

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN POLİMER
MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER**

TEZSİZ YÜKSEK LİSANS PROJESİ

SAFFET GÜLMEZ

DENİZLİ, OCAK - 2018

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN POLİMER
MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

TEZSİZ YÜKSEK LİSANS PROJESİ

SAFFET GÜLMEZ

DENİZLİ, OCAK - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

SAFFET GÜLMEZ tarafından hazırlanan “**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER**” adlı proje çalışmasının teslimi 18.01.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda adı verilen danışmanın onayı ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Projesi olarak kabul edilmiştir.

Danışman :

İmza

Prof. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

SAFFET GÜLMEZ

ÖZET

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT

MALZEMELER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SAFFET GÜLMEZ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(PROJE DANIŞMANI: PROF. DR. NUMAN BEHLÜL BEKTAŞ)

DENİZLİ, OCAK - 2018

Metal dışı malzemelerin giderek artan bir ilgiye sahip olduğu günümüzde, maliyetinden dolayı özellikle havacılık, uzay ve askeri alanlarda diğer malzemelere alternatif olarak kullanılan kompozit malzemeler, üretim maliyetlerinin düşmesi ve yeni yöntemlerin uygulamaya konmasıyla otomotiv sektöründe de büyük bir ilgi çekmiş ve birçok çalışmanın temelini oluşturmuştur. Kompozit malzemelerin türlerinden özellikle elyaf ve parçacık takviyeli polimer matrisli kompozitler otomotiv sektöründe büyük bir paya sahip olmaya başlamıştır. Daha çok ağırlık azaltma, görsel iyileştirme ve çarpışma performansı artırma amaçlı kullanılsa da gelişen yeni malzemeler ve yöntemlerle diğer otomotiv parçalarında da kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan bu proje çalışmasında, polimer matrisli kompozit malzemeler hakkında bilgiler verilmiş ve geçmişten günümüze otomotiv endüstrisindeki yeri ve önemi hakkında örneklerle bilgiler verilmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
1. GİRİŞ	1
2. PROJENİN AMACI	3
3. PROJENİN ÖNEMİ	4
4. PROJENİN YAPISI VE YÖNTEMİ	5
5. MALZEME	6
5.1 Malzeme Bilimi	6
5.2 Üretimde Malzeme	6
5.3 Mühendislik Malzemelerinin Gelişimi	8
5.4 Endüstri Ürünleri Kullanımında Malzeme Seçimi	9
6. KOMPOZİTLER	10
6.1 Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler	10
6.2 Kompozit Malzemelerin Kullanımı	12
6.3 Metal Matrisli Kompozitler	14
6.4 Seramik Matrisli Kompozitler	15
6.5 Polimer Matrisli Kompozitler	15
6.5.1 Polimerler	15
6.5.2 Polimer Matrisli Kompozitler	17
6.5.3 Polimer Matrisli Kompozitlerin Yapı Bileşenleri	18
6.6 Cam Elyaf- Glass Fiber	18
6.7 Bor Elyaf	20
6.8 Alümina Elyaf	21
6.9 Grafit Elyaf	21
6.10 Karbon Elyaf	22
6.11 Aramid Elyaf	24
7. POLİMER MATRİS MALZEMELERİ	26

7.1	Termoset Matrisler	27
7.2	Termoplastik Matrisler	30
8.	POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	31
8.1	El Yatırma Yöntemi.....	31
8.2	Püskürtme Yöntemi	32
8.3	Elyaf Sarma Yöntemi	33
8.4	Vakumlu Kalıplama Yöntemi.....	33
8.5	Otoklav Yöntemi	34
8.6	Üretim Yöntemleri Kapalı Kalıplama Yöntemleri	35
8.7	Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi.....	35
8.8	Pultrüzyon Yöntemi.....	37
8.9	Ekstrüzyon Yöntemi	37
8.10	Hazır Kalıplama Yöntemi.....	38
8.11	Enjeksiyonla Kalıplama Yöntemi.....	39
8.12	Savurma Yöntemi İle Kalıplama	40
9.	POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN KULLANIM ALANLARI	41
9.1	Otomotiv Endüstrisindeki Polimer Matrisli Kompozitler	44
9.2	Otomotiv Sektöründe Kullanılan Polimer Matris Esaslı Kompozit Malzemelerin Bilgisayar Destekli Tasarımı	53
9.3	Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Malzemelere Genel Bakış	55
9.4	Otomotiv Endüstrisinde Polimer Matrisli Nanokompozit Malzemelerin Kullanımı	62
9.4.1	Otomobil Salıncak Kolunda Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Kullanımı.....	65
9.5	Formula -1 Araçlarında Polimer Esaslı Kompozit Malzemeler	67
10.	SON YILLARDA OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN KULLANIMI.....	71
11.	KAYNAKLAR	73

Şekiller Dizini

Şekil 5. 1 Malzemelerinin Sınıflandırılması	7
Şekil 5. 2 Mühendislik Malzemelerinin Sınıflandırılması	7
Şekil 6. 1 Kompozit Malzemelerin Askeri Alanda Kullanım Örnekleri.....	12
Şekil 6. 2 Kompozit Malzemelerden Üretilmiş Kişisel Zırhlara Örnekler	12
Şekil 6. 3 Kompozit malzemelerin Kullanım Alanı Olarak Askeri Araçlar	13
Şekil 6. 4 Polimerizasyon İşlem Şeması	16
Şekil 6. 5 İplik ve Dokunmuş Hallerde Cam Elyaf.....	19
Şekil 6. 6 Cam Elyaf Çeşitlerinin Fiziksel Özelliklerini Gösteren Tablo	19
Şekil 6. 7 Dokunmuş Bir Bor Elyaf	20
Şekil 6. 8 Alümina Elyaf Kompozisyonu ve Fiziksel Özellikleri [4]	21
Şekil 6. 9 Grafit Fiber Mekanik Özellikleri [1]	22
Şekil 6. 10 Dokunmuş Karbon Elyafı	23
Şekil 6. 11 Karbon Elyaf Mekanik Özellikleri [1].....	23
Şekil 6. 12 Dokunmuş Aramid Elyaf	25
Şekil 6. 13 Piyasada Bulunan Aramid Elyafların Mekanik Özellikleri [4]	25
Şekil 7. 1 Termoset ve Termoplastik Malzemelerin Isıya Göre Davranışları.....	27
Şekil 7. 2 Bazı Termoset Matrislerin Mekanik Özellikleri	28
Şekil 7. 3 Bazı Termoplastik Matrislerin Mekanik Özellikleri.....	30
Şekil 8. 1 El Yatırma Yönteminin Şematik Gösterimi.....	32
Şekil 8. 2 Püskürtme Yöntemi Şematik Gösterimi	32
Şekil 8. 3 Elyaf Sarma Yöntemi Şematik Gösterimi	33
Şekil 8. 4 Vakum Kalıplama Yöntemi Şematik Gösterimi	34
Şekil 8. 5 Otoklav Yöntemi Şematik Gösterimi.	34
Şekil 8. 6 Reçine Transfer kalıplama Yöntemi Şematik Gösterimi	36
Şekil 8. 7 Pultrüzyon Yöntemi Şematik Gösterimi.....	37
Şekil 8. 8 Ekstrüzyon Yönelimi Şematik Gösterimi	38
Şekil 8. 9 Hazır Kalıplama Yöntemi Şematik Gösterimi.....	39
Şekil 8. 10 Enjeksiyonla Kalıplama Yöntemi Şematik Gösterimi.....	40
Şekil 8. 11 Savurma Yöntemi ile Kalıplama Şematik Gösterimi	40
Şekil 9. 1 Kompozit Malzemelerin Dünya Ölçeğinde Dağılımı Hacim Ve Değer Olarak Gösterdiği Farklılıkları [10]	47
Şekil 9. 2 Araçlarda Kompozit Kullanımına Dair Bilgiler [13].....	48

Şekil 9. 3 Orta Sınıf Bir Araçta Doğal, Cam, Karbon Elyaftan Yapılmış Parçalara Örnekler [13]	48
Şekil 9. 4 Bazı Markalarda Kompozit Malzeme Kullanılan Parçalara Örnekler [13]	49
Şekil 9. 5 Bazı Markalarda Kompozit Malzeme Kullanılan Parçalara Örneklerin Devamı [13]	49
Şekil 9. 6 BMW Firması tarafından Üretilen Kompozit Malzeme Kullanılan Elektrikli Araç [13]	50
Şekil 9. 7 Bazı Lüks Araç Markalarında Karbon Elyaf İle Üretilen Parçalar [13]	50
Şekil 9. 8 Bazı Lüks Araç Markalarında Karbon Elyaf İle Üretilen Parçalara Örnek [13]	51
Şekil 9. 9 Karbon Elyaf Üreticileri ile Otomotiv Şirketlerinin İşbirlikleri [13].....	51
Şekil 9. 10 Otomotiv Sektöründe Kompozit Uygulamalarına Örnekler [13]	52
Şekil 9. 11 Kompozit Otomotiv parçaları Üretim Proseslerinin Karşılaştırılması [13].....	52
Şekil 9. 12 Örnek Bir Araç Kapı Tasarım Eskizi.....	54
Şekil 9. 13 Karbon Elyaftan Üretilmiş Manifold (JGR Products)	56
Şekil 9. 14 Kompozit Dişliler (A&P Technology)	59
Şekil 9. 15 Kompozit Yaprak Yay (VanSteel Inc.).....	60
Şekil 9. 16 Kompozit Jant (Carbon Revolution).....	60
Şekil 9. 17 Kompozit Şase (Axon Automotive)	61
Şekil 9. 18 Kompozit Kapı Barı (Audi AG ve Ortakları)	61
Şekil 9. 19 Kompozit Piston Kolu (Automobili Lamborghini S.P.a)	62
Şekil 9. 20 Nanokompozit Çeşitleri	63
Şekil 9. 21 Otomobil Salıncak Kolu ve Alt Takım Elemanları	66
Şekil 9. 22 Formula 1 Aracında Kompozit Malzeme Kullanılan Parçalara Örnekler [24].....	68

1. GİRİŞ

Modern dünyada günlük ihtiyaçların karşılanabilmesi için her geçen gün sayısı giderek artan yeni ürünler üretilmekte ve tasarımlar geliştirilmektedir. Her malzeme kullanım alanına göre kendisine pazar oluşturmaktadır. Oluşturulan pazar alanında rekabet ortamında tercih edilen malzeme çeşitli olabilmek için geliştirilmiş tasarım, yüksek kullanılabilirlik performansı ve fiyat avantajı sağlamanın yanı sıra tüketim endüstrisinde malzemelerin endüstrideki teknolojisi, üretim hızı, sanayileşme potansiyeli ve iş yükü gibi etkenler sektörde ürünlerin tercih koşullarını etkileyen nedenlerdendir. Yeni tasarlanan malzeme çeşitleri işlevini yapan malzemelerin alternatifleri olabilmek için rekabetçi piyasada kendilerine yer bulmaya çalışmaktadır. Bu piyasa koşullarında kullanılan malzemelerin çeşitlerinin giderek artmasıyla, malzeme tasarımı yapan firmalarda bu ürünlere ait farklı özelliklerini ortaya çıkarma denemeleri, teknik özelliklerinin yanında başka özelliklerinin de ön plana çıkmasına neden olmuştur. Endüstride kullanılan çeşitli malzeme türlerinde demir, çelik, ağaç, plastikler, nanoteknoloji ürünleri, polimerler, seramikler gibi birçok malzeme gibi farklı malzemeler, ürünün doğal durumunu farklılaştıran temel taşıyıcılar olarak gösterilebilir. Bir ürün için malzeme seçim aşamasında ürünün dış görünüşü, hissiyatı, dokusu gibi algısal yönlerinin yanında, korozyon dayanımı, mukavemet, iletkenlik gibi teknik özellikler de hala büyük önem taşımaktadır. Özellikle teknik özellikleri bakımından ön plana çıkan yeni ve ileri malzemeler başlarda yalnızca mühendislik alanına hizmet ettiyse de, zaman içerisinde mimari, sanat ve ürün tasarımı alanlarına da nüfuz etmiştir. Malzeme alanındaki bu gelişmeler farklı uygulama alanları bularak günümüzde araştırma geliştirme yatırımları yapan firmalar tarafından verimli, dayanıklı, çevreye daha az zararlı, geri dönüştürülebilir malzeme tasarımı için değerlendirilmektedir. Malzemelerin gelişen teknolojiyle beraber devamlı alternatif çeşitlerinin değerlendirildiği bu günlerde, çeşitli tasarım çalışmalarının tetiklenmesi imalat teknikleri için önemlidir. Böyle bir teknoloji çağında malzemelerin öncü bir tasarım ve faaliyet alanı oluşunu ve yeni bir tasarım anlayışını görmek mümkündür.

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

Otomotiv sektöründe çok sayıda farklı tip malzeme çeşidi kullanılmaktadır. Kullanılan malzeme çeşitlerine alternatif olarak polimer matrisli kompozit malzemeler değerlendirilmektedir. Ülkemizde polimer matrisli kompozit malzemeler ürün tasarımında değerlendirilen önemli malzemelerdendir. Polimer matrisli kompozit malzeme kullanılarak üretim yapan otomotiv firmalarını incelemek, otomotiv sektöründeki kullanım alanlarını araştırmak, üretim yöntemleri çeşitlerini incelemek, bu malzemeyi kullanma nedenlerini araştırmak, ürün maliyeti, ürün performansı gibi konulardaki avantaj ve dezavantajlarını belirlemek, Türkiye’de otomotiv endüstri ürünleri tasarımı alanına ciddi anlamda fayda getirecektir.

2. PROJENİN AMACI

Otomotiv endüstrisi günümüz teknolojisinin hep en ileri seviyesini kullanmaya özen göstermektedir. Otomotiv endüstrisindeki çalışmalarla birlikte kompozit malzemelerden faydalanma isteği giderek artmaktadır. Kompozit malzemeler arasında en yaygın olarak kullanılan polimer matrisli kompozitlerdir. Polimer matrisli kompozit malzemeler gelişen teknolojiyle beraber seri üretim yapan otomotiv firmalarının malzeme tasarımı sürecinde mühendislik alanının önde gelen çalışmalarında yer almasına neden olmuştur.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan polimer esaslı kompozit malzemelerin araştırılması ile bu malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişimi değerlendirilerek güvenliğe, ekonomiye ve çevreye olan etkileri üzerinde çalışılmalar ele alınacaktır. Proje, kompozit malzemelerin kullanım alanına göre ürün geliştirme prosesleri ve üretim yöntemlerinden ürünün son haline kadar yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Proje çalışmasında elde edinilen bilgiler bu konuda çalışma yapacak araştırmacılara ve otomotiv endüstrisine ışık tutacaktır.

3. PROJENİN ÖNEMİ

Kompozit sektörünün otomotiv endüstrisindeki önemi her geçen gün giderek artmaktadır. Ülkemiz ve dünya otomotiv endüstrisinde hem yatırımcılar için hem de kullanıcılar için mukavemeti yüksek, uzun ömürlü, daha hafif, daha çağdaş çözümler sunan kompozit malzeme alternatiflerini aramalarının ekonomik politikaya katkı sağlayacağı görüşleri hakimdir. Tüm dünyada enerji kaynaklarından petrol ham maddesindeki azalış göz önünde bulundurularak otomotiv sektöründe enerji tasarrufu sağlamanın temel amaçları arasında bu sektörde kompozit malzeme kullanımı ile ilişkilendirilmektedir

Polimer matrisli kompozit malzemelerin, üretilerek keşfedilmeye başlanmasıyla özellikle ağırlıkça hafif, dayanımı yüksek malzeme seçimi gerektiren alanlarda hızla ön plana çıktığı görülmektedir. Otomotiv endüstrisi birçok farklı yapıda malzemenin kullanıldığı ve gelişen teknolojiyle her geçen gün farklı malzeme türlerine ihtiyacın olduğu önemli ve büyük bir endüstri alanıdır. Gelişen otomotiv endüstrisinde dikkat edilen en önemli özellikler konfor ve güvenlik başta olmak üzere otomobilin yakıt tasarrufu, ağırlığının dayanıma oranla az, güvenliğinin yüksek seviyede olmasıdır. Bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda malzeme seçim kriterlerini inceleyen mühendisler birçok otomobil parçasında polimer matrisli kompozit malzemelerin kullanılabilirliği üzerinde araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapılan araştırmaların neticesinde uzun yıllar geliştirilen ürünler için artan rekabet ortamında fiyat- performans dengesi gibi kriterlerle polimer matrisli kompozit malzemeler otomotiv sektöründe payına düşen pazar alanını giderek geliştirmektedir. Otomotiv endüstrisinin geleceği düşünüldüğünde bu sektöre hizmet eden firmalar devamlı kendini geliştirerek ilerlemek durumunda olduğundan günümüzde otomotiv sektöründe kullanılan polimer matrisli kompozit malzemelerin araştırılması, bu alan üzerinde çalışmalar yapılması oldukça önem arz etmektedir.

4. PROJENİN YAPISI VE YÖNTEMİ

Bu çalışmada otomotiv endüstrisi ürünleri tasarımı ve malzeme seçim yönteminin keşişmesi alanlarına odaklanıldığı için malzeme seçimi için önemli olan başlıca koşullar değerlendirilmektedir. Polimer matrisli kompozit malzemelere genel bir bakışla bu konuda bahsi geçen malzeme türlerinin tanımları, çeşitleri, üretim yöntemleri, kullanım alanları gibi konulara değinilmektedir.

Çalışmanın diğler bölümünde otomotiv endüstrisinde mevcut malzeme kullanımları yerine alternatif malzeme yöntemleri üzerinde yapılan çalışmalarda yola çıkılarak polimer matrisli kompozit malzemelerin bu endüstride geldiğı son nokta üzerinde durulmaktadır. Bu malzemelerin otomotiv sektöründe kullanımında getirdiğı avantajlar ve dezavantajların karşılaştırılması, otomotiv firmalarının tarihsel süreçte polimer matrisli kompozit malzeme kullanımına geçiş nedenleri ve sonrasında rekabetçi pazar ortamında edindikleri konum, yarış arabalarında ağırlık azaltarak performans arttırmakta kullanılan yöntem, otomobillerin yakıt tasarrufu için ağırlığı hafifleterek dayanımdan öden vermeden malzeme seçimi için geçtiğı adımlar gibi konular incelenmektedir

5. MALZEME

Malzemeler, kendilerinden bir şeyler oluşturulan veya yapılan maddelerdir. Uygarlığın başından beri malzemeler, enerji ile birlikte insanın yaşama standardını yükseltmek için kullanılmıştır. Ağaç, beton, tuğla, plastik, cam, lastik, çelik, alüminyum, bakır ve kağıt çevremizde en yaygın olarak rastlanılan malzemelerdir. Aslında çevremize baktığımızda, çok daha fazla malzeme çeşidi olduğunu görürüz. Sürekli araştırma ve gelişmelerin sonucunda, sık sık yeni malzemeler ortaya çıkarılmaktadır. Örneğin cam, çelik, plastik, lastik, Al, Cu, tuğla vb.

5.1 Malzeme Bilimi

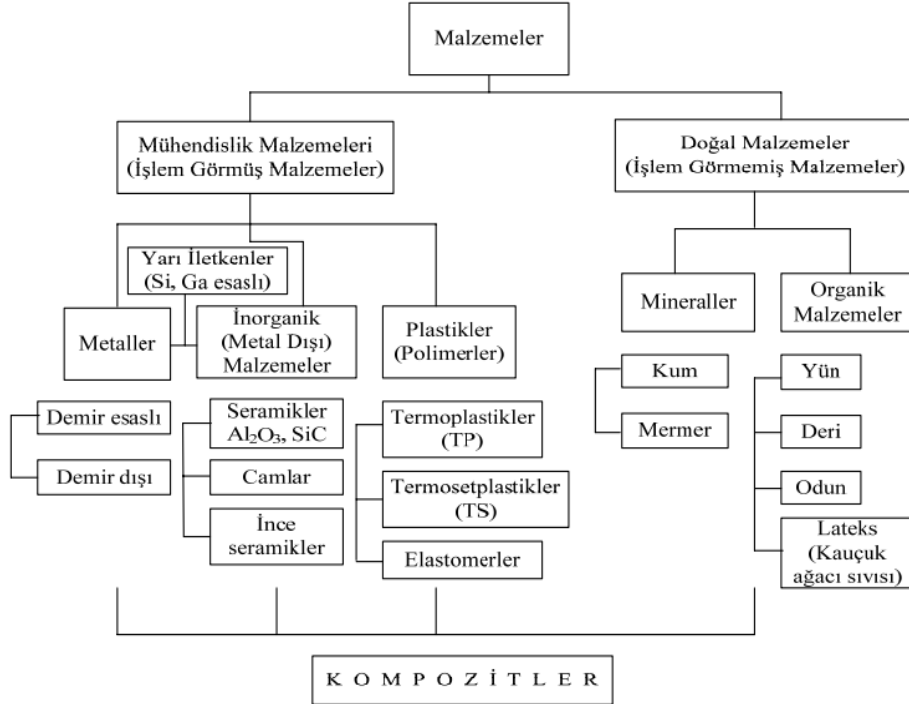
Malzeme Bilimi; malzemelerin içyapıları, özellikleri ve işlenmeleri hakkında temel bilgileri araştırır. Malzeme Mühendisliği; malzemeleri, insanlar tarafından kullanılacak ürünler haline getirmek için temel ve uygulamalı bilgilerle ilgilidir. Disiplin olarak malzeme bilimi, malzemelerin özellikleri ve yapıları arasında var olan ilişkilerin, bağlantıların araştırılmasını kapsar. Bunun tersine malzeme mühendisliği, önceden özellikleri belirlenmiş malzemelerin yapısı, şekillendirilmesi ve bunların yapı özellik korelasyonuna dayanır. Makine, inşaat, kimya ya da elektrik mühendisliğinde çalışan uygulamalı bilim adamları ve mühendisler, malzemelerin şekillendirilmesi, tasarım problemleri ile karşılaşabilirler. Çoğu zaman malzeme problemleri, uygun malzeme seçilmeyişinden kaynaklanabilir. Bu nedenle malzeme seçimi büyük önem kazanmaktadır

5.2 Üretimde Malzeme

Üretimde malzeme kullanıldığından, her bir uygulama için en uygun malzemenin seçilebilmesi ve bunu işlemek için en uygun yöntemin belirlenebilmesi, mühendislerin malzemenin içyapısı ve özellikleri hakkında bilgi sahibi olmalarını gerektirir. Örneğin mühendisler, tasarladıkları X-30 ses üstü uzay uçağının 12-25 Mach hızla uçabilmesi için 1800°C'ye kadar dayanabilecek, yeni yüksek sıcaklık malzemelerine ihtiyaç duymuşlardır. Bu amaçla da Al metal ana fazlı (matrisli) karma (kompozit) malzemeler ve refrakter malzemelerin geliştirilmesine çalışılmaktadır. Örneğin makine mühendisleri jet motorlarını

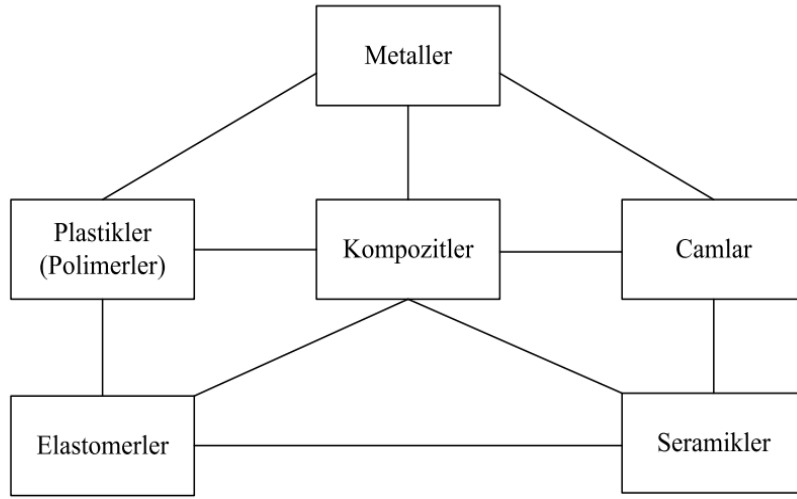
daha verimli çalıştırabilmek için, daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilecek malzemeler aramaktadır. Uzay ve uçak mühendisleri, uzay taşıtları ve uçaklar için daima daha yüksek dayanım/ağırlık oranına sahip malzemeler aramaktadır. Kimya mühendisleri korozyona dayanıklı malzemeler, elektrik mühendisleri ise elektronik aletlerin daha hızlı ve yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi için yeni malzemeler peşindedir.

Malzemeleri kendi içinde sınıflara ayırabiliriz;



Şekil 5. 1 Malzemelerin Sınıflandırılması

Mühendislik alanında kullanılan malzemelerin sınıflandırılmasını ise şu şekilde özetleyebiliriz;



Şekil 5. 2 Mühendislik Malzemelerinin Sınıflandırılması

5.3 Mühendislik Malzemelerinin Gelişimi

Tarih boyunca malzemeler sınırlı olarak tasarlanmış tır. Eski çağlar, insanların kullandığı malzemelerin isimleri ile örneğin taş devri, bronz devri, demir devri gibi adlandırılmıştır. İnsanlar öldüklerinde hazineleri de kendileri ile birlikte gömülmekteydi. Mısır firavunlarından Tutankamon, taş lahit içine renkli camdan yapılmış eşyaları ile, Agamennon ise bronz kılıcı ve altın maskı ile gömülmüşlerdir. Firavunun eşyaları, yaşadıkları zamanın en yüksek teknolojisine ait ürünleri temsil etmekteydi. Düşünün, eğer firavunlar bugün yaşasalar ve ölselerdi yanlarında neler gömülebilirdi? Titanyum saatleri mi? yoksa karbon elyaf ile takviye edilmiş tenis raketlerini mi? Yoksa metal matrisli kompozit dağ bisikletlerini mi? Ya da polieter etil keten kasklarını mı? Günümüz tek bir malzeme çağı değildir ve çağımızda malzemelerin sınırı yoktur. Şimdiye dek günümüzdeki kadar malzemelerin çok hızlı geliştiği ve özelliklerin bu kadar değişkenlik gösterdiği asla başka bir çağ olmamıştır. Mühendislerin temin edilebileceği malzeme listesi öyle hızlı gelişmektedir ki, üniversiteden 30 yıl önce mezun olan birinin bu malzemelerin yarısından bile haberi yoktur. Ama yeni malzemelerin bilinmemesi tasarımcı için risk oluşturmaktadır. Tarih öncesi malzemeler M.Ö.10000'den önce taş devrinde taş, daha sonraları ise seramikler ve camlar, doğal polimerler ve kompozitlerdi. Her zaman teknolojinin en üst noktasında olan silahlar, ahşap ve çakmak taşından yapılmaktaydı. Bölgesel olarak bulunan altın ve gümüşün ise teknolojiye rolü çok küçüktü. Bakır ,bronz ve daha sonrada demirin bulunuşu (bronz devri M.Ö.4000-1000 arası ve demir devri M.Ö.1000-M.S.1620 arası) ahşaptan ve taştan mamul eski silahların ve takımların yerini alarak teknolojinin ilerlemesini geliştirmiştir. Dökme demir teknolojisi (1620-1850) mühendislikte metallere hakimiyet kurmasını sağlamıştır. Ve

daha sonra çelikler, hafif alaşımlar ve özel alaşımlardaki gelişmeler de metallerin konumun sağlamlaştırmıştır. 1960'lı yıllarda mühendislik malzemeleri denilince akla ilk gelen malzemeler metallere olmaktadır. Ancak, diğer malzemeler de gelişmekteydi. rnek olarak, seramikler sınıfından Portland imentosu, refrakterler ve silika, polimer sınıfından kauçuk, bakalit ve polietilen sayılabilir. Ancak bu malzemelerin toplam malzeme pazarındaki payları çok azdı. Daha sonraki yıllarda metal alaşımlarının gelişme hızı yavaşlamıştır. Bir yandan çeliğe ve dökme demire olan talep azalırken, diğer yandan yüksek performanslı seramiklerin üretimi, polimer ve kompozit endüstrisi hızla gelişmektedir. Malzemelerde görülen hızlı değişimi tasarımcılar görmemezlikten gelemezler.

5.4 Endüstri rnleri Kullanımında Malzeme Seçimi

Malzeme seçimi bir ürünün meydana getirilmesinde takip edilen en önemli özelliklerden biridir. İnsanoğlu geçmişten günümüze dek ihtiyaçlarını karşılama doğrultusunda her zaman bazı eksikliklerin farkına vararak o eksikliklerle alakalı gerekli malzemelerin oluşması için çalışmalar yapmıştır. Doğru malzemeyi seçmek en önemli unsurdur. Örneğin bir otomobilin hareketini sorunsuz gerçekleştirebilmesi için uygun malzemedir yapılmış yuvarlak bir tekerlekle sorunu ozmek yerine sürtünmeyi arttıran hareket kabiliyetini kısıtlayan farklı geometride bir tekerlek seçimi kullanılan ürünün işlevinde ciddi sorunlar oluşturur. Malzeme seçimi için adım adım bazı önemli kriterler değerlendirilerek ilerlenir. Bu adımlar için öncelikle ürünün kullanım amacına uygun kullanılacak malzemenin tasarımını gerçekleştirmektir. Kullanılacak olan malzemedir avantaj ve dezavantajlar karşılaştırılarak teknolojik gelişmelerin göz önünde bulundurulmasıyla malzeme seçimi için aşamalar izlenmeye devam edilir. Bunun yanında seçilen malzemenin üretim yöntemlerinin kolaylığı, ulaşılabilirliği, maliyeti, güvenliği ve dayanımı gibi özellikleri ön planda tutularak malzeme seçimi yapılması gerekmektedir. Öncelikle nasıl bir ürün ne amaçla kullanılacaktır buna karar verilerek en uygun malzeme geliştirilir.

Otomotiv endüstrisinde otomobil parçaları bu pazarda endüstri ürünlerinin çok büyük bir kısmına hkmedir. İlerleyen teknolojik gelişmelerle otomotiv sanayisinde kullanılan parçaların geliştirilmesine yönelikte ciddi çalışmalar devam etmekte ve artmaktadır.

Otomotiv sektöründe güvenlik en önde tutulan özelliklerdendir. Bununla birlikte performans, yakıt, maliyet ve dayanım gibi özellikler üretimden pazar alanındaki yerini alana

kadar geçen sürede her zaman dikkat edilen unsurlardır. Tüm kriterler göz önünde bulundurulduğunda otomotiv sektöründe günümüz teknolojisini için polimer matrisli kompozit malzemelerin kullanımı giderek hız kazanmakla birlikte yaygınlaşmaya devam etmektedir.

6. KOMPOZİTLER

Makroskobik düzeyde bir araya getirilmiş ve birbiri içinde çözünmeyen iki veya daha fazla bileşenden oluşmuş yapı malzemelerine kompozit denmektedir. Bileşenlerden birisi takviye fazı, diğeri ise matris fazı olarak adlandırılır. Takviye fazının malzemesi fiber, partikül veya pul formunda olabilir. Matris fazı malzemeleri genelde süreklidir. Kompozit sistemlere örnek olarak çelikle takviye edilmiş beton veya grafit vb. elyaflarla takviye edilmiş Epoksi verilebilir [1].

6.1 Kompozit Malzeme Yapımında Temel Maddeler

Matris, kompozit malzemelerde takviye malzemesini bir arada tutan maddeye verilen addır. İmalat aşamasında sıvı olup, daha sonra katı forma kolaylıkla geçebilmelidir.

Fiber; lif veya elyaf olarak adlandırılmaktadır, matris malzemenin içinde yer alıp kompozit malzemenin en önemli mukavemet elemanıdır.

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun bir şekilde evreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir.

Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir elyaf demeti düşünülüğünde yük bir ya da birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit olarak dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gerektirir. Elyaf yönlenmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matris arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris elyafa göre daha zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur.

Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise elyaf ya da matriste oluşacak bir çatlakın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise elyaf veya matristen başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler.

Kompozit Malzemelerin Başlıca Özellikleri:

- Kompozit aslında karışım anlamına gelmekle birlikte çözünen ve çözen bileşenlerden oluşmaz.
- Bileşenler arasında atom alışverişi bulunmamaktadır.
- Kompozit bileşenleri kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler.
- Malzemeler birbiri içerisinde çözünürse ve atom seviyesinde bir karışım söz konusu olursa, bu tür malzemeler kompozit değil alaşım olur.
- Karışım nanometre seviyesindeki partiküller düzeyinde olursa ise bu tip kompozitlere nanokompozitler denir.

Kompozitler genel olarak matris ismi verilen bir ana malzeme ve takviye elemanı ismi verilen daha mukavim bir malzemedan oluşturulur.

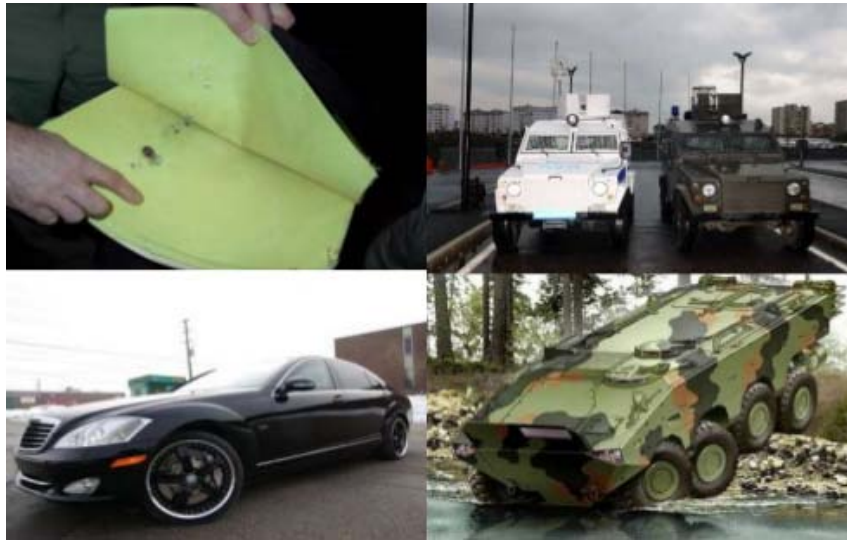
Bu iki malzeme grubundan, takviye malzemesi kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir.

Günümüzde, havacılık, gemicilik, enerji ve savunma sanayii gibi birçok sektörlerde çok farklı kompozit malzemeler ve ürünler geliştirilmiştir.

6.2 Kompozit Malzemelerin Kullanımı

Günlük Ve Ticari Hayatta Kullanım: Bu amaçla, yaygın şekilde cam elyafı, cam, keçe ve cam dokuma ile polyester reçineden yapılan çeşitli ürünler kullanılmaktadır. Cam elyaf oranı % 30– 40 arasındır. Çay tepsisi, masa–sandalye, depo, küvet, tekne, bot ve otomotiv sanayi bu kompozitlerin uygulama örnekleridir. Ayrıca formika, baskılı devre plakası, elektrikçi fiberleri, spor malzemeleri ve araç şarjı atlama sırtıkları, kaynak takımı, tenis raketi, yarış kanoları değişik birleşik malzemelerden yapılan ürünlerdir.

Askeri Alanda Kullanım: Kompozit malzemelerin askeri alanda kullanıma birkaç örnek aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 6. 1 Kompozit Malzemelerin Askeri Alanda Kullanım Örnekleri

Bu kullanımlara ek olarak askeri alanda yaygın olarak kişisel zırh üretiminde de kompozit malzemelerden faydalanılmaktadır.



Şekil 6. 2 Kompozit Malzemelerden Üretilmiş Kişisel Zırhlara Örnekler

Bir diğer yaygın kullanım ise askeri personel taşıma ve savaş araçlarında yaygın bir biçimde görülmektedir.



Şekil 6. 3 Kompozit malzemelerin Kullanım Alanı Olarak Askeri Araçlar

Uzay ve Havacılık Sanayisinde: Kompozit malzemelerin uzay ve havacılık sanayinde kullanımı başta hafiflik ve sağlamlık nitelikleri sayesinde. Amaç daha az yakıt harcamak, daha yüksek hıza ulaşmak ve verimliliği sağlamaktır. Bu kullanımda sadece maddi kazanç düşünülmemiş stratejik performanslarda dikkate alınmıştır. Özellikle titreşim, yorulma ve ısı dayanımı gibi nitelikler uzay ve havacılık sanayinde birleşik malzemelerin önde gelen avantajlarıdır.

Kompozit malzemeler, değerli niteliklerden dolayı uzay ve havacılık araçlarında gittikçe daha fazla kullanılmaktadır. Bugün bir av bombardıman uçağında kompozit malzeme kullanımı toplam uçak ağırlığının yarısına ulaşmış bulunmaktadır. Bu sayede bor karbür, silisyum karbür, alümina karbon, cam ve aramid elyafı değişik reçinelerle değişik birleşik malzemeler yapımında kullanılmaktadır.

Silah, Roket Ve Diğer Mühimmat Sanayisinde: Kompozit malzemelerin silah üretimi de kullanımı pek yaygın olmamakla beraber 3000 bar'a kadar dayanabilen 60 ve 81 mm gibi

küçük çaplı havanlar için bazı çalışmalar olmuştur. Bu silahlar hafifliği nedeniyle piyadenin savaş performansını artırıcı niteliktedir.

Roket üretiminde kompozit malzemelerin rolü oldukça büyüktür. Örnek olarak M72’de motor lançeri cam elyafı ve epoksiden, Apilasta ve diğer tanksavar roketlerde gövde kısmen aramid ve epoksiden, M77 MLRS’de lüle (nozzle) karbon takviyeli kompozit malzemedен yapılmaktadır.

Mühimmat üretiminde de birleşik malzemeler kısmen kullanılmaktadır. M19 A/T mayınında gövde ABS reçine ve cam elyaf parçacıklarından, bu mayına ait küçük ve büyük Belleville yayları cam doku ve fenolik reçineden yapılmışlardır. 155mm’lik ICM mühimmatı gövdelerinde cam elyafı epoksi sargı vardır. Miğfer konusunda aramid elyaf ile değişik reçineler kullanılmaktadır.

Kurşun geçirmez yeleklerde günümüzde bitişli Kevlar®’dan, balistik testler için zırh levhaları cam ve fenolik reçineler imal edilmektedir ve tasarım alternatiflerinin bulunmasıyla git gide artacak ve birçok avantajlarıyla insanlığın hizmetine verilmiş olacaktır.

Kompozit malzemeler matris elemanına göre üçe ayrılır:

- a. Metal matrisli kompozitler
- b. Seramik matrisli kompozitler
- c. Polimer matrisli kompozitler

6.3 Metal Matrisli Kompozitler

Adından da anlaşılacağı gibi Metal Matrisli Kompozitler (MMK), metal bir matrise sahiptir. Bu tür kompozitlerde kullanılan matrislere örnek olarak Alüminyum, Magnezyum ve Titanyum, fiberlere örnek olarak karbon ve silisyum karbür verilebilir. Metaller, tasarım ihtiyacını karşılamak üzere kendi özelliklerini arttırmak veya azaltmak için takviye edilir. Örneğin silikon karbid gibi fiber ilavesiyle metallerin elastik rijitlik ve mukavemetleri arttırılabilir. Yüksek değerlerdeki termal genişleme, termal ve elektriksel iletkenlik katsayıları azaltılabilir [1].

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak elde edilirler. Bu malzemeler daha çok

uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskobu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları vs. yerlerde kullanılır.

6.4 Seramik Matrisli Kompozitler

Bu amaçla yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramikleri kullanılmaktadır. Başlıcaları Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B₄C, CbN, TiC, TiB, TiN, AlN' dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir yada bir kaç beraber kullanılarak CMC ler elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir.

Metal ve seramik matrisli kompozit malzemeler ihtiyaç duyulan sektörlerde yoğunlukla kullanılsa da kompozit malzemeler arasında en yaygın polimer matrisli kompozitler kullanılmaktadır.

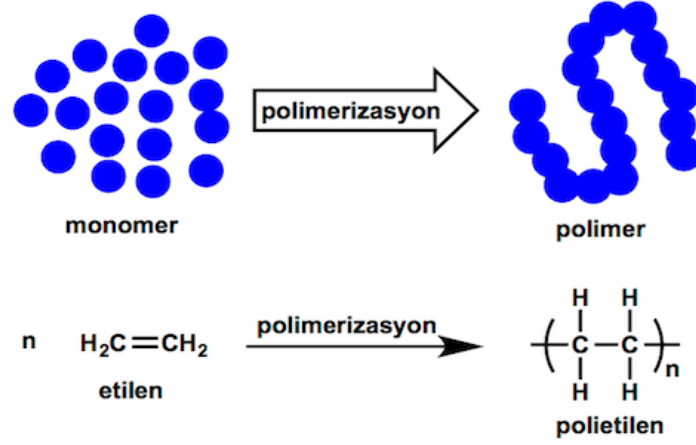
6.5 Polimer Matrisli Kompozitler

6.5.1 Polimerler

Polimer (Yunanca: poli "çok", meros "parça"; çok parçalı anlamında), monomer denilen görece küçük moleküllerin birbirlerine tekrarlar halinde eklenmesiyle oluşan çok uzun zincirli moleküllerdir.

Polimerler; termosetler, termoplastikler ve elastomerler olmak üzere üç çeşittir.

- Termosetler: Polyester, epoksi, fenolformadehid
- Termoplastikler: Polietileni polikarbonat, naylon
- Elastomerler: Kauçuk, polibütadien, polikloropren



Şekil 6. 4 Polimerizasyon İşlem Şeması

Polimerler düşük üretim maliyetleri, kolay şekil almaları ve amaca uygun üretilibilmeleri nedeniyle her alanda yaygınlaşmıştır.

Günümüzde geçmişten beridir hayatımızın içinde kullanılan malzemelerin daha sağlam daha hafif ve daha dayanıklı malzemeler kullanılması hemen her malzemede istenilen ortak özelliklerdendir. Bu özelliklerin yanına teknolojik gelişmeleri takip eden ve diğer malzeme rakiplerine göre çok sayıda avantaj sağlayan malzemelerin bulunmasıyla beraber çeşitli sektörlerde bu malzemeler kendilerine pazar bulmuşlardır.

Plastik malzeme olarak da bilinen suni polimerler, son 40-50 yıl içinde büyük gelişme göstererek günümüzde hacim olarak metallerle hemen hemen eşit oranda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun başlıca nedenleri; bu malzemelerin nispeten ucuz, kolay işlenebilir, hafif, yüksek kimyasal ve korozyon direncine sahip olmalarıdır. Ayrıca yüksek ısıl ve elektriksel özelliklere ve yeterli mekanik özelliklere sahiptirler.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde polimer teknolojisi büyüme hızı %10'dan fazladır. Önümüzdeki yıllarda dünyada yıllık polimer üretiminin 300-400 milyon ton olması ve polimerik malzemelerin birçok uygulamalarda diğer malzemelerin yerine alternatif malzemeler olarak kullanılması beklenmektedir. Halen büyük kapasitelerde üretilen ve günlük hayatta kullanımı yüzlerce tonu bulan PE, PP, PS, PVC gibi klasik polimerlerin yanı sıra mühendislik polimerleri de spesifik ve üstün özellikleri nedeniyle uygulamalarda önemli yer tutmaktadırlar.

6.5.2 Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitlerin kullanımının fazlaşmasında önde gelen sebepler bu malzemelerin kullanım avantajlarıdır. Polimer matrisli malzemelerin kullanım alanına göre sağlamlık , esneklik, hafiflik, darbe dayanımı, dayanıklılık ve buna benzer günlük kullanımda fayda sağlaması önemli avantajlar sunmaktadır. Bu faydalarının yanında bulunan dezavantajları düşük çarpışma enerjisi performansı, geri dönüşüm zorlukları, rekabetçi maliyet baskısı ve endüstrinin malzemeye olan yabancılığı gibi önde gelen dezavantajları vardır.

Polimer matrisli kompozitler iki kategoride incelenebilir:

- Parçacık dolgulu kompozitler
- Sürekli elyaf kompozitler

Parçacık dolgulu kompozitler, bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir.

Sürekli fiber takviyeli olarak yaygın olarak kullanılan polimer matrisler termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılır. Bu kompozitlerin sürekli fiberlerle takviye edilmiş polyester ve epoksi reçine matrisli olanları en önemlileridir. Kullanılan takviye malzemelerinin başlıcaları ise, cam fiber, Kevlar® fiber, bor fiber ve karbon fiberlerdir.

Sürekli elyaf içeren polimer kompozitler yüksek performans istenilen alanlarda en önemli malzeme seçimlerinin başında yer almaktadır. Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir. Elyaflarla pekiştirilmiş polimer kompozitler endüstride çok geniş kullanma alanına sahiptir. Pekiştirici olarak cam, karbon Kevlar® ve boron lifleri

kullanılır. Günümüzde kompozit yapılarda en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar

6.5.3 Polimer Matrisli Kompozitlerin Yapı Bileşenleri

Kullanılan matrisler: Termosetler ve termoplastikler.

Kullanılan fiberler: Cam fiberler, bor fiberler, alümina fiberler, karbon fiberler, alümina fiberler aramid fiberler,

6.6 Cam Elyaf- Glass Fiber

Cam elyaf, elyaf takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve kullanılanıdır. Cam elyaf, erimiş camın çekilmesiyle elde edilen bağımsız ince liflerdir. İngilizcede “glass fiber” yada “glass fibre” olarak geçmektedir. Türkçe karşılığı İngilizce anlamının bire bir çevirisidir.

Avantajları yüksek mukavemet, düşük maliyet, yüksek kimyasal direnç ve iyi yalıtım özellikleridir. Dezavantajları ise düşük elastik modül, polimerlere zayıf yapışma, yüksek özgül ağırlık, sürtünme hassasiyeti ve düşük yorulma dayanımıdır.

Cam fiberlerin en yaygın türleri E-Cam ve S-Cam’dır. Buradaki “E” elektrikten gelir çünkü bu fiberler elektrik uygulamaları için tasarlanmıştır. Ancak dekorasyon ve yapısal uygulamalar gibi birçok farklı amaç için de kullanılmaktadır. “S” ise yüksek silika içeriği anlamına gelmektedir. E-Cam ile karşılaştırıldığında S-cam fiberler daha yüksek sıcaklıklarda daha yüksek mukavemet ve yorulma dayanımına sahiptirler. Bu fiberler temelde uzay uygulamaları için kullanılır.

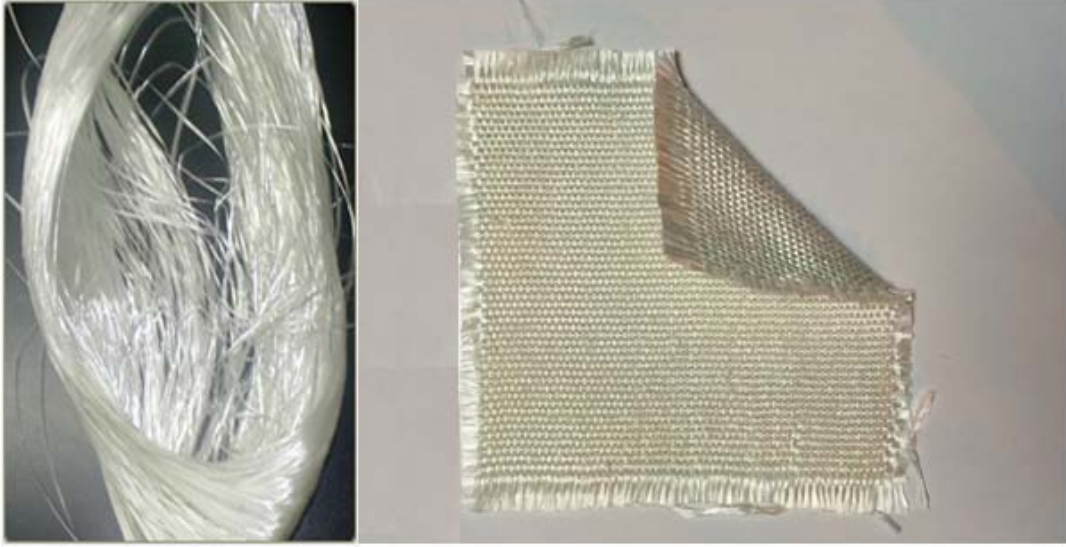
Piyasada var olan diğer türler arasında depolama tankı gibi kimyasal ortamlarda yer alan C-cam (“C” korozyon anlamına gelir), inşaat gibi yapısal uygulamalarda kullanılan R-cam, düşük dielektrik sabitleri gerektiren uygulamalar için kullanılan D-cam, ve yüzey görünümü iyileştirmekte kullanılan A-cam sayılabilir. Ayrıca E-CR-cam (elektrik ve korozyon dirençli cam) ve AR-cam (alkali dirençli cam) gibi bileşik türler de mevcuttur.[1]

Cam elyafın bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Yüksek çekme mukavemetine sahiptirler, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden daha yüksektir.

- Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar. Bu özellikleri katkı malzemeleri kullanılarak iyileştirilebilir.

- Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler. Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyafı kompozitlerin kullanılmasına imkan tanır.



Şekil 6. 5 İplik ve Dokunmuş Hallerde Cam Elyaf

Fiziksel Özellikler									
	A Tipi	C Tipi	D Tipi	E Tipi	Advantex	ECRGlas	AR Tipi	R Tipi	S-2 Tipi
Yoğunluk g/cc	2,44	2,52	2,11-2,14	2,55-2,62	2,62	2,68-2,72	2,70	2,54	2,46-2,49
Refrakto İndeksi	1,538	1,533	1,465	1,558	1,561	1,576	1,562	1,546	1,521
Yumuşama Noktası °C	705	750	771	846	916	882	773	952	1056
Tavlama Noktası °C		588	521	657	736				816
Gerilme Noktası °C		522	477	615	691			736	766
Gerilme Mukavemeti, Mpa									
-196°C		5380		5310		5310			8275
23°C	3310	3310	2415	3445		3445	3241	4135	4890
371°C				2620		2165		2930	4445
538°C				1725		1725		2140	2415
Young Modülü Gpa									
23°C	68,9	68,9	51,7	72,3	76,6	80,3	73,1	85,5	86,9
538°C				81,3	84,3	81,3			88,9
Esneleme %	4,8	4,8	4,6	4,8	4,6	4,8	4,4	4,8	5,7
Spesifik Gerilme Dayanımı x 10 ³ m		145	125	145		140		180	220
Spesifik Gerilme Modülü x 10 ⁶ m		3	2,7	3,1		3,25		3,7	3,9

Şekil 6. 6 Cam Elyaf Çeşitlerinin Fiziksel Özelliklerini Gösteren Tablo

6.7 Bor Elyaf lar

Bor elyaf lar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulamadır.

Bor-Tungsten elyaf lar, sıcak tungsten flamanın hidrojen ve bortriklorür (BCl₃) gazından geçirilmesi ile üretilirler. Böylece tungsten flamanın dışında bir bor plaka oluşur. Bor elyaf lar değişik çaplarda üretilebilirler (0.05 mm- 0.2 mm arasında). Tungsten çekirdek ise daima 0.01 mm çapında üretilir.

Bor elyaf lar yüksek çekme mukavemetine ve elastik modüle sahiptirler Çekme mukavemetleri 27_58 MPa ile 3447 MPa'dır. Elastik modül ise 400 GPa'dır. Bu değer S camının elastik modülünden 5 kat fazladır. Üstün mekanik özelliklere sahip olan bor elyaf lar, uçak yapılarında kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Ancak mukavemetlerinin çok yüksek olması nedeniyle, son yıllarda yerlerini karbon elyaf larla bırakmışlardır.

Bor elyaf ların silisyum karbür (SiC) veya bor karbür (B₄C) kaplanmasıyla yüksek sıcaklıklara dayanım artar. Özellikle bor karbür kaplanması ile çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılabilir. Bor elyaf ların erime sıcaklıktan 2040 °C civarındadır.



Şekil 6. 7 Dokunmuş Bir Bor Elyaf

6.8 Alümina Elyafı

Alümina alüminyum oksittir (Al_2O_3). Elyaf formundaki alümina, 0.02 mm çapındaki alümina flamanın silisyum dioksit (SiO_2) kaplanması ile elde edilir. Alümina elyafının çekme mukavemetleri yeterince yüksek değildir. Ancak basma mukavemetleri yüksektir. Örneğin, alümina/epoksi kompozitlerin basma mukavemetleri 2275 ile 2413 MPa'dır. Ayrıca yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle uçak motorlarında kullanılmaktadırlar.

Bileşen (% Kütlece)	Ortalama Çap (μm)	Ortalama Uzunluk (μm)	Yoğunluk (Mg/m^3)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Sertlik (HV)
$Al_2O_3^*$	95	3.5	200	3.4	300	1000
SiO_2	5					700

* Kristal Faz : $\alpha-Al_2O_3$ ve $\delta-Al_2O_3$

Şekil 6. 8 Alümina Elyaf Kompozisyonu ve Fiziksel Özellikleri [4]

6.9 Grafit Elyafı

Grafit fiberler uçak parçaları vs. gibi yüksek modüllü ve yüksek mukavemetli uygulamalarda çok sık görülür. Grafit fiberlerin avantajları yüksek özgül mukavemet ve

modül, düşük termal genleşme katsayısı ve yüksek yorulma dayanımıdır. Yüksek maliyet, düşük darbe direnci ve yüksek elektrik iletkenliği ise dezavantajları olarak sıralanabilir.[1]

Grafit elyaflar sıklıkla karbon elyaflarla karıştırılmaktadır. Aslında birbirlerinden farklı elyaf türleridir. Karbon elyaflar %93-95 karbon içerirken, grafit elyaflar %99'dan daha fazla karbon içermektedirler. Ayrıca karbon fiberler 1300°C civarında farklı hammaddelerden üretilirler. Grafit elyaflar ise 1900°C'yi aşan sıcaklıklarda üretilirler.[1]

PAN- Temelli Elyaflar	Düşük Modül	Yüksek Modül
Çekme Modülü (ksi)	33	56
Çekme Dayanımı (ksi)	0.48	0.35
Uzama (%)	1.4	0.6
Yoğunluk (g/cc)	1.8	1.9
Karbon Oranı (%)	92-97	100
PITCH- Temelli Elyaflar		
Çekme Modülü (ksi)	23	55
Çekme Dayanımı (ksi)	0.2	0.25
Uzama (%)	0.9	0.4
Yoğunluk (g/cc)	1.9	2
Karbon Oranı (%)	97	99
RAYON- Temelli Elyaflar		
Çekme Modülü (ksi)	5.9	----
Çekme Dayanımı (ksi)	0.15	----
Uzama (%)	2.5	----
Yoğunluk (g/cc)	1.6	----
Karbon Oranı (%)	99	----

Şekil 6. 9 Grafit Fiber Mekanik Özellikleri [1]

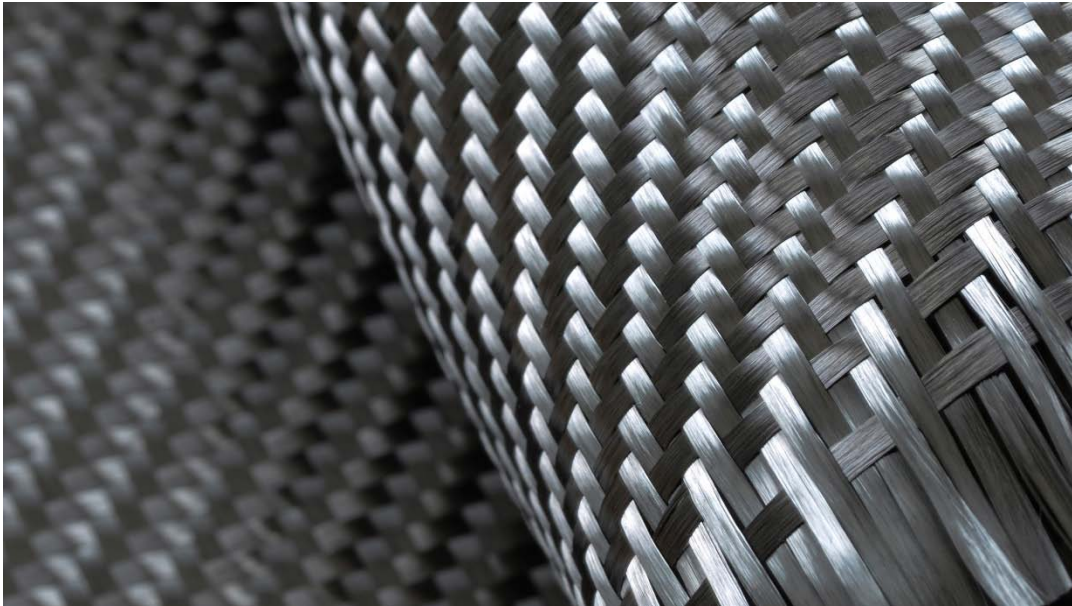
6.10 Karbon Elyaflar

Cam elyafının günümüzde en çok kullanılan ve geçerli takviye malzemesi olmasına rağmen gelişmiş kompozit malzemelerde genellikle saf karbonun elyafı kullanılmaktadır. Karbon elyafı cam elyafına oranla daha güçlü ve hafif olmasına rağmen üretim maliyeti daha fazladır. Hava araçlarının iskeletlerinde ve spor araçlarında metallerin yerine kullanılmaktadır [3].

Karbon lifi ilk defa karbonun çok iyi bir elektrik iletkeni olduğu bilinmesinden dolayı üretilmiştir. Cam elyafının metale göre sertliğinin çok düşük olmasından dolayı sertliğin 3-5 kat artırılması çok belirgin bir amaçtı. Karbon elyafları çok yüksek ısı işlem uygulandığında elyaflar tam anlamıyla karbonlaşırlar ve bu elyaflara grafit elyafı denir. Günümüzde ise bu fark ortadan kalkmaktadır. Artık karbon elyafıda grafit elyafı da aynı malzemeyi tanımlamaktadır. Karbon elyafı epoksi matrisler ile birleştirildiğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterir. Karbon elyaf üreticileri devamlı bir gelişim içerisinde çalışmalarından dolayı karbon elyaflarının çeşitleri sürekli değişmektedir. Karbon elyafının üretimi çok pahalı olduğu için ancak uçak sanayinde, spor gereçlerinde veya tıbbi malzemelerin yüksek değerli uygulamalarında kullanılmaktadır [3]. Karbon elyafları piyasada 2 biçimde bulunmaktadır:

Sürekli Elyaflar: Dokuma, örgü, tel bobin uygulamalarında, tek yönlü bantlarda ve önceden reçine emdirilmiş elyaflarda kullanılmaktadır. Bütün reçinelerle kombine edilebilirler.

Kırpılmış Elyaflar: Genellikle enjeksiyon kalıplamada ve basınçlı kalıplarda makine parçaları ve kimyasal valf yapımında kullanılırlar. Elde edilen ürünler mükemmel korozyon ve yorgunluk dayanımının yanı sıra yüksek sağlamlık ve sertlik özelliklerine de sahiptirler [3].



Şekil 6. 10 Dokunmuş Karbon Elyafı

Karbon Elyaf Mekanik Özellikleri			
	PAN Temelli	PITCH Temelli	RAYON Temelli
Çekme Modülü (Msi)	33 - 56	23 - 55	5.9
Çekme Dayanımı (Msi)	0.48 - 0.35	0.2 - 0.25	0.15
Uzama (%)	1.4 - 0.6	0.9 - 0.4	2.5
Yoğunluk (g/cc)	1.8 - 1.9	1.9 - 2.0	1.6
Karbon Oranı (%)	92 - 100	97 - 99	99

Şekil 6. 11 Karbon Elyaf Mekanik Özellikleri [1]

6.11 Aramid Elyafı

Aramid "aromatik polyamid" in kısaltılmış adıdır. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir. Aramidin moleküler yapısında altı karbon atomu birbirine hidrojen atomu ile bağlanmışlardır.

İki farklı tip aramid elyaf mevcuttur Bunlar Du Pont firması tarafından geliştirilen Kevlar 29 ve Kevlar 49'dur. Aramidin mekanik özellikleri grafit elyaflarda olduğu gibi elyaf eksenine doğrultusunda çok iyi iken elyaflara dik doğrultuda çok zayıftır. Aramid elyaflar düşük ağırlık, yüksek çekme mukavemeti ve düşük maliyet özelliklerine sahiptirler. Darbe direnci yüksektir, gevrekliği grafitin gevrekliğinin yarısı kadardır Bu nedenle kolay şekil verilebilir. Doğal kimyasallara dirençlidirler, ancak asit ve alkalilerden etkilenirler.

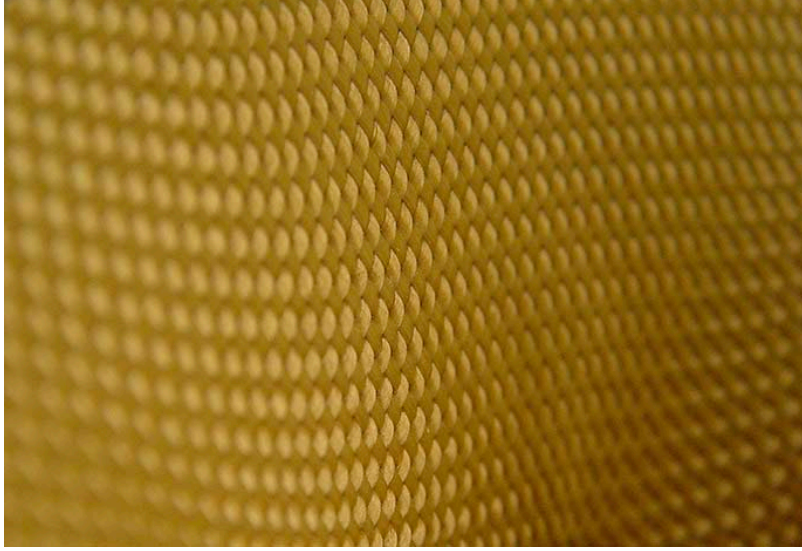
Her iki kevlar da 2344 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler ve kopma uzamaları % 1.8'dir. Kevlar 49'un elastik modülü Kevlar 29'unkinden iki kat fazladır. Kevlar elyafın yoğunluğu cam ve grafit elyafların yoğunluklarından daha düşüktür.

Kevlar 49/epoksi kompozitlerinin darbe mukavemeti grafit/epoksi kompozitlere oranla yedi kat, bor/epoksi kompozitlere oranla dört kat daha iyidir.

Uçak yapılarında, düşük basma mukavemetleri nedeniyle, karbon elyaflarla birlikte hibrid kompozit olarak kumanda yüzeylerinde kullanılmaktadırlar. Aramid elyaflar elektriksel iletkenliğe sahip değildirler. Basma mukavemetlerinin iyi olmamasının yanı sıra kevlar/epoksi kompozitlerinin nem absorbe etme özellikleri kötüdür.[2]

Aramid Elyaf lar Önemli Özellikleri;

- Genellikle rengi sarıdır.
- Düşük yoğunlukludur.
- Yüksek dayanıklılık.
- Yüksek darbe dayanımı.
- Yüksek aşınma dayanımı.
- Yüksek yorulma dayanımı.
- Yüksek kimyasal dayanımı.
- Kevlar fiberli kompozitler Cam fiberli kompozitlere göre 35% daha hafiftir.



Şekil 6. 12 Dokunmuş Aramid Elyaf

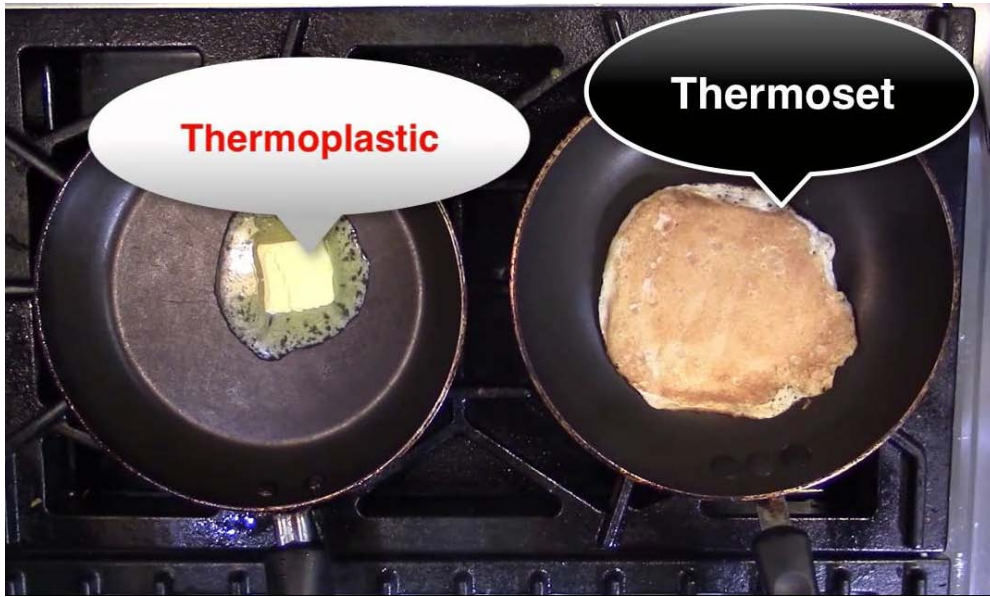
Elyaf	Karakteristik	Modül (Gpa)	Çekme Dayanımı (Gpa)	Kopma Uzaması (%)	Yoğunluk (g/cm ³)
Nomex		17	0.6	22	1.38
Fibre-B		128	2.8	5	1.45
Kevlar 29	Normal	70	2.9	4	1.44
Kevlar 49	<i>Yüksek Modül</i>	135	2.9	2.8	1.45
Kevlar 129	Yüksek Dayanım	99	3.4	3.3	1.45
Kevlar 149	<i>Ultra Yüksek Modül</i>	143	2.3	1.5	1.47
Twaron	Normal	79	3	3.3	1.44
Twaron HM	<i>Yüksek Modül</i>	123	2.8	2	1.44
Technora	Normal	70	3.3	4.3	1.39

Şekil 6. 13 Piyasada Bulunan Aramid Elyafların Mekanik Özellikleri [4]

7. POLİMER MATRİS MALZEMELERİ

Polimer kompozitler matrisi, termoset veya termoplastik olmak üzere ikiye ayrılır. Termoplastik polimerler (nylon gibi), uzun molekül zincirlerinden oluşur. Yüksek sıcaklıklarda bu zincirlerin birbirleri üzerinde kaymaları sonucu, termoplastikler eriyebilme özelliğine sahiptirler. Termosetler ise umumiyetle başlangıçta monomerlerden veya kısa zincirlerden oluşan sıvı bir halde bulunur. Yüksek sıcaklıklara çıkarıldığında, bunların aralarında karşılıklı bağların oluşmasıyla büyük bir moleküle dönüşerek katılırlar. İyileştirme denen bu işlemde sonra artık polimerin erimesi söz konusu olmaz. Termoset ve termoplastik polimerlerin mikro yapılarındaki bu farklılık; mekanik özelliklerine, imalat tekniklerine ve yeniden dönüşüm imkanlarına da yansır. Termoplastikler molekül zincirlerinin hareket kabiliyetinden dolayı termosetlere göre daha az kırılmandır. Mukavemet ve katılık gibi

kompozitin mekanik özelliklerini ağırlıklı olarak elyaf takviyesi belirlediğinden, polimer matrisinin bu gibi özellikleri çok önemli değildir. İmalat yöntemine gelince, termoplastikler yüksek sıcaklıklarda eritilerek şekil verilir, sonra soğutularak katı haline getirilir. Ancak imalatındaki en büyük zorluk, eriyik halde bile viskozitesi çok yüksek olduğundan elyafı karıştırılması çok zordur. Viskozitesini düşürmek için daha yüksek sıcaklıklara çıkarıldığında ise polimer ayrışır ve bozulur. Termosetler ise yaygın olarak içinde örülü elyaf bulunan bir kalıba sıvı olarak aktarılır, sonra sıcaklık artırılarak iyileştirme işlemi yapılır. Bu işlemden sonra şekil vermek mümkün olmadığından termosetlerin yeniden dönüşüm imkanı yoktur. Ayrıca bu iyileştirme işlemi kimyasal bir süreç olduğundan, imalat süresini uzatmaktadır. Bazı otomotiv uygulamalarında iyileştirme işlemi 5-10 dakikaya kadar inmişse de çelik veya termoplastiğin işlenmesine nazaran bu süre uzundur.



Şekil 7. 1 Termoset ve Termoplastik Malzemelerin Isıya Göre Davranışları

7.1 Termoset Matrisler

En çok kullanılan matris malzemeleridir. Çoğu termoset matris sertleşmemeleri için dondurulmuş olarak depolanmak zorundadır. Termoset reçineler kimyasal etkiler altında çözülmez ve olağandışı hava şartlarında dahi uzun ömürlü olmaktadır. Yüksek

sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılırlar. Termoset matris malzemelerin üretiminde kullanılan malzeme tipleri;

- Epoksi Reçine
- Poliester Reçine
- Vinilester Reçine
- Fenolik Reçine'dir

Özellik	Polyester	Epoksi	Polimit
Yoğunluk(gr/cm ³)	1.1 - 1.4	1.1 - 1.2	1.43 - 1.9
Çekme Mod.(GPa)	1.2 - 4	2 - 5	3.1 - 4.9
Kayma Mod.(GPa)	1 - 2	1.5	-
Çekme Muk.(MPa)	45 - 95	55 - 120	70 - 110
Basma Muk.(MPa)	140 - 90	-	288
Poisson Oranı	0.35 -0.36	0.25 - .39	-
Kopma uzaması(%)	2 - 6	1.5 - 8.5	1.5 - 3
Isıl Gen.Katsayısı (°C ⁻¹ .10 ⁻⁶)	60 - 70	55 - 70	
Kullanım Sıcaklığı (°C)	150-175	150-260	300
Çekme (%)	5 - 12	1 - 5	-

Şekil 7. 2 Bazı Termoset Matrislerin Mekanik Özellikleri

i. Epoksi Reçineli Matrisler

Avantajları:

- Kopma mukavemetleri yüksektir.
- Elyaf yapılarla yüksek bağ mukavemeti sağlarlar.
- Yüksek aşınma direncine sahiptirler.
- Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir..
- Düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler.

Dezavantajları:

- Polyesterle karşılaştırıldığında pahalıdır.
- Polyestere oranla daha yüksek viskoziteye sahiptirler.

ii. Polyester Reçineli Matrisler

Avantajları:

- Takviyelerin neminin kolayca dışarı atılabilmesine izin veren düşük viskozite.
- Düşük maliyet.
- Çeşitli uygulamalar için geniş bir sınır içinde kolay imal edilebilirlik.
- İyi çevresel dayanım.

Dezavantajları:

- Kür sırasındaki yüksek ekzotermik reaksiyon zayıf elyaf/matris bağı mukavemetine neden olur.
- Sistem gevrekleşmeye eğilimlidir.
- Çok seyreltik alkalilere bile zayıf kimyasal direnç gösterir.

iii. Vinylester Reçine Matrisler

- Polyesterlere benzerler.
- En önemli avantajları elyaf ve matris arasında iyileştirilmiş bir bağ mukavemetine sahip olmalarıdır.

iv. Fenolik Reçine Matrisler

- Fenol, alkalın şartları altında formaldehitle yoğuştuğunda polimerizasyon oluşur.
- Polimerizasyon asidik şartlar altında yapılır.
- Fenolik reçinelerin en büyük avantajı yüksek sıcaklık dirençleri olmalarıdır.

- En önemli dezavantajları ise diğer matris malzemelerine göre mekanik özelliklerinin düşük olmasıdır.

7.2 Termoplastik Matrisler

Termoplastik polimerlerinin çeşitlerinin çok fazla olmasına rağmen matris olarak kullanılan polimerler sınırlıdır. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar ısıtıldıklarında yumuşarlar. Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastik soğutucu içinde bekletilmeden depolanabilir. Termoplastiklerin kompozit malzemelerde matris olarak tercih edilmemelerinin başlıca nedeni üretimindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetidir. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan termoplastikler uçak sanayisinde de yüksek performanslı malzeme çözümlerinde kullanılmaktadırlar. Bu alanda en yaygın olarak kullanılan malzemeler Polipropilen, Poliamid, Polietilen'dir.

Malzeme Adı	Öz Kütle g/cm ³	Çekme Muk. MPa	Elastik Mod. MPa	Sıcaklık Sınırı °C
Poli-Etilen (PE) (düşük yoğunluk)	0.92-0.93	7-17	105-280	80
Poli-Etilen (PE) (yüksek yoğunluk)	0.95-0.96	20-37	420-1260	100
Poli-Vinil-Klorür (PVC)	1.50-1.58	40-60	2800-4200	110
Poli-Propilen (PP)	0.90-0.91	50-70	1120-1500	105
Poli-Stiren (PS)	1.08-1.10	35-68	2660-3150	85
Akronitril-Butadien-Streyn(ABS)	1.05-1.07	42-50	-	75
Poli-Met-Metha-Arkilik (PMMA)	1.11-1.20	50-90	2450-3150	125
Poli-Tetra-Flor-Etilen(PTFE)(Teflon)	2.10-2.30	17-28	420-560	120
Poli-Amids (PA) Naylor 6.6	1.06-1.15	60-100	2000-3500	82

Şekil 7. 3 Bazı Termoplastik Matrislerin Mekanik Özellikleri

8. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

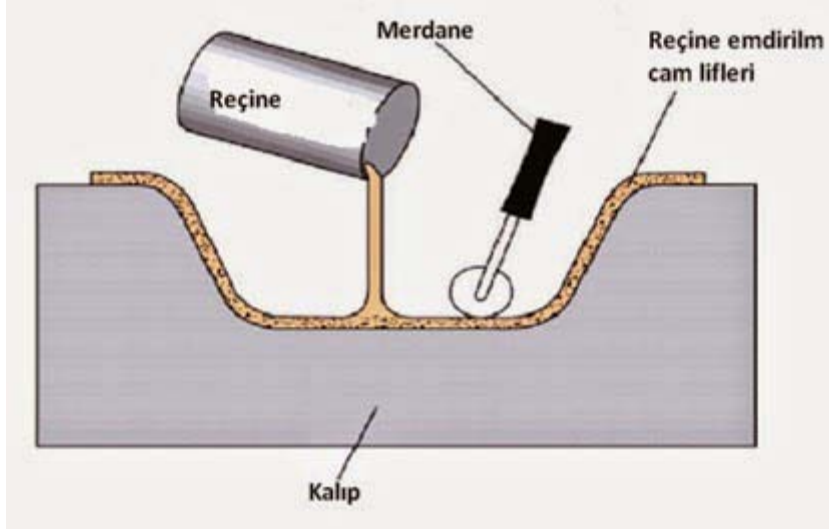
Açık ve kapalı kalıplama yöntemleri olmak üzere iki ana kısma ayrılır.

Açık Kalıplama Yöntemleri:

- El Yatırma Yöntemi
- Püskürtme Yöntemi
- Elyaf Sarma Yöntemi
- Vakum Torbası Yöntemi
- Otoklav Yöntemi

8.1 El Yatırma Yöntemi

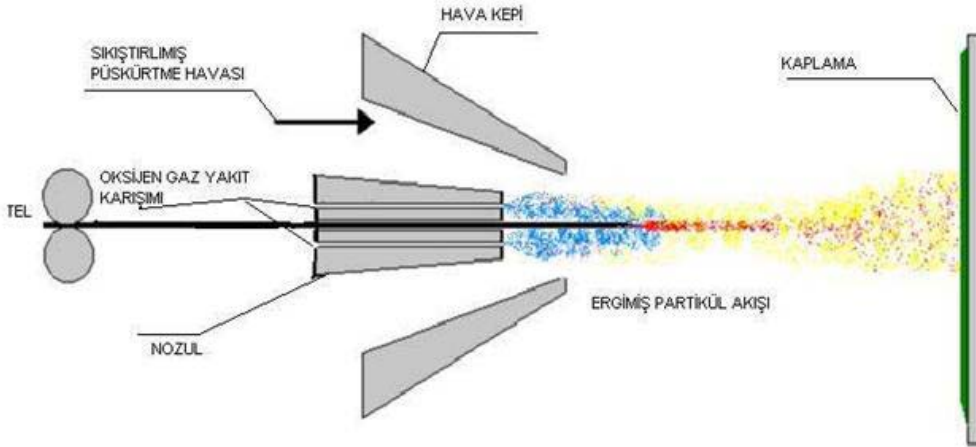
Dokuma veya kırılmış elyaflarla hazırlanmış takviye kumaşları hazırlanmış olan kalıp üzerine elle yatırılarak üzerine sıvı reçine elyaf katmanlarına emdirilir. Elyaf yatırılmadan önce kalıp temizlenerek jelkot sürülür. Jelkot sertleştikten sonra elyaf katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülür Bu işlemde elyaf kumaşına reçinenin iyi nüfuz etmesi önemlidir. El yatırma tekniğinde en çok kullanılan polyester ve epoksinin yansıra vinilester ve fenolik reçineler de tercih edilmektedir. Elle yatırma yoğun işçilik gerektirmesine rağmen düşük sayıdaki üretimler için çok uygundur.



Şekil 8. 1 El Yatırma Yönteminin Şematik Gösterimi

8.2 Püskürtme Yöntemi

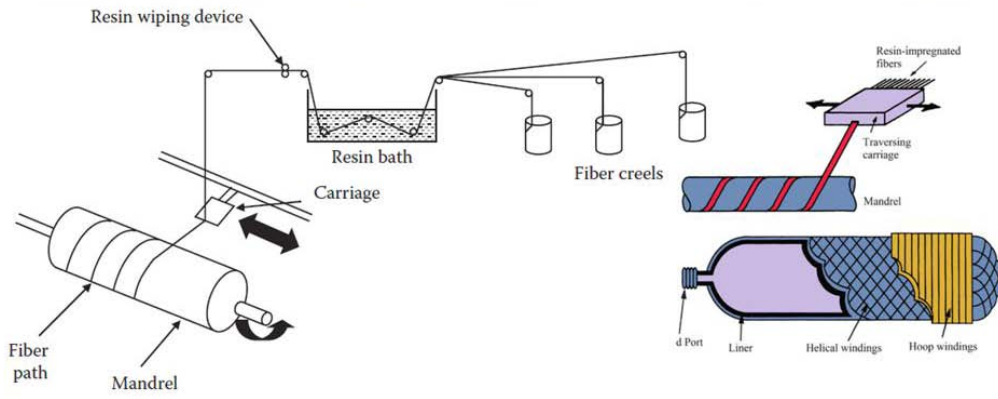
Püskürtme yöntemi elle yatırma yöntemini aletli şekli olarak kabul edilebilir. Kırpılmış elyaflar kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülür. Elyafın kırılma işlemi tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırpıcı sayesinde yapılır. Püskürtülme işlemi sonrası yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesiyle ürün hazırlanmış olur.



Şekil 8. 2 Püskürtme Yöntemi Şematik Gösterimi

8.3 Elyaf Sarma Yöntemi

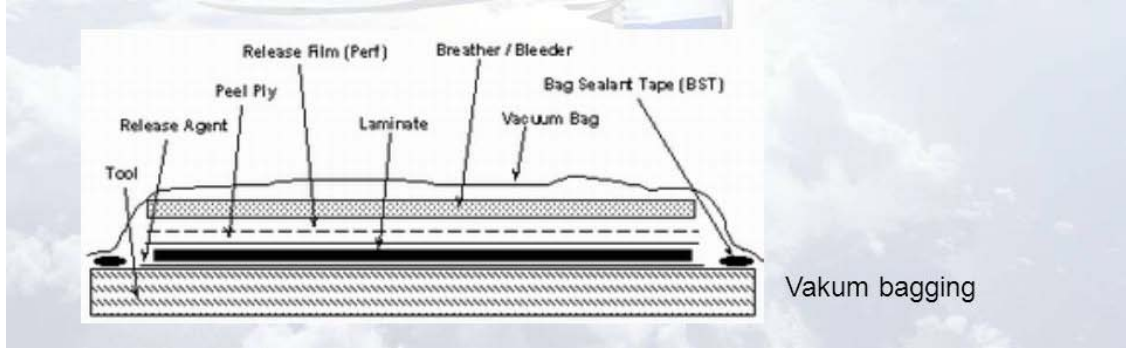
Bu yöntem özel biçime sahip ürünlerin seri üretimine uygundur. Elyaf sarma yöntemi sürekli elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır. Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilir. Yeterli sayıda elyaf katının sarılmasından sonra ürün sertleşir. Ardından döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik, borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tanklarıdır.



Şekil 8.3 Elyaf Sarma Yöntemi Şematik Gösterimi

8.4 Vakumlu Kalıplama Yöntemi

Kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) önce bir kalıba yerleştirilir, ardından bir vakum torbası en üst katman olarak yerleştirilir. İçerideki havanın emilmesiyle vakum torbası, yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygulayarak aşağıya çekilir. Sonraki aşamada tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kür işlemi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve yatırma teknikleri ile bağlantılı olarak uygulanır. Kompozit malzeme tamir işlemlerinde de vakumlu kalıplama yöntemi kullanılmaktadır.

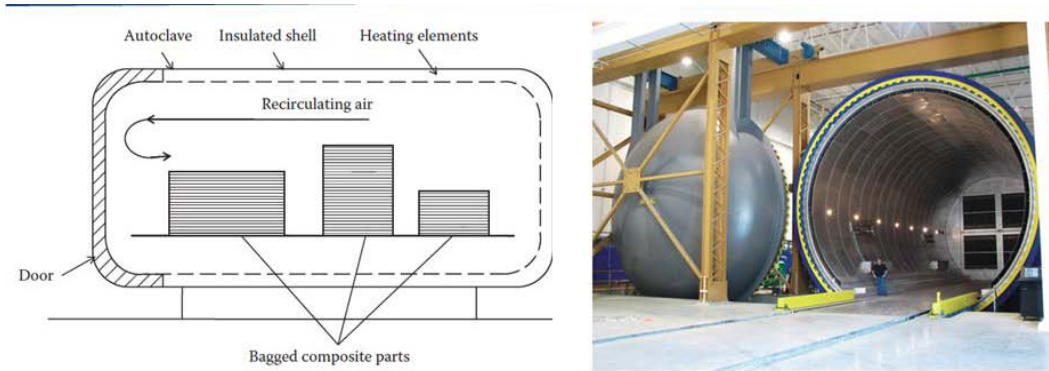


Şekil 8. 4 Vakum Kalıplama Yöntemi Şematik Gösterimi

8.5 Otoklav Yöntemi

Termoset kompozit malzemelerin performanslarını artırmak için elyaf/reçine oranını artırmak ve malzeme içinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen gidermek gerekmektedir. Bunun sağlanması için malzemeyi yüksek isi ve basınca maruz bırakmak gerekir. Vakum bagging yöntemindeki gibi sızdırmaz bir torba ile elyaf/reçine yatırmasına basınç uygulanabilir. Fakat 1 atmosferden fazla düzenli ve kontrol edilebilir bir basıncın uygulanabilmesi için dışsal basınca ihtiyaç duyulur. Bu uygulama için, otoklav yönteminde de uygulanan ve kompleks şekillerde en çok kontrol edilebilen metot, dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesidir.

Otoklav kesin basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçla bir kaptır. Vakum bagging yöntemi ile benzerdir. Fırın yerine bir otoklav kullanılır. Böylece özel amaçlar için yüksek kalitede kompozit üretebilmek için kür şartları tam olarak kontrol edilebilir. Bu yöntem diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanır ve daha pahalıdır.



Şekil 8. 5 Otoklav Yöntemi Şematik Gösterimi

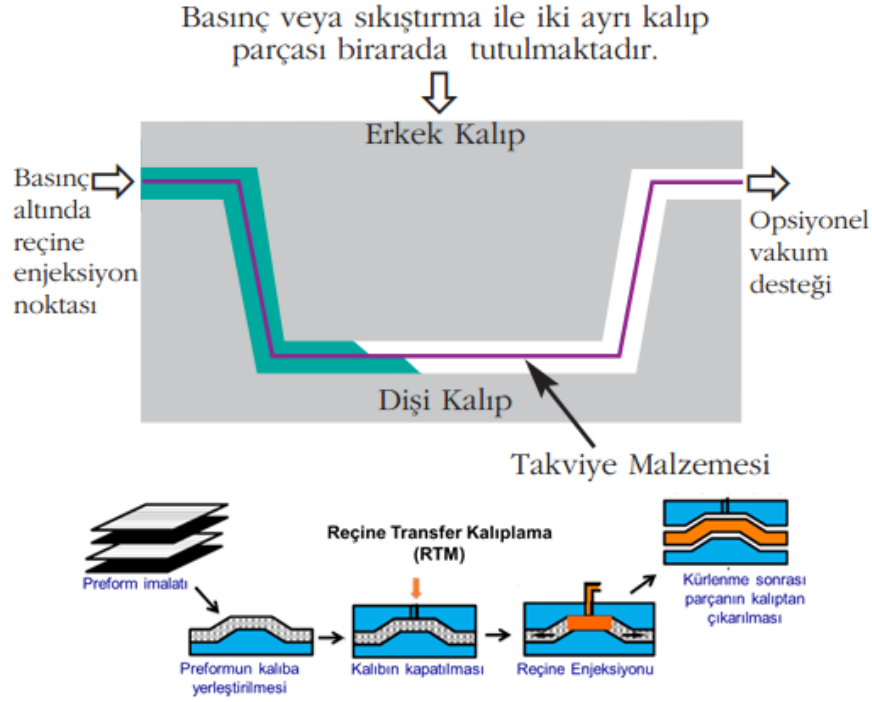
8.6 Üretim Yöntemleri Kapalı Kalıplama Yöntemleri

- Reçine Transfer Yöntemi (RTM)
- Pultrüzyon Yöntemi
- Ekstrüzyonla Kalıplama Yöntemi
- Hazır Kalıplama Yöntemleri
- Enjeksiyonla Kalıplama Yöntemi
- Savurma Kalıplama Yöntemi

8.7 Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi

Bu kompozit üretim yönteminde elle yatırma sistemlere daha hızlı ve uzun ömürlü olmakla birlikte iki parçalı kalıp kullanmak gereklidir. Kalıbın kompozit malzemeyle yapılması çelik kalıp maliyetine göre daha düşük kalmasına neden olmaktadır. RTM yöntemi çoğunluk jelkotlu veya jelkotsuz her iki yüzeyinde düzgün olması istenen parçalarda kullanılır.

Takviye malzemesi kuru olarak keçe, kumaş veya ikisinin kombinasyonu kullanılır. Takviye malzemesi önceden kalıp boşluğu doldurulacak şekilde kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Elyaf lar matris içinde geç çözünen reçinelerle kaplanarak kalıp içerisinde sürüklenmesi önlenir. Reçine basınç altında kalıba pompalanır. Bu süreç daha fazla zaman ister. Matris enjeksiyonu soğuk, ilik veya en çok 80°C'ye kadar ısıtılmış kaplarda uygulanabilir. Bu yöntemde içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içine iyi işlemesi için vakum kullanılabilir. Elyafın kalıba yerleştirilmesini gerektirmesinden dolayı uzun sayılabilecek bir işçilik gerektirir. Kalıp kapalı olduğu için ise zararlı gazlar azalır ve gözeneksiz bir ürün elde edilebilir. Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir. Concorde uçaklarında, F1 arabalarında bazı parçalar bu yöntemle hazırlanmaktadır.



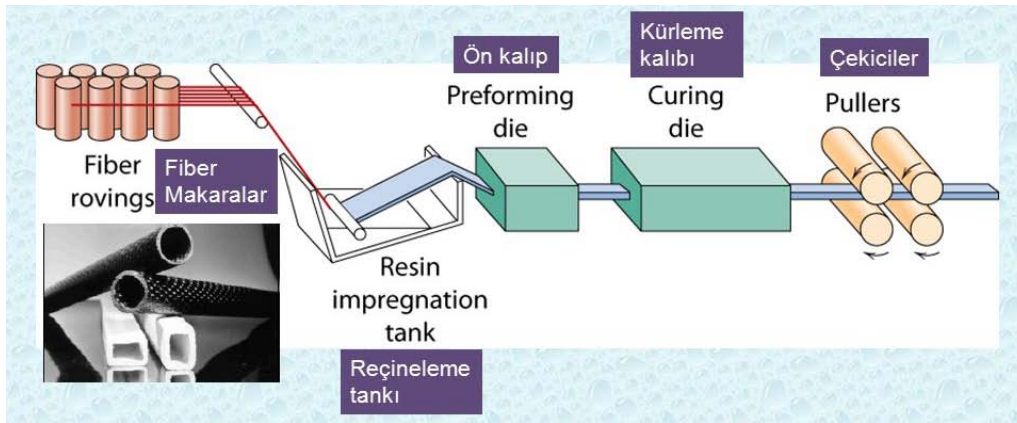
Şekil 8. 6 Reçine Transfer kalıplama Yöntemi Şematik Gösterimi

RTM'nin en önemli avantajları düşük sermaye ve işletme maliyetleri, daha iyi boyutsal doğruluk, kompleks parçaların üretiminde kolaylık, her iki tarafta iyi yüzey kaplaması, nispeten yüksek lif hacim fraksiyonu ve kapalı kalıp teknolojisi nedeniyle "düşük uçucu emisyon" olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte takım tasarımının karmaşık olması ve karmaşık parçaların imalindeki süreç zorlukları veya akış modellemesi gerektirmesi gibi bazı önemli kısıtlamalar RTM'in dezavantajları olarak bilinmektedir [4]. Otomotiv endüstrisinde RTM tekniğinin kullanımı McLaren Automotive tarafından Mercedes SLR için karbon elyaf bileşenlerinin üretimi ile gerçekleşmiştir. Firma, RTM kullanarak yüksek üretim oranları elde etmiştir. Benzer şekilde, dokunmamış kumaş preformları ve RTM tekniği kullanarak, BMW tarafından, M3 ve M6 modelleri için karbon fiber takviyeli plastik (CFRP) çatı ve M6 için tampon desteği üretilmiştir [5]. Böylece, RTM tekniği otomotiv endüstrisinde termoset tabanlı sürekli fiber takviyeli kompozitlerin üretilmesinde tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Mercedes-Benz ile birlikte Toray Industries, RTM tekniği kullanarak yılda 20,000 ila 40,000 parça arasında seri üretim rakamları hedeflemiştir [6-7]. Son zamanlarda, Han ve ark. çok noktadan vakumlu yeni bir yüksek hızlı RTM süreci önermiştir. Bu çalışmanın amacı, geleneksel RTM proseslerinde ürünlerin yüzey alanıyla orantılı olarak reçine enjeksiyon sürelerinin önemli ölçüde artması nedeniyle daha büyük yapıların

üretmesinde kısıtlamalara sahip oldukları için, enjeksiyon süresini azaltmaktı. Bu çalışma ile deneysel sonuçlardan elde edilen eğilimler ile CFD simülasyon sonuçları iyi bir şekilde eşleştiği ve kalınlık yönündeki RTM'nin emdirme hızının, düzlem içi RTM'nin hızının on katından fazla arttığı sunulmuştur [8].

8.8 Pultrüzyon Yöntemi

Pultrüzyon (çekme) düşük maliyetli, yüksek-hacimde üretime imkan veren, sürekli ve otomatik bir prosestir. Bu yöntemde genellikle reçine emdirilmiş fiberler bir kalıp boyunca çekilir ve çeşitli kesit geometrilerine sahip profil çubuklar üretilir. Pultrüzyon (çekme) ile sabit kesitli ve sürekli uzunluğa sahip parçalar üretmek mümkün olmaktadır. Isıtılan bir kalıp içerisinde sabit bir hızla çekilen fiberler dolayısıyla kompozit parça kalıptan pişmiş veya kısmen pişmiş olarak çıkarlar. Bu parçalar Pultrüzyondan genellikle ilave bir yüzey işlemine gerek kalmayacak şekilde çıkarlar. Bu yöntemde matris olarak genellikle epoksi, polyester ve vinilester reçineler kullanılır. Takviye malzemesi olarak herhangi bir fiber türü kullanılabilir. Core (çekirdek) malzemelerin kullanımına uygun bir yöntem değildir.

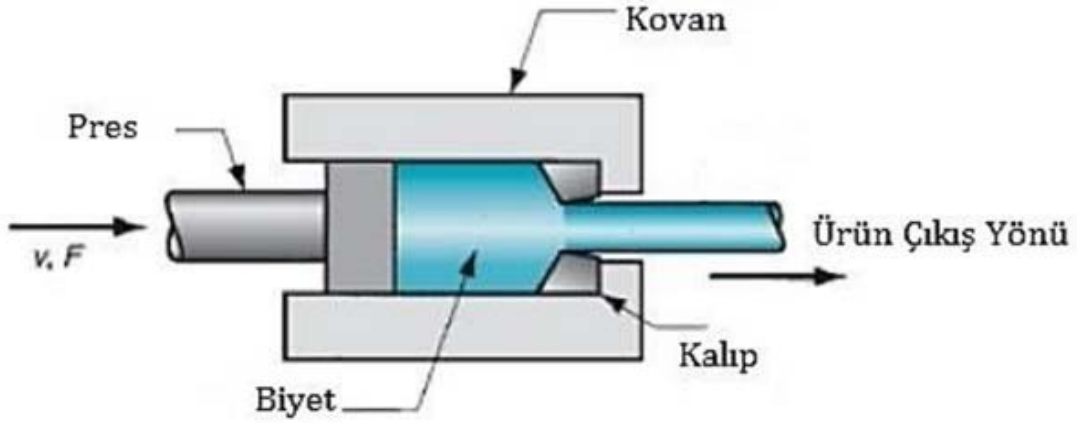


Şekil 8. 7 Pultrüzyon Yöntemi Şematik Gösterimi

8.9 Ekstrüzyon Yöntemi

Plastik bir maddenin ısı ile akıcı hale getirilerek belirli bir şekilli kalıptan basınç ile geçirilmesi ve biçimlendirilmesi yöntemidir. Bu biçimlendirmede çubuk, boru, profil

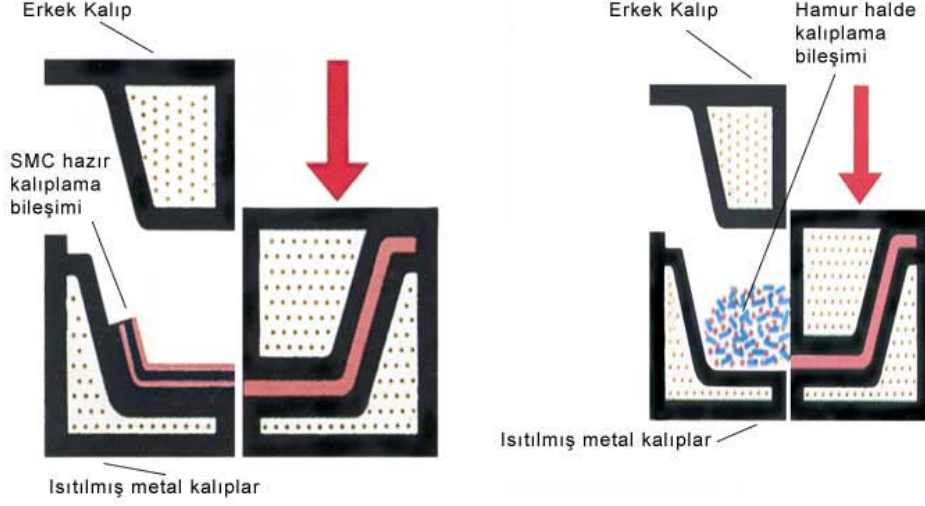
malzeme, levha, film ve herhangi bir başka malzeme üzerine kaplama şeklinde olabilir. Ucuz ve sürekli bir döküm yöntemidir. Ekstrüzyonda genelde yüksek molekül ağırlıklı termoplastik malzemeler kullanılır.



Şekil 8. 8 Ekstrüzyon Yöntemi Şematik Gösterimi

8.10 Hazır Kalıplama Yöntemi

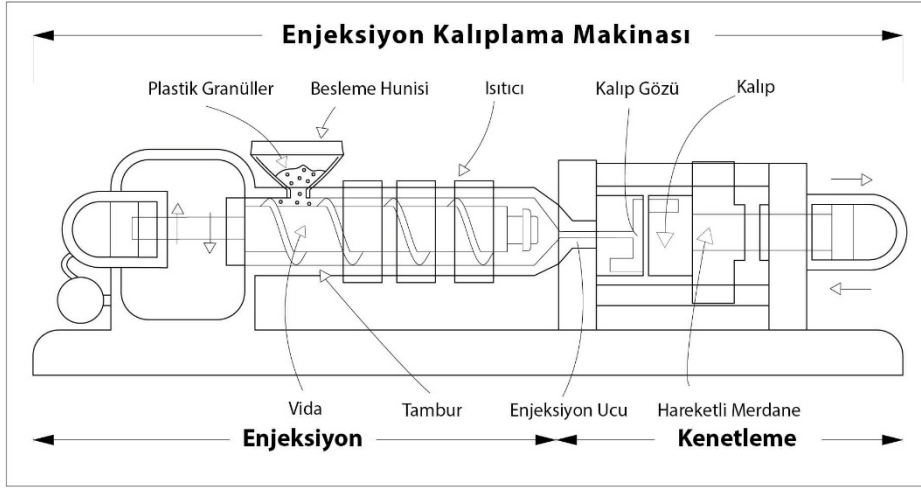
Hazır kalıplama bünyesinde cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin (SMC,BMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün iki yüzünde kalıp ile şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi komplike şekiller elde edilebilmektedir. Iskarta oranı düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanmaları gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır.



Şekil 8.9 Hazır Kalıplama Yöntemi Şematik Gösterimi

8.11 Enjeksiyonla Kalıplama Yöntemi

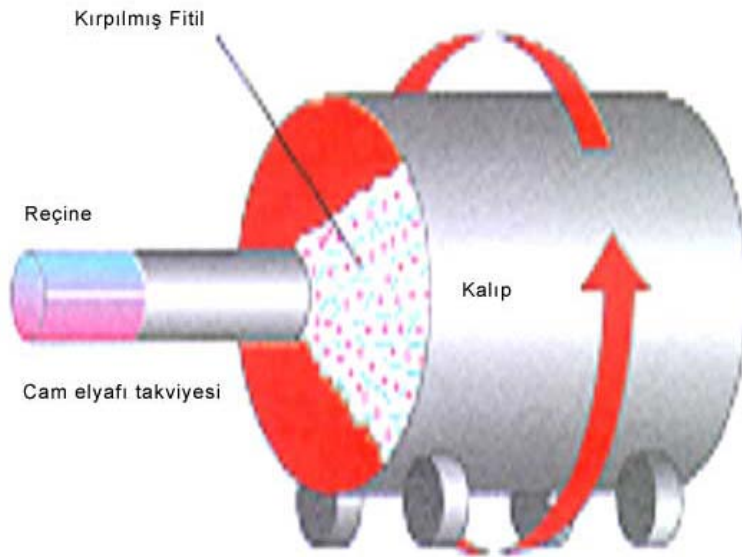
Polimer ısıtılarak plastik şekil alabilir bir duruma getirilir ve yüksek basınç uygulanarak bir kalıp boşluğuna dolması sağlanır; burada katıla şan parça kalıptan çıkarılır. İstenilen son boyutlara çok yakın hassas parçalar üretmek mümkündür. Bir parça için üretim süresi 10 ila 30 saniyedir. Ancak bazı durumlarda bu süre 1 dakika veya daha yukarı çıkabilir. Kalıpta birden fazla boşluk bulunabilir ve her seferinde birden fazla parça üretilebilir Termoplastik malzemeler için yaygın olarak kullanılan bir imalat yöntemidir. Örneğin otomobil tamponları bu yöntemle üretilebilmektedir.



Şekil 8. 3 Enjeksiyonla Kalıplama Yöntemi Şematik Gösterimi

8.12 Savurma Yöntemi İle Kalıplama

Bu yöntemde, savurma makinası kumu derece içerisinde yüksek hızla savrulmasıyla sıkıştırma sağlanır. Başlangıçta savurma hızı düşük tutulur, kum model üzerine yığıldıkça hız artırılarak yükseltilir. Bu yöntemle kalıbın boyutlarına bağlı olmadan sıkıştırma yapılabilir ve dolayısıyla büyük döküm parçaları bu yöntemle kalıplanabilir. Savurma yönteminde diğer yöntemlere nazaran daha iyi ve daha sert bir sıkıştırma sağlanabilir.



Şekil 8. 11 Savurma Yöntemi ile Kalıplama Şematik Gösterimi

9. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN KULLANIM ALANLARI

Polimer matrisli kompozit malzemeler gelişen ve değişen dünyada çağımızın teknolojik olarak ilerlemesiyle hemen hemen her an karşılaşılabilecek birçok malzemede karşımıza çıkmaktadır. Özellikle ileri teknoloji tasarımların kullanıldığı havacılık ve uzay sektöründe son yıllarda polimer matrisli kompozitlerin kullanımı geliştirilerek artmaktadır.

Sık kullanılan bir hava aracı olarak uçaklar çoğunlukla gövde ağırlığı kontrolü, uzun yıllar uçuş süresi, uçağın tasarımının ana hatları, maliyet ve uçuş mesafesi gibi özelliklerin karşılığını iyi verebilecek şekilde tasarlanırlar. Bu veriler için en uygun özelliklere sahip ağırlığı düşük olan metallerin en iyi verimi sağlaması beklenir. Bu aşamada kullanılabilecek en uygun malzeme çeşidi kompozit malzemeler olmaktadır. Havacılık endüstrisinde, tasarımlar; emniyet, hız ve ekonomi kriterlerinin optimizasyonu ile gerçekleşir. Hava taşıtlarında, uzun hizmet ömrü, belirli navlun, mesafe seyir sürati, irtifa gibi performans değerlerini sağlayan malzemelerden en düşük ağırlığa sahip olanı en uygun dizaynı sağlayacaktır. Kompozitler bu amaçlar için uygun bir malzeme grubunu oluşturmaktadır. Özgül mukavemet ve özgül rijitlik değerleri esas alındığında; düşük yoğunluklarından dolayı kompozit malzemeler de bu değerler konvansiyonel malzemelere üstünlük sağlamaktadır. Bunlardan dolayı kompozit malzemelerin, hava taşıtlarındaki kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır.

Uçak endüstrisinde kullanılan kompozitlerde matris görevi yapan polimer esaslı reçineler;

- Epoksi reçineleri
- Polyester reçineleri
- Polyamidler
- Naylonlar olarak sınıflandırılabilirler.

Epoksi reçineleri isimlerini lineer polimer uçlarındaki epoksil -C-C- gruplarından alırlar. Epoksi reçinelerinin; uzay ve havacılık endüstrisinde kullanılan kompozit malzemelerin üretilmesinde, çeşitli takviyelere –karbon, cam, bor vs.- matris malzemesi olarak seçilmesini sağlayan özellikleri şunlardır:

- Düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilmesi
- Yüksek aşınma direnci
- Çeşitli yüzeylere iyi yapışabilme
- Yüksek kimyasal direnç

Polyester reçineleri Asit ve alkollerin kondensasyonu ile elde edilir. Reaksiyona giren maddelerle farklı gruplara ayrılırlar. Polyesterlerin bir cinsi olan alkidler; kaplayıcı madde yapımında, doymuş polyesterler; tekstil, elektrik, fotoğraf film ve otomotiv endüstrisinde kullanılırlar. Uçakların iç panellerinde kullanımı oldukça yaygın olan polyester çeşidi ise doymamış polyesterlerdir.

Polyamidler sert ve dayanıklı olurlar. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan Naylon6 ve Naylon66 bu polyamidlerin en önemlileridir.

Uçak endüstrisinde kullanılan kompozitlerde kullanılan fiber takviyeleri; cam fiberler, karbon fiberler, organik fiberler

Cam fiberler; yüksek mukavemet, sertlik, elektriksel direnç özellikleri, korozyon direnci yüksektir, yüksek young modülü, yüksek sıcaklarda gösterdiği direnç nedeniyle, uçak endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur.

Karbon fiberler; grafit tabakalarındaki karbon atomları arasındaki güçlü kimyasal bağ nedeniyle yüksek elastisite modülü ve çekme dayanımına sahiptirler. Grafit tabakalarının, fiber eksenine paralel olarak yönlendirildiği durumlarda en yüksek dayanım değerlerine ulaşılır. Karbon fiberlerin tasarım malzemesi olarak kullanılması, daha çok yüksek dayanımlı türü üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Nispeten yeni ve geleceği parlak bir fiber türü olan organik fiberler; yüksek mukavemet ve rijitliğe sahip ve büyük oranda düzenli polimerlerdir. Piyasada Kevlar 29 ve Kevlar 49 gibi ticari isimleri olan çeşitleri vardır.

Cam fiberlerin, karbon fiberlerin ve organik fiberlerin uçakların yapısında kullanıldığı yerler :

- B2 bombardıman uçağı gövde panelleri; karbon fiber+epoksi
- A380 yolcu uçağı kanat panelleri ve flapler; karbon fiber+epoksi
- A380 yolcu uçağı burun bölümü (radome); CTP

- A380 yolcu uçağı dikey stabilizer; Aramid fiber+epoksi
- Airbus A320 uçaklarında kanatlarda, spaylerde, eleronlarda, kuyruk takımlarında, silindirik motor kılıflarında, karbon takviyeli kompozitler kullanılmıştır.
- Zemin Plakası; Airbus 300/600 uçaklarında kullanılan karbon takviyeli Polieterimid Uçak EAPS kapağı; (Karbon Elyafı+PEEK)
- F-14 uçaklarında, yatay dengeleyiciler, F-15 lerde ise yatay ve dikey dengeleyiciler, bor-epoksi komposit malzemesinden yapılmıştır.
- F-16 larda, yatay ve dikey dengeleyicilerin yanısıra kontrol yüzeyleri de karbonepoksidir.
- F/A-18 uçaklarında kanat yüzeyleri, yatay ve dikey dengeleyiciler, hız frenleri ve kontrol yüzeyleri, AV-8B uçaklarında; kanatlar, yatay dengeleyiciler, ön gövde ve kontrol yüzeyleri karbon-epoksi olarak yapılmıştır.
- Boing 757 ve 767'lerde; kontrol yüzeyleri karbon-epoksi motor kaportaları karbon/aramid-epoksidir.

Denizcilik sektöründe polimer esaslı kompozitlerin kullanım yerleri:

- Yelkenli Gövdesi; CTP, Balsa ve polimer köpük üstüne cam, aramid karbon dokumaları ile kaplanması
- Yat, Tekne Arkası Platform
- Basamaklar; CTP 19
- Yelken Direği; Kevlar+Epoksi

Spor, ulaşım, sağlık, yapı sektörü gibi sektörlerde de yaygın olarak kullanılan polimer matrisli kompozitler adına yapılan çalışmalar yeni teknoloji kullanımı, araştırma ve geliştirme çalışmalarıyla otomotiv endüstrisinin üzerinde yoğun olarak çalışmalarda bulunduğu bir konu olmaktadır.

Otomobil firması müşterilerinin ihtiyaçlarına karşılık vermek çevresel şartların baskısı altında daha hafif otomobiller üretmektedirler. Hafifi otomobiller daha çabuk hızlanabilen, daha çabuk durabilen ilerlemek için daha küçük bir motora ve daha az benzine ihtiyaç duyan

araç anlamına gelmektedir. Endüstrideki bu arz doğrultusunda polimer matrisli kompozit malzemelerin otomotiv parçalarında kullanımı hakkında yapılan çalışmalarda artmıştır [9].

9.1 Otomotiv Endüstrisindeki Polimer Matrisli Kompozitler

Kullanılan bir ürünün ağırlığının azaltılarak hafifletilmesindeki hedef, o ürünün ağırlığının ve maliyetinin azaltılarak görevini muhafaza etmek hatta daha da geliştirilebilir kılmaktır [1]. 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 sönümlenme
- Gürültü azaltma
- Darbe direnci
- Enerji sönümlenme
- 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.

Bunun yanında bulunan dezavantajları:

- Otomotiv endüstrisinde bu malzemelerin henüz yeteri kadar tanınıyor olmaması
- Geri dönüşüm zorlukları
- Rekabetçi piyasa
- Yüksek malzeme maliyeti
- Bazı uygulamalarında uygun üretim proseslerinin bulunmaması gibi dezavantajları da mevcuttur.

Bu dezavantajlar polimer matrisli kompozit malzemelerin otomotiv sektörü için geniş alanda kullanımını kısıtlamaktadır. Karbon fiber takviyeli bir polimer matrisli kompozit malzemenin maliyeti geleneksel metal malzemelerin maliyetinden yaklaşık on kat daha fazladır [10].

Bu nedenle otomotiv sektörünün geleceği ve gelişimi için bu malzemelerin avantajlarından yeterince faydalanabilmek için;

- Elyaf takviyelerinde maliyeti düşük elyafli takviyelerin kompozit malzemelerin kullanılmasının tercih edilmeli,
- Yüksek maliyetli aramid ve karbon elyafları malzeme yapısı gereğince sertlik gerektiren alanlar gibi kullanılması gereken alanlarda tasarım çalışması doğru bir strateji olmalıdır.
- Otomatik ve seri üretim sürecinde termoplastik veya termoset fiber takviyeli kompozitlerin kaliteden kaçınmadan tekrarlanabilir üretimine devam edilmeli [11].

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 [10]. 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
- Yakıt tasarrufu için ürün hafifletmek konusu

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. Volkswagen marka otomobillerin emisyon oranlarında hile yaptığı konusu bütün dünyada ses getirmiş ve bütün otomobil firmalarının bu konudaki çalışmalarını geliştirdiği görülmüştür. ABD’de ve Avrupa’da emisyonu düşük otomobil üretilmesiyle alakalı devlet desteği ile ayarlamalar yapılmıştır. Avrupa

Birliği'nde ve ABD'de otomobillerin CO₂ emisyonlarının azaltılmasına yönelik bazı yaptırımlar gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. İleriki senelerde AB ũlkeleri otomobillerde CO₂ emisyonunu 120 gram/km, ABD'de ise 200 gram/km olarak sınırlandırmayı hedeflenmektedir. Bu hedefler doğrultusunda otomotiv sektřrũ, emisyonu dũřũrmek için elik malzemeler yerine alternatif olarak daha hafif tasarım ũrũnũ olan kompozit malzemeleri kullanımı ile hafifleyecektir [11].

Karbondioksit salınımını dũřũrmek için yapılan çalışmalar neticesinde otomotiv sektřrũnde karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanımına talepler artmıştır.

- Yapılan çalışmalara gşre;
- Karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin kullanıldığı bir otomobil yaklaşık %40-60 oranında hafifleme sağlayabilir.
- Aramid elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanıldığında ise yaklaşık %30 civarında hafifleme olduğu sşylenebilir.
- Cam elyaf takviyeli polimer kompozitlerde yaklaşık olarak % 25-35 oranında ağırlık azalması gřrũlmektedir[11].

Otomobillerin tamponları ve çarpışma kutusu gibi pasif gũvenlik sistemleri gũnũmũzde polimer matrisli kompozit malzeme kullanılarak ũretilen ũrũnlerdir. Bu malzemeler yũksek enerji soğurma kapasitelerine sahip olduğu için herhangi bir çarpışma esnasında enerjiyi daha fazla soğurabilirler. Bu durum elik ağırlıklı ũretilmiř bir otomobilin daha gũvenilir ve daha dayanıklı olduğu algısını değiştirmektedir. Araştırmalar kompozit ağırlıklı tasarlanan bir otomobilin elik ağırlıklı tasarlanan otomobile gşre daha sağlam olduğunu gşstermektedir.

Ön tarafı cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemedен ũretilen bir otomobil 35 mil / saat hızında çarpışma testini geçmiştir [12]. Gřrũldũđũ gibi bşyle bir otomobil elik kadar dayanıklı olması, ũstũn titreşim kontrolũ, gũvenlik emniyeti gibi özellikleri yerine getirerek otomotiv sektřrũnde polimerik kompozitlerin kullanılmasının yaygınlaşmasına yol açmaktadır.

Yapılan bir araştırmada kompozit malzemelerin dũnya ũleđinde dağılımı hacim ve değer olarak gşsterdiği farklılıkları şu şekilde açıklanmıştır:

Kompozit malzemelerin Dünya ölçeğinde dağılımı hacim ve değer olarak farklılıklar göstermektedir.

Değer olarak		Hacim olarak	
Uzay ve Havacılık	23%	Yapı ve İnşaat	26%
Taşımacılık ve Otomotiv	22%	Taşımacılık ve Otomotiv	25%
Yapı ve İnşaat	14%	Elektrik ve Elektronik	16%
Rüzgar Enerjisi	12%	Tüketim Malları	8%
Elektrik ve Elektronik	12%	Rüzgar Enerjisi	7%
Tüketici Malları	9%	Boru ve Tank	7%
Denizcilik	5%	Uzay ve Havacılık	5%
Boru ve Tank	2%	Denizcilik	5%
Diğer	1%	Diğer	1%

Şekil 9. 1 Kompozit Malzemelerin Dünya Ölçeğinde Dağılımı Hacim Ve Değer Olarak Gösterdiği Farklılıkları [10]

Otomobillerde polimer matrisli kompozit malzemelerin kullanımı geçmiş yıllarda daha az yapılmaktaydı. Türkiye’de 1960’lı yıllarda Anadol marka otomobillerde kaporta kısımlarında kullanılmaya başlanması ile beraber ilerleyen yıllarda kamyonlarda, otobüslerde ve diğer ticari araçlarda polimer matrisli kompozitlerin tüketimi giderek arttı. Otobüslerde bu malzemeler önceleri küçük çapta kullanılıyordu. Havalandırma kanalları ve havalandırma sisteminin dış kapak uygulamaları ile endüstriye giriş yaptı. Bu uygulamalarda kullanılan kompozitler seri üretim ihtiyaçlarını karşılamakta güçlük çekiyordu. Üretim yöntemi olarak el yatırma yöntemi ile üretilen bu malzemeler, daha sonra üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ile beraber endüstride kendine pay bulmaya başlamıştır.

- Şehirlerarası yolcu otobüslerinde koltuk kompozit kapak her iki tarafı düzgün, dalgasız parlak SMC-BMC sıcak kalıplama yöntemi ile üretilmektedir.
- Şehirlerarası ve şehir içi otobüslerin kompozit iç tavan kaplamaları ve havalandırma kanalları SMC yöntemiyle üretilmektedir.
- Otobüslerin port bagaj parçaları, şoför mahalli kompozit kaplamaları, ön ve arka kompozit far panelleri ve motor havalandırma panelleri infüzyon ve el yatırma üretim yöntemleri ile üretilmektedir [10].

Kabin içi parçalar	Ön panel (dashboard)	
Fonksiyonel parçalar	Yakıt ve su deposu	
Dış gövde parçaları	Kapı panelleri, tamponlar	
Yarı-yapısal parçalar	Front end, koltuk çerçevesi, taban	
Yapısal Parçalar	Şasi, kokpit	

Şekil 9. 2 Araçlarda Kompozit Kullanımına Dair Bilgiler [13]



Şekil 9. 3 Orta Sınıf Bir Araçta Doğal, Cam, Karbon Elyaftan Yapılmış Parçalara Örnekler [13]

Otomobil markalarında polimer matrisli kompozit malzemelerin takviye elemanı cam elyaf ve karbon elyaf takviyesine göre kullanıldığı parçalar ve özelliklerini belirten bir çalışma aşağıdadır:

Uygulama	OEM- Model	Kompozit Türü	Kompozitin Kullanım Sebebi	Çıkış Yılı
Çatı Koruması Bagaj Kapağı	BMW M6	Cam Kompozit	Ağırlık Azaltma	2013
Jant	Daimler 3. Jen. Smart Elektrikli Araç	Cam Kompozit	Ağırlık Azaltma Görsel İyileştirme	2012
Gösterge Paneli Kapı İç Kısmı	Land Rover- Evoque	Cam Kompozit	Ağırlık Azaltma Yakıt Ekonomisi	2011-12
Motora Monte Edilen Yağ Filtresi Modülü	Chrysler Pentstar Motoru	Cam Kompozit	Soğutma Sistemi Bileşenleri İçin Gereken Termal Sebepler	2010-11
Kapı Modülü	Faurecia SUV Modeli Jeep Liberty	Cam Kompozit	Ağırlık Azaltma	2010
Hava Giriş Manifoldu	General Motor V6 Motoru	Cam Kompozit	Ağırlık Azaltma Daha İyi Akustik Performans	2010
Hava Giriş Manifoldu	Volkswagen Benzinli Motoru	Cam Kompozit	Ağırlık Azaltma Daha İyi Akustik Performans	2009-10
Akışkan Filtresi Modülü	Daimler AGT- Mercedes	Cam Kompozit	Ağırlık ve Maliyet Azaltma	2009-10

Şekil 9. 4 Bazı Markalarda Kompozit Malzeme Kullanılan Parçalara Örnekler [13]

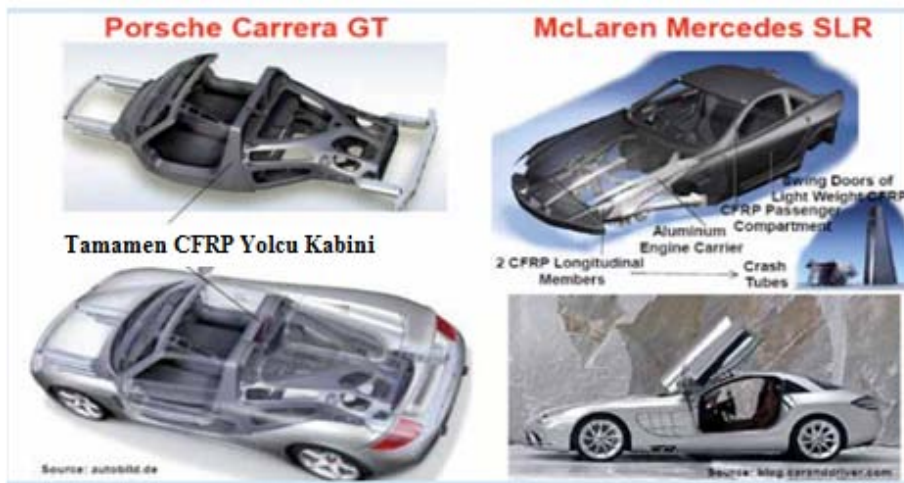
Uygulama	OEM- Model	Kompozit Türü	Kompozitin Kullanım Sebebi	Çıkış Yılı
Yolcu Kabini	BMW i3	Karbon Kompozit	Ağırlık Azaltma	2013
Araç Çatısı	McLaren MP4-12C Spider	Karbon Kompozit	Ağırlık Azaltma	2013
Araç Çatısı	BMW M6 Coupe	Karbon Kompozit	Ağırlık Azaltma	2012
Araç Aerodinamik Kiti	Callaway Corvette	Karbon Kompozit	Ağırlık Azaltma	2012
Kabin Çerçevesi, Zemin Paneli, Vites Tüneli	Lexus LFA	Karbon Kompozit	Ağırlık Azaltma	2012
Araç Aerodinamik Kiti	Lamborghini Aventador	Karbon Kompozit	Ağırlık Azaltma	2012
Ön Arka Tampon, Ayna Kapakları	Lamborghini Aventador	Karbon Kompozit	Ağırlık Azaltma	2012
İç Kapı Paneli	Lamborghini Murcielago	Karbon Kompozit	Ağırlık Azaltma Görsel İyileştirme	2012

Şekil 9. 5 Bazı Markalarda Kompozit Malzeme Kullanılan Parçalara Örneklerin Devamı [13]

Araçlarda polimer matrisli kompozit malzeme kullanımı ile ciddi ağırlık azaltılması sağlandığı görülünce bazı otomotiv firmaları elektrikle çalışan otomobil alternatiflerini üretmeye başlamıştır. Bu sayede temiz enerji, düşük emisyon salınımı vb. avantajlar sektöre yol açmıştır.



Şekil 9. 6 BMW Firması tarafından Üretilen Kompozit Malzeme Kullanılan Elektrikli Araç [13]



Şekil 9. 7 Bazı Lüks Araç Markalarında Karbon Elyaf İle Üretilen Parçalar [13]



Şekil 9. 8 Bazı Lüks Araç Markalarında Karbon Elyaf İle Üretilen Parçalara Örnek [13]

Karbon Elyaf Tedarikçisi	Toray	Karbon Elyaf Tedarikçisi	SGL Carbon
Şirket	Daimler	Şirket	Volkswagen
Yıl	2011	Yıl	2011
Tip	Ortak Teşebbüs	Tip	SGL Ortak Kazanım
Tanım	Araç CFRP Parça Üretimi	Tanım	VW SGL Ortak Kazanımın %8'ini alır
Karbon Elyaf Tedarikçisi	SGL Carbon	Karbon Elyaf Tedarikçisi	Toho Tenax
Şirket	BMW	Şirket	General Motors
Yıl	2010	Yıl	2011
Tip	Ortak Teşebbüs	Tip	Ortaklık
Tanım	Araç CFRP Parça Üretimi	Tanım	Yakıt Ekonomisi İçin Ortak Teknoloji

Şekil 9. 9 Karbon Elyaf Üreticileri ile Otomotiv Şirketlerinin İşbirlikleri [13]

GÖVDE PANELLERİ/PARÇALARI	KOMPOZİT MALZEME	ÜRETİM METODU
İç Tavan	Poliüretan, Düşük Ağırlıklı Takviyeli Termoplastik (LWRT)	Reçine Enjeksiyon Kalıplama, Enjeksiyon Kalıplama
Hava Emme Manifoldu	Kısa Elyaflı Termoplastik(SFT)	Enjeksiyon Kalıplama
Ön Taraf Taşıyıcıları	Uzun Elyaflı Termoplastik(LFT), Hazır Kalıplama Bileşimi(SMC)	Enjeksiyon Kalıplama, Pres Kalıplama
Tompon Kirişleri	Cam Keçe Takviyeli Termoplastik Levha (GMT), Hazır Kalıplama Bileşimi (SMC), Poliüretan	Enjeksiyon Kalıplama, Pres Kalıplama, Reçine Enjeksiyon Kalıplama
Çamurluklar	Hazır Kalıplama Bileşimi (SMC), Likit Kompozit Kalıplama (LCM)	Pres Kalıplama
Davlumbazlar	Hazır Kalıplama Bileşimi (SMC), Likit Kompozit Kalıplama (LCM)	Pres Kalıplama

Şekil 9. 10 Otomotiv Sektöründe Kompozit Uygulamalarına Örnekler [13]

PROSES	BAŞLANGIÇ YATIRIMI	ÜRETİM HIZI
Enjeksiyon Kalıplama (Injection Molding)	Yüksek	Yüksek
Üfleme Kalıplama (Blow Molding)	Yüksek	Düşük
Pres (BMC) Kalıplama	Yüksek	Orta
Pres (SMC) Kalıplama	Yüksek	Orta
Pres (GMT) Kalıplama	Yüksek	Orta
Reçine Enjeksiyon Kalıplama (RIM)	Düşük	Orta
Reçine Transfer Kalıplama (RTM)	Düşük	Düşük
Termoform (Thermoforming)	Düşük	Orta

Şekil 9. 11 Kompozit Otomotiv parçaları Üretim Proseslerinin Karşılaştırılması [13]

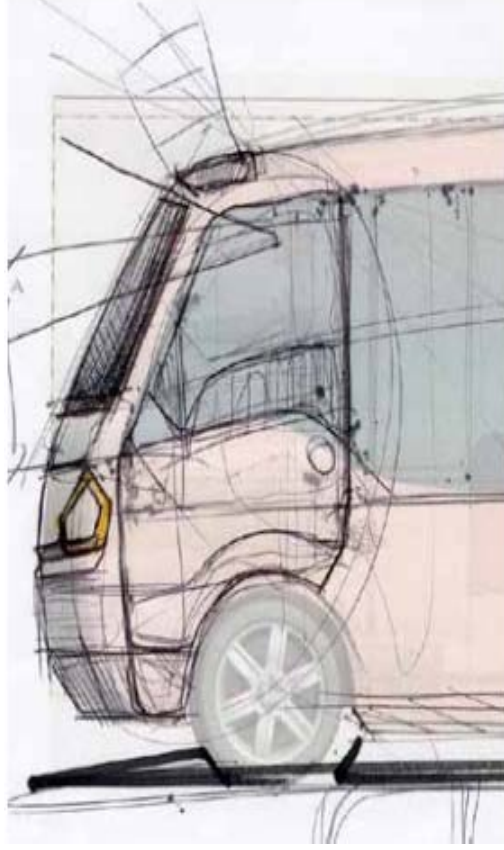
Yukarıdaki bilgilere ek olarak şu eklemeler de yapılabilir:

- 2011 yılında küresel otomotiv kompozit malzeme pazarı 2.8 Milyar \$ değerindeydi.

- Cam elyaf takviyeli polimerik kompozitler düşük işleme maliyetinden dolayı hacimsel olarak maliyet avantajına sahiptir.
- Kompozit malzemelerin maliyetinin yüksekliği ve miktarsal olarak yüksek hacimli uygulamalar için uygun üretim metodunun olmayışı hala gelecekteki büyüme açısından sınırlayıcı faktörler olmaya devam etmektedir.
- Krabon elyaf kullanımını üst sınıf Premium segmentteki araçlar için sınırlı kalmaktadır.
- Miktarsal olarak yüksek hacimli uygulamalarda, düşük maliyetli karbon elyafın piyasaya çıkması kompozitlere yeni ufuklar açmıştır.
- A.B.D.'den sonra A.B. de otomotiv uygulamalarında kayda değer kompozit kullanım oranına sahiptir.
- Asya-Pasifik ve Dünyanın diğer bölgelerinde yer alan gelişmekte olan ekonomiler, gelecekte otomotiv uygulamalarında kompozit kullanımını giderek arttıracaktır.
- Küresel otomotiv kompozit malzeme pazarının 2017 yılına kadar yaklaşık olarak %7'lik yıllık bileşik büyüme oranında gelişeceği öngörülmüştür.

9.2 Otomotiv Sektöründe Kullanılan Polimer Matris Esaslı Kompozit Malzemelerin Bilgisayar Destekli Tasarımı

Polimer matrisli kompozit malzemelerden otomotiv sektöründe en sık kullanılan takviye elemanı cam elyaf ve karbon elyaf malzemeleridir. Bu malzemelerin üretiminde kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu malzemeler anizotropik yapıda olduklarından dolayı izotropik yapıdaki malzemelere göre daha komplekstir. Bilgisayar destekli tasarım programları ile çeşitli mekanik özellikleri belirlenmelidir. Örneğin hafif ticari bir aracın sürücü tarafı kapının bilgisayar destekli tasarımını incele altına alınabilir [13].



Şekil 9. 12 Örnek Bir Araç Kapı Tasarım Eskizi

Öncelikle kullanım amacına uygun olarak talep edilen ürünün istekleri doğrultusunda kullanıcı ergonomisi göz önünde bulundurulur ve bu doğrultuda çalışmalar yapılarak detaylandırılır. Yapılan çalışmalar tasarım ekibi çalışanları ile paylaşarak detaylandırılması sağlanır ve data oluşturulur. Sürücü tarafı kapısının büyük bir bölümü fiber takviyeli polimer esaslı kompozit malzemedan üretilir. Bu malzemenin üretim yöntemi Reçine transfer metodu (RTM) veya SMC metodu ile yapılır. Malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek için belirli noktalarında 3-4 kez çekme testi yapılır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak model oluşturulur ve mekanik özellikleri göz önünde bulundurularak malzemenin tanımlaması yapılabilir. Yapılan tanımlamaya göre bilgisayar destekli programın verdiği verilerdeki optimizasyon göz önünde bulundurulur ve prototip örnek bir numune üretilerek prototip üzerinden testleri yapılır. Test sonuçlarına göre bilgisayar destekli programdan yeniden yardım alınarak sonlu elemanlar metodu ile gerilme dayanım yönünden ihtiyaç duyulan yerlere takviye gerçekleştirilebilir. Birçok malzemenin tasarımında en önemli kriterlerden birine sahip olan bilgisayar destekli programlar polimer matrisli kompozit malzemelerin otomotiv sektöründe kullanımında da yaygın olarak kullanılmaktadır [13].

9.3 Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Malzemelere Genel Bakış

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 [14].

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 malzemedен üretilmektedir. Volkswagen ve onun sanayiinde gerçekleşen Alman ürünü otomobilleri yeni çıkardıkları araçlarında polimer matrisli kompozit malzeme gereksinimlerinden oldukça faydalanmaktadır [15].

Termoplastik malzemeler uzun yıllardır birçok malzeme çeşidinde kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde geçmiş yıllarda termoset malzemeler daha fazla rağbet görmüş olsalar bile termoset malzeme çeşitlerinin üretimlerindeki pişirme zamanı fazlalığı ve geri dönüşüm zorlukları gibi nedenler bu malzemelerin dezavantaj yönleri olarak açığa çıkmış ve kullanımına alternatif malzemeler aranmıştır. Termoplastik ürünler termosetlere göre hızlı üretim süreci ve termosetlere göre daha kolay geri dönüştürülebilirliği gibi avantaj sağlayan özelliklerinden dolayı otomotiv endüstrisindeki beklediği alanı almıştır. Otomotiv endüstrisinde termoplastik ürünler özellikle motor aksamı ürünlerde kullanılarak istenilen amaca kaliteli hizmeti sunabilmektedir.

Son yıllarda araçların giriş manifoldları genellikle alüminyum malzeme kullanılarak üretimine devam edilmekteydi. Tasarımcılar bu manifoldların hem ağırlığını azaltmak isterken hem de üretim kolaylığını değerlendirebileceği cam elyaf takviyeli termoplastik malzeme seçimine yönelerek polimer matrisli kompozit malzemelerin otomotivlerde kullanımına desteklerini ortaya çıkarmıştır.

Aynı şekilde Ford Mondeo marka araçların 4 silindir 16 valfli motorunun ve Chevrolet marka araçların giriş manifoldlarında cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeden üretildiği söylenebilir.



Şekil 9. 13 Karbon Elyaftan Üretilmiş Manifold (JGR Products)

Polimer matrisli kompozit malzeme otomobil giriş manifoldunda kullanılarak parçanın hafifliğini sağlamanın 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 [15].

Motor üretimi yapan firmalardan PSA motor firması alüminyum yerine polimer matrisli kompozit malzeme seçimine geçiş yaparak PSA manifoldunun ağırlığında %50 azaltma ve maliyette %20-30 azaltma sağlamayı başarabilmiştir. Bununla birlikte döküm sonrası işleme işlemlerini yapmayarak ayrıca fayda kazanmıştır.

Chrysler marka otomobil firması valf kapakları kısmında termoset matrisli polimerik kompozit malzeme kullanımı sayesinde maliyette %15-20 azalma sağlamayı başaramışlardır [15].

Motor uygulamaları sektöründe bulunan BASF firması cam lifinden %30 takviye kullandığı polimer matrisli kompozit malzeme ile üretilen Ultramid B3WG6 Black 20560 HP'yi otomotiv pazarına sunmuştur. Rhodia Engineering Plastics firması da bu çalışmalar doğrultusunda %25-30 cam lifi takviyeli Technyl serisi ürünler çıkarmıştır [16]. Otomotiv sektörüne hizmet eden DSM firması otomotiv endüstrisinde polimer esaslı kompozit malzemeler üzerindeki çalışmalarını sürdürerek motor kısmında kullanılan polimerik kompozitlerin üretimine yönelik çalışmalar yapmış, Arnitel sınıf termoplastik elastomerleri üreterek pazardaki yerini almıştır [16].

Polimer matrisli kompozit malzemelerin sağladığı üstün özellikleri neticesinde yakıt sistemi parçaları, araç sunroofları, koltuk parçaları, rüzgarlık vb. yerlerde metal malzeme çeşitlerine rakip olarak kullanılabilir [16].

Toyota Crown markasının 2003 yılında üretilen araçlarında motorlarının soğutucu kısmında polimer matrisli kompozit malzeme kullanılarak yakıttaki verimliliği %1 arttırılabilmektedir [16]. Polimer esaslı kompozitler üstün özellikleri sayesinde airbag kapaklarında kullanılır. 2006 model Buick Lucerne otomobillerin airbag kapaklarında kullanılan polimerik kompozitler sayesinde başarılı bir üretim gerçekleştirilmiştir [16].

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 200 kat daha dayanıklı olmakla birlikte çok pratik üretim yöntemleriyle hazırlanabilmektedir. Polikarbonatlar en saydam polimer üründür. Otomotiv endüstrisinde far imalatlarında polikarbonat kullanımıyla daha az sayıda malzeme tüketimi ve karmaşık olmayan üretim yöntemi ile kolay montaj edilebilir far üretimleri gerçekleştirilmiştir. Polikarbonatların bu üstün özellikleri sayesinde otomotiv sektöründe kullanılan cam vb. ürünlerin ilerleyen yıllarda polikarbonat polimerlerle yer değiştirmesi beklenmektedir [16].

Otomotiv endüstrisinde polimer matrisli kompozit malzemelerin kullanımı sağladığı birçok avantajı sayesinde tercih edilirken aynı zamanda bu malzemelerin üretim

yöntemlerinin kolaylığı o otomobilde kullanılabilirliği için tercih sebebinde ön sıraya geçmesine neden olacaktır. Geçmiş yıllarda üretilen otomobillerde gövde paneli el yatırma yöntemi kullanılarak cam elyaf takviyeli polyester reçine ile üretildiği için hem ürün yüzeyinde düzgün olmayan bir yapı gözlemlenmekte hem de bu imalat süreci yavaş ilerlemekteydi. Bununla birlikte yapılan çalışmalar doğrultusunda “Sheet Molding Compound” (SMC) üretim tekniği oluşmuştur. Bu hazır kalıplama metoduyla üretilen polimerik kompozitler otomotiv sektöründe kullanımını daha da yaygınlaştırmıştır ancak, üretim yöntemindeki harcanan zamanın fazla olması bu üretim yöntemine destek olarak vakum destekli SMC metodunu ortaya çıkarmıştır. Bu sayede hem çok daha düzgün yüzeye sahip ürünler oluşmuştur hemde daha hızlı üretime geçilmiştir. Lüks otomobil sınıfında bulunan Hummer H2, 2004 Durango ve GMC Enjoy XUV araçlarda termoset matrisli ve SMC yöntemi ile üretilen polimer matrisli kompozit malzemeler vardır [16].

SMC yöntemi ile elde edilen polimerik kompozitler lüks araç sınıfında tercih edilirken buna rakip olabilecek başka bir kompozit tipi pazarda kendine yer almıştır. Bu malzemeler uzun lif takviyeli termoplastik (LFT) malzemelerdir. Geçtiğimiz yıllarda LFT malzemeler otomotiv endüstrisinde başarılı bir şekilde ilerleme sağlamıştır. Bunun en önemli sebeplerinden biri hızlı üretim kolaylığı olmasıdır. LFT malzemeler ilk yıllarında tasarımca basit karmaşık üretim metodu gerektirmeyen ve sade yapıda olan malzemelerin üretiminde tercih edilmiş olsada yıllar içerisinde giderek daha karmaşık parçalarda da kullanımı artmaktadır. Ön konsol destek sistemleri, kapı ve tavan modülleri, koltuk kabukları, ses soğurma sistemleri kabukları, tekerlek taşıyıcıları gibi parçalarda kullanılmıştır [16]. Takviyeli termoplastik malzemeler Porsche Cayenne ve Volkswagen Touareg marka otomobillerin ön yüz modülleri üretiminde de kullanılmıştır.

Otomotiv endüstrisindeki üretilen otomobillerde yaklaşık %10-12 olan kısmı polimer matrisli kompozit malzeme kullanılarak üretilirken, son yıllarda bu rakamlar %50 gibi oranlara ulaşmıştır [15]. Otomotiv sektöründe polimer matrisli kompozit malzemelere olan yatırım giderek artarken, 2011 senesinde kompozit malzeme kullanımı bütçesi 2,8 Milyar \$ Pazar payına sahipti. Bu Pazar payında düşük üretim maliyetinden dolayı en fazla cam elyaf takviyeli polimerik kompozit malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemelerin dezavantaj barındıran özelliklerinde dolayı kullanımlarını sınırlandıran etkenler devam etmektedir. Karbon elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitler genellikle üst sınıflarda kullanılan otomobillerde tercih edilmektedir. Karbon elyaf kullanımının maliyetinin yüksek olması bu

sınırlandırmaya neden olmaktadır ancak, gelecekte kompozit sektörü için maliyeti düşürülmüş karbon elyaf takviyesi kullanılarak üretilen polimerik kompozitlerin otomotiv sektöründe daha geniş kullanım alanlarına erişeceği beklenmektedir. Gelişmiş ülkelerin birçoğunda otomotiv sektöründe kompozit kullanımına yönelik yatırım ve yaptırımlar bulunmaktadır. Bununla birlikte diğer gelişmekte olan ekonomiye sahip ülkelerinde otomotiv sektörlerinde kompozit kullanımına eğiliminin artması beklenmektedir [13].

Otomotiv sektöründeki bazı uygulama alanları :

- Cam Sileceği; %30 Cam+PBT
- Fitre Kutusu; Mercedes, %35 Cam+Poliamid 66
- Pedallar; %40 Cam+Poliamid 6
- Dikiz Aynası; %30 Cam+ABS
- Far Gövdesi; BMW, %30 Cam+PBT
- Hava Giriş Manifoldu; BMW, Ford, Mercedes, %30 Cam+Poliamid 6
- Otomobil Gösterge Paneli; GMT
- Otomobil Spoiler; CTP
- Otomobil Yan Gövde İskeleti; Ford, CTP
- Otomobil kaporta; Corvette, SMC CTP

Kompozit malzeme kullanılarak üretilen araç parçalarına birkaç resimli örnek aşağıda verilmiştir.



Şekil 9. 14 Kompozit Dişliler (A&P Technology)



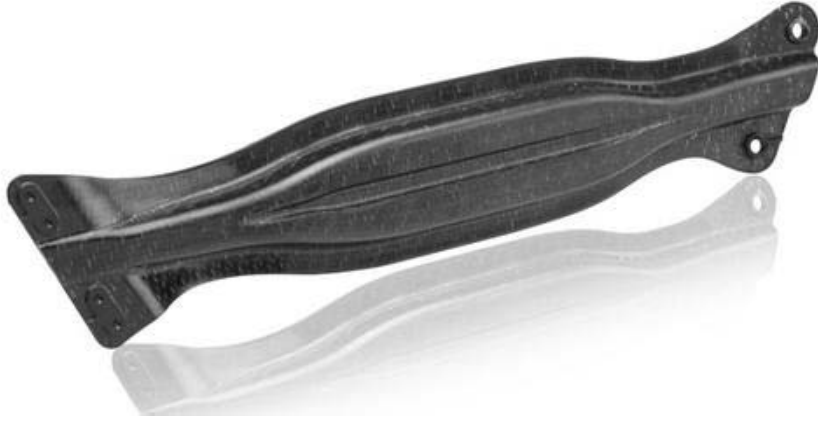
Şekil 9. 15 Kompozit Yaprak Yay (VanSteel Inc.)



Şekil 9. 16 Kompozit Jant (Carbon Revolution)



Şekil 9. 17 Kompozit Şase (Axon Automotive)



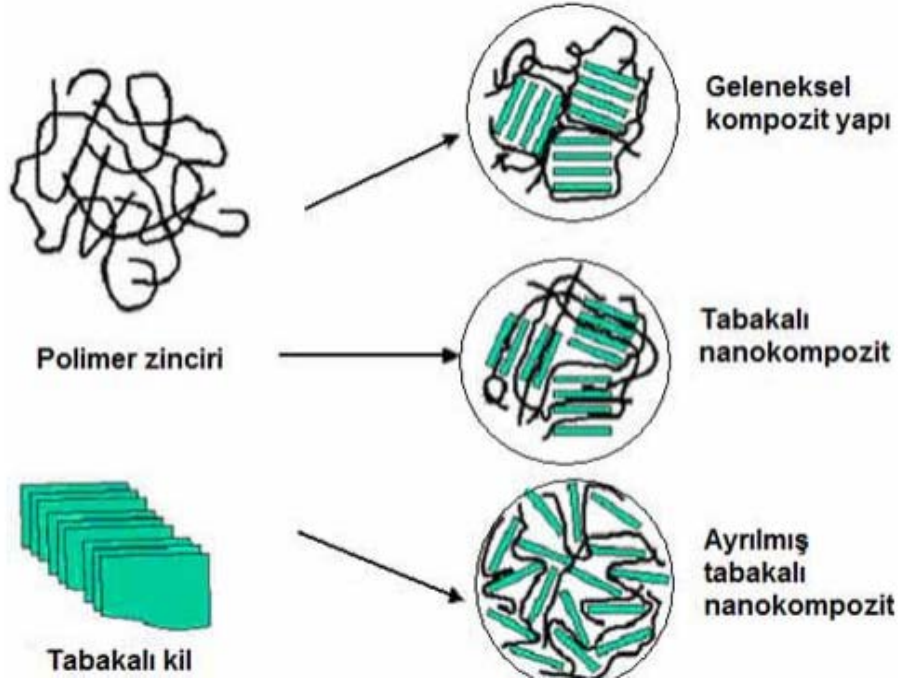
Şekil 9. 18 Kompozit Kapı Barı (Audi AG ve Ortakları)



Şekil 9. 19 Kompozit Piston Kolu (Automobili Lamborghini S.P.a)

9.4 Otomotiv Endüstrisinde Polimer Matrisli Nanokompozit Malzemelerin Kullanımı

Polimer kompozit malzemelerin takviye elemanları genellikle fiberlerdir. Fiber takviyeli polimer esaslı kompozit malzemelerde, polimer matrisler farklı yapılarıdaki şekil ve biçimleri bulunan fiberler ile takviye edilebilirler. Artık günümüzde polimer matrisler nano büyüklükteki parçalar ile de takviye edilebilmektedir. Bu şekilde nano büyüklükte takviye yapılan kompozitlere polimer matrisli nanokompozit malzeme adı verilmektedir. Takviye parçacıklarının nano boyutlarda olması nedeniyle polimerik nanokompozit malzemeler yüksek alan/hacim oranına sahiptirler. Bu malzemeler düşük kil yoğunluğunda bile fazlar arası etkileşim alanı çok geniş olduğu için fiziksel ve mekanik özelliklerinde çok önemli artışlar görülebilmektedir [17].



Şekil 9. 20 Nanokompozit Çeşitleri

Şekilde kil tanecikleri ile takviye edilmiş polimerik kompozit yapı görülmektedir. Polimer matrisli nanokompozit malzemelerin üretiminde en sık kullanılan üretim yöntemleri eriyik harmanlama, ekstrüzyon ve basınçlı kalıplama yöntemlerinin birleşimi genel olarak tercih edilmektedir. Polimer matrisli nanokompozit üründen numune bir malzeme elde edebilmek için öncelikle taneciklerin matris içerisinde düzenli dağılmış olmasına dikkat etmek gerekir [17].

Polimerik kompozitler daha çok elektronik elemanlar, otomotiv sanayi, uçak sanayi alanlarında kullanılmaktadır. Polimerik nanokompozit malzemelerin otomotiv endüstrisinde bulunan pazarda egemen olma isteği sürmektedir. Otomotiv sektöründeki gereksinimlere cevap verebilmek için karbon nanofiber, karbon nanotüpler, grafen, nanometaller ve nanometal oksitler gibi farklı nanomalzemelerin kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Polimer matrisli nanokompozit malzemelerde matris ve takviye elemanı arası yüzey teması; nano boyutlu dolgunun sahip olduğu mekanik yük, elektrik iletkenliği, ısı iletkenliği ve korozyon direnci gibi özellikler için önem arz etmektedir. Otomotiv endüstrisinde araçların yakıt tasarrufundan faydalanma, dayanımı artırma, ağırlığı düşürme, çevresel etkenlerle mücadele etme ve maliyeti azaltmak gibi genel istekler polimer matrisli nanokompozit malzemelerin tüketimi için imkan sağlamaya aday özellikler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Otomobil parçalarında gerek görülen ürünlerinde polimer nanokompozitler tercih edildiği takdirde otomobil ağırlığında %20-40 azalma ve yakıt tasarrufunda %10-20 civarında tasarruf sağlanabileceği söylenmektedir [18].

Polimer nanokompozitler otomotiv pazarına girebilmek için büyük bir potansiyele sahip olmasına rağmen şu anda küresel otomotiv plastikleri ve kompozitlerinden yalnızca % 1 pazar payını yakalamaktadır [19]. Polimer nanokompozitler; yakıt ve hava filtreleri, tavan-tabanyan kirişler, sıkıştırılmış doğal gaz yakıt tankları, sensörler, jant kapakları, vana kapakları, parlama önleyici kaplamaları içeren gövde panelleri, dış paneller, tampon sistemleri, güç trenleri, şasi, lastik, gösterge paneli, süspansiyon, direksiyon, hava emme manifoldu, yakıt hücreleri, frenler, yaprak yaylar, tahrik milleri gibi çok çeşitli otomotiv uygulamalarında kullanılmaktadır.

Polimer nanokompozitlerin ilk kullanımının ardından büyümesinin nedenleri:

- Otomobili hafifleterek yakıttan tasarruf,
- Ağırlığı azaltarak emisyon salınımını düşürmek,
- üstün mekanik özellikler;
- optik,elektriksel, termal, manyetik ve diğer fizikokimyasal özelliklerin olağanüstü kombinasyonu ve kısmi konsolidasyon fırsatları
- Tasarım esnekliği

Bu avantajlarının sektörde giderek tanınmasının yanı sıra halen çok düşük oranda kullanılıyor olmasına neden olan dezavantajları:

- Yüksek malzeme maliyetleri,
- Düşük talep,
- Yüksek üretim süreleri

Gibi dezavantajlar polimerik nanokompozitlerin yaygınlaşmasını engellemeye neden olmaktadır.

Nanokompozitlerin otomotiv uygulamaları. a) Basamak: İlk ticari uygulama b) İmpala: İkinci ticari uygulama

Polimer nanokompozitlerin otomobillerde kullanılan ilk örneği Toyota Motor Co.'nun Ube Industries ile birlikte Toyota Camry araçları için motorun bir parçası olarak triger kemeri

kapaklarını naylon 6/kil nanokompozitlerini kullanmasıyla 1991 yılında gerçekleşmiştir [20]. Bundan sonra GMC Safari veChevrolet Asrtramarka otomobillerin basamak kısımlarında, Honda Acura modelinin koltuk parçalarında polimerik nanokompozit malzeme kullanılmıştır [21].

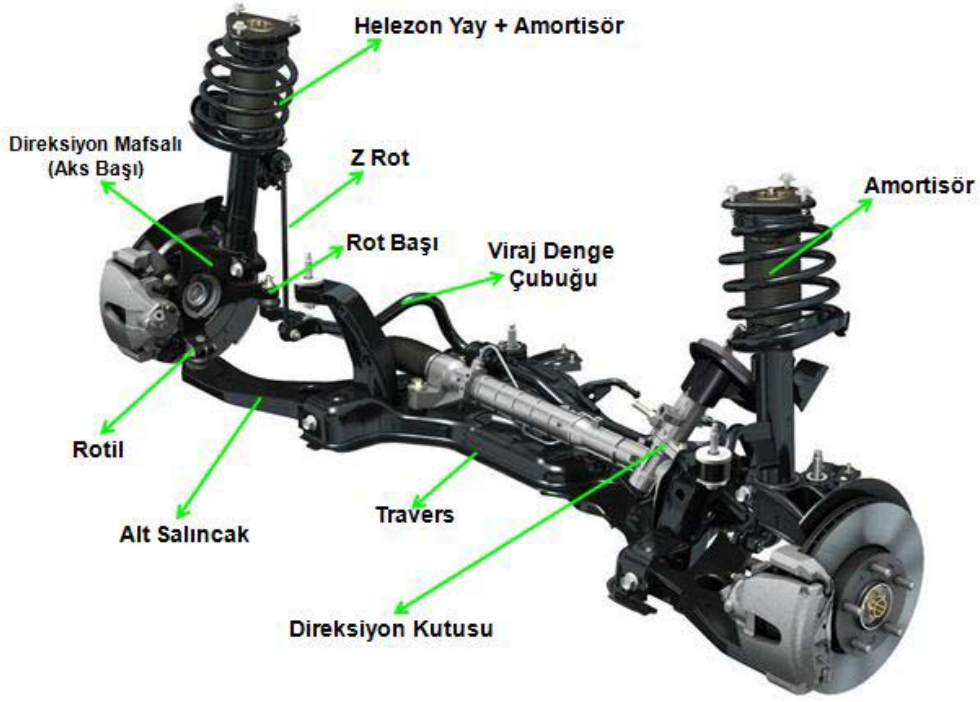
Polimer matrisli nanokompozit malzemeler yalıtkan bir yapıya sahiptirler ancak iletken yapıda takviye ile iletken görevi görebilirler. Yapılan çalışmalarla polimerik nanokompozitlerin ilerleyen yıllarda daha yaygın çalışma ortamı bulması beklenmektedir.

9.4.1 Otomobil Salıncak Kolunda Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Kullanımı

Otomobiller çok sayıda farklı malzemelerin bir arada kullanılmasıyla oluşurlar. Her tipteki malzeme kendi içinde göreve sahip olmakla beraber kendine has bir özelliği bulunmaktadır. Bundan dolayı bir otomobilin sorunsuz çalışabilmesi için tüm parçalar birbiri ile uyum içerisinde senkronize olarak çalışması gerekmektedir.

Otomobillerin ön tekerleklerinde biri sağda diğeri ise solda iki adet salıncak adı verilen parça mevcuttur. Bu parçalar aracın düz yolda giderken tekerleklerin herhangi bir boşluğa inip çıkması veya bir tümsekten geçerken hareket eksenini değiştirmesi esnasında oluşabilecek arızaları ve sıkıntıları engellemeye yardımcı olmaktadır. Bu tarz tümseklerde veya çukurlarda sürücü sert ve hızlı araç kullanırsa eğer araç salıncak parçası arıza yapabilir.

Salıncak parçasının kendi içerisinde parçaları mevcuttur. Bunlardan birisi araba salıncak burcudur. Bu parçanın diğeri adı salınca fişegi olarak da adlandırılabilir.



Şekil 9. 21 Otomobil Salıncak Kolu ve Alt Takım Elemanları

Salıncak kolu otomobil süspansiyonunda önemli bir yere sahiptir. Salıncak kolu direksiyona direkt olarak bağlıdır. Bundan dolayı tekerleklerin salıncak koluna ilettiği darbeler sürüş konforunu oldukça etkiler. Salıncak kolu bulunduğu tekerleğin hizasını düzgün tutmak için hem yüksek mukavemetli hem de yüksek rijitlik özelliğine sahip olmalıdır [22]. Bunun yanında salıncak kolu araç hareket halindeyken tekerleklere gelen titreşimi azaltmada önemli yer tutar. Bu malzeme korozyona dirençli olmalı ve diğer malzemelerden kendisine gelen burkulma yüklerine dayanıklı yapıda tasarlanmalıdır. Bu ve buna benzer özellikleri yan yana sıralayıp bir araya getirdiğimizde kompozit malzeme seçimi isabetli bir yaklaşım olmaktadır. Fiber takviyenin kullanıldığı polimerik kompozit malzemeler aşırı mukavemet dayanımı, aşırı rijitlik ve aşırı sönümleme kabiliyetleri ile otomobil salıncak kolu ürününün tasarımında kullanılan malzeme çeşiti olarak değerlendirilmektedir.

Geçmiş yıllarda otomobillerde salıncak kolu ürününde polimer esaslı kompozit malzeme kullanımına yönelik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların bilinenini ilk kez Pinfold ve Calvert gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada %30 oranında rastgele yerleştirilmiş cam elyafı ve kalsiyum karbonat içeren polyster reçineleri kullanılmıştır. Bilgisayar destekli tasarım

programları kullanılarak çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Bilgisayar destekli tasarım programlarından elde edilen sonuçlar ile deneysel metodlarla elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar metodunun kullanıldığı bilgisayar destekli tasarım programında salıncak kolu parçasının gövde montaj burçlarının olduğu yerlerde ciddi gerilmeler olduğu saptanmıştır. Bu analizin neticesin salıncak kollarında fiber takviyeli kompozitlerin kullanımına yönelmeye neden olmuştur [22].

Salıncak kolunun ağırlığını neredeyse yarısına kadar hafifletmek amacıyla ve burkulmaya karşı dayanımı maksimuma çıkarabilmek için gerçekleştirilen bazı çalışmalarda otomotiv sektöründe yeni nesil sayılabilecek fiber takviyeli kompozitlerin kullanıldığı salıncak kolu parçalarına rastlamak mümkündür. Fiber takviyesiyle SMC kompozitlerini kullanan salıncak kolu üreticileri bu noktadaki tasarımlarını ve üretimlerini sürdürmektedir.

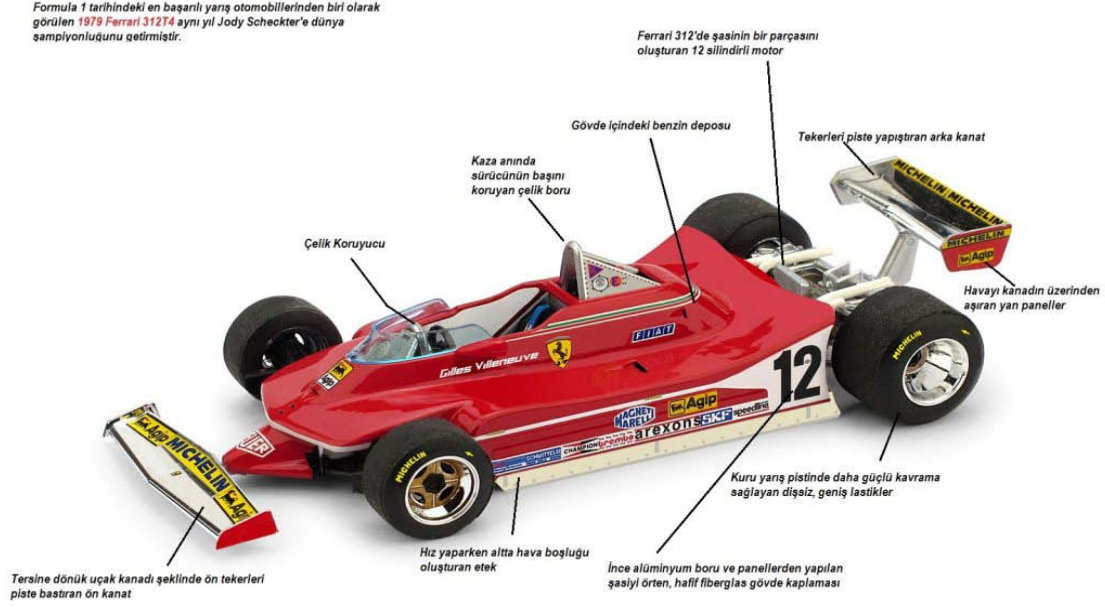
9.5 Formula -1 Araçlarında Polimer Esaslı Kompozit Malzemeler

Formula 1 yani F-1 sporları, özel tasarımlarla hazırlanmış araçların her birini tek kişi kullanarak maksimum hıza ulaşmak için diğerleriyle mücadeleye girdiği bir tür araç sporudur. Bu sporda kullanılan otomobil tipleri geleneksel otomobil anlayışında üretilen otomobillerde oldukça farklı bir tasarıma sahiptir. Bu araçların tasarımlarında gelişmiş mühendislik uygulamaları kullanılır.

Geçmiş yıllarda formüla 1 sporlarında kullanılan araçları tasarlayan firmalar bugün çağımızda bu sporda kullanılan araçların bu seviyelerdeki mühendislik hizmetleriyle tasarlanabileceğini muhtemelen düşünmemiş olmalı. Tarihteki ilk formüla 1 yarışı Fransa'da 100 km uzunluğunda bir pistte 32 adet formula 1 yarışçısı aracın katılımıyla yapılmıştır. Bu yarış yaklaşık iki gün sürmüş olup yarışın birincisi Renault marka araç kullanan sürücü olmuştur. Saatteki hızı yaklaşık 100 km olan bu araç o yıllarda birincilikle başarıyı yakalamış olsa da günümüzde bu sporun geldiği noktayla kıyasladığımızda aradaki farkın çok büyük olduğunu görmek zor olmayacaktır [23].

Formula 1 araçları geleneksel otomobillerden farklı tasarlanmış olsa da belli başlı özellikleri bu otomobillerle benzerdir. Bu özelliklerinin dışında F1 araçlarının tasarımını belirleyen en önemli etken o aracın olabildiğince hıza ulaşarak ilerlemesidir. Bu araçların

ulaşabilecekleri maksimum hıza ulaşabilmeleri için ağırlıklarının azaltılması ve olası bir kazada güvenliği sağlaması için tasarımda kullanılacak malzemelerde ilk göze çarpanı üstün malzeme özellikleri yapısıyla kompozit malzemeler olmaktadır.



Şekil 9. 22 Formula 1 Aracında Kompozit Malzeme Kullanılan Parçalara Örnekler [24]

Formula 1 araçlarının gövdesi ile kanatları rüzgar direncini azaltır ve gelen havayı tepeden aşındırarak aracın yere daha çok basmasını sağlar. Yani uçak tasarımının zıt anlayışı ile üretilir. Ön kanat ve arka kanat aerobik yapı görevi görerek uçakta uçmayı destekleyen tasarımın aksine burada gelen havayla aşağı yönde bir basma uygulayarak tekerlekler yere daha sağlam basar.

Formula 1 araçlarında yoğunluklu olarak karbon fiber takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeler kullanılır. Çeliğe göre oldukça hafif ve en az çelik kadar dayanıklı malzeme yapısı sayende formüle 1 sporlarında kullanılan araçların tasarımında kullanılan en ideal malzeme olduğu söylenebilir. Bu araçların şasisi monokok şasi olarak veya tüp olarak anılmaktadır. Bu bölüm olabildiğince sert çarpışmalara dayanıklı olmak gerekmekte ve mümkün olabildiğince hafif yapıda olabilmelidir. Burada da en uygun malzeme seçimi olarak polimer matrisli kompozitlerden karbon fiber takviyesi kullanılarak üretilen ürünleri kullanmak en sağlıklı seçimi oluşturmaktadır. Monokok şasinin bilgisayar destekli tasarım

programında tasarlanmasıyla başlayan sürecin devamında yine bilgisayar kontrollü makineler ile kalıbın yapılacağı malzeme kesilir. Bu monokok şasisi karbon fiber malzemesi ile kaplanır ve esas şasinin yapılacağı kalıbı oluşturur. Kalıp yapımının ardından kalıbın kenar kısımları düzeltilerek içersine özel bir kimyasal madde sürülür ve karbon fiber şasi üretimi tamamlandıktan sonra yeniden yerinden çıkartılır. Sonrasında kalıba karbon fiber katmanları yerleştirilir. Bu aşamada malzeme kumaşimsı yapıda olup ısıtılarak istenilen şekil verilebilir. Yerleştirilen karbon fiber katmanlarının yönü sertlik açısından oldukça önemlidir. Kalıba yerleştirilen fiberler kalıp şeklini alabilirler bunun için ısıtma işlemi yapılabilir. Katmanların hepsinin yerleştirilmesinin ardından kalıp, vakum makinesine konularak minimum hatayla o kalıbın şekline girmesine yardımcı olunulur. Kalıba ısı ve basınç uygulanır bunun ardından otoklav makinesine yerleştirilir. Verilen ısı fiberlerin içersindeki yapıştırıcı yapıyı dışarı atmasına neden olur ve verilen basınç yerleştirilen katmanları birbirine iyice yapıştırır. Bunun sonucunda fiber oldukça sertleşmiş olur ve şasinin hazır olması için birkaç saat beklenir [15].

Formula 1 araçlarında bulunan yakıt tankı şasinin içersinde olup sürücünün bulunduğu yerin arka tarafına monte edilir. Tankın dış yüzeyi yırtılma ve hasarlara karşı kevlar takviyesi kullanılan polimerik kompozit malzeme ile korunur. Özel tasarımı bu araçların lastikleri yüksek dayanım ve yüksek ısı direnci gibi özelliklere sahip olmak zorundadır. Çok yüksek hızlarda yerle temas sırasında yüksek ısı ortaya çıkacağından ısı direnci yüksek malzemelerden üretilmeleri gerekmektedir. Lastiklerin üretiminde; siyah karbon, polimerler, yağ ve katkı malzemesi kullanılır.

Formula 1 otomobillerde diğer birçok ürün gibi kompozit malzeme kullanımıyla karşılaşılan kadar alüminyum malzemelerden faydalanıyordu. Olabildiğince ürün hafifletmeyi dayanımdan ödün vermeden ürün tasarlama isteği mühendislik alanında kompozitlerin yükselişine yol açmaktadır. Bununla birlikte bu araçlarda eskisi gibi alüminyum malzemeler kullanılarak tasarlanmaya devam etseydi şuan ki kullanılan parça sayısından daha çok sayıda parça kullanımına neden olacaktı. Örneğin Formula 1 aracının gövde ve şasesi alüminyum malzeme kullanılarak tasarlandığında yaklaşık 200 parçaya ihtiyaç duyulacakken bu durum gövde ve şase de polimer matrisli kompozitlerin kullanımı ile beş parçaya indirgenebilmektedir. Metal civatalar gibi bağlantıda kullanılan parçalarla birleşim yerine epoksi reçinesi kullanılarak bu durumu destekleyen bir üretim gerçekleştirilmiş olur. Bununla birlikte formüle 1 araçlarında polimer matrisli kompozit malzemelerin kullanıldığı diğer

parçalar; motor kaplaması, ön ve arka kanatları, spoiler ve elektrik dağıtım panoları (cam elyaf takviyesi kullanılır) [15].

Otomotiv sektöründe polimer esaslı 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 makinalar 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 [25].

Polimerik kompozitlerin üretim tekniklerine hakim, tasarım ve imalat tekniklerinde tecrübeli çalışacak personel temin edilememe sıkıntısı da bu malzemelerin henüz tercih edilmelerinde istenilen değerlere ulaşmadığını göstermektedir. Bu teknolojik gelişmeler ve bu imalat kaliteleriyle bakıldığında ilerleyen yıllarda polimer esaslı kompozit malzemeler otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılacak gibi görülmektedir.

10.SON YILLARDA OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN KULLANIMI

Özellikle son yıllarda küresel regülasyonlar sonucunda araçlar CO₂ emisyonlarını minimum düzeye indirmek zorundadırlar. Bu amaç doğrultusunda ilk aşamada, kullanılmakta olan içten yanmalı motorların hacimlerinde küçülmeye gidilme eğilimi önem kazandı. Bu uygulamalara ek olarak özellikle hibrit motorlu araçlar ve daha sonrasında ise tam elektrik motorlu araçlar giderek artan bir öneme sahip olmaya başladı. Bahsedilen bu üç farklı araç konsepti için de üreticileri kısıtlayan birtakım gereksinimler ortaya çıktı. Ortaya çıkan bu gereksinimlerin başında araçların motor hacimleri küçülmesiyle kaybettikleri performansı artırma gelmektedir. Bu duruma ek olarak araçlarda uygulanan güvenlik regülasyonlarında da bir katılma söz konusu olmaktadır. Bahsedilen bütün bu gereksinimleri karşılamak için se üreticiler ve tasarımcılar gözlerini doğrudan kompozit malzemelere dikmişlerdir. Araçlarda hem hafiflik hem de güvenlik unsurlarını bir arada sağlama kapasitesine sahip olan kompozit malzemeler sektörün en gözde çalışma alanlarından bir tanesi olmuştur.

Bahsedilen bu emisyon ve güvenlik regülasyonlarına ek olarak bir de araçlarda kullanılan malzemelerin belirli bir kısmının geri dönüştürülebilir malzemelerden üretilmesi zorunluğunun da bulunması özellikle son yıllarda termoplastik kompozit malzemelere olan eğilimi bir hayli arttırmıştır.

Özellikle araçlarda kullanılan pasif güvenlik elemanları başta olmak üzere kaput, bagaj alt kısmı, tamponlar, kapı gövdeleri vb. gibi araç elemanları kompozit malzemelerle yer değiştirmeye başlamıştır.

Son yıllarda yapılan bir diğer çalışma konularının başında ise araç içi ses yalıtımının kuvvetlendirilebilmesidir. Bu doğrultuda ise üreticiler özellikle polimer matrisli kompozitlerden üretilen kompozit sandviç malzemelere yönelmiş ve istenilen sonuçlar alınmaya başlanmıştır.

Yukarıda bahsedilen çalışmalara ek olarak son yıllarda polimer nano kompozit malzemelere piezoelektrik özelliği eklenerek yeni nesil akıllı araçlarda hem yapı malzemesi hem de sensör olarak kullanılabilen malzeme üretme çalışmaları da ilgi uyandırmaya başlamıştır.

Otomotiv endüstrisinde ilgi uyandıran bir diğer çalışma ise kendi kendini iyileştirebilen akıllı kompozit malzemelerdir. Bu malzemeler yapısal bir hasara uğradığında matris içinde bulunan kapsüller bozularak malzemedeki hasarı kapatıp malzemeyi iyileştiren bir yapıya sahiptir. Bu sayede kaza anında yapısal stabilite gerektiren bir araç parçası hasara uğradığında malzeme kendini iyileştirecek ve yolcuları zor durumda kalmaktan kurtaracaktır. Buna ek olarak görsel olarak da önemli olan parçalar zarara uğradığında korozyon veya diğer zararlı mekanizmaların derine işleyip ilerlemesi ve parçanın ömrünün kısılması engellenmiş olur.

11.KAYNAKLAR

- [1] Kaw, A. K. *Mechanics of composite materials*. CRC pres (2005)
- [2] Tekeli S., Tetik O. *Örgümlü Kompozit Malzemelerin Ansys ve Abaqus ile Gerilme Analizleri ve Deneysel Kırılma Tokluğunun Hesaplanması*. Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Bitirme Tezi. İzmir (2007).
- [3] KORKMAZ, N., ÇAKMAK, E., & DAYIK, M. *Dokuma Karbon Elyaf Takviyeli Karbon Nano Tüp-Epoksi Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Karakterizasyonu*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(2). (2016).
- [4] Mazumdar, S., *Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering*. Taylor & Francis, Florida, USA. 2001.
- [5] Jacob, 2010 Jacob, A., 2010. "BMW counts on carbon fibre for its megacity vehicle." *Reinforced Plastics* 54, 38-41.
- [6] Europe, 2011 Europe, C., 2011. "Composites Europe highlights solutions for mass production of automotive composites." *Reinforced Plastics* 55, 45-46.
- [7] Stewart, 2009 Stewart, R., 2009. "Carbon fibre composites poised for dramatic growth." *Reinforced Plastics* 53, 16-21.
- [8] Han et al., 2015 Han, S.H., Cho, E.J., Lee, H.C., Jeong, K., Kim, S.S., 2015. *Study on high-speed RTM to reduce the impregnation time of carbon/epoxy composites*. Composite Structures 119, 50-58
- [9] <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-57.pdf>
- [10] Štrumberger, N., Gospočić, A., & Bartulić, Č. *Polymeric materials in automobiles*. PROMET-Traffic&Transportation, 17(3), 149-160. (2005).

- [11] Koniuszewska, A. G., & Kaczmar, J. W. *Application of polymer based composite materials in transportation*. Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology, 32(1), 1. (2016).
- [12] Benjamin, P. *Appletons' Cyclopædia of Applied Mechanics: Gov.-Z (Vol. 2)*. D. Appleton. (1895).
- [13] <http://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2017/03/Composites-Turkey-08.pdf>
- [14] Goodman SH, editor. Handbook of thermoset plastics. 2nd ed. Brookfield, CT: Plastics Design Library; 1999
- [15] <http://eyupyaylaci.com/otomobillerde-kullanilan-pmk-malzemeler/>
- [16] <http://www.grafen.com.tr/pdf/1386448563.pdf>
- [17] http://www.teknolojikarastirmalar.com/pdf/tr/01_0_7_1_71_468.pdf
- [18] Sinha Ray S, Bosmina M Prog Mater Sci 50: 962. (2005)
- [19] Patel V Polym Soc 5:39–42 (2012), 4. Patel V FRP Today 9:44–47 (2012)
- [20] Carter LW, Hendricks JG, Bolley DS Elastomer reinforced with modified clay. US Patent No. 2,531,396, November 28, 1950 (Filed on March 29, 1947), Assignee: National Lead Co. (1950)
- [21] <http://muhendisinyasami.blogspot.com.tr/2015/07/polimer-matrisli-nanokompozitler.html>
- [22] Kim J, Lei LP, Hwang SM, Kang SJ, Kang BS. ‘‘Manufacture of an automobile lower arm by hydroforming.’’ *Int J Mach Tools Manuf*; 42:69–78. 2002
- [23] <http://www.calismaprensibi.com/formula-1-hakkinda-bilmeniz-gerekenler.html>
- [24] <http://teknolojirojeleri.com/genel/formula-1-araclarinin-genel-ozellikleri>
- [25] Mkaddem A, Demirci I, Mansori ME. *Compos Sci Technol*;68:3123-7. 2008