun kanatlarda karbon elyaf kullanımı gerekmektedir. Bu nedenle ülkemizde oldukça az kullanılan karbon elyafının da yaygınlaşması beklenmektedir. Türkiye’de kompozit malzeme kullanarak üretim yapan ve ticaret odasına kayıtlı firma sayısı yaklaşık olarak 150 iken, kayıtlı olmayan merdiven altı bilinen küçük çaplı firma sayısının ise 350 civarında olduğu tahmin edilmektedir [12].

2.5.Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Kompozitlerin üretiminde farklı ihtiyaçları karşılamak adına birçok üretim yöntemi mevcuttur. Bu yöntemlerin her birinin çeşitli avantajları mevcuttur. Bu nedenle kompozite istenilen şekli vererek son ürünün son halinde istenilen kaliteye ulaşabilmek için malzemeye uygun üretim yöntemini uygulamak gerekir. Bu üretim yöntemleri kompozit malzemenin matris türüne göre metal ve polimer matrisli kompozitler için ikiye ayrılır [13].

2.5.1.Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Metal matrisli kompozit malzemeler umut verici, yüksek mekanik ve termal özelliklere sahip olmalarına rağmen, sadece çok özel kullanım alanlarında uygulanmaktadır. Kompleks üretim gereksinimleri ve son ürünün yüksek maliyeti gibi eksiklikler metal matrisli kompozit malzemelerin yaygınlaşmasındaki en büyük engellerdir. Takviye elemanı imalatı ve kompozit üretim tekniklerindeki gelişmeler metal matrisli kompozit malzemelerin endüstriyel kullanımının artmasındaki en önemli sonuçlardır [13].

2.5.2.Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

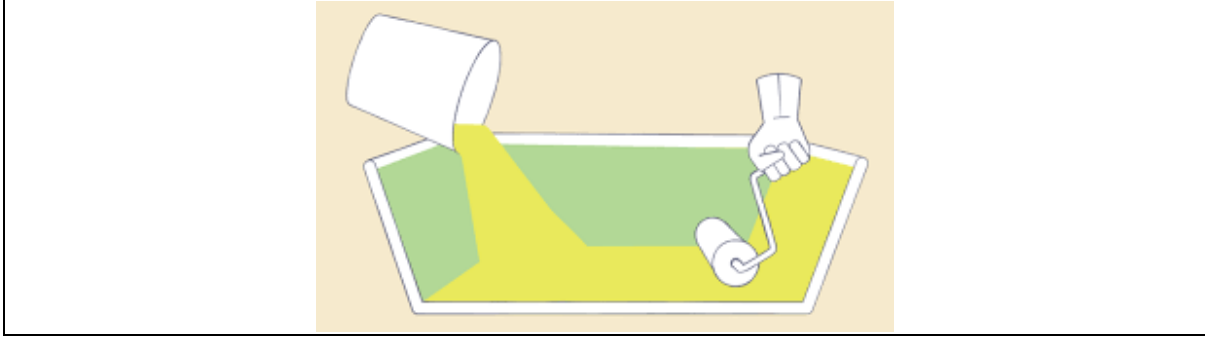
Polimer matrisli kompozitler termoset ve termoplastik reçineli olmak üzere iki tiptir. Buna göre üretim yöntemleri de değişiklik göstermektedir.

2.5.2.1.El Yatırma Yöntemi

El yatırma yöntemi cam elyaf takviyeli kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle otomobil, kamyon, tekne gibi taşıtlarda gövde panelleri, yapı sektöründe ise havalandırma sisteminin kanalları, depolama için kullanılan tank gövdeleri, havuzlar gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. El yatırma yöntemi polimer matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılan açık bir kalıplama yöntemidir. Bu yöntemin ucuza mal olması öncelikle üretiminde kullanılan aletlerin ucuz olmasındandır. Eğer seri üretim yapılmayacaksa yani prototip ya da model üretimi söz konusuysa el yatırma yöntemi tercih edilir [14]. El yatırma yönteminin çeşitli avantajları vardır. Bunlar; kalıp maliyetlerinin düşük olması, üretilecek parçaların boyutlarında herhangi bir sınırlama olmaması, değişik şekillerde kalıp üretilebilmesi gibi avantajları bakımından çok tercih edilen bir yöntemdir [14].

Bu yöntemin bir takım dezavantajları da vardır; bunlar el yatırma yöntemini uygulayan kişinin profesyonelliği ile bağlantılı olarak; üretilen kompozitin boyutlarında çeşitli sapmalar olabilir, elyaf dağılımının düzensiz olduğu yerlerde ya da reçinenin homojen dağılmadığı yerlerde kalınlıkta farklılıklar olabilir, ayrıca işlem sırasında hava kabarcıklarının kalması, elyafların serilirken düzgün yerleşmemesi dolayısıyla malzemenin mekaniksel özelliklerini oldukça etkileyecek değişiklikler olabilir [14]. Bu yöntemde polivinil alkol, silikon, madeni yağlar ve vaks gibi malzemeler kullanılarak reçinenin kalıp yüzeyine yapışması önlenir böylece kompozit malzemenin kalıptan rahat çıkması sağlanır [14].

Bu yöntemde genellikle takviye elemanı olarak elyaf, dokuma, keçe gibi malzemeler seçilir. Seri üretim olmayan model üretimi ya da prototip yapılmak istendiği durumlarda kalıp maliyetlerinin düşük olması, üretilecek parçaların boyutlarında herhangi bir sınırlama olmaması, değişik şekillerde kalıp üretilebilmesi gibi avantajları bakımından çok tercih edilen bir yöntemdir. El yatırma yöntemi Şekil 2.10.'daki gibi uygulanır kalıp ayırıcı malzeme sürüldükten sonra elyaf serilerek üzerine reçine rulo şeklindeki bir fırça yardımıyla hava kabarcığı kalmayacak şekilde uygulanır. İstenilen kalınlığı elde edene kadar elyaf ve reçine uygulanmasına devam edilerek işlem sonlandırılır [14].

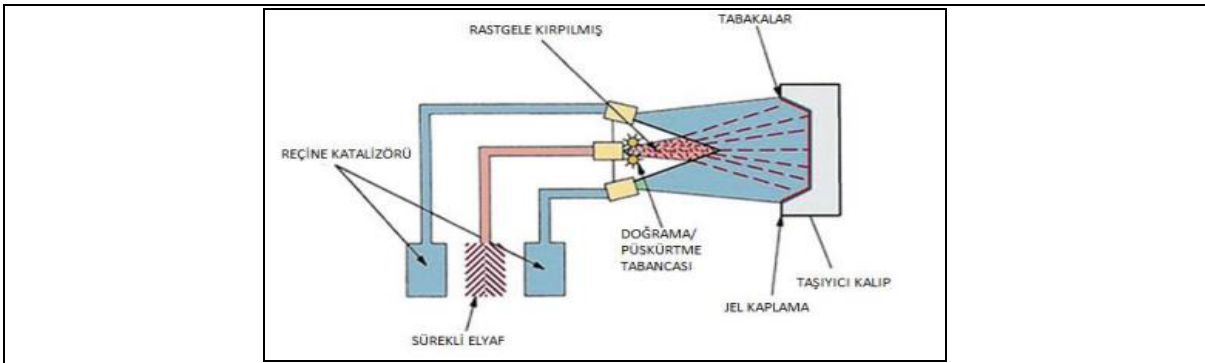


Şekil 2.10. El yatırma yöntemi şematik gösterimi [14]

2.5.2.2. Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yöntemi genel itibariyle el yatırma yöntemine benzeyen ancak kullanılan takviye malzemesinin kırılmış halde kullanıldığı daha çok kayak, otomobil kaportası, tekne, tank gibi alanlarda kullanılan bir üretim yöntemidir. Püskürtme yönteminde Şekil 2.11.'daki gibi özel bir tabanca yardımıyla kırılarak küçük parçacıklar halini alan sürekli elyaflar uygun bir hızda reçine ve sertleştirici karışımı ile birlikte kalıba püskürtülür. Püskürtme işlemine istenilen kalınlığa ulaşıldığında son verilir.

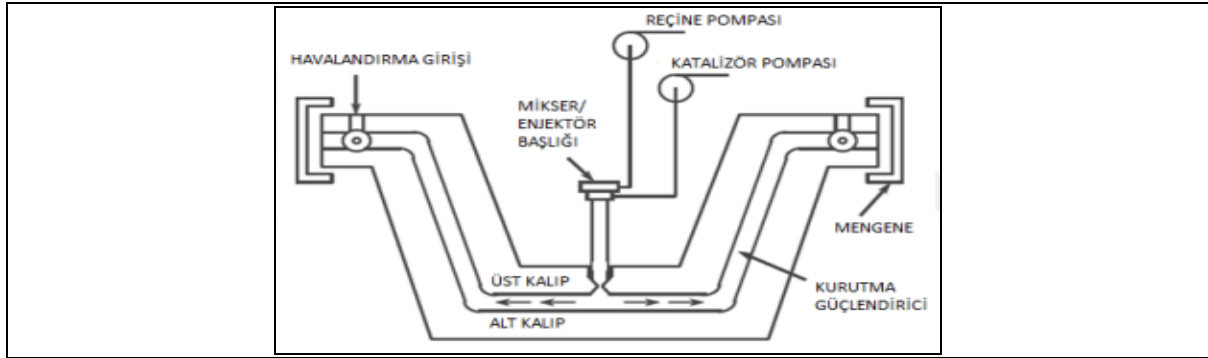
Bu yöntemde de oluşabilecek hava kabarcıkları da bir rulo yardımıyla giderilir. Böylece reçinenin elyafları ıslatma oranı da artar. Bu yöntemde kullanılan araç gerecin ucuz olması, işçilik maliyetlerinin düşük olması, üretilecek parçalarda boyut sınırlaması olmaması, karmaşık şekilli parçalarında bu yöntemle üretilebilmesi bakımından avantajlı bir yöntemdir [14].



Şekil 2.11. Püskürtme yöntemi şematik olarak gösterimi [14].

2.5.2.3.Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi

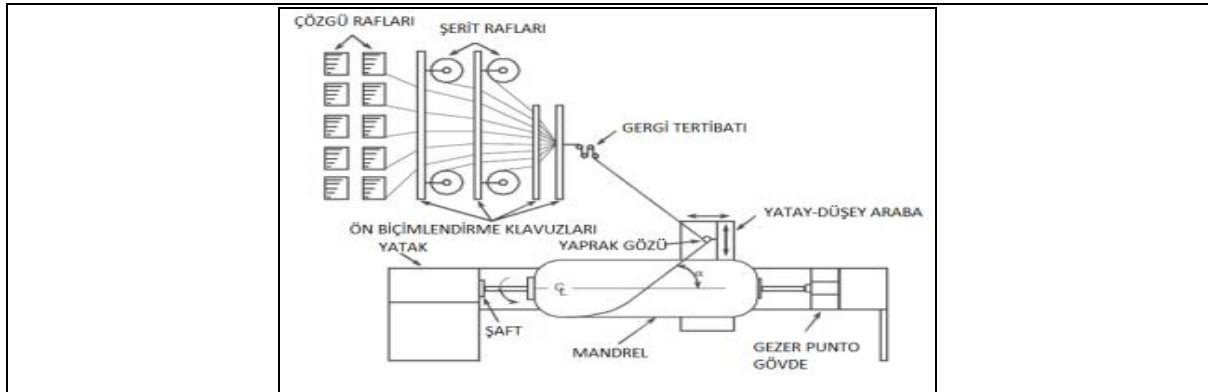
Reçine transfer kalıplama yöntemi Şekil 2.12.'deki gibi üst ve alt kalıp olmak üzere iki kalıptan oluşan kapalı bir kalıplama yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan takviye malzemeleri elyaf kumaş ya da keçe olabilir. Alt kalıba serilen kumaşın üzerine reçine ve sertleştirici malzemesi uygun oranlarda pompa vasıtasıyla enjekte edilir. Enjekte edilen reçine ve sertleştirici karışımı kalıbı doldurduktan sonra oda sıcaklığında ya da kalıplara belli miktarda ısı verilerek sertleşme sağlanır. Daha sonra üretilen kompozit malzeme kalıptan çıkartılır. Eğer işlemden önce kalıplara jelkot sürülürse hem kalıptan ayrılma hem de üretilen ürünün yüzeyinin düzgün olması sağlanır [14]. Bu yöntem genellikle daha karmaşık şekilli parçaların üretiminde kullanılır [14].



Şekil 2.12. Reçine transfer kalıplama yöntemi [14].

2.5.2.4.Helisel Sarma Yöntemi

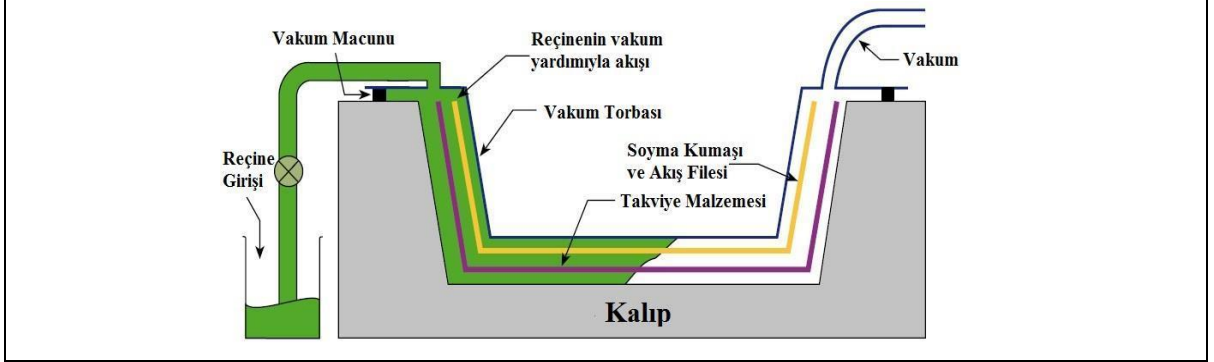
Helisel sarma yöntemiyle roket gövdesi, boru, basınçlı tank, direk gibi silindirik şeklide parçalar imal edildiği bir açık kalıp yöntemidir. Bu yöntemde genellikle dönen çelik bir mil kullanılır. Bazı özel uygulamalar için ise şişirilip üretim sona erince ise söndürülebilen esnek millerde kullanılabilir. Bu yöntemde Şekil 2.13.'daki gibi reçine bulunan bir hazneden geçirilen sürekli elyaflar milin üzerine olmasını istediğimiz açılarda ayarlanarak sarılır sarma işlemi milin boyunca ileri geri hareket veren bir araba yardımıyla belli bir gerginlikte arzu edilen kalınlık elde edilinceye kadar sarılır. Üründeki reçine sertleştikten sonra ürün milin üzerinden çıkartılarak işlem sonlandırılır [14].



Şekil 2.13. Helisel sarma yönteminin şematik olarak gösterimi [14].

2.5.2.5.Vakum Torbalama Yöntemi

Bu yöntemde el yatırma yöntemine benzer bir şekilde Şekil 2.14.'de kalıba yerleştirilen takviye elemanının üzerine reçine sürüldükten sonra kalıbın üzeri vakum torbası ile kapatılır daha sonra vakum torbasının kenar kısımları sızdırmazlık sağlayan özel bantlar ile kapatılır. Daha sonra torbadaki hava; vakum sistemi ile boşaltılır böylece torbanın dışındaki atmosfer basıncı sayesinde reçinenin takviye elemanına iyi bir şekilde nüfuz etmesi sağlanır. Diğer yöntemlerde olduğu gibi sertleşme olunca vakum işlemi sona erdirilerek ürün kalıptan çıkartılır. Bu yöntem mekanik özellikleri daha iyi olan ürünlerin elde edilebilmesi sağlar [14].



Şekil 2.14. Vakum kalıplama yöntemi şematik olarak gösterimi [14].

3.OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN KOMPOZİT MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

Kompozit malzemeler, otomotiv de dahil olmak üzere birçok endüstride geniş kullanım alanı bulmuştur. Taşıtların hafif olması, çevresel koruma sağlamak için düşük emisyonu ve enerji tüketimine sahip olması ve yolcuların korunmasını sağlamak için uygun sertliğe ve dayanıklılığa sahip olması gerekir. Bu gereksinimler kompozit malzemelerin kullanımı ile karşılanabilmektedir. Kompozitler sektörde onlarca yıldır mevcut olmasına rağmen, otomotiv sektöründe kullanımları kısmen yenidir ve bu da tasarım ve üretim süreçlerinde, testlerde ve geri dönüşümde gelişme gerektirmektedir bu çalışma, otomotiv endüstrisini diğerlerinden ayıran ayrıntıları göstermektedir.

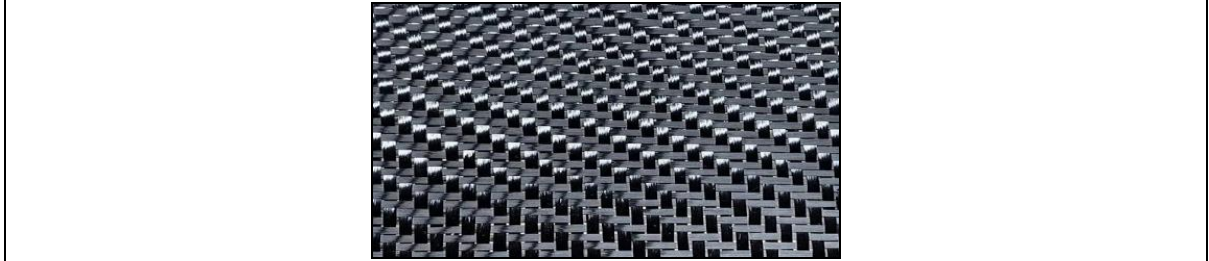
Kullanılan bir ürünün ağırlığının azaltılarak hafifletilmesindeki hedef, o ürünün ağırlığının ve maliyetinin azaltılarak görevini muhafaza etmek hatta daha da geliştirilebilir kılmaktır [15]. Bu tarz ürünlerin hafifletilmesine yönelik yapılan çalışmalarda kompozit malzemeler ilk göze çarpan malzeme çeşitleri arasında yer almaktadır. Otomotiv endüstrisinde kompozit malzemelerin kullanılmasının sağladığı avantajlar, ürünü hafifletmek, titreşim sönümleme, gürültü azaltma, darbe direnci, enerji sönümleme, yeni tasarım kolaylığı, dış aksamda üst düzey yüzey beklentisi, gövde ve iç aksamda yüksek ısı dayanımı, yakıt tasarrufu, yüksek performans, düşük CO2 salınımı, yüksek korozyon direnci, yüksek dayanım, frenleme ve ivmelenme özellikleri gibi oldukça önemli avantajları mevcuttur [15]. Kompozit malzemelerin en önemli özelliği hafif olmalarıdır.

Otomotiv sektöründe ağırlığın azaltılması ile yakıt tüketimi konusunda tasarruf sağlanmaktadır. Bir taşıt aracında her 45 kg ağırlık azaltımında yaklaşık %2-3 yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir. Kompozit malzemenin ağırlığı çelikten 4 kat, alüminyumdan 1,5 kat daha hafiftir [16].

Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan akaryakıt tüketiminin artması ile dünyada akaryakıt hammaddesine olan arz yükselmiştir. Bu arzın yükselişi iki konuyu gündeme getirmektedir. Alternatif akaryakıt türlerinin kullanılabilirliği konusu ve yakıt tasarrufu için ürün hafifletmek konusudur. Ürün hafifletme işlemi otomotiv sektöründe istenilen bir özelliktir. Hafifleyen ürünün hız ve performansının artması ile birlikte yakıt tüketimi için daha az arz oluşturmaktadır. Otomotiv sektöründe genel ağırlığın azaltılması çevre kirliliği açısından da oldukça önemli sonuçları göstermektedir.

Otomotiv endüstrisindeki kompozit ürünler genellikle cam veya Şekil 3.1.'deki gibi karbon fiberlerle güçlendirilmiş polimer matristen (termoset veya termoplastik) yapılır [16]. Düzgün tasarlandıkları takdirde sertlik, mukavemet ve sönümleme özellikleri açısından metal ürünlere göre daha iyi ölçüm yapabilirler. Malzeme özellikleri mühendisler tarafından ayarlanabilir.

Kompozitlerin amacı, mühendislerin ürünün gerçekleştirmek istediği işleve uygun bir malzeme tasarlayabilmesidir. Anizotropik malzemeler kullanıldığında, liflerin yönüne dik bir yönde bu özelliklerin önemli ölçüde daha düşük olması nedeniyle, yönlendirilmiş sertlik ve mukavemet özellikleri bir avantajdır.

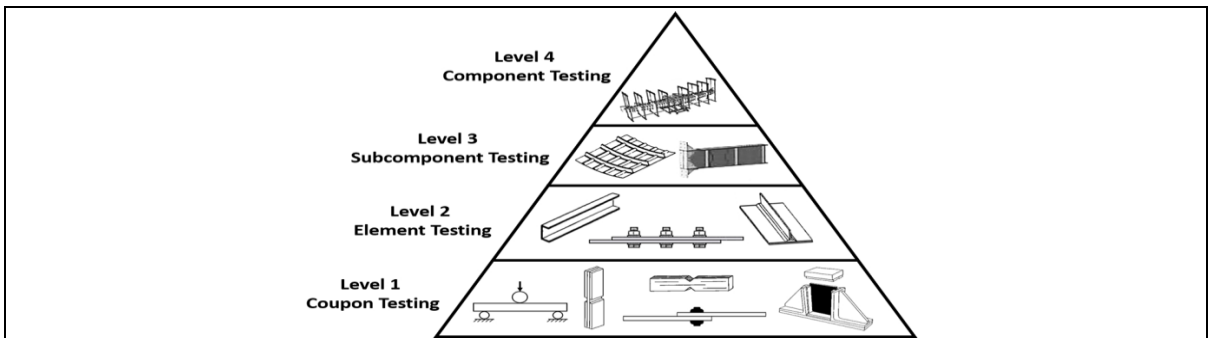


Şekil 3.1. Sarılmış karbon fiber görüntülenmesi [16].

Kompozit parçalar üretilirken takım ve kalıp tasarımına da dikkat edilmesi önemlidir. Yeni malzemelerin geliştirilmesiyle birlikte, geleneksel işleme yöntemlerinin değiştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Otoklavlar pahalıdır ve bu nedenle, küçük bir araç serisinin bulunduğu yüksek performanslı araçlar dışında, otomotiv endüstrisinde kullanımları tercih edilmemektedir, bu da bu işlemi finansal olarak mümkün kılmaktadır. Termoplastiklerle çalışırken laminalar kullanılırken, termosetler için reçine transfer kalıplama tercih edilir [17]. Etkili ve verimli, düşük maliyetli bir yapım süreci düşünülmesi gereklidir. Kompozit ürünlerdeki hasar, kızılötesi termografi, ultrasonik test ve dijital kesmeografi ile değerlendirilebilir. Otomotivde kullanılan onarım teknikleri, kazıma onarımı (daha geniş ve büyük parçalar için; sert ve yumuşak yama yapılır) ve enjeksiyon onarımıdır (dar ve daha küçük parçalar için) [17].

3.1. Kompozit Malzemelerin Testi

Kompozit malzemeler testi oldukça pahalıdır, bu nedenle mühendisler çoğu zaman bileşen ve alt bileşen testlerine ve sonlu elemanlar analizine güvenirlir. Alt bileşen testi, eklemlerin, karmaşık geometri parçalarının test edilmesini ve temas halindeki malzemelerde büyük bir fark olduğunda, bileşen seviyesi testi ise tasarım ve üretim süreçlerinin doğrulanmasının yanı sıra kullanımdaki yapıların performansının değerlendirilmesi için kullanılır. Bu testler, ürün tasarımının tüm aşamalarında kullanılabilir de, belirtilen seviye ile birlikte maliyetleri ve karmaşıklıkları artmaktadır. Bu nedenle, mümkün olduğu kadar fazla veri toplamak için daha düşük seviyelerde testler kapsamlı bir şekilde yapılır ve piramit yaklaşımı kullanılır. Piramidal yaklaşım Şekil 3.2.'deki gibi coupon, yapısal eleman, alt bileşen ve bileşen aşaması olmak üzere 4 aşamadan oluşur [18].



Şekil 3.2. Kompozit malzemeler testinde mühendislerin uygulama piramidi [18].

3.2.Çarpmaya Dayanıklılık

Otomobillerin tamponları ve çarpışma kutusu gibi pasif güvenlik sistemleri günümüzde polimer matrisli kompozit malzeme kullanılarak üretilen ürünlerdir. Bu malzemeler yüksek enerji soğurma kapasitelerine sahip olduğu için herhangi bir çarpışma esnasında enerjiyi daha fazla soğurabilirler. Bu durum alüminyum ağırlıklı üretilmiş bir otomobilin daha güvenilir ve daha dayanıklı olduğu algısını değiştirmektedir. Tablo 3.1. üzerinden alınan veriler ile yapılan araştırmalar sonucu kompozit ağırlıklı tasarlanan bir otomobilin alüminyum ağırlıklı tasarlanan otomobile göre daha sağlam olduğunu göstermektedir [19].

Tablo 3.1. Optimum alüminyum ve kompozit çarpışma kutularının karşılaştırılması [19].

Kolon tipi	Kalınlık (mm)	Genişlik (mm)	Uzunluk (mm)	Enerji emilimi (J)	Enerji artışı (%)	ÖEE (J/kg)	ÖEE artışı (%)
Alüminyum	2,1	70	210	7.602	-	26,124	-
Kompozit	3	70	210	9,198	17,4	35,716	26,9

Şekil 3.3.'deki gibi ön tarafı cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeden üretilen bir otomobil 35 mil / saat hızında çarpışma testini geçmiştir [19]. Görüldüğü gibi böyle bir otomobil çelik kadar dayanıklı olması, üstün titreşim kontrolü, güvenlik emniyeti gibi özellikleri yerine getirerek otomotiv sektöründe polimerik kompozitlerin kullanılmasının yaygınlaşmasına yol açmaktadır.



Şekil 3.3. Honda Cr,v marka çarpışma testi görüntüsü [19].

Araç yapıları için güvenlik gereklilikleri, araç güvenlik değerlendirme programları tarafından sağlanır. Araçlarda yapısal çarpışma dayanıklılığını iyileştirmek için kompozit kullanmanın çeşitli avantajları vardır. Bunlar;

Spesifik enerji emilimi önemli ölçüde daha yüksek olabilir, bu nedenle kompozit yapılar, önemli ölçüde daha düşük ağırlıkta olduğu mevcut çelik yapılardan, aynı seviyede çarpma dayanıklılığına ulaşabilirler. Daha az ağırlığa sahip bir aracın takla atma sırasında avantajları olabilir. Kompozitler kırılma ile deforme olurlar ve dolayısıyla yapı tamamen parçalanabilirken, metal yapılar katlanır ve sınırlı bir katlanabilir uzunluğa sahiptir. Kompozit malzemeler, deformasyonun istenen yerde başlatılmasını sağlayan “tetikleyiciler” içerebilir. Tetikleyiciler, enine kesitteki değişiklik, kat sayısının azaltılması veya hizalamadaki değişiklikler (deformasyonun birleşim yerinde değil, bir yapı içinde başlatılacağı durumlarda) şeklinde olabilirler [19].

3.3.Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Kompozit Malzeme Örnekleri

Otomobil endüstrisinde kullanılan polimer kompozitlerin yaklaşık %50'sini termoplastikler ve %24'ünü ise termoset kompozitler oluşturmaktadır. Termosetler yüksek dayanımları nedeniyle termoplastiklere kıyasla yapısal uygulamalarda daha iyi performans gösterdiği için tercih edilmektedir [20]. Araçların gövde kısımlarında termoset malzeme kullanımı sık görülen bir durumdur. Termoplastik malzeme kullanımı otomotiv ürünleri için giderek talep gören çeşitler arasına girmektedir. Volkswagen Golf, Volkswagen Polo, Audi A4 marka otomobillerde ön tarafları cam elyaf takviyeli termoplastik malzemeden üretilmektedir. Volkswagen ve onun sanayiinde gerçekleşen Alman ürünü otomobilleri yeni çıkardıkları araçlarında polimer matrisli kompozit malzeme gereksinimlerinden oldukça faydalanmaktadır [20].

Genellikle alüminyum malzeme kullanılarak üretimine devam edilen, Şekil 3.4.'de gösterilen giriş manifoldları tasarımcılar tarafından hem ağırlığını azaltmak istenirken hem de üretim kolaylığını değerlendirebileceği cam elyaf takviyeli termoplastik malzeme seçimine yönelerek polimer matrisli kompozit malzemelerle üretilmiştir [20].



Şekil 3.4. Karbon elyaftan üretilmiş manifold (JGR Products) [20].

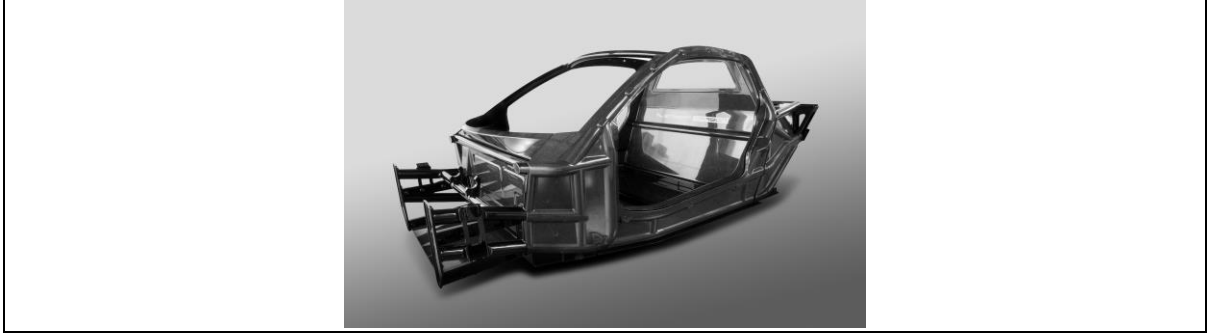
Polimer matrisli kompozit malzeme otomobil giriş manifoldunda kullanılarak parçanın hafifliğini sağlamasının yanında araç motorunun performansının artmasına da neden olur. Bu giriş manifoldlarının iç tarafı yüzey kısımlarının düzgün ve pürüzsüz olması gerekir. İç yüzey pürüzsüz olmazsa eğer motor verimi düşer ve türbülansa neden olur. İyi yüzeyli polimer matrisli kompozit malzeme ile üretilen bir manifold, alüminyumdan yapılan bir manifolde göre motorun verimini %5 civarında arttırabilir [20].

Tamamen otomotiv endüstrisi için ticarileştirilecek ilk karbon fiber jantlar, 2008 yılında piyasaya sürülen Carbon Revolution tarafından üretilmiştir [21]. 2015 yılında Carbon Revolution Şekil 3.5.'de görülen, Ford Mustang Shelby GT350R için karbon fiber jantları piyasaya sürmüştür. O zamandan beri, çeşitli otomotiv kompozit imalatçıları, karbon fiber jantların dövme ve dökme alüminyum jantlarla maliyet ve performans açısından rekabet etmesine izin verebilecek malzeme ve süreç kombinasyonlarının peşinde adım atmışlardır [21].



Şekil 3.5. Ford Mustang Shelby GT350R için karbon fiber jant [21].

Kompozit malzemelerin sağladığı üstün özellikleri neticesinde otomobil şasesi büyük oranda kompozit malzemeden üretilmiştir. Genel darbe dayanımı mukavemeti sayesinde ve otomobilde önemli ağırlık azaltması ile yakıt tasarrufu sağlamasıyla ön plana çıkmıştır. Otomobil şasesi Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi otomobil genel iskelet yapısını oluşturur ve gövde görevi görür [22].



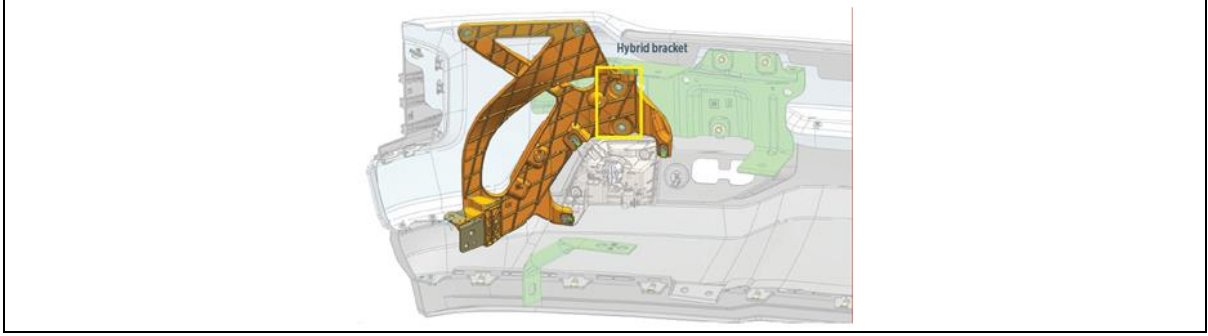
Şekil 3.6. Karbon fiber araç şasesi [22].

Otomobillerin farları bir sürücü için en önemli parçalardan biri olmakla birlikte birçok teknik özellikleri barındıran ve buna göre mühendislik tasarımının yapılması gereken önemli bir araç parçasıdır. Far malzemesi olarak saydam ve cam yapısında bir malzemenin kullanımı uygun olacağından aynı zamanda darbe direnci cama göre daha yüksek bir malzeme seçimi olarak polikarbonat ürünler kullanılmaktadır. Bu malzemeler cama göre yaklaşık 10 kat daha dayanıklı olmakla birlikte çok pratik üretim yöntemleriyle hazırlanabilmektedir. Polikarbonatlar en saydam polimer ürünüdür. Otomotiv endüstrisinde far imalatlarında polikarbonat kullanımıyla daha az sayıda malzeme tüketimi ve karmaşık olmayan üretim yöntemi ile kolay montaj edilebilir far üretimleri gerçekleştirilmiştir [23]. Polikarbonatların bu üstün özellikleri sayesinde otomotiv sektöründe kullanılan cam ürünlerin ilerleyen yıllarda polikarbonat polimerlerle yer değiştirmesi beklenmektedir [23].

Geçtiğimiz aylarda Chevrolet, Silverado kamyonet için hibrit bir termoplastik kompozit tampon braketinin tasarımı ve geliştirilmesi hakkında çalışma yapmıştır. Şekil 3.7.'de enjeksiyonla kalıplanmış hibrit braket çiftinin kütlesi, normalde kullandıkları braketle karşılaştırmasına göre araç başına 2,5 kilogram ağırlığını azaltabilmişlerdir [24]. Kitle ayrıştırma etkileri sayesinde, daha hafif tampon köşeleri, diğer bileşenlerin yanı sıra tampon montaj braketinde de ölçü azalması sağlamıştır, böylece ön tampon sistemi için toplam kütle, eski kasa 2016 modeline kıyasla 7,3 kilogram azaltabilmişlerdir [24].

Nisan ayında Chevrolet tarafından otomotiv kullanımına yönelik karbon fiber kompozit tahrik millerinin üretimini hızlandırmak için yeni teknolojiler geliştirmek üzere yapılan çalışmaları bildirmiştir. Artan tahrik mili üretiminin nedeni, ACPT'ye göre karbon fiber tahrik millerinin metalik muadillerine kıyasla daha yüksek tork kapasitesi, daha yüksek devir kapasitesi, daha iyi güvenilirlik, daha hafif ağırlık, artan güvenlik gibi benzersiz yeteneklerinin karışımından kaynaklanan artan talep oluşturmaktadır [24].

Yüksek darbe ve azaltılmış gürültü, titreşim ve sertlik üzerine nispeten zararsız karbon liflerine ayrılma eğilimi ve hareketsiz monte edilmiş bir otomasyon sistemi yerine tarafından tasarlanan yarı otomatik bir mandrel taşıma sistemi çoğu şirket tarafından istenilen yeni özellikler olup ve bunların oluşumunu kompozit malzemeler ile mümkün olmaktadır.



Şekil 3.7. 2019 model Chevrolet Silverado kamyonetlerinde, çok etkili bir konumda, kompozitler için yeni bir yapısal uygulamaya sahip: Hibrit kompozit tampon braket kullanımı [24].

2021'de duyurulan en dikkat çekici süspansiyon yapılarından biri, Rassini tarafından MY 2021 Ford F-150 kamyonet için geliştirilen karbon fiber arka süspansiyon sistemi olmuştur (Şekil 3.8.) [25]. Bu yüksek yüklü parça, kürleme maddesi TRAC 06150 epoksi reçine sistemi ile Hexion'un EPIKOTE reçinesi TRAC 06150 ile bir cam elyaf takviyesi kalıplamak için reçine transfer kalıplama kullanılarak Rassini tarafından üretilmiştir [25]. Hexion'a göre, EPIKOTE reçine ve TRAC 06720 bağlayıcı, kumaş stabilizasyonu ve büyük bir yönlü kumaş kat istifinin otomatik ön şekillendirmesi için gereklidir ve hızlı sertleşen reçine sistemi ile tamamen uyumludur. Dış mekanlar için ultra hafif SMC, santimetreküp başına 1,0 gramın altındaki miktarı ile (Scanzorosciate, İtalya), AOC (Schaffhausen, İsviçre) ve Teijin Automotive Technologies gibi şirketler ile karbon fiber malzemeler de zemin kazanmaktadır. CSP VICTALL, (Tanshan, Çin) son birkaç yılda tümünüyle karbon fiber SMC yapma yeteneğine sahip yeni SMC üretim hatlarını şirketine eklemiştir [25]. Bu ürünlerin potansiyeli, Ford Motor şirketi tarafından tamamlanan, yerel olarak güçlendirilmiş ve birlikte kalıplanmış karbon fiber SMC ile karbondan yapılmış SMC yamaları kullanan ön alt çerçeve geliştirme projesinde görülmektedir. Bu SMC yapısal alt çerçevesi, direksiyon dişlisi ve tekerlekleri tutan alt kontrol kolları dahil olmak üzere motoru ve şasi bileşenlerini destekleyerek önemli yükleri kaldırmaktadır. Yalnızca bir geliştirme parçası olmasına rağmen, ağırlığı %34 oranında azaltırken, 54 damgalı çelik parçayı iki sıkıştırma kalıplı kompozit bileşen ve altı üst kalıplanmış paslanmaz çelik kesici uç ile değiştirerek %82 parça azaltımı elde etmiştir [25].



Şekil 3.8. Ford Motor 2021 kamyonet modeli için Rassini arka süspansiyon sistemi [25].

3.4.Otomotiv Endüstrisinde Doğal Lifler

Doğal polimerler dünyada bol miktarda bulunmasına rağmen, mikro ve nano yapıların farklı türleri ile selüloz modifikasyonu son yıllarda araştırma konusu olarak dikkat çekmektedir. Mikro ve nanoesaslı selüloz malzemelerin kullanım alanının geniş olması, yenilenebilirlik, düşük yoğunluk, çevreye duyarlı bir malzeme olması, çok iyi mekanik özellikler göstermesi açısından otomobil endüstrisinde kullanımına imkan tanımaktadır [26]. Yenilenebilir lifler düşük fiyatları sebebiyle yüksek üretim oranlarının gerekli olduğu ve düşük performansın kabul edilebilir olduğu durumlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomotiv ve paketleme endüstrileri artık eko ürünlerin biyolojik bozunabilirlik ve geri kazanımına odaklanmış olup doğal materyallerde mineral katkı materyallerin ve petrol türevli polimerlerin kullanımına önem vermektedirler [26].

Kompozit malzemede en çok kullanılan doğal lifler sisal, hint keneviri, hindistan cevizi, şeker kamışı ve muzdur. Pamuk, keten, sisal ve hindistan cevizi lifi, kenaf ve kenevirden elde edilen selüloz esaslı bitki lifleri polimer kompozitlere katıldığında sentetik liflere göre daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Doğada bulunun genel doğal lifler Şekil 3.9.'da örneklendirilmiştir. Selüloz lifleri toksik olmayıp, biyolojik olarak parçalanabilen, geri dönüşebilir bir malzemedir. Genellikle yüksek oranlarda kullanıldıklarında düşük yoğunluklu kompozit üretimine imkân sağladıkları, yüksek sağlamlık ve sertlik performansı verdikleri bilinmektedir. Üstelik doğal lifler esnek olup bu özelliği sayesinde proses sırasında kırılmaya karşı daha dirençlidir [26]. Bu nedenden dolayı, muz, kenevir ve hindistancevizi liflerini içeren lignoselülozik lifler endüstriyel alanlarda polimere katkı olarak yarar sağlaması açısından çoğu araştırmacının dikkatini çekmektedir. Bu tür lifler glass fiberlerle karşılaştırıldığında düşük yoğunluk ve düşük fiyat gibi birçok avantaja da sahiptir.



Şekil 3.9. Doğal lifler örneklerine görsel örnek bütünü [26].

Doğal lifler; düşük fiyat, düşük yoğunluk, yüksek özgül dayanıklılık ve elastikiyet modülü, lif yüzey modifikasyonunun kolay oluşu, çevre dostu ve proses kolaylığına sahip oluşu, aşınmaya dayanıklı, yenilenebilirlik ve biyobozunabilir olması, kullanım ömrü bitiminde yakma suretiyle enerjinin geri dönüşümü, üretim sırasında daha az enerji gereksinimi, daha az sağlık ve güvenlik riski, kolay şekil verilebilirlik, glass fiber esaslı kompozitlerle yarışabilecek düzeyde spesifik mekanik özellikler, CO₂ dengesi, iyi termal ve akustik yalıtım özellikleri ve geri kazanılabilir olması gibi birçok mükemmel karakteristik özellikleri olması ile otomotiv endüstrisini doğrudan etkilemiştir [26].

Doğal lif kompozit malzemesi kullanan bazı otomobil firmaları ve uygulama alanları Tablo 3.2.'de verilmektedir [27];

Tablo 3.2. Doğal kompozit lif kullanan bazı otomobil firmaları [27].

Otomobil Üreticisi	Model	Uygulama
Audi	A2, A3,A4, A4 Avant, A6, A8, Roadstar, Coupe	Koltuk arkası, yanı ve arka kapı paneli, fren balatası, şasi kaplaması, stepne kaplaması
BMW	3,5, 7 serileri ve diğerleri	Kapı panelleri, tavan döşemesi paneli, fren balatası, koltuk arkası paneli
Daimler-Chrysler	A, C, E, S sınıfı	Kapı panelleri, otomobil ön cam/gösterge paneli
Fiat	Punto, Brava, Marea, Alfa Romeo 146, 156	Kapı panelleri,fren balatası
Ford	Mondeo CD 162, Focus	Kapı panelleri, Bpilleri, fren balatası, araç paneli
Mitsubishi	Space star	Kapı paneli, şasi kaplaması, fren balatası
Peugeot	Yeni model 406	Koltuk arkası, şasi kaplaması, arka koltuk
Renault	Clio	Fren balatası, kapı panelleri
Rover	Rover 2000 ve diğerleri	Yalıtım, bagaj paneli
Volkswagen	Golf A4, Passat Variant, Bora	Kapı paneli, arka koltuk, bagaj kapağı paneli

Tablo 3.1.'de de görüldüğü gibi otomotiv endüstrisinde doğal kompozit liflerin araç içerisindeki kullanım alanı oldukça fazladır. Mercedes S sınıfı otomobillerin 27 bileşeni toplam ağırlığı 43 kg olacak şekilde doğal lif kompozitlerinden üretilmektedir [27].

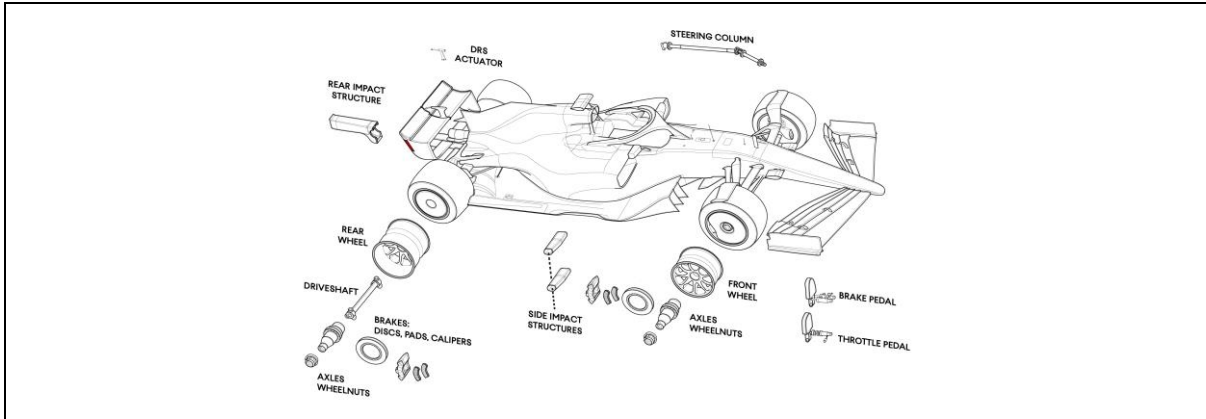
Şekil 3.10.'da Mercedes-benz S serisi aracın içerisinde doğal kompozit liflerden üretilen ve kullanılan parçalar gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Mercedes- Benz S otomobilinde kompozit malzemeler kullanılarak üretilen parçalar [27].

3.5.Yüksek Performanslı Araçlarda Kompozit Malzeme Kullanımı

Yarış arabaları düşünüldüğünde, özellikle F1 arabalarının dışarıdan bakıldığında tekerlekler, lastikler ve fren sistemi bileşenleri dışında Şekil 3.11.'da gösterildiği gibi sergilenen her parçası kompozit malzemeden yapılmıştır [28]. Motor sporlarında kullanılacak ilk kompozit yapı, 1981 yılında John Barnard tarafından tasarlanan McLaren MP4/1'deki karbon fiber monokok şasisidir [28]. Kompozitler,F1 araçlarında orta güçlü gövdeden maksimum güçlü hayatta kalma hücresine kadar farklı gerekli güçlere sahip parçalar oluşturur. Küçük bir dizi aracın yapıldığı yarış arabası endüstrisinin, hammadde fiyatlarının yüksek olması nedeniyle kompozitler için harika bir eşleşme olduğunu belirtmek önemlidir. Yarış arabası endüstrisinde kullanılan üretim süreçleri, gerek malzeme laminasyonu, vakum torbası ve kürleme, işleme, montaj ve yapıştırma. F1'de kullanılacak malzemelerde de kısıtlamalar vardır. örneğin boron lifleri, sürekli güçlendirilmiş termoplastik ve metal matrisli kompozitler ile karbon nanotüpler yasaklanmıştır [28].



Şekil 3.11. F1 aracının yapısındaki kompozit malzemeler kullanılarak üretilen parçalar [28].

Güneş arabaları da Şekil 3.12.'daki gibi kompozit malzemeleri kullanmaktadır. Genellikle, kompozit malzemelerden hafif yapı ile birleştirilen, daha uzun menzil ve daha düşük enerji tüketimi sağlayan, sürüklenme katsayısını en aza indiren zarif şekillerle karakterize edilirler. Bir güneş arabasındaki kompozit malzemelerden yapılmış bir ön tekerlek göbeğinin göbeğin ağırlığını önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir. Karbon fiber takviyeli polimerin kullanılması göbeğin ağırlığını %45 azaltır, bazalt elyaf takviyeli polimer kullanımı ise bir göbeğin ağırlığını %37 oranında azaltarak enerji tasarrufu sağlar [29].



Şekil 3.12. Aptera marka güneş arabasının kompozit malzemeden üretilen parçaları [29].

4.TARTIŞMA VE SONUÇ

Otomotiv sektöründe kompozit malzemelerin yaygın olarak kullanılmasına mani en önemli konu bu malzemelerin kullanımında maliyetlerinin çelik kullanımına göre hala daha yüksek tutulmasıdır. Bu malzemelerin imalatı esnasında çelik malzemedeki gibi yüksek basınç gereksinimi olmadığı için polimerik kompozitleri işleyen makineler daha hafiftir. Bu sebepten dolayı ilk yatırım maliyeti aslında daha uygundur ancak, malzemenin kendi maliyetinin yüksek olması ve ürün imalat süresinin yoğun ve emek gerektiren biçimde olması toplamdaki maliyeti yukarı çıkarmaktadır. Otomotiv endüstrisinin geleceğinin gelişimi için daha düşük maliyetli elyaf malzemelerinin kompozitlerde tercih edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte yüksek maliyetli karbon elyaf gibi ürünlerin sertlik ihtiyacının karşılanmasına yönelik malzeme ihtiyacının olduğu alanlarda tercih edilmesi ve hasar toleransı konusunda doğru bir strateji hazırlığı yapılarak tercih edilmesi polimerik kompozitlerin otomotiv sektöründeki tüketimini artırıcı adımlar olabilirler. Otomotiv endüstrisinin diğer önemli gereksinimi hızlı ve seri üretim işlemlerinin gerçekleştirilmesidir. Termoset ve termoplastik fiber takviyesi kullanılan polimerik esaslı kompozit malzemeler yüksek maliyetlerinden kaçınılarak tekrarlanabilir kalitede üretimle genel maliyetinde azalma sağlanarak tüketim oranı artırılabilir.

Bu çalışma doğrultusunda, kompozit malzemelerin kullanımındaki artış, düşük emisyon ve enerji tüketimi ile daha hafif ama güçlü araçlara sahip olma isteğine bağlı olarak belirlenmekte olduğu anlaşılmaktadır. Ayriyeten kompozitler, ürün özelliklerini, ürünün istenen işlevine uyarlama imkanı sağlamaktadırlar. Kompozit malzemeler, sürekli olarak geliştirilmekte olan ayarlanmış üretim ve test yöntemlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Hibrit ve doğal kompozitlerin düşük maliyetleri nedeniyle yaygın olarak kullanılması beklenmektedir. Kompozit geri dönüşüm teknolojisinin zaman içinde gelişmesi beklenmektedir. Sürecin uygulanabilir olması için geri dönüşüm ürünlerinin daha kaliteli olması gerekmektedir. Kompozit malzemelerin yöntemlerinin geliştirilmesine yönelik ana başlatıcılardan biri, kompozit üreticilerini ve kullanıcıları daha büyük resme bakmaya ve hem bileşen malzemeler hem de nihai yapılar için düşünmeye zorunlu kılmaktadır.

5.KAYNAKÇA

- [1] Mazumdar ., ‘Composites manufacturing materials, product, and process engineering’, CRC Press, London, 20-39.
- [2] Gay, D., Hoa, S. V. and Tsai, S.W., ‘Composite materials design and applications, 4th ed.’, CRC Press, New York, 2003, 15-20,151, 168, 187-209.
- [3] Deniz, M.E., ‘Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ve kompozit malzeme üretecek bir düzeneğin tasarım ve imalatı’, Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2006, 32-47.
- [4] Özer, H., ‘Sürekli cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve mekanik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi’, Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2015, 10-37.
- [5] Kaya, A.İ., ‘Atık kağıtlardan geri kazanılmış liflerden kompozit malzeme üretim olanaklarının araştırılması’, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Isparta, 2009, 239p.
- [6] Clyne, T.W., Withers, P.J., ‘An introduction to metal matrix composites’, Cambridge, University Press, UK, 1993.
- [7] Barbero, E. J., ‘Introduction to composite materials design, third edition’, CRC Press Taylor & Francis Group, New York, 2018, 37-102.
- [8] İnkaya, S., ‘Dünyada ve Türkiye’de kompozit sektörü’, Mühendis ve Makina, Ankara Basım Evi, Türkiye, 2013.
- [9] Akkuzu, E.E., ‘Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenebilirliğinin incelenmesi’, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2012.
- [10] Dilek, A., ‘Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma performansının incelenmesi’, Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2008.
- [11] Alsbaaie, Y.A.Y., ‘Karbon/cam elyaf takviyeli hibrit epoksi kompozitlerin mekanik ve tribolojik davranışlarının incelenmesi’, Yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2022.
- [12] Bledzki, A. K., Faruk, O., Sperber, V.E., ‘Cars from bio-fibers’ Macromolecular Materials and Engineering, UK, 2016, 291, 449-457.
- [13] Corbiere, N.T., Laban, B.G., Lundquist, L., Leterrier, Y., Manson, J.A.E., Joliet, O. ‘Lifecycle assessment of biofibers replacing glass fibers as reinforcement in plastics, resources’, Conservation and Recycling, UK, 2001, 33, 267-287.
- [14] Alves, C., Ferraõ, P.M.C., Silva, A.J., Reis, L.G., Freitas, M., Rodrigues, L.B., Alves, D.E. ‘Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites’, Journal of Cleaner Production, 2004, 313-327.
- [15] Demirel, A., ‘Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin karakterizasyonu’, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 10-18.

- [16] Bakkal, M., ‘Kompozitler’, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Sekizinci baskıdan çeviri, Kenan Genel, Nobel Yayınevi, Türkiye, 2011, 629-655.
- [17] Lauke, B., ‘Effect of particle size distribution on fracture toughness of polymer composites considering plastic void growth after particle debonding’, Mechanics Research Communications, 2015, 66:1–6.
- [18] Das, A., Satapathy B.K., ‘Structural, thermal, mechanical and dynamic mechanical properties of cenosphere filled polypropylene composites’, Materials and Design, 2011, 32:1477–1484.
- [19] Ravishankar, B., Nayak, S. K., & Kader, M. A., ‘Hybrid composites for automotive applications—A review’, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2001.
- [20] Şahin, Y., ‘Kompozit malzemelere giriş’, Seçkin Yayınevi, Ankara, 2006, 27-139.
- [21] Rout, A.K., Satapathy, A., ‘Study on mechanical and tribo-performance of ricehusk filled glass–epoxy hybrid composites’, Materials and Design, 2012, 41:131–141.
- [23] Alsaadia, M., Ahmet, A., ‘Effect of perlite particle contents on delamination toughness of S-glass fiber reinforced epoxy matrix composites’, Composites Part B, 2018, 141:182–190.
- [24] Boria, S., ‘Design solutions to improve cfrp crash-box impact efficiency for racing applications’, Advanced composite materials for automotive applications, John Wiley & sons, ltd, United Kingdom, 2014, 206.
- [25] Baskin, D.M., ‘The automotive body lightweighting design philosophy’, Lightweight Composite Structures in Transport Design, J. Njuguna, New York, 2016, 83.
- [26] İnancı, G., ‘Farklı takviye malzemeli plastik kompozitlerin darbe davranışına çevrenin etkisi’, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2015, 13-25.
- [27] Dittanet, P., ‘Effect of bimodal particle size distributions on the toughening mechanisms in silica nanoparticle filled epoxy resin’, Polymer, 2013, 54:1832-1845.
- [28] Ferreira, F. V., Pinheiro, I. F., De Souza, S. F., Mei, L. H., & Lona, L. M., ‘Polymer composites reinforced with natural fibers and nanocellulose in the automotive industry: a short review.’ Journal of Composites Science, 2001, 32, 51.
- [29] O’Rourke, B. P., ‘Formula 1 Applications of Composite Materials’, Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, UK, 2001, 10.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Malzemelerin bir araya gelerek kompozit oluşturması [2].	2
Şekil 2.2. Kompozit malzemenin faz yapısı [3].	2
Şekil 2.3. Grafit ve alümina takviyeli alüminyum metal matrisli kompozit motor bloğu [5].	3
Şekil 2.4. Elyaf takviyeli kompozit malzemenin SEM görüntüsü [7].	4
Şekil 2.5. Tabakalı kompozitlerin üretiminin örneklendirilmiş görseli [7].	5
Şekil 2.6. Yıllık milyon ton cinsinden kullanılan kompozit malzemenin yıllara göre kullanımı [8].	5
Şekil 2.7. Boeing 747 uçağında ki kompozit malzemeler ve üretim malzemesi [10].	6
Şekil 2.8. Volt marka elektrikli araçta kompozit parça kullanımı (yeşil renkli) [11].	7
Şekil 2.9. Sektöre göre kompozit malzeme kullanım oranları [12].	7
Şekil 2.10. El yatırma yöntemi şematik gösterimi [14].	9
Şekil 2.11. Püskürtme yöntemi şematik olarak gösterimi [14].	9
Şekil 2.12. Reçine transfer kalıplama yöntemi [14].	10
Şekil 2.13. Helisel sarma yönteminin şematik olarak gösterimi [14].	10
Şekil 2.14. Vakum kalıplama yöntemi şematik olarak gösterimi [14].	11
Şekil 3.1. Sarılmış karbon fiber görüntülenmesi [16].	13
Şekil 3.2. Kompozit malzemeler testinde mühendislerin uygulama piramidi [18].	13
Şekil 3.3. Honda Cr,v marka çarpışma testi görüntüsü [19].	14
Şekil 3.4. Karbon elyaftan üretilmiş manifold (JGR Products) [20].	15
Şekil 3.5. Ford Mustang Shelby GT350R için karbon fiber jant [21].	15
Şekil 3.6. Karbon fiber araç şasesi [22].	16
Şekil 3.7. 2019 model Chevrolet Silverado kamyonetlerinde, çok etkili bir konumda, kompozitler için yeni bir yapısal uygulamaya sahip: Hibrit kompozit tampon braket kullanımı [24].	17
Şekil 3.8. Ford Motor 2021 kamyonet modeli için Rassini arka süspansiyon sistemi [25].	17
Şekil 3.9. Doğal lifler örneklerine görsel örnek bütünü [26].	18
Şekil 3.10. Mercedes- Benz S otomobilinde kompozit malzemeler kullanılarak üretilen parçalar [27].	19
Şekil 3.11. F1 aracının yapısındaki kompozit malzemeler kullanılarak üretilen parçalar [28].	20
Şekil 3.12. Aptera marka güneş arabasının kompozit malzemedan üretilen parçaları [29].	20