

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI DOLGU SİSTEMLERİYLE BMC HAMUR PROSESİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şeyma AKAY

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Fatih ÇALIŞKAN

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FARKLI DOLGU SİSTEMLERİYLE BMC HAMUR PROSESİNİN
GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şeyma AKAY

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 30 /05/ 2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/
oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doc. Dr.
Fatih ÇALIŞKAN
Jüri Başkanı

Prof. Dr.
Adem DEMİR
Üye

Dr. Öğr. Üyesi
Salih Hakan YETGİN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Şeyma AKAY

.././2019

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca desteğini bir an olsun eksik etmeyen sevgili eşim Erdal DAĞ'a çok teşekkür ediyorum. Bir mür birlikte daha nice, güzel işler başarmayı dilerim. Canım annem Ayşe AKAY'ın ve canım babam Vedat AKAY'ın bana olan güvenlerini ve inançlarını her zaman olduğu gibi yanı başımda hissettiğim için Őukran doluyum. Tabi ki canım kız kardeşlerim Őeyda AKAY ve Ceyda AKAY'a da beni sürekli yreklendiren yorumları için sonsuz minnettarım. Aile herşeysidir. Sizler benim ailem olduğunuz için çok Őanslıyım.

2017 yılından bu yana Kalite bölümünde alıştığım Federal Elektrik ailesine de büyük bir teőekkürü borç bilirim. Tez çalışmam boyunca özellikle kalite sorumlusu olduğum Enjeksiyon Pres ve Hidrolik Pres alışanlarının her türlü yardımlarıyla tezimi tamamlamak nasip oldu. İyi ki varsınız kıymetli insanlar!

Lisans bitirme tezimde olduğu gibi yüksek lisansta da danışman hocam olan kıymetli Doç. Dr. Fatih ÇALIŞKAN'a da teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KOMPOZİT MALZEMELER.....	3
2.1. Kompozit Malzemeler ve Gelişimi.....	3
2.2. Kompozit Malzeme Bileşenleri.....	4
2.2.1. Matris malzemeler.....	5
2.2.1.1. Metal matrisli kompozitler.....	7
2.2.1.2.Seramik matrisli kompozitler.....	7
2.2.1.3.Polimer matrisli kompozitler.....	8
2.2.2. Takviye elemanları.....	8
2.2.2.1.Elyaf takviyeli kompozitler.....	9
2.2.2.2.Parçacık (partikül) takviyeli kompozitler.....	9
2.2.2.3.Tabakalı (laminant) kompozitler.....	10
2.2.2.4.Hibrit (karma) kompozitler.....	10
2.2.3. Diğer ilave malzemeler.....	11

BÖLÜM 3.

POLİMER MATİRSİLİ KOMPOZİTLER.....	12
3.1. Termoplastik Malzemeler.....	13
3.2. Termoset Malzemeler.....	14
3.2.1. Termoset esaslı reçineler.....	15
3.2.1.1.Doymamış polyeşter.....	15
3.2.1.2.Epoksi reçine.....	18
3.2.1.3.Vinileşter reçine.....	19
3.2.1.4.Fenolik reçine.....	21
3.2.1.5.Poliüretan reçine.....	21
3.3. Takviye Elemanları.....	22
3.3.1. Cam elyaf.....	22
3.3.2. Karbon elyaf.....	25
3.3.3. Aramid elyaf (Kevlar)	26
3.4.Dolgu Malzemeleri.....	28
3.4.1. Kalsiyum karbonat (Kalsit)	31
3.4.2. Barit.....	32
3.4.3. Kaolen.....	34

BÖLÜM 4.

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER KOMPOZİTLER VE ÜRETİM PROSESLER.....	37
4.1.Temel Özellikler.....	37
4.2.Cam Elyaf Takviyeli Polyester Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	38
4.2.1.Açık kalıplama teknikleri.....	39
4.2.1.1.El yatırması yöntemi.....	39
4.2.1.2.Püskürtme yöntemi.....	40
4.2.1.3.Elyaf sarma(filament sarım yöntemi / fiber yerleşirme).....	41
4.2.1.4.Vakumla torba yöntemi.....	43
4.2.1.5.Otoklavda kalıplama yöntemi.....	43
4.2.2. Kapalı kalıplama teknikleri.....	44
4.2.2.1.Reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemi.....	44

4.2.2.2.Profil çekme (pültrüzyon) yöntemi.....	45
4.2.2.3.Pres kalıplama.....	47
4.2.2.4.Enjeksiyon kalıplama.....	50
4.2.2.5.Savurma (santifrj) kalıplama yöntemi.....	51
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	53
5.1.Kullanılan Malzemeler.....	53
5.2.BMC Hamur Hazırlama Prosesi.....	54
5.2.1. BMC Hamur numunelerinin hazırlanması.....	58
5.2.1.1.Tekli sistemler.....	59
5.2.1.2.İkili kombinasyonlar.....	64
5.3.Hamurların Kalıplanması.....	70
5.4.Karakterizasyon.....	72
5.4.1. Çekme testi.....	73
5.4.2. 3 Nokta eğme testi.....	74
5.4.3. Shore D sertlik ölçümü.....	75
5.4.4.Kızaran tel deneyi (Yanmazlık testi)	75
5.4.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS).....	76
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	77
6.1.Mekanik Özellikler Açısından Değerlendirme.....	77
6.1.1.Tekli Sistemler.....	77
6.1.2. İkili kombinasyonlar.....	83
6.1.3. Shore D sertlik değerlerinin değerlendirilmesi.....	88
6.2. Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmaları (SEM-EDS)	89
6.2.1. Tekli sistemler mikroyapı görüntüleri.....	89
6.2.2. İkili kombinasyonlar mikroyapı görüntüleri.....	95
6.2.3. Tekli sistemlerde kırılma yüzeyi görüntüleri.....	99
6.2.4. İkili kombinasyonlarda kırılma yüzeyi görüntüleri.....	105
6.2.5.Tekli sistemlerde EDS analizi sonuçları.....	109

6.2.6. İkili kombinasyonlarda EDS analizi sonuçları.....	116
6.3.Kızaran Tel Deneyi Sonuçları.....	122
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	123
7.1.Sonuçlar.....	123
7.2.Öneriler.....	128
KAYNAKLAR.....	130
ÖZGEÇMİŞ.....	136



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Al	: Alüminyum
AlN	: Alüminyum Nitrür
Al ₂ O ₃	: Alümina
Al(OH) ₃	: Martinal – Alüminyum Hidroksit
BaSO ₄	: Baryum Sülfat
BeO	: Berilyum Oksit
BMC	: Bulk Moulding Compound
BN	: Bor Nitrür
B ₂ O ₃	: Baryum Oksit
BP	: Fosfürler
BzP	: Benzoil Peroksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
CdS	: Kadmiyum Sülfür
CE	: Cam elyaf
cm ³	: Santimetreküp
CO ₂	: Karbon dioksit
Cr	: Krom
CTP	: Cam Elyafı ile Takviye Edilmiş Termoset Reçinesi
DIN	: Deutsches Institut für Normung
EDS	: Energy Dispersive Spectrometry
EN	: European Norm
ETP	: Elyaf takviyeli kompozitler
FeO	: Demir (II) Oksit
GPa	: Gigapascal
HIPS	: Yüksek yoğunluklu polistiren

ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
kg	: Kilogram
kN	: Kilo-Newton
K ₂ O	: Potasyum Oksit
LCP	: Sıvı Kristal Polimerler
m ³	: Metreküp
MEKP	: Metil etil keton peroksit
Mg	: Magnezyum
MgO	: Magnezya - Magnezyum Oksit
MMK	: Metal matrisli kompozitler
mm ²	: Milimetrekare
mm	: Milimetre
Mo ₂ Si	: Molibden disilisit
MPA	: Megapascal
N	: Newton
Na ₂ O	: Sodyum Oksit
Ni	: Nikel
PA	: Polyamid
PAN	: Poliakrilonitril
PEEK	: Polyetheretherketone
PE	: Polietilen
PEI	: Polyetherimid
PES	: Polietersülfon
PMK	: Polimer matrisli kompozitler
PP	: Polipropilen
PPS	: Polifinilen Sülfür
PPTA	: Poli-poro-fenilen-tereftalamid
PVC	: Polivinil klorür
RTM	: Reçine transfer kalıplama
s	: Saniye
SEM	: Scanning electron microscope
SiC	: Silisyum Karbür

SMC	: Sheet Molding Compound
SiO ₂	: Silika
Ti	: Titanyum
TiB ₂	: Titanyum diborür
TiN	: Titanyum Nitrit
V	: volt
VE	: Vinilester
V0	: Yanmazlık sınıfı
WC	: Tungsten Karbür
WSi ₂	: Tungsten disilicide
ZnS	: Çinko Sülfid
ZrB ₂	: Zirkonyum diborid
ZrC	: Zirkonyum Karbür
ZrN	: Zirkonyum Nitrid
ZrO ₂	: Zirkonya

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.Polimer matris malzemelerin çekme modülü ve çekme gerilmesi...	6
Şekil 2.2.Kompozit malzemelerin takviye elemanına göre sınıflandırılması...	9
Şekil 2.3.Partikül takviyeli kompozit.....	10
Şekil 2.4.Tabakalı kompozit.....	10
Şekil 2.5.Hibrit (karma) kompozit.....	11
Şekil 3.1.Polimer matrisli kompozitler.....	13
Şekil 3.2.İzoftalik bir polyester reçinenin kimyasal yapısı.....	16
Şekil 3.3.Epoksi reçinenin kimyasal yapısı.....	19
Şekil 3.4.Vinilester reçinesinin sentezine ait reaksiyon şematığı.....	20
Şekil 3.5.Cam elyaf lifi.....	24
Şekil 3.6.Karbon elyaf lifi.....	26
Şekil 3.7.Aramid Elyaf Lifi.....	27
Şekil 3.8.Farklı boyutlarda öğütülmüş kalsit.....	31
Şekil 3.9.Barit.....	34
Şekil 3.10.Kaolenin SEM görüntüsü.....	35
Şekil 4.1.El yatırması prosesi adımları.....	40
Şekil 4.2.Püskürtme yöntemi.....	41
Şekil 4.3.Elyaf sarım prosesi düzeneği.....	42
Şekil 4.4.Vakumla kalıplama yöntemi.....	43
Şekil 4.5.Otoklav Resimleri.....	44
Şekil 4.6.RTM Yöntemi.....	45
Şekil 4.7.Profil Çekme Yöntemi Düzeneği.....	46
Şekil 4.8.SMC hazır kalıplama bileşeninin üretimi.....	48
Şekil 4.9.BMC pres kalıplama tekniği.....	49
Şekil 4.10.Enjeksiyon Kalıplama Basamakları.....	50
Şekil 4.11.Santifrjüj Kalıplama Düzeneği.....	52

Şekil 5.1.Polystiren çözeltsi hazırlamada kullanılan dikey karıştırıcı.....	55
Şekil 5.2.Dikey tip karıştırma makinası.....	56
Şekil 5.3.Yatay karıştırıcı ve bıçakları.....	56
Şekil 5.4.6mm kırpıntı cam elyaf.....	58
Şekil 5.5.12mm kırpıntı cam elyaf.....	58
Şekil 5.6.(a) Kaolen dolgusu katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) 12mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra Kaolen dolgulu 012 BMC hamur görüntüsü.....	59
Şekil 5.7.(a) Kaolen katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) 6mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra Kaolen dolgulu 006 BMC hamur görüntüsü.....	60
Şekil 5.8.(a) Kaolen katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) Kaolen dolgulu yanmaz hamura kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonraki görüntüsü.....	60
Şekil 5.9.(a) Barit katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) 12mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra Barit dolgulu 012 BMC hamur görüntüsü.....	61
Şekil 5.10.6mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra Barit dolgulu 006 BMC hamur görüntüsü.....	61
Şekil 5.11.Barit dolgulu yanmaz hamura kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonraki görüntüsü.....	62
Şekil 5.12.(a) Kalsit katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) 12mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra Kalsit dolgulu 012 BMC hamur görüntüsü.....	62
Şekil 5.13.(a) Kalsit katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) 6mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra Kalsit dolgulu 006 BMC hamur görüntüsü.....	63
Şekil 5.14.Kalsit katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) Kalsit dolgulu yanmaz hamura kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonraki görüntüsü.....	63
Şekil 5.15.(a) İlk dolgu kaolen (600gr-%12), (b) İkinci dolgu kalsit (1200gr-%24), (c) 12mm kırpıntı cam elyaf katılan kombinasyon son hal..	64

Şekil 5.16.(a) İlk dolgu kaolen (400gr-%8), (b) İkinci dolgu kalsit (900gr-%18), (c) 6mm kırpıntı cam elyaf katılan kombinasyon son hal...	65
Şekil 5.17.(a) İlk dolgu kaolen (250gr-%5), (b) İkinci dolgu kalsit (700gr-%14), (c) Kaolen- Kalsit kombinasyonu yanmaz hamur son hal...	65
Şekil 5.18.(a) İlk dolgu kaolen (600gr-%12), (b) İkinci dolgu barit (1900gr-%38), (c) 12mm kırpıntı cam elyaf katılan kombinasyon son hal.	66
Şekil 5.19.İlk dolgu kaolen (625gr-%12,5), (b) İkinci dolgu barit (1775gr-%35,5), (c) 6mm kırpıntı cam elyaf katılan kombinasyon son hal	67
Şekil 5.20.(a) İlk dolgu kaolen (300gr-%6), (b) İkinci dolgu barit (700gr-%14), (c) Barit -Kaolen kombinasyonu yanmaz hamur son hal....	67
Şekil 5.21.İlk dolgu barit (1484gr-%30), (b) İkinci dolgu kalsit (1384gr-%28), (c) 12mm kırpıntı cam elyaf katılan kombinasyon son hal.	68
Şekil 5.22.(a) İlk dolgu barit (1443-%29gr), (b) İkinci dolgu kalsit (1443gr-%29), (c) 6mm kırpıntı cam elyaf katılan kombinasyon son hal...	69
Şekil 5.23.(a) İlk dolgu barit (800gr-%16), (b) İkinci dolgu kalsit (600gr-%12), (c) Barit-Kalsit kombinasyonu yanmaz hamur son hal.....	69
Şekil 5.24.100 tonluk hidrolik pres.....	70
Şekil 5.25.Çekme test çubuğunun BMC pres kalıbında basımı.....	71
Şekil 5.26.Çekme test çubuğu ölçüleri (150x10x4mm).....	71
Şekil 5.27.3 nokta eğme test çubuğunun BMC pres kalıbında basımı.....	71
Şekil 5.28.Eğme test çubuğu ölçüleri (150x15x10mm).....	72
Şekil 5.29.Reçineye alınan numuneler.....	73
Şekil 5.30.Çekme testi.....	74
Şekil 5.31.3 nokta eğme testi.....	74
Şekil 5.32.Shore D ve doğrulama mastarı.....	75
Şekil 5.33.Kızaran tel cihazı.....	76
Şekil 5.34.Kızaran tel deneyi sonrası.....	76
Şekil 6.1.Kaolen dolgusu ile hazırlanan hamurların mekanik özelliklerinin kıyaslanması.....	78
Şekil 6.2.Barit dolgusu ile hazırlanan hamurların mekanik özelliklerinin kıyaslanması.....	79

Şekil 6.3.Kalsit dolgusu ile hazırlanan hamurların mekanik özelliklerinin kıyaslanması	80
Şekil 6.4.Çekme mukavemet değerinin tekli sistem dolgularına göre değişim grafiği.....	81
Şekil 6.5.Eğme mukavemet değerinin tekli sistem dolgularına göre değişim grafiği.....	81
Şekil 6.6.Kaolen-Kalsit dolguları ile hazırlanan hamurların mekanik özelliklerinin kıyaslanması.....	83
Şekil 6.7.Barit-Kaolen dolguları ile hazırlanan hamurların mekanik özelliklerinin kıyaslanması.....	84
Şekil 6.8.Barit-Kalsit dolguları ile hazırlanan hamurların mekanik özelliklerinin kıyaslanması.....	84
Şekil 6.9.Çekme mukavemet değerinin kombinasyon sistemlerine göre değişim grafiği	86
Şekil 6.10.Eğme mukavemet değerinin kombinasyon sistemlerine göre değişim grafiği..	86
Şekil 6.11.Tekli sistemlerde Shore D sertlik değerlerinin değişimi.....	88
Şekil 6.12.İkili kombinasyonlarda Shore D sertlik değerlerinin değişimi.....	88
Şekil 6.13.Barit dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme, (a)dikey, (b)yatay.....	89
Şekil 6.14.Kalsit dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme,(a)dikey, (b)yatay	90
Şekil 6.15.Kalsit dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme,(a)dikey, (b)yatay	91
Şekil 6.16.Kaolen dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme,(a)dikey, (b)yatay.....	92
Şekil 6.17.Barit dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme,(a)dikey, (b)yatay..	92
Şekil 6.18.Kalsit dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme,(a)dikey, (b)yatay.	93
Şekil 6.19.Kaolen dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme,(a)dikey, (b)yatay.....	94
Şekil 6.20.Barit dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme,(a)dikey, (b)yatay..	94
Şekil 6.21.Barit – Kalsit kombinasyonu ile hazırlanan 012 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b)yatay.....	95

Şekil 6.22.Kaolen – Kalsit kombinasyonu ile hazırlanan 012 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b)yatay.....	96
Şekil 6.23.Barit – Kaolen kombinasyonu ile hazırlanan 012 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b)yatay.....	96
Şekil 6.24.Kaolen – Kalsit kombinasyonu ile hazırlanan 006 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b)yatay.....	97
Şekil 6.25.Barit – Kalsit kombinasyonu ile hazırlanan 006 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b)yatay.....	98
Şekil 6.26.Barit – Kalsit kombinasyonu ile hazırlanan 001 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b)yatay.....	98
Şekil 6.27.Barit – Kaolen kombinasyonu ile hazırlanan 001 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b)yatay.....	99
Şekil 6.28.Barit dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme.....	100
Şekil 6.29.Kalsit dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme.....	101
Şekil 6.30.Kalsit dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme.....	101
Şekil 6.31.Kaolen dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme.....	102
Şekil 6.32.Barit dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme.....	102
Şekil 6.33.Kalsit dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme.....	103
Şekil 6.34.Kaolen dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme.....	104
Şekil 6.35.Barit dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme.....	104
Şekil 6.36.Barit – Kalsit dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme.. ..	105
Şekil 6.37.Kaolen – Kalsit dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme.. ..	106
Şekil 6.38.Barit – Kaolen dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme.	106
Şekil 6.39.Kaolen – Kalsit dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme.. ..	107
Şekil 6.40.Barit – Kalsit dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme.. ..	107
Şekil 6.41.Barit – Kalsit dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme.. ..	108
Şekil 6.42.Barit – Kaolen dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme.....	109
Şekil 6.43.Kalsit dolgulu 012 BMC hamur 1000X büyütmede EDS alınan noktalar.....	109
Şekil 6.44.Şekil 6.43’de verilen 1. noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	110

Şekil 6.45.Şekil 6.43’de verilen 2. noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	110
Şekil 6.46.Şekil 6.43’de verilen 3 nolu alanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	111
Şekil 6.47.Şekil 6.43’de verilen 4.noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	111
Şekil 6.48.Kaolen dolgulu 006 BMC hamur 1000X büyütmede EDS alınan noktalar.....	112
Şekil 6.49.Şekil 6.48’de verilen 1.noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	112
Şekil 6.50.Şekil 6.48’de verilen 2.noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	113
Şekil 6.51.Şekil 6.48’de verilen 3 nolu alanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	113
Şekil 6.52.Barit dolgulu 001 BMC hamur 1000X büyütmede EDS alınan noktalar.....	114
Şekil 6.53.Şekil 6.52’de verilen 1.noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	114
Şekil 6.54.Şekil 6.52’de verilen 2.noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	115
Şekil 6.55.Şekil 6.52’de verilen 3 nolu alanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	115
Şekil 6.56.Kaolen - Kalsit dolgulu 012 BMC hamur 1000X büyütmede EDS alınan noktalar.....	116
Şekil 6.57.Şekil 6.56’da verilen 1.noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	116
Şekil 6.58.Şekil 6.56’da verilen 2.noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	117
Şekil 6.59.Şekil 6.56’daki 3 nolu alanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	117
Şekil 6.60.Barit – Kalsit dolgulu 006 BMC hamur 1000X büyütmede EDS alınan noktalar.....	118

Şekil 6.61.Şekil 6.60'daki 1.noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	118
Şekil 6.62.Şekil 6.60'daki 2.noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	119
Şekil 6.63.Şekil 6.60'daki 3 nolu alanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	119
Şekil 6.64.Barit – Kaolen dolgulu 001 BMC hamur 1000X büyütmede EDS alınan noktalar.....	120
Şekil 6.65.Şekil 6.64'deki 1.noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	120
Şekil 6.66.Şekil 6.64'deki 2.noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	121
Şekil 6.67.Şekil 6.64'deki 3 nolu alanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	121
Şekil 6.68.Şekil 6.64'deki 4.noktanın (a)EDS grafiği, (b)EDS sonuçları.....	122

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Bazı termoplastik esaslı reçinelerin özellikleri.....	14
Tablo 3.2. Bazı termoset reçinelerin özellikleri.....	15
Tablo 3.3. Sertleşmiş Reçine tipik özellikleri.....	17
Tablo 3.4. Farklı cam elyafların mekanik özellikleri.....	23
Tablo 3.5. Farklı cam elyafların % kimyasal bileşimleri.....	24
Tablo 3.6. Elyaf özellikleri ve Karşılaştırılması.....	28
Tablo 3.7. Plastiklerde kullanılan dolgu maddeleri ve oranları.....	30
Tablo 3.8. Dolgu maddesi olarak kullanılan baritin özellikleri.....	33
Tablo 4.1. Kompozit üretim yöntemlerinin bazı açılardan karşılaştırılması, 10: en büyük değer, 1: en küçük değer.....	52
Tablo 5.1. Diğer bileşenlerin % miktar aralığı.....	54
Tablo 5.2. Üretilen BMC hamur dolgu miktarları ve oranları.....	59
Tablo 6.1. Tekli sistemlerdeki dolguya göre çekme ve eğme mukavemetindeki % artış.....	82
Tablo 6.2. İkili kombinasyonlardaki dolgu sistemlerine göre çekme ve eğme mukavemetindeki % artış.....	87
Tablo 6.3. Kızaran tel deneyi sonuçları.....	124
Tablo 7.1. BMC hamur sistemlerinin çekme ve eğme mukavemetlerinin karşılaştırılması.....	125

FARKLI DOLGU SİSTEMLERİYLE BMC HAMUR PROSESİNİN GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Kompozit malzemelerin çıkış noktasında, bileşenlerin tek başına sağlayamadığı bir özelliğin elde edilmesi vardır. Buradan polyeester reçine (matris malzeme) içine katılan kırpıntı cam elyaf, dolgu malzemeleri ve diğer bileşenlerin tek başına sağlayamadığı mukavemet ve kullanılabilirlik, hazırlanan BMC hamur ile sağlanmıştır. Hazırlanan bu hamurun doğru teknikle ve parametrelerle üretimi onu nihai ürün formuna getirmiştir.

Bu çalışmada, farklı dolgu malzemeleri kullanılıp diğer bileşenler sabit tutularak, dolgu malzemelerinin BMC hamurda oluşturduğu farklılıkların tespiti yapılmıştır. 6mm ve 12mm kırpıntı cam elyafın ayrı ayrı kullanıldığı iki farklı hamur tipi üretilmiştir. Üçüncü hamur tipinde ise yanmazlık katkısı martinal kullanılmıştır. Böylece kırpıntı cam elyafların hamur içindeki dağılımının ve yanmazlık katkısının da incelemesi yapılmıştır. 3 farklı hamur sistemi için kalsit, kaolen ve barit dolguları ve bunların kombinasyonları kullanılmıştır.

Karakterizasyon çalışmaları, çekme testi ve 3 nokta eğme testi yanında Shore D sertlik ölçümü ve yanmazlık özelliği olan numunelere ayrıca yanmazlık testi (kızaran tel deneyi) ile yapılmıştır. Çekme testinde elde edilen en iyi ve en kötü sonuçlar baz alınarak kırılma yüzeyleri ve mikroyapı görüntüleri SEM ile incelenmiş ve EDS analizi yapılmıştır.

Dolgulu izoftalik polyeester ile elde edilen çekme mukavemeti değerleri tekli sistemlerde 11-20MPa, ikili kombinasyonlarda 11-18MPa'dır. Eğme mukavemeti sonuçları ise; tekli sistemlerde 46-81MPa, ikili kombinasyonlarda ise 54-67MPa aralığındadır. En iyi çekme mukavemeti sonucu Kaolen ve Barit dolgulu 001-yanmaz BMC hamurda elde edilmiş olup 20MPa'dır. En düşük değer 11MPa, tekli sistemlerde kalsit dolgulu 006 BMC hamurda ve ikili kombinasyonlarda Barit-Kalsit'te tespit edilmiştir. Eğme mukavemeti sonuçlarında ise en iyi sonuç 81MPa ile kalsit dolgulu 001-yanmaz BMC hamurda, en kötü değer 46MPa ile kaolen katkılı 012 BMC hamurda elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: BMC hamur, dolgu malzemeleri, kalsit, kaolen, barit, cam elyaf takviyeli polyeester reçine, yanmazlık katkısı

DEVELOPMENT OF BMC DOUGH PROCESS WITH DIFFERENT FILLING SYSTEMS

SUMMARY

The goal of the production of composite materials is to obtain advanced properties that the components do not have separately. BMC pulp-forming polyester resin, chopped glass fiber, filling materials and other components alone cannot provide the desired strength and usability, but these properties are possible to provide with the prepared composite material.

In this study, the effect of filling materials on the BMC dough was investigated while the other parameters were kept constant. Two different pulp types were produced using 6mm and 12mm chopped of glass fiber. In the third BMC paste, martinal as a flame retardant additive was used. The resulting samples were examined as to the distribution of chopped glass fibers in the BMC paste and influence of flame retardant additive. Calcite, kaolin and barite fillings and their combinations were used to obtain 3 different dough systems.

Tensile test, 3-point flexural test, Shore D hardness measurement and flammability test (glow wire test) characterization studies were performed. In accordance with the best and worst results obtained in tensile test, fracture surfaces and microstructure images were examined by SEM and EDS analysis was performed.

The tensile strength values obtained with filled isophthalic polyester were between 11-20 MPa in single systems and 11-18 MPa in binary combinations. 3-point flexural test results were; 46-81MPa in single systems and 54-67MPa in binary combinations. The best tensile strength value (20MPa) was reached with the 001 FR BMC paste filled Kaolin and Barite. The lowest value 11MPa was determined in 006 BMC dough filled calcite in single systems and in Barite-Calcite in binary combinations. In 3-point flexural test results, the best result, 81MPa, was obtained in the calcite filled 001-FR BMC paste and the worst value, 46MPa, in the kaolin filled 012 BMC paste.

Keywords: BMC dough, filler materials, calcite, kaolin, barite, glass fiber reinforced polyester resin, flame retardant additive

BÖLÜM 1.GİRİŞ

Günümüzde değişen talepler ile birlikte metal, seramik ve polimer malzemelerin saf halleriyle kullanımları çok tercih edilmemektedir. Ekonomiklik oluşturabilmek ve daha iyi malzeme özellikleri elde edebilmek için endüstriyel alanlarda kompozit malzemeler kullanılmaya başlanmış ve yaygınlaştırılmıştır. Kompozit malzemelerde matris malzemesi takviye elemanları ve dolgu malzemeleri ile güçlendirilerek geliştirilmiş özellikler kazandırılır. Saf haldeki polimerler metal ve seramiklere göre dayanıksız malzemeler olmalarına rağmen takviye elemanları ve ilave eklentiler ile yüksek mekanik, termal ve tribolojik özellikler elde edilebilmektedir. Bu nedenle kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak polimerler yaygın olarak tercih edilir ve kompozit malzemelerin çoğunluğunu polimer matrisli kompozitler (PMK) oluşturur (İlhan, 2018).

Kompozit, karakter yapıları ve kimyasal bileşimleriyle birbirinden ayrılmış ve esas olarak birbiri içinde çözünmeyen iki veya daha fazla mikro ve makro bileşenin karışımı ile oluşan malzemedir (Hashemi, Prakash & Smith). Bu anlamda BMC Hamurlar bu tanıma en uygun polimer matrisli kompozitler arasına girmektedir.

Cam elyafı ile takviye edilmiş termoset reçinesine (CTP), dolgu malzemesi vb. bileşenlerin eklenmesi ile elde edilen, hidrolik pres ve yatay enjeksiyon kalıplama teknikleriyle kalıplanan, kırpıntı cam elyaf ile mukavemetlendirilmiş hamur haldeki viskoz bileşimleri olarak tanımlanan BMC hamurlar pek çok dalda, özellikle elektrik – elektronik sektöründe yaygın kullanıma sahiptir.

Bu çalışmanın amacı; kırpıntı cam elyaf ile takviye edilen izoftalik polyesterde, dolgu malzemesi kullanımının mekanik özelliklere ve maliyete etkisinin incelenmesidir. Tek değişken olan dolgu malzemesi ile mekanik özelliklerin iyileştirilmesi ve bunun

yanında birim üretim maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Dolgu malzemesi olarak, seramik esaslı kalsit, kaolen ve barit seçilmiştir. Bu dolgu malzemelerinin miktarı deneysel çalışmalar sırasında tayin edilmiş olup, ayrıca bu dolgu malzemeleri ile karma dolgu sistemi oluşturulacaktır. Böylece monolitik olarak belirlenen dolgu miktarı azaltılmış olacaktır. Hazırlanan hamurların karakterizasyonu, yapılan 3 nokta eğme, çekme testleri ve sertlik ölçümü ile tayin edilmiştir. Alev geciktirici katkının kullanıldığı hamurlar için ayrıca yanmazlık testi de yapılmıştır. SEM ile mikroyapı ve kırılma mekaniği incelenmiş ve EDS analizleri yapılmıştır. Tüm bu veriler ışığında hazırlanan hamurların dolgusuna sistemine göre kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.



BÖLÜM 2.KOMPOZİT MALZEMELER

2.1.Kompozit Malzemeler ve Gelişimi

Kompozit malzemeler, birbirlerinin zayıf yönünü onararak daha gelişmiş özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş birbirinden farklı tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da tanımlanabilir(Işık, 2008).

Kompozit malzemedeki genelde aranan koşullar:

- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı olan en az iki bileşenin belirli bir ara yüzle ayrılarak bir araya getirilmiş olması,
- Farklı malzemenin üç boyutlu olarak bir yapıda toplanması,
- Bileşenlerin tek başına sahip olamadığı özellikleri ihtiva etmesi (Işık, 2008).

Aranan koşullara bakıldığında malzeme, mikroskobik açıdan heterojen bir malzeme özelliği taşımakta, ancak makroskobik açıdan homojen bir malzeme gibi görünmektedir (Işık, 2008).

Kompozit malzemenin özellikleri:

- Takviye malzemesinin özelliğine
- Matris malzemenin özelliğine
- Elyaf ve matris malzeme arasındaki orana
- Elyafın dizilişlerine bağlıdır (Işık, 2008).

Kompozit malzemelerin çok uzun yıllar önce kullanılmaya başlandığı bilinen bir gerçektir. Kerpiğin içeriğindeki kil, dayanıklılığının artması için saman ve bitkisel liflerle karıştırılmıştır. Günümüzde ise en çok kullanılan kompozit malzemelerden biri

de betondur. Çimento ve kumdan oluşan matris malzeme ise çelik çubuklar ile takviyelenir (Arıcasoy, 2006).

Araştırmacılar tarafından plastiklerin ortaya konulması ile kompozit malzeme teknolojisi hızlıca ilerleyerek modern kompozitler oluşturulmaya başlanılmıştır. Plastiklerden önce yapıştırıcı ve bağlayıcılar için tek kaynak bitki ve hayvanlardan elde edilen doğal reçinelerdi. 1900'lü yılların başında vinilester, polistiren, fenolik ve polyester gibi polimerler kullanılmaya başlandı. Bu polimerler doğadan saf halde elde edilen reçine malzemelerine kıyasla daha iyi performans sergileyici özelliklere sahiptirler (Todd, 2018).

İlk modern sentetik plastiklerin 1900'lerde geliştirilmesinin ardından, 1930'ların sonunda plastik malzemelerin yapıları ve özellikleri diğer malzeme çeşitleri ile yarışacak düzeyde kendini geliştirmeye başlamıştır. Kolay şekil verilebilmeleri, metallere kıyasla düşük yoğunlukta olmaları, yüksek yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımı plastiklerin gelişmesindeki en önemli özelliklerdir. Birçok üstün özelliğinin yanında sertlik ve dayanım özelliklerinin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilip, kullanım alanını artırmak için çalışmalar yapılmasını sağlamıştır. Bu amaçla 1950'lilerde polimer esaslı kompozit malzemeler ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Arıcasoy, 2006).

Mekanik özelliklerin artırılması CTP üretiminin başlıca sebebi gibi görülse de, katılan dolgu malzemesinin oranı ve fiyatı maliyeti düşürmeyi ve düşük maliyetle de kaliteli bir yüzey görüntüsü elde edilebilmesini ortaya çıkarmıştır. Kaliteli yüzey görüntüsünden anlatılmak istenen ise; malzeme yüzeyinde elyaf izi, çatlak, eksik malzeme, çöküntü, BMC hamurun yürüyememesi kaynaklı dolmama sorunu ya da BMC hamurdaki gazın atılamaması sebebiyle siyahlık oluşması durumlarının engellenerek, elde edilebilecek en yüksek kalitedeki parlak ve temiz bir yüzey görüntüsüdür.

2.2.Kompozit Malzeme Bileşenleri

Kompozit malzemeler:

- Matris malzemeler
- Takviye malzemeleri
- Katkı maddeleri
- Dolgu malzemelerinden oluşmaktadır.

2.2.1. Matris malzemeler

Genel yapı içinde yükü elyaflara eşit olarak dağıtan, elyaflar ile birlikte kompozit malzemeyi oluşturan tüm bileşenleri bir arada tutan ve elyaflar ile birlikte tüm yapıyı çevresel etkilerden koruyan, kompozit malzemenin ana yapısını oluşturan yapı matris yapısı adını alır(Işık, 2008).

İdeal bir matris malzemesi başlangıçta akışkan bir yapıda iken daha sonra elyafları ve diğer bileşimleri bünyesinde tutabilecek, sağlam ve uygun şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir(Işık, 2008).

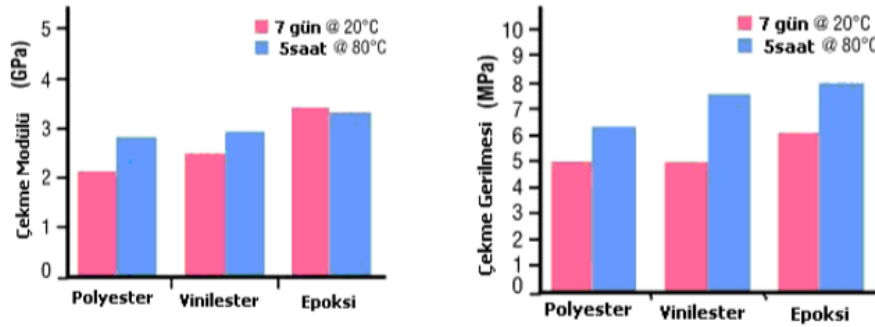
Kompozit içindeki farklı bileşenlerin birbirleriyle olan uyumu sürekli bir faz olan matris ile sağlanır bu nedenle matris malzemesinin seçimi çok önemli olmaktadır. Kompozitlerde matris malzemesi olarak polimerler, seramikler ve metaller kullanılmaktadır. Matris malzemelerinin kompozit yapılarda üstlendikleri görevler genel olarak şu şekilde sıralanabilir (Shali, 1995):

1. Ürünün şekil ve boyut stabilitesini sağlar.
2. Elyafları birbirlerine göre ayarlayarak kompozit yapı içerisinde düzgün dağılımı sağlar.
3. Isıl ve mekanik yüklemeler karşısında malzeme deformasyonunun olmaması için sağlamlık sağlar.
4. Bileşen içindeki elyaflara yük dağılımını düzenli şekilde aktarır.
5. Dış çevresel etkilere karşı kompozit malzemelerin direncini artırmak.

Polimer matris malzemeler ise iki ana gruba ayrılırlar:

- Termoplastik: Isıtıldıklarında yumuşayıp, yarı sıvı haldeyken şekillendirilebilirler. Tasarımcılar ürün performansını yükseltmek ve maliyeti düşürmek için daha çok termoplastiklerle çalışmaktadırlar. Kompozitlerde tercih edilen termoplastikler Naylon (PA), Polifinilen Sülfür (PPS), Sıvı Kristal Polimerler (LCP), Polyetheretherketone (PEEK), Polipropilen (PP), Polietilen (PE), Polyetherimid (PEI), Fluoropolimerlerdir (Işık, 2008).
- Termosetler: Termoplastiklerin aksine termosetler ilk hallerinde genellikle akışkandır ya da erime noktası düşük katı halindedirler. Bu özelliklerinden dolayı kompozit üretiminde kullanılırken bir katalizörün, ısının veya her ikisinin yardımıyla sertleşirler. Sertleşme sonlandığında termosetler ilk hallerine döndürülemezler. Kompozitlerde tercih edilen termosetler: Doymamış Polyesterler, Epoksiler, Vinilester, Poliüretanlar, Fenolikler, Melamin ve Üreformaldehid, Poliimidler, Silikon Reçineler, Friedel-Crafts Reçineleridir (Işık, 2008).

En yaygın olarak kullanılan matris malzemeler; Polyesterler, Vinilesterler ve Epoksiler olup karşılaştırma grafikleri aşağıda verilmiştir(Spray Lay-Up, 2019).



Şekil 2.1. Polimer matris malzemelerin çekme modülü ve çekme gerilmesi(Spray Lay-Up, 2019).

Grafiklerden de görüldüğü üzere epoksinin özellikleri vinilester ve polyesterlere göre daha yüksektir(Spray Lay-Up, 2019).

2.2.1.1. Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozitler 1970'li yıllardan sonra yaygınlaşmıştır. Hafif metaller, kompozitler için matris malzemesi olarak çok cazip olmaktadır. Bunlar plastiklerden daha yüksek elastik modül, dayanım ve tokluğa sahip olup yüksek sıcaklıklarda özellikleri de daha iyidir. Ancak metal matrisli kompozit üretimi daha zordur. Bunlar her elyafla iyi ara yüzey bağı oluşturmazlar (Eserci 2007, Öztürk 2007).

Matris malzemesi olarak düşük yoğunluk sağlayabilecek alüminyum (Al) ve alaşımları, titanyum (Ti) ve alaşımları, Magnezyum (Mg) ve alaşımları kullanılır. Bu grubun içerisinde Al esaslı malzemeler daha çok tercih edilmektedir. Takviye elemanları metal matris içerisine sürekli fiber, kısa fiber ve partikül şeklinde dahil edilirler. MMK'lar otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır (İlhan,2018).

2.2.1.2.Seramik matrisli kompozitler

Seramikler düşük yoğunluklu ve sert olmalarına rağmen çok gevrekler diğer bir deyişle akma göstermezler. Kırılgan olmaları seramikleri kullanım açısından güvensiz yapmaktadır. Seramiklerin genellikle kimyasal ve termal dayanımları yüksektir. Fakat ergime sıcaklıklarının yüksek olması ve yapılarının sert olması işlenebilirliklerini zorlaştırır. Yüksek maliyetleri yanında bu malzemelerden yapılacak parçaların daha dikkatli ve doğru tasarlanması gerekmektedir (Şahin, 2000).

Seramik malzemeler farklı bileşimlerde kristal ve cam yapıları barındırmakta ve genellikle gözenek bulundurmaktadır. Bu farklı yapı bileşenleri seramik malzemelerin özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. İleri teknoloji seramikleri başlıca şu şekildedir (Eserci, 2007);

- Oksitler; Alümina (Al_2O_3), zirkonya (ZrO_2), magnezya (MgO)...
- Silisitler; Mo_2Si , WSi_2
- Nitrürler; BN, AlN, TiN, ZrN...
- Sülfürler; CdS, ZnS....

- Borürler; TiB₂, ZrB₂..
- Karbürler; SiC, ZrC, WC...
- Diğerleri; Fosfürler (BP)

Matris malzemedeki takviye elemanı da polimerik, metalik veya seramik olabilmektedir. Kompozit malzeme alanına giren en yeni tür ise seramik matrisli kompozitlerdir (Çerezci, 2008).

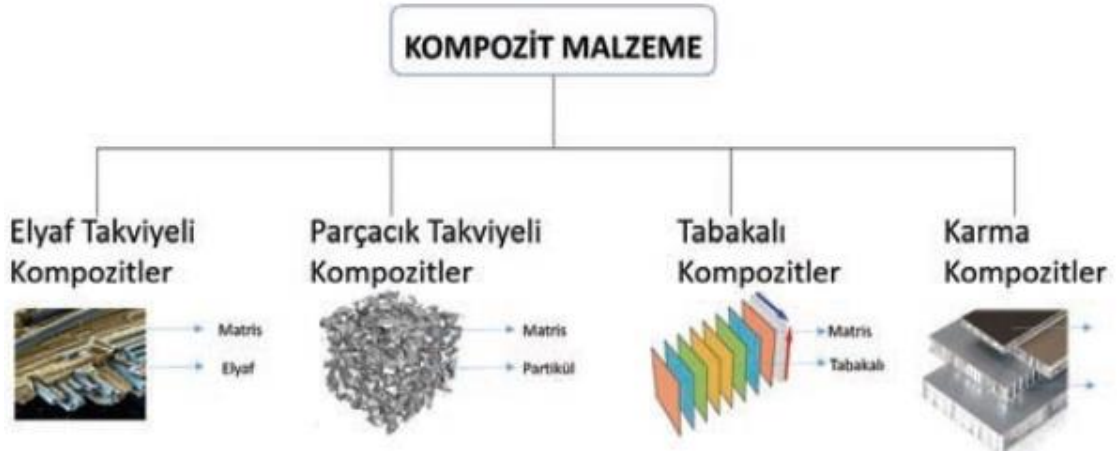
2.2.1.3. Polimer matrisli kompozitler

Polimerler, monomer adı verilen kimyasal birimlerden meydana gelen zincir şeklinde bir yapıya sahip olan sentetik malzemelerdir. Polimerlerin geniş kullanım alanı, hafif olması ve kolay işlenebilmelerinden dolayıdır(Eserci, 2007).

Polimerlere son yıllarda günlük yaşantımızda ve endüstriyel uygulamalarda sıkça rastlamaktayız. Polimerler termoset, termoplastik ve elastomer olarak 3 ana gruba ayrılmaktadır. Polimer matris olarak ise termoset ve termoplastikler çoğunlukta kullanılırlar. Elyafın takviye olarak kullanıldığı kompozitlerde termoset reçineler daha çok tercih edilmektedirler. Polimerlerin çelik kadar sağlamlık sağlaması, yüksek oranlarda hafiflik ve ekonomiklik sunması kompozit malzemelerde matris olarak kullanımını artırmıştır (İlhan, 2018).

2.2.2. Takviye elemanları

Kompozit malzemeler takviye elemanı baz alınarak Şekil 2.2'deki gibi sınıflandırılabilir (Kaya, 2019).



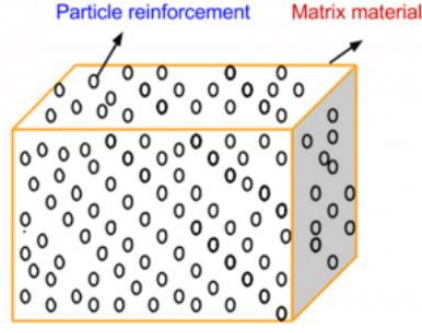
Şekil 2.2. Kompozit malzemelerin takviye elemanına göre sınıflandırılması (Kaya, 2019).

2.2.2.1.Elyaf takviyeli kompozitler

Elyaf takviyeli kompozitler (ETP) en yaygın bulunan kompozit türlerinden biridir. Takviye elemanı olarak cam, karbon, aramid veya doğal elyaflar vb. kullanılabilir. Ülkemizde ekonomiklik oluşturması ve yeterli dayanım özelliklerine sahip olması nedeniyle cam elyaf kullanılmaktadır. Genellikle bu tarz kompozit bileşiklerde matris elemanı olarak polimerler tercih edilmektedir (İlhan, 2018).

2.2.2.2.Parçacık (partikül) takviyeli kompozitler

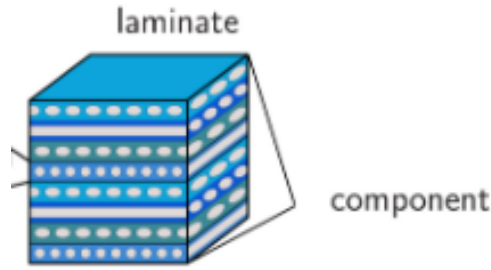
Parçacık takviyesi ile oluşturulmuş kompozitler tüm yönlerde aynı malzeme davranışı göstererek izotrop hale sahiplerdir. Kompozit malzemelerin özellikleri takviye edilen parçacık özelliklerinden (parçacık boyutları, yüzey enerjileri, hacimsel miktarları, homojen dağılım şekilleri) etkilenmektedir (Kaya, 2019). Genellikle polimer reçinesi içerisine metal esaslı partikül ilavelerinin yapıldığı kompozit malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoğu çalışmada ele alınan partikül takviyelerinin sertliği arttırdığı fakat dayanım özelliklerine ise çok etki etmediği görülmüştür. Parçacıklar çoğunlukla kompozit malzemelerde maliyeti azaltmak amacıyla kullanılırlar (Kaya, 2019, Zor, 2018).



Şekil 2.3. Partikül takviyeli kompozit (Material Science Chapter 7 Composites, 2017).

2.2.2.3.Tabakalı (laminant) kompozitler

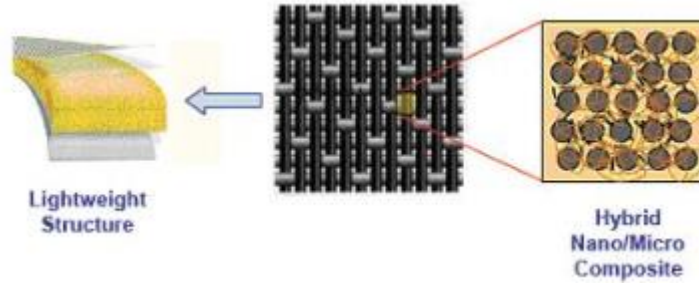
Tabakalı kompozitler farklı elyaf yönlendirmeleri ile oluşturulmuş tabakaların matris elemanı veya bağlayıcı ile bir araya getirilmesi ile oluşturulan yüksek mukavemet değerlerine sahip kompozit malzemelerdir. Tabakalı kompozitler en eski kullanıma sahip kompozit malzemelerdir. Tabakalı kompozitler elyaf malzeme cinsinden ve elyaf örgü şeklinden etkilenebilmektedir. Bu kompozitlere en güzel örnekler uçak yapılarında yaygın kullanıma sahip sandviç yapılar gösterilebilir (Sönmez, 2009).



Şekil 2.4. Tabakalı kompozit (Failure Prediction of Composites under Uncertainty).

2.2.2.4.Hibrit (karma) kompozitler

Kompozit malzeme içerisinde iki ya da daha fazla takviye elemanının bulunduğu karma kompozitlerdir. Doğal elyafların yeterli mukavemet özelliklerine sahip olmaması sebebiyle sentetik elyaflarla bir araya getirilerek oluşturulan hibrit kompozitler en güzel örneklerdendir. Böylelikle sentetik elyafların miktarı azaltılarak ekonomikliğin sağlandığı, doğal elyaflara ise sentetik elyaf ilavesi ile özelliklerinin iyileştirildiği ekonomik ve dayanıklı karma kompozitler oluşturulabilir (İlhan, 2018).



Şekil 2.5. Hibrit (karma) kompozit (Multifunctional Materials).

2.2.3. Diğer ilave malzemeler

Kompozit malzemelerden meydana gelen nihai ürün uygun şartlarda matris ve takviye malzemelerinin belirli oranlarda bir araya getirilmesiyle elde edilememektedir. Matris ve takviye malzemelerinin yanında diğer katkı malzemeleri nihai üründen istenen performans, kalite ve görseelliği arttırması için yapıya ilave edilmektedir. Polimer matrisli kompozitlerde kullanılan bu ilave malzemeler genel olarak dolgular, katalizörler, inhibitörler, kalıp ayırıcılar, renklendiriciler ve diğer katkı malzemeleri olarak sıralanabilir (Mangalgiri, 2005).

İlave malzemeler kompozit malzemenin özelliklerini geliştiren ve kompozit üretimini kolaylaştırmak için kullanılan malzemelerdir. Bu katkı malzemeleri, malzeme maliyetini artırırsa da, kazandırdıkları özellikler ile daha pahalı polimerler yerine uygun fiyatlı olanların kullanılmasına ve verimliliğin artmasına olanak tanıdıkları için üretim sektörü tarafından tercih edilmektedirler (Mangalgiri, 2005).

BÖLÜM 3.POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Polimer kelimesi anlam olarak ‘‘çok parçalı’’ şeklinde tanımlanabilir. Aynı zamanda bir polimer malzeme, kimyasal bağ ile birbirine bağlı birçok parçayı içeren katı formda bir yapıdır. Plastikler, istenen biçimde şekillendirilen veya kalıplanan bir yapay malzeme oluşumudur (Hashemi, Prakash & Smith).

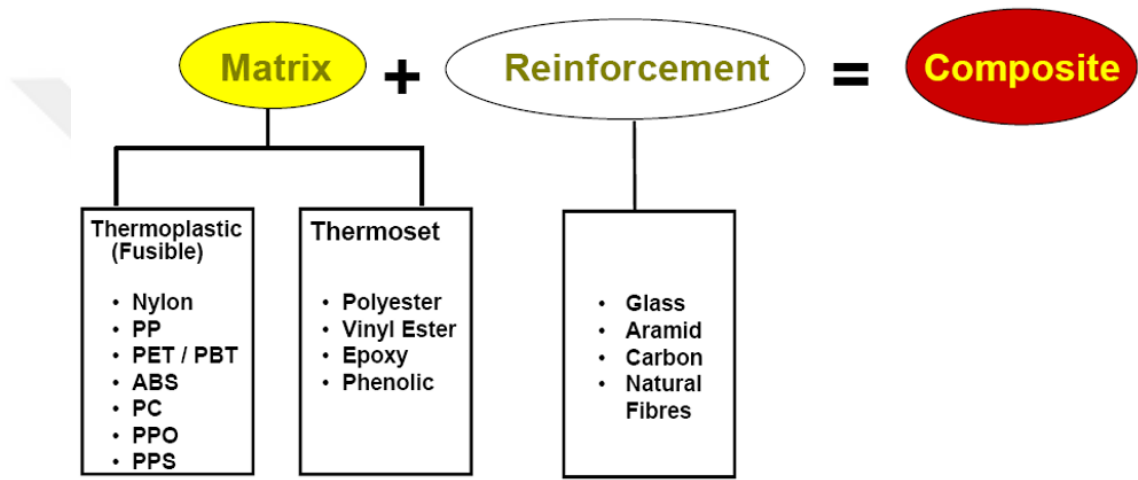
Polimerler karbon temeli üzerine kurulduğundan kovalent bağlar ihtiva ederler. Molekül içindeki atomlar arası kovalent bağların güçlü olması yanında, polimeri oluşturan moleküller arası bağlar zayıftır. Bu durum polimerlerin mukavemetlerinin ve erime noktalarının düşük olmasının asıl nedenidir. Monomerlerin 3 boyutlu bir ağ yapı veya polimer zinciri oluşturmasına sebep olan kimyasal reaksiyonlara polimerizasyon denir (Mangalgi, 2005).

Monomerlerden polimerizasyon yoluyla elde edilen yüksek moleküllü organik bileşik olan polimerler, bir reaktörde milyonlarca monomer, sıcaklık ve basınç altında tutularak üretilir. Katalizörlere de ihtiyacın bulunduğu bu ortamda, monomerleri oluşturan karbon atomlarının çift bağları yeniden düzene girerek, karbon atomlarının her iki tarafında da birer serbest bağ oluşturulacak şekilde aralarındaki çift bağ tek bağa dönüşür. Bu serbest bağlar başka monomerlerin serbest bağları ile bağlanarak zincir şeklindeki kararlı yapıyı oluşturur. Monomerin devamlı bağlanmaya devam etmesi ile zincir büyür. Bu reaksiyon zincirin serbest uçlarına serbest hidrojenler bağlanınca son bulur ve zincir tamamlanmış olur (Yalçın & Gürü, 2002).

Plastikler birçok özelliği nedeniyle önemli mühendislik malzemeleridir. Özelliklerinin bir kısmına diğer malzeme gruplarıyla ulaşmak zordur. Bunun yanında plastikler nispeten ucuzdurlar. Plastiklerin tercih edilme nedenleri arasında; daha az parçayla tasarım olanağı, son ürün işlemlerinin az olması, basit hale getirilmiş montaj

yöntemleri, kolay taşınabilirliği ve hafif oluşu da vardır. Plastikler özellikle yalıtım özelliklerinin mükemmel olması sebebiyle, birçok elektrik mühendisliği tasarımı için çok elverişlidir (Hashemi, Prakash & Smith).

Yapılarındaki kimyasal bağa göre plastikler iki sınıfa ayrılır: termoplastikler ve termosetler. Bu sebeple polimer matrisli kompozitleri de matris fazı olarak kullanılan polimere göre iki ana gruba ayırmak mümkündür: termoplastik ve termoset esaslı kompozitler (Hashemi, Prakash & Smith).



Şekil 3.1. Polimer matrisli kompozitler(Cam takviyeli polimer kompozitler).

3.1. Termoplastik Malzemeler

Termoplastiklerin matris olarak kullanımı 150 °C'nin üzerindeki sıcaklık değerlerinde epoksi reçinelerden daha iyi performans sergileyebilecek reçine malzemelerinin araştırılması esnasında ortaya çıkmıştır (Mangalgiri, 2005).

Termoplastik polimerler amorf ve kristal yapı halinde bulunurlar. Yüksek performanslı kompozitlerde matris elemanı olarak termoplastiklerin kullanımı uygun olmaktadır. Kompozit malzemelerde kullanılabilen termoplastik polimerler belirli oranlarda kristalleşme derecesine sahiptir. Tamamen kristal yapıya sahip polimer bulunmamaktadır ve bu sebeple yarı kristalimsi polimer olarak adlandırılırlar (Baker, Dutton & Kelly, 2004).

Termoplastikler termoset polimerleri ile karşılaştırıldığında çok az nem emilime sahiptir. Artan sıcaklık değerlerinde mekanik özelliklerinde çok az değişiklik meydana gelmektedir. Termoplastikler termosetlere göre daha dayanıklıdır. Tabakalar arası kesme mukavemeti daha iyidir ve darbelere karşı daha dirençlidirler. Kimyasal reaksiyona gerek duyulmadığı için imalat süreleri oldukça kısadır fakat imalatları için gerekli olan sıcaklık ve basınç değerleri termoset reçinelere kıyasla çok daha fazladır. Bu durum beraberinde maliyet artışını getirmektedir. Termoplastiklerde termosetlerde olduğu gibi sertleştirme işlemine ihtiyaç duyulmaz. Termoplastik reçineler soğutulduklarında kendi sertlik değerlerine ulaşır (Baker, Dutton & Kelly, 2004).

Termoplastik reçinelerin başlıca avantajları; Uzun süreli raf ömrü, termosetlere kıyasla daha yüksek tokluk ve darbe direnci, iyi kimyasal dirençtir. Termoplastik esaslı kompozitler hidrolik sıvı, havacılık yakıtları ve boya sökücülerinin kullanıldığı havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Baker, Dutton & Kelly, 2004). Bazı termoplastik esaslı reçinelerin özellikleri aşağıdaki Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Bazı termoplastik esaslı reçinelerin özellikleri (Gay, Hoa & Tsai, 2002).

Reçine	Yoğunluk (kg/m ³)	Elastiklik modülü (MPa)	Poisson oranı	Çekme	
				Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Polipropilen(PP)	900	1200	0,4	30	20-400
Polifenilen sülfid (PPS)	1300	4000		65	100
Polyamid (PA)	1100	2000	0,35	70	200
Polietersülfon(PES)	1350	3000		85	60
Polieterimid(PEI)	1250	3500		105	60
Polieter eter keton (PEEK)	1300	4000		90	50

3.2. Termoset Malzemeler

Termosetler yüksek sıcaklıklarda geri döndürülemez çapraz bağlar oluştururlar ve kalıcı olarak şekil değiştirirler. Bu özellik, termoset reçine kompozitlerini yapısal uygulamalar için cazip hale getirmektedir. Kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılan

termosetler reçineler; doymamış polyesterler, epoksiler ve vinilesterlerdir. En az bilinenleri ise poliüretan ve fenolik reçinelerdir (Bagherpour, 2012).

Termoset plastikler, birincil ortak kullanılan bağlara sahip molekül yapısında bir molekül ağı oluşturarak şekillendirilir. Bazı termosetler sadece ısı etkisiyle, bazıları da ısıyla basıncın bir aradaki etkisiyle çapraz bağlanırlar. Bir kısım termosetler ise oda sıcaklığında (soğukta sertleşen termosetler) meydana gelen kimyasal tepkimeyle çapraz bağlanabilir. Termosetlerden yapılan parçalar sertleşmeden sonra ısıtıldıklarında yumuşamalarına rağmen ortak kullanılan çapraz bağlar, onların sertleşmeden önceki akışkanlıklarına geri dönmelerine engel olur. Dolayısıyla termosetler termoplastikler gibi yeniden ısıtılıp, tekrar tekrar şekil verilemezler. Isıtılan termoset malzeme direkt yanacağı için geriye kalan hurda tekrar işleme sokulamaz. Bu da termosetlerin istenmeyen özellikleri arasındadır. (Hashemi, Prakash & Smith, Yalçın & Gürü, 2002).

3.2.1. Termoset esaslı reçineler

Bazı termoset reçinelerin özellikleri aşağıda Tablo 3.2’de verilmiştir.

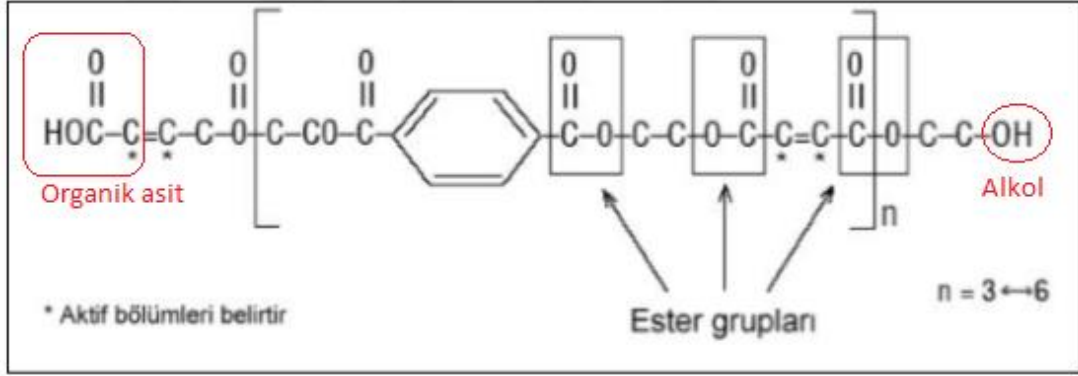
Tablo 3.2. Bazı termoset reçinelerin özellikleri (Park & Seo, 2011).

Reçine Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Modülü (GPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)
Epoksi	1,2 ~ 1,4	2,5 ~ 5,0	50 ~ 110
Fenolik	1,2 ~ 1,4	2,7 ~ 4,1	35 ~ 60
Polyester	1,1 ~ 1,4	1,6 ~ 4,1	35 ~ 90
Vinilester	1,04 ~ 1,1	3,2 ~ 3,6	68 ~ 80

3.2.1.1. Doymamış polyester

Doymamış polyesterler, sahip oldukları kimyasal tepkimeye girmeye eğimli olan çift karbon-karbon bağlarıyla termoset malzemeler olarak çapraz bağlanabilirler. Cam lifleriyle takviyelendirilen doymamış polyesterler yüksek dayanımda karma malzeme olarak çapraz bağlanırlar. Doymamış polyesterin kimyası şu şekilde özetlenebilir; ester

bağlayıcı Şekil 3.2’de gösterildiği gibi alkolün bir organik asitle tepkimeye girmesiyle elde edilir (Hashemi, Prakash & Smith).



Şekil 3.2.İzoftalik bir polyester reçinenin kimyasal yapısı (Genç, 2006).

Doymamış polyester reçineler dünyada kullanılan tüm polyester reçinelerin yaklaşık %75’ni oluşturmaktadır. Doymamış polyester reçinenin yaygın kullanılma sebebi boyutsal kararlılık ve uygun maliyettir. Doymamış polyester reçineler işleme ve imalat kolaylığı, yüksek korozyon direnci, yangın geciktirici gibi diğer özelliklere de sahiptir (Bagherpour, 2012, Park & Seo, 2011).

Ortoftalik polyester reçine birçok kişi tarafından tercih edilen standart ekonomik reçinedir. Ortoftalik polyesterler ya maleik anhidrid ya da fumarik asit ile ftalik anhidritin birlikte kullanımı ile yapılır. Ortoftalik polyester reçineler çevreye karşı duyarlıdırlar ve sınırlı mekanik özelliklere sahiptir (Bagherpour, 2012, Park & Seo, 2011).

İzoftalik polyester reçine ise su geçirmezliğin arzu edildiği denizcilik endüstrisinde yeni yeni kullanılmaya başlanmıştır (Bagherpour, 2012, Park & Seo, 2011).İzoftalik polyester reçineler izoftalik asit ya da tereftalik asidin kullanımı ile oluşturulurlar. İzoftalik polyesterler ise kimyasal maddelere dayanıklı, mükemmel çevre direnci,ve mekanik özelliklere sahiptir (Cam Elyaf Sanayii A.Ş.).

Tablo 3.3. Sertleşmiş Reçine tipik özellikleri (Cam takviyeli polimer kompozitler).

Polyester Reçine tipi	Eğilme dayanımı (kg/mm ²)	Çekme dayanımı (kg/mm ²)	Çekme modülü (kg/mm ²)	Uzama (%)
Ortoftalik	10,0	6,5-7,5	320	2,0-4,0
İzoftalik	14,0	7,0-8,5	350	3,5
Neopentil glikol	13,0	7,0	340	2,4
Glikoz	13,0	6,0	340	2,5
Bisfenol asit	13,0	6,0-7,5	320	2,5-4,0
Klorlu parafin	11,0	5,0-6,0	340	1,2-4,8
İzoftalik/klorlu	9,0	6,0	200	4,8

Çoğu polyester reçine içerisinde genellikle stiren olan bir tekrarlanan birimden (monomer) oluşan viskoz, soluk renkli sıvılardır. Sertleştirme veya çapraz bağlanma (crosslink) işlemi için ağırlıkça %30-50 aralığında reçineye stiren gibi reaktif bir tekrarlanan birim ilave edilir. %50 'ye varan stiren ilavesi reçinenin viskozitesini düşürerek daha kolay işlenmesine yardımcı olur. Ayrıca stiren herhangi bir yan ürüne ihtiyaç duymadan moleküler zincirleri çapraz bağlayarak sıvı halden katı hale geçirerek reçinenin sertleşmesini sağlar. Stiren içeriği yüksek olan reçineler basınç kullanılmaksızın kalıplanabilir ve bu özellikleri nedeniyle düşük basınçlı reçineler olarak adlandırılırlar (Park & Seo, 2011).

Polyester reçinelerin depolama ömürleri sınırlıdır, uzun süre bekletildiklerinde jelleşme başlar. Genellikle bu jelleşme işlemi yavaşlatmak için reçine üretimi sırasında az miktarlarda inhibitörler eklenir. Polyester reçinenin kalıplanması sırasında katalizör, hızlandırıcı ve çeşitli katkılar yardımcı ürün olarak kullanılır (Park & Seo, 2011). Reçineler temel halleriyle ya da yardımcı ürünlerle modifiye edilerek kullanılabilir. Polyester reçinelerde polimerizasyon hızı çok yavaştır. Reçinenin uygun sürede polimerizasyonunu sağlamak için katalizörler ve hızlandırıcılar kullanılır (Baker, Dutton & Kelly, 2004).

Katalizörler polimerizasyon reaksiyonu başlamadan önce reçine sistemine eklenir. Katalizörler kimyasal reaksiyona katılmazlar ancak işlemi kolayca etkinleştirirler. Hızlandırıcılar ise reaksiyonun çalışma sıcaklığında ya da daha yüksek bir hızda ilerlemesini sağlamak için katalizörlü haldeki reçine sistemine dahil edilirler.

Hızlandırıcılar katalizör yokluğunda reçine üzerine çok az etki yaparlar bu nedenle iyi performanslı reçineler oluşturabilmek amacıyla katalizör ve hızlandırıcılar birlikte kullanılır. Bazen ise reçine üreticileri tarafından bir ön hızlandırma yapmak için reçineye yalnızca hızlandırıcı eklenebilir (Mangalgiri, 2005).

Reçine sertleştiğinde kimyasal açıdan dayanıklı ve daha sert bir katı olmaktadır (Park & Seo, 2011). Polyester reçinelerin ortam sıcaklığında sertleşmesi için genellikle başlatıcı olarak metil etil keton peroksit (MEKP) kullanılır. Kobalt naftanat gibi metal tuzları ise MEKP ile hızlandırıcı olarak kullanılır. Bir diğer yaygın başlatıcı ise benzoil peroksittir (BzP). BzP'ye benzer farklı başlatıcılarda bulunmaktadır. T-butil peroksit bu başlatıcılara örnektir ve 140 °C'ye kadar kararlıdır (Baker, Dutton & Kelly, 2004).

MEKP ve BzP gibi katalizörler %1-2 oranlarında reçineye ilave edilir. İşleme sıcaklığı ve katalizör miktarı polimerizasyon hızını etkilemektedir. Daha yüksek sıcaklık veya daha fazla katalizör daha hızlı reaksiyonun gerçekleşmesini sağlar. Polyesterin moleküler ağırlığı ne kadar fazla ve moleküllerde ne kadar çok doymamış kısım varsa sertleşen reçinelerin mukavemeti o kadar yüksektir (Bagherpour, 2012).

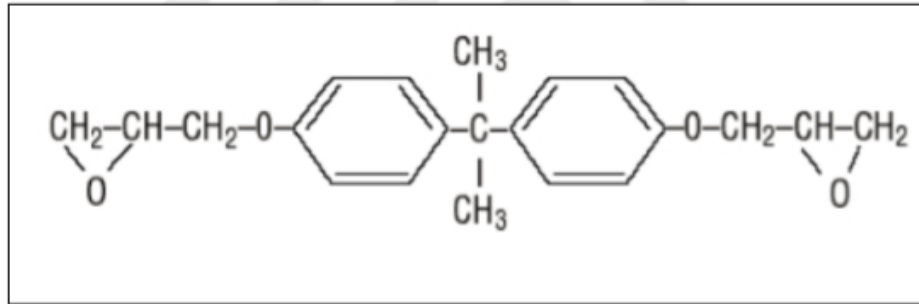
Polyester reçinelerin başlıca avantajları; düşük viskozite nedeniyle takviye elemanlarını iyi ıslatabilme özelliği, düşük maliyet, sertleşme koşulları operatörün deneyimi ile kolaylıkla değiştirilebilmesi, kolay imalat ve mükemmel çevresel dayanıklılıktır. Polyester reçinelerin dezavantajları ise; sertleşmeden dolayı oluşan yüksek büzülme nedeniyle zayıf elyaf/matris ara yüzey bağlanma mukavemetine neden olur ve böylelikle ortaya çıkan büzülme polyesterin epoksi reçinelerden daha düşük mekanik özelliklere sahip olmasına neden olur (Baker, Dutton & Kelly, 2004).

3.2.1.2. Epoksi reçine

Kompozitlerde kullanılan epoksiler ağırlıklı olarak glisidil eterler ve aminlerdir. Malzeme özellikleri ve sertleşme işlemi beklenen performansı karşılamak üzere farklı şekillerde formülize edilebilirler. Sertleştirme işlemini gerçekleştirecek ajanın seçimi önem arz eder. Çünkü gerçekleşecek kimyasal reaksiyonları etkileyerek son nihai

ürünün özelliklerini belirlemektedir. Epoksi reçinelerde sertleşme işlemi sırasında %1-2 oranlarında çekme gerilmeleri oluşur. Dışarıdan herhangi bir katkıya ihtiyaç duyulmadan düşük çekme özelliğine sahip epoksi reçineler oluşturulabilir. Bu özellikleri polyestere göre avantaj sağlamaktadır. Fakat epoksi reçinelerin viskoziteleri polyestere kıyasla yüksektir. Viskoziteyi düşürmek için seyrelticiler kullanılır(Cam Elyaf Sanayii A.Ş., Ratna, 2009).

Epoksi reçineler cam, karbon, aramid gibi sentetik elyaflarla kullanılabilir. Sertleşme sırasında yan ürün oluşmadığı için sertleşen reçine iyi mekanik, kimyasal ve elektriksel özelliklere sahiptir. Epoksi reçinelerin özellikleri arasında; yüksek mukavemet, düşük sürtünme, mükemmel korozyon direnci, farklı çevresel şartlara karşı dayanıklılık, yüksek sıcaklıklarda yeterli çalışma ömrü ve iyi elektriksel özellikler gösterilebilir. Epoksi reçineler genellikle vakum torba, otoklav, pres, elyaf sarma, basınçlı torba ve el yatırması gibi üretim proseslerinde sıkıntısız olarak kullanılabilir (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., Ratna, 2009).



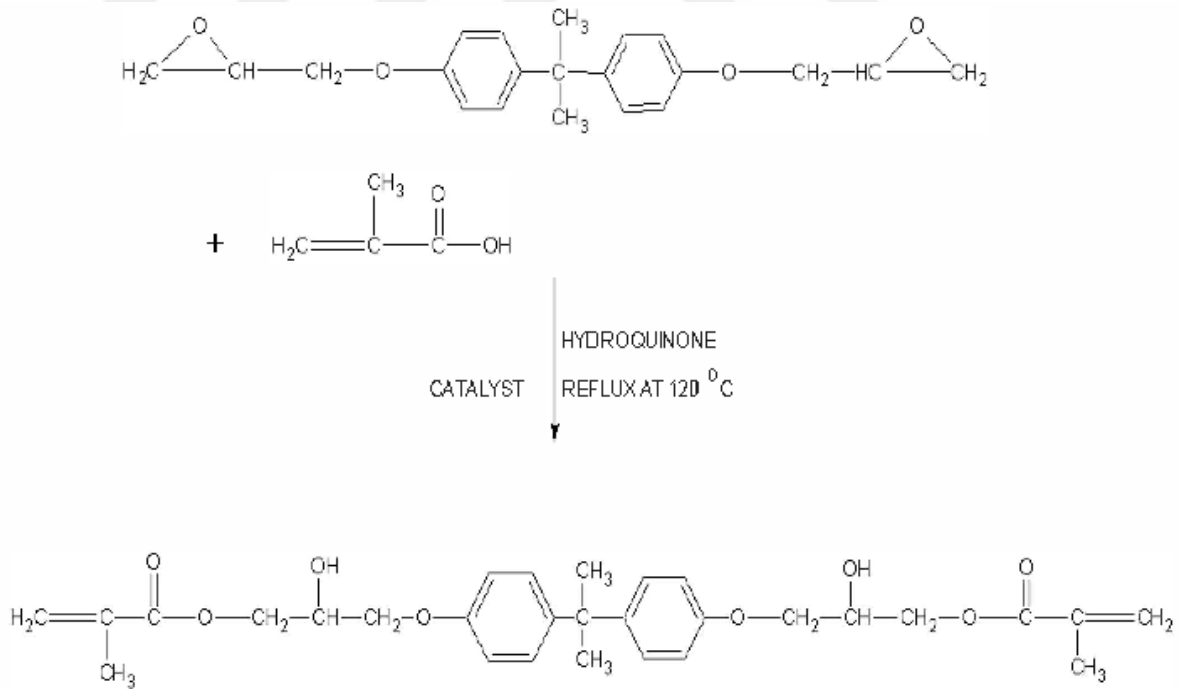
Şekil 3.3. Epoksi reçinenin kimyasal yapısı (Genç, 2006).

3.2.1.3. Vinilester reçine

Vinilester (VE) reçineleri, Doymamış karboksilik asit (akrilik asit veya metakrilik asit) ile epoksi reçinenin (iki işlevli veya çok işlevli) birlikte kullanımı ile oluştururlar. Vinilester reçineleri epoksi reçinelerin avantajlı yönleri ile doymamış polyestere ait kolay işlenebilme ve hızlı sertleşme özelliklerini bir arada bulundurlar. Böylelikle vinilester reçinelerin fiziksel özellikleri polyesterden daha yüksek, maliyetleri ise epoksi reçinelerden daha az olmaktadır. Organik peroksitler ile sertleşmeleri sağlanır.

Vinilester reçinenin sertleşmesi için metil etil keton peroksit (MEKP) ve kobalt naftanat kullanılır (Bagherpour, 2012).

Vinilester reçineler kompozitlerde matris fazı olarak kullanıldığında yüksek tokluk, iyi esneklik ve mükemmel korozyon direnci sağlar. Bu reçine türü suya, organik çözücülere ve alkalilere karşı dirençlidir. Fakat asidik etkilere karşı polyester kadar dirençli değildir. Kalıplama yöntemleri ise polyester ile benzerlik göstermektedir. Korozyon direnci iyi olduğu için depolama tanklarında, içerisinde akışkan geçişinin olduğu boru ve kanalların üretimlerinde kullanılırlar. Elyaf takviyesi içeren vinilester reçineleri televizyon, sinyal alıcı antenlerde, elektrik üretim-dağıtım istasyonlarında kullanılırlar. Vinilester reçineleri su altı uygulamalarında epoksilerden daha iyi performans gösterirler. Yelkenli ve motorlu tekneler, deniz gemilerinin gövde kısımları başta olmak üzere çeşitli denizcilik uygulamalarında kullanılırlar. Ayrıca vinilesterlerin suya dayanıklılıklarının iyi olması nedeniyle klima, nemlendiriciler ve diğer ev aletlerinde kullanılabilirler (Bagherpour, 2012, Ratna, 2009, Zhao & Guo, 2014).



Şekil 3.4. Vinilester reçinesinin sentezine ait reaksiyon şematiği ... Bhattacharya, Patil & Chaudhary (2012) ...

3.2.1.4. Fenolik reçine

Termoset olarak sanayide kullanılan ilk plastik malzeme olarak kullanılan fenolikler; iyi mekanik özelliklerin yanında düşük maliyete, iyi elektrik özelliklere ve iyi ısı yalıtım özelliklerine sahiptir. Kolaylıkla şekillendirilebilmelerine rağmen renkleri sınırlıdır.

Fenolik reçineler formaldehitin kademeli olarak polimerleştirilmesi ve fenol ya da fenol türevi olan asit ya da baz katalizörü kullanılmasıyla meydana gelirler. Fenolik reçineyi Leo H. Baekeland ticari olarak piyasaya sunan ilk isimdir. Ürün tipi ve kalitesi çoğunlukla kullanılan reaktiflerin miktarına ve katalizörün niteliğine bağlıdır. Novolak ve resol olarak iki yaygın fenolik reçine türü vardır (Cam Elyaf Sanayii A.Ş.).

Fenolik reçineler yüksek mekanik mukavemet, uzun süreli termal ve mekanik kararlılık, mükemmel yangın, duman, toksisite özelliği ve mükemmel ısı yalıtımı gibi özellikler göstermektedirler. Fenolik reçineler 180-200°C'lik sabit kullanım sıcaklıklarında kimyasallara ve neme karşı mükemmel direnç gösterdikleri için yangın hassasiyetinin gerekli olduğu uygulamalarda kullanılan elyaf takviyeli kompozitlerde matris bileşenini oluştururlar. Fenolik reçine ile oluşturulan kompozitlerin dezavantajları ise ışık ve oksijen maruz kaldıklarında renklerini kaybetmeleridir (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., (Ratna, 2009).

3.2.1.5. Poliüretan reçine

Poliüretanlar ekzotermik bir reaksiyon sonucu elde edilen, büyük bir polimer grubudur. Üreticilere nihai ürünün özelliklerini kontrol etme imkânı vermesi poliüretanları diğer polimerlerden ayırmaktadır. Reaksiyonlu enjeksiyon kalıplama yöntemi ile elde edilen elyaf takviyeli poliüretan, kompozit endüstrisinin önemli malzemeleri arasındadır. Bu malzeme otomotiv sektöründe iyi darbe dayanımı, ısıl genleşme katsayıları sayesinde metal gövde parçalarıyla uyumu, mevcut gövde parçalarıyla boyanabilmesi ve boya işlemleri sırasında yüzey kalitesini koruması gibi özelliklerinden ötürü kullanılmaktadır (Sönmez, 2009).

3.3. Takviye Elemanları

Takviye elemanlarının kullanım amacı, son ürün olacak kompozit parçanın dayanımını arttırmaktır. CTP kompozitlerde yaygın olarak kullanılan takviye malzemesi olan elyaflar şu şekilde sıralanabilir:

- Cam Elyaf
- Karbon Elyaf (Grafit)
- Aramid Elyaf (Kevlar) ‘dır(Işık, 2008).

3.3.1. Cam elyaf

Cam lifinin ana malzemesi olan silika lif içerisinde SiO_2 olarak bulunur. 9-23 mikron olan cam lifleri elektrikle ısıtılmış platin rodyum alaşımından yapılan, üzerinde çok sayıda delik bulunan kovanlardan yüksek hızlarda çekilir. Serbest halde akan cam lifleri, su ve hava ile soğutularak bir araya getirilir ve demetler elde edilir. Ürünleri korunmak ve kompozit tabakalarının özelliklerini arttırmak amacıyla, cam lifi kimyasal bir bağlayıcıyla kaplanır (Şişecam Chemicals).

Cam elyaflar (CE) polimerlerin içerisine takviye edildiklerinde polimerlerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerini değiştirirler. Camlara mühendislik malzemelerinin özelliklerini geliştirmek, liflerin kullanımı ve işlenmesini kolaylaştırmak için ilave işlemler uygulanır. Cam elyaf hacmi, cam elyaf çeşitleri (dokunmuş-dikilmiş kumaş, kırılmış demetler), cam filament çapı, cam elyaf uzunluğu ve cam elyaf yönelimi gibi kompozit değişkenleri polimer matrisli kompozitlerin özelliklerini etkilemektedir. Cam elyaf insanlık tarihinde yıllardır kullanılmaktadır. Fakat son yıllara kadar özellikle CTP kompozitlerden öncesine kadar cam elyafların olumlu yönleri çok fark edilememiştir. Cam elyafların polimerler için ideal takviye malzemesi olmasının sebepleri şu şekilde sıralanabilir (U.S. Army Materiel Command);

1. Elastiklik: Cam elyaflar hooke kanuna uyarlar. Tipik elyafların maksimum %5’lik kopma uzamaları vardır.

2. İyi termal özellikler: Cam elyafları yanıcı değildir, düşük termal genleşme katsayısına ve yüksek termal iletkenliğe sahiptir. Mukavemetlerinin yaklaşık olarak yarısını 700°C’de ve %25’lik kısmını ise 1000 °C’ye kadar kaybetmezler.
3. Boyutsal kararlılık.
4. Mükemmel kimyasal ve nem direnci: Cam elyafları nemi ve küfü absorbe etmez, asit ve alkali gibi çözücülere dirençlidirler. Nem kompozitli yapılarda matris ve elyaf ara yüzeyini olumsuz etkilemektedir.
5. Mükemmel elektriksel özellikler: Cam elyaf yüksek dielektrik mukavemetine ve düşük dielektrik sabitine sahiptir.
6. Düşük maliyet ile yüksek performansla sahiptir.

Cam liflerinin en yaygın örnekleri A, C, D, E ve S tipi cam lifleridir. En çok kullanılan E tipi camdır. Temel olarak elektrik amaçlı düşünülse de iyi mekanik özelliklere ve ısı dirence sahip olduğu için günümüzde halen birçok sanayi alanında kullanılmaktadır (Işık, 2008). C tipi cam lifleri kimyasal direnci yüksek olduğu için kimyasal korozyona dayanıklı uygulamalarda da kullanılır. S tipi cam lifi yüksek modül ve mukavemet özelliklerine sahip olmasına karşın yüksek maliyetinden dolayı sınırlı kullanıma sahiptir (Ersoy, 2005).

Tablo 3.4. Farklı cam elyafların mekanik özellikleri (Prashanth ve diğerleri, 2018).

	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme mukavemeti (GPa)	Young modülü (GPa)	Uzama (%)	Termal genleşme katsayısı (10 ⁻⁷ /°C)	Poison oranı	Kırılma indisi
E-Camı	2,58	3,445	72,3	4,8	54	0,2	1,558
C-Camı	2,52	3,31	68,9	4,8	63		1,553
S-Camı	2,46	4,89	86,9	5,7	16	0,22	1,521
A-Camı	2,44	3,31	68,9	4,8	73		1,538
R-Camı	2,54	4,135	85,5	4,8	33		1,546
EC-Camı	2,72	3,445	85,5	4,8	59		1,579
AR-Camı	2,70	3,241	73,1	4,4	65		1,562



Şekil 3.5. Cam elyaf lifi (Işık, 2008).

Tablo 3.4'te görüldüğü gibi cam, SiO_2 ve çeşitli metal oksitlerden oluşan silikat tipi bileşimdir. SiO_2 camın ana bileşenidir ve yüksek erime derecesine sahiptir. Metal oksit olarak ise Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O (K_2O), BeO , B_2O_3 kullanılır. Bunların yapıdaki işlevleri şu şekildedir; Cam elyaf imalatında işlem koşullarını iyileştirmek, daha düşük erime noktası, kristalleşebilme eğilimini azaltarak lif çekimini kolaylaştıracak uygun sıvı cam viskozitesi elde etmek (Wang, Zheng & Zheng, 2011).

Tablo 3.5. Farklı cam elyafların % kimyasal bileşimleri (Bagherpour, 2012).

	A-Camı	C-Camı	D-Camı	E-Camı	ECR-Camı	AR-Camı	R-Camı	S-2-Camı
SiO_2 %	63-72	64-68	72-75	52-56	54-62	55-75	55-60	64-66
Al_2O_3 %	0-6	3-5	0-1	12-16	9-15	0-5	23-28	24-25
B_2O_3 %	0-6	4-6	21-24	5-10		0-8	0-0.35	
CaO %	6-10	11-15	0-1	16-25	17-25	1-10	8-15	0-0,2
MgO %	0-4	2-4		0-5	0-4		4-7	9,5-10
ZnO %					2-5			
BaO %		0-1						
Li_2O %						0-1.5		
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ %	14-16	7-10	0-4	0-2	0-2	11-21	0-1	0,02
TiO_2 %	0-0,6			0-4	0-4	0-12		
ZrO_2 %						1-18		
Fe_2O_3 %	0-0,5	0-0,8	0-0,3	0-0,8	0-0,8	0-5	0-0,5	0-0,1
F_2 %	0-0,4					0-5	0-0,3	

Genellikle cam elyafları alkali metal oksitler Na_2O (K_2O) içerir. Bu oksitler camın erime sıcaklığını ve viskozitesini düşürür böylece sıvı camdaki kabarcıklar kolaylıkla giderilerek üretim daha kolay gerçekleştirilir. Cam elyafların BeO içermesi modül değerlerini iyileştirir fakat yüksek oranlarda toksisite oluşumuna neden olur. B_2O_3 ilavesi, cam elyafların asit direncini artırır ve elektrik performansını iyileştirir, erime noktasını ve viskoziteyi düşürür, modül ve mukavemet değerlerine ise olumsuz etki yaparak azaltır (Wang, Zheng&Zheng, 2011).

Ayrıca cam elyafları kimyasal içeriklerine (alkali metal oksit) göre de sınıflandırılabilir. Alkali cam elyafları alkali metal oksit içeriği %12'den fazladır. Orta alkali cam elyafları alkali metal oksit içeriği %2-6 arasındadır. Mikro alkali cam elyafları alkali metal oksit içeriği %2'den azdır ve alkali olmayan cam elyafları şeklinde de adlandırılmaktadır. Genellikle alkali metal oksit yüksek bir içeriğe sahipse cam kolayca erir ve deniz suyu korozyonuna dayanıklı olur. İnşaat konstrüksiyonlarında düşük alkali ya da alkali cam elyafları kullanılır. Elektrik ve askeri uygulamalar için ise alkali olmayan cam elyafları kullanılır (Wang, Zheng&Zheng, 2011).

3.3.2. Karbon elyaf

Karbon elyafları ağırlıkça %92 karbon ihtiva ettikleri için karbon elyafları olarak adlandırılır. Karbon elyafların yapıları amorf ve kısmen kristal olmaktadır. Karbon elyaf içerisinde grafit oranı %0-100 aralığında olabilmektedir. Grafit oranı yapıda çoğunluğu oluşturduğunda grafit elyafları olarak adlandırılır. Ticari olarak karbon elyaflarında ön madde olarak zift veya poliakrilonitril (PAN) kullanılarak imal edilirler (Bagherpour, 2012).

PAN yüksek gerilme mukavemeti ve yüksek elastiklik modülüne sahip olması sebebiyle karbon elyaf üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Son sertleşme sıcaklığına bağlı olarak PAN ön maddeleri ile yüksek yapışkanlı, orta modüllü lifler, yüksek modüllü ve ultra yüksek modüllü liflerden oluşan farklı karbon elyafları oluşturulmaktadır. Diğer ön madde olan zift ile oluşturulmuş karbon elyafları daha yüksek elastiklik modülüne ve daha düşük gerilme mukavemetine sahiptir (Prashanth ve diğerleri, 2018).

PAN esaslı karbonlar daha sağlam ve daha hafif olmaları için sürekli gelişme halindedir (Işık, 2008). PAN'ın Karbon elyafına dönüşümü dört adımda olur:

1. Oksidasyon: Elyaf lar açık hava ortamında 300°C'de ısıtılır. Böylece, elyaftan H kopar daha uçucu olan O bağlanır. Ardından elyaflar kırılıp grafit teknelerine aktarılır ve kararlı yapıya dönüşüm başlar. Bu işlem sırasında elyafın rengi önce beyazdan kahverengiye, ardından siyaha dönüşür.
2. Karbonizasyon: Elyaf ların yanıcı olmayan atmosferde 3000°C'ye kadar ısıtılmasıyla liflerin 100% karbonlaşması sağlanmış olur. Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık üretilen elyafın sınıfını belirleyen önemli unsurdur.
3. Yüzey İyileştirme: Karbon, yüzey temizliği ve elyafın kompozit malzemenin reçinesine iyi yapışabilmesi için elektrolitik banyoya aktarılır.
4. Kaplama: Elyaf reçine ile kaplanır Amaç; elyafı sonraki işlemlerden (preg gibi) korumaktır. Genellikle bu kaplama işlemi için epoksi kullanılır (Arıcasoy, 2006).



Şekil 3.6. Karbon elyaf lifi (Işık, 2008).

3.3.3. Aramid elyaf (Kevlar)

Kevlar (Dupont) ticari adıyla ilk olarak uçak uygulamaları için yeterli sağlamlık ve mukavemeti sağlayabilmek için PMK'lar da kullanılmıştır. Kevlar katı moleküler bir yapıya sahip olan poli-poro-fenilen-tereftalamid (PPTA) aramid lifidir. Aramid benzeri elyaflar ilk olarak 1960'lı yıllarda kauçuk lastiklerde takviye olarak kullanılan çeliğe alternatif olarak geliştirilmiştir. Bu gelişmeler sonucunda aramid elyafları balistik uygulamalar için asbeste alternatif olmuştur (Zhao & Guo, 2014, Prashanth ve diğerleri, 2018).

Aramid elyafları çoğunlukla hafif, yüksek mukavemet ve sertlik, hasar direnci ve yorulma direnci açısından son derece önemli olan kompozit yapılarda kullanılır. Aramid elyaflarının en sık kullanıldığı uygulamalar kurşun geçirmez yelekler, soğutma araçları, gemi gövdeleri ve inşaat yapılarının güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Aramid elyafların dezavantajı ise basma mukavemetlerinin düşük olmasıdır (Prashanth ve diğerleri, 2018).

Benzen halkaları ihtiva eden “aromatik poliamidler” de denir. Yapıdaki aromatik halka zincirin katı formunu artırır. Bu özellikleri sebebiyle erimezler ve çözültiden elde edilirler. Üretim esnasında katı polimer molekülleri lif eksenine paralel olarak yönlendirilirler. Söz konusu yönlendirme, yüksek modüle sebebiyet verir (Ersoy, 2005).



Şekil 3.7. Aramid Elyaf Lifi (Işık, 2008).

Aramid elyafları kırılma sırasında büyük miktarda enerjiyi absorbe etme kabiliyetine sahiptir. Karbon ve cam elyafları ile karşılaştırıldıklarında aramid elyafları daha az gevrek, daha yüksek çekme mukavemeti ve modülüne sahiptir. Aramid elyafları uzun süre mor ötesi ışınlarla maruz kaldıklarında mukavemetleri bozulur fakat bu problem aramid elyaf takviyeli kompozitlerde büyük bir problem oluşturmaz, çünkü elyaf reçine malzemesi tarafından korunur. Aramid elyafları her türlü polimerik matrisle uyumlu olarak kullanılabilen takviye elemanıdır (Zhao & Guo, 2014).

Tablo 3.6. Elyaf özellikleri ve Karşılaştırılması (Şişecam Chemicals).

	Cam	Karbon/Grafit	Aramid
Gerilme Dayanımı	3000MPa	2500-3000MPa	2750-3000 MPa
Gerilme Modülü	72-82	200-700	82-124
Özgül Ağırlık	2,48-2,60	1,75-1,96	1,44
Özellikler	-İyi kalıplama özelliği -Düşük maliyet -Yanmazlık özelliği -Neme dayanıklı -Kimyasallara dayanıklı (güçlü alkaliler ve hidroflorik asit hariç)	-Yüksek modül -Elektriksel iletkenlik -Yüksek maliyet -Yüksek yorulma dayanımı -Çekmeye ve basmaya karşı yüksek dayanım	-İyi spesifik özellikler -Orta maliyet -Yanmazlık özelliği -Düşük yoğunluk -Çarpmaya dayanıklı

3.4.Dolgu Malzemeleri

Dolgu maddesi, belirli bir rijitlik ve sertlik derecesi sağlamak, maliyeti düşürmek için polimer ürünlerde ve kauçuk bileşimlerde kullanılan yüksek özgül ağırlıktaki inert mineral toz olarak tanımlanabilir. Dolgu malzemesi kullanımındaki en genel amaç kompozitin maliyetini azaltarak malzeme özelliklerini geliştirmektir. Dolgu malzemeleri reçineye herhangi bir pigment veya katalizör ile karıştırılarak eklenir. Bu ekleme işleminde dolgu malzemeleri uygun oranlarda kullanıldığında kürlenme süresini azaltır, termal dayanıklılığı artırır, mekanik özellikleri iyileştirir, elektrik ve kimyasal özellikleri iyileştirerek polimerlere çeşitli özellikler kazandırır (Zhao & Guo, 2014).

Dolgu malzemeleri genellikle polimerlere çekme ve basma dayanımı, aşınma direnci, tokluk ve ısı kararlılık gibi özelliklerini iyileştirip artırmak amacıyla katılır. Polimerlerin esneklik, süneklik ve tokluk özellikleri yumuşatıcı (plastikleştirici) adı verilen katkılarla düzeltilebilir. Yumuşatıcıların ilavesi aynı zamanda sertlik ve rijitliği de düşürür. Bazı polimer malzemelerin mekanik yapısı, normal atmosfer şartlarında bozunmaya uğrar. Bu bozunmayı engelleyen katılara da dengeleyici adı verilir. Renklendirici, boya veya pigment şeklinde ilave edilerek polimerin rengini değiştirerek istenen renge sahip olmasını sağlarlar. Polimerlerin alev alabilmesi, özellikle çocuk oyuncakları ve tekstil imalatındaki en önemli sorunlardandır. Pek çok polimer doğal (saf) haliyle alev alabilme özelliğine sahiptir. Sadece büyük oranda florür ve/veya klorür içeren poli(vinil klorür) ve politetrafloretillen bu genellemeye uymaz. Yanıcı polimerlerin alevlenme direnci, alev geciktirici katkı ile sağlanır (Callister & Rethwisch, 2013).

Dolgu malzemeleri genelde inorganik yapıda bulunur fakat organik yapıda olanlarına da rastlanır. Polimerin özelliklerini etkilemeyen dolgu maddelerinin yoğunluğu artırma ve maliyeti düşürme etkisi vardır. Aktif şekilde polimerin özelliklerini etkileyen dolgu maddeleri ise takviye dolgu maddeleri olarak bilinir ve mekanik veya fiziksel özellikleri önemli ölçüde etkilerler (Şişecam Chemicals).

Günümüzde yaygın biçimde kullanılan dolgu maddeleri ve takviye malzemeleri nihai üründe belirgin farklar olmasını sağlar. Öncelik olarak kalıp bileşenlerinin maliyetini düşürmek hedeflense bile günümüzde plastik özelliklerinin istenilen şekilde değiştirilmesi öncelik haline gelmiştir (Gachter & Muller, 1987).

Polimerin özelliklerini etkilemeyen ve etkileyen dolgu maddelerinin, ayrıca cam küreleri ve talk gibi küresel formlu dolgu maddelerinin hepsinin elastik modülü ve tokluk değerlerini artırmaları dışında aralarındaki en önemli temel fark, çekme dayanımının sadece polimerin özelliklerini etkileyen dolgu maddeleriyle artırılabilmesidir. Küresel yapılu dolgu maddelerinin yapıya katılması yüksek sıcaklıklarda tokluk vb. özelliklerin artırılmasında takviye dolgu maddeleri kadar etkili değildir. Buna rağmen yapılan çalışmalarda talk ve mika gibi yaprak şeklinde olan dolgu maddelerinin bu değerlerde artış sağlayabildiği görülmüştür (Gachter & Muller, 1987).

Dolgu maddesi ilave edilmiş kompozitlerin termal, manyetik ve elektriksel özellikleri dolgu malzemesine, matris malzemesine ve dolgu ile matris arasında oluşacak ara yüz etkileşimine bağlı olmaktadır. Dolgu malzemelerinin sınıflandırılmaları parçacık büyüklüğüne göre yapılabilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda parçacık büyüklüğünün kompozit malzeme özelliklerini etkilediği görülmüştür. Dolgu maddelerinin sınıflandırılmasında kullanılan bazı özellikler (Wypych, 1999);

- Partikül büyüklüğü ve dağılımı
- En (çap) boy oranı
- Yüzey kimyasal bileşimi
- Dolgu maddelerinin mekanik özellikleri

- Elektrik ve termal iletkenlik
- Optik özellikler

Polimerlerde çeşitli amaçlar için kullanılan dolgu maddesi miktarı yıllık 10000 tondan fazla olmaktadır. Bu kullanımda kalsiyum karbonat toplam tüketimin 2/3'ünü oluşturmaktadır. Dolgu malzemelerinin başlıca kullanıldığı alanlar; plastik malzemeler, inşaat sektörü, boya ve kaplamalar, kozmetik ve ilaç, elyaflar, gıda, sürtünme malzemeleri ve renkli baskı uygulamalarında kullanılır. Dolgu maddeleri dört polimerde (PVC, PP, PA, polyester) çok yüksek oranda kullanılmaktadır. Fakat gelecek yıllarda farklı polimerlerin geliştirilmesi ile dolgu maddelerinin farklı polimerlerde kullanımlarının gerçekleşeceği ve farklı dolgu maddelerinin ortaya çıkabileceği düşünülmektedir. Yaygın kullanıma sahip dolgu malzemeleri; kalsiyum karbonat, talk, silika, wollastonit, kil, kalsiyum sülfat, mika, cam kürecikler, alümina ve alümina trihidrat'tır (Wypych, 1999).

Tablo 3.7. Plastiklerde kullanılan dolgu maddeleri ve oranları (Gachter & Muller, 1987).

Dolgu Maddesi / Takviye	1980 (1000 t)	1985 (1000 t)	1990 (1000 t)	Yıllık Büyüme hızı 1980/1990 (%/a)
Karbonatlar	1100	1780	2900	10,2
Silikatlar				
Talk	110	180	300	10,0
Asbest	235	300	365	4,5
Kaolen	76	100	130	5,5
Mika	0,5	0,5	0,6	3,0
Diğer	8	13	21	10,0
Silikon dioksit	40	75	140	13,6
Çeşitli mineraller	11	13	15	2,5
Al(OH) ₃	150	210	295	7,0
Karbon karası	28	32	36	2,7
Organik dolgu maddeleri (findık kabuğu, talaş, mısır koçanı vb.)	105	140	187	6,0
Cam fiberler	455	670	980	8,0
Cam küreleri, boş cam küreleri vb.	7	15	31	15,7

Karbon fiberler, aramid fiberler, tüy vb.	1,2	2,5	5,5	16,0
Toplam	2326,7	531,0	5406,1	8,8

3.4.1. Kalsiyum karbonat (Kalsit)

Kalsit; kimyasal formülü CaCO_3 olan endüstriyel bir mineraldir. Çeşitli şekillerde kristallenebilen mineral, camsı bir parlaklıkta ve saydam yapıdadır. Öğütülüp toz haline getirildiğinde ise beyaz renklidir (Aydın & Demirer, 2016).



Şekil 3.8.Farklı boyutlarda öğütülmüş kalsit (Aydın & Demirer, 2016).

Kalsiyum karbonat doğada yaygın olarak bulunur ve birçok yararlı özelliğe sahip olmaları nedeniyle kompozit malzemelerde dolgu maddesi olarak çokça tercih edilmektedir. Genellikle öğütülmüş kalsiyum karbonat olarak da adlandırılır. Kalsiyum karbonat kullanımı geçmişte maliyet azaltma amaçlı kullanılırken günümüzde farklı yönlerden malzeme özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Kalsiyum karbonat suda çözülmez ve %4,8 oranı ile doğada yaygın olarak bulunan beşinci elementtir. Kalsiyum karbonat yüzeyi kaplanmış halde ya da kaplanmamış haliyle karşımıza çıkabilir (İlhan, 2018).

Düşük oranda aşındırıcı etkiye sahiptir. Bu özelliği polimer üretiminin gerçekleştirildiği ekstrüder gibi makinelerde bulunan vida ve silindirelerin zarar görmesine neden olmaz. Doğal haldeki kalsiyum karbonat toksit içermemesi ve kokusuz olması nedeniyle gıda sektöründe plastik ambalajlamada kullanılmaktadır. Termoplastiklerde CaCO_3 darbe mukavemetine çok etki etmese de sertliği artırır ve büzülmeyi önler. Termoplastiklerde

CaCO₃ dolgu olarak kullanılması teknik olarak basittir ve ilave işlemler gerektirmez. Doymamış polyester reçine ve poliürentanlar gibi termosetler ile kullanılarak reçine maliyetini azaltır (İlhan, 2018).

Kompozit malzemelerde uygun miktarlarda dolgu maddesi olarak CaCO₃ kullanımı maliyeti azaltarak mekanik özellikleri (çekme, eğme ve darbe) arttırmaktadır (Hongzhen, Keyan&Weiming, 2017).

Kalsiyum karbonat, polyester reçine sistemleriyle birlikte en çok tercih edilen dolgu malzemesidir. Doğada tebeşir, kireç taşı ve mermer halinde bulunur. Eser miktarda başka mineralleri de içerebilir (Şişecam Chemicals).

Kalsit tozundan istenen parçacık boyutunu elde edebilmek için farklı üretim metotları kullanılır. Bunlar öğütme, çöktürme ve kaplamadır. Örneğin yüksek saflıkta ve çok ince taneli kalsiyum karbonat üretebilmek için, eriyikten çöktürme metodu tercih edilir. Ayrıca bu yolla hazırlanan kalsiyum karbonatın matris içindeki dağılımı da kolaydır. Öğütme yoluyla da çok ince taneli CaCO₃ taneleri elde edilebilir. Öğütme yaş veya kuru olarak yapılabilir. Eğer yaş öğütme yapılmışsa ürün müşteriye sıvı bir çamur halinde teslim edilebilir. Böylece proses çevreye zarar vermeden tamamlanmış olur (Rosato & Rosato, 2004).

Kalsiyum karbonat tanelerinin yüzeyleri geniş yapılı olduğundan reçine emiliminin yüksek olduğu yerlerde kullanılır. Yarı amorf halde bulunan kalsit adı verilen kalsiyum karbonat taneleri ise daha yüksek reçine emebilme özelliğine sahiptir (Şişecam Chemicals).

3.4.2. Barit

Baryum elementinin en yaygın minerali olan baryum sülfat (BaSO₄) barit olarak adlandırılır. Barit, en ağır metalik olmayan minerallerdendir. Baritin yoğunluğunun yüksek olması (4.45 gr/cm³), aşındırıcılığının az olması (Mohs 3-3.25), yüksek basınç ve ısı altında kimyasal kararlılığını koruması, su ve asitlerde düşük çözünmesi,

manyetik özelliğinin olmaması ve uygun maliyetlerle temin edilebilmesi onun çeşitli endüstrilerde yaygın bir şekilde kullanımını sağlamıştır (Lekili).

Yoğunluğunun yüksek olması (yaklaşık 4.5 g/cm³) maliyet açısından dezavantaj getirmektedir. Parlak yapısı ve düşük yağ absorpsiyonu avantajları arasındadır (Titow, 1984).

Barit sadece yüksek yoğunluğundan dolayı dolgu maddesi olarak kullanılan bir mineral değildir. Tablo 3.8'de belirtilen özellikleri de katkı maddesi olarak kullanılmasının nedenleridir (Lekili).

Tablo 3.8. Dolgu maddesi olarak kullanılan baritin özellikleri (Lekili).

ÖZELLİK	SAĞLADIĞI FAYDA
Yüksek Yoğunluk (SG 4,4)	Ses ve radyasyona karşı yalıtım, ağırlık maddesi olarak uygulama
Su, asit ve alkalilerde düşük çözünürlük, kimyasal inertlik	Çok iyi kimyasal dayanıklılık, paslanmaya karşı kullanılan primer boyalar için uygunluk
Düşük spektral emicilik	Hava koşullarına ve UV'ye dayanıklılık
Yüksek sıcaklıkta dayanıklılık	Yüksek sıcaklıkta uygulamalar (sürtünme elemanları)
Düşük yağ emme	Maliyeti azaltma veya yoğunluğu artırma için yüksek miktarda kullanım
Düşük aşındırıcılık	Düşük ekipman aşınması
Yüksek beyazlık	Boyalarda beyazlatıcı pigment

Dolgu maddeleri mekanik özellikleri artırmanın yanında maliyeti düşürmek için de kullanılmaktadır. Fakat sürtünme elemanları söz konusu olduğunda dolgu maddelerinin birtakım özellikleri daha da artırması beklenmektedir. Barit geleneksel ve en çok kullanılan dolgu maddelerinden biri olup yarı metaliklerin kullanıldığı sürtünme elemanları formülasyonunda hacim olarak %5-20, tipik hibrid malzemenin kullanıldığı sürtünme elemanları formülasyonunda ise yine hacimce %15-20 oranlarında kullanılmaktadır. Ağırlık bazında kullanım miktarı baritin yüksek yoğunluğundan dolayı doğal olarak daha yüksek oranlara ulaşır (Lekili).



Şekil 3.9. Barit(Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2018).

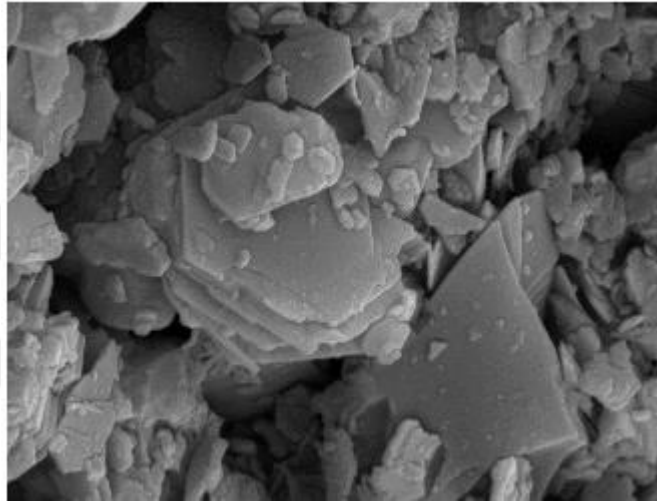
Diğer birçok mineralden farklı olarak barit ısıtıldığı zaman kristallenme suyunu ve karbondioksiti kaybetmez. Bu sürtünme elemanları formülasyonunda kullanımı için çok önemlidir. Baritin düşük veya orta dereceli aşındırma özelliği sürtünme ve aşınma yönünden doğal bir katkı maddesi olmasını sağlamaktadır. Sürtünme elemanları dolgu maddesi olarak kullanılan baritin, CaCO_3 (550°C 'den itibaren CO_2 verir) ve SiO_2 (aşınabilirliği etkiler) gibi safsızlıklarının minimum miktarlarda olması bu açıdan önemlidir. Bağlayıcı gereksinimini azaltması ve yüksek sıcaklıklarda sürtünme kaybını minimuma indirmesi sebebiyle baritin tane ebadının iri veya orta incelikte (50-80 mikron en büyük tane ebadı) olması istenir (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2018).

3.4.3. Kaolen

En önemli endüstriyel killerden biri olan kaolinin ticari değeri beyazlığına, kimyasal saflığına, tane boyu dağılımına, pişme karakterine vb., bağlı olarak belirlenmektedir. Kaolin yataklarında ana mineral kaolinitin yanında yatağın kalitesini olumsuz yönde etkileyen kuvars, limonit, anatas, illit, bazı organik maddeler gibi safsızlıklar bulunmaktadır. Safsızlıkların kaolin yataklarından ekonomik bir şekilde kısmen veya tamamen uzaklaştırılmaları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Birkaç mikron boyundaki safsızlıkların uzaklaştırılabilmesi özel yöntemlerin uygulanmasını gerektirirken, iri boylardaki safsızlıklar (genellikle kuvars) eleme ve hidrosiklonlarla kolaylıkla uzaklaştırılabilmektedir (Murray, 1980).

Kaolinit ve diğerkillerin içerdığı demir oksit ve hidroksitlerin uzaklaştırılması günümüzde ciddi bir problem değildir. Bu konuda geliştirilmiş yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılarla demir sorunu rahatça çözülmektedir (Murray, 1980).

Kaolen, granit ve feldspatın bozunması sonucu oluşan bir üründür. Yeryüzünde çok fazla bulunsa da saflığı düşüktür. Ayrıca “china clay” olarak da bilinir. Bu birincil ve ikincil kaolinitleri kapsar ve lamelar yapısı vardır. Birincil kaolinitler uzunluklarının kalınlığına oranlarında 10:1 gibi bir değere sahip olurlar ve kalan lamelar yapı ise hegzagonaldir (Gachter & Muller, 1987).



Şekil 3.10. Kaolenin SEM görüntüsü (Tatar, Ediz & Aydın, 2016).

Kaolen, yapısındaki su varlığında alüminyum silikat halinde bulunur ve formülü $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ şeklindedir. Bileşimin %45,4’ünü SiO_2 , %38,8’ini Al_2O_3 , %0,2’sini MgO , %0,97’sini K_2O , %0.07’sini Na_2O , geri kalanını da FeO ve diğerkiller oluşturur (Gachter & Muller, 1987).

Kaolen, lastik endüstrisinde kullanılan karbon siyahından sonra en önemli ikinci dolgu maddesidir. Lastik kimyasında kaolenin “sert” veya “yumuşak” olması demek, son ürünün yüksek veya düşük modüle sahip olması anlamına gelir. Morfolojik açıdan bakıldığında ise tane boyutu; sert kaolen tanelerinin neredeyse %75’inin $2\mu m$ ’den küçük, yumuşak kaolen tanelerinin ise daha büyük olmasıdır (Gachter & Muller, 1987).

Kaolenin kullanım alanı daha çok polyester, BMC, SMC gibi termoset plastiklerdir. Yüksek derecede beyazdır. Elektrik iletkenliği göstermez, kimyasallara karşı dirençli ve en önemlisi güçlü asitlere bile çok dayanıklıdır. Son üründe oluşabilecek çatlak eğilimini düşürür. Böylece daha iyi yüzey kalitesi sağlar. Bunun dışında daha iyi şok direncine sahiptir. Lamelar yapıda olması son ürünün daha sert ve dayanıklı olmasını sağlar (Gachter & Muller, 1987).



BÖLÜM 4.CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER KOMPOZİTLER VE ÜRETİM PROSESLERİ

4.1.Temel Özellikler

Üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemelerin çoğunluğunu cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemeler oluşturmaktadır. CTP matris elemanı olarak polyeesterin kullanıldığı, takviye elemanı olarak cam elyafın kullanıldığı istenilen özellikleri (esneklik, dayanım vb.) karşılamak amacıyla üretilmiş kompozit malzemelerdir. CTP kompozitlerin mekanik, tribolojik vb. özellikleri yapısında bulunan elyafların modül ve mukavemet değerlerine, elyafların kimyasal kararlılığına, matris mukavemetine ve elyaf/matris ara yüzey etkileşimine bağlı olmaktadır. CTP kompozitler uygun kimyasal bileşim ve elyaf oryantasyonu ile çelik kadar iyi özelliklere, alüminyuma göre yüksek rijitliğe ve çeliğin dörtte biri özgül ağırlığa sahip olabilmektedir. CTP kompozit malzemelerin diğer üretim malzemelerine göre üstün yanlarından biri kullanım amaçlarına uygun olacak şekilde değişik özelliklerin kolaylıkla kazandırılabilmesidir. CTP kompozitler istenilen özelliklere göre uygun üretim yöntemi ve kalıp ile kolayca üretilmektedir. Günümüzde CTP kompozitler düşük maliyet ve iyi malzeme özellikleri nedeniyle metal ve metal dışı malzemelerin yerini almaya başlamıştır (Sathishkumar&Naveen, 2014).

Uzun ve kısa kırılmış, sürekli vb. cam fiber çeşitleri geniş kullanım alanına sahip olup, hem termoset hem de termoplastik malzemeler için genel olarak takviye edilmiş halleri takviyesiz hallerine göre daha mukavemetli bir yapı sağlar. Cam fiber oranının artması da malzemenin mukavemetinde artış gösterir. Fiber takviyesi mukavemetin yanında boyutsal ve ısıl stabilite, korozyon direnci, dielektrik özellikler vb. özelliklerinde artış sağlarlar (Rosato & Rosato, 2004).

CTP kompozitler; otomotiv ve taşımacılık, inşaat, elektrik-elektronik, savunma sanayi ve havacılık, medikal ve denizcilik gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Özellikle CTP kompozitler iyi çevresel dirence, yüksek mukavemet ve rijitlik gibi özelliklere sahip olmaların dan dolayı denizcilik sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır (Sathishkumar&Naveen, 2014, İlhan & Feyzullahoğlu, 2018).

4.2.Cam Elyaf Takviyeli Polyester Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemelerin özelliklerini matris ve takviye elemanının dışında üretim yöntemleri de etkileyebilmektedir. Endüstride kompozit kullanımının artması farklı üretim yöntemlerini ortaya çıkarmıştır. Uygun üretim yöntemi seçildiği takdirde iyi malzeme özellikleri elde edilebilmekte ve maliyet düşürebilmektedir. Bu nedenle CTP kompozitler için uygun üretim yönteminin seçilmesi önemli olmaktadır (Zhao & Guo, 2014).

Kompozit imalat yöntemlerini iki ana gruba ayırmak mümkündür(Işık, 2008):

1. Açık kalıplama yöntemleri (temas yüzeyli kalıplama): Üretim süresince jelkot ve laminalar hava ile temas halindedir.
2. Kapalı kalıplama yöntemleri: Üretim çift taraflı kalıplarla ya da vakum torbasıyla olur.

Bu yöntemlerin bazıları aşağıda sıralanmıştır (İlhan, 2018):

Açık kalıplama yöntemleri;

- El yatırması yöntemi
- Püskürtme yöntemi
- Elyaf sarma yöntemi
- Vakum torbası yöntemi
- Otoklav yöntemi

Kapalı kalıplama yöntemleri;

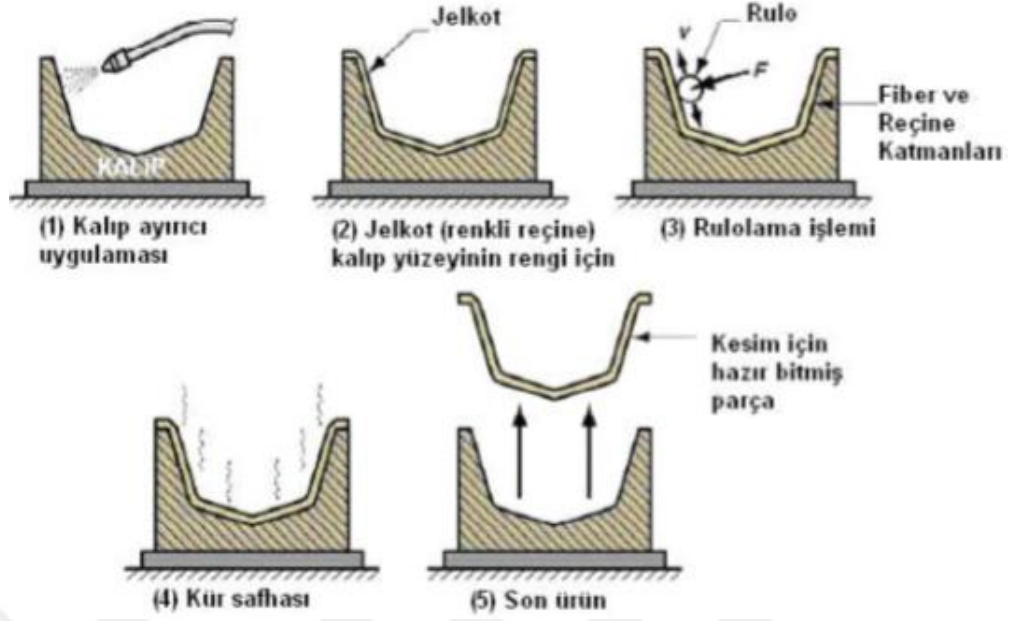
- Reçine transfer kalıplama (RTM)
- Pultrüzyon yöntemi
- Pres kalıplama (SMC (Sheet Molding Compound)- BMC (Bulk Molding Compound))
- Enjeksiyon kalıplama
- Savurma kalıplama yöntemi

4.2.1.Açık kalıplama teknikleri

4.2.1.1.El yatırması yöntemi

Kompozit üretiminde kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Yoğun işçilik isteyen bir yöntem olsa da daha çok üretim adetleri düşük, büyük ölçekli parçaların üretimleri için tercih edilen bir yöntemdir(Sönmez, 2009). Kalıp yüzeyi ile temas eden yüzey düzgün, diğer yüzeyler pürüzlüdür. Bu sebeple tek yüzü düzgün istenen parçaların üretimleri için uygundur (Şişecam Chemicals). Kalıp malzemesi olarak da kompozit malzemeler kullanılır. El yatırma yönteminde en yaygın kullanılan takviye malzemesi cam elyaf, en çok kullanılan matris malzemeleri ise epoksi ve polyesterdir (Sönmez, 2009).

Yapılacak uygulamaya göre matris malzemesi vinil ester ve fenolik reçineler şeklinde çeşitlendirilirken, farklı takviye malzemeleri de tercih edilmektedir. Genellikle keçe, elyaf benzeri takviye katmanlarına, uygulamadan öncesi hazırlanan katalizör ve matris malzemelerinin emdirilmesi ile kompozit yapılar elde edilir. Takviye malzemesi kalıba yatırılmadan önce kalıp temizlenmelidir. Pigment katkılı jelkot malzemeler sürülür. Bu yöntemde muhtemel oluşabilecek hava kabarcıkları Şekil 4.1’de görüldüğü şekilde bir rulo yardımı ile yapıdan uzaklaştırılır(Sönmez, 2009).



Şekil 4.1.El yatırması prosesi adımları (Işık, 2008).

Katalizörler, hızlandırıcılar ve gerekli diğer malzemeler reçineye katılabilir. Bu sayede kompozit yapı dışarıdan ısı kaynağı gerekmeden oda sıcaklığında kür edilebilir. Kür işlemine hız katmak istendiğinde ısı kullanılabilir (Işık, 2008).

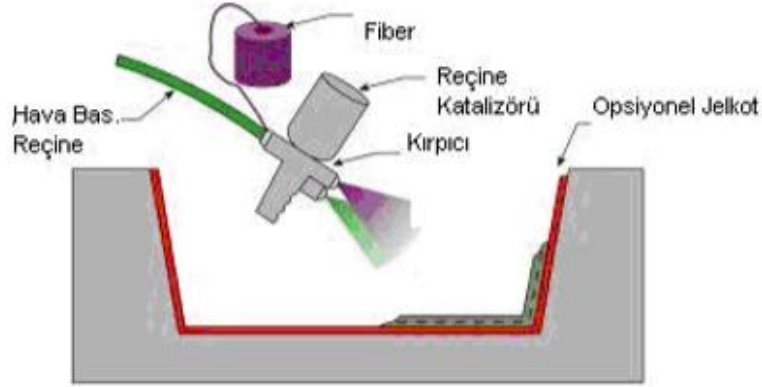
Reçinede meydana gelen kimyasal tepkimeler malzemeye yüksek dayanım ve hafiflik katacak şekilde sertleşme sağlar. Beton matris içindeki çelik çubuklar örneğinde olduğu gibi, reçine, elyaf takviyeleri için matris görevindedir (Şişecam Chemicals).

Bu yöntem yaygın olarak otomobil ve kamyon gövde panellerinde, tekne gövdelerinde, yüzme havuzları, korozyona dayanımlı ürünler, depolama tankları, mobilya ve aksesuarlar, elektrikli ev aletleri ve havalandırma kanallarının yapımında kullanılır (Schwartz, 1984).

4.2.1.2. Püskürtme yöntemi

Bu yöntem el yatırması yönteminin gelişmiş hali olarak düşünülebilir. Reçine ile elyafın kalıp yüzeyine uygulama tarzı farklılık göstermektedir El yatırması prosesi reçine ve takviye elemanları manüel olarak yapılırken bu proseste püskürtme tabancasının kullanılması iş gücünü azaltmaktadır (Işık, 2008).

Püskürtme tabancası, eş zamanlı olarak sürekli haldeki elyafı kırpmakta ve aynı anda püskürtmeyle uygulanan reçineye katalizör karıştırma işlemini de yapmaktadır. Nihai ürünün dayanımının önemli olmadığı yerlerde, püskürtme yöntemi en uygun seçenek olacaktır (Işık, 2008).



Şekil 4.2. Püskürtme yöntemi (Spray Lay-up, 2019).

Bu yöntemde kullanılan takviye malzemeleri kırılmış olarak kullanıldığından, takviye doğrultuları yönlendirilmiş olmayacak, rastgele dağılmış olacaktır. Bu durum istenen şekilde yönlendirilen sürekli fiber takviyeli kompozitlere göre daha az bir takviye sağlayacaktır. Püskürtme yöntemi de üretim maliyetleri açısından düşük bir yöntemdir. Karmaşık formdaki ürünleri üretmeye olanak sağlar (Sönmez, 2009).

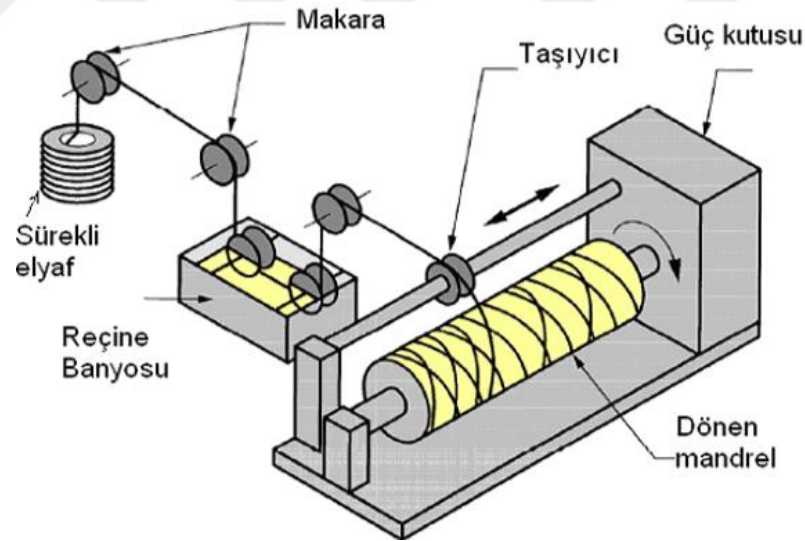
Bu yöntemle denizcilik ve otomotiv sektörlerinde kullanılacak ürünler, korozyona dayanımlı ürünler ve elektrikli ev aletleri gibi ürünlerin imatları gerçekleştirilebilmektedir (İlhan, 2018).

4.2.1.3. Elyaf sarma (filament sarım yöntemi / fiber yerleştirme)

Önceden veya sarım sırasında reçine emdirilebilen sürekli liflerin dönen bir kalıp yüzeyine veya makine kontrollü geometrik yapıya sahip mandreller üzerine tasarımı belirlenmiş sarım geometrisine uygun olarak sarılması yöntemidir. İstenen sarımı elde etmek için operatörlerin birçok değişkeni girmesi gerekmektedir. Bunlar; boru çapları, mandrel hızı, basınç oranı, bant genişliği, lif açısı vs.(Şişecam Chemicals).

Bu proste genel amaçlı polyesterler kullanılabilceği gibi daha iyi kimyasal dayanım istendiğinde izoftalik polyesterlerde kullanılabilir. Genelde elyaf lar mandrele sarılmadan reçine banyosundan geçirilirler. Ancak kırılmış demetlerin kullanılması halinde reçine eş zamanlı olarak püskürtülür veya mandrel üzerine dökülür. Kullanılan takviye malzemesine göre uygulama değişkenlik gösterebilir. Bazen de özellikle yüksek performans uygulamalarında ön ıslatma olarak bilinen ayrı bir prosesle elyafa uygulanmaktadır. Buna prepreg ya da önceden reçine emdirilmiş ürün de denir. Daha maliyetli bir sistem olmasının yanında reçinenin kontrol edilebilmesi ve karmaşık parçalarda elyaf yerleşim esnekliğinin elde edilmesine imkan tanıdığı için tercih edilir (Işık, 2008).

Cam, karbon ve Kevlar lifleri elyaf sarma yönteminde kullanılabilen takviyelerdendir. Bunlar kontinü demetler, kırılmış elyaf, dokunmuş ve tek yönlü şeritler, sürekli veya kırılmış demetten keçeler şeklinde olabilir. Farklı elyaf türlerinden oluşan “hibrid” takviye sistemlerinin de bu yöntemde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır(Işık, 2008).



Şekil 4.3. Elyaf sarım prosesi düzeneği (Işık, 2008).

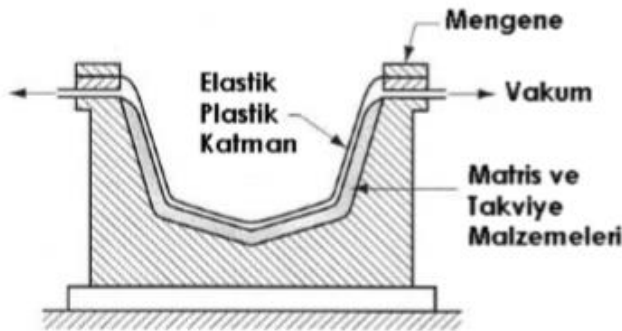
En yaygın ekipman çelik mandredir. Mandreller, kolay hareketi sağlamak ve kompozit yapının iç yüzeyinde yüksek parlaklık için kromla kaplanırlar (Işık, 2008).

Bazı yapılarda bu çelik mandreller çıkarılmaz ve kompozit yapının bir bileşeni gibi olurlar. Örneğin, basınç hortumlarında çıkarılmayan mandrel, kompozit iç yüzeyinde geçirgenliği önleyen bir bariyer yüzey oluşturur ki bu da hortum içerisindeki basınçlı gaz veya sıvıların sızıtmasına engel olur (Işık, 2008).

Elyaf sarma yöntemi elyaf yönünün kontrol edilebildiği, çap ve boyutlarının rahatlıkla değiştirilebildiği yavaş gerçekleşen CTP kompozit üretim tekniklerinden biridir. Karmaşık şekilli parçalar çok eksenli sarma milleri kullanılarak üretilmektedir. Bu üretim tekniği ile kaliteli ve yüksek hacimli ürünler elde edilebilmektedir (Ratna, 2009, Pop & Gheorghe, 2010).

4.2.1.4. Vakumla torba yöntemi

Şekil 4.4'teki gibi vakumlama, kalıbın çevresine sabit olarak yerleştirilmiş plastik bir elastik sızdırmazlık katmanı kullanılarak sağlanır. Bu plastik katmana alttan uygulanan vakum, parçanın atmosferik basınç yardımıyla şekillenmesini sağlar ve parça içinde kalabilecek hava kabarcıklarını uzaklaştırarak yüzey kalitesini artırır. Vakumla kalıplamada polimerizasyon, x ışınları, fırın ya da otoklav (ısı ve basınç birlikte) kullanılarak sağlanmaktadır (Sönmez, 2009).



Şekil 4.4. Vakumla kalıplama yöntemi (Akovali, 2001).

4.2.1.5. Otoklavda kalıplama yöntemi

Basınçlı kalıplama ve vakumla kalıplama her ne kadar hızlı ve kolay uygulanabilen üretim yöntemleri olsalarda, üretilen kompozit ürünler kaliteleri, boyut ve şekilleri

açısından eksik kalmaktadır. Otoklav kalıplama bu iki üretim yöntemine bir alternatif olarak düşünülebilir. Vakumla kalıplamaya benzer olan bu yöntemde, kompozit parça basıncı dışarıdan ayarlanabilen büyük bir bölmeye yerleştirilir. Basınç uygulanırken aynı anda ısı da uygulanarak matrisin polimerizasyonu sağlanmış olur. Isıtma genelde 2 kademedir oluşur. Birinci kademe ısıtma matrisin viskozitesini düşürerek, onu bir nevi kaynatmak ve böylece oluşan hava kabarcıklarını gidermek için yapılırken, ikinci kademe ise nihai sonucu vererek polimerizasyonun tamamlanmasını sağlamış olur. Süre olarak uzun ve pahalı bir yöntem olmasına rağmen büyük boyutlu ve yüksek performanslı parçaların üretimi için özellikle havacılık alanında tercih edilmektedir (Sönmez, 2009).



Şekil 4.5. Otoklav Resimleri (Işık, 2008).

4.2.2. Kapalı kalıplama teknikleri

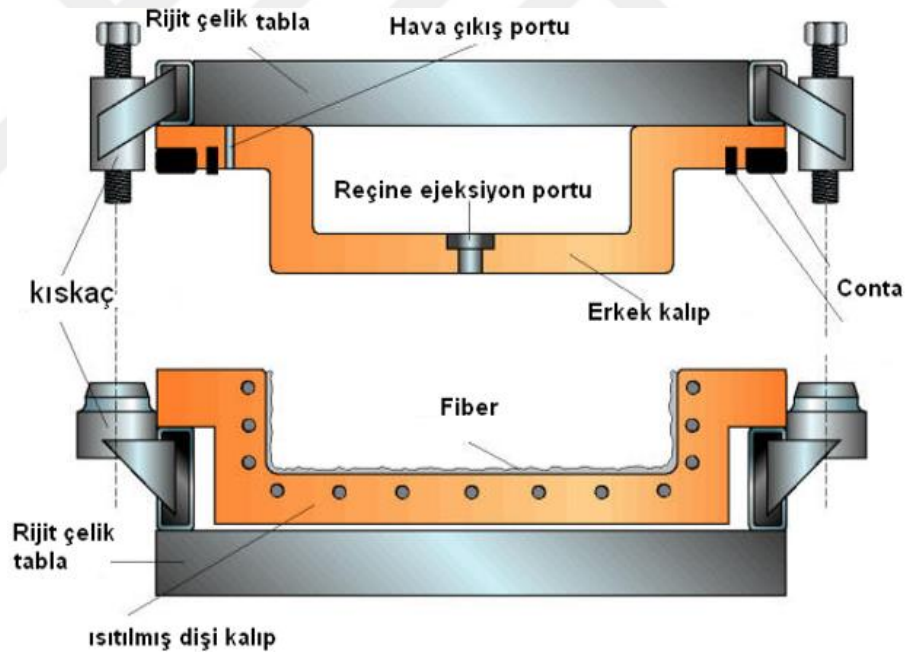
4.2.2.1. Reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemi

Önceden şekillendirilmiş veya kesilmiş takviye malzemelerinin erkek ve dişi kalıp arasına alınarak kapatıldığı, sıvı kalıplama yöntemi olarak da bilinen bir kapalı kalıplama yöntemidir. Basınç altındaki reçine, katalizör, renk, dolgu vs. karışımı tek veya çoklu portlardan kalıp içine pompalanmak suretiyle aktarılır. Baskı kalıplama ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri seri üretime daha uygun oldukları için daha yaygın bir kullanıma sahipken, RTM yöntemi lif yönlendirmesinin kontrollü olduğu ve hemen hemen net şekilli parçaların üretimini sağlaması açısından uygun bir yöntemdir. Bu yöntemde genellikle lifler sürekli halde kullanılır (Işık, 2008).

RTM prosesinin en belirgin özelliği, aynı zamanda el yatırması yöntemine göre de üstün özelliği, her iki yüzeyi düzgün yapısal parçalar üretebilmesidir. Kalıp yüzeylerinden ikisine birden jelkot uygulanabildiği gibi birine de uygulanabilir. Korozyon dayanımı

veya dış yüzey görünümü daha iyi istenen durumlarda tül veya yüzey keçesi gibi farklı takviyelerde kullanılabilir(Işık, 2008).

Bu yöntemde iki parçalı kalıp yapısı kullanılmaktadır. İlk olarak takviye malzemesi kalıp boşluğunu doldurulacak şekilde kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Reçine basınç altında kalıba pompalanırken bu süreç daha fazla zaman ister. Matris enjeksiyonu soğuk, ılık veya en çok 80°C'ye kadar ısıtılmış kalıplarda uygulanabilir. Bu yöntemde vakum kullanıldığı takdirde içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içine iyi işlemesi sağlanır. Elyafı kalıba yerleştirmek gerektiği için uzun sayılabilecek bir işçilik gerektirir. Kalıp kapalı olduğu için ise zararlı gazlar azalır ve gözeneksiz bir ürün formu sağlanabilir. Bu yöntemle karmaşık geometri parçalar üretilebilir. Concorde uçaklarında, F1 arabalarında bazı parçalar bu yöntemle hazırlanmaktadır (Arıcasoy, 2006).



Şekil 4.6. RTM Yöntemi (Tran S).

4.2.2.2. Profil çekme (pültrüzyon) yöntemi

Bu yöntem 1940'ların sonundan itibaren başlıca iki tür ürün elde etmek amacıyla kullanılmıştır; Rijit çubuk ve lamalar, boru, kanal, kiriş gibi endüstriyel profil şekilleri. Profil şekilleri tamamen kullanılan kalıba bağlıdır. İstenilen şekilde profillerin ve özel

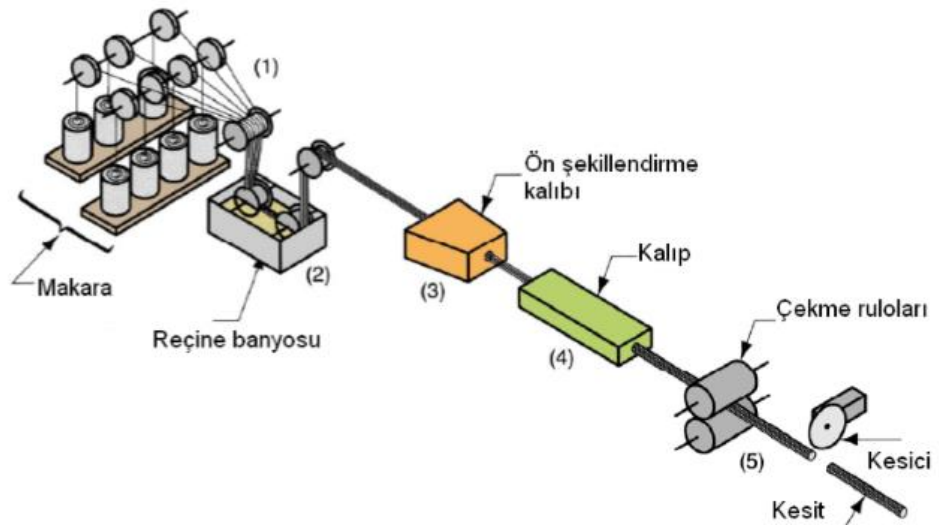
kesitli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan bu yöntem ile boyuna mukavemet değeri çok yüksek elde edilebilir(Işık, 2008).

Bu yöntemde elyaflar iki türlü uygulama ile ısıtılmış çelik kalıptan çekilir ve belirlenen kesitte sertleşmesi sağlanır(Işık, 2008):

1. Çekilecek elyaflar önceden tepkime hızını artıran reçine banyosundan geçirilir ve sonra ısıtılmış kalıptan reçine fazlalıkları sıyrılarak çekilir.
2. Elyaf belli bir gerilim ile kuru olarak ısıtılmış kalıptan geçirilir ve kalıptan geçirilirken içerisine reçine enjekte edilir.

Sürekli takviye malzemesi ile beslenen reçine banyosundan geçirilen takviyenin 120-150°C'ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçilerek sertleşmesi sağlanır. Kalıp içerisinden geçirilen malzeme kısmen veya tamamen kür edilmiş olur ve çıkan parçalar düzgün olduğu için genellikle ekstra bir işlem gerektirmez(Işık, 2008).

Sürekli elyaf kullanılmasından dolayı takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir. Enine yükleri karşılayabilmek için ise özel dokumalar kullanmak doğru olacaktır. Kalıplar genellikle krom kaplanmış parlak çelikten yapılmaktadır. Kalıptan çıkan ürün bıçaklarla istenilen uzunluklarda kesilir. Pültrüzyon yöntemi, düşük işgücü gerektiren otomatik bir prosestir (Işık, 2008).



Şekil 4.7. Profil Çekme Yöntemi Düzenegi (Işık, 2008).

Doymamış polyester (%90) ve vinil reçineler profil çekme yöntemi için en yaygın kullanılan reçinelerdir. Bu yöntem kolay işleme özelliği sağlamakla kalmayıp çok iyi performans / fiyat oranı sunmaktadır. Fenolik reçineler ise bu yöntemle üretilen parçalara yanmazlık özelliği kazandırırken, epoksiler de yüksek mukavemet, daha yüksek ısı dayanımı ve elektriksel özelliklerde yüksek performans sağlamada etkilidirler (Işık, 2008).

Önceleri eğlence ve elektrik sektöründe daha yaygın kullanılırken, ekonomik bir yöntem oluşu ve hızlı gelişim göstermesiyle birlikte havacılık, otomotiv, korozyon ve inşaat sektöründe de kullanımı artmıştır (Işık, 2008).

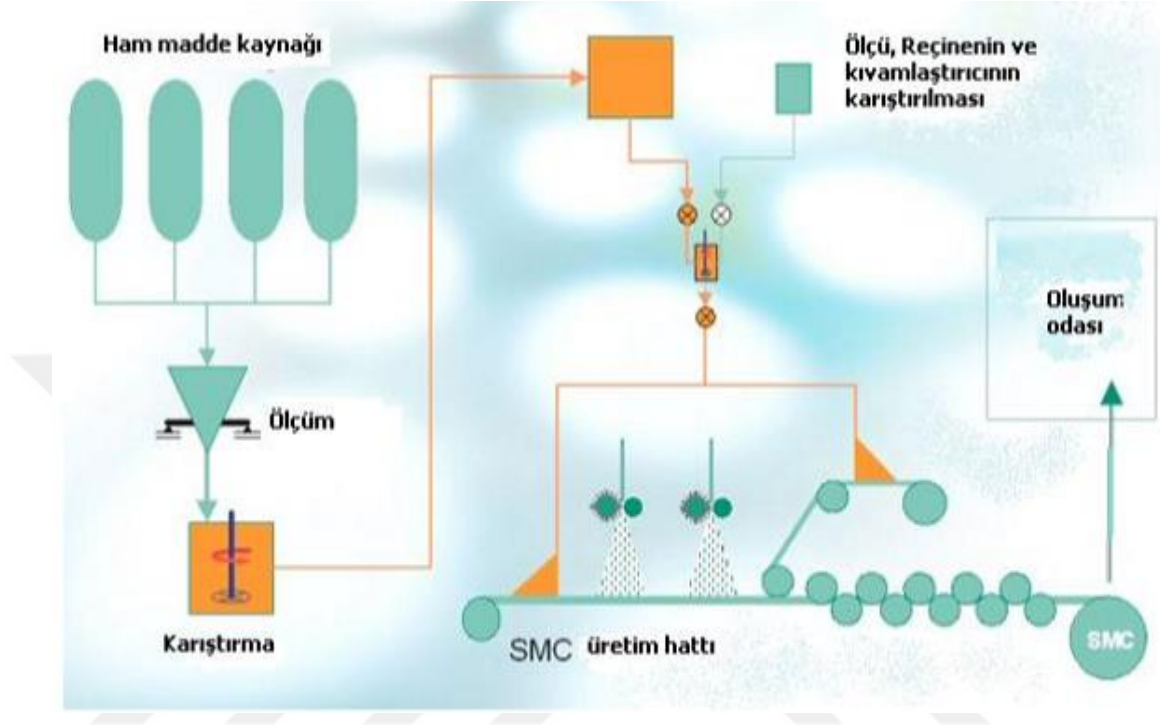
4.2.2.3. Pres kalıplama

Pres kalıplama yönteminde üretilecek kompozitler belirli sürelerde uygun sıcaklık ve basınç değerlerine maruz bırakılarak üretimleri gerçekleştirilir. Bu yöntem kapalı kalıplama yöntemlerinden biri olup en hızlı CTP kompozit üretim tekniklerinden biri olmaktadır. Belirli hacim yüzdelerinde elyaf ve reçineler iki kalıp arasına yerleştirilerek kalıplar kapatılır ve belirli sıcaklık değerlerinde 1 ila 5 dakika arasında basınç uygulanır. Basınç etkisiyle takviye ve reçine malzemeleri kalıbın tüm yüzeyini kaplar. Ürün şeklini koruyabilecek kadar rijit hale gelmesi ve kürlenme işlemi bitene kadar kalıp kapalı tutulmaktadır. Kürlenme işleminin tamamlanması ile basınç uygulanması sonlandırılarak kalıp açılır. Bu üretim tekniğinde %50-70 ağırlık oranlarında cam elyaf takviyesi içeren kompozit malzemeler rahatlıkla üretilebilmektedir (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., Zhao & Guo, 2014). Presle kalıplama yöntemlerinden SMC ve BMC kalıplama bileşenleri en çok bilinenleridir.

- Hazır Kalıplama Pestili / SMC (Sheet Moulding Compound)

Otomotiv endüstrisinde en yaygın kullanılan yöntem olmasının yanında pres kalıplama başlığı altında da en çok kullanılan yöntemdir. SMC yönteminde, prepreg denilen, önceden matris emdirilmiş şerit ya da levha formundaki fiber malzemeler kullanılır. Prepregler, genellikle fiber ve matris malzemelerin plastik film ya da elastik kâğıt

tabakaları arasında yerleştirilip, yeterli ıslatma ve sağlamlık için merdaneler arasında sıkıştırılması ve kısmi olarak ısıtılması ile elde edilen elastik yarı mamullerdir (Cam Elyaf Sanayii A.Ş.).



Şekil 4.8. SMC hazır kalıplama bileşeninin üretimi (Işık, 2008).

Kompozitin toplam ağırlığının %25-30'u oranında kullanılan sürekli lifler, 25-50 mm kırılmış olarak kullanılır. Film tabakaları arasında reçineler ve takviye malzeme adeta sandviç görünümünü oluşturur. Genellikle genişliği 1mm ve kalınlığı 3mm olarak üretilir (Arıcasoy, 2006).

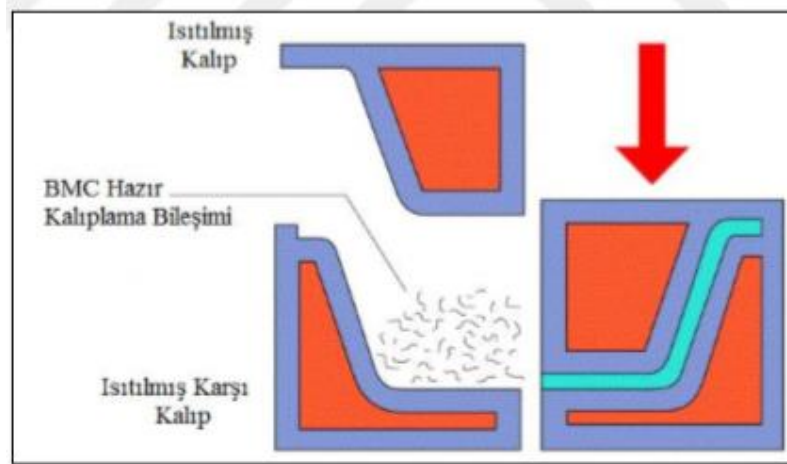
- Hazır Kalıplama Hamuru / BMC (Bulk Moulding Compound)

BMC takviye malzemesi olarak kırpıntı cam elyafı ve dolgu malzemesi yanında pigment, raf ömrünü uzatan inhibitör gibi katkıların reçine ile karıştırılmasıyla oluşan hamur biçiminde malzemedir.

Bu yöntem RTM'ye benzer bir yöntemdir. Farklılığı ise; reçine/elyaf karışımının kalıp dışarısında hazırlanıp, kalıp içinde basınç altında pişirilerek nihai ürün olmasıdır.

Sadece düşük viskoziteye sahip termoset reçineler bu yöntemde kullanılabilir. Diğer yöntemlere göre nihai ürün elde edebilme anlamında daha hızlıdır. Küçük büyük ev aletleri yapımında, otomotiv sektöründen elektrik elektronik sektörüne kadar birçok ürün bu yöntemle üretilmektedir (Arıcasoy, 2006).

BMC için lif içeriği %10-25 arasında değişmekte olup elyaf uzunlukları 6-12 mm arasında olabilmektedir. BMC için takviye elemanı olarak cam, karbon, aramid, sisal ve diğer doğal elyaflar kullanılabilir. BMC kalıplama bileşeninde 12 mm'den fazla lif uzunluğu tercih edilmez. Çünkü uzun lifler karıştırıcıda bozulma eğilimindedir. Ayrıca reçinenin uzun lifleri ıslatmasının zor olması da diğer nedendir. Matris elemanı olarak polyester, fenolik, vinilester, epoksi gibi diğer reçine türleri de kullanılabilir. BMC için 1,4-5,6 MPa aralığında basınç değerleri tercih edilmektedir. BMC yönteminde karıştırma işlemi sırasında elyaf düzeninin bozulması ve elyaf içeriğinin düşük olmasına bağlı olarak üretilen ETP kompozitlerin mukavemet değerleri bazen düşük olabilmektedir (Balasubramanian, 2013, Ales & Sumanasiri, 2010).



Şekil 4.9. BMC pres kalıplama tekniği (Genç, 2006).

BMC'nin avantajları (Arıcasoy, 2006):

- Çok geniş tasarım esnekliği
- Düzgün yüzey
- Kolayca boyanabilme ve kalıp içinde yüzeyi kaplanabilmesi

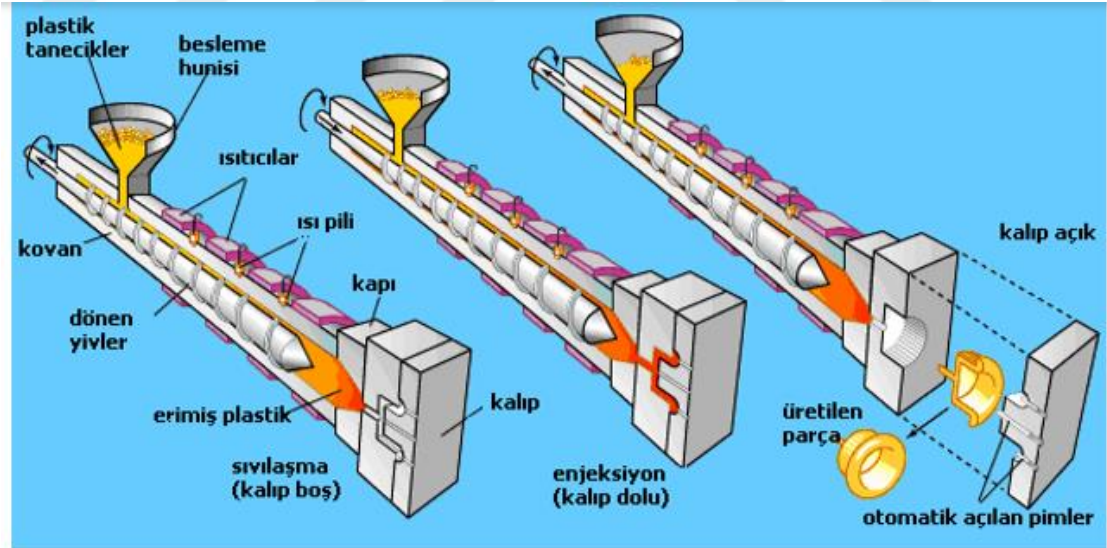
- Geri dönüştürülebilme ve üretiminde geri dönüşümlü malzeme kullanabilme
- Metal gömme parçaların yerleştirilmesi ile montaj kolaylığı
- Yüksek oranda dolgu maddesi ilavesi ile üstün sertlik ve alev dayanımı
- Sıcaklık dayanımı

BMC'nin dezavantajları (Arıcasoy, 2006):

- 1.8 mm'nin altında cidar kalınlığı sağlanmaz.
- Hızlı prototip üretimi sınırlıdır.

4.2.2.4. Enjeksiyon kalıplama

Bu yöntemle üretimde daha çok termoplastiklerin kullanımı yaygın olsa da termoset uygulamaları da başarılıdır. Yöntemin çalışma prensibi, termoplastiklerin ısıtıldığında yumuşamasına ve soğutulduğunda sertleşmesine dayalıdır. Prosesin şekillendirilmiş hali Şekil 4.10'da gösterilmiştir (Işık, 2008).



Şekil 4.10. Enjeksiyon Kalıplama Basamakları (Işık, 2008).

Granül halinde termoplastik reçine ısıtılmış metal silindirin bir ucuna besleme hunisi aracılığıyla verilirken, silindir içerisindeki burgu yivleri dönerler ve bu sayede reçine sıcak silindirin içine alınmış olur. Silindir içerisindeki sürede sıcaklığın etkisiyle reçine

yarı akışkan hal aldıktan sonra yivlerin dönme hareketi ile silindir de ileri geri hareket eder bu esnada reçine çift taraflı kalıba enjekte edilmiş olur (Işık, 2008).

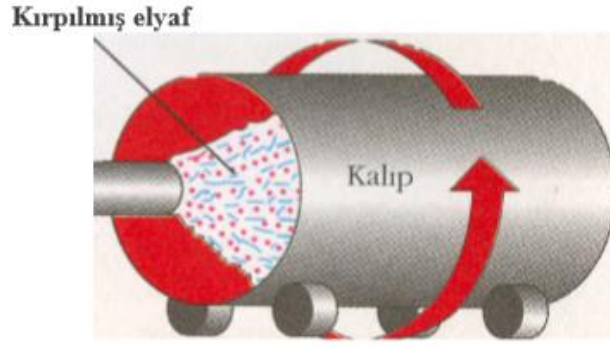
Silindirik ileri-geri hareketi, yarı akışkan hale gelmiş reçinenin şekillendirilmesini, reçine miktarının ölçülmesini, enjeksiyon sırasında kapalı kalıbın basınç altında tutulmasına ve soğutmadan sonra parçanın kalıptan çıkmasını sağlar (Işık, 2008).

Kalıp boşluğu üretilecek parçanın tam formunu sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Dişili-erkekli yani çift taraflı kalıp kullanılır. Bu sayede iki yüzü düzgün parçalar elde edilir. Kullanılan kalıplar genellikle çeliktir ve ergimiş plastiğin işlenebileceği sıcaklıktan daha düşük bir sıcaklığa kadar ısıtılırlar ki yarı akışkan formdaki reçine, kalıbın şeklini alıp katı formda nihai ürün olarak elde edilsin (Işık, 2008).

4.2.2.5. Savurma (Santifrüj) Kalıplama Yöntemi

Daha çok boru biçimli parçaların üretimi için uygun bir yöntem olup, matris malzemesinin homojen bir dağılım gösterir ve üretilen parçanın iç kısımları yüzey kalitesi açısından da iyi sonuç verir. Üretim hızı parçanın çapı ve boyu ile alakalıdır. Kalıp boyu ayarlanarak istenen ölçülerde parça üretmek mümkündür (Sönmez, 2009).

Üretilen kompozit parçanın kimyasal dayanımını arttırmak için, iç yüzüne ince bir kat saf reçine püskürtülebilir. Bu sayede iç yüzey daha da düzgün hale gelecektir. Döndürmeli kalıplama yönteminde kalıp içerisindeki parça arzu edilen biçimi aldıktan sonra, su veya soğutma sıvısı püskürtülerek ya da basınçlı hava sayesinde kalıp soğutulur. Bazen de kalıp yarımları içerisine açılan soğutma kanalları vasıtasıyla sıvı ile kalıp soğutulur (Işık, 2008).



Şekil 4.11.Santifrj Kalıplama Düzeneği (Şişecam Chemicals).

Tablo 4.1. Kompozit üretim yöntemlerinin bazı açılardan karşılaştırılması, 10: en büyük değer, 1: en küçük değer (Lubin, 1982)

Yöntem	Ekipman maliyeti	Üretim hızı	İşçiliğın önemi	Parçanın mümkün olan karmaşıklığı	Tekrar üretilebilirliği
El yatırması	1	3	10	9	1
Vakumlu torba	2	2	10	9	3
Püskürtme yöntemi	4	4	10	8	1
Elyaf sarma yöntemi	6	6	2	4	9
Pültrüzyon	7	9	2	2	10
SMC	10	8	4	9	10
Merkezkaç döküm	9	7	3	3	6
Sürekli laminasyon	10	10	2	1	10
Enjeksiyon	10	10	2	10	10

BÖLÜM 5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1.Kullanılan Malzemeler

Farklı dolgu sistemleriyle BMC hamur üretim prosesinde kullanılmak üzere OMYA MADENCİLİK A.Ş.'den yüksek saflıkta beyaz mermerden elde edilen, doğal, ince, çok kolay dağılan CaCO_3 tozu, EFE BARİT MADENCİLİK VE DIŞ TİCARET LTD ŞTİ.'den yüksek saflıkta, özellikle düşük SiO_2 ihtiva etmesi nedeniyle aşındırma özelliği olmayan; ayrıca içeriğindeki düşük Fe_2O_3 nedeniyle yüksek beyazlığa sahip BaSO_4 tozu, NART KİMYA İTHALAT İHRACAT TİCARET LTD'den 2 mikron altı tane boyutu %42, parlaklığı (Ry, DIN 53163) %85,92 olan kaolen tozu kullanılmıştır. Dolgu amaçlı bu tozlar tek başına kullanıldığı gibi ikili kombinasyonları ile de çalışmalar yapılmıştır. Hamurlarda sadece dolgu malzemesi değişkenlik gösterirken diğer bileşenler ve miktarları sabit tutulmuştur. Bu miktarlar belli olmasına karşın gizlidir. Tablo 5.1'de bu miktarlar aralık olarak verilmiştir. BMC hamur üretim prosesinde kullanılan malzemeler sırasıyla şu şekildedir;

- Polystiren çözültisi (Stiren monomer+Antişok)
- İzofthalik polyester
- Hamur boyası (pigment pasta boya). Dolgu malzemelerinin BMC hamura tek başına verdiği rengi görebilmek için hamur boyası kullanılmamıştır.
- Çinko stearat
- MgO
- Peroksit
- İnhibitör
- Dolgu malzemesi (kalsit, barit, kaolen, kalsit-barit, kalsit-kaolen, kaolen-barit)
- Kırpıntı cam elyaf (6mm-12mm)

- Yanmazlık istenen hamurda (bir hamur tipimiz yanmazdır) Martinal ($Al(OH)_3$) katkısı dolgu malzemesinden önce katılır.

Tablo 5.1. Diğer bileşenlerin % miktar aralığı

Diğer bileşenler	% Miktar aralığı
Polystiren çözeltisi	5-10
İzoftalik polyester	15-20
Çinko stearat	1-3
MgO	0,01-0,05
Peroksit	0,1-0,5
İnhibitör	0,01-0,05
Kırpıntı cam elyaf (6mm-12mm)	12-18
Martinal	25-30

Jutte ve Graham (Jutte & Graham, 1991) SMC hurdanın takviye olarak geri dönüşümünü inceledikleri çalışmalarında BMC hamur içeriğine ve kalıplanmasına da değinmişlerdir. Buna göre; kırılmış cam elyaf ve dolgulu polyesterden oluşturulan BMC hamurun yüksek sıcaklık (120-160°C) ve basınç altında (100-150 bar) kalıplandığı, dolgulu polyesterin içeriğinde ise polyester reçine, inhibitör, sertleştirici, stiren, dolgu, kalınlaştırıcı, kalıp ayırıcı ve pigment bulunduğunu belirtmişlerdir. Örnek olarak seçtikleri bir BMC hamurda kırılmış cam elyaf %20, reçine %17.7, dolgu ($CaCO_3$) %57.4, çinko stearat %1.1, TBPB (tert-Butyl peroxybenzoate) %0.2, stiren %3.6 oranlarında bulunmaktadır. Kırılmış cam elyafın boyutlarının ise; 3.175-12.5mm (1/8''-1/2'') aralığında değiştiğini söylemişlerdir. Cam elyaf içeriğinin, toplam karışımın ağırlıkça %10-30'unu oluşturduğunu belirtmişlerdir.

5.2.BMC Hamur Hazırlama Prosesi

Polystiren çözeltisini hazırlama işlemi ilk adımı oluşturmaktadır. Bu çözeltiyi hazırlarken Şekil 5.1.'de görüntüsü verilen dikey karıştırıcı kullanılmıştır. Homojen ve yarı akışkan bir kıvam elde edilene kadar Shell Chemicals marka stiren monomer ve Espaplastik'ten tedarik edilen antişok (HIPS) dikey karıştırıcıda karıştırılmıştır.



Şekil 5.1. Polystiren çözeltisi hazırlamada kullanılan dikey karıştırıcı

Stiren monomer aromatik hidrokarbon kokusuna sahip, görünüm olarak renksiz ve sarımsı bir yapıdadır. Kaynama noktası 145°C/293°F ve yoğunluğu 906 kg/m³ (20°C /68°F)'tür. Antişok (HIPS) için en önemli karakteristik bilgi erime akış indeksi (melt flow index)'tir. Bu değer 3,0-5,0 g/10min (200°C-5kg) aralığında olması istenmektedir. Erime akış indeksinin bu değerlerden yüksek olduğu durumlarda polystiren çözeltide istenen kıvam elde edilememektedir.

Daha sonra diğer dikey karıştırıcıda BMC hamurun sıvı bileşenleri karıştırılmıştır. Bunlardan en önemlisi izoftalik polyesterdir. Polipol™ 382 kodlu izoftalik polyester, kimyasal maddelere dayanıklı SMC/BMC polyester sınıfına girmektedir. Yoğunluğu 1,087 gr/cm³ (ISO 1675), asit değeri 13 mg KOH/gr (ISO 2114), viskozitesi 1400 cp (ISO 2555) ve jel süresi 11' (ISO 2535)'dir. Seri üretime uygun olan polyester iyi ıslatma karakteriyle yüksek oranda dolguyu yapısına kabul eder. Nihai üründen çok parlak ve kaliteli yüzeyler elde edilmesini sağlar. İzoftalik polyester, polystiren çözeltisi ve pigment pasta boya Şekil 5.2'de görülen ayrı bir dikey tip karıştırma makinasında karıştırılmaya başlanmıştır. Ardından diğer bileşenler Melos marka çinko stearat, Magox® marka MgO, Trigonox® 29-C50 kodlu organik peroksit (1,1-di(tert-butylperoxy)- 3,3,5-trimethylcyclohexane) ve Pergaslow PK-40 kodlu inhibitör (2,6-Di-tert.butyl-p-kresol) katılmıştır.



Şekil 5.2. Dikey tip karıştırma makinası

Çinko stearat 105°C 'deki %0,46 nem oranı, içeriğindeki %11,50±0,50 çinko ve %13,50±0,50 kül oranı ile $125\pm 3^{\circ}\text{C}$ ergime noktası ile kaydırıcı, parçanın kalıptan kolay çıkmasını sağlayan bir bileşendir. İçeriğindeki %98,20 oranında MgO ihtiva eden bileşenin BMC hamur içindeki görevi kıvamlaştırıcı olmasıdır. Bunun yanında viskoziteyi kontrol etmek için de kullanılır. Peroksit $0,832\text{ g/cm}^3$ yoğunluk (20°C) ve $3,3\text{mPa.s}$ viskozite (20°C) değerleri ile BMC hamuru sertleştiren bir bileşendir. İnhibitör de $0,89\text{ g/cm}^3$ yoğunluk (20°C) değeri ile kimyasal reaksiyonların etkinliğini azaltan bir maddedir. Reaksiyonların gerçekleşmesini yavaşlatır. Suda çözünmez ve çeşitli organik çözücüler içinde çözülebilir.

Dikey karıştırıcıdaki karıştırma süresi sonunda varil Şekil 5.3'te verilen yatay karıştırıcıya (Z tipi hamur yoğurma makinesi) dökülmüştür.



Şekil 5.3. Yatay karıştırıcı ve bıçakları

Eğer yanmazlık istenmeyen bir hamur hazırlanıyorsa yatay karıştırıcıya katılan ilk bileşen dolgu malzemesidir. Martinal yanmazlık istenen hamurlarda, dolgudan önce katılmıştır. Martinal Eti Alüminyum'dan tedarik edilmiştir. Yoğunluğu $2,42\text{gr/cm}^3$, beyazlığı >91 (457nm Ry) ve iletkenliği $<100\ \mu\text{s/cm}$ 'dir. Dolgu malzemesi katıldıktan sonra topaklanma olup olmadığı kontrol edilmiştir. Topaklanma durumuna göre ve homojen, macun kıvamında bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Ardından kırpıntı cam elyaf katılmıştır.

Kırpıntı cam elyaflar Owens Corning marka olup ürün kodu Advantex® E-CR P316'dır. BMC hamurda kullanılan kırpıntı cam elyafların polyester uyumlu olmasının yanında istenen boyutta doğranabilir olması gerekmektedir. BMC hamur içinde kullanılacak olan kırpıntı cam elyafın yüksek korozyon direnci ve güçlü mekanik özellik sağlaması istenir. Çekme dayanımı/tek filament (tel) (23°C) $3100\text{-}3800\text{MPa}$, kopma uzaması / tek filament $\%4,5\text{-}4,9$ ve elastik modülü $76\text{-}81\text{GPa}$ 'dır. Kırpıntı cam elyafın (doğranmış ipliğin) hamur içinde karışması kolay olmalı ve hamur rengini değiştirmemelidir. Yoğunluğu $2,55\text{-}2,72\ \text{g/cc}$ 'dir. Polyester uyumlu kırpıntı cam elyaf sınıfları şu şekildedir; E-glass, Advantex® ya da E-CR glass.

E-camı fiberler, kompozit malzeme üretiminde ilk kullanılan takviye malzemesi olup, endüstriyel olarak 40 yılı aşkın süresidir kullanılmaktadır. Mukavemet-maliyet özellikleri açısından ilişkilendirildiğinde optimum koşullar sergilemesi, günümüz endüstriyel uygulamalarında en çok tercih edilen takviye türü olmasının sebebidir (Gümölcine ve diğerleri, 2013).

6mm (Şekil 5.4) ve 12mm (Şekil 5.5) olmak üzere iki tip kullanılmıştır. Kırpıntı cam elyafın kesildiği filamentin çapı (filament diameter) genel olarak $13\text{-}17\pm 1,4\ \mu\text{m}$ aralığında değişkenlik gösterebilir.

Son aşama hazırlanan BMC hamurun paketlenmesidir. Bu aşamada kullanılan ambalaj, ısı, ışık ve nem geçirmeyecek, hamura uzun süre raf ömrü sağlayacak kalitede olmalıdır.



Şekil 5.4.6mm kırpıntı cam elyaf



Şekil 5.5. 12mm kırpıntı cam elyaf

5.2.1. BMC hamur numunelerinin hazırlanması

Hazırlanan numune hamurlarda dikkat edilen hususlar;

-Dolgu malzemesinin kırpıntı cam elyafların ıslatılabilirliğine etkisini incelemek amacıyla 6mm kırpıntı cam elyafların kullanıldığı ayrı bir hamur, 12mm kırpıntı cam elyafların kullanıldığı ikinci bir hamur hazırlanmıştır.

-Yanmazlık katkısının (martinal) ayrıca değerlendirildiği üçüncü bir hamur hazırlanmıştır.

Bu 3 farklı hamur sistemi için kalsit, kaolen ve barit dolguları ve bunların kombinasyonları kullanılmıştır. BMC Hamur hazırlama prosesinde değinilen işlem

basamakları ile numune hamurlar hazırlanmıştır. Buna göre; 12mm kırpıntı cam elyaf kullanılan hamurlara 012 kodu, 6mm kırpıntı cam elyaf kullanılan hamurlara 006 ve yanmaz olan hamurlara da 001 kodu verilmiştir. Tablo 5.2’de üretilen BMC hamurlardaki dolgu miktarları hem gramaj hem de yüzde olarak verilmiştir.

Tablo 5.2. Üretilen BMC hamur dolgu miktarları ve oranları

Tekli Sistemler	012	006	001	İkili Kombinasyonlar		012	006	001
Kaolen	1300gr- %26	1210gr- %24	500gr- %10	Kaolen- Kalsit	Kaolen	600gr- %12	400gr- %8	250gr- %5
					Kalsit	1200gr- %24	900gr- %18	700gr- %14
Barit	2768gr- %55	2886gr- %57	1338gr- %26	Barit- Kaolen	Kaolen	600gr- %12	625gr- %12,5	300gr- %6
					Barit	1900gr- %38	1775gr- %35,5	700gr- %14
Kalsit	2768gr- %55	2886gr- %57	1338gr- %26	Barit- Kalsit	Barit	1484gr- %30	1443gr- %29	800gr- %16
					Kalsit	1384gr- %28	1443gr- %29	600gr- %12

5.2.1.1. Tekli sistemler

Kaolen dolgusu ile hazırlanan hamurlar



(a)

(b)

Şekil 5.6. (a) Kaolen dolgusu katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) 12mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra Kaolen dolgulu 012 BMC hamur görüntüsü

Tüm dolgu miktarları kontrollü olarak ayarlanmıştır. Kaolen 012 kodlu hamur için 1300gr (%26) olarak katılmıştır. Yoğun-viskoz olan bir hamur kıvamına sahiptir. Şekil 5.6. (a)’da da görüldüğü üzere hamur karıştırıcı bıçaklarda toplanmış, orta kısım boşalmıştır. Bununla birlikte kırpıntı cam elyaflar ise iyi ıslanmıştır (Şekil 5.6. (b)).



Şekil 5.7. (a) Kaolen katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) 6mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra Kaolen dolgulu 006 BMC hamur görüntüsü

Şekil 5.7.(a)'da kaolen dolgulu hamur macun kıvamında elde edildikten sonra Şekil 5.7. (b)'de görüldüğü üzere 6mm kırpıntı cam elyaf katılıp iyi bir ıslanma elde edilene kadar karıştırılmıştır. Dolgu miktarı 1210gr (%24)'dir.



Şekil 5.8. (a) Kaolen katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) Kaolen dolgulu yanmaz hamura kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonraki görüntüsü

001 BMC yanmaz hamurlarda da kırpıntı cam elyaf olarak 12mm kullanılmıştır. Kaolen dolgulu 012 ve 006 BMC hamurlarda olan, karıştırıcı bıçaklarda toplanma ve orta kısmın boş kalması sorunu Şekil 5.8. (a)'da görüldüğü üzere bu hamurda da söz konusudur. Genel olarak kaolen dolgulu hamurlarda kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra kuru bir görüntü elde edilse de Şekil 5.8. (b)'de görüldüğü gibi elyaflar iyi ıslanmıştır. Martinal katkısı da olduğu için dolgu miktarı bu hamurda daha da düşmüştür. 500 gr (%10) kaolen katılmıştır.

Barit dolgusu ile hazırlanan hamurlar



Şekil 5.9. (a) Barit katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) 12mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra Barit dolgulu 012 BMC hamur görüntüsü

Kaolen dolgulu 012 BMC hamura göre Şekil 5.9. (a)'da görüldüğü gibi daha akışkan bir kıvamı olan Barit dolgulu 012 BMC hamur, 12mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra da Şekil 5.9. (b)'deki gibi viskozitesi düşük haldeki, ele yapışan formunu korumuştur. Kontrollü katılan dolgu miktarı maksimum seviyede 2768gr (%55) olarak ayarlanmıştır. Barit dolgusu sebebiyle hazırlanan BMC hamurların rengi sarımtırak olmuştur.



Şekil 5.10. 6mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra Barit dolgulu 006 BMC hamur görüntüsü

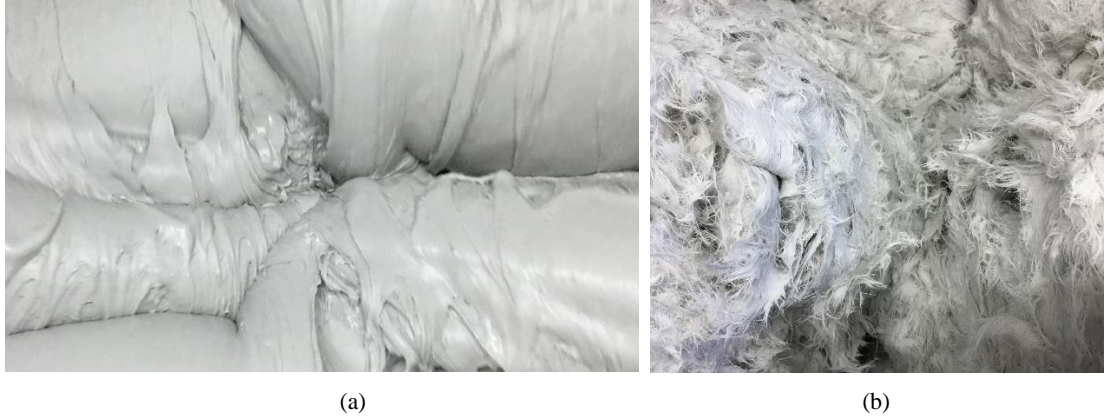
Barit dolgusu katıldıktan sonra Şekil 5.9. (a)'daki görüntüyü veren akışkan bir kıvam sağlanmıştır. 6mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra Şekil 5.10'da verilen görüntü elde edilmiştir. 006 BMC hamurda da maksimum dolgu miktarı 2886gr (%57) kullanılmıştır.



Şekil 5.11. Barit dolgulu yanmaz hamura kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonraki görüntüsü

001 yanmaz BMC hamura 1338gr (%26) barit dolgusu katılmıştır. Genel olarak barit dolgulu hamurlar, kaolen takviyeli olanlara göre viskozitesi düşük bir kıvamda iken, kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra da parlak bir görüntüye sahip olmuşlardır (Şekil 5.11). Kaolen dolgulu BMC hamurlarda görülen karıştırma bıçaklarına birikme ve orta kısmın boş kalması durumu barit dolgulu hamurlarda olmamıştır.

Kalsit dolgusu ile hazırlanan hamurlar



Şekil 5.12. (a)) Kalsit katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) 12mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra Kalsit dolgulu 012 BMC hamur görüntüsü

Sabit tutulan sıvı miktarı ve diğer katkılarla en iyi kıvam kalsit dolgusu ile sağlanmıştır (Şekil 5.12 (a)). Baritte olduğu gibi maksimum değer olan 2768gr (%55) dolgu oranı katılmıştır. Şekil 5.12. (b)'de görüldüğü gibi 12mm kırpıntı cam elyafın ıslanması da başarılıdır.



(a)

(b)

Şekil 5.13. (a) Kalsit katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) 6mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonra Kalsit dolgulu 006 BMC hamur görüntüsü

Hamur rengi olarak dolgular arasında en açık tonlu renk Şekil 5.13. (a)'da görüldüğü üzere kalsit dolgusunda elde edilmiştir. 006 BMC hamurda da Şekil 5.13. (b)'de görüldüğü gibi kıvam olarak yarı akışkan formda ve en iyi sonuca sahip kalsit dolgusu miktarı 2886gr (%57)'dir.



(a)

(b)

Şekil 5.14. Kalsit katıldıktan sonra BMC hamur kıvamı, (b) Kalsit dolgusu yanmaz hamura kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonraki görüntüsü

001 yanmaz hamurda kalsit dolgusu miktarı baritite olduğu gibi 1338gr (%26) 'dir. Şekil 5.14. (a) ve Şekil 5.14.(b)'de de görüleceği üzere kalsit dolgusu 001-yanmaz hamurda da en iyi sonucu vermiştir.

5.2.1.2. İkili kombinasyonlar

Kaolen-Kalsit kombinasyonu



(a)

(b)



(c)

Şekil 5.15. (a) İlk dolgu kaolen (600gr-%12), (b) İkinci dolgu kalsit (1200gr-%24), (c) 12mm kırpıntı cam elyaf katılan kombinasyon son hal

Şekil 5.15.(a)'da görüldüğü gibi ilk dolgu olarak katılan kaolen yine karıştırma bıçaklarında toplanmıştır. Şekil 5.15.(b)'de verilen ikinci olarak katılan kalsit ile bu durum düzelmemiştir. Şekil 5.15.(c)'den de anlaşılacağı üzere 12mm kırpıntı cam elyafın ıslanması iyidir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.16. (a) İlk dolgu kaolen (400gr-%8), (b) İkinci dolgu kalsit (900gr-%18), (c) 6mm kırpıntı cam elyaf katılan kombinasyon son hal

Şekil 5.16.(a)'da görüldüğü üzere 006 BMC hamurda kaolen miktarı azaltılmış ve böylece Şekil 5.16. (b)'de görüldüğü üzere karıştırıcı bıçaklarda daha az toplanan bir hamur kıvamı elde edilmiştir. Şekil 5.16.(c) 6mm kırpıntı cam elyafın iyi ıslandığı bir görüntüdür.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.17. (a) İlk dolgu kaolen (250gr-%5), (b) İkinci dolgu kalsit (700gr-%14), (c) Kaolen-Kalsit kombinasyonu yanmaz hamur son hal

001-yanmaz hamurdaki martinal katkısı, dolguların miktarını düşürmüştür (Şekil 5.17.(a) – Şekil 5.17.(b)). Dolgu miktarları düşse de martinalin de etkisiyle 012 ve 006

BMC hamurlara göre daha kıvamlı bir kombinasyon-yanmaz hamuru elde edilmiştir. Şekil 5.17.(c)'de görüldüğü üzere 12mm kırpıntı cam elyafların ıslanması da iyidir.

Barit-Kaolen kombinasyonu



Şekil 5.18. (a) İlk dolgu kaolen (600gr-%12), (b) İkinci dolgu barit (1900gr-%38), (c) 12mm kırpıntı cam elyaf katılan kombinasyon son hal

İlk katkı olarak bir önceki kombinasyonda olduğu gibi Şekil 5.18.(a)'da görüldüğü üzere kaolen tercih edilmiştir. Ardından Şekil 5.18.(b)'de görülen ikinci katkı barit hamur rengini bir miktar sarımtırak yapmıştır. Hamur kıvamı baritin tekli sisteminde olduğu gibi ıslak ve ele yapışan bir yapıdadır. Bu durum Şekil 5.18.(c)'den de anlaşılmaktadır.





(c)

Şekil 5.19. İlk dolgu kaolen (625gr-%12,5), (b) İkinci dolgu barit (1775gr-%35,5), (c) 6mm kırpıntı cam elyaf katılan kombinasyon son hal

006 BMC hamurda da 012 BMC hamurda olduğu gibi Şekil 5.19.(a)'daki gibi ilk dolgu kaolen katıldıktan sonra Şekil 5.19.(b)'de görüldüğü üzere ikinci dolgu barit katılmış ve sarımtırak bir renk elde edilmiştir. Kıvam olarakta Şekil 5.19.(c)'de verilen 012 BMC hamura yakın bir hamur elde edilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.20. (a) İlk dolgu kaolen (300gr-%6), (b) İkinci dolgu barit (700gr-%14), (c) Barit-Kaolen kombinasyonu yanmaz hamur son hal

001 yanmaz hamur olması sebebiyle Şekil 5.20.(a) ve Şekil 5.20.(b)'de görüleceği üzere viskoz bir kıvam elde edilmiştir. Martinal varlığı barit ve kaolen dolgularının miktarını

düşürmüştür. Şekil 5.20.(c)'de de 12mm kırpıntı cam elyaf katıldıktan sonraki istenilen hamur görünüşü görülmektedir.

Barit-Kalsit kombinasyonu



Şekil 5.21. İlk dolgu barit (1484gr-%30), (b) İkinci dolgu kalsit (1384gr-%28), (c) 12mm kırpıntı cam elyaf katılan kombinasyon son hal

Barit ve kalsit yapı olarak birbirine çok benzediği için miktarları da hemen hemen aynı katılmıştır (Şekil 5.21. (a)). Karıştırıcı bıçaklarda toplanma durumu bu kombinasyonda da yaşanmıştır (Şekil 5.21. (b)). Ancak buna rağmen kırpıntı cam elyafların ıslanması başarılıdır (Şekil 5.21.(c)).





(c)

Şekil 5.22. (a) İlk dolgu barit (1443gr-%29), (b) İkinci dolgu kalsit (1443gr-%29), (c) 6mm kırpıntı cam elyaf katılan kombinasyon son hal

006 BMC hamurda barit ve kalsit aynı miktarda katılmıştır. Şekil 5.22. (a)'da ilk katkı baritten sonra hala akışkan görünen hamura ikinci katkı olarak kalsit katılmış ve Şekil 5.22.(b)'deki yoğun kıvam elde edilmiştir. Şekil 5.22.(c)'de bu yoğun kıvama katılan 6mm kırpıntı cam elyafın iyi ıslandığını görmek mümkündür.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.23. (a) İlk dolgu barit (800gr-%16), (b) İkinci dolgu kalsit (600gr-%12), (c) Barit-Kalsit kombinasyonu yanmaz hamur son hal

Baritin tekli sisteminde de görüldüğü üzere kalsit ile kombinasyonunda da parlak bir görüntü söz konusudur (Şekil 5.23.(a) – Şekil 5.23.(b)). Barit-Kaolen kombinasyonunda

bu parlaklık yoktur. Barit-Kaolen kombinasyonunda barit daha çok toparlayıcı, kıvamlaştırıcı rol üstlenmiştir. Kalsit ile olan kombinasyonlarında ise, beraber kıvam sağlayarak viskoz bir hamur elde etmişlerdir ve baritin sarımtıraklığını kalsit yok etmiştir. Şekil 5.23.(c)'de 12mm kırpıntı cam elyafın ıslanma durumu görülmektedir.

5.3.Hamurların Kalıplanması

Hazırlanan hamurların karakterizasyon çalışmaları için çekme ve 3 nokta eğme test çubukları Şekil 5.24'te verilen 100 tonluk hidrolik preste basılmıştır. Pres sıcaklığı alt ve üst kalıplar için ayrı ayarlanmıştır. Basılan parçaların alt kalıpta kalması istenildiği için alt ısı üst ısıdan 10-15°C kadar yüksek tutulmuştur. Buna göre çekme ve 3 nokta eğme test çubukları basımında alt kalıp sıcaklığı 150±10°C, üst kalıp sıcaklığı ise 140±10°C olarak ayarlanmıştır. Bu ayarda basılan test çubukları üst kalıpta kalmamıştır. Pişirme süresi de hamur çeşidine göre farklılık göstermiş olup, 60-80s aralığında ayarlanmıştır.

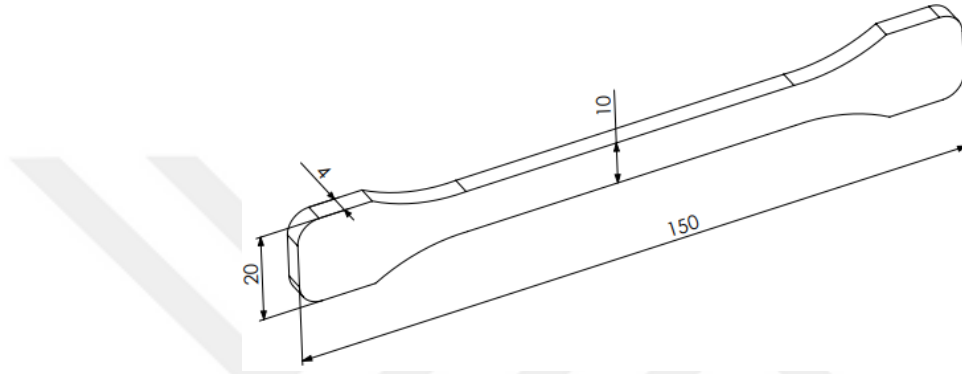


Şekil 5.24. 100 tonluk hidrolik pres

Test çubuğu kalıpları 4'er gözlü olup hamur gramajı da hamur çeşidine göre 80-100gr aralığında değişmiştir. Şekil 5.25'de görüldüğü üzere DIN EN ISO 527-1 standardına uygun basılan çekme test çubuğu etrafında oluşan çapaklar çapak alma hattında eğe yardımıyla temizlenmiştir. Şekil 5.26'da ise çekme test çubuğu boyutları görülmektedir.



Şekil 5.25.Çekme test çubuğunun BMC pres kalıbında basımı

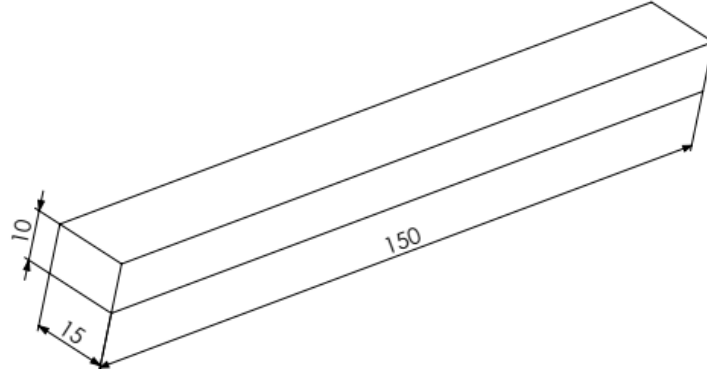


Şekil 5.26.Çekme test çubuğu ölçüleri (150x10x4mm)

Aynı şekilde Şekil 5.27’de verilen eğme test çubuklarının etrafında oluşan çapaklar da temizlendikten sonra testi yapılmıştır. 3 nokta eğme test çubuğu kalıbı DIN EN ISO 178 standardına göre hazırlanmıştır. Şekil 5.28’de ise eğme test çubuğu boyutları görülmektedir.



Şekil 5.27. 3 nokta eğme test çubuğunun BMC pres kalıbında basımı



Şekil 5.28.Eğme test çubuğu ölçüleri (150x15x10mm)

Şekil 5.25 ve Şekil 5.27’de görüldüğü üzere test çubuklarının basıldığı kalıpların çalışma prensibi havuz tipi kalıp sınıfına girmektedir. BMC hamur terazide tartıldıktan sonra kalıbın ortasına konmak suretiyle pres çalıştırılmıştır ve üst kalıp kapanarak ayarlanan sürede pişmiş parça elde edilmiştir.

5.4.Karakterizasyon

Gümölcine ve arkadaşlarının (Gümölcine ve diğerleri, 2013) izoftalik polyester matrisli sürekli E-camı ve bazalt fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine yaptığı deneysel çalışmada karakterizasyon için termoset matrisli kompozit malzemeler gevrek olduğu için, üretilen kompozit numunelere; çekme, üç noktalı eğme ve darbe testleri uygulanmıştır. Bu testlerin, malzemelerin statik ve dinamik özelliklerini ortaya çıkarmak için uygulanan en belirleyici testler olduğunu belirtmişlerdir.

BMC hamur hazırlama prosesi başlığında değinildiği şekilde kalsit, kaolen ve barit dolgu hammaddelerinin tek başına kullanıldığı 3’er farklı hamur tipi üretilmiştir. Ayrıca bu dolgu hammaddelerinin ikili kombinasyonları olan kaolen-kalsit, barit-kaolen ve barit-kalsit kullanılarak da toplamda 9 adet BMC hamur üretilmiştir. Toplamda 18 adet BMC hamur elde edilmiştir. Hazırlanan tüm hamurları karakterize edebilmek ve karşılaştırmak için çeşitli testler yapılmıştır.

Bu çalışmada çekme testi ve 3 nokta eğme testi yapılmıştır. Shore D sertlik ölçümü yapılan numunelerin yanmazlık özelliği olanlarına ayrıca yanmazlık testi (kızaran tel

deneyi) uygulanmıştır. Son olarak çekme testinde en iyi ve en kötü sonuçların elde edildiği numunelerden kırılma yüzeyleri ve mikroyapı görüntüleri SEM (Taramalı elektron mikroskobu) ile incelenmiştir. Mikroyapı görüntülerinin incelenmesinde karşılaştırma yapılacak hamurların çekme test çubuklarından çekme yönüne dik ve çekme yönünde numuneler alınmıştır. Bunlar Şekil 5.29'daki gibi reçine kalıplanmış ve 180-400-800-1200 mesh zımparalarla zımparalanmıştır. Ardından 0,1µm elmas süspansiyon ve parlatma keçesi yardımıyla parlatma işlemi yapılmıştır.



Şekil 5.29. Reçineye alınan numuneler

5.4.1. Çekme testi

DIN EN ISO 527-1 standardına uygun basılan çekme test çubukları ile çekme testi yapılmıştır. Test, Şekil 5.30'da verilen 1000kgf (9,80kN)'luk TESTOMETRİK marka cihaz ile 0,10 mm/dk hızla yapılmıştır. Çekme testi sırasında çeneler arası mesafe 100mm olarak ayarlanır.



Şekil 5.30.Çekme testi

5.4.2. 3 Nokta eğme testi

3 nokta eğme testi DIN EN ISO 178 standardına göre basılan test çubukları ile çekme testinin yapıldığı TESTOMETRİK cihazında yapılmıştır. Şekil 5.31’de görüldüğü gibi cihazın aparatları değiştirilerek istenen test düzeneği ayarlanabilmektedir. Mesnetler arası açıklık 100mm’dir. 3 nokta eğme test hızı çekme test hızında olduğu gibi 0,10 mm/dk’dır.



Şekil 5.31. 3 nokta eğme testi

5.4.3. Shore D sertlik ölçümü

Shore (Durameter) sertlik metodu lastikler, polimerler ve elastomerlerde kullanılır. Yaygın olarak kullanılan metodlar Shore A ve Shore D metodlarıdır. Shore A, yumuşak lastikler ve plastikler için kullanılırken Shore D sert lastik ve plastikler için tercih edilmektedir. Sertlik değeri, sertlik ölçerin malzeme üzerinde 15 saniye süreyle batırıldıktan sonra, batıcı ucun dalma derinliğine bağlı olarak yine sertlik ölçer üzerinden okunmaktadır (Bulut Makine Sanayi ve Ticaret LTD. ŞTİ.). Şekil 5.32’de verilen Shore D sertlik ölçer ile her hamur çeşidi için 5 numuneden 5’er adet sertlik ölçümü yapılmıştır.



Şekil 5.32. Shore D ve doğrulama mastarı

5.4.4. Kızaran tel deneyi (Yanmazlık testi)

Hazırlanan yanmaz hamurların içeriğindeki martinal katkısı, 960°C’de kızaran tele numunenin 30 saniye temasına müsaade ettiği gibi, telden çekildikten sonra 30 saniye içinde sönmelerini sağlamalıdır. Bunu test edebilmek için de basılan çekme test çubukları kullanılmıştır.

Şekil 5.33’te verilen kızaran tel deney düzeneğinde deney numunesindeki alevler veya kızarma, Şekil 5.34’teki gibi kızaran telden çekildikten sonra 30 saniye içerisinde sönerse ve damlama olduğu takdirde numunenin altına yerleştirilen yanıcı malzeme (örneğin; pamuk) tutuşmadığında kızaran tel deneyinin olumlu sonuç verdiği kabul edilir (TS EN 60695-2-11). Bunun sonucunda malzeme için V0 yani yanmaz ibaresi

kullanılır. Kızaran tel malzemesi Ni/Cr (80/20)'dur. Bükülmeden önceki çapı $4\text{mm} \pm 0,04\text{mm}$ olmalıdır (TS EN 60695-2-10).



Şekil 5.33. Kızaran tel cihazı



Şekil 5.34. Kızaran tel deneyi sonrası

5.4.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS)

Taramalı elektron mikroskobu çalışma prensibi olarak, elektronları kullanıp numune yüzeyinden yüksek çözünürlüklü görüntü almayı sağlar. Ayrıca SEM, numune yüzeyinin üç boyutlu görüntülerinin de elde edilmesine yarayan bir sistemdir. SEM ve EDS cihazı tozları malzemenin yüzey kesitlerinin, yüksek büyütmelerde (50.000 kata kadar) morfolojik ve kimyasal analizi için kullanılmaktadır. Bu çalışmada SEM kullanılarak cam elyafların dizilimi ve dağılımı, çekme testi yapılan numunelerin de kırılma yüzeyleri ayrıntılı olarak incelenecektir. SEM mikro yapı fotoğraflarının çekilmesinde ve EDS analizlerinde JEOL JSM-6060LV marka taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1.Mekanik Özellikler Açısından Değerlendirme

6.1.1.Tekli Sistemler

Eren ve arkadaşları (Eren ve diğerleri, 2018), kompozit malzeme üretiminde kullanılan poliesterlerin mekanik, termal ve kimyasal özelliklerine başlatıcının etkisini inceledikleri çalışmalarında izoftalik ve ortoftalik poliester reçineler kullanmışlar ve reçinelerin içine belirli oranlarda metil etil keton peroksit (MEKP) başlatıcı olarak, kobalt oktoat ($C_{16}H_{30}CoO_4$) ise reaksiyon hızını arttırmak amacıyla ilave edilmiştir. Yapılan karakterizasyon çalışmalarında, çekme ve 3 nokta eğme testlerinde izoftalik reçineden oluşan kompozitlerin mekanik dayanımlarının, ortoftalik reçineden oluşan kompozitlerden genel olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

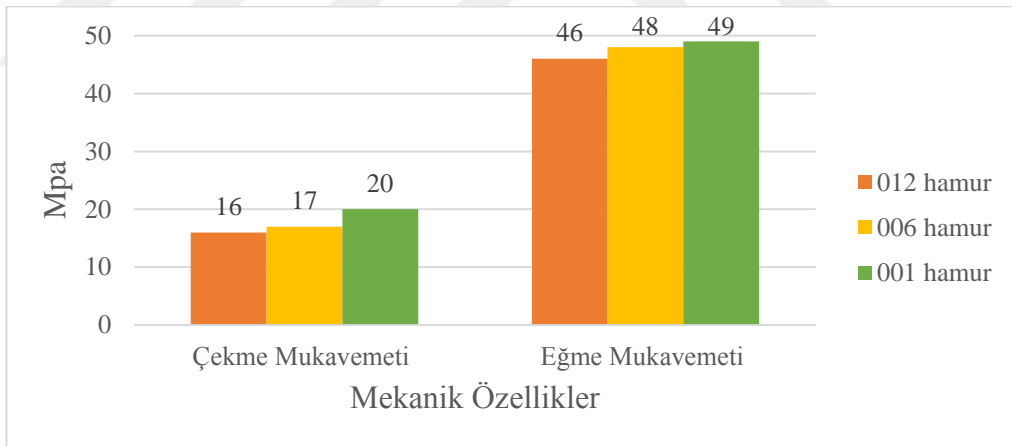
Kaundal ve arkadaşları (Kaundal, Patnaik & Satapathy, 2016), Al_2O_3 dolgulu kısa cam elyaf takviyeli polimer kompozitler için erozif aşınma modelinin mekanik karakterizasyonu ve gelişimi hakkında yaptıkları çalışmada, matris olarak, doymamış izoftalik poliester reçinesi kullanarak kompozit üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir.

Haddad ve Kobaisi (Haddad & Kobaisi, 2013), UP reçinenin çekme ve eğilme özelliklerini, %33 stiren içinde çözülmüş %67 UP kullanarak, metilmetakrilat'a hacimsel oranı, 3/2 olacak şekilde ve %0,8 kobalt oktoat, %0,2 dimetilanilin (sertleştirici), %2 (v/v) MEKP ilave ederek üretmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda eğilme dayanımı 144MPa, çekme dayanımını ise 58,6MPa olarak bulunmuştur.

Marcovich ve arkadaşları (Marcovich ve diğerleri, 2009), çalışmalarında, %1,5 oranında benzoil peroksit başlatıcısı kullanarak izoftalik bazlı UP kompozitleri üretmişlerdir. Üretilen kompozitin eğilme dayanımını, 85,5MPa, eğilme E-modülünü ise 3,7 GPa olarak belirlemişlerdir.

İsa ve arkadaşları (İsa ve diğerleri, 2013), UP reçinesinin %5,0'i oranında DOP (Dioktil fitalat) karıştırarak ürettikleri kompozitlerde, polimerleşmenin sağlanması için, %2 oranında başlatıcı (MEKP) ve %2 oranında kobalt oktoat ilave edilmiştir. %5,0 DOP ikameli kompozitin çekme dayanımını, 40 MPa, elastikiyet modülünü ise 2,4 GPa olarak bulmuşlardır.

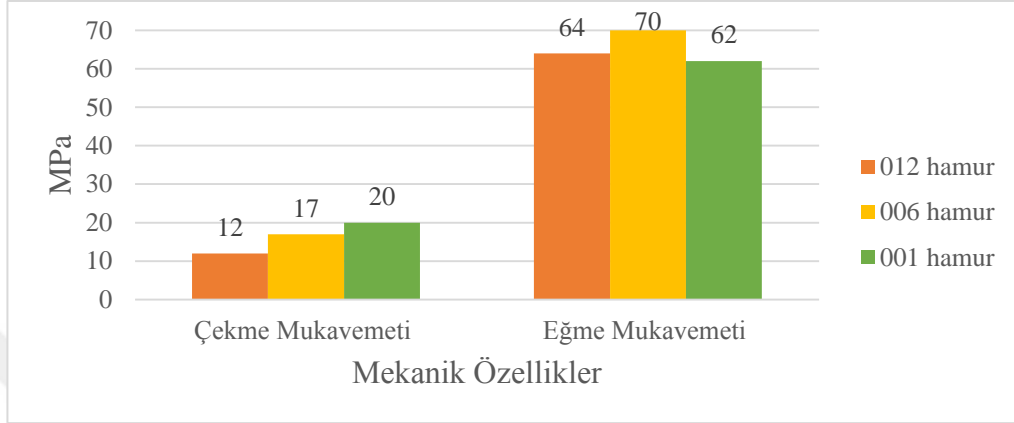
Bu çalışmada farklı dolgu sistemleri, izoftalik polyester varlığında toplamda 18 farklı BMC hamur hazırlanmış ve test edilmiştir. Yapılan testler doğrultusunda çekme mukavemeti, eğme mukavemeti değerleri tespit edilmiştir. Bu değerlere göre yapılan karşılaştırma grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.1.Kaolen dolgusu ile hazırlanan hamurların mekanik özelliklerinin kıyaslanması

Şekil 6.1.'de kaolen dolgusu ile hazırlanan 3 farklı hamur tipi için mekanik özellikler incelendiğinde en iyi çekme mukavemet değerinin 001-yanmaz BMC hamurda 20MPa ile sağlandığı görülmektedir. Eğme mukavemet değeri 3 hamur tipi için de yakın çıkarken yine en yüksek değer 001-yanmaz BMC hamurda, 49 MPa olarak görülmektedir. Buradan 001-yanmaz BMC hamurdaki yanmazlık katkısı martinalin kıvam sağlamada ve elyafların ıslanabilirliğinde etkili olduğunu söylemek mümkündür.

Kaolen miktarı diğer dolgulara göre tüm hamur tiplerinde az seviyede tercih edilmiştir. Çünkü; sabit tutulan sıvı miktarının kaolen için yeterli olmadığı gözlemlenmiştir. Bu da kaolenin bulunduğu ortamdaki sıvıyı bünyesine çekme ve BMC hamuru kurutabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır.



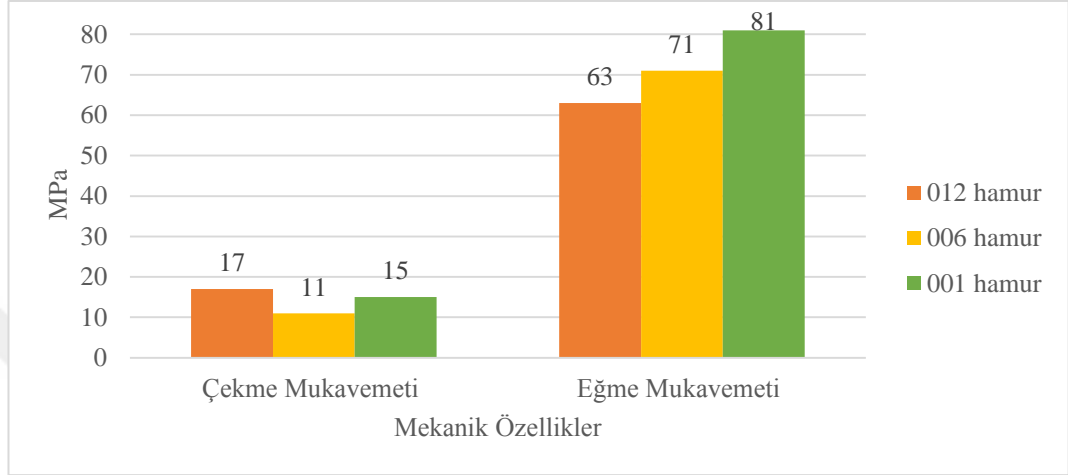
Şekil 6.2. Barit dolgusu ile hazırlanan hamurların mekanik özelliklerinin kıyaslanması

Barit ile ilgili yapılan literatür çalışmalarına bakıldığında PP, PVC gibi termoplastik malzemelerle olan çalışmalara rastlanmıştır. PVC malzemesine farklı dolgu maddelerinin katılarak kompozit üretiminin sağlandığı ve bunların özelliklerinin incelendiği çalışmada (Baydar, 2016), barit ve kalsit dolgu sistemlerinde yüksek yoğunluklu yapılar elde edildiği belirtilmiştir. PP ile ilgili çalışmada ise; (Kodal, 2009) PP ve dolgu maddeleri ile hazırlanan karışımların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelemesi yapılmış, dolgu maddesi olarak talk, kalsit, kaolen, baryum sülfat, zeolit ve silan kullanılmıştır. Kaolen ve baritin artan miktarlarda kullanılmasının akış özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Şekil 6.2 incelendiğinde barit dolgusunun en yüksek çekme mukavemeti sağladığı hamur tipi kaolen dolguluda olduğu gibi 001-yanmaz BMC hamurdur ve çekme mukavemeti değeri 20MPa'dır. Eğme mukavemet değerinde ise 006 BMC hamurun 70MPa ile en yüksek değeri yakaladığı görülmektedir.

Sonuç olarak bakıldığında 001-yanmaz hamur için en düşük miktarda katılan barit ile en iyi çekme mukavemeti değeri sağlansada, en yüksek miktarda katıldığı 006 BMC hamurda en iyi eğme mukavemetini vermiştir. Buradan martinal varlığında dolgu

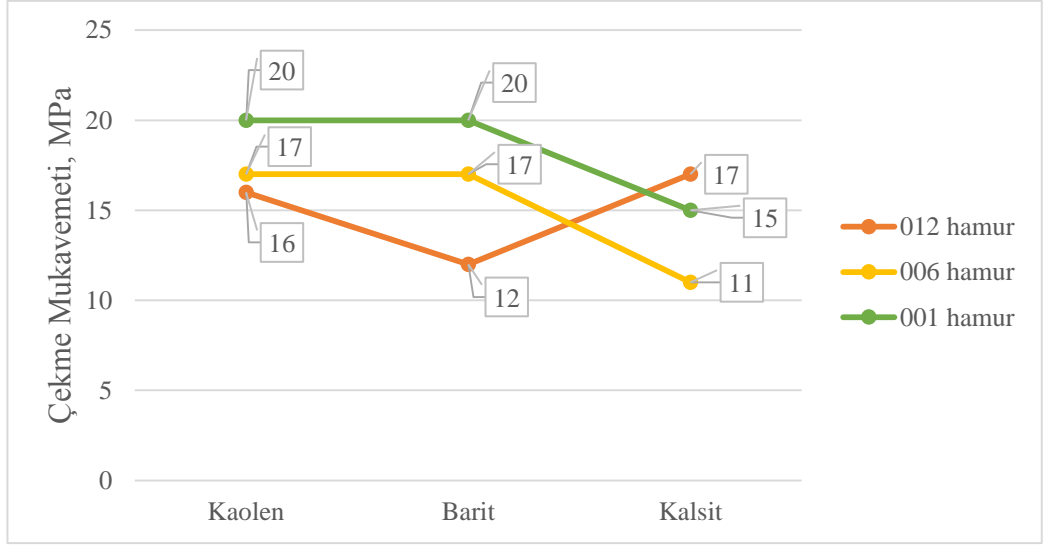
miktarı azaltılan sistemlerden baritin, kaolen gibi çekme mukavemetinde fayda sağladığı, eğme mukavemetinde ise elyafların daha yoğun/viskoz bir matris malzeme ile sarılması için baritin 2886 gr (%57) ile fazla katılmasının olumlu bir etki yarattığı sonucuna varılabilir.



Şekil 6.3. Kalsit dolgusu ile hazırlanan hamurların mekanik özelliklerinin kıyaslanması

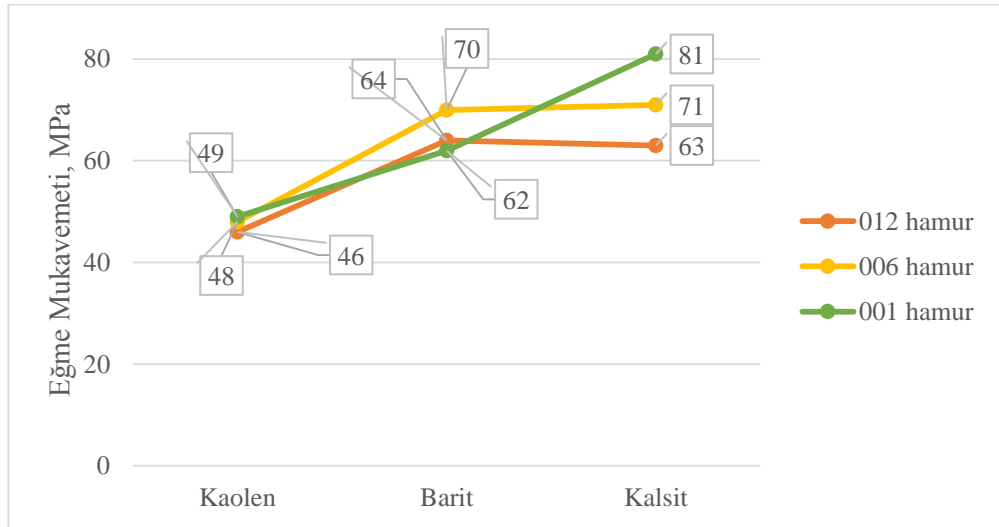
Şekil 6.3’de verilen kalsit dolgusunda çekme mukavemet değeri 17MPa ile 012 BMC hamurda sağlanmıştır. Ancak en yüksek eğme mukavemet değeri 81MPa ile 001-yanmaz hamura ait olup diğer hamur tipleri ile arasında bariz farklar görülmüştür. Sonuç olarak; kalsitin barite göre tam tersi bir yapıda hareket ettiği söylenebilir. Çünkü; 012 BMC hamur için çekme mukavemetinde en yüksek değeri (17MPa) sağlamıştır. Eğme mukavemeti için ise tek başına bulunduğu sistemlerde (012-006) sonuçlar, martinal ile birlikte bulunduğu 001-yanmaz hamur sistemine göre düşük çıkmıştır.

Tekli sistemlerde kaolen, barit ve kalsit katkılarının mekanik özellikler üzerindeki etkisi Şekil 6.1., Şekil 6.2. ve Şekil 6.3’te grafiklerle gösterilmiştir. Genel olarak ele alındığında çekme mukavemeti değerinin 11-20MPa aralığında değiştiği görülmektedir. Ancak ortalamaya bakıldığında en iyi çekme mukavemeti değeri kaolen katkısında elde edilmiştir. Eğme mukavemet değeri ise kalsit katkısı ortalama olarak en yüksektir.



Şekil 6.4. Çekme mukavemet değerinin tekli sistem dolgularına göre değişim grafiği

Tekli sistemlerdeki en iyi ve en kötü çekme mukavemet değerleri Şekil 6.4.'teki grafikte görülmektedir. Buna göre, 012 BMC hamur için en iyi değer (17MPa) Kalsit dolgusunda, en kötü değer ise Barit (12MPa) dolgusunda sağlanmıştır. 006 BMC hamur için en iyi değer (17MPa) hem Kaolen dolgusunda hem de Barit dolgusunda elde edilirken, en kötü değer Kalsit dolgusundadır. 001-yanmaz BMC hamur içinde kaolende olduğu gibi aynı durum söz konusudur (20MPa). 006 ve 001-yanmaz BMC hamur sistemleri için en kötü değerler kalsit dolgusunda elde edilmiştir. 006 için bu değer 11MPa, 001-yanmaz hamur için ise 15MPa'dır. Bu değerlere göre SEM ile mikroyapı ve kırılma yüzeyi görüntüleri alınmıştır.



Şekil 6.5. Eğme mukavemet değerinin tekli sistem dolgularına göre değişim grafiği

Eğme mukavemeti sonuçları Şekil 6.5’deki grafikten incelendiğinde 012 BMC hamur için en düşük değer (46MPa) kaolen dolgusunda, en yüksek değer (64MPa) barit dolgusunda elde edilmiştir. 006 BMC hamurda en düşük değer (48MPa) de kaolen dolgusunda görülürken, en yüksek değer (71MPa) de kalsit dolgusundadır. Aslında barit dolgusu için de 70MPa değeri sağlanmıştır. 001-yanmaz BMC hamurda da en düşük değer (49MPa) kaolen dolgusunda, en yüksek değer (81MPa) yine kalsit dolgusunda elde edilmiştir. Ayrıca 001-yanmaz BMC hamurun sahip olduğu bu 81MPa eğme mukavemeti için tekli sistemlerdeki en yüksek değerdir.

Tekli sistemlerde çekme mukavemeti sonuçlarına bakıldığında en iyi bileşim kaolen ve barit dolgulu 006 ve 001-yanmaz BMC hamur sistemlerinde görülürken, en kötü bileşim 012 BMC hamur için baritte, 006 ve 001-yanmaz hamurda ise kalsitte elde edilmiştir. Eğme mukavemeti sonuçlarına bakıldığında ise en iyi bileşim 006 ve 001-yanmaz BMC hamur sistemleri için kalsit ile sağlanırken, 012 BMC hamur için barit dolgusu ile sağlanmıştır. En kötü bileşim kaolende görülmüştür. Buradan da genel bir sonuç olarak kalsit ve barit dolgularının eğme yükü doğrultusunda ve yüke maruz uygulamalarda BMC hamur sistemi için en iyi dolgu malzemesi olduğu söylenebilir. Kaolenin ise yüke maruz uygulamalarda kullanımının uygun olmadığı görülmektedir.

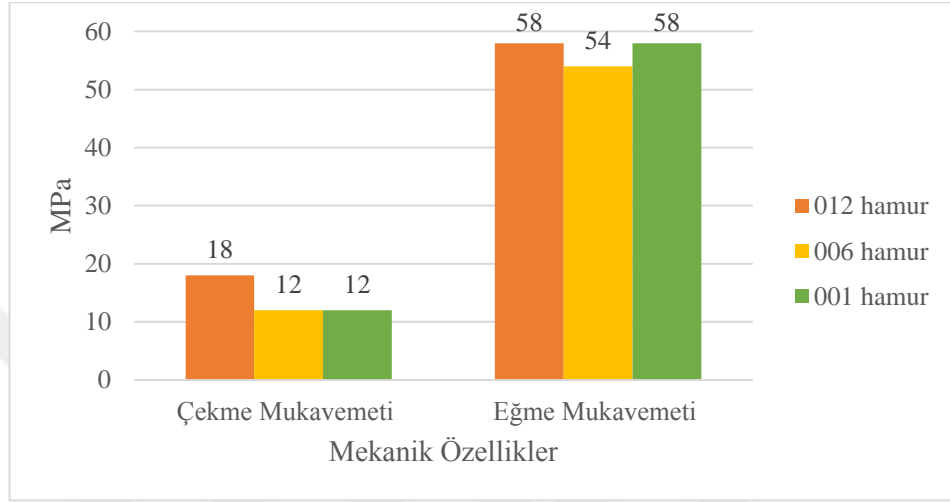
Tablo 6.1. Tekli sistemlerdeki dolguya göre çekme ve eğme mukavemetindeki % artış

Hamur sistemi	Çekme mukavemeti	Eğme mukavemeti
012 BMC hamur	%42	%37
006 BMC hamur	%54	%48
001-yanmaz BMC hamur	%33	%65

Çekme ve eğme mukavemet değerlerindeki yüzde artış durumu Tablo 6.1’de verilmiştir. Tablo 6.1. Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 ile beraber değerlendirilmelidir. Tablo 6.1’deki yüzde artış hesabı Şekil 6.4 ve Şekil 6.5’teki en düşük ve en yüksek değerlere göre yapılmıştır. Buna göre; Tablo 6.1’de incelendiğinde, çekme mukavemetinde en yüksek artış %54 ile 006 BMC hamurda kalsit(11MPa) ve kaolen, barit(17MPa) dolguları arasında görülmüştür. Eğme mukavemetinde ise; 001-yanmaz hamurda en yüksek artış %65 ile kaolen(49MPa) ve kalsit(81MPa) dolguları arasındadır.

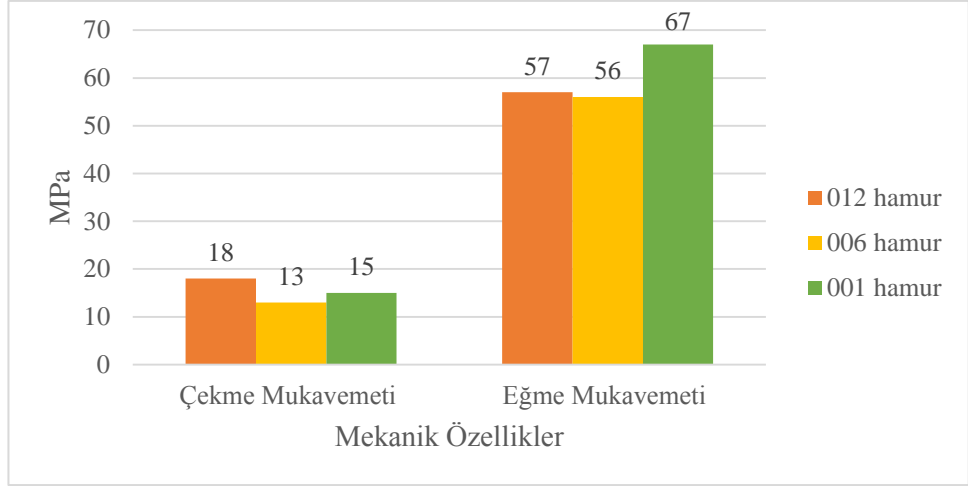
6.1.2. İkili kombinasyonlar

Kaolen-Kalsit, Barit-Kaolen ve Barit-Kalsit olmak üzere ikili kombinasyonlarla hazırlanan BMC hamurlardaki mukavemet değerlerinin değişimleri ve karşılaştırması Şekil 6.6., Şekil 6.7. ve Şekil 6.8’de verilmiştir.



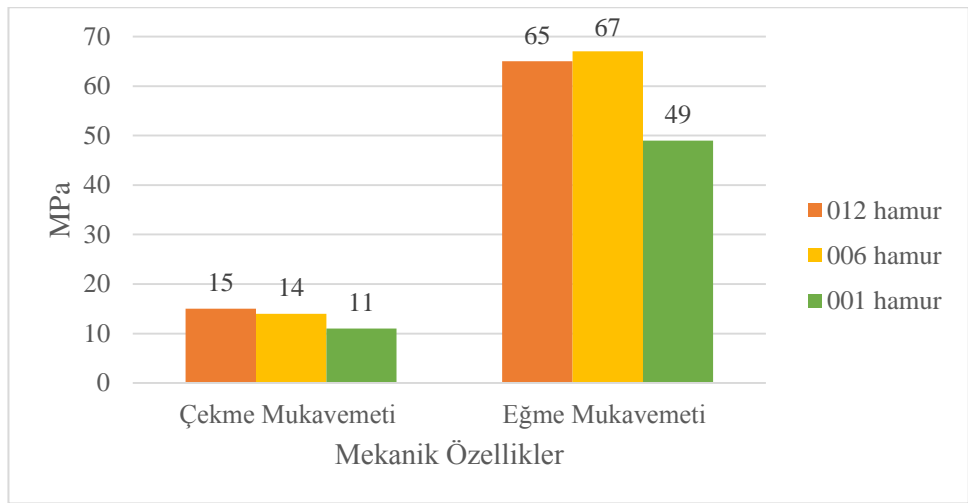
Şekil 6.6. Kaolen-Kalsit dolguları ile hazırlanan hamurların mekanik özelliklerinin kıyaslanması

George ve arkadaşları (George, Pouchelon & Thiria, 2006) yaptıkları çalışmada talk mineralinin tek başına ya da kaolen veya kalsiyum karbonat ile yarı güçlendirici dolgu olarak kullanılabileceğini vurgulamıştır. Kaolen-Kalsit kombinasyon sisteminde Bölüm 5’te de görebileceğimiz üzere kaolen katkısı önce katılıp hamura yedirildikten sonra kalsit katılmıştır. Miktar olarakta kalsit tüm hamur sistemlerinde kaolenden fazla kullanılmıştır. Şekil 6.6’da grafiği verilen Kalsit–Kaolen kombinasyonunda, kalsitin tekli sisteminde görülen en iyi çekme mukavemeti değeri yine 012 BMC hamurda sağlanmıştır. Eğme mukavemet değerinde ise hem 012 BMC hamur hem de 001-yanmaz BMC hamurda en yüksek değerler elde edilmiştir. Dolgu miktarının fazla tutulması 012 BMC hamurda en yüksek eğme mukavemeti değerini sağlarken, 001-yanmaz hamur için dolgu oranı düşse de matinalin yine dolgu vazifesi görüp yapıyı sağlamlaştırdığını söylemek mümkündür.



Şekil 6.7. Barit-Kaolen dolguları ile hazırlanan hamurların mekanik özelliklerinin kıyaslanması

Barit-Kaolen kombinasyon sisteminde de ilk katılan dolgu kaolendir. Bu sistemde de miktar olarak barit fazladır. Şekil 6.7.'de çekme mukavemet değerine bakıldığında 012 BMC hamurun en iyi değere sahip olduğu görülmektedir. Dolgu miktarı olarakta en yüksek miktar (toplamda 2500gr) 012 BMC hamur için katılmıştır. Eğme mukavemet değeri ise 001-yanmaz hamur için en yüksektir. Martinalin bu hamurda da eğme mukavemetine katkı sağladığını söylememiz mümkündür. Barit-Kaolen sistemindeki eğme mukavemeti değerleri Kaolen-Kalsit sisteminden yüksek çıkmıştır. Bu da barit-kaolen kombinasyonunun yüke maruz uygulamalarda kaolen-kalsit kombinasyonuna göre daha iyi olduğunu göstermektedir.



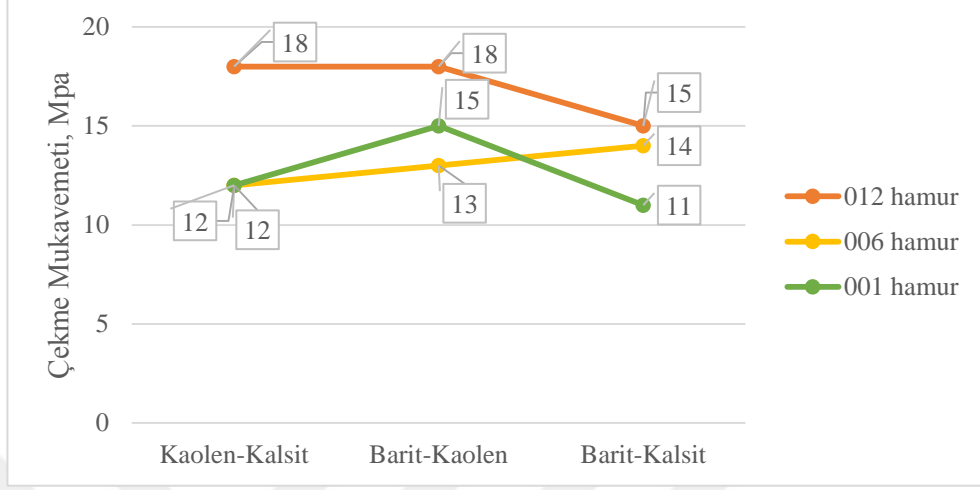
Şekil 6.8. Barit-Kalsit dolguları ile hazırlanan hamurların mekanik özelliklerinin kıyaslanması

Barit-Kalsit kombinasyonunda barit ilk dolgu olarak katılmıştır. Kalsit ve barit miktarları 3 hamur tipi içinde en yakın oranlarda katılmıştır. Çekme mukavemet değeri yine 012 BMC hamur için en yüksektir. Ancak diğer ikili kombinasyon sistemlerine göre 012 BMC hamurda çekme mukavemeti değeri 15MPa'a düşmüştür. En yüksek eğme mukavemet değeri ise 67MPa ile 006 BMC hamura aittir. Barit-Kalsit sistemi ile 012 ve 006 BMC hamurlar için en yüksek eğme mukavemeti değeri elde edilmiştir. Şekil 6.8.'de verilen grafiğe dikkatle bakıldığında 012 ve 006 BMC hamur sistemleri için hem çekme hemde eğme mukavemeti değerlerinin yakın olduğu görülmektedir. Dolgu miktarları da birbirine oldukça yakın katılmıştır. Buradan, miktarları aynı tek farklı değişken olan 12mm kırpıntı cam elyafın çekme mukavemetinde, 6mm kırpıntı cam elyafın ise eğme mukavemetinde daha iyi bir sonuca sahip olduğu söylenebilir.

Gümölcine ve arkadaşları (Gümölcine ve diğerleri, 2013) izohtalik polyester matrisli sürekli E-camı ve bazalt fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine yaptığı deneysel çalışmada izohtalik polyesteri matris malzemesi, inorganik fiberleri de takviye malzemesi olarak kullanmışlardır. El yatırması yöntemi ile üretilen kompozit plakalarda sürekli fiber demetleri tek ekseninde birbirine paralel olacak şekilde dizilmiştir. Yapıda hızlandırıcı olarak kobalt oktanat ve katalizör olarakta MEKP kullanmışlardır. Fiber çapı 16µm ve 22,5µm olan iki farklı cam fiberi ile yapılan çekme testi sonucunda, fiber çapı geniş olan cam fiberi ile 67.23MPa çekme mukavemeti sağlanırken, 16µm çapa sahip cam fiber ile 45.10MPa çekme mukavemeti sağlamışlardır. Bu çalışmada ise kullanılan cam elyafların çapı 13-17µm aralığında olup, dolgulu izohtalik polyester ile elde edilen çekme mukavemeti değerleri tekli sistemlerde 11-20MPa, ikili kombinasyonlarda 11-18MPa'da kalmıştır.

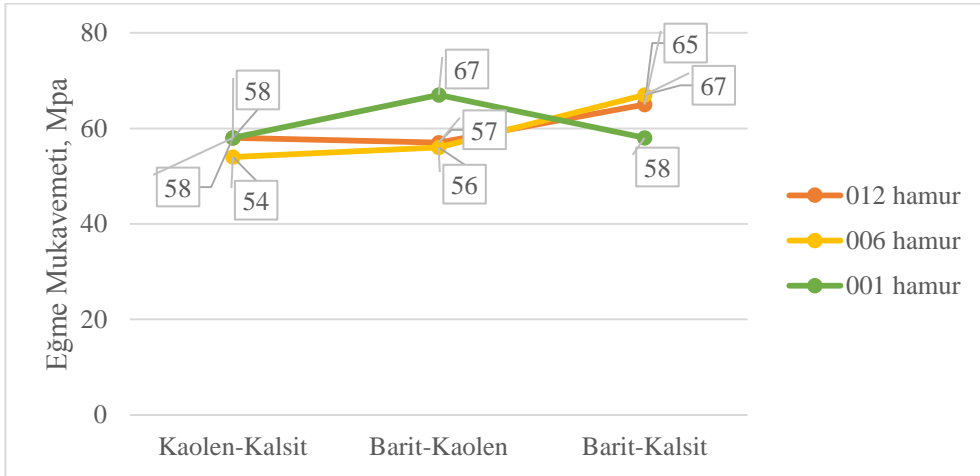
Tekli sistemlerden farklı olarak kombinasyonlarda 012 BMC hamur en yüksek çekme mukavemet değerlerine sahiptir. Eğme mukavemeti için değişken bir durum söz konusudur. Kaolenin tekli sistemine göre, kaolenin ikili sistemlerinde eğme mukavemetinde artış sağlanmıştır. Ancak barit ve kalsitin tekli sistemlerinde daha yüksek eğme mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Bu durum BMC hamur karışımının kombinasyonlarda dolgu miktarı ya da karışım süresi olarak gözden geçirilmesi gerektiğini göstermiştir. Çekme mukavemeti değerleri ise tekli sistem ve

kombinasyonlarda birbirine yakın çıkmıştır. Buradan da çekme mukavemetinde kombinasyon sisteminin bir fark sağlamadığı söylenebilir.



Şekil 6.9.Çekme mukavemet değerinin kombinasyon sistemlerine göre değişim grafiği

Tekli sistemlerde olduğu gibi kombinasyonlardaki en iyi ve en kötü çekme değerleri de her hamur tipi için Şekil 6.9’da toplanmıştır. Buna göre tüm hamur tiplerinde ve dolgu sistemlerinde en iyi değer 012 BMC hamura aitken en kötü değerler değişkenlik göstermektedir. Kaolen-Kalsit kombinasyonu için en kötü değer 006 BMC hamur ve 001-yanmaz BMC hamur için aynıdır (12MPa). Barit-Kaolen için ise 006 BMC hamur en kötü çekme mukavemeti değerine (13MPa) sahiptir. Barit- Kalsit için en kötü değer(11MPa) ise 001-yanmaz hamura aittir.



Şekil 6.10.Eğme mukavemet değerinin kombinasyon sistemlerine göre değişim grafiği

Gümülçine ve arkadaşları (Gümülçine ve diğerleri, 2013) izoftalik polyester matrisli sürekli E-camı ve bazalt fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine yaptığı deneysel çalışmada eğme test sonuçlarına bakıldığında ise 16µm çaplı cam fiber ile 212.77MPa eğme mukavemeti elde edilirken, 22,5µm çaplı cam fiber ile 266.45MPa eğme mukavemeti değeri elde edilmiştir. BMC hamur çalışmasında elde edilen değerler ise tekli sistemlerde 46-81MPa, ikili kombinasyonlarda ise 54-67MPa aralığındadır.

Şekil 6.10'da ikili kombinasyonlar için eğme mukavemet değerlerini bir grafikte görebilmekteyiz. Kaolen-Kalsit sistemi için en iyi değer (58MPa) hem 012 hem de 001-yanmaz BMC hamur ile elde edilmiştir. Barit-Kaolen kombinasyonu için en iyi değer (67MPa) 001-yanmaz BMC hamura aittir. Barit-Kalsit kombinasyonu için en iyi değer (67MPa) 006 BMC hamurda görülmüştür. Tekli sistemlere göre eğme mukavemeti değerinde belli bir dolguya yönelim yoktur. Tüm dolgu sistemleri ile yüksek değerler elde edilmiştir. Kombinasyonlarda hamur kıvamına, elyafların ıslanabilirliğine göre belirlenen dolgu oranı ve karıştırma süreleri ile alakalı denemelerin devam ettirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

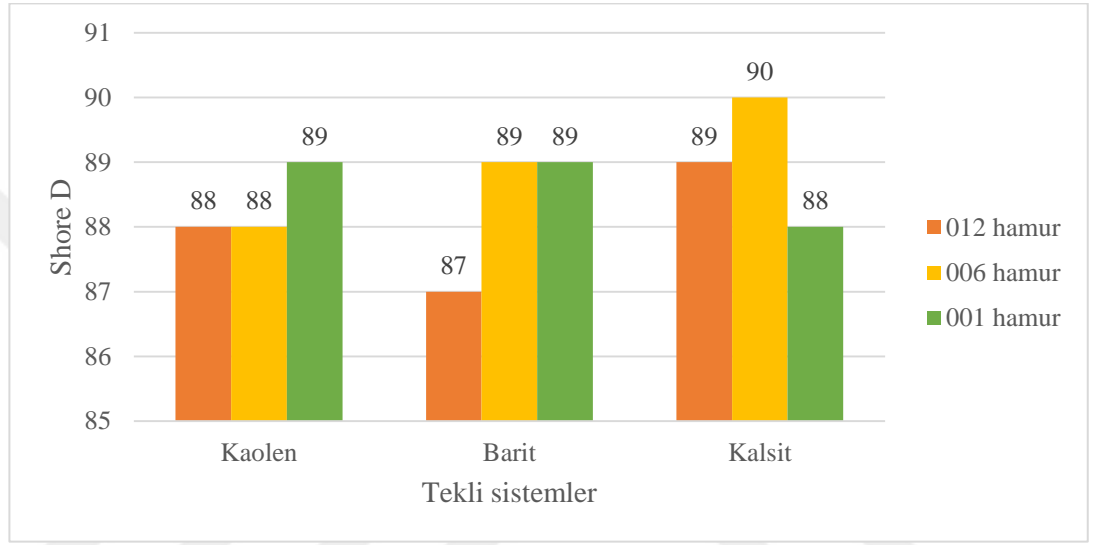
Tablo 6.2. İkili kombinasyonlardaki dolgu sistemlerine göre çekme ve eğme mukavemetindeki % artış

Hamur sistemi	Çekme mukavemeti	Eğme mukavemeti
012 BMC hamur	%50	%7
006 BMC hamur	%38	%20
001-yanmaz BMC hamur	%36	%37

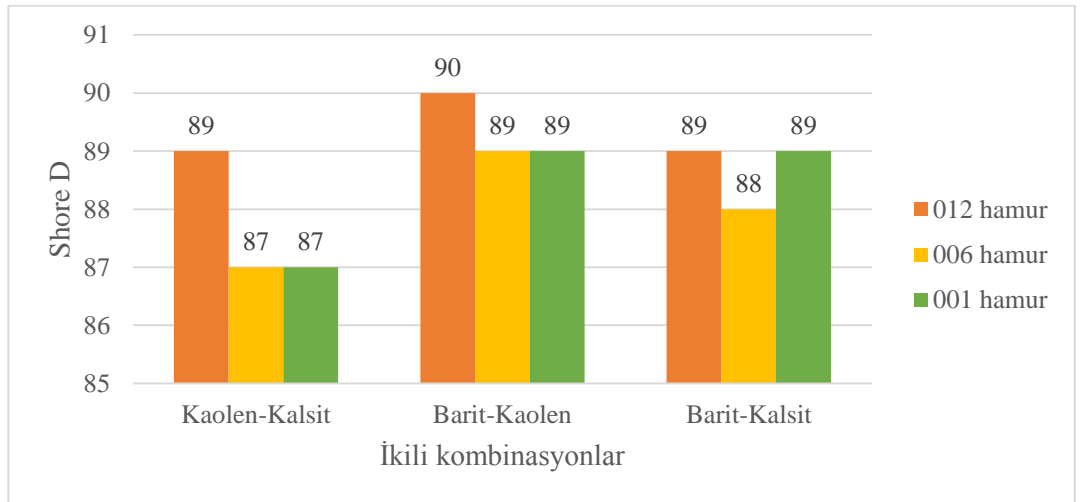
Tablo 6.2'de verilen yüzde artış hesaplamasında Şekil 6.9 ve Şekil 6.10 kullanılmıştır. En düşük ve en yüksek değerler arasında yapılan hesaplama göre çekme mukavemeti için en yüksek artış(%50) 012 BMC hamurda sağlanırken, eğme mukavemetinde ise 001-yanmaz BMC hamur için en yüksek artış (%37) tespit edilmiştir. Özellikle eğme mukavemetindeki artış tekli sistemlerdeki artış ile karşılaştırıldığında (Tablo 6.1.) değerlerin birbirine yakın olması sebebiyle düşmüştür.

6.1.3. Shore D sertlik değerlerinin değerlendirilmesi

Shore D sertlik değeri Şekil 6.11. ve Şekil 6.12'de tekli sistemler ve ikili kombinasyonlar için ayrı ayrı verilmiştir. Buna göre değerler incelendiğinde Shore D sertlik değerlerine değişken dolgu malzemelerinin etki etmediği görülmüştür. Değerler her dolguda ve kombinasyon sisteminde birbirine yakın ölçülmüştür.



Şekil 6.11. Tekli sistemlerde Shore D sertlik değerlerinin değişimi



Şekil 6.12. İkili kombinasyonlarda Shore D sertlik değerlerinin değişimi

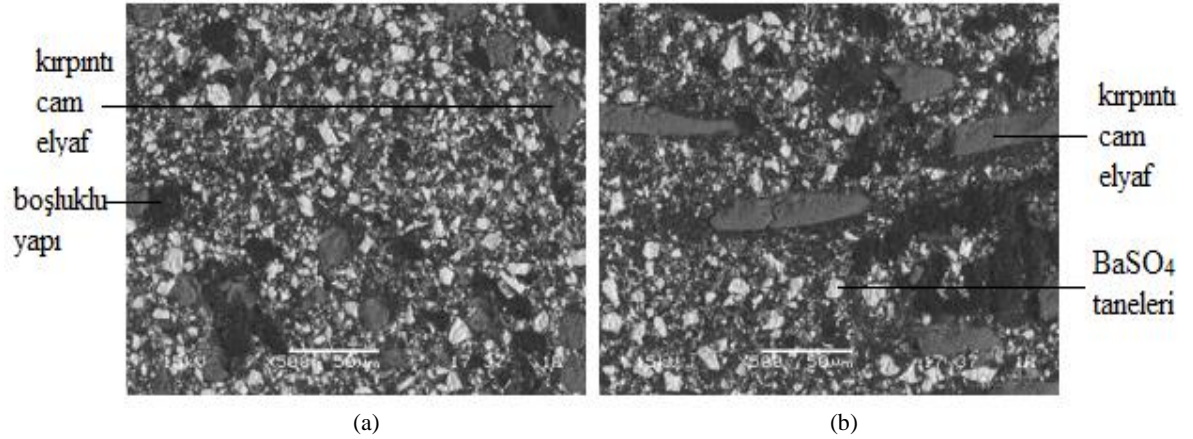
6.2. Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmaları (SEM-EDS)

6.2.1. Tekli sistemler mikroyapı görüntüleri

Mikroyapı görüntülerinde çekme test çubuklarından çekme yönünde alınan numuneler yatay, çekme yönüne dik alınan numuneler ise dikey görüntülerle verilmektedir. Bu SEM görüntüleri normal yüzeylerden alınmıştır.

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde, arayüzey bağının önemli bir yeri vardır. Bileşenler arasındaki adhezyon dayanımı kompozit malzemelerin dayanımını belirlemektedir (Fu ve diğerleri, 2008). BMC hamur sistemlerindeki dolgulu polyester ile kırpıntı cam elyaflar arasındaki arayüzey bağı, BMC hamurun dayanımında önemli rol almaktadır. Bu da en iyi mikroyapı ve SEM görüntüleri ile incelenebilmektedir.

12mm kırpıntı elyafın kullanıldığı tekli sistemlerde çekme mukavemetinde en kötü sonuç (12MPa) Barit katkılı 012 BMC hamura aittir. Barit katkılı hamur ile ilgili SEM görüntüleri Şekil 6.13.'te verilmiştir.

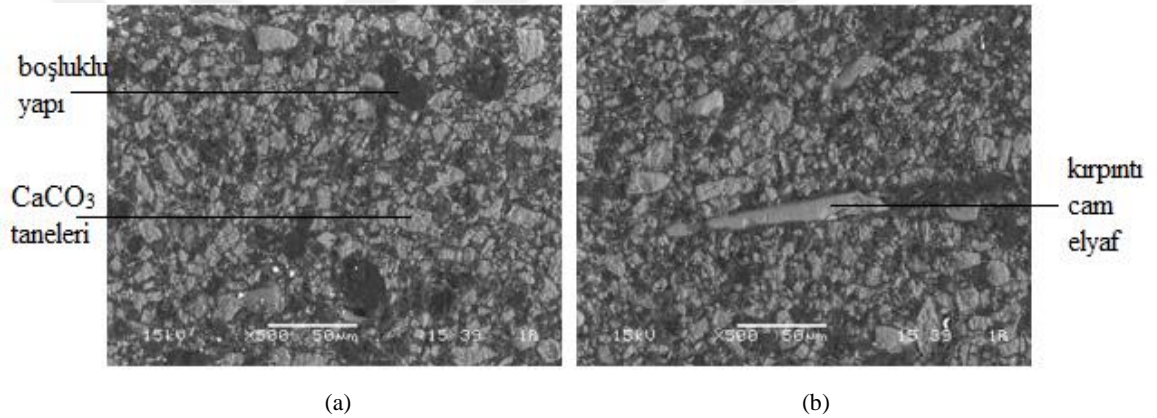


Şekil 6.13. Barit dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b) yatay

Şekil 6.13.(a)'da daire şeklinde elyaflar görünürken, Şekil 6.13.(b) yatay görüntülerinde elyaf yönlendirmeleri bariz şekilde görülmektedir. Mikroyapı içinde barit varlığını da beyaz, parlak tanelerden anlamaktayız. Özellikle tekli sistemlerdeki barit katkısında görülen akışkan yapı, dolgu oranının maksimum oranda tutulmasına rağmen kendisini

koruduğunu göstermiştir. Çekme mukavemeti değerinde de mevcut bu akışkan ve sıvı matris yapısında kırpıntı cam elyafın sağlam tutunamadığı düşünülmektedir. Barit katkısı ile en iyi çekme mukavemet değerinin (20MPa) 001-yanmaz hamurda elde edilmesi bu düşüncüyü de destekler niteliktedir. Şekil 6.13.(b)'de yatay görüntüden de görüldüğü üzere kırpıntı cam elyaf ortadan kırılmıştır. Bazı bölgelerde ise kırpıntı cam elyaf ile dolgulu polyester (matris malzemesi) arasında ayrılmalar (boşluklu yapılar) meydana gelmiştir. Şekil 6.13.(b)'de verilen yatay mikroyapı görüntüsünde bu boşluklar büyük ve barizdir.

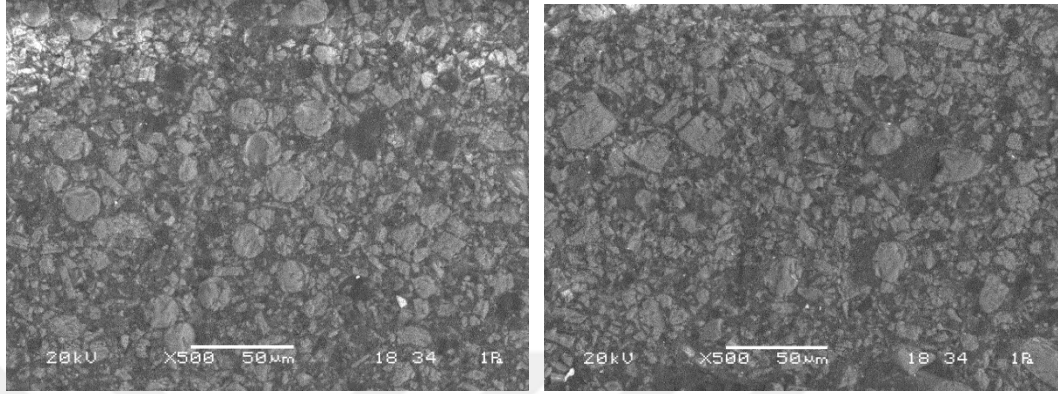
012 BMC hamur için çekme mukavemeti en iyi sonucu (17MPa) Kalsit katkısı ile sağlanmıştır. Mikroyapı görüntüleri Şekil 6.14'te 500X büyütme ile verilmiştir.



Şekil 6.14. Kalsit dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b) yatay

Kalsit, polyester reçineye (matris yapıya) bağlanma ve matriste homojen olarak dağılma kabiliyeti olan bir dolgu malzemesi olduğu için çekme ve eğme mukavemetlerinin yüksek çıkması beklenen bir durumdur. Bu çalışmada tüm hamur sistemleri için kalsitin daha çok yüksek eğme mukavemeti değerlerini sağladığı Şekil 6.5'te yorumlanmıştı. 012 BMC hamurda bağlanma ve dağılımın sağlanabildiği görülmektedir. Boşluklu yapı varlığı da Şekil 13'teki barite göre daha azdır. Şekil 6.14.(a) ve Şekil 6.14.(b)'de barit tanelerine göre daha iri kalsit taneleri görülmektedir. Ayrıca kalsitin Mohs sertlik skalasına göre değeri 3'tür. Bu değere göre kalsitin yumuşak bir sertlik değerine sahip olduğu söylenebilir.

6 mm kırpıntı cam elyafın kullanıldığı tekli sistemde çekme mukavemeti için en kötü sonuç (11MPa) kalsit katkısında elde edilmiştir. SEM görüntüleri ve Şekil 6.15.'de verilmiştir.



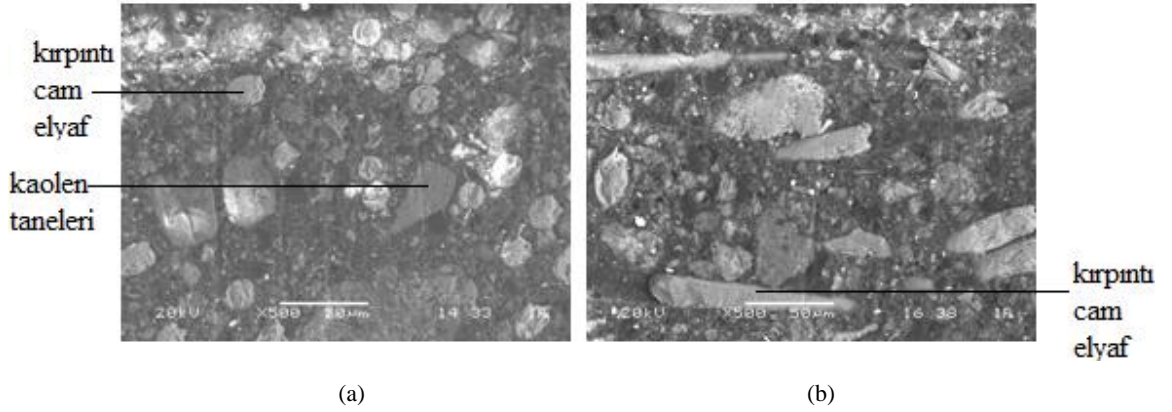
(a)

(b)

Şekil 6.15. Kalsit dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b)yatay

Mikroyapı görüntülerinden Şekil 6.15.(a)'ya bakıldığında 6mm kırpıntı cam elyafların çekme kuvvetiyle aynı yönde homojen dağıldığı ve genellikle matris yapıda tutunduğu görülmektedir. Şekil 6.14'teki kalsit dolgulu 012 BMC hamurda görülen yapılar burada da görülebilmektedir. Ancak buradaki 6mm kırpıntı cam elyafların yapıdaki tutunması ve dağılımı daha bariz görülebilmektedir. Ancak Şekil 6.15.(b)'de verilen yatay görüntülerde elyafların uzun ve yönlenmiş bir şekilde matriste bulunmadığı ve boşlukların olduğu görülmektedir.

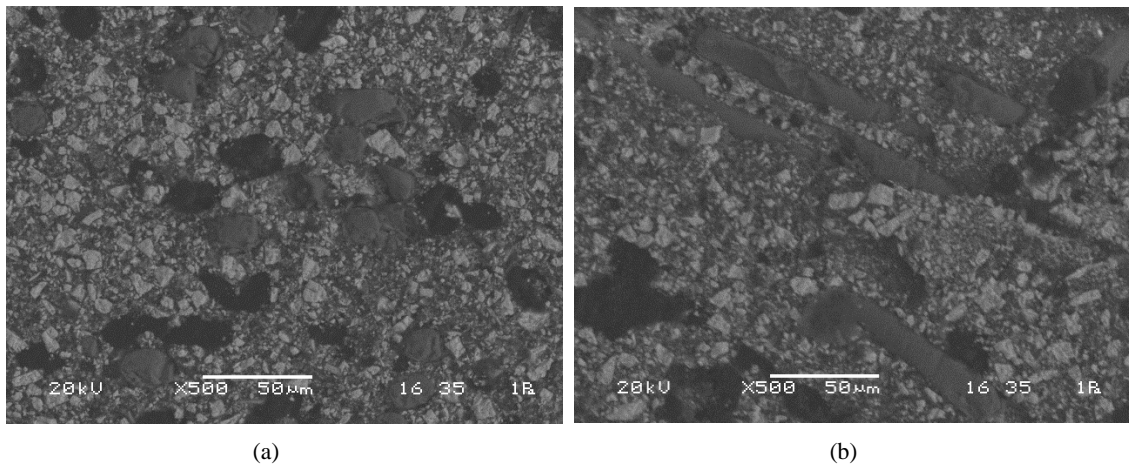
6 mm kırpıntı cam elyafın kullanıldığı tekli sistemde çekme mukavemeti için en iyi sonuç (17MPa) hem kaolen hem de barit katkısı için elde edilmiştir. Kaolen için alınan 500X büyütmedeki SEM görüntüleri Şekil 6.16'da verilmiştir.



Şekil 6.16. Kaolen dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b) yatay

Kaolen katkılı 006 BMC hamur için verilen Şekil 6.16.(a)'daki dikey ve Şekil 6.16.(b)'deki yatay görüntüde kırpıntı cam elyafların iyi yönlendiği ve matris yapıda homojen dağıldığı görülmektedir. Az miktarda katılan kaolen katkısının yanında değiştirilmeyen bileşenlerin elyaf ile uyumu da gözden kaçırılmamalıdır. Bu uyum, 006 BMC hamurda kaolen ve baritte, kalsite göre daha iyi sağlanmıştır. Ayrıca kaolen taneleri Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'teki kalsit mikroyapılarına bakıldığında daha iridir.

006 BMC hamur sistemi için en iyi çekme mukavemeti sonuçlarından (17MPa) biri de baritte sağlanmıştır. SEM görüntüleri Şekil 6.17'de verilmiştir.

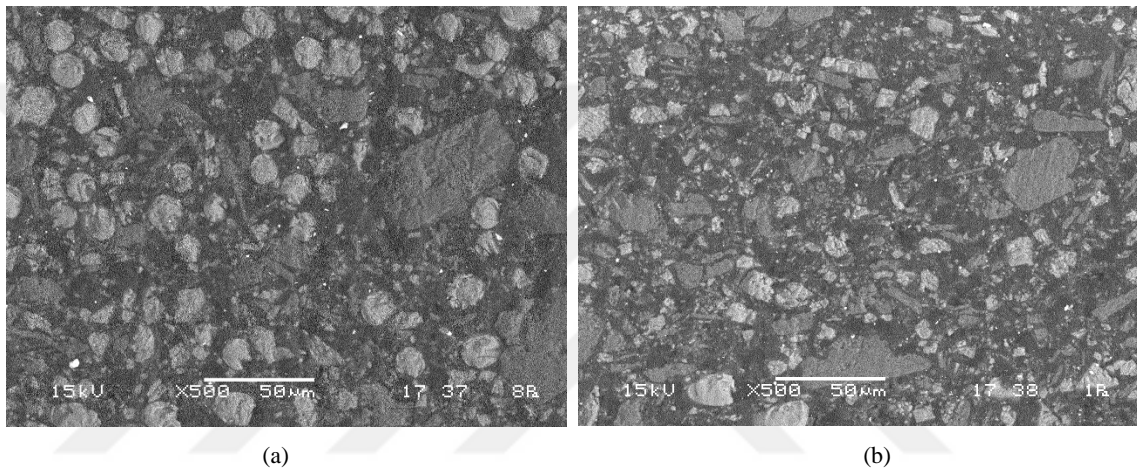


Şekil 6.17.Barit dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b) yatay

Baritin genel olarak akışkan bir hamur kıvamı oluşturması 012 BMC hamurda çekme mukavemetinde en düşük değeri almasına sebep olsa da 006 BMC hamurdaki 6mm

kırpıntı cam elyaf için daha iyi bir tutunma yüzeyi sağlamıştır. Bunu Şekil 6.17.(a)'daki dikey ve Şekil 6.17.(b)'deki yatay SEM görüntülerinden anlamaktayız. Bununla birlikte iri siyah yapılar ile yapıdaki boşluklar görülmektedir. Şekil 6.17.(b)'de 6mm kırpıntı cam elyafın çekme yönünde yönlendiği de tespit edilmiştir.

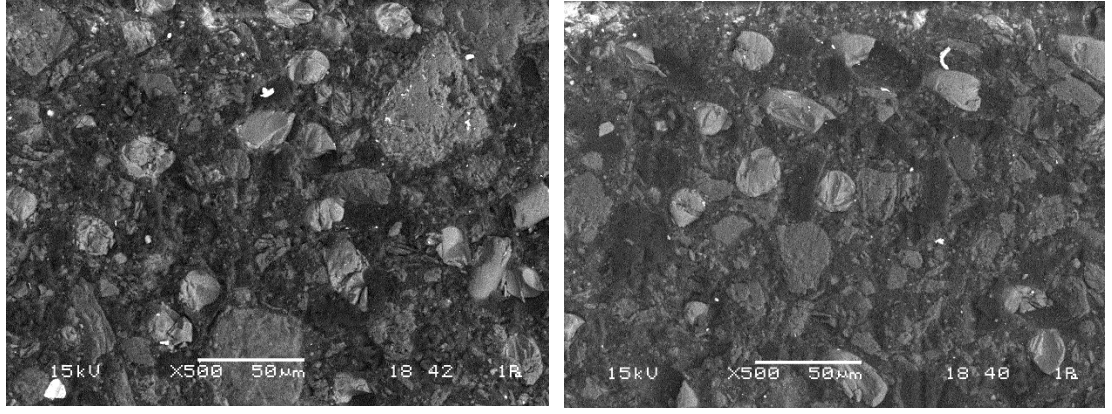
Yanmaz hamur için elde edilen en kötü çekme mukavemeti değeri (15MPa) 006 BMC hamurda olduğu gibi kalsit katkısına aittir. Buna göre SEM görüntüleri Şekil 6.18'de verilmiştir.



Şekil 6.18.Kalsit dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b)yatay

Şekil 6.3'teki grafik hatırlanacak olursa 001-yanmaz hamur için de en yüksek eğme mukavemeti değeri kalsit katkısı ile sağlanmıştı. Kalsit için en iyi çekme mukavemeti değeri ise 012 BMC hamurda görülmüştü. Burada tek farklı bileşenin martinal olduğu bilinmektedir. Şekil 6.18.(a)'da kırpıntı cam elyafların çekme yönüne dik doğrultuda homojen dağılımına ek olarak kalsitin iri tanelerle yapıdaki varlığı görülmektedir. Şekil 6.18.(b)'de ise yatay doğrultuda da bu iri kalsit tanelerine rastlanmıştır. Şekil 6.16'da görülen iri kaolen tanelerine karşılık bu görüntülerde kalsit için de iri tanelere rastlanmıştır.

001-yanmaz BMC hamur için en iyi çekme mukavemeti sonuçları (20MPa) ise kaolen ve barit katkısına aittir. Kaolen katkılı BMC hamura ait mikroyapı görüntüleri Şekil 6.19'da verilmiştir.



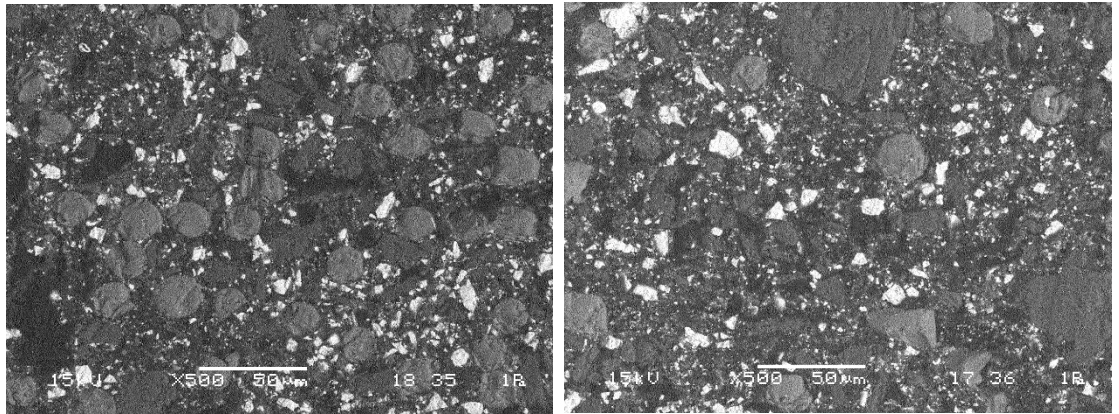
(a)

(b)

Şekil 6.19.Kaolen dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b) yatay

Özellikle Şekil 6.19.(b)'deki SEM görüntüsünde daha net görülen siyah noktalar, elyafın kopmasıyla oluşan boşluklardır. Bu boşluklar kırılma yüzeyi görüntülerinde daha net görülecektir. Kaolende bu siyah noktalar var olsa da Şekil 6.19.(a)'da görülen çekme yönüne dik doğrultuda daha mukavim bir ana malzemeden bahsetmek mümkündür.

001-yanmaz hamur için en iyi çekme mukavemeti sonuçlarından (20MPa) bir diğeri de barit dolgusuna aittir. SEM'de alınan mikroyapı görüntüleri Şekil 6.20.'de verilmiştir.



(a)

(b)

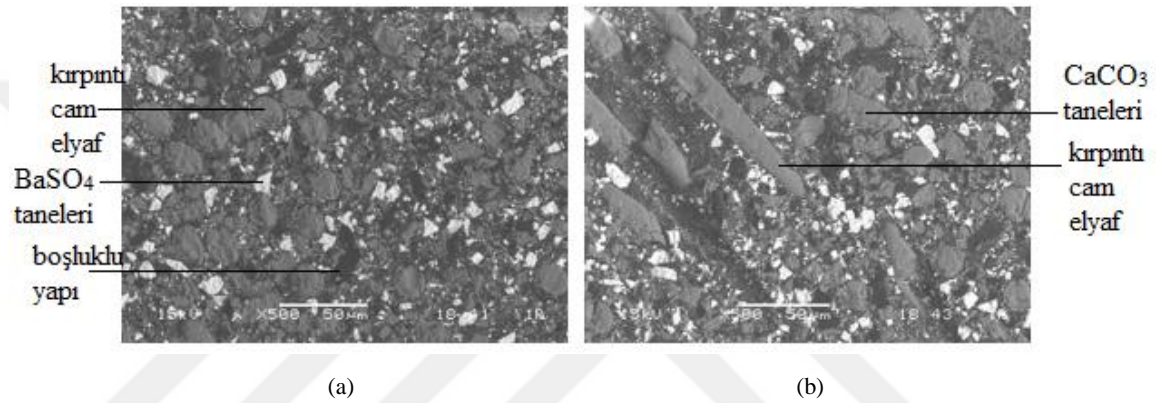
Şekil 6.20.Barit dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b) yatay

Barit katkısı martinal ile uyumlu bir yapı oluşturmuş ve 012 BMC hamurdaki en düşük çekme mukavemetine göre en yüksek çekme mukavemeti değerini 001-yanmaz hamurda sağlamıştır. Şekil 6.20.(a)'dan da görüleceği üzere genel olarak elyafın ana

yapıda daha sık bulunduğu görülmektedir. Şekil 6.20.(a) ve Şekil 6.20.(b)'de de görülen parlak, beyaz taneler barit yapısındaki sülfatın varlığı sebebiyledir.

6.2.2. İkili kombinasyonlar mikroyapı görüntüleri

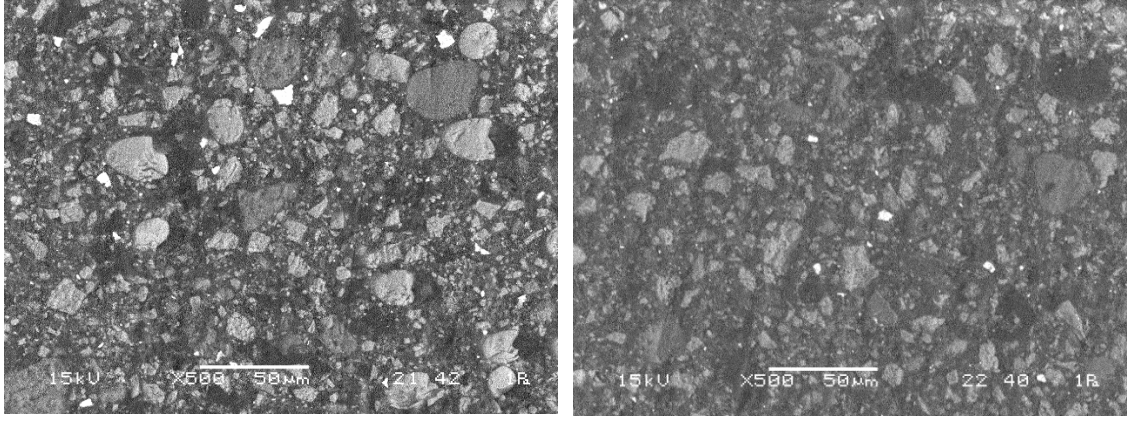
012 BMC hamur için hazırlanan ikili kombinasyon sistemlerinde çekme mukavemeti için elde edilen en kötü değer (15MPa) Barit-Kalsit kombinasyonuna aittir. SEM görüntüleri Şekil 6.21'de verilmiştir.



Şekil 6.21. Barit – Kalsit kombinasyonu ile hazırlanan 012 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b) yatay

Barit ve Kalsit kombinasyonu oluşturulurken miktar olarak birbirine yakın katılmıştır. Bunun için sabit tutulan sıvı miktarı ve diğer bileşenler uygun olmuştur. Kıvam ve elyafların ıslatılması olarak başarılı bir hamur hazırlama aşaması yaşansa da Şekil 6.21.(b)'de görüldüğü gibi elyafların sıyrılıp yerini terketme durumu söz konusudur. Şekil 6.21.(a)'da görülen yapıda genel olarak siyah noktaların (boşlukların) varlığından söz edilebilmektedir.

012 BMC hamur için hazırlanan kombinasyonlardan Kaolen – Kalsit ve Barit – Kaolen ile çekme mukavemeti için en iyi sonuçlar (18MPa) alınmıştır. Buna göre Kaolen – Kalsit için alınan SEM görüntüleri Şekil 6.22'de verilmiştir.



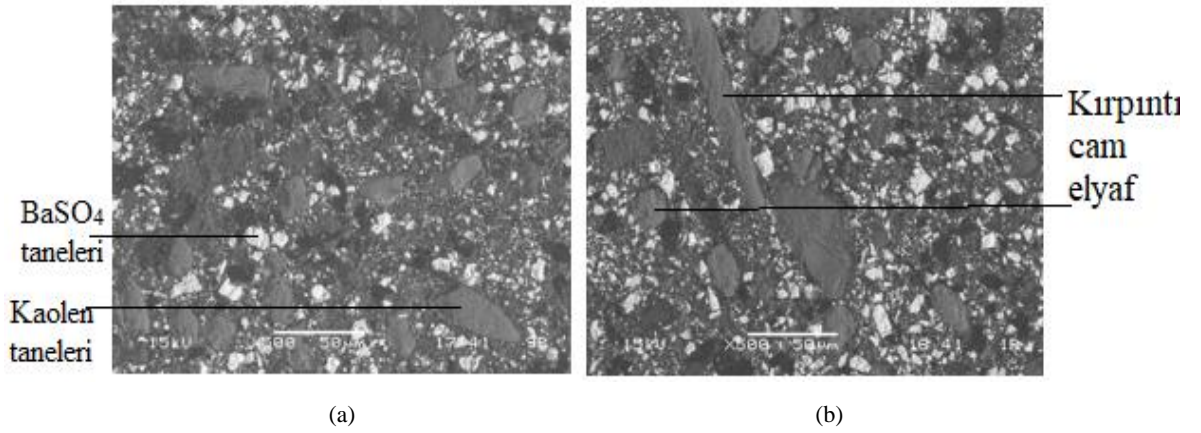
(a)

(b)

Şekil 6.22. Kaolen – Kalsit kombinasyonu ile hazırlanan 012 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b) yatay

Kaolenli kombinasyonlarda kaolen hep ilk katılan dolgu olmuştur. Kaolen yapısı gereği, su sever (hidrofilik) özelliğe sahiptir. Bu özelliği sayesinde tabakaları arasında su molekülleri oluşmaktadır. Bu da kırpıntı cam elyafların dolgulu polyesterde tutunmasını zorlaştırmaktadır. Bu sebeple kaolenin ana malzemeye yedirilmesi ardından kalsit katılmıştır. Daha mukavim bir arayüzey bağı oluşturmak için izlenen bu yol kaolenin negatif durumunu azaltmıştır denilebilir. Şekil 6.22.(a) ve Şekil 6.22.(b)'de görülen yapıdaki siyah boşluklara rağmen çekme mukavemet değeri yüksek elde edilmiştir.

Diğer en iyi çekme mukavemeti sonucu (18MPa) olan Barit – Kaolen için SEM görüntüleri de Şekil 6.23'de verilmiştir.



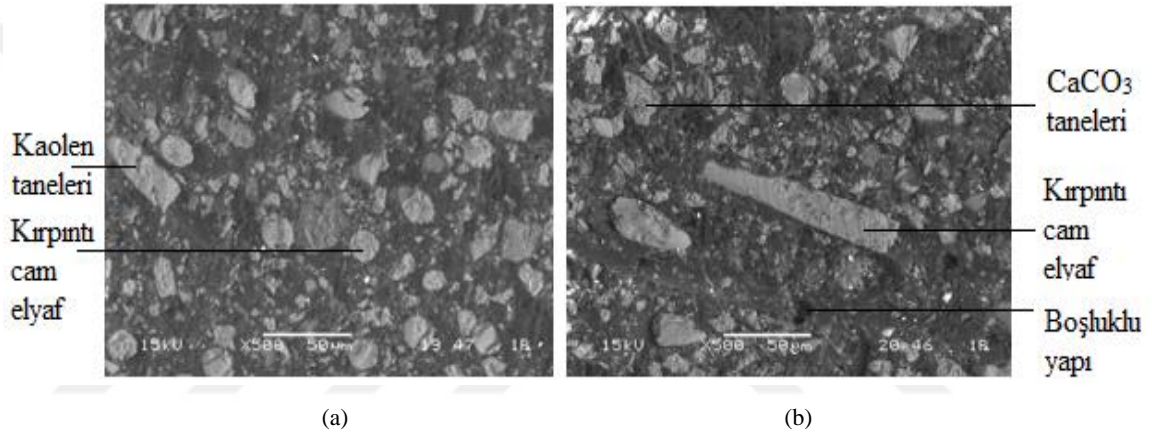
(a)

(b)

Şekil 6.23. Barit – Kaolen kombinasyonu ile hazırlanan 012 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b) yatay

Kalsit – Kaolen kombinasyonundaki durum Barit – Kaolen’de de yaşanmıştır. Kaolen ilk katkı olarak katıldığı sistemde barit ile iyi bir kıvam oluşturmuş ve kırpıntı cam elyaflar için iyi bir ıslanma sağlamıştır. Yapıdaki barit varlığı Şekil 6.23.(a) ve Şekil 6.23.(b)’deki parlak tanelerden anlaşılmaktadır. Ayrıca Şekil 6.23.(b)’de çekme yönüne yatay doğrultuda elyafların sıyrıldığını da görmek mümkündür.

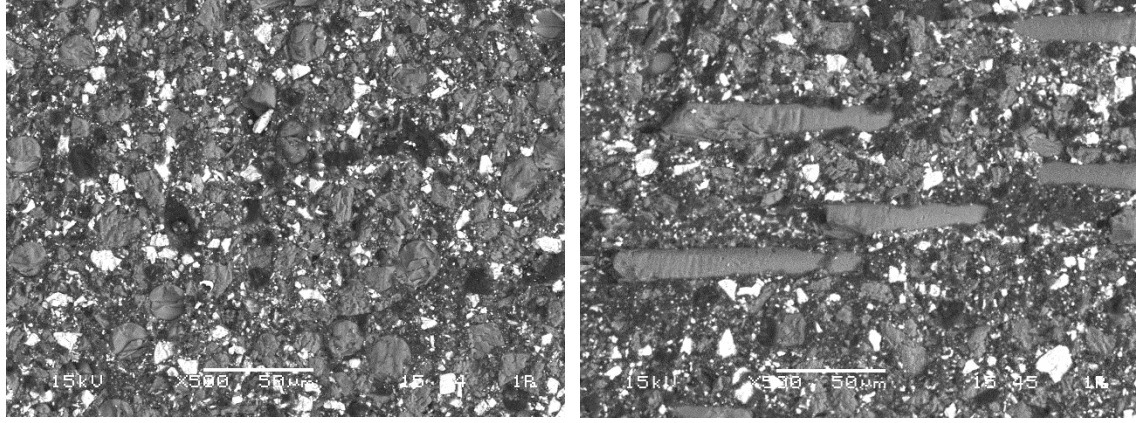
006 BMC hamur için hazırlanan kombinasyonlarda en kötü çekme mukavemeti sonucu (12MPa) Kaolen – Kalsit kombinasyonu ile elde edilmiştir. SEM görüntüleri Şekil 6.24’te verilmiştir.



Şekil 6.24. Kaolen – Kalsit kombinasyonu ile hazırlanan 006 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b) yatay

6mm kırpıntı cam elyafların kullanıldığı sistemde 012 BMC hamura göre en kötü çekme mukavemeti değeri Kaolen–Kalsit sisteminde görülmüştür. Dikkat edilecek olursa özellikle Şekil 6.24.(b)’deki siyah noktaların derin boşluklar olduğu görülmektedir. Kırpıntı cam elyafların ıslanmasında problem yaşandığı ve elyafların matris yapıya tutunmada mukavemet gösteremediği Şekil 6.24.(a)’dan ve Şekil 6.24.(b)’den anlaşılmaktadır.

6mm kırpıntı elyaf ile hazırlanan 006 BMC hamurda çekme mukavemeti için elde edilen en iyi kombinasyon değeri (14MPa) Barit – Kalsit ile sağlanmıştır. Mikroyapı görüntüleri Şekil 6.25’de verilmiştir.



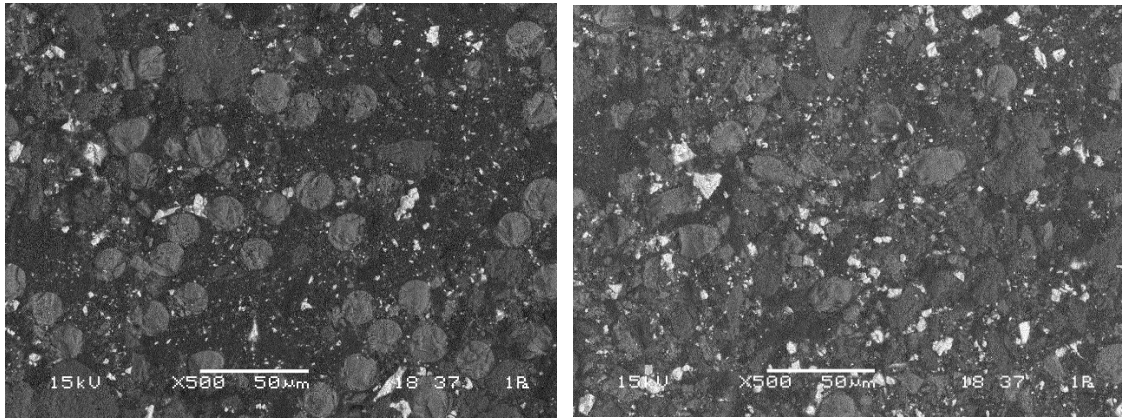
(a)

(b)

Şekil 6.25. Barit – Kalsit kombinasyonu ile hazırlanan 006 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b)yatay

Barit–Kalsit kombinasyonu 012 BMC hamura göre farklı bir görüntü ve çekme mukavemeti değeri sergilemektedir. Barit dolgusunun yapısı gereği hamuru sıvı bir kıvamda bırakması yanında kalsit ile kıvam sağlanmıştır. Şekil 6.25.(a) ve Şekil 6.25.(b)'den de görüleceği üzere yoğun ve 6mm kırpıntı cam elyafların homojen olarak dağıldığı bir matris yapısından söz etmek mümkündür. Ancak buna rağmen siyah noktasal şekilde boşluklarda söz konusudur.

001 yanmaz- BMC hamur için hazırlanan kombinasyonlardan en kötü çekme mukavemeti değeri (11MPa) Barit – Kalsit kombinasyonu için bulunmuştur. SEM görüntüleri Şekil 6.26'da verilmiştir.



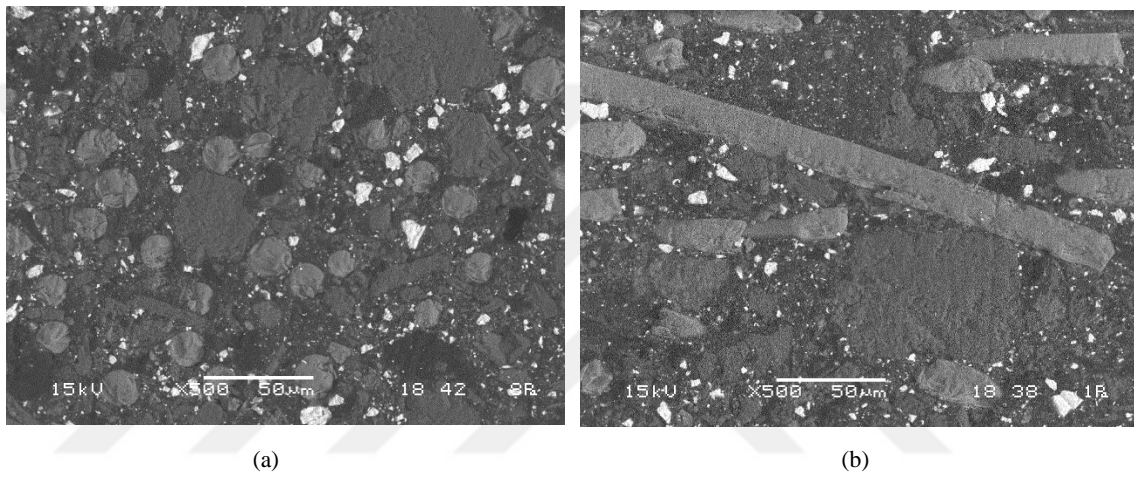
(a)

(b)

Şekil 6.26. Barit – Kalsit kombinasyonu ile hazırlanan 001 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b)yatay

Şekil 6.26.(a)'da 001-yanmaz BMC hamur için Barit–Kalsit kombinasyonu ile ana malzemede kırpıntı cam elyafın iyi dağılamadığı, büyük ve uzun boşlukların olduğu görülmektedir. Arayüzey bağı bu büyük ve uzun boşluklarla azalmıştır. Bu durum çekme mukavemeti değerinin de düşük çıkmasına sebep olmuştur. Şekil 6.26.(b)'de çekme yönüne yatay görüntü de yapıdaki boşluklar daha az görünmektedir.

001 yanmaz-BMC hamur için en iyi çekme mukavemeti değeri (20MPa) ise Barit – Kaolen kombinasyonunda sağlanmıştır. Mikroyapı görüntüleri Şekil 6.27'de verilmiştir.



Şekil 6.27. Barit – Kaolen kombinasyonu ile hazırlanan 001 BMC hamur 500X büyütme, (a) dikey, (b) yatay

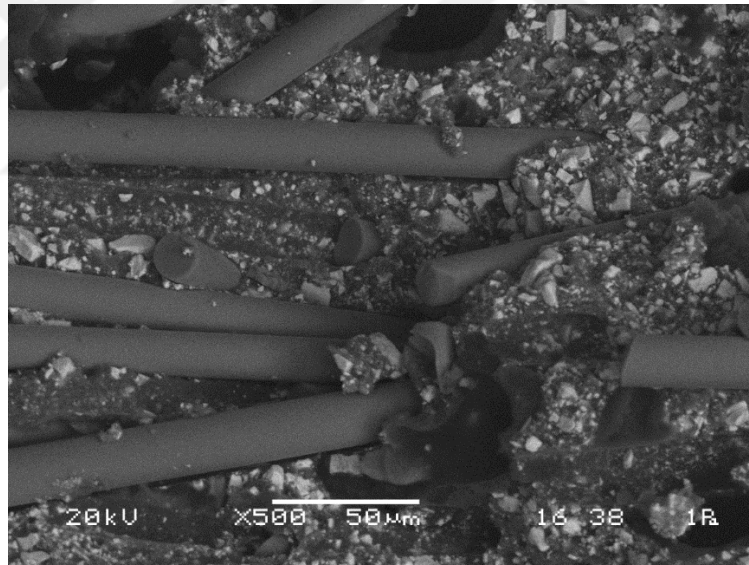
Şekil 6.27.(a)'dan görüleceği üzere Barit–Kaolen kombinasyonu ile yapıdaki boşluklar azaltılmış ve Şekil 6.27.(b)'deki gibi 12mm kırpıntı cam elyafın yönlenmesi ve dağılımı istenildiği gibidir. Elyaf lar genel olarak matris yapıda gömülü vaziyettedir. Kaolenin iri taneleri yapıda genel olarak hakimdir. Yapıda dolgu malzemesi olarak barit miktarı daha fazla olsa da bu görüntülerde kaolen daha çok göz önündedir.

6.2.3. Tekli sistemlerde kırılma yüzeyi görüntüleri

Gümölcine ve arkadaşları (Gümölcine ve diğerleri, 2013) izoftalik polyester matrisli sürekli E-camı ve bazalt fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine yaptığı deneysel çalışmada çekme testi sonucu kırılma yüzeylerinden alınan kesitlerin SEM görüntülerini incelediğinde E-camı takviyeli olan kırık kesitte fiberlerin üzerlerinde az miktarda matris kalıntısı kaldığını, ancak bazalt takviyeli olan kırık

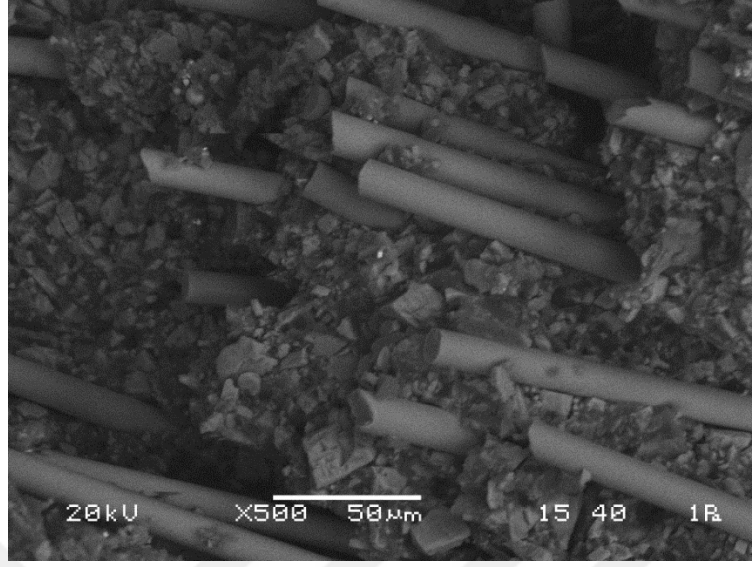
kesitte fiberlerin büyük çoğunluğunun kalın bir matris tabakası kaplı olduğunu görmüşlerdir. Bu görüntülerden E-camı takviyeli kompozitte kopmanın fiber-matris arayüzeyinde meydana geldiği, bu nedenle E-camı takviyeli kompozitlerde arayüzey bağlantısının zayıf olduğu yorumunu yapmışlardır. Bazalt takviyeli kompozitte ise kırık kesitte fiberlerin üzerlerinin matris kaplı olması kırılmanın matriste gerçekleştiği ve arayüzey bağlantısının kuvvetli olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

En kötü çekme mukavemeti değerinin elde edildiği barit katkılı 012 hamur kırılma yüzeyine Şekil 6.28'e bakıldığında elyafların yerlerinden koptuğunu ve büyük boşlukların oluştuğunu görmek mümkündür. Mikroyapı görüntülerinde değinildiği gibi baritin akışkan yapısı elyafların ıslatılmasında yeterli olmamıştır. Dolgulu İzofthalik polyesterin cam elyafı ıslatmada yeterli olmadığı görülmektedir. Ayrıca elyaflar ana yapı içinde homojen dağılamamış, üst üste binmiştir.



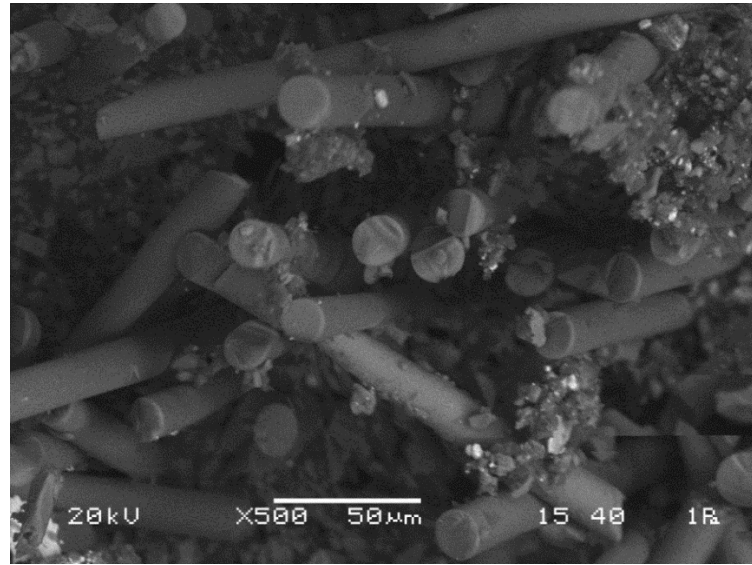
Şekil 6.28. Barit dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme

En iyi çekme mukavemet değerinin elde edildiği kalsit katkılı 012 BMC hamurun Şekil 6.29'da verilen kırılma yüzeyi görüntüsünden de anlaşılacağı üzere elyaflar matris malzemesine tutunmada başarılıdır. Yoğun bir elyaf varlığından söz etmek mümkündür. Elyaflar ana yapı içinde gömülüdür. Ancak elyafların etrafında kısmen matris malzemeyi görmekteyiz. Buradan da elyaf-matris arayüzey bağlantısının çok iyi olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır.



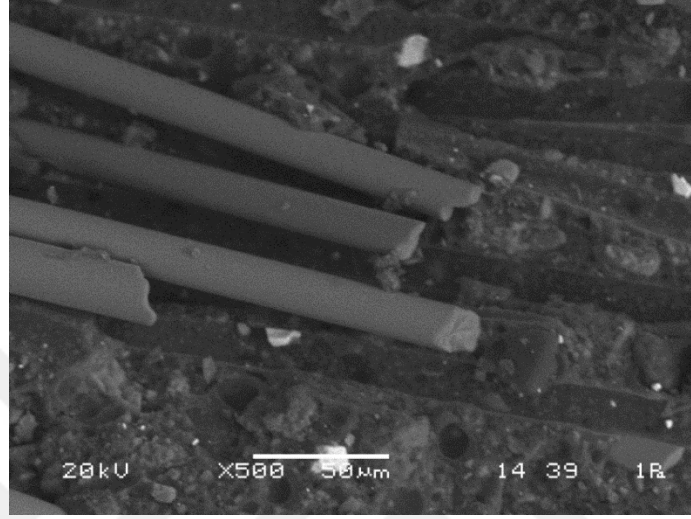
Şekil 6.29.Kalsit dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme

6mm kırpıntı cam elyaf kullanılan 006 BMC hamur için elde edilen en kötü çekme mukavemet değeri kalsit dolgusuna aittir. Şekil 6.30'da kırpıntı elyafların kırıldığını ve homojen olarak matris malzemesine dağılmadığını görmek mümkündür. Kırpıntı cam elyafın yer yer iyi ıslandığı görülse de belli bazı bölümler yığılma ve kümelenmeler oluşmuştur. Ancak 006 BMC hamur sisteminde elyaf-matris yapısı arasında iyi bir arayüzey bağı oluştuğunu Şekil 6.30'daki elyafların etrafındaki matris yapının varlığından ötürü söyleyebiliriz.



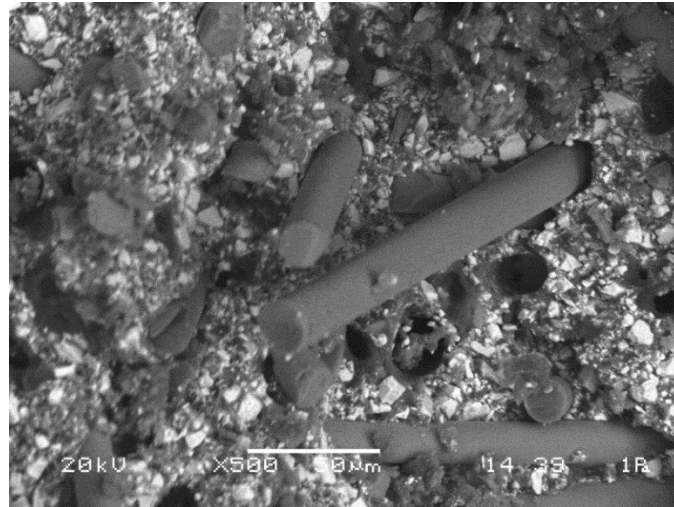
Şekil 6.30.Kalsit dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme

006 BMC hamur için en iyi çekme mukavemeti değerleri Kaolen ve Barit dolgularında sağlanmıştır. Şekil 6.31'den kaolenin kırılma yüzeyi görüntülerine bakıldığında kopan elyafların matristen sıyrılarak koptuğunu ve elyaf-matris arayüzeyinden bu kopmaların yaşandığını söylemek mümkündür.



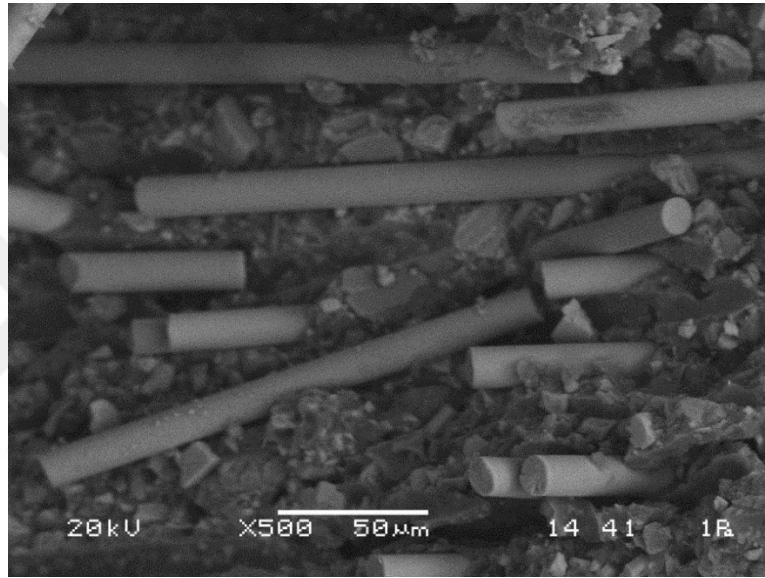
Şekil 6.31. Kaolen dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme

Barit dolgusu ile hazırlanan 006 BMC hamurunun Şekil 6.32'den kırılma yüzeyi görüntülerine bakıldığında ise; baritin yapısında bulunan sülfat sebebiyle parlak bir matris yapısı oluştuğunu görmekteyiz. Elyaflar kırık ya da matristen sıyrılmış olsa da çoğunlukla matris yapıda gömülü olarak kalmıştır. 6mm kırpıntı cam elyaf için iyi bir ıslanma sağlanmıştır.



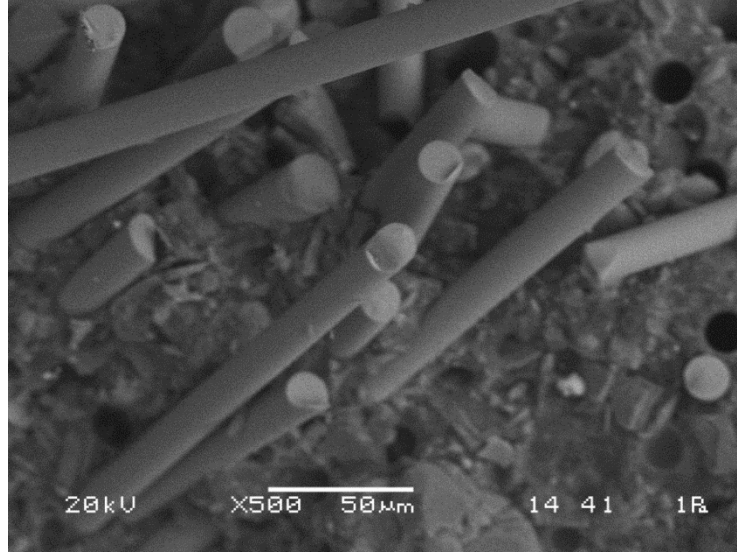
Şekil 6.32. Barit dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme

001-yanmaz hamur içeriğinde martinali de barındırdığı için diğer sistemlere göre bu hamurda daha az miktarda dolgu kullanılmıştır. Bunu göz önünde bulundurarak bir değerlendirme yapılacak olursa, 12mm kırpıntı cam elyaf kullanılan hamur yapısı için çekme mukavemetinin en kötü olduğu değer kalsit dolgusunda aittir. Şekil 6.33’de görüldüğü gibi elyafların bir kısmı matris malzemeye tutunsa da bir kısmı boşlukta kalmış veya kırılmıştır. Kırpıntı cam elyafların irili ufaklı kırılmış olduğu, bazı bölgelerde cam elyafı ile polyester malzemesi arasındaki bağın kalmadığı dahi görülmektedir.



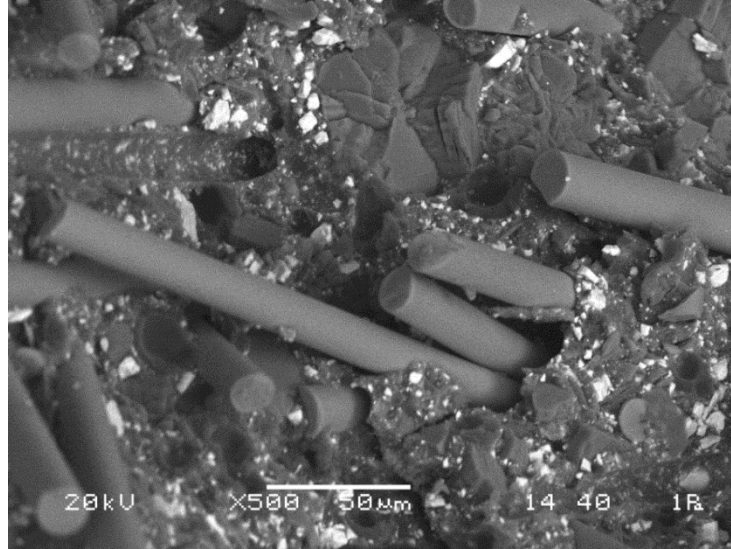
Şekil 6.33. Kalsit dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme

001-yanmaz BMC hamur için en iyi çekme mukavemeti değerine sahip olan Kaolen ve Barit dolgularının sırasıyla kırılma yüzeyi görüntüleri Şekil 6.34 ve Şekil 6.35’de verilmiştir. Buna göre kaolen için, matris malzemedan kopan elyafların olduğu görülse de büyük çoğunluğun matrise tutunduğu söylenebilir. Matris yapıya iyi bir tutunma ve yapı içinde başarılı bir yönelim söz konusudur. Ancak kopan elyafların etrafında bir matris yapıdan söz etmek mümkün değildir. Buradan da yaşanan kopmanın matris-elyaf arayüzeyinde olduğu bariz bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6.34. Kaolen dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme

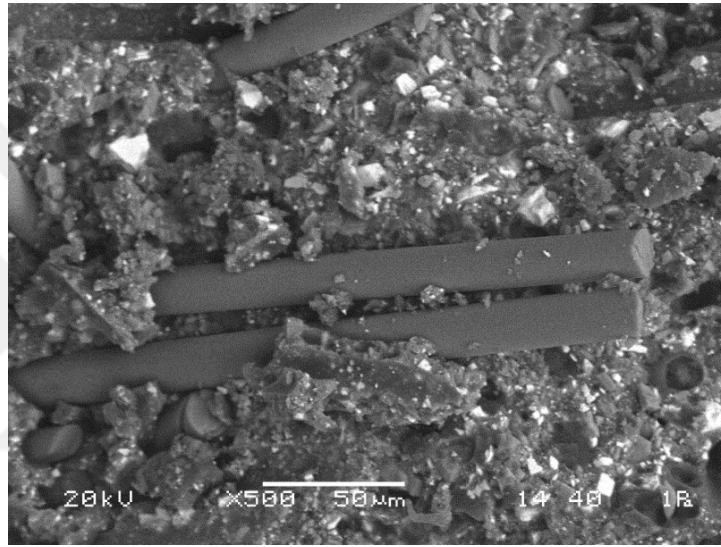
Diğer bir iyi çekme mukavemeti sonucunun elde edildiği dolgu olan barit ile hazırlanan 001-yanmaz BMC hamurun Şekil 6.35’de verilen kırılma yüzeyine bakılırsa, boşluklu yapı görülmektedir. Ancak bir taraftan elyaflar matris malzeye gömülü bir vaziyettedir. Çekme mukavemeti için dolgu miktarı ya da türünün yanında kırpıntı cam elyafların yapı içinde yönlenmesi ve dağılımının önemli olduğu söylenebilir.



Şekil 6.35. Barit dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme

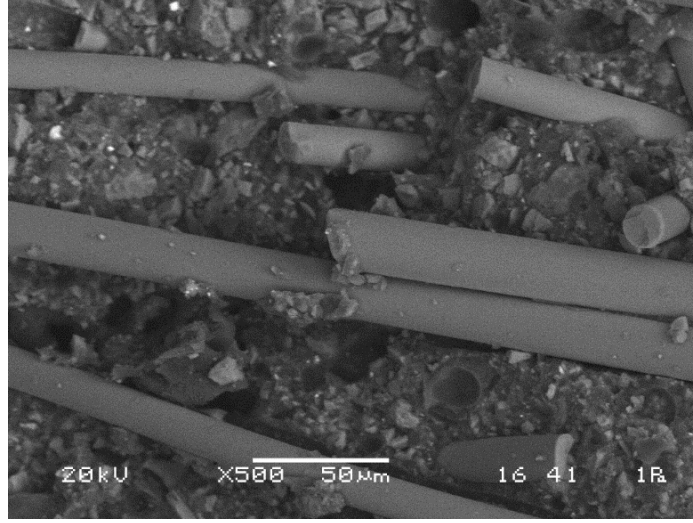
6.2.4. İkili kombinasyonlarda kırılma yüzeyi görüntüleri

012 BMC hamurda kullanılan ikili dolgu sistemlerinden en kötü çekme mukavemeti değeri Barit – Kalsit dolgu sistemine aittir. 012 BMC hamurun tekli sistemindeki barit dolgusuna göre daha az baryum sülfatın bulunduğu yapıda, Şekil 6.36’da görüldüğü üzere elyafların sıyrılıp kopması sonucunda oluşan boşluklar mevcuttur. Matris yapıda da yer yer dağınıklar söz konusudur. Buradan cam elyafı ile matris malzemesi arasındaki bağın daha zayıf olduğu sonucuna varılabilir.



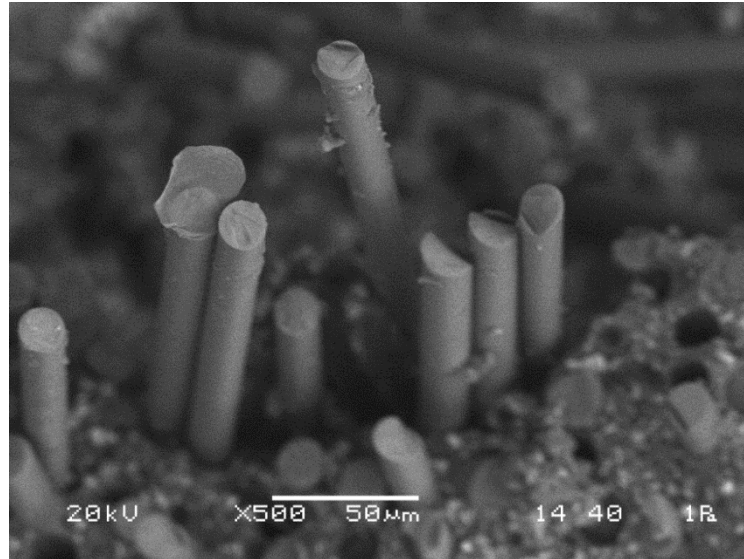
Şekil 6.36. Barit – Kalsit dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme

012 BMC hamur için hazırlanan kombinasyonlardan Kaolen – Kalsit ikili sistemi en iyi çekme mukavemeti değerinin elde edildiği sistemlerdendir. Şekil 6.37’de elyafların kısmen matris yapısı ile çevrelendiğini görmek mümkündür. Şekil 6.36.’da verilen Barit-Kalsit sistemi ile benzer olarak Şekil 6.37.’de de matris yapıda yer yer dağınıklar görülmektedir. Kırılmalar matris yapıda gerçekleşmiştir.



Şekil 6.37. Kaolen – Kalsit dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme

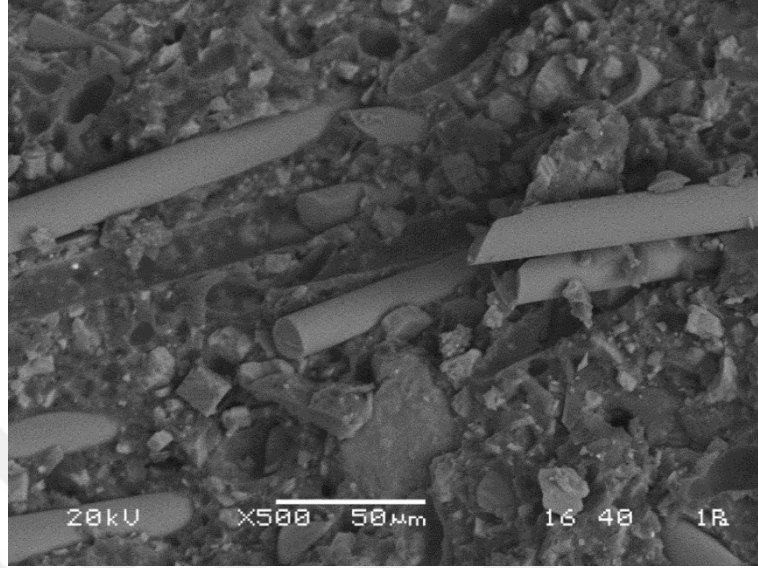
012 BMC hamur için çıkan en iyi çekme mukavemeti değerinden biri de Barit – Kaolen kombinasyonu ile sağlanmıştır. Şekil 6.38’de kırpıntı cam elyafların matris yapıda yoğun ve genelde bir yöne uzamış olduğu görülmektedir. Ayrıca Kaolen-Kalsit yapısında olduğu gibi elyafların etrafında kısmen matris malzemenin olduğu görülmektedir.



Şekil 6.38. Barit – Kaolen dolgulu 012 BMC hamur 500X büyütme

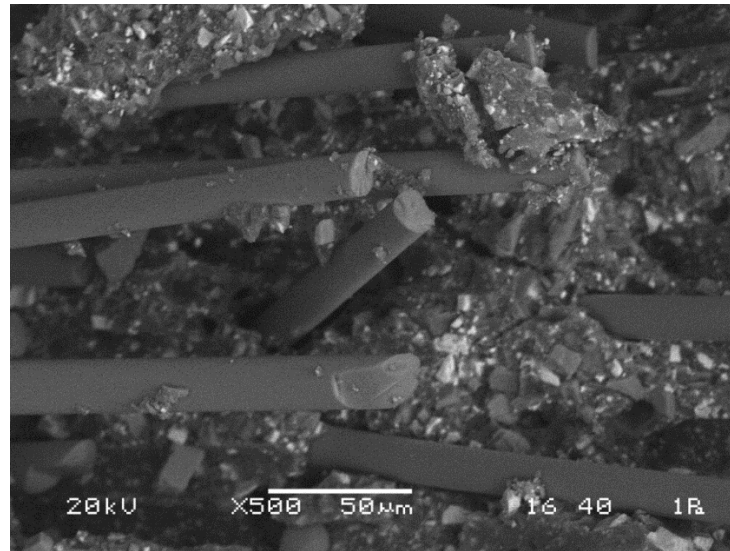
006 BMC hamur sistemi için hazırlanan kombinasyonlardan Kaolen – Kalsit kombinasyonu en kötü sonucun elde edildiği sistem olmuştur. Şekil 6.39’da sıyrılarak

kopan elyaflar görülmektedir. Cam elyafindaki kopmaların, matris malzemesi ile birlikte olduğu gözlemlenmiştir.



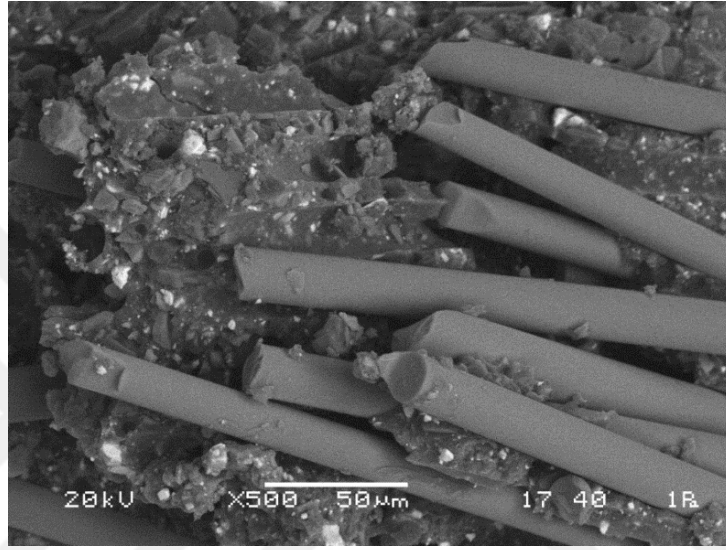
Şekil 6.39. Kaolen – Kalsit dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme

Barit – Kalsit kombinasyonu 006 BMC hamur sistemi için en iyi çekme mukavemeti değerini sağlamıştır. Şekil 6.40'ta görüldüğü üzere kırpıntı cam elyafların rastgele dağıldığı ve kırıldığı bir matris yapısı söz konusudur. Ayrıca elyafların etrafı yoğun bir matris yapısı ile çevrelenmiştir. Burada kırılmanın matris yapıda gerçekleştiği söylenebilir.



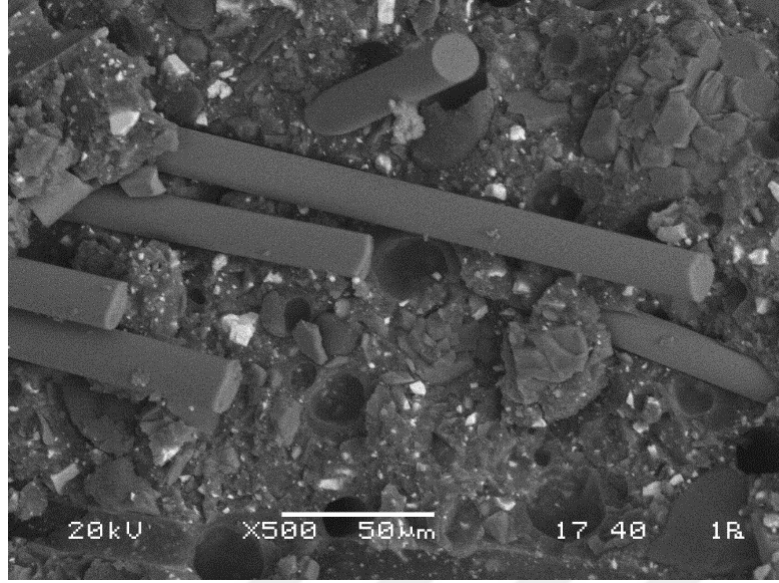
Şekil 6.40. Barit – Kalsit dolgulu 006 BMC hamur 500X büyütme

Barit – Kalsit kombinasyonu 001-yanmaz BMC hamur için çekme mukavemet değerinin en düşük olduğu değere sahiptir. Elyafın sıyrılması durumunun yanında Şekil 6.41’de görüldüğü üzere matris yapıda dağılmalar söz konusudur. Şekil 6.26.(a) ve Şekil 6.26.(b)’de görülen büyük boşlukların matris yapının dağılması ya da kopması sonucu oluşabileceği kırılma yüzeyi görüntüleri ile de görülmüştür. Matris yapıdaki dağılmanın en büyük nedeni matris-elyaf arasındaki zayıf arayüzey bağıdır.



Şekil 6.41. Barit – Kalsit dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme

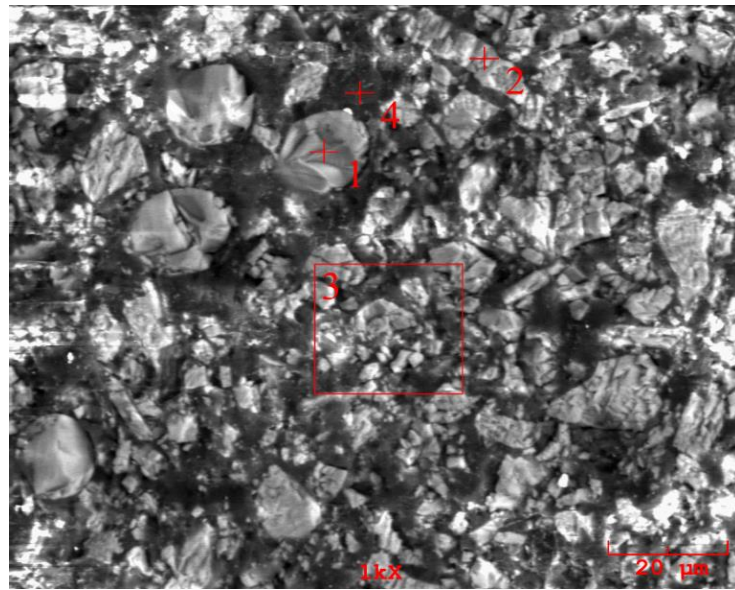
Barit – Kaolen kombinasyonu ise en iyi değerin elde edildiği 012 ve 001-yanmaz BMC hamur sistemidir. Şekil 6.42’de görülen barit ve kaolen arasındaki uyum ve oluşan matris malzeme, Şekil 6.41’deki Barit-Kalsit kombinasyonundan daha iyidir. Barit-Kaolen kombinasyonu matrisinde de yer yer dağılmalar söz konusu olsa da elyaflar matris yapıya gömülü vaziyettedir.



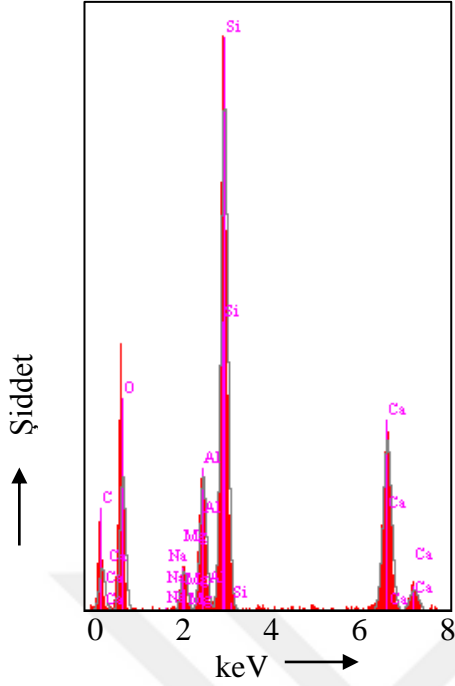
Şekil 6.42. Barit – Kaolen dolgulu 001 BMC hamur 500X büyütme

6.2.5. Tekli sistemlerde EDS analizi sonuçları

Mikroyapı ve kırılma yüzeyi incelenen tekli sistemlerin ve ikili kombinasyonların içeriği hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla EDS analizi yapılmıştır. Yapıdaki izoftalik polyester sebebiyle C ve O elementleri tüm analizlerde varlığını göstermiştir. Kırpıntı cam elyafların, dolgu tanelerinin ve siyah boşukların da analizi yapılarak mikroyapı görüntüleri üzerinden verilen bilgiler teyit edilmiştir.

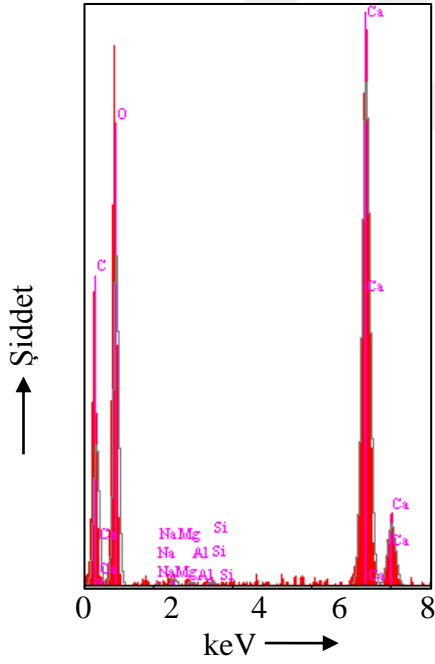


Şekil 6.43. Kalsit dolgulu 012 BMC hamur 1000X büyütmede EDS alınan noktaları



Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	27.58	3.320	14.725	ağ.%
O	Ka	80.95	5.688	29.868	ağ.%
Na	Ka	0.76	0.551	0.079	ağ.%
Mg	Ka	27.04	3.288	2.142	ağ.%
Al	Ka	92.77	6.090	7.032	ağ.%
Si	Ka	370.54	12.170	28.808	ağ.%
Ca	Ka	151.60	7.784	17.346	ağ.%

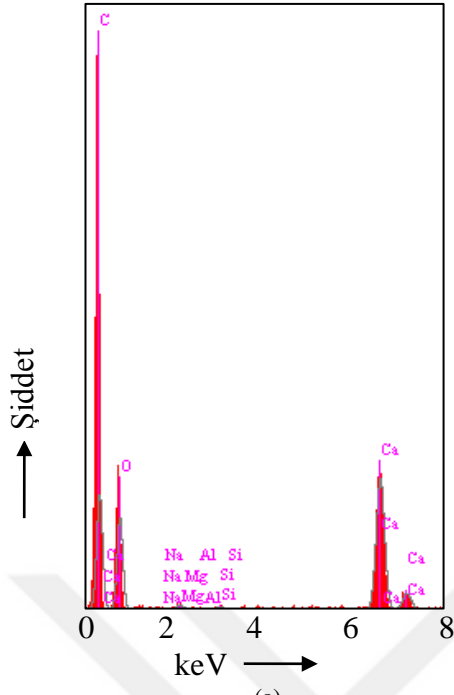
(a) (b)
Şekil 6.44. Şekil 6.43'de verilen 1. noktanın (a)EDS grafiği, (b) EDS sonuçları



Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsan t.	Birim
C	Ka	57.81	4.808	10.638	ağ.%
O	Ka	125.59	7.087	54.714	ağ.%
Na	Ka	0.84	0.580	0.121	ağ.%
Mg	Ka	3.11	1.115	0.325	ağ.%
Al	Ka	2.18	0.934	0.205	ağ.%
Si	Ka	2.48	0.997	0.211	ağ.%
Ca	Ka	284.23	10.662	33.786	ağ.%

(a) (b)
Şekil 6.45. Şekil 6.43'de verilen 2. noktanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

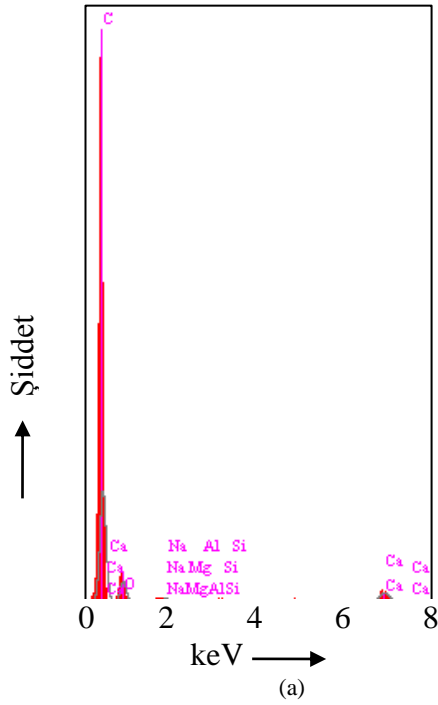
Şekil 6.43'de verilen 1.ve 2.nokta EDS'leri kırpıntı cam elyaflar üzerinden alınmıştır. Şekil 6.44. ve Şekil 6.45'deki değerler incelendiğinde, kalsiyumun 1.noktada az olup 2.noktada artması, 2.noktadaki kalsit varlığını göstermektedir.



Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	87.52	5.915	24.591	ağ.%
O	Ka	65.27	5.108	47.462	ağ.%
Na	Ka	1.22	0.699	0.272	ağ.%
Mg	Ka	3.50	1.183	0.572	ağ.%
Al	Ka	0.15	0.242	0.022	ağ.%
Si	Ka	2.62	1.023	0.355	ağ.%
Ca	Ka	138.65	7.445	26.726	ağ.%

Şekil 6.46. Şekil 6.43’de verilen 3 nolu alanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

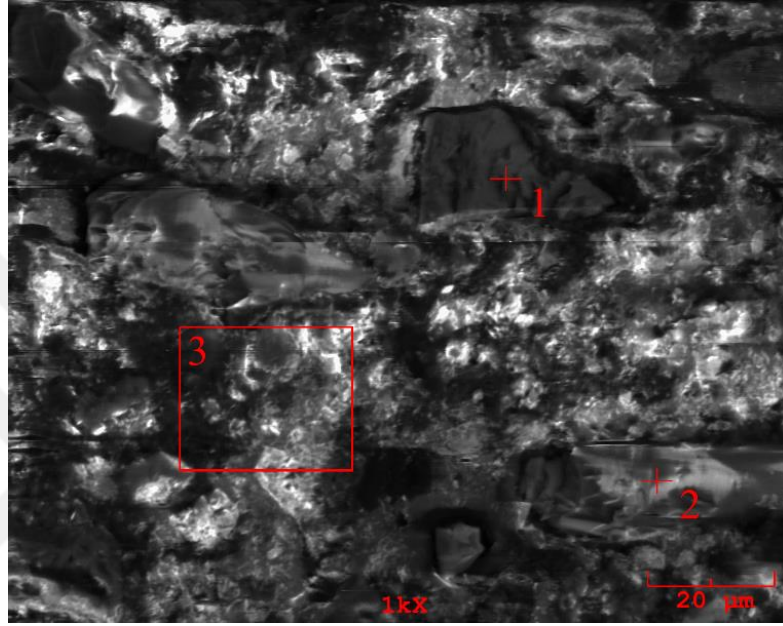
Şekil 6.43’deki 3 nolu alanın, Şekil 6.46’daki EDS analiz grafiği kalsit dolgulı bir yapıda olduğunu destekler niteliktedir.



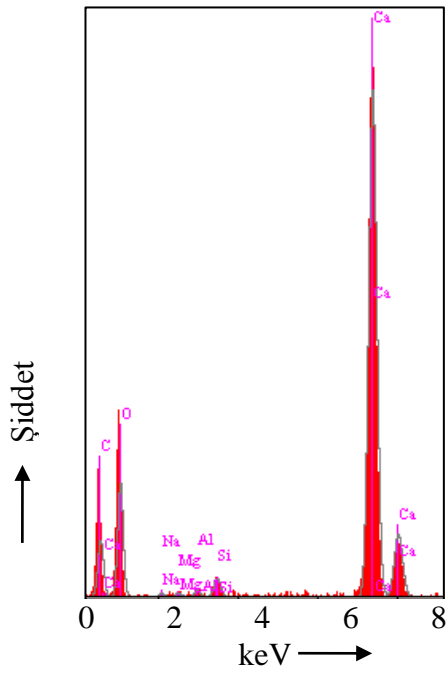
Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	194.95	8.830	61.179	ağ.%
O	Ka	31.61	3.556	31.600	ağ.%
Na	Ka	3.59	1.198	0.932	ağ.%
Mg	Ka	1.64	0.809	0.324	ağ.%
Al	Ka	2.33	0.966	0.429	ağ.%
Si	Ka	2.86	1.069	0.498	ağ.%
Ca	Ka	19.50	2.793	5.037	ağ.%

Şekil 6.47. Şekil 6.43’de verilen 4.noktanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

Şekil 6.43'deki 4 nolu alanın Şekil 6.47'de verilen EDS analiz grafiğine bakıldığında kırpıntı cam elyaf ile ilgili elementlerin en aza indiğini görmekteyiz. Buradan bu kısımdaki elyafın çekme testi sonrasında yerinden söküldüğünü söylememiz mümkündür. Böylece siyah noktaların (boşlukların) doğrulaması EDS analizi ile yapılmıştır.



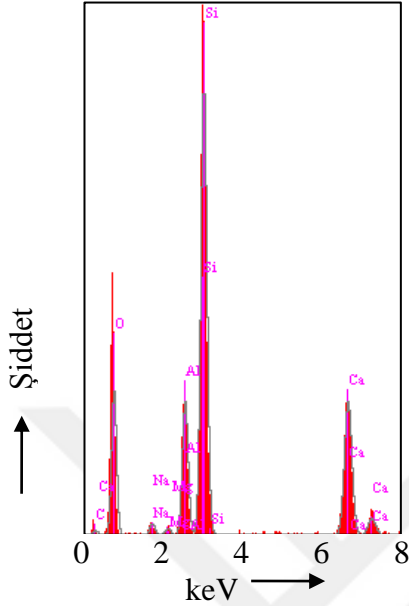
Şekil 6.48. Kaolen dolgulu 006 BMC hamur 1000X büyütmede EDS alınan noktalar



Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	42.95	4.145	10.085	ağ.%
O	Ka	79.88	5.652	49.606	ağ.%
Na	Ka	2.53	1.005	0.374	ağ.%
Mg	Ka	3.35	1.157	0.327	ağ.%
Al	Ka	5.89	1.535	0.472	ağ.%
Si	Ka	16.47	2.567	1.113	ağ.%
Ca	Ka	530.70	14.570	38.023	ağ.%

(a) (b)
Şekil 6.49. Şekil 6.48'de verilen 1.noktanın (a) EDS grafiği, (b)EDS sonuçları

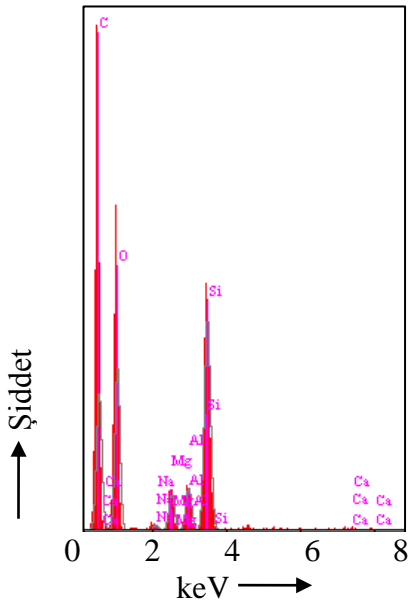
Şekil 6.47’de verilen 1.noktanın Şekil 6.49’daki EDS analizinde kalsiyum maksimum olarak çıkmıştır. Buradan dolgu tanesinin üzerinde durulduğu söylenebilir.



Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	4.36	1.320	3.632	ağ.%
O	Ka	130.05	7.210	43.119	ağ.%
Na	Ka	11.74	2.166	1.205	ağ.%
Mg	Ka	7.10	1.685	0.510	ağ.%
Al	Ka	139.71	7.473	8.608	ağ.%
Si	Ka	491.72	14.019	30.375	ağ.%
Ca	Ka	180.04	8.483	12.550	ağ.%

(a) (b)
Şekil 6.50. Şekil 6.48’de verilen 2.noktanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

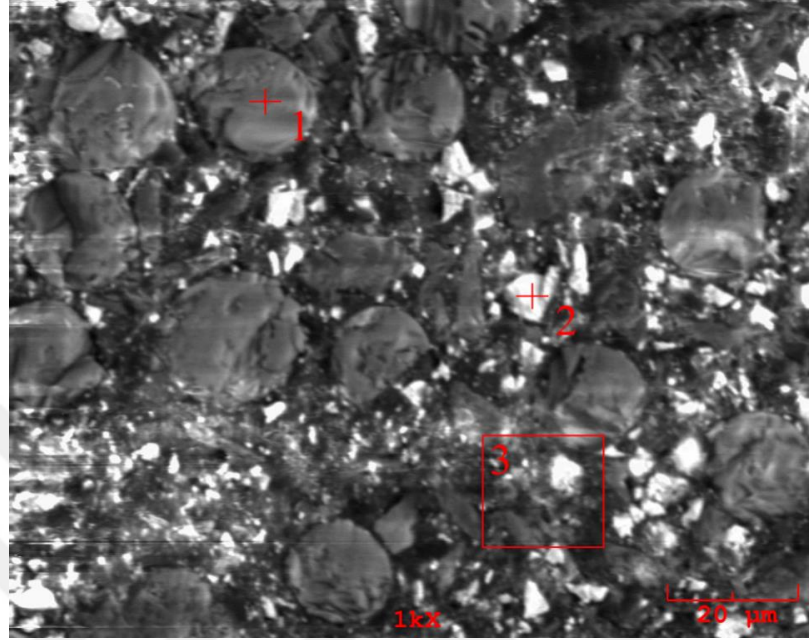
Şekil 6.48’de verilen 2.noktanın Şekil 6.50’deki EDS analizi ise silisyum için maksimum çıkan bir analiz olmuştur. Hem kırpıntı cam elyaf yapısındaki hem de kaolen yapısındaki silisyumun buna sebep olduğu söylenebilir.



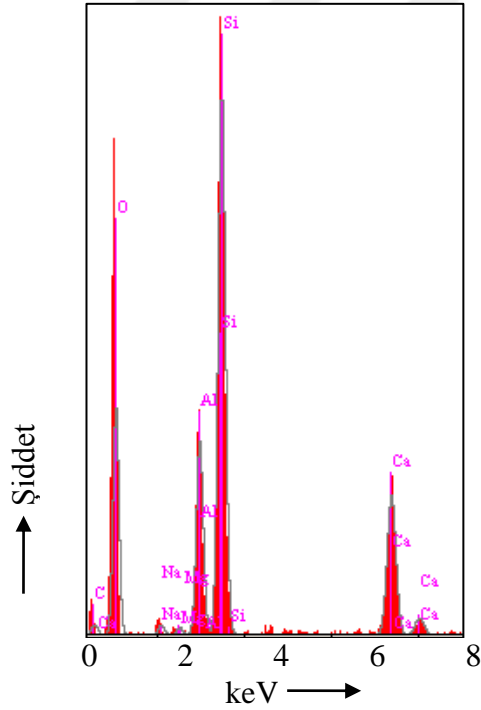
Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	87.41	5.911	40.398	ağ.%
O	Ka	96.88	6.223	43.108	ağ.%
Na	Ka	3.70	1.216	0.496	ağ.%
Mg	Ka	23.64	3.074	2.169	ağ.%
Al	Ka	29.29	3.422	2.363	ağ.%
Si	Ka	154.37	7.855	11.315	ağ.%
Ca	Ka	1.82	0.853	0.152	ağ.%

(a) (b)
Şekil 6.51. Şekil 6.48’de verilen 3 nolu alanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

Şekil 6.48'deki 3 nolu alanın Şekil 6.51'deki EDS'i daha çok ana yapı hakkında fikir vermektedir.



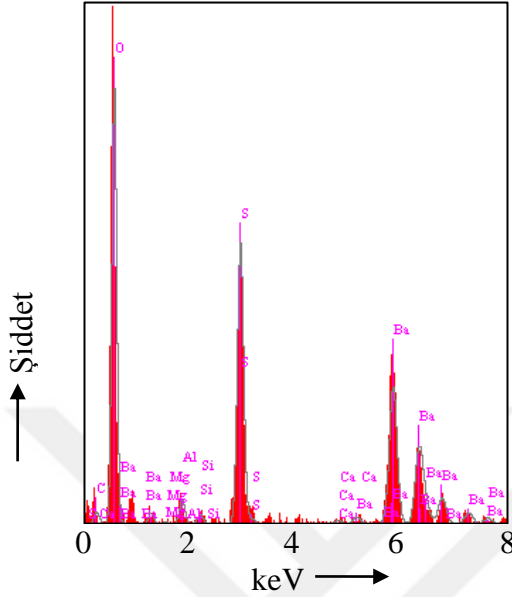
Şekil 6.52.Barit dolgulu 001 BMC hamur 1000X büyütmede EDS alınan noktalar



Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsan t.	Birim
C	Ka	5.72	1.512	4.044	ağ.%
O	Ka	112.53	6.708	39.915	ağ.%
Na	Ka	5.60	1.496	0.701	ağ.%
Mg	Ka	4.31	1.312	0.414	ağ.%
Al	Ka	111.36	6.673	10.001	ağ.%
Si	Ka	326.55	11.427	30.914	ağ.%
Ca	Ka	102.58	6.405	14.009	ağ.%

(a) (b)
Şekil 6.53. Şekil 6.52'de verilen 1.noktanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

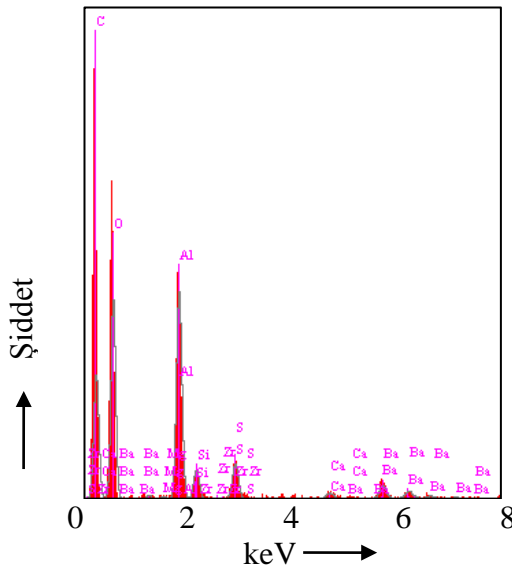
Şekil 6.52'deki 1.noktanın Şekil 6.53'deki EDS grafiği tipik olarak kırpıntı cam elyafı içeriğini göstermektedir.



Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	6.54	1.617	2.047	ağ.%
O	Ka	217.29	9.322	33.269	ağ.%
Na	Ka	5.58	1.494	0.630	ağ.%
Mg	Ka	1.15	0.679	0.115	ağ.%
Al	Ka	13.40	2.315	1.262	ağ.%
Si	Ka	5.33	1.460	0.471	ağ.%
S	Ka	180.62	8.499	14.626	ağ.%
Ca	Ka	2.47	0.995	0.246	ağ.%
Ba	La	109.36	6.613	47.334	ağ.%

(a) (b)
Şekil 6.54. Şekil 6.52'de verilen 2.noktanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

Şekil 6.52'deki 2.nokta mikroyapı görüntülerinde bahsedilen parlak bir bölgeden alınmıştır. Sonuç olarak Şekil 6.54'de verilen EDS analiz grafiğinden barit katkısı sebebiyle baryum ve kükürt elementlerinin varlığı ispatlanmıştır.

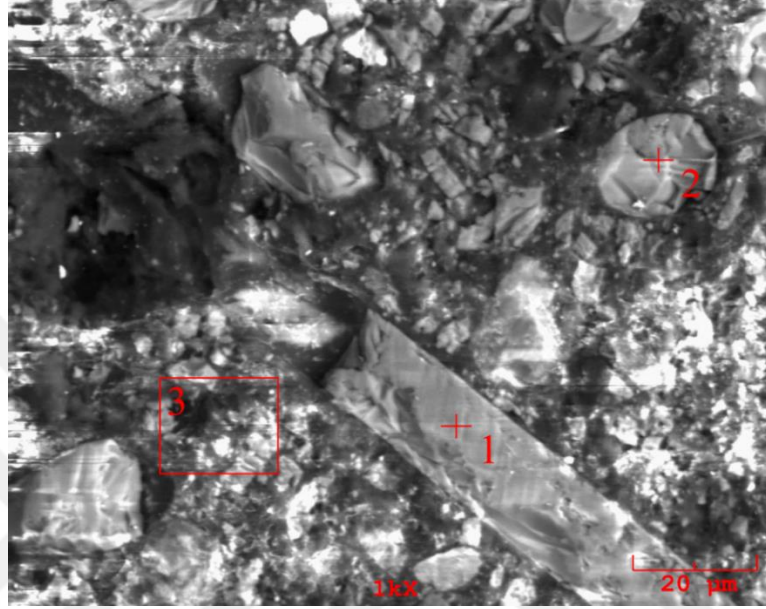


Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	78.96	5.619	31.969	ağ.%
O	Ka	116.84	6.836	39.122	ağ.%
Na	Ka	2.02	0.900	0.285	ağ.%
Mg	Ka	1.30	0.722	0.145	ağ.%
Al	Ka	141.36	7.519	14.875	ağ.%
Si	Ka	20.22	2.844	2.313	ağ.%
S	Ka	26.05	3.227	2.930	ağ.%
Ca	Ka	5.09	1.426	0.741	ağ.%
Zr	La	0.00	0.000	0.000	ağ.%
Ba	La	11.64	2.157	7.620	ağ.%

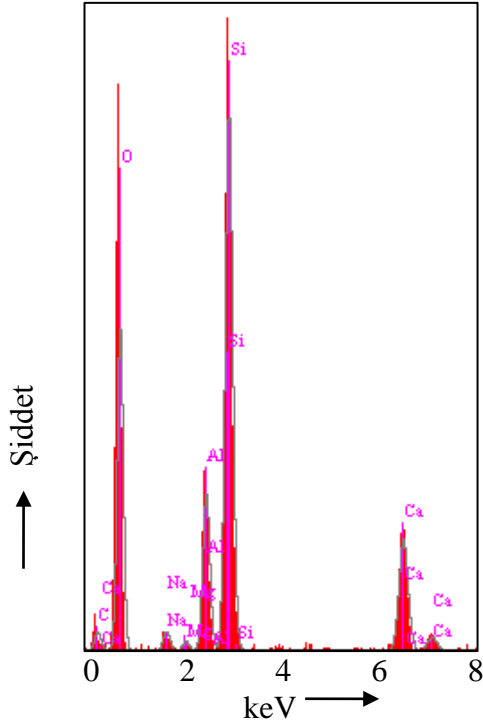
(a) (b)
Şekil 6.55. Şekil 6.52'de verilen 3 nolu alanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

Şekil 6.52'deki 3 nolu alanın Şekil 6.55'de verilen EDS analizi de ana yapı hakkında fikir vermektedir.

6.2.6. İkili kombinasyonlarda EDS analizi sonuçları



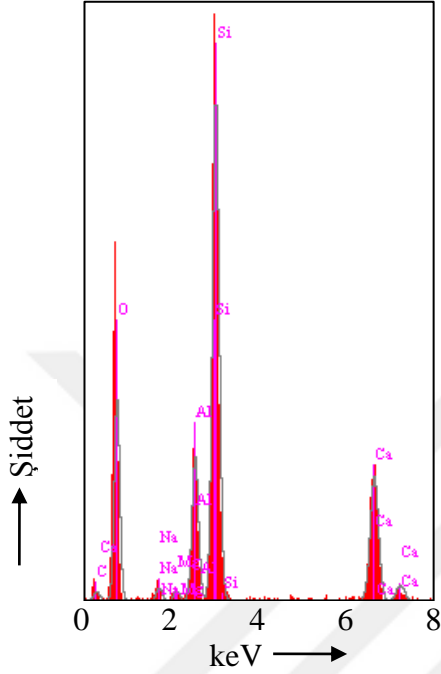
Şekil 6.56. Kaolen - Kalsit dolgulu 012 BMC hamur 1000X büyütmede EDS alınan noktalar



Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	10.38	2.037	5.880	ağ.%
O	Ka	167.93	8.194	46.322	ağ.%
Na	Ka	11.48	2.143	1.290	ağ.%
Mg	Ka	5.41	1.471	0.467	ağ.%
Al	Ka	95.63	6.184	7.656	ağ.%
Si	Ka	343.53	11.720	28.167	ağ.%
Ca	Ka	85.97	5.863	10.217	ağ.%

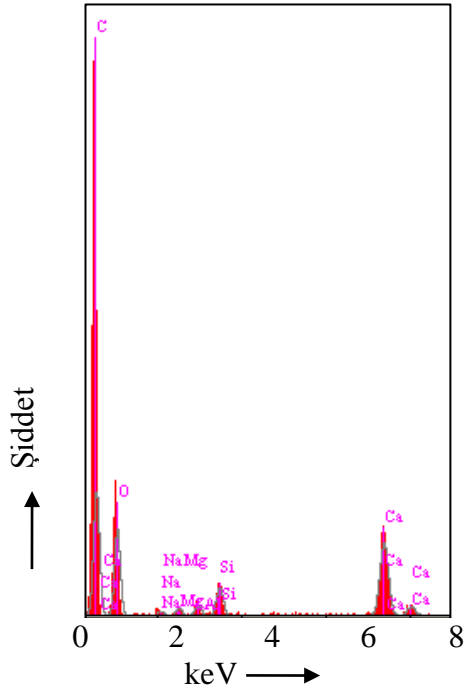
(a) (b)
Şekil 6.57. Şekil 6.56'da verilen 1.noktanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

Şekil 6.56'da verilen yatay konumdaki kırpıntı elyaf 1.noktada ve dikey konumdaki kırpıntı elyaf ise 2.noktada işaretlenmiştir. Şekil 6.57 ve Şekil 6.58'de elde edilen EDS grafikleri de içerik olarak benzer sonuçları vermiştir.



Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	6.58	1.622	4.100	ağ.%
O	Ka	127.35	7.137	39.932	ağ.%
Na	Ka	9.21	1.919	1.019	ağ.%
Mg	Ka	7.00	1.673	0.596	ağ.%
Al	Ka	105.87	6.507	8.420	ağ.%
Si	Ka	386.08	12.426	31.856	ağ.%
Ca	Ka	116.92	6.838	14.076	ağ.%

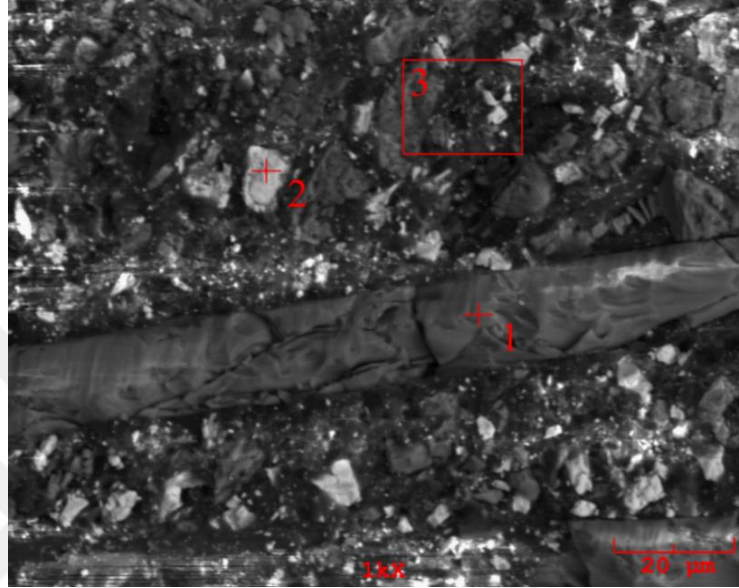
(a) (b)
Şekil 6.58. Şekil 6.56'da verilen 2.noktanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları



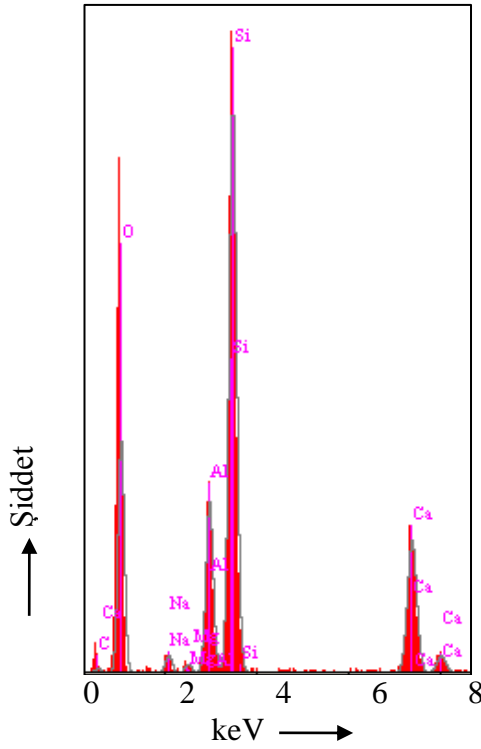
Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	92.86	6.093	34.095	ağ.%
O	Ka	59.57	4.880	43.301	ağ.%
Na	Ka	3.39	1.164	0.771	ağ.%
Mg	Ka	6.23	1.578	1.060	ağ.%
Al	Ka	8.68	1.862	1.363	ağ.%
Si	Ka	23.56	3.069	3.477	ağ.%
Ca	Ka	75.29	5.487	15.933	ağ.%

(a) (b)
Şekil 6.59. Şekil 6.56'daki 3 nolu alanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

Şekil 6.56'daki 3 nolu alanın Şekil 6.59'da verilen EDS analiz grafiği, alınan yer itibari ile hem bir siyah nokta üzerinde hem de ana yapıdan bir kısmının bulunduğu bölgedir. Bu sebeple cam elyaf elementlerinin oranı düşse de kalsit varlığı sebebiyle kalsiyumdan söz etmek mümkündür.



Şekil 6.60. Barit – Kalsit dolgulu 006 BMC hamur 1000X büyütmede EDS alınan noktalar



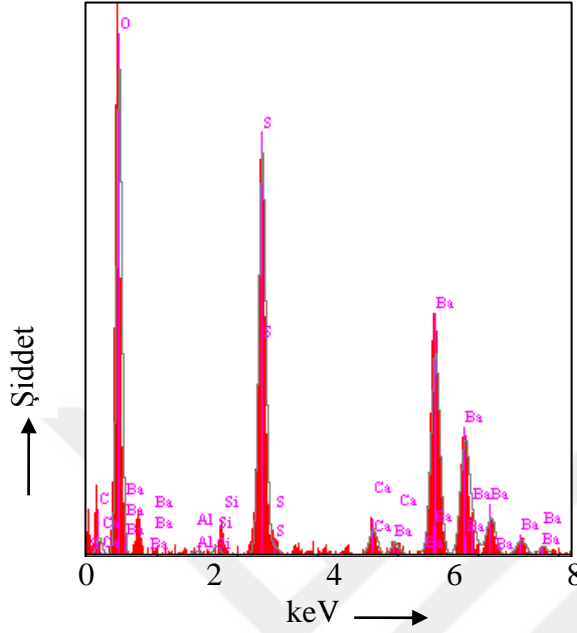
Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	3.24	1.138	1.966	ağ.%
O	Ka	142.80	7.556	40.704	ağ.%
Na	Ka	11.81	2.173	1.223	ağ.%
Mg	Ka	6.30	1.587	0.504	ağ.%
Al	Ka	121.56	6.972	9.065	ağ.%
Si	Ka	422.57	12.999	32.900	ağ.%
Ca	Ka	120.49	6.941	13.640	ağ.%

(a)

(b)

Şekil 6.61. Şekil 6.60'daki 1.noktanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

Şekil 6.60'da verilen 1.nokta yatay konumdaki kırpıntı cam elyaf üzerinden alınmış olup, Şekil 6.61'deki EDS analiz grafiğinde de bu duruma paralel sonuç elde edilmiştir.



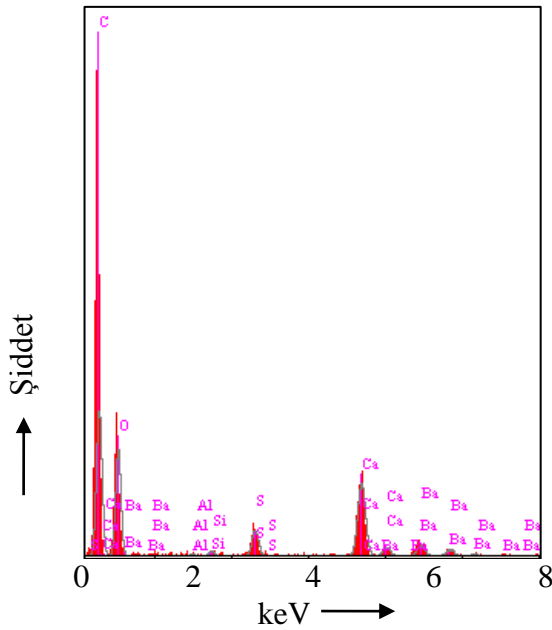
Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	7.41	1.722	2.156	ağ.%
O	Ka	193.20	8.788	28.925	ağ.%
Al	Ka	2.28	0.955	0.203	ağ.%
Si	Ka	4.44	1.332	0.367	ağ.%
S	Ka	206.42	9.084	15.585	ağ.%
Ca	Ka	14.79	2.431	1.368	ağ.%
Ba	La	127.99	7.153	51.396	ağ.%

(a)

(b)

Şekil 6.62. Şekil 6.60'daki 2.noktanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

Şekil 6.60'daki 2.noktanın Şekil 6.62'deki EDS grafiği yapıdaki barit varlığını ispat eder niteliktedir.



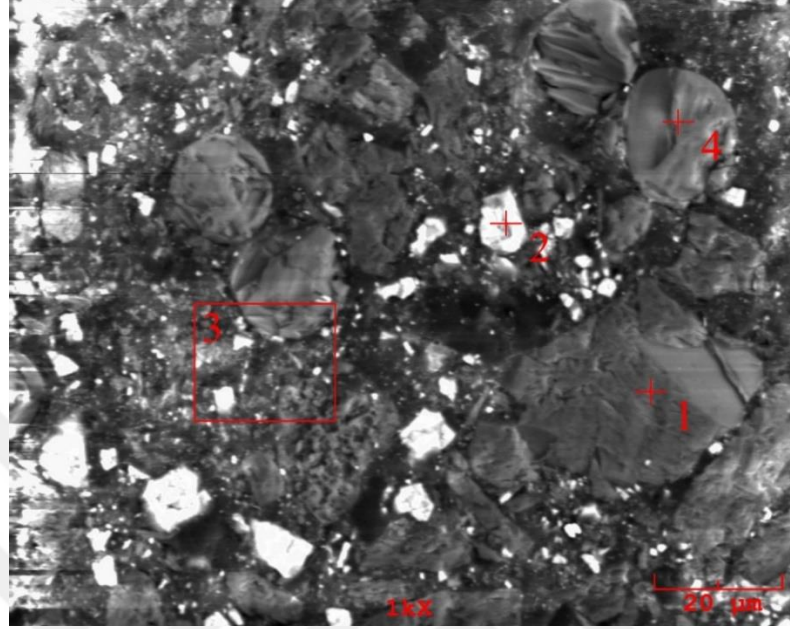
Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	120.37	6.938	33.369	ağ.%
O	Ka	81.96	5.725	39.640	ağ.%
Al	Ka	2.04	0.904	0.256	ağ.%
Si	Ka	5.26	1.451	0.616	ağ.%
S	Ka	25.88	3.217	3.057	ağ.%
Ca	Ka	82.71	5.751	13.261	ağ.%
Ba	La	13.14	2.293	9.800	ağ.%

(a)

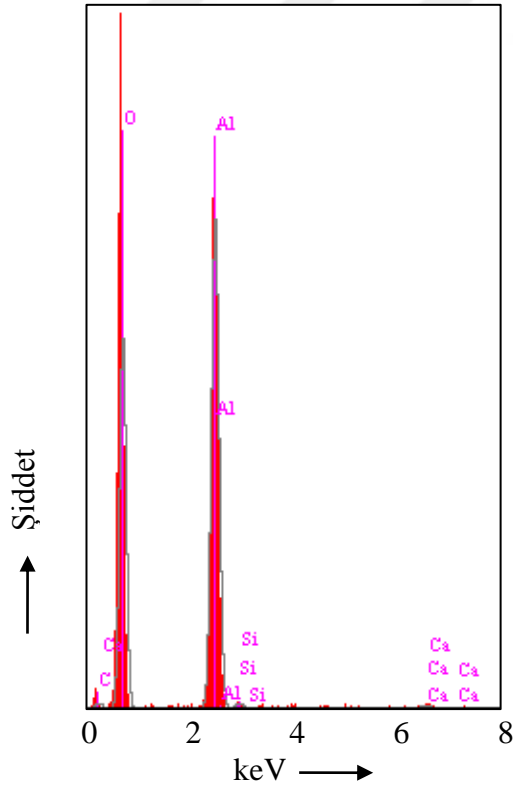
(b)

Şekil 6.63. Şekil 6.60'daki 3 nolu alanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

Şekil 6.60'daki 3 nolu alan yine genel bir bölgeden alınmıştır. Şekil 6.63'de da bu bölgenin gelen yapıdan temel elementleri (Ba, S, Ca) içerdiği görülmüştür.



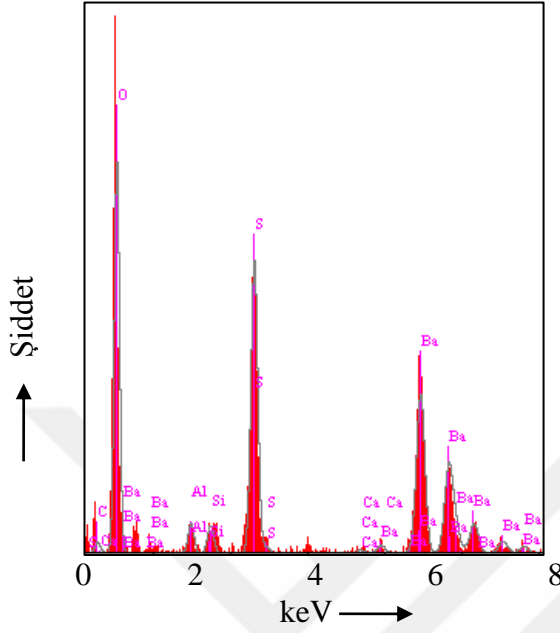
Şekil 6.64. Barit – Kaolen dolgulu 001 BMC hamur 1000X büyütmede EDS alınan noktalar



Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	4.32	1.314	2.620	ağ.%
O	Ka	283.55	10.649	56.549	ağ.%
Al	Ka	434.25	13.178	39.637	ağ.%
Si	Ka	4.93	1.405	0.613	ağ.%
Ca	Ka	4.26	1.305	0.581	ağ.%

(a) (b)
Şekil 6.65. Şekil 6.64'deki 1.noktanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

Şekil 6.64'deki 1.noktanın Şekil 6.65'deki EDS analiz sonucunda alüminyumun fazlaca çıktığı görülmektedir. Buradan 1.noktanın kaolen tanesini temsil ettiği söylenebilir.



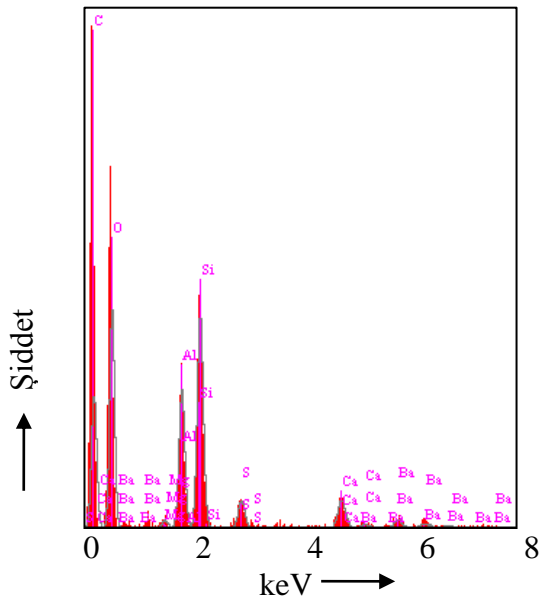
Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	6.30	1.588	1.807	ağ.%
O	Ka	204.62	9.047	28.742	ağ.%
Al	Ka	17.72	2.662	1.526	ağ.%
Si	Ka	17.48	2.644	1.418	ağ.%
S	Ka	197.79	8.894	14.658	ağ.%
Ca	Ka	2.12	0.921	0.191	ağ.%
Ba	La	132.57	7.282	51.657	ağ.%

(a)

(b)

Şekil 6.66. Şekil 6.64'deki 2.noktanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

Şekil 6.64'deki 2.nokta parlak ve beyaz bir taneyi göstermektedir. Buradan da Şekil.6.66'da verilen EDS analizinden beklenildiği gibi baryum ve sülfür elementlerinin çoğunlukta olduğu bir yapı ortaya çıkmıştır.



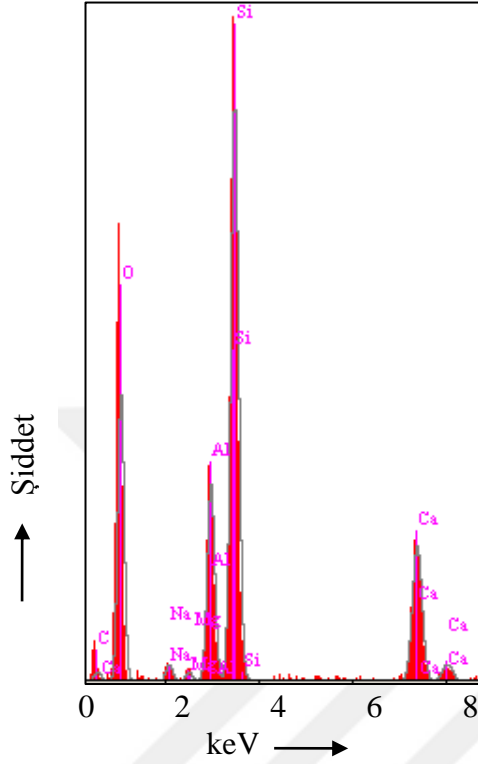
Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	67.12	5.181	31.357	ağ.%
O	Ka	103.12	6.421	38.355	ağ.%
Mg	Ka	4.03	1.270	0.438	ağ.%
Al	Ka	75.52	5.495	7.726	ağ.%
Si	Ka	122.82	7.008	12.898	ağ.%
S	Ka	16.80	2.592	1.925	ağ.%
Ca	Ka	19.98	2.826	2.931	ağ.%
Ba	La	6.59	1.624	4.370	ağ.%

(a)

(b)

Şekil 6.67. Şekil 6.64'deki 3 nolu alanın (a) EDS grafiği, (b) EDS sonuçları

Şekil 6.64'deki 3 nolu alanın Şekil 6.67'de verilen EDS analiz grafiği, barit-kaolen kombinasyonundan beklenen elementlerin görüldüğü bir sonuç vermiştir.



Elt.	Işın	Pik Şiddeti (c/s)	Hata payı 2-sig	Konsant.	Birim
C	Ka	4.62	1.359	3.077	ağ.%
O	Ka	135.74	7.367	43.223	ağ.%
Na	Ka	8.37	1.829	1.015	ağ.%
Mg	Ka	4.99	1.412	0.465	ağ.%
Al	Ka	107.95	6.570	9.364	ağ.%
Si	Ka	334.37	11.563	30.284	ağ.%
Ca	Ka	96.32	6.206	12.573	ağ.%

Şekil 6.68. Şekil 6.64'deki 4.noktanın (a) EDS grafiği, (b)EDS sonuçları

Şekil 6.64'deki 4.noktanın Şekil 6.68'de verilen EDS analizi sonucu yine tipik bir cam elyafa aittir.

6.3.Kızaran Tel Deneyi Sonuçları

001-yanmaz hamur sistemlerinde bulunan martinal ($Al(OH_3)$) varlığı yanmazlık özelliği katmaktadır. Bunu test edebilmek için de 5.Bölüm başlığı altında verilen Kızaran tel deneyi (yanmazlık testi) yapılmıştır. $960^\circ C$ - 30 saniyede yapılan testler sonucunda hazırlanan tüm 001-yanmaz BMC hamurların yanmazlık özelliği taşıdığı belirlenmiştir ve Tablo 6.1'de özet olarak verilmiştir. 30 saniye boyunca kızgın tele tutulan test çubuğunun alev almadığı, telden çekildikten sonra bir miktar korlaştığı görülmüştür (Şekil 5.33 ve Şekil 5.34).

Tablo 6.3. Kızaran tel deneyi sonuçları

NUMUNE	İSTENEN	GÖZLENEN	SONUÇ
Kalsit dolgulu	Kızaran tel deneyi		
	Akım taşıyan		
Kaolen dolgulu	bölmelere 960°C, diğer bölmelere 650°C	960°C - 30s	
Barit dolgulu	kızaran tel 30s uygulanır.		
Kalsit- Kaolenkombinasyonu	Alev alma süresi	Alev almadı. Korlaşma görüldü.	UYGUN
	Alevler 30 saniye içinde sönmeli.	-	
Kalsit-Barit kombinasyonu	Altındaki ipek kağıt tutuşmamalı.	-	
Kaolen- Baritkombinasyonu			

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1.Sonuçlar

Tablo 7.1.BMC hamur sistemlerinin çekme ve eğme mukavemetlerinin karşılaştırılması

Dolgu Sistemleri	012 BMC Hamur	006 BMC Hamur	001-Yanmaz BMC Hamur	Mekanik Değerler
Kaolen	16	17	20	Çekme
Kaolen+Kalsit	18	12	12	Mukavemeti
Kalsit	17	11	15	(MPa)
Kaolen	46	48	49	Eğme
Kaolen+Kalsit	58	54	58	Mukavemeti
Kalsit	63	71	81	(MPa)
Barit	12	17	20	Çekme
Barit+Kaolen	18	13	15	Mukavemeti
Kaolen	16	17	20	(MPa)
Barit	64	70	62	Eğme
Barit+Kaolen	57	56	67	Mukavemeti
Kaolen	46	48	49	(MPa)
Barit	12	17	20	Çekme
Barit+Kalsit	15	14	11	Mukavemeti
Kalsit	17	11	15	(MPa)
Barit	64	70	62	Eğme
Barit+Kalsit	65	67	58	Mukavemeti
Kalsit	63	71	81	(MPa)

1. Tablo 7.1’de verilen çekme mukavemeti değerlerine göre bir kıyaslama yapılırsa, 012 BMC hamurda kalsit dolgusu 17MPa ile en iyi sonuca sahipken, 006 BMC hamurunun 17MPa ve 001-yanmaz BMC hamur sisteminin ise 20MPa ile Kaolen ve Barit’te en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Buradan Kaolen ve Barit’in 6mm kırpıntı cam elyaf ile daha uyumlu bir yapı sağladığı, 001-yanmaz

BMC hamurda da martinal ile ana yapıyı daha sağlam oluşturdıkları söylenebilir.

2. Tablo 7.1'den görüleceği üzere ikili sistemlerde Barit - Kaolen 012 BMC hamur için 18MPa ile 001-yanmaz BMC hamur için ise 15MPa ile en iyi çekme mukavemeti değerlerini sağlamıştır. 006 BMC hamur için ise Barit – Kalsit kombinasyonu ile en yüksek değer (14MPa) elde edilmiştir. Diğer kombinasyon sistemleri ile kıyaslanacak olursa genel olarak en iyi çekme mukavemeti değerlerine Barit-Kaolen sistemi sahiptir. Baritin akışkan yapısı, kaolen tarafından emilmiş ve matris yapıda eyafların daha iyi ıslanıp, tutunduğu bir yapı oluşturulmuştur.
3. Eğme mukavemet değerleri Tablo 7.1'den incelendiğinde tekli sistemlerde 001-yanmaz BMC hamurda kalsit dolgusuyla en iyi sonuç (81MPa) elde edilmiştir. En kötü sonuç (46MPa) ise kaolen dolgusuyla 012 BMC hamur sistemindedir. Genel bir sonuç olarak kalsit ve barit dolgularının eğme yükü doğrultusunda ve yüke maruz uygulamalarda BMC hamur sistemi için en iyi dolgu malzemesi olduğu söylenebilir.
4. Kaoleni azaltmak tekli sistemlerde çekme mukavemeti üzerinde genel bir iyileşme sağlamıştır. Ancak eğme mukavemeti değerleri için en düşük değerler kaolen dolgusunda görülmüştür. Buradan, kaolen dolgusunun kullanıldığı BMC hamur ürünlerinin eğme yönünde bir kuvvet ya da yük altında çalışmaya uygun olmadığı tespiti yapılabilir.
5. Tablo 7.1'de ikili kombinasyonların eğme mukavemet değerleri incelendiğinde en iyi sonuç (67MPa) 006 BMC hamur için Barit-Kalsit kombinasyonunda, 001-yanmaz BMC hamur için ise Barit-Kaolen kombinasyon sisteminde elde edilmiştir. En kötü değer (54MPa) ise Kaolen-Kalsit kombinasyonunda 006 BMC hamur sisteminde elde edilmiştir. Tekli sistemlerle kıyaslandığında eğme mukavemet değerleri kombinasyon sisteminde birbirine yaklaşmıştır ve ortalama değer olarak artmıştır.

6. Baritin yüksek yoğunluklu olup, aşındırıcılığının düşük olması, yüksek basınç ve ısıya karşı kendi yapısını sürdürebilir olması, manyetik özelliğinin olmaması gibi özellikleri BMC hamurda dolgu malzemesi olarak kullanımını sağlamıştır. Barit için eğme mukavemeti değerlerini artırdığı söylenebilir. Çekme mukavemeti açısından değişken bir durum söz konusudur.
7. Tablo 7.1’de çekme mukavemeti değerleri dikkate alındığında, tekli sistemlerin ve kombinasyonların sonuçları değerlendirildiğinde, 012 BMC hamurda Kaolen-Kalsit kombinasyon değeri kaolen ve kalsitin tekli sistemine göre daha yüksek(18 MPa) çıkmıştır. Aynı durum Barit-Kaolen kombinasyon sistemi için de geçerlidir. Ancak Barit-Kalsit sisteminde Barit ve Kalsite göre değer araya girmiş ve baritin tekli sisteminden yüksek (15MPa) çıkmıştır. Kombinasyon sisteminin bu anlamda tekli sistemlerin her biri için yüksek değer sağladığı söylenemez. 012 BMC hamurun eğme mukavemet değerleri ele alındığında, Kaolen-Kalsit kombinasyonunda kaolenin tekli sisteminden yüksektir (58MPa). Barit-Kaolen’de de kaolene göre yüksek bir değer(57MPa) sağlanmıştır. Barit-Kalsit’te ise kombinasyon değeri (65MPa) en yüksek değere sahiptir. 012 BMC hamur için eğme mukavemeti sonuçlarının, kombinasyon sistemlerinde kaolenin tekli sistemine göre fayda sağladığı görülmektedir.
8. 006 BMC hamur için değerlendirilecek olursa, çekme mukavemeti sonuçları Kaolen-Kalsit kombinasyonunda kalsitten yüksektir (12MPa). Barit-Kaolen kombinasyonunda ise değer barit ve kaolen tekli sistemlerine göre düşüktür (13MPa). Barit-Kalsitte ise değer kalsitten yüksektir (14MPa). 006BMC hamur için de kalsitin tekli sistemine göre kombinasyonların, Barit- Kaolen dışında faydalı olduğu söylenebilir. Eğme mukavemeti değerleri için ise Kaolen-Kalsit kombinasyonunda değer kaolenden yüksektir(54MPa). Barit-Kaolende de kaolenden yüksek bir değer(56MPa) elde edilmiştir. Barit-Kalsitte ise değer her iki dolgunun tekli sistemine göre düşük (67MPa) çıkmıştır. 012 BMC hamurda olduğu gibi 006 BMC hamur için de kombinasyon sisteminin kaolenin tekli sistemine göre daha iyi değerler sağladığı görülmektedir.

9. 001-yanmaz BMC hamurda ise çekme mukavemeti değeri Kaolen-Kalsit kombinasyonunda tekli sistemlere göre düşüktür(12MPa). Barit-Kaolen ve Barit-Kalsit kombinasyonları için de aynı durum söz konusudur (15MPa, 11MPa). 001-yanmaz BMC hamur için genel olarak kombinasyon sisteminin fayda sağlamadığı görülmektedir. Eğme mukavemeti değerleri incelendiğinde, Kaolen-Kalsit kombinasyon sistemi için kaolenden yüksek değer (58MPa) elde edilmiştir. Barit-Kaolen için ise kombinasyon değeri her iki tekli sisteme göre en yüksek değerindedir(67MPa). Barit-Kalsit kombinasyonunda ise tam tersi bir durum söz konusu olup, kombinasyon değeri tekli sistemlere göre düşüktür (58MPa). Eğme mukavemeti açısından değişken bir durum söz konusudur. Ancak diğer hamur sistemlerinde olduğu gibi eğme mukavemeti değeri kaolenin tekli sistemine göre daha yüksektir.
10. Sonuç olarak; dolgu sistemleri baz alınarak yapılan bu çalışmada tekli sistemlerde elde edilen değerler tüm hamur sistemleri için kombinasyonlarla yükseltilememiştir. Bazı hamur sistemleri ile değerler artırılrsa da bazıları ile tekli sistemlerden bile düşük değerler elde edilmiştir. Kombinasyonlarda hamur kıvamına, elyafların ıslanabilirliğine göre belirlenen dolgu oranı ve karıştırma süreleri ile alakalı denemelerin devam ettirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.
11. Kırılma yüzeyleri incelendiğinde, Şekil 6.30'da Kalsit dolgulu 006 BMC hamurda en kötü çekme mukavemeti değeri elde edilmiş olsa da elyaf-matris arasında iyi bir arayüzeyin oluştuğu görülmektedir. Elyafların matris yapı ile kaplı olması sebebiyle kırılmanın matriste meydana geldiği anlaşılmaktadır. Kırılma yüzeyi için istenen bir durum olmasına karşın çekme mukavemet değeri düşük(11MPa) çıkmıştır. Buna karşın eğme mukavemeti değeri ise 71MPa'dır.
12. Şekil 6.33 incelendiğinde 001-yanmaz BMC hamur için kalsit dolgusunda çekme mukavemeti için en kötü değer(15MPa) elde edilmiştir. Elyaf-matris arayüzeyinde kırılmalar meydana geldiği tespit edilmiştir. Öyle ki cam elyaf ile polyester arasındaki bağın olmadığı ve elyafların bir kısmının boşlukta kaldığı dahi görülmektedir. Bu da kırılma yüzeyinde görülmek istenmeyen bir

durumdur. Ancak aynı sistemde eğme mukavemetinde maksimum eğme mukavemeti değeri (81MPa) elde edilmiştir.

13. BMC hamur çalışmasında kullanılan 6mm ve 12mm kırpıntı cam elyaflar rastgele ve süreksiz olup, hamur içine serpme yöntemiyle karıştırılmıştır. Yapılın karakterizasyon çalışmaları bu şekilde rastgele ve süreksiz kırpıntı cam elyaf kullanılan sistemlerin çekme mukavemetine yatkın olmadığını göstermiştir. Eğme mukavemeti yönünde daha yüksek ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

14. Gümölcine ve arkadaşlarının (Gümölcine ve diğerleri, 2013) izoftalik polyester matrisli sürekli E-camı ve bazalt fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine yaptığı deneysel çalışma ile BMC hamur çalışmamız karşılaştırıldığında izoftalik polyester ve takviye malzemesi olarak inorganik fiber kullanılması dışında ortak bir nokta yoktur. Yöntem olarak el yatırması tercih edilmiş, fiberler sürekli olup paralel şekilde dizilmiş ve katalizör, hızlandırıcı gibi bizim kullanmadığımız katkıları da kullanılmıştır. Bizim kullandığımız hidrolik pres yöntemi yanında, elyaflarımızın süreksiz ve rastgele şekilde yapıda bulunması ve inhibitör gibi yapıdaki tepkimeyi yavaşlatıcı katkıların varlığı çekme ve eğme mukavemeti değerlerinin değişmesinde etkili olmuştur.

7.2.Öneriler

1. Daha iyi çekme ve eğme mukavemeti sonuçlarını elde edebilmek için BMC hamurların diğer bileşenlerinin de (özellikle sıvı miktarlarının) değiştirilmesi gerekmektedir.
2. Shore D sertlik değerlerinin tüm tekli sistemlerde ve kombinasyonlarda birbirine yakın çıkması kırpıntı cam elyaf ya da dolgu malzemelerinin sertlik değerini etkilemediğini ortaya koymuştur. Buradan ana matris yapının (polyester

reçinenin) miktarında ya da çeşidinde (örn:ortoftalik polyester) yapılacak değişiklik ile sertlik değerinin değişebileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Akovali, G. (2001).*Handbook of Composite Fabrication*, Shawbury,U.K: Rapra Technology Ltd.
- Ales, SK & Sumanasiri KED 2010, ‘Development of natural fibre composites in papua new guinea (PNG)’, *Innovation and Technology Transfer*, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019, <http://ramiran.uvlf.sk/ramiran2010/docs/Ramiran2010_0140_final.pdf>.
- Arıcasoy, O 2006, *Kompozit Sektör Raporu*, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, Türkiye.
- Aydın U & Demirer, A 2016, ‘Cam elyaf takviyeli polyester malzeme üretiminde kalsit dolgusunun mekanik davranışlara etkisinin incelenmesi’, *AKÜ FEMÜBİD*, vol 16, özel sayı, pp. 5-10.
- Bagherpour, S 2012, *Fibre Reinforced Polyester Composites*, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019, <<https://www.intechopen.com/books/polyester/fibre-reinforced-polyester-composites>>.
- Baker, A, Dutton, S& Kelly, D 2004,*Composite Materials for Aircraft Structures*, 2nd edn, AIAA Education Series, USA.
- Balasubramanian, M. (2013).*Composite Materials and Processing*, 1st edn, USA: CRC Press.
- Baydar, E. 2016, ‘*Farklı Dolgu Maddeli PVC Kompozit Malzemelerinin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi*’, Yüksek Lisans Tezi, Konya Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Bhattacharya, S, Patil, SJ & Chaudhary, V 2012, ‘Synthesis of vinyl ester and it blending with upr to prepare electrically insulating composite with improved mechanical properties’, *2012 IEEE 10th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials*, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019, <<https://www.semanticscholar.org/paper/Synthesis-of-vinyl-ester-and-it-blending-with-upr-Bhattacharya-Patil/63f5f51425007804db2c9b2be8c5fab88be38dae/figure/0>>.

- Bulut Makine Sanayi ve Ticaret LTD. ŞTİ., Sertlik ölçe metodları ve cihazları kataloğu, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019, <http://www.bulutmak.com/uploads/2/0/0/3/20037867/sertlik_lme_metodlar.pdf>.
- Callister, WD & Rethwisch DG 2013, ‘*Malzeme bilimi ve mühendisliği*’, sekizinci baskı, Nobel Akademik Yayıncılık.
- Cam Elyaf Sanayii A.Ş., *CTP Teknolojisi*, Kocaeli, Türkiye, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019, <<http://www.dogusfiberglass.com/images/CTPcamelyaf.pdf>>.
- Cam takviyeli polimer kompozitler, Sakarya Üniversitesi, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019, <http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/49007/30551/10._polimerlerin_mekani_k_%C3%B6zellikleri.pdf>.
- Çerezci, T 2008, ‘*Nikel Partikül Takviyeli Alümina Seramik Kompozitlerin Sentezi ve Karakterizasyonu*’, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eren, Ş., Poyraz, B., Gökçe, N., Şamandar, A., Aykanat, B. & Subaşı S 2018, ‘Kompozit malzeme üretiminde kullanılan poliesterlerin mekanik, termal ve kimyasal özelliklerine başlatıcı etkisinin incelenmesi’, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 33, no. 3, pp. 1-17.
- Ersoy, MS 2005, ‘*Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı*’, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Eserci, D 2007, ‘*Alümina, Zirkonya ve Alümina-Zirkonya Kompozit Malzeme Üretimi, Karakterizasyonu ve Etkin Difüzyon Sabitinin Bulunması*’, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Failure Prediction of Composites under Uncertainty, Vanderbilt University, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019, <<https://my.vanderbilt.edu/mcml/cv/failure-prediction-of-composites-under-uncertainty/>>.
- Fu, S.Y., Feng, X.Q., Lauke, B. & Mai, Y.W 2008, ‘Effects of Particle Size, Particle/Matrix Interface Adhesion and Particle Loading on Mechanical Properties of Particulate–Polymer Composites’, *Composites Part B:Engineering*, vol. 39, no. 6, pp. 933-961.
- Gachter, R & Muller, H 1987, *Plastics Additives Handbook*, 2nd edn, Hanser Publishers, Munich.

- Gay, D, Hoa, VS&Tsai, WS 2002, *Composite Materials: Design and Applications*, 1st edn, CRC Press, USA.
- Genç, Ç 2006, 'Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin Üretim Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırılması', Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- George, C., Pouchelon, A. & Thiria, R 2006, 'Composition Polyorganosiloxanes Vulcanisables A` Chaud Utilisable Notamment Pour La Fabrication De Fils Ou Cablese` Lectriques', *French Patent 2*, pp. 899-905.
- Gümölcine, T., Bekem, A., Doğu, M., Gemici, Z. & Ünal, A 2013, 'İzoftalik Polyester Matrisli Sürekli E-Camı ve Bazalt Fiber Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Deneysel Bir Çalışma', *Journal Of Engineering And Natural Sciences*, Özel Sayı, pp. 104-115.
- Haddad, H. & Al Kobaisi, M 2013, 'Influence of Moisture Content on The Thermal and Mechanical Properties and Curing Behavior of Polymeric Matrix And Polymer Concrete Composite', *Materials& Design*, vol. 49, pp. 850-856.
- Hashemi, J, Prakash, R & Smith, WF, *Materials Science and Enginerring*, (In SI Units 5th), Special Indian Edition.
- Hongzhen, C, Keyan Y&Weiming, Y 2017, 'Effects of calcium carbonate on preparation and mechanical properties of wood/plastic composite', *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 184-190.
- Isa, M.T., Ahmed, A.S., Aderemi, B.O., Taib, R.M. & Mohammed-Dabo I.A 2013, 'Effect of fiber type and combinations on the mechanical, physical and thermal stability properties of polyester hybrid composites', *Composites Part B: Engineering*, vol. 52, pp. 217-223.
- Işık, A 2008, 'Kompozit Malzemededen İmal Edilmiş Bir Takviye Elemanınin Eğilme ve Burulma Yükü Altında Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- İlhan, R 2018, 'Cam Elyaf Takviyeli Polyester Kompozit Malzemelerin Tribolojik Özellikleri', Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- İlhan, R. & Feyzullahoğlu, E 2018, 'The Wear of Glass Fiber Reinforced Polyester Composite Materials at Different Loads and Speeds', *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, vol. 5, no.1, pp. 259-266.
- Jutte, R.B. & Graham, W.D 1991, 'Recycling SMC Scrap as Reinforcement', *Plast. Eng.*, vol. 47, no. 5, pp. 13-46.

- Kaundal, R., Patnaik, A. & Satapathy, A 2016, 'Mechanical Characterizations and Development of Erosive Wear Model for Al₂O₃-filled Short Glass Fiber-Reinforced Polymer Composites', *The Journal of Materials: Design and Applications*, vol. 0, no.0, pp. 1-16.
- Kaya, İA, *Kompozit Malzemeler ve Özellikleri*, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019, <<http://www.turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html>>.
- Kodal, M. 2009, 'Polipropilen ve Dolgu Maddeleri ile Hazırlanan Karışımların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- Lekili, M. 'Dolgu maddesi kalitesinde barit', Madencilik Bülteni, pp. 28-30, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019, <http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/40a99f23e896076_ek.pdf>.
- Lubin, G. (1982).*Handbook of composites*.1st edn, New York: Publişed by Van Nostrand Reinhold.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 2018, *Barit*, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019, <<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/barit>>.
- Mangalgiri, PD 2005, 'Polymer matrix Composites for High temperature Applications', *Defence Science Journal*, vol. 55, no.2, pp. 175-193.
- Marcovich N.E., Ostrovsky A.N., Aranguren M.I. & Reboredo M.M 2009, 'Resin-sisal and wood flour composites made from unsaturated polyester thermosets', *Composite Interfaces*, vol. 16, no.7-9, pp. 639-657.
- Material Science Chapter 7 Composites 2017, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019, <<https://iesgeneralstudies.com/chapter-7-composites/>>.
- Multifunctional Materials, Northwestern University, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019, <<https://www.mccormick.northwestern.edu/theoretical-applied-mechanics/research/multifunctional-materials/>>.
- Murray, HH 1980, 'Major Kaolin Processing Developments', *International Journal of Mineral Processing*, vol. 7, no. 3, pp. 263-274.
- Öztürk, M 2007, 'SiC İlaveli Alümina Seramik Kompozitler', Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Park, SJ & Seo, MK 2011,*Interface Science and Composites*, 1st edn, USA: Academic Press.

- Pop, AP & Gheorghe, MB 2010, 'Manufacturing Process and Applications of Composite Materials', *Fascicle of Management and Technological Engineering*, vol. 9, no. 19, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019,
<https://www.researchgate.net/publication/228766301_MANUFACTURING_PROCESS_AND_APPLICATIONS_OF_COMPOSITE_MATERIALS>.
- Prashanth, S, Subbiah, KM, Nithin, K&Sachchidananda, S 2018, 'Fiber Reinforced Composites-A Review', *Journal of Material Sciences & Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 72-84.
- Ratna, D. (2009). *Handbook of Thermoset Resins*. 1st edn, UK: Smithers Rapra Technology.
- Rosato, D & Rosato, D 2004, *Reinforced Plastics Handbook*, 3rd edn, Elsevier Science.
- Sathishkumar, TP& Naveen, J 2014, 'Glass fiber-reinforced polymer composites-A review', *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 33, no. 13, pp. 1258-1275.
- Schwartz, MM.(1984). *Composite Materials Handbook*, USA: McGraw-Hill, Inc.
- Shali, ER. (1995). *Polymer Matrix Composites and Technology*. India:1st edn, Chapman & Hall.
- Spray Lay-up, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019,
<<http://www.netcomposites.com/education.asp?sequence=53>>.
- Sönmez, M 2009, 'Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye'den Dört Örnek Firma Üzerine İnceleme', Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şahin, Y. (2000). *Kompozit Malzemelere Giriş*, Ankara: Gazi Kitapevi.
- Şişecam Chemicals, *Glass Fiber*, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019,
<www.sisecamkimyasallar.com/en/business-segments/glass-fiber>.
- Tatar, İ, Ediz, N & Aydın A 2016, 'Balıkesir bölgesi alunitli kaolinin kaba, temizleme ve süpürme flotasyonları ile zenginleştirilmesi', *DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, sayı 36, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019,
<<https://docplayer.biz.tr/43942864-Balikesir-bolgesi-alunitli-kaolininin-kaba-temizleme-ve-supurme-flotasyonlari-ile-zenginlestirilmesi.html>>.
- Titow, WV 1984, 'PVC Technology', 4th edn, New York: Elsevier Applied Science Publishers.
- Todd, J 2018, *History of Composites*, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019,
<<https://www.thoughtco.com/history-of-composites-820404>> .

- Tran, S, *Catalysts*, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019,
<<http://www.plastech.co.uk/Images/JEC%20RTM%20Diagram.jpg>>.
- U.S. Army Materiel Command 1981, *Engineering Design Handbook-Discontinuous Fiberglass Reinforced Thermoplastics*, DARCOM -P 706-314.
- Yalçın, H & Gürü, M 2002, *Malzeme Bilgisi*, Palme Yayıncılık.
- Zhao H&Guo Y 2014, ‘*Composites*’, Bachelor’s thesis, Tampere University of Applied Sciences, Textile and Chemical Engineering, Finland.
- Zor, M 2018, *Kompozit Malzeme Mekaniği Ders Notları*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Son erişim tarihi 15 Mayıs 2019,
<http://kisi.deu.edu.tr/mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel_bilgiler.pdf>.
- Wang, MR, Zheng, RS& Zheng, PY 2011, *Polymer matrix composites and technology*, 1st edn, UK: Woodhead Publishing.
- Wypych, G. (1999). *Handbook of fillers*. 2nd edn, Canada: ChemTec Publishing.

ÖZGEÇMİŞ

Şeyma AKAY, 19/02/1993'te Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2011 yılında Hacı Zehra Akkoç Kız Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nü 2015 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılında Federal Elektrik fabrikasında Kalite Kontrol bölümünde Enjeksiyon Pres ve Hidrolik Pres Hattı Proses Kontrol Sorumlusu olarak çalışmaya başladı. Halen Federal Elektrik fabrikasındaki görevine devam etmektedir.