KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METAL KATKILI POLİMER MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİTLER

GÖKHAN TAŞÇI

KOCAELİ 2017

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METAL KATKILI POLİMER MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİTLER

GÖKHAN TAŞÇI

Prof.Dr. Muzaffer ZEREN		
Danışman,	**Kocaeli Üniversitesi**	.....
Doç.Dr. Şeyda POLAT		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniversitesi**	.....
Prof.Dr. Şenol YILMAZ		
Jüri Üyesi,	**Sakarya Üniversitesi**	.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 16.06.2017

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Uzun yıllardır birçok araştırmaya konu olan, aynı zamanda kompozit malzemeler içerisinde en çok tercih edilen cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitlerdir. Bu çalışmada geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli kompozit malzemelerde kullanılan cam elyaf takviyesine muadil olarak düşük maliyete sahip manyetit cevheri katkısının etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada üretilen manyetit cevheri katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli 3 katmanlı borular da, cam elyaf katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli 3 katmanlı borulara yakın performans gösterdiği belirlenmiştir.

Yüksek Lisans Tezi süresince öncelikle aileme, karakterizasyon işlemlerinde yardımcı olan Doç. Dr. Güralp ÖZKOÇ'a, Uzman.Yük.Müh. Serap GÜMÜŞ'e, Ar.Gör.Yük.Müh. Fulya KAHRIMAN'a, Doç.Dr.Ersel ÖZKAZANÇ'a, Doç.Dr. Rıdvan YAMANOĞLU'na, yardımlarından ve çalışma süresince anlayışından dolayı Sayın Adnan GECİR'e, fabrika ortamında gerçekleştirilen üretimlerin yapılmasına olanak sağlayan desteğini eksik etmeyen Sayın Naim KAHVECİOĞLU'na, her zaman doğru yöne yönlendiren, anlayışlı ve eğitimci yaklaşımıyla yanımda olan kendime örnek aldığım değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Muzaffer ZEREN'e teşekkür ederim.

Haziran-2017 Gökhan TAŞÇI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
ÖZET x
ABSTRACT xi
GİRİŞ 1
1. TEORİK 2
1.1. Polimer Malzemeler ve Özellikleri 2
1.1.1. Termoplastik malzemeler 5
1.1.2. Termoset malzemeler 6
1.1.3. Elastomerler 7
1.1.4. Polimerler işleme yöntemleri 9
1.2. Kompozitler 14
1.2.1. Polimer matrisli kompozitler 14
1.2.2. Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri 24
2. MALZEME VE YÖNTEM 36
2.1. Malzeme 36
2.1.1. Polipropilen (PP) 36
2.1.2. Geri dönüştürülmüş polipropilen (RPP) 36
2.1.3. Cam elyaf (Fiber) 37
2.1.4. Saf demir tozu 37
2.1.5. Manyetit cevheri 37
2.1.6. Katkı malzemeleri 38
2.2. Yöntem 39
2.2.1. Granül makinesi 39
2.2.2. Kül testi cihazı 41
2.2.3. Yoğunluk testi 42
2.2.4. Erime akış ölçüm cihazı (MFR) 43
2.2.5. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) 44
2.2.6. Termal gravimetrik analizi (TGA) 45
2.2.7. Enjeksiyon makinesi 46
2.2.8. Çekme testi cihazı 47
2.2.9. Çentikli İzod darbe testi cihazı 48
2.2.10. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 49
2.2.11. Boru basınç testi ve termal genleşmesi 50
2.2.12. Polipropilen matrisli hibrit kompozit granüllerin hazırlanması 51
2.2.13. Ekstrüzyon ile boru üretimi 64
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 67
3.1. Kül Testi Sonuçları 67

3.2. Yoğunluk Testi Sonuçları 68
3.3. Eriyik Akış Testi (MFR) Sonuçları 69
3.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Sonuçları 71
3.5. Termal Gravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları 74
3.6. Çekme Testi Sonuçları 76
3.7. Çentikli İzod Darbe Testi Sonuçları 77
3.8. SEM Analizi Sonuçları 78
3.9. Boru Basınç Testi ve Termal Genleşmesi Sonuçları 85
3.10. Maliyet Analizi 90
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 92
KAYNAKLAR 94
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 98
ÖZGEÇMİŞ 99

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Rijid malzemelerin genel olarak sınıflandırılması 2
Şekil 1.2. Organik polimerlerin genel olarak sınıflandırılması 3
Şekil 1.3. Plastik moleküllerinin dizilişi..... 5
Şekil 1.4. Yarı kristal (a) ve amorf (b) termoplastiklerin moleküler yapıları..... 5
Şekil 1.5 Termoplastik ve Termoset plastiklerin molekül zincirleri arasındaki farklar..... 7
Şekil 1.6. Termoplastiklerin (a), elastomerlerin (b) ve termosetlerin(c) çapraz bağ yoğunluğu 8
Şekil 1.7. Film şişirme işlemi..... 9
Şekil 1.8. Düz film ve levha üretimi..... 10
Şekil 1.9. Lif üretimi 10
Şekil 1.10. Şişirmeyle kalıplama..... 11
Şekil 1.11. Vakumla ısıl şekillendirme..... 12
Şekil 1.12. Basınçla kalıplama işlemi..... 12
Şekil 1.13. Genel enjeksiyon ünitesi 12
Şekil 1.14. Profil üretimi için ekstrüzyon hattı..... 13
Şekil 1.15. Isı kaynağı 14
Şekil 1.16. Polimer matrisli kompozit malzemelerin sınıflandırılması..... 15
Şekil 1.17. Kompozitlerin sınıflandırılması; (a) elyaf takviyeli, (b) parçacık takviyeli, (c) tabakalı, (d) karma (hibrit)..... 20
Şekil 1.18. El yatırması (hand lay-up) yöntemi..... 25
Şekil 1.19. Püskürtme yöntemi..... 26
Şekil 1.20. Püskürtme yöntemiyle yapılan bir hücum bot gövdesi 27
Şekil 1.21. Reçine enjeksiyon yöntemi 28
Şekil 1.22. (a) SMC ve (b) BMC hazır kalıplama yöntemi..... 29
Şekil 1.23. Elyaf sarma yöntemi..... 30
Şekil 1.24. Savurma döküm yöntemi 31
Şekil 1.25. Pultruzyon yöntemi 32
Şekil 1.26. Devamlı levha üretim yöntemi..... 33
Şekil 1.27. Termoplastik enjeksiyon yöntemi 34
Şekil 2.1. Saf polipropilenin görüntüsü..... 36
Şekil 2.2. Geri dönüştürülmüş polipropilenin görüntüsü 37
Şekil 2.3. E-tipi cam fiberin görüntüsü 37
Şekil 2.4. Manyetit cevheri katkısının görüntüsü..... 38
Şekil 2.5. (a) Çinko stereat, maleik anhidrit graft edilmiş polipropilen ve antioksidan katkılarının görüntüsü, (b) kırmızı boyanın görüntüsü..... 38
Şekil 2.6. Granül makinesinin genel görüntüsü..... 39

Şekil 2.7. Granül makinesinin detaylı görüntüsü [Kontrol panosu (1), polipropilen besleme silosu (2), kovan ve resiztanslar (3), cam elyaf besleme bölümü (4), kafa kalıbı (5), soğutma tankı (6), motor (7)] 40
Şekil 2.8. Granül makinesine ait kesicinin görüntüsü 40
Şekil 2.9. Kül testi cihazının görüntüsü [(a) Hassas terazi, (b) Kül fırını, (c) krozeler] 42
Şekil 2.10. Yoğunluk testi cihazının görüntüsü 43
Şekil 2.11. Kütlesel erime akış ölçüm cihazının görüntüsü 44
Şekil 2.12. DSC cihazının görüntüsü 45
Şekil 2.13. TGA cihazının görüntüsü 46
Şekil 2.14. (a) Laboratuar tipi ekstrüzyon makinesinin ve (b) Laboratuar tipi enjeksiyon makinesinin görüntüsü 47
Şekil 2.15. Çekme testi cihazının görüntüsü 47
Şekil 2.16. Çentik açma cihazı 48
Şekil 2.17. İzod Darbe test cihazı 48
Şekil 2.18. JSM 6060 tarama elektron mikroskobu (SEM) cihazının görüntüsü 50
Şekil 2.19. Bal-Tech Sputter düzeneği görüntüsü 50
Şekil 2.20. (a) Tüm katkıların mikserde karıştırılması, (b) karışım sonrası granüllerin görüntüsü 52
Şekil 2.21. Granül makinesinin kontrol panosu 52
Şekil 2.22. Granül makinesi 53
Şekil 2.23. Granül makinesine ait kesici 53
Şekil 2.24. Hammadde kurutma silosu 54
Şekil 2.25. Ekstrüzyon işlemi sonrası K1 karışımına ait granüllerin görüntüsü 55
Şekil 2.26. Ekstrüzyon işlemi sonrası K2 karışımına ait granüllerin görüntüsü 56
Şekil 2.27. Ekstrüzyon işlemi sonrası K3 karışımına ait granüllerin görüntüsü 58
Şekil 2.28. % 30 Manyetit cevherinin mikserde karıştırılması ile RPP granüllerinin görüntüsü 59
Şekil 2.29. Ekstrüzyon işlemi sonrası K4 karışımına ait granüllerin görüntüsü 60
Şekil 2.30. Granül makinesinin farklı karışımlar yapılırken çalışma süresince çektiği akım 60
Şekil 2.31. Deneyde kullanılan granüllerin görüntüsü [(a) saf PP, (b) Geri dönüştürülmüş PP (RPP), (c) % 20 cam elyaf katkılı RPP (K1), (d) % 20 cam elyaf+%3,7 Demir tozu katkılı RPP (K2), (e) %10,9 Manyetit cevheri katkılı RPP (K3), (f) % 30 Manyetit cevheri katkılı RPP (K4)] 62

Şekil 2.32. Ürün grubu değişikliği sırasında, (a) kovanın Saf PP ile temizlenmesi ve (b) yeni geçilen ürün grubunun kovanı kaplaması 63
Şekil 2.33. Kullanılan hammadde ve karışımlara ait çekme ve darbe test numunelerinin görüntüsü 63
Şekil 2.34. Çift ekstrüderli boru makinesi 64
Şekil 2.35. Vakum tankı (a) ve soğutma tanklarının (b) görüntüsü 65
Şekil 2.36. Çekicinin (Paletin) görüntüsü 66
Şekil 2.37. Kesicinin görüntüsü 66
Şekil 3.1. Takviyeli karışımlara ait kül testi sonuçları 68
Şekil 3.2. Kullanılan hammadde ve karışımların yoğunluğu 69
Şekil 3.3. Hammadde ve karışımlara ait MFR sonuçları 70
Şekil 3.4. Saf polipropilene ait DSC eğrisi 72
Şekil 3.5. Geri dönüştürülmüş polipropilene ait DSC eğrisi 72
Şekil 3.6. K1 karışımına ait DSC eğrisi 73
Şekil 3.7. K2 karışımına ait DSC eğrisi 73
Şekil 3.8. K3 karışımına ait DSC eğrisi 74
Şekil 3.9. K4 karışımına ait DSC eğrisi 74
Şekil 3.10. Hammadde ve karışımlara ait TGA eğrileri 75
Şekil 3.11. Hammadde ve hazırlanan karışımlara ait çekme testi sonuçları 76
Şekil 3.12. Hammadde ve hazırlanan karışımlara ait darbe dayanımı değişimleri 78
Şekil 3.13. Saf PP'ye ait kopma yüzeyinin (a) 50 X, (b) 100 x, (c) 500 X ve (d) 1000 X ölçekte mikroyapı görüntüsü 79
Şekil 3.14. Geri dönüştürülmüş PP'ye ait kopma yüzeyinin (a) 50 X, (b) 100 X, (c) 500 X ve (d) 1000 X ölçekte mikroyapı görüntüsü 80
Şekil 3.15. K1 karışımına ait kopma yüzeyinin (a) 100 X, (b) 500 X ve (c) 500 X ölçekte mikroyapı görüntüsü 81
Şekil 3.16. K1 karışımına ait kopma yüzeyinin (a) 1000 X, (b) 1000 X, (c) 5000 X ve (d) 5000 X ölçekte mikroyapı görüntüsü 82
Şekil 3.17. K2 karışımına ait kopma yüzeyinin (a) 100 X, (b) 500 X, (c) 500 X ve (d) 1000 X ölçekte mikroyapı görüntüsü 83
Şekil 3.18. K3 karışımına ait kopma yüzeyinin (a) 500 X ve (b) 1000 X ölçekte mikroyapı görüntüsü 84
Şekil 3.19. K4 karışımına ait kopma yüzeyinin (a) 100 X, (b) 500 X, (c) 1000 X ve (d) 1000 X ölçekte mikroyapı görüntüsü 85
Şekil 3.20. 20,00 mm çapında boru için (a) 3.4 mm et kalınlığı ve (b) 2,8 mm et kalınlığına sahip 3 katmanlı boru resimleri (beyaz renkli iç ve dış katman saf PP, kırmızı renkli orta katman takviyeli RPP' dir) 89
Şekil 3.21. Basınç testini geçemeyen boru örnekleri (ok ile gösterilen bölgeler basınç testi sırasında patlayan bölgelerdir) 89

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Plastiklerin sınıflandırılması 4
Tablo 1.2. En çok kullanılan termoplastikler ve kullanım alanları 6
Tablo 1.3. Sık kullanılan termoset malzemeler ve kullanım alanları 7
Tablo 1.4. Termoplastik elastomer örnekleri 8
Tablo 1.5. Dolgu maddelerinin kompozit üzerindeki bazı etkileri 16
Tablo 2.1. K1 karışımında kullanılan malzemelerin ağırlıkları ve yüzde oranı 55
Tablo 2.2. K2 karışımında kullanılan malzemelerin ağırlıkları ve yüzde oranı 56
Tablo 2.3. K3 karışımında kullanılan malzemelerin ağırlıkları ve yüzde oranı 57
Tablo 2.4. K4 karışımında kullanılan malzemelerin ağırlıkları ve yüzde oranı 59
Tablo 3.1. Takviyeli karışımlara ait kül testi sonuçları 67
Tablo 3.2. Kullanılan hammadde ve karışımların yoğunluğu 68
Tablo 3.3. Hammadde ve karışımlara ait MFR analizi sonuçları 69
Tablo 3.4. Kullanılan hammadde ve karışımlara ait DSC testi sonuçları 71
Tablo 3.5. Hammadde ve karışımlara ait bozunma sıcaklıkları 75
Tablo 3.6. Hammadde ve hazırlanan karışımlara ait çekme testi sonuçları 76
Tablo 3.7. Hammadde ve hazırlanan karışımlara ait darbe dayanımı değişimleri 77
Tablo 3.8. TS EN ISO 1587-2 standardına göre 20,00 mm çapında cam elyaf takviyeli boruların olması gereken minimum et kalınlığı değerleri 86
Tablo 3.9. K2 karışımı ile hazırlanan boruların et kalınlıkları ve uygulanan basınç testleri 86
Tablo 3.10. K2 karışımına uygulanan TS EN ISO 1167-1 ve TS EN ISO 1167-2 standardına göre S : 2 basınç sınıfı testi değerleri 87
Tablo 3.11. K3 karışımı ile hazırlanan boruların et kalınlıkları ve uygulanan basınç testleri 87
Tablo 3.12. K3 karışımına uygulanan TS EN ISO 1167-1 ve TS EN ISO 1167-2 standardına göre S : 2,5 basınç sınıfı testi değerleri 88
Tablo 3.13. Termal genleşme miktarları 88
Tablo 3.14. K1 karışımının maliyet analizi 90
Tablo 3.15. K3 karışımının maliyet analizi 91

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Tg	: Camsı geçiş sıcaklığı, (^{0}C)
M	: Ağırlık, (g)
ρ	: Yoğunluk, (g/cm^3)
ΔHm	: Erime entalpisi, (J/g)
E	: Enerji değeri, (kJ)
A	: Darbe testi numunesinin alanı, (m^2)
G	: Yoğunluk testi sırasında numunenin alt kefedeki ağırlığı, (g)
g	: Darbe testi numunesinin genişliği, (mm)
c	: Darbe testi numunesine açılan çentiğin boyutu, (mm)
k	: Darbe testi numunesinin kalınlığı, (mm)
P	: İç basınç, (MPa)
t_{min}	: Borunun minimum et kalınlığı, (mm)
σ_0	: Çevre gerilmesi, (MPa)
D	: Borunun dış çapı, (mm)
T	: Sıcaklık, (^{0}C)
W_a	: Yoğunluk testi sırasında numunenin üst kefedeki ağırlığı, (g)

Kısaltmalar

AYPE	: Alçak Yoğunluklu Polietilen
BMC	: Bulk Molding Compound (Sıcak Pres Kalıplama Hamuru)
DSC	: Differential Scanning Calorimetry (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri)
GF	: Glass Fiber (Cam Fiber)
HDPE	: High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
MFR	: Melt Flow Rate (Erime Akış Oranı)
PA	: Polyamid
PAN	: Poliakrilonitril
PE	: Polyethylene (Polietilen)
PET	: Polietilen Terafitalat
PS	: Polistiren
PU	: Polyurethane (Poliüretan)
PVC	: Polivinil Klorür
PP	: Polipropilen
PP-g-MA	: Maleik Anhidrit Graft Edilmiş Polipropilen
RPM	: Revolutions per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)
RPP	: Recycled Polypropylene (Geri Dönüştürülmüş Polipropilen)
RTM	: Resin Transfer Molding (Reçine Transfer Kalıplama)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elekton Mikroskobu)
SBS	: Stiren Bütadien Stiren

SMC	: Sheet Molding Compound (Sıcak Pres Kalıplama Pestili)
TEM	: Transmission Electron Microscope (Geçirimli Elektron Mikroskobu)
TGA	: Termal Gravimetrik Analiz
TPE	: Termoplastik Elastomer
TPE-A	: Polyamid Termoplastik Elastomerler
TPE-E	: Polyester Termoplastik Elastomerler
TPE-O	: Polyolefin Karışımları Termoplastik Elastomerler
TPE-U	: Poliüretan Termoplastik Elastomerler
TPE-S	: Stiren Termoplastik Elastomerler
TPE-V	: Polyolefin Alaşımları Termoplastik Elastomerler
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
XRF	: X-Işını Floresans Spektrometresi

METAL KATKILI POLİMER MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİTLER

ÖZET

Polimer grubu içerisinde yer alan termoplastikler geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Ancak termoplastiklerin geri dönüşüm işlemi sonrasında mekanik özelliklerinde kayıp meydana gelebilir. Kaybedilen mekanik özellikleri geri kazanmak veya farklı özellikler kazandırmak için takviye malzemeleri kullanılır. Bu çalışmada geri dönüştürülmüş polipropilen (RPP) matris olarak seçilmiş olup, cam fiber (GF), saf demir tozu ve manyetit cevheriyle ayrı ayrı takviye edilerek mekanik ve termal özelliklerindeki değişimler gözlenmiştir. Ayrıca hazırlanan karışımlarla 3 katmanlı boru üretilmiştir. Üretilen borulara basınç testi ve termal genleşme testi uygulanmıştır. Sonuç olarak manyetit cevheri kullanımının fiyat-performans açısından cam fibere muadil bir takviye malzemesi olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ekstrüzyon, Kompozit, Polipropilen.

METAL REINFORCED POLYMER MATRIX HYBRID COMPOSITES

ABSTRACT

The thermoplastics, among the polymer groups, are recyclable materials. However, thermoplastics may loose their mechanical properties after recycling. Reinforcing materials are used to recover the lost mechanical properties or to impart different properties. In this study, the recycled polypropylene (RPP) matrix was selected and then reinforced separately with glass fiber (GF), pure iron powder and magnetite ore, and their mechanical and thermal properties were investigated. In addition, 3 layer pipes were produced with prepared mixtures. Pressure test and thermal expansion tests were applied to the produced pipes. As a result, the use of magnetite ore is considered to be an alternative reinforcing material to glass fiber in terms of price-performance.

Keywords: Extrusion, Composite, Polypropylene.

GİRİŞ

Polimerlerin kullanımı günümüzde oldukça yaygındır. Hafif olmaları, kolay işlenebilir olmaları, demir ve türevlerine göre işleme sıcaklıklarının düşük olması, esnek aynı zamanda çok yüksek sıcaklıklara çıkılmadığı takdirde dayanıklı olmaları üretimde geniş çapta kullanılmalarını sağlamıştır. Polimer grubu içerisinde en çok tercih edilen mühendislik malzemelerinden biride polipropilendir. Mukavemeti yüksek, kimyasallardan çok fazla etkilenmeyen ve ucuz olması sebebiyle diğer ticari termoplastik malzemelerin arasında ayrı bir yeri olan polipropilenin endüstriyel alanlarda ve günlük hayattaki kullanımı oldukça geniştir. Bununla birlikte, işlenebilirliği kolay olan polipropilen üzerinde çeşitli modifikasyonlar yapılarak birçok özelliği değiştirilebilir. Polipropilenin kolay işlenerek modifiye edilebilme özelliği, bu malzemenin mekanik özelliklerinde daha yüksek performans kazanılmasını ve buna bağlı olarak kullanım alanlarının genişletilmesini gündeme getirmektedir. Polipropilenin bu özelliklere sahip olması, endüstriyel ve günlük kullanımını arttırmasına da sebep olmaktadır. En çok kullanılan polimer işleme yöntemi ise ekstrüzyon yöntemidir. Ekstrüzyon yöntemiyle boru, profil, pencere, kablo kılıfı gibi ürünler üretilmektedir. Bunlardan üretimi en yaygın olan borudur [1, 2].

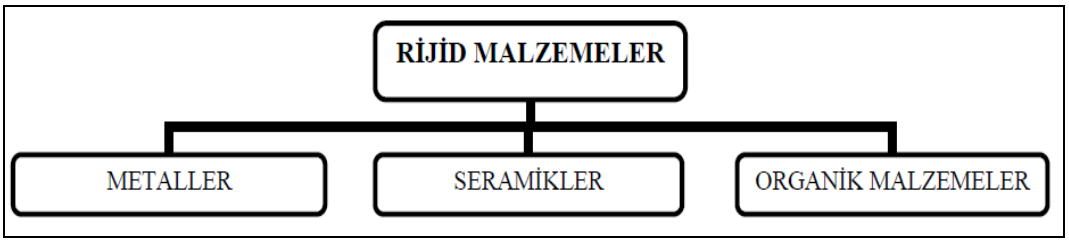
Katkılı termoplastik ürünlerin üretimi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Termoplastiklerin şekillendirilmesi, kalıplama sırasında oluşan gerilimlerin giderilmesi, malzeme özellikleri ve ısıl özelliklerinin geliştirilmesi ile ilgili çeşitli akademik çalışmalar yapılmıştır [3].

Bu çalışmada; Bölüm 1 de polimerler ve polimer matrisli kompozitlerle ilgili teorik bilgilere yer verilmiş olup, Bölüm 2 de kullanılan malzemeler ve yöntemlere, Bölüm 3 de bulgular ve tartışmalara ve son olarak Bölüm 4 de sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

1. TEORİK

1.1. Polimer Malzemeler ve Özellikleri

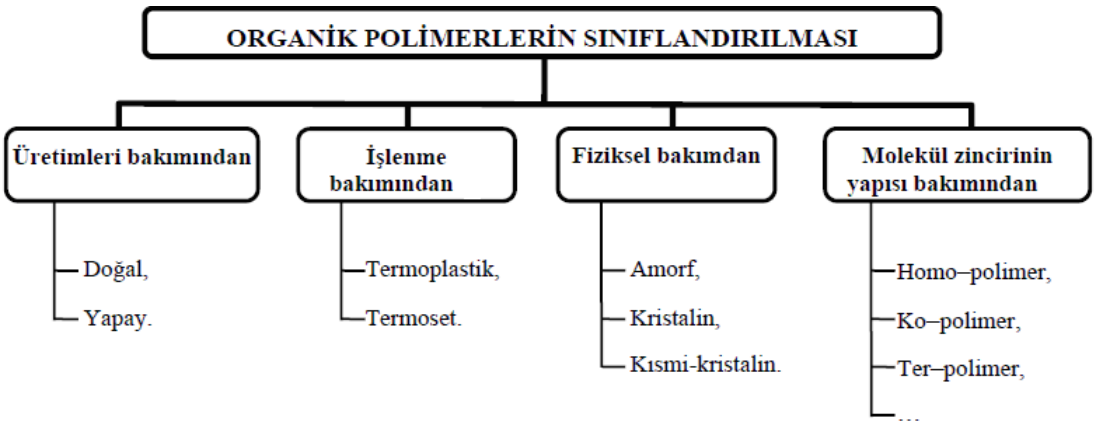
Rijid malzemeler, Şekil 1.1'de görüldüğü gibi genellikle metaller, seramikler ve polimerler olmak üzere 3 ana gruba ayrılır. Metaller, serbest elektronları ile metalik bağ yapan ve çeşitli kafes sistemlerinde kristallenebilen atomlardan oluşur. Parlak yüzeylere sahip olup ısı ve elektriği iyi iletirler. Genel olarak sertlikleri, erime sıcaklıkları, yoğunlukları ve mekanik dayanımları yüksek olup, şekil değiştirebilen malzemelerdir. Seramikler, bir veya birden fazla metal elementi ile ametal elementlerin iyonik veya kovalent bağlar yaparak birleşmesi sonucu meydana gelen inorganik malzemelerdir. Ametal ve inorganik yapıdaki tüm malzemeleri kapsamaktadır. Seramikler, yarı-iletken, sert ve kırılgan olup erime sıcaklıkları yüksektir. Organik malzemeler, genelde kovalent bağlı karbon ve hidrojen elementleri içeren moleküllerden meydana gelmektedir. Yoğunlukları, ısıl dirençleri ve mekanik özellikleri diğer malzemelere göre daha düşüktür.



Şekil 1.1. Rijid malzemelerin genel olarak sınıflandırılması [1]

Tekrarlanan moleküllerden oluşan makro-moleküllere sahip malzemeler polimer olarak adlandırılır. Polimerler, organik ve inorganik olarak iki gruba ayrılmakla birlikte genel olarak organik makro-moleküllerden oluşan malzemeler polimer (veya plastik) olarak ifade edilmektedir. Polimerlerin birçok bakımdan sınıflandırılması mümkündür [1]. Örneğin temel birimler aynı ise homo-polimer, daha fazla basit birim varsa kopolimer olarak adlandırabilir [2]. En yaygın sınıflandırma türleri Şekil 1.2'de görülmektedir. Bunlara ilave olarak polimerler, sentez tiplerine (basamaklı–zincir), yoğunluklarına, molekül ağırlıklarına, molekül ağırlıkları

dağılımlarına (mono dispers, poli–dispers) vb. çeşitli özelliklerine göre birçok şekilde sınıflandırılmaktadır.



Şekil 1.2. Organik polimerlerin genel olarak sınıflandırılması [1]

Polimerler sonradan ortaya çıkan malzemeler olmalarına rağmen kullanımları çok yaygındır. Polimerler çok çeşitlidirler ve özellikleri çok geniş bir aralıkta değişebilmektedir. Aşağıda plastiklere ait genel özellikler verilmiştir:

-Yoğunlukları düşüktür,

-Kolay şekil verilebilir ve işlenebilirler,

-Katkı maddeleri ile özellikleri değiştirilebilir,

-Isı ve elektrik iletkenlikleri düşüktür,

-Saydamdırlar,

-Korozyona ve kimyasal maddelere karşı dayanıklıdırlar,

-Yeniden işlenebilirler.

Plastiklerin yoğunlukları 0,8 ile 2,2 g/cm^3 arasında değişebilir, böylelikle metallerden ve seramiklerden hafiftirler. İşleme sıcaklıkları düşük (genellikle 120 ile 320 °C arasında değişir) olduğundan üretim için harcanan enerji metal malzeme ile üretime göre daha azdır. Ayrıca büyük miktarlarda üretime müsaittirler ve son işleme gerek kalmadan karmaşık parçalar üretilebilir. Katkı maddeleriyle plastik malzemelerin özellikleri değiştirilebilir. Bu katkı maddeleri;

-Ekonomik nedenlerle ilave edilen kalsit, mineral ve talaş vb. dolgu maddeleri,

-Plastik malzemelerin mekanik özelliklerini (çekme mukavemeti ve Plastiklik modülü gibi) değiştiren dolgu maddeleri,

-Malzemeleri boyamak için renk pigmentleri,

-Çalışma özellikleri ile mekanik özellikleri değiştirmek için katılan yumuşatıcılar,
-Plastiklerin bozunmalarını önlemek için katılan stabilizatörlerdir.

Plastiklerin ısı iletim katsayıları metallerin yaklaşık 300 de 1 'i kadardır. Bu da plastiklerin yalıtım malzemesi olarak kullanılmasını sağlamıştır. Ancak yüksek sıcaklıkta eriyik haldeyken soğuması için uzun sürelere ihtiyaç olması özellikle enjeksiyon kalıplarında önemli bir dezavantajıdır. Ekstrüzyon işleminde kalıp içerisinde polimer malzemeyi homojen sıcaklığa getirme problemi vardır. Bunun sonucu, kalıptan çıkan ürün boyutları etkilenmektedir. Ekstrüzyonda kalıptan çıkan ürünün üniform soğutulamamasından kaynaklanan farklı çekme oranları profilin istenen şekilde elde edilmesini engellemektedir [4].

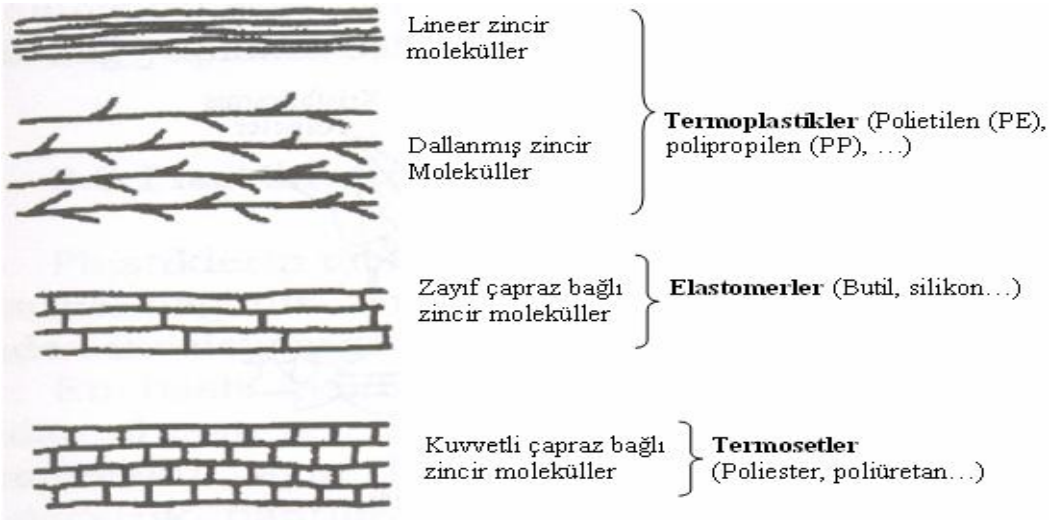
Plastikler kimyasal yapılarına göre çapraz bağlı ve çapraz bağlı olmayan olmak üzere kabaca iki gruba ayrılabilirler (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Plastiklerin sınıflandırılması [4]

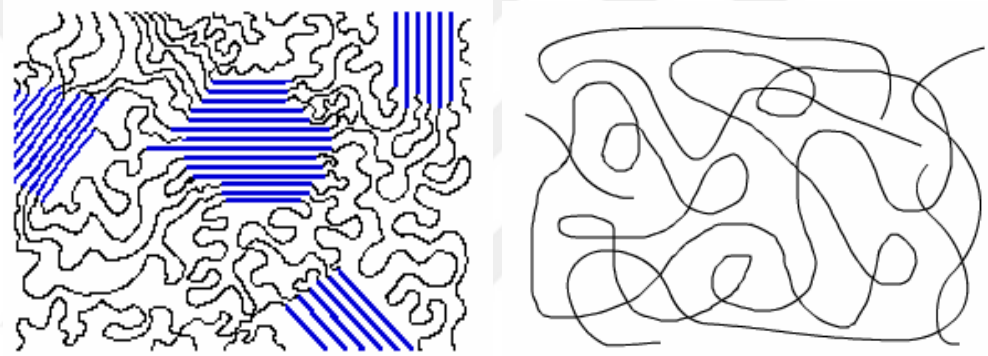
Polimerler			
Çapraz Bağlı Olmayanlar		Çapraz Bağlılar	
Amorf	Yarı Kristal	Zayıf Çapraz Bağlı	Kuvvetli Çapraz Bağlı

Termoplastikler çapraz bağlı değillerdir, buna karşılık termosetler ve elastomerler ise çapraz bağlıdırlar (Şekil 1.3) Polimerler doğrusal veya dallanmış makro moleküllerden oluşurlar [4]. Doğrusal polimerler kovalent bağlanmış atomların uzun molekül zincirlerinden oluşur ve her zincir çok daha küçük kimyasal birimlerden oluşan bir tekrardır [5].

Termoplastiklerin makro molekülleri arasında kimyasal bağ olmadığından tekrar işlenebilirler. Termoplastikler makro moleküllerin dizilişine göre amorf ve yarı kristal olarak da sınıflandırılabilirler. Amorf malzemelerde makro moleküllerin dizilişi rastgeledir. Yarı kristal plastiklerde ise bazı bölgelerde moleküller düzgün dizilmişlerdir (Şekil 1.4). Kristalleşmiş bölgeler mavi çizgilerle gösterilmiştir. Çapraz bağlı plastikler termoplastikler gibi çok defa yeniden kullanılamazlar. Kimyasal reaksiyonlar sonucu makro moleküller arasında kimyasal bağlar oluştuğu için çapraz bağlı ismini almışlardır.



Şekil 1.3. Plastik moleküllerinin dizilişi [4]



(a) (b)

Şekil 1.4. Yarı kristal (a) ve amorf (b) termoplastiklerin moleküler yapıları [4]

Makro moleküller arasındaki çapraz bağ sayısı arttıkça malzeme daha sert ve kırılgan olur, şişme özelliği de azalır. Kuvvetli çapraz bağlı malzemelere termoset denir [4].

1.1.1. Termoplastik malzemeler

Bu malzemeler, ısıtıldıkları zaman yumuşar ve akar, soğutulunca sertleşirler, katılaşırlar. Tekrar ısıtıldıklarında yeniden akışkan hale gelebilirler. Bu olay termoplastikler için tekrar edilebilir bir özelliktir. Bu şekillendirme esnasında hiçbir kimyasal değişime uğramazlar. Bunun anlamı, bu plastikler yeniden işlenebilirler ve yeniden ergitilerek geri dönüştürülebilirler. Genel de polimerizasyon adı verilen kimyasal işlemle elde edilirler. En çok kullanılan termoplastik malzemeler ve kullanım alanları Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2. En çok kullanılan termoplastikler ve kullanım alanları [3]

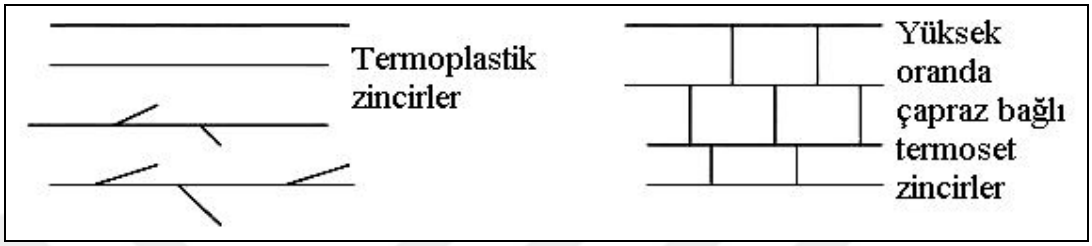
Termoplastik Polimer	Uygulamalar
Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)	Paketleme, borular, tanklar, şişeler, kasalar
Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE)	Paketleme, sebze çantaları, oyuncaklar
Polipropilen (PP)	Şapkalar, yoğurt kapları, bavullar, borular
Polistiren (PS)	Çoğunlukla saydam parçalar, yoğurt kapları
Polyamid (PA)	Yataklar, dişliler, cıvatalar, paten tekerleri
Polietilen Terafitalat (PET)	Saydam karbonlu içecek şişeleri
Polivinil Klorür (PVC)	Gıda paketleri, ayakkabılar, zemin

Termoplastikler katılaştığı zaman iki tip moleküler yapıdan birine sahip olurlar: amorf veya yarı kristal yapı. Amorf polimerlerde, polimer zincirleri yapısal bir düzen göstermez. Moleküller arasında kendi kendini tekrar eden, düzenli boşluklar ve mesafeler yoktur. Amorf polimerler yeterince düşük sıcaklıklarda sert ve kırılgandırlar. Isıtıldıklarında camsı geçiş sıcaklığı (Tg) denilen bir sıcaklıkta yumuşar ve kauçuk gibi özellikler gösterirler. Yarı kristal polimerlerin örgüsünde amorf ve kristal yapılar bir arada bulunur. Polietilen, Polipropilen, Poliamid, Poliester gibi plastikler yarı kristal yapıdadırlar. Bu polimerler camsı geçiş sıcaklıkları altında kırılgandırlar. Camsı geçiş sıcaklığı üzerine çıktıklarında belli derecede yumuşaklık kazanmakla birlikte polimer örgüsü sıkıca bir arada durur. Bu malzemeler, soğutuldukları zaman moleküler yapıları yüksek oranda düzenlidir ve kristal yapıdadırlar. Kristal bölgelerin ölçüsü, zincirlerin yapısı ve soğutma hızına bağlıdır. Yarı-kristalin malzemeler, moleküler yeniden düzenlenme nedeniyle boyca çekerler.

1.1.2. Termoset malzemeler

Termoset plastikler, ısıtıldıkları zaman sürekli bir katılaşma meydana gelir. Isıtıldıklarında kimyasal yapıları bozulduğu için termoplastikler gibi yeniden işlenemezler. Geri dönüşümleri yoktur. Kalıplama veya ısıl süreç öncesinde, termoplastiklere benzer ip şekilli zincirler oluştururlar. Fakat kalıplama esnasında

ısının etkisiyle moleküller çapraz bağlar ile yüksek yoğunlukta ağ oluştururlar. Bu nedenle kalıplanmış termosetler tekrar ergitilemez. Genelde polikondenzasyon yöntemi ile üretilirler. Termoplastik ve termoset plastiklerin moleküler düzeni arasındaki farklar Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da görülebilir. Termosetler, çoğunlukla dayanım gerektiren yerlerde kullanılırlar. Tablo 1.3'de termosetlerin kulanım alanlarından bazı örnekler verilmiştir.



Şekil 1.5. Termoplastik ve Termoset plastiklerin molekül zincirleri arasındaki farklar [3]

Tablo 1.3. Sık kullanılan termoset malzemeler ve kullanım alanları [3]

Termoset Polimerler	Uygulamalar
Epoksi	Yapıştırıcılar, elektrik yalıtımı
Melamin	Isı dayanımlı tabakalı yüzeyler, mutfak tezgahları
Fenoliks	Tava/tencere kulpu, ütüler
Poliüretan (PU)	Yalıtım ve döşemecilik için esnek veya rijid köpük
Doymamış polyester	Duvarlar, ekmek kızartma makinelerinin kenarları, uydu

1.1.3. Elastomerler

Elastomerler oda sıcaklığında, gerçek uzunluğunun en az iki katına kadar defalarca esnetilebilen ve tekrar orijinal uzunluğuna geri dönebilen malzemeler olarak tanımlanır.

Termoplastik elastomerler: Uzun bir süre, elastomerler sık çapraz bağlanma nedeniyle termoset tip malzemeler olarak tanımlanmışlardır. Bu malzemelerin büyük bir dezavantajı, termoplastik elastomerlerde (TPE) var olan, geri dönüşümün olmamasıdır. En sık kullanılan termoplastik elastomer örnek, stiren-bütadien-stirendir (SBS). TPE'lerin termoset tip elastomerlere göre avantajları şunlardır:

• Daha düşük parça yoğunluğu nedeniyle daha düşük parça maliyetleri,

• Daha kısa çevrim süresi,

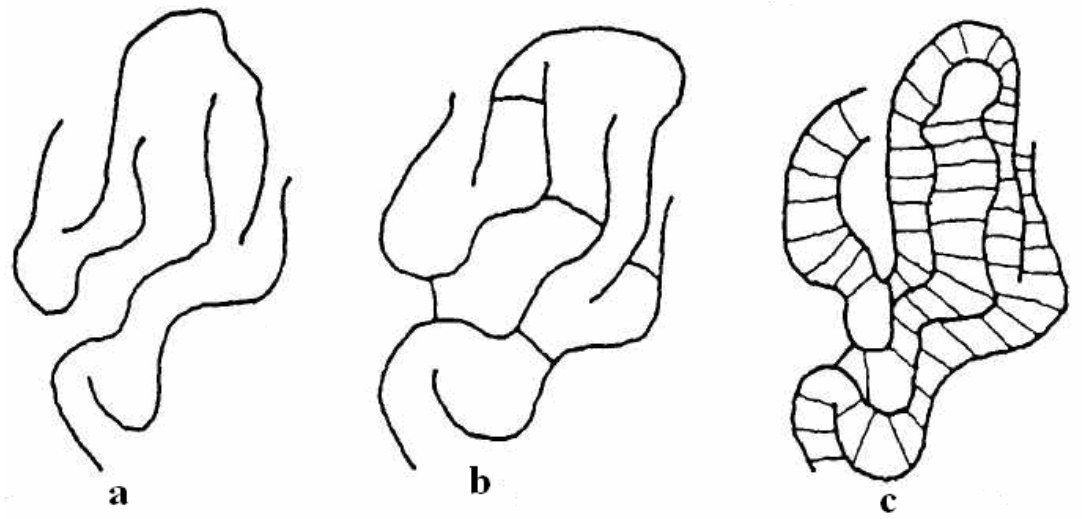
• Artıkların ve parçaların geri dönüşebilmesi,

• Renklendirilebilmek.

Termoplastik elastomerleri ticari açıdan daha başarılı yapan özellikleri, daha düşük esneklik ve elastikliktir. Gerilimden kurtulma kabiliyeti ve gerçek şekline geri dönmesi, sızdırmazlık elemanları gibi uygulamalar için onları uygun yapmaktadır. Tablo 1.4 de bazı termoplastik elastomer örnekleri ve onların temel molekülleri verilmiştir.

Tablo 1.4. Termoplastik elastomer örnekleri [3]

Tip	Elastomer Açıklama	Alt Grup
TPE-O	Polyolefin karışımları	PP/EPDM, PP/EPDM çapraz bağlı
TPE-V	Polyolefin alaşımları	Çeşitli
TPE-S	Stiren	SEBS, SBS, SEBS/PPE
TPE-A	Polyamid	PA 12 tabanlı, PA 6 tabanlı
TPE-E	Polyester	Polyesterester, Polieterester
TPE-U	Poliüretan	Polyester üretan, Polieterester üretan, Polieter
SEBS = stiren-etilen/butiren-stiren terblok kopolimer		



Şekil 1.6. Termoplastiklerin (a), elastomerlerin (b) ve termosetlerin(c) çapraz bağ yoğunluğu

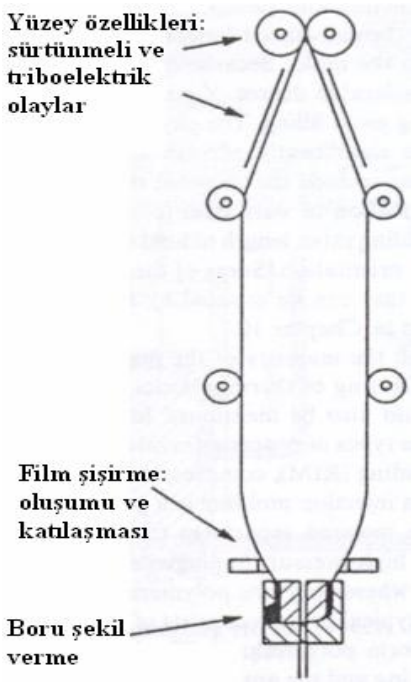
1.1.4. Polimerler işleme yöntemleri

Kalıp sonrası işleme:

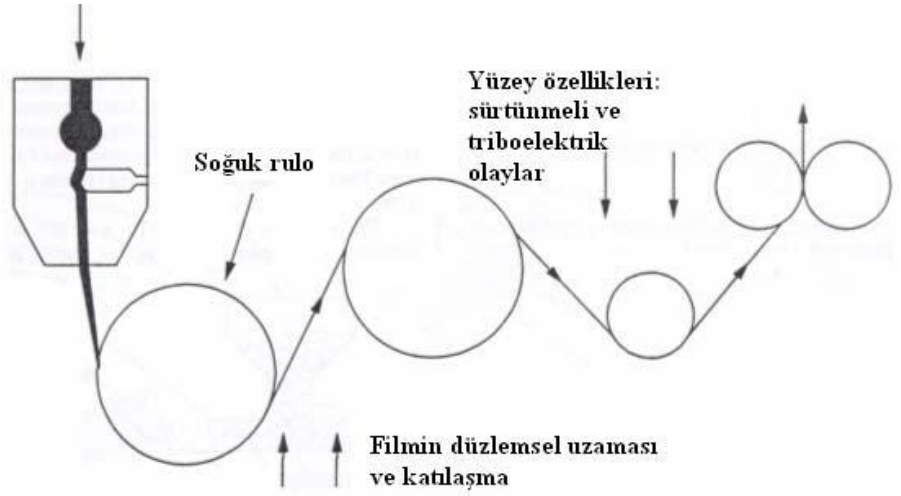
Film şişirme (film blowing) (Şekil 1.7), levha üretimi (sheet forming) (Şekil 1.8) ve lif üretimi (fiber spinning) (Şekil 1.9) bu işleme yöntemi içine girer. Bu işlemlerin ortak yanı serbest yüzeyli işlemler olmalarıdır. Ürünün ölçüsü (kalınlık, çap…) ve şekli eriyiğin reolojik özelliklerinden, kalıp ölçülerinden, soğuma şartlarından, (ekstrüzyon üretim hızına göre) çekme hızından etkilenir. Reolojik özelliklerdeki hafif değişimler bitmiş ürün lif veya filmin özelliklerinde birçok değişikliklere neden olabilir [4].

Şekillendirme işlemleri:

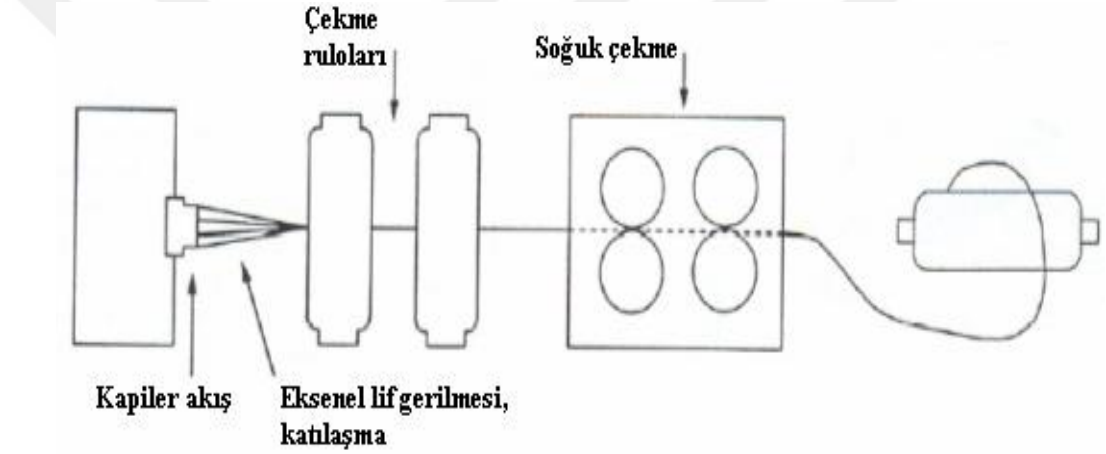
Şişirmeyle kalıplama (blow molding) (Şekil 1.10), ısıl şekillendirme (termoforming) (Şekil 1.11) ve basınçla kalıplama (compression molding) (Şekil 1.12) bu gruba girmektedir. Şişirmeyle kalıplama daha çok sıvıların konulacağı kapların yapımında kullanılır. Bu işlemde HDPE veya polietilen tereftalat (PET) gibi poliolefin grubu da kullanılır. Şişirmeyle kalıplamada: ekstrüderden veya enjeksiyon kalıbından çıkan malzeme hava ile şişirilir, böylece kalıp cidarına yapışması sağlanır ve bir süre sonra soğuk kalıp cidarında katılaşır [4].



Şekil 1.7. Film şişirme işlemi [4]



Şekil 1.8. Düz film ve levha üretimi [4]



Şekil 1.9. Lif üretimi [4]

Isıl şekillendirmede ise polimer levha radyasyonla veya zorlanmış taşınımla camsı geçiş sıcaklığının veya kristal erime sıcaklığının biraz üzerine kadar ısıtılır, daha sonra erkek kalıpla dişi kalıba basılır veya vakumla dişi kalıba yapışması sağlanır. Son olarak basınçla kalıplamada kalıp içindeki polimer malzeme ısıtılır, baskıyla kalıp hacminin boş yerlerine yayılması sağlanır. Böylece malzemeye arada kalan hacmin şekli verilmiş olur [4].

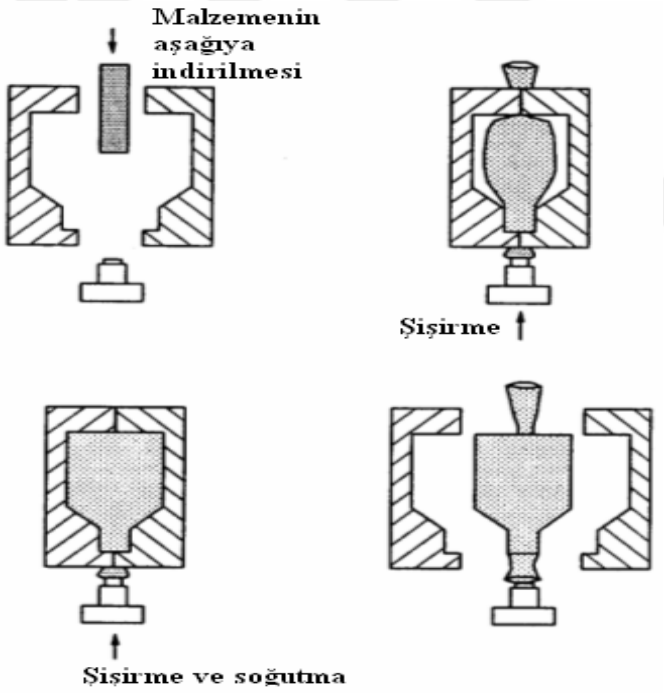
Enjeksiyon üretim yöntemi:

Enjeksiyon kalıplama, sıkıştırma kalıplama ve döküm şekillendirme işlemlerinin tümü polimerin boşluğa zorlanması ve boşluğun şeklini almasından oluşan üretim yöntemidir. Enjeksiyonla üretimde (Şekil 1.13) polimer, vidalı ekstrüderde eritilir ve kalıba basılır. Şekil değiştirmenin fazlaca meydana gelmesinden ve hızlı soğutmadan

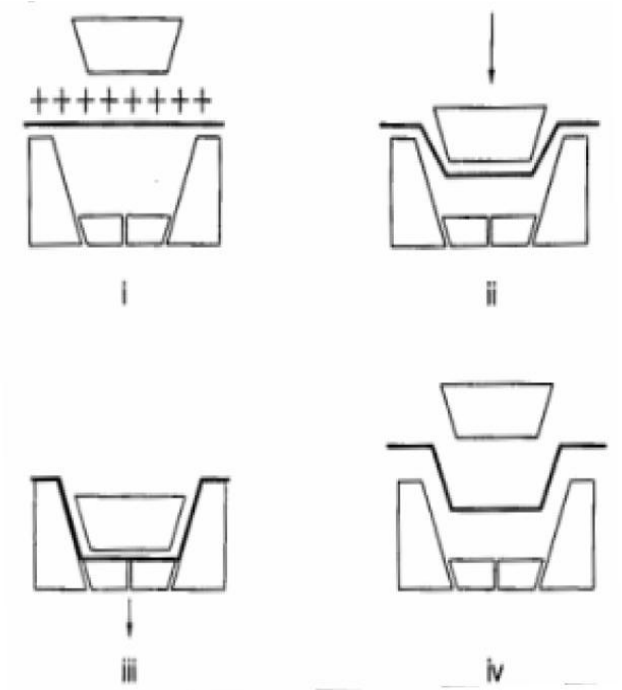
dolayı polimer eriyik kalıbı doldurana kadar yüksek miktarda moleküler yönlenmeye uğrar. Kalıptaki parçanın fiziksel özellikleri proses şartlarından çok etkilenir [4, 7].

Polimer ekstrüzyonu:

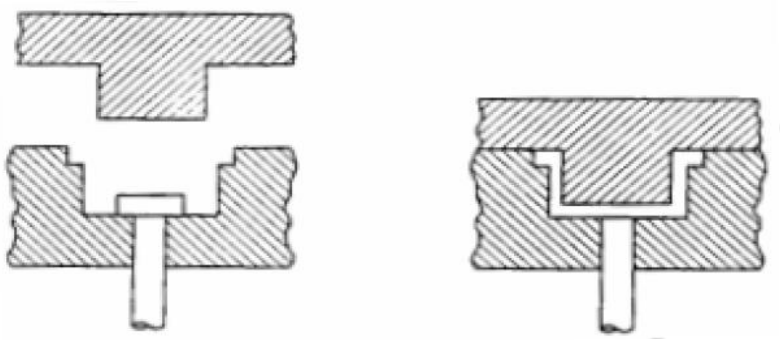
Ekstrüzyon işlemi, yüksek verimlilikte sürekli olarak oluşturulmuş polimer parçalarını temin eder [8]. Çünkü ekstrüderden malzeme çıkışı hiç durmamaktadır. Ancak arıza, bakım veya hammaddede değişiklik yapılması gibi durumlarda üretim durur. Mesela enjeksiyon yönteminde durum böyle değildir, vidalı ekstrüder enjeksiyon kalıbını doldurana kadar çalışır, sonra ürünün kalıptan alınması için bekleme konumuna geçer. Ekstrüzyonda film, boru, profil, levha üretimi ile kablo kaplama gibi çok çeşitli işlemler yapılabilmektedir. Şekil 1.14'de profil üretimi için bir ekstrüzyon hattı ve üniteleri görülmektedir [4].



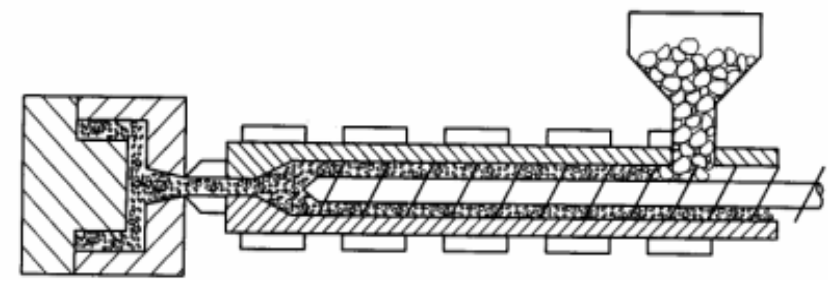
Şekil 1.10. Şişirmeyle kalıplama [4]



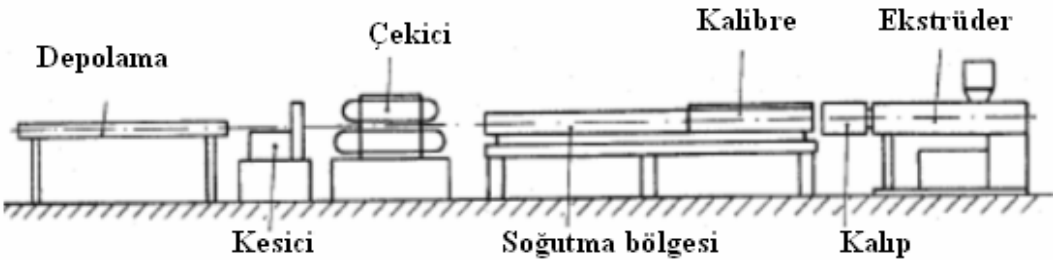
Şekil 1.11. Vakumla ısıl şekillendirme [4]



Şekil 1.12. Basınçla kalıplama işlemi [4]



Şekil 1.13. Genel enjeksiyon ünitesi [4]



Şekil 1.14. Profil üretimi için ekstrüzyon hattı [4]

Genel olarak bir ekstrüzyon hattı şekilde görüldüğü gibi ekstrüderden önce bir besleme ünitesi, ekstrüder, kalıp, kalibre, soğutma ünitesi, çekici, kesici ve depolama ünitesinden oluşur.

Besleme ünitesi granül haldeki polimer hammaddeyi (Şekil 1.14) ekstrüder vidasına iletir. Ekstrüder vidası granülleri eriterek kalıba doğru basar. Kalıp ürünün şeklini belirleyecek profile sahiptir ve ekstrüderin çıkışına bağlanır. Kalıptan çıkan malzeme kısa bir mesafe havada ilerledikten sonra kalibreye girer. Kalibre hem soğutma görevi görür, hem de yarı bitmiş ürünü dış cidarından vakumla kalibre iç cidarına çekerek son şeklini almasını sağlar. Ancak bu soğutma yeterli olmadığından kalibreden sonra ürün su püskürtmeli soğutmaya tabi tutulur. Bundan dolayı kalibre son ürün boyutlarından daha büyük dizayn edilir. Ekstrüzyon hattının devamında gerekliyse soğutmaya ürün, su kanalından geçirilerek devam edilir. Ekstrüderden çıkan polimer malzemenin yığılmasını önlemek için çekici ile belli bir hızda çekilir. Bazen ürün ölçülerini düşürmek için çekici, ekstrüzyon hızından biraz daha yüksek hızda çalışabilir. Nihayet oda sıcaklığına yaklaşan profil istenilen uzunlukta kesilir [3]. Genellikle ekstrüzyon en çok PP, PE, PVC ve PS gibi termoplastiklere uygulanır. Bunun yanı sıra bazı termosetlere de uygulamaları mevcuttur [9].

Isı kaynağı:

Termoplastikler yapısından dolayı ısı kaynağı olarak kullanılabilmektedir. Birleştirilecek olan yüzeyler ısıtılmakta ve bir araya getirildikten sonra soğutularak katılaşması sağlanmaktadır (Şekil 1.15). Bu sayede termoplastikler uyumlu olduğu bir polimere bağlamak için yapıştırıcı kullanımına gereksinim duyulmamaktadır [10].



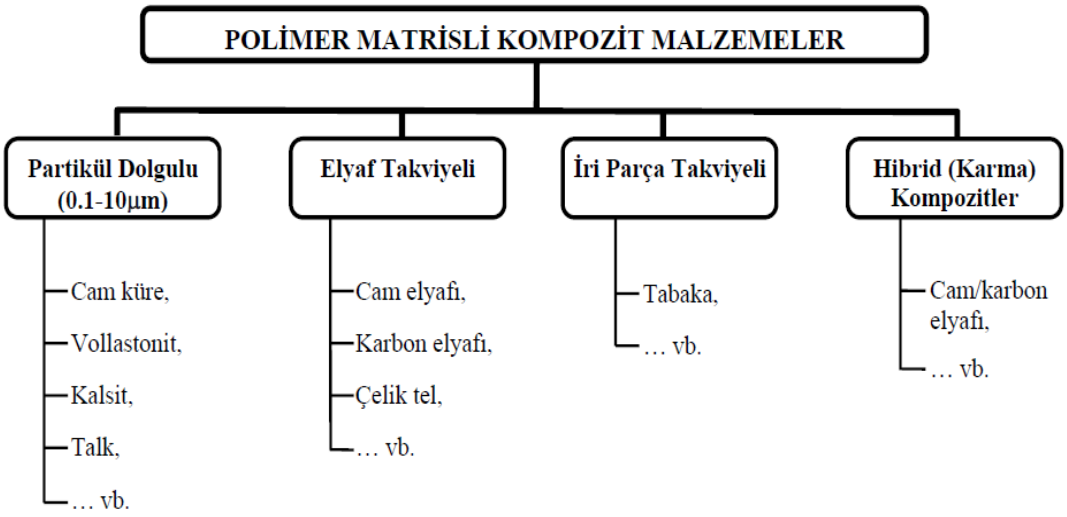
Şekil 1.15. Isı kaynağı [10]

1.2. Kompozitler

1.2.1. Polimer matrisli kompozitler

Termoplastik malzemeler, tekrarlı ısıtılarak şekillendirilebilirlik, kolay işlenebilirlik gibi bazı üstün özelliklere sahip olmalarına rağmen mekanik özellikleri termoset ve diğer mühendislik malzemelerine göre düşük seviyelerde kalmaktadır. Mukavemet, rijidlik ve tokluk gibi mekanik özellikleri geliştirilebilmek amacıyla bu malzemeler farklı özelliklere sahip diğer malzemelerle bir araya getirilerek takviyelendirilmektedir [1].

Geniş anlamda 'kompozit' kelimesi; iki veya daha fazla farklı parçadan imal edilmiş anlamına gelir [11]. Fazlardan en az birinin (örneğin matris fazı) polimer olması durumunda sistem polimer kompoziti adını almaktadır. Yapılarında farklı özelliklere sahip çeşitli malzemeler bulundurabilen kompozit malzemelerin sınıflandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki malzemelerin biçimlerine göre Şekil 1.16'da görülen sınıflandırmanın yapılması mümkündür.



Şekil 1.16. Polimer matrisli kompozit malzemelerin sınıflandırılması [1]

Matris, sürekli faz durumunda olup farklı maddeleri içerisinde bulunduran ve bunları bir arada tutan ortam görevi yapan (polimerik) malzemedir. Matrisin özellikleri: kuvvetleri takviye malzemesine iletir, dolgu ve takviye malzemesini dış etkilerden korur, kompozit içerisindeki elyaf kopması gibi hasarların etkilerinin yerel olarak kalmasını sağlar.

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde, matris malzemesi kuvvetleri elyafa iletmektedir. Parçacık dolgulu/takviyeli kompozit malzemelerde yük matris tarafından taşınır, partiküller zincirlerin hareketini engelleyerek rijidliği arttırmaktadır. İri parça takviyeli kompozit malzemelerde yük, matris ve takviye malzemesi ile birlikte taşınır. Karma (hibrit) kompozitlerde kompozit yapısında aynı anda iki veya daha fazla türde takviye maddesi bulunmaktadır.

İnorganik dolgu maddeleri, içerisine katılan malzemenin (matris) bazı özelliklerini değiştirerek/geliştirerek yeni bir tür malzeme (kompozit) elde edilmesini sağlayan yüksek mukavemetli rijid maddelerdir. Polimer zincirlerinin mümkün olan her konformasyonu oluşturmasını engelleyerek, zincirlerin hareket edebilmesini güçleştirir. Gerilme altındaki polimer zincirleri, dolgu maddesinin etrafından dolaşmak zorunda kalır. Ayrıca, zincirlerin ikincil bağ kuvvetleri ile (hidrojen bağı, vb.) kendilerine bağlanmalarını sağlayarak hareketliliklerini azaltır. Dolgu maddesi partiküllerinin polimer matris içerisinde üniform olarak dağılması önem taşır. Dolgu maddesinin geometrik şekli, kimyasal bileşimi, toplam yüzey alanı, yüzey enerjisi,

yüzey pürüzlülüğü gibi özellikleri kompozitin mekanik özelliklerine etki derecesini belirler. Bu durumun sonuçları genel olarak Tablo 1.5 de verilmiştir [1].

Tablo 1.5. Dolgu maddelerinin kompozit üzerindeki bazı etkileri [1]

OLUMLU ETKİLERİ	OLUMSUZ ETKİLERİ
E-modülünü arttırır	Darbe mukavemetini düşürebilir
Kopma gerilmesini arttırabilir	Kopma gerilmesini düşürebilir
Rijidliği arttırır	Şekil değişimi oranını düşürebilir
Sertliği arttırır	
Isı değişimine karşı boyutsal kararlılık sağlar	
Isıl deformasyon sıcaklığını arttırır	
Sürünme özelliğini iyileştirir	
Matris polimerin Tg'sini yükseltir	
Maliyeti düşürür	

Performans gereksinimleri gereği metal yerine muadil malzeme olarak cam elyaf takviyeli termoplastik kompozitler tercih edilen malzeme haline gelmiştir [12]. Polipropilen (PP): en çok kullanılan termoplastiklerden biridir ve cam elyaf (GF) takviyeli kompozitlerin üretimi için matris olarak mükemmel performans ve maliyet avantajı sunar [13]. Cam elyaflar; iyi mekanik ve diğer fiziksel özelliklerinden dolayı birçok yapısal uygulamada fiber takviyeli kompozitler için takviye malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır [14]. Örneğin havacılık, otomotiv, deniz ve spor malzemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [15]. Genel olarak PP ve GF ara yüzeyindeki yapışmayı ve uyumu sağlamak için kimyasal bağlantı ajanları kullanılır. Bu bağlantı ajanlarıyla birlikte mekanik özelliklerde artış gözlenir [16]. Cam elyaf yüzeyinde kimyasal işlemler veya hidrofilik elyaflar ve hidrofobik polimerler arasındaki uyumsuzluğu gidermek için en yaygın olarak kullanılan bağlantı ajanı maleik anhidrid'tir [17]. PP; mekanik ve termal özelliklerinin iyi olması, düşük maliyetli olmasından dolayı geniş kullanıma sahip bir polimerdir. Talk, silika, $CaCO_3$, $BaSO_4$ ve $Mg(OH)_2$ gibi inorganik dolgu maddeleri; PP karışımlarında takviye edici maddeler olarak kullanılırlar. Bu sayede çekme mukavemeti, Young ve eğilme modülleri iyileşir. Son yıllarda, pul pul veya katmanlı nanokiller, nano

$CaCO_3$ ve nano silika gibi ince dağılan nano dolgu içeren PP bazlı nano kompozit karışımlar büyük ilgi görmüştür [18, 19].

Kısa elyaf takviyeli kauçuk kompozitler, elyafın sertliğini ve lastik elastikiyetini birleştiren benzersiz mekanik özelliklere sahiptir. Bazı dolgu maddeleri, sadece kauçuk kompozitlerinin modülünü değil aynı zamanda mukavemetini de arttırır. Bunlar dolgu takviyeleri olarak bilinir ve bunun güzel bir örneği karbon karasıdır [20].

Bir başka takviye malzemesi ise karbon fiberdir. Geleneksel karbon fiber takviyeli kompozitler olağanüstü sertlik ve mukavemet sağlar [21]. Yüzde birkaç kısa karbon fiber eklenmesiyle, kompozitin etkin elektrik iletkenliği sınırlayıcı bir değere yaklaşır ve matris içine kısa karbon fiber eklenmesiyle aynı değerde kalır [22]. Takviye edici olarak karbon fiber kullanıldığı gibi karbon nano tüp kullanımı da mevcuttur. Karbon nano tüp kullanımı ile birlikte elektriksel ve mekanik özelliklerde artış gözlenmiştir [23].

İnorganik dolgu maddeleri ve kil dolgu maddeleri, mekanik, termal ve ayrıca alev geciktirici özellikleri geliştirmek için sıklıkla kullanılmaktadır [24]. Organokile dayanan polimer nano kompozitörlerde potansiyel olarak mekanik özelliklerde önemli miktarda artışa neden olabilirler [25].

Son olarak piyasalar giderek çevre dostu ürünler üzerine yönlendirilmektedir. Doğal lifler gibi doğal kaynakların özelliklerini anlamak için araştırmalara artan bir ilgi vardır. Kompozit malzemelerde takviye edici olarak doğal liflerin kullanımına yönelik çalışmalar mevcuttur. Doğal takviye ediciler yüksek mukavemet ve sertlik, düşük yoğunluk, düşük maliyet, yalıtım özellikleri ile birlikte düşük enerji tüketimi gibi belirli özellikleri yapıya sağlamaktadır. Selüloz açısından zengin yapısı onları kolayca biyolojik olarak parçalanabilen ve geri dönüştürebilen hale getirir. Bununla birlikte, doğal liflerin kullanılması ile ilgili problem polimerik matris ile düşük yapışmadır. Bu sorunu aşmak ve elyaf ile polimer matris arasındaki uyumu geliştirmek için liflerin yüzeyleri veya matris üzerinde kimyasal veya fiziksel modifikasyon yapılır [26]. Örneğin bitki lifi takviyeli kompozitler; ucuz, çevre dostu ve cam elyaf takviyeli kompozitlerle karşılaştırıldığında göreceli olarak iyi mekanik özelliklere sahip olduklarından, son zamanlarda bitki lifi takviyeli kompozitler ortaya

çıkmaktadır [27]. Doğal liflerle kompozitlerin geliştirilmesi birçok zorluğu beraberinde getirir [28]. Bazı araştırmacılara göre selüloz içeriği gibi diğer parametreler bitki lifinin mekanik özelliklerini etkiler. Bu sorunu da gidermek için tekrar kimyasal veya fiziksel modifikasyon gerekir [29].

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte yapıdaki malzemelerin formuna göre sınıflandıracak olursak;

a. Elyaf takviyeli kompozitler,

b. Parçacık takviyeli kompozitler,

c. Tabakalı kompozitler,

d. Karma (hibrit) kompozitler olarak sınıflandırmak mümkündür (Şekil 1.17).

a. Elyaf takviyeli kompozitler:

Cam elyaf takviyeli polimerler; polimer matrisli kompozitlerin en büyük sınıfını temsil etmektedir [30]. Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür.

Elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir [31]. Cam elyaf takviyeli polimerlerin boyutsal kararlılığı her zaman cam elyaf takviye edilmemiş malzemelerin boyutsal kararlılığından daha iyidir [32].

Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas

azalacaktır. Nem absorbsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir [31].

b. Parçacık takviyeli kompozitler:

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılardır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısıl ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler [31].

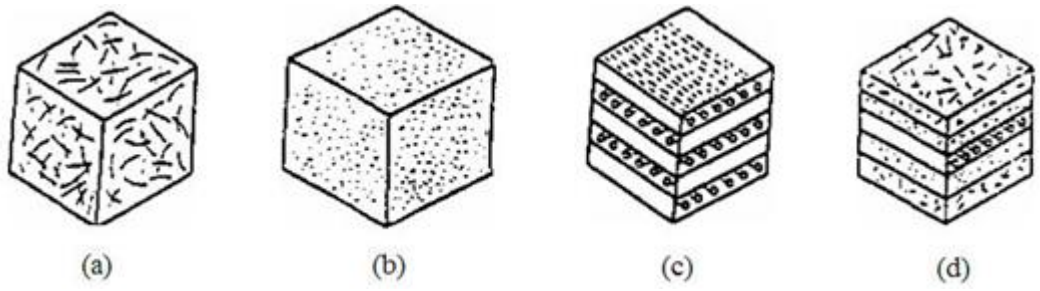
c. Tabakalı kompozitler:

Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan kompozit tipidir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilebilmektedir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler. Ayrıca uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanı olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzeme örneğidirler. Sandviç yapılar, yük taşımayarak sadece izolasyon özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler [31].

d. Karma (Hibrit) kompozitler:

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması mümkündür. Bu tip kompozitlere hibrit kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, Kevlar ucuz ve tok bir elyaftır. Ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrit kompozitin tokluğu grafit kompozitden iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de Kevlar elyaflı kompozitden daha yüksek olmaktadır [31]. Ayrıca inorganik-organik hibritler,

malzeme kimyasının birçok dalında uygulanabilir; çünkü işlenmesi basittir ve moleküler ölçekte tasarıma uygundur [33].



Şekil 1.17. Kompozitlerin sınıflandırılması; (a) elyaf takviyeli, (b) parçacık takviyeli, (c) tabakalı, (d) karma (hibrit) [31]

Kompozit malzeme yapısındaki temel malzemeler:

Matris malzemelerinin özellikleri:

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

Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir elyaf demeti düşünüldüğünde yük bir ya da birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gösterir. Elyaf yönlenmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matris arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris elyafa göre zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur. Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise elyaf ya da matriste oluşacak bir çatlağın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse, elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise, elyaf veya matristen

başlayan enlemesine doğru bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler [31].

Elyaf çeşitleri ve özellikleri:

Matris malzeme içinde yer alan elyaf takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam elyaflar teknolojide kullanılan en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan diğer elyaf tipleridir. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile büyük kütlesel yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca üstün mikro yapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri, boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması ve elastisite modülünün çok yüksek olması elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemesi olmasını beraberinde getirmektedir [31].

Cam elyaflar:

Cam elyaflar, sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam; amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır. Üç boyutlu moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir. Doğada genellikle oksijenle birlikte SiO_2 şeklinde bulunur. Camın elde edilmesi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru halde iken 1260 °C civarına kadar ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir [31]. Katkı malzemeleri genelde; kalsiyum, bor, sodyum, demir ve alüminyum oksitlerdir [34].

Cam elyafların bazı özellikleri ise aşağıdaki gibi özetlenebilir;
1. Birim ağırlık başına düşen çekme mukavemeti çelikten yüksektir.
2. Isıl dirençleri düşük olduğu için yanmazlar ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.

3. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.

4. Nem absorbe etme özellikleri yoktur. Ancak cam elyaflı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.

5. Elektriksel yalıtımın önemli olduğu uygulamalarda güvenle kullanılmaktadır. Dört farklı tipte cam elyaf mevcuttur. Bunlar;

a. A (Alkali) camı: Yüksek oranda alkali içerir. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek olup en yaygın cam tipidir.

b. C (Korozyon) camı: Kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir.

c. E (Elektrik) camı: Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir [31]. Yüksek nem direnci ve kimyasal kararlılık gerektiren elektrik uygulamalarında yaygın olarak kullanılır [35].

d. S (Mukavemet) camı: Yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir [31].

Bor elyaflar:

Bor elyaflar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulamadır. Bor-Tungsten elyaflar, sıcak Tungsten flamanın hidrojen ve bortriklorür ($BC1_3$) gazından geçirilmesi ile üretilirler. Böylece Tungsten flamanın dışında bor plaka oluşur. Bor elyaflar değişik çaplarda (0,05 mm ila 0,2 mm) üretilebilirler. Tungsten çekirdek ise daima 0,01 mm çapında üretilir. Bor elyaflar yüksek çekme mukavemetine ve elastiklik modülüne sahiptirler. Çekme mukavemetleri 2758 MPa ila 3447 MPa arasındadır. Elastite modülü ise 400 GPa'dır. Bu değer S camının elastisite modülünden beş kat fazladır. Üstün mekanik özelliklere sahip olan bor elyaflar, uçak yapılarında kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Ancak, maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle, son yıllarda yerlerini karbon elyaflara bırakmışlardır. Bor elyafların silisyum karbür (SiC) veya Bor Karbür (B_4C) kaplanmasıyla yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı artar. Özellikle

bor karbür kaplanması ile çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılabilir. Bor elyafların erime sıcaklıkları 2040 °C civarındadır [31].

Silisyum karbür elyaflar:

Bor gibi Silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması ile elde edilirler. 0,1 mm ila 0,14 mm çaplarında üretilirler. Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri bor elyaflardan daha iyidir. Silisyum karbür elyaf 1370 °C'de mukavemetinin sadece %30'unu kaybeder. Bor elyaf için bu sıcaklık 640 °C'dir. Bu elyaflar genellikle titanyum matrisle kullanılırlar. Jet motor parçalarında titanyum, alüminyum ve vanadyum alaşımlı matris ile kullanılırlar. Ancak Silisyum karbür elyaflar Bor elyaflara göre daha yüksek yoğunluğa sahiptirler. Silisyum karbürün karbon çekirdek üzerine kaplanması ile üretilen elyafların yoğunluğu düşüktür [31].

Alümina elyaflar:

Alümina, Alüminyum oksidin ($A1_2O_3$) kısaltılmış hali olarak tanımlanabilir. Elyaf formundaki alümina, 0,02 mm çapındaki alümina flamanın silisyum dioksit (SiO_2) kaplanması ile elde edilir. Alümina elyafların çekme mukavemetleri yeterince yüksek değildir. Ancak basma mukavemetleri yüksektir. Örneğin, alümina epoksi kompozitlerin basma mukavemetleri 2275 ila 2413 MPa arasındadır. Yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle uçak motorlarında kullanılmaktadırlar [31].

Grafit (karbon) elyaflar:

Karbon, yoğunluğu 2,268 g/cm^3 olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon elyaflar cam elyaflardan daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Hem karbon hem de grafit elyaflar aynı esaslı malzemeden üretilirler. Bu malzemeler hammadde olarak bilinirler. Karbon elyafların üretiminde üç adet hammadde mevcuttur. Bunlardan ilki rayondur (suni ipek). Bu hammadde inert bir atmosferde 1000–3000 °C civarına ısıtılır ve aynı zamanda çekme kuvveti uygulanır. Bu işlem mukavemet ve tokluk sağlar. Ancak yüksek maliyet nedeniyle rayon elyaflar uygun değildirler. Elyaf imalatında genellikle rayonun yerine poliakrilonitril (PAN) kullanılır. PAN esaslı elyaflar 2413 ila 3102 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler ve maliyetleri düşüktür. Petrolün rafinesi ile elde edilen

zift esaslı elyaflar ise 2069 Mpa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler. Mekanik özellikleri PAN esaslı elyaflar kadar iyi değildir ancak maliyetleri düşüktür.

Karbon elyafların en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Bu elyaflar, nemden etkilenmezler ve sürünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon elyaflar çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca alüminyum ve magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılır [31].

Aramid elyaflar:

Aramid "aromatik polyamid"in kısaltılmış adıdır. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir, aramidin moleküler yapısında ise altı karbon atomu birbirine hidrojen atomu ile bağlanmıştır. İki farklı tip aramid elyaf mevcuttur. Bunlar Du Pont firması tarafından geliştirilen Kevlar 29 ve Kevlar 49'dur. Aramidin mekanik özellikleri grafit elyaflarda olduğu gibi elyaf ekseni doğrultusunda çok iyi iken elyaflara dik doğrultuda çok zayıftır. Aramid elyaflar düşük ağırlık, yüksek çekme mukavemeti ve düşük maliyet özelliklerine sahiptir. Darbe direnci yüksektir, gevrekliği grafitin gevrekliğinin yarısı kadardır. Bu nedenle kolay şekil verilebilir. Doğal kimyasallara dirençlidir ancak asit ve alkalilerden etkilenir [31].

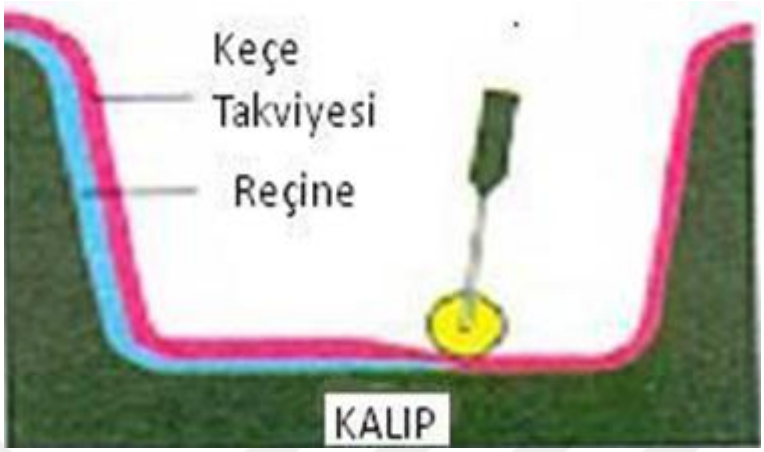
1.2.2.Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri

İstenilen özelliklerde ve biçimde kompozit malzeme üretimi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden başlıcalar aşağıda açıklanmıştır.

El yatırması yöntemi (Hand Lay-up):

Geniş yüzeyli cam elyaf takviyeli plastik kalıplaması için en çok kullanılan metottur. Yöntem; bir kalıba elle yerleştirilen kumaşlara (elyaf) bir rulo veya fırça ile reçinenin emdirilmesi esasına dayanır. Kumaşlar kalıba, önce kalıp ayırıcı ardından jelkot uygulandıktan sonra yerleştirilir. Daha sonra reçine emdirilmiş kumaşlar oda sıcaklığı ve atmosferik basınç altında veya farklı sıcaklık ve basınçlar altında

pişmeye/kurumaya bırakılır. Reçineler kumaşlara kat kat yedirilebildiği gibi kumaşın özelliklerine bağlı olarak çok katmana aynı anda da reçine sürülebilir (Şekil 1.18).



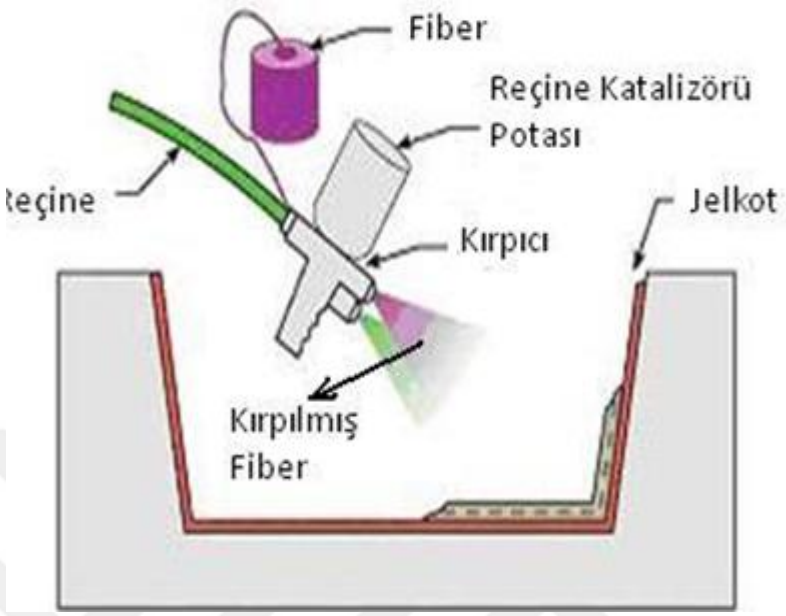
Şekil 1.18. El yatırması (hand lay-up) yöntemi [36]

Düşük sabit sermaye yatırımı gerektiren bir kalıplama yöntemi olan el yatırması ile % 25-35 oranında cam elyaf ile takviyeli polyester ürün elde edilebilir. Fiber oranı düşük olduğu için elde edilen kompozit malzemenin mekanik değerleri de düşüktür, ancak; daha yüksek fiber oranlarında reçine fiberlere yeterince emdirilemez. Fiber oranını arttırmak için reçine oranı düşük tutulmak istendiğinde ise, yüksek oranda hava boşlukları ve ıslanmayan bölgeler meydana gelebilmektedir. Emek-yoğun bir üretim metodu olduğundan kapasite, emek ve kalıp adedine bağlıdır. Bir kalıptan günde ortalama 2 ürün alınabilir. Yatırım maliyeti en düşük olan ve uygulanması esnasında çok fazla proses bilgisi gerektirmeyen bir yöntemdir. Ancak; bu yöntemde kullanılan reçinelerin yoğunluğu ve viskozitesi düşük olduğundan, bu tür reçineler insan sağlığı açısından ağır moleküllü reçinelere oranla daha zararlıdır. Pahalı havalandırma sistemleri olmaksızın polyester ve vinilester kullanılırken havaya karışan stiren konsantrasyonunu yasal sınırlarda tutmak zordur. Genellikle tekneler, yüzme havuzları, depolar gibi az sayıda imal edilecek geniş yüzeyler için kullanılır.

Püskürtme yöntemi (Spray-up) :

Püskürtme yöntemi elle yatırma yönteminin daha gelişmiş ve aletli halidir. Kırpılmış elyaflar kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülür. Sürekli fiber halinde tabancaya gelen elyafın kırpılma işlemi tabanca

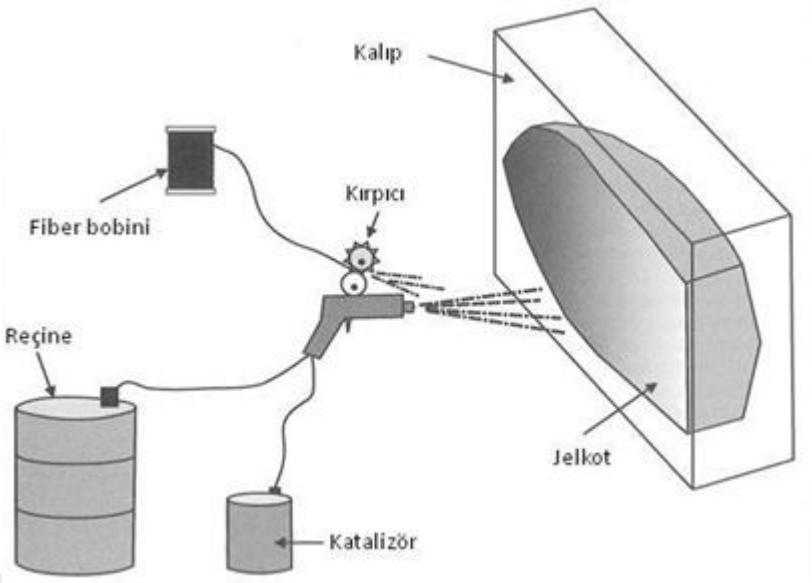
üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırpıcı sayesinde yapılır (Şekil 1.19). Püskürtme işlemi sonrası yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesiyle ürün hazırlanmış olur.



Şekil 1.19. Püskürtme yöntemi [36]

Bu yöntemle kısa sürede düşük maliyetli ürün üretilebilmektedir. Ayrıca yöntemin uygulanması basittir. Ancak bu yöntemde püskürtme tabancası ayarı ve operatörün tecrübesi doğrudan ürün kalitesini etkiler ve el yatırmasında da olduğu gibi, sağlıklı çalışma koşulları sağlamak zor olmaktadır. Bununla birlikte kırpık elyaflı kompozit üretimi söz konusu olduğundan mekanik değerler sınırlıdır.

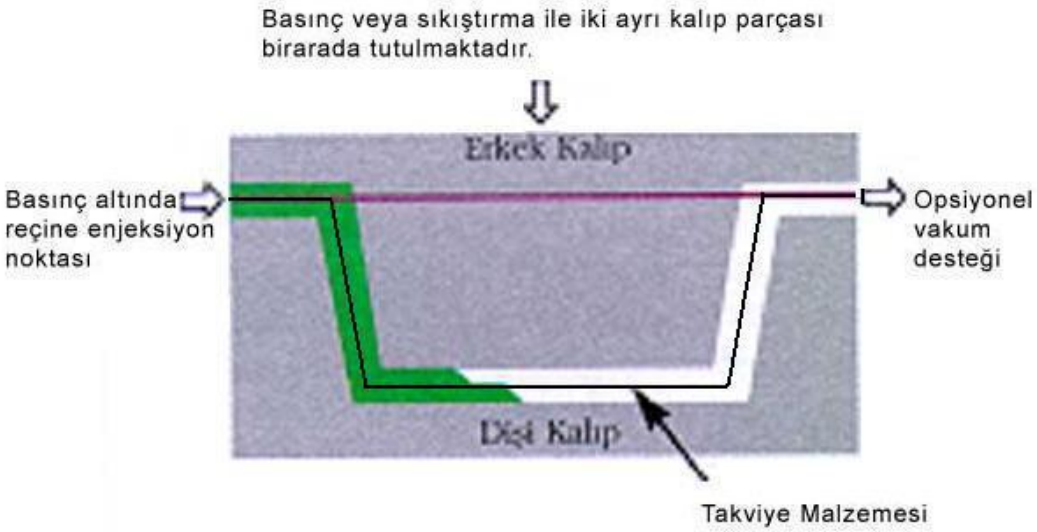
Bu yöntemde herhangi bir termoset reçine kullanılabilmekte, fiber olarak cam, karbon ve aramid gibi ticari olarak bilinen fiberler tercih edilmektedir. Bu yöntemle genellikle basit şekilli ve yük taşımanın esas olmadığı yapılar üretilmekte olup, havacılık ve spor endüstrisinde büyük parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Şekil 1.20'de püskürtme yöntemi kullanılarak yapılan bir hücum botunun üretimi gösterilmektedir.



Şekil 1.20. Püskürtme yöntemiyle yapılan bir hücum bot gövdesi [36]

Reçine enjeksiyonu yöntemi (RTM):

Bu üretim metodunda dişi ve erkek olmak üzere iki kalıp kullanılarak iki yüzü düzgün ürün elde edilir (Şekil 1.21). Bu yöntemde kullanılan kalıbın kompozit malzemeyle yapılması çelik kalıp maliyetine göre daha düşük kalmasına neden olmaktadır. Takviye malzemesi kuru olarak keçe, kumaş veya ikisinin kombinasyonu kullanılır. Reçine enjeksiyonu için üretilmiş olan özel cam keçe (devamlı keçe) kalıp üzerine yerleştirilir ve kalıplar kapatılır. Fiberlerin üzeri matris içinde geç çözünen reçinelerle kaplanarak kalıp içerisinde sürüklenmesi önlenir. Önceden hazırlanmış olan reçine enjeksiyon noktasından, basınç altında kalıp içine enjekte edilir. Bu süreç daha fazla zaman ister. Matris enjeksiyonu soğuk, ılık veya en çok 80°C' ye kadar ısıtılmış kaplarda uygulanabilir. Bu yöntemde içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içine iyi işlemesi için vakum kullanılabilir. Elyafın kalıba yerleştirilmesini gerektirmesinden dolayı uzun sayılabilecek bir işçilik gerektirir. Kalıp kapalı olduğu için ise zararlı gazlar azalır. Dolayısıyla; gözeneksiz ve el yatırması yöntemine göre daha kaliteli ürün elde edilebilir. Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir. Concorde uçaklarında, F1 arabalarında, vb. bazı parçalar bu yöntemle hazırlanır.



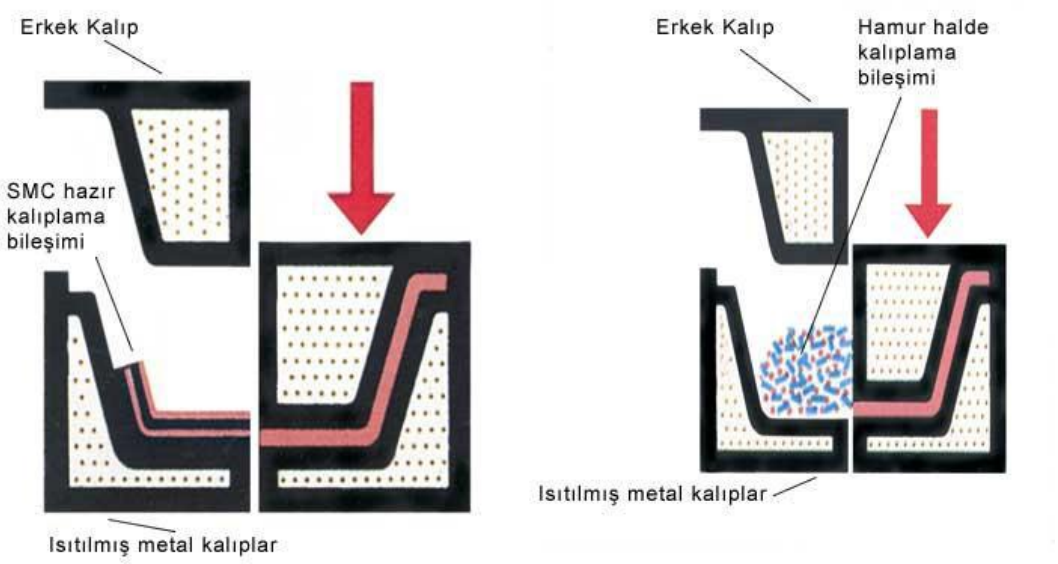
Şekil 1.21. Reçine enjeksiyon yöntemi [36]

SMC/BMC hazır kalıplama:

Ürün boyutuna göre 3-6 dakikalık bir kalıplama süresi sağlayan hızlı, seri bir kalıplama metodudur. Önceden hazırlanmış pestil veya hamur haldeki cam elyafı, polyester, dolgu ve katkı malzemeleri karışımının 150-170°C sıcaklıkta, 50-120 kgf/cm^2 basınç altında çelik kalıplarda şekillendirilmesi metodudur (Şekil 1.22);

-SMC: SMC takviye malzemesi olarak kırpılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçiminde malzemedir. Sürekli lifler, 25-50 mm kırpılmış olarak ve kompozitin toplam ağırlığının %25-30 oranında kullanılır. Genellikle 1 m genişliğinde ve 3 mm kalınlığında üretilir.

-BMC: BMC takviye malzemesi olarak kırpılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir. Yöntem iki aşamada gerçekleştirilir; birinci aşamada karışım hazırlanır ve polietilen filmler arasında katılaşmış pestil veya hamur olarak elde edilir ve ikinci aşamada ise dijital olarak kesilip tartılan hazır kalıp bileşeni sıcakta preslenir.



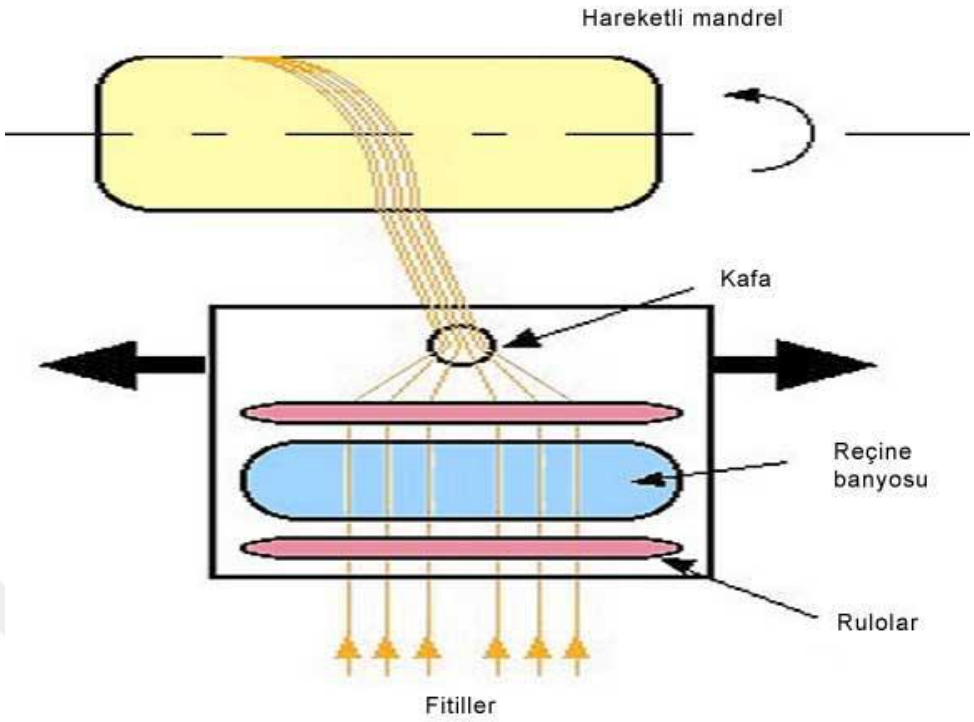
(a) (b)

Şekil 1.22. (a) SMC ve (b) BMC hazır kalıplama yöntemi [36]

Bu iki hazır kalıplama yönteminin karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları eldesi gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün iki yüzü de kalıp ile şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi karmaşık şekiller elde edilebilmektedir. Iskarta oranı düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanmaları gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır.

Elyaf sarma yöntemi:

Elyaf sarma yöntemi sürekli fiberlerin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir mandrel üzerine sarılmasıdır (Şekil 1.23). Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilmektedir. Yeterli sayıda elyaf katının sarılmasıyla işlem tamamlanmış olmaktadır. Oda sıcaklığında ya da bir fırın içinde kurutma işlemi gerçekleştirilir, ardından döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik borular, araba şaftları, yüksek basınca dayanıklı tanklar, yat direkleri, dairesel basınç tankları vb. ürünlerdir.



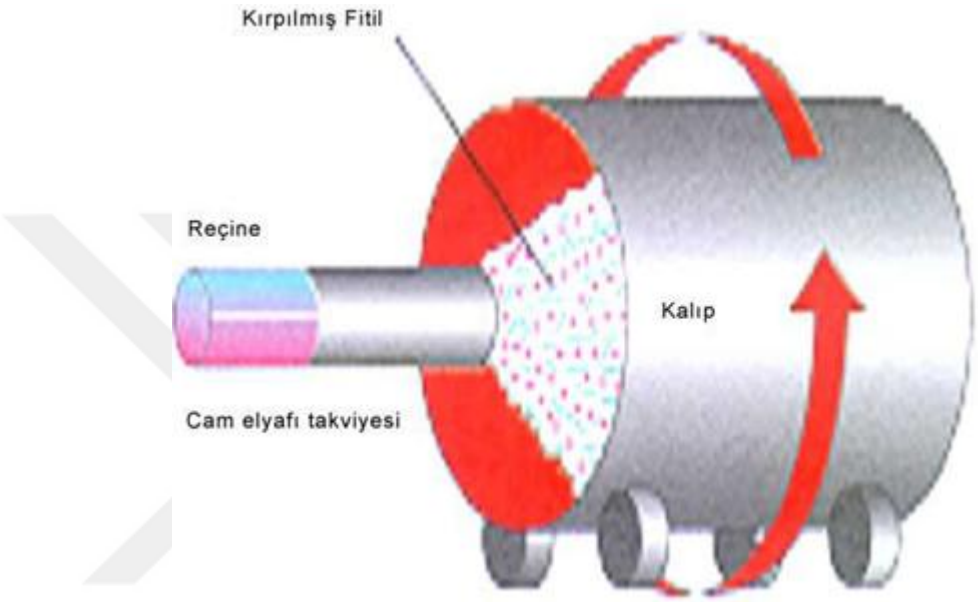
Şekil 1.23. Elyaf sarma yöntemi [36]

Malzeme sarımı hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Reçine oranı el yatırması yöntemine göre daha iyi kontrol edilebilmektedir. Bobine sarılı lifler ikinci bir işlemden geçip kumaş haline getirilmediği için maliyet minimize edilmiş olmaktadır. Her katmanda farklı yönlerde sarım yapma imkanı olacağı için değişik yüklemeler yapı tarafından karşılanabilmektedir. Öte yandan kompozit üretimi konveks parçalarla sınırlıdır ve düzgün yüzey eldesi için kurutma/kürleme işleminden sonra parçanın işlenmesi gerekebilmektedir. Ayrıca büyük parça üretimi söz konusu olduğunda, mandrelin fiyatının yükselmesi nedeniyle prosesin maliyeti artmaktadır. Düşük viskoziteli reçinelerin üretimde kullanılması çeşitli sağlık sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu yöntemde sürekli tarzda fiberler kullanılmaktadır, yöntem kumaş tarzındaki elyafların kullanımı için uygun değildir.

Savurma döküm yöntemi:

Santrifüj döküm prosesi, güçlendirici elyafların ve reçinenin dönen bir kalıbın içine yerleştirilmesini içerir. Dönme sırasında oluşan merkezcil kuvvetler kompozit malzemenin kalıbın iç duvarına preslenmesine neden olarak, buranın tamamen kaplanmasına ve reçinenin polimerizasyonundan sonra da sert boru duvarının

oluşumuna neden olmaktadır. Dönme ve dökme hızı dökümün boyutuna ve şekline bağlı olarak değişebilmekte, fiber boyu püskürtme esnasında kesilerek ayarlanabilmektedir. Santrifüj dökümde, elyaf ve reçinenin dökülmesinden sonra kalıp kendi ekseninde yüksek hızda yaklaşık 900 ile 2400 rpm arasında döner (Şekil 1.24). Bu hızlar altında, kompozit kalıbın iç yüzeyini tamamen kaplayabilmektedir.

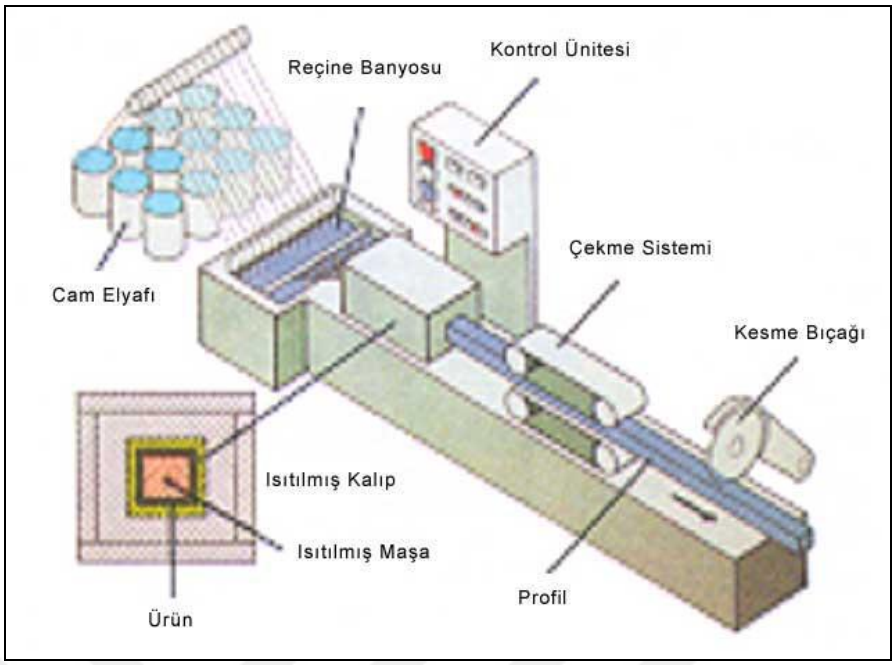


Şekil 1.24. Savurma döküm yöntemi [36]

Bu yöntemle sadece silindirik şekiller elde edilebilmektedir, dolayısıyla sadece boru, depo, direk gibi silindirik ürünlerin yapımında kullanılmaktadır.

Profil çekme (Pultruzyon):

Pultruzyon, sürekli uzunluklara ve sabit kesitlere sahip olan parçaların (profil, boru, çubuk vs.) üretilmesinde kullanılır. Bu metod sürekli bir prosestir ve oluşan atıkların oranı oldukça düşüktür. Termoset reçineler için pultruzyon prosesinde, güçlendirici fiberler reçineyle kaplanmak üzere reçine emdirme banyosu içerisinden geçirilerek çekilir. Reçine ile ıslatılmış fiber/fiber demeti daha sonra şekillendirilmek için bir kalıba sokulur. Şekillendirilmiş demet, reçinenin polimerize olması için ısıtılmış diğer bir kalıptan geçirilir. İstenen şekil ve boyutta sertleşen parça herhangi başka bir işleme gereksinim olmadan kalıptan çıkarılır (Şekil 1.25).



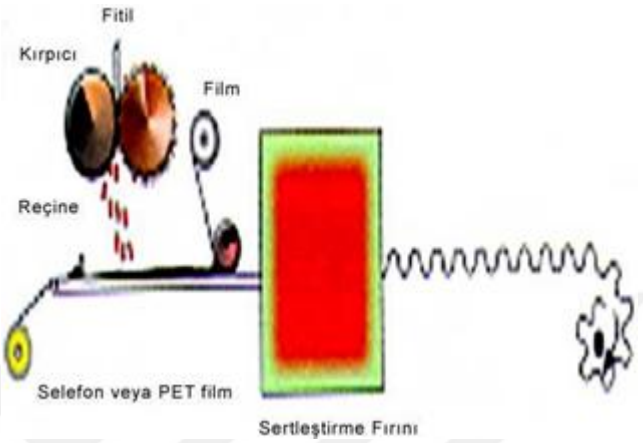
Şekil 1.25. Pultruzyon yöntemi [36]

Bu proses basit görünmesine rağmen, çekme hızı, kalıp sıcaklığı, fiber/reçine ıslatma kalitesi ve fiber hacmi gibi birçok proses değişkeni pultruzyon metoduyla elde edilmiş kompozitin kalitesini etkileyebilir.

Pultruzyon metodu ekstrüzyona benzemektedir. Ancak ekstrüzyonda üretilecek parçanın hammaddesi kalıba itilir, pultruzyonda ise kalıba çekilir. Pultruzyon metodu ile polimer matrisli kompozit üretmede sertleşme (polimerizasyon) işlemi radyo frekansı, enfraruj veya mikro dalga enerjisi ile ısıtma teknikleri kullanılmaktadır. Elyaf sarma yönteminde olduğu gibi yaş ve kuru pultruzyon teknikleri ayrı ayrı uygulanmaktadır. Yaş pultruzyonda reçine tankından geçirilen fiberler hemen kalıplanıp sertleştirilmekte iken, kuru pultruzyonda tavlanıp yumuşayan polimer matrisli kompozit malzeme bu halde iken şekillendirilir. Yaş yöntem düşük maliyetin önemli olduğu durumlarda, kuru yöntem ise yüksek mukavemetin önem kazandığı uygulamalarda kullanılmaktadır. Başta polyesterler olmak üzere epoksi, poliamid, polisülfon reçineleri cam ve grafit takviyelerle birlikte pultruzyon tekniğinde kullanılmaktadırlar. Yüksek korozyon dayanımının istendiği bir alanda vinilester matrisli kompozit, yüksek mekanik mukavemet ve elektrik iletkenliği istenen alanlarda ise epoksi matris tercih edilmektedir.

Devamlı levha üretim yöntemi:

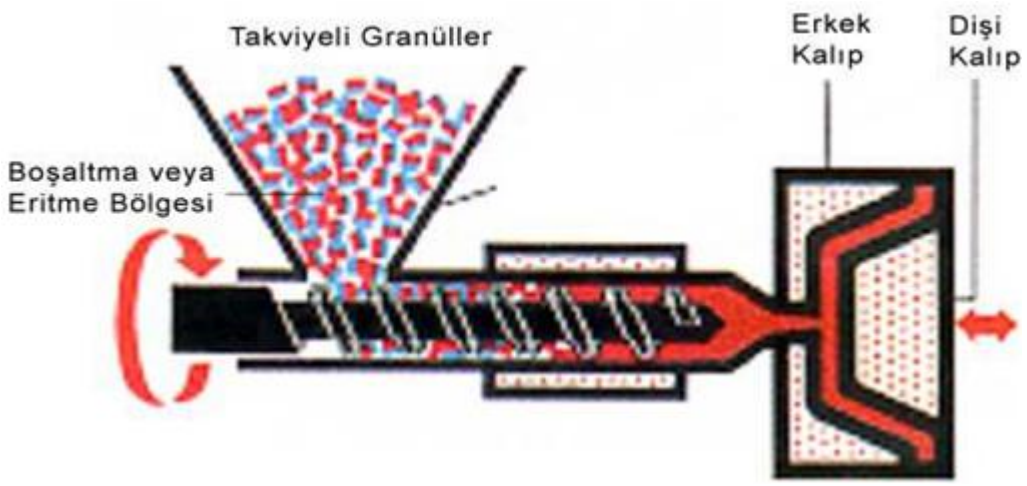
Cam elyaf takviyesinin katalist sistemi katılmış polyester ile birlikte iki plastik film arasında sıkıştırılarak çekilirken fırınlanması ile iki yüzü düzgün, oluklu, şeffaf veya opak levha üretimi sağlanır (Şekil 1.26).



Şekil 1.26. Devamlı levha üretim yöntemi [36]

Termoplastik enjeksiyon/ekstrüzyon yöntemi:

Enjeksiyon ve ekstrüzyon makineleri prensip olarak benzer şekilde çalışmaktadır. Granül halinde besleme haznesinden makine içine verilen reçine, bir ısıtma bölgesinde ısıtılarak akışkan hale getirilmekte ve burgu yivleri ile bir taraftan homojen karışım sağlanırken, diğer taraftan çıkış ucuna doğru taşınmaktadır. Ekstrüderlerde çıkış ucuna yerleştirilen, kalıp içinden basınç etkisi ve çekme aparatları yardımı ile kalıp şekline uygun şekilde profiller çekilirken; enjeksiyon makinelerinde çıkış memesinin hemen yanında bulunan kapalı kalıp içine akışkan hale getirilmiş termoplastik reçine enjekte edilir ve kapalı kalıp içinde soğuması ve sertleşmesi sağlanır (Şekil 1.27).



Şekil 1.27. Termoplastik enjeksiyon yöntemi [36]

Polimer matrisli kompozitler ile ilgili yapılan birkaç çalışma aşağıda özetlenmiştir. S.Rahmanian ve arkadaşları polipropileni matris olarak seçmiş ve cam fiber ve karbon fiber eklemiştir. Buna ek olarak cam fiber ile karbon nano tüp ve karbon fiber ile karbon nano tüp ekleyerek toplam 4 farklı karışım hazırlayıp elde edilen numunelerdeki özelliklerin değişimini belirlemek için karakterizasyon işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak bakıldığında en yüksek çekme mukavemetini yüksek mekanik özelliklere sahip; karbon fiber ile karbon nano tüp ile yapılmış karışım göstermiştir. Takviye malzemelerine yapılan yüzey işlemlerinin de nihai özelliklere pozitif yönde etkisi görülmüştür. SEM ve TEM analizlerinde de yüzey işlemine tabi tutulmuş olan takviye malzemelerinin matrise daha iyi yapıştığı ve bu nedenle mekanik özelliklerin daha fazla arttığı tespit edilmiştir [37].

P. Song ve arkadaşları nano grafen takviyeli polipropilen matrisli kompozit üretmiş ve mekanik özelliklerdeki değişimleri gözlemlemiştir. Saf PP'nin çekme mukavemetini 24 MPa olarak belirlemişlerdir. Farklı oranda hazırlanan numunelerde % 1 grafen katkısına kadar çekme mukavemeti artmış ve 37 MPa olarak ölçmüşlerdir. Daha yüksek grafen katkılı kompozitlerde meydana gelen aglomerasyon sonucu çekme mukavemeti düşmüştür. AFM ve TEM analizleri ile nano boyutta grafenler gözlenmiştir [38].

M.A. Almaadeed ve arkadaşları geri dönüştürülmüş polipropilen matrise palmiye ağacı talaşı, cam fiber ve farklı oranda cam fiber ile talaş katkılı hibrit kompozitler hazırlamışlar ve mekanik ve termal özelliklerindeki değişimi gözlemlemişlerdir.

Talaş yüzeylerini NaOH ile yüzey iyileştirilmesine tabi tutmuşlardır. % 30 Cam fiber ilavesi ile çekme mukavemeti RPP'ye göre % 32 artmıştır. Artan talaş miktarı ile çekme mukavemeti düşmüş olup, % 30 talaş katkılı kompozit de % 18' lik artış gözlenmiştir. Numunelerinin kırılma yüzeylerine SEM mikroskobu incelemelerinde cam fiberlerin talaşlara göre matrise daha iyi yapıştığı ve bu nedenle mukavemet değerleri arttığı belirlenmiştir. Tüm numunelerin erime sıcaklığı çok fazla değişmemiş fakat artan cam fiber oranıyla birlikte kristalizasyon yüzdesi artmıştır. Bozunma sıcaklığı ise tüm numunelerde artmış ve en yüksek değer % 30 cam fiber katkılı kompozit de elde edilmiştir [39].

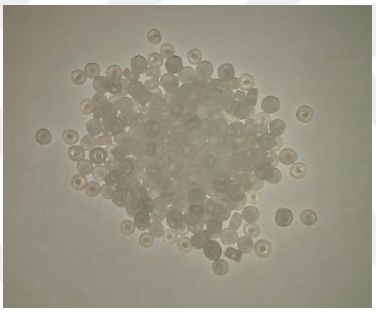
H. Joshi ve arkadaşları farklı oranda cam fiber ve wollastonit katkılı kompozitler hazırlamışlar ve numunelerin mekanik ve morfolojik özelliklerindeki değişimlerini gözlemlemişlerdir. Mekanik özelliklerde ki en iyi sonuçlar; % 30 cam fiber katkılı kompozit de elde edilmiştir. Artan wollastonit oranı ile birlikte çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve darbe dayanımı gibi özellikler düşmüştür. Ancak kopma uzaması artmıştır. SEM incelemelerinde cam fiber ve wollastonit net bir şekilde görülmüştür [40].

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

2.1.1. Polipropilen (PP)

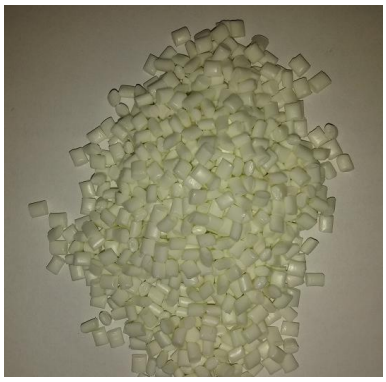
Bu çalışmada üretici firmadan alınan verilere göre; 905 kg/m^3 yoğunluğuna, 0,25 g/10dakika MFR değerine, 25 MPa çekme mukavemetine sahip saf polipropilen random kopolimer (PP) kullanılmıştır. Kullanılan saf PP'nin görüntüsü Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Saf polipropilenin görüntüsü

2.1.2. Geri dönüştürülmüş polipropilen (RPP)

Bu çalışmada kullanılan geri dönüştürülmüş polipropilen (RPP) granülleri yukarıda anlatılan saf PP kullanılarak üretilmiş boru ve bağlantı malzemelerinin firelerinin kırıldıktan sonra granül hale getirilmesi neticesinde elde edilmiştir. RPP granüllerinin görüntüsü Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Geri dönüştürülmüş polipropilenin görüntüsü

2.1.3. Cam elyaf (Fiber)

Bu çalışmada üretici firmadan alınan verilere göre 4 - 4,5 mm ortalama uzunluğa sahip, silan kaplı kırpılmış (kısa) 'E' tipi cam elyaflar kullanılmıştır. Kırpılmış cam elyafların görüntüsü Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. E-tipi cam fiberin görüntüsü

2.1.4. Saf demir tozu

Bu çalışmada üretici firmadan alınan verilere göre ortalama partikül boyut dağılımı 10 mikrometre olan, su atomize yolu ile elde edilmiş saf demir tozu kullanılmıştır.

2.1.5. Manyetit cevheri

Bu çalışmada üretici maden firmasından alınan verilere göre 50 mikrometre ortalama partikül boyutuna sahip, 4,8 g/cm^3 yoğunluğunda, 6 mohs sertlikte ve XRF analizine göre %93 Fe_3O_4, %3 Al_2O_3, % 2 SiO_2, %1 CaO, %1 MgO içeren manyetit cevheri kullanılmıştır. Manyetit cevherinin görüntüsü Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Manyetit cevheri katkısının görüntüsü

2.1.6. Katkı malzemeleri

Bu çalışmada, dış kayganlaştırıcı olarak çinko stereat kullanılmıştır. Oksitlenmeyi karşı direnci arttırmak için antioksidanlar kullanılmıştır. Ayrıca cam elyaf, demir tozu ve manyetit cevheri ile yapılan karışımlarda takviye malzemeleri ile RPP matris arasındaki uyumu arttırmak için maleik anhidrit graft edilmiş polipropilen (PP-g-MA) kullanılmıştır. Karışımlara ilave edilen katkı malzemelerinin görüntüsü Şekil 2.5 (a) ve renklendirici olarak kullanılan kırmızı boyanın görüntüsü Şekil 2.5 (b)'de gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 2.5. (a) Çinko stereat, maleik anhidrit graft edilmiş polipropilen ve antioksidan katkılarının görüntüsü, (b) kırmızı boyanın görüntüsü

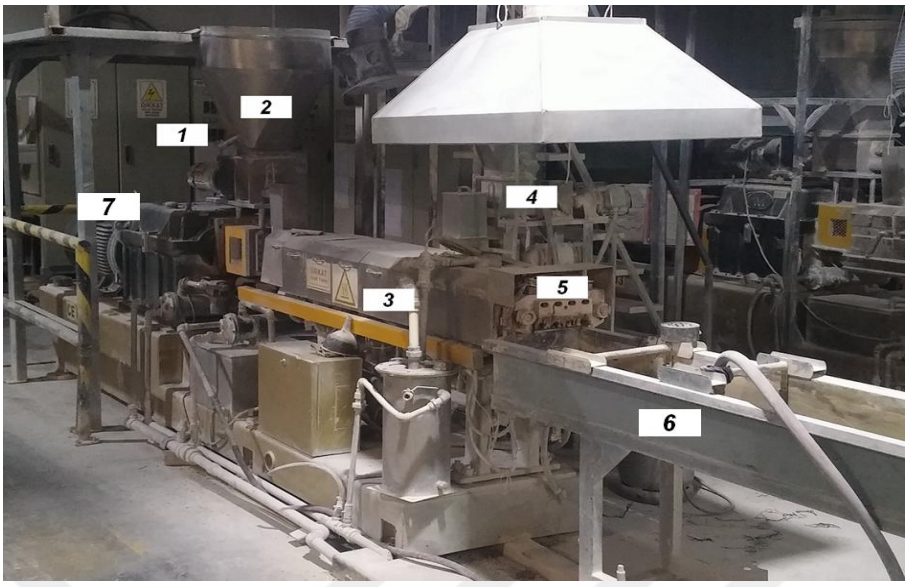
2.2. Yöntem

2.2.1. Granül Makinesi

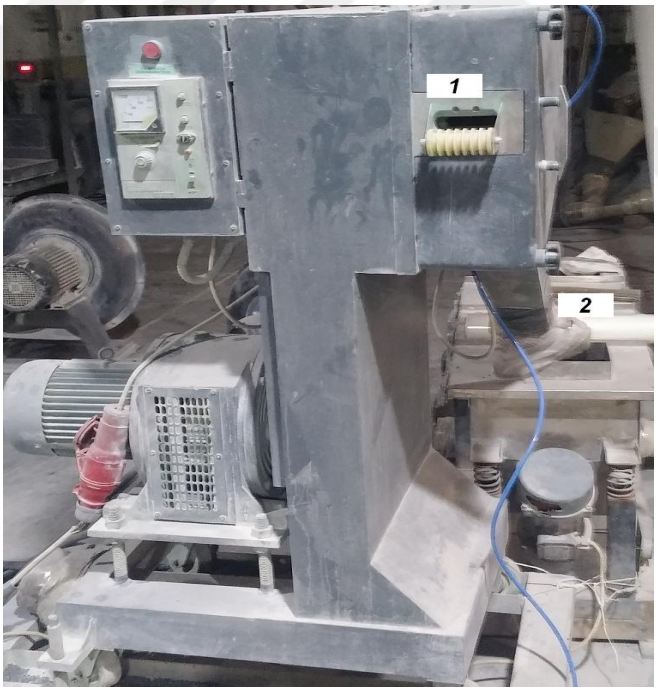
Karışımların hazırlandığı ve genel görüntüsü Şekil 2.6'da gösterilen granül makinesi; 75 mm çapında 3 metre uzunluğunda eş yönlü çift vidalı olup, saatlik üretim kapasitesi 150 kg'dır. Şekil 2.7'de görülen granül makinesinin çalışma prensibi: öncelikle sıcaklık değerleri Şekil 2.7 (1)'deki kontrol panosundan ayarlanır, daha sonra sıcaklıklar istenen değere ulaştığında kontrol panosundan motora devir verilerek vidaların dönmesi sağlanır. Daha sonra polipropilen Şekil 2.7 (2)'den kovana beslenir. Şekil 2.7 (3)'de görünen kovan boyunca ısınan ve akışkan hale gelen ergiyik polimere cam elyaf beslemesi Şekil 2.7 (4)'de ki kısımdan yapılır. Burada cam elyaf beslemesinin kovanın ortalarına yakın yerden yapılmasının sebebi; vidaların sürekli dönmesiyle birlikte kovan boyunca fiberlerin formunu korumayı sağlamak veya fiberlerin deformasyon miktarını en aza indirmek içindir. Ergiyik haldeki polipropilen Şekil 2.7 (5)'de görülen kafa kısmından iplik formunda çıkarılır ve Şekil 2.7 (6)'da görünen soğutma tankında soğutularak kesiciye gönderilir.



Şekil 2.6. Granül makinesinin genel görüntüsü



Şekil 2.7. Granül makinesinin detaylı görüntüsü [Kontrol panosu (1), polipropilen besleme silosu (2), kovan ve resiztanslar (3), cam elyaf besleme bölümü (4), kafa kalıbı (5), soğutma tankı (6), motor (7)]



Şekil 2.8. Granül makinesine ait kesicinin görüntüsü

Şekil 2.8'de görünen cihaz hem kesici görevi görmekte hem de çekici(palet) görevi sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Kesiciye iplik formunda giren ürün kesilerek 1-3 mm uzunluğuna sahip granüller haline getirilerek emiciler yardımıyla çuvallara istiflenir.

2.2.2. Kül testi cihazı

Bu deney; hammadde veya bitmiş ürünlerin içindeki inorganik dolguların miktarının tayini için yapılmaktadır. Deneyin esası; hammadde veya nihai üründen 1 gram tartılır, tartılan numune önceden ısıtılmış 600 ^{0}C fırına konularak 30 dakika bekletilir, çıkan sonuç bize hammadde veya nihai üründeki inorganik miktarını verir. Deneyde kullanılan malzemeler; kroze, terazi, kül fırını, desikatör ve maşadır (Şekil 2.9). Deneyin yapılışı; krozeler kullanılacağı sıcaklığın üzerinde 1 saat etüvde sterilize edildikten sonra desikatöre konularak soğutmaya alınır ve soğuduktan sonra iyice temizlenir. Soğumuş krozeler tartılır ve ağırlığı M_0 olarak kaydedilir. Bu krozelerin içine 1 gram numune tartılır ve M_1 olarak kaydedilir. İçinde numune bulunan ve tartım yapılmış krozeler, 600 ^{0}C'deki fırına konur. Fırının egzost borusunun açık olmasına dikkat edilir. Krozeler yaklaşık olarak 30 dakika fırında kaldıktan sonra soğutulmak üzere tekrar desikatöre konulur. Soğuyan krozeler tartılarak ağırlığı M_2 olarak kaydedilir. Daha sonra Denklem (2.1), Denklem (2.2) ve Denklem (2.3) kullanılarak katkı oranına ulaşılmış olur;

Plastik Malzeme Ağırlığı: $M_1 - M_0$ (2.1)

Yanmış Malzeme Miktarı: $M_2 - M_0$ (2.2)

Katkı Oranı : $[(M_2 - M_0) / (M_1 - M_0)] X 100$ (2.3)



(a) (b)



(c)

Şekil 2.9. Kül testi cihazının görüntüsü [(a) Hassas terazi, (b) Kül fırını, (c) krozeler]

2.2.3. Yoğunluk testi

Bu deneyde; kullanılan hammadde ve karışımlar yoğunluk testine tabi tutulur. İlk olarak alkol ağırlığı, sonra hammadde ağırlığı ve alkol hammadde ağırlığı olarak üç şekilde değer alınır. Çıkan hesaplama bize hammadde yoğunluğunu vermektedir. Deneyde kullanılan malzemeler; yoğunluk kiti seti, etil alkol, cımbız ve 0,0001 gram hassasiyetli terazidir. Şekil 2.10'da gösterilen deneyin yapılışı, ilk olarak yoğunluk kiti tartım cihazına konulur. Yoğunluğu bilinen sıvı terazinin beherine konulur. Daha sonra terazinin darası alınır. Yoğunluğu tayin edilecek katıdan çok az miktarda numune alınarak numune askısının üst kefesi üzerine yerleştirilir. Deney cihazının

ağırlık ölçüm ekranından numunenin tartım değeri 'W_a' okunur. Böylece numunenin havadaki ağırlığı tayin edilir. Numune, numune askısının üst kefesinde iken; cihazın darası alınır. Daha sonra numune üst kefeden alınarak, numune askısının alt kefesine yerleştirilir. Burada okunan değer 'G' değeri olarak kaydedilir. Numunenin yoğunluğu (ρkatı) Denklem (2.4) ile hesaplanır;

$$\rho katı = \rho sıvı = (g/ cm^3) = W_a / G \times \rho alkol \qquad (2.4.)$$

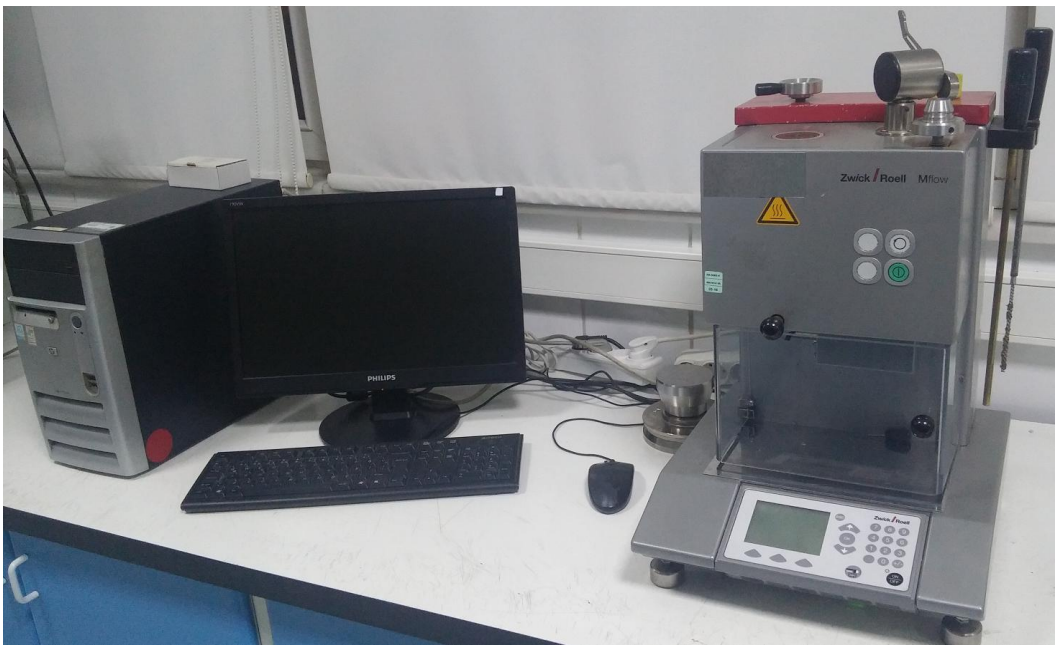


Şekil 2.10. Yoğunluk testi cihazının görüntüsü

2.2.4. Erime akış ölçüm cihazı (MFR)

Hazırlanan granüllerin kütlesel erime akış davranışları Şekil 2.11'de gösterilen 1 ^{0}C hassasiyetli Zwick Roell marka cihazda ölçülmüştür. Deneyin çalışma prensibi: minimum 4 gram ve maksimum 5 gram olacak şekilde granüller hassas terazi de tartılır. Cihaza gerekli komutlar girilerek 230 ^{0}C sıcaklığa yükselmesi beklenir. Tartılan hammadde 230 ^{0}C'ye kadar ısınmış olan silindire üç defa havası alınarak boşaltılır. Piston kolu silindirin altına konur ve program başlatılır. Program belli bir süre sonra sesli ikazla uyararak pistonun üzerine gerekli ağırlığı koymamızı ister. Metal silindire ve eriyen hammadde üzerine 2,16 kilogram ağırlık konur. Ağırlık konulduktan sonra cihaz otomatik olarak kesme işlemini yapar. Cihazdaki bu küçük

parça (kurtçuk) kesme işlemi 3 adet oluncaya kadar devam eder. Cihaz tekrar sesli uyararak piston üzerinde bulunan ağırlığı almamızı ister. Kesilen 3 adet kurtçuk hassas terazide tartılır. Tartılan kurtçukların ağırlığı programa yazılır ve program bize otomatik olarak verileri aktarır. (Çalışma sıcaklığı ve kullanılan ağırlık hammaddeye göre değişkenlik gösterebilir. Polipropilen merkezli bu çalışmada standartlarda genelde kullanılan 230 ^{0}C sıcaklık ve 2,16 kg ağırlık kullanılmıştır.)



Şekil 2.11. Kütlesel erime akış ölçüm cihazının görüntüsü

2.2.5. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

Bu çalışmada kullanılan hammadde ve karışımlara ait granül numuneleri Şekil 2.12'de gösterilen Mattler Toledo marka DSC cihazında gerçekleştirilmiştir. Test koşulları; 25 ^{0}C'den 220 ^{0}C'ye ısıtılıp daha sonra tekrar 25 ^{0}C'ye soğutulmuştur. Buradaki amaç ısı geçmişinden gelen özelliklerin elimine edilmesidir. Daha sonra numuneler tekrar 250 ^{0}C sıcaklığına ısıtılmıştır. Tüm ısıtma ve soğuma işlemleri 10 ^{0}C/dk hızda gerçekleştirilmiştir. DSC ölçümü sonrası numunelerin erime başlangıç sıcaklığı ($T_{mbaşlagıç}$), erime bitiş sıcaklığı ($T_{mbitiş}$), erime sıcaklığı tepe noktası(T_{mtepe}) ve erime entalpisi (ΔHm) değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 2.12. DSC cihazının görüntüsü

2.2.6. Termal gravimetrik analizi (TGA)

Bu çalışmada kullanılan hammadde ve karışımlara ait granül numunelerinin TGA analizi; Şekil 2.13'de gösterilen Netzsch marka cihazda gerçekleştirilmiştir. Test koşulları; 25 ^{0}C başlayarak 600 ^{0}C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Isıtma hızı 10 ^{0}C/dk olarak gerçekleştirilmiştir. Test sonunda numunelere ait bozunma sıcaklığındaki değişimler ve bozunmadan kalan ürün miktarı belirlenmiştir.



Şekil 2.13. TGA cihazının görüntüsü

2.2.7. Enjeksiyon Makinesi

Daha önceden granül makinesinde hazırlanan granüller, çekme ve darbe testi numunelerini elde etmek için öncelikle Şekil 2.14 (a)'da görülen laboratuar tipi çift vidalı ekstrüderde ergitilmiştir. Daha sonra transfer potası yardımıyla Şekil 2.14 (b)'de görülen laboratuar tipi enjeksiyon makinesine yerleştirilip her bir karışımdan beşer adet çekme ve darbe testi numunesi elde edilmiştir. Saf polipropilen, geri dönüştürülmüş polipropilen, %20 cam elyaf takviyeli geri dönüştürülmüş polipropilen (K1), %20 cam elyaf + % 3,7 demir tozu takviyeli geri dönüştürülmüş polipropilen (K2), % 10,9 manyetit cevheri takviyeli geri dönüştürülmüş polipropilen (K3) ve % 30 manyetit cevheri takviyeli geri dönüştürülmüş polipropilenden (K4) oluşan 6 ürün grubunun her biri için beşer adet çekme testi numunesi ve beşer adet darbe testi numunesi olmak üzere toplam 60 adet numune üretilmiştir.



(a) (b)

Şekil 2.14. (a) Laboratuar tipi ekstrüzyon makinesinin ve (b) Laboratuar tipi enjeksiyon makinesinin görüntüsü

2.2.8. Çekme Testi Cihazı

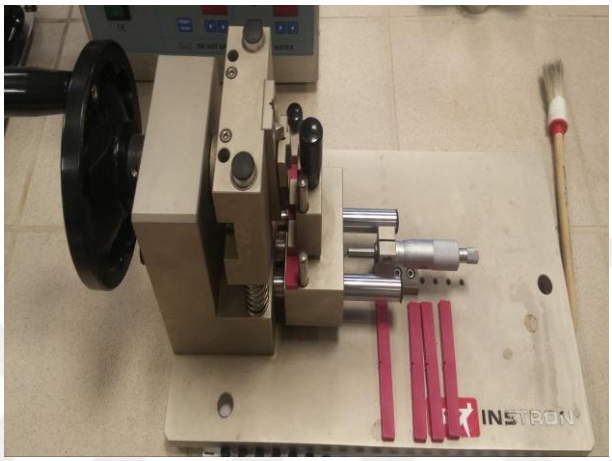
Çekme testi; Şekil 2.15'de gösterilen Instron marka çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Numunenin çekme bölgesine ait kalınlık ve genişliği programa girilmiş ve 25 mm/dk hızda çekme testi gerçekleştirilmiştir. Her bir karışım için 5 kere çekme testi uygulanmış ve ortalaması alınmıştır.



Şekil 2.15. Çekme testi cihazının görüntüsü

2.2.9. Çentikli izod darbe testi cihazı

Çentikli İzod darbe testi için öncelikle darbe testi numuneleri Şekil 2.16'da gösterilen Instron marka çentik açma cihazında 2 mm çentik açılmıştır. Altı adet ürün grubundaki; her grupta bulunan beş numune için toplam 30 çentikli numune hazırlanmış ve Çentikli İzod darbe testine geçilmiştir.



Şekil 2.16. Çentik açma cihazı



Şekil 2.17. Izod Darbe test cihazı

Çentikli İzod darbe testi Şekil 2.17'de gösterilen Instron marka darbe test cihazında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Numunede çentiğin olduğu kısım çekicin olduğu tarafa doğru mesnetlerde konumlandırılmış ve sabitlenmiştir. Sarkaç serbest bırakılıp darbe gerçekleştikten sonra elde edilen enerji değerleri ile Denklem (2.5) ve Denklem (2.6) kullanılarak darbe dayanımı elde edilmiştir.

$$\text{Darbe Dayanımı} \left(kJ/m^2 \right) = E \left(kJ \right) / A \left(m^2 \right) \quad (2.5)$$

$$A = \left(g - c \right) x\ k \quad (2.6)$$

E = Makinede okunan enerji değeri
A = Darbe testi numunesinin alanı
g = Darbe testi numunesinin genişliği
c = Darbe testi numunesine açılan çentiğin boyutu (tüm numunelere 2 mm çentik açılmıştır.)
k = Darbe testi numunesinin kalınlığı

2.2.10. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Bu çalışmada mikroyapı incelemeleri için Şekil 2.18'de gösterilen JSM 6060 tipi tarama elektron mikroskobu kullanılmıştır. Ayrıca SEM incelemeleri için yalıtkan olan numunelere; Şekil 2.19'da gösterilen Bal-Tech marka cihaz ile yüzeyine ince iletken film kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.18. JSM 6060 tarama elektron mikroskobu (SEM) cihazının görüntüsü



Şekil 2.19. Bal-Tech Sputter düzeneği görüntüsü

2.2.11. Boru basınç testi ve termal genleşmesi

Bu deneyde, hazırlanan karışımlar ile ayrı ayrı üretilmiş olan 3 katmanlı borular; hidrostatik eş değer gerilimine karşılık uygulanan iç basınca dayanımı test edilmiştir. Uygun ölçülerde kesilen test numunesinin (borunun) iki ucu çap ölçüsüne uygun

kapama başlığı ile sızdırmaz hale getirilir. Her boru için 3 adet test numunesi hazırlanıp aynı anda 3 numune basınç testine tabi tutulur. Hazırlanan numune iç basınca dayanım test cihazının ilgili istasyonuna bağlanır, deney sıcaklığındaki su banyosuna daldırılır. Yüksek sıcaklıklar için 95 ^{0}C, soğuk su banyosu için 20-23 ^{0}C'dir. Et kalınlığı ve çap ölçüsüne göre TS EN ISO 1167-1 ve TS EN ISO 1167-2 standardına göre basınç testi başlatılır. Toplam 1000 saat sonunda numunelerde patlama meydana gelmezse test başarıyla tamamlanmış olarak kabul edilir. Basınç testi için uygulanması gereken değerlerin hesabı Denklem (2.7) ile hesaplanmaktadır;

$$P= (2\ t_{min}\ x\ \sigma_0) / (D - t_{min}) \quad (2.7)$$

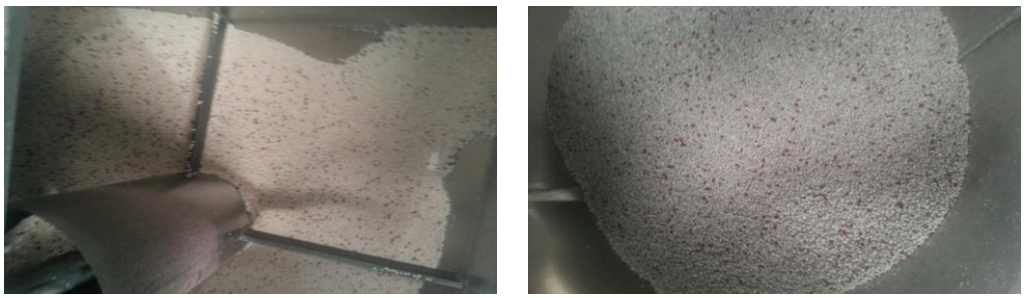
P= İç Basınç (MPa),
t_{min}= Borunun minimum et kalınlığı (mm),
σ_0=Çevre gerilmesi (MPa),
D = Borunun dış çapı (mm)

Termal genleşme testi; 3 metre uzunluğundaki boru 3 gün süreyle 20 ^{0}C sıcaklığında su ve 95 ^{0}C sıcaklığında suyun içerisinden geçilerek boyca değişimi gözlenir. 3 gün sonunda borunun son uzunluğu ile ilk uzunluğu arasındaki fark termal olarak uzama miktarını verir.

2.2.12. Polipropilen matrisli hibrit kompozit granüllerin hazırlanması

Geri dönüştürülmüş polipropilen, boya, çinko stereat, maleik anhidrit graft edilmiş polipropilen, antioksidan, demir tozu ve manyetit cevheri gibi katkılar reçeteye uygun bir şekilde tartılıp miksere eklendikten sonra 15 dakika süreyle karıştırılmıştır (Şekil 2.20 (a)). 15 dakika sonra Şekil 2.20 (b)'de görüldüğü homojen bir karışım elde edilmiş olup, mikser duvarlarında ve mikserin tabanında katkı malzemeleri kalmamış ve gözle bakıldığında tüm katkılar geri dönüştürülmüş polipropilen granüllerinin yüzeyine yapışmıştır. 15 dakika karıştırılmasının sebebi; katkı malzemelerin yüzeye istenen seviyede yapışmasını sağlamaktır. Daha düşük karıştırma sürelerinde katkı malzemeleri yüzeye zayıf bir şekilde yapışabilir ve ekstrüzyon sırasında kovana veya vidaya yapışabilir. Daha yüksek karıştırma

sürelerinde katkı malzemeleri geri dönüştürülmüş polipropilen granüllerinin içine fazlaca girebilir, bu durumda aglomerasyona sebep olabilir.



(a) (b)

Şekil 2.20. (a) Tüm katkıların mikserde karıştırılması, (b) karışım sonrası granüllerin görüntüsü

Ekstrüderde Granül Hale Getirme

Ekstrüder de granül hale getirme işlemi tüm reçeteler için 190 ^{0}C-235 ^{0}C sıcaklıkları arasında gerçekleştirilmiştir. Sıcaklıkların dengeye gelmesinden sonra motor devri yavaşça arttırılarak 20 devir/dakikada gerçekleştirilmiştir. Motorun çektiği akım 72 amper de sabit kalmıştır. Granül makinesine ait kontrol panosu Şekil 2.21'de gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Granül makinesinin kontrol panosu



Şekil 2.22. Granül makinesi

Granüller ipliksi şekilde kafadan çıktıktan sonra suda soğutulup kesiciye ulaşmıştır (Şekil 2.22).



Şekil 2.23. Granül makinesine ait kesici

Granüller kesicide kesildikten sonra çuvallara konulmuştur (Şekil 2.23).



Şekil 2.24. Hammadde kurutma silosu

Her bir deneme numuneleri 90 dakika boyunca 60 ^{0}C sıcaklıkta kurutularak nem uzaklaştırılmıştır (Şekil 2.24).

% 20 Cam elyaf katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli granül üretimi (K1): Ağırlıkça % 20 cam elyaf takviyeli geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli kompozit; 'K1' olarak kısaltılmıştır. Geri dönüştürülmüş polipropilen ise 'RPP' olarak kısaltılmıştır. K1 karışımı için seri üretimde kullanılan katkı malzemeleri ve ağırlıkları Tablo 2.1'de gösterilmiştir. K1 karışımının üretimi sırasında RPP ve katkı malzemeleri mikser de karıştırıldıktan sonra ekstrüdere beslenmiş olup, cam fiberler ise kovan boyunca dönen çift vidadan kaynaklanacak olan deformasyondan daha az etkilenmesi için kovanın orta kısmına yakın yerden, yandan (kovana dik olarak) beslenmiştir. Ekstrüzyon işlemi sırasında makinenin çalışma sıcaklığı 190 ^{0}C-230 ^{0}C arasındadır. Makinenin 20 devir/dk da çektiği akım 72 Amper de sabit kalmıştır. Daha sonra kafa bölgesinden çıkan erimiş polimer granülleri su tankından geçirilip soğutulduktan sonra kesici yardımıyla kesilip çuvallara konulmuştur. K1 karışımının granül makinesinde ekstrüde edilmesinden sonraki görüntüsü Şekil 2.25'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. K1 karışımında kullanılan malzemelerin ağırlıkları ve yüzde oranı

Kullanılan Hammaddeler	Ağırlık (kg)	Yüzde Oran (%)
Geri Dönüştürülmüş RPP	76	73,2707
Cam Elyaf	21	20,2458
Uyumlaştırıcı	4	3,85635
Kırmızı Boya	2	1,92818
Çinko Stereat	0,1	0,09641
Antioksidan	0,625	0,60255
Toplam	103,725	100



Şekil 2.25. Ekstrüzyon işlemi sonrası K1 karışımına ait granüllerin görüntüsü

% 20 cam elyaf ve % 3,7 demir tozu katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli granül üretimi (K2):

Ağırlıkça % 20 cam elyaf ve % 3,7 demir tozu takviyeli geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli hibrit kompozit; 'K2' olarak kısaltılmıştır. K2 karışımında maliyet değişmeden, demir tozu takviyesinin etkisinin belirlenebilmesi için reçete K1 ile benzer hazırlanmıştır. K2 karışımı için kullanılan katkı malzemeleri ve ağırlıkları aşağıdaki Tablo 2.2'de gösterilmiştir. K2 karışımının üretimi sırasında demir tozu, RPP ve katkı malzemeleri mikser de karıştırıldıktan sonra ekstrüdere beslenmiş olup, cam fiberler ise kovan boyunca dönen çift vidadan kaynaklanacak olan deformasyondan daha az etkilenmesi için kovanın orta kısmına yakın yerden, yandan (kovana dik olarak) beslenmiştir. Ekstrüzyon işlemi sırasında makinenin çalışma sıcaklığı 190 ^{0}C-230 ^{0}C arasındadır. Makinenin 20 devir/dk da çektiği akım 75 Amper değerine kadar çıkmıştır. Artan çalışma süresi boyunca makinenin çektiği akım arttığı için çalışma devri 16 devir/dk düşürülüp 75 Amper değerinde

çalışılmıştır. Daha sonra kafa bölgesinden çıkan erimiş polimer su tankından geçirilip soğutulduktan sonra kesicide bulunan palet yardımıyla kesiciye gönderilmiştir. K2 karışımının granül makinesinde ekstrüde edilmesinden sonraki görüntüsü Şekil 2.26'da gösterilmiştir. Yapıya katılan demir katkısı ile birlikte K2 karışımına ait granüllerin renginin K1 karışımının granüllerinin renginden daha koyu kırmızı hale geldiği görülmektedir.

Tablo 2.2. K2 karışımında kullanılan malzemelerin ağırlıkları ve yüzde oranı

Kullanılan Malzemeler	Ağırlık (kg)	Yüzde Oran (%)
Geri Dönüştürülmüş PP	76	70,55001
Cam Elyaf	21	19,49408
Demir Tozu	4	3,713159
Uyumlaştırıcı	4	3,713159
Kırmızı Boya	2	1,856579
Çinko Stereat	0,1	0,092829
Antioksidan	0,625	0,580181
Toplam	107,725	100



Şekil 2.26. Ekstrüzyon işlemi sonrası K2 karışımına ait granüllerin görüntüsü

% 10,9 manyetit cevheri katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli granül üretimi (K3):

Ağırlıkça % 10,9 manyetit cevheri takviyeli geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli kompozit; 'K3' olarak kısaltılmıştır. K3 karışımı hazırlanırken, K2 karışımında edinilen tecrübeler neticesinde demir varlığının karışımın rengini koyulaştırdığından dolayı kırmızı boya miktarı % 50 oranında azaltılmıştır. Manyetit cevherinin matrisle

uyumluluğunun artması için uyumlaştırıcı miktarı az bir miktarda arttırılmıştır. Takviye edilen manyetit cevherinin karışıma nasıl bir etkide bulunacağı tam olarak bilinmediği için ve kovana zarar vermemesi açısından dış kayganlaştırıcı olarak görev yapan çinko stereat miktarı ağırlıkça 2 kat arttırılmıştır. Ayrıca antioksidan miktarı da 2 kat arttırılmıştır. K3 karışımı için kullanılan katkı malzemeleri ve ağırlıkları aşağıdaki Tablo 2.3'de gösterilmiştir. K3 karışımının üretimi sırasında manyetit cevheri, RPP ve katkı malzemeleri mikser de karıştırıldıktan sonra ekstrüdere beslenmiş olup makinenin çalışma sıcaklığı 190 ^{0}C-230 ^{0}C arasındadır. Makinenin 20 devir/dk da çektiği akım 72 Amperde sabit kalmıştır. Daha sonra kafa bölgesinden çıkan erimiş polimer granülleri su tankından geçirilip soğutulduktan sonra kesici yardımıyla kesilip çuvallara konulmuştur. K3 karışımının granül makinesinde ekstrüde edilmesinden sonraki görüntüsü Şekil 2.27'de gösterilmiştir. Yapıya katılan manyetit katkısı ile birlikte K3 karışımına ait granüllerin renginin kırmızı renk boya azaltıldığı halde bordo rengine yaklaştığı görülmektedir.

Tablo 2.3. K3 karışımında kullanılan malzemelerin ağırlıkları ve yüzde oranı

Kullanılan Malzemeler	Ağırlık (kg)	Yüzde Oran (%)
Geri Dönüştürülmüş PP	75	82,01203
Manyetit	10	10,93494
Uyumlaştırıcı	4	4,373975
Kırmızı Boya	1	1,093494
Çinko Stereat	0,2	0,218699
Antioksidan	1,25	1,366867
Toplam	91,45	100



Şekil 2.27. Ekstrüzyon işlemi sonrası K3 karışımına ait granüllerin görüntüsü

% 30 manyetit cevheri katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli granül üretimi (K4):

Ağırlıkça % 30 Manyetit cevheri katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli kompozit; 'K4' olarak kısaltılmıştır. K4 karışımı hazırlanırken maliyet faktörü göz önüne alınarak K3 karışımının reçetesine yakın değerlerde hazırlanmıştır. K4 karışımı için kullanılan katkı malzemeleri ve ağırlıkları aşağıdaki Tablo 2.4'de gösterilmiştir. K4 karışımının üretimi sırasında manyetit cevheri, RPP ve katkı malzemeleri mikserde karıştırıldıktan sonra ekstrüdere beslenmiş olup makinenin çalışma sıcaklığı 190 ^{0}C-230 ^{0}C arasındadır. Makinenin 20 devir/dk da çektiği akım maksimuma çıkıp granül makinesi kendini korumaya alıp kapanmıştır. Daha sonra granül makinesinin devri; 16 devir/dk'ya alınmış olup tekrar maksimum akıma çıkıp makine durmuştur. Çalışma devri 12 devir/dk'ya düşürüldükten sonra makinenin çektiği akım 60 Amper de sabit kalmıştır. Daha sonra kafa bölgesinden çıkan erimiş polimer granülleri su tankından geçirilip soğutulduktan sonra kesici yardımıyla kesilip çuvallara konulmuştur. Ağırlıkça % 30 manyetit cevheri katılıp mikserde karıştırıldıktan sonra RPP granülleri siyah bir görünüme sahip olmuştur (Şekil 2.28). K4 karışımının granül makinesinde ekstrüde edilmesinden sonraki görüntüsü Şekil 2.29'da gösterilmiştir. Mikserde karıştırma işlemi sırasında bu siyahlık anlaşıldığı için kırmızı boya miktarı düşük tutulmuştur.

Yapılan karışımlar sırasında granül makinesinin çalışma süresince çektiği akım Şekil 2.30'da gösterilmiştir.

Tablo 2.4. K4 karışımında kullanılan malzemelerin ağırlıkları ve yüzde oranı

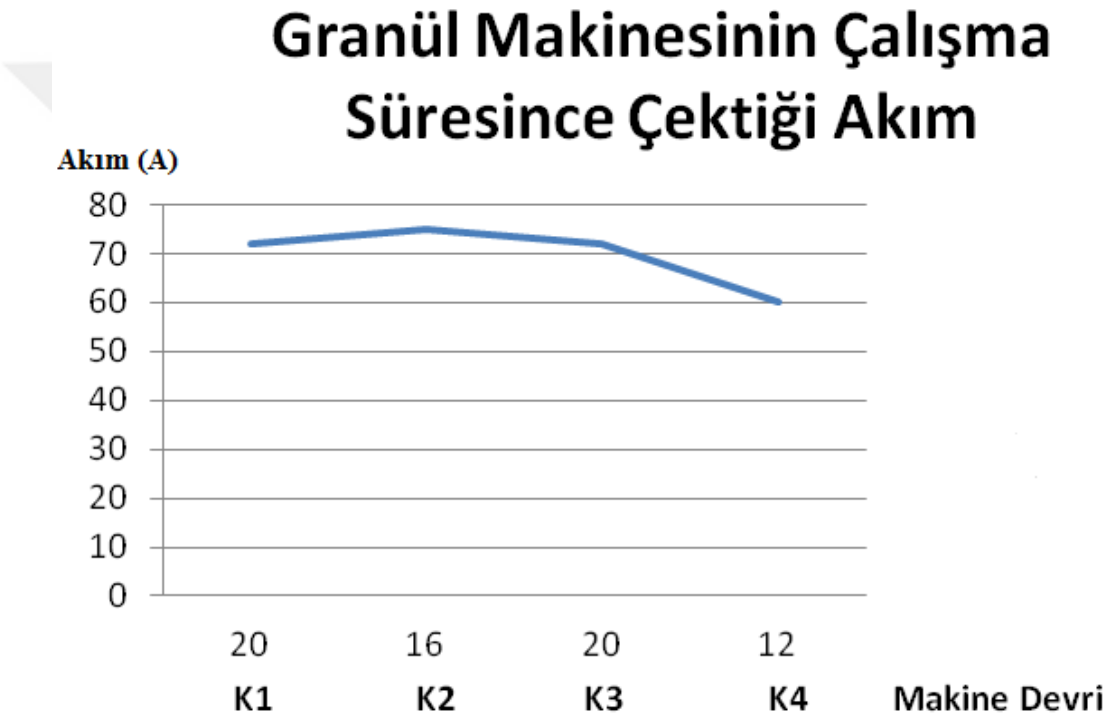
Kullanılan Malzemeler	Ağırlık (kg)	Yüzde Oran (%)
Geri Dönüştürülmüş PP	75	61,99372
Manyetit	36,3	30,00496
Uyumlaştırıcı	6	4,959497
Kırmızı Boya	1,5	1,239874
Çinko Stereat	0,3	0,247975
Antioksidan	1,88	1,553976
Toplam	120,98	100



Şekil 2.28. % 30 Manyetit cevherinin mikserde karıştırılması ile RPP granüllerinin görüntüsü



Şekil 2.29. Ekstrüzyon işlemi sonrası K4 karışımına ait granüllerin görüntüsü



Şekil 2.30. Granül makinesinin farklı karışımlar yapılırken çalışma süresince çektiği akım

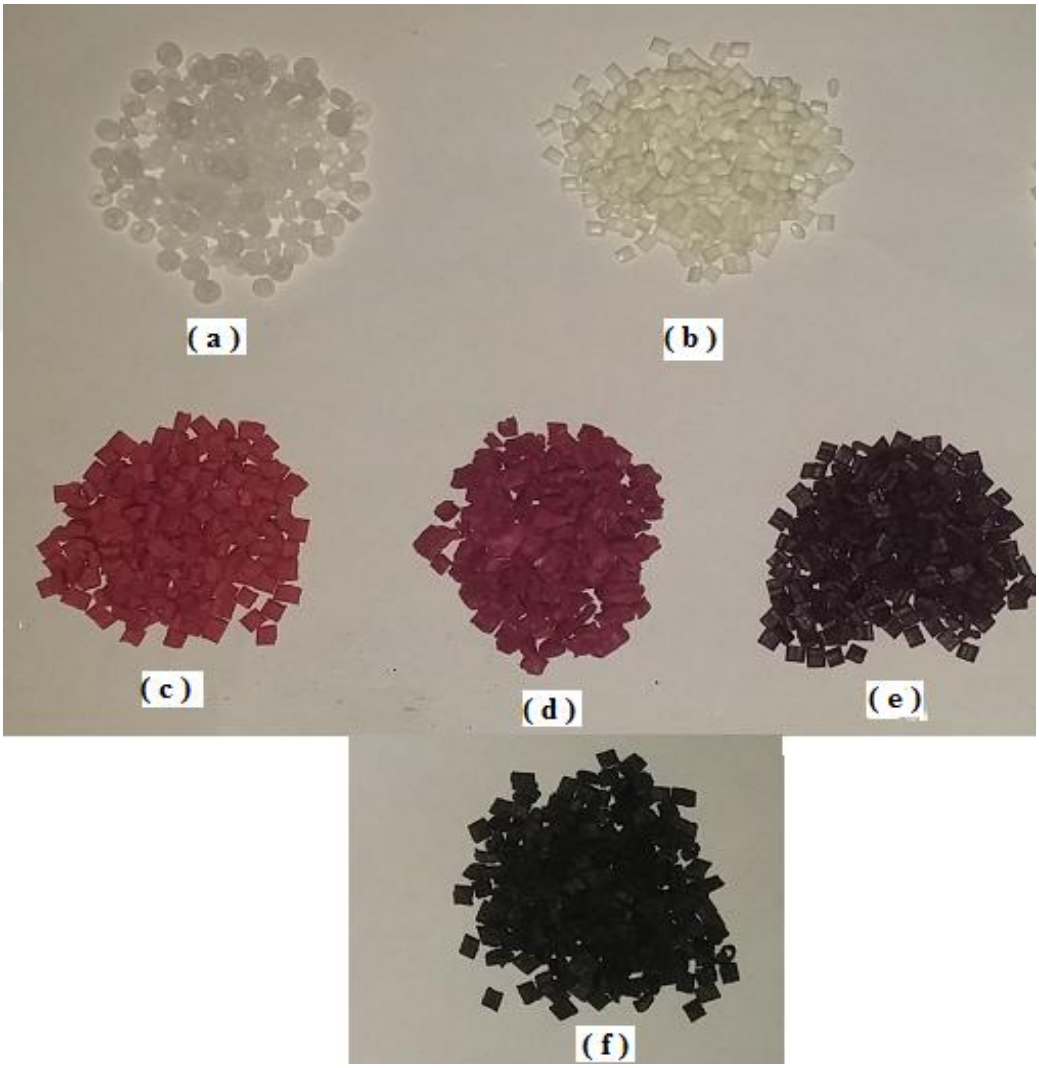
Deney numunelerinin enjeksiyon makinesinde üretilmesi:

Deneyde kullanılan malzemelerin çekme mukavemeti ve darbe mukavemeti özelliklerindeki değişimleri gözlemlemek için ekstrüzyon makinesi ve daha sonra enjeksiyon makinesi kullanılarak çekme ve darbe testi numuneleri hazırlanmıştır. Çekme ve darbe testi numunelerinin hazırlanışı da granül üretimi sırasıyla yapılmıştır. Esas mantık; saf PP kullanıldıktan sonra yapılan geri dönüşüm işleminden sonra kaybedilen mekanik özellikleri farklı oranda takviye malzemesi kullanılarak geliştirilmesidir. Enjeksiyon makinesinde çekme ve darbe testi için

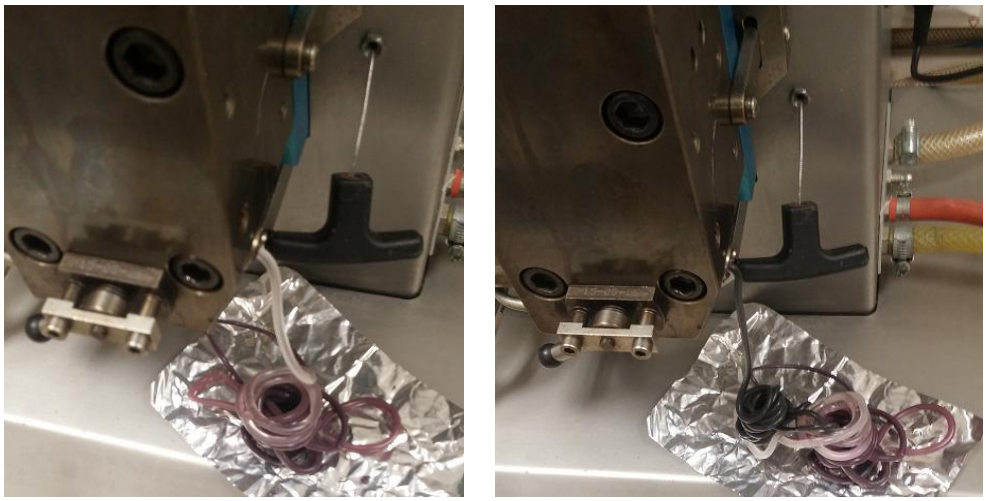
gerekli kalıplara basılacak hammadde çift vidalı ekstrüderde eritilmiştir. Deneyde ilk olarak saf PP'nin test numuneleri için üretime başlanmıştır. Başlangıçta 190 ^{0}C sıcaklık seçilmiş fakat 'force' çok fazla miktarda arttığı için makine kendini korumaya alıp kapanmıştır. Daha sonra sıcaklıklar kademeli olarak arttırılarak 240 ^{0}C sıcaklık uygun sıcaklık olarak belirlenmiştir ve 50 rpm hızda hammadde eritilmiştir. Her aşamada eritilen hammaddenin ekstrüderden alıkonma süresi 30 saniyedir. Eritilen hammadde ekstrüzyon cihazının alt bölümünde yer alan kilidin açılmasıyla transfer potasına aktarılmıştır. Transfer potası enjeksiyon makinesine yerleştirilip koruma kapağı kapatılmıştır. Enjeksiyon işlemi için 230 ^{0}C sıcaklık seçilmiştir. 8 bar basma basıncı, 10 bar ütüleme basıncı ile birlikte kalıp sıcaklığı 25 ^{0}C olarak belirlenmiştir. Basma süresi 3 saniye ve ütüleme süresi de 5 saniye olarak programa girilip enjeksiyon işlemi başlatılmıştır. Enjeksiyon işleminin başlamasıyla piston ileri itilerek transfer potası içindeki eritilmiş granül çekme testi kalıbına basılmıştır ve kalıp açılarak çekme testi numuneleri elde edilmiştir. Daha sonra darbe testi kalıbı takılıp, darbe testi numuneleri de aynı şekilde elde edilmiştir. Test numunelerinin üretimi sırasıyla Şekil 2.31'de görülen; (a) saf PP, (b) Geri dönüştürülmüş PP (RPP), (c) % 20 cam elyaf katkılı RPP (K1), (d) % 20 cam elyaf+%3,7 demir tozu katkılı RPP (K2), (e) %10,9 Manyetit cevheri katkılı RPP (K3), (f) % 30 Manyetit cevheri katkılı RPP (K4) şeklinde yapılmıştır. Çalışılan ürün grubundan diğerine geçilince; kovan Şekil 2.32 (a)'da görüldüğü gibi saf PP ile şeffaf renge dönene kadar temizlenmiştir. Daha sonra çalışılacak olan yeni grubun granülleri ekstrüzyon makinesine beslenmiş ve atılan granülün rengi dönene kadar beklenmiştir (Şekil 2.32 (b)). Enjeksiyon işlemi sırasında K3 ve K4 karışımlarının MFR değeri çok yüksek olduğu için kalıba dolmadan kalıptan dışarı sızmalar meydana gelmiştir. Bu yüzden K3 ve K4 karışımları ile çalışılmaya geçildiğinde kalıp sıcaklığı 15 ^{0}C'ye düşürülmüştür. Basma basıncı 6 bar ve ütüleme basıncı ise 8 bara düşürülmüştür. Sonuçta elde edilen çekme ve darbe testi numuneleri Şekil 2.33'de gösterilmiştir.

Granüllerin ve test numunelerinin arasındaki renk farkının sebebi ise öncelikle şeffaf renkli saf PP'ye beyaz boya atılmış olan fire ürünler (boru, fitting vb.) kırılarak beyaz renkli geri dönüştürülmüş polipropilen (RPP) granül elde edilmiştir. Daha sonra tüm aşamalarda beyaz renkli RPP granüller matris malzemesi olarak

kullanılmıştır. Daha sonra önceden belirtilen reçetelere uygun şekilde K1, K2, K3 ve K4 karışımları hazırlanmış ve granül makinesinde elde edilmiştir. Artan her metal oranı kırmızı rengi daha da koyulaştırılmıştır. Granül makinesinde elde edilen numunelerin renginde ki bu farklılık çekme ve darbe testi numunelerine de Şekil 2.33'de görüldüğü gibi yansımıştır.



Şekil 2.31. Deneyde kullanılan granüllerin görüntüsü [(a) saf PP, (b) Geri dönüştürülmüş PP (RPP), (c) % 20 cam elyaf katkılı RPP (K1), (d) % 20 cam elyaf+%3,7 Demir tozu katkılı RPP (K2), (e) %10,9 Manyetit cevheri katkılı RPP (K3), (f) % 30 Manyetit cevheri katkılı RPP (K4)]



(a) (b)

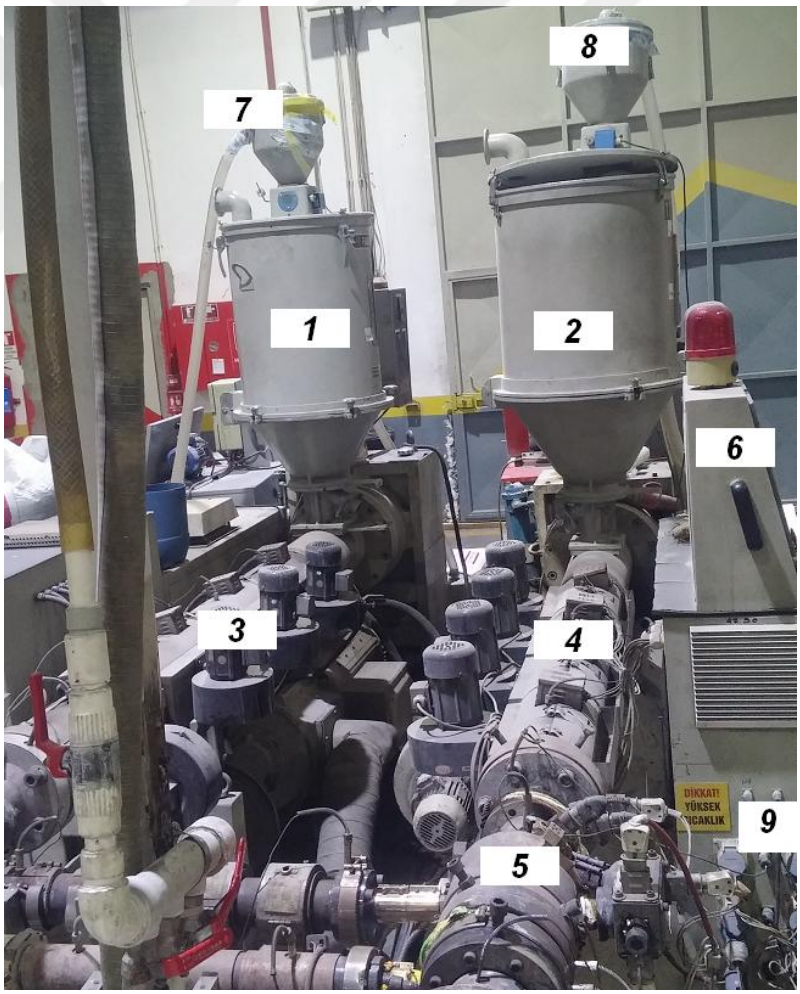
Şekil 2.32. Ürün grubu değişikliği sırasında, (a) kovanın Saf PP ile temizlenmesi ve (b) yeni geçilen ürün grubunun kovanı kaplaması



Şekil 2.33. Kullanılan hammadde ve karışımlara ait çekme ve darbe test numunelerinin görüntüsü

2.2.13. Ekstrüzyon ile boru üretimi

Makinenin çalışma prensibi; öncelikle Şekil 2.34 (7 ve 8) ile gösterilen emiciler sayesinde Şekil 2.34 (2) siloya cam elyaflı veya takviyeli polipropilen granüller eklenir. Aynı şekilde Şekil 2.34 (1) gösterilen siloya saf polipropilen eklenir. Daha sonra kontrol; Şekil 2.34 (6)'da gösterilen kontrol panelinden sıcaklıklar kontrol edilir. Eğer sıcaklıklarda herhangi bir problem varsa Şekil 2.34 (9)'da gösterilen rezistans fişleri ve termokupl'lar kontrol edilerek sorun giderilir. Daha sonra her iki ekstrüdere de yavaş yavaş devir verilerek çalışma devrine kadar çıkılır. Şekil 2.34 (3) ve Şekil 2.34 (4) gösterilen rezistanslarla çevrili kovan boyunca eriyen polimer Şekil 2.34 (5) ile gösterilen 3 katmanlı boru kafasına gelerek istenilen son çapa yakın ölçülere sahip kalibreden geçerek vakum tankına girer.



Şekil 2.34. Çift ekstrüderli boru makinesi



(a) (b)

Şekil 2.35. Vakum tankı (a) ve soğutma tanklarının (b) görüntüsü

Şekil 2.35 (a) vakum tankına giren boru vakum sayesinde boru şeklini alır ve soğumaya başlar. Daha sonra Şekil 2.35 (b)'de gösterilen soğutma tanklarından geçerek soğuma işlemi devam eder.



Şekil 2.36. Çekicinin (Paletin) görüntüsü

Borunun kafadan sürekli ve sabit hızda gelmesi için çekici(palet) kullanılır (Şekil 2.36).



Şekil 2.37. Kesicinin görüntüsü

45 metre hat boyunca soğutulan boru kesici yardımıyla istenilen ölçülerde kesilir (Şekil 2.37). Kesiciden istenilen ölçülerde kesilen boru; paketleme tezgahına düşürülür ve paketlenir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kül Testi Sonuçları

600 ^{0}C sıcaklıkta 30 dakika boyunca fırında bekletilen numunelere ait; kalan kül miktarından yola çıkılarak hesaplanan % katkı oranları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Takviyeli karışımlara ait kül testi sonuçları

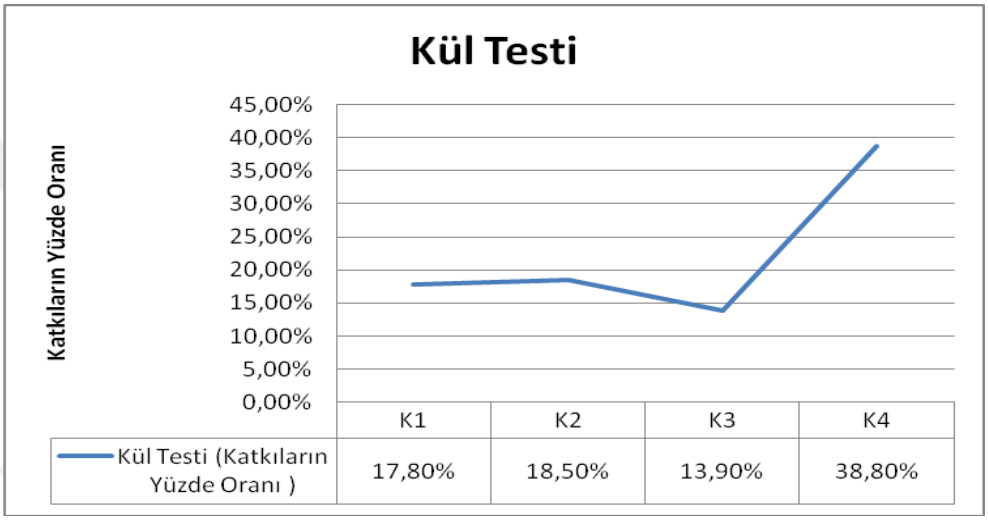
Karışımlar	Kül Testi (Katkıların Yüzde Oranı)
K1	% 17,8
K2	% 18,5
K3	% 13,9
K4	% 38,8

K1 karışımı seri üretimden alınan numunedir ve seri üretimde değişen proses koşullarına bağlı olarak % 18 ile % 22 cam fiber oranı kabul edilebilir sınırlardır. K1 karışımından alınan numuneler 3 defa kül testi yapılmış ve ortalama % 17,8 oranında cam fiber varlığı saptanmıştır.

K2 karışımında ise alınan 3 örnek kül testine tabi tutulmuş ve ortalama % 18,5 katkı malzemesi olduğu saptanmıştır. K2 karışımının reçetesi incelendiğinde teorik olarak % 19,4 cam elyaf ve % 3,7 demir tozu olmasından dolayı % 23,1 kül oluşması beklenmektedir. Fakat K2 karışımı K1 karışımında hemen akabinde yapıldığı için cam fiber oranı % 17,8 olarak kabul edilmiştir. Kalan % 18,5 olan toplam külden % 17,8 cam fiber çıkarıldığı takdirde % 0,7'lik oran demir tozundan kaynaklandığı kabul edilmiştir. Burada da kül testi neticesinde % 3,7 olması gereken demir tozunun % 0,7 çıkmasının sebebi ekstrüzyon sırasında vida ve kovana yapışmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

K3 karışımında 3 örnekten alınan kül testi sonuçlarının ortalaması % 13,9 çıkmıştır. Reçeteye bağlı düşünüldüğünde manyetit tozu nedeniyle çıkması gereken kül oranı

% 10,9 olması gerekirken % 13,9 çıkmıştır. Bunun sebebi ise mikserde karıştırma sırasında veya ekstrüzyon sırasında muhtemel aglomerasyon veya alınan 3 örnekteki granüllerde homojen bir dağılım olmamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. K4 karışımında da 3 örnekten alınan kül testi sonuçlarının ortalaması % 38,8 çıkmıştır. Reçeteye bağlı düşünüldüğünde manyetit cevheri tozu nedeniyle çıkması gereken kül oranı % 30 olması gerekirken sonucun % 38,8 çıkmasının sebebi K3 karışımında meydana gelmiş olan durumlardan kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Karışımlara ait kül testi sonuçları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Takviyeli karışımlara ait kül testi sonuçları

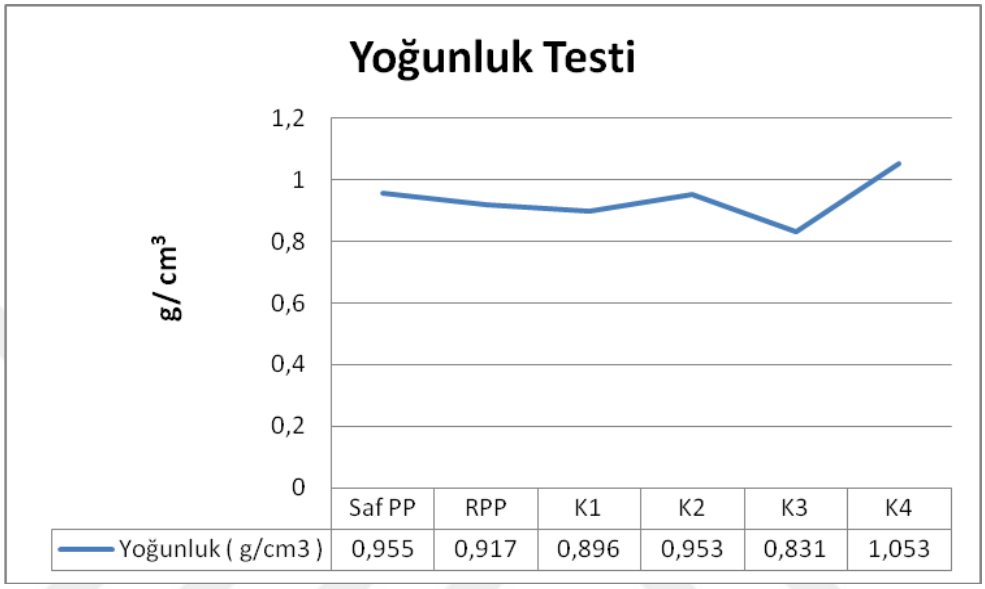
3.2. Yoğunluk Testi Sonuçları

Deneyde kullanılan hammadde ve karışımların; havadaki ve alkol içerisindeki ağırlıklarından yola çıkılarak bulunan yoğunluk değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kullanılan hammadde ve karışımların yoğunluğu

Hammadde ve Karışımlar	Yoğunluk (g/cm^3)
Saf PP	0,955
RPP	0,917
K1	0,896
K2	0,953
K3	0,831
K4	1,053

Deney sonucunda saf polipropilenin yoğunluğu 0,955 g/cm^3 bulunmuştur. Geri dönüştürülmüş polipropilenin yoğunluğu 0,917 g/cm^3, K1 karışımının yoğunluğu 0,896 g/cm^3, K2 karışımının yoğunluğu 0,953 g/cm^3, K3 karışımının yoğunluğu 0,831 g/cm^3 ve K4 karışımının yoğunluğu RPP'ye göre % 14,8 artarak 1,053 g/cm^3 olmuştur. Kullanılan hammadde ve karışımların yoğunluğu Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Kullanılan hammadde ve karışımların yoğunluğu

3.3. Eriyik Akış Testi (MFR) Sonuçları

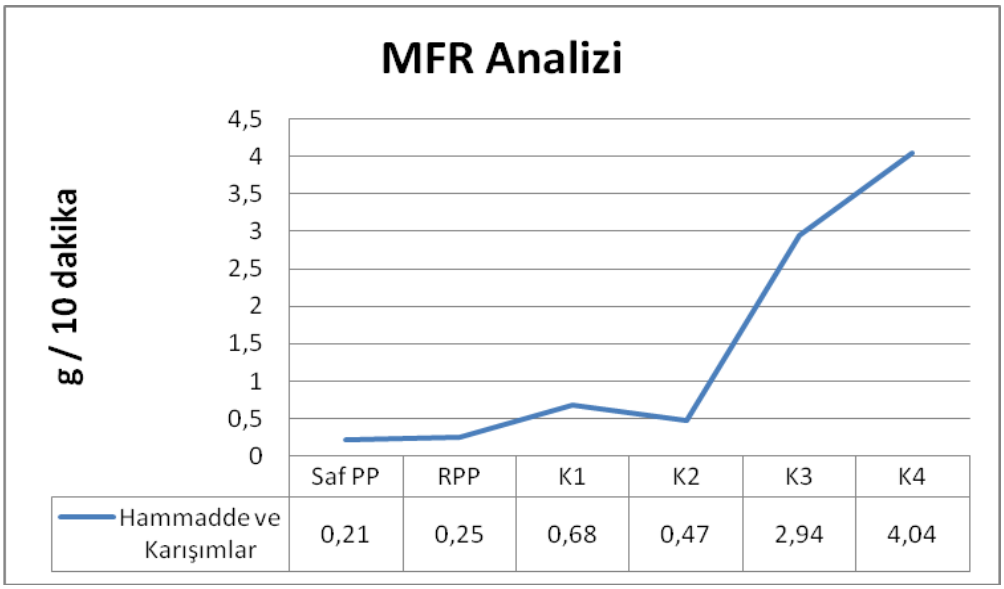
Hammadde ve karışımların; 230 ^{0}C sıcaklıkta, 2,16 kg standart ağırlıkla gerçekleştirilen MFR analizi Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Hammadde ve karışımlara ait MFR analizi sonuçları

Hammadde ve Karışımlar	MFR (g / 10 dakika)	Yüzde Değişim (%)
Saf PP	0,21	- % 16
RPP	0,25	Referans
K1	0,68	+ % 172
K2	0,47	+ % 88
K3	2,94	+ % 1076
K4	4,04	+ % 1516

MFR analizi sonucunda hammaddeler ve karışımların; 10 dakika boyunca eriyen ağırlığı saptanmıştır. Hazırlanan karışımlarda; geri dönüştürülmüş polipropilen matris olarak seçildiği için RPP'ye ait değerler referans değerler olarak seçilmiş olup buna göre diğer malzemelerdeki değişimler yorumlanmıştır.

RPP'ye göre MFR analizindeki değişimler; saf PP % 16 azalmış, % 20 cam elyaf takviyeli RPP matrisli karışımda % 172 artmış, % 20 cam elyaf + % 3,7 demir tozu katkılı RPP matrisli karışımda % 88 artmış, % 10,9 manyetit katkılı RPP matrisli karışımda % 1076 artmış ve % 30 manyetit katkılı RPP matrisli karışımda ise % 1516 oranında artmıştır. Bu sonuçlara bakarak RPP'ye eklenen cam fiber akışkanlığı arttırmıştır. K2 karışımda yani % 20 cam fiberli yapıya % 3,7 oranında demir tozu katılması akışkanlığı azaltmıştır. RPP'ye % 10,9 manyetit cevheri eklenmesiyle akışkanlık yaklaşık olarak 11 kat, % 30 manyetit cevheri katılmasıyla ile yaklaşık olarak 15 kat akışkanlık artmıştır. Bu yüksek akışkanlık daha düşük çalışma sıcaklıklarına olanak sağlayıp enerji tasarrufuna katkı sağlayabilir. Ayrıca enjeksiyonla üretim yapıldığında daha düşük basınçlarda nihai ürün elde etmek mümkündür. Hammadde ve karışımlara ait MFR analizi sonuçları Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Hammadde ve karışımlara ait MFR sonuçları

3.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Sonuçları

Hammadde ve karışımlara ait DSC sonuçları Tablo 3.4.'de verilmiştir. Tablodaki değerler ikinci ısıtma sonucunda elde edilen değerlerdir. Bunun sebebi granüllere uygulanan ilk ısıtmanın akabinde yapılan soğutma işlemiyle birlikte ısı geçmişinden gelen özellikleri elimine edilmiş olup ikinci ısıtmadaki değerlerin doğru sonuca daha yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca hammadde ve karışımlara ait DSC eğrileri Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir.

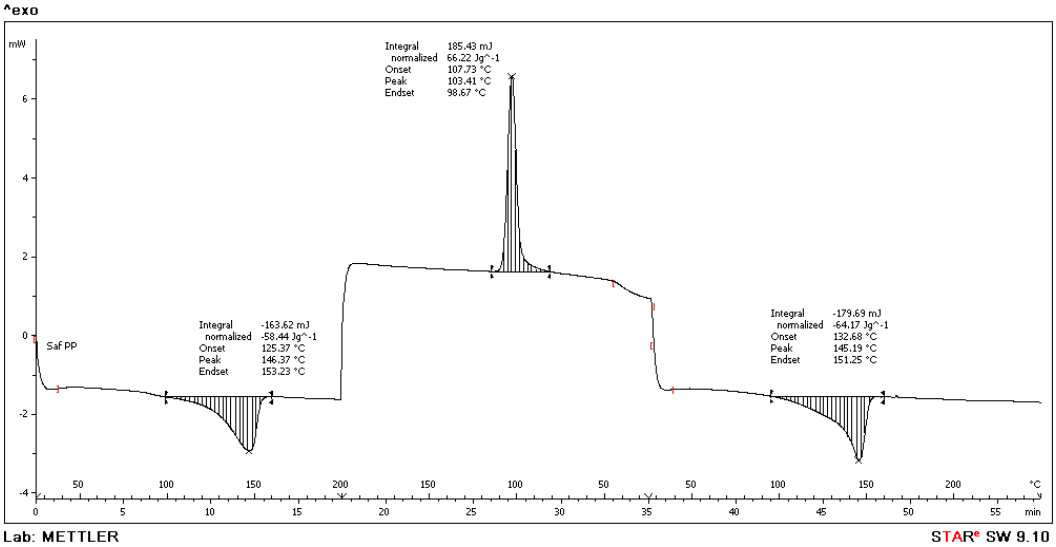
Tablo 3.4. Kullanılan hammadde ve karışımlara ait DSC testi sonuçları

Hammadde ve Karışımlar	$T_{mbaşlagıç}(^0C)$	$T_{mtepe}(^0C)$	$T_{mbitiş}(^0C)$	ΔHm(J/g)
Saf PP	132,68	145,19	151,25	64,17
RPP	129,97	145,17	151,57	56,05
K1	137,77	154,95	163,03	31,11
K2	129,1	147,9	155,45	47,31
K3	133,75	149,36	157,56	56,22
K4	135,72	149,7	157,05	51,12

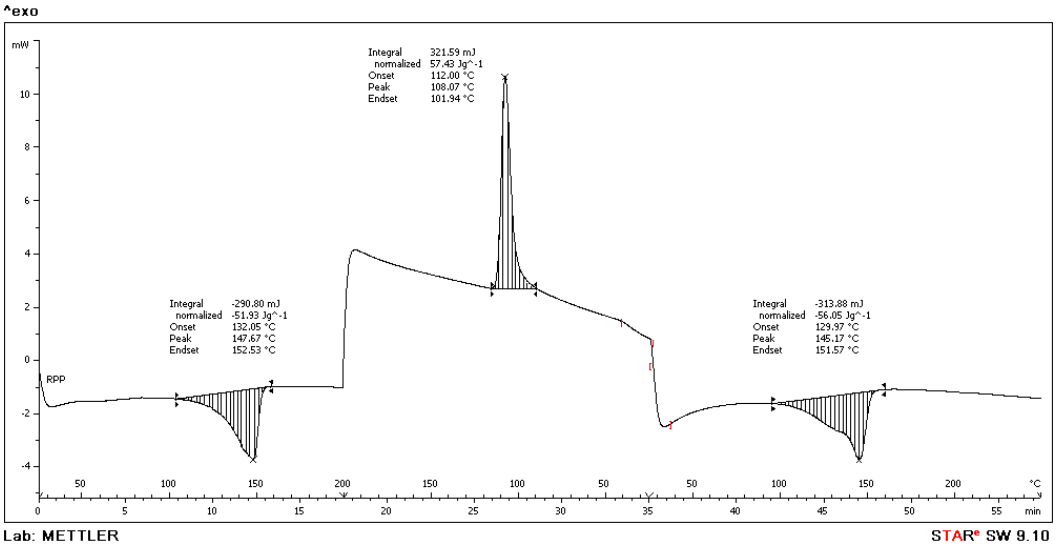
DSC sonuçlarına göre; en yüksek ΔHm değerine sahip saf PP'dir. Geri dönüşüm işlemi sonrasında $T_{mtepe\ ve}$ $T_{mbitiş}$ sıcaklıkları çok fazla değişmemiş olup, $T_{mbaşlangıç}$ ve ΔHm değeri düşmüştür.

K1 karışımında; yani RPP matrise cam fiber takviyesiyle birlikte erime sıcaklığı değerleri artmış olup, ΔHm değeri düşmüştür. K2 karışımında ise yapıya demir tozu takviyesiyle birlikte tekrar erime sıcaklıkları değerleri düşmüş olup, ΔHm değeri artmıştır.

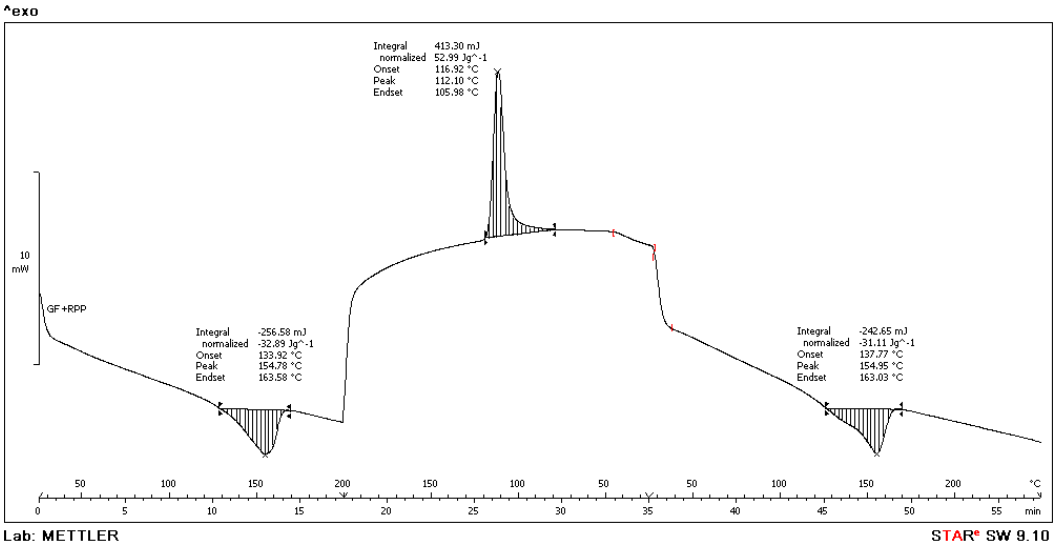
K3 ve K4 karışımında, yani RPP matrise manyetit cevheri takviyesiyle birlikte erime sıcaklığı değerleri artmıştır. ΔHm değeri; RPP'ye göre K3 karışımında çok fazla değişmemiştir, K4 karışımında ise RPP'ye göre düşmüştür.



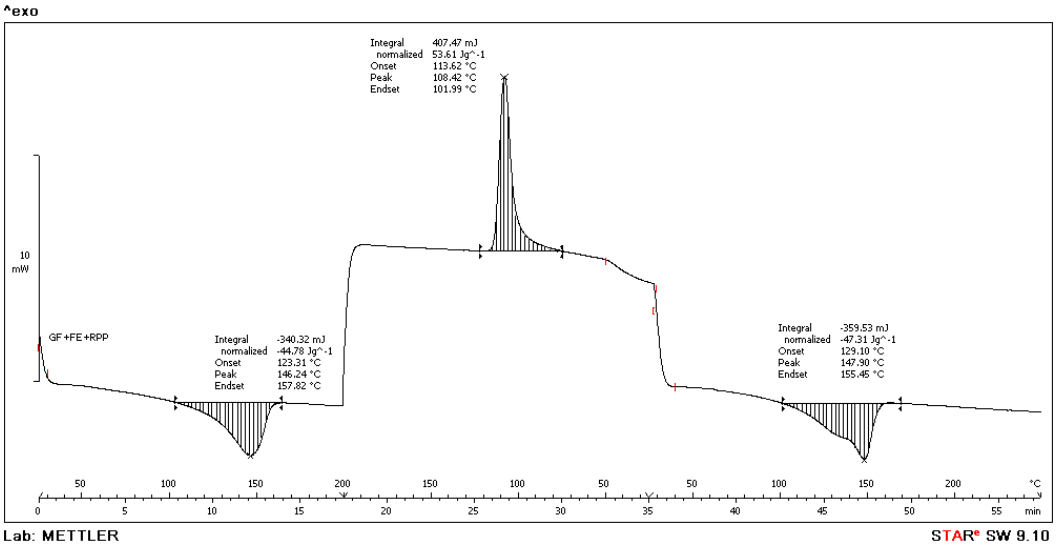
Şekil 3.4. Saf polipropilene ait DSC eğrisi



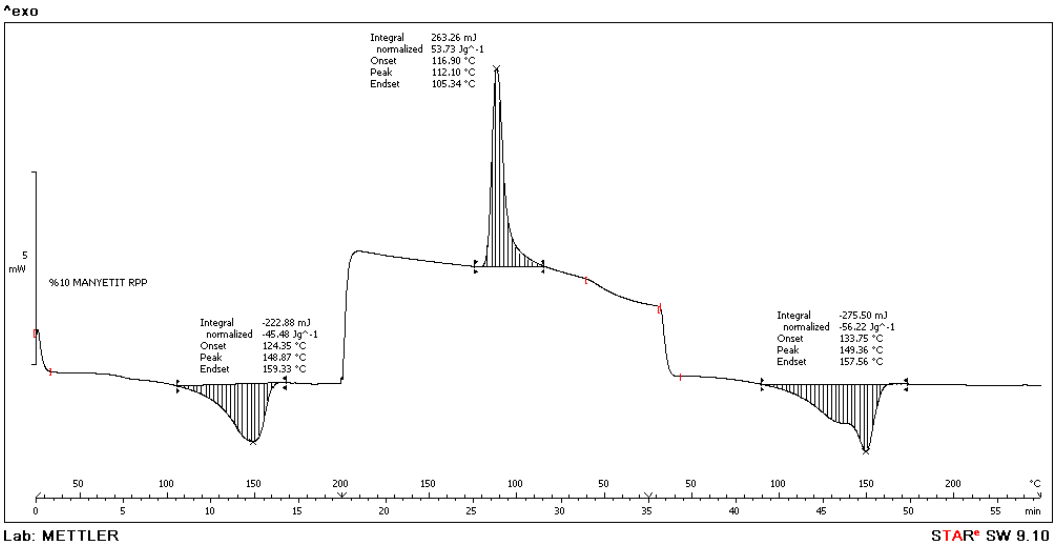
Şekil 3.5. Geri dönüştürülmüş polipropilene ait DSC eğrisi



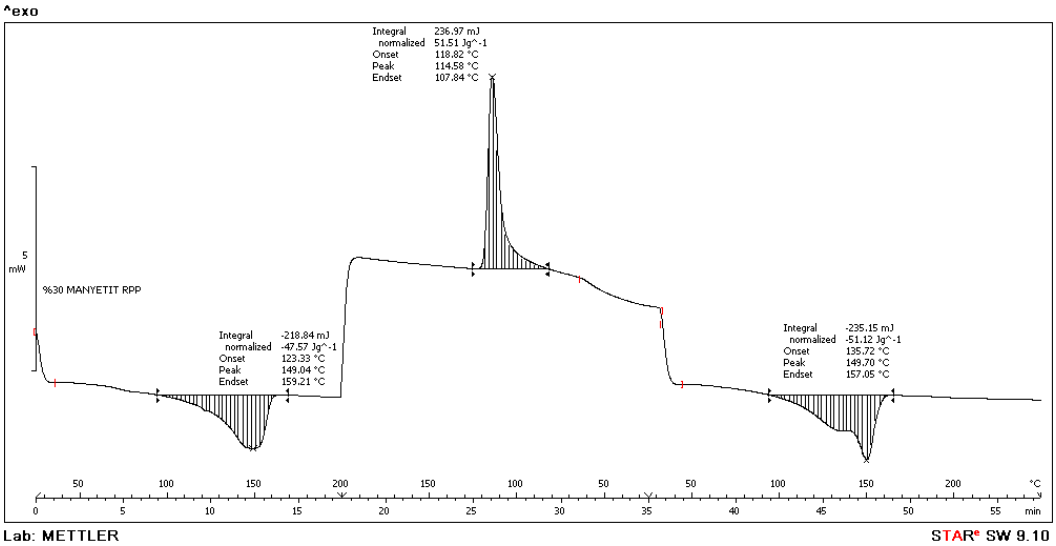
Şekil 3.6. K1 karışımına ait DSC eğrisi



Şekil 3.7. K2 karışımına ait DSC eğrisi



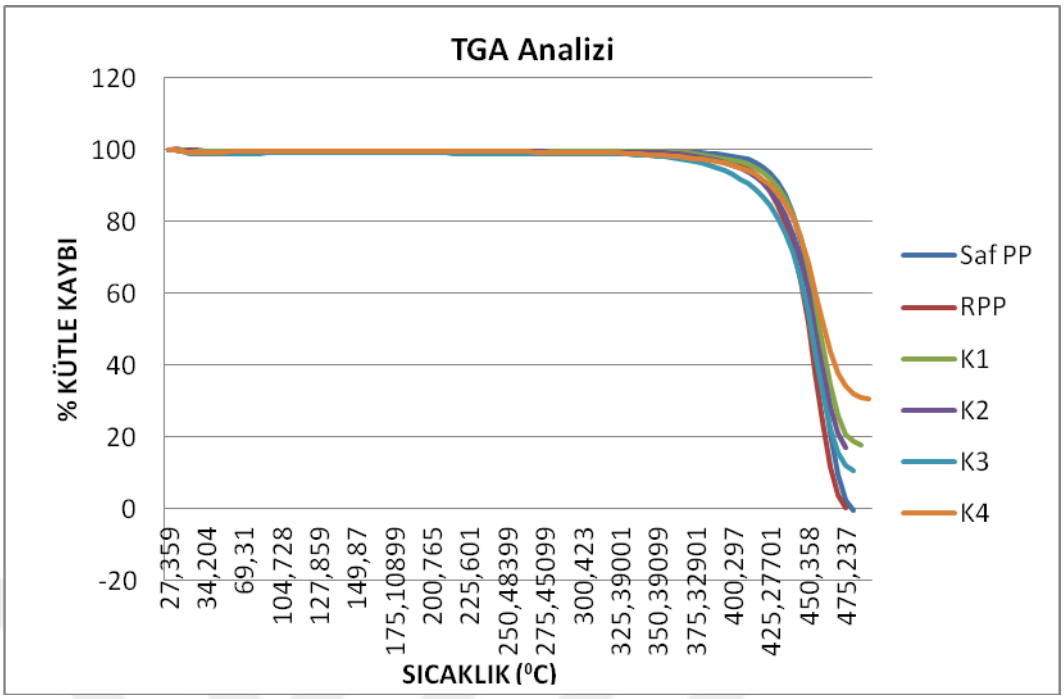
Şekil 3.8. K3 karışımına ait DSC eğrisi



Şekil 3.9. K4 karışımına ait DSC eğrisi

3.5. Termal Gravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları

Tüm hammadde ve karışımların; 25 ^{0}C sıcaklığından başlayarak 10 ^{0}C/dk hızla 600 ^{0}C sıcaklığa kadar ısıtılarak TGA analizleri gerçekleştirilmiştir. TGA analizi sonrası elde edilen eğriler Şekil 3.10'da, bozunmaya başlangıç ve bitiş sıcaklıkları Tablo 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Hammadde ve karışımlara ait TGA eğrileri

Tablo 3.5. Hammadde ve karışımlara ait bozunma sıcaklıkları

Hammadde ve Karışımlar	Bozunmaya Başlangıç Sıcaklığı(^{0}C)	Bozunma Bitiş Sıcaklığı(^{0}C)
Saf PP	385	480
RPP	365	475
K1	375	485
K2	365	475
K3	275	480
K4	335	490

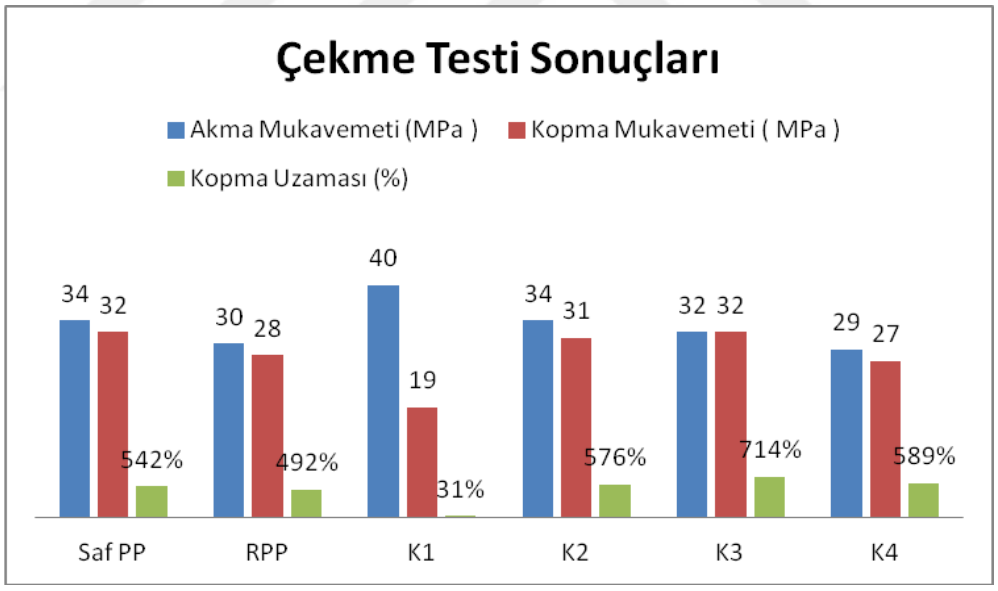
TGA analizi sonucunda en yüksek bozunmaya başlangıç sıcaklığı saf PP de elde edilmiştir. K1 karışımında, yani RPP matrise takviye edilen cam fiberle birlikte bozunmaya başlangıç ve bitiş sıcaklıkları arttmıştır. Bu sayede yapıya katılan cam fiberin termal kararlılığı arttırdığı belirlenmiştir. K3 ve K4 karışımında yapıda bulunan manyetit cevheri ile birlikte RPP'ye göre bozunmaya başlangıç sıcaklıları düşmüş fakat bozunma bitiş sıcaklıkları arttmıştır. Son olarak en yüksek kütle kaybı % 100 ile Saf PP ve RPP de görülmüş olup tek kademede gerçekleşmiştir, en düşük kütle kaybı % 69,5 ile % 30 manyetit cevheri takviyeli K4 karışımında meydana gelmiştir.

3.6. Çekme Testi Sonuçları

25 mm/dk hızda gerçekleştirilen; hammadde ve hazırlanan karışımlara ait beşer adet numunenin ortalaması alınarak hesaplanan çekme testi sonuçları Tablo 3.6 ve Şekil 3.11 de gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Hammadde ve hazırlanan karışımlara ait çekme testi sonuçları

Hammadde ve Karışımlar	Akma Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzaması (%)
Saf PP	34	32	542%
RPP	30	28	492%
K1	40	19	31%
K2	34	31	576%
K3	32	32	714%
K4	29	27	589%



Şekil 3.11. Hammadde ve hazırlanan karışımlara ait çekme testi sonuçları

Hazırlanan karışımlarda; geri dönüştürülmüş polipropilen matris olarak seçildiği için RPP'ye ait değerler referans değerler olarak seçilmiş olup buna göre diğer malzemelerdeki değişimler yorumlanmıştır;

- RPP'ye göre akma mukavemetinde ki değişimler; saf PP de % 13 artmış % 20 cam elyaf takviyeli RPP matrisli karışımda %33 artmış, % 20 cam elyaf + % 3,7 demir

tozu katkılı RPP matrisli karışımda % 13 artmış, % 10 manyetit cevheri katkılı RPP matrisli karışımda % 6 artmış ve % 30 manyetit katkılı RPP matrisli karışımda ise % 3,3 oranında azalmıştır.

- RPP' ye göre kopma mukavemetinde ki değişimler; saf PP de % 14 artmış, % 20 cam elyaf takviyeli RPP matrisli karışımda %32 azalmış, % 20 cam elyaf + % 3,7 demir tozu katkılı RPP matrisli karışımda % 11 artmış, % 10 manyetit cevheri katkılı RPP matrisli karışımda % 14 artmış ve % 30 manyetit katkılı RPP matrisli karışımda ise yaklaşık % 4 oranında azalmıştır.
- Kopma uzamasında ki değişimler; en yüksek kopma uzaması % 714 ile K3 karışımında, en düşük kopma uzaması değeri % 31 ile K1 karışımında olduğu gözlenmiştir.

3.7. Çentikli İzod Darbe Testi Sonuçları

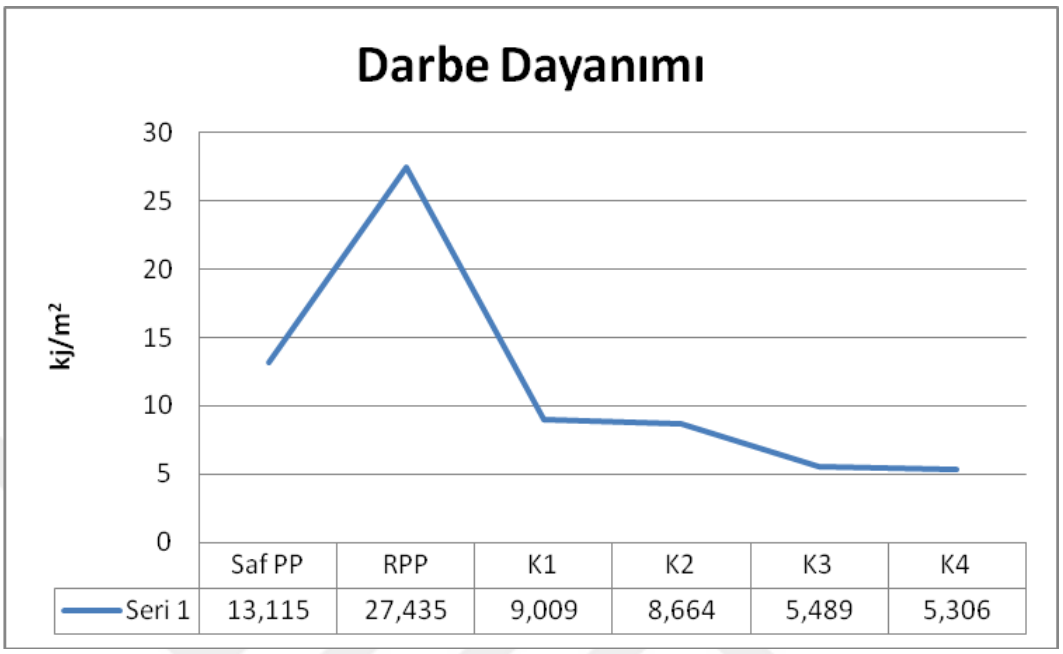
Oda sıcaklığında gerçekleştirilen her ürün grubundan 5 adet numune ile yapılıp, ortalaması alınmış çentikli izod darbe testi sonuçları Tablo 3.7. ve Şekil 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Hammadde ve hazırlanan karışımlara ait darbe dayanımı değişimleri

Kullanılan Malzeme	Darbe Dayanımı (kJ/m^2)
Saf PP	13,115
RPP	27,435
K1	9,009
K2	8,664
K3	5,489
K4	5,306

K1, K2,K3 ve K4 karışımlarında; RPP matris olarak seçildiği için; RPP'ye ait darbe dayanımı değeri referans değer olarak belirlenmiştir. Tablo 3.7'de görüleceği üzere saf PP'nin darbe dayanımı yaklaşık olarak RPP'nin yarısı kadardır. % 20 cam elyaf takviyeli K1 karışımının darbe dayanımı 9,009 kJ/m^2 olarak hesaplanmış olup, %20 cam elyaf ile % 3,7 demir tozu katkılı K2 karışımında ise çok fazla değişiklik meydana gelmemiştir. % 10,9 manyetit cevheri katkılı K3 karışımında ve %30

manyetit cevheri katkılı K4 karışımında darbe dayanımı değeri birbirine yakın ve en düşük olduğu hesaplanmıştır.

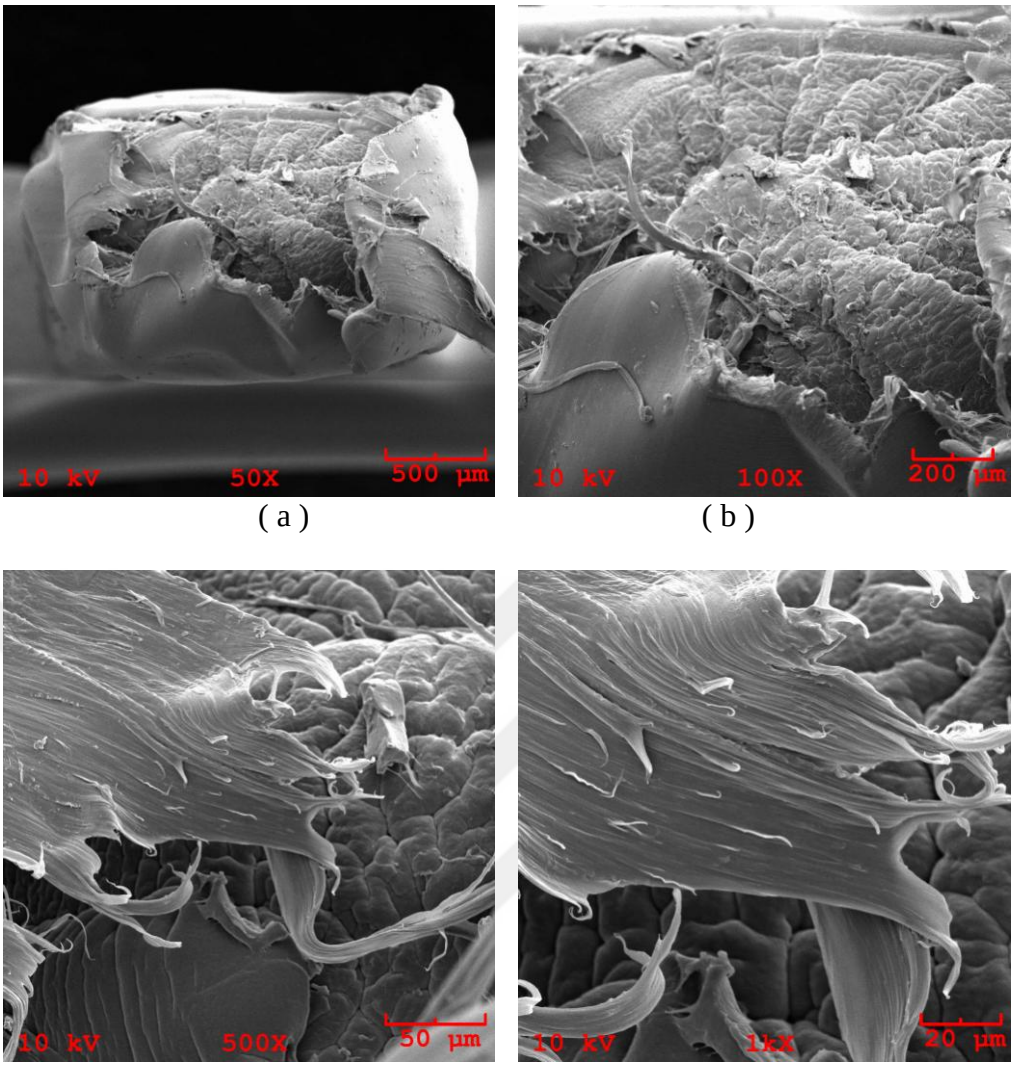


Şekil 3.12. Hammadde ve hazırlanan karışımlara ait darbe dayanımı değişimleri

3.8. SEM Analizi Sonuçları

Saf PP, RPP, K1, K2, K3 ve K4 karışımıyla hazırlanan çekme numunelerinin, çekme testi sonucunda oluşan kırılma yüzeyleri SEM de incelenmiştir;

- Saf PP'ye ait kopma yüzeyi 50 X, 100 X, 500 X ve 1 kX ölçekte incelenmiş ve Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



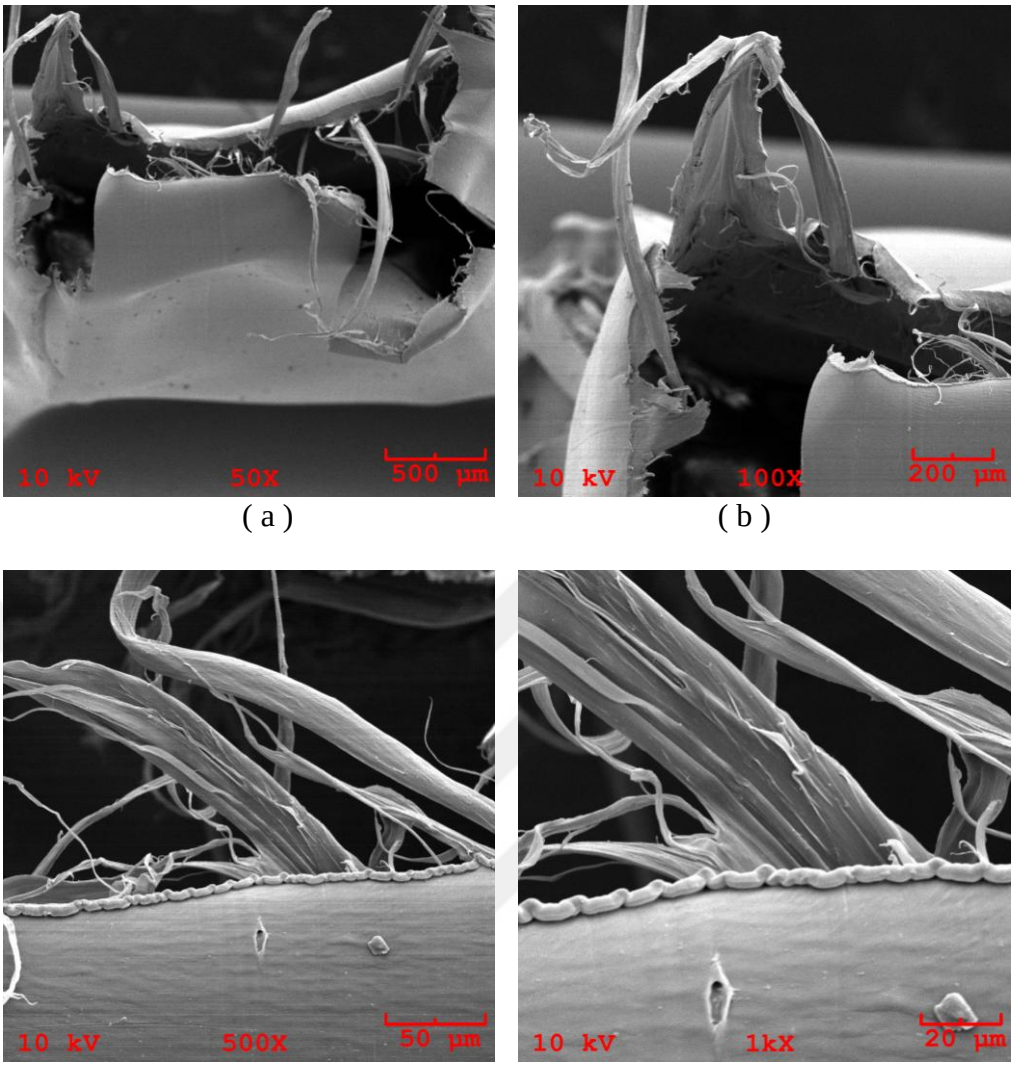
(a) (b)

(c) (d)

Şekil 3.13. Saf PP'ye ait kopma yüzeyinin (a) 50 X, (b) 100 x, (c) 500 X ve (d) 1000 X ölçekte mikroyapı görüntüsü

Mikroyapı analizinde de görüleceği üzere saf PP kenar kısımlarından uzayarak sünek bir kırılma davranışı göstermiştir.

- RPP'ye ait kopma yüzeyi 50 X, 100 X, 500 X ve 1000 X ölçekte incelenmiş ve Şekil 3.14'de gösterilmiştir.



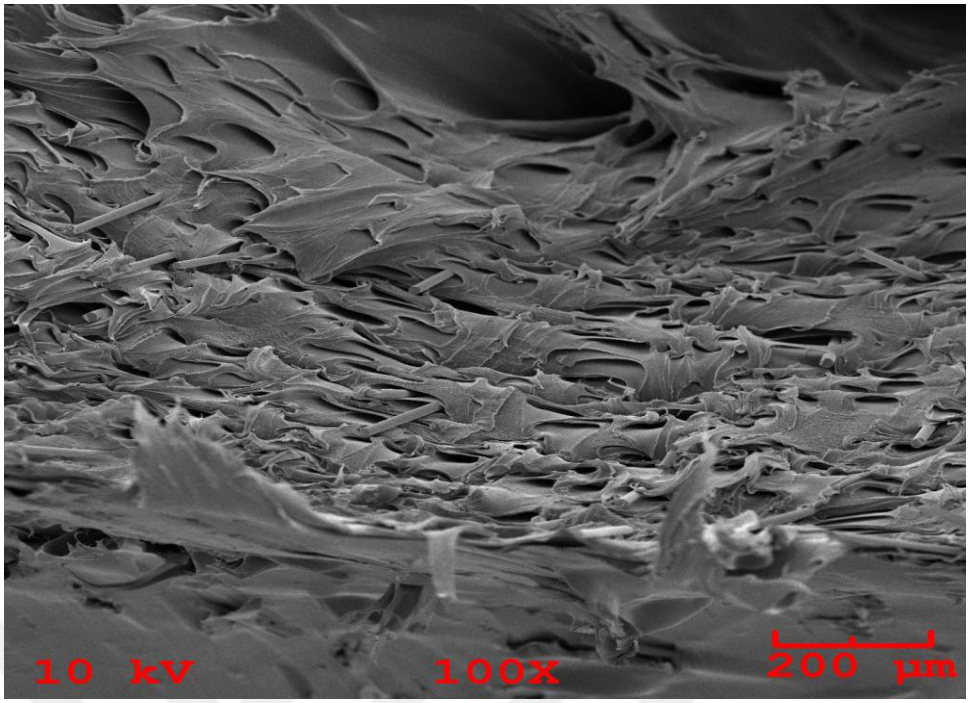
(a) (b)

(c) (d)

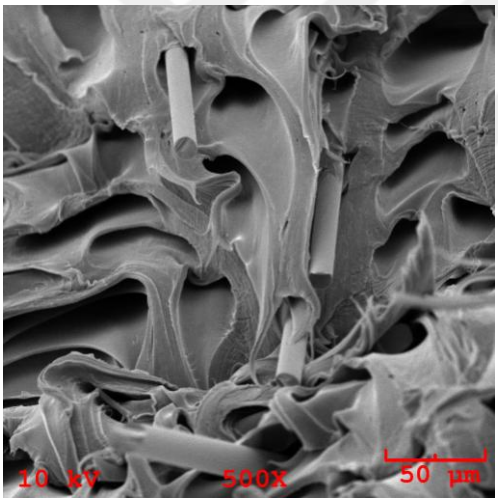
Şekil 3.14. Geri dönüştürülmüş PP'ye ait kopma yüzeyinin (a) 50 X, (b) 100 x, (c) 500 X ve (d) 1000 X ölçekte mikroyapı görüntüsü

Mikroyapı analizi sonucu geri dönüştürülmüş polipropilen, saf PP'ye benzer şekilde kenar kısımlarından uzayarak sünek bir kırılma davranışı göstermiştir.

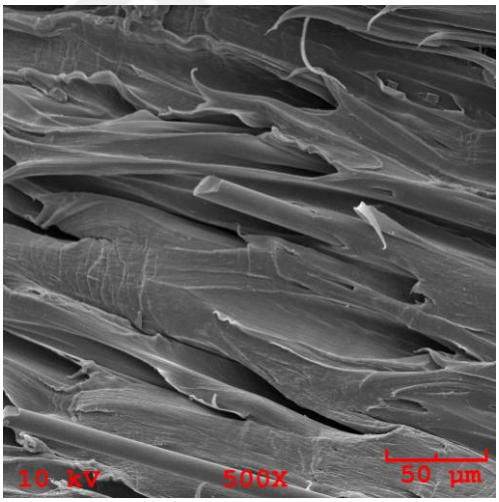
- K1 karışımına ait kopma yüzeyi 50 X, 100 X, 500 X, 1000 X ve 5000 X ölçekte incelenmiş ve Şekil 3.15'de gösterilmiştir.



(a)



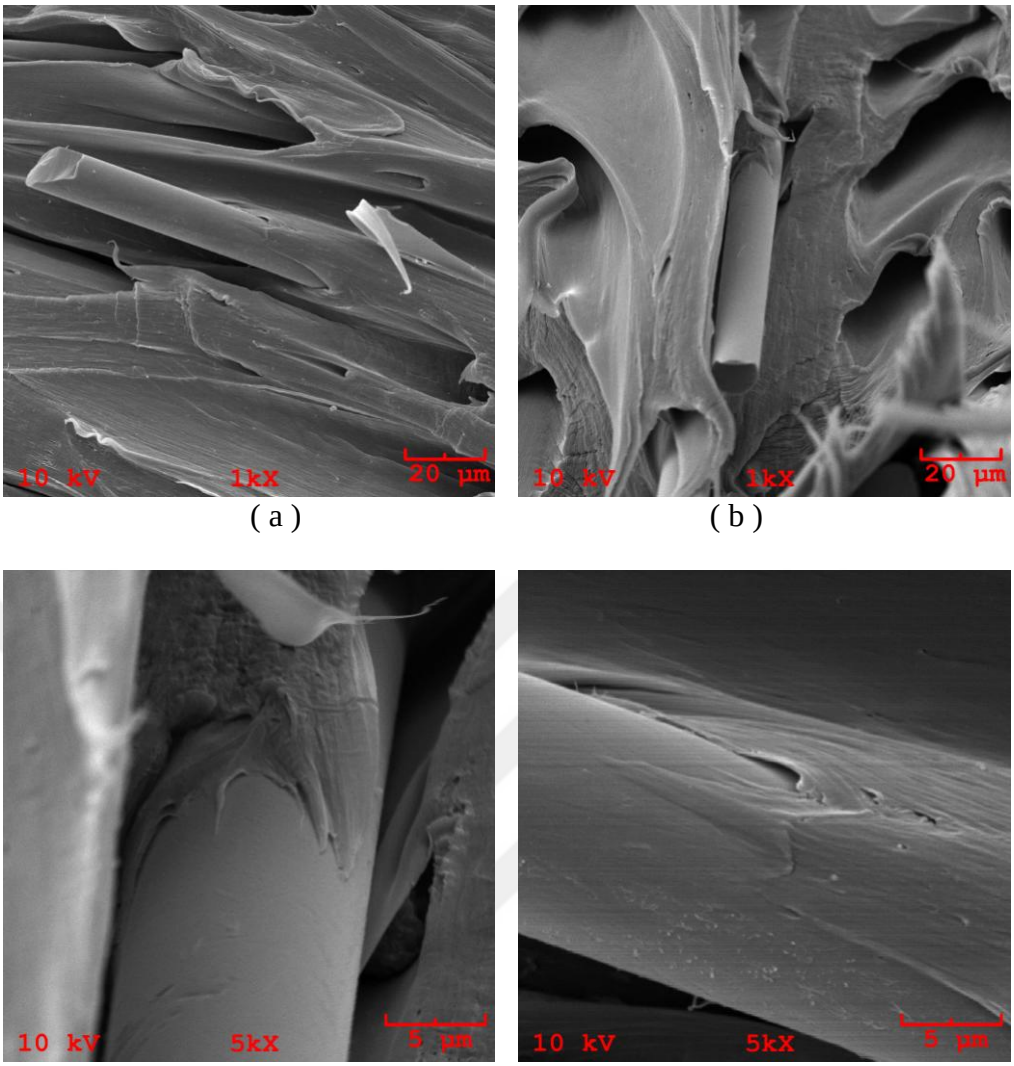
(b)



(c)

Şekil 3.15. K1 karışımına ait kopma yüzeyinin (a) 100 X, (b) 500 x ve (c) 500 X ölçekte mikroyapı görüntüsü

K1 karışımı ile hazırlanan numunelerin kopma yüzeyleri incelendiğinde Şekil 3.15 (a)'da 100 X ölçekli büyütmede görüldüğü gibi cam fiberler yer yer matristen sıyrılmıştır. Şekil 3.15 (b) ve Şekil 3.15 (c)'de 500 X ölçekli büyütmede ise daha yakından incelendiğinde durum daha net anlaşılmaktadır. Bu durum matrisle takviye malzemesi olan cam fiberin tam olarak uyum sağlamadığının göstergesidir.



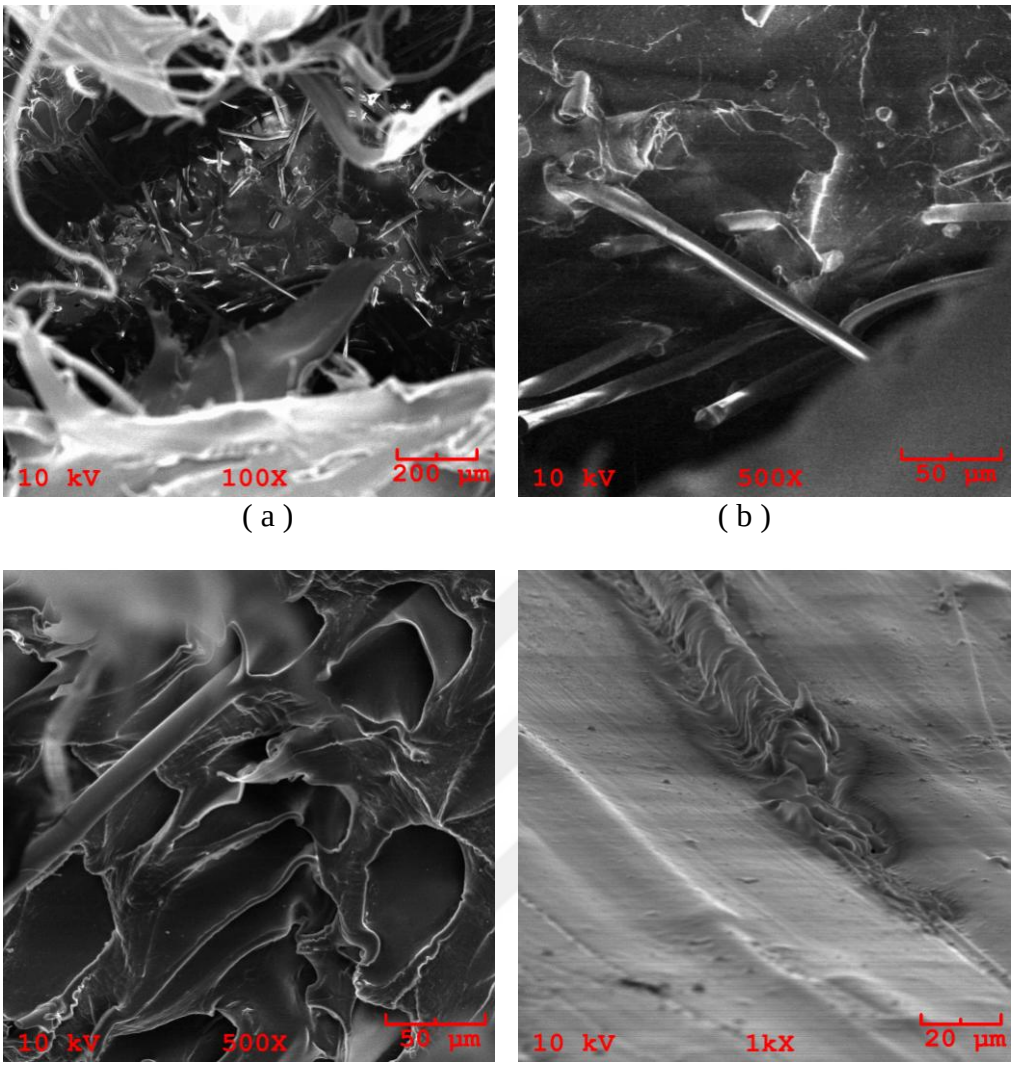
(a) (b)

(c) (d)

Şekil 3.16. K1 karışımına ait kopma yüzeyinin (a) 1000 X, (b) 1000 x, (c) 5000 X ve (d) 5000 X ölçekte mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.16 (a) ve (b)'de 1000 X, Şekil 3.16 (c) ve (d)'de 5000 X ölçekte incelemede ise matrisin cam fiberlere kısmi ve zayıf olarak yapıştığı detaylı olarak görülmektedir. Bu durum mekanik özellikleri negatif yönde etkilemektedir. Kullanılan uyumlaştırıcı çeşidi değiştirilerek veya kullanılan uyumlaştırıcı miktarı arttırılarak yapışma miktarı arttırabilir ve mekanik özelliklerde daha fazla iyileşme elde edilebilir.

- K2 karışımına ait kopma yüzeyi 100 X, 500 X ve 1000 X ölçekte incelenmiş ve Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



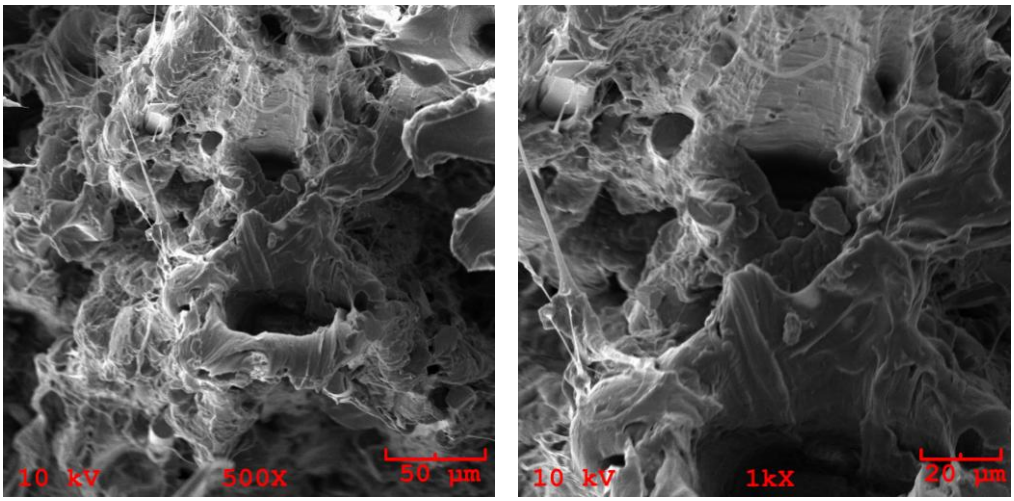
(a) (b)

(c) (d)

Şekil 3.17. K2 karışımına ait kopma yüzeyinin (a) 100 X, (b) 500 x, (c) 500 X ve (d) 1000 X ölçekte mikroyapı görüntüsü

K2 karışımı ile hazırlanan numunelerin kopma yüzeyleri incelendiğinde K1 karışımına ait mikroyapıya benzer sonuçlar göstermiş olup fiberler zayıf yapışma göstererek matristen sıyrılmıştır. Bu karışım içinde uyumlaştırıcı çeşidi veya kullanılan uyumlaştırıcının miktarı arttırılarak matris ve cam fiber arasındaki uyum geliştirilebilir, dolayısıyla mekanik özelliklerde de artış sağlanmış olur.

- K3 karışımına ait kopma yüzeyi 500 X ve 1000 X ölçekte incelenmiş ve Şekil 3.18'de gösterilmiştir.

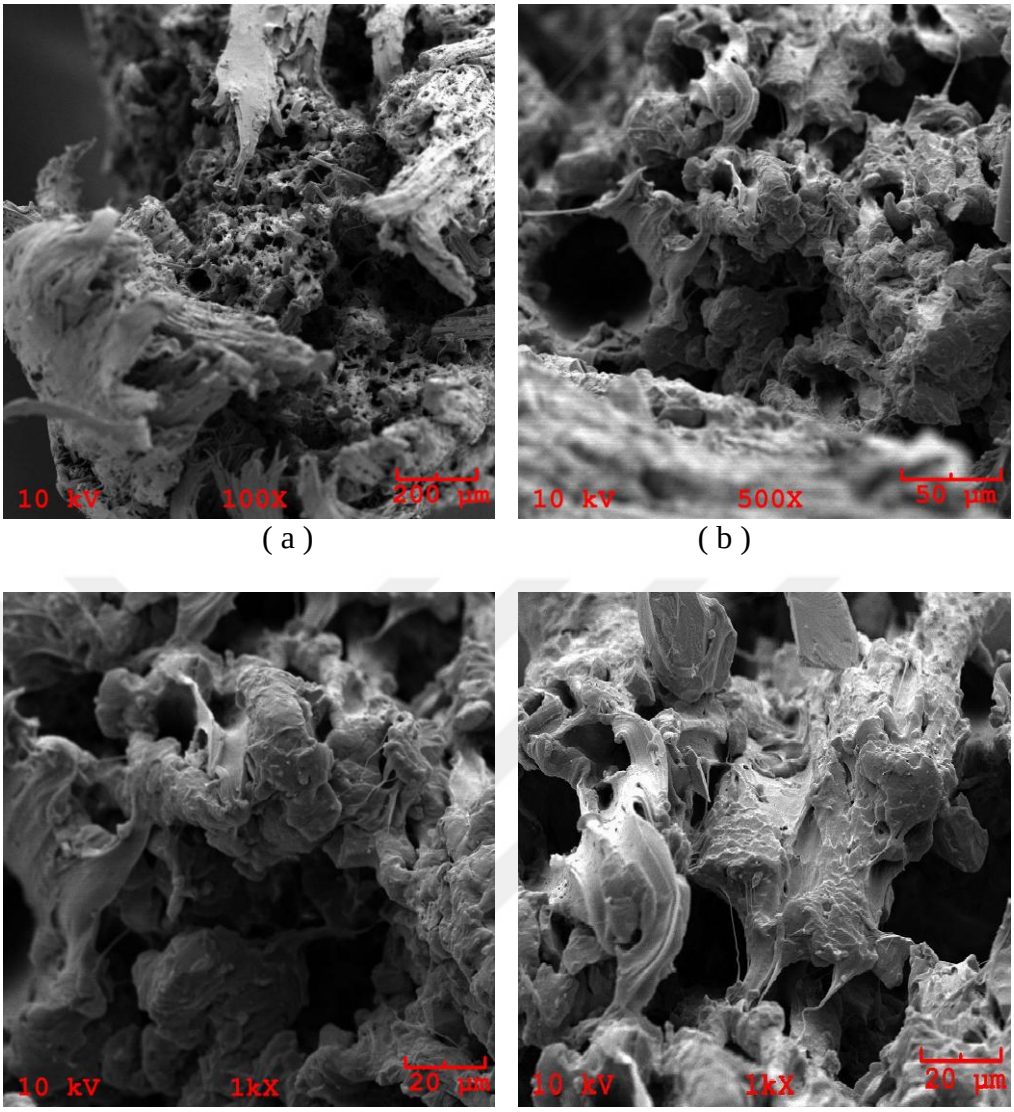


(a) (b)

Şekil 3.18. K3 karışımına ait kopma yüzeyinin (a) 500 X ve (b) 1000 X ölçekte mikroyapı görüntüsü

K3 karışımına ait numunelerin mikroyapısı incelendiğinde Şekil 3.18 (a) ve Şekil 3.18 (b)'de görünen boşluklar daha önce manyetit cevherinin bulunduğu ve çekme testi sonucu gerçekleşen kopmada matristen sıyrıldığı ve bu yüzden gözeneklerin oluştuğu düşünülmektedir. Buradan çıkarılan sonuç manyetit cevheri ile matris arasındaki uyumunun zayıf olduğudur. Fakat bu çalışmada proses şartlarındaki kolaylık ve maliyet ön planda tutulduğu için manyetit cevherine herhangi bir yüzey modifikasyonu gerçekleştirilmemiştir. Buradaki amaç; temin edilen manyetit cevherinin var olan prosesin akışı bozulmadan ve maliyeti arttırıcı yüzey işleme teknikleri kullanılmadan direk üretime geçildiğinde ne gibi sonuçlar alınacağı yönündedir. Bu sebeple manyetit cevherine yapılacak yüzey modifikasyonu, uyumlaştırıcı çeşidinin değiştirilmesi ve/veya uyumlaştırıcı miktarı arttırılarak matris ile takviye malzemesi olan manyetit cevheri arasındaki uyum geliştirilebilir aynı zamanda mekanik özelliklerde daha fazla artış beklenebilir.

- K4 karışımına ait kopma yüzeyi 100 X, 500 X ve 1000 X ölçekte incelenmiş ve Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



(a) (b)

(c) (d)

Şekil 3.19. K4 karışımına ait kopma yüzeyinin (a) 100 X, (b) 500 X, (c) 1000 X ve (d) 1000 X ölçekte mikroyapı görüntüsü

K4 karışımına ait kopma yüzeylerinde boşluklu yapı miktarı artmıştır. Artan manyetit cevheri oranının uyumsuzluğu arttırdığı görünmektedir. Bu sonuç çekme testiyle de birbirini destekler nitelikte ve mekanik özelliklerdeki düşüşün sebebini açıklar durumdadır.

3.9. Boru Basınç Testi ve Termal Genleşmesi Sonuçları

Bu çalışmada K1, K2, K3 ve K4 karışımları ile hazırlanan 3 katmanlı borular farklı et kalınlıklarında üretilerek hem kendi basınç testi sınıfında hem de bir üst sınıfta basınç testine tabi tutulmuşlardır. 3 katmanlı boruların dış ve iç katmanı saf PP, orta katmanı ise takviyeli RPP'den meydana gelmektedir. 20,00 mm çapında cam elyaf

takviyeli borular için TS EN ISO 1587-2 standardına göre olması gereken minimum et kalınlıkları değerleri Tablo 3.8.'de verilmiştir. Farklı et kalınlıklarına sahip 20,00 mm çapındaki cam elyaf takviyeli 3 katmanlı boruların görüntüsü Şekil 3.20 (a) ve (b)'de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. TS EN ISO 1587-2 standardına göre 20,00 mm çapında cam elyaf takviyeli boruların olması gereken minimum et kalınlığı değerleri

Basınç Sınıfı (20,00 mm çapında borular için)	Et Kalınlığı (mm)
S : 3,2	2,8
S : 2,5	3,4
S : 2	4,1

Boru çapı ve et kalınlıklarından yola çıkarak TS EN ISO 1167-1 ve TS EN ISO 1167-2 standardına göre borular sıcak ve soğuk su basınç testine tabi tutulur. 1000 saat sonunda patlamadan gerçekleşen test, başarılı olarak sayılır. Basınç testinde başarısız olan boru örnekleri Şekil 3.21'de gösterilmiştir.

K1 karışımı ile hazırlanan borular seri üretimde sık aralıklarla test edilip tümü kendi sınıfındaki basınç testlerini geçtiği için ve bir üst sınıftaki basınç testlerinden başarısız olduğu bilindiği için basınç testi uygulanmamıştır.

K2 karışımı ile 3 farklı et kalınlığında 3 katmanlı boru üretimi gerçekleştirilmiştir. K2 karışımı ile hazırlanan 3 katmanlı boruların et kalınlıkları ve uygulanan basınç testleri Tablo 3.9'da gösterilmiştir.

Tablo 3.9. K2 karışımı ile hazırlanan boruların et kalınlıkları ve uygulanan basınç testleri

Boru Çapı (mm)	Et kalınlığı (mm)	Uygulanan Basınç Sınıfı	Test Sonucu
20,00	3,9	S : 2 (4,1 mm)	Başarılı
20,00	3,4	S : 2,5 (3,4 mm)	Başarılı
20,00	3,00 mm	S : 2,5 (3,4 mm)	Başarısız

K2 karışımı ile öncelikle 20,00 mm çapında 3,9 mm et kalınlığında 3 katmanlı boru üretilip S : 2 sınıfı basınç testine tabi tutulmuştur. Standartları göre S : 2 sınıfı

20,00 mm çapa sahip boruların et kalınlıkları minimum 4,1 mm et kalınlığına sahip olmalıdır. K2 karışımı ile hazırlanan 3,9 mm et kalınlığına sahip 3 katmanlı boru; 0,2 mm daha düşük et kalınlığına sahip olduğu halde bir üst sınıf basınç testini başarıyla tamamlamıştır. Bu sonuç bize daha düşük et kalınlığında basınç testini geçmesinden dolayı hammadde maliyetinden kar edilebileceğimizi göstermektedir. K2 karışımı ile hazırlanan 20,00 mm çapında 3,9 mm et kalınlığındaki 3 katmanlı boruya uygulanan 1000 saatlik basınç testi aşamaları Tablo 3.10'da gösterilmiştir.

Tablo 3.10. K2 karışımına uygulanan TS EN ISO 1167-1 ve TS EN ISO 1167-2 standardına göre S : 2 basınç sınıfı testi değerleri

Basınç Sınıfı	Su Sıcaklığı (^{0}C)	Süre (saat)	Uygulanan Basınç (Bar)	Sonuç
S : 2	20	1	80	Başarılı
S : 2	95	22	21,5	Başarılı
S : 2	95	165	19	Başarılı
S : 2	95	1000	17,5	Başarılı

Ayrıca K2 karışımı ile 20,00 mm çapında 3,4 mm et kalınlığında 3 katmanlı boru üretilmiş olup kendi basınç testi sınıfındaki yani S : 2,5 basınç testini tabi tutulmuş olup testi başarıyla patlamadan tamamlamıştır. Son olarak 20,00 mm çapında 3,00 mm et kalınlığında 3 katmanlı boru üretilmiş olup bir üst sınıf olan S : 2,5 basınç testine tabi tutulmuştur ve soğuk su basınç testi aşamasını tamamlayamadan numuneler patlayarak, test başarısızlıkla sonuçlanmıştır.

K3 karışımı ile 20,00 mm çapında 3,4 mm et kalınlığında 3 katmanlı boru üretilmiş olup kendi sınıfında (S : 2,5) ve bir üst sınıf olan S : 2 sınıfında boru basınç testine tabi tutulmuştur. K3 karışımı ile hazırlanan 3 katmanlı boruların et kalınlıkları ve uygulanan basınç testleri Tablo 3.11'de gösterilmiştir.

Tablo 3.11. K3 karışımı ile hazırlanan boruların et kalınlıkları ve uygulanan basınç testleri

Boru Çapı (mm)	Et kalınlığı (mm)	Uygulanan Basınç Sınıfı	Test Sonucu
20,00	3,4	S : 2 (4,1 mm)	Başarısız
20,00	3,4	S : 2,5 (3,4 mm)	Başarılı

K3 karışımı ile hazırlanan 20,00 mm çapında 3,4 mm et kalınlığında 3 katmanlı borular S : 2 sınıfı basınç testinde soğuk su basınç testi aşamasında patlamış olup test başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Ancak kendi sınıfı olan S : 2,5 sınıfı basınç testini başarıyla patlamadan tamamlamıştır. Bu sonuç bize cam elyaf takviyesine muadil olarak manyetit cevheri kullanımının mümkün olabileceği sonucunu vermiştir. K3 karışımı ile hazırlanan 20,00 mm çapında 3,4 mm et kalınlığındaki 3 katmanlı boruya uygulanan 1000 saatlik basınç testi aşamaları Tablo 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.12. K3 karışımına uygulanan TS EN ISO 1167-1 ve TS EN ISO 1167-2 standardına göre S : 2,5 basınç sınıfı testi değerleri

Basınç Sınıfı	Su Sıcaklığı (^{0}C)	Süre (saat)	Uygulanan Basınç (Bar)	Sonuç
S : 2,5	20	1	69,7	Başarılı
S : 2,5	95	22	18,7	Başarılı
S : 2,5	95	165	16,6	Başarılı
S : 2,5	95	1000	15,3	Başarılı

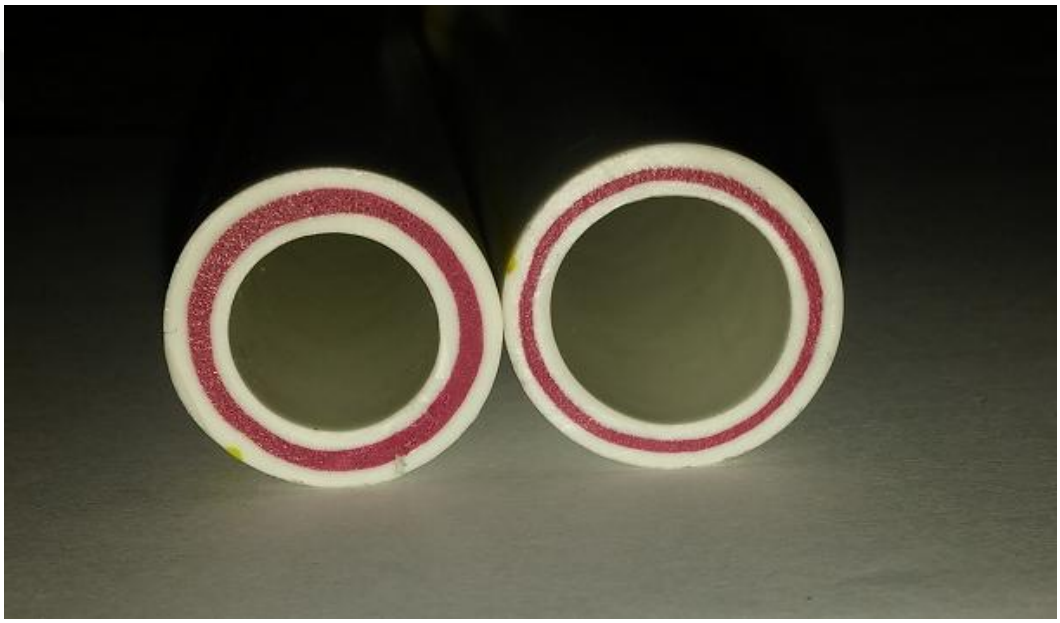
K4 karışımı ile 20,00 mm çapında 3,4 mm et kalınlığında 3 katmanlı boru üretilmiş olup K4 karışımında bulunan yüksek miktardaki manyetit cevheri oranından dolayı kendi basınç grubunda teste tabi tutulmamış, bir üst sınıf olan S : 2 basınç sınıfı testi uygulanmıştır. Bu test soğuk su basınç testi aşamasında patlayarak başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Yüksek manyetit miktarının bir üst sınıf basınç testi dayanımına etkisi olmadığı gözlenmiştir.

Ayrıca 20,00 mm çapında üretilen % 100 saf PP'den oluşan boru ile K1 ve K3 karışımı ile ayrı ayrı hazırlanan 3 katmanlı borulara ait termal genleşmelerinde ki değişimler test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.13'de gösterilmiştir.

Tablo 3.13. Termal genleşme miktarları

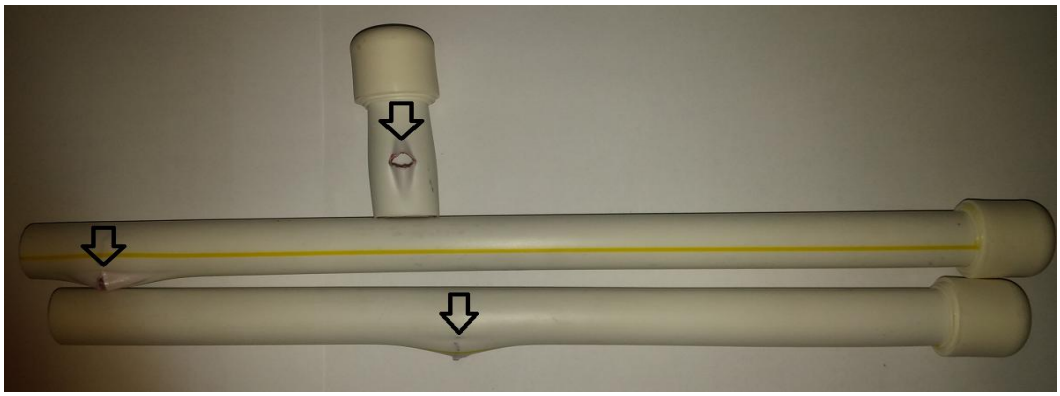
Boru Cinsi	İlk Boy (mm)	Son Boy (mm)	Boyca Değişim (mm)
Saf PP	3000	3020	20
K1	3000	3011	11
K3	3000	3015	15

Cam fiber takviyesinin borularda kullanılmasının önemli gerekliliklerinden birisi olan termal genleşmeye katkısı yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. 3 metre boru boyunca saf PP'den oluşan boruda termal olarak genleşme 20 mm iken K1 karışımı ile hazırlanan 3 katmanlı boruda 11 mm'ye düşmüştür. Cam fiber kullanımı ile birlikte genleşme açısından yapının daha kararlı hale geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca K3 karışımı ile hazırlanan 3 katmanlı borudaki termal genleşme miktarı saf PP ile hazırlanan boruya göre daha kararlı hale gelmiş ve 15 mm boyca uzama meydana gelmiştir. Manyetit cevheri kullanımının termal genleşmeye olumlu yönde etkisi olduğu tespit edilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.20. 20,00 mm çapında boru için (a) 3.4 mm et kalınlığı ve (b) 2,8 mm et kalınlığına sahip 3 katmanlı boru resimleri (beyaz renkli iç ve dış katman saf PP, kırmızı renkli orta katman takviyeli RPP' dir)



Şekil 3.21. Basınç testini geçemeyen boru örnekleri (ok ile gösterilen bölgeler basınç testi sırasında patlayan bölgelerdir)

3.10. Maliyet Analizi

Piyasa koşullarında en çok tüketilen kompozit olan geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli cam elyaf takviyeli karışımdır. Bu çalışmada fiyat performans açısından K1 karışımına rakip olabilecek karışım geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli %10,9 manyetit cevheri katkılı (K3) karışımıdır. Bu sebepten dolayı iki karışımın daha önceki bölümde belirtilen reçetelerine göre Tablo 3.14 ve Tablo 3.15'de gösterildiği şekilde maliyet analizi yapılmıştır.

Tablo 3.14. K1 karışımının maliyet analizi

K1 Karışımı İçin				
Kullanılan Malzeme Cinsi	Kullanılan Miktar (kg)	Kullanılan Malzemelerin Birim Fiyatı ($/kg)	Reçete Bazında Katkıların Maliyeti ($)	Reçete Bazında Katkıların Maliyeti (TL)
Geri Dönüştürülmüş Polipropilen	76	0,8	60,8	224,96
Cam Fiber	21	1,5	31,5	116,55
Uyumlaştırıcı	4	5	20	74,00
Kırmızı Boya	2	4,5	9	33,30
Çinko Stereat	0,1	3,5	0,035	0,13
Antioksidan	0,625	8	5	18,5
Toplam	103,725			467,44

103,725 kg K1 karışımının maliyeti 467,44 TL bulunmuştur. Buradan yola çıkarak;
- 1000 kg (1 ton) K1 karışımının maliyeti: (1000 kg x 467,44 TL) / 103,725 kg = 4506,53 TL olarak bulunur.

Tablo 3.15. K3 karışımının maliyet analizi

K3 Karışımı İçin				
Kullanılan Malzeme Cinsi	Kullanılan Miktar (kg)	Kullanılan Malzemelerin Birim Fiyatı ($/kg)	Reçete Bazında Katkıların Maliyeti ($)	Reçete Bazında Katkıların Maliyeti (TL)
Geri Dönüştürülmüş Polipropilen	75	0,8	60	222,00
Manyetit Cevheri	10	0,136	1,36	5,00
Uyumlaştırıcı	4	5	20	74,00
Kırmızı Boya	1	4,5	4,5	16,65
Çinko Stereat	0,2	3,5	0,7	2,59
Antioksidan	1,25	8	10	37
Toplam	91,45			357,24

91,45 kg K3 karışımının maliyeti 357,24 TL bulunmuştur. Buradan yola çıkarak;

- 1000 kg (1 ton) K3 karışımının maliyeti : (1000 kg x 357,24 TL) / 91,45 kg = 3906,40 TL olarak bulunur.

Sonuç olarak K3 karışımı ile hazırlanan 3 katmanlı boruların performansı, K1 karışımı ile hazırlanan 3 katmanlı boruların performansına yakın özellikler göstermiştir. Performans-Maliyet açısından incelendiğinde K3 karışımı, K1 karışımına göre % 13,3 daha az maliyet gerektirdiğinden, manyetit cevheri kullanımı, cam fiber kullanıma muadil bir takviye malzemesi olduğu düşünülmektedir. (1 $ = 3,70 TL olarak sabitlenmiştir.)

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında saf polipropilenden oluşan ve geri dönüştürülmüş polipropilenin matris olarak seçildiği cam fiber, cam fiber ile saf demir tozu ve manyetit cevheri ile ayrı ayrı takviye edilmiş kompozit granüller üretilmiştir. Elde edilen granüllerin mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Ayrıca % 100 saf polipropilenden oluşan ve elde edilen kompozit granülleri kullanılarak 3 katmanlı boru üretilmiş olup basınç dayanımı ve termal genleşmesi incelenmiştir.

Hammadde ve hazırlanan karışımlarda;

- Kül testi sonucunda en fazla kül miktarı % 30 manyetit cevheri katkılı olan K4 karışımında elde edilmiştir. En düşük kül miktarı saf PP ve RPP'de elde edilmiştir.
- En yüksek yoğunluk 1,053 g/cm^3 ile % 30 manyetit cevheri katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli karışımda elde edilmiştir.
- En yüksek MFR değerleri % 30 manyetit cevheri katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli karışımda ve % 10,9 manyetit cevheri katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli karışımda elde edilmiştir. Böylece daha düşük çalışma sıcaklıklarında çalışma imkanı ve enjeksiyonla kalıplama gibi polimer işleme tekniklerinde daha düşük basınçlarda nihai ürün elde edilebileceği düşünülmektedir.
- En yüksek erime sıcaklığı % 20 cam elyaf katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli karışımda elde edilmiştir. 65,17 J/g değerine sahip saf PP; en yüksek ΔHm değerine sahip olduğu belirlenmiştir.
- TGA analizi sonucunda cam fiberin yapıya eklenmesiyle bozunma sıcaklıklarının arttığı, manyetit cevherinin katılmasıyla birlikte düştüğü görülmüştür.
- Çekme testi sonucunda en yüksek akma mukavemeti değeri % 20 cam elyaf katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli karışımda, en yüksek kopma mukavemeti değeri ve % kopma uzaması % 10,9 manyetit cevheri katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli karışımda elde edilmiştir.
- Darbe dayanımları incelendiğinde takviye malzemeleri ilavesi sonrası tüm numunelerin darbe dayanımları düşmüştür.

- Mikroyapı analizi ile birlikte kompozit yapılarda bulunan takviye malzemeleri ve matristen yer yer sıyrılmış takviye malzemeleri gözlenmiştir. İleriki çalışmalarda matris ve takviye malzemeleri arasındaki uyumun (yapışmanın) arttırılması üzerine çalışmalar yapılabilir ve mekanik özelliklerde çok daha fazla artış beklenebilir.

-Boru basınç testi sonrası manyetit cevheri takviyeli 3 katmanlı borular, cam elyaf takviyeli 3 katmanlı borulara benzer performans göstermiştir. Termal genleşme açısından da her iki boru grubunda iyileşmeler olduğu belirlenmiştir.

- Manyetit cevherinin fiyatı: 500 TL/ton ve cam fiber fiyatı: 5500 TL/ ton'dur. % 10,9 manyetit cevheri takviyeli geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli borular, % 20 cam elyaf takviyeli geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli borulara benzer performans göstermiş olup maliyet-performans açısından değerlendirildiğinde manyetit cevherinin cam fibere muadil cazip bir takviye malzemesi olduğu düşünülmektedir. (1 $ = 3,70 TL olarak sabitlenmiştir.)

KAYNAKLAR

[1] Balkan O., Polipropilen Kompozitlerin Termoplastik Elastomerler İle Modifikasyonlarının Mekanik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 185165.

[2] Van Krevelen D.W., *Properties of Polymers*, 3rd ed., Elsevier, Arnhem-The Netherlands, 1997.

[3] Cengiz İ., Polietilen ve Polipropilen Esaslı Ürünlerin, Plastik Enjeksiyon İşlem Parametreleri ve Termodinamik Yöntemlerle Isı Yayılımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, 2012, 307592.

[4] Yılmaz O., Polimer Malzemelerin Ekstrüzyonunun Deneysel Ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 222142.

[5] Ward I. M., Sweeney J., *Mechanical Properties of Solid Polymers*, 3rd ed., Wiley, Bradford-UK, 2012.

[6] Uluğ E., SEBS/PS, SIS/PS ve SBR/PS Polimer Karışımlarının Ayakkabı Taban Malzemesi Olarak Üretilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 290377.

[7] Tadmer Z., Gogos C.G., *Principles of Polymer Processing*, 2nd ed., Wiley, New Jersey-USA, 2006.

[8] Chou N. J ., *Characterization of Polymers*, 1st ed., Butterworth Heinemann, USA, 1994.

[9] Akkurt S., *Plastik Malzeme Bilimi, Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı*, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2007.

[10] Karakaya N., Farklı Dolgu Maddelerinin Termoplastik Elastomer Malzemenin Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007, 232687.

[11] Berthelot J.M., *Composite Materials*, 3rd ed., Springer, New York-USA, 1999.

[12] Wollan E., Glass & Carbon Fiber Reinforcement Combine In Hybrid Long Fiber Thermoplastic Composites To Bridge Price & Performance Gap, *Reinforced Plastics*, 2015, **61**, 55-57.

[13] Pedrazzoli D., Pegoretti A., Expanded Graphite Nanoplatelets As Coupling Agents In Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composites, *Composites*, 2014, **A 66**, 25-34.

[14] Siddiqui N. A., Li E. L., Sham M., Tang B. Z., Gao S. L., Mader E., Kim J., Tensile Strength Of Glass Fibres With Carbon Nanotube–Epoxy Nanocomposite Coating: Effects Of CNT Morphology And Dispersion State, *Composites*, 2010, **41**, 539-548.

[15] Yoo Y., Spencer M.W., Paul D.R., Morphology And Mechanical Properties Of Glass Fiber Reinforced Nylon 6 Nanocomposites, *Polymer*, 2011, **52**, 180-190.

[16] Etcheverry M., Ferreira M. L., Capiati N., Barbosa S., Chemical Anchorage Of Polypropylene Onto Glass Fibers: Effect On Adhesion And Mechanical Properties Of Their Composites, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 2013, **43**, 26-31.

[17] Serrano A., Espinach F. X., Tresserras J., Pellicer N., Alcala M., Mutje P., Study On The Technical Feasibility Of Replacing Glass Fibers By Old Newspaper Recycled Fibers As Polypropylene Reinforcement, *Journal of Cleaner Production*, 2014, **65**, 489-496.

[18] Bailly M., Kontopoulou M., Preparation And Characterization Of Thermoplastic Olefin/Nanosilica Composites Using A Silane-Grafted Polypropylene Matrix, *Polymer*, 2009, **50**, 2472-2480.

[19] Deshmane C., Yuan Q., Perkins R. S., Misra R. D. K., On Striking Variation In Impact Toughness Of Polyethylene–Clay And Polypropylene–Clay Nanocomposite Systems: The Effect Of Clay–Polymer İnteraction, *Material Science and Engineering*, 2007, **A 458**, 150-157.

[20] Prukkaewkanjana K., Thanawan S., Amornsakchai T., High Performance Hybrid Reinforcement Of Nitrile Rubber Using Short Pineapple Leaf Fiber And Carbon Black, *Polymer Testing*, 2015, **45**, 76-82.

[21] Hine P. J., Bonner M., Ward I. M., Swolfs Y., Verpoest I., Mierzwa A., Hybrid Carbon Fibre/Nylon 12 Single Polymer Composites, *Composites*, 2014, **A 65**, 19-26.

[22] Pal G., Kumar S., Multiscale Modeling Of Effective Electrical Conductivity Of Short Carbon Fiber-Carbon Nanotube-Polymer Matrix Hybrid Composites, *Material and Design*, 2016, **89**, 129-136.

[23] Zhou Z., Wang S., Lu L., Zhang Y., Functionalization Of Multi-Wall Carbon Nanotubes With Silane And İts Reinforcement On Polypropylene Composites, *Composites Science and Technology*, 2008, **68**, 1727-1733

[24] Zeng X., Yu S., Sun R., Xu J., Mechanical Reinforcement While Remaining Electrical Insulation Of Glass Fibre/Polymer Composites Using Core–Shell CNT@SiO_2 Hybrids As Fillers, *Composites*, 2015, **73**, 260-268.

[25] Spencer M. W., Hunter D. I., Knesek B. W., Paul D. R., Morphology And Properties Of Polypropylene Nanocomposites Based On A Silanized Organoclay, *Polymer*, 2011, **52**, 5369-5377.

[26] Essabir H., Elkhaoulani A., Benmoussa K., Bouhfid R., Arrakhiz F. Z., Qaiss A., Dynamic Mechanical Thermal Behavior Analysis Of Doum Fibers Reinforced Polypropylene Composites, *Materials and Design*, 2013, **51**, 780-788.

[27] Li Y., Xie L., Ma H., Permeability And Mechanical Properties Of Plant Fiber Reinforced Hybrid Composites, *Material and Design*, 2015, **86**, 313-320.

[28] Kumar K. S., Siva I., Rajini N., Jappes J. T. W., Amico S. C., Layering Pattern Effects On Vibrational Behavior Of Coconut Sheath/Banana Fiber Hybrid Composites, *Material and Design*, 2016, **90**, 795-803.

[29] Neto A.R.S., Araujo M.A.M., Barboza R.M.P., Fonseca A.S., Tonoli G.H.D., Souza F.V.D., Mattoso L.H.C., Marconcini J.M., Comparative Study Of 12 Pineapple Leaf Fiber Varieties For Use As Asmechanical Reinforcement In Polymer Composites, *Industrial Crops and Products*, 2015, **64**, 68-78.

[30] Chawla K. K., *Composite Materials*, 2nd ed., Springer, New York, USA, 1998.

[31] Bağcı M., Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Erozyon Aşınma Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2010, 276337.

[32] Harper C.A., *Handbook Of Plastics, Elastomers, And Composites*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York-USA, 1996.

[33] Kickelbick G., *Hybrid Materials*, 1st ed., Wiley, Wien-Austria, 2007.

[34] Hull D., *An Introduction to Compsite Materials*, 2nd ed., Cambridge Universty Press, Cambridge-United Kingdom, 1996.

[35] Sonneborn R. H., *Fiberglas Reinfoced Plastics*, 1st ed., Reinhold, New York, ABD, 1954.

[36] Baydar D.G., Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 296998.

[37] Rahmanian S., Thean K. S., Suraya A. R., Shazed M. A., Mohd Salleh M. A., Yusoff H. M., Carbon And Glass Hierarchical Fibers: Influence Of Carbon Nanotubes On Tensile, Flexural And Impact Properties Of Short Fiber Reinforced Composites, *Materials And Design*, 2013, **43**, 10-16.

[38] Song P., Cao Z., Cai Y., Zhao L., Fang Z., Fu S. , Fabrication Of Exfoliated Graphene-Based Polypropylene Nanocomposites With Enhanced Mechanical And Thermal Properties, *Polymer*, 2011, **52**, 4001-4010.

[39] Almaadeed M. A., Kahraman R., Khanam P. N., Madi N., Date Palm Wood Flour/Glass Fibre Reinforced Hybrid Composites Of Recycled Polypropylene: Mechanical And Thermal Properties, *Material And Design*, 2012, **42**, 289-294.

[40] Joshi H., Purnima J., Development Of Glass Fiber, Wollastonite Reinforced Polypropylene Hybrid Composite: Mechanical Properties And Morphology, *Materials Science and Engineering*, 2010, **A 527**, 1946-1951.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

[1] Taşçı G., Zeren M., Metal Katkılı Polimer Matrisli Hibrit Kompozitler, *Metal Dünyası Dergisi*, 2017, **288**, 73-81.

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Kocaeli'nde doğdu. İlk, Orta ve Lise eğitimini Kocaeli'nde tamamladı. 2010 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisi olarak mezun oldu. 2015 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.