

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CAM ELYAF KATKILI DOYMAMIŞ POLYESTER
MALZEMELERDE MİNERAL KATKILARIN MEKANİK
VE TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Gökhan YILMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin ÜNAL

EYLÜL 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CAM ELYAF KATKILI DOYMAMIŞ POLYESTER
MALZEMELERDE MİNERAL KATKILARIN MEKANİK
VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Gökhan YILMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez .../... / 2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

.....
Jüri Başkanı

.....
Jüri Üyesi

.....
Jüri Üyesi

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bana her konuda yardımcı olan danışmanım Sayın Doç. Dr. Hüseyin ÜNAL'a, deneysel çalışmalarda yardımını ve zamanını benden esirgemeyen Federal Elektrik üretim bölümü şefi Sayın Kim. Müh. Volkan SERDAR' a, çalışmam süresince manevi desteklerinden dolayı nişanlım Elek. Müh. Zeynep IŞIK' a ve aileme, çalışma ortamlarını benimle paylaşan ve yardım eden metalurji malzeme mühendisliği laboratuvar çalışanlarına ve federal elektrik yönetimine teşekkürü bir borç bilirim.

Sonsuz şefkatini ve emeğini hiçbir zaman üzerimden eksik etmeyen canımdan çok sevdiğim anneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2006

Mustafa Gökhan YILMAZ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	
------------	--

BÖLÜM 2.

TERMOSET REÇİNELER VE ÇEŞİTLERİ	6
2.1. Kompozitler	6
2.2. Termoset Esaslı Kompozit Malzemeler.....	7
2.2.1. Termoset Reçineler.....	8
2.2.1.1 Epoksi Reçineleri.....	8
2.2.1.2. Vinil Ester Reçineleri.....	10
2.2.1.3. Poliüretanlar.....	11
2.2.1.4. Fenolikler.....	12
2.2.1.5. Poliamid Reçineler.....	13
2.2.1.6. Polyester Reçineler.....	13
2.2.1.7. Genel Amaçlı Polyesterler.....	18
2.2.1.8. Özel Amaçlı Polyesterler.....	20
2.2.1.9. Alev Geciktirici Reçineler.....	21
2.2.1.10. Stiren Buharlaşması Az Olan Reçineler.....	22
2.2.1.11. Düşük Çekmeli Reçineler.....	23

2.2.1.12. Esnek Reçineler.....	23
2.2.1.13. Hazır Kalıplama Bileşimleri İçin Reçineler.....	24
2.2.1.14. Işıkla Sertleşen Reçineler.....	24
2.2.1.15. Döküm Reçineleri.....	24
2.2.1.16. Köpük Polyester Reçineler.....	23
2.2.1.17. Seyrelticiler.....	25
2.2.1.18. Melamin Ve Ürefoaldehyit Reçineleri	26
2.2.1.19. Silikon Reçineler.....	26
2.3. Plastiklerin Biçimlendirilmesi.....	27
2.3.1. Kompozit Kalıplama.....	27
2.3.2. Yüksek Hacimli Presler.....	28
2.3.3. SMC Hazır Kalıplama Biçimleri	29
2.3.4. SMC Hazır Kalıplama Bileşimi Üretimi.....	29
2.3.5. SMC Kıvamının Ayarlanması.....	30
2.3.6. SMC'nin Kalıplanması.....	32
2.3.7. SMC Kalıplama Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları ...	34
2.3.8. SMC'den gelecekteki beklentiler.....	34
2.3.9. Kalıplama.....	34
2.4. Diğer şekillendirme biçimleri.....	35
2.4.1. Ekstrüzyon.....	35
2.4.2. Şişirme - film çekme.....	35
2.4.3. Kalıpsız ekstrüzyon.....	35
2.4.4. Basıncılı ısı ile biçimlendirme.....	35

BÖLÜM 3.

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER KOMPOZİTLER	36
3.1. CTP'nin Avantajları.....	38
3.2. CTP Üretiminde Kullanılan Malzemeler.....	38
3.2.1. Polyester reçineler.....	38
3.2.2. Katalist Sistemler (Katalizörler).....	40
3.2.3. Hızlandırıcılar (Promotörler).....	40
3.2.4. Takviye malzemeleri.....	41

3.2.4.1. Cam elyaf takviyeler.....	42
3.2.4.2. Devamlı fitil.....	42
3.2.4.3. Kırpılmış demet.....	42
3.2.4.4. Keçe.....	42
3.2.4.5. Cam dokuma.....	42
3.2.5. Dolgu Maddeleri.....	43
3.2.6. Kalıp ayırıcılar.....	46
3.2.6.1. Vaks kalıp ayırıcılar.....	46
3.2.6.2. Silikon kalıp ayırıcılar	46
3.2.6.3. Diğer başlıca kalıp ayırıcılar.....	46
3.2.7. Boyalar.....	47
3.3. CTP Presli Kalıplamasında Rastlanan Hatalar.....	47
3.3.1. Gözenekli yüzey.....	47
3.3.2. Yüzeyde kabarcık oluşumu.....	48
3.3.3. Renkli yüzey.....	48
3.3.4. Yüzeyde matlık	49
3.3.5. Kalıplama malzemesinin kalıba yapışması veya sıkışması....	50
3.3.6. Ürünün bükülmüş olması.....	50
3.3.7. Akma Çizgileri.....	51
3.3.8. Çatlak oluşması.....	51
3.3.9. Çökelmeler.....	52
3.4. Hazır Kalıplama Bileşimleri.....	52
BÖLÜM 4.	
HAMUR VEYA HAZIR KALIPLAMA BİÇİMLERİ	53
4.1. BMC'nin işlenmesi.....	54
4.2. Prepreg.....	55
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL YÖNTEM VE YAPILAN DENEYLER	56
5.1. Deneysel Yöntem ve Yapılan Deneyler.....	56
5.2. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Hazırlanması.....	56
5.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	57

5.4. Barcoll Sertlik Testi.....	57
5.5. Üç Nokta Eğme Deneyi.....	60
5.6. Çekme Özelliklerinin Tayini.....	60
5.7. Erosiv Aşınma Deneyi.....	63
5.8. Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi.....	66
5.9. Deneysel Sonuçlar.....	67
5.9.1. Çekme deneyi bulguları.....	67
5.9.2 Eğilme Deneyi Bulguları.....	82
5.9.3 Aşınma deneyi bulguları.....	85
BÖLÜM 6	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
6.1 Sonuçlar.....	91
6.2 Öneriler.....	92
KAYNAKLAR.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	96

SİMGELER

μ	: Partikül boyutu
W	:Yük
S	:Aşınma yolu, kayma yolu [km] [m]
A_r	:Temas alanı
Kl	:Lineer aşınma hızı
Kv	:Volümetrik aşınma hızı
Ky	:Enerjik aşınma hızı
W	:Aşınma hacmi
L	:Uygulanan yük
t	:Test zamanı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. BMC Pres Kalıplama.....	28
Şekil 2.2. SMC Hazır Kalıplama Bileşimi.....	29
Şekil 2.3. SMS Hazır Kalıplama Bileşimi Üretimi.....	30
Şekil 2.4. Basınçlı kalıplamada kullanılan değişik kalıp türleri	34
Şekil 5.1. Barcoll sertlik ölçme cihazı.....	59
Şekil 5.2. ASTM Standardına Göre Eğme deneyi numunesi.....	59
Şekil 5.3. Pres baskı makinesi.....	60
Şekil 5.4. Üniversal tip üç nokta eğme ve çekme deneyi cihazının görüntüsü...	62
Şekil 5.5. Çekme deney numunesi.....	62
Şekil 5.6 Aşınma deney düzeneğinin görüntüsü.....	62
Şekil 5.7. Erosive aşınmaya maruz kalan polyester/CaCO ₃ kompozit malzemenin aşınma yüzey görüntüsü.....	64
Şekil 5.8. BMC kompozit malzemenin CaCO ₃ oranı-çekme-mukavemeti-elastiklik modülü ilişkisi.....	68
Şekil 5.9. BMC kompozit malzemelere ilave edilen CaCO ₃ oranı-% uzama ilişkisi	68
Şekil 5.10. %50 CaCO ₃ içeren BMC kompozit malzemenin partikül boyutu-çekme mukavemeti –Elastik modülü ilişkisi.....	69
Şekil 5.11. 1 µm partikül boyutlu polyester esaslı kompozit malzemenin çekme deneyi sonrası elde edilen kırık yüzey SEM görüntüsü.....	70
Şekil 5.12. 3 µm partikül boyutlu polyester esaslı kompozit malzemenin çekme deneyi sonrası elde edilen kırık yüzey SEM görüntüsü.....	71
Şekil 5.13. 10 µm partikül boyutlu polyester esaslı kompozit malzemenin çekme deneyi sonrası elde edilen kırık yüzey SEM görüntüsü.....	72
Şekil 5.17. BMC kompozit malzemelerin % mermer tozu -çekme mukavemeti-elastiklik modülü ilişkisi.....	74

Şekil 5.18. BMC kompozit malzemenin mermer tozu - % uzama – sertlik ilişkisi.....	74
Şekil 5.19.BMC kompozit malzemedede çekme mukavemeti - % cam elyaf oranı ilişkisi.....	75
Şekil 5.20.BMC kompozit malzemelerde % cam elyaf oranı-çekme mukavemeti-sertlik ilişkisi.....	76
Şekil 5.21.BMC kompozit malzemenin çekme mukavemeti - %uzama - % cam elyaf oranı ilişkisi.....	76
Şekil 5.22 Doymamış polyester/atık mermer tozu kompozit malzemelerde mermer tozu oranı-sertlik ilişkisi	77
Şekil 5.23. Doymamış polyester/CaCO ₃ kompozit malzemelerde CaCO ₃ oranı-sertlik ilişkisi	77
Şekil 5.24. Doymamış polyester/CaCO ₃ kompozit malzemelerde CaCO ₃ partikül boyutu - Sertlik ilişkisi	78
Şekil 5.25 %40 Mermer tozu katkılı BMC kompozit malzemenin çekmedeki kırık yüzey görüntüsü.....	79
Şekil 5.26. %45 oranında mermer tozu katkılı BMC kompozit malzemenin çekmedeki kırık yüzey görüntüsü mermer numunesi.....	80
Şekil 5.27. %50 mermer tozu katkılı BMC kompozit malzemenin çekmedeki kırık yüzey görüntüsü Mermer numunesi.....	81
Şekil 5.28.Doymamış polyester/cam elyaf kompozit malzemelerde cam elyaf oranı-Eğilme mukavemeti ilişkisi	82
Şekil.5.29. BMC kompozit malzemelerin CaCO ₃ oranı - eğilme mukavemeti eğmedeki elastiklik modülü	83
Şekil 5.30. %50 CaCO ₃ içeren BMC kompozit malzemenin partikül boyutu-eğilme mukavemeti –eğmedeki elastiklik modülü ilişkisi	83
Şekil 5.31. BMC Kompozit malzemelerin mermer tozu-eğilme mukavemeti-eğmedeki elastiklik modülü ilişkisi	84
Şekil 5.32. Aşınma cihazı şeması.....	85

Şekil 5.33. Silisyum karbür aşındırıcı tane kullanılarak yapılan erosiv aşınma deneyinde mermer tozu katkılı BMC kompozit malzemelerin çarpma açısına göre aşınma oranlarının değişimi.....	87
Şekil 5.34. Alümina aşındırıcı tane kullanılarak yapılan erosiv aşınma deneyinde mermer tozu katkılı BMC kompozit malzemelerin çarpma açısına göre aşınma oranlarının değişimi	87
Şekil 5.35. Alümina ile yapılan yapılan %50 CaCO ₃ katkılı BMC kompozit malzeme partikül boyutuna bağlı olarak çarpma açısı-aşınma oranı ilişkisi.....	88
Şekil 5.36. Silisyum karbür ile yapılan %50 CaCO ₃ katkılı BMC kompozit malzeme partikül boyutuna bağlı olarak çarpma açısı-aşınma oranı ilişkisi.....	88
Şekil 5.37 Erosiv aşınma deneylerinde kullanılan Al ₂ O ₃ ve SiC aşındırıcı tanelerin SEM görüntüleri.....	89
Şekil 5.38. Doymamış polyester/ %50 CaCO ₃ (1 µm) kompozit malzemesine Al ₂ O ₃ aşındırıcı tanelerinin farklı çarpma açılarında çarptırılması sonucunda oluşan aşınma yüzey görüntüsü.....	90
Şekil 5.39. Doymamış polyester/%50 CaCO ₃ (1 µm) kompozit malzemesine alümina aşındırıcı tanelerinin farklı çarpma açılarında çarptırılması sonucunda oluşan aşınma yüzeylerinin genel görüntüsü.....	91

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Farklı polyester türleri karşılaştırılması.....	19
Tablo 2.2 Pigmentli SMS formülasyonu.....	31
Tablo 3.1. Çeşitli cam takviyeli kompozitlerin tipik özellikleri.....	37
Tablo 3.2. Cam elyaf – takviyeli kompozit malzemelerin bazı özellikleri	37
Tablo 3.3. Polyesterin önemli özellikleri	39
Tablo 3.4. Sertleşmiş polyester reçine tipik özellikleri.....	39
Tablo 3.5. Değişik cam elyafların özellikleri	43
Tablo 3.6. Bazı dolgu maddelerinin özellikleri	45
Tablo 4.1. Örnek BMC bileşimi.....	54

ÖZET

Anahtar kelimeler: Polyester, Cam elyaf, BMC, Aşınma Triboloji, Mermer tozu

Bu deneysel çalışmada; değişik oranlarda (%40-%60) CaCO_3 ve cam elyaf doymamış polyestere ilave edilerek kompozit kompozit malzeme üretilmiştir. Daha sonra en iyi mekanik özellikleri sağlayan %50 CaCO_3 katkılı kompozit malzeme baz alınarak değişik partikül boyutlarında (1 μm , 2 μm , 3 μm , 5 μm ve 10 μm) CaCO_3 ilave edilerek kompozit malzeme üretilmiştir. Bu kompozit malzemenin özelliklerine CaCO_3 partikül boyutunun etkisi araştırılmıştır. Ayrıca ; endüstride oldukça fazla ve atık durumda olan mermer tozu doymamış polyestere değişik oranlarda (%40-%50) ilave edilmiş ve elde edilen kompozit malzemenin özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen bulgular sonunda CaCO_3 ve atık durumda olan mermer tozunun polyester malzemeye etkileri karşılaştırılmıştır. Son olarak 1 μm , 2 μm , 3 μm , 5 μm ve 10 μm partikül boyutlu CaCO_3 katkılı kompozit malzemelerle , %40-%50 oranında atık durumda olan mermer tozu katılan kompozit malzemelere erosive aşınma deneyi uygulanmıştır. Deneylerde 15°,30°,45°,60°,75° ve 90°'lik çarpma açısı kullanılmıştır. Deneyler SiC ve Al_2O_3 aşındırıcı tozlar kullanılarak yapılmıştır. Her bir malzemenin aşınma oranları tespit edilerek çarpma açısına göre karşılaştırılmıştır. Kompozit malzemelerin mikoyapı incelemeleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

THE EFFECT OF MINERAL FILLER ON THE MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES ON GLASS FIBER REINFORCED POLYESTER

SUMMARY

Keywords : Wear ,Polyester, Glass fiber, Bulk moulding compound, tribology, marble powder

In this study, when added different proportions of CaCO_3 and glass-fiber unsaturated polyester the composite materials are being produced, later on the best mechanical characteristics that provide 50 %wt. CaCO_3 composite material when taken into consideration. The effect of this particular size on this composite material has been studied in addition to this , the marble powder which is being wasted in the industry has been added to the unsaturated polyester and the effect on composite material characteristics has been studied. As a result, the CaCO_3 and wasted marble powder effect has been compared to polyester materials. Finally different particular size of CaCO_3 (1 μm , 2 μm , 3 μm , 5 μm , 10 μm) filled composite materials and composite materials with marble powder added is used in an erosive wear experiment. Within these studies 15°, 30°, 45°, 60°, 75° and 90° impingement angles have been used .The wearing out of each materials has been compared according to it impingement angles. By using SEM the composite material microstructural studies have been finalized.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Son yıllarda geleneksel malzemelerin yerini hızlı bir şekilde polimer malzemeler almaktadır. Ancak katkısız haldeki polimerlerin, mekanik, kimyasal, termal ve fiziksel özellikleri geleneksel malzemelere göre kötüdür. Bu amaçla, katkısız polimerlere değişik amaçları gerçekleştirmek için cam elyaf ve karbon elyaf gibi mukavemet artırıcı katkıları, kalsiyum karbonat, kaolin, talk, wollastonit, uçucu kül gibi mineral dolgular ve PTFE, karbon, MoS₂ gibi aşınma ve sürtünmeye dirençli katkıları ilave edilerek üstün performanslı polimer esaslı kompozit malzemeler üretilmektedir.

Polimer esaslı kompozit malzeme teknolojisi bugün hızla gelişmektedir ve hemen her gün piyasaya yeni ürünler sunulmaktadır. Artan talep ve üretim doğrultusunda maliyeti düşen kompozit malzemeler klasik endüstriyel malzemelere göre sağladığı pek çok fiziksel ve kimyasal avantajlar sayesinde pek çok branşta ve bilhassa hafif yapıların ve endüstriyel alanlarda kullanılan malzemelerin temel malzemesi olma yolunda, geleceğin malzemesi olmaya adaydırlar. Kompozit ürünlerde dolgu malzemelerinin etkin kullanımı ürün performansını yükseltmekte, üretim maliyetini azaltmaktadır. Kompozit ürünler için gereken birçok özelliği bir arada sağlayabilen dolgu sistemleri mevcuttur. Alevlenme, duman yayma, çekme kontrolü, ağırlık dağılımı ve fiziksel özellikler özel ve yaygın amaçlı kullanımı olan dolguların karışımı olan bir dolgu paketi ile kullanılarak modifiye edilebilir.

Günümüzde, çeşitli ürünlerin üretimi sırasında elde edilen yan ürün veya atıkların değerlendirilmesi üzerinde yoğun olarak çalışılmaktadır. Atıkların, yeni ürünlerin elde edilmesinde veya mevcut ürünlerde katkı maddesi olarak kullanılmalrı düşünülmektedir. Atık malzeme ve yan ürünlerinin değerlendirilmesi, hem çok kısıtlı olan doğal malzemelerin kullanımını azaltarak doğanın tahrip edilmesini önlemekte, hem de malzemelerin atılmak üzere depolanması durumunda çevrede meydana gelecek problemleri en aza indirmektedir. Atık olarak elde edilen çeşitli ürünlerin

depolanması veya doğaya terk edilmesi çok büyük güçlükler yaratmakta, çevre kirliliği dahil topluma çok büyük sorunlar getirmektedir.

Mermerler, kalker (CaCO_3) ve dolomitik kalkerlerin ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ısı ve basınç altında metamorfizmaya uğrayarak tekrar kristallenmesi sonucunda yeni bir yapı kazanmalarıyla meydana gelen taşlardır. Bu genel metamorfizma, oldukça derinlerde şiddetli basınç ve sıcaklık etkisiyle olmaktadır. Mermer potansiyeli bakımından oldukça iyi durumda bulunan ülkemizde mermerlerin çıkarılması ve işlenmesi esnasında oldukça çok miktarlarda kayıplar meydana gelmektedir. Söz konusu kayıplar ülkemizde hemen hemen %50 miktarlara kadar çıkabilmektedir [1,2].

Atık durumda bulunan mermer tozlarının hem ekonomik yönden hem de çevre kirliliği yönünden oldukça önemli etkileri olmaktadır. Ülkemizdeki mermer işleme tesislerinin çokluğu nedeniyle özellikle bu tesislerin yoğunlaştığı bölgelerde çevre ve doğal güzelliği bozan mermer atık sahaların yoğunlaşmasına sebep olmaktadır [3].

Mermerlerin düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi gerekmektedir. Kesme işlemi sonunda mermer tozu ortaya çıkmaktadır. Mermer tozu sulu kesim yapıldığından, başlangıçta ıslak olarak depo edilmekte veya doğrudan araziye bırakılmaktadır. Dolayısıyla çevre kirlenmesi söz konusudur. İnşaatlarda mermer kullanımı her geçen gün artmaktadır. Özellikle çevre korumanın öneminin anlaşılması ile ülkemizdeki bazı taş ocakları kapatılmak zorunda kalmıştır. Bu nedenle belediyeler ve Karayolları dolgu malzemesi bulmakta zorluk çekmektedir. Bu durum mineral esaslı atıkların çeşitli alanlarda dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği konusunda insanlara ilham kaynağı olmuştur.

Hem mermerlerin çıkarılması hem de işlenmesi sırasında atık duruma gelen mermer tozlarının ülke ekonomisine kazandırılması ve çevre kirliliğinin önüne geçilmesi amacıyla çok değişik endüstriyel alanlarda kullanılması mümkün olmaktadır. Son yıllarda mermer tozlarının değişik alanlarda kullanılması için bir takım araştırmalar yapılmıştır [4].

Mermer toz atıklarının asfalt betonunda agrega tozuna alternatif dolgu malzemesi şeklinde kullanılmasını araştırmışlar; özellikle mermer tozunun yaygın olarak bulunduğu bölgelerde taşıma ve kurutma maliyetinin taş tozunun dolgu maliyetini geçmediği durumlarda, asfalt betonu karışımlarında dolgu tozu yerine mermer tozlarının kullanılabilceğini göstermişlerdir [5].

Polyester esaslı kompozit malzeme üretmek için mermer tozların polyester ana matrisinde dolgu şeklinde kullanılması için çalışma yapmış ve üretilen polyester esaslı kompozit malzemenin fiziksel özelliklerine ve yaşlandırmaya mermer dolgu malzemenin etkisini araştırmışlardır [6].

Epoksi ve mermer tozlarından oluşan polimer esaslı kompozit malzemenin yorulma özellikleri üzerine bir çalışma yürütmüşler, epoksi polimer malzemesi ile mermer tozlarının etkileşim bölgelerinde malzemenin deformasyona uğradığını tespit etmişlerdir. Gürü ve arkadaşları [2] doymamış polyester malzemesi ile mermer tozunu kompozit malzeme olarak değişik oranlarda üreterek mermer tozu oranının mekanik özelliklere olan etkisini araştırmıştır. Belirli bir orana kadar mekanik özelliklerde artış gözlerlerken belirli bir orandan sonra dolgu oranının artması ile mekanik özelliklerde azalma tespit etmişlerdir.

Garcia ve arkadaşları [7] mermer tozlarının kimyasal analizlerini yapmışlar ve bünyelerinde % 99 oranında karbonat içeren taneciklerin olduğunu saptamışlardır. Bu tespitlerden yola çıkarak seramik ürünlerinin üretilmesinde mermer atıklarının kullanılabilceğini tespit etmişlerdir. Ayrıca duvar kaplamalarda kullanılan seramik malzeme üretmek amacıyla kalsit ve dolomit içerisine az miktarda mermer tozu ilavesinin de mümkün olabileceğini göstermişlerdir. Ohama [8] beton - polimer kompozit malzeme konusunda son yıllarda yapılan çalışmalarını derleyen bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışmada; mermer tozları ile polyester esaslı kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiş ve elde edilen kompozit malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir [9].

Geleneksel olarak kullanılan kireç, çimento gibi sıva malzemelerinin bir takım kimyasal ve fiziksel değişiklikler karşısında dayanıksızlığını gidermek için mermer tozlarından yararlanılabileceğini göstermişlerdir.

Doymamış polyester ile Al_2O_3 partükülleri ile değişik oranlarda kompozit malzeme üretmiş ve bu malzemelerin aşınma davranışlarını incelemiştir. Yapılan çalışma sonunda Al_2O_3 oranının artması ile aşınma direncinin arttığını tespit etmişlerdir. Ünal ve arkadaşları [11] doymamış polyester kompozit malzeme ile farklı özelliklerdeki mühendislik polimerlerinin aşınma davranışlarını incelemiş ve aşınmaya maruz kalan elektrik kontaklarında polyester esaslı kompozit malzeme ile uyumlu mühendislik polimerini araştırmıştır. Ayrıca daha birçok polimer esaslı kompozit malzemeler [12–14] erosive aşınma deneylerine tabi tutulmuşlardır. Srivastava ve Pawar [12] 150–250 mikron boyutlu silika kumu kullanarak cam elyaf takviyeli ve uçucu kül dolgulu epoksi malzemenin 30° , 45° , 60° ve 90° çarpma açısı ile ve üç farklı çarpma hızı (24 m/s, 35 m/s, 52 m/s) kullanarak erosive aşınma deneyleri gerçekleştirmiştir. Uçucu kül oranının artması ile epoksi esaslı kompozit malzemenin sertliği, çekme mukavemeti ve yoğunluğu azalmaktadır. Kompozit malzeme içerisindeki uçucu kül oranının artması ile erosiv aşınma direnci azalmaktadır. Bunun sebebi ise mineral katkının ve cam elyafların matris malzemeye zayıf bağlanmasından dolayı olduğu ifade edilmiştir. Maksimum aşınma miktarı ise 60° çarpma açısında meydana gelmiştir. Rattan ve Bijwe [13] Karbon takviyeli polieterimid malzemelerin performansları üzerine proses parametrelerinin etkileri ve erosiv aşınma performanslarını incelemiştir. Rattan ve Bijwe diğer bir çalışmada [14] karbon takviyeli polieterimid malzemelerin erosiv aşınma performanslarına çarpma açısına etkisini incelemiştir. Deneyde 15° , 30° , 45° , 60° 75° , ve 90° çarpma açısı ve 26,88 m/s, çarpma hızı kullanılmıştır. Deneylerde 30° çarpma hızında maksimum aşınma olduğu tespit edilmiştir.

Bu deneysel çalışmada; cam elyaf (E-camı) katkılı doymamış polyester esaslı kompozit malzemelerde değişik partikül boyutlu (1–10 μm) $CaCO_3$ ve atık durumunda olan mermer tozu katkıların mekanik ve tribolojik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen maksimum değerlere sahip kompozit numuneler seçilip, onların üzerinde de erosiv aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonunda numunelerin mikroyapı özelliklerini incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

BÖLÜM 2. TERMOSET REÇİNELER VE ÇEŞİTLERİ

2.1. Kompozitler

Kompozitler; termoset veya termoplastik yapıda, tek ya da çok yönde takviye özelliği sağlayacak şekilde, cam elyafı ve/veya diğer takviye malzemelerinden yeterli miktarda (uzunluk ve ağırlıkça) katılmış bir polimer matriksdir. Bütün plastikler kompozit değildir. Günümüzde plastik malzemelerin büyük çoğunluğu saf plastik reçineler kullanılarak kalıplanmaktadır. Oyuncaklar, dekoratif amaçlı ürünler, ev eşyaları ve benzeri birçok plastik son ürün uygulamasında ürünlerin işlevselliği için saf haldeki plastik reçinenin mukavemeti yeterli olmaktadır. Mühendislik termoplastikleri, maliyetleri saf reçinelere göre daha fazla olmakla beraber daha yüksek yük altında deformasyon sıcaklığı (CHDT) gibi üstün performans değerlerini sağlayabilirler. İlave bir mukavemet değerine gerek duyulduğunda, plastikler genel olarak lif haline getirilmiş takviye malzemeleriyle istenilen mukavemet değerini karşılayacak şekilde takviye edilirler. Herhangi bir termoset veya termoplastik reçine takviye edildiği zaman kompozit olarak adlandırılmaktadır."Cam Elyafı Takviyeli Plastikler" (CTP) terimi geçen yıllar içerisinde "Cam Elyafı Takviyeli Polyester" ifadesi ile eş anlamlı hale gelmiştir."Fiberglass Reinforced Plastics" (FRP) veya "Glassfiber Reinforced Plastics" (GRP) şeklindeki ingilizce ifadelerde de bu eş anlamlı kullanım geçerlidir. Bu tezde, "kompozit" kavramını ister termoset, ister termoplastik yapıda olsun; ister elyaf ile ister diğer takviye malzemeleri ile performansı yükseltilmiş olsun tüm takviye edilmiş plastik malzemeleri tanımlamak amacı ile kullanılmıştır. (Uluslararası bir kuruluş olan "SPI Composite Institute" da bu tanımlamayı kabul ve tavsiye etmektedir.)

2.2. Termoset Esaslı Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemelerin metalik malzemelere göre dezavantajları ise metallere kompozit malzemelerin yapıştırılması kimyasal reaksiyonu mümkün değildir ve fırınlanmadan kullanılması mümkün değildir. Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz olarak etkilemektedir. Kompozit malzemeler değişik doğrultularda yönlerde değişik mekanik özellikler gösterirler. Aynı kompozit malzemeler için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir. Kompozit malzemeler kırılğandır. Nem, kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir ve delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya yol açtığından bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez. Kompozit malzemeler pazara veya kendi iş sahanıza yeni ürünlerin tanıtımını kolaylaştıran verimliliği arttıran, sorunlara çözüm getiren değerli ve çok amaçlı, nadir bulunan malzemelerdir. Bununla birlikte yeni veya var olan bir ürüne, kompozit teknolojisini uygulamak ve anlamak konusunda bazı hususları bilmek gerekmektedir. Öğrenilecek yeni kavramlar zor değil, ancak önemlidir. Her yeni malzemedeki olduğu gibi, kompozit malzemelerle de çalışmak için, kompozit malzemelere ilişkin temel bir bilgiye sahip olmamız gerekmektedir. İkinci bölüm içinde reçineler, takviye malzemeleri, dolgu malzemeleri ve katkı malzemelerini kapsayan malzeme teknolojileri üzerinde durulmaktadır. Bu bölümün son kısmında ise, kompozit malzemelerin kalıplama yöntemleri ve son ürünlerin işlevsel gereksinimleri arasındaki karşılıklı ilişkiden ve bunun öneminden söz edilmektedir. Çelik levha, alüminyum kütük veya magnezyum döküm ile yapılan kalıplamalarda ürünün şekillendirilmesi malzemenin temel özelliklerini değiştirmez. Bu durum kompozit malzemeler için mutlak değildir. Kompozit malzemelerin özellikleri ve yapısı ürün şekillendirilirken "ürüne özel" olarak belirlenebilir. Bu yönüyle kompozitler, metallere daha çok "beton"a benzemektedirler. Beton malzeme sistemleri, betonu oluşturan girdilerin karıştırılması, sonraki aşamada katılaşması ve prizlenmesi ile elde edilmektedir. Kompozit malzemeler çok yönlü ürün seçenekleriyle büyük faydalar sağlayan

malzemelerdir. İlk tasarım ve test aşamalarına gereken özen gösterilmezse, uygun proses, malzeme seçimi ve kalite kontrol metotları üretim sırasında doğru kullanılmamışsa, bir takım sorunların yaşanması olasıdır. Ancak bu söylediklerimizle kompozitlerin sağlayacağı faydaları daha verimli bir hale getirebilme garantisini verebilmek, uygulama geliştirme aşamalarının değerlendirilmesi ve malzeme proses tasarımı bilgisine sahip olmayı gerektirir. Kompozit malzemelerin ve prosesin yanlış seçilmesi maliyet/performans dezavantajı sonucunu da doğurabilir.

2.2.1. Termoset Reçineler

Kompozit endüstrisinde kullanılan en yaygın termoset reçineler; doymamış polyesterler, epoksiler, vinilesterler, poliüretanlar ve fenoliklerdir. Bu reçineler arasında, spesifik bir uygulamaya yönelik olarak uygun malzemenin seçimi konusunda kavranması gereken bazı farklılıklar vardır. Termoset reçinelerin çeşitleri ve farklı özellikleri ilerleyen bölümlerde verilmektedir.

2.2.1.1 Epoksi Reçineleri

Epoksi reçineler geniş bir yelpazedeki kompozit parçaların üretiminde en yaygın kullanıma sahip reçinelerden biridir. Farklı performans düzeylerine sahip bir diğer ürün elde etmek için reçinenin yapısı geliştirilebilir. Epoksi reçineler, spesifik performans özellikleri sağlamak üzere değişik şekillerde formüle edilebilirler veya diğer epoksi reçinelerle karıştırılabilirler. Aynı terimler sertleşmiş maddelerin tanımlanmasında da kullanılır. Proses gereklerini yerine getirmek için uygun sertleştirici veya sertleştirici sistemi seçilerek sertleşme hızları kontrol altında tutulabilir. Genellikle epoksi reçineler, bir anhidrit veya bir amin sertleştirici eklendiğinde sertleşme reaksiyonuna girer. Her sertleştirici farklı bir sertleşme profili gösterir ve son ürün'e farklı özellikler katar. Tipik sertleşme maddeleri birinci ve ikinci derece aminler, poliaminler ve organik anhidritlerdir. Bu maddeler reçineye stokiometrik oranlarda eklenir ve sertleşme için ısı gerektirir. Kullanılan diğer sertleşme maddeleri arasında bor triflorid kompleksleri gibi katalitik sertleşme maddeleri de bulunur. Bu maddeler katalitik miktarlarda kullanılıp, az bir ısıya veya ısı sertleşmesine ihtiyaç gösterirler. Sertleşme sırasında hiçbir yan ürün meydana gelmez. Sonuçta çıkan sertleşmiş reçine genelde mükemmel kimyasal, mekanik ve

elektrik özellikleri olan sert termoset maddelerdir. Epoksi reçineler öncelikle üstün mekanik özellikleri, korozif sıvılara ve ortamlara dayanımı, üstün elektriksel özellikleri, yüksek ısı derecelerine dayanım veya bu değerlerin bir kombinasyonu olarak yüksek performanslı kompozit ürünlerinin üretimi amacı ile kullanılmaktadır. Epoksi reçineler laminat ve döküm uygulamalarında kaplama, yer döşemesi ve yapıştırıcı olarak kullanılır. Birçok uygulamada doğrudan reçine ile sertleştirici maddenin kullanımı hemen kullanılabilir uygun ürün verir. Diğer uygulamalar için esas formülasyonda işleme, mekanik ve sertleşme özelliklerini geliştirmek için bazı modifikasyonlar yapmak gerekebilir. Bu modifikasyonlar seyrelticiler, pigmentler, dolgu ve katkı maddeleri, alev geciktiriciler ve hızlandırıcının eklenmesiyle elde edilir. Epoksi reçineler genellikle üstün performanslı fakat daha yüksek maliyetteki reçine sistemlerinin kullanımını öngören kritik uygulamalarda tercih edilmektedir. Epoksi reçineler denizcilik, otomotiv, elektrik/eloktronik ve diğer çeşitli sektörlerdeki kompozit parçaların üretiminde performans faktörünün maliyet faktöründen daha önemli olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır. Ancak, epoksi reçinenin vizkozitesinin çoğu polyester reçineninkinden yüksek olması ve üstün mekanik özellikler elde etmek için post kür gerektirmesi nedeniyle epoksilerin kullanımı zordur. Epoksi reçinelerin diğer polyesterlere göre sağladığı yararların başında sertleşme sırasındaki düşük çekme özelliği gelir. Bu genelde %1-2'dir. Fakat dolgu maddeleri ile sifıra indirilebilir. Epoksi reçineler, epoksi ekivalant ağırlıkları veya epoksi moleküler kütleyle (EMM) sınıflandırılır. Bu bir epoksi grubunu ihtiva eden reçinenin gram cinsinden ekivalant ağırlığıdır. Alternatif olarak bu epoksi miktar olarak belirtilebilir. Her kilogram başına reçinenin ekivalant sayısı olarak. Epoksi ekivalantı veya 500 EMM aynı olup, 2.0 epoksi miktarına tekabül eder. Epoksi ekivalantı reçinenin uygun solventle direkt titrasyonu ile elde edilir. Bu titrasyon uygun solventle hidrobromik asid veya perklorik asidle yapıp, indikatör olarak da kristal metil viyolet kullanılır. Laminat uygulamaları için kullanılan reçineler iki sınıfa ayrılır;

- a) Sıvı reçineler-ıslak yatırma ve yan uygulamalarda kullanılır.
- b) Düşük molekül ağırlıklı katı reçineler-"prepreg" yapımında solüsyon olarak kullanılır.

Modifiye edilmemiş bisfenol A reçineleri (bisfenol A'nın diglisidil eteri-DGEBA) genellikle ıslak yatırma sistemlerinde ısıyla sertleştirmek için kullanılır. Bunlar aminle sertleştirildiklerinde, diamindi-fenilmetan (DDM) gibi, 150°C'nin üstünde ısı defleksiyonu ısıyla mükemmel mekanik ve elektriksel özelliklere sahip olurlar. Kimyasal dayanımları da çok iyidir. Uygulamalarda bazik reçinenin viskozitesi çok yüksek olduğundan viskoziteyi düşürmek için seyreltici eklenir. Bu ayrıca sertleşme ısını etkileyip, sistemin akışkanlığını artırır. Isıyla sertleşen epoksi reçine sistemlerinin çoğunun ısı defleksiyon derecesi 50°C'nin üstündedir. Bu ısı, "post cure" de yükseltilebilir derece ile artırılır. Genelde laminat uygulanırken yapılırlar. Elektrik laminatları için kullanılan reçineler kullanılan tekniğe (ıslak yatırma, prepreg tekniği) göre sıvı veya katı haldedir. "Prepreg" üretimi için sıvı reçine, EMM 190-250 veya düşük molekül ağırlıklı katı reçine, EMM 450-900 kullanılır. Bunlar prepreglere yapışkan olmayan yüzeyler sağlar. Alev geciktirici laminatlar, genelde bromlu reçineden hazırlanır. Epoksi reçineler cam, karbon ve aramid olmak üzere çeşitli elyaf takviye malzemeleriyle birlikte kullanılmaktadırlar. Bor, tungsten, çelik, bor karbür, silikon karbür, grafit ve kuartz gibi özel takviye malzemeleri için matriks reçine olarak da kullanılmaktadır. Bu son grup küçük ölçeklidir. Nispeten yüksek maliyetlidir. Genellikle yüksek mukavemet ve/veya yüksek sertlik gereksinimlerini karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Epoksi reçineler özellikle "vakum torba", otoklav, basınçlı torba, pres, elyaf sarma ve el yatırması gibi kompozit üretim tekniklerinde kullanımda elverişlidir. Epoksi Reçineler altı sınıfa ayrılır. Bisfenol A bazlı reçineler, glisidil esterler, glisidil aminler, novolaklar, bromlu reçineler, sikloalifatik ve diğer reçineler.

2.2.1.2. Vinil ester reçineleri

Vinil ester reçineler, epoksi reçinelerin avansları ile doymamış polyester reçinelere özgü kolay işleme/hızlı sertleşme" gibi özellikleri birleştirmek üzere geliştirilmiştir. Epoksi reçine ve akrilik ya da meta akrilik asidin reaksiyona sokulması sonucu elde edilmektedirler, bu reaksiyon, maleik anhidrit kullanıldığında polyester reçinelerde olduğu gibi doymamış bir uç üzerinde meydana gelmektedir. Polyester reçinede olduğu gibi benzer bir sıvı elde etmek için üretilen polimer, stiren içinde çözülür. Vinil esterler polyester reçinelerle kullanılan geleneksel organik peroksitlerle de sertleştirilebilir. Vinil esterler mekanik dayanım ve mükemmel korozyon dayanımı

sağlarlar. Bu üstün özellikleri sayesinde epoksi reçinelerdeki gibi karmaşık proses veya özel kullanım becerisi gerektirmezler.

2.2.1.3. Poliüretanlar

Poliüretan bir organik diizosiyanat veya poliizosiyanat'ın bir poliol (birden fazla hidroksil içeren bir alkol) ile oluşturduğu ekzotermik i reaksiyon sonucu elde edilen ve çok fazla sayıda özellik içeren, büyük bir polimer ailesidir. Birkaç temel diizosiyanat ve farklı molekül ağırlıklarında farklı fonksiyonellikte bir dizi poliol kullanılarak, bütün poliüretan çeşitleri elde edilmektedir. Poliüretan kimyasının çok yönlülüğü poliüretan kimyagerine, istenilen özelliğe sahip poliüretanı geliştirebilme planağı sağlar. Poliüretanlar çok çeşidi biçimlerde ortaya çıkmakta ve bu çeşitlilik devamlı olarak artmaktadır. Poliüretan malzeme hemen her yerde, günlük hayatımızın çoğu evresinde, belki de başka hiçbir polimerde rastlanamayacak kadar önemli roller üstlenerek karşımıza çıkmaktadır. Diğer bazı plastik malzemelerden farklı poliüretanlar, uygulamacılara son ürünün özelliklerini kontrol etme imkânı vermektedir. Söyle ki; çoğu poliüretan reçineler kalıplanma sırasında reaksiyona sokulur. Reaksiyona girecek poliüretan kimyasalları özel bir makine içinde karıştırılmakta ve polimer genellikle son şekline bu polimerizasyon reaksiyonu sırasında kavuşmaktadır. Kompozit endüstrisinde önemli poliüretanların başında elyaf takviyeli termoset poliüretan (reaction injection molding) malzemeler gelmektedir. Takviyeli RIM (RRIM) malzemeleri birçok otomotiv sektörü uygulamalarında aşağıdaki ihtiyaçları karşılamak için kullanılmaktadır.

- A sınıfı otomotiv yüzey uygulamaları
- Fırın boyama işlemi sırasında yüzey düzgünlüğünü koruma performansı
- Geniş sıcaklık aralıklarında iyi darbe dayanımı
- Standard gövde boyaları ile boyanabilirliği
- Isıl genleşme katsayısı bakımından metal gövde kasaları ile bir arada kullanılma uygunluğu

Takviyeli RIM ayrıca, yüksek darbe dayanımının önemli olduğu uygulamalarda da

kullanılmaktadır.

2.2.1.4. Fenolikler

Fenolikler; çoğunlukla fenol (karbolik asit) ve formaldehit'e dayanan bir reçine topluluğudur. Fenolikler, kondensasyon reaksiyonu sırasında sertleşen termoset reçinelerdir. Bu reaksiyonda, işlem sırasında ortamdan uzaklaştırılması gereken su oluşur. Asidik veya bazik ortamlarda istenen reçine tipine göre, fenol veya kresol, iksilenol ve formaldehid' den hazırlanırlar. Sertleşmeyi gerçekleştirmek için ısıya, laminat ve kalıplamalar için de basınca ihtiyaç vardır. Alkalimli ortamlarda fenol'ün formaldehid'le reaksiyonu sonucunda resol'ler üretilir. Eriyebilir olan bu maddeler, laminat ve kalıplama kompozisyonlarında kullanılır. Sadece ısıtmakla, şebeke yapısı sağlanabilir. Asidik ortamlarda formaldehid'in fenol'le reaksiyon sonucunda novaklar oluşur. Şebeke yapısını etkileyen faktörler, ısı ve heksametilen tetramin'dir. Bu reçineler kalıplama bileşimlerinin hazırlanmasında kullanılır. Fenolik kompozitler ışık ve oksijen'e maruz bırakıldıklarında mekanik bütünlüklerini korudukları halde, renklerinden kaybederler. Dolayısıyla pigmentli uygulamalar kırmızı, kahverengi veya siyah ile sınırlıdır. Oysaki melamin formaldehit ve üre formaldehit açık renklidir. Fenolik kompozitler yüksek sıcaklık dayanımı, yük altında boyutsal stabilite ve ses geçirmezlik Özellikleri, korozyon dayanımı (kimyasal dayanım) ve mükemmel alev dayanımı az duman çıkarma zehirsiz duman özellikleri gibi birçok özgün performans niteliklerine sahiptir. Fenolikler ahşap, fren ve debriyaj balataları, cila ve izolasyon endüstrilerinde yüksek miktarlarda kullanılmaktadır. Fenolik enjeksiyon ve basınçlı hazır kalıplama bileşimleri, otomotiv ve elektrik uygulamalarında kullanılmaktadır. Bunun için, sertleşme sırasında oluşan suyun buhar olarak çıkışını sağlamak amacı ile kalıplama sırasında özel bir işleme gerek duyulur. Uçak endüstrisinde kullanılan fenolik prepregler, reçinenin ileri derecede polimerizasyon reaksiyonu ile hazırlanır, solüsyon içinde çözülür, cam veya karbon takviye malzemesi ile doyurulur, daha sonra solüsyondan arındırılır. Yüksek sıcaklıkta ve basınçta kalıplanır. Bununla beraber, yakın geçmişte geliştirilen düşük vizkositeli, oda sıcaklığında sertleşen fenolikler, daha sık kullanılan teknikler ile işlenirler. Bu teknikler, el yatırması

püskürtme, elyaf sarma, SCRIMP (Seeman Composite Resin Infusion Molding Process) ve pultrüzyondur. Önceleri, pratik olmadığı gerekçesi ile pek kullanılmayan fenolik kompozitler için bu durum yeni uygulamaların kapısını açmıştır.

2.2.1.5. Poliamid reçineler

Organik reçineler arasında en fazla ısıl stabilite polimid reçinelerinde mevcuttur. Diamin ve dianhidrid'in reaksiyonu sonucuna oluşan reçine erimez ve çözünmez özellikle sahiptir. Bu nedenle, poliamik asid' ten üretilen kompozitlerle iki kademeli reaksiyon gereklidir. Bu ara prosesde üretilen polimer dengeli olmadığından, polar çözücü içinde kuru soğuk yerlerde depolanmalıdır. Mükemmel ısı stabilitesi elde etmek için, kalıplama 300°C'de, post cure ise 400°C'de yapılır. Sertleşme esnasında su ortamından uzaklaştırılmalıdır. Aksi takdirde, kalıplama prosesi karmaşık hale gelir. Su emişi yüksek olmasına rağmen, ısı stabilitesi mükemmeldir.

2.2.1.6. Polyester reçineler

Doymamış polyester reçineler kompozit endüstrisinin lokomotif konumunda olup, kullanılan reçinelerin yaklaşık %75'ni temsil ederler. Kavramlarda meydana gelebilecek herhangi bir karışıklığı önlemek için tekstil ve giyim sanayinde de polyester elyafı olarak bilinen bir termoplastik ailesinin bulunduğu da bilinmelidir. Bu reçineler kompozit ve kompozit dışı parçaların enjeksiyon ile kalıplanmasında farklı grade' lerde kullanılmaktadır. Polyesterler, dikarboksilik asitler ve polihidrikj alkollerin (glikoller) kondensasyon polimerizasyonu sonucu oluşurlar. Buna ek olarak, doymamış polyesterler dikarboksilik asit bileşeni olarak maleik anhidrit veya fumarik asit gibi doymamış bir madde içerirler. Ürün olarak alınan polimer, şebeke yapısı oluşturabilmek ve düşük vizkozitede bir sıvı elde edebilmek amacıyla stiren gibi reaktif bir monomer içinde çözülür. Bu reçine sertleştiğinde, monomer polimer üzerindeki doymamış uçlar ile reaksiyona girer ve onu bir katı termoset yapıya çevirir.

Kısaca bakılacak olursa, polyester üretimi için gerekli olan maddeler;

- (i) Bir glikol
- (ii) Bir doymamış dibazik asit

- (iii) Bir doymuş dibazik asit
- (iv) Bir reaktif monomer'dir.

Ancak polyester üretiminde bunlara ek olarak bir madde daha kullanmak gereklidir. Bu madde inhibitördür ve stoklama sırasında polyesterin kendi kendine jelleşmesini önlemek için polyester üretiminden sonra ambalajlama sırasında kullanılır. Bu maddeleri birer birer inceleyebiliriz;

Glikoller; Genel olarak glikol seçimi aranan özelliği sağlayacak en ucuz hammadde olarak yapılır. Glikollerin en basiti etilen glikoldür. Polyester üretiminde kullanılabilir, ancak kristalleşmeye meyil eden bir polyester ürünü verir ve stiren monomerle bağdaşmaz. Bu nedenle ya diğer glikollerle birlikte kullanılır ya da reçine içinde asetil veya propionil grubu bulunması sağlanır.

Doymamış Asitler; Polyester içindeki doymamış asit polyesterin Cross-link yapmasını sağlar. Kullanım oranı ne kadar yüksek ise cross-link derecesi o kadar yükselir. Ayrıca bu oranın artması yük altında deformasyon temperaturü (HDT) nü yükseltir. Ancak çekme dayanımı ve kırılmada uzama miktarında azalmaya neden olur. Bu oran bir de reçinenin reaktivesini etkiler, ne kadar yüksek olursa o kadar reaktif polyester elde edilir. Reaktivite ve sertleşmiş polyester özellikleri doymamış dibazik asit ile doymuş dibazik asiti belirli oranlarda karıştırarak elde edilir. Nitekim bu yöntem tüm polyester üreticilerince kullanılmaktadır.

En çok kullanılan doymamış asit maleik asittir. Genellikle düşük erime noktası nedeniyle anhidrit halinde kullanılır. (e.n,60°C) Bir diğer asit, fümarik asittir. Maleik asitin trans izomeridir. Her ne kadar polimerizasyon sırasında maleik asit belli bir miktarda fümarik asit haline dönüşüyorsa tela doğrudan doğruya fümarik tait ile yapılan polyesterlerin kristalleşme eğilimi gösterdikleri ancak daha yüksek yumuşama noktasına sahip olduğu görülmüştür.

Kloromaleik asit, itakonik asit ve sitrakonik asit gibi diğer doymamış asitler hem pahalıdır, hem de polyester üretiminde yaygın kullanımı yoktur. Ayrıca bu tür asitlerde özellikle itakonik asitte stabilite sorunlarıyla karşılaşmıştır. Keza, kloromaleik asit % 267 klor içermesine rağmen, alev geciktiricilik için bu miktar yeterli değildir. Doymuş Asitler; Dibazik asit veya anhidritler için "doymuş" ifadesi,

peroksit katalistler ile reaksiyona girecek serbest çifte bağ bulunmaması anlamını taşımaktadır. Ancak, molekül içinde aromatik halka bulunabilir. Doymamış polyester üretiminde ortoftalik anhidrit önceleri kristallerime problemlerini gidermek amacı ile kullanılmıştır. Ortoftalik anhidrit (veya diğer izomerleri anhidrit olmadığı için genellikle söylenen adıyla ftalik anhidrit) ile yapılan polyesterler berrak olmakta ve stiren monomeri ile mükemmel bir şekilde bağdaşabilmektedir. Ayrıca, ucuz ve kolay bulunabilir olması da en çok kullanılan anhidrit haline getirmiştir. Yine çok kullanılan bir doymamış asit, izoftalik asittir. Sertleşmiş reçineye su dayanımı sağlar. Kimyasal maddelere karşı dayanım aranan polyester üretiminde kullanılır. Diğer izomer şekli, teraftalik asittir ve polyester üretiminde kullanılır. Diğer iki izomere benzer özellikler arz eder. Alev geciktiricilik özelliğinin polyestere verilebilmesi için klorlu veya bromlu asitler kullanılır. Bunların başlıcaları tetrakloro-ftalik anhidrid ve HET anhidrididir. (Hegzokloro endometilen-tetrahidro ftalik anhidrid veya diğer adıyla, Klorendik anhidrid) yanmazlık konusunda HET anhidrid yüksek klor oranı nedeniyle daha faydalıdır. Polyestelerde esneklik özelliği, doymuş dibazik asiti tamamen veya kısmen bir alifatik dibazik asit ile değiştirme ile sağlanır. Bu asitlere örnek olarak, adipik asit ve sebazik asiti gösterebiliriz. Bu tür esnek reçineler genellikle esneklik sağlamak amacıyla konvansiyonel reçilere katılırlar. Tek başına bu tür reçinelerin kullanımı çok sınırlıdır. Polyester reçinelerin üretiminde kullanılan çeşitli asitler ve glikoller mevcuttur. Yaygın olanlarından bazıları ve kullanım amaçları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Glikoller	Katkıları
Propilen glikol	Suya ve kimyasallara dayanım sağlamak
Etilen glikol	Düşük maliyet, rijitlik sağlamak
Dipropilen glikol	Esneklik, sertlik sağlamak
Dietilen glikol	Esneklik, senlik sağlamak
Neopentil glikol	Ultraviyole ışınlarla, suya ve kimyasallara dayanım sağlamak
Propoksile Bisfenol	Suya ve kimyasallara dayanım sağlamak

Asitler**Katkıları**

Ftalik anhidrit	Düşük maliyet, sürenle uygunluk sağlamak
Maleik anhidrit	Doymamışlık sağlamak
Adipik asit	Esneklik, sertlik sağlamak
İzoftalik asit	Yüksek ısı, eğilme sıcaklığı, suya ve kimyasallara yüksek dayanım sağlamak
Teraftalik asit	Yüksek ısı, eğilme noktası sıcaklığı, suya ve kimyasallara ve kimyasallara yüksek dayanım sağlamak.

Monomerler ; Monomerler iki amaçla kullanılır:

- (i) Reçinenin viskozitesini düşürecek şekilde bir çözücü fonksiyon göstermesi,
- (ii) Polyester zincirlerinin cross-link ile birbirine bağlanmasını sağlaması.

Bu amaçla düşük viskozitesi, düşük fiyatı ve kolay bulunabilirliği nedeniyle en çok kullanılan monomer, stiren'dir. Bir diğer monomer, daha berrak ve ultraviyole stabilitesi aranan reçinelerde kullanılan metil metakrilat ve n-bütül metakrilat'dır. Bu tür reçineler ışık geçirgen levha üretiminde ve çatı ışıklığı üretiminde "E" camı ile aynı kırılma indisine sahip oldukları için kullanılır. Diğer bazı monomerler ve kullanım amaçlarının şöyle sıralayabiliriz; Diallil ftalat, özellikle sıcak pres üretiminde kullanılacak polyesterlerde kullanılır; oda sıcaklığında sertleşme yapmaz. Bünyesinde metil stiren bulunan reçineler hem daha esnek, hem de düşük çekmeli olmaktadır. Bünyesinde dikloro stiren veya dibromo stiren gibi halojinli monomerler bulunan reçineler, belli oranda alev geciktirici özellik gösterirleri ancak bu monomerler çok pahalıdır. Yanmazlık özelliğini en iyi sağlayan monomer, diallil benzen sülfonafdır. Ayrıca polyesterin diğer özelliklerini de etkilemez. Fiyatının çok yüksek olması kullanımını sınırlamaktadır. Isıya dayanıklı polyester üretiminde triallil siyanürat da kullanılabilir.

İnhibitörler; Polyester polimeri monomer içinde çözüldüğü zaman, oda sıcaklığında

katalizör olmaksızın jelleşmeye başlar. Bu sakıncayı gidermek ve polysterlere makul bir ömür kazandırmak amacıyla bir inhibitör katılır. Bu işlem normal koşullarda polikondensasyon reaksiyonundan sonra ve monomer içinde çözülmeden önce yapılır. İnhibitörler genellikle redükleyici kimyasal maddelerdir. Ve serbest radikalleri hidrojen atomu vererek absorblarlar, böylece reçinenin polimerizasyonunu önlerler. Ancak devreye girecek yeni serbest radikaller reçinenin (elleşmesini) başlatabilir. Hızlandırıcısı katılmış bir polysterlere peroksit katalizör katıldığı zaman meydana gelen olay, ilk önce inhibitörün nötrale edilmesidir. Jelleşme süresini geciktirmek için kullanılan bu yöntemle belli bir süre reçinenin aktif olması önlenir. Ancak nötralizasyon tamamlandıktan sonra polimerizasyon başlar. Bazı hallerde oldukça uzun bir jelleşme süresi, ancak kısa bir sertleşme süresi arzu edilebilir. Bu gibi durumlarda ayrıca başka bir inhibitör kullanılması mümkündür. Kullanılan başlıca inhibitörler hidrokinon, t-bütül katekol ve süstitüe benzokinonlardır. Kullanım mertebeleri % 0.01- 0.03'dür. Ancak bu mertebe reçinenin cinsine veya tropikal iklimde kullanılıp kullanılmamasına bağlı olarak değişir. Uygulamada optimum stabiliteyi ve optimum reaktiviteyi sağlayacak miktarda inhibitör kullanılır. Ayrıca inhibitör kullanılması istendiğinde, seyreltik çözeltiler kullanılmalıdır, örneğin %1' lik inhibitör çözeltilisinden %1 oranında katılırsa, %0.01'lik mertebeye ulaşılır ve böyle bir ilave sonucu jelleşme süresi 18 dakikadan 50 dakikaya yükseltilebilir. Polyester reçineler istenilen spesifikasyonların elde edilmesi ve hangi kalıplama yöntemiyle uyumlu olması isteniyorsa ona göre formüle edilirler. Polyesterler çok yönlü oldukları için ve polimer zincirlerinin oluşumu sırasında modifiye edilebilme ve biçimlendirilebilme olanağı sayesinde kompozit endüstrisinin hemen hemen bütün bölümlerinde sınırsız kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir. Bu tür reçinelerin en büyük avantajı mekanik, kimyasal ve elektriksel özellikler, boyutsal stabilite, maliyet ve kullanım kolaylığı gibi özellikleri arasındaki dengeden ileri gelmektedir. Doymamış polyesterler temel yapı taşlarındaki özelliklere göre sınıflara ayrılırlar. Örneğin; Ortoftalik ("orto"), izoftalik ("izo"), disiklopentadiyen ("DCPD") ve bisfenolik (Bisfenol A) reçineler gibi. Buna ek olarak polyester reçineler genel amaçlı ya da özellikli polyesterler adı altında kullanım amacına göre de sınıflandırılırlar.

2.2.1.7. Genel amaçlı polyesterler

Genel amaçlı" terimi belirli bir polyester reçine sınıflaması belirtmez. Onun yerine nispeten düşük maliyetli, yeterli mekanik ve elektrik performansı sunan ürünler ve gayet iyi bilinen proses/imalat karakteristikleri, GA polyesterleri tanımlamaktadır. Hemen hemen bütün ortoftalik ve DCPD reçineleri ile bazı izoftalik reçineler bu GA grubuna girerler. Genellikle GA polyesterler orta ya da düşük vizkoziteli olarak üretilirler ve sadece katalist ve hızlandırıcı eklenmesine gereksinim duyarlar. GA polyesterler, dolgu ve katkı malzemeleriyle birlikte kullanılarak işlenebilir bir reçine sistemini tamamlamaktadır. Yüksek maliyetli, üstün performans beklenmeyen uygulamalar hariç GA polyesterler; tekneler, kamyon parçaları, mobilyalar, küvet ve duş teknelerini kapsayan geniş bir yelpazede açık kalıplama yöntemi ile (el yatırması/püskürtme v.b) üretilen son ürünlerde kullanılmaktadır. Aşağıdaki tablo, polyester reçinelerin farklı çeşitlerini karşılaştırmamıza yardımcı olmaktadır.

Tablo 2.1: Farklı polyester türleri karşılaştırılması

Sertleşmiş Reçine Özellikleri	Polyester türü	Performans özellikleri	Son kullanım alanları
	Hassas Profil	Düzensüz yüzey görünümü	Dış otomotiv parçaları
	Kimyasal dayanım	Mükemmel asit dayanımı	Boru, yardımcı malzemeler
	Alev dayanımı	Alevin çabuk sönməsi / Düşük duman çıkışı	İnşaat levhaları, elektrik ürünleri, dış tekneleri
	Elektriksel	Yüksek dielektrik direnci, yüksek ısı	Elektrik kurulumları, elektrik
	Yük altında deformasyon	Yüksek ısılarında düşük sapma	Pultrüzyon, çubuklar,
	Hava koşullarına ve ışığa dayanım	İyi kararlılık ve UV dayanımı	Işık geçirgen paneller, rrimari parçalar
	Düşük Çekme	Kalın cidarlarda boyutsal stabilite	Karmaşık şekilli parçalar
	Esneklik/Yarı rijitlik	Daha yüksek darbe direnci	Spor ürünleri, hasar görebilecek ürünler
	Genel amaçlı	Düşük maliyet, yeterli performans	Tekneler, koltuklar, genel
	Tiksotropik	Dik yüzeylerde akmayı veya süzülme önler	Tekneler, havuzlar, banyo küveti, dış teknesi
	Hava teması ile kuruma	Oda sıcaklığında sertleşme	Açık kalıp ürünleri, havuzlar,
	Ekolojik	Monomer buharlaşmasını / uçmasını azaltmaktadır.	Tesisat bağlantıları, Tekneler, kamyon ön paneli
	Hızlı sertleşme	Çatlama olmaksızın hızlı sertleşme	Otomotiv, elektrik
	Isı dayanımı	Ürünler sıcakken kalıptan kolayca	Konteynerler, motor/ makine
	Düşük ekzoterm	Kabarcık oluşturmama, sertleşirken düşük ısı çıkışı, kalın cidarlı parça üretimi	Elektronik, balistik ve döküm parçalar
	Uzatılmış raf ömrü	Homojen dağılım	Geniş yüzeyli karmaşık kalıplama
	Düşük viskozite	İyi penetrasyon	RTM parçaları
	Viskozitesi yükseltilebilen	SMC / BMC içindeki kimyasal viskozite artırıcılarla reaksiyona girer	Pres ve enjeksiyon tekniği ile planlanmış parçalar

2.2.1.8. Özel amaçlı polyesterler

Polyesterler, geniş bir yelpazedeki uygulamaların gereklerini karşılamak üzere kimyasal bir proses ile üretilmekte olduğu için, özel amaçlı uygulamalara uygun özel polyester çeşitleri bulunmaktadır. Özel amaçlı polyesterlere örnek şunlardır ;

- Esneklik Kazandıran Polyesterler (Cam Elyaf San. A.Ş CE 511 ürünü)
- Kimyasal Dayanımlı Polyesterler (Cam Elyaf San. A.Ş CE 266 N 12)
- Isı Altında Yük Dirençli Polyesterler (Cam Elyaf San. A.Ş CE 266 N 12 , CE 67 HV 4 ürünleri)
- Alev Geciktirici Polyesterler (Cam Elyaf San. A.Ş CE 501 ürünleri)
- Işık Geçirgen Levha Polyesterleri (Cam Elyaf San. A.Ş CE 53 N 4, CE 55, Ürünleri)
- SMC/BMC için Düşük Çekmeli Hassas Profil Polyesteri

Özel amaçlı polyesterler, genellikle polimerin kimyasal yapısından dolayı yüksek performans değerlerine ulaşmaktadırlar. Dolgu malzemelerinin veya katkıların uygun kullanımı da alev dayanımı, yorulma dayanımı veya kimyasallara karşı dayanıklılık gibi özellikleri arttırabilir. Özel amaçlı polyesterlere ait parametreler, karşılıklı etkileşim içerisindedirler. Kimyasal dayanım gibi bir parametrede meydana gelen artış, ısı dayanımı gibi bir başka parametreyi de arttırabilir. Örneğin, Bisfenol A, daha geniş bir kimyasal dayanım sağlamak ve daha yüksek sıcaklıklara dayanım sağlamak amacı ile CTP üretiminde kullanılmaktadır. Stiren katkılı polyester reçineler kullanım kolaylığı ve sertleşme mekanizması açısından önem taşımaktadır. Sertleşme, polyester içindeki doymamış uç ile stiren monomer arasındaki bir kopolimerizasyon reaksiyonundan ibarettir. Bu reaksiyon polyester zincirlerinin stiren monomer ile bir şebeke bağ yapmasıyla sonuçlanır. Polyester reçinelerin sertleşme mekanizması epoksi, üretan veya fenolik reçinelerin sertleşme mekanizmasından tamamen farklıdır. Çoğu epoksinin ve üretanın katalizör sistemi katıldığı anda vizkositesi yükselmeye başlar ve sertleşme tamamlanana kadar yükselmeye devam eder. Polyester reçineler, önce çok düşük bir vizkosite artışı ve

sıcaklık değışikliği göstererek spesifik bir çalışma süresi (jelleşme süresi) sağlarlar. Jelleşme, ilk baştaki doymamış uçların %5'inden daha azının reaksiyona girmesiyle başlar ve tam sertleşme bundan kısa süre sonra gerçekleşir. Polyester reçineler üzerine daha fazla bilgi edinmek için literatüre veya Cam Elyaf Sanayi A.ř ürün kataloguna başvurabilirsiniz. Polyester üreticileri, spesifik son ürün uygulamalarının ihtiyaçlarına cevap verebilecek, gerekli özelliklere sahip reçineleri sağlamakta istekli ve yetenekli olduklarını kanıtlamışlardır. Bu reçineler, istenilen özellikleri sağlayacak ve prosese uygun olabilecek şekilde formüle edilerek üretilebilirler. Ticari amaçlı üretilen özel amaçlı polyesterlerin bazılarına değinecek olursak;

2.2.1.9. Alev geciktirici reçineler

Yangın ihtimalinin bulunduğu birçok inşaat ve nakliye uygulamaları için alev geciktirici polyester reçineler kullanılmaktadır. Polyester reçinelerin alev geciktiriciliği değışik değerlerde olduğu için bu konuda, ilerdeki bölümlerde değineceğimiz birçok standart ve spesifikasyon geliştirilmiştir.

Alev geciktirici polyester üretimi için değışik maddeler kullanılabilir;

- a) Klorlu veya bromlu bir monomer
- b) Kromlu veya bromlu bir glikol
- c) Klorlu veya bromlu bir asit (Doymuş, doymamış veya karışımı)
- d) Diğer alev geciktirici monomerler

Alev geciktirici özellik katmak için ayrıca, klorlu hidrokarbonlar, trikloro etil fosfat veya brom içeren bileşikler de polyester molekülü içine katılabilir. Bütün bu maddelerin vermiş olduğu alev geciktiricilik özelliği birbirinden farklıdır. Kullanım özelliğine ve aranan yanmazlık derecesine bağlı olarak reçine seçimi yapılmalıdır. Alev geciktiricilik özelliğini yükseltmek amacıyla, holojen içeren polyesterlere antimon trioksit ilave edilebilir. Ancak bu durumda, polyester şeffaflığını kaybeder. Aynı şekilde alüminyum hidroksit ve çinko borat da kullanılabilir. CTP laminatlarda reçine/cam oranı yanıcılığı etkileyen bir faktördür. Cam oranı ne kadar yüksek olursa yanıcılıkta o kadar azalmaktadır.

2.2.1.10. Stiren buharlaşması az olan reçineler

Dünyada birçok ülkede çalışanların sağlığının korunması açısından, atölyelerde stiren buharının belirli sınırlar içerisinde kalması zorunluluğu konmuş bulunmaktadır. Bu sınır genellikle 100 ppm (420 mg/m³) mertebesindedir. Bu sınırlamalar sonucu stiren buharlaşması az olan reçinelere rağbet artmıştır. Böyle bir polyesterin sağlanması üç yoldan mümkündür;

- (i) Daha az uçucu monomerler kullanmak,
- (ii) Polyester içindeki stiren oranını azaltmak,
- (ii) Film oluşturan veya polyesterle bağdaşmayan diğer katkıların kullanılması.

Değişik bir monomer kullanılması gerçekçi bir çözüm olamamaktadır. Çünkü, monomerler içinde en ucuzu stiren'dir ve çoğu monomer buharları en az stiren kadar zararlıdır. Polyester içindeki stiren oranının %42'den %35'e düşürülmesi halinde, buharlaşma oranında büyük bir azalma olduğu, deneyler sonucu görülmüştür. Bu durumda viskozite büyük ölçüde artış göstermektedir. Bu sakıncayı önlemek için polyester molekülleri küçük tutulabilir ancak, böyle bir polyesterin de mekanik özelliklerinde düşüş görülür. Tüm bu avantaj ve dezavantajlar dikkate alınarak optimum bir mertebeye varılmalıdır. Stiren buharlaşmasını önlemek için en çok kullanılan yöntem, reçine içine film oluşturucu bir madde katmaktır. Bu madde reçine ile bağdaşmaz ve sertleşme sırasında dışa atılarak, laminat yüzeyinde film tabakası oluşturur. Böylece stiren buharlaşması önlenmiş olur. Vaks türü katkı maddeleri bu tür bir uygulamada sonuç vermekle birlikte, özellikle kalın laminat uygulamalarında, tabakalar arasında ayırıcı oluşturma tehlikesini de getirmekte ancak bir darbe sonucu tabakaların ayrılmasından sonra bu sakınca belirgin hale gelmektedir. Bu sakıncayı önleyici katkı maddeleri de geliştirilmiştir. Her türlü el yatırması ve püskürtme uygulamalarında havalandırma ihmal edilmemelidir.

2.2.1.11. Düşük çekmeli reçineler

Son 15 yıldan bu yana düşük çekmeli polyesterler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Normal olarak bünyesinde %35 stiren içeren doymamış polyester reçinelerde, % 8'e varan bir çekme görülmektedir. Bu çekme sonucu istenmeyen yüzey bozuklukları görülmektedir. Çekme miktarını azaltmak için stiren yerine vinil toluen veya t-butil stiren kullanılması halinde viskozite yükselmekte ve bazı bağdaşmazlıklar görülmektedir. Çekme sorununu çözümlemek amacıyla, genellikle termoplastik ilavesi kullanılmaktadır. Bu konuda, 39 firmaya ait 116 patentin var olduğunu söylemek, konunun geniş boyutun ve henüz tam çözüme ulaşamamış olduğunu göstermektedir. Düşük çekme konusunda en çok kullanılan ilave maddeler şöyle sıralanabilir; Polivinil asetat Homopolimer ve kopolimerleri, Polikapro laktam selüloz asetat bitirat ve akrilik polimerler. Düşük çekme mekanizması ile ilgili bir teori, termoplastik moleküllerini doymamış polyesterin sertleşmesi sırasında yarattığı boşlukları, küçük kürecikler halinde doldurduğunu ileri sürmektedir. Bir diğer teori, bu boşlukların termoplastik moleküllerin sıcaklıkta genişlemesi sonucu oluştuğunu ve soğuma sırasında boşlukların dolu olarak kaldığını öne sürmektedir. Teori ne olursa olsun, polyester içine katılan bu maddeler, çoğunlukla tam bağdaşma meydana getirmedikleri için, kullanım oranı %10 – 20 mertebesini aşmamaktadır. Ayrıca, renklendirilememe, boya tutmama, yüzeyde boşluklar olması gibi birçok problemleri olan bu tür reçineler oda sıcaklığında çalışmaya uygun değildir; ancak, sıcak pres çalışmalarında kullanılabilir.

2.2.1.12. Esnek reçineler

Esnek reçineler sertleşme süresi tamamlandıktan sonra bile, yumuşak, lastik gibi olan reçinelerdir. Doymuş asit yerine adipik veya sebasik asit gibi, dibazik alifatik asit kullanılarak üretilir. Bu tür reçinelerde kimyasal dayanım büyük ölçüde düşer ve su absorpsiyonu çok miktarda artar. Başlıca kullanım alanı, esnekliği ve darbe dayanımını arttırmak üzere diğer elyaf tipi reçinelere ve döküm tipi reçinelere katılmasıdır.

2.2.1.13. Hazır kalıplama bileşimleri için reçineler

HKB üretimi için değişik tür reçineler kullanılabilir. Önemli olan husus çok miktarda dolgu kabul edebilmesi, bu dolgu miktarına rağmen cam elyafını ıslatabilmesi, katalist ile birlikte uzun süre reaksiyona girmeden kalabilmesi, yüksek ısıda çabuk sertleşebilmesidir. Bu amaçla kullanılan reçinelerde genellikle düşük çekme sağlayan katkı maddeleri bulunur. HKB hamurunun yapılması için her şeyden önce az uçan monomer kullanılmalıdır. Bu monomer genellikle diallil ftalat' dır. Cam elyafı, aseton içinde çözülmüş reçine ile ıslatılır, asetonun uçması beklenir ve hamur elde edilmiş olur.

2.2.1.14. Işıkla sertleşen reçineler

Doymamış polyester içerisine özel bir katalizör katılarak, yalnızca ışık altında sertleşmesi sağlanabilmektedir. Genellikle ışık geçirgen levha üretiminde kullanılan bu tür reçinelere % 0,5 oranını geçmemek kaydıyla pigment de katılabilir. Bu tür reçinelerin avantajları şöyle sıralanabilir,

- (i) Kullanıcı tarafından ayrıca katalizör ilave edilmesi gerekmediğinden, karıştırma ve ölçme hataları olmaz.
- (ii) Reçine fırça üzerinde donmaz, dolayısı ile temizlik kolaydır.
- (iii) Özellikle kuvvetli ışık kaynağına tutulmadıkça sertleşme olmayacağından istenilen yerlere fazladan reçine uygulama olanağını verir.

2.2.1.15. Döküm reçineleri

Polyester reçineler düğme üretiminde büyük ölçüde kullandır. Kabartma desenli düğmeler için silikon kauçuğu veya esnek PVC kalıplar kullanılır. Sonradan işlenecek düğmeler için ise, savurma döküm tekniği ile polyester levha dökülür ve tam sertleşmeden özel kesme bıçaklarıyla kesilir. Döküm için ayrıca şeffaf, renksiz polyesterler kullanılır. Bu amaçla kullardan reçinelerin düşük viskoziteli ve hava kabarcığı bırakmayan türden olması istenir. Döküm parçalar içine küçük süs eşyaları gömülmek istenirse, bu parçaların rutubetsiz olması gereklidir. Aksi takdirde döküm polyester içinde bulanıklık oluşturur. Ayrıca, bu parçaların 5–10 dakika aseton içerisine daldırıldıktan sonra polyester banyosundan geçirilmesi ve ondan sonra gö-

mülmesi tavsiye edilir. Sunî mermerlerin yapımında da döküm tipi polyester kullanılmaktadır.

2.2.1.16. Köpük polyester reçineler

Son zamanlarda geliştirilen bir yöntemle, elde edilen polyester köpük diğer köpük maddelerin gösterdiği özelliklere sahip olmakla birlikte, üretimi diğerleri kadar kolay değildir. Köpük polyester üretim prosesinde, reçine sistemi içine bir özel hızlandırıcı ve organik karbonik asit türevi karılarak karbondioksit çıkışı sağlanır. Katalizör olarak ve sertleşme reaksiyonları ayrı ayrı yürür. Jelleşmeden önce 3 mm. yüksekliğe kadar kontrol edilebilir. Köpürme süresi 30 saniye ile 15 dakika arasında kontrol altında tutulabilir. Açık hücre yapısı sayesinde su buharı geçirgenliği vardır. Dolgu ve cam takviyesi kabul eder. Hafif sandviç panel üretiminde, ısı ve ses izolasyonunda kullanılabilir. Mekanik özellikleri yoğunluğuna ve cam takviyesi oranına bağlı olarak değişmektedir.

2.2.1.17. Seyrelticiler

Seyrelticiler epoksi reçinelere viskoziteyi düşürmek ve işlemeyi kolaylaştırmak için eklenir. Bunlar reçinenin sertleşmiş özelliklerini göre modifiye ederler. Genelde reçineye eklenen seyreltici miktarı ne kadar yüksek olursa viskozite, mekanik özellikler ve kimyasal dayanım o kadar düşük olur. Özelliklerin bozulma düzeyleri seyreltici cinsine göre değişir. Seyrelticilerin M)10-15'e kadar ilave edilmesi sonucunda genellikle çok az bir bozulma görülür. Seyrelticiler iki sınıfa ayrılır;

a) Monoglisidil eterler gibi reaktif seyrelticiler

b) Reaktif olmayan seyrelticiler

Reaktif seyrelticiler daha çok kullanılır. Nedeni, bunların sertleşmiş yapının bir parçası haline gelip, ayrıştırılamamasıdır. Son kullanım ihtiyaçlarına göre reçine üreticileri değişik oranda seyreltilmiş reçineler hazırlarlar. Seyreltici konsantrasyonları % 0-20 aralığındadır.

2.2.1.18. Melamin ve üreformaldehit reçineleri

Bu reçineler, asidik ortamlarda melamin veya ürenin formaldehidle reaksiyonu sonucunda hazırlanır. Melamin-formaldehid reçinenin şebeke yapısını oluşturması için, ısı yeterlidir. Oysa üreformaldehid (U-F) reçinelerinde, asid kataliste ihtiyaç vardır. Üreformaldehid reçineleri, a-selüloz dolgu maddesi ile açık renkli kalıplama bileşimlerinde kullanılır. Bu dolgu maddesi yüksek mukavemet ve kalıplanabilme özelliği sağlar. Düşük frekansta iyi elektrik özellikleri, sertleştiklerinde ise yapışmaya karşı dayanımları mevcuttur. Fenolik reçinelerine göre daha iyi ark dayanımları olup, karbonize olmazlar. Fenolik reçinelere göre, suya karşı dayanımları daha azdır. Sıcak suyla temas ettirilmemelidir. Asitlere veya kuvvetli alkalilere karşı dayanıklı değildir. Üreformaldehid reçineleri ışıklandırmada (ışık dağıtıcısı gibi) kullanılır. A-selüloz kullanıldığında yan şeffaf süt beyaz ürün elde edilir. Takviye maddesi olarak kraft kâğıdı kullanıldığında, dış yüzey dekoratif laminatı (formika çeşidi) olarak kullanılır. Laminatın esasını kraft kâğıdı ile takviye edilmiş fenolik reçine oluşturur. Melamin-formaldehid reçineleri renksiz olup renksiz, yan şeffaf kalıplamalar ve laminatlarda kullanılır. A-selüloz ile doldurulduğunda, kalıplar üreformaldehid reçine ile üretilenlere göre sertlikleri ısı ve kimyasal dayanımları daha fazladır. Düşük su emişleri vardır. Üreformaldehid reçinelerinin tersine, asbest dolgu kullanılarak ısı dayanımı olan kompozitler üretilir. Melamin-formaldehid yüzeyli laminatlar U-F reçineleri ile üretilenlere göre daha sert olduklarından, aşınmayan yüzeyler elde edilmek istendiğinde (masa üstü ve diğer dekoratif uygulamalarda kullanılır). Sıcak suya karşı mükemmel dayanımları olduğundan, mutfak aletlerinde de (tabak-bardak) kullanılır.

2.2.1.19. Silikon reçineler

Silikon reçineleri veya poliorganosilolanların diğer reçinelerden farkı, yapısında karbon yerine inorganik bazlı silikonların olmasıdır. Bunlar zincir yapısına metil (CH₃) ve fenil W gruplarının eklenmesiyle elde edilen siliko (Sio türevleridir. Şebeke yapısı kobalt nartanat, çinko oktonat, trietanolamin veya moifolin gibi ortamda bulunan katalistlerle beraber ısıtılmasıyla elde edilir. Silikon reçineler genelde, toluen veya iksilen gibi solüsyonların içinde bulunur. Cam veya asbestos keçeleri gibi takviyelerle "prepreg"lerin hazırlanmasında kullanılırlar. "Prepreg" hazırlanması, epoksi reçine sistemlerinde kullanılan benzer yapıdadır. Solvent buharlaştıktan sonra "prepreg" katlarına sıcak pres uygulanıp, sertleştirilir. Sertleştirilen silikon

/cam bez laminatların ısısal stabilitesi mevcuttur.

250°C'ye kadar ısıtılmasıyla mekanik ve elektrik özelliklerinde çok az bir değişim olur. Buhar ve kuvvetli alkalilerden etkilenirler. Diğer laminatlarla mukayese edildiğinde, silikon bazlı reçinelerin mekanik mukavemetlerinin daha az olduğu görülür. Bu faktör ve yüksek maliyetinden dolayı, silikon bazlı laminatların kullanımını yaygın değildir.

2.3. Plastiklerin Biçimlendirilmesi

Son yıllarda plastiklere olan yoğun ihtiyaç ve çeşitli kullanım alanlarından dolayı plastikler yüksek teknolojilerle kalıplanabilmektedir. Bunlar sırasıyla;

2.3.1. Kompozit kalıplama

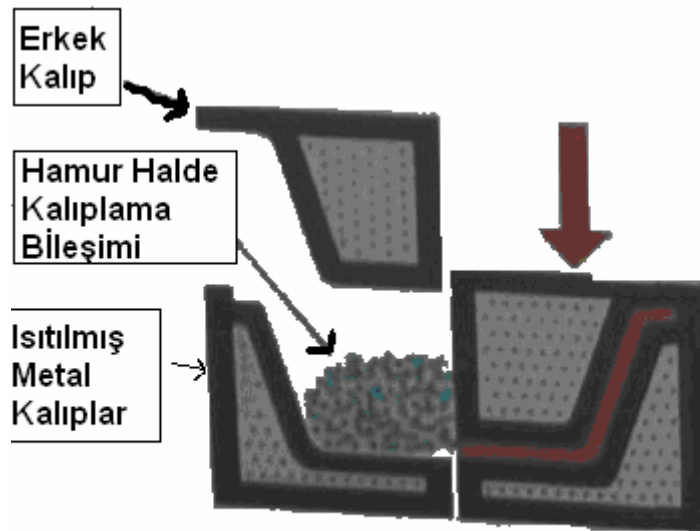
Bölüm 2 boyunca, son ürünün özelliklerine, biçimine uygun olan kompozit malzemelerin seçimi konusu tartışılmıştır. Seçilen kompozit malzeme ile son ürünün fonksiyonelliği ve şekli arasındaki ilişkinin yanı sıra, uygun kalıplama yönteminin seçimi de son ürünü etkilemektedir. Uygulama geliştirmesinde, seçilen malzeme ve üretim yöntemi arasındaki ilişki, kompozitlerin sağladığı avantajları ve elde edilen son ürünün sınırlarını geleneksel malzemelerde olduğundan daha fazla etkilemektedir. Kompozitlerin tasarım avantajlarından birisi de, son ürünün mekanik ve fiziksel gereksinimlerinin karşılanmasında istenilen takviye türünün ve miktarının seçilebilmesidir. Buna rağmen, takviye malzemesi uygulamada kalıplama yönteminin sınırları içerisinde, pratik ya da uygun maliyet açısından optimum şekilde kullanılamıyorsa, uygulamadaki tüm tasarım avantajları kullanılsız veya erişilemez bir boyuttadır. Örneğin, hedeflenen tasarım mukavemetini sağlamak için ağırlıkça %60 kontinü cam elyafı kullanılması gereken yapısal bir parçayı ele alalım. Bu ürün, BMC hazır kalıplama bileşiminde olduğu gibi kırpma ağırlıklı bir yöntemle üretilmeye uygun değildir. Ancak, "Pultruzyon" veya "Elyaf sarma" gibi kontinü elyaf prosesleriyle kolaylıkla üretilebilir. Kompozitlerin üretiminde beklenen çeşitli ihtiyaçtan karşılayabilmek için bir düzineden fazla bağımsız üretim yöntemi ve çok sayıda hibrid prosesi geliştirilmiştir. Bu proseslerin her birinin kompozit üretiminde kullanılacak çeşitli avantajları ve spesifik faydaları bulunmaktadır. Tüm temel proseslerin özelliklerini

anlamak ve düşünülen uygulama alanı için gereken en verimli kompozit üretim yönteminin nasıl seçileceğini bilmek, Kompozitlerin Üretim Yöntemlerine Giriş bölümünün konusunu oluşturmaktadır.

2.3.2. Yüksek hacimli presler ile kalıplama

Pres kalıplama, CTP ürünlerin, yüksek hacimli üretimlerde geldiği son noktadır. Dört adet temel pres kalıplama yöntemi mevcuttur.

- SMC Hazır Kalıplama Bileşimi
- BMC Hazır Kalıplama Bileşimi
- Islak sistemli preform ve keçeleri presleme
- Takviyeli termoplastik levha presleme



Şekil 2.1. BMC Pres Kalıplama

Bu proses ısıtılmış metal kalıplarda, kompozit malzemenin istenilen şekilde, reçine sertleşene kadar 170–200 bar hidrolik basınç altında sıkıştırılması işlemidir. En fazla ticari kullanım alanına sahip SMC sisteminden başlayarak pres kalıplama malzemelerini inceleyelim:

2.3.3. SMC hazır kalıplama biçimleri

SMC takviye malzemeleri (SMC 3), reçine (CE 227, CE 222) dolgu malzemeleri, kimyasal kalınlaştırıcılar, katalizörler, kalıp ayırıcılar ve raf ömrünün uzamasını sağlayan diğer katkıların birleştirildiği, tamamen bütünleştirilmiş, kolaylıkla pestil haline getirilebilen hazır kalıplama bileşimidir. SMC bileşimi, ayrıca pigmentleri ve çekmeyi kontrol eden girdileri de içerebilir. Kavramsal olarak SMC bileşimi, levha halindeki çeliğin kompozit olarak karşılığıdır. (Bir başka deyişle SMC, karmaşık şekilli olarak kalıplanmadan önce bir süre bekletilebilir.) SMC'nin çelikle karşılaştırılmasında önemli olan tek fark, SMC'nin şekillendirilmesinde tek kalıp yeterli olurken, çelikler için takım halinde, bir dizi metal kalıp gerekmektedir. SMC üstün performans özellikleri nedeniyle, yüksek hacimli üretime elverişlidir. Otomotiv, elektrik/elektronik ve ev aletleri sektörlerindeki uygulamalarda ağırlık kazanmaktadır. Şekil 2.2'de hazır kalıplama bileşimiyle ilgili bir bileşim görülmektedir.

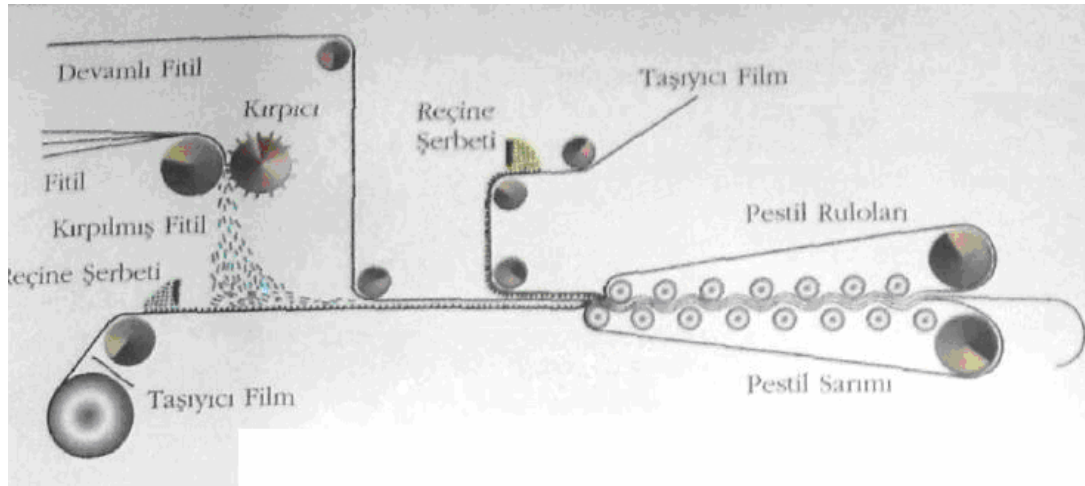


Şekil 2.2. SMC Hazır Kalıplama Bileşimi

2.3.4. SMC hazır kalıplama bileşimi üretimi

Cam elyafı takviyesi dışında sıvı ve toz halindeki tüm SMC girdileri, devamlı veya kesikli olarak, mikserlerde karıştırılır. Elde edilen bileşim genellikle 40.000–100.000 centipoise viskozitede, kıvamlı bir sıvı veya diğer bir deyişle, bir macundur. Bu macun halindeki malzeme, üzerine kırılan belirli miktardaki cam elyafı ile birlikte, üstten ve alttan gelen, genellikle naylon ve polietilen plastik malzemedan yapılmış taşıyıcı filmler tarafından kapatılarak, sandviç yapıda bir bileşim haline gelir. Sandviç yapıdaki bu görünüm, konveyör bana üzerinde ilerleyerek, sıkıştırma ruloları arasından geçirilip pestil haline getirilmektedir, daha sonra pestil halindeki hazır kalıplama bileşimi, uygun uzunluklarda rulo haline getirilip reçinenin uçuculuğunu

Önlemek üzere naylon ambalajda paketlenerek, sıcaklık kontrollü bir ortamda depolanır. Malzeme daha sonra, uygun kalıplama vizkositesine ulaşılan kadar olgunlaştırılır. Şekil 2.3'te SMC hazır kalıplamadaki bileşimlerin üretim aşaması görülmektedir.



Şekil 2.3. SMS Hazır Kalıplama Bileşimi Üretimi

2.3.5. SMC kıvamının ayarlanması

Magnezyum oksit, magnezyum hidroksit gibi SMC formülasyonundaki kimyasal katkılar reçineyi kıvamlı hale getirir. Bu da reçinenin düşük vizkosite değerlerinden çok yüksek vizkosite değerlerine çıkmasını sağlar. SMC bileşimi arzu edilen kalıplama vizkositesi değerlerine ulaştığında, bileşim uygun şekilde kesilir ve tartılır. Kalıplanmak üzere taşıyıcı filmler kaldırılarak, önceden kesim ve tartım işlemleri yapılmış malzeme, hidrolik pres üzerine bağlanmış, uygun sıcaklığa getirilmiş kalıp içine yerleştirilir ve preslenir.

Tablo 2.2 Pigmentli SMS förmülasyonu

Pigmentli SMS Formülasyonu		SMC Formülasyonu
Cam elyafı (SMC 3)		28%
SMC macunu		72%
Toplam		100%
MACUN:	Recine (CE 227)	35.0 %
	Kalsiyum karbonat Dolgu;	59.5%
	Çinko .streat	1.5%
	TBPB	0.5%
	Pigment	2.5 %
	Kalınlarım	1.0%
	Toplam	100.0%

Kullanılan reçine veya takviye türlerine olarak çeşidi SMC tipleri tanımlanmaktadır. Reçine bazlı SMC'ler, soğuk kalıplamayla elde edilen son ürünün çekme özelliklerine göre adlandırılırlar. Bu tip SMC'lerin her biri için çekme oranları da tanımlandığı gibidir. Takviye ürünlerine göre yapılan SMC sınıflaması şöyledir. SMC-R rast gele bir elyaf dağılımı vardır. 1,25 cm. ile istenilen herhangi bir uzunlukta kırılmış lifler, iki boyutlu düzende tesadüfi şekilde sıralanmıştır. SMC çeşitli kesimlerdeki kalıplama parçaları için uygundur. Son ürün özellikleri tüm yönlerde homojendir. Akış yönüne, elyaf oryantasyonuna ve kalıplama sırasında akış mesafesine bağlı olarak özelliklerinde farklılıklar görülebilir. SMC-C tek yönlü bir oryantasyona sahip, sürekli cam elyafından oluşur. Kalıplanmış SMC-C takviye malzemesinin yerleştirildiği yönde yüksek, çapraz yönde de diğer yönler göre düşük mukavemet gösterir. Presleme sırasında akışkanlığı yavaştır. SMC-C-K gelişigüzel kırılmış elyaf ve tek yönlü sürekli lifleri bir araya getirmektedir. Mukavemet önce lifli olarak, sürekli elyafın olduğu yönde yüksektir. Tesadüfi dağılımlı lifler çapraz yönde mukavemet sağlar. Rasgele dizilmiş elyafın ilave edilmesi sınırlı kalıplamaların yapılmasına olanak tanır ve şarj özelliklerinde belirli bir derecede esneklik sağlar. SMC-D' de tek yönlü fakat sürekli olmayan uzun lifler kullanılmaktadır. Bu tür lifler, genellikle 10 cm. ya da 10 cm.'den daha uzundur

ve tek yönlü düzende geniş bir şekilde dağıtılırlar. Takviye malzemelerinin bu şekilde düzenlenmesi, elyaf yönünde daha iyi bir akış sağlar. Ancak SMC-C ile karşılaştırıldığında mukavemette bir azalma görülmektedir. SMC-D, SMC-R ile birleştirilebilir. Elde edilen malzeme genellikle SMC-D-R olarak isimlendirilir.

2.3.6. SMC'nin kalıplanması

SMC hazır kalıplama bileşimi, basınçlı preslere monte edilen ısıtılmış metal kalıplar içinde kalıplanır. Kalıp sıcaklık aralığı 120–170°C arasındadır. Kalıp basma ise 140–170 bar arasında değişir. Kalıplama süresi normal koşullarda parçanın kalınlığı, kalıp sıcaklığı ve kullanılan katalizör miktarına bağlı olarak 1–4 dakika arasındadır. Yüksek kalitede yüzey özellikleri gerektiren otomobil dış gövde panelleri gibi uygulamalarda, genellikle kalıplama süresi içinde, kalıp içinde kaplama (In-Mold Coatings (IMC)) uygulanır. Bu uygulama bütün kalıplama süresini etkileyebilir. Sertleşmeden sonra kalıplanmış parçalar kalıptan çıkartılır, ikincil işlemler son ürün beklentilerine ve parça kompleksine bağlı olarak tercih edilir. Kalıplanmış parçalar delme, bağlama, vidalama gibi ikincil işlemlerden geçirilebilir.

2.3.7. SMC kalıplama yönteminin avantajları ve dezavantajları

SMC hazır kalıplama bileşiminin, çelik, alüminyum ve diğer çinko metal döküm gibi malzemelere göre toplam maliyet/performans getirisinde sağladığı avantajlar, tasarımcılar ve mühendisler tarafından sıkça ifade edilmektedir. Tek bir kalıpta birçok parça birleştirilebilir. SMC ürünler hafiftir ve yüksek sertlik ve dayanım özelliklerine sahiptir. SMC kalıplama, metal kalıplamada gereken birden fazla ekipmanın aksine tek bir ekipman ile işlenemediğinden, genellikle metal kalıplama prosesinden daha ucuzdur. Ayrıca SMC kalıplama ekipmanının yapımı da daha kısa sürede gerçekleşir. Tüm bu avantajların toplamı SMC kompozit ürünlerini özellikle otomobil üretimleri için cazip hale getirmektedir. Günümüzün otomobil pazarlarında firmalar, seri üretim ve daha hızlı tasarım/üretim programları ile otomobil ve kamyon modellerinde ekonomik farklılıklar yaratacak yollar aramaktadır. SMC bu avantajlara bağlı olarak etkileyici bir performans geliştirmektedir.

SMC üretimi ve kalıplanması için gereken sermaye yatırımı metallerle karşılaştırıldığında oldukça düşük olmasına rağmen, diğer kompozit proseslerine göre önemli ölçüde yüksektir. Bu yüzden, SMC parçalarının üretiminin tüm

harcamaların ekonomik seyrine, üretim hacmine, son ürünün ve ikincil işlemlerin maliyetine bağlı olarak yapılması kritik bir noktadır. SMC ürünlerin pazarda geleneksel malzemelerden yapılmış parçaların yerini almaya başlaması nedeniyle, rakip malzemelerin performans ve ekonomik analizlerinin doğru ve kesin bir şekilde yapılması önem kazanmıştır. Yatırım riskleri SMC' ler için oldukça yüksektir. Bu nedenle, rekabeti gerçek değerinin altında görmenin bedeli de yüksek olacaktır.

SMC kalıplama yöntemi öncelikli olarak otomotiv elektrik/elektronik ve yapı sektörlerindeki yüksek hacimli uygulamalarda kullanılmaktadır. Düşük çekmeli ve hassas profilli reçine sistemlerinin 1960'ların sonlarında pazara tanıtılmasıyla, SMC uygulamaları otomobil radyatör panelleri üretiminde ilk örneklerini vermiştir. Bu ön paneller, A sınıfı otomobil gövde panellerinde büyük hacimde hassas profilli SMC'nin ticari kullanımına öncülük etmiştir. Otomobil radyatör panelleri gibi başarılı uygulamalar birçok araba, kamyon gövde panellerinde de SMC kullanımını başlatmış ve SMC uygulamalarının sektörteki kullanımı yaygınlaşmıştır.

Ev aletleri endüstrisinde de SMC uygulamalarına olan talep artmaktadır, örneğin, bir bulaşık makinesi iç kapağının SMC' den üretimi geleneksel olarak çelik kapı tasarımı ile karşılaştırıldığında, tek aşamada kalıplama ile birkaç farklı parçayı bir araya getirmektedir. SMC bulaşık makinesi kapağı uygulaması, SMC' nin kimyasal bir ortama maruz kalan bir üründe göstermiş olduğu üstün performans nedeniyle birçok açıdan kullanılabileceğini, kanıtlamaktadır. Diğer SMC ev aletleri uygulamaları klimalar, buzdolapları, kızartma makineleri, bilgisayar ve büro malzemelerini kapsamaktadır, SMC uygulamaları ayrıca, Japonya ve A.B. bu yapı endüstrisinde, duş tekneleri ve küvet gibi uygulamalarla da kendini göstermektedir. SMC' nin birçok amaçla kullanılması malzeme mühendislerine ve ürün tasarımcılarına, levha halindeki bileşim için özel, büyük hacimli, üstün kalitede ve düşük maliyet getiren performans ve üretim talepleri hazırlayabilme olanağı tanımaktadır.

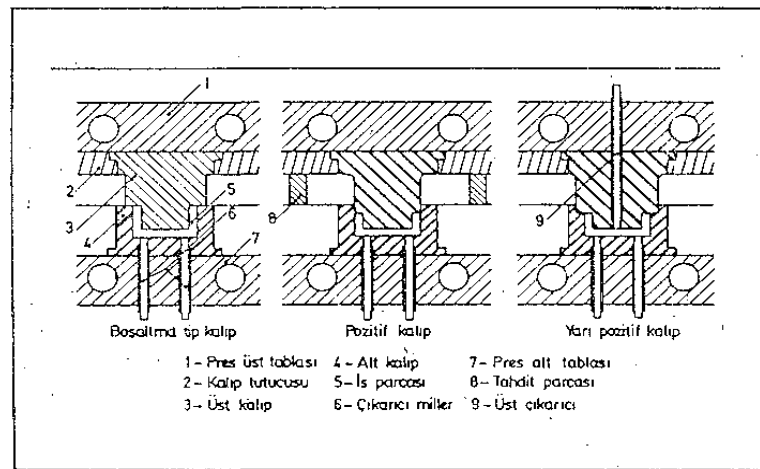
2.3.8. SMS 'den gelecekteki beklentiler

Endüstride yapılan tahminlere göre, başından beri aynı devam eden SMC büyüme potansiyeli 2002 yılı boyunca yılda %2-5 arasındadır. SMC geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında, çok yönlü tasarım imkânları ve maliyet/performans etkisi nedeniyle pazarda kendine yeni uygulama alanları yaratmakta, ayrıca ikame ürün pazarlarından da pay almaya devam edeceği öngörülmektedir. Getirdiği üstün yapısal performans sayesinde SMC uygulamalarının pazarda daha çok kabul göerek, pazar payını önümüzdeki dönemlerde artırması beklenmektedir.

2.3.9. Kalıplama

Plastiklerin kalıplaması direk basınçlı kalıplama, döner kalıplama, döner döküm kalıplama, enjeksiyon kalıplama, enjeksiyon ile şişirme kalıplama, santrafuj döküm kalıplama ve döküm kalıplama olarak sınıflandırılırlar [10].

Plastik malzemelerin kalıplamasında kullanılan ilk sistemdir. Bu yöntemle kalıp üst ve alt parçaları arasında polimer ısı ve basınç altında bir süre preslenmesinden ibarettir. Burada kullanılan presler havalı veya hidrolik, küçükleri elle çalıştırılan şekildedir. Kalıpların alt parçası ile üst parçası çok iyi intibak ettirilmeli, çok iyi işlenerek parlatılmalıdır, tercihen sert krom kaplanmalıdır.



Şekil 2.4. Basınçlı kalıplamada kullanılan değişik kalıp türleri

Şekil 2.4. de çeşitli basınçlı kalıp çeşitleri görülmektedir. Basınçlı kalıplama yönteminin avantajları biçimlendirilmiş parçada mekanik özellikler bakımından bölgesel farklılıklar yoktur. Gerilmeler bulunmaz ve parçaların merkez kaçıklığı pek görülmez. Hücresel boşluklar oluşmaz. Malzeme akışından ileri gelen erozyon azlığı kalıp bakım masraflarının düşük olmasını sağlar. Kalıp konstrüksiyonları her tür cihaza kolayca uyarlanabilir. Malzeme kaybı azdır. Basınçlı kalıplama yönteminin dezavantajları, İşlem süresi uzundur. Parçaya ait yükseklik toleransı çapaktan dolayı kritik hale gelir. Çapak giderme güçtür.

2.4. Diğer Şekillendirme Biçimleri

Diğer şekillendirme biçimleri de kullanım çokluğuna göre sırasıyla şöyledir ;

2.4.1. Ekstrüzyon

Bu yöntem fişkırtma adıyla da bilinir. Plastik bir maddenin ısı ile akıcı hale getirilerek belirli bir şekilli kalıptan basınçla geçirilmesi ve biçimlendirilmesi yöntemidir.

2.4.2. Şişirme - film çekme

Ekstrüzyon cihazı ağzına takılı bir kalıptan çok ince cidarlı boru şeklinde erimiş plastik malzeme çıkarken, kalıp ortasından boru eksenine hava üflenir ve bir soğutma halkasından geçen ürün merdane ve levhalar yardımıyla kapanır ve soğuyunca iki çeperli film halini alır.

2.4.3. Kalıpsız ekstrüzyon

Karıştırıcı bir eritme cihazından alınan termoplast hamurun gittikçe sıklaşan merdane çiftleri arasından geçirilmesi ve sabit gergili bir sarma mekanizması ile elde edilen ince levha filminden ibarettir.

2.4.4. Basınçlı ısı ile biçimlendirme

Levha haline getirilmiş termoplast plastiklerin, belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılarak kalıba yerleştirilmesi ve basınçlı hava uygulanarak şekillendirilmesidir. Isıtılmış levhanın direk kalıp parçaları arasında sıkıştırılarak şekillendirilmesidir.

BÖLÜM 3. CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER KOMPOZİTLER

CTP, Elyaf takviyeli Termoset reçine ile üretilen ürünler 30–35 yıldır bütün dünyada çok değişik uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Tüm dünyada çeşitli kısaltmalarla anılmaktadır. Türkçede CTP cam takviyeli plastik, İngilizce GRP glass reinforced plastic, Fransızca PRFV, plastic renforce fibres de vere, Almanca GFK, glasfaser kunststoffe, İtalyanca RFV, plastici rinforzati di fibro di Veiro [12].

Takviyeli polyeester reçine sistemini ifade eder. Polyeester yerine diğerk termoset veya termoplastik reçineler kullanılabilir. Elyaf takviyeli polyeester reçine sistemi, takviye elemanının termoset reçine içersinde yayılmasından oluşşan bir kompozit malzemedir. Genel olarak kullanılan reçine, uygun bir katalist sistemi ilavesi ile "cros-link" şebeke yapısı oluşturşan ve ısı ile eritilmez bir katı cisim haline gelebilen bir sıvıdır. Ayrıca dolgu maddeleri ve pigmentler gibi bazı maddeler bu bünyede bulunmakla birlikte kompozit malzemenin esasını oluşturşmaz. Genel olarak kullanılan reçine, uygun bir katalist sistem ilavesiyle cross-link oluşturşan ve ısı ile eritilmez bir katı cisim haline gelebilen şurup kıvamında bir sıvıdır. Aşağıdaki tablolarda Tablo 3.1. ve 3.2. 'de cam takviyeli polyeester esaslı kompozit malzemelerin çekme, eğme, darbe deneyleri sonucu elde edilen bazı mekanik özellikleri görölmektedir.

Tablo 3.1: Çeşitli cam takviyeli kompozitlerin tipik özellikleri [11]

Malzeme	Cam Elyaf Miktarı (%)	Spesifik Yoğunluk (gr/cm ³)	Çekme dayanımı (Mpa)	Eğilme dayanımı (MPa)
Polyester (Hazır kalıplama hamuru)	10	1.89	21	83
	15	1.85	27	92
	30	1.85	41	124
Epoksi (hazır kalıplama hamuru)	30	1.75	100	300
	65	1.78	140	300
Polyester(hazır kalıplama bileşimi)	25	1.85	68	190
Sıcak pres kalıplama (keçe)	40	1.5	124	240
El yatırma (keçe)	30	1.49	103	194
Püskürtme	28	1.49	103	194
Soğuk pres (sürekli keçe)	20	1.44	90	172
Tek yönlü E camı-Epoksi	65	2,00	1000	1400
Cam dokuma-Keçe (600/450gr/m ²)	43	1.5	190	390

Tablo 3,2: Cam elyaf – takviyeli kompozit malzemelerin bazı özellikleri [11]

Özellik	Tek yönlü büküm	Doku türü			Cam lifi Kırpıntı	Alüminyum	Yapı çeliği
		Tek yönlü doku	Saten doku	Düz doku			
Çekme Dayanımı kg/mm ²	84	56	32	27	18	7- 25	42-50
Basma Dayanımı kg/mm ²	50	32	24	21	18	7-10	39-42
Darbe Dayanımı j/cm	19	13.5	6.5	4.3-504	3,2-5.4	10.8	16,2-21.6
Su absorpsiyonu % 24 saatte	0.15	0.2-0.5	0.2-0.5	0.2-0.5	0.1-0.4	-	-
Özgül ağırlık gr/cm ³	1.8	1.8	1.8	1.7	1.5-1.6	2.7	7.8
Cam elyaf Miktarı %	70	66	62	57	35-45	-	-

3.1. CTP'nin Avantajları

Termoset, mukavemet ağırlık oranı avantajı ve sertlik, sınırsız kalıplama boyutları, kolay üretim, çok sayıda üretim tekniği, küçük sermaye yatırımı, (el yatırma yöntemi) , Düşük maliyetle az sayıda üretim olanağı, (el yatırma yöntemi) ,tasarım esnekliği, diğer malzemelerle bağdaşma olanağı, mükemmel su dayanımı, çok sayıda kimyasal maddeye dayanım, hava koşullarına ve UV ışınlarına dayanım, kendinden renklendirme olanağı, istendiğinde yanmazlık, isteğe bağlı olarak ışık geçirgen özellikte üretilebilme olanağı ve çok iyi elektrik ve termik özelliklerinin olmasıdır [12].

3.2. CTP Üretiminde Kullanılan Malzemeler

CTP üretiminde kullanılan malzemeler temel olarak polyeester reçineler, hızlandırıcılar , dolgu maddeleri, boyalar ve katalizörlerdir [10].

3.2.1. Polyester reçineler

Polyester, katman içindeki takviye liflerini bağlayıcı rol oynar. Önemli iki evre vardır, Birincisi, cam takviyenin ıslanıldığı sıvı veya yapışkan bir madde elde edilmesi ve ikincisi, sert ve dayanıklı ürün elde etmek için katılaşmanın meydana gelmesi. Doymuş polyester reçineler, polietilen teraftalat veya terilen gibi termoplastik özellik gösteren ve enjeksiyon kalıplamada ve elyaf üretiminde kullanılan reçinelerdir. Doymamış polyester reçineler, uygun bir katalizör ile "cross-link"(şebeke yapısı) oluşturan termoset özellikli reçinelerdir. CTP üretiminde genellikle doymamış polyester reçine kullanılır.

Bir atom, son elektron katlarında maksimum elektrona sahipse doymuş denir [11]. Aşağıdaki tablo 3.3. CTP üretiminde kullanılan farklı tip polyesterlerin bazı önemli mekanik özelliklerini göstermektedir. Ayrıca Tablo 3.4. ise sertleştirilmiş polyester reçinelerin mekanik özelliklerini göstermektedir.

Tablo 3.3. Polyesterin önemli özellikleri [10]

	POLİYESTER Dökümlük rijil	POLYESTER (alkil) dökümlük termoset esnek		POLYESTER(termoset)	
				Cam elyaf parçacıklı	cam dokulu
Çekme Dayanımı kg/cm ²	420-914	350-2100	1050-2100	210-703	2100-4200
N/cm ²	4116-8957	3430-20580	10290- 20580	2058-6889	20580- 4116
İzod Darbe Dayanımı J/cm	1.1-1.2	21.6 - 167.7	1.1-11	0.81-8.7	2.7-16.2
Sertlik (shore-barcol)	Barcol	Shore	Barcol	Barcol	Barcol
	50-75	84-94	50-80	50-80	60-80
Uzama %	20	40-310	1-5	1	1-2
Özgül ağırlığı	1.10-1.46	1.01-10.2	1.35-2.30	1.65-2.30	1.50-2.10
Biçim, türü	Döküm	Döküm firça	püskürtme	Döküm	Fırça püskürtme
Kalıp çekmesi %		0.02	0.2	0.1-1.2	0.02-0.2

Tablo 3.4. Sertleşmiş polyester reçine tipik özellikleri [11]

Polyester Reçine tipi	Eğilme Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Çekme Modülü (Gpa)	Uzama %
Ortoftalik	100	65-75	3.2	2.0-4.0
İzoftalik	140	70-85	3.5	3.5
Neopentil Glikol	130	70	3.4	2.4
İzoftalik/Neopentil Glikol	130	60	3.4	2.5
İzoftalik/HET Asit	85	55	3.7.	2.9
HET asit	80	40-50	3.2	1.3-4.0
Bisfenol asit	130	60-75	3.2	2.5-4,0
Klorlu parafin	110	50-60	3.4	1.2-4.8
İzoftalik/klorlu Parafin	90	60	2.0	4.8

3.2.2. Kataliz Sistemler (Katalizörler)

Polyester reçinenin polimerleşmesi, katalizör aracılığı ile zincirlerin ağ şeklinde birleşmesi ve reçinenin sıvı halden katı hale geçmesidir. Normal ısıda çalışıldığında bu reaksiyondan ısı çıkar [10]. Katalizör tabirinde yanlışlık vardır, kimyada katalizör kendisi kimyasal olaya katılmayan, bir reaksiyonu kolaylaştıran ve sonuçta aynı kalan bir maddedir. Katalizör, doymamış polyester veya reaktif monomer zincirlerinin ağ şeklim almasını başlatır. Bunlar organik peroksitlerdir. Doymamış polyesterin, stiren içinde çözülmüş şekline " polyester reçine " denir [11]. Kopolimerizasyonu başlatmak için ihtiyaç bulunan enerjiyi sertleştiriciler verir. Bunlara (sertleştiricilere) peroksit bileşikler denir. Peroksit parçalanması ısı ile veya kimyasal maddelerle oluşur. Peroksit parçalanması ısı ile meydana gelmişse sıcak sertleşme, kimyasal maddelerle meydana getirilmişse soğuk sertleşme denir. Polyesteri sertleştirmek için kullanılan organik peroksitler katı, sıvı veya pasta halinde bulunurlar. Oksijenin varlığı nedeniyle organik peroksitler tehlikeli olabilir.

3.2.3. Hızlandırıcılar (Promotörler)

Isıtıldığında veya kobalt naftanat gibi bir hızlandırıcı ile birleşerek kullanıldığında, peroksitler reaktif hale dönüşerek, doymamış polyesterin reaksiyona girmesini (polyester moleküllerinin cross link adı verilen bir şebeke yapısı oluşturmaya) ve sertleşmesini sağlar. Başlıca hızlandırıcılar kobalt naftanat, kobalt oktoat, dimetil anilin (DMA) ve dietilen anilindir (DEA). Doymamış Polyesterleri sertleştirmede kullanılan hızlandırıcılar Kobalt ve Vanadyum metallerinin birleşikleri ile Azotlu bileşiklerdir. Bu yüzden hızlandırıcılar Kobalt hızlandırıcısı, Vanadyum Hızlandırıcısı ve Amin Hızlandırıcısı diye adlandırılır.

a) Kobalt hızlandırıcıları; organik kobalt tuzlandır. Genellikle ya Kobalt oktoat veya Kobalt Naftanat şeklindedirler. Yumuşatıcılarda (ftalat) veya stiren içerisinde çözülmüşlerdir. Dozajı ayarlamak bakımından Kobalt hızlandırıcılar %1, %6 veya %10 metal ihtiva eden çözeltiler şeklinde piyasaya sürülürler. Reçineye %0,1 ile %3

arasında ilave edilirler. Kobalt hızlandırıcılar Ketonperoksitlerle (6. grup katalistler) oda sıcaklığında, Hidroperoksitlerle biraz daha yüksek sıcaklıklarda, Peresterlerle 70°C'nin üstündeki sıcaklıklarda sertleşme verirler. Ketonperoksit ve Kobalt hızlandırıcı miktarları değiştirilerek işleme süresi geniş sınırlar içinde ayarlanabilir. Kalıptan çıkarma süresi genellikle aminli hızlandırıcılara nazaran daha uzundur. Buna karşılık CTP malzemenin ışığa mukavemeti ve dış etkenlere mukavemeti daha yüksek olur. Kobalt yüzeyde kurutucu etki yapar ve havanın inhibitör etkisine karşı koyar. Bu yüzden Kobalt hızlandırıcı ile ince tabakalarda bile yapışkan olmayan yüzey elde edilebilir.

b) Vanadyum'lu hızlandırıcılar da oktoat veya naftanat şeklinde piyasaya sürülürler. Vanadyum daha etkili bir hızlandırıcıdır. Ancak stabilitesi düşüktür, yani zamanla bozunur. Bu yüzden kullanımı pek yaygınlaşma mıştır. Vanadyum'lu hızlandırıcılar yalnız ketonperoksitlerle değil, aynı zamanda hidroperoksitlerle, perketallerle, peresterlerle (yani daha az aktif peroksitlerle) de birlikte kullanılabilirler. Vanadyum'lu hızlandırıcılar Kobalt'a nazaran daha iyi sertleşme ve kimyasal dayanımı daha yüksek CTP parçalar verirler. Sadece Vanadyum'lu hızlandırıcının depolama ömrü daha kısadır.

c) Amin hızlandırıcılar da %10'luk çözeltiler halinde stiren içinde veya ftalatlı yumuşatıcılar içinde piyasaya sürülürler. En çok kullanılanlar Dimetilparatoluidin, Dietilanilin ve Dimetilanilin cinsleridir. Amin hızlandırıcılar genellikle enzoilperoksit'le beraber kullanılırlar. Normal jelleşme süresine karşılık süratli bir sertleşme verirler. Polyestere hafif sarımtırak bir renk verirler. En etkin olanı Dimetilparatoluidin'dir. Onu sırasıyla Dimetilanilin (en çok kullanılan) ve Dietilanilin takip ederler [14].

3.2.4. Takviye malzemeleri

Takviye malzemeleri, reçine sistemlerinin mekanik özelliklerini arttırmak amacıyla kullanılırlar. Takviyeler içinde en çok kullanılanı, cam elyafıdır. Tablo 3.5'de değişik cam elyaflarının özellikleri verilmektedir. Çok yüksek mekanik mukavemete sahip olan karbon elyafının geliştirilmesi özellikle mukavemet ve hafifliğin önem

kazandığı havacılık endüstrisinde yeni boyutlar getirmiştir. Bir diğer yeni uygulama aromatik poliyamid elyafı (kelvar)'dır. Bu tip elyafın kullanılması, cam elyafı takviyeye oranla %30, civarında ağırlık tasarrufu sağlamaktadır.

3.2.4.1. Cam elyafı takviyeler

Malzemenin mekanik ve fizik özelliklerini iyileştirmek için kullanılırlar. Esneklik modülü, basma mukavemeti ve çekme mukavemeti, aşınma mukavemeti ve yanma sınırı , vs. Bu malzemeler reçineye kolaylıkla ve kuvvetle bağlanmaya elverişli ve işletmeye almayı kolaylaştırıcı olmalıdır. Hiçbir kimyasal reaksiyona sahip olmamalıdır. Cam tellerinin fizik ve mekanik kaliteleri dolayısıyla, bir polyester veya epoksi katmanı içinde takviye olarak en çok cam kullanılmaktadır.

3.2.4.2. Devamlı fitil

Bir veya daha çok sayıda cam elyafı demetinin, hükümsüz olarak bir mandrel üzerine birbirine paralel olarak sarılmasıyla oluşur Püskürtme yöntemi için, keçe üretimi için, hazır kalıplama bileşimi için, elyaf sarma ve çekme için, dokuma gibi değişik gereksinimler için değişik tiplerde üretilir.

3.2.4.3. Kırpılmış demet

Kırpılmış demet HKB hamuru üretimi için veya termoplastiklerin takviyesi için kullanılır. Uzunlukları 3 ile 50 mm arasında değişir. Ayrıca devamlı cam fitili öğütülerek 0.08 mm' den 0,2 mm' ye kadar değişen uzunlukta cam elyafı ede etmek mümkündür. Bu tür elyaf genellikle dolgu maddesi olarak kullanılır. Ayrıca laminat yüzeyinde çatlama ve çekmeleri önlemek için ve reçineye tiksotropik özellik kazandırmak için kullanılır. Ağırlıkça % 40 oranına kadar kullanmak mümkündür.

3.2.4.4. Keçe

Kırpılmış cam elyafının tesadüfî bir dağılımdan sonra birbirine eklenerek tekdüze bir yapı meydana getirmesiyle olur. Genellikle kırpılmış demet boyu 50 mm'dir ve keçe ağırlığı 225 – 600 gr / m² arasında değişmektedir.

3.2.4.5. Cam dokuma

Cam dokumalar fitillerden ve bükümlü ipliklerden hazırlanmış olarak iki sınıfa ayrılabilir. Fitol dokuma E camından üretilmiş cam fitillerinin bükümsüz olarak dokunmasıyla oluşur. A camı: Alkalın cam, E camından daha az mukavemetli

C camı: Kimyasal ürünlerin aksiyonuna daha iyi mukavemet

E camı: Elektrik dayanımlı cam, çok üstün elektrik ve mekanik özellikleri vardır. S ve R camı: Özel camlar, mekanik mukavemetleri çok iyi fakat çok pahalıdır. Tablo 3.5’de değişik cam elyaflarının özellikleri değişik kategorilerde gösterilmektedir.

Tablo 3.5. Değişik cam elyafların özellikleri [11]

İsim	Cam Elyaf Tipleri				
	A	C	E	R	S
Si O ₂	72	64.6	52.4	60	64.4
Al ₂ O ₃ , O ₂ , Fe ₂ O ₃	1.5	4.1	14.4	25	25
CaO	10	13.4	17.2	9	
MgO	2.5	5.3	4.6	6	10.3
Na ₂ O, K ₂ O	14.2	9.6	0.8	-	0.3
B ₂ O ₃	-	4.7	10.6	-	-
BaO		0.9		-	-
Spesifik yoğunluk gr/cm ³	2.45	2.45	2.56	2.58	2.49
Kırılma indisi	1.51	1.52	1.55		1.523
Tek lif çekme day.(GPa)	3.1	-	3.6	4.4	4.5
Çekmedeki elastiklik modülü (Gpa)	72	-	76	85	86
Yumuşama noktası (°C)	700	690	850	990	

3.2.5. Dolgu maddeleri

Kompozit ürünlerde inorganik dolguların kullanımı artmaktadır. Dolgu maddeleri sadece inorganik ürün maliyetini düşürmekle kalmayıp, takviye ve reçine girdileriyle

elde edilmesi mümkün olmayan ürün performans artışlarını da sağlamaktadır. Dolgular kompozit laminat içindeki organik madde içeriğini azaltarak, alev dayanımı ve duman çıkışı performansını arttırabilir. Ayrıca dolgulu reçinelerin dolgusuz reçinelere göre çekme oranı daha düşüktür. Buna paralel olarak kalıplanan parçaların boyutsal stabilitesi artmaktadır. Su direnci, hava etkisiyle meydana gelen değişimler, yüzey düzgünlüğü, sertlik, boyutsal stabilite ve ısı dayanımı gibi önemli özellikler dolgu maddelerinin kullanımı ile arttırılabilmektedir. Termoset reçineleri kullanan kompozit sektöründe, dolgu maddeleri, uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Son zamanlarda, termoplastik endüstrisinde de inorganik dolguların kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Dolgu maddeleri üzerinde yapılan kimyasal işlemler, daha yüksek oranda dolgu kullanılmasına, dolayısı ile üründe daha yüksek performans sağlanmasına olanak tanımaktadır. Bu nedenle, dolgu malzemesi kullanımındaki trend pozitif yönde gelişmektedir. Dolgu malzemeleri, özelliklerindeki gelişmeler sayesinde kompozit ürün uygulamalarında eskiye oranla daha yüksek miktarda kullanılmaktadır. Maddesel, bitkisel, sentetik kökenli, toz, yaprak, kristal halinde tercihen reçineye nazaran hareketsiz ve bitmiş mala yeni özellikler getiren ürünlerdir. Dolgu maddeleri sertleştirme prosesi esnasında veya sertleşmiş halde reçine sisteminin özelliklerini değiştirmek için kullanılır. Genellikle reçine sisteminin maliyetini düşürmek için kullanılır, bununla birlikte diğer özelliklerde değiştirir, azami faydayı sağlamak için kalıplama prosesini ve son kullanım amacına göre doğru tip ve gerekli miktar dikkatlice seçilmelidir. Bitmiş parçada aranan özelliklere göre dolgu maddesi seçilir fakat mekanik özellikleri ve görünüşü etkileyecek ikinci derecedeki reaksiyonlara dikkat etmek gereklidir. Dolguların boyama etkisi önemlidir, boya yerinede kullanılırlar fakat bazı hallerde iyi renk vermezler. Genel olarak kullanılan dolgu maddeleri şunlardır;

- Kalsiyum karbonat
- Alüminyum Silikat ve Killer
- Alüminyum Trihidrat
- Kalsiyum Sülfat
- Diğerleri

Bu dolgu maddelerine farklı olabilecek nitelikte yaptığımız çalışmada kullanımı yaygın olmayan ve iyi mekanik özelliklere sahip olan mermer tozu kullanılmıştır. Elde edilen mekanik sonuçlar ise ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

Tablo 3.6 'da CTP kompozit malzeme üretiminde kullanılan bazı dolgu maddelerinin özellikleri verilmektedir. Çeşitli dolgu malzemelerin hacimsel yoğunluk ve spesifik yoğunluğu bir arada görülmektedir.

Tablo 3.6. Bazı dolgu maddelerinin özellikleri [10]

Dolgu maddesi Türü	Spesifik Yoğunluk Gr/cm ³	Hacimsel Yoğunluk (gr/ml)
Alüminyum hidroksit	2.4	0.4-1,3
Alüminyum oksit	3.7-4,0	1.3-1,6
Alüminyum silikat	2.6	0.6-1,6
Antimon trioksit	5,3-5,9	1.3-1,6
Baryum sülfat	1.3-4.5	
Baryum titanat	5.5-5.9	1.3-1.6
Bentonit	3.6-2.7	
Kalsiyum Alüminyum silikat	2.65	
Kalsiyum karbonat	2,4	0,2
toz	2.7-2.8	0.8-0.9
çökelti	2.6-2,7	0.8-0.9
kaplanmış	2.6-2,8	0.8-t.0
Dolomit	2.8-2.9	1.1-1.3
Kalsiyum silikat	2.8-2.9	
Kalsiyum sülfat	2.4-2.9	0.6-LO
Kaolen	2.5-2.6	
Fitil	0.3-0.7	
Cam katı kürecik	2.48	1.5
Boş kürecik	0.15-0.38	
pul	2.45	
Grafit	2.2	
Demir oksit	3.4-5.1	
Kieselguhr	1.8-2.3	
Kurşun oksit	8.8-9.4	
Magnezyum Alüminyum silikat	1.8-2.5	0.3-0.6
Magnezyum karbonat	1.8-2.8	0.15-0.6
Magnezyum oksit	2.7-3.7	
Mika	2.7-3.4	0,3-0.4
Fenolik kürecik	0.2-0.25	0.1-0.15
Silika	2.6-2.7	1.0-2.0
Talk	2.4-3.0	1.0-2.0
Titanyum dioksit	3.9-4.2	

3.2.6. Kalıp ayırıcılar

Ayırıcılar, CTP parçaların kalıptan çıkarılmasını sağlayan malzemelerdir. Bu ürünler reçineye katılarak kalıba uygulanmakta veya hem reçineye katılmakta hem de kalıba sürülmektedir. Çinko sterat reçineye katılan pres kalıplama için geliştirilmiş popüler bir kalıp ayırıcıdır. Vakslar, silikonlar ve teflon gibi diğer kalıp ayırıcılar, kalıp yüzeyine doğrudan uygulanabilmektedir.

3.2.6.1. Vaks kalıp ayırıcılar

Vaks kalıp ayırıcılar çoğunlukla vaks şeklinde kullanılır. Yüksek oranda Carnuba vaksından yapılmışlardır ve silikon katkı içermezler. Carnuba vaks esaslı özel vaks pasta cilalar sunan çeşitli üreticiler vardır. Sert, orta sert ve yumuşak kıvamda bulunabilirler. Kalıp yüzeyinde vaks birikmesine mani olmak ve kalıp yüzeyinin bir defada kaplanıp temizlenebilmesi için sıvı kalıp ayırıcılar da mevcuttur. Vaks cilalar parlak son yüzeyler vermek için parlatılarak da kullanılırlar. Normal olarak in-ce birçok kat olarak uygulanır ve her uygulamada aynı işlem tekrarlanır. Uygun kalınlığa ulaşılan kadar yaklaşık altı kat vaks her katı ayrı ayrı parlatarak sürmek gerekir. Her tabakanın kalınlığını arttırarak tabaka adedini azaltma yoluna gidilmemelidir. Böyle bir uygulama istenilen nitelikte ayırıcı tabakası elde edilememesine neden olur.

3.2.6.2. Silikon kalıp ayırıcılar

Silikon kalıp ayırıcılar epoksi reçine sistemleri için uygundur. Ancak polyester reçine sistemleri ile silikon kalıp ayırıcıların karışma olasılığı çok yüksek olduğundan, sıcak pres kalıplama dışında polyester reçine sistemiyle kullanılamazlar. Aynı şekilde poliüretan reçinelerin köpürmesini önlediklerinden bu uygulamalar için de tavsiye edilmezler. Spray, emülsiyon, solüsyon ve yağ şeklinde birçok silikon kalıp ayırıcı ticari olarak bulunmaktadır.

3.2.6.3. Diğer başlıca kalıp ayırıcılar

Polivinil Alkol (PVA), Spray Kalıp Ayırıcılar, Film Kalıp Ayırıcılar, Selüloz Asetat,

Nitro Selülüz ve Şellak'dır.

3.2.7. Boyalar

Boylar mineral veya organik kökenli ürünlerdir, reçinenin ve jelkotun boyanmasında kullanılırlar. Çeşitli boya tipleri, madensel boylar, Genellikle metal oksitleridir. En tanınmış titan oksit TiO beyaz renk verir. FeO siyah renk verir. Bazı ürünlerin ağırlaştırıcı etkisi de vardır. Madensel boyların özellikleri,

- Reçine içinde erimezler
- Parçaya donukluk verirler
- Işığa ve ultraviyoleye dayanırlar
- Organik boylar
- Fiyatı yüksek olduğundan az kullanılır. Bazı ürünlerin zehirleyici etkisi vardır.
- Sentetik boylar
- Polyester reçine içinde erirler
- Yarı saydamdırlar
- Ultraviyole' ye dayanıksızdırlar.

3.3. CTP'in Presle Kalıplamasında Rastlanan Hatalar

3.3.1. Gözenekli yüzey

1. Kalıplanacak malzeme kalıba göre az olabilir. Miktarı arttırmak gerekir.
2. Kalıplama malzemesi çok akıcı olabilir. Kalınlaştırıcı dolgu malzemesi kullanılmalı

Basıncı uygulama geciktirilebilir. Kalıp tasarımı değiştirilebilir

3. Kalıplama malzemesi çok kalın olabilir. Malzemenin akışkanlığını kontrol edilmeli. Basıncı daha erken uygulanmalı. Presleme basıncı arttırılmalı. Kalıp

tasarımı değiştirilebilir

4. Kalıp sıcaklığının çok yüksek olmasından dolayı bazı kısımların önceden sertleşmiş olması ve kalıp sıcaklığı azaltılmalı. Basınç daha erken uygulanmalı. Basınç arttırılmalı
5. Hava kabarcığı. Kalıp tasarımının doğruluğunu kontrol etmek gerekir
6. Uygun olmayan kalıp tasarımı

3.3.2. Yüzeyde kabarcık oluşumu

1. Kalıp yer yer soğuk olabilir. Homojen ısıtma sağlanmalı
2. Hava kaçakları olabilir. Kalıptaki hava çıkışları kontrol edilmeli
3. Kalıplama malzemesi rutubetli olabilir. Malzeme kuru saklanmalı
4. Malzemenin yetersiz volkanizasyonu
5. Yetersiz volkanizasyon zamanı
6. Yüksek hamur sıcaklığı
7. Yüksek kalıp sıcaklığı
8. Hamurun reaksiyonunun çok kuvvetli olması
9. Eşit olmayan kalıp ısıtılması

3.3.3. Renkli yüzey

1. Kalıp çok sıcak olabilir. Kalıp sıcaklığı ayarlanmalı
2. Aşırı ısınmadan dolayı pigment dedompoze olabilir. Sertleşme sıcaklığım düşünölmelidir.
3. Kalıplama malzemesi bozulmuş olabilir

4. Eşit olmayan volkanizasyon derecesi
5. Kaba taneler-farklı tane büyüklükleri

3.3.4. Yüzeyde matlık

Bu hata iki şekilde ortaya çıkabilir, ilkinde tüm parça yüzeyinde mat yüzeyler dışında parçanın bazı yerlerinde matlık olabilir.

1. Kalıp yüzeyi yeterince parlatılmamış olabilir

Aşınma olaylarından dolayı kalıp yüzeyleri tam olarak veya kritik yerlerinden kullanılmaz hale gelir, böylece kalıp istenen kalıp yüzey pürüzlülüğüne sahip değildir, bu yapı parça yüzeyi üzerinde mat yüzey şeklinde hatalı görünüş olarak ortaya çıkar.

2. Kalıp ayırıcı eleman fazla konulmuş olabilir

Fazla kayıcı madde miktarı göz yüzeyi üzerinde çökmesi ile her bölgede aynı kalıp duvarı temasını engeller.

3. Kalıplama malzemesi rutubetlenmiş olabilir

Malzemeyi kuru yerde saklamalı veya kullanmadan önce kurutmalı. Hamurun içinde su gibi tutulan kondensasyon ürünleri göz yüzeylerine çöker ve yetersiz kalıp duvarı temasına neden olur.

4. Kalıp yüzeyi soğuk olabilir. Isıyı yükseltmelidir.

5. Ürün yeterince sertleşmemiş olabilir

Kalıplama süresi uzatılmalı veya sertleşme sıcaklığı arttırılmalı

6. Kalıp duvarı teması kaybı

Hamurun kalıp duvarına temasını kaybettiği alan içinde kayıcı tabakanın noksan

erişmesi yüzünden mat yerlerin oluşumu meydana gelebilir. Genellikle kesit genişlemesinde yemden sıkıştırılmamış alan oluşumu meydana gelir.

7. Kalıp tasarımının uygun olmaması

Hamur akış direncinin düşük olduğu alanlara kaçma yapar, yüksek akış dirençli kalıp alanları muhtemelen tam olarak dolmaz.

8. Eşit olmayan kalıp ısıtılması

9. Dolgu maddesi dağılımının iyi olmaması

Kullanılan dolgu maddesi kaba ise parça yüzeyinde çıkıntı yapar. Bundan başka işleme ile dolgu maddesi reçineden ayrışabilir, bu ayrışma yüzey üzerinde oluşan mat yüzeylerin bir başka oluşum sebebidir.

10. Kısa volkanizasyon (sertleşme) zamanı

11. Düşük kalıp sıcaklığı

3.3.5. Kalıplama malzemesinin kalıba yapışması veya sıkışması

1. Kalıplama malzemesi çok yumuşak veya çok rutubetli olabilir

Kurutmak ve önceden ısıtmalı

2. Düşük çekme

Kalıp tasarımını eğimleri arttıracak şekilde değiştirilmeli

3. İtici sayısı az olabilir

4. Ters eğim olabilir

3.3.6. Ürünün bükülmüş olması

1. Kalıp sıcaklığı homojen olmaya bilir

Tüm kalıp yüzeyinde sıcaklık dağılımının eşit olmasına dikkat etmek gerekir, yüzeydeki sıcaklık farkı 2 – 5 °C 'den fazla olmamalı

2. Aşırı ısı çıkışı olabilir

Sertleşme sıcaklığını düşürülmeli

Kalıplama malzemesi değiştirilmeli

Kalınlık azaltılmalı

3.3.7. Akma Çizgileri

1. Kalıp duvarı temasının sürekli değişen kaybı

2. Hamur içinde yüksek nem miktarı

3. Hamur içinde fazla kayıcı madde miktarı

4. Volkanizasyon hataları

5. Yüksek kalıp duvarı sıcaklığı

3.3.8. Çatlak oluşması

1. Sıkıştırılmamış bölge

2. Malzeme katlanması

3. Farklı büzülme davranışı

4. Isı iletiminde hata

5. Kalıp içinde sıkışma

6. Çıkarıcıdan dolayı deformasyon

7. Tam olarak volkanize olmamış malzeme

8. Kalıptaki çıkıntılardan oluşma

9. Hatalı kalıp eğimi

10. Birleştirme izleri

1 1. Boşluk-hava kabarcıkları

3.3.9. Çökelmeler

1. Malzemenin dıştan içe doğru sertleşmesi

2. Yüksek nem miktarı

3. Et kalınlığı farklılıkları [10] [12].

3.4. Hazır Kalıplama Bileşimleri

Esasen, doymamış polyester reçine, güçlendirici elyaflar (genellikle cam elyaflar) ve dolgu maddesinden oluşan hamurlardan bahsedilir.

Sıcak pres kalıplama, enjeksiyon ve transfer kalıplama prosesleri için en uygun yol, tüm gerekli katkı maddeleri ilave edilmiş hazır kalıplama bileşimi kullanmaktır. Böylece karışım hataları giderilebilir ve daha hızlı üretim sağlanabilir.

Bu hamurlar, SMC (İngilizcede sheet moulding compound), Almandada Harzmatte (reçine tabakası) veya prepreg olarak adlandırılır. BMC (İngilizcede; Bulk moulding compound), polyester hamuru veya (hamur) olarak ta tanımlanır. Her iki ürün metal kalıplar içinde basınç ve sıcaklık altında sertleşmesi (Volkanize olması) gerekir.

BÖLÜM 4. HAMUR VEYA HAZIR KALIPLAMA BİÇİMLERİ

Karıştırma prosesi hamur kalitesi için kararlaştırıcı bir öneme sahiptir. Bir taraftan bütün kuvvetlendirici elyaflar optimal yayılmış olması gerekir, diğer taraftan elementer elyafların kırılmasına sebebiyet veren yüksek kesme kuvvetlerinden kaçınılması gerekir. Diğer taraftan cam elyaf ağları oluşturularak her şeyden kaçınmak gerekir. Reçine sistemi herhangi bir reçine olabilir. Hamur halindeki kitlesel hazır kalıplama bileşimleri, polyester reçinelerin sıcak pres kalıplama prosesini daha çabuklaştıracak hale getirmek için geliştirilmiştir. Hamur hazır kalıplama bileşimleri, elyaf takviye malzemesinin reçine ve dolgu malzemesi ile hamur halinde karışımından meydana gelmiştir. Genellikle hazır kalıplama hamuru 3–12 mm uzunluğunda, % 15–20 cam elyaf ihtiva eder. Bu oran üretim sırasında oluşan yüksek kesme yükü ile belirlenmiştir. Ayrıca bileşimin kullanım ömrünü uzatmak için inhibitör ilave edilebilir. Cam elyaf hem karışımın daha kolay olması için hem de cam elyafın hasar görmemesi için diğer malzemeler karıştırıldıktan sonra ilave edilir. Katkı maddelerinin dağılımının düzenli olabilmesi için partikül çapı 5 mikron civarında olmalıdır. Kalıp ayırıcı olarak alüminyum veya çinko stearat gibi metal sabunlar kullanılır.

4.1. BMC'nin İşlenmesi

BMC' nin işlenmesi temel olarak sıcak pres usulü meydana gelir, yani ısıtılabilir bir kalıp ve uygun bir basınç kullanılır. Kalıp sıcaklığı 110 ve 180°C arasında olabilir. Tercih edilen 140°C -160°C arasındaki sıcaklık bölgeleridir. Bir seri üretim için çelik kalıplar, SMC'nin işlenmesinde olduğu gibi gereklidir. Özellikle iyi bir kimyasal dayanım, neme karşı yüksek bir dayanım veya iyi bir darbe dayanımına ulaşmak için yüksek pres basınçları faydalı olduğu ispatlanmıştır. Bir BMC en azından aşağıdaki bileşenlerden meydana gelir.

Tablo 4.1. Örnek BMC bileşimi

Ham madde	% Ağırlık
Polyester reçine	100
Benzol peroksit	1.2
Depolama kabiliyetini ayarlayabilme için stabilizatör	0.1
Stearat (Kalıp ayırıcı)	3 -4
Dolgu maddesi	200
Elyaf takviye	45 – 70
Pigment	10- 15

Bunun yanında BMC Merde aşağıdakiler de bulunabilir.

—Renk boyları

—Elastiktik kazandıran bileşenler

—Büzülmeleri azaltmak için ilaveler

—Hızlandırıcılar

—Koyulaştırıcı (pekleştirici) madde

—Yoğunluğu azaltmak için İlave madde

4.2. Prepreg

Prepreg takviyenin önceden reçine sistemiyle ıslatılmış olmasını tanımlar. Genellikle böyle sistemlerde dolgu maddesi yoktur. Her üç malzeme yumuşama, sertleşme için sıcaklık gerektirir. Ürünler düşük basınçta (vakum elyaf sarma yöntemi) veya yüksek basınç (sıcak pres kalıplama, enjeksiyon, transfer kalıplama) ile elde edilebilir. Hurda termoset ancak dolgu maddesi olarak kullanılabilir. Termoplastik hurdalar, yumuşatılarak yeni malzeme ile karıştırılabilirler. Hazır kalıplama bileşimi formülleri içinde optimum miktarda dolgu maddeleri mevcuttur, gelişi güzel hurda ilavesi uniform olmayan hazır kalıplama bileşimi meydana getirirler ve ürünün istenilen kalitede olmasını önlerler. Prepreg'ler cam dokumaların tek yönlü elyaf takviyelerinin veya cam keçelerin reçineyle ıslatılmasıyla oluşturulur. Bunların levha halindeki hazır kalıp bileşimlerinden farkı, dolgu maddeleri, pigmentler ve diğer katkı maddelerinin çok az olmasıdır.

BÖLÜM 5. DENEYSSEL YÖNTEM VE YAPILAN DENEYLER

5.1. Deneysel Yöntem ve Yapılan Deneyler

Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ve hazırlanan numunelere uygulanan deneyler aşağıda verilmiştir. Deneyler üç farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada 3µm partikül boyutlu CaCO₃ %40, %50, %60 oranında doymamış polyestere ilave edilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri en iyi olan %50 CaCO₃ katkılı doymamış polyester kompozit malzemenin numunesi esas alınarak %20 cam elyaf katkılı kompozit malzemelerine 1 µm, 2µm, 3µm, 5µm ve 10 µm partikül boyutlu CaCO₃ mineral katkıları ilave edilerek yeni kompozit malzemeler üretilmiştir. Üçüncü aşamada ise endüstride yaygın olarak kullanılan ve atık durumunda bulunan 10–15 µm boyutlu partikül boyutlu mermer tozunun termoset malzemelerde kullanılabilirliğini incelemek için doymamış polyester malzemeye %40, %50, %60 oranında ilave edilip mekanik ve erosiv aşınma özellikleri araştırılmıştır. Numunelerin mikro yapılarını incelemek amacıyla optik hem de taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme deneyi üç nokta eğme deneyleri ve sertlik yapılmıştır. Bu deneylerden, üretilen kompozit malzemelerin çekme mukavemetleri, elastiklik modülü, % uzama, sertlik ve eğme mukavemetleri ve eğmedeki elastiklik modülleri tespit edilmiştir. Erosive aşınma deneylerinde ortalama 800 µm partikül boyutlu (Al₂O₃) alümina ve 460 µm partikül boyutlu SiC kullanılmıştır. Nozul çapı 6 mm, nozül ile numune arasındaki mesafe 100 mm olarak ayarlanmış olup, aşınma deneyleri sonucunda kompozit malzemelerin erosiv aşınma oranları tespit edilmiştir.

5.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmada kullanılan ana matris olan ortofotalik doymamış polyester Poliya firmasından, sertleştirici Tergan firmasından, E tipi cam elyaf 10,5 µm çapında ve 12 mm uzunluğunda olup Cam Elyaf Sanayi, Gebze'den, CaCO₃ mineral katkısı Omya firmasından, atık durumda olup deneylerde polyester malzemelerde kullanılabilirliği

araştırılan mermer tozu ise Federal Mermer firmasından temin edilmiştir. Mukavemet artırıcı olarak cam elyafı, dolgu malzemesi olarak CaCO₃ ve matris malzeme olarak doymamış polyester reçine kullanılarak üretilen kompozit malzeme listesi aşağıda verilmiştir.

1. UP + % 40 CaCO₃+ %25 Cam elyaf
2. UP + %50 CaCO₃ + %20 Cam elyaf
3. UP + %60 CaCO₃ + %20 Cam elyaf
4. UP + %50 CaCO₃ (1 µm) + %20 Cam elyaf
5. UP + %50 CaCO₃ (2 µm) + %20 Cam elyaf
6. UP + %50 CaCO₃ (3 µm) + %20 Cam elyaf
7. UP + %50 CaCO₃ (5 µm)+ %20 Cam elyaf
8. UP + %50 CaCO₃ (10 µm) + %20 Cam elyaf
9. UP + %40 Mermer Tozu + %25 Cam elyaf
10. UP + %45 Mermer Tozu + %20 Cam elyaf
11. UP + %50 Mermer Tozu + %15 Cam elyaf

5.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Öncelikler kompozit malzeme karışımları 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Üretim işlemlerinin sırası kompozit malzemelerin karışımlarının hazırlanmasıyla başlanmış olup karışıma sertleştirici, reçine, katalizör ve diğer ilaveler Bamburg mikserde oda sıcaklığında 120 dakika karıştırılarak ve 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Test çubuğu kalıbının sıcaklıkları 150–160 C° olarak ayarlanıp, presin basıncı ise 150 kgf/cm² 'ye ayarlanmıştır. 150 saniye pişim süresi boyunca kalıplama yapılmıştır. Preste basılan parçalar 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra mekanik testlere başlanmıştır.

5.4. Barcoll Sertlik Testi

Cam elyaf takviyeli plastik malzemelere uygulanan Barcoll sertlik testi ile üretimi yapılan numunelerin sertlik özelliklerinin standartlara uygun olup olmadığını belirlenmektedir. Bu test için Barcoll sertlik ölçüm cihazı kullanılır. Bu test metodu ASTM D 2583–95 olup,

takviyeli ve takviyesiz plastik malzemelerin sertliğini belirleyen standart test metoduna göre mermer tozu ve CaCO_3 ile takviyeli numunelerin yüzey sertlik tayin etmek için kullanılmıştır. Barcoll sertlik ölçer iki farklı modelde olup bunlar; Model 934–1 ve Model 935’dir. Model 934–1 sert malzemelerin, Model 935 ise yumuşak malzemelerin sertliklerinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Mermer tozu ve CaCO_3 takviyeli plastik malzemelerin sertliklerinin ölçümünde ise Model 934–1 kullanılmıştır.

Barcoll Sertlik Ölçüm cihazı; 0,157 mm çaplı, düz ucu ile 26 'lik açı yapan çelik kesik koni şeklindeki iğne bölümü, bu bölüm bir yuva içerisinde ise hareketli olup aşağı inmesini sağlayan bir yay ile donatılmıştır. Her bir bölüntü 0,0076 mm iğne batma derinliğine karşılık gelen 100 bölüntüden oluşan gösterge bölümü ve cihazı el ile tutmaya, ayaklar ve iğne bölümü ile deney numunesinin üzerine bastırmaya yarayan gövde bölümlerinden oluşmaktadır. Test işleminin yapılacağı numunenin yüzeyinin düzgün olması gerekmektedir. Test'e başlamadan önce kadranın kalibrasyonunun kontrol edilmesi gereklidir. Numune en az 1,5 mm kalınlıkta ve dişleme noktasının numunenin kenarından en az 3 mm mesafede olmalıdır. Ölçüm işlemi, sertliği ölçülecek malzeme düz bir zemine koyulduktan sonra Barcoll Sertlik Ölçerin iğneli kısmı ve numune üzerine dengeli bir şekilde oturtularak yapılır. Test sırasında test cihazının ayaklarının, test yapılacak yüzeye aynı düzlemde olması gereklidir. Ayaklar ile iğne bölümü arasından el ile sıkıl bir şekilde tutulan Barcoll sertlik ölçer düzgün bir şekilde ve giderek artan kuvvet ile numunenin yüzeyine bastırılır. Cihaz üzerindeki göstergede numune yüzeyi için maksimum değere ulaşılan kadar kuvvet yüzeye uygulanır ve gösterge bölümünde numune yüzeyi için Barcoll Sertlik değeri okunur. Sertlik ölçme işlemi numunenin en az beş farklı noktasından yapılır ve bu değerlerin ortalaması numune için Barcoll sertliği olarak kabul edilir. Barcoll Sertlik ölçme cihazı ile kuvvet uygulanırken, cihazın numune yüzeyi üzerinde kaymaması ve yüzeyin cihazın iğnesi ile çizdirilmemesine dikkat edilmelidir. Barcoll Sertlik ölçme cihazı ile gerçekleştirilen üretimin test numunelerinin ve üretilmiş olan parçaların sertliklerinin kontrolü için uygun ve portatif bir cihazdır. Çok pratik ve kolay uygulanan bir deneydir. Aşağıda Şekil 5.1 de Barcoll sertlik ölçme cihazı görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.2 'de ise deney numunelerinin üretiminin yapıldığı pres baskılı enjeksiyon cihazı görülmektedir.



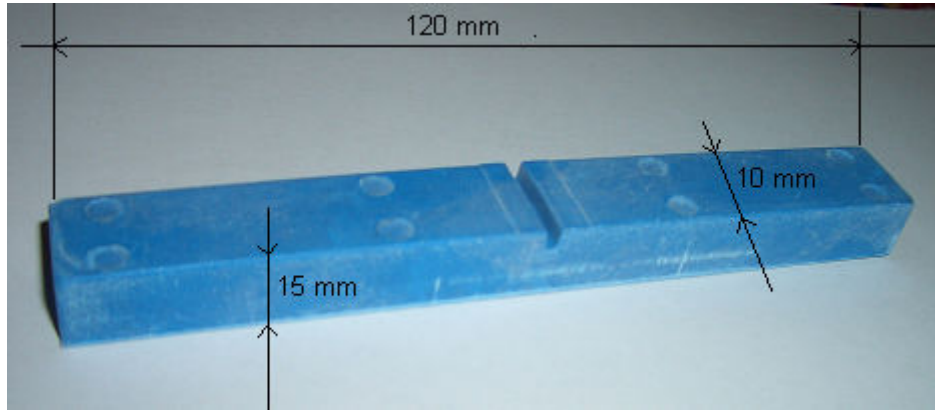
Şekil 5.1. Barcoll sertlik ölçme cihazı



Şekil 5.2. Pres baskı makinesi

5.5. Üç Nokta Eğme Deneyi

Plastikler eğilme özelliklerinin tayini (DIN 53452), destekler üzerinde serbest duran deney parçasına, orta noktadan yük uygulama, üç noktada yükleme metoduyla eğilme özelliklerinin tayini için yapılan deneydir. Deney için hazırlanan numune 10x15x120 mm ebadındadır. Yük 15 mm'lik yüzeye uygulanmıştır. (h=10 mm). Şekil 5.3'de numune ölçüleri. Şekil 5.4 'de çekme ve eğme deneylerinde kullanılan Termometric marka çekme cihazın resmi görülmektedir. Deneyde, Termometric marka, micro 350 tip, 1000 kg kapasiteli ve 2/10000 hassasiyete sahip deney cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.3. ASTM Standardına göre eğme deneyi numunesi

5.6. Çekme Özelliklerinin Tayini

Bu testin amacı, değişik oranlarda dolgu malzemesi katılmış BMC kompozit malzemelerinin mekanik özelliklerini tespit etme amacı güdülerek, bulunan deneysel sonuçların aşınma testi için numune seçiminde kullanılmaktadır. Bu test micro 350 tip 2105, cam elyaf takviyeli ve değişik dolgu malzemelerinin kullanıldığı numunelerin boyuna gerilme özellikleri için standardına ve deney numunesi DIN 53455'e uygun hazırlanmıştır. 120 mm boyunda ve 10 mm genişliğinde hazırlanan ortalama olarak 5 'er tane numune üniversal çekme cihazında aksel yönde çekme işlemine tabi tutulur.

Üniversal çekme cihazı Termometric marka, micro 350 tip, 1000 kg kapasiteli ve 2/10000hassasiyete sahip deney cihazı kullanılmıştır. Cihazın iskeletinin temel yapısı; iki dikey dişli, hareketli giriş ve ana milden oluşmaktadır. Aksel çekme numunesi cihazın

çenelerine tutturulduktan sonra, numuneye çekme kuvveti dikey dişlilerin dönme hareketi ile üst çenenin bağlı bulunduğu hareketli kirişin yukarı yönde hareket etmesi ile sağlanır. Çekme cihazının destek yapısı, iki dikey dişlinin üst yatak taşıyıcılarının bulunduğu üst plaka ve bu dişlileri birleştiren iki kolon kapağından oluşur. Montaj işleminde ise, mekanik hareket destekleyicilerinin dikey dişliler ile bileştirilmesi oldukça önemlidir. Mekanik hareket destekleyicileri adc micro motor çiftinden, bu motorlara bağlı kasnaklardan ve motorlardaki hareketi iletmek için kullanılan kayışlardan ve iki dikey dişlinin alt kısmında bulunan ve bu dişlilere hareketi kayışlar vasıtası ile alan kasnaklardan oluşmaktadır.

Hareketli kirişin kontrolü komutlu test hızı ve yönü kontrol konsolu seçiminden geliştirilmiş olup test işlemi başladığında hareketli kirişin komut sinyalini ya da istenen pozisyonun meydana getirmesini sağlar. Hareketli kirişe hareket sağlayan motor için kontrol devresi, ana motor miline monte edilmiş artımlı kodlayıcı (Enkoder) kullanılması ile sağlanır. Kodlayıcı motorun dönme hareketini ölçen bir devre olup, ayarlama empülsiyonu kullanılarak geri besleme bilgilerini sağlar. Bu empülsiyonlar motor milinin dönme hareketinin açısını ve yönünü göstermektedir. Motor milinin dönme hareketi hareketli kirişin yer değiştirme miktarı ile orantılıdır. Bu sinyal komut sinyalinden çıkarılır ve fark hata sinyali olarak ifade edilir.

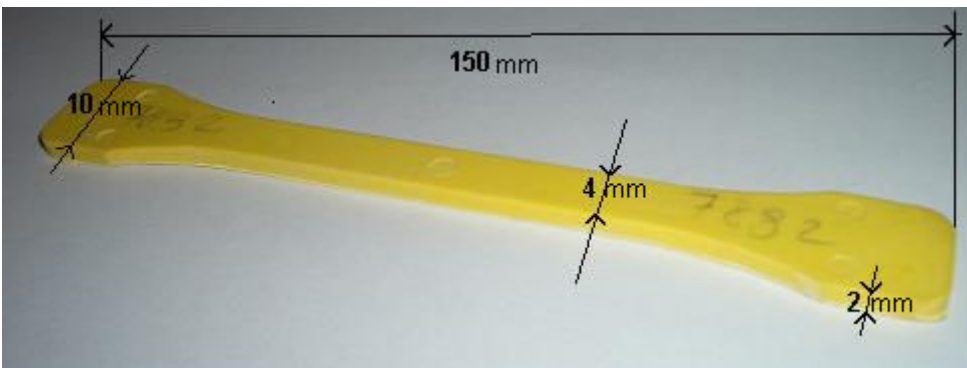
Çekme cihazının numune tutma çeneleri hareketli kirişin üst bölümüne monte edilerek numunelere basma işlemi de yapılabilmektedir. Sabit çene cihazın üst plakasındaki bağlantı yerine monte edilir. Basma işlemi için bu cihazın yük kapasitesi ise 1000 kg'dır. Cihazın maksimum çekme hızı 750 mm/dk, minimum hızı ise 0,001 mm/dk'dır. Maksimum hızda maksimum yük kapasitesi 110 kN maksimum yükte maksimum hız kapasitesi 375 mm/dk'dır. Makinenin test sonu geri dönüş hızı ise 800 mm/dakikadır. Çekme cihazı bilgisayar destekli olup, bilgisayara yüklenmiş paket program vasıtası ile, test işlemi yapılacak olan numunenin alındığı borunun çap, basınç ve rijitlik değerleri ile numunenin boyutları programa girilir ve test işlemi tamamlandıktan sonra her bir numune için kuvvet - uzama diyagramları bilgisayar ekranında rapor halinde alınır. Eksensel çekme deneyi için ortam sıcaklığı 10 C° ila 30° C arası olup, sıcaklık değişim oranı ise $\pm 2^{\circ}\text{C}$ dir. Bunun üstündeki oranlar ise sistem performansını etkilemektedir.

Bu deney, malzemenin çekme özelliklerinin tayin etmek için uygulanır ve kalite kontrol

için veya malzemenin niteliklerinin belirlenmesi için kullanılır. Şekil 5.5' de çekme numunesinin ölçüleri ve çizimi görülmektedir.



Şekil 5.4. Üniversal tip üç nokta eğme ve çekme deneyi cihazının görüntüsü



Şekil 5.5. Çekme deney numunesi

5.7. Erosiv Aşınma Deneyi

Bu deneylerde içerisinde % 40, %45, %50 oranlarında mermer tozu bulunan , %50 CaCO₃ içeren 1 µm, 2 µm, 3 µm, 5 µm ve 10 µm boyutundaki aşındırıcı partiküllerden oluşan numuneler ve %40, %50, %60 oranında CaCO₃ içeren numunelerin aşınma deneyleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde ise basınçlı bir hortumdan 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° derecelerde altı farklı çarpma açısı ayarlanarak Alümina (Al₂O₃) ve Silisyum karbür (SiC) kum püskürtülerek malzemelerdeki erosiv aşınma oranları tespit edilmiştir. Bu deneyde silisyum karbür ve alümina aşındırıcı kumlarından 5 dakikalık deney süresi boyunca 2360 gram olarak kullanılmıştır.

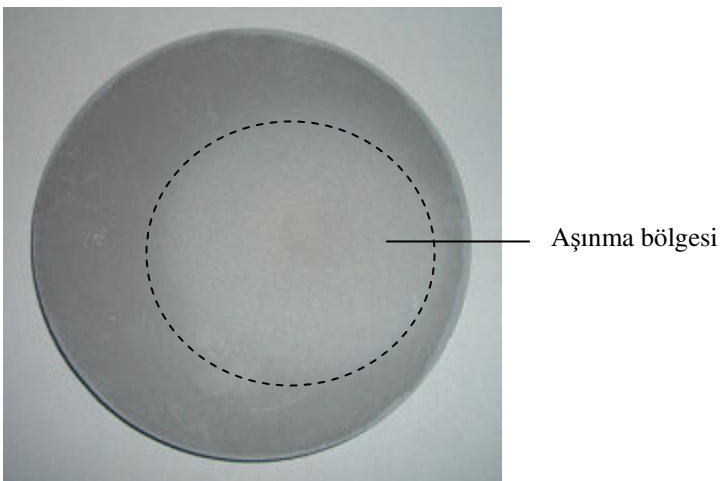
Aşındırıcının şeklinin ve tane boyutunun durumuna göre, aşınan malzeme yüzeyine verdiği hasar değişir. Keskin kenarlı sert yüzeylere sahip aşındırıcı partiküller, malzeme yüzeyinden sürekli yonga gibi ayrılan bir kesilme oluşurken, yuvarlak yüzlü ve pürüzsüz parçacıklar parçacıklar sünek yüzeyi yararak hasar verirler. Aşındırıcı sertliğinin aşınma faktörüne etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiş olup genel olarak yüksek sertliğe sahip olan aşındırıcının daha iyi bir aşındırıcı özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Aşınmanın meydana gelebilmesi için aşındırıcı ve aşınan malzemenin sertlikleri ile ilgili bir takım ilişkiler mevcuttur. Aşındırıcı ve aşınan malzemenin sertlikleri birbirine yakın olduklarında yüzeye batma az olacağından oluşan aşınma miktarı da az olacaktır. Aşındırıcı sertliği ile yaklaşık olarak aşınan malzemenin sertliği arasında 1, 2 veya daha küçük bir oran mevcutsa aşındırıcının, aşınan karşı malzeme yüzeyinde hasar oluşmaya devam eder, fakat aşınma mekanizması yenme aşınmasına dönüşür. Aşındırıcının sertliği aşındırılmak istenilen malzemenin sertliğine göre daha düşük olduğu durumlarda , erosiv aşınma direnci oldukça yüksektir ve bu durumda aşındırıcı partiküller aşınmaya maruz kalırlar [17].

Şekil 5,6 de aşınma deney cihazı görülmektedir. Her deneyde eşit kum miktarı kullanılmış, deney bittikten sonra numune değiştirilmiş ve kum yenilenmiştir. Kum püskürtme süresi ise malzemenin delinmemesi dikkate alınarak 5 dakika olarak seçilmiştir. Şekil 5.7' de ise erosive aşınmaya maruz kalan polyester/CaCO₃ kompozit malzemenin aşınma yüzey görüntüsü görülmektedir. Deneylerde kullanılan aşındırıcının püskürtüldüğü nozül'ün çapı 6 mm, nozül ile numune arasındaki mesafe ise 100 mm, kum püskürtme

basıncı ise 60 MPa, olarak ayarlanılmıştır. Aşağıda aşınma cihazında aşınmakta olan numune ve kum püskürtülen nozül bağlantı şekli görülmektedir.



Şekil 5.6 Aşınma deney düzeneğinin görüntüsü



Şekil 5.7. Erosive aşınmaya maruz kalan polyeşter/CaCO₃ kompozit malzemenin aşınma yüzey görüntüsü

Aşınma deneyinde elde edilen sonuçlar kalınlık farkı, iz değışim farkı gibi değışik

yöntemlerle hesaplanılabılır. Yapılan deneylerde malzemelerin sonuçları ağırlık farkı metoduyla hesaplanmıştır.

Ağırlık farkı metodu: Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybının ölçülmesi 0,0001 gr hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazi yardımıyla yapıldı. Ağırlık farkı metoduna göre, ağırlık kaybı miktarı, aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiğinde, birim sürtünme yoluna karşılık olarak (g/km), (mg/m) cinsinden birim alan olarak hesap edilecekse (gr/cm²) cinsinden ifade edilir. Spesifik aşınma oranı deneylerde bulunan ağırlık farkı deney süresince aşındırıcı olarak püskürtülen silisyum karbür ve alimüna miktarına bölünmüştür. Böylece spesifik aşınma oranı katsayısı elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan spesifik aşınma oranı aşağıdaki formüldeki gibi sıralanmıştır.

$$W_s(\text{gr/gr}) = \frac{W_{\text{ç}} \text{ Aşınma miktarı (gr) } \Delta g}{\text{Toplam Aşındırıcı Ağırlığı } G_a \text{ (gr)}}$$

$W_{\text{ç}}$ Aşınma miktarı (gr) Δg / Toplam Aşındırıcı Ağırlığı G_a (gr)

Bu formülde ;

W_s aşınma oranı ,

$W_{\text{ç}}$ aşınma oranı ,

G_a toplam aşındırıcı ağırlığı' dır.

Alümina terimi susuz alüminyum oksit tanımını için kullanılır. Batı bloğu ülkelerinde Bayer prosesi geçen yüzyılın sonunda belirlenmesine rağmen, alüminanın boksitten üretilmesinde kullanılan en önemli prosestir. O zamandan beri Bayer Prosesi geliştirilmiş ve iyileştirilmiştir. Her boksit yatağı diğer boksit yataklarından özellikleri bakımından da farklıdır ve işletme yöntemleri farklılık gösterir ki bu da belirli bir boksit için alümina fabrikasından özel olarak dizayn edilmesi anlamına gelmektedir. Bununla beraber prosesler temelde benzerler ve genel bir açıklama aşağıdaki gibi verilebilir. Madenden gelen boksit kırılır ve öğütülür. Sonra bir sud kostik çözeltisi ile karıştırılır ve büyük otoklavlara

pompalanır. Orada 110–270 derece sıcaklıklara kadar basınç altında cevher içerisindeki alümina sodyum alüminat şeklinde çözülür. Boksit içindeki silis reaksiyona girer ve çözüldükten sonra sodyum alüminyum silikat olarak çöker. Demir ve titanyum oksit ve diğer safsızlıklar kimyasal olarak etkilenmezler ve katı olarak çözüldükten sonra ayrılır, kostik sodanın geri kazanılması için yıkanır ve sonra çamur alanına pompalanır. Kumumsu alüminanın aktif yüzey alanı büyüktür. Bu özelliği elektroliz hanelerde flour azaltılması için kuru absorpsiyon sistemlerinde kullanılmasını uygun hale getirir. Kumumsu alüminanın üretimine gittikçe artan belirgin bir yöneliş vardır[18].

5.8. Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi

Üretilen değişik kompozisyonlardaki numunelerin çekme deneyi sonundaki yüzey görüntüleri taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. SEM cihazı JEOL marka JSM 6060LV model marka olup Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Laboratuvarından yararlanılmıştır.

Yapılan mikroyapı incelemeleri sonucunda değişik partikül boyutlu malzemelerden alınan mikroyapı incelemeleri sonucunda malzemenin içindeki karışım miktarlarında fark olmazken malzemenin partikül boyutlarındaki farklılıklar göze çarpmaktadır. 1 mikron tane boyutlu malzemenin mikro yapısındaki kompozisyon diğer numunelere göre daha düzenli olduğu görülmektedir. Değişik mermer tozu ilaveleri ile elde edilen numunelerde yapılan mikroyapı incelemeleri sonucunda elde edilen sonuçlarda ise mermer tozu ilavesinin artması malzemedeki CaCO_3 oranının artmasına neden olmuştur.

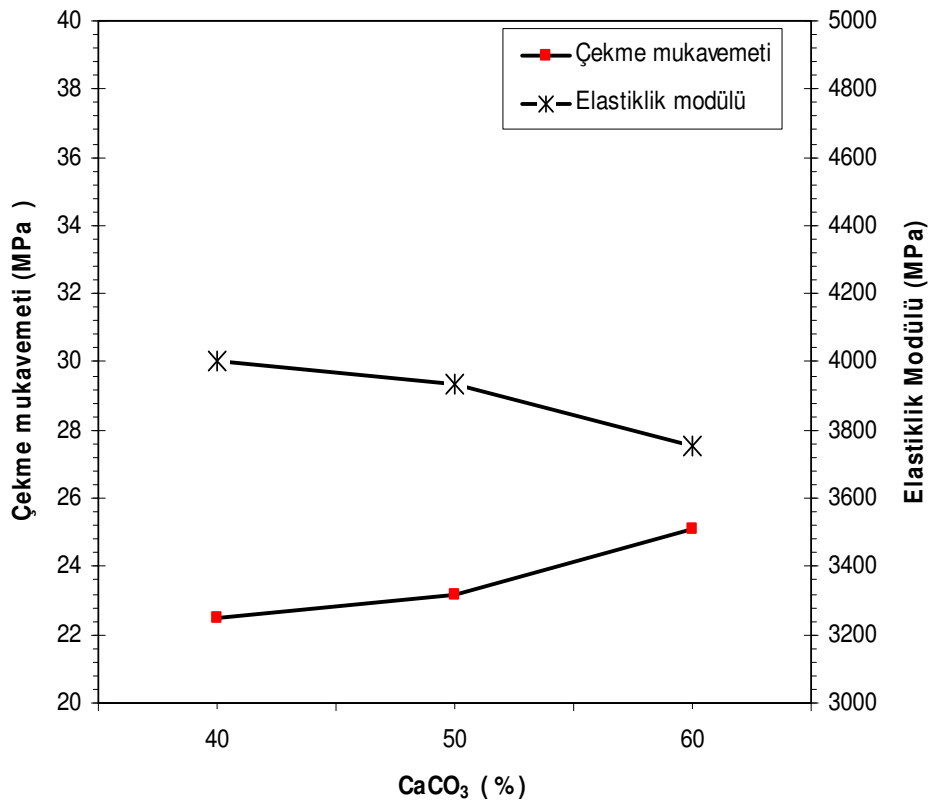
5.9. Deneysel Sonuçlar

Bu bölümde mekanik, mikroyapı, ve aşınma özelliklerini tespit etmek için çekme eğme, sertlik deneyleri ve erosive aşınma deneyleri yapılmıştır. Ayrıca üretilen numunelerin mikroyapı özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir.

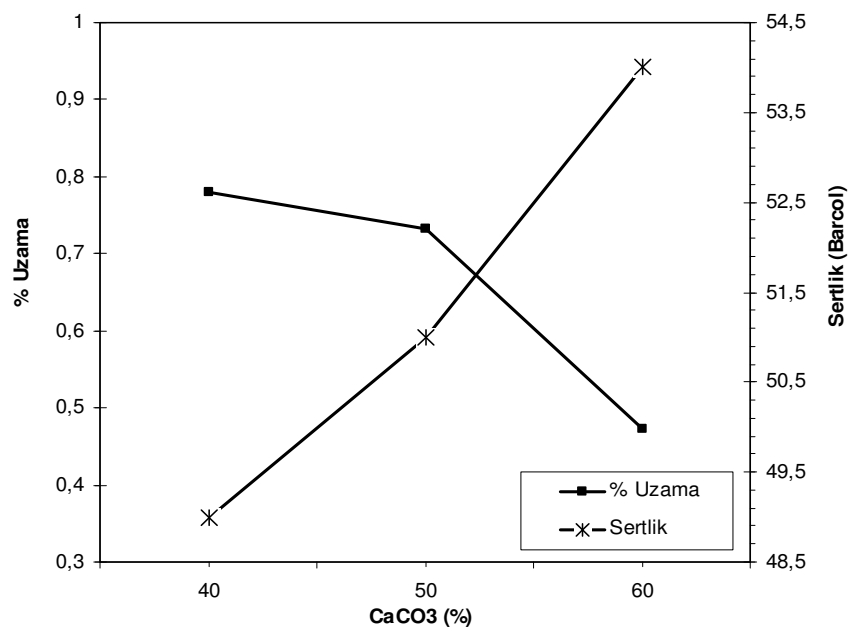
5.9.1. Çekme deneyi bulguları

CaCO₃ ve mermer tozu katkılı kompozit malzemeler ile %50 oranında CaCO₃ içeren 1 µm, 2 µm, 3 µm, 5 µm ve 10 µm boyutlarındaki numunelere çekme deney cihazında laboratuvar ortam şartlarında çekme deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca %40, %45 ile %50 oranında atık durumdaki ve ortalama partikül boyutu 100 µm olan mermer tozu/polyester kompozit malzemeleri çekme deneyine tabii tutulmuştur. Numuneler, sabit oda sıcaklığında ve sabit çekme hızında (10 mm/dk) deneye tabi tutulmuştur. Şekil 5.8. BMC kompozit malzemenin CaCO₃ oranı-çekme-mukavemeti-elastiklik modülü ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi CaCO₃ oranının artması ile çekme mukavemetinde artış gözlenirken elastiklik modülünde hafif bir azalma gözlemlenmiştir. Çekme mukavemetindeki artış %10 civarında olurken elastiklik modülündeki azalma ise yaklaşık olarak %5 civarında olmuştur. Çekme mukavemetindeki artışın sebebi CaCO₃ dolgu malzemesi ile bünyedeki cam elyaf mukavemet artırıcı katkıdan olduğu düşünülmektedir. CaCO₃ oranındaki değişikliklerin malzemenin mekanik özelliklerine olduğu gibi yüzey görünümüne de direk etkisi olduğu gözlenmiştir. CaCO₃ oranı arttıkça malzemenin yüzey parlaklığı artmakta metalimsi bir görüntü almaktadır.

Şekil 5.9. BMC kompozit malzemenin CaCO₃ oranı-uzama-sertlik ilişkisini göstermektedir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi CaCO₃ oranının %40 'dan %60 artması ile sertlik 49'dan 53,5 değerine çıkmıştır. Yani sertlik CaCO₃ oranının artması ile yaklaşık olarak %9 artış göstermiştir. % uzama değerlerinde ise kompozit malzemedeki CaCO₃ oranının %40'dan %60'a çıkması ile %37 oranında azalma gözlenmiştir. Kompozit malzemenin içindeki CaCO₃ kompozit malzemeye sertlik vermektedir. Dolayısıyla da daha gevrek bir yapıya dönüşmekte ve % uzama değerleri azalmaktadır.

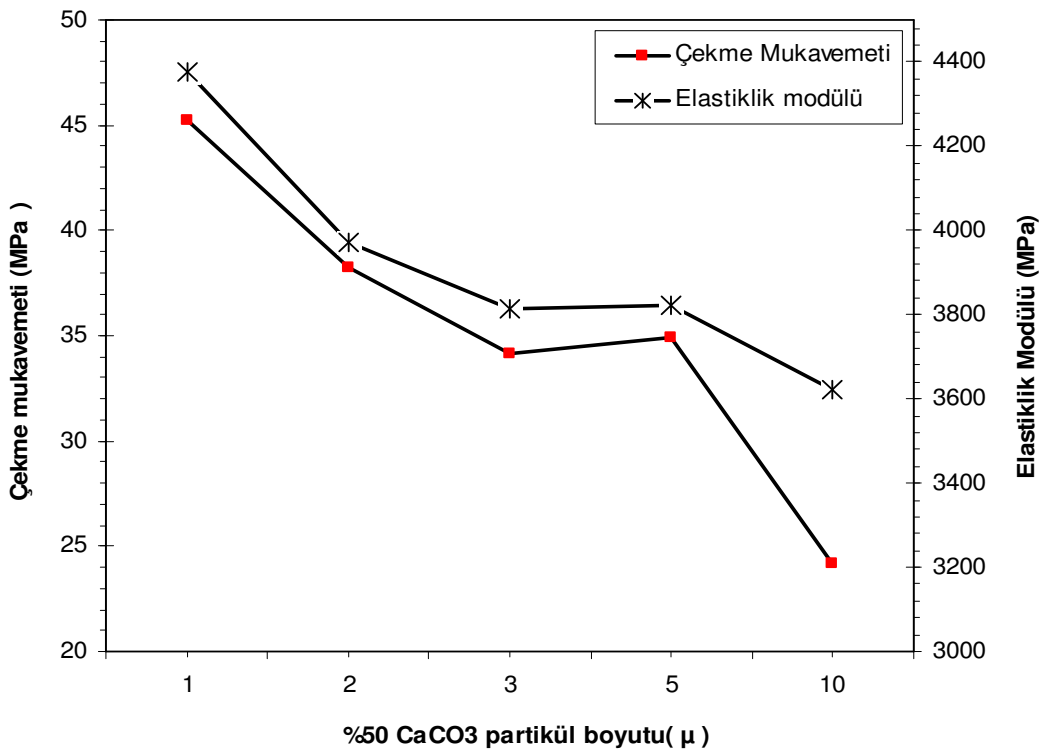


Şekil 5.8. BMC kompozit malzemenin CaCO₃ oranı-çekme-mukavemeti-elastiklik modülü ilişkisi

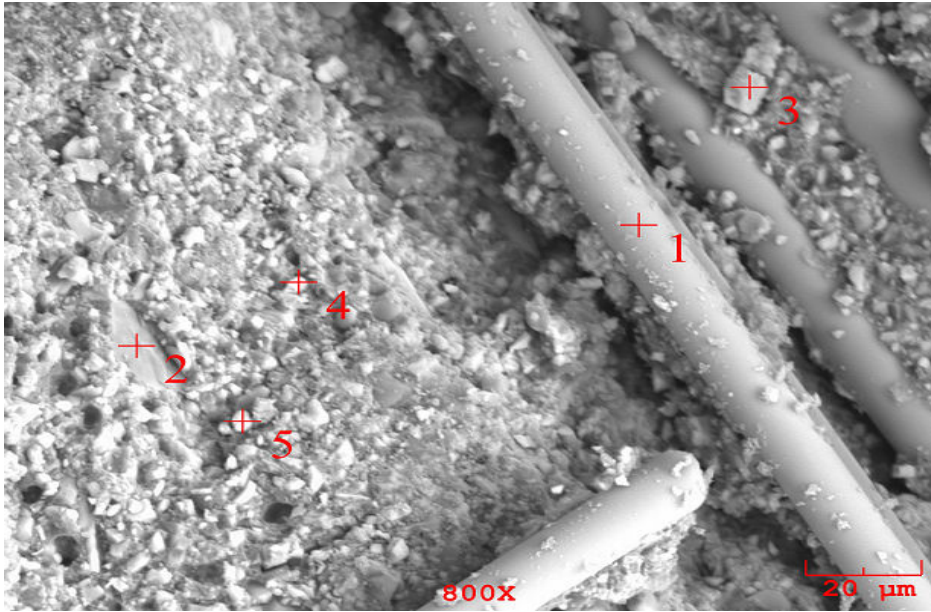


Şekil 5.9. BMC kompozit malzemelere ilave edilen CaCO₃ oranı-% uzama ilişkisi

Şekil 5.10. BMC kompozit malzemenin % 50 oranında CaCO_3 içeren kompozit malzemenin-partikül boyutu- çekme mukavemeti- elastiklik modülü ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi matris bünyesine değişik partikül boyutlarında (1 μm , 2 μm , 3 μm , 5 μm ve 10 μm) ilave edilen CaCO_3 'ın partikül boyutu arttıkça çekme mukavemeti ve çekmedeki elastiklik modülünde azalma meydana gelmiştir. Çekme mukavemetindeki azalma 1 μm partikül boyutlu CaCO_3 'a göre sırasıyla %15, %25, %22 ve %44 oranında olduğu gözlenmiştir. Çekmedeki elastiklik modülündeki azalma ise 1 μm partikül boyutlu CaCO_3 'a göre sırasıyla %10, %14, %14 ve %18 oranında olduğu gözlenmiştir. Şekilden açıkça görüldüğü gibi polimer malzemeye ilave edilen katkı malzemesinin partikül boyutunun küçük olması ile matris içinde homojen bir dağılım olmaktadır (Şekil 5.11, Şekil 5.12). Partikül boyutunun büyük olması ile malzeme içerisinde homojen olmayan bir dağılım meydana gelmektedir. (Şekil 5.13). Bu durum ise malzemenin mukavemet özelliklerini olumsuz bir şekilde etkilemektedir.



Şekil 5.10. %50 CaCO_3 içeren BMC kompozit malzemenin partikül boyutu-çekme mukavemeti – Elastik modülü ilişkisi



Şekil 5.11. 1 μm partikül boyutlu polyester esaslı kompozit malzemenin çekme deneyi sonrası elde edilen kırık yüzey SEM görüntüsü

1 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	3.38	1.162	5.095	wt. %
O	Ka	157.38	7.931	50.873	wt. %
Na	Ka	4.72	1.374	0.345	wt. %
Mg	Ka	3.48	1.180	0.168	wt. %
Al	Ka	172.73	8.309	6.858	wt. %
Si	Ka	622.46	15.774	23.680	wt. %
Ca	Ka	281.63	10.610	12.980	wt. %
			Total	100.000	wt. %

2 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	96.34	6.207	30.629	wt. %
O	Ka	234.93	9.692	56.419	wt. %
Al	Ka	141.34	7.518	4.055	wt. %
Si	Ka	3.44	1.173	0.089	wt. %
Ca	Ka	299.40	10.941	8.808	wt. %
			Total	100.000	wt. %

3 Numaralı Bölge

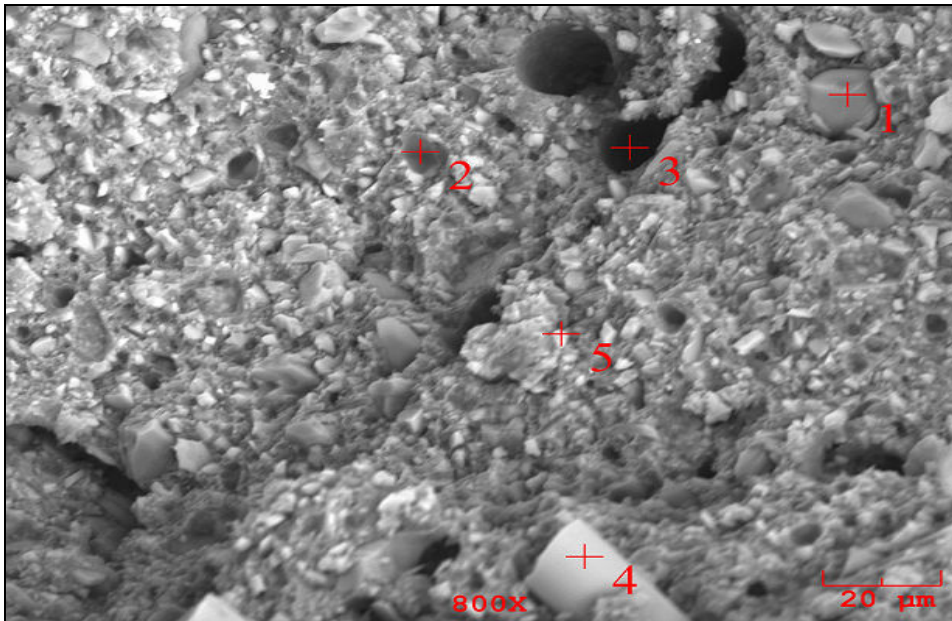
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	4.90	1.399	8.262	wt. %
O	Ka	9.79	1.978	29.489	wt. %
Al	Ka	4.43	1.330	0.686	wt. %
Si	Ka	8.38	1.830	1.088	wt. %
Ca	Ka	400.86	12.657	60.475	wt. %
			Total	100.000	wt. %

4 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	113.32	6.732	30.369	wt. %
O	Ka	176.82	8.409	52.663	wt. %
Na	Ka	4.30	1.312	0.244	wt. %
Mg	Ka	4.20	1.296	0.152	wt. %
Al	Ka	5.00	1.414	0.146	wt. %
Si	Ka	8.90	1.887	0.220	wt. %
Ca	Ka	553.97	14.885	16.207	wt. %
			Total	100.000	wt. %

5 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	80.46	5.673	27.736	wt. %
O	Ka	109.62	6.622	49.267	wt. %
Ca	Ka	602.30	15.521	22.997	wt. %
			Total	100.000	wt. %



Şekil 5.12. 3 µm partikül boyutlu polyester esaslı kompozit malzemenin çekme deneyi sonrası elde edilen kırık yüzey SEM görüntüsü

1 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	8.36	1.828	25.440	wt.%
O	Ka	11.92	2.184	36.908	wt.%
Al	Ka	12.01	2.191	2.531	wt.%
Si	Ka	29.16	3.414	5.436	wt.%
Ca	Ka	133.36	7.302	29.685	wt.%
			Total	100.000	wt.%

2 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	70.21	5.299	53.448	wt.%
O	Ka	14.24	2.386	24.348	wt.%
Si	Ka	1.88	0.866	0.149	wt.%
Ca	Ka	221.43	9.410	22.055	wt.%
			Total	100.000	wt.%

3 Numaralı Bölge

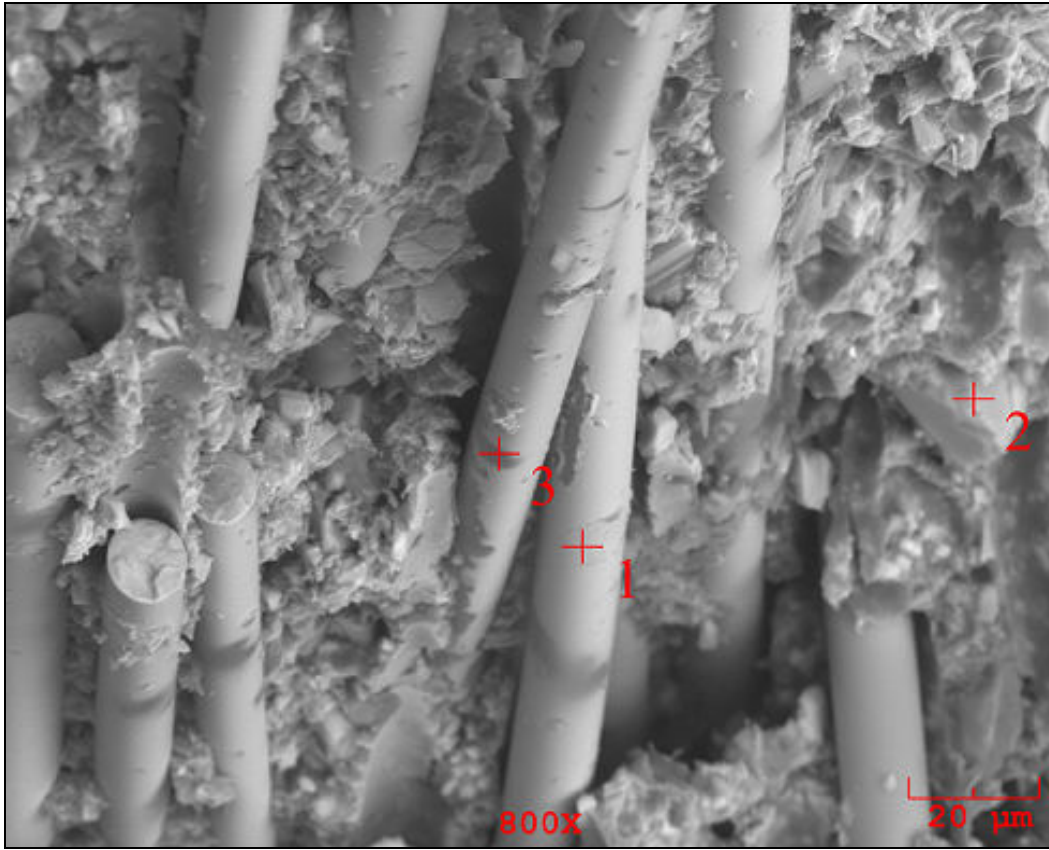
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
O	Ka	4.83	1.389	38.231	wt.%
Al	Ka	3.20	1.131	1.472	wt.%
Ca	Ka	137.85	7.425	60.297	wt.%
				100.000	wt.%

4 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	12.44	2.230	10.265	wt.%
O	Ka	269.46	10.379	53.531	wt.%
Al	Ka	244.21	9.881	6.237	wt.%
Si	Ka	803.93	17.927	19.455	wt.%
Ca	Ka	360.90	12.012	10.512	wt.%
			Total	100.000	wt.%

5 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	51.91	4.556	31.520	wt.%
O	Ka	54.15	4.653	43.796	wt.%
Al	Ka	14.00	2.367	0.875	wt.%
Si	Ka	10.52	2.051	0.564	wt.%
Ca	Ka	364.62	12.076	23.244	wt.%
			Total	100.000	wt.%



Şekil 5.13. 10 μm partikül boyutlu polyester esaslı kompozit malzemenin çekme deneyi sonrası elde edilen kırık yüzey SEM görüntüsü

1 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	11.13	2.110	30.120	wt.%
O	Ka	19.57	2.798	27.194	wt.%
Al	Ka	55.69	4.720	5.150	wt.%
Si	Ka	205.29	9.061	18.100	wt.%
Ca	Ka	175.22	8.372	19.437	wt.%
			Total	100.000	wt.%

2 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	46.76	4.324	19.115	wt.%
O	Ka	105.09	6.482	52.418	wt.%
Al	Ka	5.02	1.417	0.218	wt.%
Ca	Ka	665.88	16.316	28.249	wt.%
			Total	100.000	wt.%

3 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	19.14	2.766	32.503	wt.%
O	Ka	29.84	3.453	40.614	wt.%
Al	Ka	26.12	3.231	2.847	wt.%
Si	Ka	67.67	5.200	6.619	wt.%
Ca	Ka	147.40	7.675	17.418	wt.%
			Total	100.000	wt.%

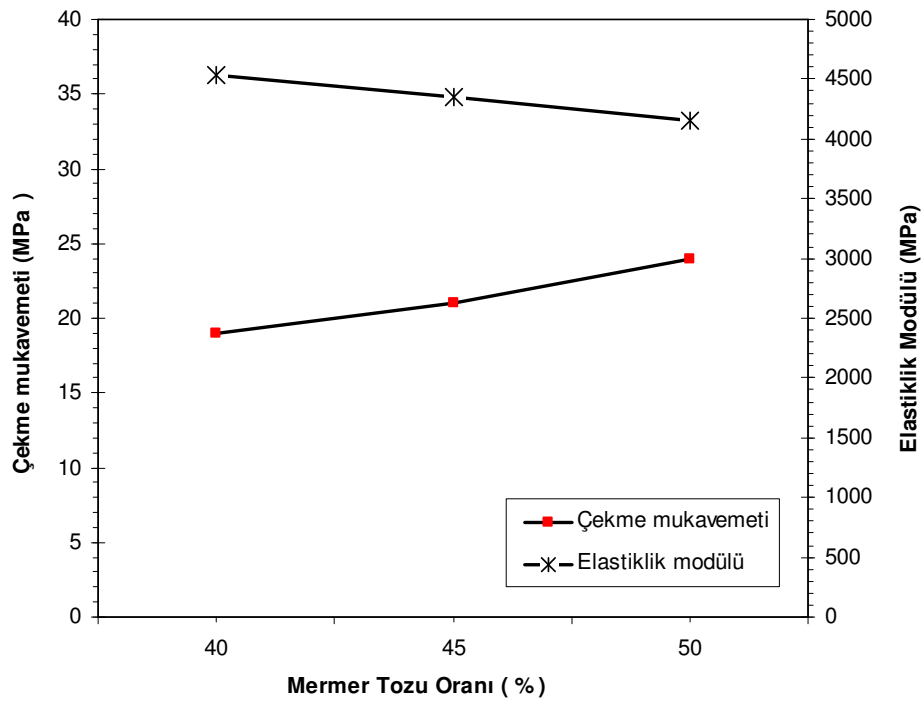
1 mikron boyutundaki numunelerdeki % uzamanın farklı bir şekilde en yüksek olarak çıkması malzemenin içyapısındaki tane boyutunun elastiklik değerlerinin yüksek olduğundan dolayı bu şekilde sonuçlandığı anlaşılmıştır. Şekil 5.16'da değişik büyüklüklerdeki partikül boyutlarındaki %50 CaCO₃ içeren numunenin deney sonuçları verilmiştir.

Şekil 5.17. BMC kompozit malzemenin atık mermer tozu oranı-çekme-mukavemeti-elastiklik modülü ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi atık mermer tozu oranının artması ile çekme mukavemetinde artış gözlenmiş olup bu oran yaklaşık olarak %27 civarındadır. Fakat elastiklik modülünde ise hafif bir azalma gözlemlenmiştir. Elastiklik modülündeki bu azalma ise yaklaşık olarak %9 oranında olmuştur. Çekme mukavemetindeki artışın sebebi atık mermer dolgu malzemesi ile cam elyafın mukavemet artırıcı özelliğinin olduğu düşünülmektedir.

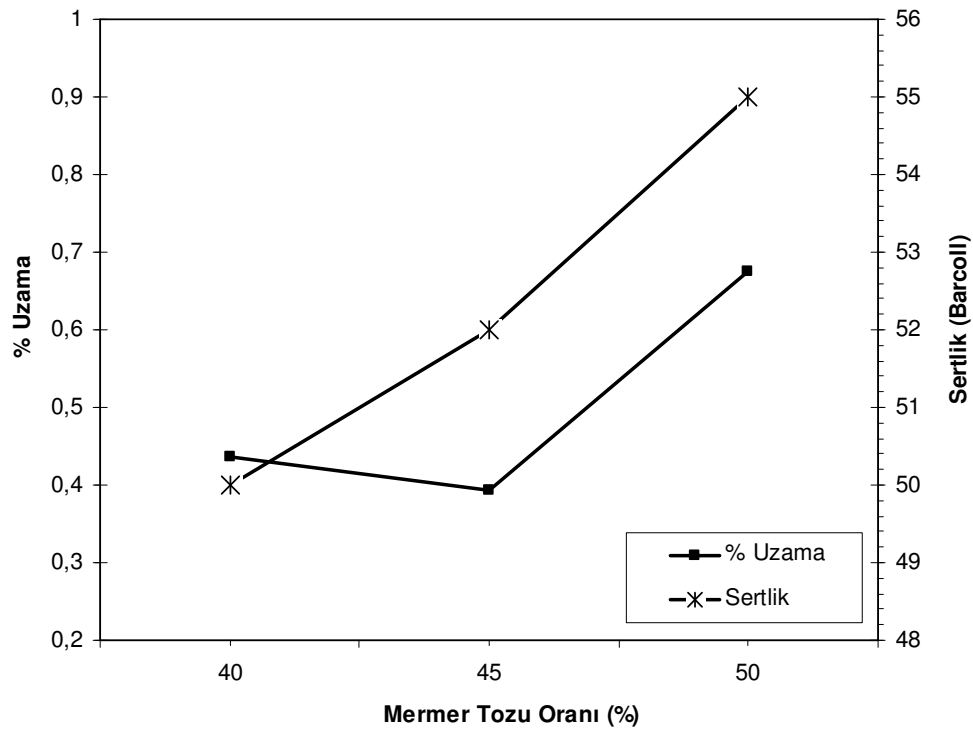
Şekil 5.18. BMC kompozit malzemenin atık mermer tozu oranı-%uzama-sertlik ilişkisini göstermektedir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi atık mermer tozu oranının %40 'dan %50 ye çıkarılması sonucu sertlik 50'den 55 değerine çıkmıştır. Yani sertlik atık mermer tozu oranının artması ile yaklaşık olarak %10 artış göstermiştir. % uzama değerlerinde ise kompozit malzemedeki atık mermer tozu oranının %40'dan %50'ye çıkması ile %40 oranında artış gözlenmiştir. Kompozit malzemenin içindeki atık mermer tozu kompozit malzemeye sertlik vererek daha gevrek bir yapıya dönüştürmektedir.

Şekil 5.19. ise doymamış polyester/cam elyaf kompozit malzemesindeki cam elyaf oranının kompozit malzemenin çekme mukavemetine etkisini göstermektedir. Şekilden cam elyaf oranının artması ile çekme mukavemetinin orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. Benzer şekilde Şekil 5.20 ise BMC kompozit malzemelerin cam elyaf oranının artması ile sertlik değerlerinde de artış olduğu gözlenmiştir.

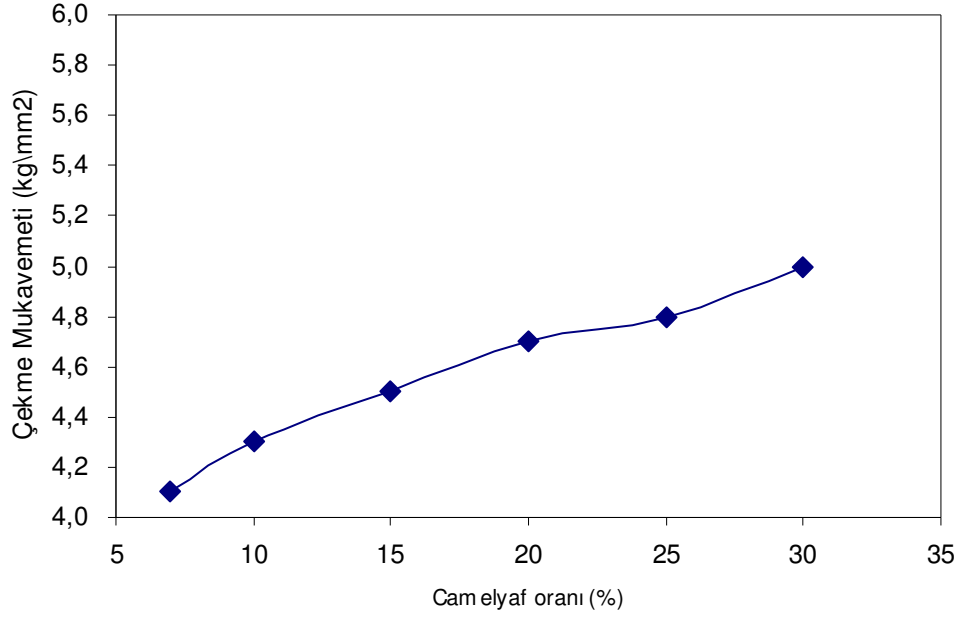
Şekil 5.21 'da görüldüğü gibi % cam elyaf artışı ile birlikte, çekme mukavemeti sürekli artmıştır, buna karşılık kopmadaki % uzama miktarı ise çekme mukavemetinin tersine sürekli olarak azalmıştır. Bunun sebebi cam elyaf miktarının artışı ile beraber kompozitin rijitliğinin (direngenliğinin) artması ve bunun aksine mukavemeti artan kompozitin şekil değiştirme kabiliyetinin azalmasıdır. Bu deney



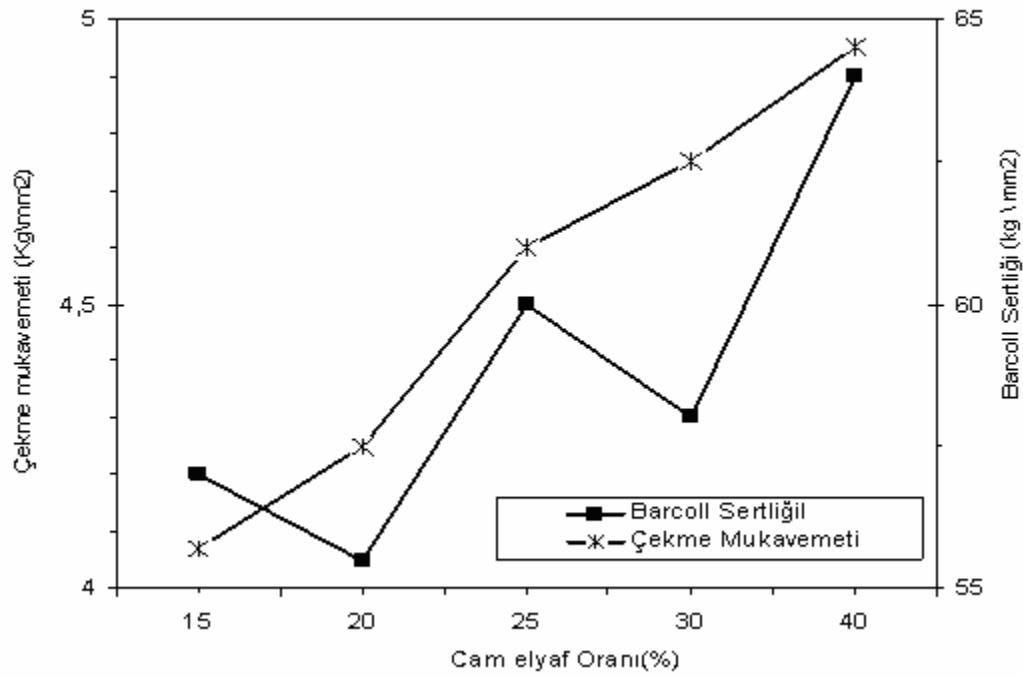
Şekil 5.17. BMC kompozit malzemelerin % mermer tozu -çekme mukavemeti-elastiklik modülü ilişkisi



Şekil 5.18. BMC kompozit malzemenin mermer tozu - % uzama – sertlik ilişkisi

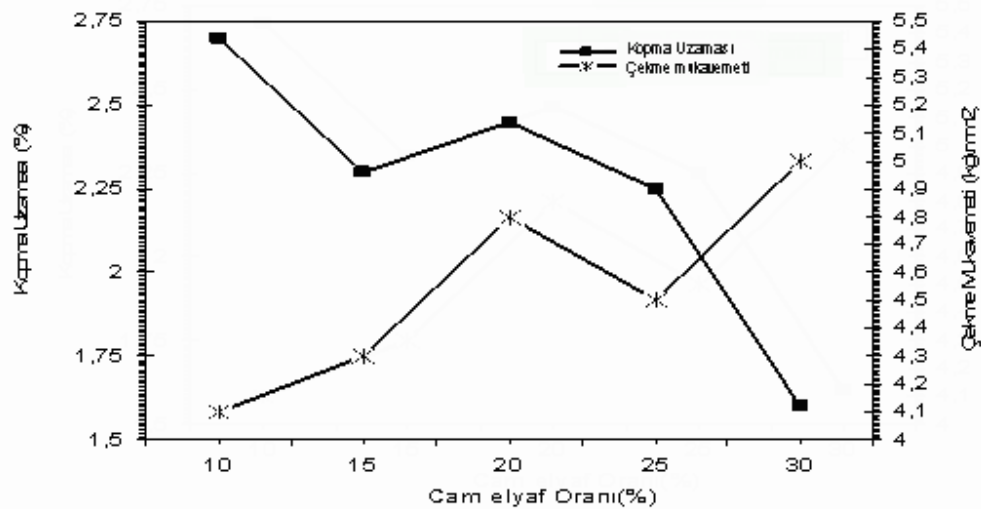


Şekil 5.19. BMC kompozit malzemede çekme mukavemeti - % cam elyaf oranı ilişkisi [11]



Şekil 5.20 BMC kompozit malzemelerde % cam elyaf oranı-çekme mukavemeti-sertlik ilişkisi [11]

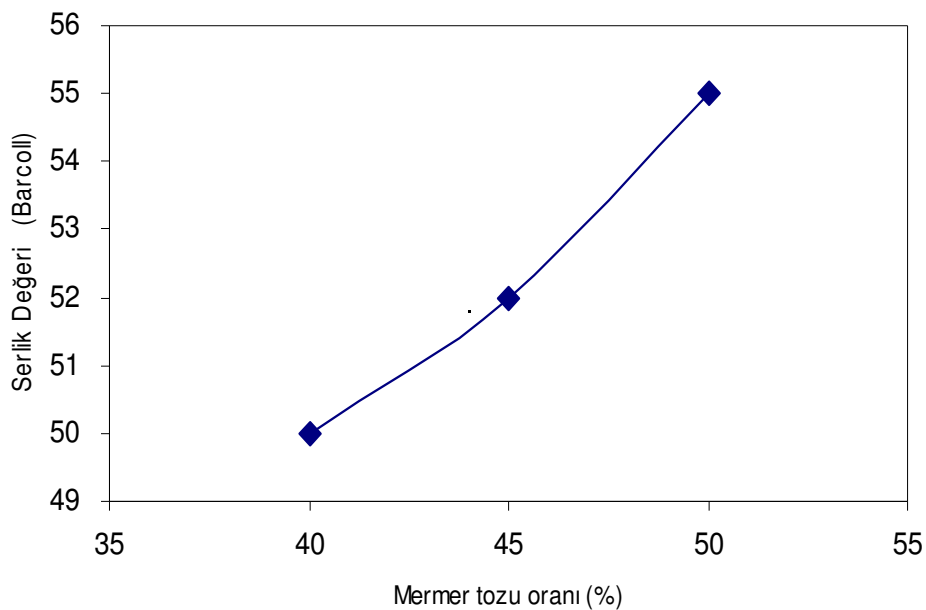
sonuçları daha önce yapılan çalışmalarla [14–15] uyum içerisinde olmasına rağmen bazı deneysel sonuçlar [1] ile tamamen uymamaktadır.



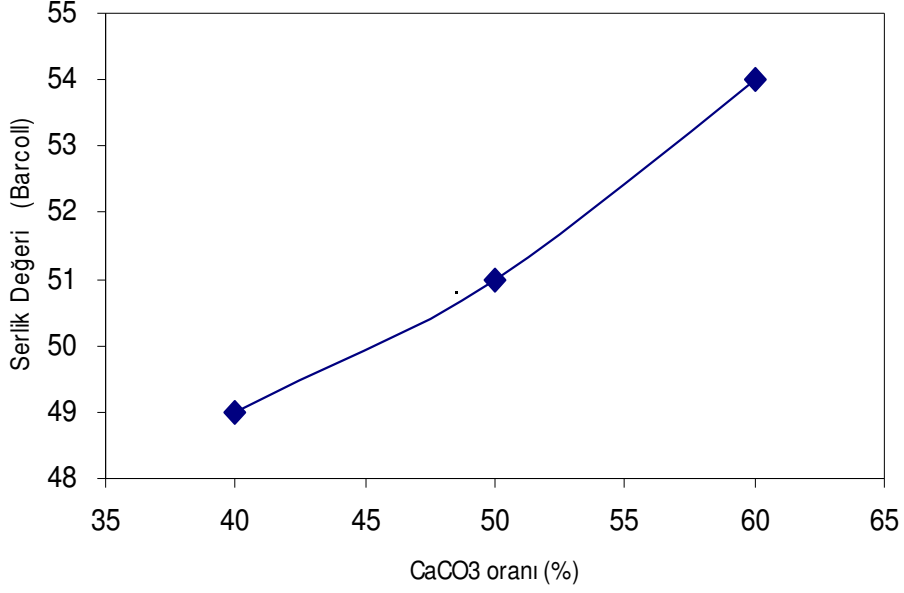
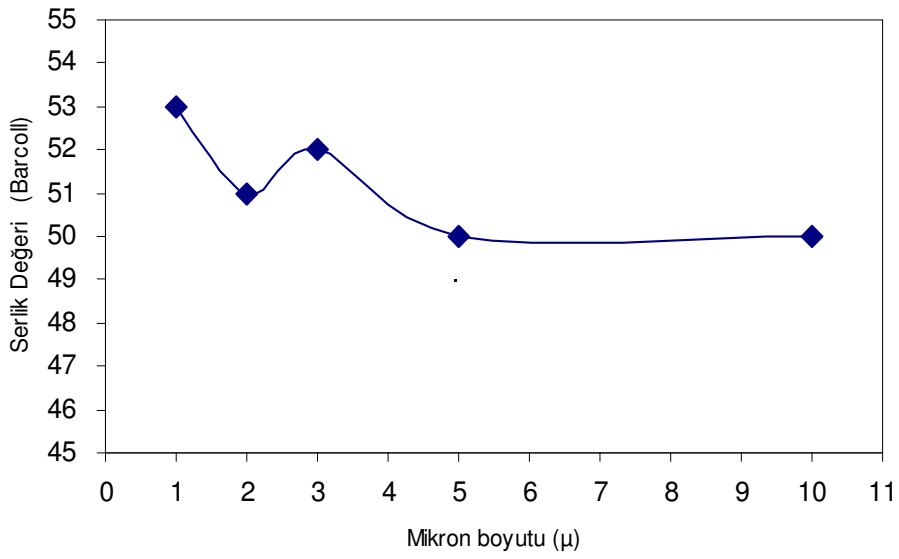
Şekil 5.21. BMC kompozit malzemenin çekme mukavemeti - %uzama - % cam elyaf oranı ilişkisi

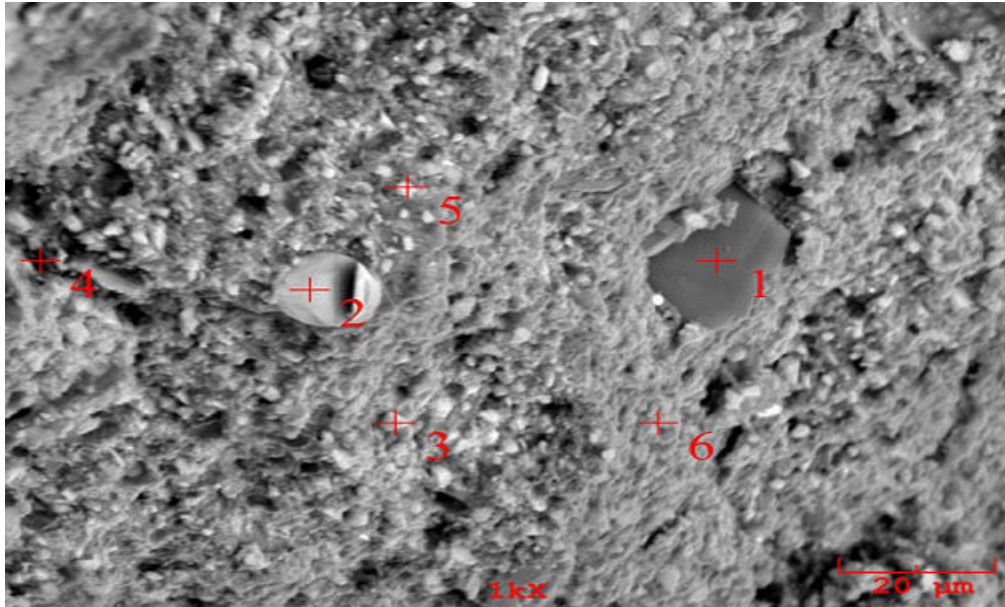
[12]

Şekil 5.22’de değişik mermer tozu ilave edilmiş kompozit malzeme numuneleri üzerinde yapılmış sertlik deney sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre polimer matris içindeki mermer tozu katkısı oranı arttıkça malzemedeki sertlik değerleri de artmaktadır. Yine Şekil 5.23’de ise değişik oranlarda polimer ana matrise ilave edilen CaCO_3 oranı-sertlik ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi CaCO_3 oranındaki artış atık mermer tozunda olduğu gibi kompozit malzemenin sertliğini artırmaktadır. Şekil 5.24 değişik partikül boyutlu CaCO_3 /polyester kompozit malzemelerdeki partikül boyutunun sertlik değerine etkisini göstermektedir. Şekilden anlaşıldığına göre CaCO_3 partikül boyutu küçüldükçe malzemenin sertliğinin arttığı da tespit edilmiştir ayrıca CaCO_3 oranı arttıkça da malzemede sertlik değerleri artmıştır. Elde edilen sonuçlar önceki literatür ile uyum içersindedir. Şekil 5.25. Şekil 5.26 ve Şekil 5.27 ise CaCO_3 polyester kompozit malzemelerdeki sırasıyla %40, %45 ve %50 oranında atık mermer tozu katkılı kompozit malzemenin çekme deneyi sonunda elde edilen kırık yüzey SEM mikroyapı görüntülerini vermektedir.



Şekil 5.22 Doymamış polyester/atık mermer tozu kompozit malzemelerde mermer tozu oranı-sertlik ilişkisi

Şekil 5.23. Doymamış polyester/CaCO₃ kompozit malzemelerde CaCO₃ oranı-sertlik ilişkisiŞekil 5.24. Doymamış polyester/CaCO₃ kompozit malzemelerde CaCO₃ partikül boyutu - Sertlik ilişkisi



Şekil 5.25 %40 Mermer tozu katkılı BMC kompozit malzemenin çekmedeki kırık yüzey görüntüsü

1 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
O	Ka	159.92	7.996	63.248	wt.%
Al	Ka	365.18	12.083	35.394	wt.%
Ca	Ka	12.04	2.194	1.357	wt.%
			Total	100.000	wt.%

2 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	4.99	1.413	12.404	wt.%
O	Ka	76.97	5.549	48.463	wt.%
Na	Ka	2.45	0.990	0.327	wt.%
Mg	Ka	2.17	0.931	0.191	wt.%
Al	Ka	91.48	6.049	6.662	wt.%
Si	Ka	294.22	10.848	20.518	wt.%
Ca	Ka	135.69	7.367	11.435	wt.%
			Total	100.000	wt.%

3 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	43.86	4.187	31.234	wt.%
O	Ka	53.51	4.625	48.281	wt.%
Al	Ka	4.66	1.364	0.361	wt.%
Si	Ka	2.98	1.092	0.196	wt.%
Ca	Ka	254.34	10.084	19.928	wt.%
			Total	100.000	wt.%

4 Numaralı Bölge

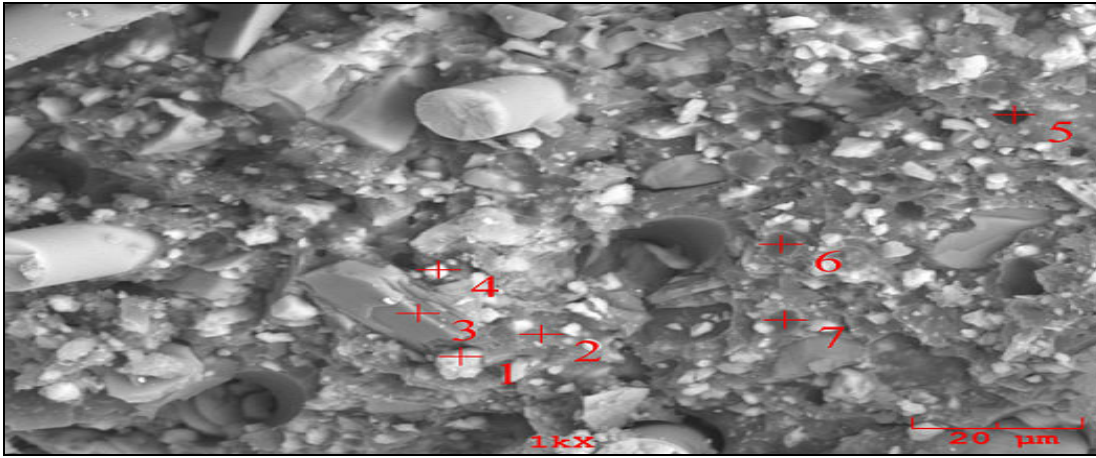
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	15.90	2.521	28.045	wt.%
O	Ka	14.53	2.411	38.847	wt.%
Mg	Ka	3.01	1.097	0.667	wt.%
Al	Ka	3.76	1.226	0.682	wt.%
Si	Ka	1.41	0.752	0.218	wt.%
Ca	Ka	173.04	8.318	31.541	wt.%
			Total	100.000	wt.%

5 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	48.59	4.407	30.100	wt.%
O	Ka	75.87	5.507	53.615	wt.%
Ca	Ka	233.22	9.655	16.284	wt.%
			Total	100.000	wt.%

6 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	33.40	3.654	26.845	wt.%
O	Ka	65.70	5.125	55.148	wt.%
Al	Ka	6.07	1.558	0.519	wt.%
Si	Ka	3.19	1.129	0.231	wt.%
Ca	Ka	202.60	9.000	17.257	wt.%
			Total	100.000	wt.%



Şekil 5.26. %45 oranında mermer tozu katkılı BMC kompozit malzemenin çekmedeki kırık yüzey görüntüsü mermer numunesi

1 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	65.03	5.099	22.161	wt. %
O	Ka	114.75	6.773	49.624	wt. %
Al	Ka	15.01	2.450	0.539	wt. %
Ca	Ka	779.51	17.653	27.675	wt. %
			Total	100.000	wt. %

2 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	168.20	8.201	52.061	wt. %
O	Ka	92.15	6.070	42.136	wt. %
Ca	Ka	141.51	7.522	5.803	wt. %
			Total	100.000	wt. %

3 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	15.36	2.479	17.739	wt. %
O	Ka	212.65	9.222	55.836	wt. %
Al	Ka	563.21	15.008	24.409	wt. %
K	Ka	0.87	0.591	0.041	wt. %
Ca	Ka	40.02	4.000	1.975	wt. %
			Total	100.000	wt. %

4 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	113.29	6.732	29.018	wt. %
O	Ka	181.15	8.512	52.392	wt. %
Al	Ka	25.53	3.195	0.705	wt. %
Ca	Ka	646.09	16.076	17.886	wt. %
			Total	100.000	wt. %

5 Numaralı Bölge

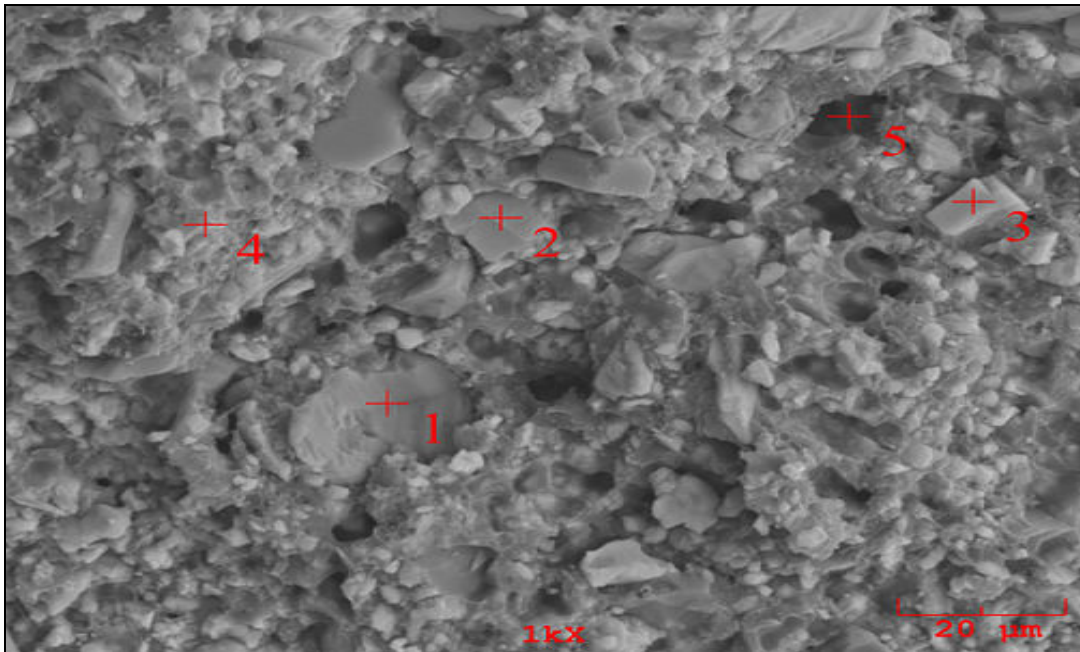
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	2.97	1.090	19.591	wt. %
O	Ka	2.75	1.048	30.458	wt. %
Al	Ka	2.28	0.954	1.375	wt. %
Cl	Ka	1.53	0.783	0.746	wt. %
Ca	Ka	79.15	5.623	47.830	wt. %
			Total	100.000	wt. %

6 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	40.57	4.027	54.321	wt. %
O	Ka	7.37	1.716	20.712	wt. %
Al	Ka	15.19	2.464	2.189	wt. %
Ca	Ka	143.60	7.576	22.778	wt. %
			Total	100.000	wt. %

7 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	24.89	3.155	56.973	wt. %
O	Ka	8.35	1.827	17.774	wt. %
Al	Ka	123.97	7.040	15.148	wt. %
Si	Ka	5.46	1.477	0.749	wt. %
Ca	Ka	62.50	4.999	9.356	wt. %
			Total	100.000	wt. %



Şekil 5.27. %50 mermer tozu katkılı BMC kompozit malzemenin çekmedeki kırık yüzey görüntüsü
Mermer numunesi

1 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
O	Ka	381.39	12.349	65.503	wt.%	C	Ka	6.79	1.648	34.009	wt.%
Al	Ka	753.78	17.361	33.169	wt.%	O	Ka	14.39	2.399	37.100	wt.%
Ca	Ka	26.37	3.247	1.328	wt.%	Al	Ka	84.97	5.829	19.510	wt.%
				Total	100.000	K	Ka	1.92	0.876	0.477	wt.%
						Ca	Ka	33.25	3.647	8.903	wt.%
									Total	100.000	wt.%

2 Numaralı Bölge

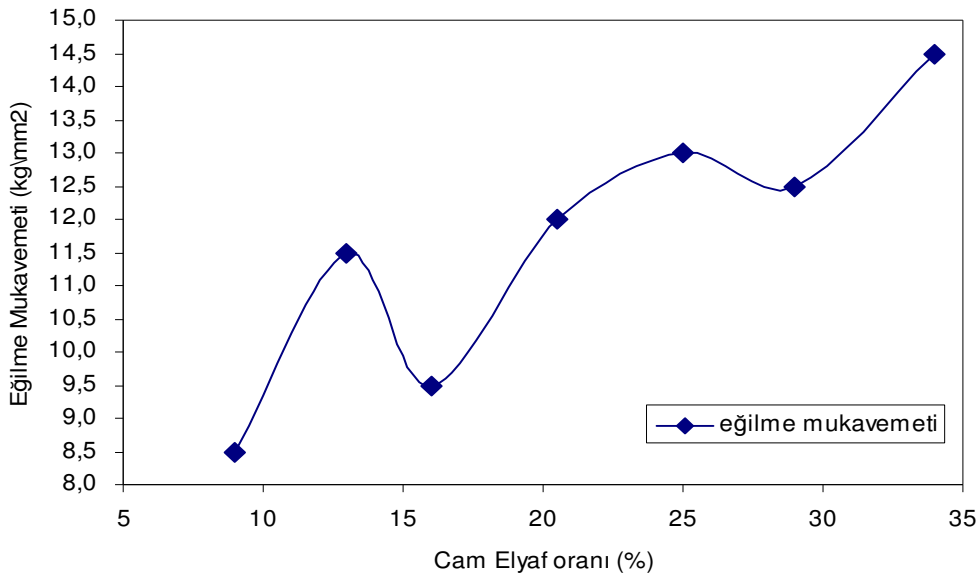
3 Numaralı Bölge

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
C	Ka	37.29	3.862	18.862	wt.%	C	Ka	81.22	5.700	40.110	wt.%
O	Ka	71.63	5.353	48.956	wt.%	O	Ka	67.86	5.210	41.972	wt.%
Ca	Ka	608.84	15.605	32.183	wt.%	Mg	Ka	3.32	1.153	0.207	wt.%
				Total	100.000	Al	Ka	30.48	3.492	1.550	wt.%
						Si	Ka	4.71	1.373	0.209	wt.%
						Ca	Ka	287.89	10.731	15.095	wt.%
						Zn	Ka	3.50	1.184	0.856	wt.%
									Total	100.000	wt.%

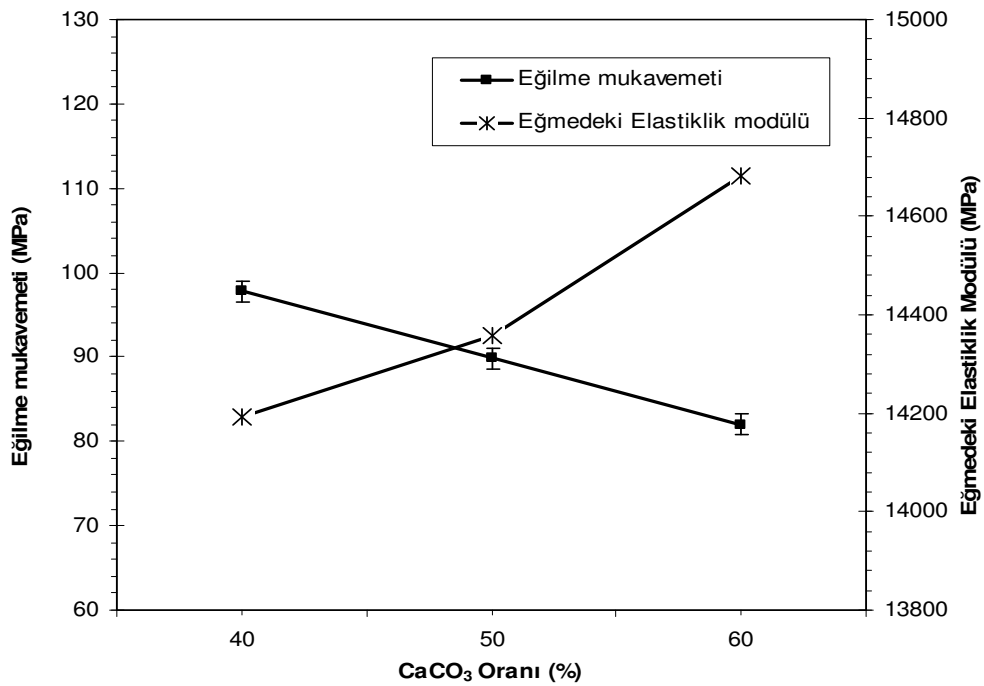
4 Numaralı Bölge

5.9.2. Eğilme deneyi bulguları

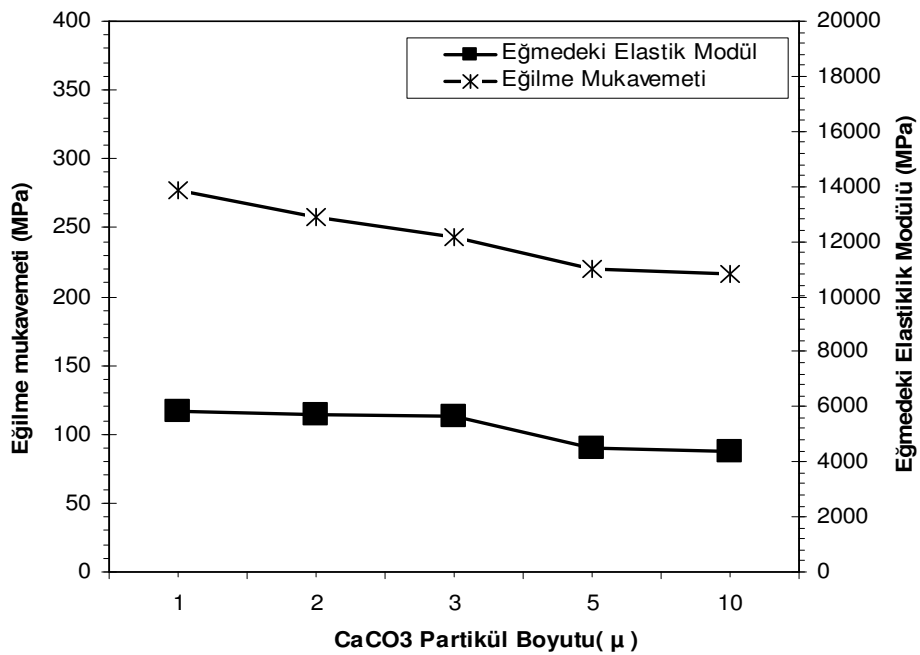
Temometrik - mikro 350 marka ve model çekme cihazı kullanılarak üç nokta eğme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.28 doymamış polyester/cam elyaf kompozit malzemelerde cam elyaf oranının kompozit malzemenin eğilme mukavemetine etkisi gösterilmiştir. Şekilden açıkça görüldüğü gibi kompozit malzemedeki cam elyaf oranının artması ile eğilme mukavemetinde artış olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.29 doymamış polyester CaCO₃ kompozit malzemesinde CaCO₃ oranının kompozit malzemenin eğilme mukavemetine ve eğmedeki elastiklik modülüne etkisi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi CaCO₃ oranının artması ile kompozit malzemenin eğilme mukavemetinde azalma olduğu gözlenirken eğmedeki elastiklik modülünde artış olduğu gözlenmiştir. CaCO₃ oranının %40'dan %60 oranına çıkarılması yani % 50 artırılması sonucunda eğilme mukavemetinde yaklaşık %16 azalma olmuştur ancak eğmedeki elastiklik modülünde ise %6 artış olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.28. Doymamış polyester/cam elyaf kompozit malzemelerde cam elyaf oranı-Eğilme mukavemeti ilişkisi [14]

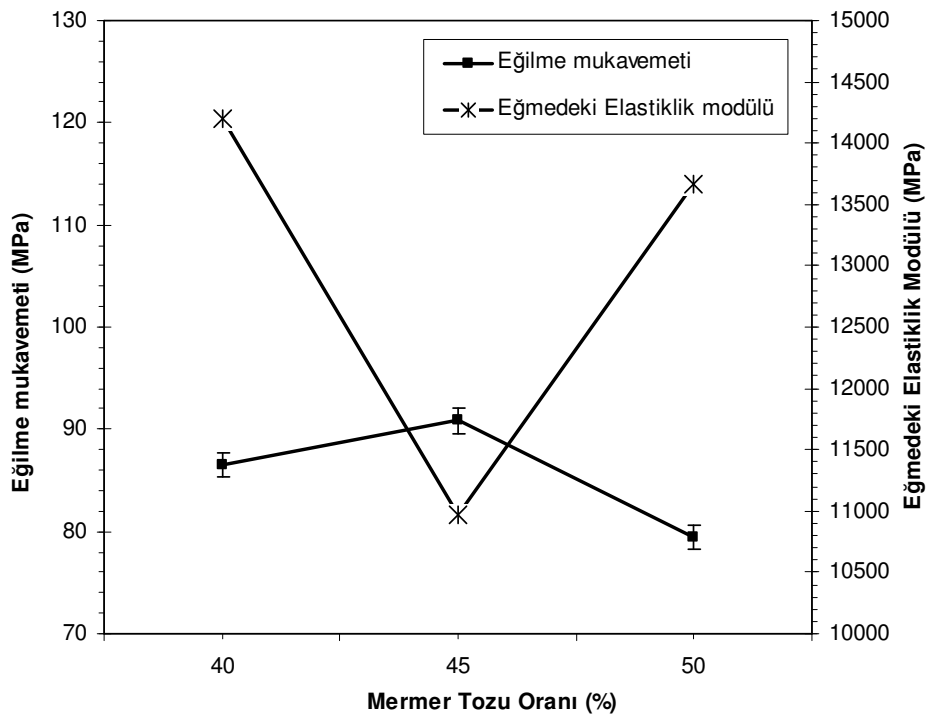


Şekil.5.29. BMC kompozit malzemelerin CaCO₃ oranı-eğilme mukavemeti eğmedeki elastiklik modülü



Şekil 5.30. %50 CaCO₃ içeren BMC kompozit malzemenin partikül boyutu- eğilme mukavemeti – eğmedeki elastiklik modülü ilişkisi

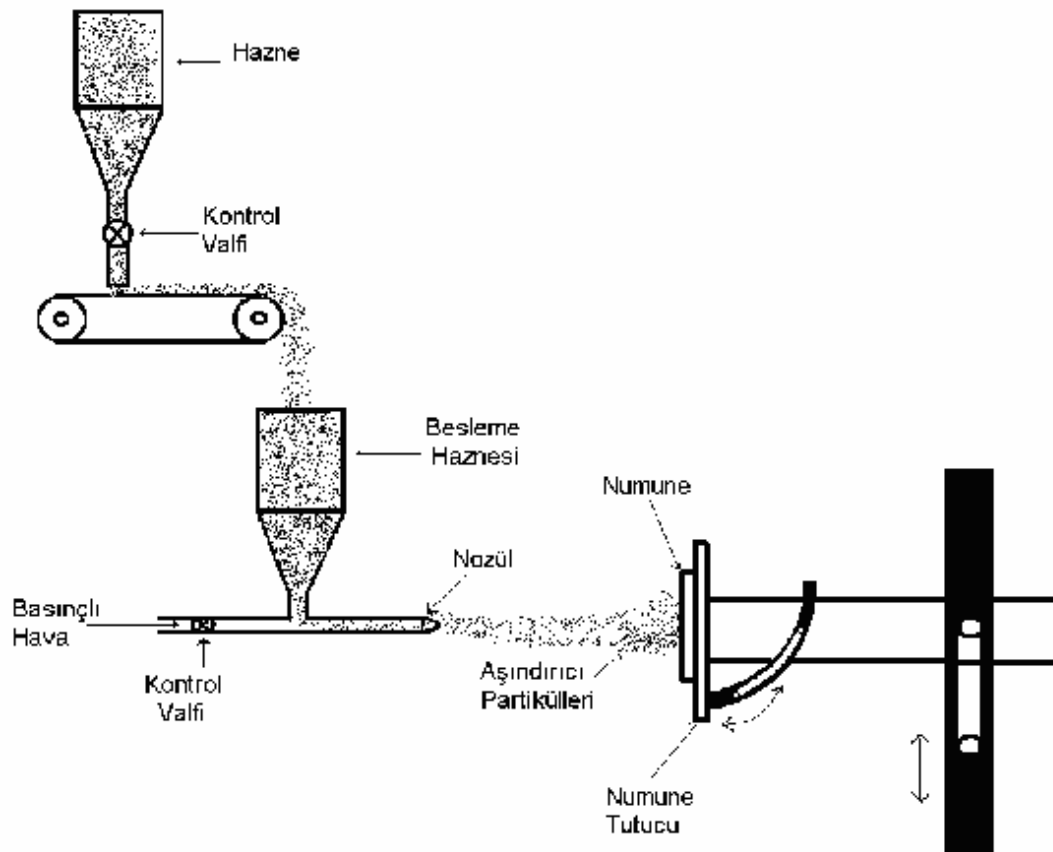
Şekil 5.30 doymamış polyester CaCO_3 kompozit malzemesinde CaCO_3 partikül boyutunun eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülüne etkisi araştırılmıştır. Deneysel sonuçlarda CaCO_3 partikül boyutunun artması ile hem eğilme mukavemetinde hem de eğmedeki elastiklik modülünde azalma gözlemlenmiştir. Bu azalma sırasıyla %18 ve %30 oranlardadır. Şekil 5.31 doymamış polyester atık mermer tozu kompozit malzemesinde mermer tozu oranının malzemenin eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü ilişkisini göstermektedir. Mermer tozu oranının artması ile eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü azalmaktadır. Mermer tozu oranı %40 dan %50 oranına çıkarıldığında yani mermer tozu oranı %25 artırıldığında elastiklik modülü %3 oranında azalma gösterirken, eğilme mukavemeti ise %7 oranında azalma göstermiştir. Deneysel sonuçlarda CaCO_3 partikül boyutunun artması ile hem eğilme mukavemetinde hem de eğmedeki elastiklik modülünde azalma gözlemlenmiştir. Daha fazla mermer tozunun polyestere ilave edilememesinin nedeni, mermer tozunun yeterince ıslatılamamasıdır. Bu sonuçlar literatürle uyum içerisindedir.



Şekil 5.31. BMC Kompozit malzemelerin mermer tozu-eğilme mukavemeti-eğmedeki elastiklik modülü ilişkisi

5.9.3 Aşınma deneyi bulguları

Kapalı bir kabin içerisinde basınçlı hava ile püskürtülen bir deney cihazında toplam 2 çeşit aşındırıcı tane kullanılmıştır. Bunlar 30 mesh (595 µm) partikül boyutlu alümina ile 16 mesh (595 µm) partikül boyutlu silisyum karbürdür. Bu aşındırıcı taneler kullanılarak deney numuneleri erosiv aşınmaya maruz bırakılmışlardır. Erosiv aşınma deneyinde bütün numunelere aynı miktarda alümina ve silisyum kum taneleri püskürtülmüştür. Her bir deneyde ortalama 2362 gr. kum kullanılmıştır. Deneyler sırasıyla önce mermer tozu katkılı kompozit malzemelere, CaCO₃ katkılı kompozit malzemelere ve mekanik özellikleri diğer numunelere göre en iyi olan %50 CaCO₃ katkı içeren numunelere uygulanmıştır.

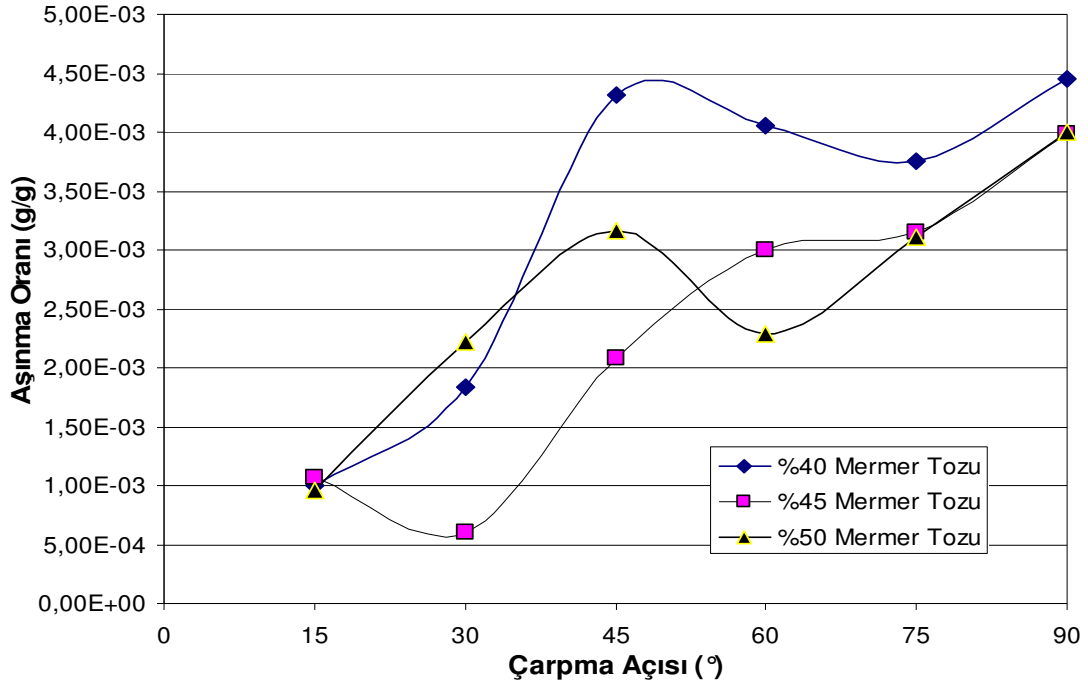


Şekil 5.32. Erosive aşınma deneyi cihazı şematik görünümü

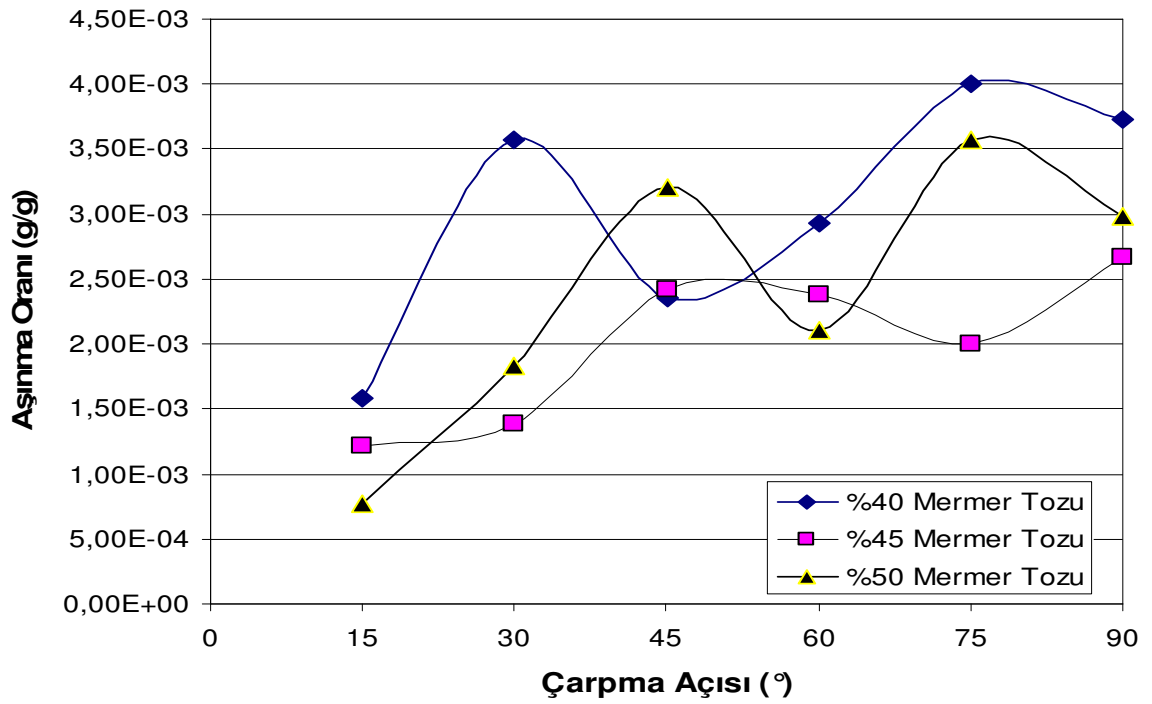
Yapılan deneyler sırasında 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° olmak üzere 6 farklı çarpma açısında aşındırıcı SiC ve Al₂O₃ kum püskürtmek suretiyle numunelerin aşınma oranları

tespit edilmiştir. Şekil 5.32’de aşınma deney cihazı çalışma prensibi görülmektedir. Şekil 5.33 ve Şekil 5.34 mermer tozu katkılı kompozit malzemelerin sırasıyla SiC ve Al₂O₃ kum püskürtme sonucunda çarpma açısına göre oluşan aşınma oranını göstermektedir. Her iki şekilden de açıkça görüldüğü gibi aşındırıcı kumların numunelere 90° püskürtülmesi ile maksimum aşınma meydana gelmiştir. Mermer tozu karışımlarında alümina ile yapılan deneylere göre silisyum karbür kumlarıyla numunelerin daha çok aşındığı tespit edilmiştir. %40 mermer tozu katkılı numunenin diğer numunelere göre daha çok aşındığı tespit edilmiştir.

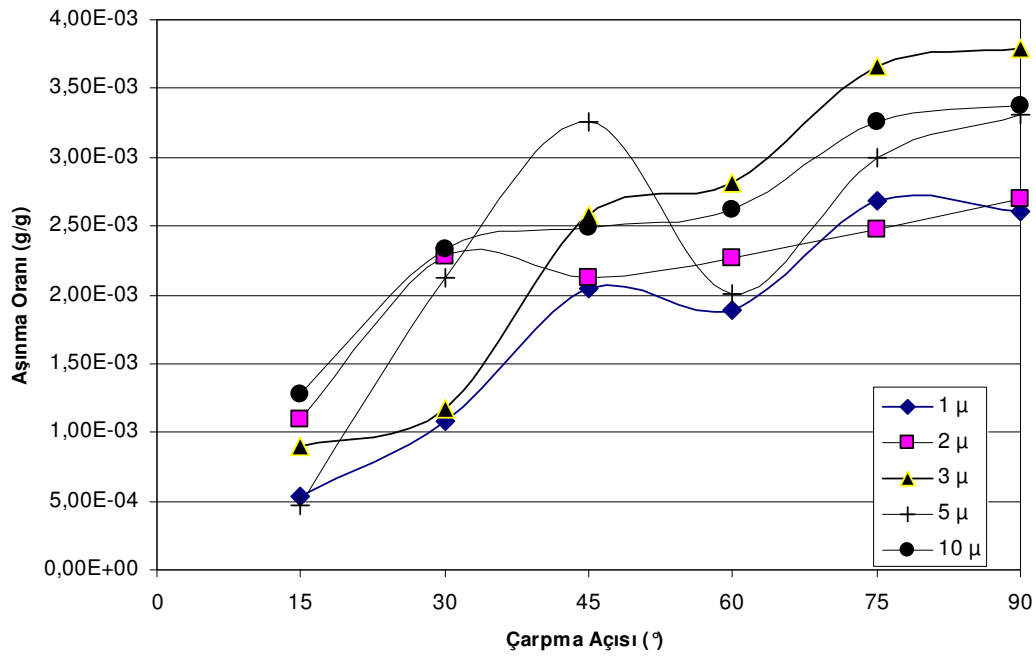
Şekil 5.35 ve Şekil 5.36. sırasıyla Al₂O₃ ve SiC aşındırıcı taneler kullanılarak %50 CaCO₃ katkılı doymamış polyester esaslı kompozit malzemelerin partikül boyutuna bağlı olarak çarpma açısı-aşınma oranı ilişkisi göstermektedir. %50 CaCO₃ katkılı doymamış polyester esaslı kompozit malzemelerin sırasıyla Al₂O₃ ve SiC aşındırıcı kum tanelerinin püskürtülmesi sonucunda 90° çarpma açısında maksimum aşınma meydana gelmiştir. Bu durum ise malzemenin gevrek malzeme olduğunu göstermektedir. Her iki şekilden de açıkça görüldüğü gibi aşındırıcı kumların numunelere 90° püskürtülmesi ile maksimum aşınma meydana gelmiştir. Kompozit malzeme içerisindeki CaCO₃ katkının partikül boyutunun küçük olması (1 µm) aşınma oranını azaltmaktadır. Partikül boyutunun büyük olması (10 µm) aşınma oranının artmasına sebep olmaktadır. Al₂O₃ ve SiC aşındırıcı kum taneleri kullanılarak 90° çarpma açısında yapılan deneyler sonucunda farklı partikül boyutlu CaCO₃ katkılı kompozit malzemelerin aşınma oranı yaklaşık olarak 2.5×10^{-3} ile 3.5×10^{-3} civarında olmuştur. Bu deneyler sonucunda aşındırıcı tane boyunun kompozit malzemelerin aşınma oranına pek etkisi gözlenmemiştir.



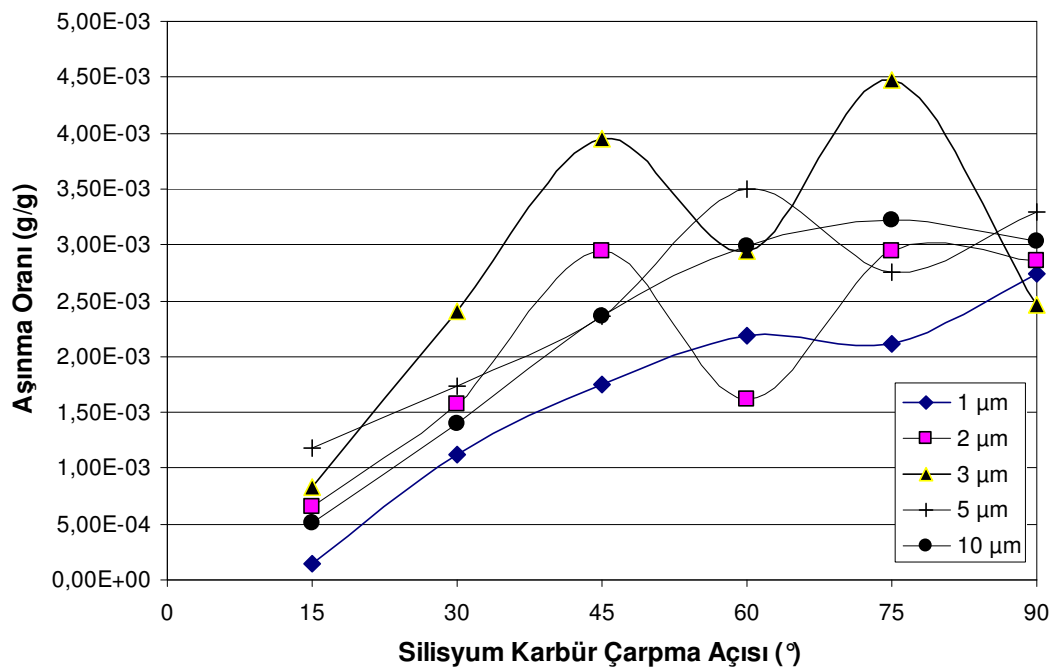
Şekil 5.33. Silisyum karbür aşındırıcı tane kullanılarak yapılan erosiv aşınma deneyinde mermer tozu katkıli BMC kompozit malzemelerin çarpma açısına göre aşınma oranlarının değişimi



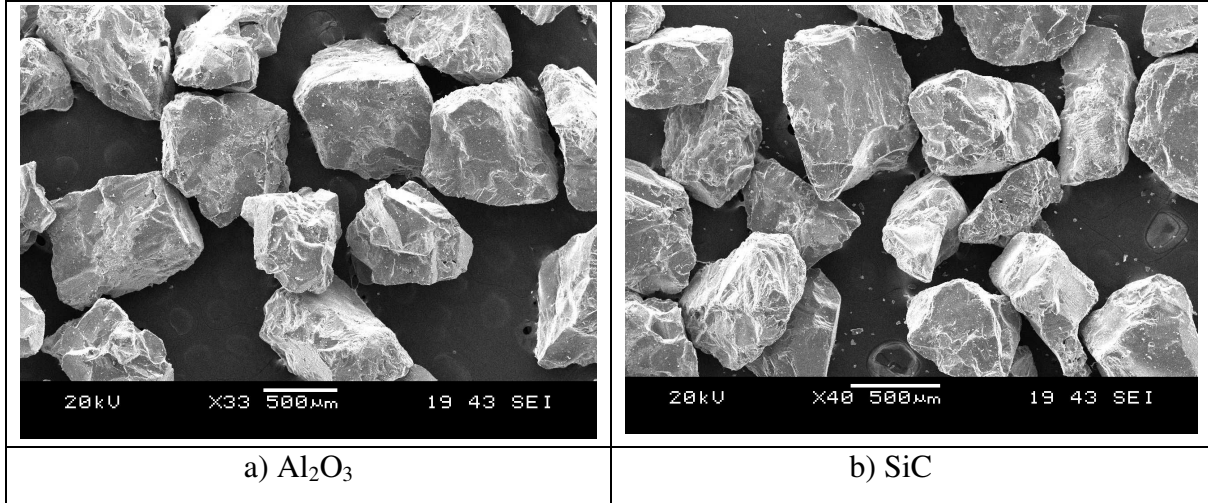
Şekil 5.34. Alümina aşındırıcı tane kullanılarak yapılan erosiv aşınma deneyinde mermer tozu katkıli BMC kompozit malzemelerin çarpma açısına göre aşınma oranlarının değişimi



Şekil 5.35. Alümina ile yapılan yapılan %50 CaCO₃ katkıli BMC kompozit malzeme partikül boyutuna bağlı olarak çarpma açısı-aşınma oranı ilişkisi

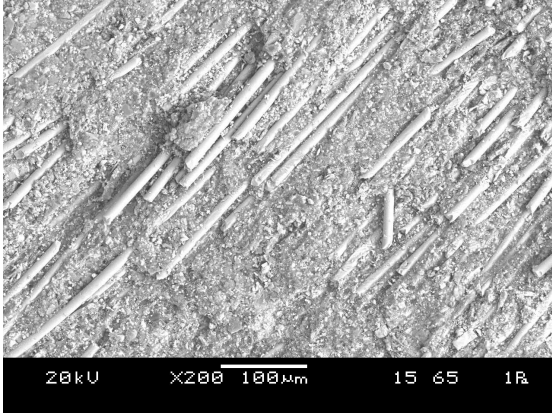


Şekil 5.36. Silisyum karbür ile yapılan %50 CaCO₃ katkılı BMC kompozit malzeme partikül boyutuna bağlı olarak çarpma açısı-aşınma oranı ilişkisi



Şekil 5.37 Erosiv aşınma deneylerinde kullanılan Al₂O₃ ve SiC aşındırıcı tanelerin SEM görüntüleri

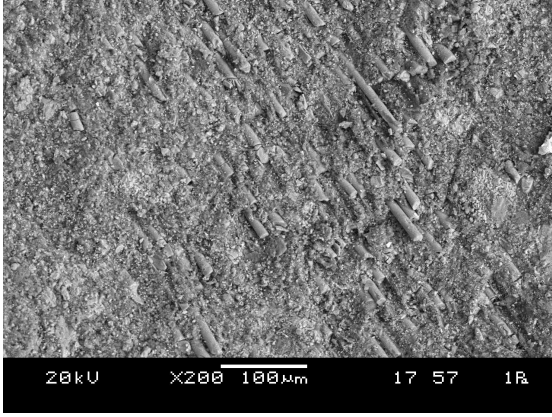
Şekil 5.37 erosiv aşınma deneylerinde kullanılan Al₂O₃ ve SiC aşındırıcı tanelerin taramalı elektron mikroskobundan alınan görüntülerini göstermektedir. Şekil 5.38 ise 1 µm partikül boyutlu, kompozit içerisinde %50 oranında CaCO₃ bulunan kompozite Al₂O₃ aşındırıcı tanelerinin farklı çarpma açılarında çarptırılması sonucunda kompozit malzemede oluşan aşınma yüzey görüntülerini göstermektedir. Şekiller detaylı bir şekilde incelendiğinde 90° çarpma açısında malzeme yüzeyinde daha fazla deformasyon ve aşınmanın olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.39 1 µm partikül boyutlu, %50 oranında CaCO₃ içeren kompozit malzemeye Al₂O₃ aşındırıcı tanelerinin farklı çarpma açılarında çarptırılması sonucunda kompozit malzemede oluşan aşınma yüzeyinin genel görüntülerini göstermektedir. Şekil 5.39 e ve f 'de açıkça görüldüğü gibi en fazla aşınma miktarı 75° ve 90° çarpma açısında meydana gelmektedir. Bu resimlerde aşınma süresi içerisinde kompozit malzemelerin delindiği gözlenmiştir. Bu delik çapı 90° çarpma açısında daha büyük olduğu görülmektedir. En az aşınma genellikle 15° çarpma açısında oluşmuştur (Şekil 5.39,a).



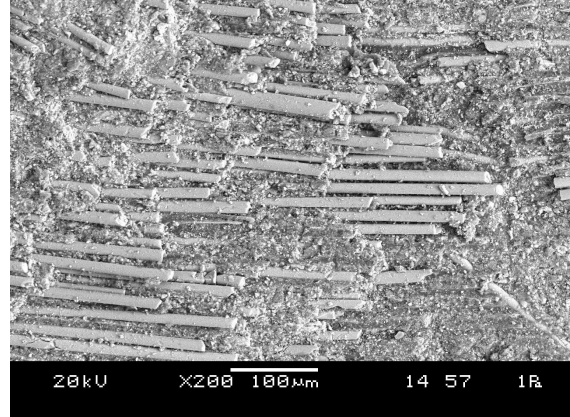
a) 15°



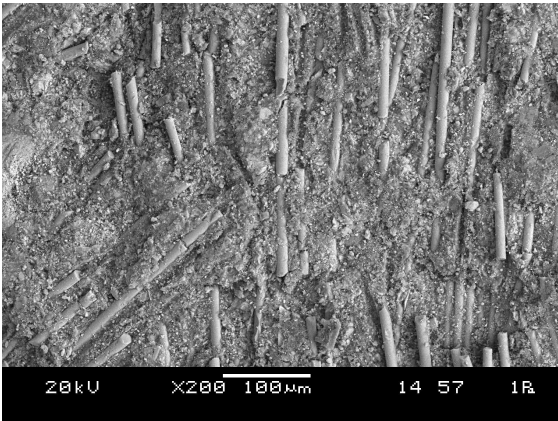
b) 30°



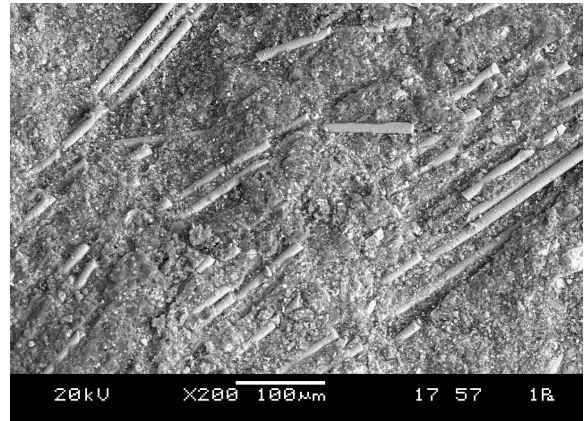
c) 45°



d) 60°

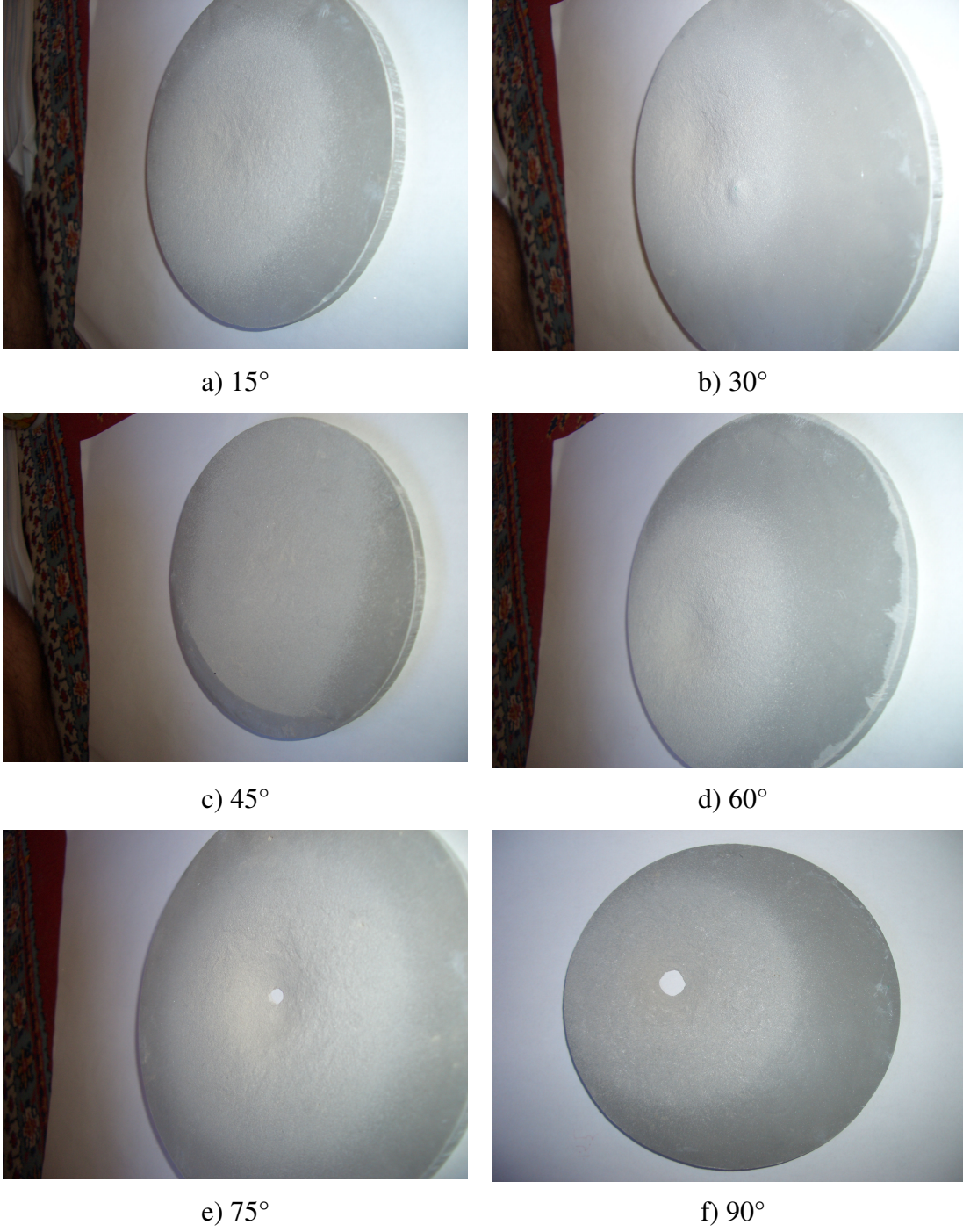


e) 75°



f) 90°

Şekil 5.38. Doymamış polyester/ %50 CaCO₃ (1 µm) kompozit malzemesine Al₂O₃ aşındırıcı tanelerinin farklı çarpma açılarında çarptırılması sonucunda oluşan aşınma yüzey SEM görüntüsü



Şekil 5.39. Doymamış polyester/%50 CaCO₃ (1 µm) kompozit malzemesine alümina aşındırıcı tanelerinin farklı çarpma açılarında çarptırılması sonucunda oluşan aşınma yüzeylerinin genel görüntüsü

BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

1. CaCO₃ oranının artması ile çekme mukavemetinde artış gözlenirken elastiklik modülünde hafif bir azalma gözlemlenmiştir. Çekme mukavemetindeki artış %10 civarında olurken elastiklik modülündeki azalma ise yaklaşık olarak %5 civarında olmuştur.

2. CaCO₃ oranının %40 'dan %60 artması ile sertlik 49'dan 53,5 değerine çıkmıştır. Yani sertlik CaCO₃ oranının artması ile yaklaşık olarak %9 artış göstermiştir. % uzama değerlerinde ise kompozit malzemedeki CaCO₃ oranının %40'dan %60'a çıkması ile %37 oranında azalma gözlenmiştir.

3. Matris bünyesine değişik partikül boyutlarında (1 µm, 2 µm, 3 µm, 5 µm ve 10 µm) ilave edilen CaCO₃ 'ın partikül boyutu arttıkça çekme mukavemeti ve çekmedeki elastiklik modülünde azalma meydana gelmiştir. Çekme mukavemetindeki azalma 1 µm partikül boyutlu CaCO₃ 'a göre sırasıyla %15, %25, %22 ve %44 oranında olduğu gözlenmiştir. Çekmedeki elastiklik modülündeki azalma ise 1 µm partikül boyutlu CaCO₃ 'a göre sırasıyla %10, %14, %14 ve %18 oranında olduğu gözlenmiştir.

4. Atık mermer tozu oranının artması ile çekme mukavemetinde artış gözlenmiş olup bu oran yaklaşık olarak %27 civarındadır. Fakat elastiklik modülünde ise hafif bir azalma gözlemlenmiştir. Elastiklik modülündeki bu azalma ise yaklaşık olarak %9 oranında olmuştur.

5. Atık mermer tozu oranının %40 'dan %50 ye çıkarılması sonucu sertlik 50'den 55 değerine çıkmıştır. Yani sertlik atık mermer tozu oranının artması ile yaklaşık olarak %10 artış göstermiştir. % uzama değerlerinde ise kompozit malzemedeki atık mermer tozu oranının %40'dan %50'ye çıkması ile %40 oranında artış gözlenmiştir.

6. CaCO₃ oranının artması ile kompozit malzemenin eğilme mukavemetinde azalma olduğu gözlenirken eğmedeki elastiklik modülünde artış olduğu gözlenmiştir. CaCO₃ oranının %40'dan %60 oranına çıkarılması yani % 50 artırılması sonucunda eğilme mukavemetinde yaklaşık %16 azalma olmuştur ancak eğmedeki elastiklik modülünde ise %6 artış olduğu tespit edilmiştir.

7. CaCO₃ partikül boyutunun artması ile hem eğilme mukavemetinde hem de eğmedeki elastiklik modülünde azalma gözlenmiştir. Bu azalma sırasıyla %18 ve %30 oranlardadır. . Mermer tozu oranının artması ile eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü azalmaktadır. Mermer tozu oranı %40 dan %50 oranına çıkarıldığında yani mermer tozu oranı %25 artırıldığında elastiklik modülü %3 oranında azalma gösterirken, eğilme mukavemeti ise %7 oranında azalma göstermiştir.

8. %50 CaCO₃ katkılı doymamış polyester esaslı kompozit malzemelerin sırasıyla Al₂O₃ ve SiC aşındırıcı kum tanelerinin püskürtülmesi sonucunda 90° çarpma açısında maksimum aşınma meydana gelmiştir. Bu durum ise malzemenin gevrek malzeme olduğunu göstermektedir.

9. Kompozit malzeme içerisindeki CaCO₃ katkının partikül boyutunun küçük olması (1 µm) aşınma oranını azaltmaktadır. Partikül boyutunun büyük olması (10 µm) aşınma oranının artmasına sebep olmaktadır. Al₂O₃ ve SiC aşındırıcı kum taneleri kullanılarak 90° çarpma açısında yapılan deneyler sonucunda farklı partikül boyutlu CaCO₃ katkılı kompozit malzemelerin aşınma oranı yaklaşık olarak 2.5×10^{-3} ile 3.5×10^{-3} civarında olmuştur.

6.2. ÖNERİLER

1. Deneylerde kullanılan kompozitlerin elektriksel ve temel özellikleri incelenerek, elektrik sektöründe kullanılabilirliği araştırılabilir.

2. Doymamış polyster ile kompozit uçucu kül olarak da yapılabilir. Bu küllerin endüstriye kazandırılması ve atıkların azaltılması için önemlidir. Uçucu külün termoset polyesterlerde kullanımı sağlanabilir. Mekanik ve fiziksel özellikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Bilgin, M., Çakır, E., Mermer Araştırması, İstanbul Ticaret Odası, 1998.
- [2] Gürü M., Akyüz Y., Akın E. / Politeknik Dergisi, Cilt 8, Sayı 3, s. 271-274, 2005.
- [3] Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ., Sarıışık, A., Mermer Teknolojisi, SDÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta, 1996
- [4] Terzi, S., Kardeşahin, M., Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonunda Filler Olarak Kullanılmasının araştırılması, Teknik Dergi, Cilt:193, 2003.
- [5] Hristova, J, Valeva, V., Ivanov, J., Aging and filler effects on the creep model parameters of thermoset composites, Composites Science and Technology, Cilt:62 ,1097-1103, 2002.
- [6] Khristova, Y., Aniskevich, K., Prediction of creep of the epoxy resin filled with marble inclusions, Mechanic Composite Material, Cilt:30 , 590-599, 1994.
- [7] Garcia, J., Mallol, C., Bou, E., Silva, G., Fernandez, J., Molina, A., Romera, J., Recycling Marble working wastes in manufacturing ceramic products, CFI Ceramic Forum International, Cilt:80 , E84-90, 2003.
- [8] Ohama, Y., Recent progress in concrete-polymer composites, Advanced Cement Based Materials, Cilt:5, 31-40, 1997
- [9] Ali, M.M., Agarwal, S.K., Solankey, A.K., Handoo, S.K., High – Performance, marble-like plaster coatings, National Council for Cement and Building Materials, 1999.
- [10] Atik E., C.Meriç, Polyester - Al₂O₃ kompozitlerinin Aşınma Dayanımları DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 4 Sayı: 2 73-78 Mayıs 2002
- [11] Mahmut Mısırlıoğlu – Y. lisans tezi – Mayıs 1997. SAÜ Kütüphanesi
- [12] Plastik Maddeler Kitabı - Yıldız Treyler san. Tic. Ltd. Şti.
- [13] TS 1004 / 1971 sert plastiklerin charpy darbe deneyi Föyü

- [14] Ts 720 / 1985 plastikler deney ve kondisyonlama için standart atmosfer şartları föyü
- [15] TS 398/plastikler çekme özelliklerinin tayini
- [16] TS 1326 / 1974 plastikler sertlik föyü değerinin tayini
- [17] H. Uzuner .Polimerlerin sürtünme ve aşınma davranışları Y. lisans tezi.2002.SAÜ
2002
- [18] AKINCI A. , Polimer matrisli kompozitlerde katkı malzemelerinin yapı ve özellikleri .SAÜ. Doktora Tezi
- [19] Yılmaz.S., Malzemelerin özelliklerinin incelenmesi.Y.lisans tezi. Saü Kütüphanesi.
2002
- [20] Cansdown A.R., Metarials To Resist Wear.
- [21] www.camelyaf.com.tr
- [22] Yaşar H.Plastikler Dünyası - MMO yayın no : 142 ,Şubat / 1992

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Afyon/ŞUHUT' ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Şuhut'ta tamamladı. 1998 yılında girdiği SAÜ Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği bölümünden 2002 yılında mezun oldu. 2002 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi bölümünde Yüksek Lisans eğitimine başladı ve hala bu bölümünde eğitimine devam etmektedir.