T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEŞİTLİ ELYAFLARLA TAKVİYE EDİLMİŞ TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN LEVHA EKSTRÜZYONUNUN VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÜMİT HÜNER

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. E. Selçuk ERDOĞAN

EDİRNE-2014

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Taner TIMARCI
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımca (tarafımızca) okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

[Ünvan, Ad ve Soyad yazın]
İkinci Tez Danışmanı (varsa)

Yrd. Doç. Dr. E. Selçuk ERDOĞAN
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Doktora tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri İmza

Yrd. Doç. Dr. E. Selçuk ERDOĞAN (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Bülent EKER

Prof. Dr. Metin AYDOĞDU

Doç. Dr. Yılmaz ÇAN

Yrd. Doç. Dr. Hayrettin BEYNEK

Tarih: 05/06/2014

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ DOKTORA PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

05/06/2014

Ümit HÜNER

Doktora Tezi

ÜMİT HÜNER

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Ana malzemeye organik veya inorganik malzeme takviye edilerek elde edilen kompozit malzemeler, mühendislik malzemeleri içinde önemli yer tutmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde, ana malzemenin istenilen bir özelliği takviye yardımıyla ihtiyaç duyulan yönde değiştirilebilmektedir. Plastik esaslı kompozit malzemeler ağırlık/dayanım oranını yukarı seviyelere çekerek malzeme grupları içinde özel bir yer kazanmıştır.

Cam elyaf, karbon elyaf gibi dayanımı, sertliği ya da darbe dayanımı yüksek takviye kullanarak, plastik ana malzemenin mekaniksel, fiziksel veya ısısal özellikleri değiştirilmektedir. Fakat bahsi geçen takviyeler özel üretim süreçlerinden sonra üretilebilmektedir. Bundan dolayı araştırmacılar doğadan atık olarak elde edilebilen fakat yapay takviye özelliklerini karşılayabilecek malzeme arayışı içindedirler. Doğada kısa süre içinde yok olma ve atık değerlendirme gibi durumlar doğal takviyeleri cazip hale getirmektedir. Yapay takviyelerin sağladığı özelliklere çok fazla yaklaşamasalar da doğal takviyeler kompozit tasarım sürecinde geleceği olan çalışma alanıdır.

Doğal ve yapay takviyelerin kullanıldığı bu çalışmada, PP ve YYPE termoplastikleri esas malzemeler olarak seçilmişlerdir. Çeşitli kompozit üretim yöntemleri kullanılarak elde edilen malzemelere mekanik testler uygulanmıştır. İçyapı özellikleri ve fiziksel özelliklerin de araştırıldığı bu çalışmada, doğal ve yapay takviyeler arası farklar sunulmaya çalışılmıştır.

Yıl : 2014

Sayfa Sayısı : 120

Anahtar Kelimeler : doğal takviye, inorganik takviye, kompozit, PP, YYPE

Doctoral Thesis

ÜMİT HÜNER

Trakya University Institute of Natural Sciences

Mechanical Engineering Department

ABSTRACT

Composite that occupies an important place in engineering materials, are obtained by reinforcing the main material with organic and inorganic materials. As a result of the studies, the main material of a desired characteristic can be changed in the direction needed the help of reinforcements. Plastic-matrix composite materials level up weight / strength ratio by pulling the material has gained a special place in groups.

Using reinforcements such as glass or carbon fiber with high stiffness, tensile strength or impact strength properties change the mechanical, thermal or physical properties of plastic matrix materials. However, these reinforcements can be produced by special manufacturing process. Thus, researches are in search materials, which are waste from nature but may meet the specifications of inorganic reinforcements. Extinction within a short time in nature and recycling of waste makes natural reinforcements attractive. Natural reinforcements, which have not specification like inorganic reinforcements, are important in composite design process.

In this study, natural and inorganic reinforcements were used in PP and HDPE thermoplastic matrix. Composite materials obtained using various production methods have been applied to the mechanical tests. Microstructure and physical properties of the characteristics investigated in this study, the differences between natural and artificial reinforcements have been tried to be presented.

Year : 2014

Number of Pages : 120

Keywords : natural reinforcement, inorganic reinforcement, composite, PP, YYPE

ÖNSÖZ

Hazırlanan bu doktora tezi yapay ve doğal takviyelerin kullanıldığı kompozit malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin karşılaştırmalarını içermektedir. Bu bağlamda çeşitli üretim yöntemleri kullanılarak termoplastik esaslı kompozit örnekler oluşturulmuştur. Mekanik, fiziksel ve içyapıya ait mikroskobik özelliklerin elde edildiği testler sonrası sonuçlar şekil ve tablolar aracılığıyla sunulmuştur.

Öncelikle tez çalışmam sırasında yardımlarından ve katkılarından dolayı değerli hocam ve danışmanım Yrd. Doç. Dr. E. Selçuk ERDOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin izleme komitesinde yer alan ve yine bana verdikleri destek ve değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. Metin AYDOĞDU ve Yrd. Doç. Dr. Hayrettin BEYNEK' e teşekkür ederim.

Tezin hazırlanması süresince yardımlarını esirgemeyen yakın arkadaşım Dr. Gürkan İRSEL' e teşekkür ederim.

Maddi manevi desteklerini esirgemeyen sevgili eşim İrem DAMAR HÜNER' e ve kız kardeşim Özlem ÖRENLİ 'ye teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER VE KISALTMALAR vii
ŞEKİL LİSTESİ viii
TABLO LİSTESİ xii
BÖLÜM 1 1
GİRİŞ 1
BÖLÜM 2 10
PLASTİK ESASLI KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER 10
2.1 Termoplastik Matrisler 10
2.1.1 Polipropilen (PP) 11
2.1.2 Polietilen (PE) 11
2.2 Termoset Matrisler 12
2.3 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler 12
2.4 Polimer Kompozitlerin Bileşenleri Ve Tipleri 13
2.4.1 Yapay Takviyeler (Sentetik) 14
2.4.1.1 Cam Elyaf 15
2.4.1.2 Karbon Elyaf 16
2.4.1.3 Genleştirilmiş Cam Kürecik 17
2.4.2 Doğal Takviyeler 18
2.4.2.1 Siyah Pirinç Kabuğu 18
2.4.2.2 Çam Lifi 19

2.4.2.3 Ceviz Kabuğu Tozu 20
2.4.3 Düzenleştiriciler (Stabilizers) 20
BÖLÜM 3 22
KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ 22
3.1 Plastik Ekstrüzyon İşlemi 22
3.1.1 Ekstrüzyondaki Etken Parametreler 24
3.1.1.1 Ekstrüder Kapasitesi 24
3.1.1.2 Ekstrüder Vidası 25
3.1.1.3 Isıtıcılar 25
3.1.1.4 Kalıplar 26
3.2 Enjeksiyon Üretim Yöntemi 27
3.3 Basınçlı Kalıplama Yöntemi 29
BÖLÜM 4 31
EKSTRÜZYON İŞLEMİYLE TAKVİYELİ TERMOPLASTİK LEVHA ELDE EDİLMESİ 31
4.1 Plastik Ekstrüzyon Makinesinde Üretim İçin Gerekli Mekanik Tesisatın Tasarlanması Ve Teknik Hesapların Yapılması 33
4.2 Ekstrüzyonda Hareketi Sağlayan Motor Bağlantılı Kayış Kasnak 34
4.3 Isıtıcılar 34
4.4 Kalıp 37
4.5 Ekstrüzyon Sisteminde Yapılan Değişiklikler 39
4.6 Ekstrüzyon Makinesinde Takviyeli Levha Üretiminin Gerçekleştirilmesi 40
4.7 Numunelerin Elde Edilmesi 49
BÖLÜM 5 53
TERMOPLASTİK ESASLI KOMPOZİTLERİN 53
TÜP ENJEKSİYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLMESİ 53

5.1 Kompozit Üretiminde Kullanılan Doğal Elyafların Kimyasal Bileşiminin Saptanması Ve Üretime Hazırlanması....58
5.1.1 Kuru Madde (Nem) Analizi....58
5.1.2 Kül Analizi....61
BÖLÜM 6....67
BASINÇLI KALIPLAMA YÖNTEMİ İLE KOMPOZİT ÜRETİMİ....67
BÖLÜM 7....76
ÜRETİLEN KOMPOZİT MALZEMELERE TESTLERİN UYGULANMASI....76
7.1 Çekme Testi (ASTM D 638 ve ISO 527)....76
7.2 Basma Testi (ASTM D 3410)....78
7.3 Üç Nokta Eğme Testi (ASTM D790, ISO 178, ASTM D7264)....80
7.4 Gardner Darbe Testi (Drop Impact) (ASTM D 5420)....82
7.5 Shore Sertlik Ölçüm Testi (ASTM 2240)....87
7.6 Metalografik İnceleme....88
7.7 Su Emme Kapasitesi Testi (ASTM D 570-98)....88
BÖLÜM 8....92
TEST SONUÇLARI VE TARTIŞMA....92
8.1 Mikroskop Ve SEM İncelemeleri....106
BÖLÜM 9....113
SONUÇ VE ÖNERİLER....113
KAYNAKLAR....116
ÖZGEÇMİŞ....121

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABS : Akrinonitril Bütadien Stiren

CE : Cam Elyaf

CK : Cam Kürecik

CKT : Ceviz Kabuğu Tozu

CL : Çam Lifi

EAİ : Erime Akış İndisi

EPDM : Etilen Propilen Diene Monomer

KE : Karbon Elyaf

L/D : Ekstrüzyon makinesinde milin boyunun çapına oranı

MAPP : Maleik anhidrit aşılanmış polipropilen

MPa : Megapaskal

n : Değerlerin adedi

PA : Poliamid

PC : Polikarbonat

PP : Polipropilen

PVC : Polivinilklorür

S : Standart sapma değeri

SEM : Scaning electrone microscope

SPK : Siyah pirinç kabuğu

T_g : Camsı geçiş sıcaklığı

V : Değişim katsayısı (%)

X : Değerlerin her biri

X_{ort} : Değerlerin aritmetik ortalaması

YYPE : Yüksek yoğunluklu polietilen

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Al tozu, $CaCO_3$, çeltik kabuğu, ceviz kabuğu tozu.....15
Şekil 2.2 1200 telden oluşan demet şeklindeki karbon elyaf.....17
Şekil 2.3 Farklı çaplarda genleştirilmiş cam kürecik.....17
Şekil 2.4 Siyah pirinç kabuğu.....19
Şekil 2.5 a) Tutkalsız çam lifi b) 10% tutkallı çam lifi.....19
Şekil 2.6 Ceviz kabuğu tozu.....20
Şekil 2.7 Renklendirici, alev geciktirici, UV düzenleyici.....21
Şekil 3.1 Şematik olarak ekstrüzyon işlemi.....23
Şekil 3.2 Plaka kalıbı bağlanmış ekstrüzyon makinesi.....23
Şekil 3.3 Vidanın bit hatvesine (adım) ait şematik gösterim.....25
Şekil 3.4 Kovan etrafına sarılmış 3000 W kapasiteli ısıtıcı.....26
Şekil 3.5 Tasarım halindeki kalıp.....27
Şekil 3.6 Şematik enjeksiyon işlemi.....28
Şekil 3.7 Standart numune şekline sahip enjeksiyon kalıbı.....28
Şekil 3.8 Basınçlı kalıplamada kullanılan kalıp örnekleri [30].....29
Şekil 3.9 Alt kalıp ve üst kalıp arasındaki basınç sıcaklık dağılımı grafiği.....30
Şekil 4.1 Balık kuyruğu levha kalıbı örneği.....32
Şekil 4.2 Çapraz geçişli ilave kalıp tasarımı.....33
Şekil 4.3 Ekstrüzyon vidasına hareket veren kayış kasnak mekanizması.....34
Şekil 4.4 Cam yünüyle yalıtılmış ısıtıcı rezistanslar.....35
Şekil 4.5 Mil kovan arasındaki hız dağılımını gösteren simülasyon sonucu.....36
Şekil 4.6 Mil, kovan ve kalıp arasındaki yüzey sıcaklık dağılımı.....36
Şekil 4.7 Konik ara bağlantı parçası ve kalıbın işlem sırasındaki durumunu gösteren şekil.....37
Şekil 4.8 YYPE malzemenin kalıp içinde sıcaklık ve hareketini gösteren analiz sonucu.....38
Şekil 4.9 Kalıp boyunca YYPE malzemenin hız değişimi.....38
Şekil 4.10 Kalıp boyunca YYPE malzemenin basınç değişimi.....39
Şekil 4.11 İçinden tesisat suyu geçirilen silindirler.....40
Şekil 4.12 Besleme yapılan bölüm.....43

Şekil 4.13 Soğutma silindirlerinin arasından geçen YYPE levha 44
Şekil 4.14 Sarfiyat durumdaki bozulmuş levha ürünler 45
Şekil 4.15 30% karbon elyaf takviyeli PP levhanın kalıp içindeki donmuş hali 46
Şekil 4.16 Takviyesiz YYPE malzemenin kalıp içinde donmuş hali 46
Şekil 4.17 Takviyesiz YYPE levha 47
Şekil 4.18 10% cam elyaf takviyeli YYPE levha 48
Şekil 4.19 30% karbon elyaf takviyeli PP levha içindeki akış ve yığılmalar 48
Şekil 4.20 30% karbon elyaf takviyeli levha yüzeyi 49
Şekil 4.21 ASTM D 638 Standardına uygun numuneler 50
Şekil 4.22 Takviyesiz PP levhadan çıkarılmış numuneler 50
Şekil 4.23 20% karbon elyaf takviyeli PP levhadan çıkarılmış numuneler 51
Şekil 4.24 YYPE levhadan çıkarılmış numuneler 51
Şekil 4.25 Ekstrüzyonla üretilmiş YYPE malzemeler 52
Şekil 5.1 Modelleme programında modellenmiş kalıp ve numuneler 54
Şekil 5.2 Kalıp içinde enjeksiyon sırasında sıcaklık dağılımı 54
Şekil 5.3 30% cam elyaf takviyeli PP malzemede yüzeydeki elyaf dağılımı simülasyonundan bir kesit 55
Şekil 5.4 30% cam elyaf takviyeli PP malzemede çekirdekteki elyaf dağılımı (kırmızı) ve plastik akışına (mavi) dair simülasyondan bir kesit 55
Şekil 5.5 Kalıp bağlanmış olan tüp enjeksiyon ünitesi 56
Şekil 5.6 ISO 527 standardına göre hazırlanmış kalıp 57
Şekil 5.7 ASTM D 790 ve ASTM D 638 standardına göre hazırlanmış kalıp 57
Şekil 5.8 Etüvde 103±2ºC'de işlem gören numuneler 59
Şekil 5.9 200 ^{0}C'de nemi azaltılmış pirinç kabuğu(Altta) ve işlem görmemiş pirinç kabuğu 60
Şekil 5.10 Solda %10 tutkallı çam lifi ve tutkalsız çam lifi 60
Şekil 5.11 Kül fırınında kroze içindeki numuneler 62
Şekil 5.12 30% cam elyaf içeren PP malzeme 64
Şekil 5.13 20% karbon elyaf içeren YYPE numuneler 64
Şekil 5.14 Farklı takviye ve bileşen içeren PP numuneler 65
Şekil 5.15 ASTM D 790 standardına göre hazırlanmış 3 nokta eğme numuneleri 65
Şekil 5.16 ASTM D 638 tip 4 numuneler 66

Şekil 6.1 160*160 mm ebatlarında kapanma gücü cıvatayla kontrol edilen alüminyum kalıp 69
Şekil 6.2 Sıcaklık kontrollü 300*300 mm ebatlarında çelik kalıp 69
Şekil 6.3 Alüminyum kalıpta üretilmiş, ağırlıkça 30% ceviz kabuğu tozu takviyeli PP malzeme (solda) ve ağırlıkça 30% çam lifi takviyeli PP malzeme (sağda) 70
Şekil 6.4 Alüminyum kalıpta üretilen, ağılıkça 20% karbon elyaf (solda) ve cam elyaf (sağda) içeren PP esaslı kompozit malzemeler 70
Şekil 6.5 Kurutma işlemine tabi tutulmayan 20% çam lifi (solda) ve çeltik kabuğu içeren, alüminyum kalıpta işlem görmüş PP esaslı kompozit malzemeler 71
Şekil 6.6 Ağırlıkça 20% karbon elyaf içeren YYPE esaslı kompozit malzeme 71
Şekil 6.7 Ağırlıkça 20% pirinç kabuğu içeren YYPE esaslı kompozit malzeme 72
Şekil 6.8 Ağırlıkça 20% cam elyaf içeren PP esaslı kompozit malzeme 72
Şekil 6.9 Futuretech marka kalıplama cihazı 73
Şekil 6.10 YYPE ana malzemeli takviyeli kompozit malzemeler. Soldan sağa takviyesiz, çam lifi, karbon elyaf, cam elyaf ve pirinç kabuğu takviyeli YYPE 74
Şekil 6.11 Soldan sağa çam lifi, cam elyaf, cam kürecik, karbon elyaf ve ceviz kabuğu tozu takviyeli PP malzemeler 74
Şekil 6.12 ASTM D 5420 ve ASTM D 7264 standardına göre işaretlenmiş levhalar 75
Şekil 6.13 ASTM D 5420 ve ISO 527'ye göre kesim için işaretlenmiş kompozit levhalar 75
Şekil 7.1 10% cam kürecik (solda) ve 10% cam elyaf (sağda) takviyeli PP..... 77
Şekil 7.2 20% ceviz kabuğu tozu (solda) ve 20% cam elyaf (sağda) takviyeli YYPE ... 77
Şekil 7.3 Ekstrüzyon ile üretilmiş takviyesiz PP ve YYPE 78
Şekil 7.4 20% karbon elyaf takviyeli PP kompozit malzemeler 78
Şekil 7.5 20% cam elyaf takviyeli PP malzemenin basma deneyi sırasındaki görünümü 79
Şekil 7.6 %20 karbon elyaf, cam elyaf, cam kürecik ve çam lifi içeren PP malzemeler 79
Şekil 7.8 10% cam elyaf takviyeli YYPE 81
Şekil 7.9 10% karbon elyaf takviyeli PP (solda) ve 20% pirinç kabuğu takviyeli YYPE 81
Şekil 7.10 20% cam elyaf takviyeli YYPE (solda) ve takviyesiz YYPE..... 81
Şekil 7.11 Gardner Darbe Test Cihazı (ASTM D5420)..... 82

Şekil 7.12 Takviyesiz YYPE ve 10% cam elyaf takviyeli PP 83
Şekil 7.13 20% (solda) ve 30% (sağda) karbon elyaf takviyeli PP.....83
Şekil 7.14 10% ceviz kabuğu tozu takviyeli (solda) ve ticari takviyesiz (sağda) PP.....83
Şekil 7.15 Sertlik ölçüm cihazı 87
Şekil 7.16 Memmert marka su banyosu.....89
Şekil 7.17 Su emme kapasitesi için kullanılan örnekler.....89
Şekil 8.1 Karşılaştırmalı çekme dayanımı grafiği 95
Şekil 8.2 Karşılaştırmalı basma dayanımı grafiği 95
Şekil 8.3 Karşılaştırmalı eğme dayanımı grafiği.....95
Şekil 8.4 YYPE esas malzemeli karşılaştırmalı çekme dayanımı grafiği 98
Şekil 8.5 YYPE esas malzemeli karşılaştırmalı basma dayanımı grafiği 98
Şekil 8.6 YYPE esas malzemeli karşılaştırmalı eğilme dayanımı grafiği.....98
Şekil 8.7 Oda sıcaklığında 30% doğal takviye içeren PP ve YYPE esas malzemeli kompozitlerin su emme kapasieleri.....105
Şekil 8.8 90^0C sıcaklıkta su emme kapasitesi sonuçlarını gösteren grafik 106
Şekil 8.9 a) PP esas malzemeli cam elyaf takviyeli malzemede elyaf kırılması (500 büyütme), b) malzeme içindeki cam elyafın ucu 107
Şekil 8.10 a) Darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyi b) 30% cam elyaf takviyeli PP.....107
Şekil 8.11 a) Parçalanmış cam kürecik içeren PP malzeme (500 büyütme) b) basınçlı kalıplamayla üretilmiş cam kürecik takviyeli PP malzeme 108
Şekil 8.12 a) 10% karbon elyaf takviyeli YYPE malzemede çekme numunesi kopma yüzeyi b) YYPE malzemede, ekstrüzyon işleminden sonra karbon elyafın akış yönünde yönlenmesi 109
Şekil 8.13 a) Ekstrüzyonla üretilmiş 10% karbon elyaf içeren PP malzeme b) 30% karbon elyaf içeren PP malzemede merkezdeki dağılım 109
Şekil 8.14 a) Isıya maruz kalmış çam lifi b) Malzeme içinde yığılmış olan çam lifi ...110
Şekil 8.15 a) Ceviz kabuğu takviyeli YYPE malzemede, takviye ile oluşan ara yüzey b) İşlem yönünden bağımsız dağılım ve yığılma kusuru.....111
Şekil 8.16 a) YYPE ve siyah pirinç kabuğu arasındaki ara yüzey oluşumu b) Esas malzeme içinde takviyenin bütünlüğünü büyük oranda korumuş hali.....112
Şekil 8.17 a) Çekme deneyinden sonra kırılma yüzeyindeki pirinç kabuğu dağılımı b) Takviye ile esas malzeme arasındaki zayıf ara yüzey oluşumu.....112

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Kullanılan termoplastiklerin ve takviyelerin özellikleri**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
Tablo 4.2 Ekstrüzyon işlemi için malzeme çeşidine bağlı kovan ve kalıp sıcaklıkları...42
Tablo 5.1 Tüp enjeksiyon işlemi (300 bar) için malzeme çeşidine bağlı kovan ve kalıp sıcaklıkları.....63
Tablo 6.1 Düşük basınçlı kalıplamada için malzeme çeşidine bağlı kalıp sıcaklıkları...68
Tablo 6.2 350 bar basınçta üretilen numunelerin kalıp sıcaklığı ve soğuma süresi.....73
Tablo 7.1 Gardner darbe testi hesaplama tablosu (ASTM D 5420).....84
Tablo 7.2 PP esas malzemeli numunelere ait tartım tablosu.....90
Tablo 7.3 YYPE esas malzemeli numunelere ait tartım tablosu.....91
Tablo 8.1 Ağırlıkça 10, 20, 30 % inorganik takviye içeren PP esas malzemeli kompozitlerin deney sonuçları.....96
Tablo 8.2 Ağırlıkça 10, 20, 30 % inorganik takviye içeren YYPE esas malzemeli kompozitlerin deney sonuçları.....99
Tablo 8.3 Ağırlıkça 10, 20, 30 % doğal takviye içeren PP esas malzemeli kompozitlerin deney sonuçları.....102
Tablo 8.4 Ağırlıkça 10, 20, 30 % doğal takviye içeren YYPE esas malzemeli kompozitlerin deney sonuçları.....104

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sınırları tanımına bağlı olmak üzere kompozit malzemeler geniş kapsamlı malzeme grubudur. Basitçe en az iki farklı malzemeden oluşan birleşim tanımı kabul edilebilir. Son yıllarda yüksek performans uygulamalarında ağırlık/dayanım oranının etken olduğu uygulamalarda artan bir biçimde kullanılmaktadır.

İnorganik ve organik takviye elemanlarının kullanıldığı bu çalışmada polipropilen (PP) ve polietilen (YYPE) termoplastikleri ana malzeme olarak seçilmiştir. Üretim yöntemi olarak ise ekstrüzyon, tüp enjeksiyon ve basınçlı kalıplama yöntemleri tercih edilmiştir.

E tipi cam elyaf, karbon elyaf ve genleştirilmiş cam kürecikler tercih edilen inorganik takviyeler olup ağırlıkça farklı oranlarda kullanılarak katkısız ana malzeme ve birbirlerine göre mekanik özellikler ve mikroskobik özellikler açısından karşılaştırılmıştırlar.

Doğal elyaf olarak kompozit malzemelerde pirinç kabuğu, çam lifi ve ceviz kabuğu tozu kullanılmıştır. Kompozit üretimi öncesinde doğal elyaflarda bazı ön hazırlık işlemleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra üretime alınan doğal elyaflar farklı oranlarda katılarak elde edilen kompozitlere standart deneyler uygulanmıştır.

Ekstrüzyon üretim yöntemi ele alınarak kompozit üretimi incelendiğinde, kalıp şekli, devir hızı, sıkıştırma oranı, bölge sıcaklık ayarları gibi parametreler ekstrüzyon ünitesinin fiziksel özelliklerine bağlıyken, ana malzeme tipi, takviye cinsi ve takviye oranı gibi parametreler ise kompozit bileşenlerinin fiziksel ve kimyasal yapısına bağlıdır. Ekstrüzyon ünitesindeki yapılan bütün değişikler, üretime ait sıcaklık ayarları, bileşenlerin tartımları tablolar halinde gösterilmiştir. Ağırlıkça farklı oranlarda cam elyaf esaslı ve karbon elyaf esaslı kompozitler üretilmiş olup, ekstrüzyon yönü ve ekstrüzyon yönüne dik durumlardaki mekanik özellikler incelenmiştir. Çekme ve darbe

dayanımı özellikleri incelenen malzemelerin sonuçları grafiklerle sunulmuştur. Mikroskobik incelemeler ise metalografi ve elektron mikroskoplarında (SEM) yapılmıştır.

Enjeksiyon çalışmalarında hem yapay hem de doğal takviyeli kompozitler üretilmiş olup takviye oranı, sıcaklık ve basınç gibi parametreler kayıt altına alınmıştır. Ana malzeme ve takviyelerin karıştırılması el ile hassas tartımla gerçekleştirilmiştir. Uygulanacak testlerin kolay gerçekleştirilebilmesi için kalıplar standart numune boşluklarından oluşmaktadır. Çekme, eğme, darbe ve su emme deneyleri yapılarak ana malzeme ve takviye oranına göre karşılaştırmalar yapılmıştır.

Basınçla kalıplama yönteminde düşük ve yüksek basınç kullanılarak kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Ana malzeme ve takviye karışımları hassas biçimde hazırlanırken kompozit malzeme içindeki dağılımları el ile ayarlanmıştır. Düşük basınçla üretimi yapılan numunelerde üretilen numunelerin şekli plaka biçiminde tercih edilirken deney için numuneler standart kesme kalıplarıyla elde edilmiştir. Yüksek basınçla üretimler otomatik kontrollü ünitelerde gerçekleştirilirken silindir numune şekli tercih edilmiştir.

Kansu Y. [1] yaptığı çalışmada farklı yapı ve içeriklerdeki inorganik maddelerin ayrıca bu maddelerin karışımlarının polipropilen malzeme yapısına katılarak elde edilen kompozitte fiziksel ve mekanik özellikleri incelemiştir. Enjeksiyon yöntemiyle elde edilen numunelerde 10%, 20, 30, 40 ağırlık oranlarını kullanmış ve elde edilen ürünlerdeki fiziksel ve mekanik özelliklerin değişimlerini incelemiştir. Talk malzeme polipropilenin eğilme ve gerilme dayanımını artırırken uzama ve darbe dayanım değerini düşürmüştür. $CaCO_3$ polipropilenin gerilme ve eğme özelliklerini azaltırken ısıl dayanım özelliklerini arttırmıştır. Hibrit olarak kullanılan dolgu ve takviye malzemelerden talk içeren karışımlar en iyi sonuca ulaşmıştır.

Bitirgiç Ç. [2] Polipropilen malzemeyi inorganik takviye malzemesi olan cam elyaf kullanıp enjeksiyon üretim yöntemiyle kompozit malzeme üretmiştir. Ayrıca başka bir termoplastik olan ABS malzemesini de içeren örnekler de hazırlayıp çeşitli mekanik testlere tabi tutmuştur. Elde edilen sonuçlarda cam elyaf takviye oranı arttıkça eğme ve çekme dayanımında artışı gözlemlerken ABS içeren örneklerde dayanım artışının kısmi ölçekte kaldığını tespit etmiştir. Darbe dayanımı yüksek olan ABS

malzeme PP/ABS karışımında ciddi bir artışa sebep olmadığını fakat cam elyaf takviye oranı arttıkça darbe dayanımı arttığını bildirmiştir.

Kavlakoğlu A. B. [3] YYPE malzemeye pirinç kabuğu takviye ederek ortaya çıkan kompozit malzemenin mekanik ve reolojik özelliklerini incelemiştir. Pirinç kabuğu öğütülmüş olarak ta kullanılarak farklarını gözlemlemiştir. Bağlayıcı olarak ise MAPE kullanarak uyum sorununu çözmeye çalışmıştır. Değişik oranlarda öğütülmüş ve öğütülmemiş olarak kullanılan takviyelerin yapıdaki dağılımı, lif en boy oranı ve lif hacim kesri gibi parametreler de dikkate alınarak ortaya çıkan sonuçları yorumlamıştır. Öğütülmemiş pirinç kabuğu kullanılan numunelerde 1% ile 5% arası takviye oranında maksimum çekme dayanımına ulaşmış bundan sonraki oranlarda düşüş olduğunu belirtmiştir. Öğütülmüş pirinç kabuğu MAPE ile bir araya getirildiğinde maksimum sonuç elde edilmiştir.

Razavi N. [4] ve arkadaşları pirinç kabuğu takviyeli PP üzerinde çalışmalar yapmışlardır. 10 ile 40 arasında ağırlıkça takviye edilen PP esas malzemesine çekme, eğme ve darbe deneyleri uygulanmıştır. Takviye oranına bağlı olarak sundukları sonuçlarda çekme dayanımı için artan takviye oranıyla düşme eğilimini gözlemlemişlerdir. Eğme dayanımı düşük miktarda artarken, elastikiyet modülü ve eğme modülü artan takviye oranı ile sırasıyla yaklaşık 45% ve 100% oranlarında artmıştır. Darbe dayanımının da incelendiği çalışmada takviyesiz malzemeye azalış olduğunu ifade etmişlerdir.

Turmanova S. [5] arkadaşlarıyla yaptığı çalışmada siyah pirinç kabuğu ve külünü polipropilen malzemeye takviye ederek kompozit elde etmiştir. Su emme kapasitelerinin de incelendiği çalışmada emilen su miktarının mekanik ve termodinamik özelliklerde yarattığı etkiyi gözlemlemişlerdir. Artan pirinç kabuğu oranıyla çekme dayanımının azaldığı, elastiklik modülünün arttığı belirtilmiştir. Su emme işleminden sonra testlerin tekrar edildiği çalışmada çekme dayanımının azaldığı tespit edilmiştir.

Fu S. Y. [6] ve arkadaşları kısa karbon ve cam elyaf takviyeli PP üzerine yaptıkları çalışmada üretim yöntemi olarak enjeksiyonu kullanmışlardır. 25%'e kadar olan farklı ağırlıkça oranlarda takviyeler kullanılan çalışmada çekme testi uygulanmış olup ayrıca elyaf kırılmaları ve bunların etkileri incelenmiştir. Takviye oranlarına bağlı olarak çekme dayanımı ve elastiklik modülünde artış gözlemlenirken düşük oranlarda yüksek artış olduğu belirtilmiştir. Karbon elyafta bu oran 70% düzeyindeyken, cam

elyafta 50% düzeyindedir. Elyaf kırılmalarının artan elyaf oranıyla arttığının belirtildiği çalışmada dayanımın nispeten azalması da buna bağlanmıştır.

Ayrılmış N.[7] arkadaşlarıyla yaptığı çalışmada ceviz kabuğu tozu takviye edilmiş PP esas malzemeden enjeksiyon yöntemini kullanarak kompozit üretmişlerdir. Ağırlıkça yüksek oranda takviye kullanılan çalışmada boyutsal sabitlik, mekanik dayanım ve bazı termo-mekanik özellikler incelenmiştir. Eğme dayanımında 25% oranında artış gözlemlenirken çekme dayanımında 30%oranında azalma görülmüştür. Dikkat çeken artışlar elastikiyet ve eğme modüllerinde görülürken sırasıyla 100% ve 500% oranlarına ulaşılmıştır. Su emme kapasitesinin artan takviye oranıyla arttığı da ayrıca belirtilmiştir.

AlMaadeed M. A. [8] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AYPE (alçak yoğunluklu polietilen) OYPE (orta yoğunluklu polietilen) ve YYPE (yüksek yoğunluklu polietilen) esas malzemelerini cam elyaf ile takviye ederek, mekanik özellikler, viskozite ve bazı ısısal özelliklerdeki değişimi incelemişlerdir. Polimerdeki zincir yapısı farkının kompozit üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Cam elyaf takviyesi bütün PE türlerinde mekanik özelliklerde iyileşme sağlarken, artış oranının zincir yapısına bağlı olarak farklılık gösterdiği belirtilmiştir. AYPE içeren kompozitte elastiklik modülü artışı fazla olurken, YYPE içeren kompozitte çekme dayanımı artışı yüksek olmuştur.

Stark M. N.[9] arkadaşlarıyla yaptığı çalışmada çam tozu ve çam lifi takviye ettiği PP malzemeye mekanik testler uygulayarak farkları araştırmıştır. Çam tozu takviye edilen kompozitte çekme dayanımı takviyesiz PP' ye göre azalırken, eğme dayanımı 10% seviyesinde artmıştır. Çam lifi içeren kompozitte ise çekme dayanımı düşüş miktarı daha az olurken, eğme dayanımının benzer oranda arttığını gözlemlemişlerdir. Darbe dayanımları incelendiğinde ise lif içeren kompozit takviyesiz PP malzemeyle yakın değerlere ulaşmıştır.

Lei Y. [10] arkadaşlarıyla yaptığı çalışmada çam lifinin YYPE esas malzemesine takviye ederek kompozit elde etmiştir. 40% oranında çam lifi kullanılan YYPE esaslı kompozitte, çekme dayanımında 10% eğme dayanımında ise 40% oranında artış olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca PET malzemesinin de takviye olarak kullanıldığı çalışmada sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Akbaş S. [11] yaptıkları çalışmada YYPE ve PP esas malzemeli ceviz kabuğu takviyeli kompozitler üretmişlerdir. Mekanik ve ısısal testlere tabi tutulan numuneleri

takviyesiz durumları ile karşılaştırmışlardır. Ağırlıkça 50% ceviz tozu takviyeli YYPE malzemede çekme ve eğme dayanımlarında düşüş eğilimi gözlemlenirken, modüllerde ise yükselme olduğu belirtilmiştir. Artan takviye oranıyla darbe enerjisinde de artış olduğunu sunmuşlardır.

Yıldırım A. [12] Öğütülmüş fındıkkabuğunu polipropilen matris içinde farklı ağırlık oranlarında kullanarak enjeksiyonla kompozit üretimi gerçekleştirmiştir. Elde edilen numunelere ısıl ve mekanik testler uygulayıp değişimleri gözlemlemiştir. Öğütülmüş fındıkkabuğunun matristeki oranı arttıkça sertlik, yoğunluk, elastiklik modülü, ısı altında deformasyon değerleri artmış bununla beraber çekme dayanımı ve Izod darbe dayanımı değerlerinin azaldığını gözlemlemiştir.

Engin K. E. [13] Aloe vera liflerini YYPE matriste kullanarak ortaya çıkan değişimleri cam elyaf demeti takviyeli olanlarla karşılaştırmıştır. Kompozitleri oluştururken ısı ve basınç kullanan Engin mekanik ve ısı testlerinden yararlanarak sonuçlara ulaşamaya çalışmıştır. Elde ettiği sonuçlar incelendiğinde doğal kaynaklı liflerle oluşturulan kompozit malzemeler düşük çekme dayanımı göstermiştir. Bununla birlikte cam lifi takviyeli ve aloe vera lifi destekli kompozit malzemelerde ısıl çarpılma değerinin birbirine yakın olduğunu belirtmiştir. Düşük yoğunluk, ucuz maliyet ve geri dönüşüm avantajlarından dolayı doğal takviye kullanımını önermiştir.

Oral M. A. [14] çalışmasında kalsiyum karbonat dolgulu polipropilen malzemelerde matris dolgu arasındaki ara yüzey ilişkisinin mekanik ve fiziksel özelliklerdeki etkisini araştırmıştır. Ara yüzey iyileştirmesi için maleik anhidrit aşılanmış polipropilen kullanmıştır. Bu malzemeleri enjeksiyon yöntemiyle işleyerek çıkan ürünlerin çekme, eğme ve darbe gibi testlerini gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak bağlayıcı kullanılarak elde edilen dolgulu malzemelerde bağlayıcısız dolgulu malzemelere göre mekanik özelliklerde iyileşmeler gözlemlemiş. Üretilen malzemeleri SEM ile inceleyerek içyapıyı da incelemiştir.

Uçar A. [15] yaptığı çalışmada polipropilen matrise kalsit dolgusu yapıp elde ettiği malzemelerin reolojik incelemesini ve mekanik testlerini gerçekleştirmiştir. 40% kalsit dolgusu içeren malzemeler 0-72 saat arası 3 farklı sıcaklıkta yaşlandırma yapılmıştır. Süre arttıkça gerilme dayanımı ve elastiklik modülünde artış olduğunu gözlemlemiştir. Sıcaklık arttıkça darbe mukavemetleri artarken sertlikte düşme tespit etmiştir.

Mudu M. [16] Hibrid kompozitler üzerine yaptığı çalışmada polipropilen malzemeyi matris olarak kullanmıştır. Organik ve inorganik dolgu kullanarak kompozitte mekanik özelliklerin iyileştirilmesini amaçlamıştır. SEBS ve SEBS-g-MA kullanılarak bağlayıcı kullanmanın da etkisini incelemiştir. Çekme, Shore D, üç nokta eğme gibi mekanik testleri uygulanmış polipropilen matrise organik ve inorganik dolgunun ilavesi E-modülü ve sertliği yükseltip akma uzamasını düşürdüğünü gözlemlemiştir. Bağlayıcı kullanmamın da elastiklik modülünde ve akma mukavemetinde düşme, çentikli izod darbe değerlerinde artış, shore D sertliğinde azalmaya neden olduğunu belirtmiştir.

Bhaskar J. ve arkadaşları [17] yaptıkları çalışmada geri dönüşüm polipropleni malzemeye çam ağacı tozu takviye ederek morfolojik ve mekanik özelliklerdeki değişimleri incelemişlerdir. Karşılaştırmalı sonuçlarda saf ve geri dönüşüm polipropilen kullanılmıştır. Buna ilaveten maleik asit aşılanmış polipropilen takviye ve ana malzeme arasında bağlayıcı görevi görmesi için farklı oranlarda katılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde geri dönüşüm PP ile elde edilen kompozit malzemeler saf PP ile benzer mekanik özellikler gösterdiğini belirtmişlerdir.

Mohammed J. Ahmed [18] ceviz kabuğu tozunun AYPE ana malzemeye katılarak oluşturulan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Ceviz kabuğu tozunu farklı oranlarda ekleyerek saf malzemenin çekme dayanımı özellikleriyle karşılaştırmıştır. Sonuçlara bakıldığında kopmada uzama oranı saf malzemeye göre düşük çıkarken, Young modülü artan takviye oranında artış gösterdiğini belirtmiştir.

Kaya S. [19] yaptığı çalışmada polipropilene ahşap tozu takviyesi yaparak kompozit malzemeler oluşturmuştur. Ekstrüzyon makinesiyle granüle dönüştürdüğü karışımları daha sonra enjeksiyon yöntemiyle standart numuneler şeklinde üretmiştir. Bu malzemeleri reolojik ve mekanik olarak inceleyerek özelliklerdeki değişimleri araştırmıştır. Reolojik test olarak eriyik akış indeksini tercih eden Kaya, mekanik test olarak darbe testi ve çekme testini kullanmıştır. Farklı oranlarda ahşap tozu takviye edilmiş polipropilen malzemeleri karşılaştırdığında saf polipropilen ve ahşap tozu takviye oranı %5, %10 ve %15 olan karışımların sırayla takviye oranının artmasına bağlı olarak EAİ, çekme gerilmesi ve izod darbe direnci değerlerinin azaldığını gözlemlemiştir.

Güler Ü. [20] gerçekleştirdiği çalışmada termoplastik hammaddelerin ekstrüzyonunda kalıbın yüzey pürüzlülüğünün akış hızı ve basınç gibi parametrelerini ne ölçüde etkilediğini araştırmıştır. Aynı profilde fakat farklı yüzey pürüzlülük değerlerine sahip kalıplar kullanarak kıyaslamalarda bulunmuştur. HDPE' in kullanıldığı çalışmada kalıplara bağlanan sensörler aracılığıyla sıcaklık ve basınç değerlerini kontrol edip kayıt altına almıştır. Pürüzlülük değerleri arasında 86% fark olmasına rağmen deney sonucunda basınç, akış hızı ve harcanan enerji miktarlarında değişme olmadığını gözlemlemiştir.

Arayapranee W., Remple G. L. [21] yaptıkları çalışmada EPDM katkılanmış doğal kauçuğa pirinç kabuğu külü takviye ederek elde ettikleri kompozit yapıyla sentetik takviyelerle (karbon elyaf, silika) oluşturulan kompozit yapının aralarındaki farkı incelemiştir. Bu farkları mekanik dayanım, yaşlanma ve biçimsel olarak sunmuşlardır. Pirinç kabuğu külü çekme dayanımına ve aşınma direncine bir katkı sağlamazken rezilyans modülü silika ve karbon elyafa göre daha yüksek çıktığını gözlemlemişler. Ayrıca pirinç kabuğu külü içeren kompozitte süreksiz dağılım gözlenirken sentetik elyaflı yapılarda daha iyi bir dağılım gözlemlediklerini belirtmişlerdir. SEM incelemelerinde pirinç kabuğu külünün süreksiz dağılımından dolayı derin çatlaklar gözlemlenirken silika ve karbon elyaf da kuvvetli bağlanmaları görmüşlerdir. Bundan dolayı özellikle mekanik özelliklerde çatlaklar pirinç kabuğu bulunan kompoziti zayıflatmıştırlar.

Arayapranee W., Remple G. L. [22] Pirinç kabuğu külü, silika ve kalsiyum karbonat katkılı EPDM/doğal kauçuk kompozitlerin özelliklerini incelemişler. Kalsiyum karbonat ve pirinç kabuğu külü katkılı kompoztilerin işlenebilirliği silika içeren kompozite göre daha iyi çıktığını belirtmişlerdir. Silika katkılı kompozitte en iyi çekme dayanımı, sıyrılma dayanımı ve aşınma dayanımına ulaşılırken, pirinç kabuğu ve kalsiyum karbonat katkılı kompozitte en yüksek rezilyans modülüne ulaşıldığını gözlemlenmişlerdir. Ayrıca yapı içinde dağılımı incelediklerinde silikanın dağılımının diğerlerine göre daha homojen olduğunu belirtmişlerdir. Matris takviye arasındaki ara yüzey ilişkisinin en iyi olarak silika içeren kompozitte olduğunu söylemişlerdir.

Carvalho F. P. ve arkadaşları [23] 4 farklı bağlayıcı kullanarak poli(propilen-ko-etilen) esaslı pirinç kabuğu takviyeli kompozit oluşturmuşlar ve mekanik/ısıl testler yaparak farkları irdelemişlerdir. Maleik asitle güçlendirilmiş MAPP ve MAPE

bağlayıcılarının yanında asit komonomerle güçlendirilmiş CAPP ve CAPE de kullanılmıştır. Genel olarak PP bazlı bağlayıcılarda daha güçlü bir yapısal birleşme gözlemlemişlerdir. 10% bağlayıcı ve 50% pirinç kabuğu takviyesi kullanılan çalışmada 10% MAPP ve 10%CAPP bağlayıcıları içeren yapılar aynı mekanik özellikleri göstermiştir. Bunun yanında bu bağlayıcılar ayrıca PE bazlı MAPE ve CAPE bağlayıcılarına göre daha iyi ıslatma özelliği gösterdikleri belirtilmiştir.

Sombatsompop N. ve arkadaşları [24] bıçkıhane artığı olan talaş tozlarını biyo-çözünür bir plastikle harmanlayarak doğal takviyeli kompozit üretmişlerdir. Talaş tozları çam, ladin, kavak ve kayın gibi ağaç türlerinden elde edilirken, plastik hammadde olarak Mater-Bi ve gliserol karışımından oluşan ve TPS olarak adlandırılan doğada yüksek oranda çözünen bir malzeme kullanmışlardır. 50%' ye kadar olan takviye oranlarında çekme dayanımında artış gözlenirken 60% takviye oranlarında düşüşü gözlemlemişlerdir. Ayrıca yumuşak ağaç türleriyle (çam ve ladin) oluşturulan kompozitlerde mekanik, ısısal ve su emilimi özellikleri artarken biyo-çözünürlülük sert ağaç takviyeli yapılarda daha fazla olarak tespit edilmiştir. Ucuz maliyet ve doğada çözünme göz önüne alındığında atık talaş tozuyla oluşturulan bu kompozitlerin kullanılabilir olduğunu sunmuşlardır.

Wechsler A. ve arkadaşı [25] çam ağacı tozu ve lifini yüksek oranda (60% ve 80%) kullanarak polipropilen esaslı kompozit üretmişlerdir. Lif ve toz şeklindeki takviye etmenin farklarını çekme, eğme ve su emme testi ile ortaya koymuşlardır. Eğme ve su emme sonuçlarının lif içeren kompozitte fazla olduğunu belirtmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün de incelendiği çalışmada toz şeklindeki takviye içeren kompozitin pürüzlülüğünün fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Bettini S. H. P. arkadaşları [26] ile yaptığı çalışmada polipropilen matris ve talaş tozu kullanarak kompozit uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Ekstrüzyon yöntemiyle elde edilen ürünlerde bağlayıcı olarak MAPP (maleik anhidrit aşılanmış polipropilen) kullanılmıştır. Gaz alma olmayan ve gaz alma ünitesine sahip ekstrüzyon işlemlerinde elde edilen ürünleri uyguladığı mekanik ve morfoloji testleri ile incelemiştir. Bettini talaş tozunun miktarı arttıkça kompozit malzemenin katılığının arttığını belirtirken, işlem sırasında nem uzaklaştırmanın önemini belirtmiştir. Ayrıca bağlayıcı kullanmanın çekme dayanımı üzerine zayıf bir etkisi olurken ara yüzey bağlanması açısından önemli olduğunu bildirmiştir.

Yapılan çalışmalara yakından bakıldığında kompozit üretiminde çoğunlukla tek tip üretim yönteminin kullanıldığı ve bu üretim yöntemine bağlı parametrelerin incelendiği görülmüştür. Farklı üretim yöntemleriyle üretilen aynı takviye cinsine ve oranına bağlı kompozitlerin mekanik özelliklerinin ve mikroskobik özelliklerinin karşılaştırılmasının olmadığı tespit edilmiştir.

Bu tez çalışmasında farklı üretim yöntemleri kullanılarak doğal ve yapay takviye içeren termoplastik esaslı kompozitler üretilmiştir. Elde edilen malzemelere mekanik testler uygulanmış olup ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Enjeksiyon üretimimi için bilgisayar ortamında benzetim (simülasyon) yardımıyla gerçek üretim enjeksiyon parametreleri incelenmiştir. Özellikle doğal takviyeli kompozitlerin üretimi üzerinde durulurken takviyelerin hazırlanması (nem alma) gibi durumlarda farklı uygulamalara gidilmiştir. Yapılan uygulamaların ortaya çıkardığı farklar grafikler yardımıyla irdelenmiştir.

BÖLÜM 2

PLASTİK ESASLI KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER

2.1 Termoplastik Matrisler

Termoplastikler termal enerji (ısı) ve basınç uygulandığında kolaylıkla yumuşayan, deforme olabilen, akıcı durumda herhangi bir şekil de alabilen ve soğutulduğunda sertleşebilen malzemelerdir. Lineer polimerler grubuna dâhil olan termoplastikler tekrar tekrar kullanılabilme özelliğine sahiptirler. Şekillendirilmeleri sırasında herhangi bir kimyasal değişikliğe uğramazlar. Termoplastikler, birden fazla ısıtma ve soğutma işlemine tabi tutularak kalıplanabilir. Bunun için termoplastiği oluşturan moleküllere ait atomlar birbiriyle bağlanarak zincirler meydana getirirler. Isıtıldığında, bu maddenin akıcılığını sağlar. Soğutulduğunda katılaşan atom zincirleri yeniden ısıtıldığında birbiri üzerinden kayan zincir şeritleri meydana getirirler [27].

Dünya çapındaki plastiklerin 85%'i termoplastiktir. Karakteristik geçiş sıcaklıklarına göre amorf ve kristalin olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Camsı geçiş sıcaklığının üzerine çıkılınca modülüs hızla azalırken polimer sıvı gibi davranış sergiler. Camsı geçiş sıcaklığı (T_g) ile karakterize edilen amorf termoplastikler çoğunlukla bu sıcaklığın üzerinde işlenirler. Bu sıcaklık 65 ^{0}C gibi düşük olabilirken (PVC) 295 ^{0}C gibi yüksek değerlere de sahip olabilir. Kristalin ya da daha doğru bir tabirle yarı kristalin termoplastikler 20% ile 90% oranında kristalleşme gösterebilir. Bu tür termoplastikler T_g'yi de içeren ergime sıcaklığının T_g üzerinde işlenirler.

2.1.1 Polipropilen (PP)

Polipropilen çok amaçlı bir polimerdir. Birçok uygulamanın tercihi olan bu polimer kimyasal dayanım, iyi mekanik özellikler ve ucuz maliyet gibi niteliklere sahiptir. Nihai kullanım uygulamalarına uygun hale getirmek için polipropilenin mekanik özelliklerini geliştiren yollar mevcuttur. Uygun maliyetli mekanik özellikler elde etmek için mika, cam elyaf, karbon elyaf gibi çeşitli takviye ve dolgu malzemeleri polipropilenin içine katılabilmektedir. Elyaf şeklindeki takviye malzemeleri eğilme dayanımı, çekme dayanımı, ısıl çarpılma dayanımı, darbe dayanımı gibi mekanik ve ısısal özellikleri arttırma eğilimindedirler. Talk ve kalsiyum karbonat gibi dolgular son malzeme maliyetini düşürürken bazı dayanım ve darbe özelliklerinde de düzelme görülebilmektedir.

Polipropilen, bağıl yoğunluğu 0.905 olan hafif bir plastiktir. Mum beyazı görünümünde rijit bir ürün olup yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Çekme dayanımı 350 kgf/cm2 dolaylarındadır. Mekanik özelliklerini nispeten yüksek sıcaklıklarda da korur. Darbe dayanımı yüksek olmakla beraber düşük sıcaklıklarda üretim ve deney koşullarına bağlı olarak değişim gösterir. Ancak propilen ve etilenin kopolimerizasyonu ile kırılganlık önlenir [28].

Polipropilen, kristalin erime noktasına sahiptir. Bu nedenle yükselen sıcaklıklarda, çok iyi olan mekanik özelliklerini kaybetmemektedir. Saf izotaktik polipropilenin erime noktası 176 °C' dır. Ticari tiplerde ise küçük miktarda izotaktik olmayan polipropilen katkısından veya etilenle kopolimeriz edilmesinden dolayı erime noktası aralığı 165-176 °C arasında değişmektedir. Saf polipropilen için Vicat yumuşama sıcaklığı 145-151 °C arasında yer almaktadır. Amorf, ataktik ve izotaktik polipropilenin camsı geçiş sıcaklığı -60 °C/-18 °C arasında görülmektedir [29].

2.1.2 Polietilen (PE)

Günümüzde kullanım alanı olarak en fazla kullanılan termoplastiklerden biri olan Polietilen toplam plastiklerin % 40'ı kadar bir üretim oranına sahiptir. Çeşitli yoğunluk seviyelerine göre farklılık arz eden polietilenin yaygın olarak tercih edilen türleri alçak ve yüksek yoğunluklu olanlarıdır.

Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) korozyona ve kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır. Ayrıca mekanik dayanımı orta seviyede olup uzaması ve darbe dayanımı yüksektir. Elektrik yalıtımı çok iyi olduğundan yüksek frekanslı yerlerde tercih edilen bir malzeme çeşididir. Özgül ağırlığı 0,910-0,925 g/cm^3 arasındadır ve çekme dayanımı 100-300 kgf/cm^2 civarındadır. Alçak yoğunluklu polietilen enjeksiyon, ekstrüzyon, kaplama, şişirme gibi bir çok süreçlerde kullanılmaya elverişlidir. [30]

Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ise alçak yoğunluğa sahip polietilene göre daha sert bir yapıdadır. Fakat alçak yoğunluklu polietilenlerdeki gibi ışık ve açık hava şartlarına karşı dayanıklı değildir. Mekanik özellikleri çok iyi olmakla beraber darbe ve çekme dayanımları yüksektir. [30]

2.2 Termoset Matrisler

Termoset esaslı kompozit malzeme matrisleri olarak en çok kullanılanlardır. Termoset plastikler sıvı halde bulunurlar, ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşir ve sağlamlaşırlar. Termoset polimerlerin polimerizasyon süreci termoplastiklerden farklı olarak geri dönüsü olmayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. Çoğu termoset matris sertleşmemeleri için dondurulmuş olarak depolanmak zorundadır. Dondurucudan çıkarılıp oda sıcaklığında bir müddet (1-4 hafta arası) bekletildiğinde sertleşmeye başlar ve özelliklerini kaybederek biçim verilmesi zor bir hâl alır ve kullanılamaz duruma gelir. Dondurucu içinde olmak şartıyla raf ömürleri ise 6 ila 18 ay arasında değişmektedir. Termoset reçineler kimyasal etkiler altında çözülmez ve olağandışı hava şartlarında dahi uzun ömürlü olmaktadırlar [31].

2.3 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Elyaf takviye sistemi genellikle plastiklerin çekme, darbe ve ısıl mukavemet gibi sıralanan özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılır. Elyaf takviye malzemelerinin plastiklerin kuvvetlendirilmesinde kullanımı pahalı bir uygulamadır. Dolayısıyla iyileştirme derecesi, malzemenin fiyat artışıyla orantılı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Dolgu takviye sistemi ise genellikle plastiklerin maliyetini düşürmek amacıyla kullanılmaktadır.

Dizayn amacına uygun olarak (ısıl, mekanik, fiziksel, işletme vb.) istenilen bir veya birden fazla özelliği içeren bileşenlerin bir araya makro ve/veya mikro olarak getirilmesi ile oluşturulan, istenen özellikleri baskın, istenmeyen özelliklerin yok edilmesini sağlayan malzemelere kompozit malzemeler adı verilir.

Elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri sadece bileşenlerin özelliklerine bağlı değildir. Buna ilave olarak elyafı çevreleyen ve ana malzemeyle arasında bağ oluşumuna sebep olan ara yüzey de mekanik özelliklerin belirlenmesinde önemli faktör oynar. Ana malzemeden elyafa olan yük (kuvvet, basınç, ısı, darbe) geçişi bu ara yüzey tarafından sağlanırken bu görevi iyi bir şekilde yerine getirmesi kompozitin toplam dayanımını etkilemektedir.

Elyaf takviyeli kompozitler, elastisite modülü ve dayanımı düşük matris malzemesi içine yüksek bükülmezlik ve katılık değerlerine sahip olan elyafların ilave edilmesiyle meydana getirilmektedir. Bu elyafların matris malzemesi içerisine ilave edilmesiyle elde edilen kompozit malzemenin çekme dayanımı yorulma dayanımı katılık ve bükülmezlik özelliklerinde iyi yönde artışlar olur. Kompozit malzeme içerisindeki elyaf yoğunluğu kompozit malzemenin özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Elyaf (Fiber) takviyeli kompozit malzeme bir yüke maruz kaldığında matris malzemesi yükü takviye malzemesine iletir ve yükün büyük bir kısmı takviye malzemesi tarafından karşılanır. Elyaf takviyeli kompozitlerde kullanılan elyaf malzemeler, yeni malzemenin dayanım ve katılık gibi özelliklerini geliştirmekle birlikte kompozit malzemenin çalışma sıcaklığında da iyileştirmeler yapmaktadır. Elyaf takviyeli kompozitlerde kullanılan elyafların malzeme içerisindeki yönlenmeleri kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini direkt olarak etkilemektedir. [32]

2.4 Polimer Kompozitlerin Bileşenleri Ve Tipleri

Polimer kompozitler, belirli şekilleri olan (küre, parçacık, toz, elyaf) organik ve inorganik takviyelerle desteklenmiş tamamen yeni bir yapı oluşturan polimer temelli malzemelerdir. En az iki parça ya da fazdan meydana gelmektedirler.

2.4.1 Yapay Takviyeler (Sentetik)

Polimer yapıda kullanılacak olan takviyeler dayanıklı ve sert bir yapıya sahiptirler. Bundan dolayı kullanıldıkları yapıda öncelikle mekanik dayanımı arttırıcı yönde etki ederler. Bunlara ilave olarak ısıl özellikler ve görünüş özelliklerini de değiştirebilirler. Yüksek elastisite modüllü ve mukavemetli katkılar ile polimerin mukavemeti artırılır, esnekliği azaltılır güçlendirici katkılı polimerlerin ısıl genleşme katsayıları düşer.

Kompozit malzemelerde kullanılan takviyelerin fiziksel biçimleri, oluşturulan kompozitin özellikleri üzerinde çok önemli bir etkendir. Takviyeler temel olarak 3 farklı biçimde bulunmaktadırlar; parçacıklar, süreksiz ve sürekli takviyeler. Parçacık genelde küresel bir biçimde olmamasına rağmen her yönde yaklaşık olarak eşit boyutlardadır. Çakıl, cam kürecik ve ağaç tozu parçacık takviyelerine örnekler arasında sayılabilir. Takviye malzemelerinin bir boyutu diğer boyutlarına göre daha fazla olduğunda elyaflardan bahsetmeye başlarız. Süreksiz elyaflar (kırpılmış elyaflar, öğütülmüş elyaflar veya whiskers püskül) birkaç milimetreden birkaç santimetreye kadar değişen ölçülerde olabilmektedir. Çoğu lifin çapı birkaç mikrometreyi geçmemektedir. Bu nedenle elyafın parçacık halden lif haline geçişi için çok fazla bir uzunluğa gerek yoktur. Elyaf vb. anizotropik katkılı polimerlerin genleşme katsayıları akış yönünde ve akışa dik yönde farklıdır. Sürekli takviyeler yerleşimleri geometride belirli konumlarda olacağı için takviye oranı 70%'ler seviyesinde olabilirken süreksiz takviyelerde dağınım ve yönlenme farklı olabileceği için 40 % seviyesinde kalabilmektedir [33]. Polimer yapısında geometri boyunca yer alan takviyeler ürünün tüm yapısı boyunca yerleşmiştir. Polimer yapı boyunca farklı yönlemeler gösteren süreksiz takviyelerin performansları sürekli takviyeli olanlara göre düşüktür. Sürekli elyaflar ise elyaf sarma yöntemi gibi yöntemlerde kesilmeden ip seklinde kullanılmaktadır. Elyaflar en yüksek mekanik özelliklerini enlerinden daha çok boylarına gösteririler. Bu özellikler kompozit malzemelerin metallerde rastlanmayan aşırı anizotropik malzeme özelliği göstermelerine neden olur. Bu nedenle tasarım aşamasında elyafların reçine içindeki yerleşimleri ve geometrilerini göz önünde bulundurmak çok önemlidir. Malzemenin anizotropik özelliği tasarım aşamasında ürünün uygun yerinde kullanılarak avantaja dönüşebilir. Bazı durumlarda malzemenin dayanımı artırmak, tüm yönlerde eşit

mukavemet elde etmek için elyaflar kumaş olarak dokunurlar. Şekil 2.1 süreksiz elyaf tiplerine örnekler gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Al tozu, $CaCO_3$, çeltik kabuğu, ceviz kabuğu tozu

2.4.1.1 Cam Elyaf

Cam elyafı silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Cam elyafı, elyaf takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve kullanılandır. Cam elyaf birçok nedenden dolayı kaplama işlemine tabi tutulur. Genelde cam elyaflar demet şeklinde biçimlendirilerek işleme esnasında bulandırmanın olması önlenir. Bununla beraber bu işlem kompozitin dayanımını arttıran elyafların zarar görmesini ve kırılmasını engeller.

En çok kullanılan E tipi camdır. Esas olarak elektrik amaçlı düşünülmesine rağmen iyi mekanik özelliklere ve ısıl dirence sahip olduğu için bugün birçok sanayi dalında kullanılmaktadır. C camlarında C harfi, korozyona dayanımı temsil eder. C camlan kimyasal korozyona karşı oldukça dirençlidirler. Ancak mekanik özellikleri E camına göre daha kötüdür. Bunun yanında maliyeti de yüksektir. S camlarında S harfi,

yüksek mukavemet ve modülü temsil eder. S camı, hem E hem de C canımdan daha yüksek maliyete sahip olmasına rağmen çok daha yüksek mukavemet ve elastik modül özellikleri sergiler. Bunun yanında yüksek sıcaklıkta bile mukavemetini muhafaza edebilir [34].

Cam elyafının kullanım amacına bağlı olarak elyaf sarma biçimleri farklı olabilir. Elyaf çapı ve demetteki lif sayısı farklılaşabilir. Cam elyafı biçimlendirildikten sonra yıpranmaya dayanımın artması için kimyasallarla bir kaplama işlemi yapılır. Kaplama malzemesi olarak genellikle elyafın kompozit malzemeye uygulanmasından önce kolaylıkla kaldırılabilen ve suyla çözülebilen polimerler kullanılmaktadır. Elyaf ile reçinenin birbirine iyi yapışması çok önemlidir. İyi yapışmamaktan dolayı birbirinden kayan takviye malzemesi ve matris, kompozit malzemenin sertliğini ve sağlamlık performansını düşürür. Bu durumun engellenmesi için elyaf kimyasallarla kaplanır [34].

2.4.1.2 Karbon Elyaf

Karbon lifi ilk defa karbonun çok iyi bir elektrik iletkeni olduğu bilinmesinden dolayı üretilmiştir. Cam elyafının metale göre sertliğinin çok düşük olmasından dolayı sertliğin 3-5 kat artırılması çok belirgin bir amaçtı. Karbon elyafları çok yüksek ısıl işlem uygulandığında elyaflar tam anlamıyla karbonlaşırlar ve bu elyaflara grafit elyafı denir. Günümüzde ise bu fark ortadan kalkmaktadır. Artik karbon elyafı da grafit elyafı da ayni malzemeyi tanımlamaktadır. Karbon elyafı epoksi matrisler ile birleştirildiğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterir. Karbon fiber üreticileri devamlı bir gelişim içerisinde çalışmalarından dolayı karbon elyaflarının çeşitleri sürekli değişmektedir. Karbon elyafının üretimi çok pahalı olduğu için ancak uçak sanayinde, spor gereçlerinde veya tıbbi malzemelerin yüksek değerli uygulamalarında kullanılmaktadır [35].



Şekil 2.2 1200 telden oluşan demet şeklindeki karbon elyaf

2.4.1.3 Genleştirilmiş Cam Kürecik

Cam küreler genellikle sodalı A-camından üretilmektedir. Çaplan 0,25 mm-4 mm arasında değişmektedir. Katıldıkları polimerin modülünü, basma mukavemetini, sertliğini, boyutsal kararlılığını, aşınma direncini arttırmaktadır. Genelde silan türü bağlama ajanları ile kaplanmış olarak kullanılması yaygındır.



Şekil 2.3 Farklı çaplarda genleştirilmiş cam kürecik

2.4.2 Doğal Takviyeler

Doğal elyaf kullanımı kompozit malzeme teknolojisinde oldukça fazla önem kazanmaktadır. Özellikle doğal atık olarak nitelendirilen bazı malzemelerin kompozit tasarımında kullanımı yaygınlaşmaktadır. Atık olarak görülen bazı doğal elyaf türleri takviye elemanı olarak kullanılarak faydalı hale getirilmiştir. Yapılan çalışmalarda bazı doğal elyafların yapay elde edilmiş takviye elemanlarına göre daha iyi özellikler taşıdığı tespit edilmiştir. Elde edilmesi kolay olan bu doğal takviyeler önümüzdeki yıllarda plastik esaslı kompozit çalışmalarında daha fazla yer alacaktır.

Su emme durumunun kritik olduğu yerlerde kullanılacak kompozit materyallerin üretiminde verimli işlemler uygulandığı takdirde, termoset ve termoplastik malzemelerde takviye edici/katkı materyali olarak cam/karbon elyaf materyallere alternatif olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir. Pirinç kabuğu ve çam lifi gibi tarımsal atıklar düşük yoğunluğa sahip olmaları ve aşınmaz özelliklerinde dolayı kompozit malzemelerde mükemmel bir dolgu özelliği göstermektedir. Bu da plastiklerin uzun süre dayanabilmesini/kullanılabilmesini sağlamaktadır.

2.4.2.1 Siyah Pirinç Kabuğu

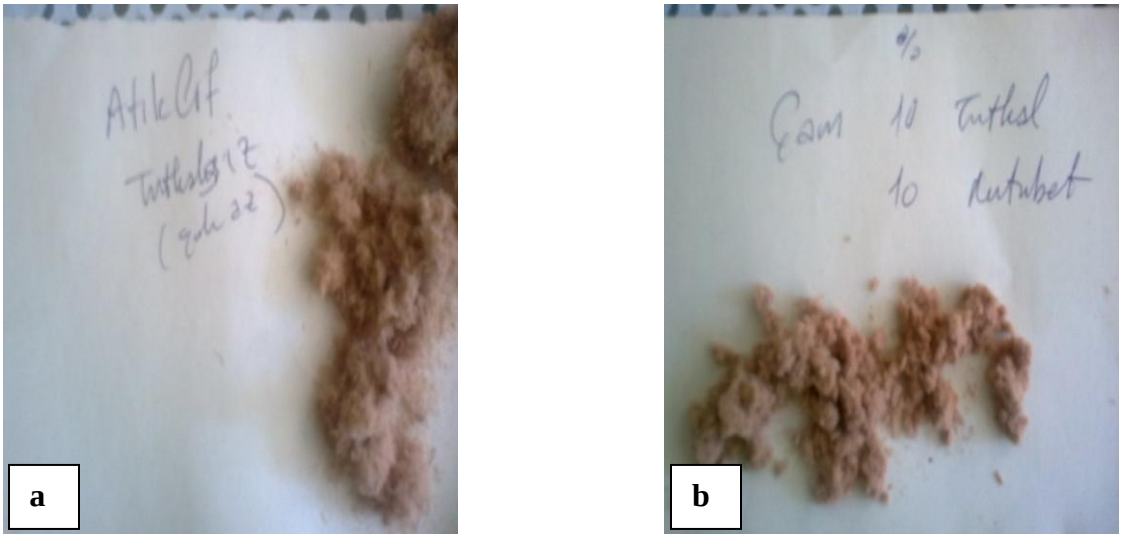
Dünya üzerindeki üretimi oldukça fazla olan pirinç hatırı sayılır miktarda tarımsal atığa da sebep olmaktadır. Pirinç hasadından sonra ortaya çıkan en büyük kütlesel atık çeltik bitkisinin sapı olurken ikinci olarak pirinç kabuğu olduğu bilinmektedir. Pirinç kabuğunun kompozit endüstrisinde kullanımı son yıllarda yaygınlaşırken bu ürünün kendisinden takviye elemanı olarak hem kabuk hali hem de kül hali kullanıldığı görülmektedir. Yapısı incelendiğinde 42,8% α selüloz, 22,5% lignin, 32,7% yarı selüloz ve 2% oranında diğer organik bileşenler görülmektedir [36]. Yüksek oranda kül içeren pirinç kabuğu endüstriyel alanda silika olarak ta kullanılmaktadır. İçerdiği yüksek orandaki silika ve ligninden dolayı pirinç kabuğu suda çözünmez, tok, odunsu ve aşındırıcı doğasına karşın düşük besleyiciliği ve açık hava şartlarına karşı direnci olan bir üründür.



Şekil 2.4 Siyah pirinç kabuğu

2.4.2.2 Çam Lifi

Çam ağacı gövdesinin talaşından elde edilen lif yüksek tokluk değerine ve düşük yoğunluğa sahiptir. Sarıçam, karaçam ve kızılçam gibi türleri vardır. Aşağıdaki örnekler kızılçam (Pinus brutia Ten) [36] türünden elde edilmiş liflerdir. 0,40-0,52 g/cm^3 arasında yoğunluğu, lif yönünde çekme dayanımı 10,5 MPa civarındadır. Şekil 2.5 a) ve b)'de atık çam lifi örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.5 a) Tutkalsız çam lifi **b)** 10% tutkallı çam lifi

2.4.2.3 Ceviz Kabuğu Tozu

Kompozit malzeme üretiminde takviye olarak kullanımı artan ürünler arasında toz haline getirilmiş yemiş kabukları da bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu takviyelerin kullanılma amacı malzemenin tokluğunu arttırmak, ateşe dayanımı arttırmak ve yoğunluğu düşürmek olduğu görülmüştür. Ceviz kabuğu tozu fiziksel yapısı olarak aşındırıcı özelliği yüksek bir üründür. Yetiştirilen bölgeye bağlı olarak kimyasal yapısının 40-60% selüloz, 0,9-1,5% kül, 20-30 % lignin, 0,8-1,59% kütin, 0,1% nitrojen olduğu söylenebilir [37].



Şekil 2.6 Ceviz kabuğu tozu

2.4.3 Düzenleştiriciler (Stabilizers)

Oksijen Düzenleştiricileri; Oksidasyona, hava şartlarında kimyasal bozunmayı yavaşlatır ya da önler.

Ultraviyole Düzenleştiricileri; Ultraviyole ışınları altında renk değiştirmeyi geciktirici katkılar

Isıl Düzenleştirici; Şekillendirme işlemi(enjeksiyon, ekstrüzyon v.b.) sırasında karşılaşılan sıcaklıklar altında bozunmayı önler.

Hidrolitik Düzenleştirici; PA, PC, PBT vb. hidrofilik (su emen) polimerlerin nem emme oranlarını azaltır.

Yanmazlık Katkıları; Polimerlerin yanma ve alevlenmeye karşı dirençlerini artıran katkı maddeleri. Klorin, Bromin ve Fosforlu bileşikler.

Renklendiriciler; Doğal renkteki plastiklere istenilen rengi verirler.

Akışkanlaştırıcılar; Plastiğin enjeksiyon sırasında daha kolay akmasını sağlayan katkı maddeleridir.

Çekirdeklendirici Katkılar (nucleating agents); Yarı-Kristalin polimerlerde erime aralığını artırır, kristalleşme oranını artırır [31]



Şekil 2.7 Renklendirici, alev geciktirici, UV düzenleyici

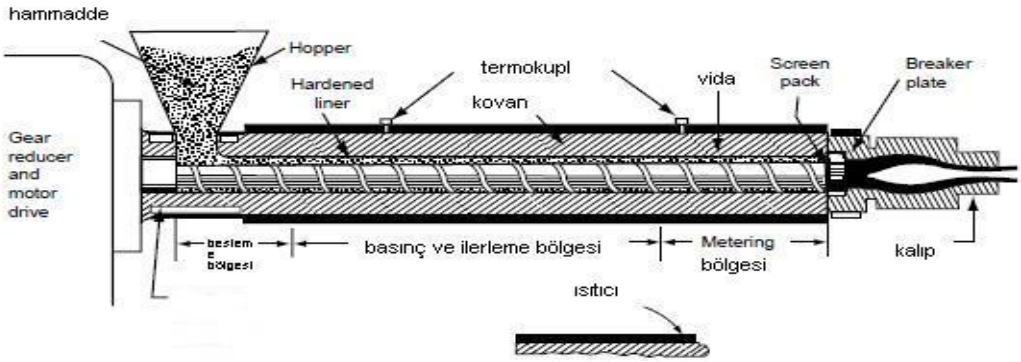
BÖLÜM 3

KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Sıcak biçimlendirme yöntemi, günümüzde çok yaygın olarak kullanılan plastik işleme ve form verme metotlarından biridir. Bilindiği gibi günlük hayatımızda kullanılan birçok endüstriyel ürün bu yöntem ile elde edilmektedir. Bu yöntemin işleme esası ısıtılmış olan hammaddenin kalıplanmasıyla istenilen formu oluşturmaya dayanır. Sıcak biçimlendirmede üretilecek olan tasarımın şekline uygun olarak çeşitli teknikler kullanılarak istenilen üretimi de gerçekleştirebiliriz.

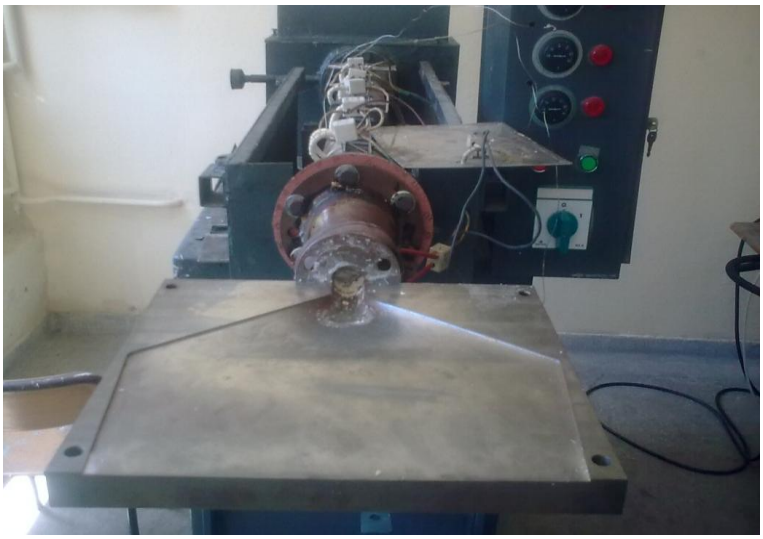
3.1 Plastik Ekstrüzyon İşlemi

Isı ve basınç kullanarak malzemenin kalıptan sürekli geçmesini sağlamak yoluyla uzun parçalar elde etme işlemine "ekstrüzyon" denir. Ekstrüzyon farklı malzemelerin birleştirilmesinde boru ve profilden, levha ve filme kadar geniş bir üretim alanında çok kullanışlı bir teknolojidir. Makineye malzeme doldurduktan sonra eritme, plastikleştirme ve şekillendirme işlemlerinin kesintisiz olarak kendiliğinden olduğu bir sürekli plastik işleme tekniğidir. Bu biçimlendirme, çubuk, boru, profil malzeme, levha, film ve herhangi bir başka malzeme üzerine kaplama şeklinde olabilir [38]. Plastik işleme endüstrisinde ekstrüzyon işlemi, çok geniş bir uygulama sahasına sahiptir. Bu işlemlerin yapıldığı makineye ise ekstrüder denir. Çeşitli kullanım yerlerine göre ekstrüder silindiri içerisinde tek, çift veya daha fazla vida bulunur. Ekstrüder silindiri genellikle elektrikli bir ısıtıcı ile ısıtılmaktadır. Gelişen plastik teknolojisinin alt kollarından biri olan ekstrüzyon son yıllarda büyük gelişmeler göstermektedir.



Şekil 3.1 Şematik olarak ekstrüzyon işlemi

Ekstrüzyon prosesinde amaç ergimiş hammaddeyi kademeli biçimde sıkıştırarak kalıba doğru itmektir. Kalıpta istenilen şekilde profil elde ederek sürekli olarak prosesin devam etmesi sağlanır. Bu işlemde bir çok parametrenin olması ve optimizasyon gerekli olması kaçınılmazdır. Ekstrüyon işlemini incelemek için ekstrüderden ve onu oluşturan parçalardan, uygun hammaddeden, kalıp sonrası işlemlerden ve sürekli olan bu işlemin en uyumlu biçimde çalışmasından söz etmek gerekir.



Şekil 3.2 Plaka kalıbı bağlanmış ekstrüzyon makinesi

Ekstrüdere konan hammadde (termoplastik ya da termoset) besleme bölümündeyken ısıtılmaya başlanır. Isıtıcılar plastiğin erimesini sağlayarak viskozitesi düşük bir akışkan haline gelmesini sağlar. Ergiyen plastik ekstrüder vidası yardımıyla kovan içerisinde kalıba doğru ilerletilir. Vidanın geometrik şeklinden dolayı (aynı kovan çapında kalıba doğru artan çapa sahip vida) ergimiş plastik kalıba gidene kadar sıkıştırılmaya devam eder. Kovanın sonunda iki aşamalı bölüm görünmektedir. Ekstrüzyon işleminde açık kalıp uygulaması yapılmaktadır. Bir çok profil uygulaması yapılabilirken aynı zamanda giydirme(elektrik kabloları gibi) ve kaplama işlemi de bu açık kalıp uygulamasıyla gerçekleştirilmesi mevcut işlemlerdendir.

Bir termoplastik ekstrüze edildiği zaman Tm ve Tg sıcaklıkları arasına kadar ya da şekilsel sabitliği sağlayıncaya kadar soğutulması gereklidir.(Tm ergime sıcaklığı, Tg camsı sıcaklık). Bu soğuma işlemi basitçe ürünün su dolu bir tanktan geçirilmesiyle, üzerine soğuk su ve ya hava püskürtülerek gerçekleştirilebilir [38].

3.1.1 Ekstrüzyondaki Etken Parametreler

3.1.1.1 Ekstrüder Kapasitesi

Tek vidalı ekstrüderlerde standart ölçüler inç ölçü birimiyle 1½, 2, 2½, 3¼, 3½, 4½, 6,...şeklinde ilerler. Bu ölçüler kovanın iç çapını belirtmektedir. Kaba bir şekilde ekstrüder kapasitesini Qe kabul edersek,

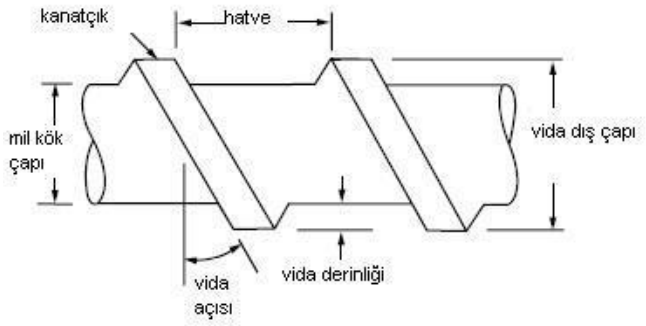
Kapasiteyi $Qe = 16*D_b^{2.2}$ ifadesiyle gösterebiliriz. (D_b kovan çapı)

Ayrıca kapasiteyi mekanik işten elde edilen ve termoplastiği ergitmek için aktarılan enerjiyle birlikte (ısı enerjisi) göz önüne alırsak; vidanın verimliliği %80 kabul edilirse, Qe ekstrüderin kapasitesi Hp (güç),malzemenin ısı kapasitesi Cp ve beslemeden kalıba kadar olan ısı değişimi ΔT (^0F) ise;

$Qe = 1.9*10^3 Hp/ Cp* \Delta T$ ifadesi ile elde edilebilir [38].

3.1.1.2 Ekstrüder Vidası

Ekstruder vidası onu oluşturan parçalar arasında en önemlisi olarak görülebilir. Hassas işlenmiş uygun sertlikte basınca dayanıklı ve tasarımı da uygun olmak zorundadır. Çelik bir mil üzerine açılmış helisel kanala sahip bir parça olarak düşünülebilir. İki kanat arasındaki mesafe hatve (adım) olarak adlandırılabilir. Ekstruder vidası üzerindeki helisel yapının eğimi 12 ila 20 derece arasında değişir. Bu açılar besleme prosesinin karakteristiğini belirle basınç üzerinde etkilidir. Kovan çapıyla vida çapı birbirine çok yakındır bu da ısı transferi ve sıkıştırma işlemine kolaylık sağlar.



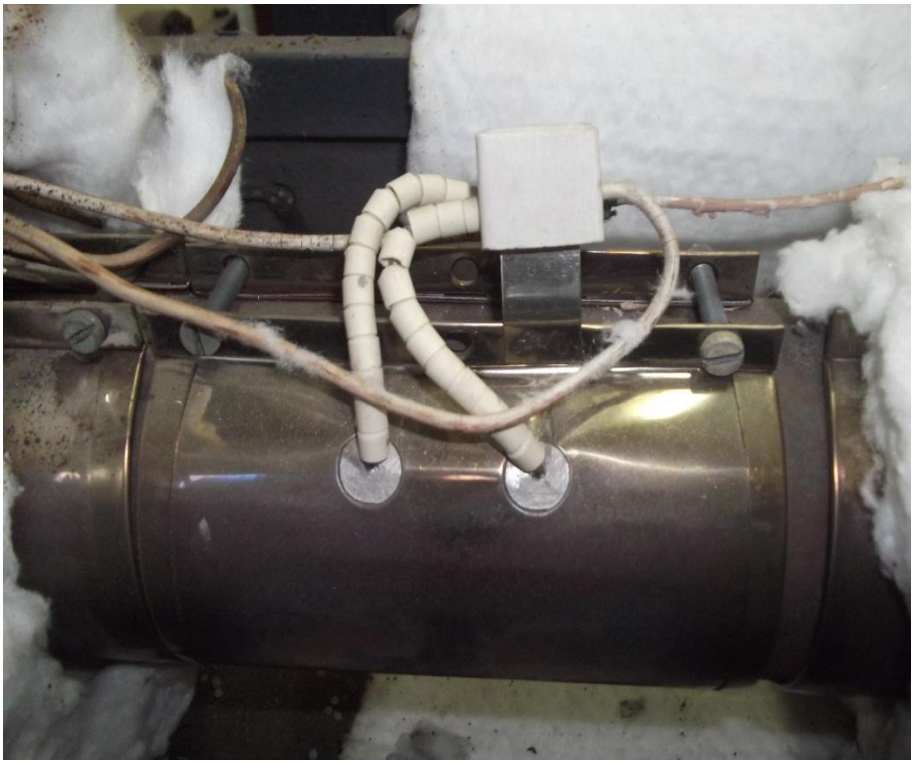
Şekil 3.3 Vidanın bit hatvesine (adım) ait şematik gösterim

Vidalar genelde uzunluk/ çap oranı (L/D) ile karakterize edilirler. Tekli vida uygulamalarında 15:1 ile 30:1 arasında oran görülmektedir.20: ve 24:1 oranları termoplastikler için ideal olup, daha düşük oranlar kauçuk uygulamalarında kullanılabilir. Uzun kovan yapısı daha homojen bir ekstrüzyon işlemi sağlar. Vidalar aynı zamanda sıkıştırma oranı ile de karakterize edilirler. Bu oran malzeme girişindeki (besleme ünitesi) vida adım derinliği ile kalıp girişindeki vida adım derinliği arasındaki orandır. Tekli vidalarda bu oran 2:1 ve 5:1 gibi değişir.

3.1.1.3 Isıtıcılar

Ekstrüderde 3 ya da 4 ısıtma bölgesi gözlenir. Isıtıcıların genellikle ilk çalışma anında önemli görevi vardır. Soğuk malzemenin mile ve kovana zarar vermemesi için

ısıtılması gereklidir. Daha sonar malzeme sıkıştırma ve basınçtan dolayı gerekli ısıya ulaşmaktadır. Isıtma işlemi sıcak yağ ile hava ile ya da elektrikle gerçekleştirilir. En çok kullanılan yöntem elektrik olup verimliliği daha iyidir ve kontrolü kolaydır.



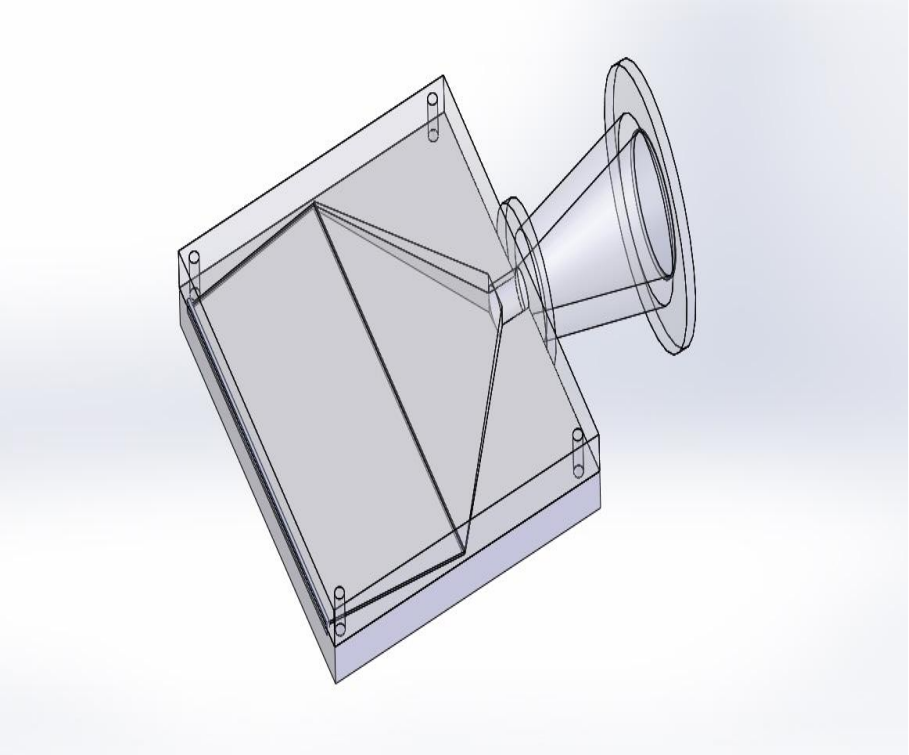
Şekil 3.4 Kovan etrafına sarılmış 3000 W kapasiteli ısıtıcı

Isıtıcılar bölge bölge farklı sıcaklıklar üretmek için kullanılır. Bunun nedeni kovan içinde ilerlen akışkanın ergimesinin tam sağlanmasını sağlamaktır. Her plastiğin kendine özgü ergime sıcaklığı bulunduğundan kademeli ergitme işlemi daha yararlı olmaktadır. Milin sıkıştırması ve basıncın artması da plastiğin ergimesine yol açar.

3.1.1.4 Kalıplar

Ekstrüzyon işleminin son aşamasında belirli bir matris şekline sahip kalıp bulunmaktadır. İstenilen profil şeklindeki bu kalıba giren malzeme şeklini aldıktan sonar kalıptan çıkar ve ilerlemesine devam eder.

Burada kalıbın şekli istenilen şeklin karmaşıklığı gibi parametreler çıkan malzememin kalitesini etkilemektedir. Tasarım aşamasından başlayarak imalat aşaması da dâhil olmak üzere işlemler hassasiyetle yürütülmelidir.

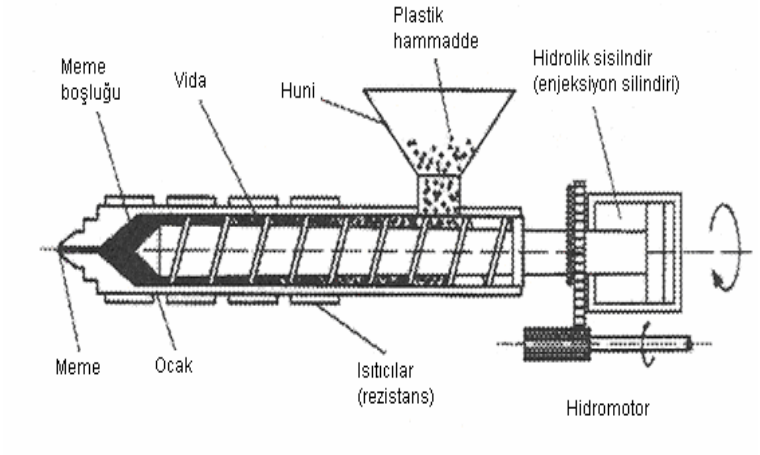


Şekil 3.5 Tasarım halindeki kalıp

3.2 Enjeksiyon Üretim Yöntemi

Enjeksiyonla kalıplama işlemi malzemenin ısıtılarak akıcı hale getirilmesi ve kapalı soğuk kalıba itilmesi, kalıp içinde soğumak suretiyle sertleşerek istenilen biçimi alması prensibine dayanır [38].

Enjeksiyon üretim yönteminde sistem kapalı olup elde edilecek ürün son şeklini kalıp içinde almaktadır. Ekstrüzyona göre daha yüksek basınca ihtiyaç duyan bu üretim yönteminde mil sadece dönme hareketi değil aynı zaman da öteleme hareketi de yaparak basıncın artmasına sebep olur.



Şekil 3.6 Şematik enjeksiyon işlemi

Malzeme; toz veya küçük parçacıklar halinde depoya (huni) konur. Depo, elektrikle ısınan bir silindirin üzerindedir. Malzemenin her tarafına sıcaklık verilebilmesi için, silindi içinde malzemeyi cihazlara doğru sevk eden bir yayıcı (vida ya da piston) bulunur. Silindir içindeki ısınan malzeme yumuşar ve koyu bir şurup haline gelir. Dalıcı bu malzemeyi, memeden yolluğa oradan da kapalı durumdaki kalıbın sütun boşluklarına iter. Malzeme belirli bir soğukluktaki kalıp içinde soğur ve sertleşir [39].



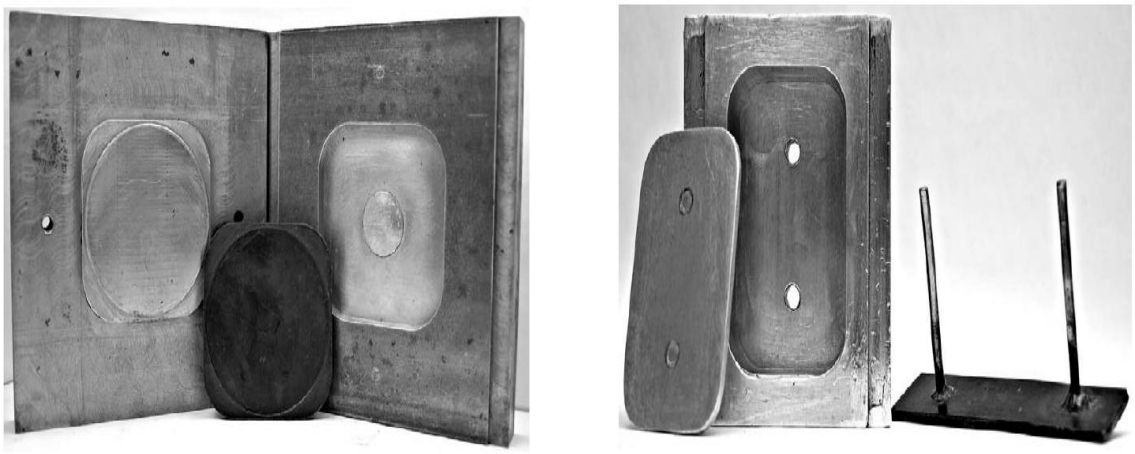
Şekil 3.7 Standart numune şekline sahip enjeksiyon kalıbı

Kalıp boşluğu kalıbın bir parçası olup, enjeksiyon ünitesinden gelen erimiş plastiği direk yolluğa alıp istenilen kalıp şeklinde soğutarak plastik parça üretir. Kalıp boşluğu dizaynıyla, belirli bir ürün yapımında bazı faktörleri göz önüne almamız

gerekir. Bu faktörler, kalıp boşluğunun mümkün olduğunca kolay doldurmasıdır. Basılan parçanın mümkün olduğunca iç gerilimsiz olması, plastik soğuması esnasında çeker ve plastik parça açılan kalıptan atılabilir olmalıdır [40].

3.3 Basınçlı Kalıplama Yöntemi

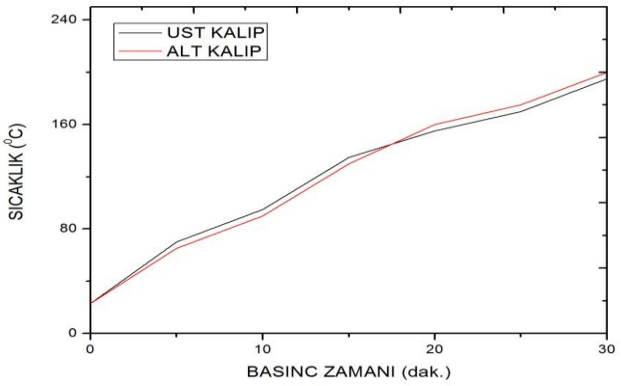
Sıcak kalıplama işlemi sıcaklık ve basınç parametrelerini kontrol altında tutarak gerçekleştirilen bir yöntemdir. Sistemde kalıp boşluğunu oluşturacak şekilde tasarlanan erkek ve dişi formlara sahip ısıya ve basınca dayanıklı malzemeden bir ünite mevcuttur. Profesyonel uygulamalarda elde edilecek profile ait dişi kalıp bir presin altına yerleştirilerek basınç miktarının yüksek tutulması sağlanmaktadır. Deneysel uygulamalarda ise basınç ve sıcaklık ayarı manüel olarak kontrol edilerek istenildiği anda değişiklik yapabilmek için işlemin sonlandırılması amaçlanır.



Şekil 3.8 Basınçlı kalıplamada kullanılan kalıp örnekleri [30]

Kalıp malzemesi, sıcaklık kontrolü, soğuma hızı, hammadde profili, takviye çeşidi ve profili sıcak kalıplama yöntemini doğrudan etkileyen faktörlerdir. İki farklı malzemeden yapılmış kalıplarda üretilen levha örnekleri yukarda bahsi geçen parametrelere bağlı olarak farklılık göstermektedirler. Örneğin çelik malzemeden yapılmış olan ve maksimum 4 mm kalınlığında levha profil elde edilen kalıpta ısınma ve soğuma zamanları olumsuzluk içermesine rağmen elde edilen numunenin yüzey ve iç yapısındaki homojenlik olumlu bir avantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Alüminyum

malzemeden yapılan kalıpla aynı işlem gerçekleştirildiğinde ısınma ve soğuma zamanı olumlu bir avantaj iken basıncın kısıtlı uygulanabilmesi ve erkek/dişi kalıp arasındaki çarpılma miktarının fazlalığı olumsuz olarak çıkan profilin homojenliğini ve yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir [37].



Şekil 3.9 Alt kalıp ve üst kalıp arasındaki basınç sıcaklık dağılımı grafiği

Düşük basınçlı ya da yüksek basınçlı uygulamaların olduğu basınçlı kalıplamada şekillendirilecek malzeme ya önceden başka bir sistem yardımıyla takviyeli hale getirilir, ya da manüel olarak harmanlanarak kalıp boşluğuna yerleştirilir. Düşük basınçlı uygulamalarda tahrik sistemi hidrolik ya da vidalı olmaktadır.

BÖLÜM 4

EKSTRÜZYON İŞLEMİYLE TAKVİYELİ TERMOPLASTİK LEVHA ELDE EDİLMESİ

Termoplastik esaslı kompozit levha üretiminde elyaf takviyesi olduğundan dolayı normal ekstrüzyon parametrelerinde değişikler olmaktadır. Elyaf takviyesi viskoziteyi değiştirdiğinden kovan içinde plastiğin akışında da değişiklikler mevcut olacaktır. Takviye elemanı işlem sırasında gerekli olan ısı miktarını da değiştirecektir. Böylelikle vida üzerinde bulunan ısı bölgelerinde uygulanan farklı sıcaklıklar yeniden ayarlanmak zorundadır.

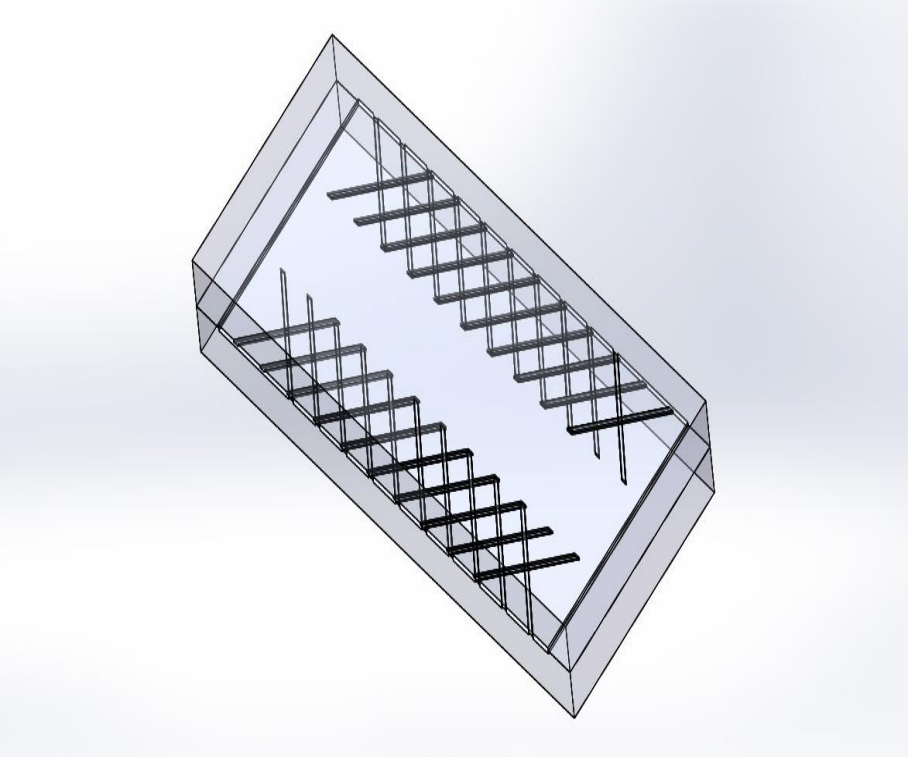
Ekstrüderde işlem başlatıldığında hammaddeyle beraber takviye elemanı olan elyafların da ilavesi yapılır. Ergime başladıktan sonra vidalı mile hareket kazandırılır. Kovan içinde hareket eden takviyeli plastik kalıba doğru itilir. Kısa elyaflı takviye uygulamalarında elyafların plastik içinde yönlendirilmesi önemli bir konudur. Ekstrüder çıkışına yapılan çeşitli ilaveler yoluyla ergimiş plastiğin hareketi ve plastik içindeki takviye elemanının dağılımı düzenlenebilir.

Ekstrüder çıkışı kontrol altına alındıktan sonra uygun kalıbın kullanılmış olması gerekmektedir. Eğer ekstrüder çıkışına elde edilmek istenen levha genişliğine sahip bir kalıp bağlanmışsa yani direkt olarak istenen genişlikte başlayan bir kalıp girişi mevcutsa levhanın elde edilişinde problemler gözlenebilir. Bunun yerine artan genişlik ölçülerine sahip bir kalıbın bağlanması homojen ve problemsiz bir levha üretimine imkân verir. Aşağıdaki resimde tasarımı ve üretimi bu şekilde yapılmış bir kalıp örneği görülmektedir. Balık kuyruğunu andıran tasarımda kalıp girişine gelen akışkan gerileyerek elde edilmek istenen genişliğe ulaşmaktadır. Ekstrüderden gelen malzeme soğuk kalıp malzemesiyle karşılaşıp erken katılaşma olmasın diye kalıp ta ısıtılmaktadır. C 45W çeliğinden üretilmiş olan kalıp 300 mm genişliğinde ve 4 mm kalınlığında plaka çıkışına izin verecek boyutlardadır.



Şekil 4.1 Balık kuyruğu levha kalıbı örneği

Elyaf takviyeli levha üretiminde elyafların dağılımı büyük önem kazanmaktadır. Doğru yönlenme ve dağılım sağlanırsa elde etmek isteğimiz sonuçlara oldukça yaklaşabiliriz. Yalnızca ekstrüder çıkışını kontrol ederek istediğimiz elyaf dağılımını elde etmemiz mümkün olmayabiliyor. Bu bağlamda malzeme kalıba girdikten sonra kalıpta ilerleyişi sırasında da müdahalede bulunarak elyaf dağılımını kontrol edebiliriz. Ekstrüder çıkışına hesaplamaları ve tasarımı iyi yapılmış çoklu kalıplar bağlayarak çıkıştan itibaren elyaf dağılımına müdahale edebiliriz. Bu kalıpların içyapısı, çapraz geçişlerle birbirine içine geçmiş yollara sahip olacak şekildedir. Kalıbın uzaması artıkça ilerleyen ergimiş plastik malzemenin hareketi doğrusallaşmaktadır.



Şekil 4.2 Çapraz geçişli ilave kalıp tasarımı

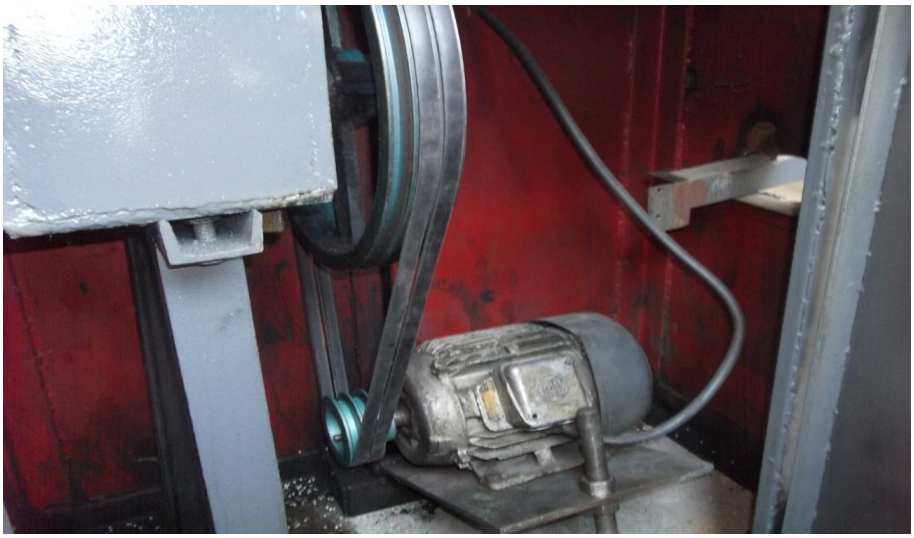
4.1 Plastik Ekstrüzyon Makinesinde Üretim İçin Gerekli Mekanik Tesisatın Tasarlanması Ve Teknik Hesapların Yapılması

Ekstrüzyon işlemi dönen bir mil ve hassas tolerans verilmiş kovan arasından ergimiş plastiği geçirmek suretiyle gerçekleştirilir. Kovan etrafına sıralanmış rezistans ısıtıcılar yardımıyla plastiğin kademeli ergitilmesiyle işlem başlamış olur. Vidalı mile hareket vererek plastiğin karıştırılmasının yanında basınç yoluyla ergime kolaylaştırılır. Elde edilmek istenilen ürünün profiline sahip kalıp yardımıyla da son şekli verilir. Bütün bu aşamalarda ergimiş plastiğin kovan içindeki hareketi malzemenin özelliğine bağlı olarak kendine özgüdür. Bunun anlamı ergime noktalarının farklılığı, viskozitenin farklılığı her plastiğin ekstrüzyonda şekillendirilmesi sırasında mekanik olarak ta çeşitli teknik ayarlamalara ihtiyaç duyulmasına sebep olmaktadır. İşlenecek plastiğin türüne ve kullanılacak takviyenin cinsine göre sıcaklık ayarı, mil devir hızı ve soğutma için kullanılan tesisatın uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir. Gerçek üretime geçmeden önce tüm sistem bilgisayarda modellenerek işlenecek malzeme cinsine göre ekstrüzyon parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bunlar içinde ekstrüzyon

vidasındaki sıcaklık dağılımı, elde edilmesi gereken basınç, malzeme akış hızı ve kalıptaki benzer parametreler bilgisayar destekli mühendislik yazılım araçlarıyla araştırılmıştır.

4.2 Ekstrüzyonda Hareketi Sağlayan Motor Bağlantılı Kayış Kasnak

Yukarıdaki bilgiler ışığında atölyede sahip olduğumuz 55 mm çaplı vidalı mile sahip ekstrüzyon makinesinde (L/D =15) uygun şartların sağlanması için bazı ilaveler ve değişiklikler yapıldı. Öncelikle vidalı mili döndüren kayış kasnak mekanizması elden geçirilerek var olan kasnak yenisiyle değiştirilip mekanizmanın iki adet kayışla döndürülmesi sağlandı. Bunun yaratacağı etki işlenmesi zor viskozitesi düşük plastiklerde motorun gücünün verimli bir şekilde vidalı mile aktarılması şeklinde olacaktır. Şekil 4.3'de motor ve kayış kasnak görülmektedir.



Şekil 4.3 Ekstrüzyon vidasına hareket veren kayış kasnak mekanizması

4.3 Isıtıcılar

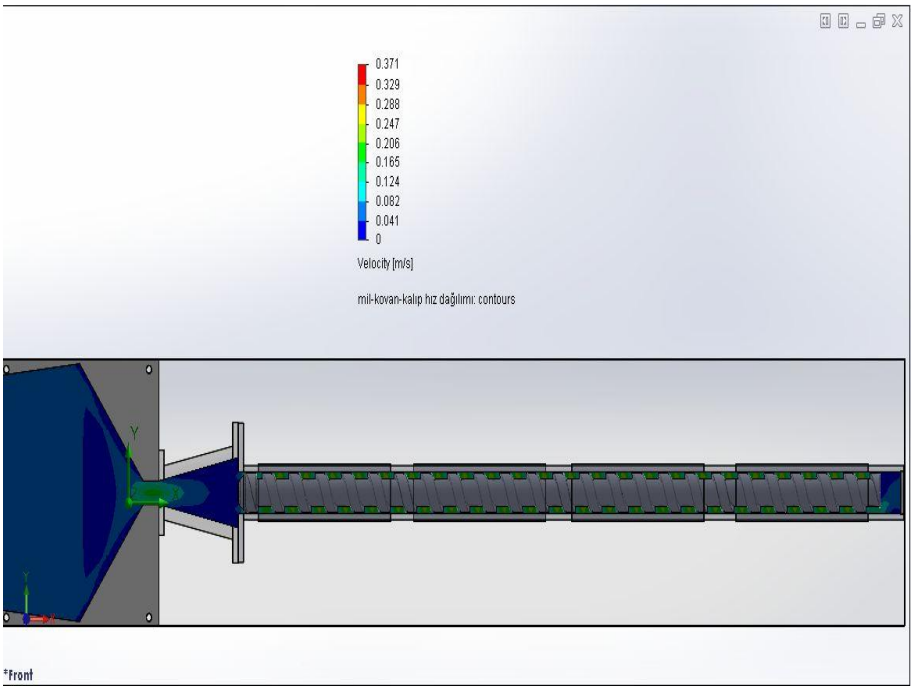
Ekstrüyon makinesi üzerindeki kelepçe rezistanslardan ısı kaybını engellemek amacıyla bütün rezistanslar cam yünüyle sarıldı. Isının daha kontrollü bir şekilde olması kovan içindeki plastiğin sıcaklığına bağlı viskozitesinin ve hızının sabite yakın bir değerde olmasını sağlıyor. Ürün son şeklini alana kadar ki süreçte bu durumun

sağlanması oldukça önemlidir. Termokupl kontrollü ısıtıcılar 0 ile 300 ^{0}C arasında işlevini yerine getirmektedir. Kademeli olarak ısıtılan kovan yeterli ısıya ulaşınca içerisinde malzeme ergiyince motor devreye sokuluyor.

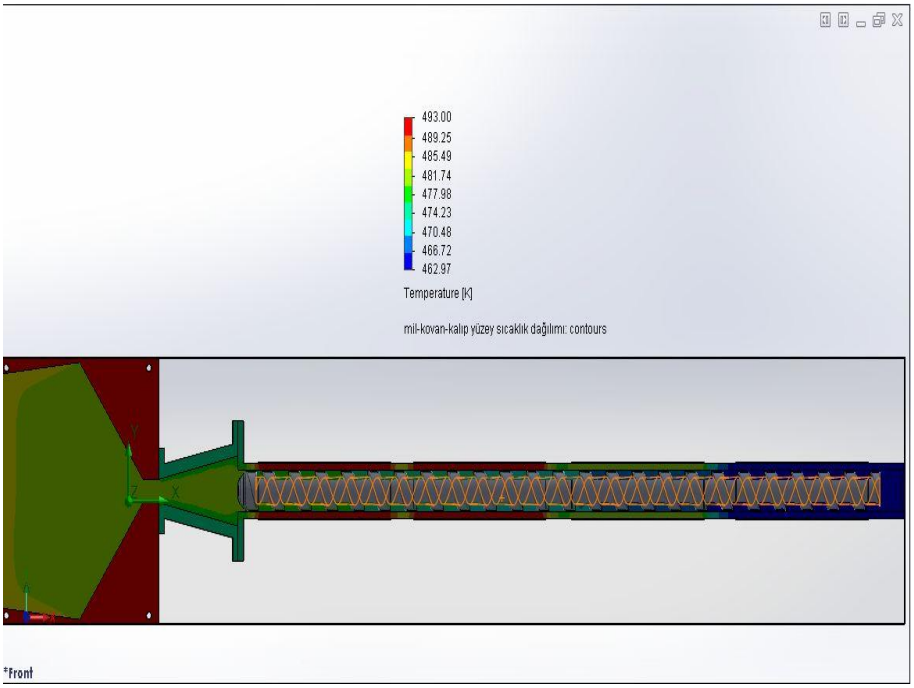


Şekil 4.4 Cam yünüyle yalıtılmış ısıtıcı rezistanslar

Mil kovan sistemindeki sıcaklık ve devir ayarları için literatür bilgisi yanında bilgisayar destekli mühendislik yazılımları da kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da üretime geçilmeden yapılmış olan analizlerden elde edilen örnekler görülmektedir.



Şekil 4.5 Mil kovan arasındaki hız dağılımını gösteren simülasyon sonucu



Şekil 4.6 Mil, kovan ve kalıp arasındaki yüzey sıcaklık dağılımı

4.4 Kalıp

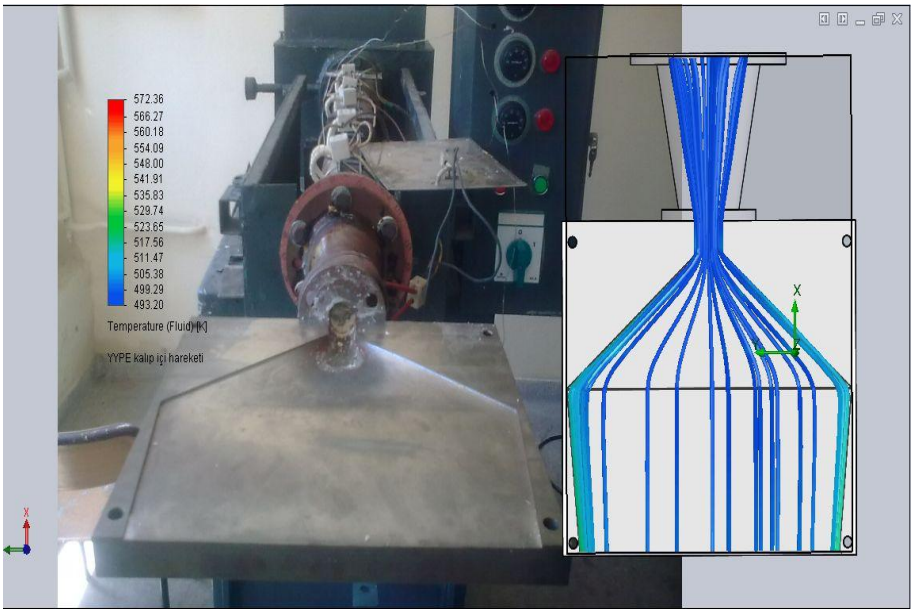
Kalıp ürünün son şeklinin verildiği ünitedir. Elde edilmek istenen profilin geometrisine sahip olup ürün kalıptan çıktıktan sonra başka bir şekillendirme ünitesine girmez. ekstrüzyon içinde ergimiş olan plastik kalıp içinde hareket edebilmek için sıcaklığını kaybetmemesi gerekmektedir. Fakat sıcaklığın fazla oluşu ya da az oluşu kalıptan sonra sıcak plastiğin hava ile karşılaşınca şekil davranışını etkilemektedir. Bu yüzden kovan içinde yapılan sıcaklık ayarı optimizasyonu kalıp için de yapılmak zorundadır. Bu sıcaklık ayarları daha önce de bahsedildiği gibi her plastik veya takviyeli plastik türüne göre yeniden değerlendirilmelidir.



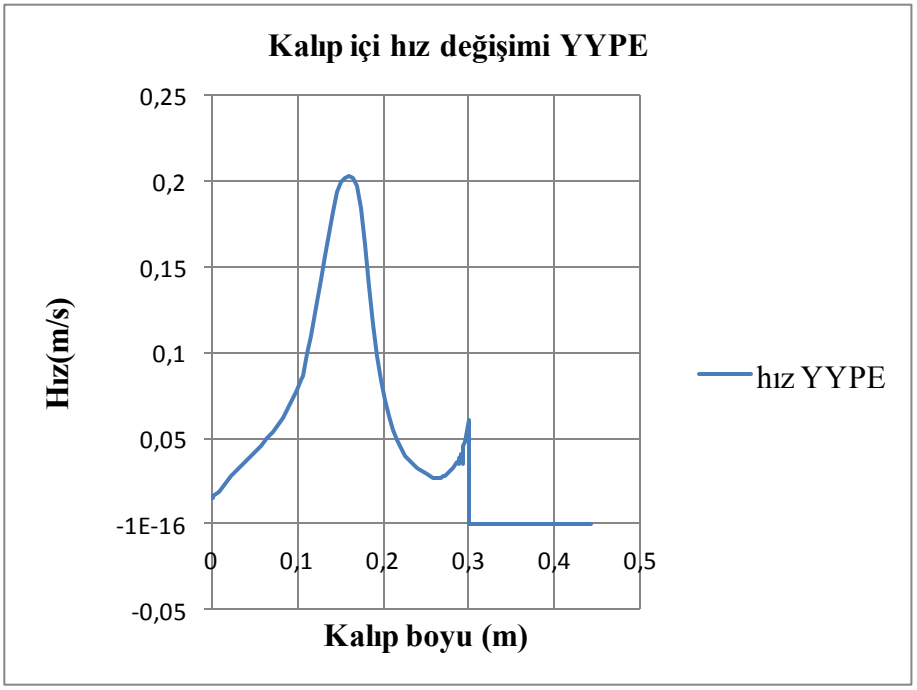
Şekil 4.7 Konik ara bağlantı parçası ve kalıbın işlem sırasındaki durumunu gösteren şekil

Bilgisayar ortamında yapılan analizlerde, kalıp içi sıcaklık ve basınç değişimleri her bir malzeme için gerçekleştirilmiş olup sonuçlar hem görsel hem de grafik olarak

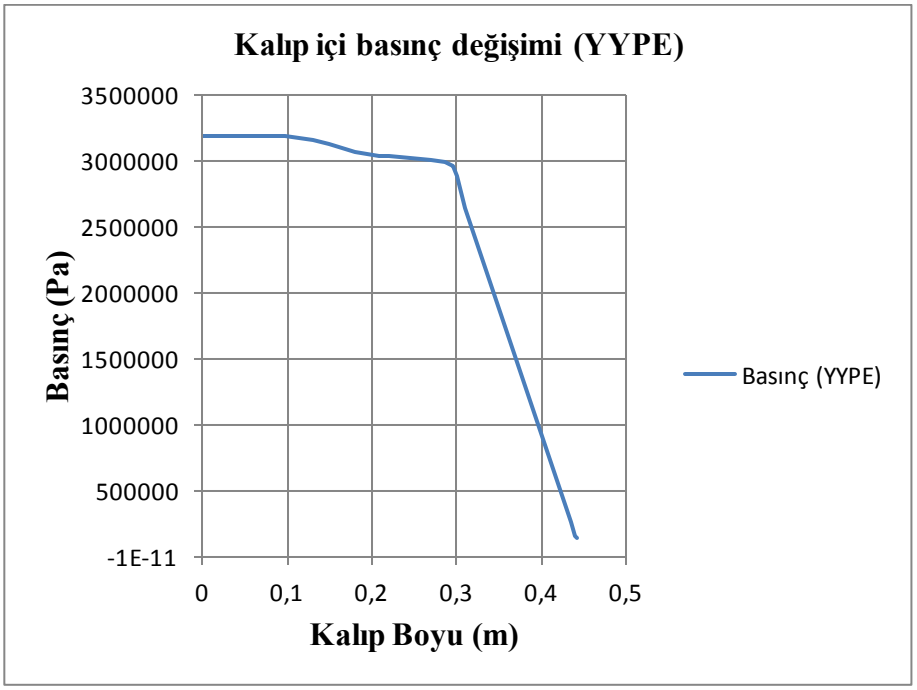
sunulmuştur. Malzemenin kalıp içerisindeki olası hareketi modellendikten sonra soğutma sisteminde gerekli düzenlemeler yapılmıştır.



Şekil 4.8 YYPE malzemenin kalıp içinde sıcaklık ve hareketini gösteren analiz sonucu



Şekil 4.9 Kalıp boyunca YYPE malzemenin hız değişimi



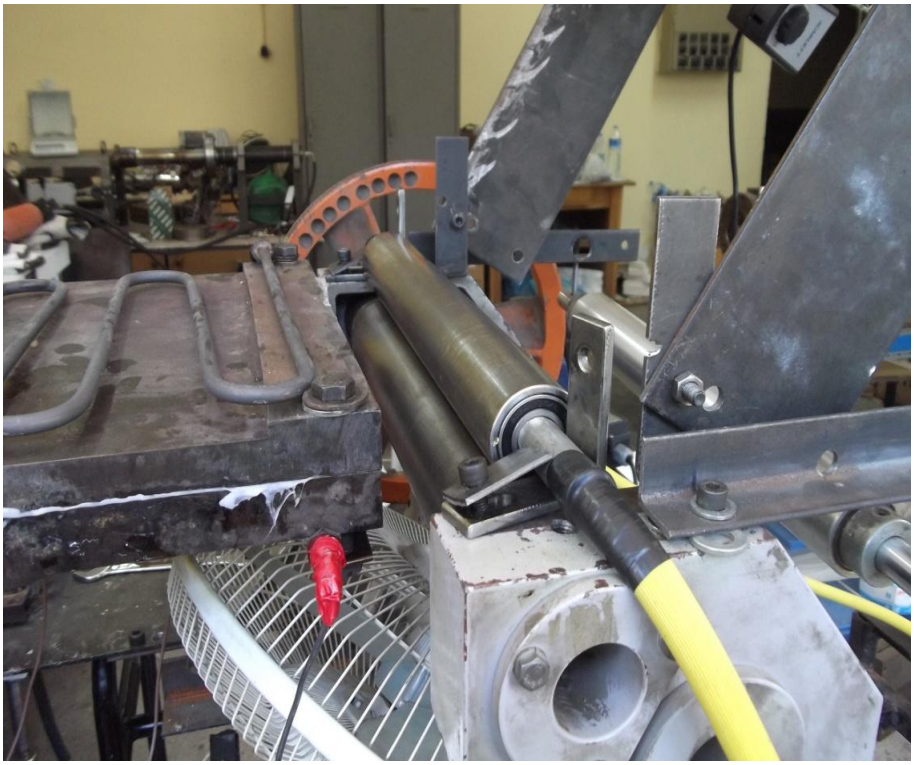
Şekil 4.10 Kalıp boyunca YYPE malzemenin basınç değişimi

4.5 Ekstrüzyon Sisteminde Yapılan Değişiklikler

Şekil 4.11'de görüldüğü üzere bundan önceki dönemden farklı olarak soğutma sisteminde bazı değişiklikler yapılmıştır. Kalıptan çıkan plastiğin silindirlerin arasından geçirilerek soğutulması yardımıyla son şeklin verildiği sistemde, öncelikle silindirler hava yardımıyla soğutularak ısının uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Fakat bu yolla yapılan işlemlerde silindirlerin yeterince soğutulamadığı ve çıkan ürün üzerinde hava akımı dolayısıyla çarpılmaların olduğu gözlemlendi. Tesisat suyu geçirilerek soğutulan silindirler eklenerek soğutmayla ilgili problemin aşılması sağlandı. Silindir içerisinden geçirilen soğutma suyunun akışına çeşitli faktörler etki eder. Silindir uzaklaştırılan ısının miktarı, plastik malzeme ile soğutma suyunun sıcaklık farklarıyla orantılı olarak gerçekleşir. Silindir içerisinde dolaşan ve ısınan su yerini daha soğuk ve taze suyla değişmedikçe kalıbın soğutulmasından söz edilemez. Bu sebeple soğutma suyunun devamlı bir akış halinde bulunması gerekir.

Ayrıca silindirlerin hareketini sağlayan kasnak düzeni değiştirilerek işlenen plastiğin kalıptan çıkış hızına göre devir hızının kontrollü olarak değiştirilmesi sağlandı.

Bir doğru akım motoruyla hareket ettirilen soğutma silindirleri, potansiyometre yardımıyla çalışılan ürüne göre hızda dönmesi sağlanmıştır. 1750 d/dak' lık devir hızı 2 d/dak'ya kadar düşürülebilmektedir.



Şekil 4.11 İçinden tesisat suyu geçirilen silindirler

4.6 Ekstrüzyon Makinesinde Takviyeli Levha Üretiminin Gerçekleştirilmesi

Takviye elemanı kullanılarak elde edilen plastik esaslı kompozit malzemelerin ekstrüzyon işlemi ile elde edilmesinde saf haldeki plastiğin işlenmesinde geçerli parametreler önemli değişiklikler göstermektedir. Sıcaklık ele alınırsa kullanılan takviyeye bağlı olarak değişkenlik gösterse de ihtiyaç olan sıcaklığı arttırdığı gözlemlenmiştir. Ergimiş saf plastiğin viskozitesine göre plastik matrisli kompozitlerde genelde viskozite artışı olmaktadır. İşlem için gerekli basınç ta saf plastiklerinkine oranla fazladır.

Saf plastiğin mekanik ve ısısal davranışlarını bilerek takviye elemanı ilave edildikten sonra ne tür değişikler yapılması gerektiği teorik olarak hesaplanabilir. Kayıplar ve ortam şartları da göz önüne alınarak, ekstrüzyon makinesinde gerekli ayarlamalar termoplastik esaslı kompozit üretiminde de yapılabilir.

Malzeme	Üretici Firma	Yoğunluk (ASTM D792)	MFI (g/10min) (ASTM D 1238)	Erime Sıcaklığı (^{0}C) (ASTM D 3418)	Vicat Yumuşama Sıcaklığı (^{0}C)	Çekme Dayanımı (MPa) (ASTM D638)	Su Emme (%) (ASTM D 570)
Polipropilen (S.R.L)	ROM Petrol Petrochemicals	0.90	20	165	132	32	<0.010
Yüksek Yoğunluklu Polietilen (EL-LENE)	SCG Chemicals	0.962	18	134	121	28	<0.010

Malzeme	Üretici Firma	Boyut Ölçüleri	Yoğunluk (gr/cm^3)	Çekme Dayanımı (MPa)	Ergime Sıcaklığı (^{0}C)	Ek Açıklamalar
Cam Elyaf	Cam Elyaf A.Ş.	Çapı: 10,5 µm Boyu: 4,5 mm	2,54	3450	1725	0,6 % Silan bağlayıcı içermektedir.
Karbon Elyaf	DOWAKSA	Uzun Elyaf Çap: 8 µm	1,78	4200	4000	
Cam Kürecik	Plasto Ltd. Şti.	0,25-4 mm arası	0,9-0,32	2.8 (ezilme)	700	

Mevcut ekstrüzyon sisteminde bahsi geçen değişiklikler yapıldıktan sonra takviyesiz PP ve PE (YYPE) plastik hammadde kullanılarak levha üretimi gerçekleştirildi. Yine bu hammaddeler kullanılarak ağırlıkça çeşitli oranlarda cam elyaf ve karbon elyaf takviye edilerek levha üretimine devam edildi. Bu işlemler gerçekleştirilirken her ürüne ait ekstrüzyon parametreleri kayıt altına alındı. Bunlar arasında sıcaklıklar, mil devir hızları, soğuma hızı gibi parametreler bulunmaktadır.

Tablo 4.2 Ekstrüzyon işlemi için malzeme çeşidine bağlı kovan ve kalıp sıcaklıkları

Malzeme	Sıcaklık (°C)							
	I. Bölge	II. Bölge	III. Bölge	IV. Bölge	Kalıp	Soğutma Ünitesi	Ekstrüzyon Makinesi Devir Sayısı (d/dak)	Soğutma Ünitesi Devir Sayısı (d/dak)
PP10CE	150	170	180	180	190	12	40	5
PP20CE	150	170	190	200	200	10	40	4
PP30CE	170	180	200	210	210	8	40	2.5
PP10KE	160	170	180	190	190	10	40	6
PP20KE	170	180	200	200	200	10	40	4
PP30KE	170	180	200	220	220	6	40	3.5
YYPE10CE	150	160	180	180	180	10	60	7
YYPE20CE	150	170	190	190	190	10	60	5
YYPE30CE	160	190	190	200	200	8	60	4
YYPE10KE	150	180	180	190	190	10	60	6
YYPE20KE	160	180	190	190	200	10	60	4.5
YYPE30KE	160	190	200	200	200	6	60	3

PP: Polipropilen, CE: Cam Elyaf, KE: Karbon Elyaf, YYPE: Yüksek Yoğunluklu Polietilen

Ürünün ekstrüderde işlenmesinden sonra şekil verme işlemi kalıp ve soğutma sistemiyle devam etmektedir. Yukarıdaki tabloda verilen sıcaklık ayarlarıyla beraber kalıba ait sıcaklık ayarları da farklılık göstermektedir. İşlenen malzemeye ve kalıptan çıkış hızına bağlı olarak kalıp sıcaklığı da değişiklik gösterir. Ekstrüzyon işleminde öncelikle kullanılacak malzeme tartımı yapılmaktadır. Tartımlar metler toledo marka hassas terazide yapıldı. Eğer takviye kullanılacaksa dikkatlice oranlaması yapılarak harmanlanmış karışım ekstrüdere konulur.



Şekil 4.12 Besleme yapılan bölüm

Daha sonra makinenin ısıtıcıları kademelere göre devreye sokulur. Mevcut ekstrüderde PE ve PP malzeme için takviyeli/takviyesiz durumuna bağlı olarak bir ön ergime süresi belirlenir. Örneğin saf haldeki PP için bu süre 40 dakika iken YYPE için

60 dakikadır. İşlem başladıktan sonra ürünün kalıptan çıkış hızına bakarak potansiyometre yardımıyla soğutucu silindirlerin devir hızı ayarlanır. Saf YYPE için bu devir 3 devir/dakika iken % 15 cam elyaf takviyeli YYPE için 1.25 devir/dakika olabilmektedir. Şekil 4.13'te ekstrüzyon işlemi sırasındaki soğutma silindirlerinden geçen YYPE levha görülmektedir.



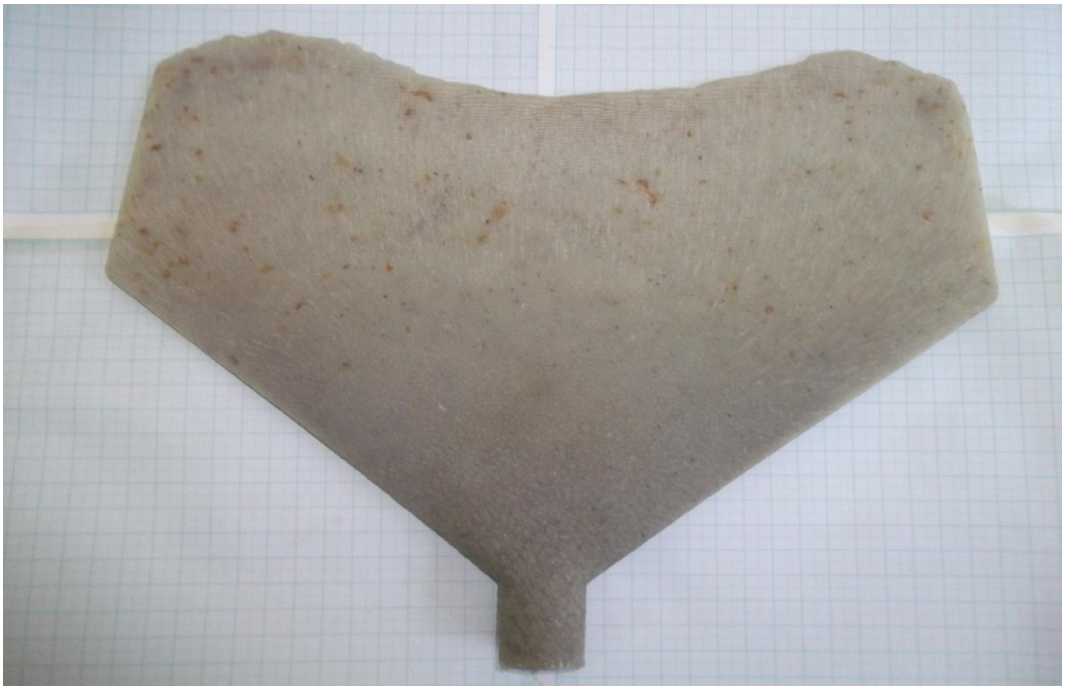
Şekil 4.13 Soğutma silindirlerinin arasından geçen YYPE levha

Şekil 4.14'te ekstrüzyon işlemine başlarken oluşan malzeme sarfiyatı ve hatalı ürünlere ait resim görülmektedir. Oluşan bu sarfiyat üretim yapan işletmelerde de görülmektedir. Bunun başlıca sebebi uygun sıcaklık ve soğutma parametrelerini ve ölçümleme işleminin ayarlanması sırasında çıkan ürünlerdeki bozulmalardır. Sistem sabit işlem konumuna geçene kadar çıkan malzeme kesilip sarfiyat olarak değerlendirilmektedir. Bu ürünler daha sonra geri dönüşüme gönderilmek üzere depolanmaktadır. Kırma işlemi yapılarak geri dönüşüme kazandırılan bu ürünler derecelendirilerek kullanılabilmektedir.

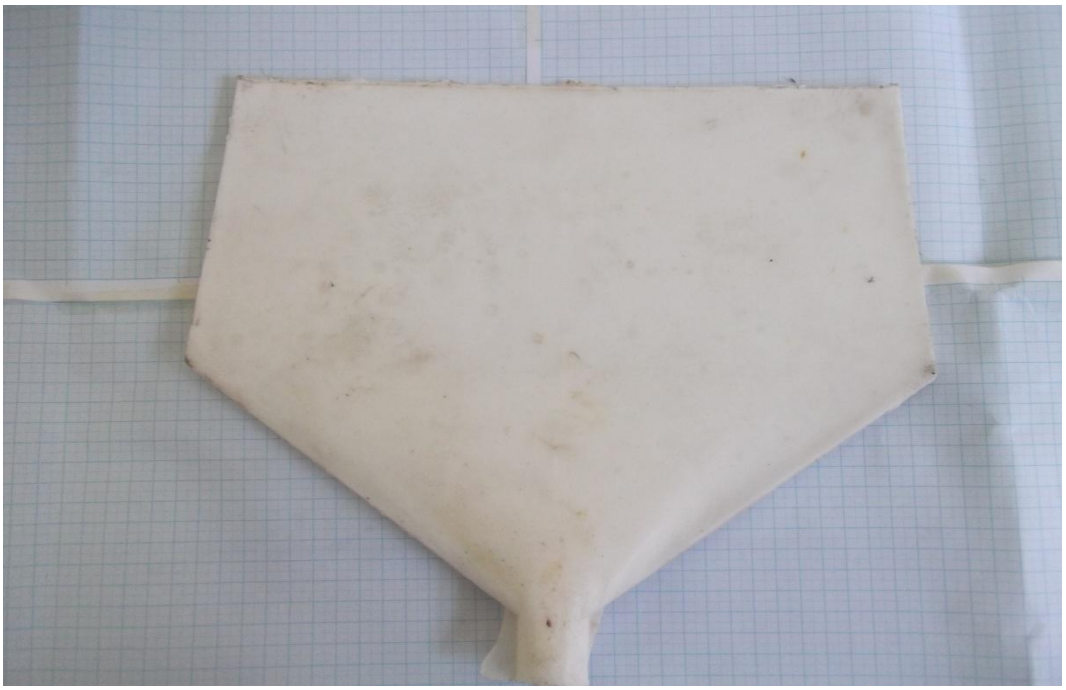


Şekil 4.14 Ekstrüzyon başlangıcında kaybedilen bozulmuş levha ürünler

Takviyeli ergimiş plastiğin akışı kovan içinde başlar, helezon şeklindeki mil ergimiş malzemenin hem karışmasını hem kalıba doğru ötelenmesini sağlar. Kovandaki hareketi çıkıştaki konik bağlantı parçasına kadar düzensiz olan malzeme konik parçada daha düzenli bir hız alanına geçer. Artan basınç etkisiyle kalıp girişindeki delikten kalıbın iç yüzeyindeki forma doğru genişleyerek çıkar. Kalıp tasarımı itibariyle takviye malzemesi düz kalıba nazaran daha homojen dağılacak şekilde yayılır. Farklı takviyeler içeren ve kalıp içindeki hareketi gösteren donmuş plastiklere ait örnekler aşağıda şekil 4.15 ve 4.16'da sunulmaktadır.

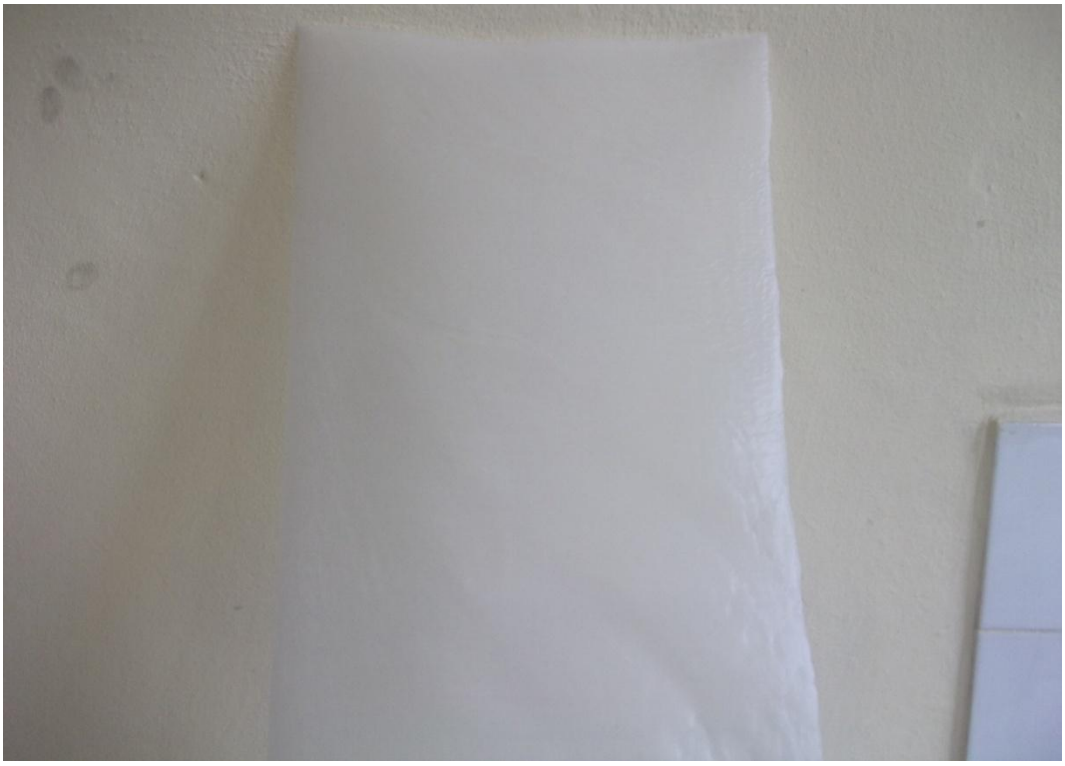


Şekil 4.15 30% karbon elyaf takviyeli PP levhanın kalıp içindeki donmuş hali



Şekil 4.16 Takviyesiz YYPE malzemenin kalıp içinde donmuş hali

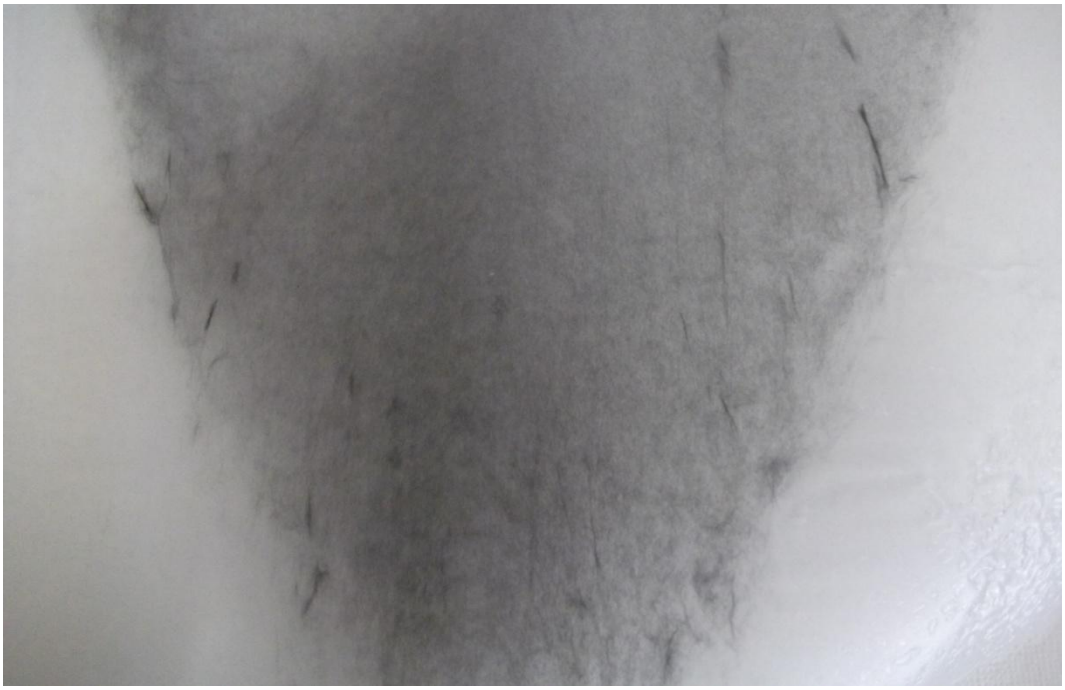
Şekil 4.17'te ekstrüderde üretilen saf YYPE levha ait örnek görülmektedir. Şekil 4.18'de ise ağırlıkça 10% cam elyaf takviyeli YYPE, Şekil 4.19 ve 4.20'de 30% karbon elyaf takviyeli PP malzemeler görülmektedir. Ürünler dikkatlice incelendiğinde elyafların dağılımı ve ergimiş takviyeli plastiğin akışına ait karakteristik davranışlar gözlemlenebilir. Cam elyaf takviyeli levhada takviye dağılımı homojene davranış gösterirken, elyafların ekstrüzyon yönüne göre yönlenmesi ve birikim (yığılma) miktarı fazla olmamaktadır. Kullanılan cam elyafların demet (1 demet= 1200 adet) şeklinde olması ve yüzeyinin silan kaplı olması ekstrüzyon işlemi sırasında dağılmasını engellerken bulundukları konumda yarattıkları mekanik özellik değişimi ileri ki bölümlerde sunulacaktır. Karbon takviyeli levha incelendiğinde cam elyafa göre ekstrüzyon yönlenmesi daha fazla olmaktadır. Bununla beraber elyaf dağılımı daha homojen olmakta fakat birikim (yığılma) daha fazla görülmektedir.



Şekil 4.17 Takviyesiz YYPE levha



Şekil 4.18 10% cam elyaf takviyeli YYPE levha



Şekil 4.19 30% karbon elyaf takviyeli PP levha içindeki akış ve yığılmalar



Şekil 4.20 30% karbon elyaf takviyeli levha yüzeyi

4.7 Numunelerin Elde Edilmesi

Ekstrüzyon sürekli bir işlemdir. Elde edilen ürünler kalıptan çıktıktan sonra istenilen ebatlarda kesilerek boyutlandırılır. Elde edilecek levhalardan yapılacak mekanik testin standartları doğrultusunda numuneler kesme kalıbı yardımıyla çıkarılmaktadır. ASTM D638 ve ISO 527 tip kesme kalıpları mevcut olup kesme işlemleri hidrolik pres (ALŞA marka) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Gardner darbe testi ve üç nokta eğme deneyleri için sırasıyla ASTM D 5420 ve ASTM D 7264 standartlarına göre talaşlı yöntemle numuneler çıkarılmıştır. Aşağıdaki resim 4.21'de numune çıkarma işlemi sırasında kullanılan kesme kalıpları görülmektedir. Levhanın ekstrüzyon yönü dikkate alınarak dik, paralel ve 45^0 açılı olmak üzere numuneler çıkarılmıştır.



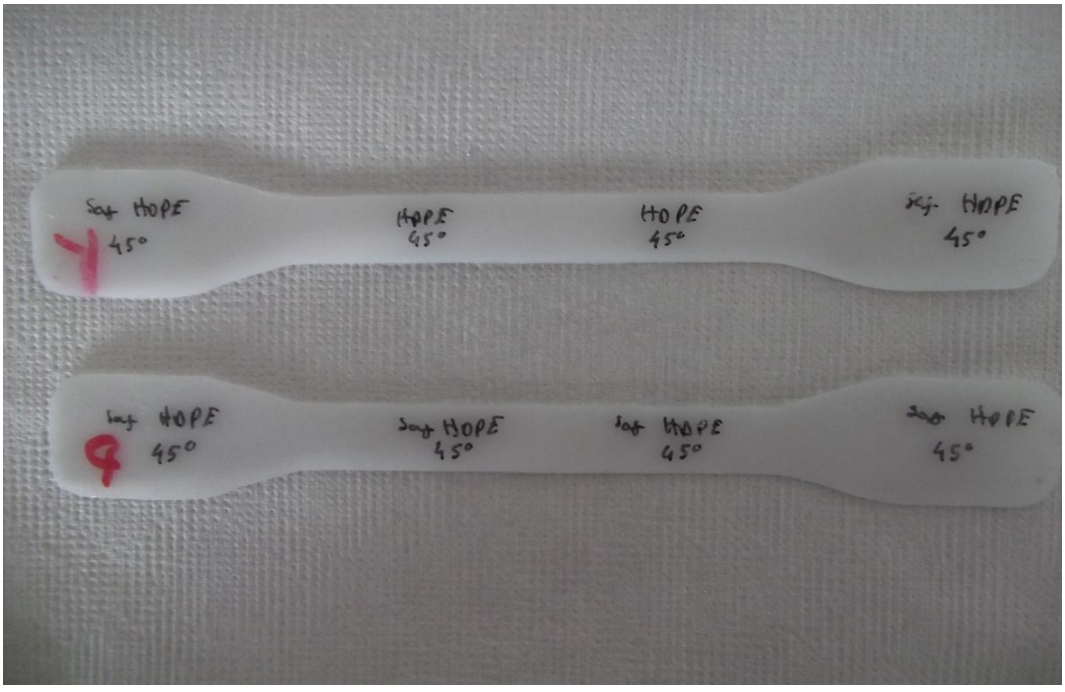
Şekil 4.21 ASTM D 638 Standardına uygun numune kesme kalıpları



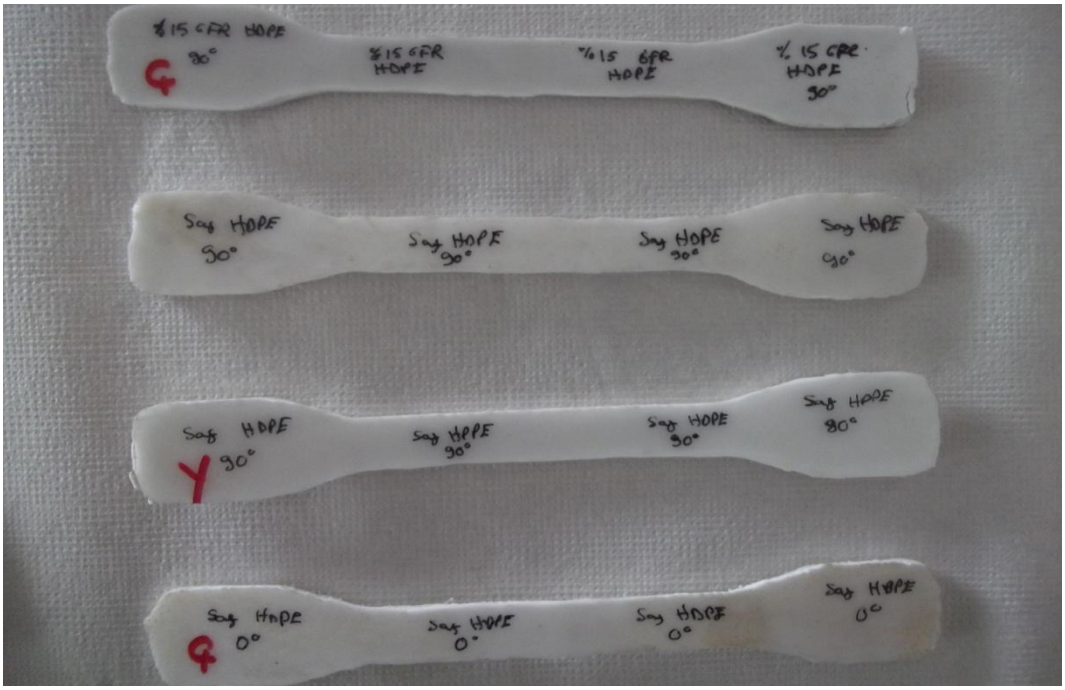
Şekil 4.22 Takviyesiz PP levhadan çıkarılmış numuneler



Şekil 4.23 20% karbon elyaf takviyeli PP levhadan çıkarılmış numuneler



Şekil 4.24 YYPE levhadan çıkarılmış numuneler



Şekil 4.25 Ekstrüzyonla üretilmiş YYPE malzemeler

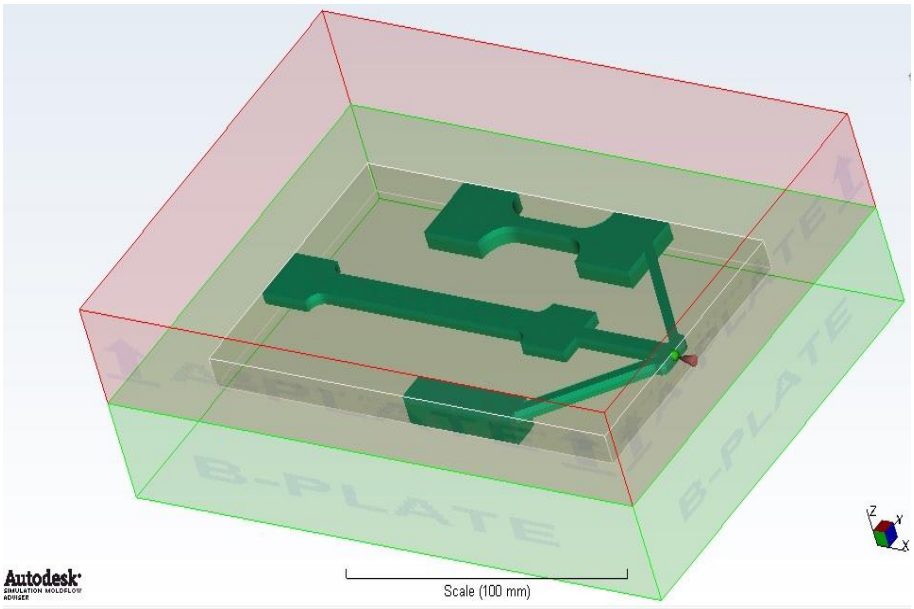
BÖLÜM 5

TERMOPLASTİK ESASLI KOMPOZİTLERİN TÜP ENJEKSİYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLMESİ

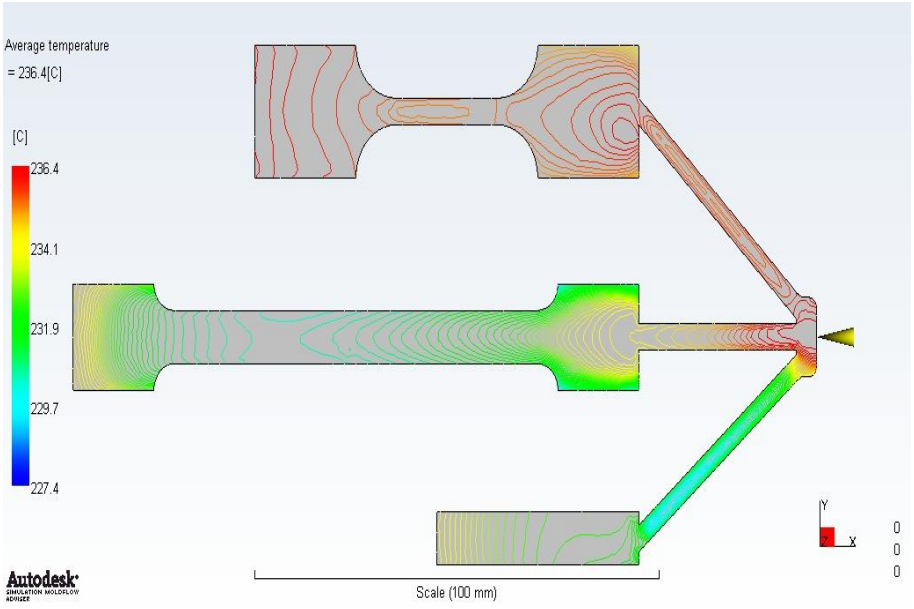
Ekstrüzyon işleminde olduğu gibi enjeksiyon yönteminde de üretimle ilgili sıcaklık, basınç ve soğuma zamanı gibi parametrelerin belirlenmesinde literatürün yanında bilgisayar destekli mühendislik (Autodesk Moldflow) programından yararlanılmıştır. Tüm sistem modellenip, her bir kompozit malzeme için analiz edilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi yapısal problem çözümünde farklı bir yaklaşım sunar. Başlangıçta isotropik malzemeler için geliştirilmiş ve herhangi bir paket programın malzeme kütüphanesinde istediğiniz özellikteki örneğe ulaşabiliyordu. Fakat kompozit malzeme kavramı farklı eleman formülasyonları gereklidir ve anisotropi ya da orthotropinin tanımlanmasına ihtiyaç duyar [41].

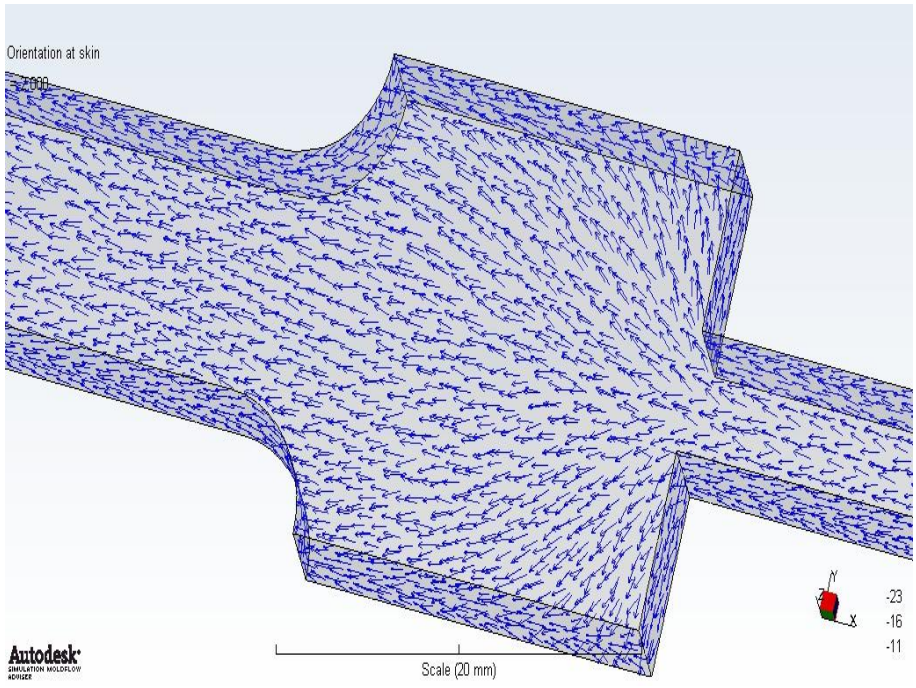
Analiz sonuçlarına göre kalıp ve yolluklar üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Enjeksiyon için kullanılan bilgisayar destekli mühendislik programında farklı olarak ürünün son şeklinden kalıba doğru giden bir tersine mühendislik modellemesi mevcuttur. Üretilmek istenen malzeme son şekliyle tasarlanıp malzeme özellikleri girilir. İlk analiz en uygun enjeksiyon noktasının bulunmasıyla ilgilidir. Daha sonra yapılan analizler kalıp dolum zamanı ve diğer dolum esasları ile ilgilidir. Takviyeli malzeme seçiminde ise malzemenin dağılım biçimini gösteren analiz programı üretime geçmeden bir öngörü elde etmeyi sağlamaktadır.



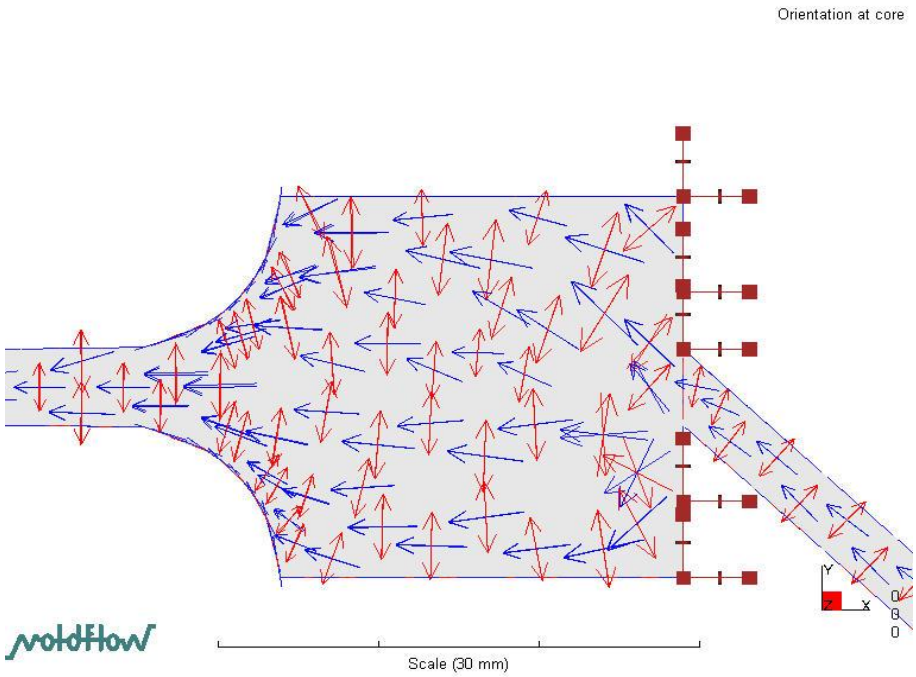
Şekil 5.1 Modelleme programında modellenmiş kalıp ve numuneler



Şekil 5.2 Kalıp içinde enjeksiyon sırasında sıcaklık dağılımı



Şekil 5.3 30% cam elyaf takviyeli PP malzemede yüzeydeki elyaf dağılımı simülasyonundan bir kesit



Şekil 5.4 30% cam elyaf takviyeli PP malzemede çekirdekteki elyaf dağılımı (kırmızı) ve plastik akışına (mavi) dair simülasyondan bir kesit

Tüp enjeksiyon yönteminde kovan dışında harmanlanan kompozit malzeme karışımı kovan içine konularak ısıtılmaya başlanır. Ergime süresinin ana malzeme ve takviye cinsine göre değiştiği yöntemde ergime tamamlanınca ergimiş karışım hidrolik piston aracılığıyla kalıba doğru itilir. Soğuma tamamlanınca da malzeme kalıptan çıkarılır. Sisteme ait resim aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Kalıp bağlanmış olan tüp enjeksiyon ünitesi

Farklı standartlara ait test numunelerinin boşluklarını içeren kalıp işlemin sonlandığı yer olup kalıptan çıkan ürün istenilen son şekle sahiptir. 350 bar basınca ulaşan sistemde sıcaklık 300^0C'ye kadar olup, soğuma su yardımıyla yapılmaktadır. Malzemeye göre farklılık gösteren soğuma hızı son ürünün şeklini de etkilemektedir. Amorf polimerlerde enjeksiyon sonrası basınç altında sıcak durma süresi kısa olup, uzun soğuma süreleri tercih edilmelidir. Kalıp boşluğu tam anlamına dolduktan sonra, polimer molekülleri kristalleşmeye başlar. Molekül zincirleri halinde katılaşarak yüksek bir yoğunluk kazanırlar. Bu katılaşma elbette ki dışarıdan içeriye doğru gerçekleşir. İşte bu aşamada sıcak tutma süresi kısa olursa mikro ölçekli olmak üzere boşluklar oluşur [40]. Çekme, yorulma ve üç nokta eğme gibi deney numunelerini üretmede kullanılan kalıplar aşağıdaki resimlerde sunulmuştur.



Şekil 5.6 ISO 527 standardına göre hazırlanmış kalıp



Şekil 5.7 ASTM D 790 ve ASTM D 638 standardına göre hazırlanmış kalıp

Enjeksiyon üretiminde daha önce verilen malzeme listesine ek olarak doğal takviye elemanları da kullanılmıştır. Siyah pirinç kabuğu, çam ağacı lifi ve ceviz kabuğu tozu olan doğal takviye elemanları kompozit üretimi için kullanılmadan önce bir dizi fiziksel özellik tayinine tabi tutulmuşlardır.

5.1 Kompozit Üretiminde Kullanılan Doğal Elyafların Kimyasal Bileşiminin Saptanması Ve Üretime Hazırlanması

5.1.1 Kuru Madde (Nem) Analizi

Her madde su ve kuru madde olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Ortamdan su uzaklaştırıldığında kuru madde kalmaktadır, kuru madde analizinin temel prensibi de bu ilkeye dayanmaktadır.

Deneyin Yapılışı:

Örneklerin kuru madde analizi AACC Metod No: 44-15A'ya göre yapılmıştır. Buna göre, kuru madde analizi için kullanılan cam petriler, üzerindeki safsızlıkları ve nemi uzaklaştırmak için 2-3 saat 103±2ºC' lik Ecocell 55- comport Marka etüvde sabit tartıma getirilmiştir. Oda sıcaklığına gelene kadar desikatörde 15-30 dakika bekletilmiştir. Oda sıcaklığına gelen petrilerin daraları Sartorius marka ED Serisi model hassas terazi ile virgülden sonra 4 hane olacak şekilde ölçülmüştür ve içerisine yaklaşık 3 g örnek tartılmıştır. Daha sonra örnek tartılmış petri kapları 103±2ºC' lik Ecocell 55- comport Marka etüve tekrar koyularak 3-4 saat örnekten nemin uzaklaşması için bekletilmiş ve süre sonunda kurutma işlemine son verilmiştir. Etüvden çıkarılan petriler desikatöre alınarak, oda sıcaklığına gelmesi için yarım saat beklenmiş ve hassas terazide tartım alınmıştır [42]. Her örnek için 2 paralelli analiz yürütülmüş, sonuçlar aşağıdaki eşitlikle hesaplanarak ortalama yüzde oranında verilmiştir.

Kuru Madde Miktarı= (Dara+ Örnek Miktarı) – Son Tartım

Kuru Madde Oranı, % = (Kuru Madde Miktarı X 100) / Örnek Miktarı

Nem Oranı, % = 100 – Kuru Madde Oranı

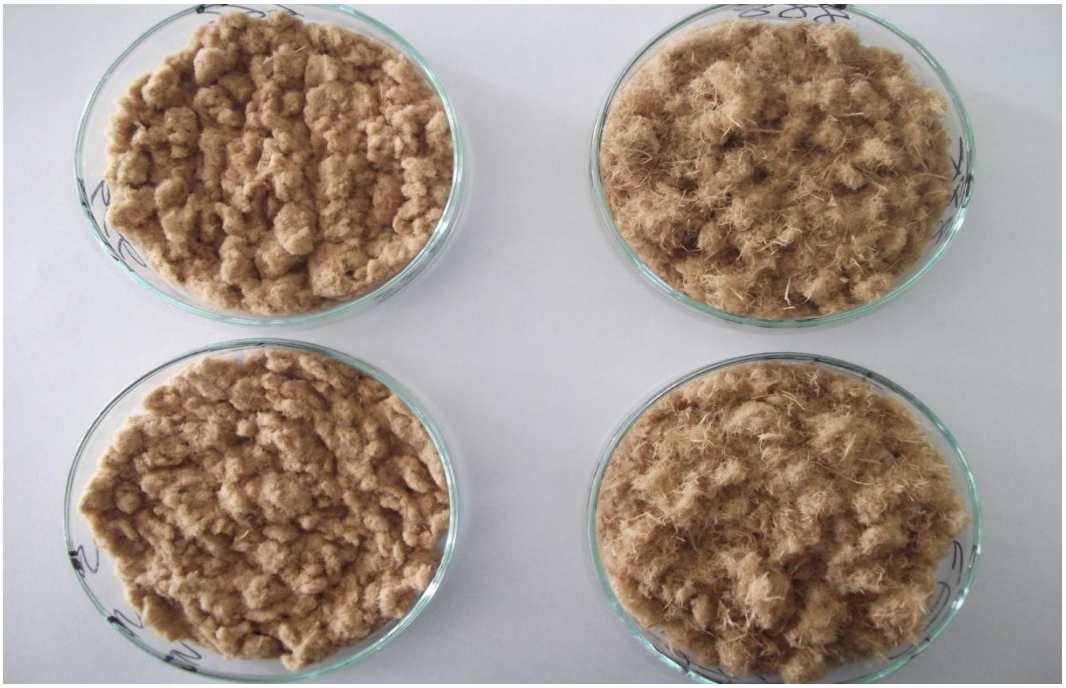
KURU MADDE ANALİZİ								
ÖRNEKLER		DARA	ÖRNEK MİKTARI	SON TARTIM	SONUÇ	% NEM	%NEM ORT	% KURU MADDE
Pirinç kabuğu	1. paralel	48,8204	3,0144	51,6641	0,1707	5,66	5,88	94,12
	2. paralel	49,068	3,0118	51,8960	0,1838	6,10		
Kurutulmuş pirinç kabuğu (200 °C de 1sa)	1. paralel	48,9884	3,0286	51,9768	0,0402	1,33	1,58	98,42
	2. paralel	50,972	3,0883	54,0036	0,0567	1,84		
Çam lifi	1. paralel	48,5318	3,0739	51,4470	0,1587	5,16	5,25	94,75
	2. paralel	49,7794	3,0062	52,6254	0,1602	5,33		
Ceviz kabuğu tozu	1. paralel	50,1971	3,0173	53,0130	0,2014	6,67	6,81	93,19
	2. paralel	51,293	3,0111	54,0950	0,2091	6,94		



Şekil 5.8 Etüvde 103±2ºC'de işlem gören numuneler



Şekil 5.9 200 ^{0}C'de nemi azaltılmış pirinç kabuğu (Altta) ve işlem görmemiş pirinç kabuğu



Şekil 5.10 Solda %10 tutkallı çam lifi ve tutkalsız çam lifi

5.1.2 Kül Analizi

Her organik madde yakılınca geride kül denen inorganik bir kalıntı bırakmaktadır. Bu kalıntı içinde yoğun olarak; sülfatlar, fosfatlar, oksitler, klorit ve silikatlar yanında en fazla K, Na, Ca ve Mg gibi elementler ve Fe, Cu, Zn, Mn, Al, As, I ve F gibi iz elementler bulunmaktadır.

Deneyin Yapılışı: Örneklerin kül miktarı AACC Metod No: 08-01'e göre belirlenmiştir. Kül analizi için özel üretilen porselen krozeler, üzerindeki safsızlıkları ve nemi uzaklaştırmak için 2-3 saat 103±2ºC' lik etüvde sabit tartıma getirilmiştir. Oda sıcaklığına gelene kadar desikatörde 15-30 dakika bekletilmiştir. Oda sıcaklığına gelen krozelerin daraları Sartorius marka ED Serisi model hassas terazi ile virgülden sonra 4 hane olacak şekilde ölçülmüş ve içerisine yaklaşık 1.5 g örnek tartılmıştır. Daha sonra Protherm PLF 120/7 Marka kül fırınında 600°C' de 3 saat, liflerin yanması için 900°C' de 2 saat yakılarak, yanma işlemi sonlandırılmıştır. Kül fırınından çıkarılan krozeler desikatöre alınarak, oda sıcaklığına gelmesi için yarım saat beklenmiş ve hassas terazide tartım alınmıştır [42]. Her örnek için 2 paralelli analiz yürütülmüş sonuçlar aşağıdaki eşitlikle hesaplanarak ortalama yüzde oranında verilmiştir.

KÜL ANALİZİ							
ÖRNEKLER		**DARA**	**ÖRNEK MİKTARI**	**SON TARTIM**	**KÜL MİKTARI**	**% KÜL**	**ORT**
Pirinç kabuğu	1. paralel	23,7241	1,5007	24,0596	1,1652	22,36	22,36
	2. paralel	25,518	1,5019	25,8539	1,166	22,36	
Kurutulmuş pirinç kabuğu (200 °C de 1h)	1. paralel	25,899	1,5021	26,2634	1,1377	24,26	24,18
	2. paralel	23,8005	1,5012	24,1623	1,1394	24,10	
Çam lifi	1. paralel	25,935	1,5002	25,9484	1,4868	0,89	0,88
	2. paralel	29,7885	1,5005	29,8015	1,4875	0,87	
Ceviz kabuğu tozu	1. paralel	23,8217	1,5012	23,8331	1,4898	0,76	0,82
	2. paralel	25,6642	1,5009	25,6774	1,4877	0,88	



Şekil 5.11 Kül fırınında kroze içindeki numuneler

Takviye olarak kullanılan Trakya bölgesi Keşan ilçesinden 2011 yılında hasat edilen pirinçlerden elde edilen kabuklar %5.88 nem ve % 22.36 kül içermektedir. Takviye olarak kullanılmadan önce Ecocell 55- comport marka etüvde 200 °C de 1h kurutulan pirinç kabukları %1.58 nem ve % 24.18 kül içermektedir. Takviye olarak kullanılan tutkalsız çam lifleri %5.25 nem ve %0.88 kül içerirken, %10 tutkallı çam lifleri % 6.81 nem ve %0.82 kül içermektedir.

Organik takviyelere 103 ^{0}C ± 2 ve etüv fırınında 24 saat nem alma yapılıp, daha sonra desikatörde bekletilmiştir. Bundan sonra enjeksiyon ünitesine ait malzeme cinsine bağlı parametreler aşağıda tablo 5.1 te sunulmuştur.

Tablo 5.1 Tüp enjeksiyon işlemi (300 bar) için malzeme çeşidine bağlı kovan ve kalıp sıcaklıkları

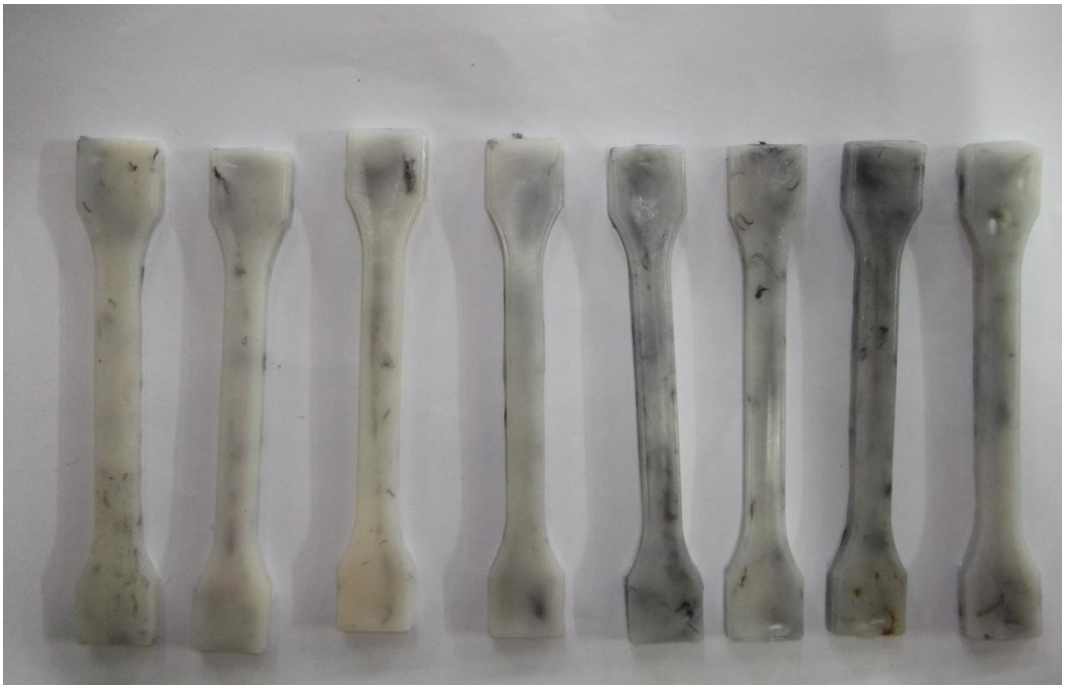
CE: Cam Elyaf, CKT: Ceviz Kabuğu Tozu, KE: Karbon Elyaf, CK: Cam Küre

Malzeme	Sıcaklık (°C)		Soğuma süresi (dk)	Malzeme	Sıcaklık (°C)		
	I. Bölge	Kalıp			I. Bölge	Kalıp	Soğuma süresi
PP10CE	180	180	10	PP10KE	185	185	15
PP20CE	190	190	10	PP20KE	195	195	15
PP30CE	210	210	10	PP30KE	210	210	15
YYPE10CE	170	170	15	YYPE10KE	175	175	20
YYPE20CE	170	170	15	YYPE20KE	180	180	20
YYPE30CE	190	190	15	YYPE30KE	190	190	20
PP10CKT	160	160	20	PP10CK	180	180	15
PP20CKT	165	165	20	PP20CK	180	180	15
PP30CKT	170	170	20	PP30CK	195	195	15
YYPE10CKT	165	165	25	YYPE10CK	170	170	20
YYPE20CKT	170	170	25	YYPE20CK	180	180	20
YYPE30CKT	175	175	25	YYPE30CK	180	180	20
PP10CL	170	170	20	YYPE10CL	165	165	25
PP20CL	175	175	20	YYPE20CL	165	165	25
PP30CL	175	175	20	YYPE30CL	175	175	25
PP10SPK	180	180	20	YYPE10SPK	170	170	25
PP20SPK	180	180	20	YYPE20SPK	180	180	25
PP30SPK	190	190	20	YYPE30SPK	180	180	25

Enjeksiyon kalıbının malzeme dolmuş ve soğuma işleminin tamamlanmış halini gösteren Şekil 5.12'de sunulmuştur. Uygulama 30% cam elyaf takviyesi içeren kompozit malzemedir. ASTM D 638, ISO 527, ASTM D 7264 gibi standart ölçülere sahip numuneler üretilmiştir. Soğuma sonrası kalıptan çıkarma işleminde sorun yaşanmaması için yağlama yapılmıştır. Pirinç kabuğu ve çam lifi içeren ürünlerde kalıp girişinde yaşanan problemler nedeniyle bu kompozitlerin üretimi basınçlı kalıplama yöntemiyle yapılmıştır. Cam elyaf, karbon elyaf, cam kürecik ve ceviz kabuğu tozu içeren kompozitlerin üretimi sorunsuz biçimde tamamlanmıştır. Örnekler aşağıdaki resimlerde sunulmaktadır.



Şekil 5.12 30% cam elyaf içeren PP malzeme



Şekil 5.13 20% karbon elyaf içeren YYPE numuneler



Şekil 5.14 Farklı takviye ve bileşen içeren PP numuneler



Şekil 5.15 ASTM D 790 standardına göre hazırlanmış 3 nokta eğme numuneleri



Şekil 5.16 ASTM D 638 tip 4 numuneler

BÖLÜM 6

BASINÇLI KALIPLAMA YÖNTEMİ İLE KOMPOZİT ÜRETİMİ

Bir önceki bölümde bahsi geçen doğal takviye malzemelerinin nem içeriği azaltılması zorunludur. Bu işlem yapılmazsa numunelerde neme bağlı gaz boşlukları ve sıvı birikmesi gibi hatalar ortaya çıkmaktadır. Göz ile muayenede tespit edilen bu hatalar bazen sadece mikroskobik incelemeyle tespit edilebilmektedir. Nem alma işlemi (24 saat 103 ^{0}C) tamamlandıktan sonra matris ile takviyelerin hassas tartımı yapılır. Ağırlıkça istenilen oranlar sağlandıktan sonra ya harmanlama işlemi yapılarak karışım sağlanır ya da matrisin üzerine serme işlemi yapılır. Üzerine serme işlemiyle yapılan kompozit karışımda ekstrüzyon prosesi örnek alınarak takviye dağılımı benzetmesi yapılabilir. Kalıp tamamen kapatıldıktan sonra ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Zaman ve sıcaklık düzenli kontrol edilerek istenilen seviyeye ulaşıldığında erimenin tam olarak gerçekleşmesi için beklenir. Basıncı kontrol ederek gerekliyse arttırılır. Böylelikle oluşacak kompozit levhada gaz sorunu kısmi olarak çözülebilir. Düşük basınçlı uygulamalarda numunelerin gaz gözeneği ve tam dolum olmaması gibi sorunlar içermesi daha sık görüldü. Tablo 6.1'de üretime ait işlem parametreleri sunulmuştur. Aşağıdaki şekil 6.1 ve 6.2'de düşük basınçla üretimde kullanılan kalıp örnekleri sunulmaktadır.

Tablo 6.1 Düşük basınçlı kalıplamada için malzeme çeşidine bağlı kalıp sıcaklıkları

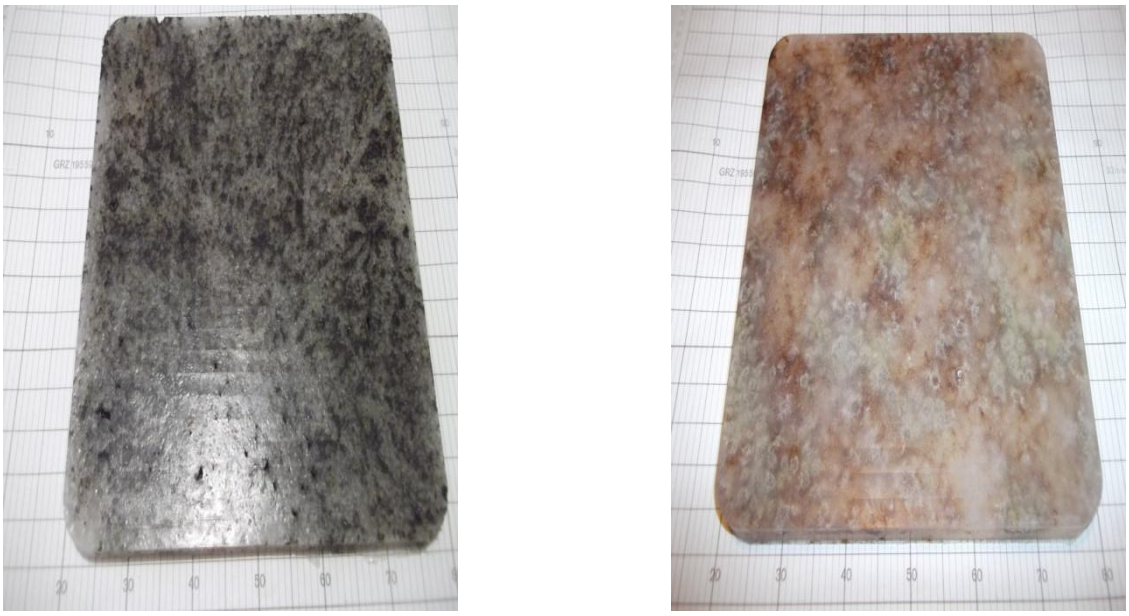
Malzeme	Kalıp sıc. (°C)	Soğ. süresi (dak)	Malzeme	Kalıp sıc. (°C)	Soğ. süresi (dak)
PP10CE	180	10	YYPE10CE	170	15
PP20CE	180	10	YYPE20CE	170	15
PP30CE	200	10	YYPE30CE	185	15
PP10KE	190	15	YYPE10KE	180	20
PP20KE	190	15	YYPE20KE	180	20
PP30KE	200	15	YYPE30KE	195	20
PP10CK	175	10	YYPE10CK	170	15
PP20CK	185	10	YYPE20CK	180	15
PP30CK	195	10	YYPE30CK	185	15
PP10CKT	165	20	YYPE10CKT	160	25
PP20CKT	170	20	YYPE20CKT	165	25
PP30CKT	170	20	YYPE30CKT	175	25
PP10ÇL	170	20	YYPE10ÇL	165	25
PP20ÇL	175	20	YYPE20ÇL	175	25
PP30ÇL	180	20	YYPE30ÇL	180	25
PP10SPK	180	20	YYPE10SPK	175	25
PP20SPK	180	20	YYPE20SPK	175	25
PP30SPK	190	20	YYPE30SPK	180	25



Şekil 6.1 160*160 mm ebatlarında kapanma gücü cıvatayla kontrol edilen alüminyum kalıp



Şekil 6.2 Sıcaklık kontrollü 300*300 mm ebatlarında çelik kalıp



Şekil 6.3 Alüminyum kalıpta üretilmiş, ağırlıkça 30% ceviz kabuğu tozu takviyeli PP malzeme (solda) ve ağırlıkça 30% çam lifi takviyeli PP malzeme (sağda)



Şekil 6.4 Alüminyum kalıpta üretilen, ağılıkça 20% karbon elyaf (solda) ve cam elyaf (sağda) içeren PP esaslı kompozit malzemeler



Şekil 6.5 Kurutma işlemine tabi tutulmayan 20% çam lifi (solda) ve çeltik kabuğu içeren, alüminyum kalıpta işlem görmüş PP esaslı kompozit malzemeler

Aşağıda 6.6, 6.7 ve 6.8 şekil numaralarıyla verilen şekillerde 300*300 mm ölçülerine sahip çelik kalıpta üretilmiş olan 20% karbon ve pirinç kabuğu içeren YYPE ile 20 cam elyaf içeren PP malzemeler gösterilmektedir.



Şekil 6.6 Ağırlıkça 20% karbon elyaf içeren YYPE esaslı kompozit malzeme



Şekil 6.7 Ağırlıkça 20% pirinç kabuğu içeren YYPE esaslı kompozit malzeme



Şekil 6.8 Ağırlıkça 20% cam elyaf içeren PP esaslı kompozit malzeme

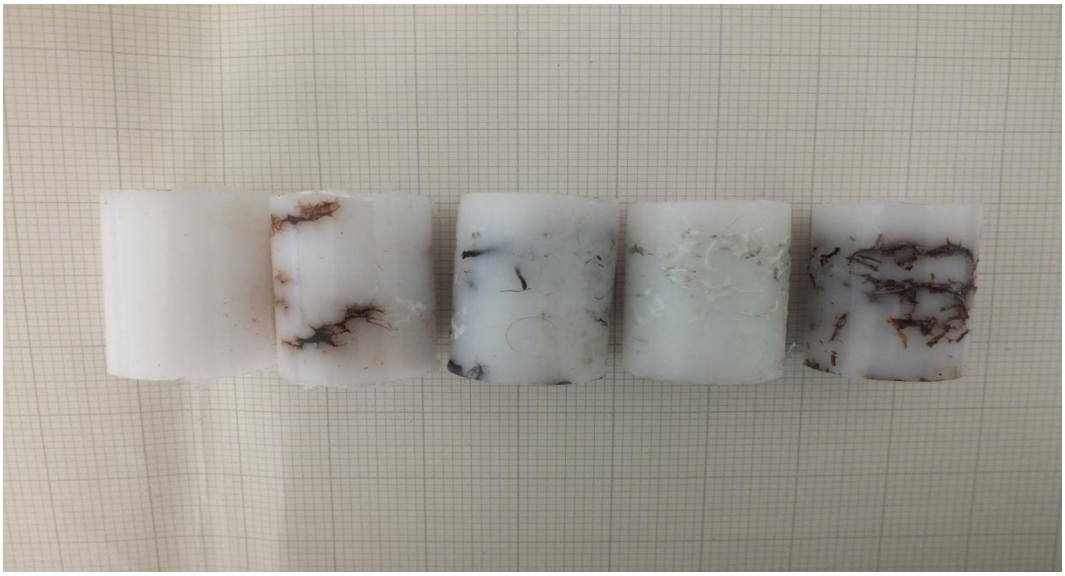
Yüksek basınçlı sistemlerde kapalı bir ortamda elde edilen yüksek basınç gazın ortamdan daha iyi uzaklaşmasını sağlar. Ayrıca ısı kontrolü daha iyi olmaktadır. Yüksek basınç uygulaması için METKON ve FUTURETECH marka kalıplama cihazları kullanılmıştır. 350 bar ve 180^0C, 190^0C ve 200^0C sıcaklıklarda ASTM D3410 standartlarında basma deneyi numunesi üretilmiştir. İşlem için kullanılan basınçlı kalıplama cihazı şekil 6.9'da işlem parametreleri tablo 6.2'de gösterilmiştir.



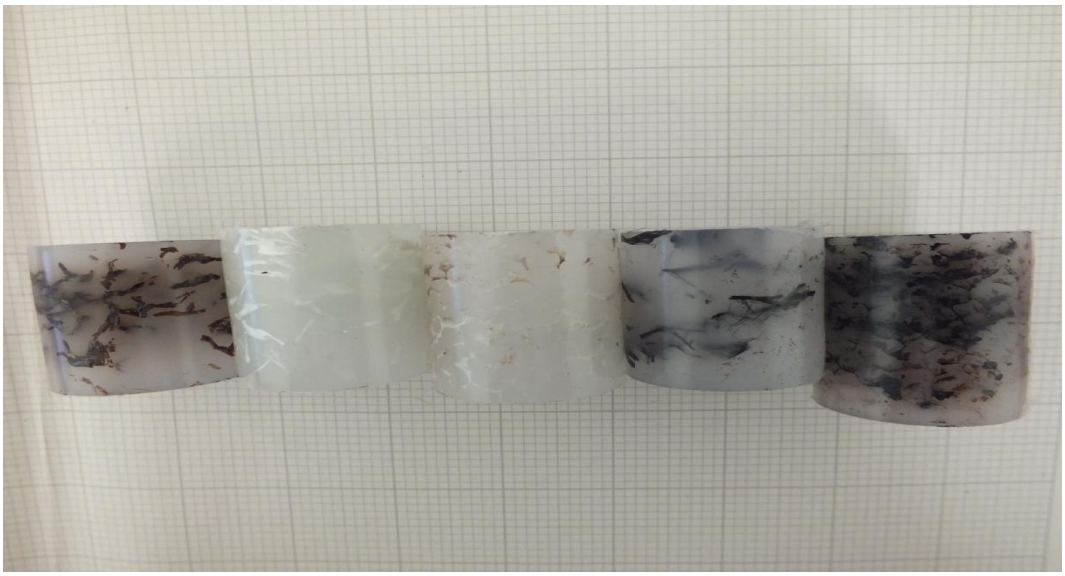
Şekil 6.9 Futuretech marka kalıplama cihazı

Tablo 6.2 350 bar basınçta üretilen numunelerin kalıp sıcaklığı ve soğuma süresi

Malzeme	**Kalıp sıc. (°C)**	**Soğ. süresi (dak)**	**Malzeme**	**Kalıp sıc. (°C)**	**Soğ. süresi (dak)**
PP10CE	180	10	YYPE10CE	170	15
PP20CE	180	10	YYPE20CE	170	15
PP30CE	190	10	YYPE30CE	190	15
PP10KE	190	10	YYPE10KE	180	15
PP20KE	190	10	YYPE20KE	180	15
PP30KE	200	10	YYPE30KE	200	15
PP10CK	170	10	YYPE10CK	175	15
PP20CK	175	10	YYPE20CK	185	15
PP30CK	185	10	YYPE30CK	195	15
PP10CKT	165	20	YYPE10CKT	160	25
PP20CKT	170	20	YYPE20CKT	170	25
PP30CKT	180	20	YYPE30CKT	175	25
PP10ÇL	160	20	YYPE10ÇL	170	25
PP20ÇL	170	20	YYPE20ÇL	180	25
PP30ÇL	180	20	YYPE30ÇL	185	25
PP10SPK	170	20	YYPE10SPK	180	25
PP20SPK	180	20	YYPE20SPK	185	25
PP30SPK	190	20	YYPE30SPK	195	25

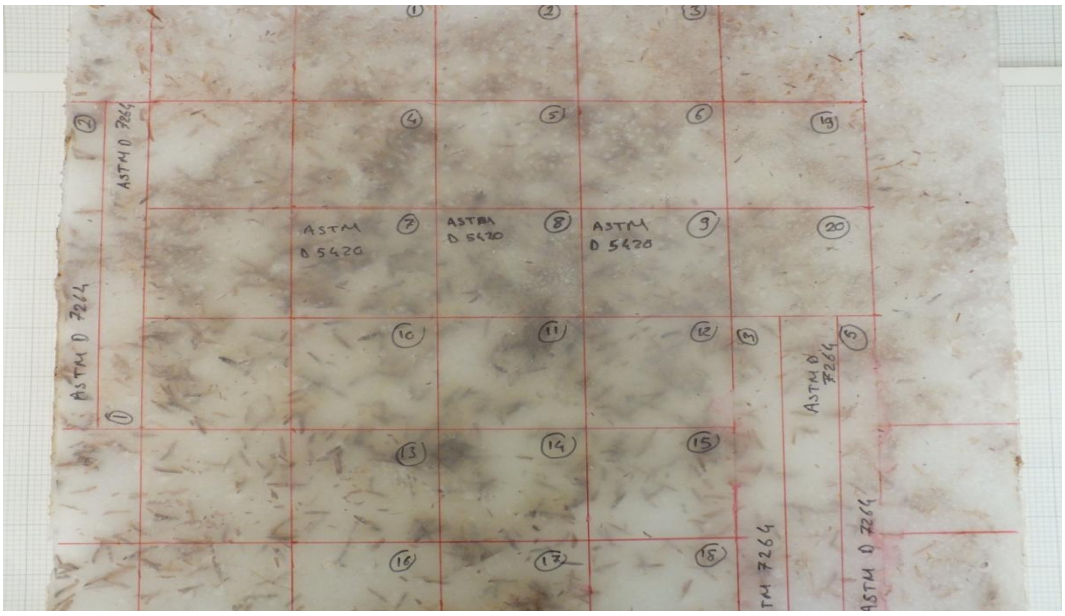


Şekil 6.10 YYPE ana malzemeli takviyeli kompozit malzemeler. Soldan sağa takviyesiz, çam lifi, karbon elyaf, cam elyaf ve pirinç kabuğu takviyeli YYPE

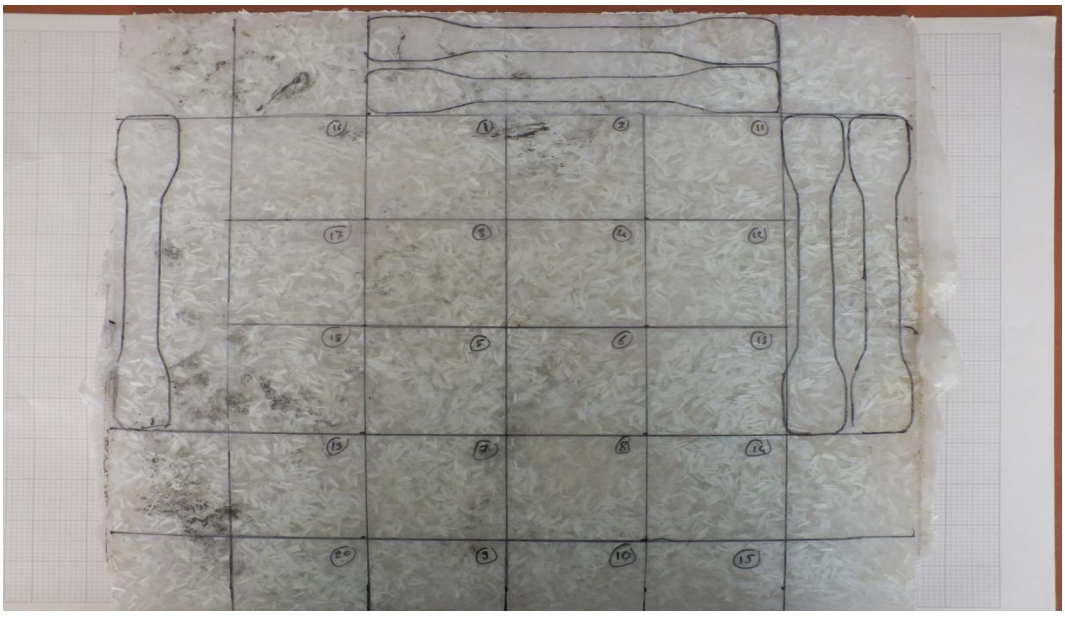


Şekil 6.11 Soldan sağa çam lifi, cam elyaf, cam kürecik, karbon elyaf ve ceviz kabuğu tozu takviyeli PP malzemeler

Üretilen kompozit levhalardan testler için talaşlı işleme ve standart kesme kalıplarıyla numuneler çıkarılmıştır. Şekil 6.12 ve 6.13 te numuneler çıkarılmadan önce yapılan işaretlemeleri içeren kompozit levhalar gösterilmektedir.



Şekil 6.12 ASTM D 5420 ve ASTM D 7264 standardına göre işaretlenmiş levhalar



Şekil 6.13 ASTM D 5420 ve ISO 527'ye göre kesim için işaretlenmiş kompozit levhalar

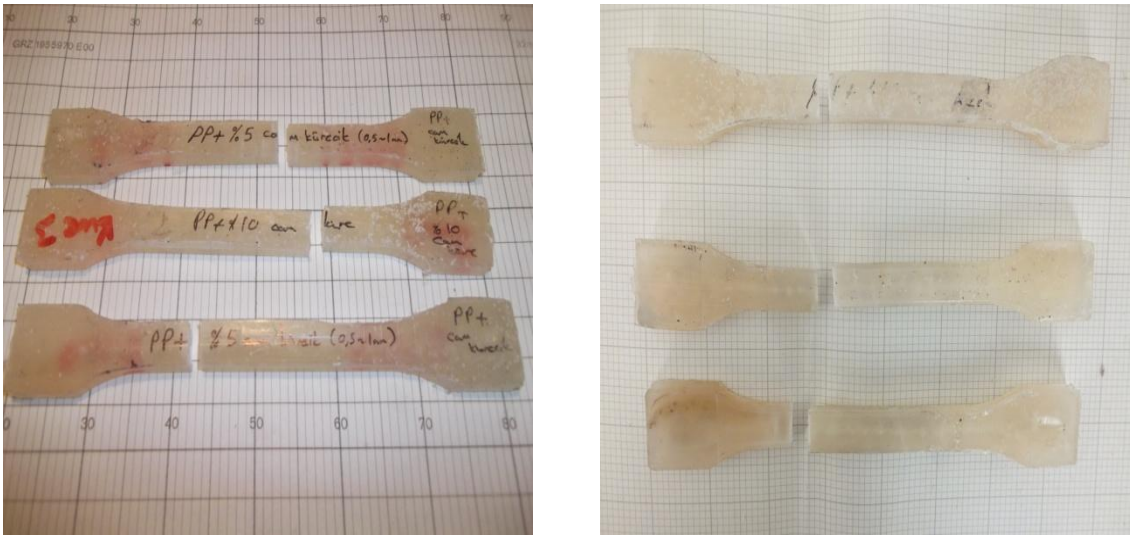
BÖLÜM 7

ÜRETİLEN KOMPOZİT MALZEMELERE TESTLERİN UYGULANMASI

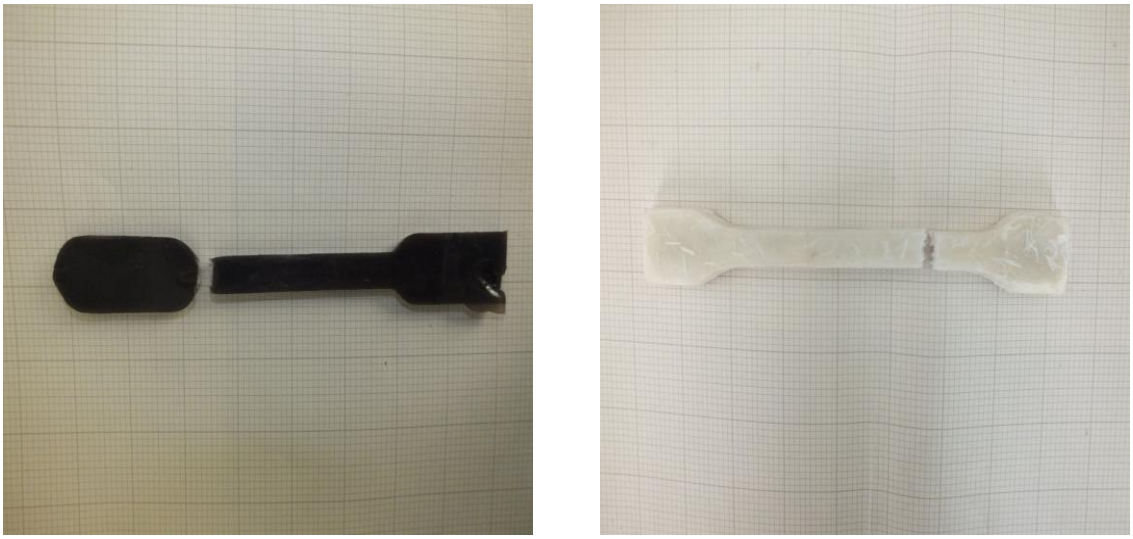
7.1 Çekme Testi (ASTM D 638 ve ISO 527)

Çekme testi, bir malzemenin tek eksen boyunca çekme kuvvetine maruz bırakılarak koparılmasıyla son bulan temel mekanik deneylerden biridir. Akma dayanımı, çekme dayanımı ve uzama gibi malzemeye özgü değerler elde edilebilmektedir.

Çalışma kapsamında ekstrüzyon yöntemiyle elde edilmiş levhalardan kesme kalıbı yardımıyla ASTM D 638 tip 4 boyutlarında numuneler çıkarılmıştır. 3'er adet numunenin ortalaması alınarak tablolar oluşturulmuştur. Enjeksiyon yönteminde kalıp şekli ISO 527 standardına uygun olup, sıcak kalıplama yardımıyla elde edilen levhalardan yine kesme kalıbıyla numuneler çıkarılmıştır. Instron 8501 cinsi çekme testi cihazıyla numunelere çekme testi uygulanmıştır. 5 mm/dak çekme hızıyla gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Instron firmasına ait yazılım yardımıyla grafik ve rapor dosyası şeklinde elde edilmiştir. Şekil 7.1 ve 7.2'de enjeksiyon yöntemiyle üretilmiş olup çekme testine tabi tutulan örnek numuneler sunulmaktadır. Çekme sonuçları tablo ve grafik şeklinde sonuçlar bölümünde sunulmuştur.

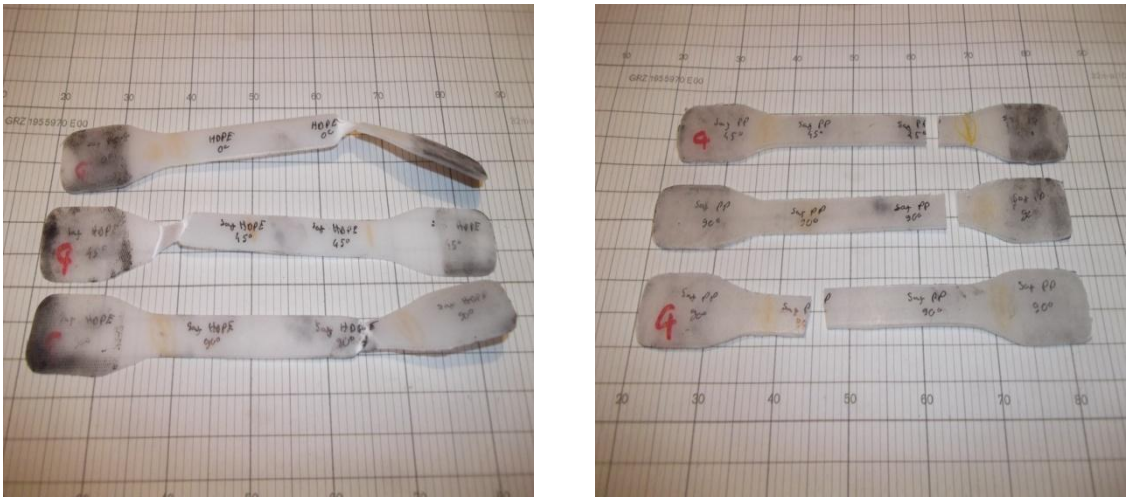


Şekil 7.1 10% cam kürecik (solda) ve 10% cam elyaf (sağda) takviyeli PP



Şekil 7.2 20% ceviz kabuğu tozu (solda) ve 20% cam elyaf (sağda) takviyeli YYPE

Ekstrüzyon işlemi sonucu elde edilen numunelerde çekme testi sonrası görüntülerine örnekler aşağıda şekil 7.3 ve 7.4'te gösterilmiştir.



Şekil 7.3 Ekstrüzyon ile üretilmiş takviyesiz PP ve YYPE



Şekil 7.4 20% karbon elyaf takviyeli PP kompozit malzemeler

7.2 Basma Testi (ASTM D 3410)

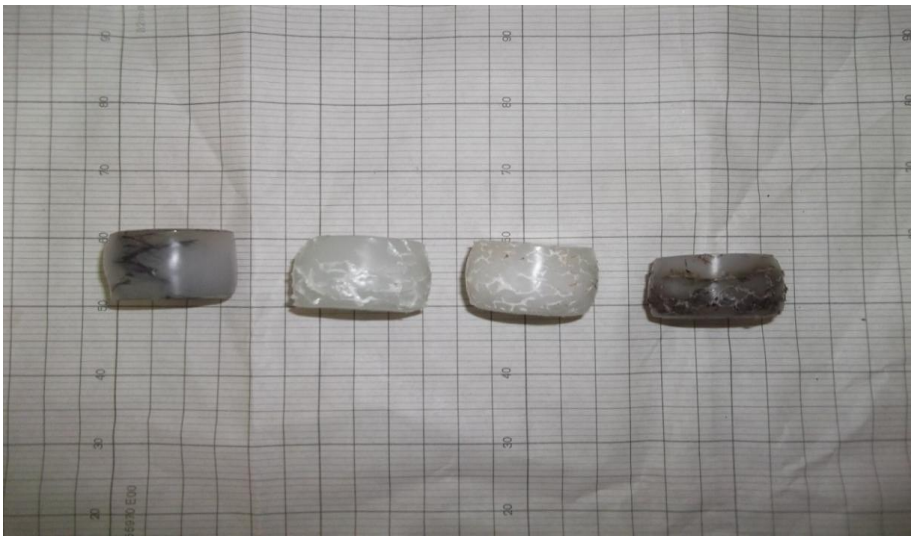
Basma dayanımı, malzeme ya da yapının boyutunu azaltmaya yönelik dış yüke karşı koyma kapasitesidir. Basma test makinesinde yük ve birim şekil değişimi arasındaki ilişkiyi bularak ölçümleyebiliriz. Uygulanan yük malzemenin boyunu azaltma yönünde zorlarken, enine yönde ise genişleme gözlemlenmektedir. Silindirik

biçimli numuneler de meydana gelen değişikliklerin gözlemi kolay olduğundan test için tercih sebebidir.

ASTM D 3410 standartlarına bağlı kalarak testler Instron 8501 tip çekme/basma makinesinde 5 mm/dak basma hızında gerçekleştirilmiştir. Her bir örnek için 3 adet numune kullanılmıştır. Yazılım yoluyla grafik ve rapor şeklinde alınan sonuçlar tablolar şeklinde sunulmuştur. Şekil 7.5 ve 7.6'da işlem sırasında ve sonrasındaki malzeme görünümü sunulmuştur.



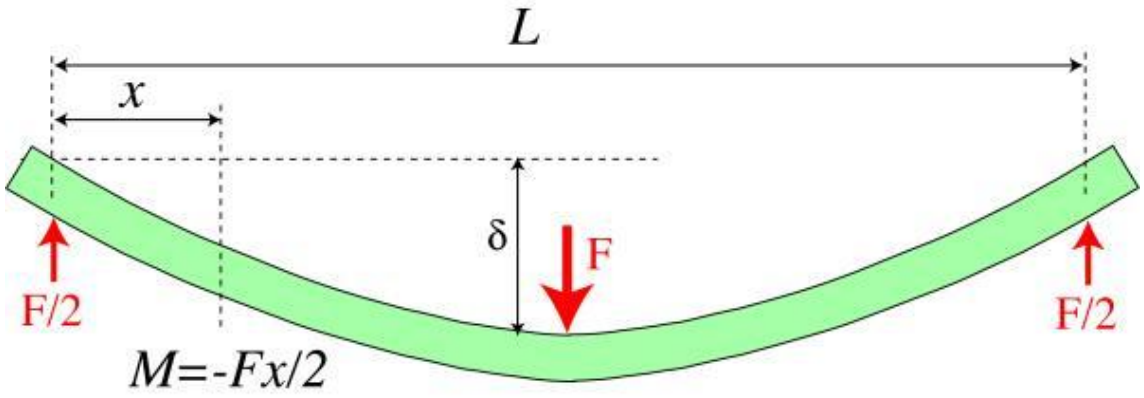
Şekil 7.5 20% cam elyaf takviyeli PP malzemenin basma deneyi sırasındaki görünümü



Şekil 7.6 %20 karbon elyaf, cam elyaf, cam kürecik ve çam lifi içeren PP malzemeler

7.3 Üç Nokta Eğme Testi (ASTM D790, ISO 178, ASTM D7264)

Yukarıda belirtilen standartlarda plastik ve plastik esaslı kompozit malzemelerin eğilme sertliğini ölçmeyi sağlayan standart test yöntemidir. Numune kırılana kadar ya da %5 şekil değiştirene kadar uygulanan yük altında malzemenin eğilme modülü, eğilme genlemesi gibi özellikleri tespit edilir. Teorik uygulaması aşağıda şekil 7.7' de görülmektedir.

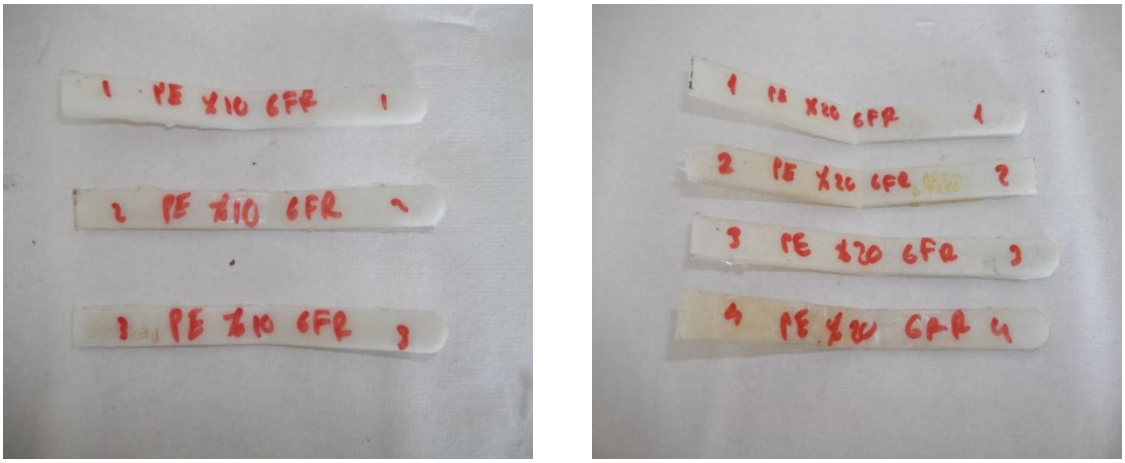


Şekil 7.7 Üç nokta eğme deneyinin şematik uygulaması

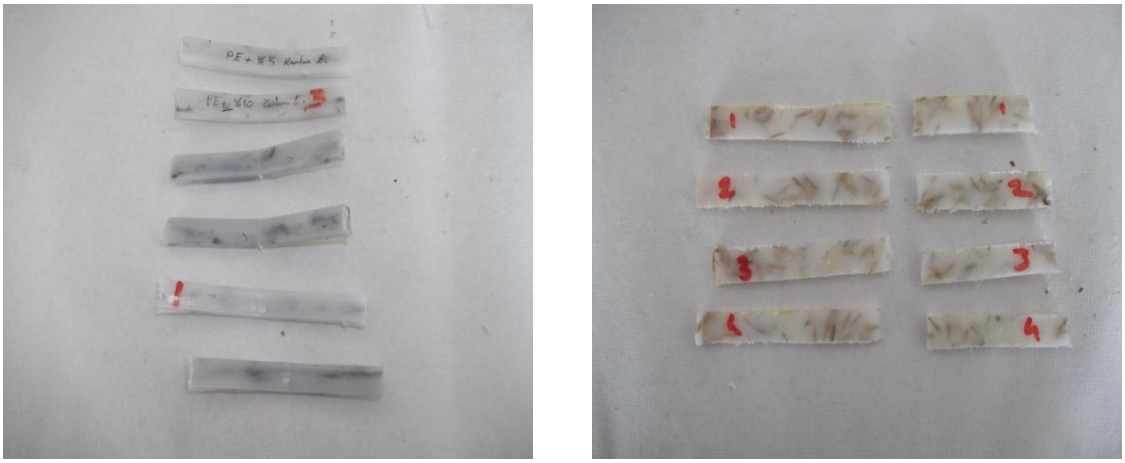
Merkezden yüklü bir eğilme çubuğundaki sehim, F yükünün bir fonksiyonudur. Mesnetlerin aralığı L, kesit atalet momenti I ve elastik modülü E alınırsa, sehim δ aşağıdaki formül ile bulunur.

$$\delta = F.L^3/48.E.I$$

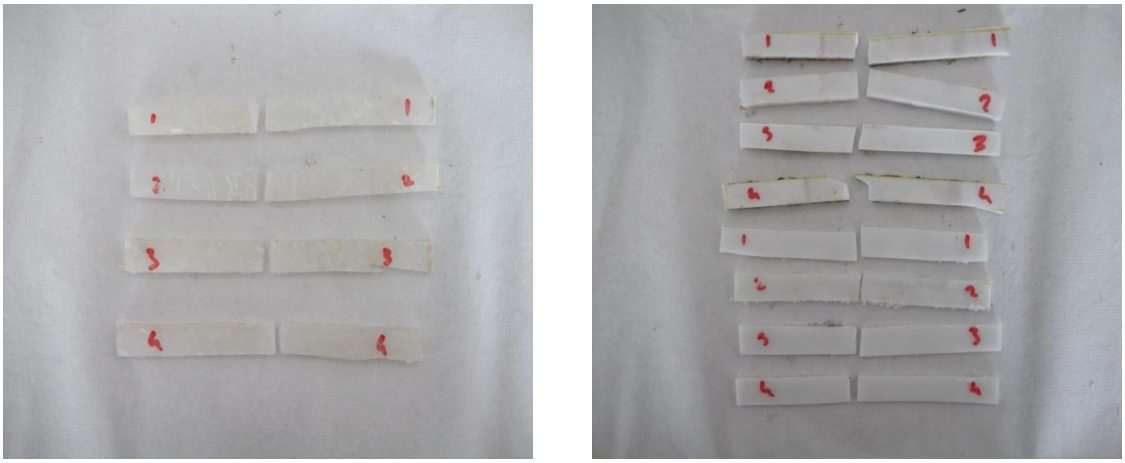
Üç nokta eğme deneyi için mesnetler standartlara göre laboratuarımızda hazırlanmış olup, Instron 8501 çekme/basma makinesinde gerçekleştirilmiştir. Her bir örnek için 3 adet numune kullanılmıştır. Sonuçlar yazılım yardımıyla elde edilmiştir. Aşağıda deney sonrası hasarlı numunelere örnekler sunulmuştur. Şekil 7.8, 7.9 ve 7.10'da PP ve YYPE ana malzemeli kompozitler görülmektedir.



Şekil 7.8 10% cam elyaf takviyeli YYPE



Şekil 7.9 10% karbon elyaf takviyeli PP (solda) ve 20% pirinç kabuğu takviyeli YYPE



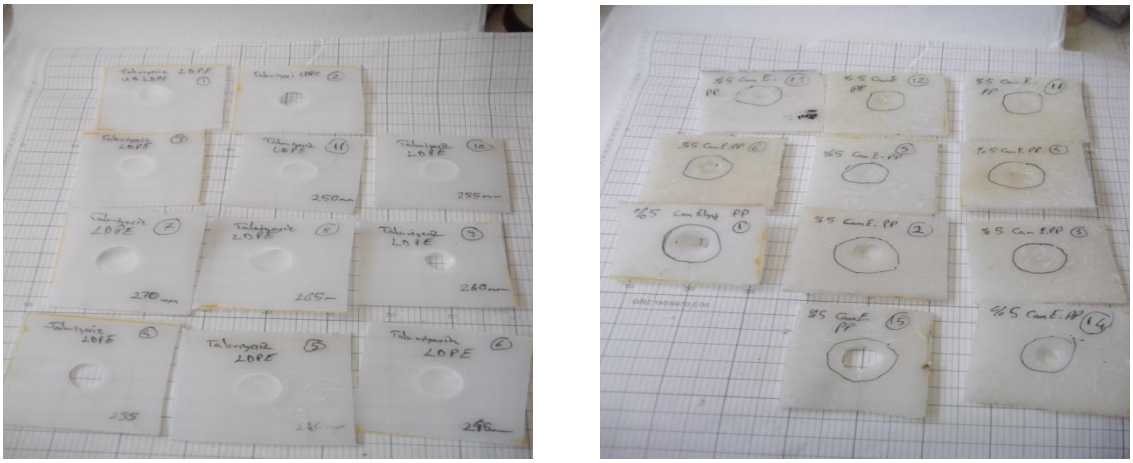
Şekil 7.10 20% cam elyaf takviyeli YYPE (solda) ve takviyesiz YYPE

7.4 Gardner Darbe Testi (Drop Impact) (ASTM D 5420)

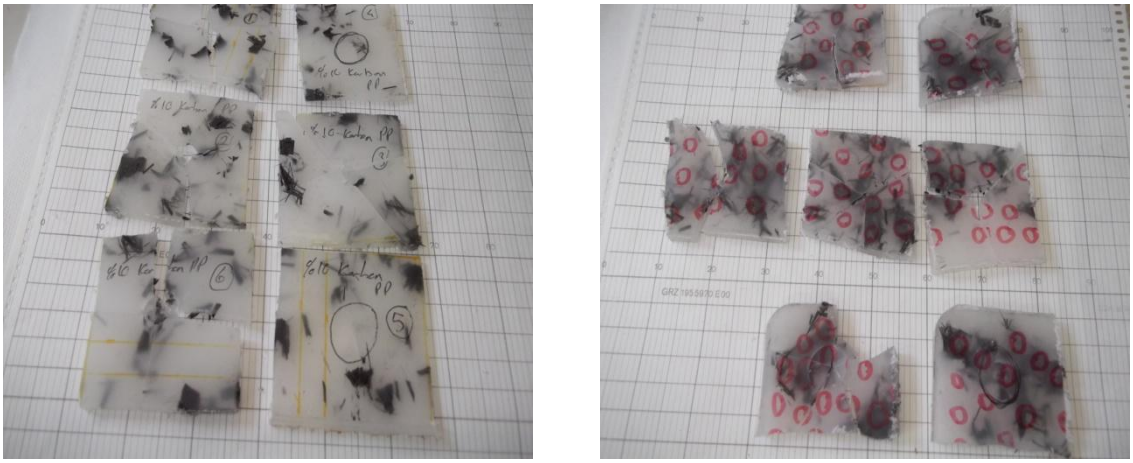
Plastik ve plastik esaslı kompozit malzemelere özgü darbe dayanımının ölçüldüğü test yöntemidir. Üzerine kılavuz yatak yardımıyla düşürülen bir ağırlığın standart uç tasarımı olan bir pim yardımıyla plastik levhada hasar oluşturması yöntemine dayanan bir test metodudur. ASTM D 5420 standardında yapılan testte pim ve ağırlık GE standart ölçülerindedir. Devostrans marka cihazın 3,6 kg çekiç ağırlığı 12,70mm $\pm$ 10 mm pim ucu çapı mevcuttur. Mevcut sistemin fotoğrafı Şekil 7.11'te görülmektedir. Yapılan test yardımıyla malzemenin darbe dayanımı yanında çatlak ilerlemesi gibi hasar oluşumu parametreleri de gözlemlenmektedir. Her bir malzeme türü içi 20 adet düşme testi uygulanarak ortalama değerde hasar enerjisi tespit edilmektedir. Sonuçları elde etmede kullanılan tablo ve örnek hesaplama aşağıda tablo 7.1'te gösterilmiştir. Aşağıda darbe sonrası hasarlı örnekler 7.12, 7.13 ve 7.14'te gösterilmektedir.



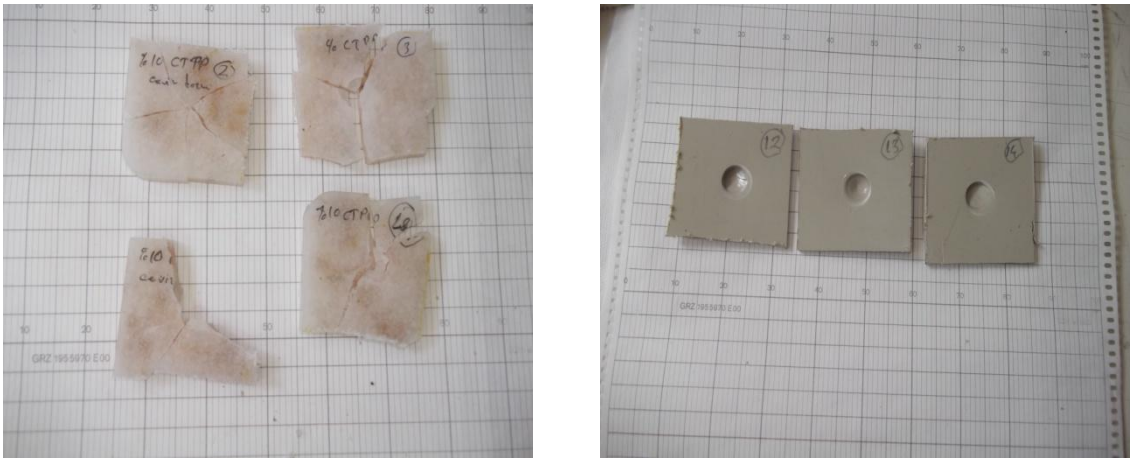
Şekil 7.11 Gardner Darbe Test Cihazı (ASTM D5420)



Şekil 7.12 Takviyesiz YYPE ve 10% cam elyaf takviyeli PP



Şekil 7.13 20% (solda) ve 30% (sağda) karbon elyaf takviyeli PP



Şekil 7.14 10% ceviz kabuğu tozu takviyeli (solda) ve ticari takviyesiz (sağda) PP

Tablo 7.1 Gardner darbe testi hesaplama tablosu (ASTM D 5420)

Toplam düşme yüksekliği (mm)	Test verileri (X: hasarlı, O:hasarsız)																				n_x	n_0	i	n_i	in_i	i^2n_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
625																										
600																										
575			X				0				X						0				2	2	4	2	4	8
550	X			X				X		X		0				0		X			5	2	7	5	7	5
525		0			X				X				0		X				0		3	3	0	4	0	0
500						0		0						X						X	2	2				
475																										
450																										
425																										
400																										
Toplam																					12	9		11	11	13
																					(N_x)	(N_0)		(N)	(A)	(B)

Gardner darbe testi hesaplama tablosu (ASTM D 5420)																									
Toplam düşme yüksekliği (mm)	Test verileri (X: hasarlı, O:hasarsız)																				n_x	n_0	i	n_i	in_i	i^2n_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
500						x															1	0	2	1	2	4
475					o		x		x				x		x						4	1	1	4	4	4
450		x		o				o		x		o		o		x		x		o	4	5	0	4	0	0
425	o		o								o						o		o		0	5				
Toplam																					9	11		9	6	8
																					(N_x)	(N_0)		(N)	(A)	(B)

h_0= 450; N=N_x=9; d=25

h= h_0 + dn (A/N – 0.5), h = 450 + 25 (6/9 – 0.5), h = 454.2 mm

s_n= 1.62d_n [B/N – $(A/N)^2$] + 0.047 d_n , s_n= 1.62(25) [8/9 – $(6/9)^2$] + 0.047(25) , s_n=19.2 mm

s/d = 19.2/25=0.77; G= 1.035 (Tablo X)

s_n= Gs_n/$\sqrt{N}$ = 1.035 (0.77)/ $\sqrt{9}$ = 0.27 mm

TABLE X Values of *G* for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

s/d	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40	...	...	...	...	...	1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.06
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.095	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

7.5 Shore Sertlik Ölçüm Testi (ASTM 2240)

Sertlik ölçümü yapılacak malzemenin üzerinde konik bir ucun sıçrama kabiliyetine göre değer tespiti yapılan yöntemdir. Yumuşak malzemeler için Shore A, sert plastik ve kompozitler için Shore D tipinde ölçüm yapılmaktadır. 30^0 konik ucun (0.1 mm yarıçap) malzeme üzerinde yaptığı sıçrama skleroskop yardımıyla ölçülür. Bu çalışmada ölçümler ASTM 2240 standardına göre TIME marka HLN-11A model sertlik ölçüm cihazıyla gerçekleştirildi. İşlemin gerçekleştiği cihaz aşağıda şekil 7.15'te sunulmaktadır.



Şekil 7.15 Sertlik ölçüm cihazı

7.6 Metalografik İnceleme

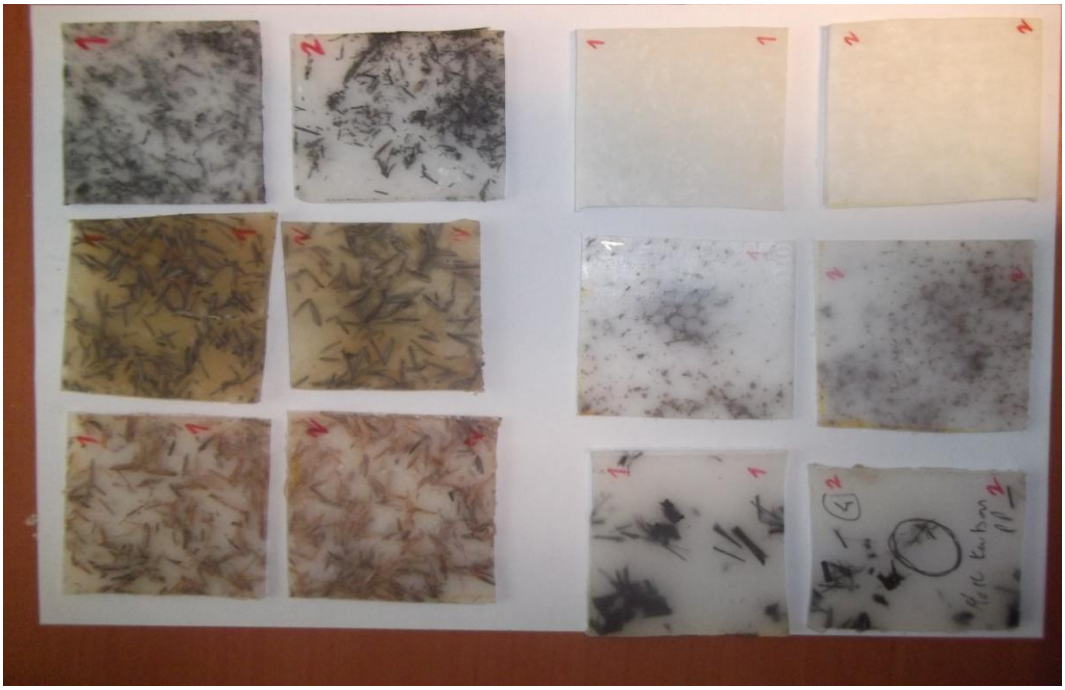
Elde edilen numuneler test edildikten sonra hasar gören yüzeyleri metalografi ve elektron mikroskoplarıyla incelemeye tutulmuşlardır. Elektron mikroskobu incelemeleri için ZEISS Evo® LS 10 ve FEI F50 marka cihazlar kullanırken, optik mikroskop incelemeleri için Olympus marka metalografi mikroskobu kullanılmıştır.

7.7 Su Emme Kapasitesi Testi (ASTM D 570-98)

Örneklerin su emme kapasitesi plastiklerin su emme kapasitesi ASTM D 570-98 numaralı standart test metot ile belirlenmiştir. Örnekler 60x60x3.2 (Şekil 7.17) boyutlarında metoda uygun olarak kesilmiştir. Buna göre, örnekler üzerindeki safsızlıkları ve nemi uzaklaştırmak için 24 saat 110 ºC' lik Ecocell 55- comport Marka etüvde kurutulmuştur. Oda sıcaklığına gelene kadar desikatörde 30 dakika bekletilmiştir. Oda sıcaklığına gelen numunelerin daraları Sartorius marka ED Serisi model hassas terazi ile virgülden sonra 4 hane olacak şekilde ölçülmüştür. Sabit tartım ağırlıklarını belirlemek amacıyla işlem 1h için (tarttım farkı 0.001 mg) tekrarlanmıştır. Sabit tartıma gelen ve darası alınan örnekler 23ºC deki çalkalamalı su banyosunda (Şekil 7.16) (Memmert WNB-22, GmbH+Co,Germany) 24 h bekletilmiştir. İlk 6 saatlik periyotta her saat başı tartım alınmış, son tartım 24 saat sonunda alınmıştır. Her örnek için 2 paralelli analiz yürütülmüş sonuçlar aşağıdaki eşitlikle hesaplanarak ortalama yüzde oranında verilmiştir (Tablo 7.2 ve 7.3).



Şekil 7.16 Memmert marka su banyosu



Şekil 7.17 Su emme kapasitesi için kullanılan örnekler

Tablo 7.2 PP esas malzemeli numunelere ait tartım tablosu

NUMUNE TANIMI	Etüv Öncesi(gr)	Etüv Sonrası(gr)	1.saat	2.saat	3.saat	4.saat	5.saat	6.saat	24. saat	Nem Alma Oranı (%)
YYPE10SPK	14,543	14,5192	14,5293	14,527	14,535	14,5323	14,5308	14,5192	14,5905	0,5
YYPE20SPK	14,6087	14,5904	14,6023	14,598	14,6038	14,612	14,6202	14,5904	14,6947	0,7
YYPE30SPK	14,802	14,7869	14,802	14,7977	14,8015	14,8024	14,8005	14,7869	14,9254	0,9
YYPE10CKT	13,6702	13,6481	13,667	13,6643	13,6657	13,6707	13,6729	13,6481	13,6945	0,3
YYPE20CKT	14,0078	13,9843	13,9977	14,002	140064	14,0235	14,0041	13,9843	14,0275	0,3
YYPE30CKT	14,7426	14,7256	14,7435	14,7455	14,7541	14,7568	14,7521	14,7256	14,7818	0,4
YYPE10ÇL	14,6159	14,6117	14,632	14,6196	14,6271	14,6249	14,6222	14,6117	14,6655	0,4
YYPE20ÇL	14,5236	14,5188	14,5386	14,5324	14,5364	14,535	14,5342	14,5188	14,6128	0,6
YYPE30ÇL	13,0641	13,0541	13,0596	13,0675	13,0583	13,0611	13,0586	13,0541	13,1488	0,7
PP10ÇL	12,4678	12,4563	12,4718	12,4724	12,4695	12,4625	12,4664	12,4563	12,4822	0,2
PP20ÇL	12,2922	12,2881	12,2946	12,2947	12,2966	12,2907	12,2924	12,2881	12,3624	0,6
PP30ÇL	12,7088	12,7051	12,7085	12,711	12,7096	12,7113	12,7084	12,7051	12,7995	0,7
PP10CKT	13,7493	13,7321	13,7659	13,7763	13,792	13,7989	13,7835	13,7321	13,754	0,2
PP20CKT	13,2936	13,2711	13,2979	13,3032	13,3099	13,3165	13,3092	13,2711	13,3162	0,3
PP30CKT	13,5253	13,5234	13,543	13,5324	13,5379	13,5451	13,5458	13,5234	13,5617	0,3
PP10SPK	13,4334	13,431	13,4487	13,4356	13,453	13,4444	13,4404	13,431	13,5121	0,6
PP20SPK	13,4866	13,4807	13,4949	13,4921	13,4951	13,4933	13,4915	13,4807	13,5878	0,8

Tablo 7.3 YYPE esas malzemeli numunelere ait tartım tablosu

NUMUNE TANIMI	Etüv Öncesi(gr)	Etüv Sonrası(gr)	1.saat	2.saat	3.saat	4.saat	5.saat	6.saat	24. saat	Nem Alma Oranı (%)
YYPE10SPK	14,543	14,4992	14,5293	14,527	14,535	14,5323	14,5308	14,5192	14,9905	3,4
YYPE20SPK	14,6087	14,5904	14,6023	14,6398	14,6338	14,7142	14,7292	14,7904	15,2347	4,4
YYPE30SPK	14,802	14,7869	14,7921	14,7977	14,7995	14,8224	14,9205	15,1069	15,4654	4,6
YYPE10CKT	13,6702	13,6481	13,667	13,6643	13,6957	13,7707	13,7729	13,8481	13,8945	1,8
YYPE20CKT	14,0078	13,9843	14,0177	14,022	140164	14,065	14,1041	13,1843	14,3275	2,5
YYPE30CKT	14,7426	14,7256	14,7435	14,7755	14,7931	14,8568	14,8521	14,8756	15,1818	3,1
YYPE10ÇL	14,6159	14,6117	14,662	14,6996	14,8271	14,8249	14,9222	14,9917	15,1555	3,7
YYPE20ÇL	14,5236	14,5188	14,5386	14,5324	14,5364	14,535	14,5342	14,5188	15,2128	4,8
YYPE30ÇL	13,0641	13,0541	13,0996	13,1675	13,1583	13,2611	13,3586	13,4541	13,7488	5,3
PP10ÇL	12,4678	12,4473	12,4718	12,4824	12,4895	12,4925	12,5264	12,5563	12,8122	2,9
PP20ÇL	12,2922	12,2881	12,2916	12,2947	12,3956	12,49207	12,4924	12,5881	12,7624	3,9
PP30ÇL	12,7088	12,6851	12,7085	12,711	12,7996	12,8513	12,9084	12,9051	13,2995	4,8
PP10CKT	13,7493	13,7321	13,7659	13,7763	13,792	13,7989	13,7835	13,7321	13,9034	1,2
PP20CKT	13,2936	13,2711	13,2979	13,3032	13,3099	13,3165	13,3092	13,2711	13,6462	2,8
PP30CKT	13,5253	13,5234	13,543	13,5324	13,5379	13,5451	13,5458	13,5234	13,9317	3,0
PP10SPK	13,4334	13,3921	13,4087	13,4156	13,4253	13,4444	13,4504	13,4531	13,8121	3,1
PP20SPK	13,4866	13,4807	13,4949	13,4921	13,4951	13,4933	13,4915	13,4807	14,1178	4,7

BÖLÜM 8

TEST SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Organik ve inorganik takviyelerin kullanıldığı bu çalışmada esas malzeme olarak polipropilen (PP) ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) termoplastikleri kullanılmıştır. Ekstrüzyon, enjeksiyon ve basınçlı kalıplama yöntemleri yardımıyla kompozit malzeme örnekleri hazırlanmıştır. Elde edilen örneklere standartlar dâhilinde çekme, basma, üç nokta eğme, darbe (Gardner), sertlik ve su emme kapasitesi deneyleri uygulanmıştır. Sonuçlar tablo ve grafik halinde aşağıda sunulmaktadır.

Deneyler sonunda elde edilen dayanım değerlerinin ortalaması alınıp, standart sapma ve değişim katsayısı değerleri aşağıdaki denklemler uyarınca elde edilmiştir.

$$S= \sqrt{\sum} (X-X_{ort})^2/n-1$$

$$V= (S/X_{ort})*100\%$$

$$X_{ort}=\sum X/n$$

S : Standart sapma değeri

V : Değişim katsayısı (%)

X_{ort} : Değerlerin aritmetik ortalaması

X : Değerlerin her biri

n : Değerlerin adedi

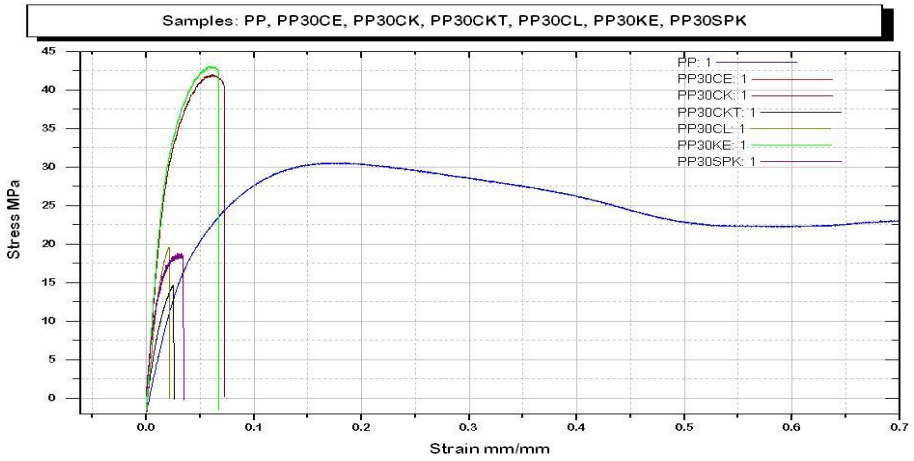
PP esas malzemeli inorganik takviye içeren kompozit malzemelere ait sonuçlar Tablo 8.1'de sunulurken 30% takviye oranına sahip kompozitlerin deneyin yapıldığı cihazın yazılımı yoluyla elde edilmiş grafikleri de örnek olarak Şekil 8.1, 8.2 ve 8.3 'de gösterilmiştir. 8.1'de karşılaştırmalı çekme dayanımı grafiği, 8.2'de basma dayanımı grafiği ve 8.3'te eğilme dayanımı grafiği sunulmuştur.

Cam elyaf takviyeli PP malzeme incelendiğinde takviye oranı arttıkça mekanik dayanımların arttığı gözlemlenmiştir. Çekme dayanımında artış oranı 57% seviyesinde olurken, basma ve üç nokta eğme dayanımlarında bu oranlar sırasıyla 60% ve 56% olduğu gözlemlenmiştir. Kısa elyaf takviyeli malzemede homojenlik arttıkça mekanik özelliklerin iyileşme oranının arttığı tespit edilmiştir. Karışımın daha iyi sağlandığı enjeksiyon ve ekstrüzyon gibi yöntemlerde elde edilen sonuçlar daha yüksek oranlıdır. Darbe ve sertlik sonuçlarının da incelendiği çalışmada sertliğin artan takviye oranıyla arttığı gözlemlenirken, homojen dağılımın bölgesel sertlik farklılığına sebep olduğu ifade edilebilir. Darbe sonuçları elyaf oranıyla değişirken yüksek takviye oranında malzemenin fazla gevrek davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Bitirgiç [2] cam elyaf takviyeli PP malzeme için yaptığı benzer çalışmada, 30% (ağırlıkça) cam elyaf takviyeli PP' de 130 MPa'lık eğme dayanımına ulaşırken bunu yüksek oranda olan elyaf çekimine ve kısmi kristalin yapıdaki PP malzemede malzeme dağılımının daha homojen olmasına bağlamıştır. Çekme testinde de benzer sonuçlara ulaşan Bitirgiç [2] 30% cam elyaf takviyeli PP malzemede yaklaşık 80 MPa'lık çekme dayanımı gözlemlemiştir. Elyaf takviyede özellikle boyuna olan çekme durumunda malzeme dayanımının arttığını belirtmiştir.

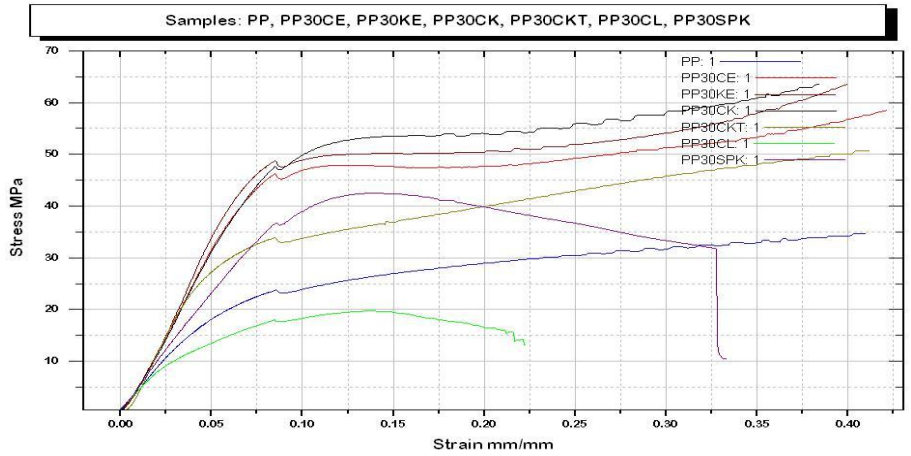
Karbon elyaf içeren PP malzemelere mekanik testler uygulandığında elde edilen sonuçlar bütün malzeme türlerine göre oransal olarak en fazla değere sahip olduğu tespit edilmiştir. Çekme ve basma dayanımında 30% takviye içeren numuneler takviyesiz PP malzemeye göre sırasıyla yaklaşık 70% ve 72% artış sağlarken, eğilme dayanımında bu oran 69% seviyesinde olmuştur. Darbe özelliklerinin de takviye oranına bağlı değiştiği gözlemlenirken yüksek takviye oranında malzemenin fazla gevrek davranış gösterdiği ve enerji emme yeteneğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Fu S. Y. ve arkadaşları [6] çalışmalarında kısa karbon elyaf takviyeli PP malzeme için, 25% takviye oranında 58 MPa çekme dayanımına ulaşırken, Karslı ve arkadaşları buna karşılık 20% karbon elyaf takviyesinde PP malzeme için 38 MPa çekme dayanımı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca

Karslı [43] 77 Rockwell sertlik değerini de gözlemlemiştir. Her iki çalışmada da artan elyaf takviye oranına karşılık çekme dayanımında artış gözlemlenmiştir. Üretim şekline bağlı olarak elyafların diziliş yönü ve dağılımı mekanik olarak yükü karşılama davranışını değiştirmektedir. Elyafların kırılması oluşturulan kompozitte daha az ara yüzey alanına sebep olurken daha yüksek mekanik sonuçlara ulaşılmasına engel olduğu tespit edilmiştir.

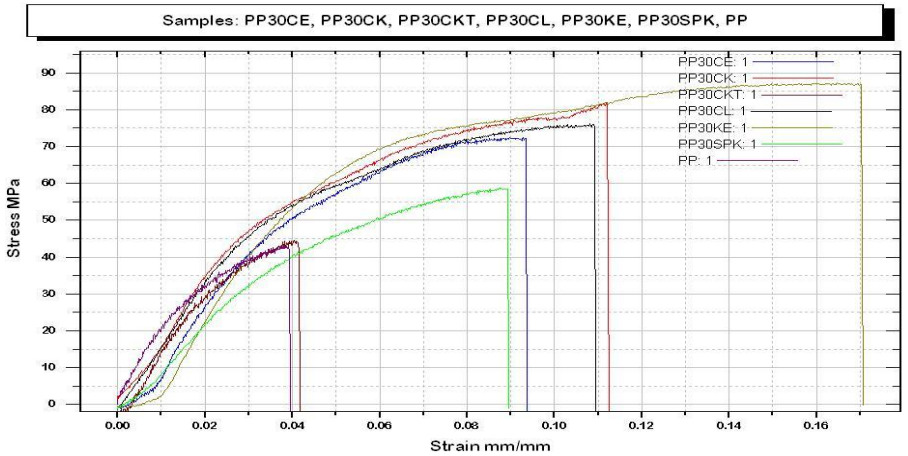
Cam küre içeren PP kompozitte takviyenin fiziksel şeklinin bazı dayanım özelliklerini etkilediği gözlemlendi. Çekme ve basma dayanımında artış oransal olarak düşük düzeyde kalırken eğilme dayanımında artış oranı cam elyaf takviyeli kompozite göre fazla karbon elyaf takviyeli kompozite göre az olmuştur. Darbe dayanımında artış oranı 120% seviyelerini bulurken, sertlikte de 60% artış oranı elde edilmiştir. Kansu [1] yaptığı çalışmada cam kürecik için 77 shore D sertliğine ulaşırken, morfolojik olarak PP ile küre arasında boşluklar tespit etmiştir. 26-22 MPa aralığında azalan çekme dayanımını gözlemlerken bunu özgül yüzey alanındaki düşük seviyeye bağlamaktadır. 39-36 MPa aralığında düşük düzeyde azalış içeren eğme sonuçları sunmuştur. Darbede de 2,69- 2,29 kJ/m^2 arası değerlere ulaşmıştır. Bu tez çalışmasında 2-4 mm çapa sahip kürecikler kullanıldığından sonuçlar farklılık göstermektedir. Cam kürecikte ara yüzey oluşumunun daha iyi olduğu tespit edilmiş olup, yüzey alanının küçük oluşu çekme ve basma dayanımındaki artışı sınırlamıştır. Fakat eğilme dayanımında takviye sıyrılması az göründüğünden dayanımda kısmi artışa sebep olmuştur. Darbe dayanımında yükü karşılayan kürsel bir şekil olduğundan emilen darbe enerjisi fazla olmuştur.



Şekil 8.1 Karşılaştırmalı çekme dayanımı grafiği



Şekil 8.2 Karşılaştırmalı basma dayanımı grafiği



Şekil 8.3 Karşılaştırmalı eğme dayanımı grafiği

Tablo 8.1 Ağırlıkça 10, 20, 30 % inorganik takviye içeren PP esas malzemeli kompozitlerin deney sonuçları

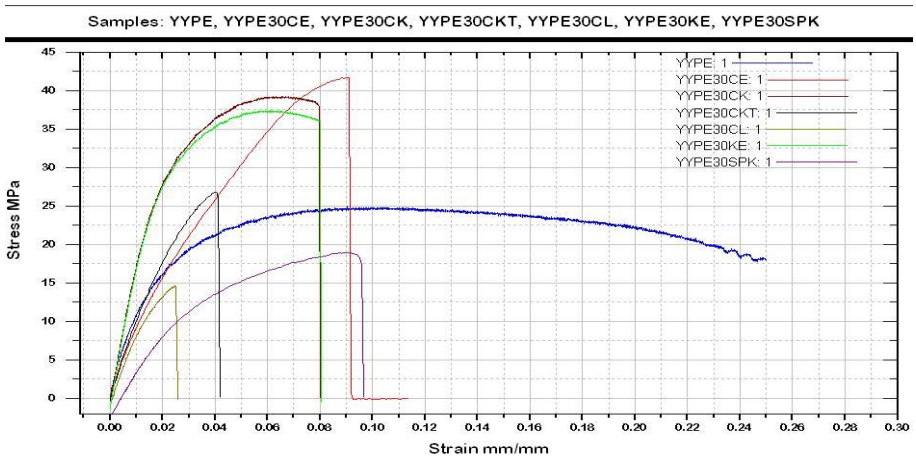
Malzeme	Üretim Yöntemi	Çekme Dayanımı (MPa)	V (%)	Basma Akma Dayanımı (MPa)	V (%)	Üç Nokta Eğme Dayanımı (MPa)	V (%)	Darbe (Gardner) Dayanımı (J)	V (%)	Sertlik (Shore D)	V (%)
PP10CE	Ekstrüzyon	32,3	0,66			44	1,93	1,97	3,95	41	2,24
	Enjeksiyon	34,6	0,41	42,1	1,18	46	1,69		-	47	1,20
	Basınçlı Kalıplama	29,7	1,19	46,1	2,15	38,4	1,10	2,33	1,52	42	1,68
PP20CE	Ekstrüzyon	35,1	0,60			52	1,77	1,25	2,26	53	2,00
	Enjeksiyon	38,2	0,74	47,3	1,49	55	1,61		-	59	1,44
	Basınçlı Kalıplama	33,3	0,21	50,3	3,23	41,4	2,05	2,18	1,30	49	0,29
PP30CE	Ekstrüzyon	39,2	0,72			56	0,43	0,84	1,68	64	3,31
	Enjeksiyon	44,4	0,32	54,6	1,81	61	1,20		-	68	3,12
	Basınçlı Kalıplama	36,1	0,98	52,6	0,27	44,5	0,16	1,41	2,01	54	1,31
PP10KE	Ekstrüzyon	31,7	0,67			41,4	0,85	2,47	0,86	46	2,00
	Enjeksiyon	33,4	0,64	42,5	0,67	51,4	0,96		-	51	1,25
	Basınçlı Kalıplama	30,6	0,23	44,5	0,48	44	1,29	2,15	0,66	43	2,96
PP20KE	Ekstrüzyon	34,5	0,82			45,5	0,62	1,85	0,76	54	1,05
	Enjeksiyon	37,3	0,19	46,7	1,36	55,5	0,76		-	59	1,56
	Basınçlı Kalıplama	32,1	1,54	48,5	0,73	52	0,68	1,59	1,33	47	3,01
PP30KE	Ekstrüzyon	36,2	0,39			53,6	2,11	1,64	2,16	63	0,67
	Enjeksiyon	47,4	0,65	58,6	0,84	63,6	2,67		-	66	0,43
	Basınçlı Kalıplama	39,8	0,40	54,2	0,78	66	1,29	1,34	0,53	57	1,12
PP10CK	Ekstrüzyon		-		-		-		-		-
	Enjeksiyon	30,4	0,47	31,6	0,97	30,5	1,05		-	67	1,06
	Basınçlı Kalıplama	29,8	0,95	32,1	3,73	33,5	5,07	5,89	1,32	61	0,81
PP20CK	Ekstrüzyon		-		-		-		-		-
	Enjeksiyon	32,5	1,08	36,1	4,53	38,6	0,92		-	71	0,30
	Basınçlı Kalıplama	36,7	0,29	37,2	2,75	32,6	2,60	4,75	4,47	63	0,34
PP30CK	Ekstrüzyon		-		-		-		-		-
	Enjeksiyon	45,1	2,05	44,8	0,91	63,2	1,52		-	76	0,84
	Basınçlı Kalıplama	37,6	0,69	44,5	1,27	55,4	2,51	4,24	0,33	63	0,56

YYPE esas malzemeli inorganik takviye içeren kompozit malzemelere ait sonuçlar Tablo 8.2'de sunulurken 30% takviye oranına sahip kompozitlerin deneyin yapıldığı cihazın yazılımı yoluyla elde edilmiş grafikleri de örnek olarak Şekil 8.4, 8.5 ve 8.6 'da gösterilmiştir.

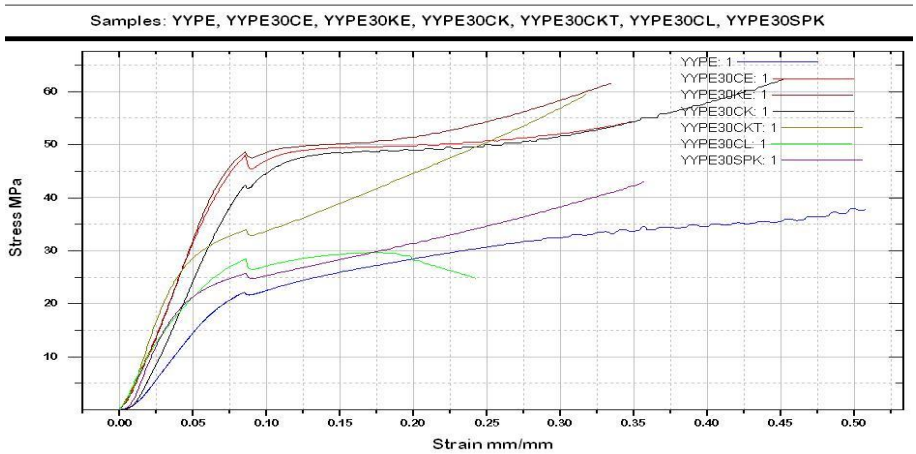
YYPE esas malzemeli cam elyaf takviyeli kompozitlerde mekanik dayanım artışı artan takviye oranıyla doğru orantı göstermiştir. Çekme ve basma dayanımında (30% takviyede) sırasıyla yaklaşık 50% ve 40% dayanım artışı gözlemlenirken, eğilme dayanımında artış 70% düzeyindedir. Almaadeed M.A ve arkadaşları [8] YYPE esas malzemeli 20% kısa cam elyaf takviyeli kompozitlere çekme testi uygulamış ve sonucunda 43 MPa değerine ulaşmıştır. AYPE ile kıyaslama yapılan çalışmada, kristalleşme oranının artması ile takviye esas malzeme arası bağlantının daha iyi olduğunu öne sürmüştür. Darbe enerjisi ve sertlikte de benzer eğilimler elde edilirken, üretim yönteminden kaynaklanan elyaf yönlenmesi ve homojen dağılım gibi etkenlerin YYPE takviyeli kompozitte de etkiliği olduğu görüldü.

Karbon elyaf takviyeli YYPE malzeme en yüksek mekanik dayanımları gösterdi. Çekme ve basma dayanımında (30% takviye oranında) sırasıyla 70% ve 72% seviyesinde artış olurken, eğilme dayanımında 69% civarında artış gözlemlenmiştir. Darbe dayanımında artan takviye oranı kısmi düzeyde düşüşe sebep olmuştur. Fu S. Y. ve arkadaşlarının [6] PP esaslı malzemeler için yaptığı çalışma da benzer eğilimler göstermektedir. Elyaf yönlenmesi etkili olduğu için üretim yönteminde yönlenme ve homojen dağılım gibi dikkat edilen hususlar kompozitin dayanımını da etkilemektedir.

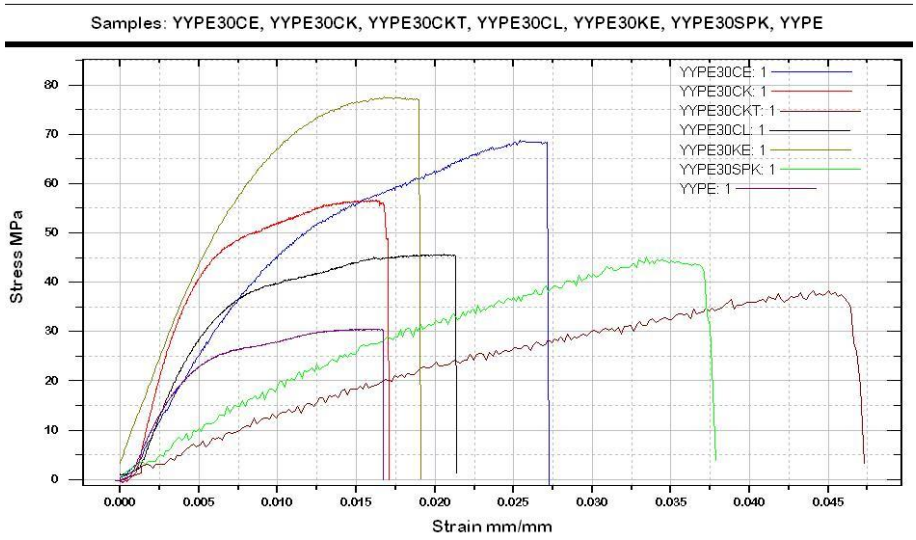
Cam küre takviyeli YYPE malzemede mekanik dayanımlarda kısmi düzeyde artışlar gözlemlenmiştir. Çekme ve basma özellikleri (30% takviye oranında) 10% seviyelerinde artarken, eğilme dayanımı 5% oranında azalma göstermiştir. Darbe enerjisi yüksek oranda artarken (140% seviyelerinde), sertlik 74% seviyelerinde artmıştır. Cam küre takviyesi yüzey alanıyla doğru orantılı olarak dayanımda artış sağlarken, üretim esnasında kırılma olması olumsuzluklara sebep olmaktadır. Darbe enerjisindeki artış, darbenin küre şeklindeki takviye elemanını tarafından karşılanmasıyla açıklanabilir.



Şekil 8.4 YYPE esas malzemeli karşılaştırmalı çekme dayanımı grafiği



Şekil 8.5 YYPE esas malzemeli karşılaştırmalı basma dayanımı grafiği



Şekil 8.6 YYPE esas malzemeli karşılaştırmalı eğilme dayanımı grafiği

Tablo 8.2 Ağırlıkça 10, 20, 30 % inorganik takviye içeren YYPE esas malzemeli kompozitlerin deney sonuçları

Malzeme	Üretim Yöntemi	Çekme Dayanımı (MPa)	V (%)	Basma Akma Dayanımı (MPa)	V (%)	Üç Nokta Eğme Dayanımı (MPa)	V (%)	Darbe (Gardner) Dayanımı (J)	V (%)	Sertlik (Shore D)	V (%)
YYPE10CE	Ekstrüzyon	32,2	0,44			41	0,52	2,12	4,00	53	2,67
	Enjeksiyon	34,1	1,65	32,6	5,21	43	0,80			58	1,22
	Basınçlı Kalıplama	29,7	4,76	35,6	4,97	42	0,69	2,04	1,39	47	1,50
YYPE20CE	Ekstrüzyon	33,5	0,64			44	0,16	1,66	1,70	59	3,60
	Enjeksiyon	37,2	0,38	34,1	6,01	49	1,44			64	3,31
	Basınçlı Kalıplama	33,4	1,48	39,1	1,99	45	1,61	1,32	0,54	54	1,31
YYPE30CE	Ekstrüzyon	37,4	0,95			47	1,50	0,94	3,01	63	2,24
	Enjeksiyon	40,4	0,70	40,2	1,06	56	3,79			71	1,99
	Basınçlı Kalıplama	34,6	1,23	44,2	1,92	47	4,51	0,88	1,61	63	3,37
YYPE10KE	Ekstrüzyon	30,4	0,70			33,2	3,83	2,65	1,33	44	4,82
	Enjeksiyon	31,4	0,45	36,8	1,54	34,1	1,87			58	2,44
	Basınçlı Kalıplama	28,4	1,24	32,6	1,30	31,2	4,08	2,36	2,70	39	1,81
YYPE20KE	Ekstrüzyon	31,1	1,36			35,3	1,40	2,54	3,06	49	1,44
	Enjeksiyon	34,1	2,49	39,2	0,36	49	2,89			64	2,21
	Basınçlı Kalıplama	32,1	4,19	34,1	0,21	35,6	2,78	1,74	2,44	45	1,57
YYPE30KE	Ekstrüzyon	33,8	1,67			37,2	3,42	1,96	1,44	52	1,36
	Enjeksiyon	36,8	2,69	45,4	2,18	56	1,26			71	1,00
	Basınçlı Kalıplama	34,2	1,03	40,2	3,87	39,4	3,41	1,33	4,78	69	3,07
YYPE10CK	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	22,4	0,63	30,5	1,16	28,6	3,87			59	4,79
	Basınçlı Kalıplama	21,2	1,33	29,8	3,88	29,9	3,12	3,85	4,59	56	1,26
YYPE20CK	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	19,8	2,86	27,8	2,03	27,4	1,03			66	3,21
	Basınçlı Kalıplama	18,6	6,08	30,4	0,93	28,4	3,98	3,46	2,25	58	2,44
YYPE30CK	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	28,9	2,77	33,4	3,90	35,2	2,67			70	2,02
	Basınçlı Kalıplama	27,7	5,19	31,4	1,03	33,2	2,55	2,98	1,90	59	3,60

Doğal takviye elemanları ile oluşturulan PP esas malzemeli kompozitlere ait sonuçlar tablo 8.3'te sunulmuştur. Ceviz kabuğu tozu, çam lifi ve siyah pirinç kabuğunun takviye olarak kullanıldığı çalışmada, doğal takviyelerin mekanik özelliklerdeki etkisi gözlemlenirken, su emme kapasiteleri de araştırma konusu olmuştur.

Ceviz kabuğunun öğütülerek toz haline getirilmesiyle elde edilen toz takviye elemanı, ağırlıkça değişik oranlarda ilave edilerek PP esas malzemeli kompozit örnekler hazırlanmıştır. Yapılan deneylerde çekme, basma ve eğme dayanımlarında artan takviye oranına bağlı olarak azalış gözlemlenmiştir. Sırasıyla (30% takviye oranında) 20%, 25% ve 10% seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrılmış N. ve arkadaşları [7] ceviz kabuğu tozunu 40% oranında PP esas malzemeye ilave ederek oluşturdukları kompozitte su emme kapasitesini 23^0C sıcaklıkta 0.2% bulurken, çekme dayanımında 19.1 MPa ve eğilme dayanımında 34.1 MPa değerlerine ulaşmışlardır. Eğme modülünde ve çekme modülünde artış olduğunu belirten Ayrılmış, bunu lingoselülozik yapının PP malzemede zincirlerin hareketini engellemesine bağlamıştır. Ara yüzey bağının zayıflığı da artan takviye oranıyla düşen eğilme ve çekme dayanımına sebep olarak gösterilmiştir. Bu lingoselülozik yapıya sahip doğal takviyelerin polimerle olan yüzey enerjileri uyumsuzluğu ve ara yüzey bağlarının oldukça zayıf olmasından kaynaklanmaktadır. Buna karşın 8.1'deki grafikler incelendiğinde elastiklik modüllerinin yüksek olduğu görülmektedir. Polimer zincirlerinin hareketini kısıtlayan toz takviye sebebiyle olduğu kabul edilmektedir. Darbe dayanımı incelendiğinde ise yüksek enerji kapasitesi gözlemlenmektedir. Darbe enerjisinin küçük boyutlu homojen tozlar aracılığıyla iletilmesinin enerji emme kapasitesini arttırdığını göstermektedir.

Atık çam lifi kullanılarak PP esas malzemeli kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlere mekanik testler uygulandığında farklı takviye oranlarında farklı davranışlar göstermiştir. Düşük takviye oranında çekme dayanımı takviyesizle benzer değerler gösterirken (28 MPa civarı), artan takviye oranında azalış göstermiştir (30% takviye oranında yaklaşık 19 MPa civarı). Basma dayanımı da benzer eğilimler sergilerken, eğme dayanımı artan takviye oranında kısmi artış göstermiştir (30% takviyede 20% oranında). Darbe dayanımı takviyesiz olana göre yükseliş gösterirken, oran olarak 10-20% arası değerler elde edilmiştir. Ayrıca 8.1'deki grafiklerde elastiklik modülünün ve eğilme modülünün yüksek olduğu görülmektedir. Stark M. N. ve

arkadaşları [9] yaptıkları çalışmada çam lifi takviyeli PP malzemede 26.2 MPa çekme dayanımı, 42.9 MPa eğilme dayanımı ve 141 J/m Izod darbe dayanımı değerlerine ulaştılar. Lif boyutundan ziyade hacimsel oranın bu değerler üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Lif kullanmanın gerilmenin aktarımı açısından iyi olduğunu belirtmişlerdir. Darbe dayanımında toz ya da lif kullanmanın farklılık yaratmadığına işaret etmişlerdir. Bu çalışmada lif kullanımı mekanik dayanım açısından olumlu sonuç gösterirken, belirli takviye oranlarında kullanılması hem dayanım hem de elastiklik ve eğilme modüllerinde yüksek değerler elde etmeye yaramaktadır. Çam lifinin kuvvet iletim mekanizması olarak cam elyaf ve karbon elyaf ile benzerlikler gösterdiği tespit edilmiştir.

Siyah pirinç kabuğu takviyeli PP malzemede elde edilen çekme ve basma dayanımı, 10% takviye oranında, takviyesiz malzemeye göre 10% artış göstermiştir. Aynı takviye oranında eğilme dayanımı 20% oranında artmıştır. Diğer takviye oranlarında ise düşüş eğilimi gözlemlenmiştir. Turmanova ve arkadaşları [5] siyah pirinç kabuğu üzerinde yaptıkları çalışmaların sonucunda, 20% ağırlıkça takviye edilen siyah pirinç kabuğu takviyesiz PP' ye göre 14% oranında çekme dayanımında azalmaya sebep olmuştur. Bu durumu da zayıf ara yüzey bağlanmasına ve takviye esas malzeme arasındaki yüzey enerjisi uyumsuzluğuna bağlamıştır. Razavi-Nouri ve arkadaşları [4] PP malzemeye siyah pirinç kabuğunun 20%'lik ilavesiyle eğilme dayanımında yaklaşık %10'luk artış sağlarlarken, eğilme modülünde bu oran 45% düzeyindedir. Yüksek takviye oranında ıslanma olayının zayıflaması ve takviye birikimleri dayanımı azaltmaktadır. Pirinç kabuğu yüzey alanının diğer takviyelere göre büyük oluşu daha fazla ara yüzey bağlanması yaratmakta ve dayanım artışına sebep olmaktadır. Darbe dayanımı artışı da lif takviyeden yüksek toz takviyeden ise düşük düzeydedir.

Tablo 8.3 Ağırlıkça 10, 20, 30 % doğal takviye içeren PP esas malzemeli kompozitlerin deney sonuçları

Malzeme	Üretim Yöntemi	Çekme Dayanımı (MPa)	V (%)	Basma AkmaDayanımı (MPa)	V (%)	Üç Nokta Eğme Dayanımı (MPa)	V (%)	Darbe (Gardner) Dayanımı (J)	V (%)	Sertlik (Shore D)	V (%)
PP10CKT	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	31,2	0,62	33,3	1,30	35,5	1,39			44	3,21
	Basınçlı Kalıplama	30,2	0,70	32,2	0,34	33,9	1,18	5,76	0,25	41	3,45
PP20CKT	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	28,6	1,48	30,6	0,92	28,8	1,23			48	4,42
	Basınçlı Kalıplama	24,6	1,72	31,6	0,63	24,8	2,57	5,15	0,55	44	3,21
PP30CKT	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	25,2	1,96	25,5	2,99	26,6	0,77			54	2,62
	Basınçlı Kalıplama	22,2	0,96	28,4	6,44	22,7	0,43	3,16	1,34	59	1,20
PP10CL	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	28,4	1,24	34,5	0,82	38,8	0,55			42	5,05
	Basınçlı Kalıplama	26,5	1,07	36,9	1,72	36,5	0,97	2,49	1,42	44	3,21
PP20CL	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	23,2	1,52	31,1	0,23	40,8	1,21			43	6,58
	Basınçlı Kalıplama	21,6	1,64	33,4	0,00	37,9	0,56	1,74	4,06	46	7,69
PP30CL	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	21,3	0,00	26,3	0,54	43,2	0,00			44	6,43
	Basınçlı Kalıplama	18,7	0,76	29,2	1,70	41,4	0,85	1,16	4,88	51	1,39
PP10SPK	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	31,6	1,15	38,4	0,32	41,6	1,54			35	0,00
	Basınçlı Kalıplama	29,8	5,58	35,2	0,29	39,4	1,39	3,74	1,70	35	2,02
PP20SPK	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	27,2	2,67	29,2	0,72	32,5	0,00			42	0,00
	Basınçlı Kalıplama	29,1	0,37	31,6	0,85	30,5	0,93	3,42	1,86	42	1,68
PP30SPK	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	22,5	2,02	23,5	1,06	28,4	0,92	-		46	0,00
	Basınçlı Kalıplama	23,4	1,72	27,1	0,57	24,3	0,82	2,98	0,95	46	7,69

YYPE esas malzemeli ve doğal takviye içeren örneklere ait mekanik deneylerin sonuçları Tablo 8.4'te sunulmuştur.

Ceviz kabuğu tozu takviyeli YYPE malzemede artan takviye oranına bağlı olarak azalan yönde mekanik dayanım gözlemlenmiştir. 20-30% oranlarında azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Darbe dayanımında ise %200 oranlarında artış görülmüştür. Akbaş S. ve arkadaşları [11] 50% ceviz kabuğu tozu takviyeli YYPE malzemede 8.24 MPa çekme dayanımı, 17.87 eğme dayanımı ve 41.90 J/m darbe dayanımına ulaşmışlardır. Takviye oranının düşük olduğu malzemelerde dayanım azalması düşük olurken, takviye oranı yükseldikçe azalış eğiliminin arttığı gözlemlenmiştir. Dayanımdaki düşüşün sebeplerinden biri ise yığılma (agglomeration) olayıdır. Çok küçük toz parçaları belirli bölgelerde birbiriyle birleşerek esas malzemede kusur oluşturmaktadır.

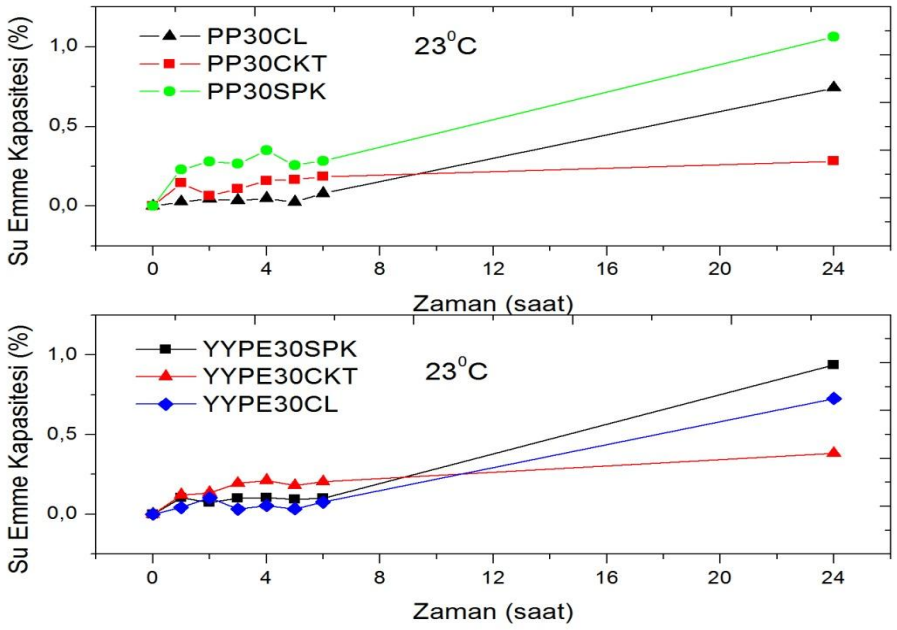
Çam lifi takviyeli YYPE malzemede düşük takviye oranında (%10 takviye oranında çekme ve basma dayanımında) takviyesiz malzemeyle benzer dayanımı göstermiştir (çekme dayanımı 26 MPa civarında). Bundan sonra artan takviye oranında azalan dayanımı göstermiştir. Çekme ve basma dayanımında sırasıyla 30%, 40% oranlarında azalma gözlemlenmiştir (30% takviye oranında). Eğilme dayanımı ise 10% civarında artmıştır. Lei Y. ve arkadaşları [10] YYPE esas malzemeli 25% çam lifi takviyeli kompozitelere uyguladıkları testlerde 40.5 MPa eğme dayanımı, 22.1 MPa çekme dayanımı ve 3.6 kJ/m^2 darbe dayanımı elde etmişlerdir. Darbe dayanımı 20% takviye oranında en yüksek seviyesindeyken daha sonra düşüş göstermiştir. Lif takviyesi kuvvet aktarımında kısmi düzeyde olumlu sonuç verirken liflerin fiziksel yapısı ve dayanımı kompozitin dayanımında düşüşe sebep olmaktadır.

Siyah pirinç kabuğu takviyeli YYPE malzemede düşük takviye oranında çekme dayanımı takviyesiz malzeme ile benzer dayanım değeri taşırken, basma dayanımı ve eğilme dayanımı düşük düzeyde artış göstermiştir. Artış oranı 10% seviyelerindedir. Darbe dayanımı ise yüksek değerlerde artış gösterirken, malzeme sertliği küçük miktarda artış göstermiştir. Kavlakoğlu [3] pirinç kabuğu kullanarak ürettiği YYPE esas malzemeli kompozit malzemede 14-11,5 MPa arası çekme dayanımına ulaşmıştır. MAPE (maleik anhidrit aşılanmış polietilen) kullanarak bu değeri 20% oranında arttırmayı başarmıştır. Polimer ile arasındaki düşük yüzey enerjisi kötü ara yüzey bağlarına sebep olurken dayanımın azalmasına sebep olmaktadır.

Tablo 8.4 Ağırlıkça 10, 20, 30 % doğal takviye içeren YYPE esas malzemeli kompozitlerin deney sonuçları

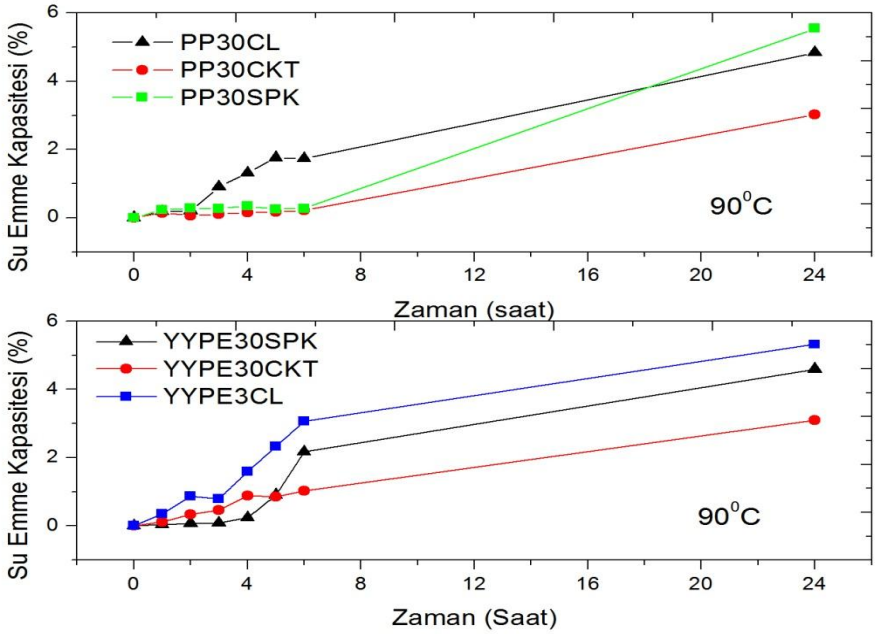
Malzeme	Üretim Yöntemi	Çekme Dayanımı (MPa)	V (%)	Basma Akma Dayanımı (MPa)	V (%)	Üç Nokta Eğme Dayanımı (MPa)	V (%)	Darbe (Gardner) Dayanımı (J)	V (%)	Sertlik (Shore D)	V (%)
YYPE10CKT	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	27,2	0,44	30,4	0,41	34,1	2,35			38	1,86
	Basınçlı Kalıplama	29,2	1,45	32,2	1,52	36,6	0,00	3,86	5,68	39	1,81
YYPE20CKT	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	23,5	0,30	30,2	0,47	25,4	1,11			41	1,72
	Basınçlı Kalıplama	22,5	0,63	31,1	1,82	28,2	1,76	2,79	5,32	43	1,64
YYPE30CKT	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	20,8	0,00	29,8	0,71	22,1	6,83			46	6,15
	Basınçlı Kalıplama	18,8	1,13	27,6	1,54	23,1	7,69	2,68	0,79	45	4,71
YYPE10CL	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	26,6	0,80	33,2	0,85	32,8	1,54			38	5,58
	Basınçlı Kalıplama	24,7	0,57	35,1	1,01	33,8	1,46	2,38	1,78	41	3,45
YYPE20CL	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	21,5	0,33	30,5	0,93	35,2	1,23			41	1,72
	Basınçlı Kalıplama	19,5	1,81	32,8	0,65	36,6	1,39	1,24	2,85	45	1,57
YYPE30CL	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	18,7	0,76	24,4	1,16	39,5	0,79			46	1,54
	Basınçlı Kalıplama	17,3	2,45	26,3	0,54	37,4	0,88	0,96	2,21	46	3,07
YYPE10SPK	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	22,8	1,24	33,9	1,56	34,8	2,48			42	0,00
	Basınçlı Kalıplama	19,7	0,36	34,3	0,16	32,1	2,48	3,65	3,94	42	2,21
YYPE20SPK	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	20,4	0,35	29,1	1,34	26,5	1,07	-		46	1,96
	Basınçlı Kalıplama	17,7	1,20	30,8	1,04	26,5	0,27	3,14	3,35	46	1,96
YYPE30SPK	Ekstrüzyon										
	Enjeksiyon	16,9	1,67	28,7	1,56	23,9	0,83			49	1,81
	Basınçlı Kalıplama	15,5	1,37	27,9	0,83	23,3	0,63	2,78	2,78	49	0,00

Doğal takviye içeren PP ve YYPE esaslı kompozit malzemelere uygulanan su emme kapasitesi deneyinin sonuçları aşağıda şekil 8.7 ve şekil 8.8 'de grafik halinde sunulmuştur. Hidrofobik (suyu sevmeyen) davranış sergileyen PP ve YYPE plastikleri doğal takviyeler ile kompozit hale getirilirseler kısmi hidrofilik davranış sergilemektedir. Bundan dolayı doğal takviyeli kompozitlerde mekanik dayanım azalması gözlemlenmektedir. Su emme olayının gerçekleşmesinde yapıda bulunan gözenekler ve serbest OH gruplarının etkili olduğu belirtilmektedir [5]. Le Chatalier's prensibine göre su emme olayı ekzotermik bir reaksiyondur, bu sebeple artan sıcaklıkla difüzyon miktarı artmaktadır. Turmanova [5] 25^0C ve 90^0C sıcaklıkta gerçekleştirdiği deneylerde pirinç kabuğu takviyeli PP' de, artan sıcaklıkla su emme miktarının arttığını belirtirken, 10 saat sonra sistemin denge haline geldiğini belirtmiştir. 25^0C sıcaklıkta 30 gün sonra elde ettiği su emme miktarını 90^0C sıcaklıkta 24 saat sonunda elde etmiştir. Benzer sonuçların alındığı bu çalışmada farklı takviye cinslerine göre değişen su emme değerleri gözlemlenmiştir. 23^0C ve 24 saatte gerçekleştirilen deneylerde çam lifi ve siyah pirinç kabuğu içeren örnekler 7 saat sonra artan bir emme değeri sergilerken, ceviz kabuğu tozu içeren örnekler dengeye ulaşmıştır.



Şekil 8.7 Oda sıcaklığında 30% doğal takviye içeren PP ve YYPE esas malzemeli kompozitlerin su emme kapasieleri

90^0C ve 24 saatte gerçekleştirilne su emme kapasitesi deneyinde örneklerin hepsinde artan sıcaklıkla artan su emme kapasitesi değeri elde edilmiştir. PP esas malzemeli siyah pirinç kabuğu takviyeli örnek en yüksek su emme değerini yakalarken, YYPE esas malzemeli çam lifi takviyeli örnek en yüksek su emme değerine ulaşmıştır.



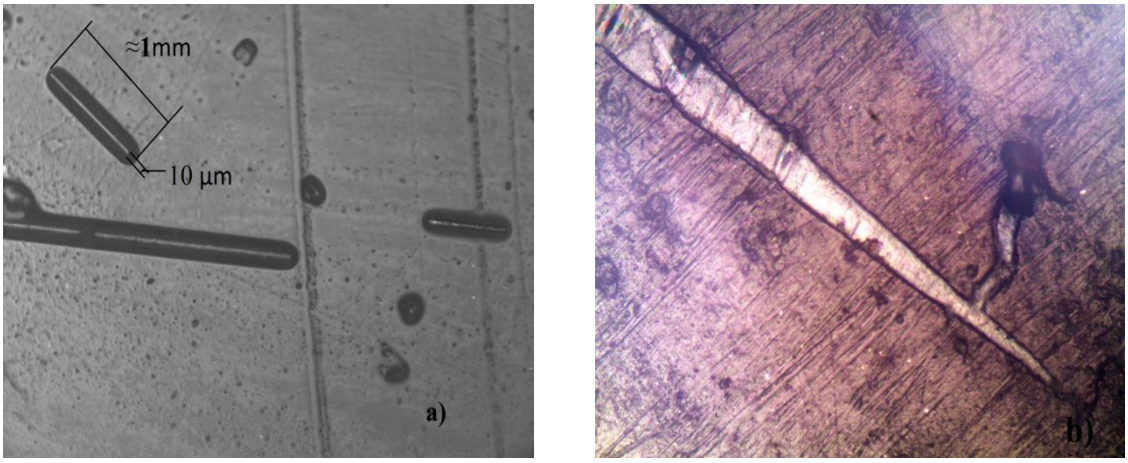
Şekil 8.8 90^0C sıcaklıkta su emme kapasitesi sonuçlarını gösteren grafik

8.1 Mikroskop Ve SEM İncelemeleri

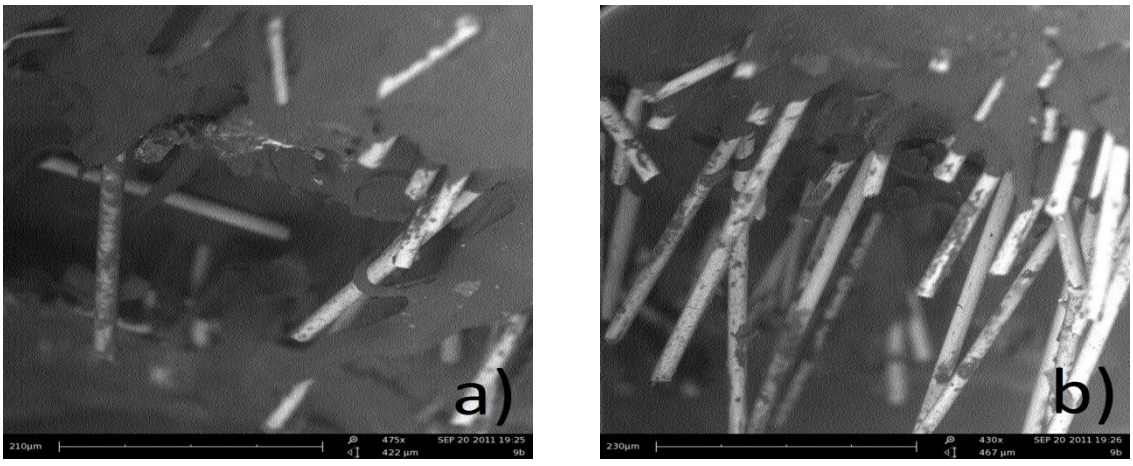
Üretimleri gerçekleştirilen PP ve YYPE esas malzemeli kompozitler, deneylere tabi tutulduktan sonra kırılma yüzeyleri metalografi mikroskobu ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) aracılığıyla incelenmiştir.

Aşağıda şekil 8.9 a) ve b)'de ektrüzyon yöntemiyle üretim cam elyaf takviyeli PP malzemeye ait mikroskop görüntüleri gösterilmektedir. Şekil 8.9 a)'da ekstrüzyon işleminde elyaf kırılması görülürken, 8.9 b)'de cam elyafın ucunun malzemede hasar başlangıcı yaratabileceği durumu işaret edilmiştir. Şekil 8.10 a)'da darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyindeki dağılım gösterilmektedir. Ekstrüzyon işleminde üretilen bu numunede cam elyaflar homojen dağılım sergilemiştir. Şekil 8.10 b)'de 30% cam elyaf

takviye edilmiş enjeksiyonla üretilen ve çekme deneyi uygulanan numunenin kırılma yüzeyi görülmektedir. Üretim yöntemine bağlı olarak cam elyafların enjeksiyon yönündeki yönlenmesi fark edilmektedir.



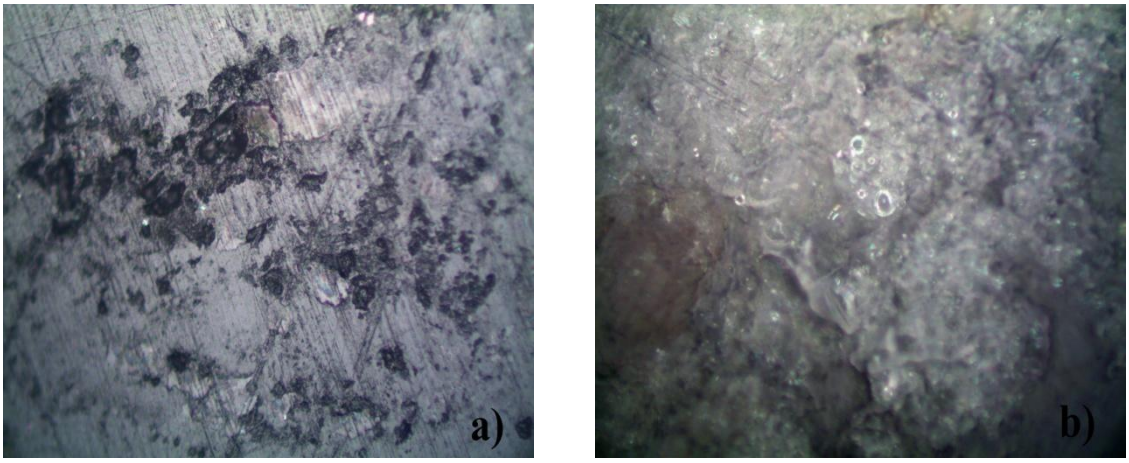
Şekil 8.9 a) PP esas malzemeli cam elyaf takviyeli malzemede elyaf kırılması (500 büyütme) **b)** Malzeme içindeki cam elyafın ucu



Şekil 8.10 a) Darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyi **b)** 30% cam elyaf takviyeli PP

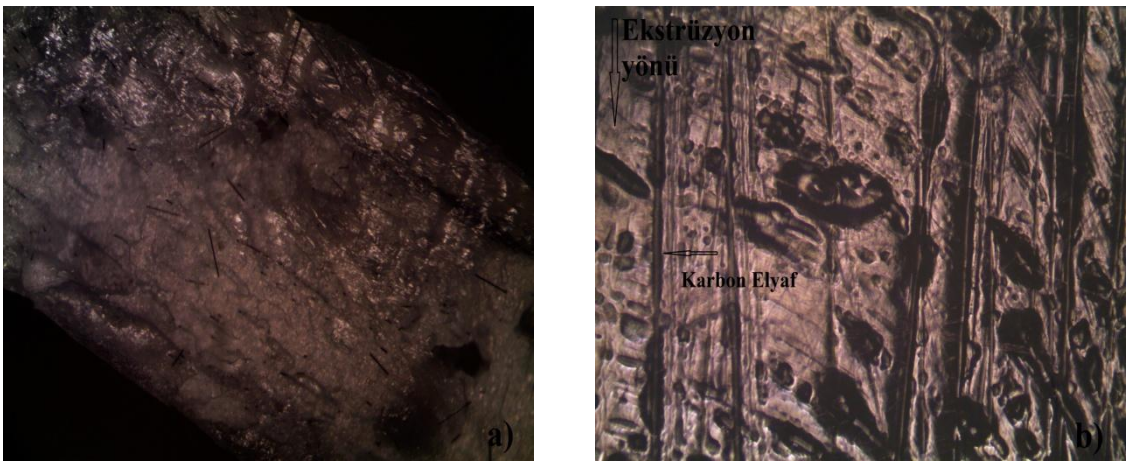
PP malzeme içinde cam kürecik üretim yöntemine bağlı olarak parçalanmadan yapıya katılabiliyor. Ama ekstrüzyon gibi karıştırma ve basınç içeren yöntemlerde takviyenin parçalanması kaçınılmaz olmaktadır. Şekil 8.11 a) ekstrüzyon yöntemi

sonrası parçalanarak yapıya katılan cam kürecikleri gösterirken şekil 8.10 b) basınçlı kalıplama yöntemiyle üretilmiş hasar almadan yapıya katılan cam kürecikleri göstermektedir.

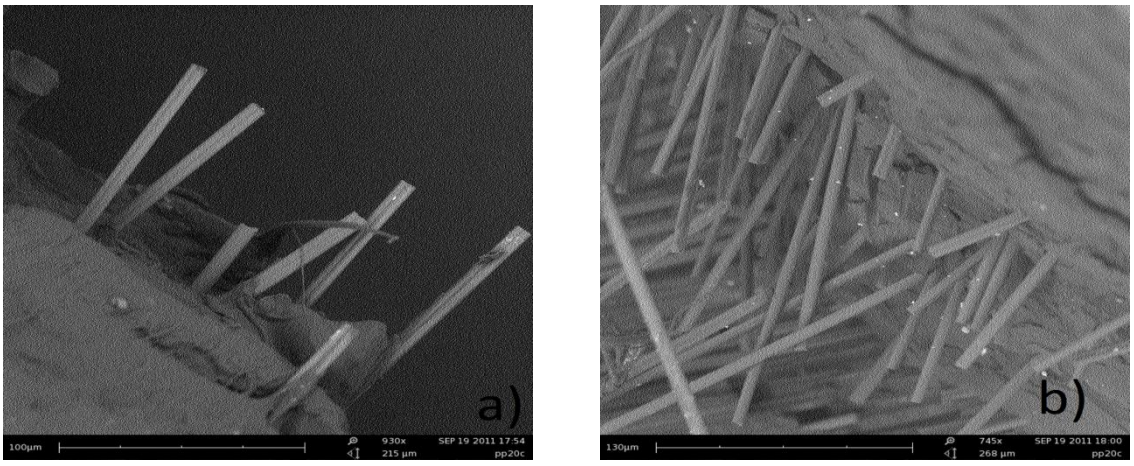


Şekil 8.11 a) Parçalanmış cam kürecik içeren PP malzeme (500 büyütme) **b)** Basınçlı kalıplamayla üretilmiş cam kürecik takviyeli PP malzeme

Karbon elyaf takviyeli (10%) YYPE malzemede çekme deneyi sonrası kopma yüzeyi görüntüleri şekil 8.12 a)'da gösterilmektedir. Karbon elyafların yönlenmesi gözlemlenebilirken aynı zamanda bazı boşluklar da görülmektedir. Bu boşluklar üretim sırasında oluşan kusurlar olarak tespit edilebilir. Kırılma yüzeyine bakılırsa beyaz bölgelerde karbon yoğunluğunun fazlalığı dikkat çekmektedir. Bu da elyaf yönlenmesinin malzeme yüzeyinden çok orta kısmında fazla olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 8.12 b)'de ekstrüzyon işleminde malzeme yüzeyine yakın bölgelerde akışa paralel yönde karbon elyaf yönlenmesi görülmektedir. Şekil 8.13 a) ve b) 'de kırılma yüzeylerinde merkeze yakın bölgelerdeki karbon elyaf dağılımları görülmektedir. Yüzeyde akışa paralel olan elyaf dağılımı şekil 8.13 b)'de görüldüğü gibi merkezde farklı yönlenme göstermektedir. Ekstrüzyon işlemiyle üretilmiş olan bu numune 30% karbon elyaf takviyeli PP malzemedir. Şekil 8.13 a)'da ekstrüzyonla üretilmiş 10% karbon elyaf içeren PP malzemede ise düşük elyaf yoğunluğuna bağlı olarak merkezdeki elyaf yönlenmesinin üretim yönünde olduğu görülmektedir.



Şekil 8.12 a) 10% karbon elyaf takviyeli YYPE malzemede çekme numunesi kopma yüzeyi **b)** YYPE malzemede, ekstrüzyon işleminden sonra karbon elyafın akış yönünde yönlenmesi

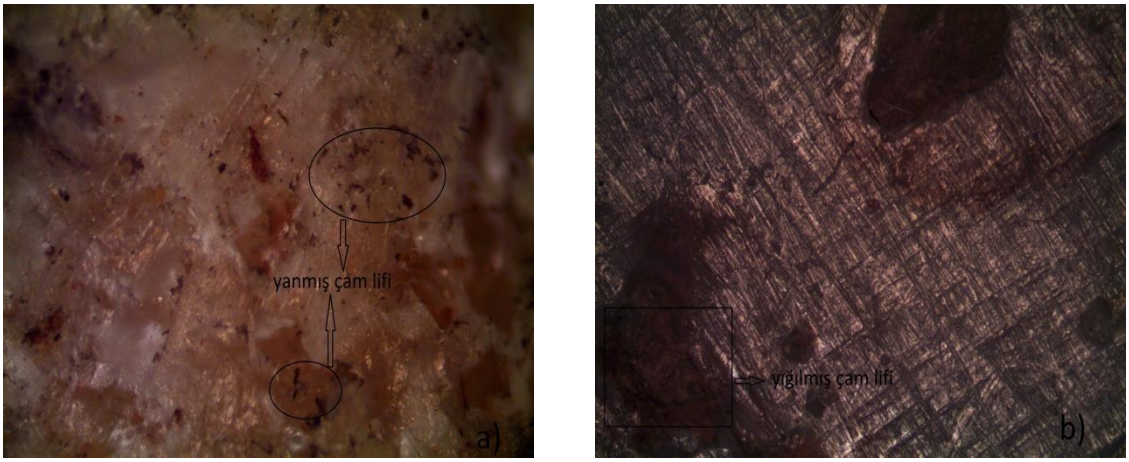


Şekil 8.13 a) Ekstrüzyonla üretilmiş 10% karbon elyaf içeren PP malzeme **b)** 30% karbon elyaf içeren PP malzemede merkezdeki dağılım

Organik takviyeler kompozit üretimi sırasında ısıya maruz kaldıklarında yanma olayı gözlemlenebilmektedir. Bu yapı içinde yanmış takviye artıkları oluşmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada özellikle çam lifi takviyeli kompozitlerde bu sorunla karşılaşılmaktadır. Lifler uzun süre ısıya maruz kaldıklarında bozunarak gerçek işlevini

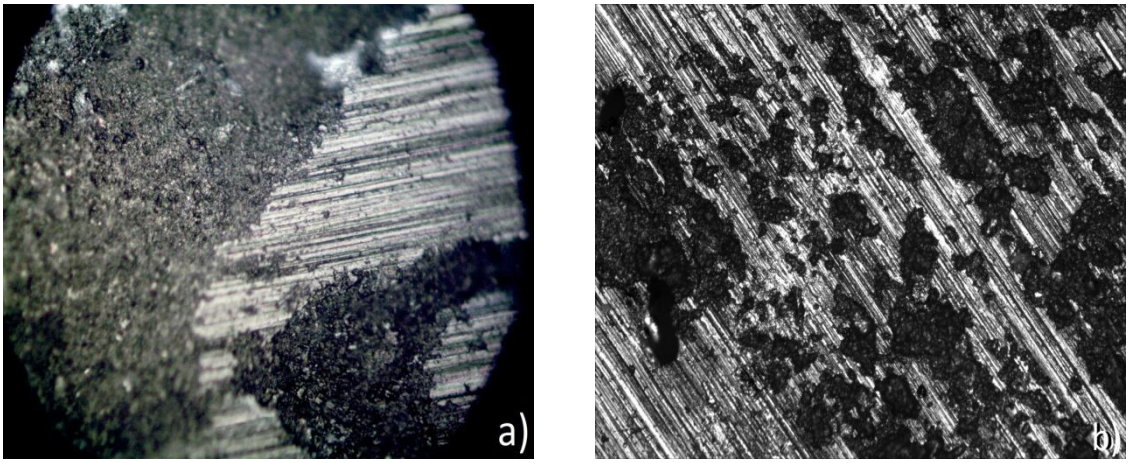
yerine getirememektedirler. Bunun önlenmesi için işleme en son katılımları yapılarak en az seviyede ısıya maruz kalmaları sağlanmıştır. Şekil 8.14 a)'da yanmış çam lifi artıkları YYPE malzeme içinde görülmektedir.

Organik takviyelerde karşılaşılan bir diğer sorun ise yığılma (agglomeration) olayıdır. Özellikle lif ve toz takviyelerde görülen bu sorun homojen bir içyapı elde etme durumunu zorlaştırmaktadır. Bunu çözmek için çalışma kapsamında kurutma işlemine dikkat edilmiş olup, karıştırma uzun süre yapıldıktan sonra işlem tamamlanmıştır. Yığılma olayına ait bir örnek şekil 8.14 b)'de gösterilmiştir.



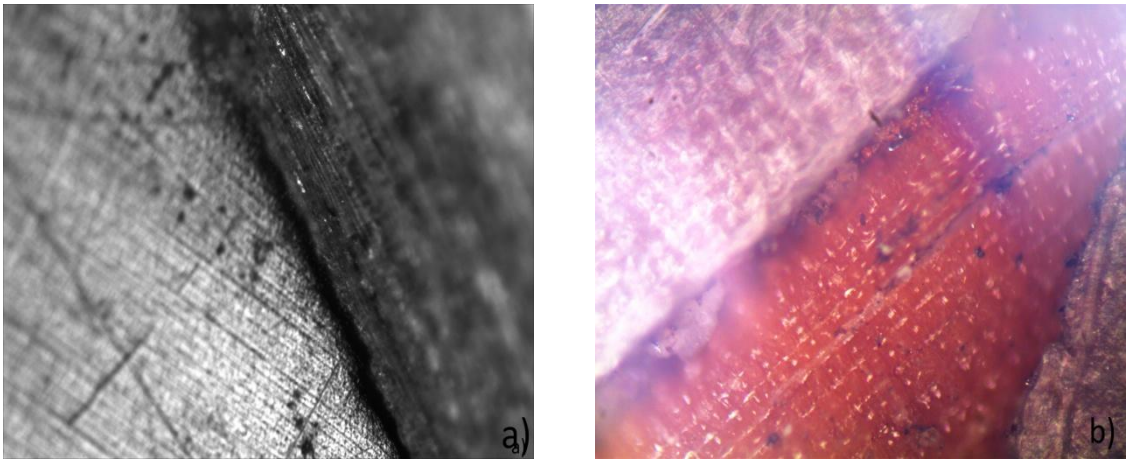
Şekil 8.14 a) Isıya maruz kalmış çam lifi **b)** Malzeme içinde yığılmış olan çam lifi

Ceviz kabuğu tozu takviyeli YYPE malzemenin içyapısı incelendiğinde (şekil 8.15) homojen olmayan bir dağılımın olduğu görülmektedir. Basınçlı kalıplama yöntemiyle üretilen bu numunelerde karıştırma iyi olmadığından işlem sırasında uygulanan basınç toz takviyenin birbiriyle etkileşime geçmesine sebep olmuştur. Yığılma olayının görüldüğü bu yapılarda esas malzeme ile takviye arasında oluşan ara yüzey gözlemlenirken (şekil 8.15 a)), yönlenmeden bağımsız bir dağılım olduğu tespit edilmektedir (şekil 8.15 b)).

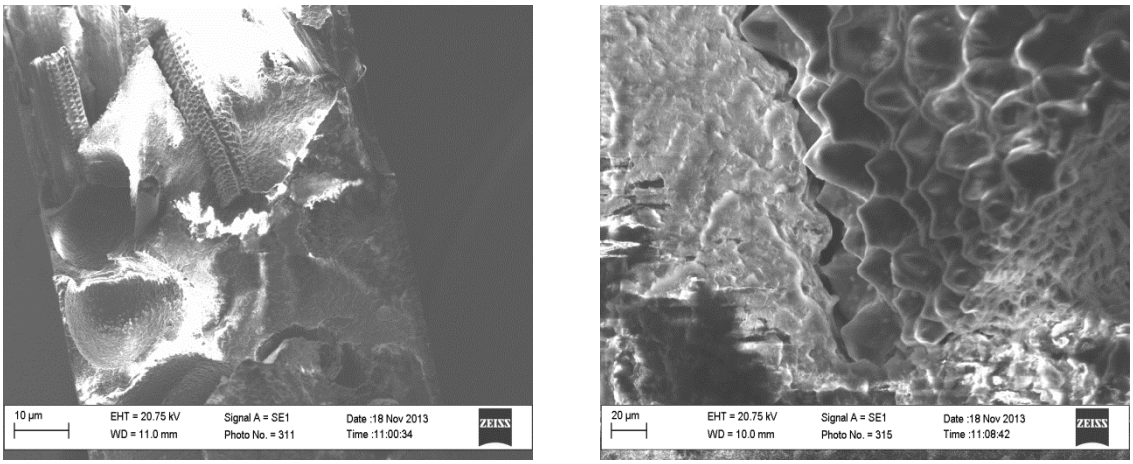


Şekil 8.15 a) Ceviz kabuğu takviyeli YYPE malzemede, takviye ile oluşan ara yüzey **b)** İşlem yönünden bağımsız dağılım ve yığılma kusuru

Siyah pirinç kabuğu takviyeli YYPE malzemeye ait mikroskop ve SEM görüntüleri şekil 8.16 ve 8.17'de sunulmaktadır. Takviye ile esas malzeme arasında oluşan ara yüzey şekil 8.16 a)'da görülürken, siyah pirinç kabuğunun hacminin büyük bir kısmını koruduğu da tespit edilmiştir (şekil 8.16 b)). Çekme deneyi sonrası kırılma yüzeyinin gösterildiği şekil 17 a)' da takviyenin kırılma yüzeyine büyük oranda paralel olduğu görülmektedir. Bu da üretim yönteminde, basınca dik yönde yönlenmeye bağlı yerleşim olarak yorumlanabilir. Şekil 17 b)'de takviye ile esas malzeme arasında ara yüzey oluşumuna daha yakından bakılmıştır. Yüzey enerjilerinden kaynaklanan uyumsuzluk ara yüzey bağlarının zayıf olmasına sebep olmaktadır. Takviyenin kenarları ile esas malzeme arasındaki aralık bunu desteklemektedir.



Şekil 8.16 a) YYPE ve siyah pirinç kabuğu arasındaki ara yüzey oluşumu **b)** Esas malzeme içinde takviyenin bütünlüğünü büyük oranda korumuş hali



Şekil 8.17 a) Çekme deneyinden sonra kırılma yüzeyindeki pirinç kabuğu dağılımı **b)** Takviye ile esas malzeme arasındaki zayıf ara yüzey oluşumu

BÖLÜM 9

SONUÇ VE ÖNERİLER

Organik ve inorganik takviyelerin takviye olarak kullanıldığı bu çalışmada PP ve YYPE termoplastikleri esas malzeme olarak seçilmiştir. Doğal takviyelerin ve inorganik takviyelerin avantajları ve dezavantajları testler yardımıyla açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamında çeşitli üretim yöntemleriyle üretilen örneklerin mekanik ve fiziksel özellikleri incelenerek elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Cam elyaf takviyeli PP ve YYPE malzemeler incelendiğinde, artan takviye oranıyla çekme, basma ve eğilme dayanımları artmıştır. Sırasıyla 57%, 60%, ve 56% oranlarında gerçekleşen artış, en yüksek takviye oranında ve PP esas malzemeli kompozitte elde edilmiştir. Üretim yöntemlerine göre farklı değerler elde edilse de sonuçlarda dayanım artışları değişmemiştir. Dışarıdan gelen yük malzeme içinde cam elyaf yardımıyla iletilirken, daha sağlam yapısından dolayı plastik ana malzemenin mekanik özelliklerinde değişime sebep olmuştur. Darbe dayanımında ise artan takviye oranına bağlı olarak azalma eğilimi gözlemlenmiştir. Bu durum için darbe gibi ani yükleme durumunda, elyaf yoğunluğunun fazla oluşu kuvvet iletim mekanizmasını değiştirerek takviyeler arasında hızlı iletim olmasına sebep olmaktadır. Takviye olmadığında ya da elyaf yoğunluğun az olduğu durumda ani darbe yükü tokluğu fazla olan ana malzeme tarafından taşınmaktadır.

Karbon elyaf içeren örnekler incelendiğinde, cam elyaf takviyeli malzemelerde olduğu gibi, artan takviye oranıyla beraber artan mekanik dayanım gözlemlenmiştir. Karbon elyaf dayanım açısından en yüksek değerlerin elde edilmesini sağlamıştır. PP ana malzemeli kompozitte çekme dayanımında yaklaşık 70%, basma akma dayanımında 72% ve eğilme dayanımında 69% değerlerine ulaşılmıştır. Islanmanın daha iyi gerçekleştiği karbon elyaf takviyede, homojen dağılım da ön plana çıkmıştır. Tüp enjeksiyon üretimiyle elde edilen değerler yüksek olurken, bunun sebebi olarak

elyafların kırılmadan kompozit oluşumuna katılması ifade edilebilir. Darbe dayanımında ise artan takviye oranıyla azalış eğilimi görülmektedir.

Cam kürecik takviyede çekme dayanımında 65%, basma dayanımında 62% ve eğilme dayanımında 61% oranlarına ulaşılırken, darbe dayanımında artış oranı 140% ile YYPE ana malzemeli kompozitte görülmüştür. Kullanılan cam kürecik boyutları büyük olduğundan dolayı elde edilen ara yüzey de büyük olmuştur. Bu da dayanımlarda artışa sebep olmaktadır. Darbe enerjisi değeri düşük takviye oranında (10%) en yüksek değere ulaşırken, artan oranlarda düşüş eğilimi göstermiştir. Geometrik şeklinden dolayı ana malzemeye aktarılan darbe enerjisi elyaf takviyelere göre daha düşük seviyelerde olurken, emilen enerji değeri yüksek olmaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan en küçük yüzey alanına sahip takviye ceviz kabuğu tozu olup, artan takviye oranında çekme, basma ve eğilme dayanımlarında azalma görülmüştür. Düşük takviye oranlarında azalma eğilimi oldukça düşük (2%) düzeydedir. Darbe dayanımı incelendiğinde 10% takviye oranında en yüksek değere (5.76 J) ulaşmış olup, diğer takviye oranlarında azalma eğilim göstermiştir. Takviyesiz PP' ye göre 200% oranında olan artış oranı YYPE malzemeye göre 95% düzeyinde olmuştur. Doğal takviyeler aynı zamanda katıldıkları yapıda su emme kapasitesini de arttırmaktadır. Takviyesiz malzemeye göre 2-3% oranında gerçekleşen su emme kapasitesi için, bazı çalışmalarda mekanik dayanımı azalttığı yönünde sonuçlar sunulmuştur. Bu bağlamda kullanılan bütün doğal takviyeler için nem alma işlemi uygulanmıştır. Üretim yöntemine göre değişse de ayrıca yığılma kusura da gözlemlenmiştir.

Çam lifi takviyeli kompozit malzemeler incelendiğinde, PP ve YYPE esas malzemeler benzer eğilimler göstermektedir. Düşük takviye oranında kısmi artış olurken, 20-30% arası takviye oranlarında çekme ve basma dayanımlarında azalma olmuştur. Eğilme dayanımı ise artan takviye oranıyla takviyesiz malzeme ile benzer değerlere ulaşırken kısmi artışlar göstermektedir. Çam lifi cam ve karbon elyafa benzer kuvvet iletim mekanizması sergilemektedir. Fakat özgül dayanımı düşük olduğundan kompozit içindeki etkisi de kısıtlı olmuştur. Mekanik testlere ait grafikler incelendiğinde, dayanımlardaki düşüş göze çarparken, elastiklik ve eğilme modüllerindeki artışlar da kayda değer oranlarda olduğu görülmektedir. Darbe dayanımı

esas malzemeye oranla düşük seviyede artarken (20-25%), artan takviye oranıyla da daha az oranda artış olduğu tespit edilmiştir.

Siyah pirinç kabuğu içeren kompozit malzemeler incelendiğinde, 10% takviye oranında mekanik dayanımlarda 10-15% arası artış gözlemlenmiştir. 20-30% oranında takviye kullanıldığında ise azalma eğilimi olmuştur. Düşük takviye oranında ara yüzey oluşumunun iyi olduğu, takviye oranı arttıkça yığılma ve takviye kırılması gibi durumlar yüzünden ara yüzey oluşumunun engellendiği görülmektedir. Bu da dayanım azalmasına sebep olmaktadır. Bütünlüğünü koruduğu sürece siyah pirinç kabuğu geniş ara yüzey oluşturma potansiyeli içermektedir. Darbe dayanımı 10% takviye oranında 90% düzeyinde artış gösterirken, 20-30% oranlarında daha düşük düzeyde artış göstermiştir. Doğal takviyeler içinde en yüksek su emme kapasitesi siyah pirinç kabuğu içeren kompozitlerde görülmüştür.

Çalışma kapsamında kompozit üretimi için kullanılan farklı üretim yöntemleri mekanik dayanım ve fiziksel özellikler de farklı sonuçların çıkmasına sebep olmuştur. Ekstrüzyon yönteminde homojene yakın karışım elde edilirken, karıştırma ve basınçtan dolayı takviyelerin boyutları küçülmektedir. Tüp enjeksiyon yönteminde ise yüksek basınçtan dolayı ara yüzey oluşumlarının arttığı tespit edilmiştir. Fakat homojen dağılım daha az görülmektedir. Kompozit karışımların kalıptan sonraki ve kalıp içerisindeki soğuma süreleri de incelenen özellikler üzerinde etkili olmuştur. Bunun sebebi soğuma hızına bağlı olan kristalleşme oranıdır.

İleriki çalışmalarda takviye ve esas malzeme arasındaki ara yüzey oluşumunu arttıracak yöntemler kullanılabilir. Maleik asit ve ya asidik asit gibi kimyasallarla aşılanmış polimerler kullanılarak ara yüzey gelişimi sağlanabilir. Ayrıca inorganik takviyeler ile doğal takviyeler aynı malzeme içinde bir araya getirilerek özellikleri daha iyi kompozit yapılar elde edilebilir. İnorganik takviyelerin düşük elastiklik modülleri ve kopma uzamaları doğal takviyeler ile iyileştirilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Kansu Y., ***Cam Küre, Caco3 Ve Talk Dolgulu Polipropilen Hibrit Kompozitlerin Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi***, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Marmara Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü., İstanbul, 2005

[2] Bitirgiç Ç**.,** ***Plastik Enjeksiyon Kalıpçılığında PP Malzemeye Katılan ABS Ve Cam Elyafın Mekanik Özelliklere Etkisi***, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010

[3] Kavlakoğlu A. B., ***Biyo-Kökenli Doğal, Organik Elyaf Katkılı Termoplastik Kompozitlerinin Hazırlanması***, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Kimya Mühendisliği A.B.D. Proses Ve Reaktör Tasarımı Programı, İstanbul, 2010

[4] Mohammad Razavi-Nouri, Fatemeh Jafarzadeh-Dogouri, Abdulrasoul Oromiehie, and Amir Ershad Langroudi, ***Mechanical Properties and Water Absorption Behaviour of Chopped Rice Husk Filled Polypropylene Composites***, Iranian Polymer Journal 15 (9), 757-766, 2006

[5] S. Turmanova, A. Dimitrova & L. Vlaev, ***Comparison of Water Absorption and Mechanical Behaviors of Polypropene Composites Filled with Rice Husks Ash***, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 47: 809–818, 2008

[6] S.-Y. Fu, B. Lauke, E. Ma¨der, C.-Y. Yue, X. Hu, ***Tensile Properties Of Short-Glass-Fiber- And Short-Carbon-Fiber-Reinforced Polypropylene Composites***, Composites: Part A 31, 1117–1125, 2000

[7] Nadir Ayrilmis , Alperen Kaymakci , Ferhat Ozdemir***, Physical, Mechanical, And Thermal Properties Of Polypropylene Composites Filled With Walnut Shell Flour***, Journal of Industrial and Engineering Chemistry 19, 908–914,2013

[8] M.A. AlMaadeed, Mabrouk Ouederni, P. Noorunnisa Khanam, ***Effect of chain structure on the properties of Glass fibre/polyethylene composites***, Materials and Design 47, 725–730, 2013

[9] Nicole M. Stark, Robert E. Rowlands, ***Effects Of Wood Fiber Characteristics On Mechanical Properties Of Wood/Polypropylene Composites***, Wood and Fiber Science, 35(2), pp. 167-174, 2003

[10] Yong Lei, Qinglin Wu, ***Wood plastic composites based on microfibrillar blends of high density polyethylene/poly(ethylene terephthalate)***, Bioresource Technology 101, 3665–3671, 2010

[11] Selçuk Akbaş, Mürşit Tufan, Türker Güleç, and Ali Temiz, ***Utilization of Walnut Shells as Filler in Polymer Composites***, 947 International Caucasian Forestry Symposium, 2013, Artvin, Türkiye

[12] Yıldırım A., ***Öğütülmüş Fındık Kabuğunun Polipropilen Matrisli Kompozitlerde Kullanılabilirliği***, Yüksek Lisans Tezi, Metal Eğitimi A.B.D, T.C. Marmara Üniversitesi, 2007

[13] Engin K. E., ***Doğal Liflerle Desteklenmiş Termoplastik Malzemelerin Isıl Şekillendirme Yöntemi Ile Üretilmesi***, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 2007

[14] Oral M. A., ***Effects Of Polymer Fıller Interface Improvments On Mechanıcal And Physıcal Propertıes Of $CaCO_3$ Fılled Polypropylene Composıte***, Istanbul Technical University Istıtute of Scıence and Tchnology, İstanbul, 2006

[15] Uçar A., ***Kalsit Dolgulu Polipropilen Kompozitlerde Sıcaklığın Yaşlanma Özelliklerine Etkisi***, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi A.B.D., İstanbul, 2009

[16] Mudu M., ***Organik-İnorganik Hibrid Takviyeli Polipropilen Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi***, Yüksek Lisans Tezi, Metal Eğitimi A.B.D. Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2010

[17] Jitendra Bhaskar, Shamsul Haq And SB Yadaw, ***Evaluation And Testing Of Mechanical Properties Of Wood Plastic Composite***, Journal Of Thermoplastic Composite Materials, 25(4) 391–401, 2011

[18] Ahmed J. Mohammed, ***Study The Effect Of Adding Powder Walnut Shells On The Mechanical Properties And The Flame Resistance For Low Density Polyethylene (LDPE)***, International Journal of Science and Technology Volume 3 No. 1, January, 2014

[19] Kaya S., ***Ahşap Tozu Takviyeli Polipropilen (PP) Esaslı Kompozit Malzemelerin Akış Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi***, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üni. Fen Bilimleri Enst. Makine Eğitimi A.B.D. Karabük, 2012

[20] Güler Ü., ***Termoplastiklerin Ekstrüzyonunda Kalıp Yüzey Pürüzlülüğünün Akış Hızı Ve Basınç Düşümüne Etkisi***, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üni. Fen Bilimleri Enst. Makine Müh A.B.D, 2012

[21] Arayapranee W., Remple G. L., ***A Comparative Study Of The Cure Characteristics, Processability, Mechanical Properties, Ageing, And Morphology Of Rice Husk Ash, Silica And Carbon Black Filled 75 : 25 NR/EPDM Blends***, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 109, 932–941 (2008) VVC, 2008

[22] Arayapranee W., Remple G. L. ,***A Comparison Of The Properties Of Rice Husk Ash, Silica, And Calcium Carbonate Filled 75 : 25 NR/EPDM Blends***, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 110, 1165–1174 VVC 200, 2008

[23] Fabiana Pires de Carvalho, Maria Isabel Felisberti, Mauro Alfredo Soto Oviedo, Marcio Davila Vargas, Marcelo Farah, Marcia Pires Fortes Ferreira, ***Rice Husk/Poly(Propylene-Co-Ethylene) Composites: Effect Of Different Coupling Agents On Mechanical, Thermal, And Morphological Properties***, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 123, 3337–3344 VC, 2012

[24] E. Agnantopoulou, V. Tserki, S. Marras, J. Philippou, C. Panayiotou, ***Development Of Biodegradable Composites Based On Wood Waste Flour And Thermoplastic Starch***, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 126, E272–E280 VC 2012 Wiley Periodicals, Inc., 2012

[25] Andrea Wechsler, Salim Hiziroglu, ***Some Of The Properties Of Wood–Plastic Composites***, Building And Environment 42 2637–2644, 2007

[26] Sı´lvia Helena Prado Bettini, Arnaldo Toledo Uliana, Dennis Holzschuh, ***Effect of Process Parameters and Composition on Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of Polypropylene/Sawdust Composites***, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 108, 2233–2241 VVC 2008 Wiley Periodicals, Inc., 2008

[27] Ümit H., ***Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi***, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Müh. A. B. D., 2008

[28] Yaşar H. , ***Plastikler Dünyası***, MMO Yayınları, Ankara, 2. Baskı, 2001

[29] Harutun G. Karian, ***Handbook Of Polypropylene And Polyproylene Composites, Marcel Dekker Inc.***, New York, 2003

[30] Myer Kutz, ***Applied Plastics Engineering Handbook- Processing and Material***, Plastic Design Library, Elsevier, 2011

[31] Braydson J. A., ***Plastics Materials***, Butterworth-Heinemann, Polytechnic of North London, 1999

[32] Şahin Y. , ***Kompozit Malzemelere Giriş***, Gazi Kitapevi, Ankara, 2000

[33] Jang-Kyo Kim, Yiu-Wing Mai, ***Engineered Interfaces In Fiber Reinforced Composites***, Elsevier, 1998

[34] Cam Elyaf A.Ş., CTP Teknolojisi, Cam Elyaf Sanayi Yayınları, 2000

[35] Turgay Uluşen, ***Kompozit Malzelerin Kimyasal Kaplama İşlemlerinin İncelenmesi***, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D., 2008

[36] Ates, Saim; Akyildiz M. Hakan; Ozdemir Hasan, ***Effects Of Heat Treatment On Calabrian Pine (Pinus Brutia Ten.) Wood***, BioResources, Vol. 4 Issue 3, p1032-1043. 12p.,2009

[37] M.U. Obidiegwu, S. C. Nwanonenyi, I. O Eze, I. C. Egbuna, ***The effect of Wallnut Shell Powder On The Properties Of Polypropylene Filled Composites***, The International Asian Research Journal 02, pp 22-29, 2014

[38] Dominick V Rosato, Donald V Rosato, ***Plastics Engineered Product Design***, Elsevier Advanced Technology,2003

[39] S. Kalia, B. S: Kaith, I. Kaur, ***Cellulose Fibers: Bio- And Nano- Polymer Composites***, Green Chemistry and Technology, Springer, 2011

[40] Cihan Can, ***Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Termoplastik Malzemelerin Modelleme ve Analizleri***, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D., 2008

[41] F L Matthews, G A O Davies,D Hitchings and C Soutis, ***Finite element modelling of composite materials and structures***, Published by Woodhead

Publishing Limited, Abington Hall, Abington Cambridge CB1 6AH, England, 2000

[42] Anonymous. 2000. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 10th ed. Minnesota, USA.

[43] Nevin Gamze Karslı, Ayse Aytac, ***Effects Of Maleated Polypropylene On The Morphology Thermal And Mechanical Properties Of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites***, Materials and Design 32 4069–4073, 2011

ÖZGEÇMİŞ

Ümit HÜNER 17.09.1981 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini İstanbul, orta öğrenimini Lüleburgaz'da tamamladı. 1999 yılında girdiği Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden 2005 yılında mezun oldu. Askerliği tecilli olan Ümit HÜNER Eylül 2005'te Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans öğrenimine başlayıp 2008 yılında tamamladı. 2005 Aralık ayında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü dâhilinde Makine Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen bu kurumda görevine devam etmektedir.