

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİBER TAKVİYELİ POLİMER MATRİKSLİ
KOMPOZİTLERİN ENJEKSİYON YÖNTEMİ İLE
ÜRETİMİ**

Met. Ve Malz. Müh. Şener SABANCI

FBE Malzeme Anabilim Dalında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet KARAASLAN

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİTİN TANIMLANMASI.....	3
2.1 Kompozit Malzemelerdeki Yapı Bileşenleri.....	6
2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	7
2.2.1 Fiber Matriks Kompozitleri.....	8
2.2.2 Levhasal Kompozitler.....	10
2.2.3 Partikül Kompozitler.....	10
2.2.4 Doldurulmuş Kompozitler.....	11
2.2.3 Tabakalı Kompozitler.....	11
2.3 Metal Matriksli Kompozitler.....	11
2.3.1 MMK Malzemelerin Tanımı.....	11
2.3.2 MMK'lerin Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Önemleri.....	14
2.3.3 MMK Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	15
2.3.3.1 Sıvı Faz Üretim Yöntemleri.....	15
2.3.3.2 Katı Hal Üretim Yöntemleri.....	17
2.3.3.3 Reaksiyonla Kompozit Üretim Teknikleri.....	19
2.3.4 Matriks Metalleri.....	19
2.3.5 Takviye Malzemeleri.....	20
2.4 Seramik Matriksli Kompozitler.....	21
2.4.1 Seramik Kompozitlerin Mekanik Özellikleri.....	22
2.4.2 Seramik Kompozitlerin Uygulama Alanları.....	25
3. POLİMER MATRİKSİLİ KOMPOZİTLER.....	34
3.1 Matriks Malzemeleri.....	34
3.1.1 Polimerler:.....	34
3.1.2 Termosetler.....	35
3.1.3 Termoplastikler.....	36
3.1.3.1 Polipropilen.....	37
3.1.3.2 Poliamid.....	38
3.2 Takviye Malzemeleri.....	41
3.2.1 Karbon Fiberler.....	41
3.2.2 Cam Fiberler.....	41

3.2.3	Aramid (Kevlar) Fiberler.....	45
3.3	PMK Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	48
3.3.1	Elle Sıvama.....	48
3.3.2	Püskürtme Metodu	49
3.3.3	Keseli Kalıplama	50
3.3.4	İplik Sarma Metodu.....	51
3.3.5	Pültrüzyon (Profil) Çekme	52
3.3.6	Prete Kalıplama (Basınçta Kalıplama)	53
4.	ENJEKSİYON YÖNTEMİ İLE KISA FİBER TAKVİYELİ POLİMER MATRİKSİLİ KOMPOZİT ÜRETİMİ.....	55
4.1	Enjeksiyonla Kalıplama	55
4.2	Kısa Fiber Takviyeli Termoplastik Malzemeler	58
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	60
5.1	Enjeksiyon Makinesinde Üretim	60
5.2	Dumansız Yakma Metodu ile Malzemedeki Ağırlıkça Fiber Oranının Tespiti	64
5.3	Sertlik Ölçümü	65
5.4	Çekme Deneyi	66
5.5	Eğme Deneyi	70
5.6	Mikro İnceleme	72
6.	SONUÇ	77
	KAYNAKLAR.....	78
	ÖZGEÇMİŞ	79

SİMGE LİSTESİ

a	Düşük Termal Genleşme
H	Yüksek Sertlik
r	Düşük Yoğunluk
E	Yüksek Modül
s(T)	Yüksek Sıcaklık Mukavemeti
Kc	Kırılma Tokluğu
s/r	Spesifik Mukavemet
AE	Yüksek Aşınma ve Erozyon Dayanımı
OK	Oksidasyon ve Korozyon Dayanımı
HP	Horse Power (Beygir Gücü)

KISALTMA LİSTESİ

PAN	Poliakrilonitril
MMK	Metal Matriksli Kompozit
SMK	Seramik Matriksli Kompozit
PMK	Polimer Matriksli Kompozit
CVD	Chemical Vapor Depozition
PVD	Phisical Vapor Depozition
LAS	Lityum Aluminyum Silikat
PP	Polipropen
PA	Poliamid
HPSN	Sıcak preslenmiş Silisyum Nitrür
RBSN	Reaksiyon bağlı Silisyum Nitrür
HPSiC	Sıcak preslenmiş Silisyum Karbür
a - SiC	Sinterlenmiş Silisyum Karbür
PSZ	Kısmen Stabilize edilmiş Zirkonya
PMMA	Polimetilmetakrilat

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kompozit malzemelerin üretildikleri malzeme sınıfları	3
Şekil 2.2 Fiber ve matriks arayüzeyi ve bileşenler arasında meydana gelen arafaz	5
Şekil 2.3 Kompozitlerdeki farklı bileşen şekilleri	6
Şekil 2.4 Kompozit sınıfları	7
Şekil 2.5 Fiber şekilleri ve mümkün fiber dağılımları	9
Şekil 2.6 Dispersiyonla serleştirilen bir MMK malzemenin şematik görünümü	12
Şekil 2.7 Partikül takviyeli bir MMK malzemede matriks ve partiküller	12
Şekil 2.8 Kısa fiber veya whisker takviyeli ve sürekli fiber takviyeli MMK malzemelerin yapısı	13
Şekil 2.9 Tek yönlü karbon fiberleri ile takviye edilen borosilikat matriksli bir seramik kompozit malzemede fiber hacim oranının bir fonksiyonu olarak Young Modülünün değişimi	23
Şekil 2.10 Yüksek sıcaklık malzemeleri ve seramik kompozitlerin yüksek sıcaklık mukavemetleri	25
Şekil 2.11 Kesici takımlarda kullanılan malzemelerin yüksek sıcaklık sertlikleri, aşınma dayanımları ve toklukları arasındaki ilişki	31
Şekil 2.12 Değişik kesici takım malzemelerinin karşılaştırmalı sertlik özellikleri	32
Şekil 3.1 Kısa fiber takviyeli malzemede gerilme dağılımı	43
Şekil 3.2 Matriks fiber yüzeysel bağ mukavemeti	44
Şekil 3.3 PMK malzeme üretiminde kullanılan fiberlerin gerilme-genleme eğrileri	47
Şekil 3.4 PMK malzemeleri takviye eden fiberlerin yönlenme şekilleri ve örgü tipleri	48
Şekil 3.5 Elle sıvama tekniği	49
Şekil 3.6 Püskürtme metodu	49
Şekil 3.7 Vakumla kalıplama tekniği	51
Şekil 3.8 Yaş sarma metodu	52
Şekil 3.9 Pültrüzyon metodu	53
Şekil 3.10 Prestre kalıplama	54
Şekil 4.1 Enjeksiyon metodu	55
Şekil 4.2 Plastik enjeksiyon kalıbı	56
Şekil 4.3 Enjeksiyon makinesine ait mengene grubunun şematik görünümü	57
Şekil 4.4 Ocak grubunun içinde bulunan helezonik vidanın şematik görünümü	57
Şekil 4.5 Ocak grubunun içinde bulunan helezonik vidanın fotoğrafı	57
Şekil 4.6 Nylon 6.6 kompozitte özellikler	59
Resim 5.1 500 ton mengene kapama gücüne sahip Jon Wai marka enjeksiyon makinesi	61
Resim 5.2 1200 tonluk gaz enjeksiyonu teknolojisine sahip Jon Wai enjeksiyon makinesi ..	62
Resim 5.3 500 ton mengene kapama gücüne sahip Jon Wai marka enjeksiyon makinesi	63
Şekil 5.1 Artan fiber oranına bağlı olarak malzemenin sertliği artıyor	65
Şekil 5.2 Artan fiber oranına bağlı olarak sertlikde artış görülmektedir	66
Şekil 5.3 Çekme numuneleri için tip A ISO kalıbı	68
Şekil 5.4 Artan fiber oranına bağlı olarak PP'nin çekme mukavemetindeki artış	69
Şekil 5.5 Artan fiber oranına bağlı olarak, PA6'nın çekme mukavemetindeki değişim	70
Şekil 5.6 Artan fiber oranına bağlı olarak PP'in eğme mukavemetindeki değişim	71
Şekil 5.7 Artan fiber oranına bağlı olarak PA6'nın eğme mukavemetindeki artış	71
Şekil 5.8 Fiber katkısı olmayan PP numunenin 400 büyütmedeki görüntüsü	72
Şekil 5.9 %10 cam fiber takviyeli PP'in 400 büyütmedeki görüntüsü	73
Şekil 5.10 %20 cam fiber takviyeli PP'nin 400 büyütmedeki görüntüsü	73
Şekil 5.11 %30 cam fiber takviyeli PP'in 400 büyütmedeki görüntüsü	74
Şekil 5.12 Fiber katkısı olmayan PA6 numunenin 400 büyütmedeki görüntüsü	74
Şekil 5.13 %10 cam fiber takviyeli PA6 numunenin 400 büyütmedeki görüntüsü	75

Şekil 5.14 % 20 cam fiber takviyeli PA6 numunenin 400 büyütmedeki görüntüsü	75
Şekil 5.15 % 30 cam fiber takviyeli PA6 numunenin 400 büyütmedeki görüntüsü	76

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 MMK malzeme üretiminde kullanılan bazı önemli fiber ve whiskerlerin mekanik ve fiziksel özellikleri	20
Çizelge 2.2 Partikül takviyeli MMK malzeme üretiminde kullanılan bazı önemli seramik partikül takviye malzemelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri.....	21
Çizelge 2.3 Seramik ve seramik kompozitlerin tipik oda sıcaklığı mukavemetleri, kırılma toklukları ve termal şok dirençleri	22
Çizelge 2.4 SiC whisker takviyeli seramik matriksli kompozitlerin mekanik özellikleri	24
Çizelge 2.5 Yüksek sıcaklık seramiklerinin uygulamaya aktarılmasındaki bazı güçlükler	27
Çizelge 2.6 Seramik kompozit malzemelerden aranan özellikler ve uygulama alanları	27
Çizelge 2.7 Seramik matriksli kompozitlerin ana fonksiyonları, özellikleri ve uygulamaları	29
Çizelge 3.1 Epoksi ve Polyester reçinelerin özellikleri	36
Çizelge 3.2 En çok kullanılan üç termoplastik malzemenin 20 °C de bazı özellikleri	37
Çizelge 3.3 Cam fiber üretiminde kullanılan cam çeşitleri ve bileşimleri (% ağırlıkça)	41
Çizelge 3.4 Kevlar 29 ve Kevlar 49 fiberlerin özellikleri	46
Çizelge 3.5 PMK malzeme üretiminde kullanılan değişik fiberlerin fiziksel ve mekanik özellikleri	46
Çizelge 4.1 Hacimce % 50 fiber takviyeli PMK malzemelerin özellikleri	59
Çizelge 5.1 JW-500SD model plastic enjeksiyon makinasının teknik verileri	62
Çizelge 5.2 PP üretimi için gerekli olan, makinenin ocak sıcaklıkları	63
Çizelge 5.3 PA6 üretimi için gerekli olan, makinenin ocak sıcaklıkları	63
Çizelge 5.3 Karşılaştırması yapılan PA6 ve PP malzemelerin içindeki, ağırlıkça cam fiber oranları	64

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın oluşumunda ve gelişiminde bilgisini ve desteğini hiç esirgemedi bana yol gösteren ve yardımcı olan danışmanım Doç. Dr. Ahmet KARAASLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Enjeksiyon işleminin yapılmasında ilgi ve alakasını en sıcak şekilde gösteren ve bana her konuda sonsuz yardımı dokunan Alplas Plastik Ürünleri AŞ adına, çalışma arkadaşlarım; Üretim Yöneticisi Met. Müh. Çağdaş YILDIRIM'a, yine tez hazırlama aşamasında benden hiçbir yardımı esirgemeyen Met. Müh. Emre AKINCI'ya, her türlü teknik bilgi konusunda bana yardımcı olan Ürün Geliştirme Uzmanı Ahmet İlhan BAYRAM'a ve Enj. Ustası Yaşar KURNAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalarım sırasında numune hazırlama aşamasında yardımını esirgemeyen tekniker Şaban CEYLAN'a, Shore D sertlik testlerini yapmamda bana yardımcı olan KOSGEB İkitelli adına Tekstil Müh. Salih ÖYÜŞ'e, mikroinceleme sırasında bana yardımcı olan Araş. Gör. Tuba KARAHAN'a, ayrıca tez aşamasında her türlü teknik katkıyı sağlayan Araş. Gör. Kerem Altuğ GÜLER ve Araş. Gör. Cihan BALABAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Hammaddelerin temini sırasında bana yardımcı olan Teknopolimer AŞ. çalışanlarına ve Akar Kalıp üretim yöneticisi Gökhan AKTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Lisans eğitimimden sonra Yüksek Lisans eğitimi yapmam konusunda beni teşvik eden ve her aşamada benden desteklerini ve yardımlarını hiç esirgemeyen aileme ve her zaman yanımda olan nişanlım Deniz YÜKSEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Polimer matriksli kompozit malzemeler tüm dünyada oldukça önemli malzemelerdir. Yüksek mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle geniş uygulama alanlarında kullanılan ve büyük öneme sahip olan malzemelerdir. Bu malzemeler tüm ülkeler için stratejik öneme sahiptir. Polimer matriksli kompozitler uzay, kimya, uçak, savunma, otomotiv ve tıp uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Son 30 yılda matriks ve fiber teknolojisinde büyük gelişmeler sağlanmıştır.

Kompozit malzemelerin en büyük dezavantajı, yüksek üretim maliyetleridir. Enjeksiyonla kalıplama tekniği kısa fiber takviyeli, polimer matriksli kompozit malzemelerin üretiminde büyük kolaylık sağlamıştır. Bu çalışmada kısa fiber takviyeli, polimer matriksli kompozitlerin enjeksiyonla üretimine değinilmiş, çeşitli takviye ve matriks malzemelerin yapısı ve enjeksiyonla kalıplama tekniğinden ayrıntılı olarak bahsedilmiştir. Ayrıca matriks içindeki fiber oranı arttıkça, mekanik özelliklerdeki olumlu değişim deneysel çalışmalarda görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fiber takviyesi, polimer matriks kompozit, enjeksiyonla kalıplama

ABSTRACT

Polymer matrix composites have a great importance and a wide range of application field because of their superior mechanic, physical and chemical properties. These materials have a strategic importance for all countries of the world. The polymer matrix composites are generally used in aerospace, chemical, aircraft, defence, automotive and medical industries. Matrix and fiber technologies have a great development in the last 30 year time period.

The major disadvantage of composites materials is high production cost. Injection moulding techniques is useful for production of short fiber reinforced polymer matrix composites. In this study, prduction of short fiber reinforced polymer matrix composites is explained, injection techniques, miscallenous reinforced and matrix materials are described.

Keywords: Fiber reinforced, polymer matrix composite, injection moulding

1.GİRİŞ

Kompozitlerin tarihçesi çok eski yıllara dayanmaktadır. Örneğin; ağaç, kemik ve diş gibi doğal kompozit malzemeler insanlığın var oluşu ile birlikte kullanılmıştır. İnsanlar belki de saman ve çamuru karıştırıp kerpiç tuğlalar üretmeye başladıklarında ilk kompozit malzemeyi yapmışlardır. Kompozit terimi geniş anlamda doğal veya sentetik iki veya daha fazla bileşenin bir araya getirilmesi ile oluşturulan malzeme olarak tanımlanabilir (Akbulut, 2002).

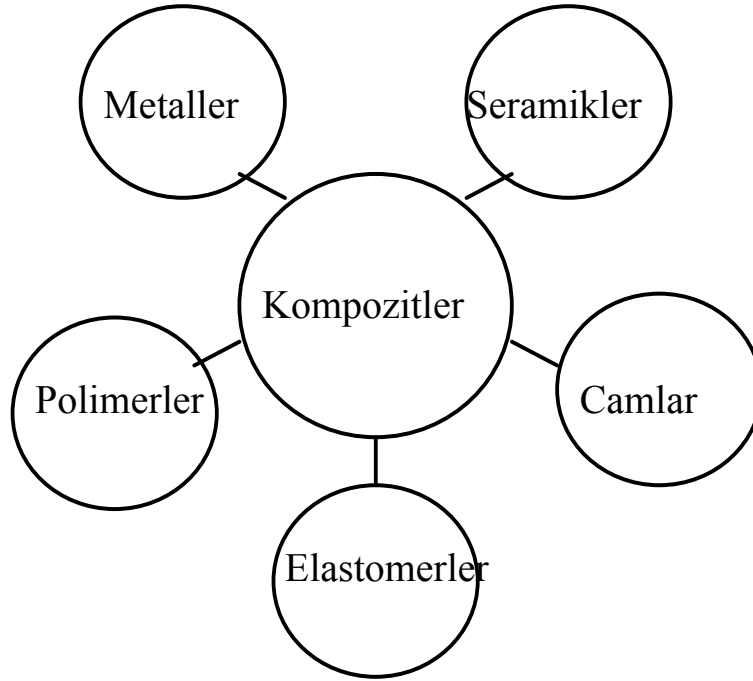
Günümüzün modern teknolojisi uzay, uçak ve otomotiv endüstrileri gibi ileri teknoloji alanında kullanılmak üzere hafif, üstün ve spesifik özelliklere sahip yeni malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Uzay, havacılık ve otomotiv sektörlerinde, mukavemet/ağırlık, mukavemet/yoğunluk oranları gibi malzeme özelliklerinin önemli olduğu ağırlığa duyarlı alanlarda kullanılan malzemelerin mukavemet limitlerinin zorlanması, belirli kurallar içinde farklı malzemelerin karıştırılarak özelliklerinin geliştirilmesini önemli kılmış ve bu alanda da önemli gelişmelere yol açmıştır. Sahip oldukları mükemmel özelliklere rağmen, kompozit malzemelerin üretim maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı kullanımları endüstriyel olarak istenen seviyelere ulaşamamıştır. Ancak son yıllardaki gelişmelere bakarak bu malzemelerin kullanımlarının hızla yaygınlaştığı ve bu hızın giderek artacağını söylemek mümkündür. Enjeksiyonla kalıplama yöntemi, polimerik malzeme üretimi için, uzun yıllardır kullanılan bir yöntemdir. Proses hızlı, kolay ve ekonomiktir, bu nedenle polimerik malzemelerin üretiminde çok tercih edilen yöntemdir. Enjeksiyon yöntemi ile kısa fiber takviyeli polimer matriksli kompozit malzemelerin üretimi oldukça hızlı ve ekonomiktir. Genel olarak proses maliyetleri yüksek olan kompozit malzemeler, bu üretim yöntemi ile sanayide ve günlük kullanımdaki yerini hızla almaktadır (Akbulut, 2002).

Sürekli fiber olarak en yaygın kullanılan malzeme ucuz olması nedeni ile cam fiberdir. Özellikle cam fiber ile matriks arası yapışma gücünü arttıran silan bazlı ince film yapan kimyasalların sentezinden sonra kullanım alanları genişlemiştir. Sanayi donanımlarında, tüketim mallarında, askeri ve havacılık sahasında geniş kullanım alanları bulmuştur. Esas anlamdaki gelişmeler 1960 larda karbon fiberli kompozitlerin üretimi ile başlamıştır. Karbon fiber poliakrilonitril (PAN) fiberin piroliz ve çekme sonucu hemen hemen saf ve yönlendirilmiş karbon haline gelmiş şeklidir. Ortalama 7-10 mikrometre çapında, % 1-2 uzaması olabilen, 3000 °C ye kadar dayanabilen, çekme mukavemeti çelikten fazla ve hafif (1.8 g/cm^3) bir malzemedir. En önemli eksiği fiber eksenine dik yöndeki darbelere dayanıksız olmasıdır. Bu

eksiklik fiberlerin açılı yerleştirilmeleri ya da çapraz katlı kompozitler şeklinde tasarımlar yapılarak, kumaş gibi dokunarak giderilmektedir (Temel, 2003).

Kullanılan diğer fiberler arasında aramid fiberleri sayılabilir. Bunlar basınç dayanımı isteyen alanlar da kullanılabilir. Silisyum karbür daha çok metal matrislerde kullanılmakla beraber polimerler için de uygun bir fiberdir. Bor fiberden daha ucuzdur. Bütün dolgu veya fiber malzeme onları bir arada tutan, koruyan matriks ile sağlam bir dayanışma içinde olmalıdır. Matriks ile uyuma yüksek performans istemeyen cam fiberli malzeme için fazla kritik olmayabilir. Cam fiberler için doymamış polyester reçineler uygun matrisler oluşturur (Akbulut, 2002).

2. KOMPOZİTİN TANIMLANMASI



Şekil 2.1: Kompozit malzemelerin üretildikleri malzeme sınıfları (Schwartz, 1994)

Kompozitleri meydana getiren bileşen sınıfları çok değişik malzemelerden olabilmektedir. Şekil 2.1, kompozitlerin üretildiği malzeme sınıflarını göstermektedir. Kompozitlerin üretim şartları ve uygulamaları göz önüne alındığında Şekil 2.1 deki 5 sınıf malzemenin yanında daha birçok malzemenin de sayılabilmesi mümkündür. Kompozit sistemlerine bağlı olarak değişik sınıftaki malzemelerden en az iki grup bir araya getirilerek üstün özelliklere sahip malzemeler elde edilmektedir (Schwartz,1994).

Kompozit terimi en geniş anlamda ele alındığında; çok kristalli birçok metal ve metal olmayan parçaların bir arada toplanması olarak ifade edilebilir. Bu nedenle kompozit malzeme terimini daha dar ve anlaşılır kalıplar içinde ele almak gerekir. Bir malzemenin kompozit sayılabilmesi için kabaca aşağıdaki özellikleri taşıması gerekmektedir ;

- a) İnsan tarafından üretilmelidir,
- b) Farklı bileşenlerle beraber kimyasal olarak birbirinden farklı en azından iki malzemenin kombinasyonundan oluşmalıdır,
- c) Kompozit malzemeyi oluşturan ayrı malzemeler üç boyutlu olarak birleşmelidirler,
- d) Kompozit, kendisini meydana getiren bileşenlerin tek başlarına sahip olamayacakları özellikler göstermelidir.

Hangi malzemenin kompozit, hangi malzemenin monolitik malzeme olduğunu ifade edebilmek için malzemelerin değişik sayıdaki yapı seviyelerini göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bunlar;

Atomik Seviye: Tek moleküllerin ve kristal hücrelerinin göz önüne alındığı bu seviyede tüm malzemeler, iki veya daha fazla sayıdaki farklı atomların bir arada bulunması durumunda kompozit olarak ifade edilir. Bu tanıma göre iki farklı atomun bir araya gelmesi, kompozit bir malzeme oluşması için yeterlidir. İki farklı element atomunun bir katı eriyik oluşturması halinde bile meydana gelen bileşik kompozit olarak tanımlanabilmektedir. Bu malzemeler saf elementler haricinde bileşikler, alaşımlar, polimerler ve seramiklerden oluşabilir.

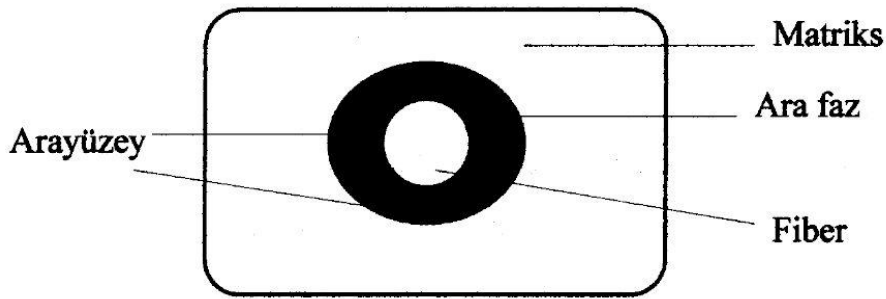
Mikroyapısal Seviye: Kristal, faz, molekül ve bileşiklerin iki veya daha fazla sayıdaki kristal, molekül ve faz yapılarından meydana gelmesiyle oluşan malzemeler kompozit olarak tanımlanabilir. Bu tanımlama ile geleneksel olarak homojen ve monolitik olarak değerlendirilen çok sayıda malzeme kompozit olarak sınıflanabilmektedir. Yine bu tanımlama ile tüm metalik malzemeler içinde pirinçler, bronzlar gibi tek fazlı alaşımlar monolitik olarak ele alınmaktadır. Çok fazlı bir karbon alaşımı olan çelikler ve dökme demirler kompozit sınıfına girmektedirler.

Makroyapısal Seviye: Kaba olarak iki bileşenin oluşturduğu yapılardır. Bu yapılar matriksler, partiküller ve fiberleri kapsamaktadır. Kompozit olarak adlandırılan bu malzemeler farklı makrobileşenlerden oluşmaktadırlar. Makroyapısal seviye tanımı birçok kompoziti içermesine rağmen genel olarak kompozit olarak bilinen bazı malzemeleri kapsamamaktadır. Daha kapsayıcı olması için bileşenlerin tabiatları ve iki karakteristikleri daha göz önüne alınmaktadır (Akbulut, 2002).

Bu özellikler;

- i) Kompoziti meydana getiren bileşenler genelde hemen hemen farklı kimyasal yapıya sahiptirler,
- ii) Birbirleri içinde çözünmezler.

Bu şartlar altında hem yapısal olarak ve hemde malzeme bileşenlerinin kompozisyonu açısından kompozit malzemelerin tanımı aşağıdaki gibi yapılmaktadır; "Bir kompozit malzeme, temel olarak birbiri içinde çözünmeyen ve birbirinden farklı şekil ve/veya malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla makrobileşenin karışımından veya birleşmesinden meydana gelen malzeme sistemidir"

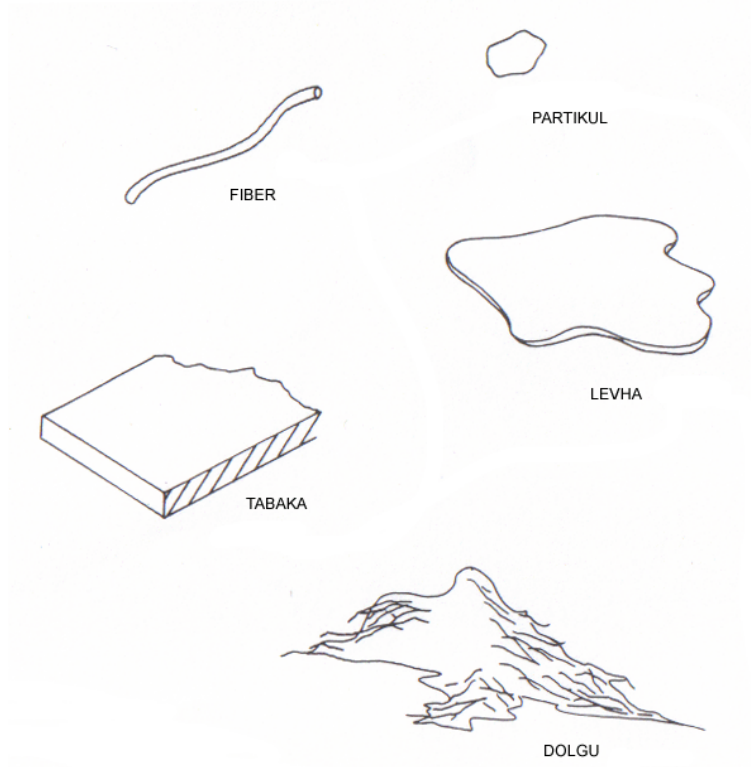


Şekil 2.2: Fiber ve matriks arayüzeyi ve bileşenler arasında meydana gelen arafaz (Schwartz, 1994)

Yukarıdaki tanımın bile aydınlatılmasına ihtiyaç vardır. Bazı mühendislik dalları için bu tanım oldukça geniştir çünkü ön kaplanmış malzemeler, doldurulmuş plastikler, beton ve doldurulmuş seramik ve metaller gibi birçok mühendislik malzemesi genelde kompozit olarak değerlendirilmemektedirler. Böyle malzemeler kompozit olarak değerlendirilmemelerine rağmen kompozit olarak işlem görüp kompozit gibi üretilirler. Yukarıdaki tanımın bir eksikliği de dispersiyonla sertleştirilmiş alaşımlar ve sermetler gibi partikül takviyeli kompozitlerin, makroskobik seviyede değil de mikroskobik seviye sınıfında bulunmasıdır. Sonuç olarak bu tanım kompozit yapı ve kompozit malzemeler arasındaki çizgiyi belirleyememektedir. Örneğin, beş veya altı tabakadan oluşmuş bir roket nozülü, çok sayıdaki tabakadan meydana gelen otomobil lastiği veya kumaş takviyeli matriksler bir yapı mı yosa bir kompozit malzeme olarak mı sınıflandırılmalıdır? Her iki şekilde ifade durumu da tartışma konusudur. Şekil 2.1 deki gibi bir malzemenin kompozit olabilmesi için matriks ve takviye fazları arasında arayüzeylerin mekanik veya kimyasal olarak etkileşimleri sonucu arafazlar meydana gelmektedir. Kompozit yapılar ve kompozit malzemeler arasında

bir ayırım kurmayı denemenin yerine yapısal kompozitler ve özel kompozitler arasında bir ayırıma gitmek çok daha yararlı olmaktadır (Schwartz, 1994).

2.1. Kompozit Malzemelerdeki Yapı Bileşenleri



Şekil 2.3: Kompozitlerdeki farklı bileşen şekilleri (Schwartz, 1994)

Temelde kompozit malzemeler, metalik, organik veya inorganik esaslı bileşenlerin kombinasyonundan oluşmaktadır. Kompozitlerde malzeme kombinasyonlarının sınırlanmamasına rağmen bileşenlerin şekilleri sınırlıdır. Bunun anlamı bir kompozit malzemenin ikiden fazla bileşen de içerebileceğidir. Kompozitlerdeki bileşenler şekil olarak 5 sınıfta incelenmektedirler. Şekil 2.3 de de görüldüğü gibi kompozitlerdeki bileşenler;

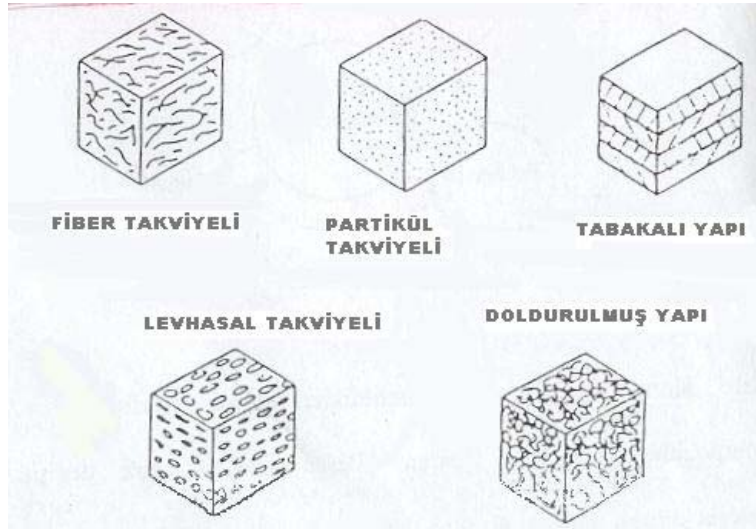
- i) fiberler,
- ii) partiküller,
- iii) levhalar,
- iv) tabakalar,
- v) dolgular olarak tanımlanmaktadır

Kompozitteki ana faz olan matriksin görevi fiber, partikül ve tabaka gibi yapı bileşenlerinin kendi bünyesinde homojen olarak dağılmasını temin etmektir. Fiberler, partiküller, tabakalar ve levhalar kompozitin iç yapısını oluşturan yapısal bileşenlerdir ve genelde ilave fazlar olarak kullanılırlar. Bunun dışında bu bileşenler matriks olarak da kullanılabilirler. Levhaların ve tabakaların sandviç gibi üst üste dizilip presleme ve kontrollü sıcaklık şartlarında üretilmeleri ile matriksiz kompozitler olarak da elde edilebilmektedirler (Schwartz, 1994).

2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin doğaları ve yapılarının açıklanmasıyla bu malzemeler üzerinde işlerliğini koruyan sınıflandırmalar yapılmaktadır. Malzeme kombinasyonları (örneğin; metal-organik veya metal-inorganik), bileşen fazların karakteristikleri (örneğin; matriks sistemleri veya tabaka yapılar), bileşenlerin dağılımları (örneğin; sürekli, süreksiz), fonksiyonları (örneğin; elektriksiz veya yapısal) ve özellikleri göz önüne alınarak kompozit malzemelerin çok değişik sınıflandırmaları yapılmıştır. Yapısal bileşenlerin şekline göre yapılan genel bir sınıflandırma sistemi aşağıdaki gibidir ve bu sınıflar Şekil 2.4 de gösterilmektedirler:

1. Fiberli kompozitler, fiberler + matriks veya fiber ile matriksiz yapı.
2. Levhasal kompozitler, düz plakalar + matriks veya levha ile matriksiz yapı.
3. Partikül kompozitler, partiküller + matriks veya partikül ile matriksiz yapı.
4. Doldurulmuş(veya iskelet) kompozitler, sürekli bir iskelet matriksin ikincil bir malzemeyle doldurulması.
5. Tabakalı kompozitler, farklı bileşen tabakalarından oluşmuş kompozit. (Schwartz, 1994)



Şekil 2.4: Kompozit sınıfları (Schwartz, 1994)

Kompozit malzemeler, kullanılan matriks malzemesine göre de üç ana sınıfa ayrılmaktadırlar. Bunlar sırasıyla polimer, seramik ve metal matriksli kompozitlerdir.

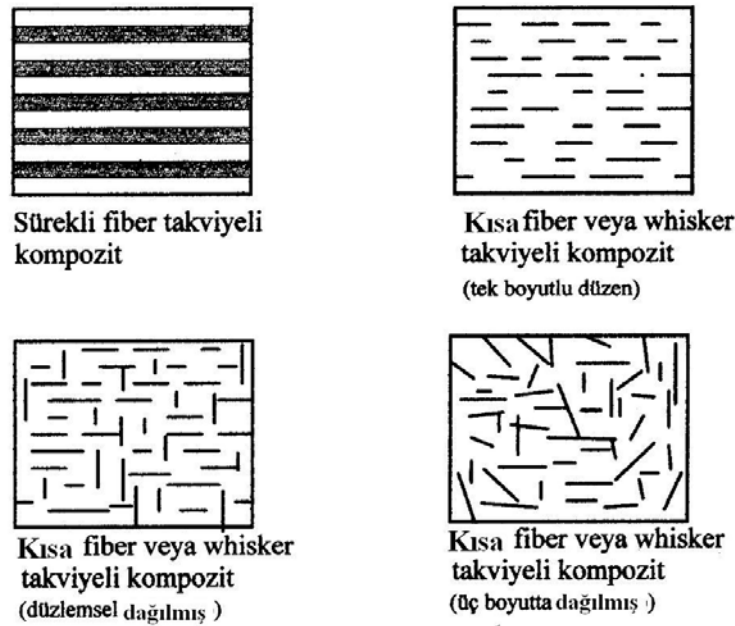
2.2.1. Fiber-Matriks Kompozitleri

Tüm kompozit malzemelerde yapısal uygulamalarda kullanıcılar ve mühendisler tarafından tercih edilen takviye malzemesinin şekli fiberdir. Çünkü fiberler bir malzemenin en üstün özelliklerini sergileyen karakterdedirler. Dolayısıyla, kompozit malzemeler üzerindeki ilk çalışmalar fiber takviyeli malzemeler üzerine olmuştur. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin kullanımlarını kısıtlayan en önemli olay yüksek mukavemete ve elastik modüle sahip fiberlerin üretimlerinin güçlüğü ve maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Monolitik olarak kullanılan herhangi bir malzeme fiber olarak üretildiğinde malzemenin rijitlik ve mukavemetinde önemli derecede artışlar meydana gelmektedir. Son yıllarda üretilen ve çapları 3-30 μm ye kadar değişen fiberlerde mukavemet 50 kat arttırılabilmektedir.

Fiber takviyeli kompozit malzemelerdeki fiber şekilleri değişik olabilmektedir. Mümkün fiber şekilleri Şekil 2.5 de de gösterildiği gibi;

- a) Sürekli fiber takviyeli kompozitler
- b) Kısa fiber takviyeli kompozitler şeklindedir.

Fiberlerin matriks malzemesini veya herhangi bir amaçla üretilen matriksiz yapıyı boydan boya katettiği kompozitler sürekli fiber takviyeli kompozitler olarak adlandırılırken özellikle whisker lerin kullanıldığı ve kısa fiberlerin ilave edildiği sistemlerde fiberler matriks içinde değişik yönlerde dizilebilmektedirler. Kompozit malzemelerde matriks fazı fiberleri belirli bir düzende tutmanın yanı sıra dışarıdan malzemeye uygulanan yükleri fiberlere transfer etmektedir. Kompozitlerin matematiksel analizlerinde geniş olarak bahsedileceği gibi fiberler matriks-fiber arayüzeyinden iletilen yükleri taşımaktadırlar. Dolayısıyla fiberlerin şekilleri ve dağılım düzenleri son derece önemli olmaktadır (Schwartz, 1994).



Şekil 2.5: Fiber şekilleri ve mümkün fiber dağılımları (Schwartz, 1994)

Takviye malzemesi olarak kullanılacak fiberlerin oda sıcaklığında bile kararlı olmaları gerekmektedir. Fiberlerin yüksek mukavemet ve rijitliğe sahip olması için fiber üretim proseslerinin dikkatli olarak gerçekleştirilmesi lazımdır. Fiberler mümkün olduğunca teorik yoğunluğa yakın yoğunluklarda elde edilmelidirler. Tane ve kristal boyutları küçük olmalıdır. Fiberler pratik olarak silkindirik, yani dairesel kesitli olarak üretilip kullanılırlar. Bunun yanında, hegzagonal, kare ve dikdörtgen, poligonal veya içi boş dairesel fiberler olarak da nadiren üretilip kullanılırlar (Schwartz, 1994).

2.2.2. Levhasal Kompozitler

Kompozit malzeme biliminde küçük boyut ve genişlik/kalınlık oranı yüksek olan düz levhasal şekilli partiküller uygun bir bağlayıcı ile matrikse bağlanarak bu tür kompozitleri meydana getirirler. Matriks fazi içindeki levha şekilli takviye elemanları miktarı düşük seçilebildiği gibi özel amaçlı uygulamalar için levhaların birbirleriyle temas etmeleri de sağlanmaktadır (Örnek: Al-grafit sisteminde ısı iletiminin sağlanması için grafit levhalarının birbiriyle temas ettirilmesi). Sürekli fiber takviyeli kompozitlerle karşılaştırıldığında levhasal kompozitler daha izotropik özellikler vermektedirler (Schwartz, 1994).

Levhasal kompozitlerin üretilmesinde kullanılan levha şekilli pullar cam, mika ve metal olabilmektedirler. Cam levhalar özellikle II. Dünya savaşı yıllarında plastiklerin takviye edilmesi amacıyla kullanılmışlardır. Mika levhalar ise kompozit üretiminde en çok bilinen ve en yaygın olarak kullanılan takviye malzemeleridir. Mikanın neme olan direncinin cam levhalardan daha yüksek olması kullanımının ana nedenidir. Metal levha içeren kompozitler ise genelde yüksek elektrik direncinin ve ısı iletiminin istenildiği alanlarda kullanılmaktadırlar. En çok bilinen metal levhalar AlB₂ levhaları ve Be levhalarıdır (Schwartz, 1994).

2.2.3. Partikül Kompozitler

Bu tür kompozitler en az iki makro ölçekli partikülün veya bir matriks içine makro ölçülü partiküllerin ilave edilmesi ile elde edilen kompozitlerdir. Sürekli fiberler ve hatta levhasal takviye elemanları içeren kompozitlere göre çok daha izotropik özellikler sergilerler. Partikül boyutunun mikron mertebesinde olan kompozitler partikül kompozitlerin bir sınıfı iken partikül boyutunun mikron altında olduğu kompozitler dispersiyonla sertleştirilmiş kompozitler sınıfını teşkil ederler (Schwartz, 1994).

Partikül takviyeli bir kompozit malzemenin mukavemeti veya sertliği direkt olarak takviye fazının sertlik ve mukavemeti ile doğru orantılıdır. Partikül takviye malzemeleri metal, seramik veya polimer matrikslerle kolaylıkla kullanılabilirler. En yaygın uygulama alanları yüksek aşınma dayanımı ve yüksek servis sıcaklığı gereken alanlardır (Schwartz, 1994).

2.2.4. Doldurulmuş Kompozitler

Bu tür kompozit malzemelerde üç boyutlu ve farklı şekilli takviye malzemesi içeren ön iskeletler hazırlanmaktadır. Takviye malzemesi içinde fazlar arasındaki boşluklar matriks malzemesi için ayrılmaktadır. Ön hazırlanmış iskeletler bal peteği şeklinde, hücre grupları, çeşitli tip ve şekilde takviye fazları arası boşluk ve açık porlar içerir. Matriks malzemesi daha sonra ya döküm veya basınç yoluyla bu boşluklara doldurulur (Schwartz, 1994).

2.2.5. Tabakalı Kompozitler

Farklı özellikteki en az iki tabakanın birleşmesinden oluşmaktadırlar. Tabakalar, ince filmler, levhalar olmakta ve bu tabakalar sandviç gibi üretilecek malzemenin kalınlığına göre tekrarlı şekilde dizilmektedirler. Tabakaların oryantasyonları göz önüne alınarak farklı yönlerde farklı özellikler veren kompozitler elde edilmesi mümkündür. Tabakalı kompozit malzemelerin üretimleri, polimer-cam, Metal-seramik, seramik-polimer kombinasyonlarının biri veya birkaçı ile mümkün olabilmektedir. En fazla kullanılan tabakalar ise cam levhalar ve polimer levhaların kombinasyonudur (Schwartz, 1994).

2.3. Metal Matriksli Kompozitler (MMK)

Toz metalurjisine alternatif olarak geliştirilen döküm ve reaksiyonla MMK üretim tekniklerinin ucuz ve pratik olmalarından dolayı bu malzemeler üzerindeki ilgi son 20 yılda doruk noktasına ulaşmıştır. Seramiklerin yüksek elastik modül ve metallerin yüksek süneklik özelliklerini birleştiren bu malzemeler, havacılık ve savunma sanayi-nin yanında otomotiv endüstrisinde de kullanılmaya başlanılmışlardır. Japon Toyota firmasının otomobil pistonlarının segman yuvaları kısmında Saffil fiber takviyeli kompozit kullanması ile piston ağırlığından % 10 tasarruf sağlandığı belirtilmektedir. MMK malzemelerin yüksek aşınma direnci de göz önüne alındığında bu malzemelerin modern teknolojiye kullanılmaya aktarılmasının önemi açıkça ortaya çıkmaktadır (Akbulut, 2002).

2.3.1. MMK Malzemelerin Tanımı

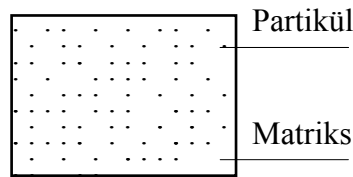
MMK malzemeler hakkındaki bilgiler daha eski yıllara dayanmasına rağmen, bu malzemelerin kullanımları son yıllarda, özellikle son 20 yılda oldukça yaygınlaşmıştır. MMK

malzemelerin yerlerine kullanıldıkları metal ve diğer bazı malzemelere göre küçümsenmeyecek üstünlükleri mevcuttur. MMK ' ler:

- a) Yüksek elastik modüle sahiptirler,
- b) Yüksek mukavemet (çekme, basma, aşınma, sürünme ve kayma) gösterirler.
- c) Yüksek sıcaklıklarda çalışırlar,
- d) Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek modül özelliklerini birleştirirler,
- e) Tekrar üretilebilir mikroyapı ve özelliklere sahiptirler,
- f) Düşük yoğunluk değerleri verirler,
- g) Sıcaklık değişikliklerine veya termal şoka karşı düşük hassasiyet gösterirler,
- h) Yüksek yüzey dayanıklılığı ve yüzey akışlarına karşı düşük hassasiyete sahiptirler,
- i) Yüksek elektrik ve termal iletkenlik özellikleri mevcuttur (Erdem, 2000).

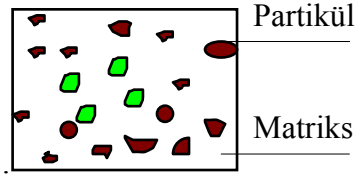
MMK' ler, genelde iki bileşenden meydana gelmektedirler. Bunlardan biri metal matriks (genelde bir metal alaşımıdır), diğeri takviye malzemesidir (genel olarak bir metallerarası bileşik, bir oksit, karbür veya bir nitrür) . Her tip metal matriks kompoziti aşağıdaki gibi tanımlanır:

Dispersiyonla Sertleştirilmiş Kompozit: Bu kompozit, seçilen bir matriks içerisinde çok ince partiküllerin dağıldığı yapı olarak karakterize edilir. Partikül boyutu $0.01 \mu\text{m}$ den $0.1 \mu\text{m}$ ye kadar değişebilir ve partikül hacim oranı % 1-15 arasında olur (Şekil 2.6).



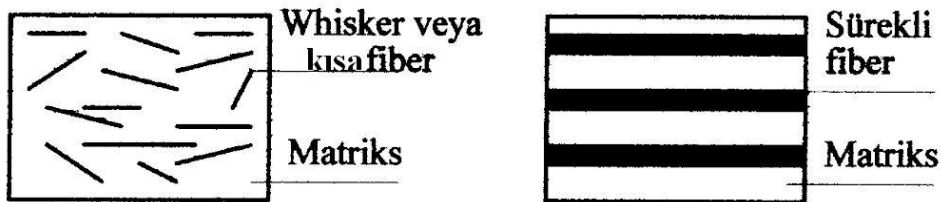
Şekil 2.6: Dispersiyonla serleştirilen bir MMK malzemenin şematik görünümü (Schwartz, 1994)

Partikül Takviyeli Kompozit: Bu tür kompozitlerde ilave edilen takviye malzemesinin boyutu $1 \mu\text{m}$ 'den büyüktür ve ilave hacim oranları % 5-40 aralığındadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Partikül takviyeli bir MMK malzemede matriks ve partiküller (Schwartz, 1994)

Fiber Veya Wisker Takviyeli Kompozit: Fiber takviyeli kompozit malzemelerde fiber uzunlukları $0.1 \mu\text{m}$ ve $250 \mu\text{m}$ aralığında olabilmektedir. Sürekli fiberlerle takviye edilmiş MMK' lerde takviye malzemesinin hacim oranı % 70 lere kadar arttırılabilmektedir. MMK' ler üzerindeki ilk çalışmalar sürekli fiberlerle takviye edilen malzemeler üzerine olmuştur ve bu malzemelerin uygulamaları havacılık alanında kendini göstermiştir. Bu malzemelerin kullanım alanları daha ucuz ve kolay fiber üretim teknolojisinin gerektiği şekilde gelişmemesinden dolayı sınırlı kalmıştır. Sürekli fiberlerle takviye edilen MMK malzemeler aslında kompozit malzemelerin spesifik olarak belli bir sınıfını teşkil etmektedirler. Metallerin çoğunun aksine Şekil 2.8 de gösterilen sürekli fiber takviyeli kompozit malzemeler anizotropiktir. Anizotropikliğin derecesi fiber oryantasyonuna bağlıdır. Metal matriks yükü transfer ederken ve aynı zamanda yükü fiberlere iletirken, fiberlerin ana rolü ise yükü taşımaktır. Matriksin yükü transfer edebilmesi ve fiberlerin yükü taşımadaki başarısı fiber/matriks arayüzeyindeki ıslanmanın başarısına bağlıdır. Ticari uygulamalarda dispersiyonla sertleştirilmiş ve partikül takviyeli MMK malzemeler kullanılırken, sürekli fiberlerle takviye edilmiş MMK' lerin uygulaması, havacılıktaki bazı uygulamalarla ve askeri uçakların bazı parçaları ile sınırlandırılmıştır. Bunların dışında istisna olarak sürekli paslanmaz çelik fiberlerle takviye edilen MMK malzemeler otomobil biyel kollarında da kullanılmaktadırlar.



Şekil 2.8: Kısa fiber veya whisker takviyeli ve sürekli fiber takviyeli MMK malzemelerin yapısı (Schwartz, 1994)

Son yıllarda, MMK malzemelerin üretilmesinde ve daha pratik olarak uygulamaya aktarılmasında süresiz olarak takviye edilmiş malzemeler (Şekil 2.8) tercih edilmektedir.

Bunun ana nedeni de takviye malzemelerinin kolay üretilebilmeleri ve kolay temin edilebilmeleridir. Süreksiz takviye elemanları ile üretilen MMK' lerin dövme, haddeme ve ekstrüzyon gibi standart metalurjik proseslerle şekillendirilebilir olmaları da sayıl-maktadır. Süreksiz olarak takviye edilmiş MMK' lerin kolay üretilebilir olmalarından dolayı son yıllarda çok değişik alanlarda bu malzemelerin kullanıldıkları tesbit edilmiş-tir. Bu uygulamalara birkaç örnek vermek gerekirse; tenis racketleri, golf sopalarının kafaları SiCp/Al kompozitidir. Piston, biyel kolu gibi otomobil motor parçaları SiCw/ Al ve Saffil Al₂O₃ kısa fiberleri/Al kompozitlerinden yapılmaktadır (Akbulut,1994).

MMK' lerin yüksek toklukları, yüksek sıcaklıklarda bile mukavemetlerini muhafaza edebilmeleri en açık ve en önemli avantajlarıdır. Gereken yüksek mekanik direnç, takviye malzemesinden sağlandığından dolayı, bir kompozit malzeme için matriksin yüksek sıcaklıklarda bile kararlı kalabilmesi mümkündür. Sürekli fiberlerle takviye edilmiş MMK' lerde matriks sadece yükü fiberlere taşıma görevi ile yükümlü olduğundan dolayı matriksin kayma mukavemeti gereksinimi fazla önem taşımazken kısa fiber takviyeli kompozitlerde matriks kayma mukavemeti ve matriksin yükü fiberlere iletmesi için gerekli mukavemeti daha önemlidir. Kuvvetli bir fiber/matriks arayüzey bağ mukavemeti için matriksin kayma mukavemetinin yüksek olması gerekmektedir (Erdem, 2000).

2.3.2. MMK' lerin Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Önemleri

Teknolojik uygulamalardaki çalışma ve yakıt masraflarını düşürmek için otomotiv ve havacılık uygulamalarında malzeme ağırlığının düşürülmesi ve bu yolla mukavemet/yoğunluk (spesifik mukavemet) oranlarının artırılması önemlidir. Bu oran, mühendislik malzemelerinin elastik modül, mukavemet, korozyon, oksidasyon, termal kararlılık, sürünme, aşınma ve yorulma uygulamalarında en önemli parametrelerden biridir. Bunlarla beraber, seramiklerde olduğu gibi MMK malzemelerin uygulama-maya aktarılmasındaki en önemli dezavantaj ise düşük kırılma toklukları ve matriks/takviye elemanı arasındaki termal genleşme farklılıklarıdır. Metal matriksli kompozitler çok sayıdaki yapısal uygulamalarda kullanılmaları için iyi bir potansiyele sahiptirler. Ancak, monolitik metal ve alaşımları ile karşılaştırıldıklarında, mukavemet ve elastik modül kazanımının yüksek maliyete üstün geldiği uygulamalar dışında MMK' lerin kullanılımları yüksek maliyetten dolayı sınırlandırılmıştır. MMK üretiminin ana amacı matriks alaışımının mukavemet ve elastik modülünü arttırmaktır. Bununla beraber matriks alaşımları farklılığından dolayı

değişik elastik modül, mukavemet ve termal genleşme katsayılı malzemeler üretilmektedir. En önemli özelliklerinden biri ise aşınma dirençlerinin çok iyi olmasından dolayı aşınma uygulamalarında yaygın olarak kullanılabilirlerdir (Erdem, 2000).

2.3.3. MMK Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Metal matriksli kompozitlerin üretilmesinde çok değişik sayıda üretim metodu geliştirilmiştir. Üretim metodları temelde üç gruba ayrılmaktadır:

- (1) Sıvı faz üretim yöntemleri,
- (2) Katı faz üretim yöntemleri,
- (3) Reaksiyon (in situ) üretim yöntemi (Budinski, 1996).

2.3.3.1. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

(A). Sıvı Metal-Seramik Partikül Karıştırma

Seramik partiküllerin sıvı alaşıma ilavesi üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışma ve yöntemlerin en önemlileri aşağıda sıralanmaktadır;

(a) Bir enjeksiyon tabancası kullanılarak inert bir taşıyıcı gaz yardımıyla seramik tozları sıvıya ilavesi: Genel olarak atomizasyon ve gaz enjeksiyonu olarak bilinir. Takviye malzemelerinin, özellikle partiküllerin sıvı matriks içersine N₂ gazı yardımıyla disperse edilmesi prensibine dayanmaktadır (Budinski, 1996).

(b) Ergimiş metalin karıştırılıp içinde bir vorteks oluşturulması ve partiküllerin bu vortekse ilavesi. Bu metod da, ergitilen matriks metalinin içine daldırılan bir karıştırıcı yardımıyla oluşturulan vorteks içine seramik takviye malzemeleri kontrollü olarak verilerek MMK malzemeler elde edilir. Kompozit dökümden tek farkı ilavelerin daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmesidir. MMK üretim metodlarının içinde en ucuz ve en kolay olduğu belirtilmektedir. Ancak azımsanmayacak ölçüde dezavantajları da vardır. Herşeyden önce karıştırma ve ilavelerin kontrollü atmosferde yapılması gerekmektedir. Proses

değişkenlerinin iyi kontrol edilmediği durumlarda porozite oranı % 30 lara bile çıkabilmektedir. Vorteks metodu içine kompozit döküm işlemini de almak mümkün olabilmektedir. Sıvı-katı aralığında şiddetli bir şekilde karıştırılan bir alaşım, bünyesinde % 60 kadar sıvı içerdiği durumda karıştırma sebebiyle dendirit kolları kırılarak alaşımın akışkanlığı artmakta ve bu durumda seramik takviye elemanları alaşıma verilmektedir (Budinski, 1996).

(c) Sıvıya küçük briketlerin ilavesi ve takiben şiddetli olarak karıştırılması işlemi: Metod ayrıca pelet yöntemi olarak da bilinmektedir. Bu yöntemde önceden sıkıştırma döküm gibi herhangi bir yöntemle hazırlanan peletler sıvı metale ilave edilir. Hazırlanan peletler matriks metali ile aynı bileşime sahip olan metal ile yüksek orandaki (% 50-60) takviye malzemesinden meydana gelmektedir. Peletler hazırlanmadan önce takviye malzemeleri genelde Ni veya Cu gibi metallerle kaplanmaktadır (Budinski, 1996).

(d) Santrifüj ile partiküllerin sıvı alaşıma dispersiyonu: Herhangi simetrik bir parçanın üretilmesi durumunda santrifüj döküm olumlu sonuçlar verebilmektedir. Parçanın dış yüzeyinde mukavemet ve sertliğin arttırılması isteniyorsa yoğunluğu matriks metalin yoğunluğundan daha yüksek olan partiküller kullanılmaktadır (Al-Al₂O₃ sistemi). İç yüzeyde, özellikle aşınmaya dayanıklı bir tabaka arzu edilidiğinde, matriksinkinden düşük yoğunluğa sahip takviye malzemeleri tercih edilmektedir (Al-Grafit). Partiküller sıvıya ya santrifüj öncesi (indirekt metod) herhangi bir yöntemle verilmekte veya metalin santrifüj kalıbına aktarılması esnasında metalle beraber kalıba kontrollü bir şekilde özellikle bir enjeksiyon tabancası ile püskürtülmektedir (direkt metod) (Budinski, 1996).

(e) Sıvı ultrasonik olarak titreştirilirken partiküllerin enjeksiyonu: Ergitilmiş metal, yüzeyi aktif olan partiküllere çok şiddetli titreşim uygulayarak emdirilmeye çalışılmaktadır (Budinski, 1996).

(B). Sıkıştırma Döküm

MMK malzemelerin üretilmesinde sıkıştırma döküm tekniğinin, en önemli en pratik ve en ümit verici yöntemlerden birisi olduğu belirtilmektedir. Sıkıştırma döküm yöntemi, herhangi bir metalin basınç altında katılaştırılmasına dayanmaktadır. Bu yöntemle hemen hemen her tipte takviye malzemesi kullanılarak MMK malzeme üretilmesinin mümkün olduğu ifade

edilmektedir. Bu metod da takviye malzemesi bir kalıp içine yerleştirilmekte ve döküm sıcaklığına çıkarılmış sıvı metal belli bir sıcaklığa ısıtılan takviye malzemesi (partikül, fiber) üzerine dökülmektedir. Takiben, katılaşma tamamlanıncaya kadar sıvı metal üzerine yüksek miktarlarda basınç uygulanmaktadır. Basınç altında katılaştırma ile takviye malzemesi ile matriks metali arasında arayüzey bağ mukavemetinin oldukça olumlu yönde etkilenmektedir. Sıkıştırma döküm, geleneksel döküm yöntemlerine göre daha fazla basınca gereksinim duymaktadır. Fiber ve matriks arasındaki sürtünme kuvvetlerini ve kapiler etkileri yenmek için 50-150 MPa kadar basınç uygulanması gerekmektedir. Katılaşma süresince uygulanan basınç sayesinde ince taneli, porozitesiz ve pürüzsüz yüzeye sahip malzemeler elde edilebilmektedir. Yüksek basınca gereksinim duyulduğundan, parçanın boyutu sınırlayıcı bir faktördür. Bir diğer sorun ise yine yüksek basınçtan dolayı takviye malzemesine mekanik bir hasar verme ihtimalinin var olmasıdır (Budinski, 1996).

(C). Sıvı İnfiltrasyon Yöntemi:

MMK malzemelerin üretilmesi için kullanılan değişik döküm yöntemlerinden biridir. Sürekli fiberler ve kısa fiber takviyeli kompozitlerin üretilmesinde kullanıldığı gibi partikül takviyeli MMK malzemelerin üretilmesinde de verimli bir şekilde uygulanmaktadır. Orijinal çalışmalarda vakum altında çalışan bir fırına, tabanında seramik bir preform bulunan bir potaya sıvı metal dökülüp, üzerine inert bir gazla basınç uygulanmak suretiyle infiltrasyon gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, prosesin kontrolü, kompozit malzemenin nihai özelliklerinin üretim ve katılaşma şartlarına göre değişimleri araştırılmıştır (Budinski, 1996).

Fiber takviyeli MMK malzemelerin üretilmesinde kullanılan infiltrasyon yöntemi oldukça başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir. Uygulanan basıncın vakumla desteklenmesi sebebiyle hem uygulanacak basınç miktarı düşürülmekte ve hem de porozitesiz kompozitler üretilebilmektedir. Kimyasal reaksiyonları minimuma indirmek, fiber matriks arayüzey bağ mukavemetinin ve ıslatılabilirliğin artmasını sağlamak için her matriks metali için preformun belli bir sıcaklığa ön ısıtılması gerekmektedir (Budinski, 1996).

2.3.3.2. Katı Hal Üretim Yöntemleri

Homojen bir şekilde dağılımları sağlanmış B fiberleri ve Al ince levhaları tabakalı bir yapı verecek şekilde üst üste dizilerek istenen hacim oranlarında ve fiber oryantasyonlarında

MMK' ler üretilmektedir. Boron fiberlerin matriks fazı içinde uygun dağılımlarını sağlayabilmek için düşük sıcaklıklarda buharlaşabilen reçine esaslı bağlayıcılar kullanılmaktadır. Vakum altında, sıcaklık ve basınç kombinasyonu ile levhasal matriks fazının fiberleri çevreleyip mekanik bir bağ oluşturması sağlanmaktadır. Kompozit oluşumu için basıncın uygulama süresi ve sıcaklık çok yüksek değildir. Aynı yöntem Ti/B sistemine de uygulanabilmektedir (Budinski, 1996).

Katı hal üretim tekniklerinden toz metalurjisi belkide en çok kullanılan yöntemdir. Bu teknik, süreksiz fiber, partikül veya whiskerlerin matriks fazlarına ilavelerinde kullanılmaktadır. Matriks metal tozları ve fiberler beraber karıştırılarak değişik yöntemler ile yoğunlaştırılmakta ve teorik yoğunluğa ulaşmak için takiben sinterlenmektedirler (Akbulut, 2000).

Ekstrüzyon veya çekme işlemi de sünek sürekli tel veya fiberlerin bir matrikste dağıtılması işleminde kullanılır. Bu metod genelde değişik fiberler içeren süperiletken kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır.

Plazma sprej depozisyonu, kimyasal veya fiziksel buhar depozisyonu (CVD, PVD), matriks metalinin fiberler üzerine depozisyonu ve takiben ara ürünün vakum sıcak presleme veya sıcak izostatik presleme ile yoğunlaştırılması prensibiyle MMK malzeme hazırlandığı diğer önemli yöntemlerdir. Plazma sprej birbirine benzemeyen iki malzemenin bir araya getirilmesini sağladığından dolayı oldukça faydalı bir yöntem olarak bilinmektedir. Takviye edilmemiş alaşımların sprej depozisyonu ilk kez Singer tarafından geliştirilmiş ve daha sonra Osprey metal şirketi tarafından ticari olarak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu sebepten dolayı plazma sprej yöntemi, osprey veya cosprey isimleri ile de anılmaktadır. Prosesin özeti, bir sıvının atomize edilip fiziksel olarak buhar hale getirilmesi ve bu metal buharı içine seramik takviye fazlarının verilmesi olarak ifade edilmektedir. Bu yöntemle sünek matriks-sünek takviye (süperalaşım-Mo), sünek matriks sert takviye (süperalaşım-karbür) yapıları üretilir. Yöntemin tek dezavantajı refrakter oksit ve metal sistemlerinde arayüzey bağ mukavemetinin istenen ölçülerde olmamasıdır. Çok kısa reaksiyon sürelerinden dolayı birbirleri içinde çözünme hızları çok düşük olan ok-sit ve metallerin bağ yapma başarısı düşük olmaktadır. Depozisyon hızının 6-10 Kg/dk. aralığında olabileceği belirtilmektedir. Alcan (Kanada) firması, bu yöntemle SiC partikül takviyeli Al kompozitlerini 200 Kg' a varan ingotlar halinde üretmekte ve master alaşımları olarak kullanmaktadır.

Katı hal üretimi ile MMK malzemelerin üretiminde her geçen gün gelişmeler olmaktadır. Bunlardan biri ise İngilterede geliştirilen ve Conform (Continuos Forming) olarak bilinen yöntemdir. Bu yöntemde talaş haline getirilen metal alaşımı özel bir ekstrüzyon cihazına sürekli olarak gönderilirken aynı anda seramik tozlar da metal tozlarına ilave edilmektedir. Ekstrüzyon tekerleği ve yük uygulama merdanesi arasında sürtünmeden dolayı meydana gelen ısı sebebiyle metal tozları plastik olarak şekillenirken partikül veya fiberler ise mekanik zorlama ile tozlara bağlanmaktadır (Budinski, 1996).

2.3.3.3. Reaksiyonla Kompozit Üretim Teknikleri

Bir ötektiğin yönlenmiş olarak katılaştırılması iki fazlı bir mikroyapı ortaya çıkarmaktadır. Fazlardan birisi matriks, diğeri ise matriks içinde dağılmış lamel, plaka veya fiber şeklindeki fazdır. Yönlendirilmiş olarak katılaştırılan ötektik kompozitler üzerinde son derece yoğun ilgi mevcuttur. Çalışmaların çoğu alüminyum, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar üzerine olmuştur (Al-Si, Al₃Ni-Al ve Al-Al₂Cu). Bu metodla TaC whisker takviyeli NiTi süperalaşımı, ile uçakların motor türbin kanatları üretilmektedir. Al-Ti sistemi yüksek sıcaklıklarda C ile kontrollü atmosferde reaksiyona sokularak Al/TiC kompozitlerini üretilmiştir. Ayrıca Cu-Ti sisteminde yine C kullanarak Cu/TiC kompozitlerini elde edilmiştir. Bu sistemlerle kompozit üretmenin temel avantajının, sıcaklık ve süre ile oluşan karbürlerin hacim oranlarının ve karbür boyutunun kontrol edilebilmesi ve küresel şekilli takviye fazlarının matrikste oluşturulabilmesi olduğu belirtilmektedir. Ancak oldukça yüksek sıcaklıklarda çalışma gereksinimi ve reaksiyon süresinin uzun olması yöntemin temel dezavantajı olarak gösterilmiştir (Akbulut, 2002).

2.3.4. Matriks Metalleri

MMK malzemelerin üretilmesinde kullanılan matriks metallerinin bir ayrımını yapmak mümkün gözükmemektedir. Geleneksel olarak kullanılan tüm metal ve alaşımlarının MMK malzeme üretmek amacıyla matriks metali olarak kullanılabilmesi mümkündür. Herhangi bir geleneksel alaşımı matriks metali olarak kullanmak için ilk şart uygun takviye malzemesinin seçimidir. Matriks ve takviye elemanı arasında kimyasal veya fiziksel uygunluk olduktan sonra kullanım yeri ve amacına bağlı olarak MMK malzemeler üretilmektedir. Genelde, matriks malzemesi olarak saf metaller kullanılmamakta, alaşımlar tercih edilmektedir. Alaşım genelde basit bir alaşım iken çok bileşenli bir alaşım da olabilmektedir. Çok değişik

sayıda ve değişik özellikteki metaller matrisi alaşımı olarak seçilebilmektedir (örneğin; Al, Cu, Fe, Mg, Ti ve Pb).

2.3.5. Takviye Malzemeleri

Çizelge 2.1: MMK malzeme üretiminde kullanılan bazı önemli fiber ve whiskerlerin mekanik ve fiziksel özellikleri (Chawla, 1998)

Fiber	Fiber Çapı (μm)	Mukavemet (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Yoğunluk (g/cm^3)
Al_2O_3	20	1500	380	3.9
Al_2O_3	whisker	16000	550	3.9
AlN	whisker	14000	335	3.3
B(W çekirdek)	100	3800	400	2.6
B(C çekirdek)	100	3300	370	2.3
B(SiC kaplı)	120	3000	400	2.6
BeO	whisker	14000	700	1.8
B_2O_3	whisker	7000	450	2.5
$\text{C}_f(\text{PAN})$	8	4000	300	1.8
E cam	11	1750	76	2.55
Grafit	whisker	21000	450	2.25
MgO	whisker	10000	310	3.6
Paslanmaz çelik	100	4250	210	7.8
SiC	10-15	2760	200	2.55
SiC	whisker	20000	485	3.15
Si_3N_4	whisker	8000	380	3.2

Çizelge 2.2: Partikül takviyeli MMK malzeme üretiminde kullanılan bazı önemli seramik partikül takviye malzemelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri (Chawla, 1998)

Partikül	Mukavemet (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Yoğunluk (g/cm ³)
Al ₂ O ₃	221	379	3.98
AlN	2069	310	3.26
B ₄ C	2579	448	2.52
CeO ₂	600	200	6.9
MgO	4100	417	3.58
SiC	3100	324	3.2
Si ₃ N ₄	4100	250	3.18
ThO ₂	193	200	9.86
TiC	55	269	4.93
ZrC	90	359	6.73
ZrO ₂	83	132	5.89

MMK malzemelerin üretiminde kullanılan takviye malzemelerinin seçiminde kolay temin edilebilmelerinin yanında kullanıldıkları matriks malzemesi ile uygunluk ve sağlayacakları üstün özellikler göz önüne alınmaktadır . Takviye malzemeleri kimyasal yapılarına göre; a) oksitler, b) karbürler, c) nitrürler ve d) diğer (paslanmaz çelik, C vs.) dört ana gruba ayrılmaktadırlar.

2.4. Seramik Matriksli Kompozitler (SMK)

Çağın gerektirdiği yüksek teknolojinin yüksek mukavemetli ve düşük yoğunluklu malzemelere gereksinim duyması sonucunda bu özellikleri taşıyan seramikler üzerindeki çalışmalar oldukça yoğunlaşmıştır. Bu malzemelerin düşük yoğunluklarının yanısıra bir diğer önemli üstünlükleri ise son derece yüksek sıcaklıklarda çalışabilmeleridir. Bu nedenle seramikler ve bunların kompozitleri özellikle gelişmiş füzelerde ve uzay araçlarında uzun yıllar öncesinden kullanılmaya başlanmışlardır. Son 10 yıldır üzerinde yoğun olarak çalışılan süperiletken malzemelerin bile seramik kompozitlerden imal edilmesi, bu malzemelerin

mühendislik malzemeleri içindeki yerinin önemini daha açık ortaya koymaktadır (Temel, 2003).

2.4.1. Seramik Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

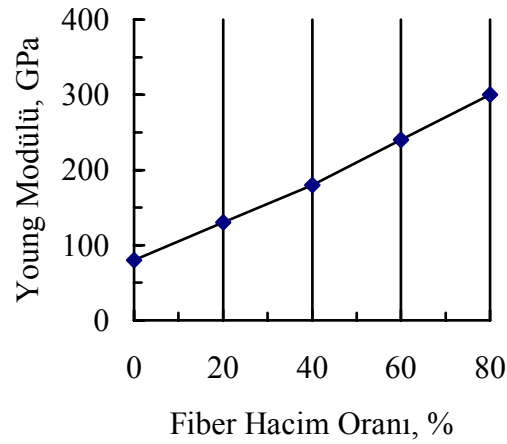
Seramik kompozit malzemelerle ilgili çalışmalar 1970 li yıllarda başlamıştır. N. E. Claussen 1976 da Al_2O_3 içine % 15 tetragonal ZrO_2 ilavesi sonucunda dönüşüm toklaşması meydana geldiğini ispatlamıştır. Çizelge 2.3 de çeşitli seramik kompozitlerin özellikleri verilmektedir

Çizelge 2.3: Seramik ve seramik kompozitlerin tipik oda sıcaklığı mukavemetleri, kırılma toklukları ve termal şok dirençleri (Chawla, 1998)

Malzeme	Mukavemet (MPa)	Kır. Tokluğu, $K_{Ic}(MPa\sqrt{m})$	Termal Şok Direnci, $K_{Ic}(DT\ ^\circ C)$
Geleneksel Seramikler			
SiO_2 esaslı (Ör. Borosilikat cam)	70	0.5	300
Al_2O_3	350-700	4	225
B_4C	350	4	225
ZrO_2 (tamamen kararlı)	140-350	2.5	225
Si_3N_4 (Sıcak preslenmiş)	700-860	5	450
Seramik Kompozitler			
ZrO_2 kristalleri (kısmen kararlı)	1400	6	450
Al_2O_3 (hacimce % 10 ZrO_2)	700	8	>900
Al_2O_3 (hacimce % 30 BN)	350	6-9	500
B_4C (hacimce % 50 C)	200	3.5	1100
Cam-SiC fiber kompoziti	350	700	>900

Seramiklerin ve seramik kompozitlerin üstün özellikleri yıllardır bilinmesine rağmen kırılma tokluğu gibi uygulamada çok önemli olan mekanik özelliklerinin düşük olması bu malzemelerin çelik ve demirdışı alaşımların yerlerine kullanımlarını engellemiştir. Seramik malzemeler çok sert olduklarından özellikle aşınma uygulamaları için eşsiz malzemelerdir. Termal şok dirençleri ve gevrek olmaları bu malzemelerin düşük yoğunluklarına ve dolayısıyla yüksek spesifik özelliklerine rağmen kullanımlarını kısıtlamıştır. Son yıllardaki çalışmalar seramik kompozitlerin özellikle termal şok dayanımlarını ve kırılma tokluklarını

yükseltmek üzerine olmuştur. Çizelge 2.3 de çeşitli seramik malzemelere SiC wisker ilavesinin kırılma mukavemetlerine ve kırılma tokluklarına etkisi gösterilmektedir. Çizelge 2.3 den görüldüğü gibi seramik matriksli malzemelere SiC ilavesi kırılma dayanımlarını ve dolayısıyla kırılma tokluklarını önemli ölçüde arttırmaktadır. Şekil 2.9 da ise tek yönlü karbon fiberleri ile takviye edilen borosilikat matriksli bir seramik kompozit malzemede fiber hacim oranının bir fonksiyonu olarak Young modülünün değişimi gösterilmektedir. Artan fiber hacim oranı ile kompozit malzemenin fiberlere paralel elastik modülü (Chawla, 1998).



Şekil 2.9: Tek yönlü karbon fiberleri ile takviye edilen borosilikat matriksli bir seramik kompozit malzemede fiber hacim oranının bir fonksiyonu olarak Young modülünün değişimi (Chawla, 1998)

Çizelge 2.4: SiC whisker takviyeli seramik matriksli kompozitlerin mekanik özellikleri (Chawla, 1998)

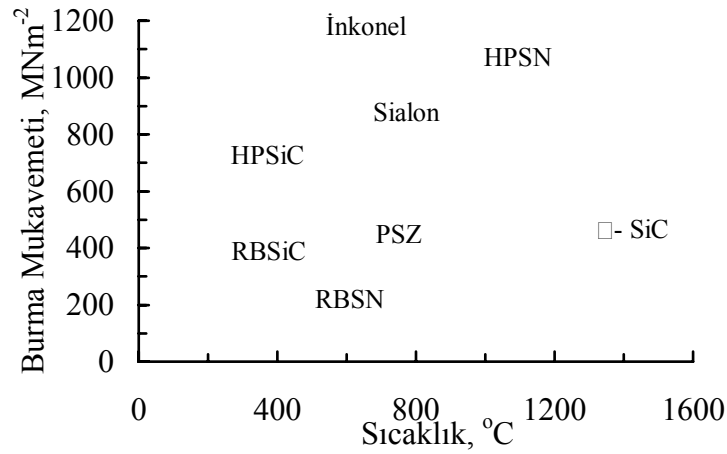
Takviye (% Hacim)	Matriks Malzemesi	Kırılma mukave- meti (MPa)	Kırılma Tokluğu (MPa√m)	Test Sıcaklığı (°C)
15	Al ₂ O ₃	652	4.6	25
0	Al ₂ O ₃	150	4.3	25
30	Al ₂ O ₃	680	8.7	25
40	Al ₂ O ₃	850	6.2	25
40	Al ₂ O ₃	680	6.4	1000
40	Al ₂ O ₃	610	8.7	1200
0	Müllit	201	2.45	25
30	Müllit	386	3.52	25
0	ZrO ₂	1150	6	25
30	ZrO ₂	600	11	25
0	MoSi ₂	150	5.3	25
20	MoSi ₂	310	8.2	25
0	Si ₃ N ₄	662	7.1	25
30	Si ₃ N ₄	450	10.5	25

Seramikler ve seramik kompozitler, yüksek teknoloji malzemeleri, ileri malzemeler veya ince seramikler olarak da isimlendirilmektedirler. Bu malzemelerin en önemli üstünlükleri aşağıdaki gibidir.

- Yüksek sıcaklık mukavemeti.
- Nisbeten düşük yoğunluk.
- Yüksek elastik modül.
- Düşük termal genleşme katsayısı ve iletkenlik
- Korozyon ve oksidasyona karşı yüksek direnç.
- Aşınma ve erozyon direnci.
- Yüksek sertlik.

2.4.2. Seramik Kompozitlerin Uygulama Alanları

Seramik kompozitler geleneksel mühendislik malzemelerine göre çok daha üsrün yüksek sıcaklık özellikleri sergilerler. Seramiklerin yüksek sürünme özellikleri de bu malzemelerin dizel ve otomobil parçaları, türbin kanatları ve rotor olarak kullanımlarını gündeme getirmiştir. Şekil 2.10 da seramik malzemeelrin diğer yüksek mukavemetli malzemelere göre üstün yüksek sıcaklık özellikleri sergilenmektedir. Seramik kompoziti malzemelerin termal şok direnci ve kırılma tokluklarının geliştirilmesi halinde dizel motorlarının çalışma sıcaklıkları 700 °C' den 1100 °C' ye çıkabilecek ve motorun verimi % 50 oranında arttırılacaktır. Öte yandan, motor bileşenlerine uygulanan kısmen kararlı kılınmış zirkonya (PSZ) gibi oksit kaplamaların termal genleşme katsayılarının dökme demirlerin termal genleşme katsayısına çok yakın olduğu tesbit edilmiştir. İnce PSZ kaplamalar, günümüzde birçok dizel motoru parçalarında (yanma odası cidarı, silindir gömlekleri ve silindir başlığı, egsoz bölgesi) başarıyla kullanılmaktadır. gaz türbinlerinde kanatlar, tamaamen soğutma gerektirmeyen Si_3N_4 seramik esaslı kompozitten yapılmakta ve türbinin günümüzde kullanılan Nikel esaslı süper alaşımlara oranla daha verimli çalışması mümkün olmaktadır (Chawla, 1998).



Şekil 2.10: Yüksek sıcaklık mazemeleri ve seramik kompozitlerin yüksek sıcaklık Mukavemetleri (Chawla, 1998)

Şekil 2.10'da:

HPSN: Sıcak preslenmiş Silisyum Nitrür

RBSN: Reaksiyon bağlı Silisyum Nitrür

HPSiC: Sıcak preslenmiş Silisyum Karbür

a - SiC: Sinterlenmiş Silisyum Karbür

PSZ: Kısmen Stabilize edilmiş Zirkonya

Seramik malzemelerin bu avantajlarının yanında maalesef malzeme mühendisleri açısından oldukça önemli sayılabilecek dezavantajları da mevcuttur. Malzeme dizaynı ile uğraşan mühendisler uygulamadaki herhangi bir malzemenin hasara uğramadan önce plastik deformasyona uğramasını isterler. Plastik deformasyon göstermeden hasara uğrayan malzemeler insanoğlu için can ve mal açısından faciaya yol açacak sonuçlar doğururlar. Bu nedenle bir malzeme hasara uğramadan önce uygulayıcıları uyarmalıdır. Kısacası malzemenin kırılma tokluğunun yüksek olması gerekmektedir. Halbuki seramik malzemelerdeki aşırı gevreklik ve çok küçük yapısal hatalar ani kırılmalara yol açarlar. Herhangi bir mikro çatlak veya yapısal kusur, bu malzemelerde çatlak hızının sesten bile daha yüksek hızlarda yayılmasına ve ilerlemesine sebebiyet verir. Çizelge 2.5 de seramikler ve bunların kompozitlerinde karşılaşılan güçlükler verilmektedir. Çizelge 2.6 da ise seramik kompozit malzemelerin yüksek teknoloji sanayisinde seramik matiksli kompozit malzemelerin uygulanması ve her bir yüksek teknoloji alanı için seramik kompozitlerden beklenen özellikler sıralanmaktadır. metal ve alaşımlarında, MMK malzemelerde ve polimer esaslı malzemelerden elde edilemeyen veya elde edilmesi son derece güç olan düşük termal genleşme katsayısı, yüksek sertlik, düşük yoğunluk, yüksek elastik modül, yüksek sıcaklıklarda mukavemeti koruyabilme özelliği, yüksek spesifik mukavemet, yüksek aşınma ve erozyon dayanımı ve oksidasyon ve korozyon dayanımı gibi özellikler seramik matiksli kompozitlerden elde edilmektedirler. Bunun yanında seramik malzemelerin en önemli dezavantajları ise kırılma tokluklarının diğer mühendislik malzemelerinden daha düşüktür. Son yıllardaki çalışmalar bu yüzden seramik kompozitlerin kırılma tokluklarını geliştirmek üzerine olmaktadır (Chawla, 1998).

Çizelge 2.5: Yüksek sıcaklık seramiklerinin uygulamaya aktarılmasındaki bazı güçlükler (Akbulut, 2002)

Faktör	Örnek
Ergime Noktası (°C)	TaC: 3985, HfN: 3385, ThO ₂ : 3320
Ayrışma	Si ₃ N ₄ → 3Si + 2N ₂ (gaz) MgO(katı) → MgO(gaz) (1800 °C)
Faz Değişimi	ZrO ₂ (tet.) → ZrO ₂ (mono.) (1170 °C)
Plastik Deformasyon	Alümina → Tane sınırı sürünmesi veya dislokasyon akışı (1100 °C)
Çevreyle Etkileşim	B ₂ O ₃ + H ₂ O → 2BO ₂ (gaz) SiC + 2O ₂ → SiO ₂ + CO ₂
Zehirlilik	1 mm den küçük çaplı fiberler ve Th, Be, U bileşikleri
Masraf ve elde edilebilirlik	Yüksek masraf ve birçok element kısıtlı olarak elde edilebilmekte

Çizelge 2.6: Seramik kompozit malzemelerden aranan özellikler ve uygulama alanları (Akbulutt, 2002)

Aranan Özellik									
	a	H	r	E	s(T)	Kc	s/r	AE	OK
Kullanım Yeri									
Uzay	⊗		⊗	⊗		⊗	⊗		
Motor		⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
Yüksek hassasiyetli cihaz/ met-roloji	⊗	⊗		⊗				⊗	
Yüksek hassasiyetli makina par-çaları	⊗	⊗	⊗	⊗		⊗		⊗	
Roket motor bileşenleri	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		⊗		
Ayna Uygulamaları	⊗					⊗			
Dolgu ve Yatak malzemeleri	⊗							⊗	⊗
Hidrolik Turbo Makinaları		⊗	⊗	⊗				⊗	⊗

a = Düşük Termal Genleşme, H = Yüksek Sertlik, r = Düşük Yoğunluk, E =Yüksek Modül, s(T) = Yüksek Sıcaklık Mukavemeti, Kc = Kırılma Tokluğu, s/r = Spesifik Mukavemet, AE= Yüksek Aşınma ve Erozyon Dayanımı, OK = Oksidasyon ve Korozyon Dayanımı

Seramik kompozit malzemelerin teknolojide kullanım alanları oldukça geniştir. Kullanım amaçlarına göre bu malzemelerin sınıflandırılması aşağıdaki gibidir:

- a) Yapısal seramik kompozitler
- b) Kesici takımlar
- c) Elektronik seramikler
- d) Piezo elektrik seramikler
- e) Elektro-optik seramikler
- f) Manyetik seramikler
- g) Termal izolasyon seramikleri
- h) Bioseramikler
- i) Diğer uygulamalar

Çizelge 2.7 de seramik kompozitlerin fonksiyonları, özellikleri ve tipik uygulama alanları verilmiştir. Yapısal seramikler içinde motorlarda ve türbin kanatlarında kullanımları belirtilebilir. Seramik yataklar yağlamaya gerek kalmadan yüksek devirlerde çalışabilmektedirler. Silisyum nitrür esaslı seramik kompozitlerden imal edilmiş türbin tekerleği ve türbin kompresörleri halen deneme aşamasındadır. Seramik türbin kompresörleri halen kullanılmakta olan nikel esaslı alaşımlardan % 40 daha hafiftirler. Bunun anlamı motorun dönmesi için daha az yakıt alması ve aracın kontağı açılır açılmaz hızlı bir ivme ile aracın harekete geçebilmesidir. Yüksek sıcaklıklara çıkılıp inmeden dolayı termal şok ve dolayısıyla termal yorulma özelliklerinin iyileştirilebilmesi halinde seramik kompozitlerin 21. yüzyılda jet motorlarındaki metalik bileşenlerin tamamen seramik kompozitlerden imal edileceği ümit edilmektedir. Böylece jet motorların çalışma sıcaklığı 1500 ° C' ye ulaşabilecektir.

Çizelge 2.7: Seramik matriksli kompozitlerin ana fonksiyonları, özellikleri ve uygulamaları (Akbulut, 2002)

Fonksiyon	Özellik	Uygulama
Elektromagnetik	Dielektrik	Entegre devre alt yüzeyleri ve paketlemeleri, elektrik izolasyonu
	Ferroelektrik	Kapasitörler
	Piezoelektrik	Osilatörler, transdüserler (ölçücü), jeneratör bujisi
	Piroelektrik	Isı sensörleri
	Yarı iletken	Termistör, varistör ve ısıtıcı eleman
	Elektriksel iletken	Elektrotlar
	Magnetik	Ferrit magnetler ve kayıt kafaları
	İyonik iletken	Oksijen sensörü, pH metreler, katı pil elektrotları
Optik	Optik yoğunlaştırıcı	Optik fiberler
	Optoelektrik	Hafif valfler ve hafif hafıza elementleri
Mekanik	Aşınma Direnci	şaftlar, yataklar, contalar, iplik kılavuzları, tesisleme hatları ve kesici takımlar
	Yüksek mukavemet	Basınç sensörleri
	Termo-yapısal	Motor bileşenleri, kaynak nözülleri ve jigler
	Düşük sürtünme	Kuru yatak ve hassas cihazlar
Kimyasal ve biyolojik	Korozyon direnci	Kataliz taşıyıcılar, akış ölçerler, pompa ve valf bileşenleri.
	Kimyasal adsorbsiyon	Gaz ve nem sensörleri
	Biyolojik uyum	Suni diş kökleri, kemikler ve eklemler
Termal-nükleer	Refrakterlik	Endüstriyel fırınlar
	Kızıl ötesi radyatör	Termal izolasyon ve ısıtıcılar
	Termal iletkenlik	Isı değiştiriciler ve entegre devre ısı yutucular
	Radyasyon direnci	Nükleer yutucular

Mühendislik seramikleri, izolasyon, aşınma direnci ve yüksek sıcaklık mukavemetlerinden ve bunun doğal bir sonucu olarak verimliliği arttırdıklarından yüksek sıcaklığa maruz kalan motorlarda kullanılmaya başlanılmışlardır. Valflerde, contalarda, sızdırmazlık gibi motor bileşenlerinde pistonlarda, segman kaplamalarında SMK malzemeler geniş kullanım alanı bulmaya başlamaktadırlar. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda seramik motor bileşen malzemeleri içinde en kullanışlı olanının SiC ile takviye edilmiş Lityum Alüminyum Silikat (LAS) SMK malzemesinin olduğu belirtilmektedir (Erdem, 2000).

SMK malzemelerin günümüzde en ileri uygulamalarından biri uzay mekiği kaplamalarıdır. Uzay mekiği yüzeylerinin kaplanması atmosfere giriş ve çıkışlarda yüksek sıcaklıklardan dolayı alüminyum veya epoksi grafit kompozitlerinin hasara uğramasından dolayı uygulanmaktadır. Uzay mekiği yüzeyinde yapılan incelemelerde dış yüzeyin - 156 °C ve 1650°C' lik sıcaklık farklılıklarının meydana geldiği anlaşılmıştır. Uzaya gidiş ve dönüşlerde oluşan bu sıcaklıklar ve sıcaklık farkları, yüksek sıcaklığa dayanabilen malzemelerle birlikte termal şok direnci yüksek olan malzemelerin bulunması gerekliliğini doğurmuştur. Bu amaçla çok sayıda malzeme denenmiştir. En son uygulamalarda Silika içine kısa ve pul şeklindeki grafit takviye edilmiş malzemelerin en üstün özellikleri sağladıkları tesbit edilmiştir (Temel, 2003).

Seramik kompozit malzemeler aşınmaya dayanıklı ideal malzemelerdir. Yüksek aşınma dayanımı özelliklerinden dolayı bu malzemeler makina takımlarının kaplanması, makina takımlarında yekpare malzemeler olarak, tekstil makinalarında iplik geçen makaralarda ve iplik sarma makaralarında, metal şekillendirme kalıplarında kullanılmaktadırlar.

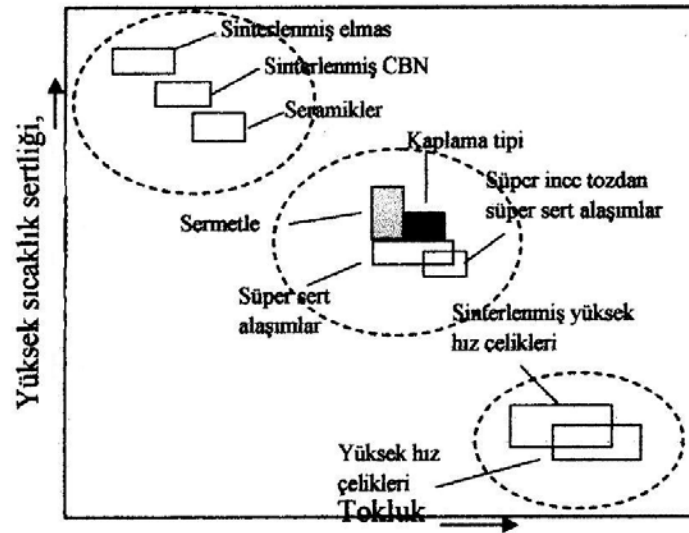
Kesici takımlarda en çok kullanılan SMK malzeme, SiC whisker takviyeli alümina kompozitleridir. Bu SMK malzemeler çok yüksek hızlarda çalışabilmekte ve diğer karbürlerle göre daha uzun süre dayanabilmesinin yanında % 60 gibi bir ekonomiklik sağlamaktadırlar. Makina takımlarının günümüzde yaklaşık % 3 ü seramik kompozitlerden yapılmıştır. 2000 li yıllarda bu değerin % 30 u aşacağı tahmin edilmektedir. Bu alan için en çok ilgi çeken seramik kompozitler; Al_2O_3/TiC , Sialonlar (Si-Al-O-N) ve Al_2O_3/SiC fiber takviyeli kompozitlerdir. Sıcakta izostatik olarak preslenmiş bir Sialon' da kesme hızı 2000 devir/dakikadır. Bu değer TiN ile kaplanmış WC için 800 ve Al_2O_3/TiC takımları için 1000 devir/dakikadır.

Kesici takımlarda aranan özellikler aşağıdaki gibidir.

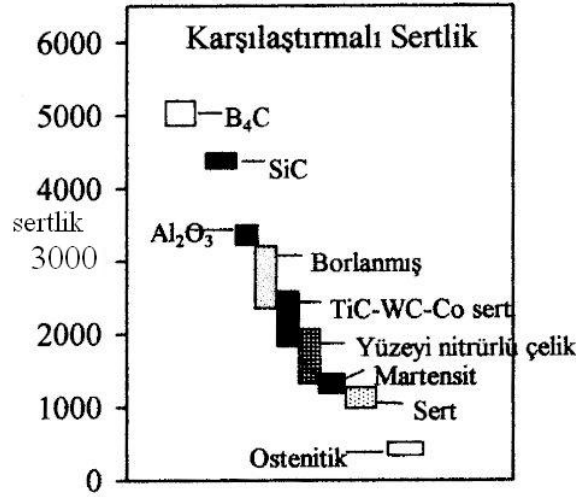
- a) Aşınmaya karşı direncin fazla olması,
- b) Yüksek sıcaklıkta sertliğini koruyabilmesi ve
- c) Tokluğunun yüksek olmasıdır.

Şekil 2.11 ve 2.12 de kesici takımlarda kullanılan malzemelerin yüksek sıcaklık sertlikleri, aşınma dayanımları ve toklukları arasındaki ilişkiler ile yine bazı malzemelerin karşılaştırmalı sertlik değerleri gösterilmektedir.

SMK malzemelerin günümüz modern uygulamalarından bir diğeri, lazer aynalarıdır. Lazer aynalarında kullanılan malzemelerden istenen temel özellikler, düşük yoğunluk, yüksek elastik modül, yüksek mukavemet, yüksek kırılma tokluğu, düşük termal genleşme katsayısı, yüksek termal iletkenlik ve çevre şartlarında dayanımdır. SMK malzemeler lazer aynalarında geleneksel olarak kullanılan Mo esaslı aynalara göre % 10 daha ekonomik bir üretim prosesi ile elde edilebilmektedirler. Özellikle grafit fiberleri ile takviye edilen borosilikat camlar üzerlerine ışığı yansıtıcı kaplamalara uygun olduklarından dolayı lazer aynalarında geleceğin malzemeleri olarak görülmektedirler. Düşük üretim maliyeti ve daha düşük fiyatlarının yanında grafit



Şekil 2.11: Kesici takımlarda kullanılan malzemelerin yüksek sıcaklık sertlikleri, aşınma dayanımları ve toklukları arasındaki ilişki. (Süper sert alaşımlar WC içerirler. WC-Co ve WC-TaC-TiC-Co olmak üzere iki çeşittirler) (Chawla, 1998)



Şekil 2.12: Değişik kesici takım malzemelerinin karşılaştırmalı sertlik özellikleri (Chawla, 1998)

takviyeli borosilikat SMK malzemeleri, soğutma uygulamasına imkan olduğundan dolayı (grafitin yüksek termal iletkenliği soğutmayı sağlamaktadır) geleneksel Mo esaslı alaşımlarla karşılaştıklarında distirsiyon % 90 aşağı çekilmekte ve ağırlık yine % 90 düşürülmektedir.

Seramik kompozit malzemeler katı elektrolitlerin üretilmesinde günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Katı elektrolitler oksijen iyonunun taşınmasına sebebiyet verirler. Katı elektrolitler özellikle oksijen içeren sistemlerde termodinamik ve kinetik özelliklerin tesbiti amacıyla kullanılmaktadırlar. Katı elektrolitik seramik malzemeler kübik yapıda olan ZrO₂, HfO₂, ThO₂ ve CeO₂ katı kompozitlerdir. Bu oksitlerden herhangi birine toprak alkali, nadir toprak alkali veya Y³ iyonları ihtiva eden elementler katılarak oksijen boşluklarının oluşması sağlanır. Metalurjik uygulamalarda kısmen kakarlı hale getirilmiş ve içinde % 2.5-3 MgO bulunan seramik kompozitler ergimiş metaller için oldukça elverişlidir.

Son yıllarda içten yanmalı motorların verimini arttırmak için hava-yakıt oranını dengelemek için zirkonya bazlı seramik kompozit sensörleri kullanılmaktadır. Seramik kompozit malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı diğer bir alan ise tıp ve dişçiliktir. Üstün aşınma ve yüksek kimyasal dirençlerinden dolayı seramik kompozit malzemeler dişlerde, diş kemiklerinde ve insan vücudunda ortopedik kemik yerine kullanılmaktadırlar. Çok düşük sürtünme katsayılarından dolayı özellikle insan omurgasını bacak kemiğine birleştiren eklemlerde yaşlı insanlarda kullanılmaktadırlar. İnsan vücudunda kullanılan seramik

kompozit malzemeler genellikle Al_2O_3 , Si_3N_4 ve kompleks SiO_2 esaslı cam malzemelerdir. Seramik kompozit malzemelerin insan vücutu tarafından kabul edilmesini sağlamak için vücutta bulunan Ca, K, Mg, Na ve P gibi iyonlar içeren seramik kompozit malzemeler tercih edilmektedir.

Seramik kompozit malzemelerin yüksek teknoloji malzemeleri olarak kullanıldığı en önemli alanlardan birisi de uzay ve havacılık sanayidir. Bu uygulamaya en güzel örnek uzay mekiklerinde kullanılan seramik kompozit plakalarıdır. Burada kullanılan malzemeler, üzerleri çok ince olarak bir başka seramikle kaplanmış olan silika fiberlerdir. Fiberler gevşek dokuda olduklarından dolayı içinde % 95 kadar hava mevcut olmakta ve böylece son derece hafif olmaktadır. Aynı zamanda bu tür seramik kaplamalar ısının iletilmesini engellemektedirler. Bu düşük ısı iletimi, atmosfere girişte sürtünmeden kaynaklanan yaklaşık 1650 °C gibi bir ısının etkisini engellemektedir (Erdem, 2000).

3. POLİMER MATRİKSLİ KOMPOZİTLER

Polimerler, metal ve seramiklere göre çok daha fazla kompleksirler. Matriks olarak kullanılan polimerler ucuz ve kolaylıkla çalışılabilir malzemelerdir. Diğer taraftan düşük modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılan polimer matriksler genelde sürekli fiber takviyeli olarak kullanılırlar. Bunlardan en önemli olanları sürekli fiberlerle takviye edilen polyster ve epoksi reçine matriksleridir. Epoksi reçine matriksli kompozitlerin en önemli uygulamalarından biri havacılık uygulamalarıdır. Polimer matriksli kompozitlerle çalışırken göz önüne alınması gereken en önemli faktörlerden biri sıcaklık, diğeri nemdir. Özellikle bu iki faktörün beraber etkin olduğu şartlarda polimer matriksli kompozitlerin mekanik özelliklerinde hidrotermal etkilerden dolayı düşüşler meydana geldiği belirtilmektedir. Polimer matriksli kompozitlerin üretilmesinde en çok bilinen ve en fazla kullanılan metodlardan bazıları; elle sıvama, tel sarma, kese kalıplama işlemi, pultrüzyon metodu, sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve termo oluşum metodlarıdır. Polimerlerde kullanılan takviye malzemelerinden en önemli olanlarının; cam fiber, kevlar fiber, boron fiber ve karbon fiberlerdir (Smallman, 1999).

3.1. Matriks Malzemeleri

3.1.1. Polimerler

Polimerler yapısal olarak, metal ve seramiklerden çok daha karmaşık yapılara sahiptirler. Diğer taraftan polimerler daha düşük mukavemete ve daha düşük kullanım sıcaklığı sergilerler. Güneş ışınlarına uzun süre maruz kalan polimerlerde ve değişik çözücü şartlarında kullanılan polimer malzemelerde polimer özelliklerinde bozulmalar meydana gelir. Kovalent bağlarından dolayı polimerler genelde çok zayıf iletkenlik gösterirler. Bunun yanında metallere göre kimyasal maddeler karşısında daha yüksek dirence sahiptirler. Yapısal olarak polimerler çok uzun ve büyük zincir yapılı moleküllerdir. Dolayısıyla makromoleküller olarak da adlandırılabilirler. Uzun zincir yapıdaki moleküller, iskelet veya omurga yapısında bir

zincir oluşturarak kovalent karbon atomlarından oluşurlar. Küçük bir molekülden başlayarak uzun zincir yapılı bir malzeme oluşturma polimerizasyon olarak bilinmektedir. Polimerizasyon, çok sayıdaki monomerin temel yapı üzerinde tekrarlanması ile oluşturulmaktadır (Budinski, 1996).

3.1.2. Termosetler

Bu tür polimer malzemelerin bağ yapıları genelde çaprazdır ve üç boyutlu şebeke yapısı göstermektedirler. Ergitilip soğutulduğunda katılaşma anında çapraz bağlar ilerler ve dolayısıyla, katılaşma tamamlandığında tekrar ergitilemezler.

Termosetlerde polimerizasyon sırasında molekülün reaktif olan kısmı moleküller arasındaki zincir yapıyı teşkil eder. Isıtıldıkları zaman akıcı özellikler göstermeleri için kısmen polimerleşmiş durumda kalıplanırlar. Kalıplama esnasında polimerleşme ilerleyerek plastik geniş ölçüde çapraz bağlanmaya geçer ve akıcılık özelliğini kaybeder.

Kısmen polimerleşmiş durumdaki termoset polimerlere reçine (rezin) adı verilir. Reçinenin son duruma getirme işlemine ise pişirme veya sertleştirme (Curing) denilir. Termoset malzemelerin çoğu ısı ve basınç etkisi ile pişirilmelerine rağmen soğuk durumda pişirilen termosetler de vardır. Kompozit malzeme imalinde en çok kullanılan malzemeler reçinelerdir. Ekonomik ve gelişmiş özelliklere sahip parçalar termoset plastikler kullanılarak kolaylıkla yapılabilirler. Deniz araçlarının imalinde, otomotiv sanayinde, inşaat sektöründe, depo, tank, boru ve mobilya imalinde bu malzemeler ekonomik olduğundan dolayı ve aranan özellikleri taşıdıklarından dolayı büyük önem kazanmışlardır. Termoset plastikler içinde en çok bilinen ve dolayısıyla en çok kullanılanları aşağıda verilmektedir. Çizelge 3.1 de polimer matriksli kompozit malzemelerin üretiminde en yaygın olarak kullanılan epoksi ve polyester reçinelerin birtakım fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırması verilmektedir (Budinski, 1996).

Çizelge 3.1: Epoksi ve Polyester reçinelerin özellikleri (Budinski, 1996)

Özellik	Birim	Epoksi Reçineler	Polyester Reçineler
Yoğunluk	g/cm ³	1.1-1.4	1.2-1.5
Elastisite Modülü	GN/m ²	3-6	2.0-4.5
Poisson Oranı		0.38-0.4	0.37-0.39
Çekme Mukavemeti	MN/m ²	35-100	40-90
Basma Mukavemeti	MN/m ²	100-200	90-250
Uzama	%	1-6	2
Isı İletkenliği	W/m°C	0.1	0.2
Termal genleşme kats.	°C	50-300	50-110
Isı distorsiyon sıcaklığı.	°C	50-300	50-110
Katılaştırken çekme	%	1-2	4-8
Su emme (24 s-20 °C)	%	0.1-0.4	0.1-0.3

3.1.3. Termoplastikler

Termosetler ergitilip herhangi bir şekilde katılaştırıldıklarında tekrar ergitilip kullanılabilme özelliklerine sahiptirler. Isıtıldıklarında akıcı hale gelir ve istenen kalıbın şeklini kolayca alabilirler. Termoplastik molekülleri lineerdir ve çapraz bağlanmazlar. Üç boyutlu bir zincir yapısı teşkil etmeyen moleküller yan zincirler veya gruplar ihtiva ederler. Moleküller arasında zayıf Wan der Waals bağları vardır ve bu sebeple rijit yapıya sahip değildirler. Kompozit malzeme üretiminde en çok kullanılan termoplastikler, Polietilen, polisitren ve polimetilmetakrilattır (PMMA). En yaygın kullanım alanı bulan üç değişik termoplastik malzemenin değişik özellikleri Çizelge 3.2’de gösterilmektedir (Budinski, 1996).

Çizelge 3.2: En çok kullanılan üç termoplastik malzemenin 20 °C de bazı özellikleri (Budinski, 1996)

Özellik	Birim	Polipropilen	Naylon 6.6	Polikarbonat
Yoğunluk	g/cm ³	0.90	1.14	1.06-1.20
Elastisite Modülü	GN/m ²	1.0-1.4	1.4-2.8	2.2-2.4
Poisson Oranı		0.3	0.3	0.3
Çekme Mukavemeti	MN/m ²	25-38	60-75	45-70
Uzama	%	>300	40-80	50-100
Isı İletkenliği	W/m°C	0.2	0.2	0.2
Termal genleşme kats.	10 ⁻⁶ /°C	110	90	70
Isı distorsiyon sıcaklığı.	°C	60-65	50-110	110-140
Ergime sıcaklığı	°C	175	264	----
Su emme (24 s-20 °C)	%	0.03	1.3	0.1

3.1.3.1. Polipropilen (PP)

Polipropilen (PP) termoplastiklerin en önemli gruplarından bir tanesidir. Makul fiyatının, mükemmel kimyasal dayanımı, düşük yoğunluğu ve kolay işlenebilmesi ile olan kombinasyonundan dolayı birçok sektörde kendine geniş bir uygulama alanı bulmaktadır.

Ana özellikleri;

- Düşük yoğunluk
- Yüksek darbe dayanımı
- Kimyasallara karşı yüksek dayanım
- İyi elektriksel dayanım
- Yüksek mekanik mukavemet
- Düşük nem alma
- Makul fiyat
- İşleme kolaylığı

PP’de mekanik özellikler ısı, zaman, nem oranı ve ürünün hazırlandığı ortam şartlarına bağlıdır. Bunlardan başka varsa kakı malzemesinin dağılımı, kütlelel yayılımı ve renklendiricilerde mekanik özellikleri etkilemektedirler. PP’nin en büyük avantajı sertlik/mukavemet oranındaki mükemmelliktir. Katkısız PP 0 °C altındaki uygulamalar için uygun malzemelerdir (Teknolpen).

Cam fiber katkılı PP’de, polimer ve fiber arasında sertlik, yüksek çekme-eğme ve mükemmel darbe mukavemetini yaratan çok sağlam bir bağ oluşmaktadır. Cam fiber takviyeli ve darbe dayanımı yüksek kompaundlar (karışım), yükek sertlik ve darbeye dayanım özellikleri elde edebilmek için kullanılabilecek en uygun kombinasyonlardır (Teknolpen).

PP’nin termal performansı, ısıya maruz kalınan zamana, ısıs kaynağının yapısına ve uygulanan yüke bağlı olarak değişir. Dolgulu veya takviyeli PP grupları 100°C’ye kadar kullanılabilir. PP ısıya maruz kaldığında çok fazla eğilme zaafiyeti göstermesine rağmen, yüksek boyutsal kararlılık gösterirler. Ayrıca PP grupları düşük nem absorpsiyonuna sahip olup, sıcak suya karşı dayanıklıdır. PP grupları asitler, alkaliler, alifatik hidrokarbonlar, alkoller ve deterjan gibi bir çok çözücüye ve organic sıvıya karşı mükemmel dayanım gösterirler (Teknolpen).

PP her enjeksiyon makinesinde kolayca işlenebilme özelliğine sahiptir. PP düşük nem alan bir malzeme olup,nem oranının %0,2’den az olduğu durumlarda ön kurutmaya ihtiyaç duyulmamaktadır (Teknolpen).

3.1.3.2. Poliamid 6 (PA6)

Poliamidler mühendislik plastiklerinin en önemli grubunu oluşturur. Bu grup içinde PA6 oldukça serttir ve düşük sıcaklıklarda bile darbeye karşı mukavemet göstermektedir.

Ana özellikler;

- Mükemmel sertlik/mukavemet uyumu
- Yüksek mekanik dayanıklılık
- İyi elektriksel yalıtım
- Alev geciktiricilik
- Kimyasallara karşı yüksek mukavemet
- Yüksek aşınma mukavemeti

- Yüksek nem absorpsiyonu
- Fevkalade işleme kolaylığı
- Mükemmel fiyat/performans oranı

PA6'nın mekanik özellikleri ısı, zaman, nem oranı ve ürünün hazırlandığı ortam şartlarına bağlıdır. Bunlardan başka katkı malzemesinin dağılımı, kütsel yayılımı ve renklendiricilerde mekanik özellikleri etkilemektedir (Teklamid)

Cam fiber katkılı PA6'da, polimer ve fiber arasında sertlik, yüksek çekme-eğme ve mükemmel darbe mukavemetini yaratan çok sağlam bir bağ oluşmaktadır. Cam fiber takviyeli ve darbe dayanımı yüksek kompaundlar (karışım), yükek sertlik ve darbeye dayanım özellikleri elde edebilmek için kullanılabilecek en uygun kombinasyonlardır (Teklamid)

PA6'yı diğer mühendislik plastiklerinden ayıran özellik nem almaya yatkın olmasıdır. Bileşimindeki katkılara bağlı olarak bu olumsuz özellik bir miktar azaltılabilir. Bu nedenle PA grupları işlenmeden önce kurutmaya alınmalıdır (Teklamid)

PA6 ürünleri, makine yağlarına, motor yakıtlarına, hidroliklere, soğutuculara, boya çözücülerine, temizlik malzemelerine alifatik ve aromatik hidrokarbonlara karşı mükemmel dayanım gösterirler. Bu kompaundlar ayrıca tuz ve alkali gibi birçok inorganik kimyasalın sulu çözeltilerine karşıda dayanıklıdırlar (Teklamid)

İlk mühendislik plastiği olan naylonun, pratikte naylon 6, naylon 6/6, naylon 6/10, naylon 6/12, naylon 11 ve döküm naylon gibi çeşitleri vardır. Naylonun en önemli problemi su emme özelliğinin oldukça yüksek olmasıdır. Bu bakımdan plastiklerden en çok kullanılan naylon 6/6'nın %50 nemde % 2,5 su emme özelliği vardır. Genellikle % 1 emilen neme % 0,2 ila % 0,3 boyut büyümesi karşılık gelmektedir. Aynı nem oranı için kullanma bakımından ikinci sırada yer alan naylon 6' nın su emme özelliği biraz daha yüksektir. Boyut değişmesi, parçaları çalışmaya koymadan önce, nemli bir ortamda tutarak telafi edilebilir. Naylon 6/12,11 ve 12 neme daha az duyarlı fakat daha pahalıdırlar. Tüm naylon çeşitleri, elyaf ve takviye malzemeler ile kuvvetlendirilebilirler. Kristalin bir plastik olan naylon, kalıplama, ekstrüzyon, çözelti, kaplama ve döküm olarak kullanılır. En düşük kristalinite derecesine sahip olan naylon 6, en kolay işlenebilen poliamiddir (Akkurt 1991).

Günümüzde naylon matrisine kimyasal bağlarla bağlanan ve ayrı bir faz oluşturan dağılmış olefin veya elastomer parçacıklarından meydana gelen çok tok ve darbeye mukavim bir naylon çeşidi elde edilmiştir. Bu teknolojiye bağlı olarak bilhassa soğutucu hortumlarında kullanılan çok esnek ve tok reçineler ekstrüzyon yolu ile üretilmektedir.

Önemli bir naylon çeşidi dökülebilen naylondur. Birçok plastikler ısının etkisi altında ve atmosfer basıncında döküm kalıbını doldurmak için yeterli derecede sıvı halini alamazlar. Bu nedenle bunlara şekil vermek için yüksek basınç gerekmektedir, bu plastiklere ısı ve yüksek basıncın bir arada bulunduğu ekstrüzyon veya enjeksiyon yöntemleri uygulanır. Ancak aralarında naylon da bulunan bazı plastikler, atmosfer basıncında dökülebilen sıvı kıvamında bulunabilirler. Dökülebilen naylon, naylon 6 monomerlerinden elde edilir, bu monomerlerden çok karışık ve ağırlıkları yüzlerce kilograma varan parçalar dökülür. Naylon çeşitlerinde önemli bir yenilik, elektrik ve elektronik uygulamalarında kullanılan, kuvvetlendirilmiş, kuvvetlendirilmemiş ve tok olan, aleve karşı dayanıklı naylonlardır. Ayrıca çok iyi kimyasal mukavemeti olan saydam amorf naylon çeşidi de vardır. Naylonun özellikleri çeşitlerine bağlı olarak çok geniştir. Genelde bu malzemelerin çok iyi yorulma mukavemeti, iyi sürünme mukavemeti, düşük sürtünme katsayısı ve oldukça iyi darbe mukavemeti (kristalinite derecesine bağlı), iyi kimyasal dirençleri ve elektrik özellikleri vardır. Polimerizasyon sırasında kontrol edilebilen kristalinite derecesi naylonun rijitliğini, mukavemetini ve ısıya karşı dayanıklılığını etkiler. Genellikle düşük kristalinite derecesi tokluğu, uzamayı ve darbe mukavemetini yükseltir, fakat çekme mukavemeti ve rijitliği azaltır (Akkurt, 1991).

Naylon 6/10 ve 6/12 daha düşük nem absorpsiyonu ve dolayısıyla daha iyi boyut kararlılığı istenilen yerlerde kullanılır. Ultraviyole ışınlarına karşı hassastır ve bu nedenle havada kullanılmaya elverişli değildir. Ultraviyole ışınlarına karşı mukavemeti arttırmak için stabilizatör olarak genellikle karbon siyahı ile takviye edilir. Karbon siyahı aynı zamanda çekme mukavemeti ve sertliği yükseltir, sünekliği ve tokluğu azaltır. İyi mekanik ve tribolojik özelliklerine sahip olarak naylon, zorlamalara maruz kalan dişli çark, kam, kaymalı yatak, rulman kafesleri, kızak gibi elemanların yapımında kullanılır. Ayrıca aşınmaya karşı takım tezgahların kızaklarında kaplama olarak kullanılır. Bu bakımdan en iyi sonuç, erimiş halde çok iyi akma özelliklerine sahip olan naylon 11 verir (Akkurt, 1991).

3.2. Takviye Malzemeleri

3.2.1. Karbon Fiberler

Karbon (C) elementi 2.268 g/cm^3 yoğunluğu ile oldukça hafif bir elementtir. Bunun yanında C, çok değişik kristal yapılarında bulunabilmektedir. Fiber üretiminde, daha doğrusu takviye amaçlı kullanılan C fiberler hegzagonal yapıda olan grafit kristalleri halindedir. C element olarak kovalent elmas yapıda iken grafit kristalleri, karbon atomlarının üç boyutta dizilmeleri sonucu oluşan ve oldukça yüksek elastik modül değerleri veren sıkı hegzagonal kristal yapısındadır. Karbon fiberlerde fiber çapları 7-8 μm , sürekli veya kısa olabilir. Bu fiberler petrol veya kömürden üretilirler. En önemli karbon fiberleri, PAN fiberlerdir (Budinski, 1996).

3.2.2. Cam Fiberler

Fiber üretimi amacıyla çok değişik bileşimde cam mineralleri kullanılmaktadır. Bunlardan en önemlisi birkısım oksit, kalsiyum, bor, sodyum, demir ve alüminyum içeren silika (SiO_2) dır. En önemli cam fiberler Çizelge 3.3 de verildiği gibi E, C ve S camı olmaktadır (Budinski, 1996).

Çizelge 3.3: Cam fiber üretiminde kullanılan cam çeşitleri ve bileşimleri (% ağırlıkça)

Bileşen	E Camı	C Camı	S Camı
SiO_2	52.4	64.4	64.4
$\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	14.4	4.1	25.0
CaO	17.2	13.4	-
MgO	4.6	3.3	10.3
$\text{Na}_2\text{O}.\text{K}_2\text{O}$	0.8	9.6	0.3
Ba_2O_3	10.6	4.7	-
BaO	-	0.9	-

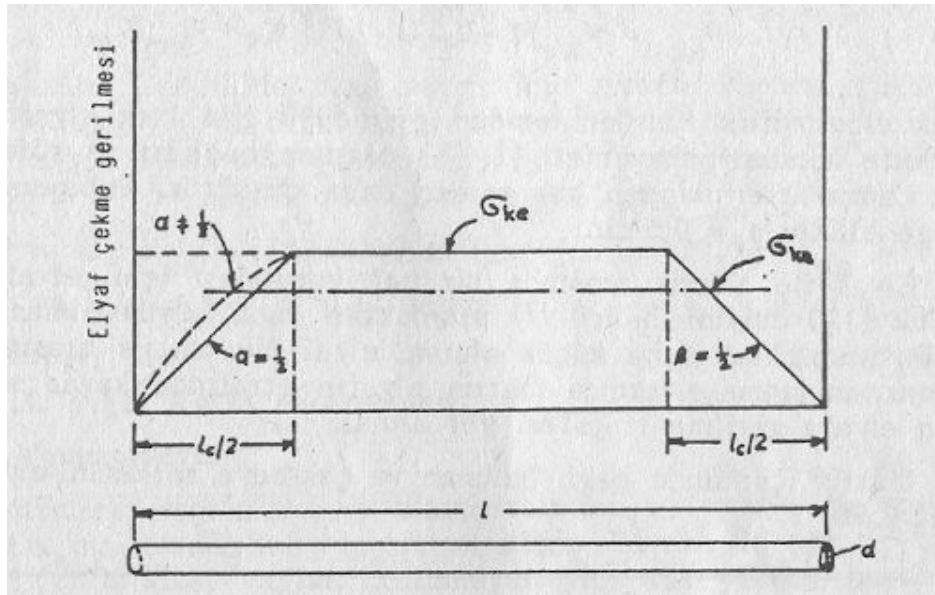
E camları (E elektiriksel özellikli camı ifade eder) iyi mukavemet, modül ve elektiriksel özelliklerinden dolayı kullanılır ve fiber üretimi oldukça kolaydır. C camı (C korozyona dayanımı temsil eder) kimyasal korozyona karşı oldukça dirençlidir ancak mekanik özellikleri

E camına göre daha kötüdür. Bunun yanında maliyeti de yüksektir. S camı (S yüksek mukavemet ve modülü temsil eder) ham E ve hemde C camından daha yüksek maliyete sahip olmasına rağmen çok daha yüksek mukavemet ve elastik modül özellikleri sergiler. Bunun yanında yüksek sıcaklıkta bile mukavemetini muhafaza edebilir (Budinski, 1996).

Bu malzeme, 1500 °C ye kadar ısıtılmış bir fırında, platin alaşımından yapılan bir kap ("kovan" denilir) içerisinde ergitilir ve kabın deliklerinden akmaya başlamasından sonra belirli bir kuvvetle çekilip, demetler halinde sarılması ile elde edilir. Pratikte cam fiberin fitil, dokuma ve keçe şeklinde olmak üzere üç kullanma şekli vardır. Cam fitil, fiber demetlerin fitil şeklinde sarılması; cam dokuma, cam fitillerinin hasır şeklinde sarılması; cam keçe , cam demetlerin kırılmış halde birim alana homogen olarak dağılması ile elde edilir. Cam fitil takviye edilen plastiğe en yüksek çekme mukavemeti verir; onu cam dokuma ve onu da cam keçe izler. Ancak cam fitil tek yönde (cam liflerin yönünde), cam dokuma iki yönde, cam keçe ise herhangi bir doğrultuda malzemenin mukavemetini artırır. "E" camının yanısıra çekme mukavemeti % 30 daha yüksek olan fakat çok daha pahalı olan "S" camı da kullanılmaktadır. Bunun yanısıra bazı firmalar, bilhassa uçak ve askeri alanda elverişli olan, özellikleri "S" camına yakın fakat fiyatı E ve S camları arasında bulunan "S-2" camı üretmektedirler. Genelde tüm termoplastikler cam elyafı ile kuvvetlendirmeye uygun olmalarına rağmen, bu amaçla en çok poliamid, polipropilen, polistiren, ABS ve SAN kullanılır. Cam elyafı ile kuvvetlendirme plastiğin mekanik özelliklerini 2 veya 3 kere artırır. Poliamidin çekme mukavemeti 68,95 N/mm²'den 206,85 N/mm² üzerine çıkmaktadır. % 40 cam ile kuvvetlendirilmiş asetalin eğilme modülü 12,411 N/mm² (2.7587 N/mm²'den) ve çekme mukavemeti 144,80 N/mm² (60,6BN/mm² den) olmaktadır. Takviye edilmiş poliesterin, takviye edilmemiş reçineye göre, çekme ve darbe mukavemeti iki misli ve eğilme modülü 4 kere daha büyüktür. Cam elyafı ne kadar uzun ise o kadar mukavemeti artırır; sürekli elyaf en yüksek mukavemet sağlar. Ayrıca çekme elastiklik modülü, boyut kararlılığı, hidrolitik kararlılığı ve yorulma mukavemeti iyileşir. Cam elyaf kuvvetlendiriciler malzemenin darbe davranışını ve çentik hassasiyetini de değiştirirler; değişme reçineye bağlı olarak her iki yönde olabilir. Ancak değişme iyileşme yönünde olsa dahi bu iyileşme bazı uygulama alanları için yeterli gelmemektedir. Bu hususta, kuvvetlendirilmiş malzemenin darbe mukavemetinden daha yüksek darbe mukavemetine sahip değiştirilmiş bileşimler elde edilmiştir. Örneğin naylon 6 ve 6.6'dan elde edilen bileşim, değiştirilmiş bileşimdir; bu malzemenin kuvvetlendirildiği durumda darbe mukavemeti % 50 artar (Akkurt, 1991).

Cam ve mineral ile kuvvetlendirilmiş plastikler makina elemanları olarak sanayinin çeşitli dallarında kullanılmaktadır. Örneğin cam ile kuvvetlendirilmiş naylon dişli çark yapımında, polipropilen ise otomobillerin havalandırma gövdeleri ve kapıların iç kısımlarında kullanılmaktadır. Kuvvetlendirilmiş poliester elektrik motorlarının fırça tutucuları, vantilatör, yüksek voltajlı elemanlar, elektrik konektörler ve arabaların çamurlukları, kuvvetlendirilmiş yüksek yoğunluk polietilen el bagajları, palet gibi elemanların yapımında kullanılmaktadır. Cam elyafı ile kuvvetlendirme alanındaki gelişmeler, normal olarak uzunlukları 0,7 ile 1,5 mm olan kısa elyafların yerine uzunlukları 10 mm olan uzun elyafların kullanılmasıdır. Uzun elyaflar bilhassa naylon 6.6'nın kuvvetlendirilmesinde kullanılmakta ve çok iyi sonuçlar vermektedir. Uzun elyaflarla kuvvetlendirilmiş polipropilen arabaların karoseri kısmında, bagaj veya yük taşıyıcı kısımlarında kullanılmak üzere plaka şeklinde imal edilmektedir. Mineral elyaf kuvvetlendiriciler, cam elyafına benzer sonuçlar vermektedirler. Ancak bunlar daha tok oldukları için genellikle gövde, kap, depo gibi parçaların yapımında kullanılmaktadır (Akkurt, 1991).

Kısa elyaflar elemanın uzunluğu boyunca sürekli bir ortam oluşturmaları için, her elyafın uçlarında, matris ile elyaf bağları kopmaktadır; dolayısıyla elyafın orta kısmında maksimum değerinde olan gerilme, Şekil 3.1 de gösterildiği gibi azalmakta ve elyafın uç kısmında sıfır olmaktadır. Elyafın çekme mukavemeti " σ_{ke} ", elyafın uzunluğu " l " ve gerilmelerin azalmaya başladığı uç kısımların uzunluğu " $l_c/2$ " ile ifade edilirse, elyafın ortalama gerilmesi;



Şekil 3.1: Kısa fiber takviyeli malzemede gerilme dağılımı (Akkurt, 1991)

$$\sigma_{ke} = \sigma_{ke} [1 - (1-a)(l_c/l)]$$

olarak bulunur. Burada a , $l_c/2$ mesafeye karşılık gelen ortalama gerilme oranıdır. Denklemi kopma mukavemetine göre ;

$$\sigma_{kk} = \sigma_{ke} \cdot K_e + \sigma_{km} \cdot K_m$$

şeklinde yazılırsa ve denklemi σ_{ke} 'nin yerine konulursa;

$$\sigma_{kk} = \sigma_{ke} [1 - (1-a)(l_c/l)] K_e + \sigma_{km} K_m$$

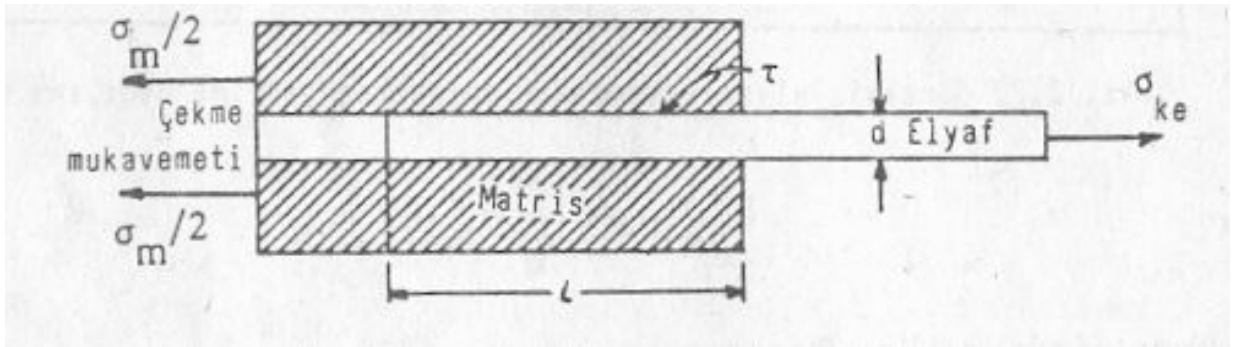
bulunur.

σ_{km} = elyafın kopma gerilmesinde matrisin akma gerilmesini ifade eder.

Elyafın uç kısmındaki gerilmelerin azalması lineer olduğu anlamına gelen $a = 0,5$ değeri kabul edilirse, yukarıdaki denklem

$$\sigma_{kk} = \sigma_{ke} [1 - 0,5(l_c/l)] K_e + \sigma_{km} K_m$$

olarak elde edilir. Bu denklemden görüldüğü gibi kısa elyafly kompozitlerin kopma mukavemeti (l_c/l) oranına bağlıdır ve sürekli elyafly kompozitlerinkinden her zaman daha düşüktür. Elyaf ile matris arasında bir bağ kurulması için, elyaf kritik uzunluk (l_c) denilen belirli bir uzunluktan daha büyük olması gerekir. Bu uzunluktan daha küçük olursa, elyaf ile matris arasında bağ oluşmaz, zorlanma sırasında matris elyafın etrafında kayar ve matristen elyafa gerilme transferi yer almaz. Matris içerisinde bağlı bulunan ve çekmeye zorlanan elyaf için ;



Şekil 3.2 : Matris fiber yüzeyel bağ mukavemeti (Akkurt, 1991)

σ_{ke} , Elyafın çekme mukavemeti

$$F = (nd^2/4) \sigma_e = ndl\tau$$

Denge denklemi yazılırsa buradan;

$$l = (d/4)(\sigma_e/\tau) \text{ veya } l/d = \sigma_e/(4\tau)$$

elde edilir. Burada; d = fiberin çapı, σ_e = fiber çekme gerilmesi (uygulanan çekme gerilmesi), τ = matriks ile fiber arasındaki yüzeysel bağ mukavemetidir. Bu değer matriksin akma gerilmesi (τ_{AK}) ile tayin edilir. Kopma sırasında σ_e , kopma mukavemeti σ_{ke} değerine ulaşır. Şekil 3.2 de görüldüğü gibi fiberin her iki ucuda serbesttir ve her uçtaki mesafenin değeri $l/2$ dir. Dolayısıyla denklemde $l = l_c/2$ konulursa fiberi kritik uzunluğu;

$$l_c = (d/4)(\sigma_e/\tau) \text{ veya } l/d = \sigma_e/(2\tau)$$

olarak bulunur. Genellikle aynı matriks için fiber kopma mukavemeti büyüdükçe, (l_c/d) oranı artar ve aynı fiber mukavemeti için, matriksin kayma mukavemeti arttıkça (l_c/d) oranı azalır (Akkurt, 1991).

3.2.3. Aramid (Kevlar) Fiberler

Kevlar (Aramid, p-fenoleneterfataleamid), karbon, hidrojen, oksijen ve azotun aromatik organik bir bileşimidir. Kevlar fiberler uzun zincir yapılı poliamid polimerlerin standart tekstil tekniğine benzer şekilde döndürme (spinning) yöntemi ile üretilmesi sonucu elde edilir. Bu fiberler Kevlar 29 (yüksek mukavemet, düşük, yoğunluk) ve Kevlar 49 (yüksek mukavemet, düşük, yoğunluk ve yüksek modül) ismi altında üretilip kullanılmaktadırlar. Çizelge 3.4 de Kevlar 49 ve Kevlar 29 fiberlerin çeşitli özellikleri görülmektedir. Çizelge 3.5 de ise polimer matriksli kompozit malzemelerin üretiminde en fazla kullanılan fibelerin çeşitli mekanik özellikleri özetlenmektedir (Budinski, 1996).

Çizelge 3.4: Kevlar 29 ve Kevlar 49 fiberlerin özellikleri (Budinski, 1996)

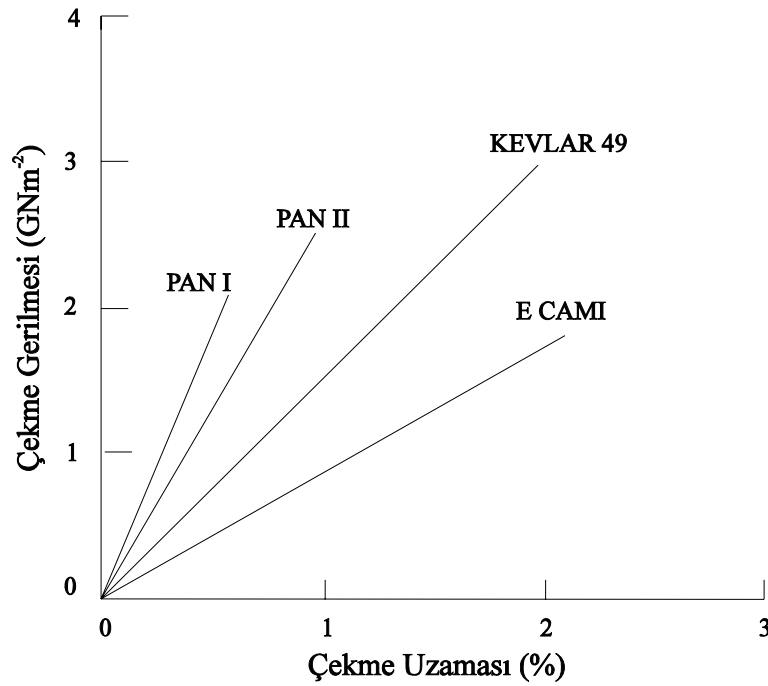
Özellik	Kevlar 29	Kevlar 49
Yoğunluk (g/cm ³)	1.44	1.44
Fiber Çapı (μm)	12	12
Çekme Gerilmesi (GPa)	2.8	2.8
Uzama (%)	4.0	2.3
Young Modülü (GPa)	65	125

Çizelge 3.5: PMK malzeme üretiminde kullanılan değişik fiberlerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Budinski, 1996)

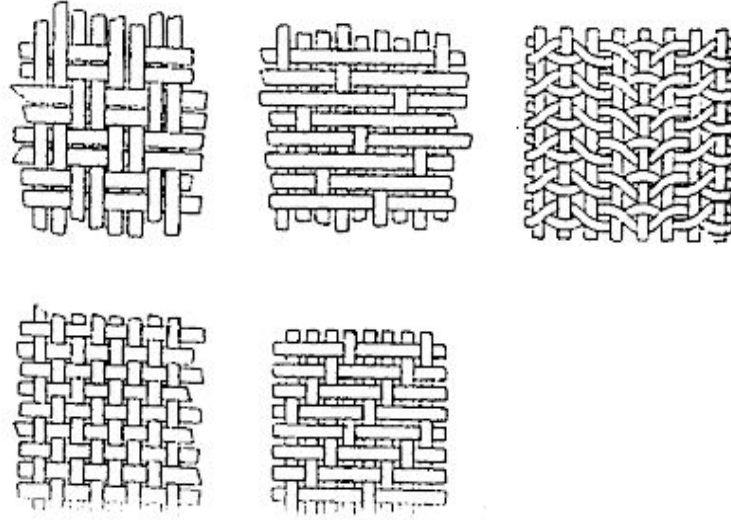
Özellik	Birim	Karbon, PAN I	Karbon, PAN II	E Camı	Kevlar 49
Fiber Çapı	μm	7.0-9.7	7.6-8.6	8-14	11.9
Yoğunluk	10 ⁻³ kgm ⁻³	1.95	1.75	2.56	1.45
Young Modülü (paralel)	GNm ⁻²	390	250	76	125
Çekme Gerilmesi	GNm ⁻²	2.2	2.7	1.4-2.5	2.8-3.6
Uzama	(%)	0.5	1.0	1.8-3.2	2.2-2.8
Termal Genleşme Kats.(0-100 °C)	10 ⁻⁶ °C ⁻¹	-0.5 den - 1.2 (paralel) 7-12 (radyal)	-0.1 den -0.5 (paralel) 7-12 (radyal)	4.9	-2 (paralel) 59 (radyal)
Termal İletkenlik (Paralel)	Wm ⁻¹ C ⁻¹	105	24	1.04	0.04

PMK malzemelerin üretiminde kullanılan fiberler genelde sürekli karakterdedirler. Karbon ve Kevlar fiberler genelde sürekli fiber takviyeli PMK malzemelerin takviye edilmesinde kullanılmakta iken özellikle cam fiberler yapısal PMK malzemelerde kısa olarak kullanılmaktadırlar. Karbon fiberlerin de özellikle yüksek aşınma dayanımı ve ısı iletiminin istendiği kompozit malzemelerde kısa olarak matriks içine dağıtıldıkları ifade edilmektedir. Fiberlerin kısa olarak kullanılmasının diğer nedenleri ise maliyettir. Kısa fiberler sürekli olanlara göre daha ucuz olarak üretilbildikleri gibi kompozit malzeme üretiminde matriks

içine daha kolay dağıtılabılırler. Kompozit malzemeden anizotropik özellikler beklenmiyorsa kısa fiber takviyeli kompozitler daha optimum özellikler sergilemektedirler. Şekil 3.3 de PMK malzemelerin üretiminde kullanılan fiberlerin Gerilme-Genleme eğrileri görülmektedir. Polimer matriksli kompozit malzemelerde kullanılan sürekli fiberler metal matriksli kompozitlerin üretiminde kullanılan fiberlere sürekli olmaları açısından benzerlerken fiberlerin matriks malzemesi ile kullanımı takviye yön ve şekilleri açısından farklıdır. Şekil 3.4 de PMK malzemeleri takviye eden fiberlerin yönlenme şekilleri ve örgü tipleri verilmektedir (Thomason, 2002).



Şekil 3.3: PMK malzeme üretiminde kullanılan fiberlerin gerilme-genleme eğrileri (Schwartz, 1994)

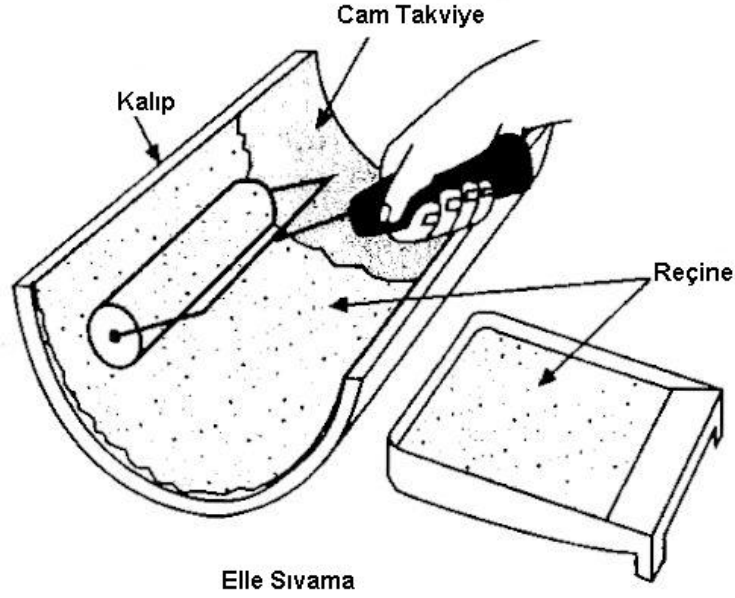


Şekil 3.4 PMK malzemeleri takviye eden fiberlerin yönlenme şekilleri ve örgü tipleri (Schwartz, 1994)

3.3. PMK Malzemelerin Üretim Yöntemleri

3.3.1. Elle Sıvama

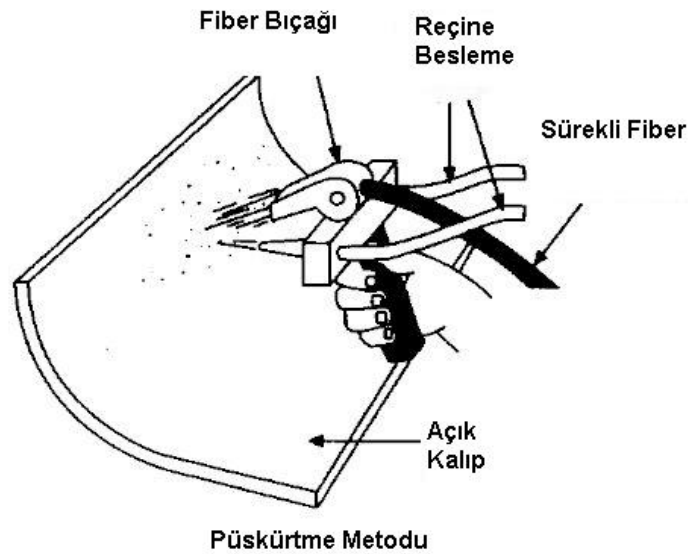
Bu yöntemde öncelikle açık bir kalıp hazırlanır ve takviye edici kalıba yerleştirilerek yüzeye reçine sürülür. Arzulanan kalınlık elde edilinceye kadar tabakalı olarak bu işlem devam ettirilir. Kalıplamada kompozit içinde kalan havanın dışarı atılması için yüzey merdanelerle sıkıştırılır. Reçinelere katalizör ve sertleştirici ilavesi yapılarak ısı uygulanmaksızın sertleşmesi sağlanır. Elle sıvama tekniği cam fiber takviyeli polyester ve epoksi matriksli PMK malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılır. Bu yöntemle cam fiber takviyeli sandallar, radar kılıfları, borular, tanklar, korozyona dayanımlı techizatlar, otomobil parçaları, düz ve oluklu levhalar başarılı olarak üretilmektedir. Şekil 3.5 de elle sıvama tekniği ile üretim görülmektedir (Budinski, 1996).



Şekil 3.5: Elle sıvama tekniği (Budinski, 1996)

3.3.2. Püskürtme Metodu

Bu metod elle sıvama tekniğinin mekanize edilmiş halidir. Bu yöntemle elle sıvama tekniğine göre çok daha kısa sürelerde ve daha başarılı PMK malzemeler daha az polimer israfı ile üretilebilmektedir. Şekil 3.6 de püskürtme metodu görülmektedir (Budinski, 1996).



Şekil 3.6: Püskürtme metodu (Budinski, 1996)

3.3.3. Keseli Kalıplama

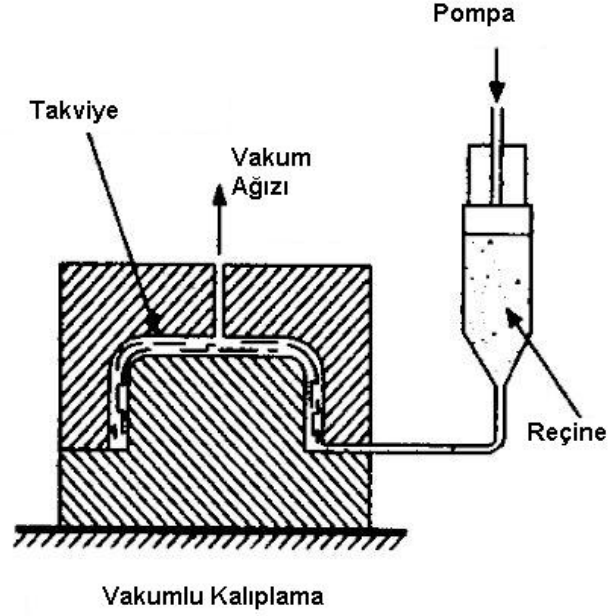
Keseli kalıplama, önceden hazırlanmış tabaka şekilli PMK malzemelerin şekillendirilmesi ve yoğunlaştırılması için çok eskiden beri kullanılan eşsiz ve son derece faydalı bir yöntemdir. Sertleştirilmemiş PMK malzeme bir kalıba yatırılmakta ve üzeri elastik bir torba ile kapatılmaktadır. Isıtma ve basınçla beraber PMK malzeme sertleştirilmektedir. Bu metodla PMK malzeme üretiminde kaliteli ve iyi eğitilmiş tecrübeli işçiler gerekmede ve aynı zamanda polimerlerin iyi tanınması gerekmektedir (Budinski, 1996).

Keseli kalıplama;

- i) Basıncılı
- ii) Vakumlu
- iii) Otoklavda keseli kalıplama

şeklinde üç ana gruba ayrılmaktadır. En fazla kullanılan kalıplama yöntemleri vakumlu ve otoklavda kalıplama teknikleridir. Basıncılı kalıplama elle sıvama tekniğine benzerdir. Belli boyutlarda hazırlanan serleşmemiş PMK malzemeler yağlanmış kalıp yüzeyine arzulan kalınlığa göre dizilirler. Yağlayıcı olarak jel kullanılır. Üst tabaka yüzeyi örtülüp kalıp kapağı kapatılır. kapağa bağlanan lastik kese hava ve buhar basıncı ile şişirilerek bu basıncın etkisi ile sert ve mukavemetli bir PMK oluşur (Budinski, 1996).

Vakumlu kalıplama elle sıvamanın gelişmiş şeklidir. Büyük ve karmaşık şekilli parçalar bu yöntemle üretilir. Kalıplamada önceden hazırlanmış PMK tabakalar kullanılabildiği gibi kalıp içinde de kompozit üretilip vakumla ters basınç yapılarak malzeme üretilebilir. Otoklavda kalıplamada sertleştirme işlemi vakumlu kalıplamanın aksine fırın yerine otoklavda yapılmaktadır. Otoklavlarda basınç hava veya karbondioksit ile sağlanır. Şekil 3.7 de tipik bir vakumlu kalıplama tekniği görülmektedir (Budinski, 1996).



Şekil 3.7: Vakumla kalıplama tekniği (Budinski, 1996)

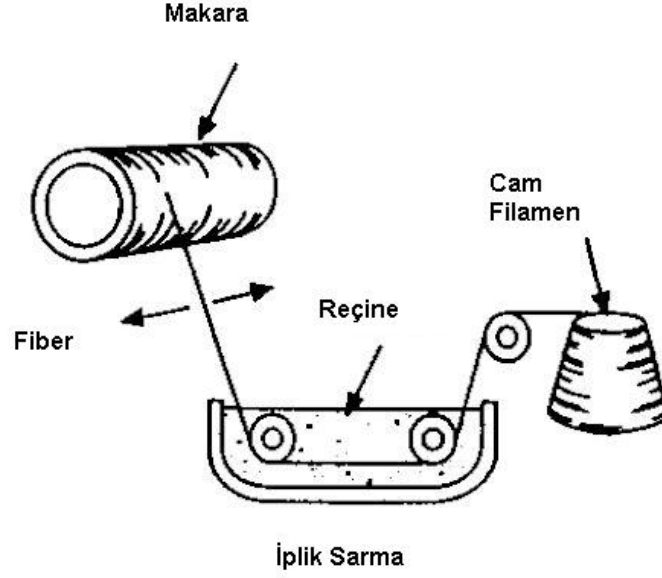
3.3.4. İplik Sarma Metodu

İplik sarma metodunun ortaya çıkmasından sonra üç değişik metod ortaya çıkmıştır.

Bunlar;

- 1) Yaş sarma
- 2) Kuru sarma
- 3) Çift emdirmeli sarma metodlarıdır.

Yaş sarma en çok tercih edilen yöntemdir. Çok değişik tipte reçinelerin yaş sarma yönteminde kullanılabilir olması, üretimin hızlı olması ve üretilen malzeme maliyetinin az olması temel kullanım nedenleridir. Bu yöntemde Şekil 3.8 daki gibi bir reçine tankından geçirilen takviye malzemeleri bir mandreal üzerine sarılırlar. Yeterli kalınlık sağlandıktan sonra genelde silindirik şekilli kompozitler elde edilir (Budinski, 1996).



Şekil 3.8: Yaş sarma metodu (Budinski, 1996)

Yaş sarmada reçine sisteminin belirli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bunlar:

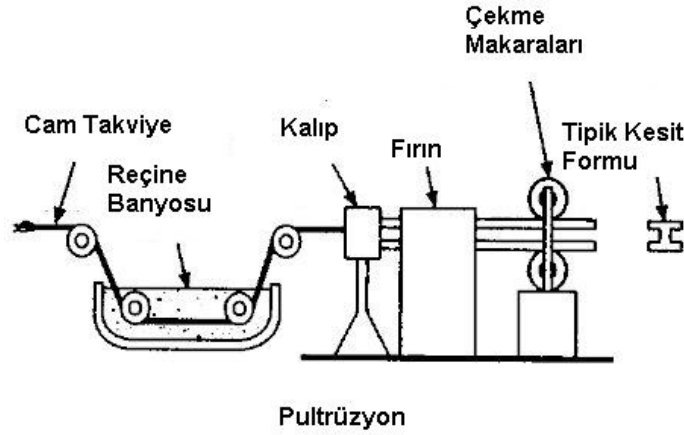
- i) Sarılı yapıdaki gaz ve gaz kabarcıklarının olmaması için reçinedeki uçucu bileşiklerin oranı düşük olmalıdır.
- ii) Reçinenin oda sıcaklığındaki viskozitesi takviye fazlarını tamamen ıslatıp aralarına girmesini sağlayacak şekilde düşük olmalıdır.
- ii) Katalizör ilave edilmiş reçinede sertleşme büyük parçaların üretilmesi süresine göre ayarlanmalıdır.

Kuru sarma işleminde önceden reçineden geçirilmiş fiberler bir yumuşatma fırınından geçirildikten sonra veya doğrudan doğruya mandreale sarılmaktadırlar. Çift emdirmeli sarma işleminde kuru sarmadaki işleme ilave olarak, mandrealde PMK malzeme üzerine tekrar termoset plastik püskürtme işlemi gerçekleştirilir (Budinski, 1996).

3.3.5. Pültrüzyon (Profil) Çekme

Pültrüzyon metodunda sürekli takviye fiberleri bir reçine tankından geçirildikten sonra Şekil 3.9 de görüldüğü gibi fiber demetleri sıcak bir kalıpta sertleştirilmektedir. Pültrüzyon metodu

ekstrüzyona benzemektedir. Ancak ekstrüzyonda üretilcek parçanın hammaddesi kalıba itilmekte, pültrüzyonda ise kalıba çekilmektedir. Bu yöntem ile sabit kesitli değişik profiller, çubuklar, düz ve oluklu levhalar üretilmektedir. Pültrüzyon tekniğinin önemli bir avantajı üretim hızının yüksek olmasıdır. Bunun yanında fiber yönlenmesi ve reçine miktarının kontrol edilmesinde bazı problemler vardır (Budinski, 1996).



Şekil 3.9: Pültrüzyon metodu (Budinski, 1996)

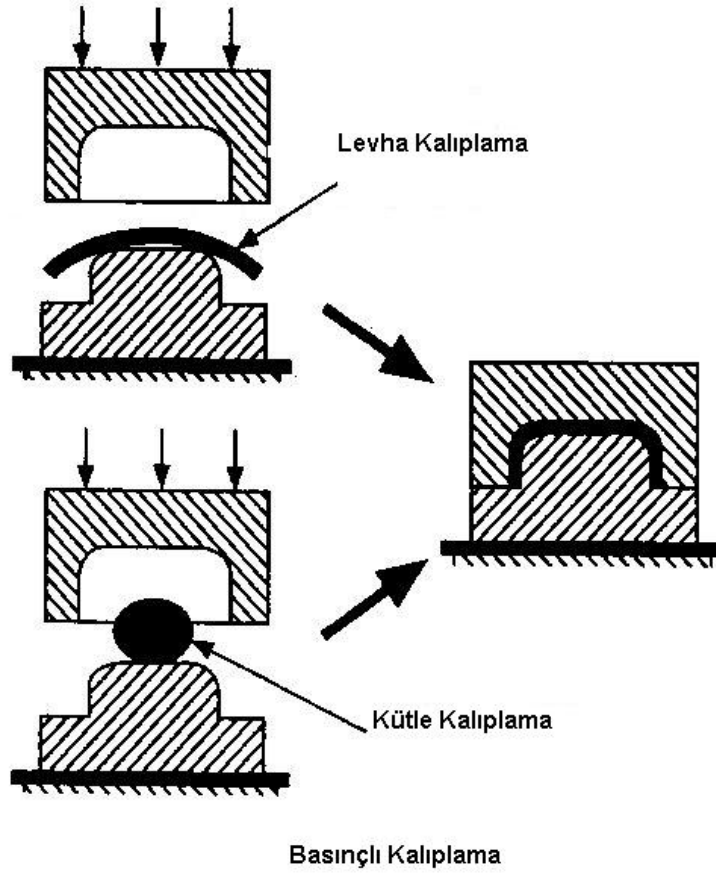
3.3.6. Preste kalıplama (Basınçta kalıplama)

Bu teknik polimerlerin kalıplanması ve sertleştirilmesi işleminde kullanılan en eski tekniklerden biridir. Bu teknikte reçine ve takviye karışımı iki parçadan oluşan kalıplarda ısı ve basınç altında sertleştirilirler. Başlangıç yatırım maliyeti ve kalıp maliyetinin yüksek olmasına rağmen bu sistemin çeşitli avantajları mevcuttur.

Bunlar;

- Üretim hızı yüksektir
- Özellik kontrolü (fiber-termoset oranı, boşluk miktarı) mümkündür.
- Karmaşık şekilli parçalar dar boyut toleransında üretilir.
- Kaliteli parça üretimi gerçekleştirilir.

Preste kalıplama o kadar yüksek kabiliyetli elemanlara ihtiyaç duymaz. Pres kalıp şartları ve üretilen malzeme şartları sağlandıktan sonra Şekil 3.10 deki gibi PMK malzemeler kolaylıkla üretilir (Budinski, 1996).

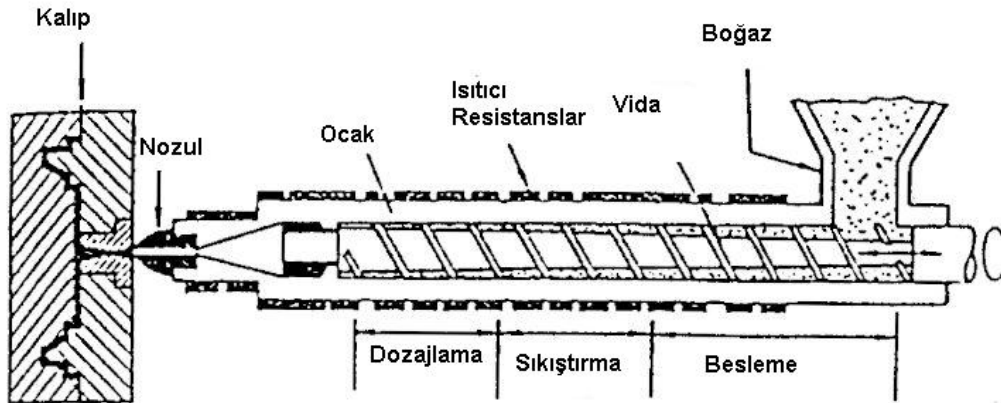


Şekil 3.10 : Prestre kalıplama (Budinski, 1996)

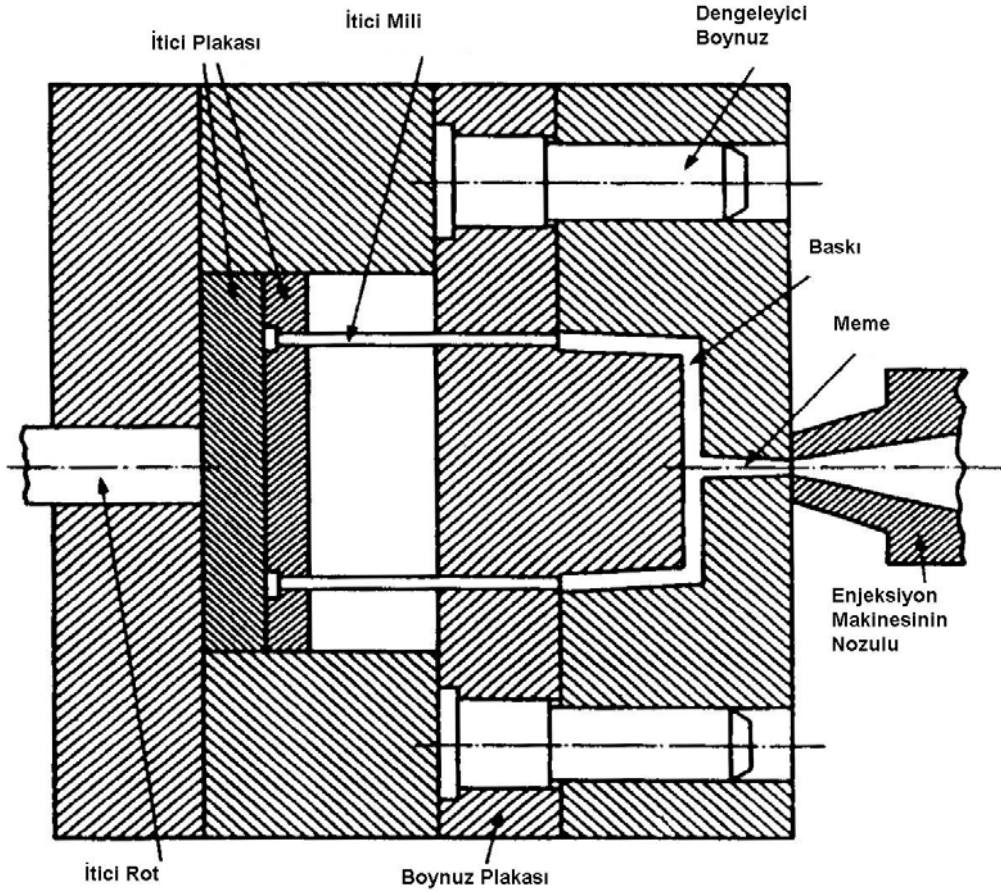
4. ENJEKSİYON YÖNTEMİ İLE KISA FİBER TAKVİYELİ POLİMER MATRİKSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİ

4.1. Enjeksiyonla Kalıplama

Genelde termoplastik malzemelerin üretimlerinde kullanılırken bazı termoset malzemelerin üretiminde de kullanılır. Termoset malzemeler üretilirken genelde kısa fiberlerle takviye edilmiş PMK'ler üretilir. Üretim prosesi Şekil 4.1 deki gibidir. Kalıp, bünyedeki havanın kompozitte kalmaması için vakuma da alınabilir.



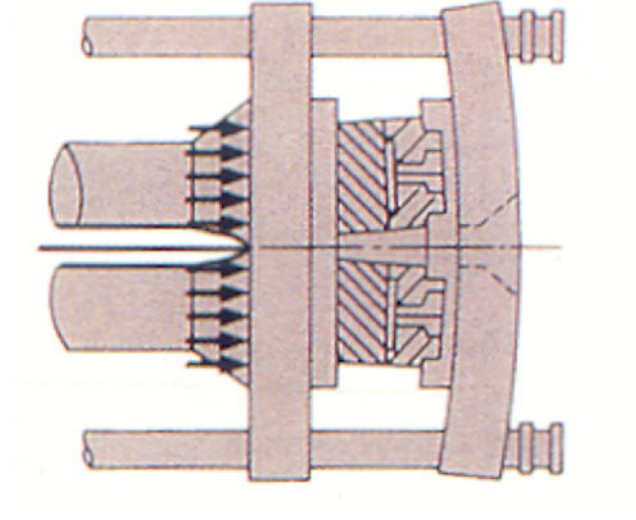
Şekil 4.1: Enjeksiyon metodu (Budinski, 1996)



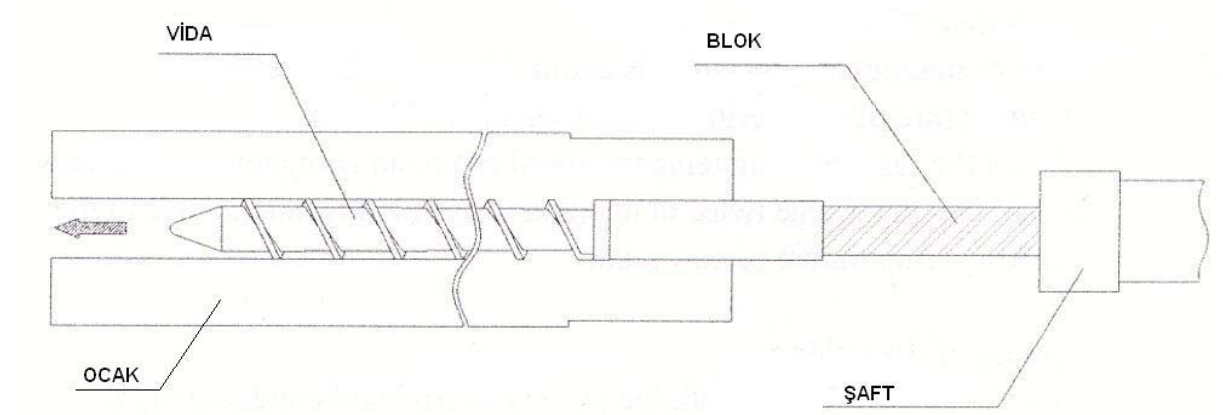
Şekil 4.2: Plastik enjeksiyon kalıbı (Powell, 1998)

Enjeksiyonla kalıplama yönteminin esası, polimer ergiyiğinin, kapalı bir kalıp içine basınçlı enjeksiyonu prensibine dayanır. Termoplastikler, kauçuklar ve bazı termosetler bu prosesle üretilirler. Makinenin ana parçaları; kalıp, enjeksiyon grubu ve kalıbın açılıp, kapanmasına yarayan basınçlı mengene grubudur. Şekil 4.2 de plastik enjeksiyon kalıbı görülmektedir. Şekil 4.3’de Enjeksiyon makinesine ait mengene grubunun şematik görünümü verilmiştir. Ayrıca şekil 4.4 ve şekil 4.5’de ocak grubunda bulunan helezonik vidanın şematik görüntüsü ve fotoğrafı verilmiştir.

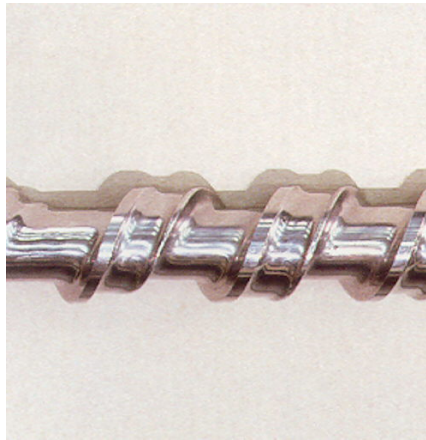
MENGENE GRUBU



Şekil 4.3 : Enjeksiyon makinesine ait mengene grubunun şematik görünümü



Şekil 4.4 : Ocak grubunun içinde bulunan helezonik vidanın şematik görünümü



Şekil 4.5 : Ocak grubunun içinde bulunan helezonik vidanın fotoğrafı

Birçok termoplastik malzeme üretiminde, enjeksiyonla kalıplama vazgeçilemeyen tek yöntemdir. Sistemde dikey yönde yönelmiş parçalar üretilebilir, yatay yöndeki dizaynlar ise kalıp üzerinde bulunan hareketli maçalar vasıtasıyla üretilebilirler. Termoplastik malzemelerin çalışma sıcaklığı 180 – 300 °C arasında değiştiği için kalıp içinde oluşan yüksek sıcaklık, üretilen parçada çarpılma veya çekme adı verilen hatalara sebep olmaktadır. Bu nedenle kalıplarda termoplastik üretilirken su veya yağ ile soğutma sistemleri oluşturulmalıdır (Powell, 1998).

Enjeksiyon grubu, ekstrüderde bulunan sisteme oldukça benzer. Helezonik bir vida kendi etrafında dönerken, boğaz tarafından aldığı plastiği rokete doğru taşıyarak öteler. Roketin ucunda biriken ergimiş plastik hacimce büyüyerek, vidanın geriye doğru gitmesini sağlar. Granül halindeki plastik boğaz kısmından nozula doğru ilerlerken ısıtıcı rezistansların verdiği ısı ile giderek ergimeye başlar. Rokete en yakın kısımda ise camsı geçiş sıcaklığının çok üzerine çıkan plastik homojen bir şekilde karışmış hale gelir. Vida istenilen ölçü kadar geri geldiğinde enjeksiyon grubunun mal alma işlemi tamamlanmış olur. Bundan sonra enjeksiyon işlemi başlar. İşlem sonunda açılan kalıptan iticiler vasıtası ile parça alınır ve ikinci çevrim başlar. Çok pratik bir proses olmasının yanı sıra ayrıca, çok hızlı üretim düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilir (Powell, 1998).

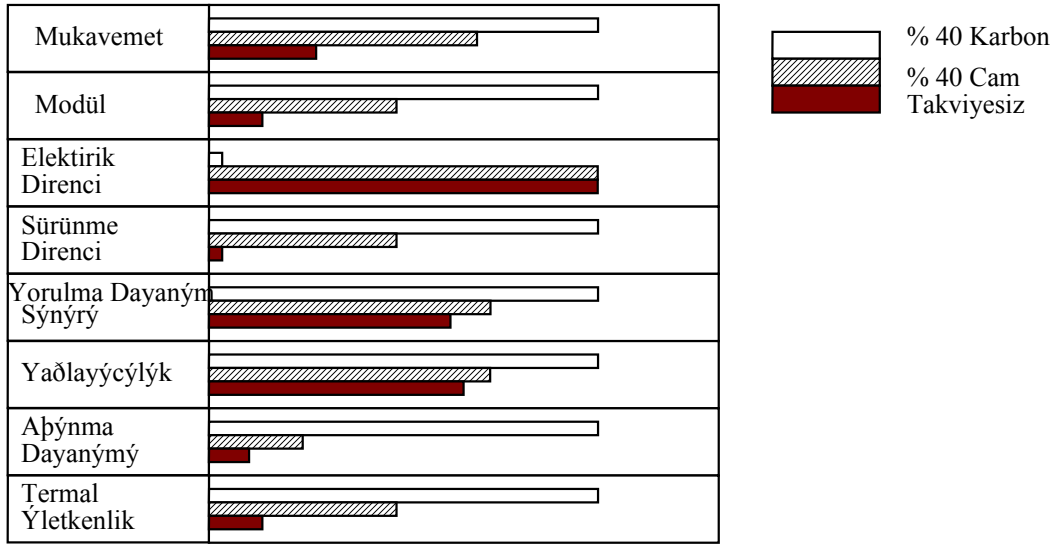
4.2. Kısa Fiber Takviyeli Termoplastik Malzemeler

Bazı üretim yöntemleri ya termosetler yada termoplastikler ile özdeşleşmiştir. Örneğin keseli kalıplama daha çok termosetler için iken enjeksiyonla kalıplama termoplastikler için kullanılmaktadır. Termoplastik malzemeler için kullanılan enjeksiyonla kalıplama yöntemi bilhassa ince PMK malzemelerin üretimi için kullanılmaktadır. Kullanılan takviyeler ise süreksiz takviye malzemeleridir. Termoset malzemelerin enjeksiyon yöntemi ile üretilmesinde termoplastiklere göre daha kalın cidarlı PMK malzemeler elde edilmektedir (Rana, 2002).

Polimer malzemelerin çeşitli yüksek modül ve yüksek mukavemet gösteren takviye fazları ile takviye edilip üretilmesi ile mukavemet ve elastik modül değerleri 2-3 ve hatta bazı durumlarda 5-10 kata kadar yükselmektedir. Çizelge 4.1 de bazı PMK sistemlerindeki mekanik özellikler özetlenmektedir.

Çizelge 4.1: Hacimce % 50 fiber takviyeli PMK malzemelerin özellikleri (Funga, 2003)

Sistem	Young Modülü (GPa)	Kayma Modülü (GPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kayma Mukavemeti (GPa)	Poisson Oranı
Polyester-Cam	35-40	3.5-5.5	650-750	45-60	0.26
Epoksi-PAN I	190-240	5-8-3.6	850-1100	60-75	0.26
Epoksi-Kevlar 49	65-75	4-5	1110-1250	40-60	0.35



Şekil 4.6 : Nylon 6.6 matriksli kompozitte özellikler

Şekil 4.6 da Nylon 6.6 polimerinin % 40 cam ve % 40 karbon fiberleri ile takviye edilmesi ile mukavemet, modül, elektirik direnci, yorulma ve sürünme direnci, aşınma dayanımı, yağlayıcılık ve termal iletkenlik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler özetlenmektedir.

PMK malzemelerde de MMK malzemelere benzer şekilde takviye malzemesi ve polimer arasında uygun bir kimyasal veya mekanik bağın olması gerekmektedir. Bağ yapısının zayıf olduğu PMK malzemelerde yük yükleme esnasında fiberler matriksten sıyrılarak (fiber pull-out) yükü taşıyamazlar. Bunun yanında matriks fazı güneş ışınlarından veya nemden hasar görerek kompozitin mekanik özelliklerinin düşmesine yol açabilmektedir. PMK malzemeler MMK malzemelere göre korozyona karşı daha dayanıklı ve hafiftirler. Bu sebeple genellikle sulu ortamlarda ve uzay araçlarında metallere göre daha çok kullanılırlar.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada %0, %10, %20 ve %30 cam fiber katkılı polipropilen (PP) ve %0, %10, %20 ve %30 poliamid 6 (PA6) hammaddeleri, plastik enjeksiyon makinesinde, enjeksiyonu yapılarak mekanik deneyler için gerekli olan ürünler haline getirilmiştir. Daha sonra bu ürünlerin çekme mukavemeti, eğme mukavemeti ve sertliği bulunarak mekanik özellikleri birbirleri arasında karşılaştırılmıştır. Son olarak da ürünlere mikro inceleme yapılarak matriks içindeki fiber dağılımları gözlenmiştir. Deneysel çalışmalar bölümünde istenen sonuç; her iki hammadde de artan fiber oranına bağlı olarak mekanik özelliklerde artış görülmesidir.

5.1 Enjeksiyon Makinesinde Üretim

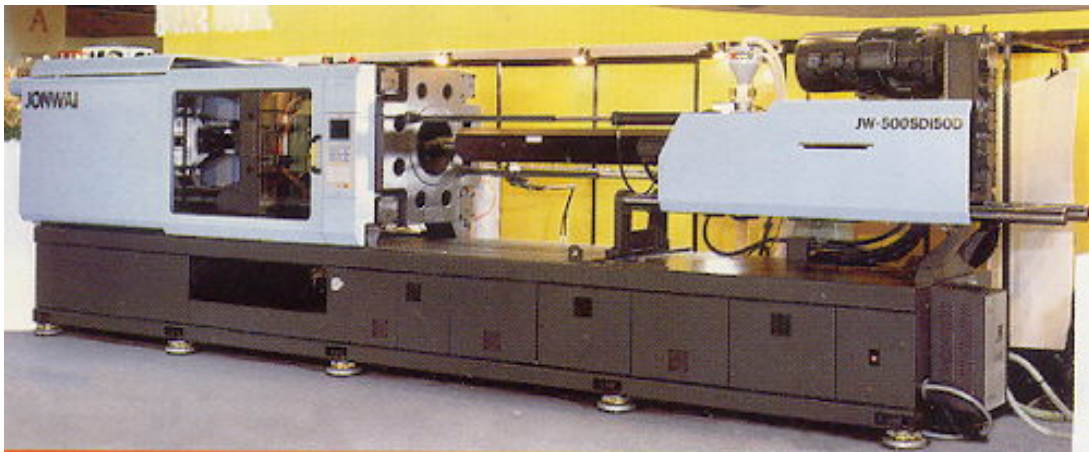
Hammaddelerin üretimi için, 500 ton mengene kapama gücüne sahip, Tayvan üretimi, Jon Wai marka enjeksiyon makinesi kullanılmıştır. Resim 5.1, 5.2 ve 5.3 de makinenin fotoğrafları görülmektedir. Kullanılan enjeksiyon makinesi makas tipli mengeneye sahiptir ve ocak kapasitesi ise 2 kg hammaddeyi bir çevrimde ürün haline getirebilecek kapasitedir. Ocak sıcaklıkları 7 farklı bölgede kontrol edilebilen makine, üretim sırasında sıcaklıkların ayrıntılı olarak kontrol edilebilmesini sağlar. Toplam 75 HP gücündeki iki elektrik motoru ile çalışan makine, tamamen elektronik kontrollü olup, otomasyona uyumludur. JW-500SD model plastik enjeksiyon makinasının tüm teknik özellikleri çizelge 5.1 de verilmiştir.



Resim 5.1: 500 ton mengene kapama gücüne sahip Jon Wai marka enjeksiyon makinesi



Resim 5.2 : 1200 tonluk gaz enjeksiyonu teknolojisine sahip Jon Wai enjeksiyon makinesi



Resim 5.3 : 500 ton mengene kapama gücüne sahip Jon Wai marka enjeksiyon makinesi

Çizelge 5.1: JW-500SD model plastic enjeksiyon makinasının teknik verileri (SPS)

Kilitleme Kuvveti (ton) :	500
Mengene Açma Kuvveti (ton) :	50
Kalıp Yüksekliği (min-max) (mm) :	300-900
Plaka Boyutları (YxG) (mm) :	1190x1190
Kolonlar Arası Mesafe (mm) :	820x820
Net Gramaj (gr) :	2056
Enjeksiyon Kapasitesi (cm ³) :	2326
Vida Çapı (mm) :	85
Ergitme Kapasitesi (kg/saat) :	332
Enjeksiyon Hızı (cm ³ /sn) :	354
Enjeksiyon Basıncı (max) (kg/cm ²) :	1804
Enjeksiyon Grup Stroğu (mm) :	575
Enjeksiyon Grup Kuvveti (ton) :	8
Hidrolik Pompa Kapasitesi (lt/dk) :	280
Yağ Deposu Kapasitesi (lt) :	979
Güç Kaynağı (volt) :	220
Motor Gücü (HP) :	75
Isı Kontrol Bölge Sayısı :	7
Isıtma Gücü (kw) :	31
Su İhtiyacı (lt/dak) :	100
Makina Boyutları (UxGxY) (m) :	8,9x1,9x2,5
Makine Ağırlığı (kg) :	21000

Deneyisel çalışma için kullanılan makine, Alman Motan firmasının ürettiği hammadde emiş sistemi ile modifiye edilmiş ve hammadde alımını, ayrıca boya (masterbatch) dozajlamasını otomasyon kontrollü olarak sağlamaktadır. Kalıp sıcaklığının kontrol edilebilmesi için ise İtalyan Frigel firmasının üretimi olan mikrojel sistemlerine sahiptir. Ayrıca makinede Tayvan malı Apex marka robot bulunmaktadır, bu sayede tamamen otomatik üretim yapmak mümkündür. Enjeksiyon makinesinin ocak sıcaklıkları Çizelge 5.2 de verilmiştir.

Çizelge 5.2: PP üretimi için gerekli olan, makinenin ocak sıcaklıkları (TS 1149-1)

	1. bölge	2. bölge	3.bölge	4.bölge	5.bölge	6. bölge	7. bölge
Sıcaklık°C	235	240	235	235	230	225	215

Bu sıcaklıklardan 2. bölge bize malzememizin çalışma sıcaklığını vermektedir. PP, 240 C°'de enjeksiyonu uygun olan bir hammaddedir. Bu sıcaklıklardan 7. bölge hammaddenin makineye ilk girdiği bölgedir, bu nedenle sıcaklık daha düşük tutulmuş ve 1. bölgeye doğru hammadde ilerledikçe sıcaklık yükselmiştir. 1. bölge sıcaklığı ise hammaddenin makinenin son bölgesidir ve buradan sonra akışkan hammadde kalıba girmektedir. Kalıp sıcaklığı ise; dişi kalıp 30 °C, erkek kalıp ise 20 °C'ye ayarlanmıştır (TS 1149-1).

Enjeksiyon ayarlarında ise ortalama değerler verilerek üretim yapılmıştır. Akışkanın kalıp içindeki akış hızı, basıncı ve ütüleme basıncı adı verilen hammaddenin şekil aldığı çevrim bölümünde çok yüksek veya çok düşük değerler kullanılmamıştır; çünkü enjeksiyon ayarlarına yüksek değerler verilmesi ile kalıp içine olağandan daha fazla hammadde girmesi söz konusudur, bu durum ise deneysel çalışmada yanıltıcı sonuçlar alınmasına sebep olabilmektedir. Düşük değerler verilmesi ise tam tersi bir sonuç yaratabilir. Üretilen parçalar enjeksiyon işlemi bittikten sonra kalıp içinde yaklaşık 25 sn. soğumaya bırakılarak, kalıp dışında ki sıcaklıktan dolayı şekil değişimine uğramaması sağlanmıştır (TS 1149-1)

PA6 nın üretiminde ise daha farklı süreçlerden geçilmiştir. PA, yapısı gereği çok kolay nem tutabilme özelliğine sahiptir. Bu durum, hammaddenin nemden tamamen kurtulmadan enjeksiyon makinesinde üretimini imkansız hale getirmektedir. Bu nedenle hammadde yaklaşık 4 saat boyunca 85 °C'de kurutma fırınlarında kurutma işlemine tabi tutulmuştur. PA6, PP'den daha vizkoz ve camsı geçiş sıcaklığı daha yüksek olduğu için çalışma sıcaklığı ve enjeksiyon ayarlarına daha farklı değerler verilmiştir. PA6 için, enjeksiyon makinesinin ocak sıcaklıkları Çizelge 5.3 de verilmiştir (TS 1149-2)

Çizelge 5.3: PA6 üretimi için gerekli olan, makinenin ocak sıcaklıkları (TS 1149-2)

	1. bölge	2. bölge	3.bölge	4. bölge	5.bölge	6.bölge	7.bölge
Sıcaklık°C	250	260	255	245	235	230	225

PP 240 °C’de çalışmaya uygunken, PA6’da 260 °C’de enjeksiyon yapılmıştır. PA6 nın üretimi sırasında, enjeksiyon hız ve basınç ayarlarına daha yüksek değerler verilmiştir.

5.2 Dumansız Yakma Yöntemi ile Malzemedeki Ağırlıkça Fiber Oranının Tespiti

400 °C sıcaklıkta numuneler dumansız yakılarak, mevcut fiber ağırlıkları tespit edilmiştir. İşlem sıcaklığında krozeler içindeki polimer yapı tamamen yanıp, malzeme içindeki cam elyafı kroze içine birikmiştir. Elde edilen fiberler hassas terazide tartıldıktan sonra, malzeme içindeki fiberin ağırlıkça oranları bulunmuştur. Elde edilen veriler çizelge 5.4’de verilmiştir.

Verilerden ;

- ilk numune ağırlığı - yakıldıktan sonraki ağırlık = fiber ağırlığı
- (fiber ağırlığı x 100) / ilk ağırlık = % ağırlıkça fiber oranı

formülasyonu ile % fiber ağırlık oranı elde edilmiştir.

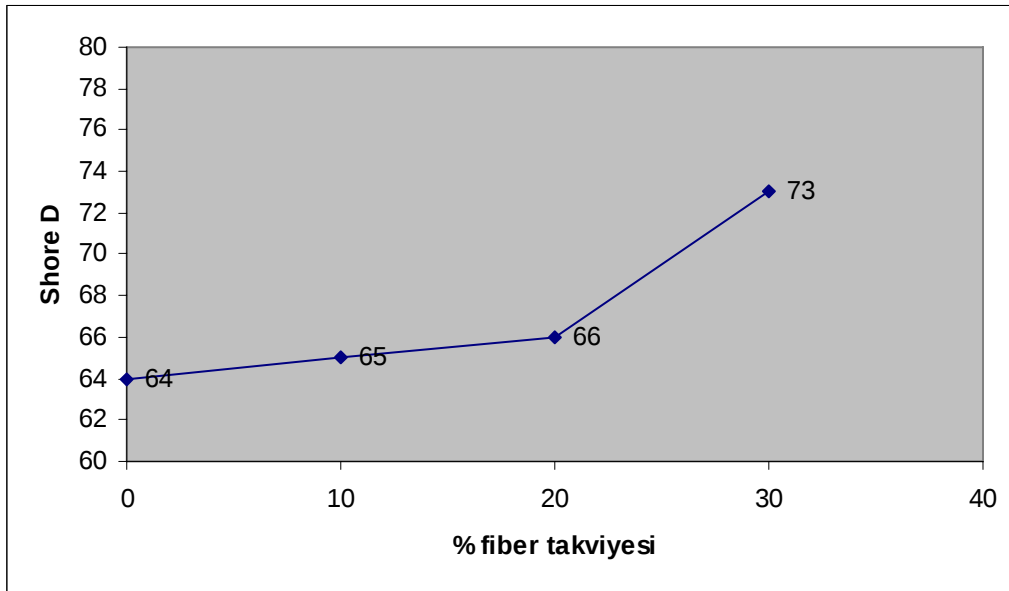
Çizelge 5.4 : Karşılaştırması yapılan PA6 ve PP malzemelerin içindeki, ağırlıkça cam fiber oranları

	1. PA6	2. PA6	3. PA6	1. PP	2. PP	3. PP
% Hacimce	% 29,6	% 14,7	% 11,8	% 28	% 14,2	% 6
% Ağırlıkça	% 49	% 29	% 23	% 52,4	% 32	% 18

Bu sonuçlara göre; PA6 malzemedede hacmen sırasıyla % 29 , % 14 ve % 12 oranında, PP malzemedede ise hacmen sırasıyla % 28 , % 14 ve % 6 oranında fiber takviyesi olduğu tespit edilmiştir.

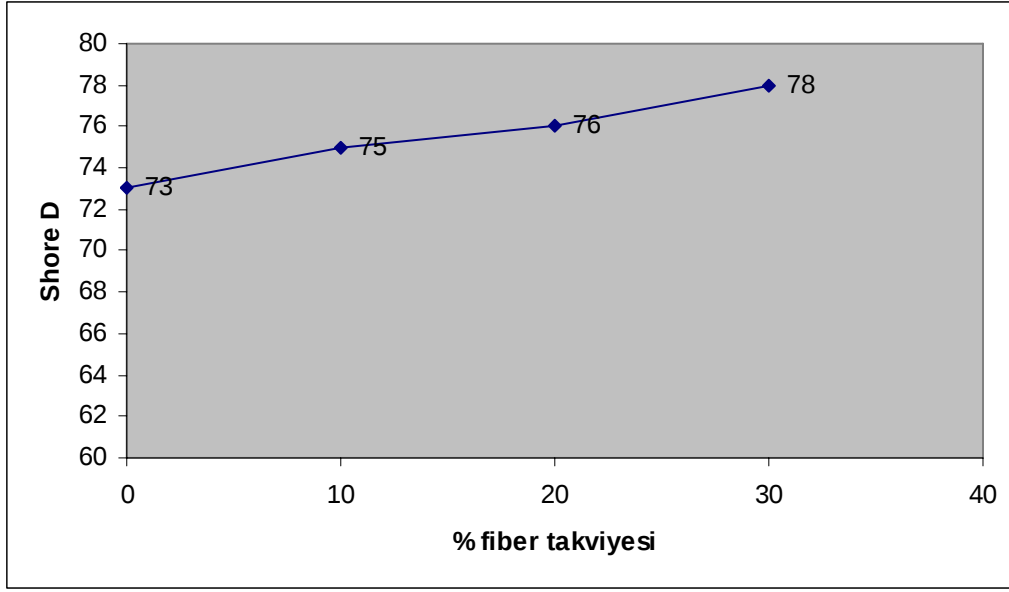
5.3 Sertlik Ölçümleri

Polimerik malzemeler için Shore A veya Shore D sertlik cihazı kullanılmaktadır. Fakat deneysel çalışmalarda kullanılan termoplastik PP ve PA6 polimerik malzemeler içinde yüksek sertliğe sahip hammaddeler oldukları için Shore D sertlik birimi daha uygundur, Shore A ise daha elastik veya yumuşak malzemeler için uygundur. PP’de fiber oranı arttıkça setliğinde arttığı görülmüştür. Hammaddelerin sertlik ölçümleri Shore D sertlik cihazı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 5.1 ve 5.2 karşılaştırıldığında; her iki malzeme grubunda da artan fiber oranı ile sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 5.1 de fiber oranına bağlı olarak artan sertlik grafikde verilmiştir. Fiber ilavesi yapılmamış hammadde de sertlik 64 çıkarken, %10 fiber katkılı PP’de sertlik 65, %20 fiber katkılı PP’de 66 ve %30 fiber katkılı PP’de ise 73 Shore D olarak bulunmuştur.



Şekil 5.1: Artan fiber oranına bağlı olarak malzemenin sertliği artıyor

PA6 da da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Fiber oranı arttıkça malzemenin sertliğinde artış görülmüştür. Fiber katkısı bulunmayan PA6 da sertlik 73 Shore D iken, %10 fiber katkılı PA6 da 75, %20 fiber katkılı PA6’da 76 ve %30 fiber katkılı PA6 da ise 78 Shore D bulunmuştur. Şekil 5.2 de fiber oranına bağlı olarak artan sertlik grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.2: Artan fiber oranına bağlı olarak sertlikde artış görülmektedir

5.4 Çekme Deneyi

Enjeksiyon kalıplama prosesinde bir çok faktör, kalıplanmış deney parçalarının özelliklerini ve dolayısıyla bu deney metodunun uygulandığı deney parçaları için elde edilen değerleri etkileyebilir. Böyle deney parçalarının mekanik özellikleri, deney parçalarının hazırlanması için kullanılan kalıplama işleminin şartlarına kuvvetle bağlıdır. Kalıplama işleminin esas parametrelerinin tanımı, tekrarlanabilir ve kıyaslanabilir çalışma şartları için temel bir şarttır. Kalıplama şartlarını tarif ederken, şartların, tayin edilecek özellikler üzerindeki etkisini dikkate almak önemlidir. Termoplastikler, moleküler yönelme (bilhassa amorf polimerlerde önemlidir), kristalizasyon morfolojisi (kristal ve yarı kristal polimerler için), faz morfolojisi (heterojen termoplastikler) ve ayrıca kısa lifliler gibi anizotropik dolguların yönelmesinde farklılıklar gösterebilir. Kalıplanmış deney parçalarındaki artık “donmuş” gerilmeler ve kalıplama sırasında polimerin termal bozulmaları özellikleri etkileyebilir. Bu olayların her biri, ölçülen özelliklerin nümerik değerlerinin kararsız olmasını önlemek için kontrol edilmelidir. Şekil 5.3 de çekme deneyi için kullanılan numunelerin standart şekilleri verilmiştir. Deney için tip A ISO kalıbı kullanılmıştır. Tip A ISO kalıbı için gerekli şartlar aşağıda verilmiştir. (TS 1149-1)

- Milletlerarası standartlar arasında çelişkiler olması durumunda ve kıyaslanabilir veriler amaçlandığında (ISO 10350, ISO 11403-1, ISO 11403 -2 ve ISO 11403-3) gerekli olan parçaları hazırlamak için, ISO kalıpları (Madde 3.15) tavsiye edilir.

- ISO 3167.de belirtilen çok amaçlı deney parçaları, Z veya T yolluklu (Ek A) iki boşluklu bir tip A ISO kalıbında kalıplanmalıdır. Kalıp Şekil de gösterildiği gibi olmalıdır ve Madde 4.1.4'te belirtilen özellikleri karşılamalıdır. İki tip yolluktan Z-yolluğu, daha fazla simetrik kalıp kapanım kuvveti elde edildiğinden dolayı tercih edilir. Üretilen çubuk deney parçaları, ISO 3167 'de belirtilen Tip A deney parçasının boyutlarına sahip olmalıdır.
- Dikdörtgen 80 mm x 10 mm x 4 mm'lik çubuklar, çift T- yolluk ile dört boşluklu Tip B ISO kalıbında kalıplanmalıdır. Kalıp, Şekil de gösterildiği gibi olmalı ve Madde 4.1.1.4'de belirtilen özellikleri sağlamalıdır. İmal edilen çubuklar, çok amaçlı deney parçalarında (ISO 3167) olduğu gibi merkezî kesit boyunca aynı kesit boyutlarına ve $80 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ 'lik uzunluğa sahip olmalıdır.
- Tip A ve Tip B ISO kalıplarının ana imalât detayları Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir ve aşağıdaki özellikleri sağlamalıdır:

- a) Gidici çapı enjeksiyon memesinde en az 4 mm olmalıdır.
- b) Yolluk sisteminin genişlik ve yüksekliği (veya çapı) en az 5 mm olmalıdır.
- c) Boşluklar, Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterildiği gibi bir ucu kapalı olmalıdır.
- d) Kapının yüksekliği, boşluğun yüksekliğinin $2/3$ 'ü olmalı; genişliği ise, kapının boşluğu kapattığı noktadaki boşluğa eşit olmalıdır.
- e) Kapı mümkün olduğunca kısa olmalı ve hiç bir zaman 3 mm'yi aşmamalıdır.
- f) Yollukların çekim açısı en az 10° , en çok 30° olmalıdır. Boşluğun tasarım açısı 1° den daha büyük olmamalıdır, ancak, çekme deneyinde kullanılan deney parçaları söz konusu olduğunda çekim açısı 2° den büyük olmamalıdır.
- g) Boşlukların boyutları, ilgili deney standardında verilen özelliklere uygun üretilen deney parçalarının boyutları gibi olmalıdır. Kalıptan çıkan deney parçalarının farklı seviyelerde büzülecekleri göz önüne alınarak boşluğun ölçüleri, ilgili deney parçasının belirtilen anma ve üst sınır değeri arasında seçilmelidir. Tip A ve Tip B ISO kalıplarında, ana boşluk boyutları mm olarak, aşağıdaki gibi olmalıdır (ISO 3167):
 - Derinlik: 4,0 - 4,2
 - Merkezî kesit genişliği: 10,0 - 10,2
 - Uzunluk (Tip B kalıp): 80 - 82
- h) Ejektör pimleri, kullanılırsa, deney parçasının deney alanı dışında yani, Tip A ve Tip C ISO kalıplarından (Tip C için ISO 294 -2) elde edilen kaşık tipi deney parçalarının omuzlarında, Tip B ISO kalıplarından elde edilen çubuk deney parçalarının ortasındaki 20

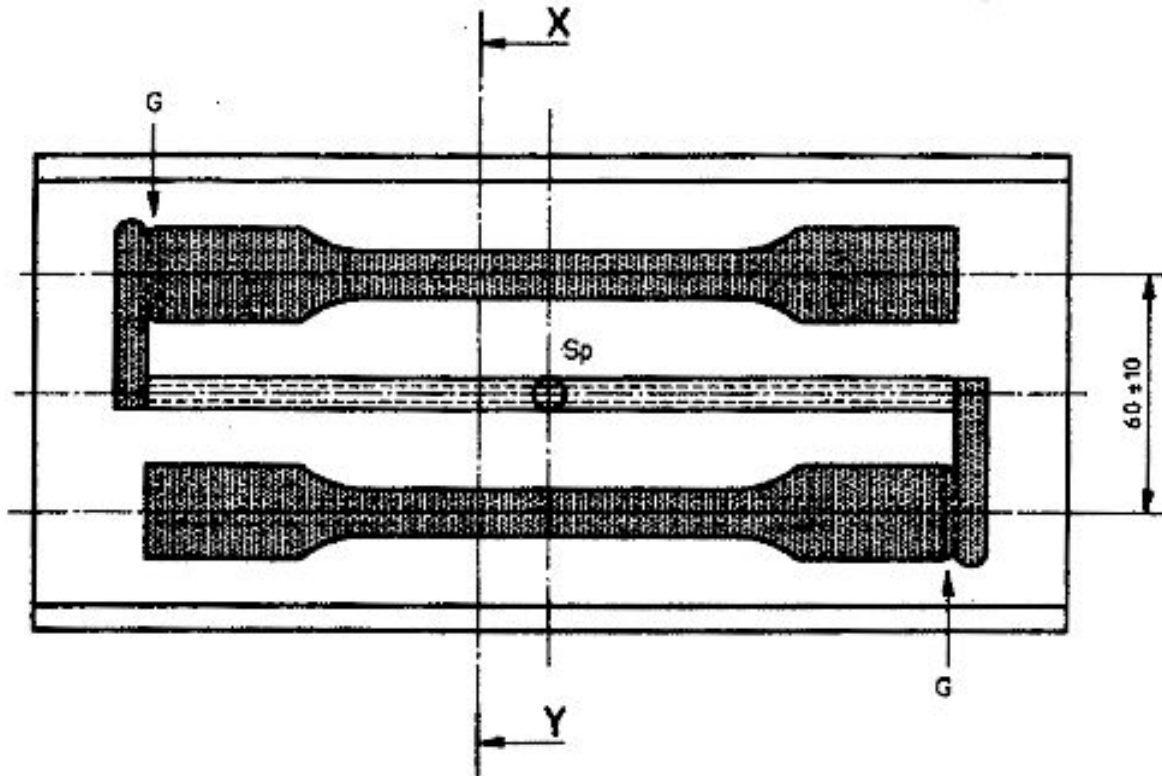
mm.in dışında ve Tip D ISO kalıplarda elde edilen plâka şeklindeki deney parçalarının 60 mm kenarlı karenin dışında (ISO 294-3) bulunmalıdır.

i) Kalıp plâkaları için ısıtma/soğutma sistemi, çalışma şartlarında, boşluğun yüzeyindeki herhangi bir nokta ile plâkalardan herhangi biri arasındaki sıcaklık farkı, 5°C dan az olacak şekilde tasarlanmalıdır.

j) Kalıplama işlemi sırasında bir tip deney parçasından başka bir tipe geçişi hızlandırmak amacıyla boşluk plâkaları ve kapı sürgülerinin değiştirilebilir olması tavsiye edilir. Böyle değişiklikler, mümkün olduğunca benzer atım kapasiteler kullanmayla kolaylaştırılır.

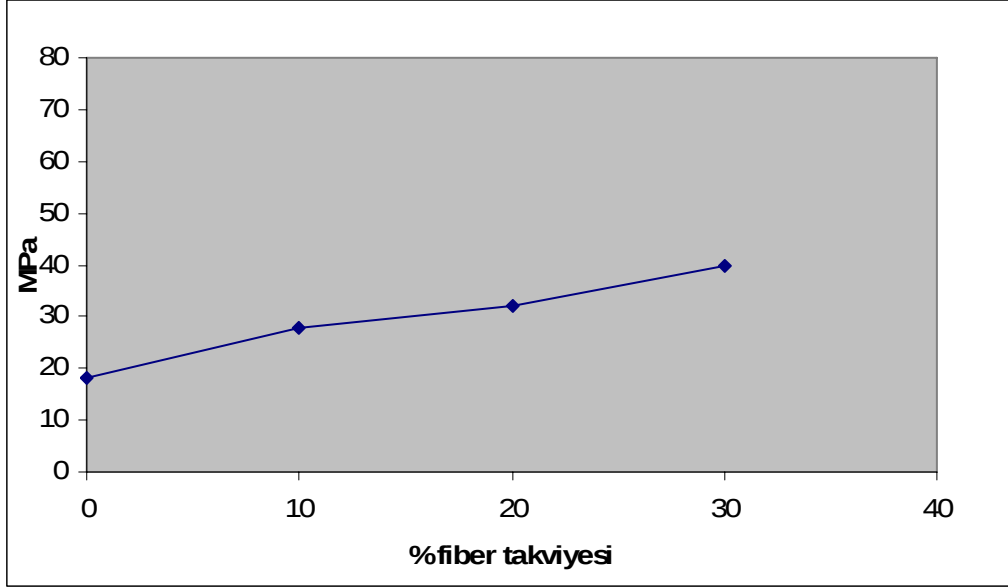
k) Enjeksiyon periyodunun iyi bir şekilde kontrolü için, basınç algılayıcısının merkezdeki yollukta takılı olması tavsiye edilir (algılayıcı ISO 294-4 için gereklidir). Değişik tipteki ISO kalıplarında uygulanan algılayıcı konumları ISO 294-3, Madde 4.1 kısım k) ve Şekil 2.de verilmiştir.

l) Farklı ISO kalıpları arasında boşluk plâkalarının birbiri ile değiştirilebilir olmasını sağlamak için Şekil 2 ve Şekil 3’de gösterilenler ve ISO 294-2 ve ISO 294-3’te verilenlere ilâveten aşağıdaki yapısal detaylar dikkate alınmalıdır.



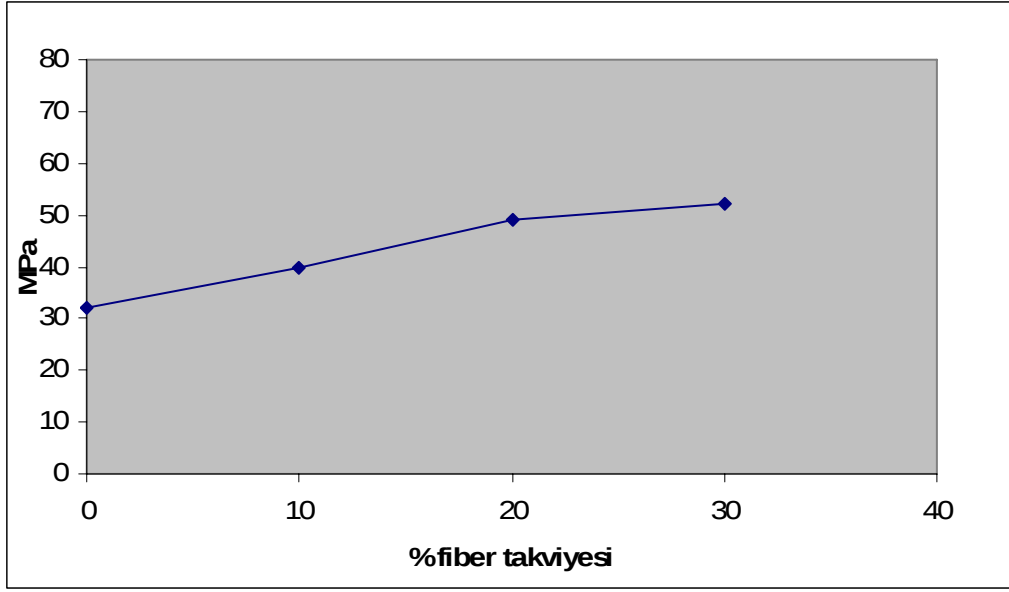
Şekil 5.3 : Çekme numuneleri için tip A ISO kalıbı(TS 1149-1)

Çekme deneyleri sonucunda hem PP’de hem de PA6 da fiber oranına bağlı olarak çekme mukavemetinde büyük artışlar yaşandığı görülmüştür. Fiber katkısı olmayan PP’in çekme mukavemeti 18 MPa iken %10 fiber katkılı PP’in 28 MPa, %20 fiber katkılı PP’in 32 MPa ve %30 fiber katkılı PP’in ise 40 MPa olduğu görülmüştür. Şekil 5.4 de fiber oranına bağlı olarak çekme mukavemetindeki artış görülmektedir.



Şekil 5.4: Artan fiber oranına bağlı olarak PP’nin çekme mukavemetindeki artış

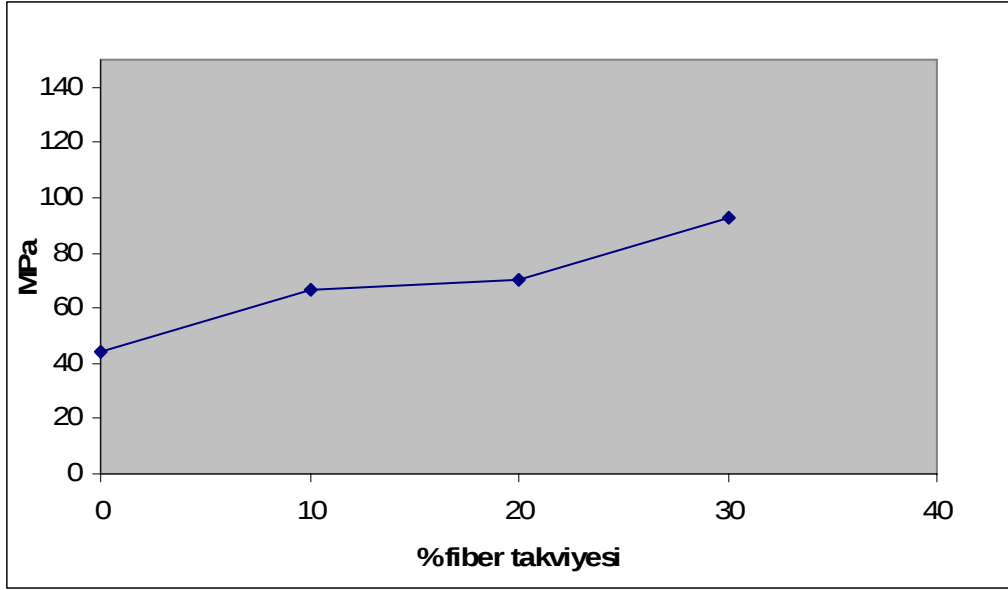
PA6 da da benzer davranış görülmüştür. Fiber oranı arttıkça malzemenin çekme mukavemetinde büyük artış gözlenmiştir. Fiber katkısı olmayan PA6’nın çekme mukavemeti 32 MPa iken, %10 fiber ilavesi yapılan PA6’nın çekme mukavemeti 40 MPa, %20 fiber katkılı PA6 49 MPa ve %30 fiber katkılı PA6 ise 52 MPa olarak görülmüştür. Şekil 5.5 de artan fiber oranına bağlı olarak çekme mukavemetindeki artış görülmektedir. Sünek olan matriks gelen yükü, fibere iletir. Gelen yük fiberler tarafından taşınır, dolayısıyla matriks içindeki fiber oranı arttıkça, kompozitin çekme mukavemetinde artış gözlenmesi normaldir.



Şekil 5.5: Artan fiber oranına bağlı olarak, PA6'nın çekme mukavemetindeki değişim

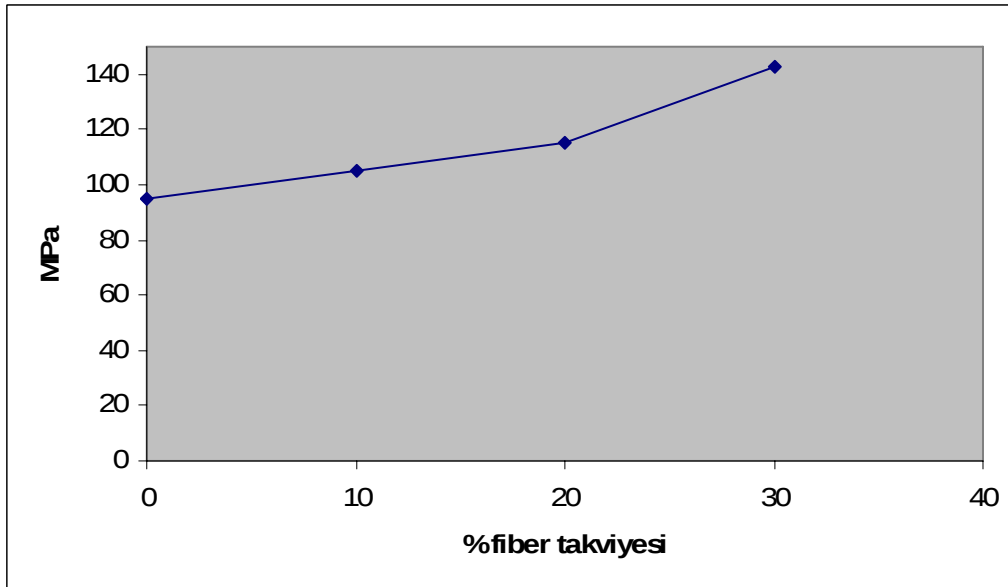
5.5 Eğme Deneyi

Eğme deneyi için hazırlanan numuneler 9 mm genişliğinde 2,5 mm yüksekliğinde ve 60 mm uzunluğunda hazırlanmış, deney sırasında mesnet aralığı 20mm olarak alınmıştır. Hem PP'de hem de PA6 da fiber oranına bağlı olarak eğme mukavemetinde büyük artışlar yaşandığı görülmüştür. Fiber katkısı olmayan PP'nin eğme mukavmeti 44 MPa iken %10 fiber katkılı PP'in 67 MPa, %20 fiber katkılı PP'in 70 MPa ve %30 fiber katkılı PP'in ise 93 MPa olduğu görülmüştür. Şekil 5.6 da fiber oranına bağlı olarak eğme mukavemetindeki artış görülmektedir. Çekme mukavemetinde olduğu gibi fiber oranına bağlı olarak mekanik özelliklerin genelinde olumlu değişim gözlenmiştir. Matriks tarafından fibere iletilen yük fiberler tarafından sönmölenmiştir. Dolayısıyla fiber oranı arttıkça kompozitin eğme mukavemeti artmıştır.



Şekil 5.6: Artan fiber oranına bağlı olarak PP'in eğme mukavemetindeki değişim

PA6 da da benzer davranış görülmüştür. Fiber oranı arttıkça malzemenin eğme mukavemetinde büyük artış gözlenmiştir. Fiber katkısı olmayan PA6 nın eğme mukavemeti 95 MPa iken, %10 fiber ilavesi yapılan PA6 nın eğme mukavemeti 105 MPa, %20 fiber katkılı PA6 115 MPa ve %30 fiber katkılı PA6 ise 143 MPa olarak görülmüştür. Şekil 5.7 de artan fiber oranına bağlı olarak eğme mukavemetindeki artış görülmektedir.



Şekil 5.7: Artan fiber oranına bağlı olarak PA6 nın eğme mukavemetindeki artış

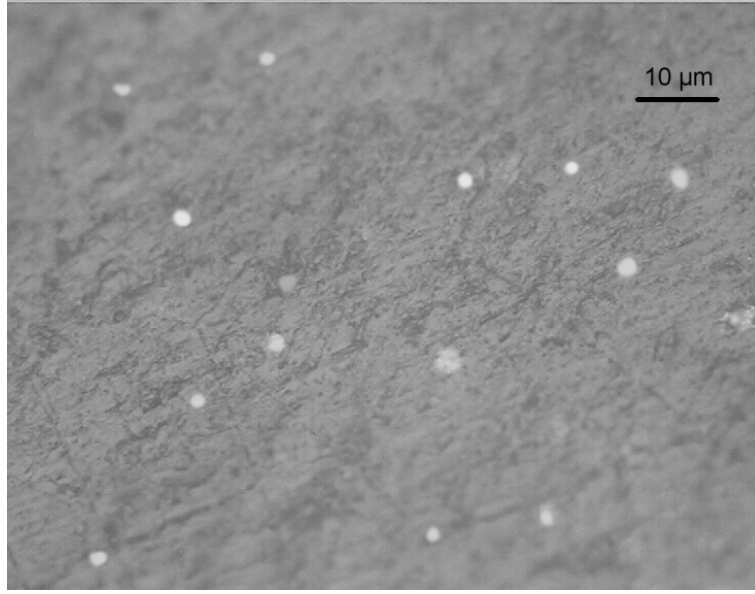
5.6 Mikro İnceleme

Mikro inceleme için, numuneler gerekli metalografik işlemlerden geçirilmiştir; 400'lük zımpara ile yüzeyi aşındırılan numuneler, daha sonra parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Dağlama işleminde ise her iki malzeme için farklı dağlayıcılar kullanılmıştır. PA numuneler Ksilen sıvısı ile 70 °C'de 60 sn. boyunca dağlanırken, PP numuneler HNO₃ (nitrik asit) ile 70 °C de 120 sn. boyunca dağlanmıştır (Geçkinli, 1989).

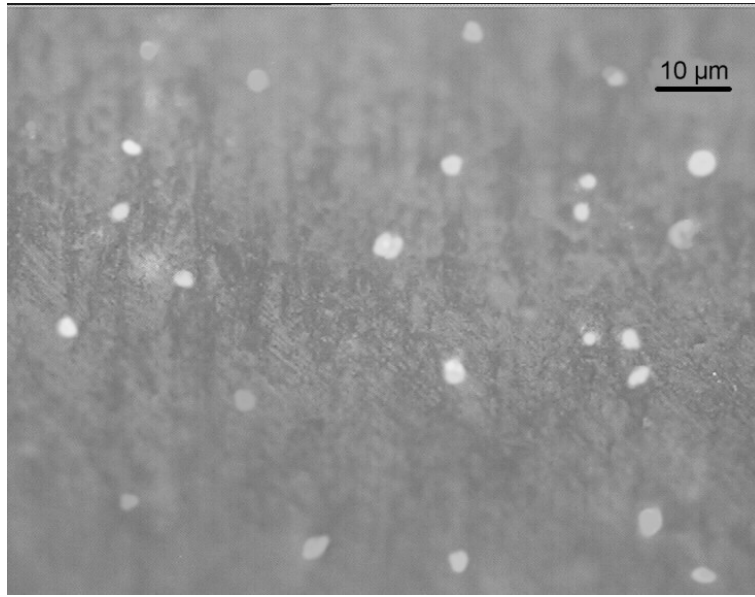
Ön hazırlıkları tamamlanan numuneler, optik mikroskopta 400 büyütmede incelenmiş ve fiber dağılımları tespit edilmiştir. Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11 de sırasıyla %0, % 10, % 20 ve % 30 fiber takviyeli PP'in 400 büyütmede ki mikroskop görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 5.8: Fiber katkısı olmayan PP numunenin 400 büyütmedeki mikroyapısı

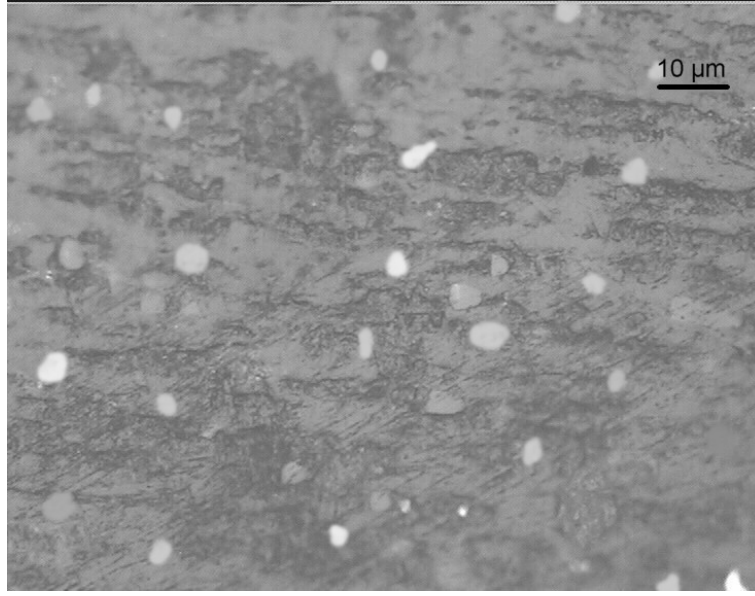


Şekil 5.9: %10 cam fiber takviyeli PP'in 400 büyütmedeki mikroyapısı



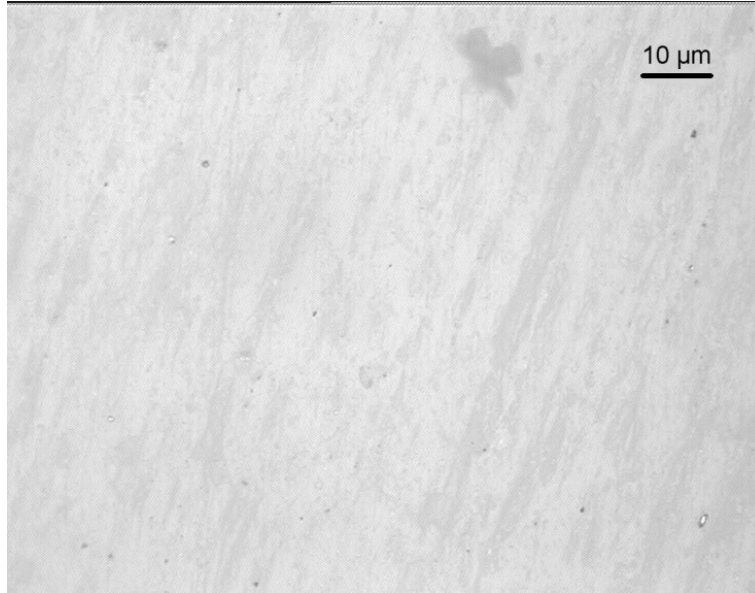
Şekil 5.10: %20 cam fiber takviyeli PP'nin 400 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.10 ve Şekil 5.9 incelenirse, % 20 fiber takviyeli kompozitin içindeki fiber miktarı %10 fiber takviyeli kompozitten daha fazladır. Fiberlerin malzeme içinde homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Enjeksiyon sırasındaki akış nedeniyle kısa fiberler akış yönüne doğru yönelmiş olduğundan sadece kesitlerini görmek mümkün olmuştur. Şekil 5.11 deki % 30 fiber takviyeli PP'nin fiber miktarının diğer iki numuneye göre daha fazla olduğu görülmüştür.

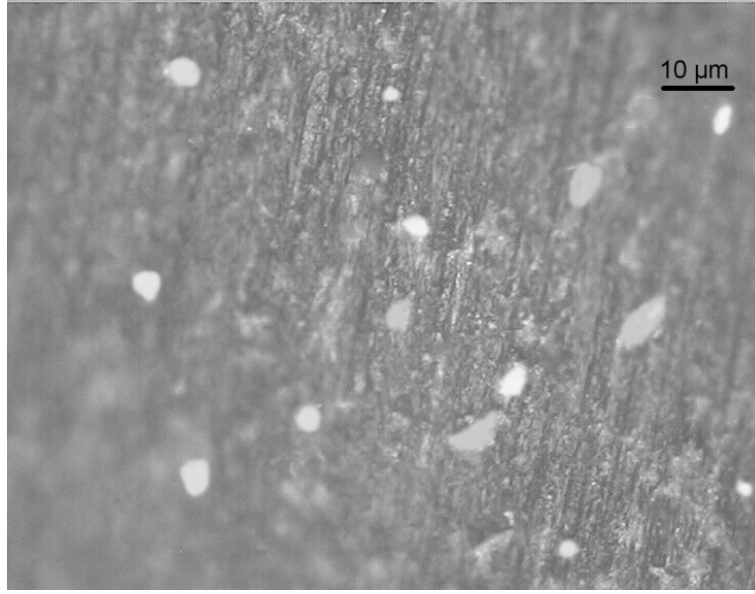


Şekil 5.11: %30 cam fiber takviyeli PP'in 400 büyütmedeki mikroyapısı

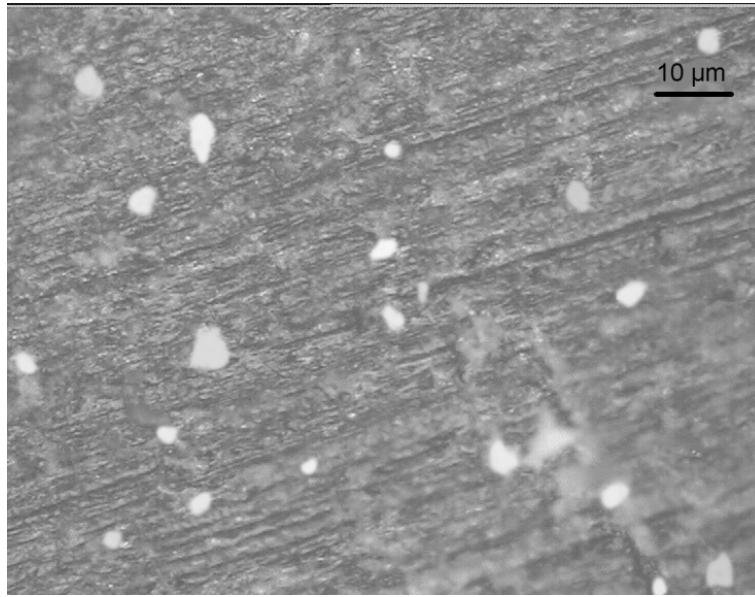
Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15 de ise sırasıyla % 0, % 10, % 20 ve %30 cam fiber takviyeli PA6 numunelerin 400 büyütmedeki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.12: Fiber katkısı olmayan PA6 numunenin 400 büyütmedeki mikroyapısı

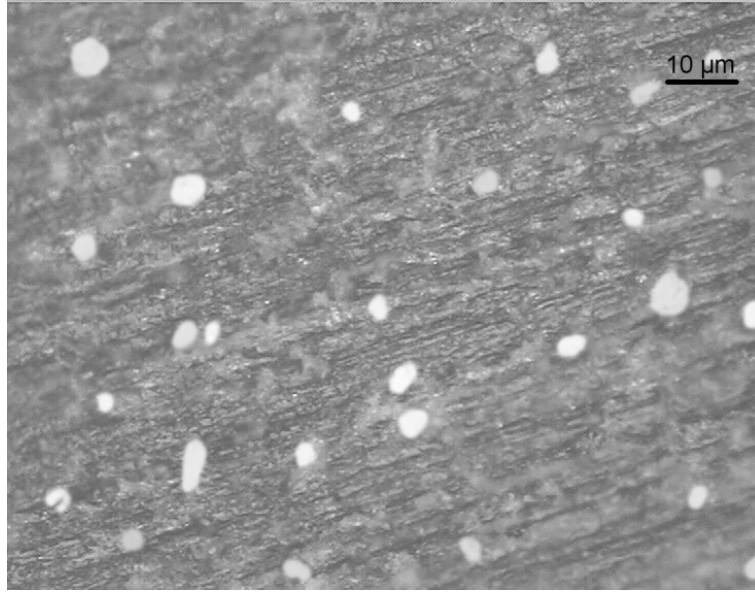


Şekil 5.13: %10 cam fiber takviyeli PA6 numunenin 400 büyütmedeki mikroyapısı



Şekil 5.14: % 20 cam fiber takviyeli PA6 numunenin 400 büyütmedeki mikroyapısı

Mikro inceleme için gerekli numuneler, enjeksiyon yönüne dik kesitler olarak alındığı için fiberlerin kesitini görmek mümkün olmuştur. Bu görüntülerden anlaşıldığı üzere, fiberlerde enjeksiyon yönüne doğru bir yönlenme olmuştur. Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15 de artan fiber oranına bağlı olarak kompozit malzeme içindeki fiberlerin dağılımları görülmektedir.



Şekil 5.15: % 30 cam fiber takviyeli PA6 numunenin 400 büyütmedeki mikroyapısı

PA ve PP esaslı kompozit malzemelerin mikroyapılarının incelenmesi sonucu elde edilen sonuçlara göre;

- Plastik enjeksiyon makinası ile üretilen PA ve PP esaslı kompozit malzemelerin bünyelerinde bulunan fiberler homojen olarak dağılmışlardır.
- Matriks – fiber arayüzeylerindeki arayüzey bağları optimum olarak görülmektedir.
- Arayüzey bağlatılarının optimum değerlerde olması kompozitin içinde olabilecek çatlak ve boşluk gibi hataların oluşmasını engellemiştir.

6. SONUÇ

Günümüzde uzay, uçak, savunma, otomotiv, tıp ve inşaat gibi sanayi dallarında büyük yeniliklere yol açan kompozit malzemelere olan ilgi gelecekte artarak devam edecektir. Kompozitler içinde, mekanik özellikler, korozyon direnci ve mükemmel mukavemet/yoğunluk oranı ile polimer esaslı kompozitlere daha çok ağırlık verilecektir. Bu amaçla hem daha güçlü ve sağlam elyaflar, hem de daha yüksek ısı dayanımlı, çatlak oluşturmeyen, darbe dayanımı yüksek ve sert polimer matrisler üzerinde çalışmalar dünyada ve ülkemizde devam etmektedir.

Bu çalışma, üretimi zor ve pahalı olan kompozit malzemelerin plastik enjeksiyon makinası ile kolay ve daha ucuz bir şekilde üretilebileceğini göstermiş, aynı zamanda geleneksel yöntemler ile üretilen plastik esaslı kompozitlerde istenilen oranlarda fiber katkısı yapılabileceği de tespit edilmiştir. Ayrıca cam fiber, PP ve PA6 termoplastik matriks malzemelerinin oluşturduğu kompozit yapılar incelenmiş, ve enjeksiyonla kalıplama yönteminin teknik detayları üzerinde durulmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre, hızlı ve ucuz olarak üretilen bu kompozit malzemelerin, artan fiber oranları ile mukavemetlerindeki artış optimum değerlerde bulunmuştur. Yarı otomatik üretim sayesinde ve optimum şartların sağlanmasıyla birlikte matriks – fiber arayüzeylerinin iyi bir bağlatı sergilemiş olmaları, mukavemet değerlerine oldukça büyük katkı sağlamıştır.

Bu araştırmanın deneysel çalışmalar kısmında, %0, %10, %20 ve %30 kısa cam fiber takviyeli naylon 6 ve %0, %10, %20 ve %30 kısa cam fiber takviyeli polipropilen matriksli kompozit yapılar enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş ve beklendiği gibi yapılan mekanik deneylerde fiber takviyesinin, matriksin mekanik özelliklerini olumlu ölçüde değiştirdiği görülmüştür. Ayrıca yapılan mikroyapı incelemelerinde, fiberlerin enjeksiyon yönünde matriks içinde homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Prof. Dr. Akbulut H., Kompozit Malzemeler Ders Notları, Sakarya, 2002
2. Budinski Kenneth G., "Engineering Materials Properties and Selection" Prentice Hall, New Jersey, USA, 1996, 119-145
3. Chawla Krisan K., "Composite Materials Science and Engineering" Springer, Alabam, USA, 1998, 133-163
4. Doç. Dr. Akkurt S., "Plastik Malzeme Bilgisi", Birsen Yayınevi, İTÜ Makine Fakültesi, İstanbul, 1991, 53-70
5. Dr. Erdem M. S. "Uçak Motorları ve Elektrojen Gruplarındaki Gaz Türbini Teknolojisindeki İlerlemeler, Malzeme, Yüzey Teknolojileri ve İmalat Süreçlerindeki Gelişmeler", TEI-TUSAŞ Motor San. AŞ., Eskişehir, 2000
6. Funga K.L., Xinga X.S., Li R.K.Y., Tjonga S.C., Mai Y.W., "An investigation on the processing of sisal fibre reinforced polypropylen composites", Department of Physics and Materils Science, City University of Hong Kong, Hong Kong, 2003
7. Prof. Dr. Geçkinli A. E., "Metalografi", ITU Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji Bölümü, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, 1989, 232-233
8. Powell Peter C., Houzs A Jan Ingen, "Engineering with Polymers" Stanley Thornes Ltd., Twente, Holland, 1998, 46-75
9. Rana A. K., Mandal A., "Short Fiber Reinforced Polypropolen Composites", India, 2002
10. Schwartz Mel M., "Composite Material Handbook" McGraw-Hill Inc, USA, 1994
11. Smallman R. E., Bishop R. J. "Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering" Butterworth Heinemann, 1999, Oxford, UK, 350-369
12. SPS, "JW Plastik Enjeksiyon Makinaları", ürün kataloğu, İstanbul, Türkiye, 2000
13. Temel E., "Havacılık Endüstrisinde Kullanılan Kompozit Malzemeler ve Üretim Teknikleri", YTÜ Bitirme Tezi, 2003
14. Teklamid, Polyamid, "Polyone Engineered Materials Europe" Tekno Polimer Mühendislik Plastikleri San. Ve Tic. AŞ. ürün kataloğu, İstanbul, Türkiye, 2004
15. Teknoplen, Polypropylen, "Polyone Engineered Materials Europe" Tekno Polimer Mühendislik Plastikleri San. Ve Tic. AŞ. ürün kataloğu, İstanbul, Türkiye, 2004
16. Thomason J.L. "The Influence of Fibre Lenght and Concentration on the Properties of Glass Fibre Reinforced Polypropylen, Injection Moulded Long and Short Fibre PP", Battice, Belgium, 2002
17. Türk Standartları Enstitüsü, "TS 1149-1 EN ISO 249-1" Nisan 2002
18. Türk Standartları Enstitüsü, "TS 1149-2 EN ISO 249-1" Nisan 2002

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 19.01.1981

Doğum yeri İstanbul

Lise 1994-1998 İstanbul İnşaat Anadolu Teknik Lisesi

Lisans 1999-2003 Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fak.
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2004-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Malzeme
Anabilim dalı programı

Çalıştığı kurum(lar)

2003-2005 Alpplas Plastik Ürünleri AŞ., üretimden sorumlu
vardiya mühendisi