

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAM KOZALAĞI TAKVİYELİ
KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ



Samir AĞAYEV

Eylül, 2018

İZMİR

ÇAM KOZALAĞI TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programı

Samir AĞAYEV

Eylül, 2018

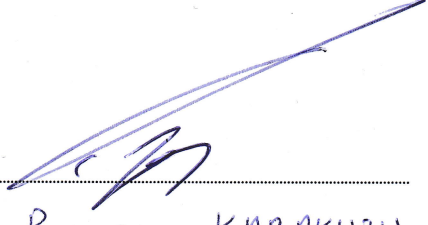
İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

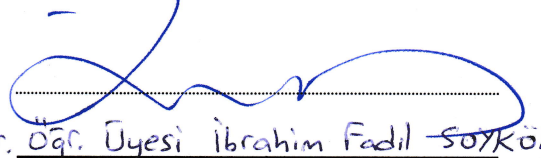
SAMİR AĞAYEV, tarafından **DR. ÖĞR.ÜYESİ OKAN ÖZDEMİR** yönetiminde hazırlanan “**ÇAM KOZALAĞI TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Dr. Öğr. Üyesi Okan ÖZDEMİR

Yönetici


Prof. Dr. Ramazan KARAKUŞ

Jüri Üyesi


Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Fadil SOYLUK

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesini sağlayan hocam saygıdeğer Dr. Öğr. Üyesi Okan ÖZDEMİR'e tezin uygulanması ve tamamlanması süresince faydalı bilgilerini ve deneyimlerini benimle paylaştığı için sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, numune öğütme işlemlerinde yardımlarını benden esirgemeyen Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü öğretim üyesi Araş. Gör. Ümit HORASAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen, deney çalışmalarında yardımcı olan Araş. Gör. Akar DOĞAN'a, Araş. Gör. Nahit ÖZTOPRAK'a ve arkadaşlarım Halis KANDAŞ ve Erdem ZORER'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Son olarak, yüksek lisans tez çalışmam boyunca tüm zorluklarda her zaman, her koşulda beni destekleyen ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim, bana güvenen aileme çok teşekkür ederim.

Samir AĞAYEV

ÇAM KOZALAĞI TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Çam kozalağı bitkisi doğada ucuz ve bol miktarda bulunan selülozik bir malzemedir. Termoplastik esaslı kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılabilir. Çam kozalağı bitkisi, mekanik özelliklerinin iyi olmasından dolayı dolgu maddesi olarak kompozitlerde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, çam kozalağı takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kompozitler üretilmiş ve karakterize edilmiştir. Çam kozalakları İzmir bölgesi, Türkiye’den toplanmıştır. Granül halinde yüksek yoğunluklu polietilen (S0464) Petkim Petrokimya Holding A.Ş.’den alınmıştır. Çam kozalakları bir bıçak kullanılarak 1 cm’lik küçük parçalar haline getirilmiş ve halkalı değirmen içinde öğütülerek toz haline dönüştürülmüştür. İlk olarak, 1x350x350 mm boyutunda iki adet YYPE plaka üretilmiştir. Daha sonra, plakaların arasına toz haline dönüştürülmüş çam kozalaklarının farklı miktarları ağırlıkça (yüzde 5, yüzde 10, yüzde 15 ve yüzde 20) ilave edilmiştir. Devamında, yine aynı şartlarda 2x350x350 mm boyutunda farklı oranlarda çam kozalağı takviyeli YYPE kompozitleri elde edilmiştir.

Son olarak, kompozitlerin mekanik özellikleri oda sıcaklığında belirlenmiştir. Çekme, basma, eğilme ve düşük hızlı darbe davranışları çeşitli eğriler yardımıyla değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Termoplastik malzemeler, yüksek yoğunluklu polietilen, düşük hızda darbe deneyi, üç nokta eğme deneyi, basma deneyi, çekme deneyi, çam kozalağı

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF PINE-CONE REINFORCED COMPOSITES

ABSTRACT

The pine cone plant is a cellulosic material that is inexpensive and abundant in nature. It can be used as reinforcing material in thermoplastic based composites. Pine cone plant has good mechanical properties and therefore allows it to be used as a filler in composites.

In this study, pine cone reinforced high density polyethylene (HDPE) composites were produced and characterized. The pine cones were collected from Izmir region of Turkey. Granular high density polyethylene (S0464) was obtained from Petkim Petrokimya Holding LTD. The pine cones were cut into 1 cm pieces using a knife and pulverized by grinding in a ring mill. Firstly, two HDPE plates with dimensions of 1x350x350 mm were manufactured. Then, different percentage amounts of powdered pine cones were added to between the plates by weight (5 percent, 10 percent, 15 percent and 20 percent). Afterwards, under the same conditions, pine cone reinforced YYPE composites with different percentage of 2x350x350 mm were obtained.

Finally, the mechanical properties of composites were determined at room temperature. Tension, compression, bending and low-velocity impact behaviors were evaluated with various curves.

Keywords: Thermoplastic materials, high density polyethylene, low velocity impact test, three point bending test, compression test, tensile test, pine cone

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xiv
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1 Kompozitlerin Tanımı	2
1.2 Kompozitlerin Kısa Tarihi.....	4
BÖLÜM İKİ – KOMPOZİTLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER	6
2.1 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	6
2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	9
2.3 Matris Malzemesinin Türüne Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması	10
2.3.1 Metal Matris Kompozitler	11
2.3.2 Seramik Matris Kompozitler	12
2.3.3 Polimer Matris Kompozitler	13
2.3.3.1 Polimer Matrisli Kompozitlerin Sınıflandırılması	13
2.3.3.1.1 Termosetler.....	13
2.3.3.1.2 Elastomerler	14
2.3.3.1.3 Termoplastikler	14
2.3.3.2 Termoplastiklerin Sınıflandırılması	16
2.3.4 Polietilen.....	17
2.3.4.1 Polietilenin Sınıflandırılması	17
2.3.4.2 Polietilenin Avantajları ve Dezavantajları	19
2.3.4.3 Polietilenin Kullanım Alanları	19

BÖLÜM ÜÇ – TERMOPLASTİKLERİN ÜRETİM VE ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ..... 21

3.1 Enjeksiyon Kalıplama	21
3.1.1 Pistonlu Enjeksiyon Kalıplama	22
3.1.2 Vidalı Enjeksiyon Kalıplama.....	22
3.2 Isıl Şekillendirme	23
3.2.1 Vakumda Isıl Şekillendirme	24
3.2.2 Basınçlı Isıl Şekillendirme.....	24
3.2.3 Mekanik Isıl Şekillendirme	25
3.3 Termoplastik Bant Sarma	26
3.4 Şişirme İle Kalıplama	26
3.4.1 Ekstrüzyonlu Şişirme Kalıplama	27
3.4.2 Enjeksiyonlu Şişirme Kalıplama	28
3.4.3 Germeli Şişirme Kalıplama	28
3.5 Basınçlı Kalıplama	29

BÖLÜM DÖRT – MALZEME VE YÖNTEM 31

4.1 Malzeme	31
4.1.1 Çam Kozalağının Kimyasal Arıtma İşlemi	31
4.1.2 Deneyde Kullanılan Matris Malzemesi	32
4.2 Literatür Taraması	33
4.3 Deneylerde Kullanılan Cihazlar, Kompozit Üretimi, Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Yapılan Deneyler.....	47
4.3.1 Kompozit Üretiminde ve Deneylerde Kullanılan Cihazlar	47
4.3.2 Sıcak Presli Kalıplama ve Numunelerin Elde Edilmesi	48
4.3.3 Numunelerin Deney Standartlarına Uygun Hazırlanması	49
4.3.4 Düşük Hızlı Darbe Deneyinin Tanımı ve Darbe Cihazı	50
4.3.4.1 Deneyin Tanımı	50
4.3.4.2 Deneyin Amacı	51
4.3.4.3 Düşük Hızlı Darbe Teknikleri.....	51

4.3.4.4 Darbe Deneyinin Yapılışı ve Darbe Cihazı	52
4.3.4.5 Kompozit Malzemelerde Darbe Hasar Modları.....	53
4.3.4.5.1 Matris Modu	53
4.3.4.5.2 Delaminasyon Modu	54
4.3.4.5.3 Fiber Modu Nüfuziyet ve Delinme	54
4.3.4.5.4 Nüfuziyet ve Delinme	54
4.3.5 Çekme Deneyinin Tanımı ve Çekme Cihazı	54
4.3.5.1 Deneyin Tanımı	54
4.3.5.2 Çekme Deneyinde Tanımlamalar ve Teorik Bilgi	55
4.3.5.3 Çekme Deneyinin Yapılışı ve Çekme Cihazı	57
4.3.6 Basma Deneyinin Tanımı ve Amacı.....	58
4.3.6.1 Basma Deneyinde Numune Standartları.....	59
4.3.6.2 Basma Deneyinin Yapılışı ve Basma Cihazı	60
4.3.7 Üç Nokta Eğme Deneyinin Tanımı ve Amacı	60
4.3.7.1 Üç Nokta Eğme Deneyinin Yapılışı ve Numune Standartları.....	61
BÖLÜM BEŞ – DENEY SONUÇLARI.....	63
5.1 Darbe Deneyi Sonuçları	63
5.1.1 Artan Enerji Değerine Göre Temas Kuvveti-Çökme Grafiklerinin İncelenmesi.....	65
5.1.1.1 Katkısız YYPE’nin Temas Kuvveti-Çökme Grafiklerinin İncelenmesi	65
5.1.1.2 %5 ve %10 Çam Kozalağı Takviyeli YYPE’nin Temas Kuvveti-Çökme Grafiklerinin İncelenmesi	66
5.1.1.3 %15 ve %20 Çam Kozalağı Takviyeli YYPE’nin Temas Kuvveti-Çökme Grafiklerinin İncelenmesi	66
5.1.2 Artan Takviye Miktarına Göre Temas Kuvveti-Çökme Grafiklerinin İncelenmesi.....	67
5.1.2.1 5J ve 10J Enerji Değerinde Katkılı YYPE Kompozitlerin Temas Kuvveti-Çökme Grafiklerinin İncelenmesi.....	67
5.1.2.2 15J Enerji Değerinde Katkılı YYPE Kompozitlerin Temas Kuvveti-	

Çökme Grafiklerinin İncelenmesi	68
5.1.2.3 20J ve 25J Enerji Değerinde Katkılı YYPE Kompozitlerin Temas Kuvveti-Çökme Grafiklerinin İncelenmesi	69
5.1.3 Enerji-Zaman Grafikleri	69
5.1.3.1 5J ve 10J Enerji Seviyesinde Gerçekleştirilen Deneyler	70
5.1.3.2 15J Enerji Seviyesinde Gerçekleştirilen Deneyler	70
5.1.3.3 20J ve 25J Enerji Seviyesinde Gerçekleştirilen Deneyler	71
5.1.4 Ortalama Değerlerle Numunelerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi .	71
5.1.5 Eş Enerji Diyagramları	74
5.1.6 Hasarlı Numunelerin İncelenmesi	75
5.2 Çekme Deneyi Sonuçları	77
5.3 Basma Deneyi Sonuçlarının Belirlenmesi	79
5.3.1 Basma Deneyi Sonuçları	79
5.4 Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçlarının Belirlenmesi	81
5.4.1 Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları	82
BÖLÜM ALTI – SONUÇLAR	85
KAYNAKLAR	88

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Yolcu uçağının burun kısmında bulunan radom kapağı	4
Şekil 2.1 Yıllara göre kompozitlerin kullanımı ve piyasa hacmi	6
Şekil 2.2 Boeing 787 Dreamliner’da ana malzemeler ve kompozitlerin kullanımı	7
Şekil 2.3 Yapı bileşenlerinin şekillerine göre kompozit malzemelerin şematik görünümü a) fiber takviyeli, b) partikül (parçacık) takviyeli, c) tabaka yapılı (lamine), d) karma (hibrid) yapılı ve e) dolgulu (kafes) yapılı.....	10
Şekil 2.4 Matris malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırılması	11
Şekil 2.5 Metal matris kompozitten yapılmış gaz türbini motoru.....	12
Şekil 2.6 Termoplastiklerin şematik yapısı	15
Şekil 2.7 Amorf ve yarı-kristal yapılı termoplastiklerin gösterilişi	16
Şekil 2.8 Saf polietilenin kimyasal yapısı	17
Şekil 2.9 Polietilenin temel kullanım alanları	20
Şekil 3.1 Tipik bir pistonlu enjeksiyon kalıplama makinesinin kesiti	22
Şekil 3.2 Tipik bir vidalı enjeksiyon kalıplama makinesinin kesiti a) vida geri çekilmiş pozisyonda ve b) vida ileri pozisyonda	23
Şekil 3.3 Vakumda ısıtılma şekillendirme	24
Şekil 3.4 Basınçlı ısıtılma şekillendirme	25
Şekil 3.5 Mekanik ısıtılma şekillendirme.....	25
Şekil 3.6 Termoplastik bant sarma makinesinin şematik yapısı	26
Şekil 3.7 Ekstrüzyon yöntemi ile şişirme kalıplama; 1) parison çıkışı, 2) kalıplar kapanır ve parison sıkıştırılır, 3) basınçlı hava girişi sağlanır ve 4) kalıp çıkarılır	27
Şekil 3.8 Enjeksiyonlu şişirme kalıplama; 1) parison oluşturulur, 2) parison şişirme kalıbına aktarılır, 3) basınçlı hava girişi sağlanarak parison şişirilir ve 4) kalıp çıkarılır.....	28
Şekil 3.9 Germe yöntemi ile şişirme kalıplama; 1) parisonun enjeksiyon kalıplanması, 2) germe işlemi ve 3) şişirme	29
Şekil 3.10 Basınçlı kalıplama yönteminin çalışma prensibi	29
Şekil 4.1 a) Çam kozalağı bitkisi ve b) halkalı değirmen	31

Şekil 4.2 Çam kozalağı tozlarının kimyasal arındırma işlem süreci; 1) arındırmadan önceki hali, 2) sodyum hidroksitin sulu çözeltisinin eklenmesi, 3) manyetik karıştırıcıda 48 saatlik karıştırma süreci, 4) kurutma süreci ve 5) kurutmadan sonraki hali	32
Şekil 4.3 YYPE ve AÇ/YYPE kompozitler için çekme dayanımı değerleri	34
Şekil 4.4 YYPE ve AÇ/YYPE kompozitler için eğilme dayanımı değerleri	34
Şekil 4.5 Üç ayrı kompozitin çekme dayanımı değerleri	35
Şekil 4.6 Üç ayrı kompozitin elastisite modülü değerleri	35
Şekil 4.7 Üretilmiş kompozitler için tabakalar arası kayma dayanımı değerleri	37
Şekil 4.8 Üretilmiş kompozitler için eğilme dayanımı değerleri	37
Şekil 4.9 Üretilmiş kompozitler için çekme dayanımı değerleri	37
Şekil 4.10 GG5/YYPE ve GG50/YYPE kompozitlerinin çekme dayanımındaki değişimleri	39
Şekil 4.11 GG5/YYPE ve GG50/YYPE kompozitlerin elastisite modülündeki değişimler	39
Şekil 4.12 Çam kozalağı lifli ve kil parçacıklı polipropilen hibrid kompozitlerin çekme dayanımı ve elastisite modülü değişimleri	40
Şekil 4.13 Çeşitli numunelerin çekme dayanımı değerleri	41
Şekil 4.14 Çeşitli numunelerin elastisite modülü değerleri	41
Şekil 4.15 Çeşitli numunelerin sertlik değerleri	42
Şekil 4.16 Çeşitli numunelerin su emme davranışları	42
Şekil 4.17 a) Kenaf lif takviyeli YYPE yeşil kompozitlerin çekme dayanımı değişimleri ve b) kenaf lif takviyeli YYPE yeşil kompozitlerin elastisite modülü değişimleri	43
Şekil 4.18 a) Kenaf lif takviyeli YYPE yeşil kompozitlerin eğilme dayanımı değişimleri ve b) kenaf lif takviyeli YYPE yeşil kompozitlerin eğilme modülü değişimleri	44
Şekil 4.19 YYPE biokompozitlerin çekme özelliklerindeki iyileştirme değerleri	44
Şekil 4.20 a) GO/YYPE ve fGO/YYPE nanokompozitlerin gerilim-gerinim eğrisi ve b) GO katkı oranının artırılarak fGO/YYPE nanokompozitlerinde kopma gerilimi ve kopma gerinimi	46

Şekil 4.21 YYPE/HA ve nano YYPE/HA'nın soğurulmuş doz boyunca elastisite modülü değişimleri	47
Şekil 4.22 Üretim için kullanılan LabEcon 600 serisine ait pres	48
Şekil 4.23 Sıcak preslemede sıcaklığın zaman ile değişim grafiği	49
Şekil 4.24 Üretilen kompozit malzemenin şematik görünümü	49
Şekil 4.25 MZK 3800 DIAMOND SX çizicili yatar daire makinesi	50
Şekil 4.26 CEAST-Fractovis Plus darbe cihazının iç gösterimi	52
Şekil 4.27 Darbe deneyi için numunelerin hazırlanması	53
Şekil 4.28 Polimer malzemenin gerilme-birim uzama davranışı	55
Şekil 4.29 Plastiklerde deformasyon; a) polimer molekülün uzaması b) sarılı moleküler zincirin açılması ve c) moleküller arası yer değiştirme	56
Şekil 4.30 Çekme deneyi sırasında sünek malzemelerin gerilme-uzama eğrisi	56
Şekil 4.31 Shimadzu AG-Xserisi universal test cihazı	57
Şekil 4.32 Numunenin şematik görünümü ve numunelerin Shimadzu AG-X çekme testi cihazına yerleştirilmesi	58
Şekil 4.33 Basma deneyi aparatı ve numunenin şematik görünümü	60
Şekil 4.34 Üç nokta eğme deneyi düzeneği ve numune boyutları	62
Şekil 4.35 Eğme deneyinde a) numunenin deney için hazırlanması ve b) deney sonrası numune şekli.....	62
Şekil 5.1 Katkısız YYPE'nin farklı enerji seviyelerinde temas kuvveti-çökme grafikleri	65
Şekil 5.2 a) %5 ve b) 10 çam kozalağı katkılı YYPE'nin farklı enerji seviyelerinde temas kuvveti-çökme grafikleri	66
Şekil 5.3 a) %15 ve b) %20 çam kozalağı katkılı YYPE'nin farklı enerji seviyelerinde temas kuvveti-çökme grafikleri	67
Şekil 5.4 a) 5J ve b) 10J enerji seviyesinde ÇK/YYPE kompozitlerin artan takviye miktarına göre temas kuvveti-çökme grafikleri.....	68
Şekil 5.5 15J enerji seviyesinde ÇK/YYPE kompozitlerinin artan takviye miktarına göre temas kuvveti-çökme grafiği	68
Şekil 5.6 ÇK/YYPE kompozitlerinin artan takviye miktarına göre a) 20J ve b) 25J enerji seviyesinde temas kuvveti-çökme grafikleri	69

Şekil 5.7 ÇK/YYPE kompozitlerinin artan takviye miktarına göre a) 5J ve b) 10J enerji seviyesinde enerji-zaman grafikleri.....	70
Şekil 5.8 ÇK/YYPE kompozitlerinin artan takviye miktarına göre 15J enerji seviyesinde enerji-zaman grafiği.....	71
Şekil 5.9 ÇK/YYPE kompozitlerinin artan takviye miktarına göre a) 20J ve b) 25J enerji seviyesinde enerji-zaman grafikleri.....	71
Şekil 5.10 %5 katkılı YYPE kompozitlerin a) maksimum temas kuvvetlerinin ve b) maksimum çökme değerlerinin darbe enerjisi ile değişim grafikleri	72
Şekil 5.11 %10 katkılı YYPE kompozitlerin a) maksimum temas kuvvetlerinin ve b) maksimum çökme değerlerinin darbe enerjisi ile değişim grafikleri	73
Şekil 5.12 %15 katkılı YYPE kompozitlerin a) maksimum temas kuvvetlerinin ve b) maksimum çökme değerlerinin darbe enerjisi ile değişim grafikleri	73
Şekil 5.13 %20 katkılı YYPE kompozitlerin a) maksimum temas kuvvetlerinin ve b) maksimum çökme değerlerinin darbe enerjisi ile değişim grafikleri	74
Şekil 5.14 Katkisız ve a) %5 b) %10 c) %15 ve d) %20 çam kozalağı takviyeli YYPE kompozitlerin farklı enerji seviyelerindeki absorbe edilen enerji-darbe enerjisi grafikleri.....	75
Şekil 5.15 Saf granülden üretilmiş numunelerin darbe sonrası hasar şekilleri	76
Şekil 5.16 %5 ÇK/YYPE ve %10 ÇK/YYPE kompozitlerinin darbe sonrası hasar şekilleri	76
Şekil 5.17 %15 ÇK/YYPE ve %20 ÇK/YYPE kompozitlerinin darbe sonrası hasar şekilleri	77
Şekil 5.18 Artan takviye miktarına göre numunelerin a) gerilme -gerinme ve b) kuvvet-uzama grafikleri.....	78
Şekil 5.19 YYPE ve ÇK/YYPE için a) maksimum kuvvet ve elastisite modülü değerleri ve b) çekme dayanımı değerleri	79
Şekil 5.20 Basma deneyi sonrası numunelerin kuvvet-çökme grafiği.....	80
Şekil 5.21 Basma deneyi sonrası numunelerin ortalama a) bası dayanımı ve b) maksimum kuvvet değerleri	80
Şekil 5.22 Artan takviye miktarına göre numunelerin kuvvet-çökme eğrileri.....	83
Şekil 5.23 Üç nokta eğme deneyi sonrası numunelerin ortalama a) eğilme dayanımı ve maksimum eğme kuvveti ve b) elastisite modülü değerleri	84

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Uçak yapılarında FTP kompozitlerin artan kullanımı	7
Tablo 3.1 Farklı polietilen sınıfları için basınçlı kalıplamada sıcaklık ve basınç değerleri	30
Tablo 3.2 Farklı polietilen sınıfları için basınçlı kalıplamada parametreler	30
Tablo 4.1 Polietilenin reçine özellikleri	33
Tablo 4.2 Polietilenin mekanik özellikleri	33
Tablo 4.3 Polietilenin termal özellikleri	33
Tablo 4.4 Numunelerin kodlaması ve takviye miktarları	41
Tablo 4.5 Çeşitli biyokompozit numuneler için balistik darbe veri listesi	45
Tablo 4.6 Düşük hızlı darbe test cihazı türleri	52
Tablo 5.1 Saf halde olan YYPE için elde edilen mekanik özellikler	64
Tablo 5.2 %5 çam kozalağı katkılı YYPE için mekanik özellikler	64
Tablo 5.3 %10 çam kozalağı katkılı YYPE için mekanik özellikler	64
Tablo 5.4 %15 çam kozalağı katkılı YYPE için mekanik özellikler	64
Tablo 5.5 %20 çam kozalağı katkılı YYPE için mekanik özellikler	65
Tablo 5.6 Çekme deneyi sonrası numunelerin ortalama mekanik özellikleri	77
Tablo 5.7 Basma deneyi sonrası numunelerin ortalama mekanik özellikleri	79
Tablo 5.8 Üç nokta eğme deneyi sonrasında kompozit numunelerin ortalama mekanik özellikleri	82

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Malzemeler, doğal ve insan yapımı yapıların temel unsurlarıdır. Teknolojinin gelişmesi, mevcut malzeme özelliklerinin sürekli geliştirilmesinin yanı sıra malzeme sınıflarının ve türlerinin genişletilmesiyle de ilişkilidir. Genellikle, verimliliği ve performansı artırma ihtiyacı nedeniyle yeni malzemeler ortaya çıkmaktadır (Abramovich, 2017).

Kompozitler, mühendislik malzemelerin çok geniş ve önemli bir sınıfını oluştururlar. Son yıllarda pazar payı yılda %5-%10 oranında büyümüş ve dünyada yıllık üretimi 10 milyon tonu aşmıştır. Kompozitlerin mühendislik alanında çok geniş bir kullanım alanı vardır. Ayrıca, yapılarını işletme koşullarına uygun hale getirmek için önemli bir faaliyet alanı da bulunmaktadır (Hull ve Clyne, 1996).

Daha düşük ağırlık, daha fazla güç ve daha düşük maliyet gibi çeşitli ölçütlerle belirtilebilecek geliştirilmiş performans için devam eden araştırmalarda, şu anda kullanılan malzemeler sıklıkla kullanışlarının sınırına ulaşmaktadır. Dolayısıyla, bilim adamları ve mühendisler, her zaman ya geliştirilmiş geleneksel materyalleri ya da tamamen yeni materyalleri üretmek için çaba göstermektedir. Kompozitler ikinci kategorinin bir örneğidir denilmektedir (Matthews ve Rawlings, 1999).

Malzemelerin, teknolojinin gelişiminde ve modern uygarlığın evriminde önemli bir rolü vardır. Eski çağ uygarlığı ismini o dönemde kullanılan malzemelerden almıştır. Taş devri sırasında (M.Ö. 10.000-3.000) insanlar sadece taş, tahta ve kemik gibi çevrelerinde buldukları malzemeleri kullanmışlardır. Onlar bu malzemeleri kullanarak kendi yiyecekleri için hayvanları öldürmek için gerekli olan silahlar yapmışlar. Erken Tunç devri sırasında (M.Ö. 3.000-1.000) insanlar madenden bakır çıkarmayı başarmıştır. Demir devrinde (M.Ö. 1.000-M.S 1860) ise madenden demir çıkarılması başka önemli gelişmelere işaret etmiştir. Çelik çağında (M.S 1860'tan itibaren) çelik üretimi için Bessemer yöntemi (ham demirden çelik elde etme) ve açık ocak işlemi geliştirilmiştir. Çeliğin inşaat malzemesi olarak kullanımı genel olarak bu devirde

başlamıştır. 1950’den itibaren, bu devir Silikon çağı olarak adlandırılmıştır. Silikonun gelişimi bilgisayar, elektronik ve otomasyonun gelişmesine olanak sağlamıştır. Tarihten de görüldüğü gibi malzemelerin gelişimi uygarlığın gelişmesinde çok önemli bir faktör olmuştur (Balasubramanian, 2013).

1.1 Kompozitlerin Tanımı

Kompozit malzemeler için evrensel olarak kabul edilmiş bir tanım yoktur. Kompozitler ile ilgili literatürdeki tanımlar birbirinden çok farklıdır; fakat kompozit malzemelerin en az iki ayrı fazdan oluştuğu inkar edilemez. Kompozit malzemeler, geliştirilmiş niteliklere sahip üçüncü bir malzeme oluşturmak için makroskopik ölçekte iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilerek oluşturulmasından elde edilen malzemelerdir. Elyaf ve reçineler gibi bu makroskopik malzemeler, birlikte onların bireysel bileşenlerinin olmadığı avantajlara sahiptirler. Bu tanım, çok fazlı malzemelerin geniş bir aralığını kapsamanın yanı sıra, aynı zamanda da bilinen birçok çok fazlı malzemeleri hariç tutar. Bir bileşikte dağılmış fazlar, matris adı verilen sürekli bir ortamda dağıtılır. Tek koşul, dağınık fazın işlemden sonra veya yeniden işleme sırasında özgünlüğünü korumasıdır. Bu, basit bir örnek verilerek açıklanabilir; plastikler kolay işlenebilme özellikleri ve düşük maliyetleri ile bilinmektedir; ancak zayıf mekanik özelliklerinden dolayı plastikleri herhangi bir yük taşıyıcı uygulamalarda kullanmak çok zordur. Plastiklerin mukavemetleri genellikle 50 MPa’dan düşük, elastisite modülü ise sadece birkaç GPa’dır. Cam elyaf gibi sentetik elyafın iyi mekanik özellikleri vardır; elastisite modülü yaklaşık olarak 70 GPa’dır ve mukavemeti ise 3000 MPa düzeyindedir. Hacimce %50 oranında yapılan cam elyaf ve plastik karışımından oluşan kompozit iyi mekanik özelliklere sahip olabilir. Bu kompozitin elastisite modülü ve mukavemet değerleri sırasıyla yaklaşık olarak 30 GPa ve 1000 MPa’dan fazla olacak ve bu kompozit malzeme, herhangi bir yük taşıyıcı uygulama için uygun olacaktır. Bu nedenle, plastiklerin mekanik özellikleri, cam elyaf ile bir bileşik oluşturularak iyileştirilir ve cam elyaf, işlem görmüş bileşikte özgünlüğünü korumaktadır (Balasubramanian, 2013; Carey, 2016).

Kompozit malzemelerin bileşenlerinden daha üstün özellikler elde etmek için iki veya daha fazla malzemenin kombinasyonu ile oluşturulduğunu daha önce belirtmiştik. Kompozit malzemeler iki ana fazdan, matris ve takviye fazından oluşmaktadır. Her zaman olmasa bile, çoğunlukla sürekli olan, kompozitlerde daha çok miktarda bulunan bileşen, *matris* olarak adlandırılır. İkinci bileşen ise matrisin mekanik özelliklerini güçlendirdiği veya takviye ettiği ve iyileştirdiği için *takviye fazı* veya *takviye* olarak bilinmektedir (Matthews ve Rawlings, 1999).

En yaygın takviye malzemesi olan elyaflar, malzemenin rijitlik ve mukavemet özelliğini sağlamaktadır. Matris malzemesi ise çeşitli işlevleri yerine getirmektedir. Bunlardan önemli olanları şunlardır: Elyafları bir arada tutar, kompozit yapının içinde gerilme ve yük transferini sağlar, genel yapısını kuvvetlendirir, kompoziti nem, kimyasallar gibi dış etkenlerden korur ve işleme sırasında elyafın hasar görmesini önlemektedir (Barbero, 2017).

Kompozitlerin özellikleri; bileşenlerin özelliklerine, bunların nisbi oranlarına ve dağılık fazın yönlendirilmesine, geometrisine, dağılımına bağlıdır. Temel unsurlar, bağlı miktarı ve bileşenlerin özellikleridir. Halihazırda, çok farklı özelliklere sahip sayısız malzeme vardır. Burada önemli olan malzemenin doğru orantıda ve doğru kombinasyonlarını seçmektir. Düzgün tasarlanmış ve üretilmiş bir kompozit malzeme, diğerlerinin arasında, temel bileşenlerden daha fazla, gelişmiş mukavemet, rijitlik, tokluk, hasar, aşınma ve korozyon direnci, yorulma ömrü ve ısı yalıtımı sergileyebilir. Bunu yaparak nihai kompozit malzemede istenen özellikler elde edilebilmektedir (Balasubramanian, 2013; Carey, 2016).

Bundan başka, kompozit malzemelerin birim başına düşen yoğunluk, özgül mukavemet ve katsayısı gibi mekanik özellikleri, standart mühendislik metalik malzemelerinkinden birkaç kat daha fazladır. Mühendisler, uygun önlemlerin alınması durumunda bu mekanik avantajların tümünü olmasa da bazılarını hedefleyebilir. Bu uyarlanmış özellikler sayesinde, kompozit malzemeler binlerce yıldır kullanılmış ve şimdi daha ileri teknoloji ve yapılarda kullanılmaktadır (Carey, 2016).

1.2 Kompozitlerin Kısa Tarihi

Doğa, milyonlarca yıldır kompozitler ürettiği ve bundan dolayı kompozitlerin tarihi belki de yeryüzündeki yaşam kadar eskidir. Bitki parçalarının çoğu gömülü lif yapılardan oluşmaktadır ve bu lif yapılar daha iyi mekanik özellikler sergilemektedir; ancak kompozitler insanoğlu tarafından yaklaşık olarak son 2000 yılda yapılmıştır. Saman ile liflendirilmiş çamur kullanılarak tuğla yapılması, en eski insan yapımı kompozitlere örnek olabilir. Japon Samuray savaşçıları XV yüzyılda kullandığı, istenen özelliklerde dövme kılıçların lamine metal kullanarak yapıldığı bilinmektedir. Daha yakın bir tarihte, inşaat mühendisleri, çimento içine nervürlü çelik yerleştirerek iyi bilinen kompozit malzemeyi, betonarmeyi yapmışlardır. İkinci Dünya Savaşı sırasında cam elyaf yapımı için bir üretim yönteminin geliştirilmesi, kompozitlerin gelişmesine yol açmıştır. Daha sonra, cam elyaf ve plastik kombinasyonu, fiber takviyeli polimer (FTP) veya fiberglas olarak da bilinen cam takviyeli plastik (CTP) adı verilen inanılmaz güçlü bir malzemeyle sonuçlanmıştır. Fiber takviyeli polimer, ilk gelişim aşamaları sırasında uçaklarda radar düzeneğini, hava durumu şartları ve hızlı hareket eden belirsiz şeylerden korumak için kubbeye benzer bir yapının, radom kapağının üretilmesi için kullanılmıştır. Şekil 1.1’de fiber takviyeli polimerden (FTP) yapılmış bir yolcu uçağının radom kapağı örnek olarak verilmiştir (Balasubramanian, 2013; Vinson ve Sierakowski, 2006).



Şekil 1.1 Yolcu uçağının burun kısmında bulunan radom kapağı (Quora, 2016)

İkinci Dünya Savaşı sırasında polimer matris kompozitlerin (PMK) askeri uygulamalarda kullanılması, savaşın ardından, 1940'ların sonu ve 1950'lerin başında, özellikle de deniz endüstrisinde büyük ölçekte ticari sömürüye, yani savaştaki başarılarından en fazla istifadenin sağlanması ve ilk kazançların İkinci Dünya Savaşı sırasında devam ettirilmesine yol açtı. Modern çağın, II Dünya Savaşı sırasında cam fiber takviyeli polimer matris kompozitlerin kullanımıyla başladığını söyleyebiliriz (Balasubramanian, 2013; Vinson ve Sierakowski 2006).

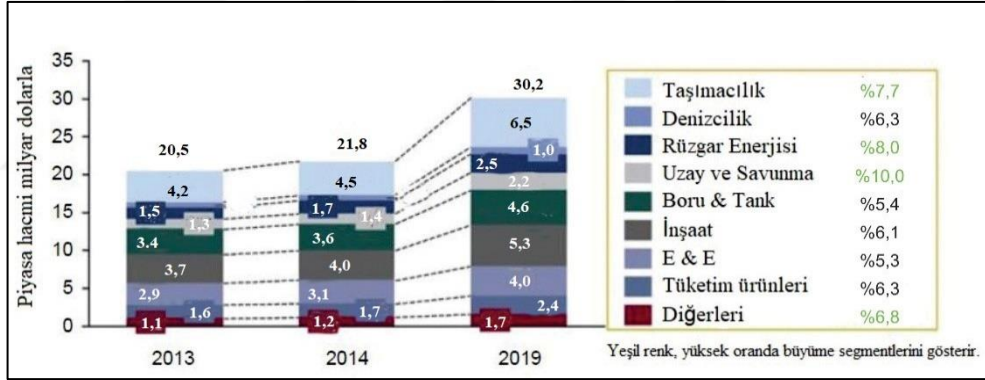
Daha sonra, ilk ticari tekne gövdesi 1946'da piyasaya sürülmüştür. Kompozit bilimi ve teknolojisindeki hızlı gelişme, 1950'li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde ve Avrupa'da olmuştur. Kompozit endüstrisinin tekamül devri 1970'lerde başlamıştır. Ayrıca, bu süre içinde karbon fiber kompozitlerin de üretimine başlanılmıştır. Bu elyaflarla çok yüksek performanslı kompozitler üretilmeye başlandı. Bu süreçten sonra, kompozit malzemeler, kendilerini uygulanabilir bir mühendislik malzemesi olarak iyice yerleştirmiş, her yerde çok yaygın olmakla beraber, özellikle de yapısal uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde fiber takviyeli polimerler (FTP); uçak, otomobil, spor, elektronik, denizcilik ve tıbbi ürünler, endüstri ile oldukça kullanılır hale gelmiştir (Balasubramanian, 2013).

BÖLÜM İKİ

KOMPOZİTLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin kullanımı gün geçtikçe büyümeye devam ediyor ve tüm tahminler kompozit malzemeler endüstrisinin 2015'ten 2025'e kadar birçok endüstriden daha hızlı büyüyeceğini göstermektedir. Tahmin grafiği Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Günümüzde havacılık ve rüzgâr enerjisinin kullanımı diğerlerine göre daha baskın olsa da, birçok tahminler otomotiv sektörünün de büyük bir büyüme potansiyeli olduğunu göstermektedir. Otomotiv endüstrisinde kullanılan malzeme miktarı göz önüne alındığında ve orta sınıf otomobillerin önemli bir oranda kullanımı, kompozit malzeme pazarında büyük bir artışa neden olacaktır (Njuguna, 2016).



Şekil 2.1 Yıllara göre kompozitlerin kullanımı ve piyasa hacmi (Njuguna, 2016)

Kompozitler, her bileşenin avantajlı özelliklerinden yararlanmak için iki veya daha fazla bileşeni birleştirilerek geliştirilen karma (hibrid) malzemelerdir. Son zamanlarda, lifli malzemelerle (FTP) farklı matris türlerini (polimerik, seramik, metalik vb.) takviye ederek geliştirilen fiber takviyeli polimer kompozitler havacılık ve uzay mühendisliğinde büyük ilgi kazanmıştır. Günümüz havacılık endüstrisinde kompozit malzemelerin tüketimi %50'fen fazla artmıştır. Kompozit malzemeler uzay endüstrisinde 1995'ten 2015'e kadar olan süreçte, önemli hızlanmalar ile roket motoru kalıpları, radom kapakları, çanak antenler, düşey ve dikey stabilizatör, orta kanat kutusu, motor kapağı, iniş takımı kapıları, motor kaportası, basınç duvarı bölmesi de

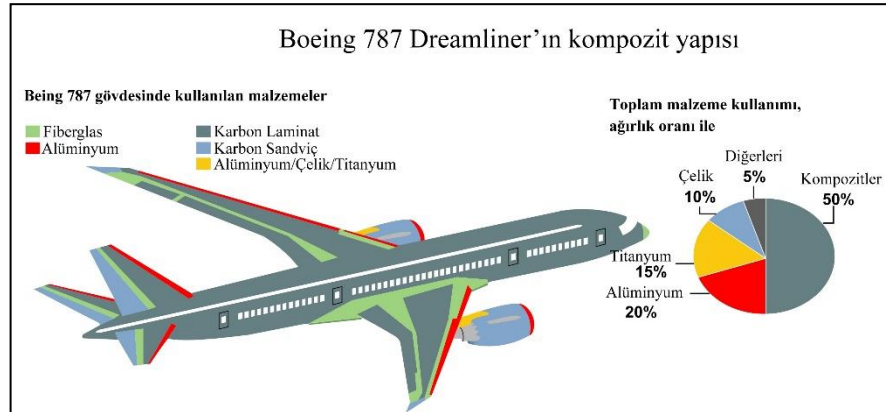
dahil olmak üzere birincil ve ikincil yapısal parçalarda kullanılmaktadır (Rana ve Figueiro, 2016; Red, 2015).

Tablo 2.1 Uçak yapılarında FTP kompozitlerin artan kullanımı (Brown, 2014)

Boeing 777	Boeing 787 Dreamliner
2000’de piyasaya sürüldü	2007’de piyasaya sürüldü
%11 Fiber takviyeli polimerler (FTP)	%50 Fiber takviyeli polimerler (FTP)
%70 Alüminyum	%20 Alüminyum
%7 Titanyum	%15 Titanyum
%11 Çelik	%10 Çelik
%1 Diğerleri	%5 Diğerleri

Tablo 2.1’de 2000 yılında piyasaya sürülen 300’den fazla yolcu kapasitesine sahip uzun menzilli çift motorlu jet uçağı olan Boeing 777’nin %11’lik kısmında kompozit malzemelerin kullanılması gösterilmiştir. 2007 yılında ise piyasa sürülen Boeing 787 Dreamliner’da ise motorlar hariç %50’den daha fazla kompozit (yaklaşık olarak, 23 ton karbon fiber ile 32.000 kg karbon fiber kompozit) kullanılmıştır (Rana ve Figueiro, 2016; Red, 2015).

Şekil 2.2’de ise Boeing 787 Dreamliner’da kompozit malzemelerin farklı bölgelere göre kullanımı gösterilmektedir. 2014 yılında yaklaşık olarak, değeri 1,1 milyar ABD dolarından daha yüksek, yaklaşık olarak 1680 MT kompozit malzeme, motor parçalarında kullanılmıştır (Rana ve Figueiro, 2016; Red, 2015).



Şekil 2.2 Boeing 787 Dreamlinerda ana malzemeler ve kompozitlerin kullanımı (Abramovich, 2017)

Otomotiv endüstrisi, kompozitlerin yakın gelecekte bu endüstrinin istenen yakıt verimliliği gereksinimlerini karşılamasına nasıl yardımcı olabileceğini ciddi bir şekilde incelemektedir. Hem uzay hem de otomotiv endüstrilerinin, zor ortamlarda performans gösterebilecek dayanıklı ve hafif malzemelere ihtiyaçları vardır. Her iki endüstride de ileri kompozit malzemelerin korozyon ve yorulma dayanımından faydalanabilir ve her iki endüstride de bu malzemelerin geri dönüşüm ve onarım konularına değinilmesi gerekmektedir (Njuguna, 2016).

Uzay endüstrisinden başka, farklı üretim yöntemleriyle kullanım yerine ve ihtiyaca göre üretilen kompozitlerin kullanım alanları gün geçtikçe büyümektedir. Farklı kullanım alanları için bunları örneklemek gerekirse:

- Balistik koruma: Karbon fiber çoğunlukla kurşungeçirmez yelek ve diğer balistik koruma cihazlarını yapmak için kullanılmaktadır. Bu fiberler, Kevlar da dahil olmak üzere mermiler, yangından ve bazı patlayıcılardan, mermiden etkili koruma sağlayan oldukça hafif vücut zırhları üretmektedir. Kevlar, hafif karbon bazlı, çok sağlam liflerden oluşan bir malzemedir. Kimyager Stephanie Kwolek ilk defa Kevları 1965 yılında lastiklerin içinde bulunan çelik tellerin yerine kullanmak için icat etmiştir (Erkut, 2017). Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'ne göre, Kevlar, çelikten beş kat daha güçlü ve cam elyafının (fiberglas) yarısı kadar yoğunluğa sahip malzemedir. Diğer kompozit elyaflarla birlikte Kevlar, binlerce hayat kurtarmış, emniyet ve askeri personeller için koruyucu giysilerde devrim yaratmıştır. (Beach, 2017).
- Denizcilik: Çoğu modern tekneler cam elyafı (fiberglas) veya termoplastikler gibi kompozit malzemelerden yapılmıştır. Yapılan ahşap tekneler zamanla çürümeye veya yıpranmaya maruz kalırken, metalden yapılanlar ise ağır ve paslanma ihtimali yüksekken, kompozitler üstün performans ve daha az bakım sunmaktadır. Kompozit yapımı teknelerin çoğu, tuzlu suya ve deniz havasına sık sık maruz kaldıktan sonra bile paslanması olasılık dışıdır (Beach, 2017).
- İnşaat malzemeleri: Kompozit malzemeler, çeşitli konut ve ticari inşaat uygulamalarında kullanılmaktadır. Tüm evler, geleneksel ahşap çerçeveler yerine plastik-lamine kirişler ve kafesler kullanılarak çerçevelenebilir.

İmalatçılar, kirişleri plastikle kaplayarak, yapının çürüme veya termit hasar riskini azaltmaktadır (Beach, 2017).

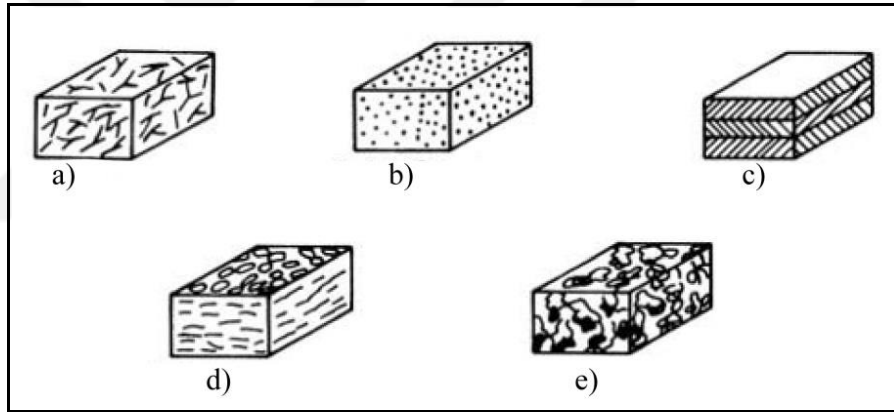
- Otomotiv endüstrisi: En büyük kompozitler pazarı olan otomotiv endüstrisi kompozitlere yabancı değildir. Çığır açan araç tasarımlarına ek olarak, kompozitler, araçların daha hafif ve yakıt tasarruflu olmasına yardımcı olmaktadır (Beach, 2017).
- Rüzgâr ve güneş enerjisi: Kompozitler, rüzgâr ve güneş enerjisi kullanımını yaygınlaştırmaya ve geleneksel enerji tedarikçilerinin verimliliğini arttırmaya yardımcı olmaktadır (Beach, 2017).
- Spor ve rekreasyon: Futbol kaskları ve hokey sopalarından kayak takımlarına ve kızaklara kadar, karbon fiber ve fiberglas kompozit malzemeler dayanıklı ve hafif ekipmanlar sunarak sporcuların yüksek performans kapasitelerine ulaşmalarına, yardımcı olmaktadır (Compositeslab, 2016).

2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozitler genel olarak doğal kompozitler ve sentetik kompozitler olarak sınıflandırılabilir. Ahşap ve kemik, doğal kompozitlere örnek gösterilebilir. Sentetik kompozitler insan yapımı kompozitlerdir. Sentetik kompozitler, istenilen özelliklere sahip kompozitlerin üretilmesi için geniş çeşitlilikte takviye ve matrislerden uygun bir takviye ve matris seçme konusunda yeteri kadar esnekliğe sahiptir (Balasubramanian, 2013). Kompozitlerin üretim yöntemleri çok seçenekli olduğundan, sınıflandırılmaları da bir o kadar zordur. Bu yüzden, yaygın sınıflandırmalar üzerinde durulacaktır. Şekil 2.3'te farklı yapıdaki kompozitlerin şematik görünümü gösterilmiştir. Yapı bileşenlerinin şekillerine göre kompozit malzemeler:

- Fiber (elyaf) takviyeli kompozitler: Kısa (süreksiz) veya uzun (sürekli) liflerle takviye edilmiş matristen oluşur. Fiber kompozitler, matris malzemesi içine gömülü fiberlerden oluşur ve anizotropik yapıdadırlar, yükü fiberlere iletir ve yükü fiberler taşımaktadır (Kaw 2006).
- Partikül (parçacık) takviyeli kompozitler: Matris malzemesinde asılı halde olan parçacıklardan oluşmaktadır (Balasubramanian, 2013).

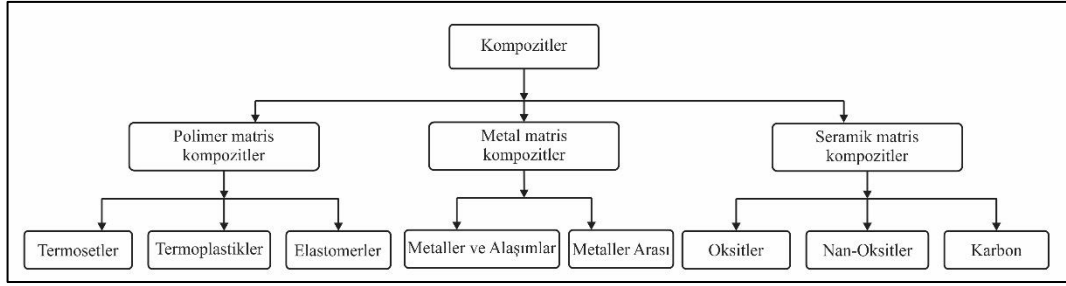
- Tabaka yapılı kompozitler (lamine kompozitler): Farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın birbirine bağlanması ile oluşmaktadır (Balasubramanian, 2013).
- Karma (hibrid) yapılı kompozitler: Karma kompozitler iki veya daha fazla takviye türü ile yapılır. Çoğunlukla cam-karbon, cam-aramid ve aramid-karbon fiberlerle yapılırlar. Karma kompozitler, her bir takviye türünün özelliklerinden faydalanarak oluşturulur. Örneğin, cam-karbon karma bileşiminde, düşük maliyetli ve yüksek modüllü kompozit oluşturmak için cam elyafının düşük maliyeti ve karbon fiberin yüksek modülleri dikkate alınmaktadır (Balasubramanian, 2013).
- Dolgulu (kafes) yapılı kompozitler: Dolgulu ve kafes yapılı kompozit malzemeler, adından da anlaşılacağı gibi, sürekli bir matris malzemenin ikinci bir dolgu maddesi ile doldurulması ile oluşan malzemelerdir (Kaw 2006).



Şekil 2.3 Yapı bileşenlerinin şekillerine göre kompozit malzemelerin şematik görünümü: a) fiber takviyeli, b) partikül (parçacık) takviyeli, c) tabaka yapılı (lamine), d) karma (hibrid) yapılı ve e) dolgulu (kafes) yapılı (Vinson ve Sierakowski, 2006)

2.3 Matris Malzemesinin Türüne Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması

Matris malzemesinin türüne göre kompozitler, metal matrisli kompozitler (MMK), seramik matrisli kompozitler (SMK) ve polimer matrisli kompozitler (PMK) olmak üzere sınıflandırılabilir. Matris malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırılması Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



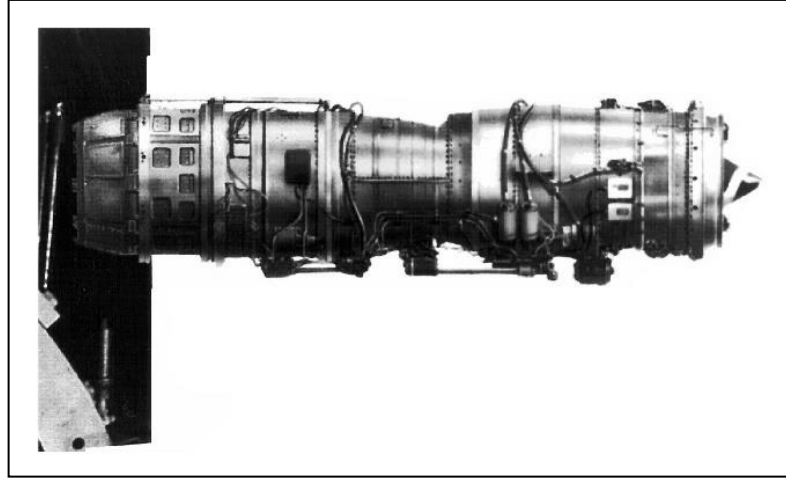
Şekil 2.4 Matris malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırılması (Balasubramanian, 2013)

2.3.1 Metal Matris Kompozitler

Metal matris kompozitler, ikinci bir fazın sıkıca derine sabitlendiği ve eşit olarak dağıtıldığı, istenilen özellik iyileştirmesini sağlamak için, bir eleman veya alaşımlı matris içeren kompozit sınıfıdır (Hu, 2012). Adından da anlaşılacağı üzere, metal matrisli kompozitler (MMK) matrisi metal olan kompozitlerdir. Bu tür kompozitlerde matrislere örnek olarak; alüminyum, magnezyum ve titanyum gösterilebilir. Metaller başlıca tasarım ihtiyaçlarına göre özellikleri arttırmak veya azaltmak için takviye edilmektedir. Örneğin: Metallere silisyum karbür gibi fiberlerin eklenmesiyle onların rijitliği ve mukavemeti arttırılabilmekte ve metallerin termal genleşme katsayısı, elektrik iletkenlik katsayıları ise azaltılabilmektedir (Kaw 2006).

Metal matris kompozitler, polimer matris kompozitlere kıyasla birçok avantaja sahiptir. Bunlara; yüksek elastiklik özellikleri, daha yüksek çalışma sıcaklığı, neme duyarlılık, daha yüksek elektrik ve termal iletkenlikler ve daha iyi aşınma, yorulma dayanımı dahildir. Metal matris kompozitlerin polimer matris kompozitler üzerindeki dezavantajları arasında daha yüksek işleme sıcaklıkları ve daha yüksek yoğunluklar bulunmaktadır (Kaw 2006).

Metal matris kompozitler onların metal benzerine göre daha hafif otomotiv motorlarında kullanılmaktadır. Aynı zamanda, yüksek mukavemeti ve düşük ağırlığı nedeniyle, metal matris kompozitler gaz türbini motorları için en uygun malzemedir. Şekil 2.5’de metal matris kompozitten yapılmış gaz türbini motoru gösterilmiştir (Kaw, 2006).



Şekil 2.5 Metal matris kompozitten yapılmış gaz türbini motoru (Kaw, 2006)

2.3.2 Seramik Matris Kompozitler

Seramik matrisli kompozitler (SMK), karbon veya silisyum karbür gibi fiberlerle takviye edilmiş, kalsiyum alüminyum silikatları gibi bir seramik matrise sahiptir. Seramik matrisli kompozitlerin yüksek mukavemet, tokluk, yüksek işleme sıcaklığı (mevcut işlem sıcaklık limitleri, polimerler için 400 °C, metaller ve alaşımları için 1000 °C ve seramikler için 1500 °C'dir) kimyasal inertlik ve düşük yoğunluk gibi avantajlara sahiptir; ancak seramiklerin kendileri düşük kırılma tokluğuna sahiptir. Çekme veya darbe yüklemesi altında istenilen özellikler sağlayamamaktadır. Seramiklerin, karbon veya silisyum karbür gibi fiberlere takviye edilmesi, kompozitin aşamalı olarak arızalanmasına neden olduğundan onların kırılma tokluğunu artırır. Bir fiber ile seramik matrisin bu kombinasyonu seramik matrisli kompozitleri istenen yüksek mekanik özellikli ve yüksek işleme sıcaklığı gibi uygulamalar için daha cazip kılmaktadır (Kaw, 2006)

Seramik matrisli kompozitler, ağır hizmet koşulları altında (yüksek sıcaklıkta yük altında ve atmosfer korozyonunda yanma gazları olarak, termodinamik yapı malzemelerinde) kullanılmaktadır. En sık kullanılan SMK'lar nan-oksit SMK'lardır, yani karbon/karbon, karbon/silisyum karbür ve silisyum karbür/silisyum karbürdür (Mortensen, 2007).

2.3.3 Polimer Matris Kompozitler

Polimer matrisli kompozitler (PMK) çok çeşitli uygulamalarla kompozit malzemelerin önemli bir kategorisini oluşturmaktadır. Polimer matrisli kompozitlerde, fiberler veya diğer takviye edici maddeler polimer matrisine gömülüdür. Onlar belirli gereksinimlere, fiber, matris, fiber yapılandırması (kısa, uzun, düz, dokuma, örgülü, lamine vb.) ve fiber yüzey işleminin uygun seçimi özelleştirilebilir çok cazip özellikler sunar. Gelişmiş polimer matrisli kompozitler, özellikle havacılık ve otomotiv endüstrilerinde, birçok uygulamalarda metal bileşenlerin yerine kullanılmaktadır (Peters, 1998).

Termoset polimerleri, işleme avantajı nedeniyle çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Şu anda termoplastik polimerler onların yüksek dayanıklılık değerleri sayesinde önem kazanmaktadır. İstenen özellik gereksinimlerini karşılamak için çok çeşitli termoplastik polimerler mevcuttur. Polimer matrisli kompozitler ortam sıcaklığında kullanılan ürünler yapmak için uygundur. Bazı özel polimerler 250 °C'ye kadar kullanılabilir; ancak onlar işleme sıcaklığının 350 °C'den fazla olduğu uygulamalar için uygun değildir. Polimer matrisli kompozitlerin başarısı, büyük ölçüde metallerin yerini alması, kompozitlerin plastik matris malzemelerine kıyasla çok daha gelişmiş mekanik özelliklerinin olmasından kaynaklanmaktadır (Balasubramanian, 2013).

2.3.3.1 Polimer Matrisli Kompozitlerin Sınıflandırılması

Polimer matrisli kompozitlerde matris malzemesi bir termoset polimer, termoplastik polimer veya bir elastomer olabilir. Termoplastik polimerler, termosetlere kıyasla onların daha büyük süneklik, işleme hızının olması ve son zamanlarda yüksek sıcaklıklara dayanıklı termoplastik polimerlerin bulunması nedeniyle daha da önem kazanmıştır (Chung, 2012).

2.3.3.1.1 Termosetler. Günümüzde yapılan polimer kompozitlerin çoğunluğu termoset polimerler baz alınarak yapılmaktadır. Bu polimerler düşük moleküler

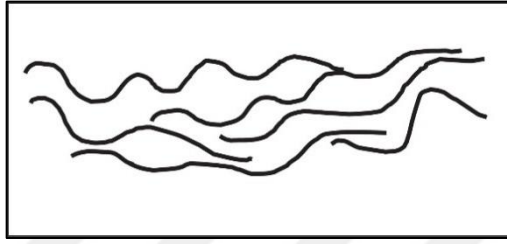
ağırlıklı, viskozitesi (akışmazlığı) düşük sıvılar (reçineler) olarak mevcuttur. Viskozite düşük olduğu için normal hava koşullarında fiberlerin matris tarafından iyi ıslanmasını sağlamak mümkündür. Fiber ıslatma, kompozitlerde çok iyi mekanik özellikler elde etmek için son derece önemli bir etkidir; çünkü elyaf ıslatma kullanılarak reçinenin elyaf yüzeyinde düzgün bir şekilde yayılması sağlanmaktadır. Termoset polimerlerinin diğer avantajları ise daha iyi ısı kararlılık (termal stabilite) ve kimyasal maddelere karşı dayanıklılıktır (Balasubramanian, 2013). Termoset matris polimerleri, genellikle üç grupta incelenmektedir. Düşük sıcaklık termoset matrisleri (çoğunlukla polyesterler), orta sıcaklık termoset matrisleri (çoğunlukla fenolikler) ve yüksek sıcaklık termoset matrisleridir (poliamid ve bismalemid reçineleri). Bunlar içerisinde, en sık kullanılan termoset polimerler (kompozit matris olarak) epoksiler ve polyesterler, ardından da poliamid ve bismalemid reçineleridir (Akovali, 2001).

2.3.3.1.2 Elastomerler. Elastomerler (sentetik kauçuklar), özgün boyutlarını büyük çapta genişleme veya sıkıştırma sonrasında geri kazanabilen malzemelerdir. Böyle kauçuksu davranış, karmaşık uzun zincirli ve esnek polimer moleküllerinin varlığına bağlıdır. Böyle bir malzeme uzatıldığında, bireysel uzun zincirler kısmen çözülür; ancak kuvvet kaldırıldığında ise tekrar içeri çekilir veya sarılır (Balasubramanian, 2013).

Plastikler gibi elastomerler de termoset ve termoplastik elastomerler olarak sınıflandırılabilir. Termoset elastomerler; yumuşatılabilir, eritilemez, yeniden şekillendirilemez veya yeniden ısıtma yoluyla tekrar işlenemezler. Öte yandan, termoplastik elastomerler ise oda sıcaklığında termoset malzemeler gibi davranış gösterirler; ancak yüksek sıcaklıkta yumuşatılabilir ve eritilebilirler. Elastomerlerin en yaygın ayırt edici özellikleri iyi elastiklik, esneklik ve tokluğa sahip olmalarıdır. Bazı tipik elastomerlere stiren bütadien kopolimerleri, polibütadien, poliizopren, silikon kauçuklar, butil kauçuklar, etilen propilen kauçukları örnek gösterilebilir (Balasubramanian, 2013).

2.3.3.1.3 Termoplastikler. Termoplastikler, en basit moleküler yapıya sahip, kimyasal olarak bağımsız makro moleküller olup, şematik yapıları Şekil 2.6'da

gösterilmiştir. Termoplastikler ısıyla yumuşatılabilir, eritilebilir, kolaylıkla şekillendirilebilir ve soğutulduktan sonra yeniden kullanılabilirler. Çoklu sayıda ısıtma ve soğutma işleminin tekrarlanması, yeniden işleme ve geri dönüşüme izin vermektedir. Genellikle, kompozit üretiminde termoplastiklerin kullanımı imalat maliyetlerinde bir düşüşe neden olduğu kabul edilmektedir. Diğer faktörler ise nispeten hızlı bir işlem döngüsü, kolay kalite kontrolü ve kalite güvencesi, eksik yönleri düzeltmek için kalıplanmış bileşiğin yeniden işlenebilirliğidir.



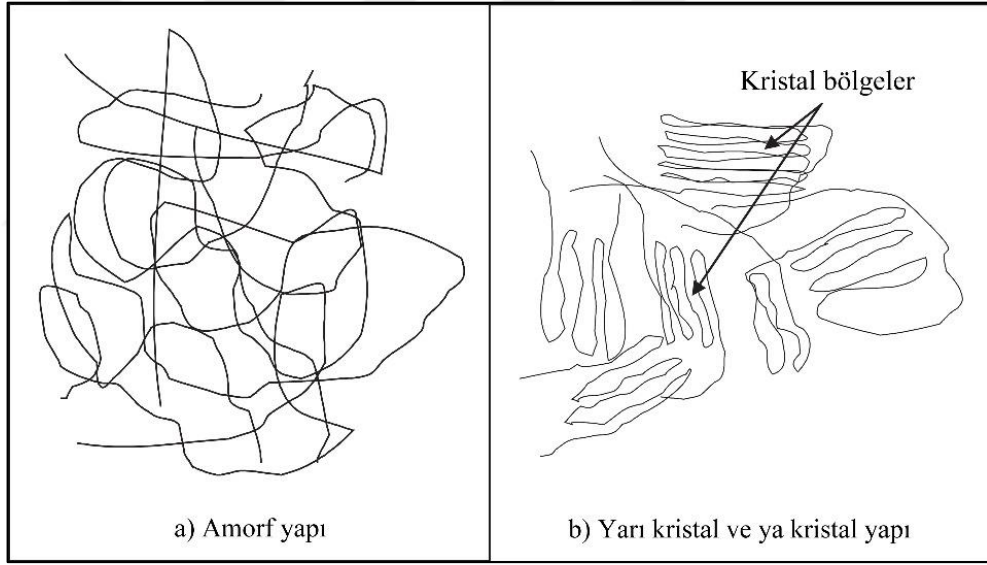
Şekil 2.6 Termoplastiklerin şematik yapısı (Biron, 2007)

Termosetler ile karşılaştırıldığında, genellikle termoplastiklerin daha yüksek seviyelerde tokluk değerleri ve uygun hasar toleransları vardır. Termoplastiklerin elastomerlerden farkı ise termosetlerde olduğu gibi mekanik özellikleridir. Elastomerik malzemeler gerilme kuvvetine maruz bırakıldıklarında, başka bir deyişle her iki yana doğru çekildiklerinde, malzeme uzamaktadır. Üzerindeki yük serbest bırakıldığında ise eski haline geri dönmektedir. Termoplastik malzemeler çekildiğinde belli bir seviyeye kadar elastikliklerini korumaktadırlar; ancak bir süre sonra kalıcı şekil bozukluğuna ya da kırılmaya uğramaktadırlar. (Biron, 2007; Evcin, 2017).

Termoplastikler, %25'e kadar maliyet tasarruflu olması, sınırsız raf ömrü, kalıplama koşullarının daha esnek olması, aynı süreçte yüksek performanslı malzemeler üretebilme, hataları gidermek için yeniden biçimlendirme kabiliyeti, son derece ateşe dayanıklılık gibi avantajlara sahiptirler. Dezavantajlarına gelince ise fiberlerin ıslanması daha zordur. Termosetlere kıyasla daha yüksek işleme sıcaklıkları nedeniyle oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlarlar. Bu da onların üretim süresinin uzamasına, yani zaman kaybına neden olmaktadır (Evcin, 2017; Strong, 2008).

2.3.3.2 Termoplastiklerin Sınıflandırılması

Termoplastikler, moleküler yapılarına göre *amorfe* ve *yarı-kristal* polimerler olarak sınıflandırılabilir. Termoplastik polimerler, üretimde veya kalıplama sırasında erimiş halde soğutulduğunda kristal yapılarına zor ulaşırlar. Bunun başlıca nedenlerinden biri, polimer zincirindeki büzülen ve kırılan yapıyı düzgün yapı haline getirip polimerin kristal oluşturabilmesi için yüksek seviyede enerjiye ihtiyaç duyulmasıdır. Termoplastikleri teşkil eden kristalleşebilen zincirler, uygun biçimde kusursuz bir kristal yapı oluşturamadıkları için alternatif olarak kristal ve amorf yapıları içinde barındıran *yarı-kristaller* oluşturmaktadır. Genel olarak yarı-kristaldeki kristal yapı bükülmezliği ve mukavemeti, amorf yapı ise elastikliği sağlamaktadır. Şekil 2.7’de termoplastiklerde amorf ve yarı-kristal yapılar gösterilmiştir (Evcin, 2017).



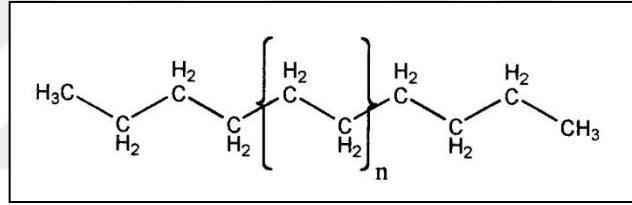
Şekil 2.7 Amorf ve yarı-kristal yapıları gösteren termoplastiklerin gösterilişi (Strong, 2008)

Yarı-kristal polimerler; yarı şeffaf, çekme özelliği yüksek, kimyasal maddelere ve aşınmaya karşı dayanıklı, iyi mekanik özelliklere ve yüksek işleme sıcaklığına sahip yapılar oluşturmak üzere kristalleşirken, amorf polimerler sıralı yapılar oluşturamazlar ya camsı ya da kauçuksu halde görünürler. Örnek vermek gerekirse poliamid (PA), polipropilen (PP), polietilen-tereftalat (PET), Polietilen (PE), polioksimetilen (POM) veya asetal, termoset polyesterler ve naylonların birçoğu bu grupta yer alan termoplastiklerdir. Amorf yapıları polimerlere ise akrilonitril bütadien stiren (ABS),

polistiren (PS), poli metil metakrilat (PMM), stiren akrilonitril (SAN), polivinilklorür (PVC), policarbon (PC) örnek olarak verilebilmektedir. (El-Sonbati, 2012).

2.3.4 Polietilen

Polietilen (PE), (politen), ilk defa 1898’de Alman kimya bilim adamı Hans von Pechmann tarafından, çeşitli deneyler yaparken şans eseri keşfedilmiş ve bu ürüne ‘polimetilen’ ismi verilmiştir (Malpass, 2010). Endüstriyel olarak polietilenin, yüksek basınç altında üretimi birçok kademedен sonra 1933’te İngiliz kimyasal ürünler şirketi, endüstriyel devi Imperial Chemical Industries’de Reginald Gibson and Eric Fawcett tarafından yapılabılmıştır. Nihai kullanım ürününün istenen özelliklerine bağlı olarak polietilen, katalizörler vasıtasıyla yüksek basınç ve sıcaklık altında üretilir. Polietilenin kimyasal yapısı Şekil 2.8’de gösterilmiştir (Vasile ve Pascu, 2005).



Şekil 2.8 Saf polietilenin kimyasal yapısı (Vasile ve Pascu, 2005)

Polietilen, dünyada tüketilen en büyük hacme sahip polimerdir. İlk üretilmesinden bu yana 80 yılı aşkın süre geçmesine rağmen, diğer polimerlerle ve cam, metal veya kâğıt gibi alternatif malzemelere kıyasla yüksek performans, dayanıklılık, sağlamlılık, kimyasal etkilere ve çatlamaya karşı direnç, hafiflik ve kullanım kolaylığı, esneklik, kolay işlenebilme ve dielektrik özelliği sunan, gelecek vaat eden çok yönlü bir malzemedir (Vasile ve Pascu, 2005).

2.3.4.1 Polietilenin Sınıflandırılması

Polietilen yoğunluk ve molekül ağırlığına göre alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), lineer alçak yoğunluklu polietilen (LAYPE), orta yoğunluklu polietilen (OYPE), yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) olmak üzere sınıflandırılabilir:

- Alçak yoğunluklu polietilen: AYPE, bir otoklavda veya boru tipi reaktör vasıtasıyla, 130-350 °C sıcaklıkta, organik peroksitlerin ve serbest radikallerde kolayca çözünen diğer ayıraçların yardımıyla başlatılan etilenin serbest radikal polimerizasyonu ile üretilen ilkel bir malzemedir. Yoğunluğu yaklaşık olarak 0,915 g/cm³ ila 0,930 g/cm³ arasında değişmektedir. AYPE, başlıca polietilen türlerinin en kolay şekilde işlenebilen türüdür ve işlenebilirliğin artırılması için genellikle lineer alçak yoğunluklu polietilen (LAYPE) ve yüksek yoğunluklu polietilenle (YYPE) karıştırılır (Malpass, 2010).
- Lineer alçak yoğunluklu polietilen: LAYPE, tek taraflı katalize olunmuş titanyum tetraklorür katalizörü (Ziegler-Natta katalizörü) kullanılarak etilenin, α -olefinlerle kopolimerizasyonu (veya eşpolimerleşmesi) ile üretilir. Yoğunluğu yaklaşık olarak 0,915 g/cm³ ila 0,930 g/cm³ arasındadır (Malpass, 2010).
- Orta yoğunluklu polietilen: OYPE, Lineer alçak yoğunluklu polietilende olduğu gibi Ziegler-Natta katalizörü kullanılarak elde edilir. OYPE, serbest radikal polimerizasyonu ile üretilmez. OYPE, LAYPE'ye benzer lineer bir yapıya sahiptir; ancak komonomer (kopolimer oluşturan bileşikler) içeriği daha düşüktür. Yoğunluğu yaklaşık olarak 0,930 g/cm³ ila 0,940 g/cm³ arasındadır (Malpass, 2010).
- Yüksek yoğunluklu polietilen: YYPE, kimyasal olarak saf polietilene en yakın yapılı polietilendir ve OYPE gibi serbest radikal polimerizasyonu ile üretilmez. Orta yoğunluklu polietilen ve lineer alçak yoğunluklu polietilende olduğu gibi, Ziegler-Natta katalizörü ve organometalik kokatalizörler kullanılarak 70-80 °C sıcaklıkta ve 10-20 atm basınç altında etilenin polimerizasyonu (polimerleşmesi) sonucu elde edilir (Malpass, 2010 ve Eker, 2013).

YYPE, 300.000 g/mol'dan düşük bir molekül ağırlığına sahip daha düşük yoğunluklu materyallere kıyasla daha rijit ve serttir. Aynı zamanda, yüksek basınç dayanımına ve AYPE'nin dört katı kadar yüksek çekme dayanımına sahiptir ve yoğunluğu yaklaşık olarak 0,94 g/cm³ ila 0,97 g/cm³ arasındadır. Polietilen uygulamalarının en büyük bölümünü temsil eden YYPE düşük ağırlıkta mükemmel

darbe dayanımı sunar ve düşük nem emme özelliğine sahiptir. YYPE, AYPE'den daha sağlam ve serttir; ancak darbe dayanımı düşük sıcaklıklarda iyi değildir (Vasile ve Pascu, 2005).

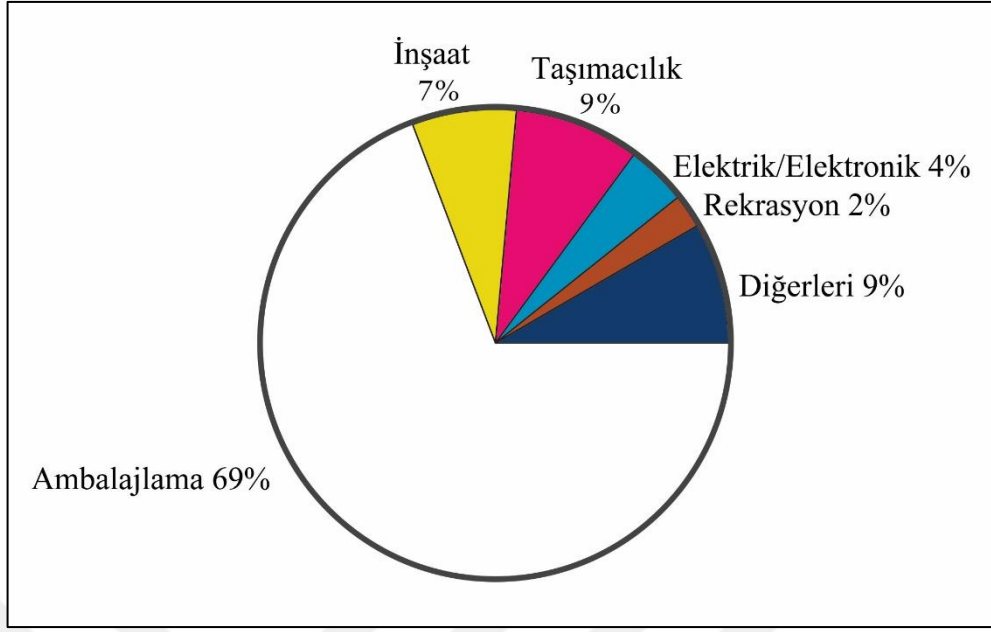
2.3.4.2 Polietilenin Avantajları ve Dezavantajları

Polietilen genel avantaj olarak; düşük fiyat, kolay dönüşüm, kimyasal inertlik, darbe dayanımı, düşük su emme özelliği, düşük yoğunluk (YYPE dahil), iyi elektrik yalıtkanlığı, düşük sürtünme katsayısı, gıda ile temas uygunluk ve kolay kaynaklama gibi avantajlara sahiptir. Genel dezavantajları ise ısı, ışık ve hava koşullarına, gerilme kırılmasına ve sürtünmeye karşı temel duyarlılığa sahiptir. Ek olarak, polietilen bakır, manganez veya kobalt gibi pro-oksidan metallere karşı duyarlı olduğu için dolgu maddesi olarak kullanılmamalıdır (Biron, 2007).

2.3.4.3 Polietilenin Kullanım Alanları

Genel olarak plastiklerin, özellikle de polietilenin kullanım alanı sayısızdır. Polietilenin temel kullanım alanları Şekil 2.9'da özetlenmiştir.

- YYPE: Su ve petrol tankları, oyuncaklar, süt şişeleri, konteynerler, kafes sandıklar, ambalaj filmleri, gıda kesme tahtaları, paslanmaya karşı duvar kaplamaları, radyasyon koruması, protez malzemeler (implantlar), gıda sarma malzemeleri (Vasile ve Pascu, 2005).
- AYPE: Kimyasala karşı dayanıklı teçhizatlar, laboratuvar ekipmanları, gaz ve su boruları, kovalar, tel ve kablolar için yalıtma, tek kullanımlık ürünler, eldivenler, mutfak aletleri, ısıyla şekillendirilmiş ürünler, kırılmaz şişeler (Vasile ve Pascu, 2005).
- LAYPE: Ambalajlama, daha ince kablo kaplaması, oyuncaklar, kapaklar, kovalar, konteynerler, borular (Vasile ve Pascu, 2005).
- OYPE: Bağlantı kablolarının korunması için kullanılan kablo borular, bağlantı parçaları, gaz boruları, torba, paketleme filmleri ve çanta gibi malzemeler (Vasile ve Pascu, 2005).



Şekil 2.9 Polietilenin temel kullanım alanları (Vasile ve Pascu, 2005)

BÖLÜM ÜÇ

TERMOPLASTİKLERİN ÜRETİM VE ŞEKİLLENDİRME

YÖNTEMLERİ

Bir termoplastiğin en temel bileşeni, daha sonra imalat sürecinde kullanılan bir termoplastik granül oluşturmak için bir araya getirilen kimyasal karışımıdır. Granül oluşturmak için kullanılan en yaygın kimyasal maddeler; polipropilen, polyester, akrilik, naylon, spandex karışımı poliüretan, selülozlar, polietilen ve polistirendir. Bütün bu kimyasal maddeler, hangi tür termoplastiğin üretildiğine bağlı olarak ya kombinasyon halinde ya da tekil olarak geliştirilmektedir. Üreticiler, termoplastikler içerisindeki karışımı değiştirmeye eğilimlidir; fakat hepsi termoplastiklerin şekillendirilebilirlik ve geri dönüşümlülük gibi temel özelliklerini korumaktadır. Karışım büyük bir karıştırma potasında ısıtılır, renklendirmek için boya eklenir ve daha sonra soğutulur. Karışım soğutulurken ayrılır, kurutularak küçük granüller haline getirilmektedir (Alexander, 2017).

Termoplastiklerin neredeyse tamamı plastik granül paketlerinde satılmaktadır. Granül biçim faktörü, imalatçıların ne kadar plastik eritilmesi gerektiğini hesaplamalarını kolaylaştırır. Termoplastiklerin üretilmesi için bir sonraki adım, granüllerin bazen sıcak su kullanarak yavaşça eritildiği, büyük bir konteynere eklemektir. Sonuç olarak viskoplastik sıvı elde edilir. Granüller tamamen eridiğinde, bir kalıba yerleştirilmeye hazırdırlar (Alexander, 2017).

Termoplastikler için kullanılan üretim ve şekillendirme yöntemleri kolay kalıplama, ekstrüzyon, perdahlama, ısıl şekillendirme ve kaynak yapımına izin veren, termoplastisite (ısıtıldığında akışkan, soğutulduğunda katı olma) nedeniyle çeşitlendirilmiştir (Biron, 2007).

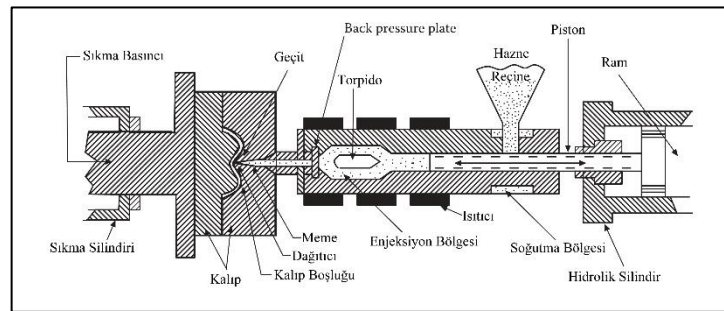
3.1 Enjeksiyon Kalıplama

Enjeksiyon kalıplama, termoplastikler ile farklı şekilli ürünler oluşturmak için kullanılan çok yaygın bir üretim yöntemidir. Enjeksiyon kalıplama, termoplastik

malzemelerin ısı ile yumuşatılması ve soğutulduğunda sertleşmesi yeteneğine dayanmaktadır. Bu işlem, esasen ısıtılmış bir silindir içindeki malzemenin yumuşatılmasından ve basınç altında, soğutularak sertleşen kalıp boşluğuna enjekte edilmesinden oluşur. Her bir adım, döngüsel işlemde aynı makinenin ayrı bir bölgesinde gerçekleştirilmektedir (Chanda, 2018).

3.1.1 Pistonlu Enjeksiyon Kalıplama

Enjeksiyon kalıplama makineleri kullanılan enjeksiyon ünitesinin tipiyle bilinir. En eski tip, aşağıda açıklanan *tek kademeli piston ünitesidir* ve onun bir kesiti Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Piston geri çekildiğinde granül malzeme (plastik reçine) hazneden silindir şekilli varile düşmektedir. Daha sonra piston malzemeyi ısıtılmış ve yumuşatılmış (plastize edilmiş) ısıtma bölgesine iter. Hızlı ısıtma, polimerin bir torpido etrafındaki ince bir katmana yayılması nedeniyle gerçekleşir. Yeni malzeme ile yer değiştirmiş olan erimiş polimer, kalıp ile yakın temas halinde olan nozuldan (memeden) ileri doğru itilmektedir. Erimiş polimer, kalıpta bulunan kalıp deliğinden akıp, dağıtıcıdan aşağıya, geçitten geçerek kalıp boşluğuna akar. Kalıp, pres levhasının sıkıştırma hareketi ile sıkıca kapatılır. Bu şekilde erimiş polimer, kalıbın mükemmel bir şekilde üretilmesini sağlayacak şekilde kalıp boşluklarının tüm kısımlarına itilmektedir (Chanda, 2018).

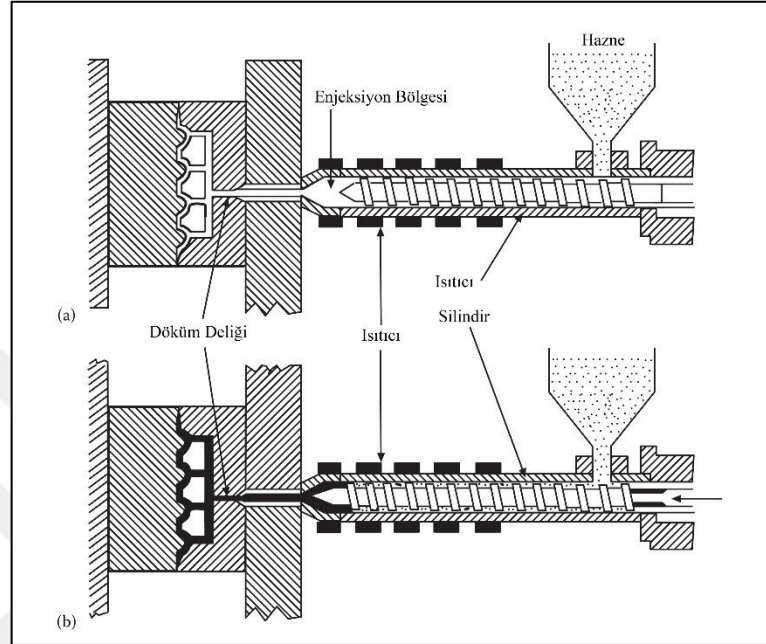


Şekil 3.1 Tipik bir pistonlu enjeksiyon kalıplama makinesinin kesiti (Chanda, 2018)

3.1.2 Vidalı Enjeksiyon Kalıplama

Tek kademeli piston üniteleri (Şekil 3.1) basit olmalarına rağmen, sınırlı ısıtma oranı nedeniyle popüleritede bir düşüşe neden olmuş ve yerini *pistonlu vida tipli*

makinelere bırakmıştır. Bu makinelerde (Şekil 3.2) piston tipli makinelerin ana bileşenleri olan piston ve torpido (serpme makinesi), ısıtma silindiri içindeki bir piston gibi ileri geri hareket eden döner vida ile değiştirilmiştir (Chanda, 2018).



Şekil 3.2 Tipik bir vidalı enjeksiyon kalıplama makinesinin a) vida geri çekilmiş pozisyonda ve b) vida ileri pozisyonundaki kesiti (Chanda, 2018)

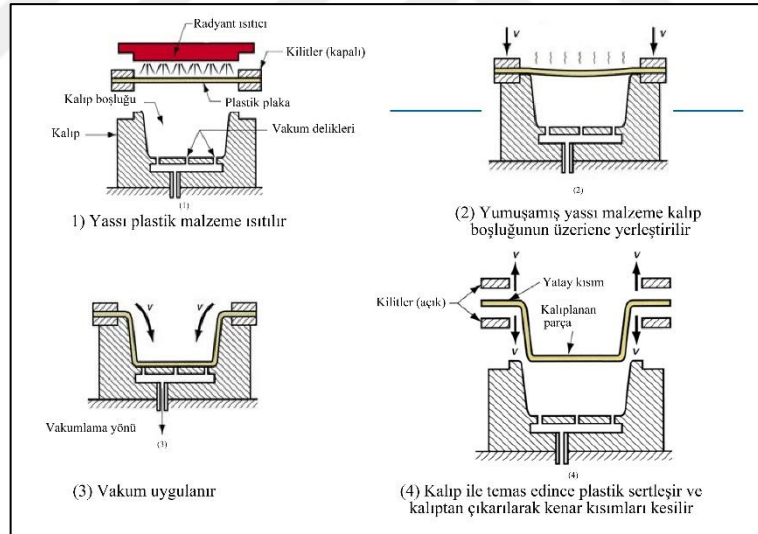
3.2 Isıl Şekillendirme

Genel olarak, ısıl şekillendirme teknikleri, yalnızca kısa süreli çalışmaların gerekli olduğu yerlerde, geniş alanlı ve çok ince duvarlı kalıpların üretilmesi için uygundur. Bu yöntemde plastik malzemenin bir veya iki tarafına oturtulan, radyasyonla elektrikli ısıtıcılar kullanılarak, yassı termoplastik levhalar veya filmler ısıtılarak bir kalıp yardımıyla istenilen biçime getirilir. Isıyla şekillendirme sayesinde çeşitli otomobil parçaları (gösterge panelleri, kolluklar, tavanlar ve kapı panelleri), bulaşık makinesi gövdeleri, çamaşır makinesi kapakları, aydınlatma sanayisinde çok desenli difüzörler, reklam panosu, uçak endüstrisindeki çeşitli parçalar (ön camlar, iç paneller, kolluklar, vb.), şeffaf ambalajlar üretilmektedir. Termoplastiklerin şekillendirilmesinde sadece ısıl şekillendirme yöntemi kullanılmaktadır; çünkü ekstrüzyonlu kalıplama yöntemi ile elde edilen termosetlerde çapraz bağların oluşmasından dolayı termosetler ısıtılıp yumuşak hale getirilememektedir. Bu şekillendirme yönteminde yaygın bir biçimde

kullanılan termoplastikler selüloz asetat, selüloz asetat-butirat (CAB), PS, PVC, ABS, PMMA, akrilik, YYPE, AYPE ve polipropilendir (PP). Isıtıldığında termoplastik levhalar ısıtıldığında bir lastik kadar yumuşak hale gelir ve daha sonra herhangi bir şekle getirilebilir (Sarvetnick, 1971). Bu prensip, üç ana tipe ayrılabilen ısıl şekillendirme yöntemlerinde, vakumda, basınçlı ve mekanik ısıl şekillendirme yöntemlerinde kullanılmaktadır (Chanda, 2018; Gülmez, 2015).

3.2.1 Vakumda Isıl Şekillendirme

En basit haliyle bu işlemden, termoplastik levha ısıtıcılar yardımıyla istenilen sıcaklık derecesinde ısıtılmaktadır. Daha sonra, vakum uygulandığında plastik plaka kalıp ile temas edip, plastikte sertleşme meydana gelmektedir. Kalıp istenen şekili aldıktan ve soğuduktan sonra kalıptan çıkarılmaktadır. Vakumda ısıl şekillendirmede işlem süreci Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

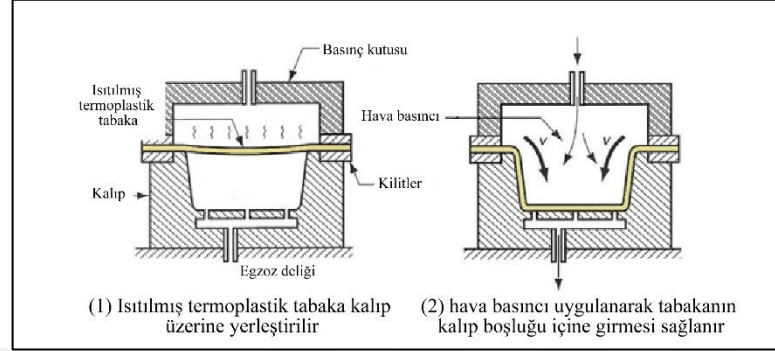


Şekil 3.3 Vakumda ısıl şekillendirme (Gülmez, 2015)

3.2.2 Basınçlı Isıl Şekillendirme

Basınçlı ısıl şekillendirmede, işlem sırası vakum işleminde olduğu gibidir. Aralarındaki fark, ısıtılmış termoplastik tabaka kalıp boşluğunun üzerine yerleştirilip sıkıştırılır. Daha sonra, hava basıncı uygulanarak tabakanın kalıp boşluğu içine girmesi sağlanır. Parça soğuyunca ve sertleştikten sonra basınç serbest bırakılır ve parça

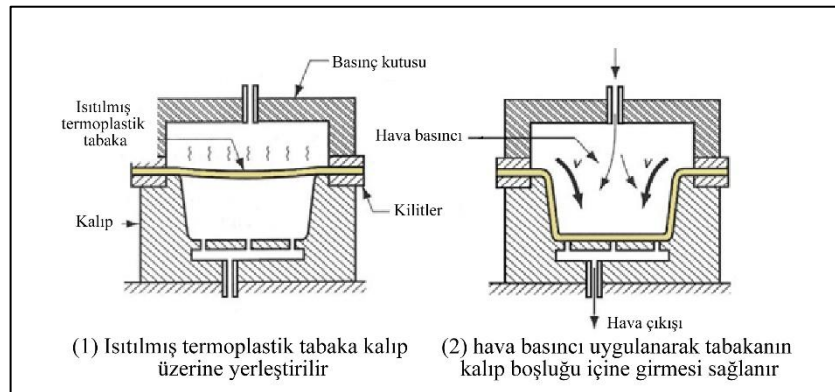
çıkarılır. Vakumda ısıl şekillendirme ile karşılaştırıldığında, basınçlı ısıl şekillendirme daha hızlı bir üretim döngüsü, daha büyük parça tanımı ve çok iyi boyutsal kontrol sağlamaktadır. İşlem süreci Şekil 3.4’te gösterilmiştir (Gülmez, 2015).



Şekil 3.4 Basınçlı ısıl şekillendirme (Gülmez, 2015)

3.2.3 Mekanik Isıl Şekillendirme

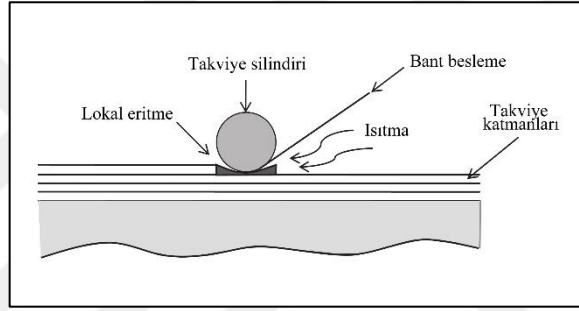
Isıl şekillendirmede, hava basıncı ve vakum kullanılmadığı için çeşitli mekanik teknikler geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi mekanik ısıl şekillendirmedir. Bir mengene tarafından tutulan plastik tabaka, uygun şekillendirme sıcaklığına kadar ısıtılıp, pozitif ve negatif kalıpların kapanması ile kalıp konturlarına doğru sıkıştırılmaktadır. Kalıplar, plastik soğuyunca ve boyutsal dengeye erişinceye kadar mevcut yerinde tutulur daha sonra parça kalıptan çıkarılır. Mekanik ısıl şekillendirmede işlem sırası Şekil 3.5’te gösterilmiştir (Chanda, 2018).



Şekil 3.5 Mekanik ısıl şekillendirme (Gülmez, 2015)

3.3 Termoplastik Bant Sarma

Termoplastik bant sarma makineleri, termoset bant sarma makineleri kadar yaygın değildir. Şekil 3.6’da bu tür bir makinenin şematik yapısı gösterilmiştir. Bu süreçte, sadece takviye edilen alan erime sıcaklığının üzerinde ısıtılır. Kontrol edilebilir bant kafasında bant kesici makaralar ve balatalar bulunmaktadır. Isıtma, sıcak balatalar veya odaklanmış bir lazer ışını kullanılarak gerçekleştirilebilir. Üç ısıtma ve iki soğutma/sıkıştırma balatası vardır. Isıtılmış bant soğuk bir silindire birleştirilmiştir. Takviye süresi 0,5 saniyeden daha az bir sürede gerçekleşmektedir (Balasubramanian, 2013).



Şekil 3.6 Termoplastik bant sarma makinesinin şematik yapısı (Balasubramanian, 2013)

Kompozit parçaların hızlı ve etkin bir maliyet ile üretilmesi için bu tür bir yöntem kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kullanımı, istenen bir şeklin oluşturulması için ham maddenin dokuma, kesilme ve istiflenmesine gerek kalmadan, malzemenin doğrudan bir kalıba uygulanmasına izin vermek üzere, diğer birçok imalat tekniğine göre belirgin bir avantaja sahiptir. Bu, en başta boşa harcanan malzeme kesme sorununu ortadan kaldırarak, sarma işlemini daha hızlı ve daha ekonomik hale getirir. Son zamanlarda, modern otomatik bant sarma (ATL) makineleri de eşsiz bir hassasiyetle çalışan, yüksek kaliteli sonuçlar göstermektedir (Compositence, 2014).

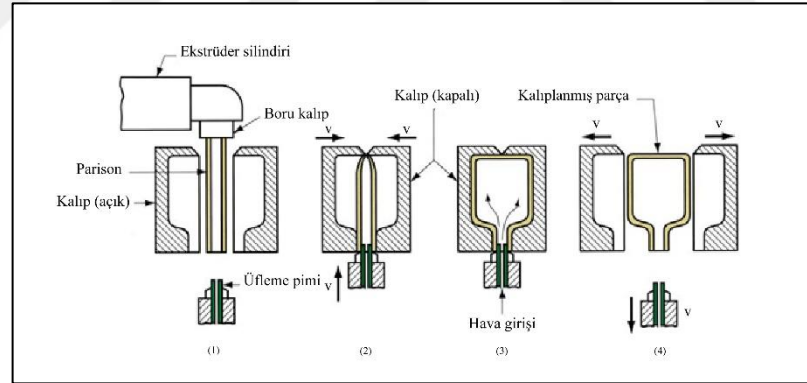
3.4 Şişirme İle Kalıplama

Sadece termoplastiklerde kullanılan şişirmeli kalıplama en basit kalıplama yöntemlerinden olup, bu işlemde hammadde ısıtılmış bir varil içine eklenir, vida

kullanılarak karıştırılır ve parison olarak bilinen plastik tüp şeklinde bir plastik oluşturmak üzere enjekte edilir. Kalıplar kapatıldıktan sonra, kabın üstünden veya boyun kısmından sanki bir balon şişirmiş gibi hava enjekte edilip, malzemenin kalıp boşluğunun şeklini alması sağlanır. Plastik soğutulduktan sonra kalıp açılır ve parça çıkarılır. Ardından, döngü tekrarlanır. Temel olarak, şişe gibi ince cidarlı ve içi boş plastik ürünlerin imalatında, şişirme ile kalıplama yöntemi kullanılmaktadır. Bununla birlikte; oyuncaklar, otomobil parçaları, aksesuarlar ve birçok mühendislik bileşenlerinin üretimi için kullanılmaktadır. Şişirme kalıplamanın üç temel işlemi; ekstrüzyonlu şişirme, enjeksiyonlu şişirme ve germeli şişirmedir (El-Sonbati, 2012).

3.4.1 Ekstrüzyonlu Şişirme Kalıplama

Ekstrüzyonlu şişirme kalıplama; temel olarak önceden belirlenmiş bir parison uzunluğunun bir parçalı kalıba ekstrüzyonundan oluşmaktadır. Ekstrüzyonlu şişirme kalıplamada işlem sırası Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

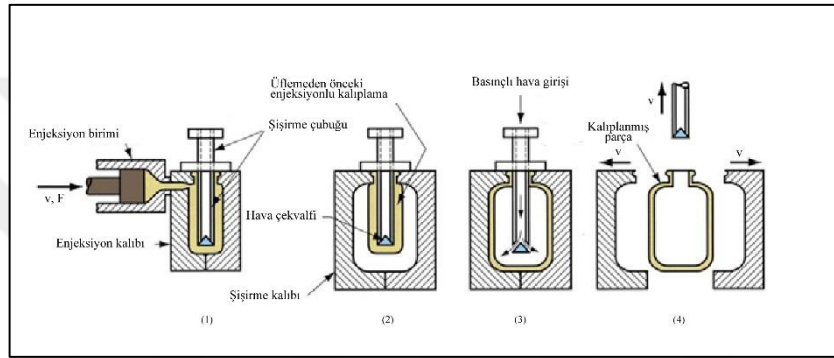


Şekil 3.7 Ekstrüzyon yöntemi ile şişirme kalıplama 1) parison çıkışı, 2) kalıplar kapanır ve parison sıkıştırılır, 3) basınçlı hava girişi sağlanır ve 4) kalıp çıkarılır (Gülmez, 2015)

Bu işlemde öncelikle plastik malzeme eritilir. Basınçlı hava, kalıbın iç hatlarına uyacak şekilde şişirilen parisonun içine basılıp şişirilerek kalıbın şeklini alması sağlanır. Soğutulduktan sonra kalıp açılır ve parça çıkarılır, yeni bir parison uygulanır ve döngü tekrarlanır. Ekstrüzyonlu şişirme kalıplamada kullanılan tipik malzemeler; polipropilen (PP), polietilen (PE), polietilen-tereftalat (PET) ve polivinilklorürdür (PVC) (Chanda, 2018).

3.4.2 Enjeksiyonlu Şişirme Kalıplama

Bu işlemde parison, ekstrüde edilmek yerine enjeksiyonla kalıplanır. Bilinen bir enjeksiyon kalıplama makinesinde, bir şişirme çubuğu etrafında kalın duvarlı bir tüp olarak parison oluşturulur. Daha sonra, enjeksiyon kalıbı açılarak parison bir şişirme kalıbına aktarılır. Parisonun içine kalıbın şeklini alacak şekilde basınçlı hava basılır ve şişirilmiş parça kalıp açılarak çıkarılır. Enjeksiyonlu şişirme kalıplamada işlem sırası Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



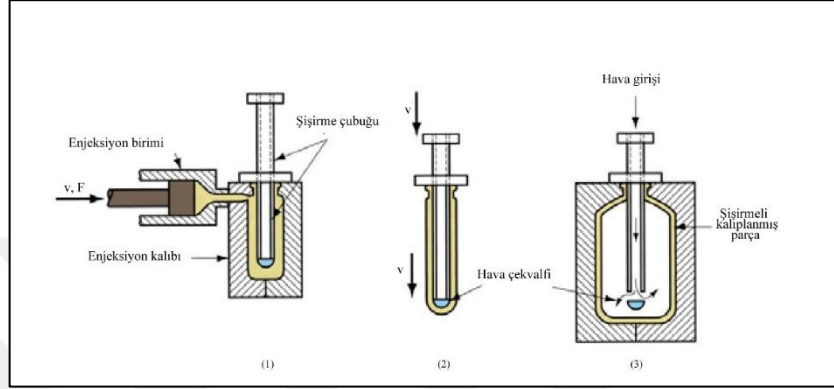
Şekil 3.8 Enjeksiyonlu şişirme kalıplama; 1) parison oluşturulur, 2) parison şişirme kalıbına aktarılır, 3) basınçlı hava girişi sağlanarak parison şişirilir ve 4) kalıp çıkarılır (Gülmez, 2015)

Enjeksiyonlu şişirme kalıplama, ekstrüzyonlu şişirmeli kalıplama ile karşılaştırıldığında nispeten yavaş olup, kalıp malzemelerin seçiminde ise daha kısıtlıdır; ancak enjeksiyon işlemi kalıplanmış nesnenin boyun ve duvar kalınlıklarının iyi kontrolünü sağlar ve simetrik olmayan kalıplama yapmayı daha kolay hale getirir. AYPE, LAYPE, polipropilen, polietilen-tereftalat, polivinilklorür ve YYPE enjeksiyonlu şişirme kalıplamada kullanılan tipik malzemelerdir (Chanda, 2018).

3.4.3 Germeli Şişirme Kalıplama

Germeli şişirme kalıplama yöntemi, genellikle meyve suları, su, soda ve diğer birçok ürün için PET şişeler üretmekte kullanılır. Bu yöntem 1970’lerden beri kullanılmaktadır. Bu yöntem enjeksiyonlu şişirme kalıplamanın farklı bir türü olup, enjeksiyon ile sağlanan ön kalıp, şişirilmeden evvel gerdirilerek uzatılır. Sonuç olarak üretilen parça daha rijit olup, darbeye karşı dayanımı ve saydamlığı daha yüksek

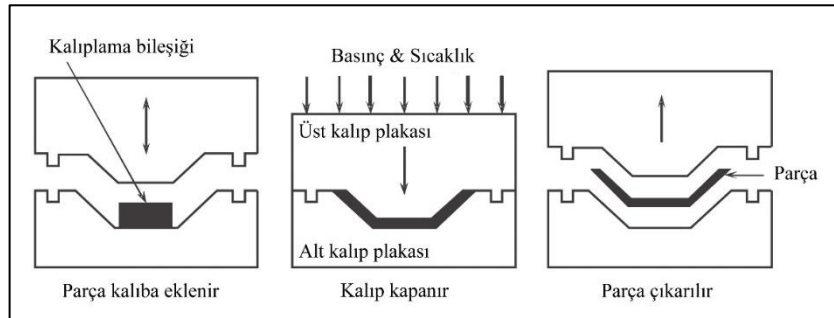
olmaktadır. Enjeksiyonlu şişirme kalıplama ile germeli şişirme kalıplama arasındaki temel fark, bu işlemde ön kalıp sadece şişirilmemekte, aynı zamanda bir germe çubuğu tarafından aksel olarak uzatılmaktadır. Bu yöntemle kullanılan malzemeler içinde polietilen-tereftalat (PET) en yaygın olanıdır. Germeli şişirme kalıplamada işlem sırası Şekil 3.9’da gösterilmiştir (Marco ve Chevalier, 2009).



Şekil 3.9 Germeli yöntemi ile şişirme kalıplama; 1) parisonun enjeksiyon kalıplanması, 2) germe işlemi ve 3) şişirme (Gülmez, 2015)

3.5 Basınçlı Kalıplama

Basınç altında kalıplama en eski plastik işleme tekniklerinden biridir. İlk kullanımı 1909 yılında fenol formaldehit reçinesinin mucidi olan Leo Baekeland tarafından olmuştur (İbeh, 2011).



Şekil 3.10 Basınçlı kalıplama yönteminin çalışma prensibi (Barbero, 2017)

Basınçlı kalıplama, ekstrüzyon ve enjeksiyonla kalıplama ile elde edilemeyen 10 mm’den fazla et kalınlıkları olan malzemeleri üretmek için kullanılır. Bu yöntemde,

belirli bir miktarda malzeme kalıp boşluğunun taban baskı plakasına yerleştirilir. Üst baskı plakası indirilir ve malzemenin alt kalıp plakasına dağıtılması için basınç uygulanır ve parça oluşturuluncaya kadar basınç altında tutulur. Daha sonra kalıp açılır ve parça alınır. Bu kalıplama yönteminin çalışma prensibi Şekil 3.10'da gösterilmiştir (Ibeh, 2011; Vasile ve Pascu, 2005).

Kalıp sıcaklığı ve uygulanan basınç, basınçlı kalıplamada en önemli iki işlem parametresidir. Sıcaklıklar 140-200 °C aralığında olup, kalıp basınçları 3 MPa ila 7 MPa arasında değişmektedir. Örnek olarak, polietilen için basınçlı kalıplama yöntemi kullanılırsa, her adım için parametreler (eritme, ön sıkıştırma, son sıkıştırma ve soğutma) polietilenin sınıfına bağlıdır. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de sırasıyla farklı polietilen sınıfları için basınçlı kalıplamada sıcaklık, basınç değerleri ve parametreleri gösterilmiştir (Ibeh, 2011; Vasile ve Pascu, 2005).

Tablo 3.1 Farklı polietilen sınıfları için basınçlı kalıplamada sıcaklık ve basınç değerleri (Vasile ve Pascu, 2005)

	AYPE	OYPE	YYPE
Sıcaklık (°C)	135-175	150-190	150-220
Basınç (MPa)	0,69-5,5	0,69-5,55	3,4-5,5

Tablo 3.2 Farklı polietilen sınıfları için basınçlı kalıplamada parametreler (Vasile ve Pascu, 2005)

PE sınıfı	Erime sıcaklığı (°C)	Ön sıkıştırma		Son sıkıştırma			Soğutma	
		Basınç DaN/cm^2	Zaman dak	Sıcaklık (°C)	Basınç DaN/cm^2	Zaman dak	Basınç DaN/cm^2	Zaman dak
AYPE	130-140	5-10	15-60	150-160	35	10-12	60-80	30-40
YYPE	150	25-50	30-60	160-200	30	10-20	100-120	50-60

BÖLÜM DÖRT

MALZEME VE YÖNTEM

4.1 Malzeme

Bu çalışmada, doğal fiber ürünlerinden yararlanmak amacıyla takviye malzemesi olarak fıstık çam kozalağı kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında, çam kozalak takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kompozitler üretilmiş ve karakterize edilmiştir. Çam kozalakları öncelikle Türkiye'nin İzmir bölgesinden toplanmıştır. Şekil 4.1a'da bu bitkinin bir çeşidi gösterilmiştir. Öncelikle, toplanan çam kozalaklarını toz haline getirmek için Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Laboratuvarında bulunan Şekil 4.1b'de gösterilen halkalı değirmen kullanılmıştır. Bu değirmende beslenen malzemenin maksimum boyutu 5-12 mm arasında olduğu için daha öncesinde çam kozalakları bıçak yardımıyla küçük parçalara ayrılmıştır. Halkalı değirmende öğütülmek istenen malzemelerin alt boyutu 10-40 mikron arasında değişmektedir. Ayrıca, malzemenin boyutuna ve cinsine bağlı olarak 1-3 dakika zaman çerçevesinde öğütme işlemi yapılabilmektedir.



Şekil 4.1 a) Çam kozalağı bitkisi ve b) halkalı değirmen (Kişisel arşiv, 2017)

4.1.1 Çam Kozalağının Kimyasal Arıtma İşlemi

Çam kozalağını toz, kir vs. etkenlerden temizlemek için NaOH (Sodyum hidroksit) kullanılarak arındırma işlemi yapılmıştır. Bunun için, ilk önce toz haline getirilmiş çam kozalakları Dokuz Eylül Üniversitesi Elektronik Malzemeler Üretim ve

Uygulama Merkezinde (EMUM) bulunan Kimyasal İşlemler Laboratuvarında ViseStir markasının MSH-20A serisine ait bir ısıtmalı manyetik karıştırıcı kullanılarak 1,6 mol/l sodyum hidroksitin sulu çözeltisinde 48 saat karıştırılmıştır (Le Troedec ve diğer., 2008). Daha sonra ise kurutulmak üzere 4 gün bekletilmiştir. İşlem süreci Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.2 Çam kozalağı tozlarının kimyasal arındırma işlem süreci; 1) arındırmadan önceki hali, 2) sodyum hidroksitin sulu çözeltisinin eklenmesi, 3) manyetik karıştırıcıda 48 saatlik karıştırma süreci, 4) kurutma süreci ve 5) kurutmadan sonraki hali (Kişisel arşiv, 2017)

4.1.2 Deneyde Kullanılan Matris Malzemesi

Kullanılan çam kozalağının termoplastik malzeme üzerinde etkisini incelemek amacıyla matris malzemesi olarak 0,961 g/cm³ yoğunluğa, 0,36 g/10 dk. erime akış hızına ve 134 °C ergime noktasına sahip yüksek yoğunluklu polietilen (S 0464) malzeme kullanılmıştır. YYPE ile ilgili ürün kodu ve tedarik edilen firmanın bilgileri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Karşılaştırma yapabilmek ve deney sonuçlarını yorumlayabilmek için PETİLEN YY S0464 ürün kodlu polietilen için teknik bilgiler üretici firma PETKİM

PETROKİMYA HOLDİNG A.Ş.’nin resmi sitesinden alınmıştır. Bu bilgiler sırasıyla Tablo 4.1-4.3’te gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Polietilenin reçine özellikleri (Petkim, 2017)

Malzeme ismi	Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)		
Tedarikçi firma adı	PETKİM PETROKİMYA HOLDİNG A.Ş		
Ürün kodu	PETİLEN YY S0464		
Reçine Özellikleri	PETİLEN YY 0464	Birimi	Metodu
Erime Akış Hızı	0,36	g/10 dk.	ASTM D1238
Yoğunluk, 23(°C)	0,961	g/cm ³	ASTM D1505
Ergime Noktası	134	(°C)	ASTM D3418

Tablo 4.2 Polietilenin mekanik özellikleri (Petkim, 2017)

Mekanik Özellikler	PETİLEN YY 0464	Birimi	Metodu
Akma Sınırındaki Çekme Dayanımı	28	MPa	ASTM D638
Kopma Sınırındaki Çekme Dayanımı	31	MPa	ASTM D638
Kopmada Uzama	1115	%	ASTM D638
Eğilme Modülü, 23 °C	1000	MPa	TS EN ISO 178
İzod Darbe Dayanımı, 23 °C (çentikli)	590	J/m	ASTM D256
Sertlik	65	-	ASTM D2240
Çevresel Baskıyla Kırılma Dayanımı (%10 Igepal, F50)	16	saat	ASTM D1693

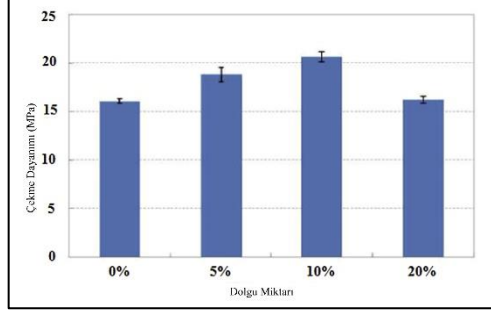
Tablo 4.3 Polietilenin termal özellikleri (Petkim, 2017)

Termal Özellikler	PETİLEN YY 0464	Birimi	Metodu
Vicat Yumuşama Noktası, 10N	128	(°C)	ASTM D1525

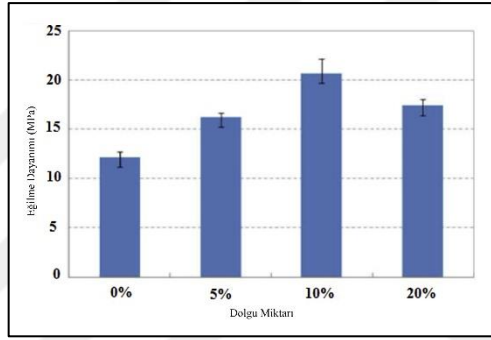
4.2 Literatür Taraması

Literatüre bakıldığında, daha önce yüksek yoğunluklu polietilen malzemesi ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bu malzemenin gösterdiği kabul edilen farklı mekanik özellikleri vardır. Bu farklılıklar üretici firmanın kullanmış olduğu malzemenin türünden, üretim koşullarından ve ayrıca üretim yöntemlerinden kaynaklanmaktadır. Örnek göstermek gerekirse, 2016 yılında yapılmış bir deneysel çalışmada asma çubuk (AÇ) takviyeli yüksek yoğunluklu polietilenin farklı

yüzdelerdeki karışımından elde edilen çekme ve eğilme dayanımı grafiği sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir (Kılınc ve diğer., 2016).



Şekil 4.3 YYPE ve AÇ/YYPE kompozitler için çekme dayanımı değerleri (Kılınc ve diğer., 2016)

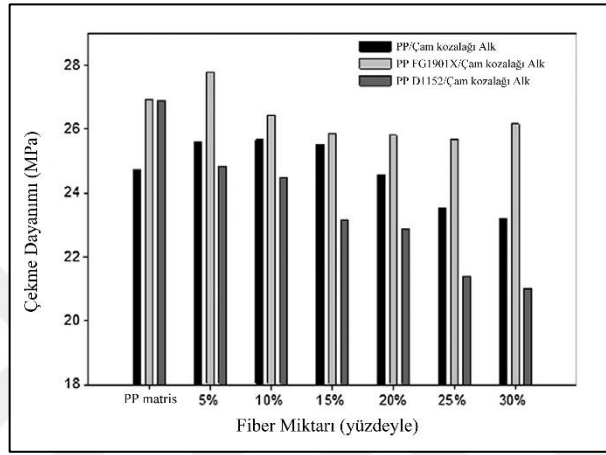


Şekil 4.4 YYPE ve AÇ/YYPE kompozitler için eğilme dayanımı değerleri (Kılınc ve diğer., 2016)

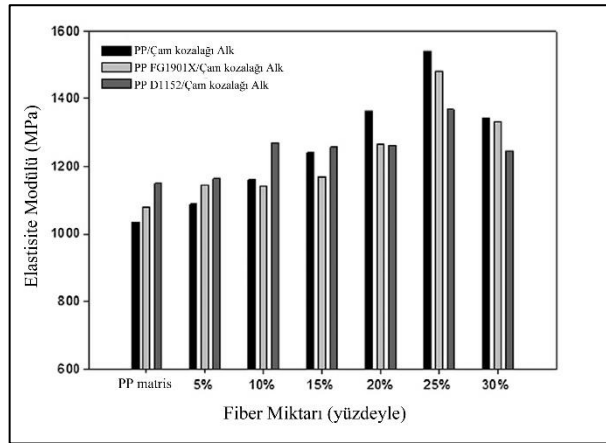
Grafiğe bakıldığında AÇ/YYPE'nin yüzdeleri karışımları arasında çekme ve eğilme dayanımında en iyi gelişmeyi %10 AÇ/YYPE karışımının gösterdiği açıkça görülmektedir; ancak %10 AÇ/YYPE karışımına daha fazla asma çubuk takviye edildiğinde çekme ve eğilme dayanımında bir düşüş yaşandığı da görülmektedir (Kılınc ve diğer., 2016).

2012 yılında başka bir çalışmada ise çam kozalağı bitkisinin mekanik ve termal davranışlara nasıl bir etki gösterdiği incelenmiştir. Bu çalışmada, çam kozalağının polipropilen (PP) üzerindeki etkisi, mekanik ve termal özellikler açısından incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucu sırasıyla, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da sunulan grafikte PP D1152 ve FG 1901X ile uyumlu hale getirilmiş ikili ve üçlü kompozitler için çekme dayanımı ve elastisite modülü gibi değerler özetlenmiştir. İlk grafikten görüldüğü üzere, alkali işlem yapılarak elde edilmiş kompozitte, saf halde olan PP'ye karşı çekme dayanımı %15 fiber karışımıyla değere ulaşılan kadar maksimum seviyeye

ulaşmaktadır; ancak daha fazla fiber karışımı ilave edildikten sonra çekme dayanımında bir düşüş yaşandığı gözlenmektedir (Şekil 4.5). Sonuç itibarı ile çekme dayanımının sadece %3,4 artırılarak 25,5 MPa'lık maksimum bir değere ulaşması sağlanmaktadır. Genel olarak bakılırsa çam kozalağı ile takviye edilmiş polipropilen saf halde olan polipropilene göre daha yüksek çekme dayanımına ulaşmıştır (Arrakhiz, El Achaby ve diğer, 2012).



Şekil 4.5 Üç ayrı kompozitin çekme dayanımı değerleri (Arrakhiz, El Achaby ve diğer, 2012)



Şekil 4.6 Üç ayrı kompozitin elastisite modülü değerleri (Arrakhiz, El Achaby ve diğer, 2012)

Şekil 4.6'da kompozitler için elastisite modülündeki değişim gösterilmektedir. Saf halde olan polipropilene kıyasla PP/Çam kozalağı ALK için elastisite modülünde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. FG1901X ile karışımda, kompozitin elastisite modülündeki lineer artış %25'lik fiber karışıma kadar devam etmiştir. Elastisite

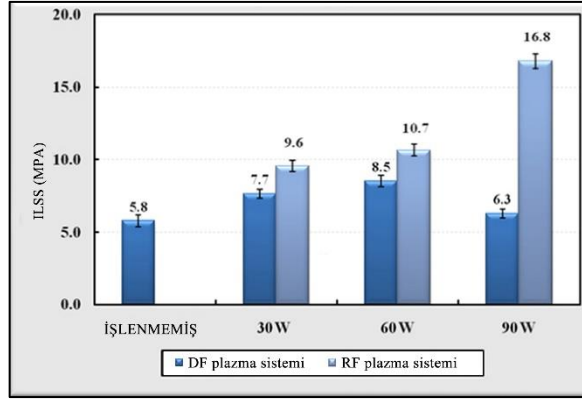
modülündeki böyle bir artış fiber ile matris arasındaki iyi yapışmadan kaynaklandığını belirtmişlerdir (Arrakhiz, El Achaby ve diğer, 2012).

Kompozit bileşenlerin uyumlu yüzey özelliklerini elde etmek için, kompozit üretiminden önce doğal elyaflara yüzey işlemlerinin uygulanması gerekmektedir (Sever, Erden, Gülec, Seki, ve Sarikanat, 2011).

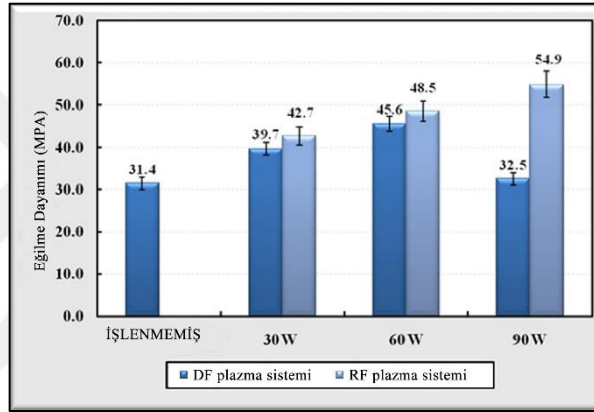
Genel olarak, doğal elyafların yüzeyleri, silan bağlayıcılar, sodyum hidroksit (NaOH), izosiyanat ve maleik anhidrit gibi maddeler kullanılarak kimyasal olarak modifiye edilmektedir. Fiber yüzeylerinin kimyasal işlemleri, ara yüzey bağının iyileştirilmesinde kısmen başarılı olsa da yapılan işlemlerin yüksek maliyetli olması ve işlem sonrası kimyasalların atılması gibi bazı sorunlarla karşılaşabiliyor (Yuan, Jayaraman ve Bhattacharyya, 2004). Bu nedenle, fiber yüzey modifikasyonu için yeni yöntemler gerekmektedir. Bu yöntemlerden bir tanesi 2011 yılında yapılan bir çalışmada kullanılan plazma teknolojisidir. Plazma teknolojisi, malzemelerin hacim özelliklerini etkilemeden onların yakın-yüzey bölgesinin modifikasyonunu etkili bir şekilde gerçekleştirebilen bir yöntemdir (Borcia, Anderson ve Brown, 2006).

Sever, Erden, Gülec, Seki, ve Sarikanat (2011) yaptıkları çalışmada jüt elyaf takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin oksijen plazma işlemiyle jüt elyafların mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Matris malzemesi olarak 0,950-0,956 g/cm³ yoğunluğa ve 0,30-0,50 g/10 dk. erime akış hızına sahip yüksek yoğunluklu polietilen (S 0452) malzeme kullanılmıştır.

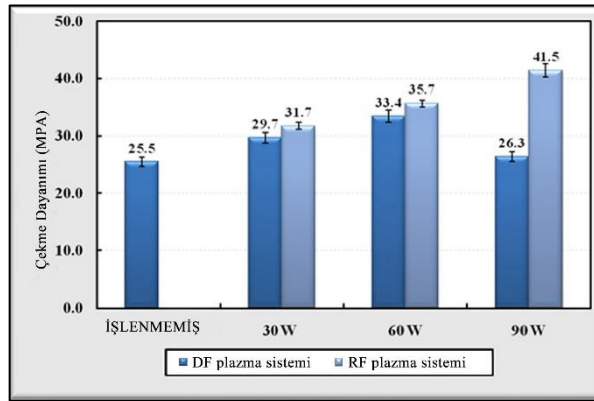
Jüt elyaflar, iki farklı soğuk plazma işleme sistemi [düşük frekanslı bir soğuk plazma sistemi (DF) ve bir radyo frekansı ile oluşturulmuş soğuk plazma sistemi (RF)] kullanılarak 15 dakikalık süre içinde çeşitli plazma güçlerinde (30 W, 60 W ve 90 W) yüzey işlemine tabi tutulmuştur. Ayrıca, çekme testlerinden sonra kırılma yüzeylerinin şekil bilgisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Şekil 4.7-4.9'da sırasıyla, işlenmemiş jüt elyaf/YYPE ve oksijen plazma işlemi ile işlenmiş tabakalar arası kayma dayanımı, eğilme dayanımı ve çekme dayanımı değerleri gösterilmektedir (Sever, Erden ve diğer., 2011).



Şekil 4.7 Üretilmiş kompozitler için tabakalar arası kayma dayanımı değerleri (Sever, Erden ve diğer., 2011)



Şekil 4.8 Üretilmiş kompozitler için eğilme dayanımı değerleri (Sever, Erden ve diğer., 2011)



Şekil 4.9 Üretilmiş kompozitler için çekme dayanımı değerleri (Sever, Erden ve diğer., 2011)

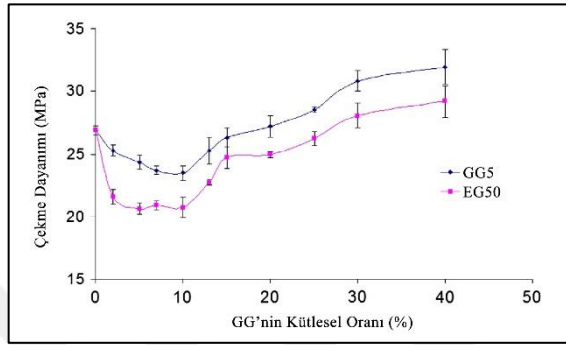
Düşük frekanslı plazma sisteminde jüt/YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerinde 60 W'a kadarki değerlerde iyileşmeler görülmektedir. İşlenmemiş jüt/YYPE kompozitler ile düşük plazma sisteminde 30 W ve 60 W'lık plazma

güçlerindeki jüt elyaf/YYPE karşılaştırıldığında, tabakalar arası kayma dayanımı değerinin sırasıyla, 5,8 MPa'dan 7,7 MPa ve 8,5 MPa'a kadar çıktığı görülmektedir (Şekil 4.7). Tabakalar arası kayma dayanımı değerleri 60 W plazma gücünde maksimum değere ulaşmaktadır. Ayrıca, plazma gücünün 90 W'a kadar çıkarılması tabakalar arası kayma dayanımında bir düşüşe neden olmaktadır (Sever, Erden ve diğer., 2011).

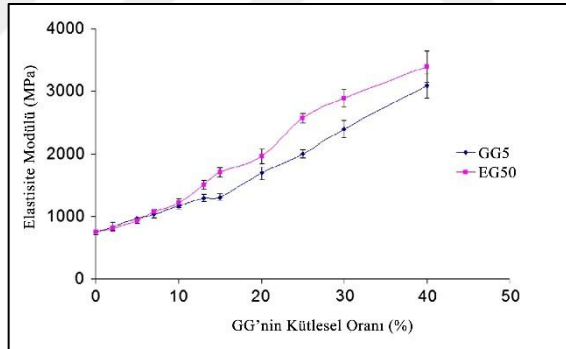
Şekil 4.8'de incelenen tüm kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri gösterilmektedir. İşlenmemiş jüt/YYPE kompozitlerin eğilme dayanımı değeri 31,4 MPa olarak elde edilmiştir. Jüt kumaş 30 W'da oksijen plazma gücüyle işlendiğinde eğilme dayanımı 39,7 MPa'a yükselmiştir. Plazma gücünün 60 W'a çıkarılması DF sistemi için en büyük eğilme dayanımı değerine (45,6 MPa) ulaştığı görülmüştür; ancak plazma gücünün 90 W'a kadar çıkarılması ise eğilme değerinde düşüşe (32,5 MPa) neden olmuştur. Ayrıca, çekme dayanımı açısından DF plazma sistemi ile işlenmiş jüt/YYPE kompozitleri için 30 W, 60 W ve 90 W plazma gücünde sırasıyla 29,7 MPa, 33,4 MPa ve 26,3 MPa değerleri belirlenmiştir (Şekil 4.9). Şekil 4.7-4.9'dan görüldüğü üzere DF plazma sistemi ile RF plazma sistemi karşılaştırıldığında RF plazma sisteminde jüt/YYPE kompozitleri için tabakalar arası kayma dayanımı, eğilme ve çekme dayanımı değerlerinde düşüş yaşandığı gözlemlenmemiştir. Ayrıca 90 W'lık plazma gücünde bu değerlerde artışlar açıkça görülmektedir (Sever, Erden ve diğer., 2011).

2009 yılında, genişletilmiş grafit (GG) takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen nanokompozitlerin elektrik ve mekanik özelliklerinin incelendiği deneysel bir çalışma yapılmıştır. Matris malzemesi olarak erime sıcaklığı 129,3 °C, yoğunluğu ise 0,95 g/cm³, erime akış indeksi 8 g/10 dk. olan yüksek yoğunluklu polietilen kullanılmıştır. YYPE farklı partikül büyüklüğüne sahip, 5-7 µm (GG5) ve 40-55 µm (GG50) çaplı, yoğunlukları 2,25 g/cm³ olan genişletilmiş grafit parçacıkları ile takviye edilmiştir. YYPE nanokompozitin mekanik özellikleri, kompozitin içine ilave edilen dolgu miktarına bağlı olarak incelenmiştir. Çekme dayanımı, elastisite modülünü ve yüzde uzamayı belirlemek için çekme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, GG5 ve GG50'nin yüksek yoğunluklu polietilenin elektrik iletkenliği üzerinde etkisi incelenmiştir.

YYPE'ye %40 oranında GG5 ve GG50 ilave edildikten sonra YYPE'nin çekme dayanımı sırasıyla %18,7 ve %8,5 oranında artmıştır. Bunun yanı sıra GG5/YYPE nanokompozitleri için çekme dayanımındaki artışın GG50/YYPE nanokompozitlere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de GG5/YYPE ve GG50/YYPE kompozitlerin çekme dayanımı ve elastisite modülü değişimleri gösterilmiştir (Sever, Tavman ve diğer., 2009).



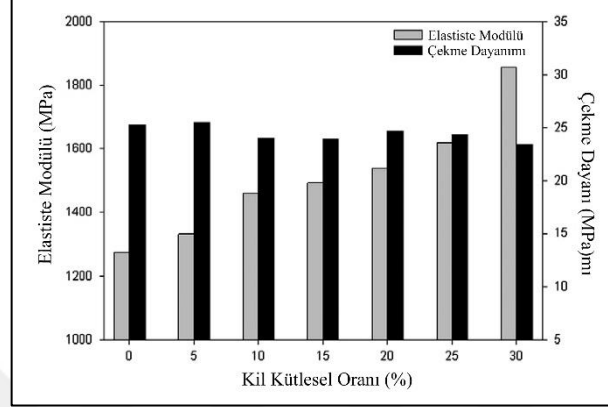
Şekil 4.10 GG5/YYPE ve GG50/YYPE kompozitlerin çekme dayanımındaki değişimler (Sever, Tavman ve diğer., 2009)



Şekil 4.11 GG5/YYPE ve GG50/YYPE kompozitlerin elastisite modülündeki değişimler (Sever, Tavman ve diğer., 2009)

Arrakhiz, Benmoussa, Bouhfid ve Qaiss (2013) yaptıkları çalışmada çam kozalağı lifleri ile kil hibrid kompozitlerinin, polipropilenin mekanik ve termal özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada çeşitli miktarda kil ve çam kozalağı polimerle eriyik halde karıştırılmıştır. İnceleme sonucunda, ekstrüzyon-enjeksiyon yöntemi kullanarak kil, çam kozalağı lifleri ve polipropilen (PP) matrisi ile hibrid kompozitlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Güçlendirilmiş bir kompozit elde etmek amacıyla 165 °C erime sıcaklığına ve 0,90 g/cm³ yoğunluğa sahip polipropilen

kullanılmıştır. Yerel ürünlerden daha fazla faydalanabilmek için PP matrisinde takviye olarak ham çam kozalakları ve kil kullanılmıştır. Şekil 4.12’de çam kozalağı lifli ve kil parçacıklı polipropilen hibrid kompozitlerin çekme dayanımı ve elastisite modülü değişimleri gösterilmiştir.



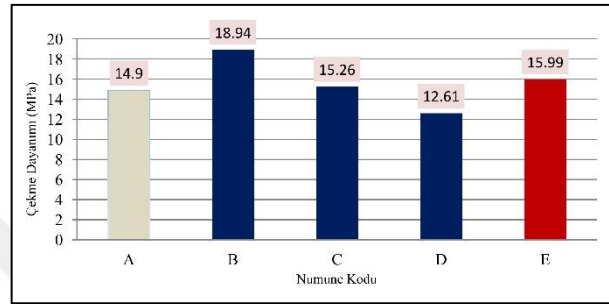
Şekil 4.12 Çam kozalağı lifli ve kil parçacıklı polipropilen hibrid kompozitlerin çekme dayanımı ve elastisite modülü değişimleri (Arrakhiz, Benmoussa ve diğer., 2013)

Şekil 4.12’den kompozitte bulunan kil kütlesinin miktarının arttıkça elastisite modülü değerinin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte polipropilene %30 oranında çam kozalağı ve kil eklendikten sonra karışım polipropilenin saf polipropilene kıyasla elastisite modülü %45 oranında artarak 1272,5 Mpa’dan 1857,7 Mpa’a yükselmiştir. Ayrıca, polipropilene çam kozalağı ve kil eklendikten sonra karışım polipropilenin çekme dayanımında sürekli değişken değerler görülmektedir (Arrakhiz, Benmoussa ve diğer., 2013).

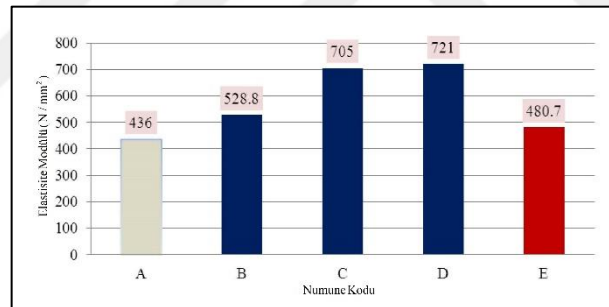
Bahra, Gupta ve Aggarwal (2017) yaptıkları çalışmada ananas takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin fiber özelliklerinin mekanik özelliklere olan etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda ananas lifinin çeşitli miktarı ile takviye edilmiş YYPE kompozitlerin çekme dayanımı, elastisite modülü, sertliği ve su emme davranışı belirlenmiştir. Grafikleri inceleyebilmek amacıyla numune kodları ile ilave edilen takviye miktarları Tablo 4.4’te sunulmuştur. Şekil 4.13’te ananas/YYPE kompozitlerinin çekme dayanımı ve sertliğinin artan lif içeriği ile azaldığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, Şekil 4.14’te lif içeriğinin artması sonucunda elastisite modülünde de bir artış gözlemlenmiştir.

Tablo 4.4 Numunelerin kodlaması ve takviye miktarları (Bahra ve diğer., 2017)

Numune Kodu	Lif Oranı (%)		YYPE Oranı (%)	
	Ananas	Sisal	Yeni İşlenmiş	Geri Dönüştürülmüş
A	0	0	50	50
B	5	0	47,5	47,5
C	15	0	42,5	42,5
D	25	0	37,5	37,5
E	12,5	12,5	37,5	37,5



Şekil 4.13 Çeşitli numunelerin çekme dayanımı değerleri (Bahra ve diğer., 2017)

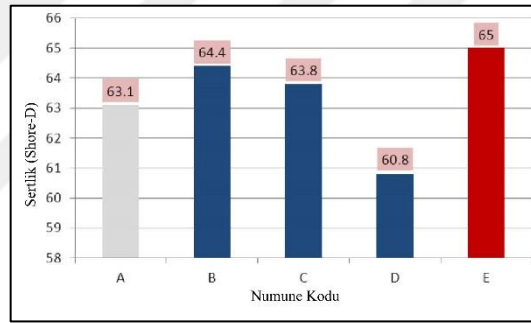


Şekil 4.14 Çeşitli numunelerin elastisite modülü değerleri (Bahra ve diğer., 2017)

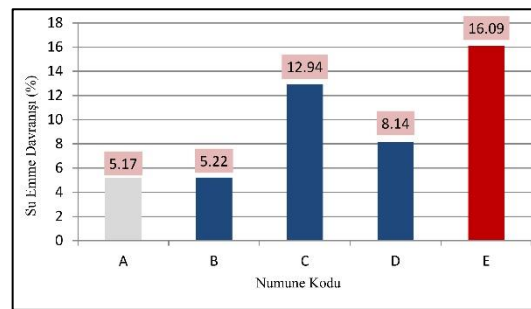
Şekil 4.13'teki grafikten anlaşılacağı üzere, D numunesinin A numunesine göre daha düşük çekme dayanımına sahip olmasına karşın, B ve C'nin çekme dayanımı, saf halde olan YYPE (A) için gözlenenden daha yüksektir. Numune D, A'ya göre %15,3 oranında düşük çekme dayanımı göstermektedir. Sonuç olarak, D numunesindeki lif oranının %25'e çıkarılması ananas/YYPE kompoziti için çekme dayanımı değerinde pozitif bir rol oynamamıştır. A, B ve C numunelerine kıyasla, D numunesinin düşük çekme dayanımının olası nedenlerinden biri, ananas lifleri miktarının %15 ila %25 arasında bir oran olduğunda YYPE matrisinin bir doyma seviyesine ulaşmasıdır (Bahra ve diğer., 2017).

Şekil 4.14'teki grafiği incelersek, ananas/YYPE kompozit numunelerin elastisite modülü değeri saf halde olan YYPE'ye kıyasla her zaman yüksek olmaktadır. Ananas/YYPE kompozitlerinde lif oranının %5'ten %25'e varan artışlarında elastisite modülü değeri artmıştır. Numune E'deki lif içeriğinde %12,5 oranda ananas ve %12,5 oranda sisal lifi kullanılması ananas/YYPE kompozitlerinin elastisite modülünde önemli derecede düşüşe neden olmuştur (Bahra ve diğer., 2017).

Ayrıca, ananas/YYPE kompozitlerinde ananas lif miktarının %25 oranına çıkarılması ananas/YYPE kompozitinin sertliğinde bir düşüşe neden olmuştur (Şekil 4.15). Buna ek olarak ananas/YYPE kompozitlerinin su emme davranışlarında saf halde olan A numunesine kıyasla B, C, D ve E numunelerinde önemli derecede artışlar gözlemlenmiştir (Şekil 4.16), (Bahra ve diğer., 2017).



Şekil 4.15 Çeşitli numunelerin sertlik değerleri (Bahra ve diğer., 2017)

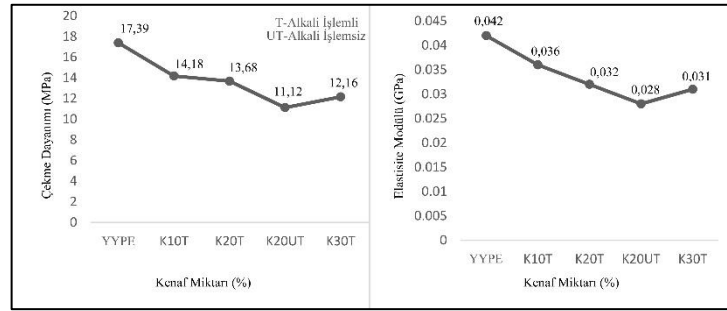


Şekil 4.16 Çeşitli numunelerin su emme davranışları (Bahra ve diğer., 2017)

Verma ve Shukla (2017) yaptıkları çalışmada kısa kenaf takviyeli yüksek yoğunluklu yeşil kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Bu çalışmada matris malzemesi olarak 0,960-0,965 g/cm³ yoğunluğa sahip polietilen ve takviye malzemesi olarak kenaf lifi kullanılmıştır. Bu çalışmada kenaf takviyeli YYPE

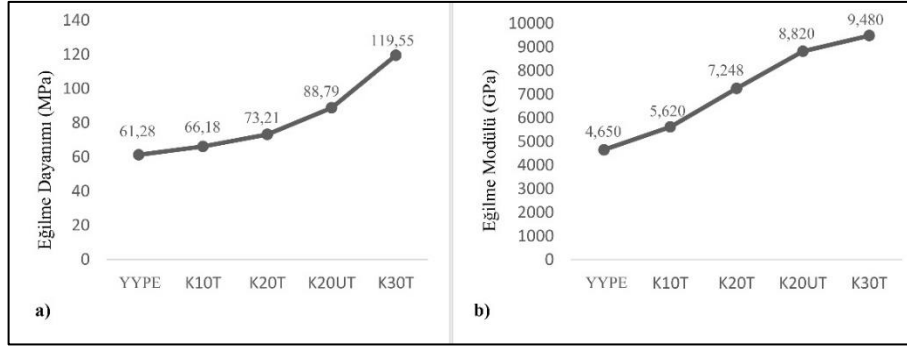
kompozitlerin alkali işlemlili ve işlemsiz liflerin çekme ve eğilme özellikleri gibi mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu özellikler, kompozitin içine ilave edilen dolgu miktarına, yani kenaf lifine bağlı olarak incelenmiştir.

Şekil 4.17a'daki grafik incelendiğinde, alkali işlemlili %10 kenaf lif katkılı YYPE kompozitin çekme özelliklerinin diğer bütün kompozitlerle kıyasla maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Yani, K10T'nin çekme dayanımı değeri K20T, K20UT ve K30T kompozitlerine kıyasla sırasıyla %3,65, %27,51 ve %16,61 oranında artmıştır. K20T'nin çekme dayanımının K20UT'den yüksek olması matris ile takviye arasındaki iyi yapışmadan dolayı meydana gelmektedir. Şekil 4.17b'deki grafiğe bakıldığında ise K10T'nin elastisite modülü diğer K20T, K20UT ve K30T'den, sırasıyla %12,5, %28,57 ve %16,13 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, kenaf lif takviyesinden dolayı YYPE'nin çekme özelliklerinde herhangi bir gelişme olmamıştır. Bunun nedeni, fiber takviye ve polimer matrisi arasındaki düşük yük aktarımı kabiliyetinin (*load transfer capability*) olmasıdır. Çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri belirlendikten sonra kenaf/YYPE kompozitlerin eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerleri belirlenmiştir (Verma ve Shukla, 2017).



Şekil 4.17 a) Kenaf lif takviyeli YYPE yeşil kompozitlerin çekme dayanımı değişimleri ve b) kenaf lif takviyeli YYPE yeşil kompozitlerin elastisite modülü değişimleri (Verma ve Shukla, 2017)

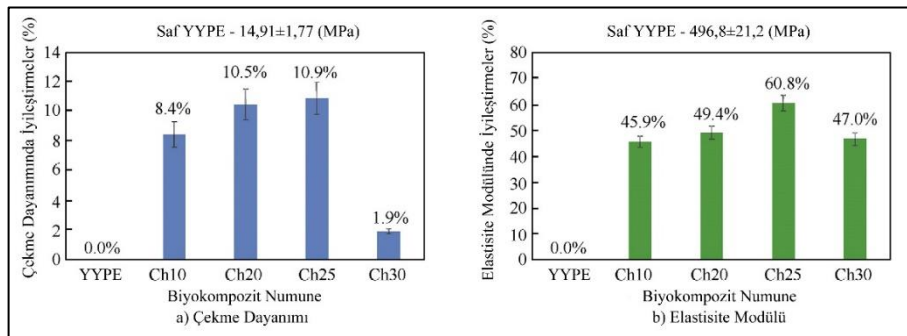
K30T'nin eğilme dayanımı saf halde olan YYPE'ye ve diğer tüm kompozitlere kıyasla maksimum değere ulaşmıştır. Ayrıca, K10T, K20T ve K20UT ile kıyaslandığında ise sırasıyla %80,64, %63,29 ve %34,64'e kadar iyileşme elde edilmiştir (Şekil 4.18a). K30T'nin eğilme modülü K10T, K20T ve K20UT ile kıyaslandığında %68,68, %30,80 ve %7,48 oranında iyileşme olmuştur (Şekil 4.18b), (Verma ve Shukla, 2017).



Şekil 4.18 a) Kenaf lif takviyeli YYPE yeşil kompozitlerin eğilme dayanımı değişimleri ve b) kenaf lif takviyeli YYPE yeşil kompozitlerin eğilme modülü değişimleri (Verma ve Shukla, 2017)

Sonuç olarak, YYPE'nin eğilme özellikleri kenaf lifi takviyesi ile artmış ve K30T kompoziti için eğilme özellikleri diğer kenaf/YYPE kompozitlerine göre maksimum olarak elde edilmiştir. (Verma ve Shukla, 2017).

Haro, Szpunar ve Odesi (2018) yaptıkları çalışmada chonta palmye ağacı (*Bactris gasipaes*) mikropartikülleri ile takviye edilmiş YYPE'den yapılmış biyokompozit zırhların dinamik ve balistik darbe davranışlarını incelemişlerdir. YYPE'nin chonta palmye ağacı mikropartikülleriyle güçlendirilmesi çekme dayanımında önemli oranlarda artışa neden olmuştur. Çekme dayanımında, elastisite modülündeki artış mikropartiküllerin ağırlık oranının %0'dan %25'e kadar arttığı oranlarda meydana gelmektedir; ancak mikropartikül oranının %30'a çıkarılması ile hem çekme dayanımında hem de elastisite modülünde düşüş görülmüştür (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 YYPE biokompozitlerin çekme özelliklerindeki iyileştirme değerleri (Haro ve diğer., 2018)

Chonta palmye ağacı partikülleri ile takviye edilmiş YYPE'nin balistik performansı üzerine yapılan bu çalışmada, en yüksek enerji sönümünü 53,4 J olarak

ağırlıkça %25 oranında dolgu maddesi (Ch25) içeren biyokompozit numuneler göstermektedir. Benzer kalınlık ve yoğunluğa sahip saf halde YYPE'ye göre %41,3'lük bir iyileşmeyi temsil etmektedir. Tablo 4.5'ten görüldüğü üzere Ch20 ve Ch25 biyokompozitleri en iyi balistik darbe dayanımı sergilemektedirler. Balistik darbe deneyleri sonucunda chonta palmiye ağacı mikropartiküllerinin, YYPE gibi bir polimerik matris içine dahil edilmesi polimerin enerji sönümleme kapasitesini artırarak, balistik darbeye maruz kalan artan enerji sönümleme kapasitesine sahip biyokompozitler elde edilmiştir (Haro ve diğer., 2018).

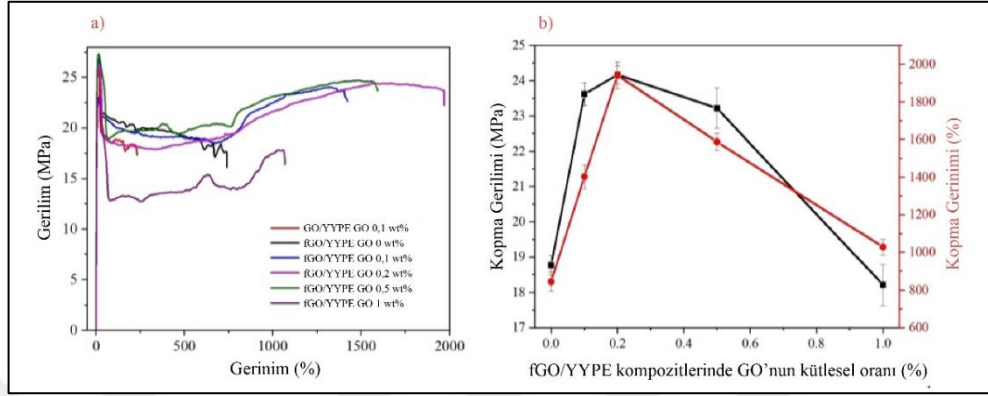
Tablo 4.5 Çeşitli biyokompozit numuneler için balistik darbe veri listesi (Haro ve diğer., 2018)

Darbeden önce ölçülen başlangıç hız ortalaması/(m·s ⁻¹)	Başlangıç Enerji Ortalaması/J	Darbeden sonra ölçülen ortalama hız/(m·s ⁻¹)	Sönümlenen enerji /J	Saf YYPE'ye göre sönümlenen enerji/%
YYPE- 385	593	372,8 ± 2,5	37,8 ± 7,3	0,0
1				
Ch10 385	593	371,4 ± 1,1	42,1 ± 3,1	11,5
Ch20 385	593	370,6 ± 1,8	44,5 ± 5,2	17,6
Ch25 385	593	367,6 ± 1,4	53,4 ± 4,2	41,3
Ch30 385	593	371,6 ± 1,5	41,4 ± 4,4	9,5

Li ve Xie (2018) yaptıkları çalışmada, poliolefin ile fonksiyonelleştirilmiş grafen oksit (fGO) ve onun üstün mekanik özellikli GO/YYPE nanokompozitini incelemişlerdir. Poliolefin AYPE, LAYPE, YYPE ve PP içeren plastik çeşitleri için kullanılan ortak bir terimdir. GO ise 2 boyutlu bir malzemedir ve sp² bazal düzleminde bulunan kullanışlı oksijen gruplarıyla beraber grafenin oksitlenmiş halidir. Grafen oksitin kimyasal karışımı ve boyutlarının değiştirilebilir yapıda olması onu elektronik, kompozit, biyoloji ve tıp alanlarında kullanılabilir kılmıştır.

Şekil 4.20a'da ağırlıkça %0,1 GO/YYPE nanokompozitlerin ve farklı içeriklerde ağırlıkça %0, %0,1, %0,2, %0,5 ve %1'de dahil olmak üzere GO ve fGO/YYPE nanokompozitlerinde gerilim-gerinim eğrisi, Şekil 4.20b'de ise fGO/YYPE nanokompozitlerinde kopma gerilimi ve kopma gerinimi gösterilmektedir. Şekil 4.20b'de ilk başta GO oranının %0,2'ye kadar artırılması kopma gerilimi ve geriniminde artışa neden olmuştur. GO oranının %0,2'ye çıkarılması sonucunda kopma gerilimi ve gerinimi maksimum değere, sırasıyla 24,2 MPa ve %1941'e ulaşmıştır. fGO/YYPE nanokompoziti ile saf halde olan GO karşılaştırıldığında,

kopmadaki gerilme değeri %28,7 oranında, gerinme değeri ise %130'a kadar artış gözlemlenmiştir. Diğer yandan, GO oranının %0,5'ten %1,0'a kadar çıkarılması kopma gerilmesi ve gerinmesinde bir düşüşe neden olmuştur (Li ve Xie, 2018).

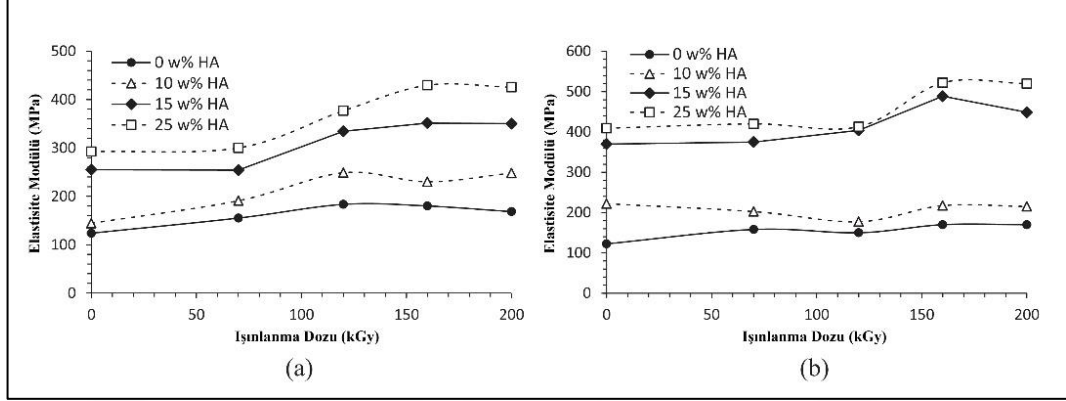


Şekil 4.20 a) GO/YYPE ve fGO/YYPE nanokompozitlerin gerilim-gerinim eğrisi ve b) GO katkı oranını artırılarak fGO/YYPE nanokompozitlerinde kopma gerilimi ve kopma gerinimi (Li ve Xie, 2018)

Mohammadi, Ziaie, Majdabadi, Akhavan ve Shafaei (2017) yaptıkları çalışmada yüksek enerjili elektron demet ile ışınlanmış YYPE/hidroksiapatit nanokompozitlerin mekanik ve termal özelliklerinin iyileştirilmesini amaçlamışlardır. Bu çalışmada, yüksek yoğunluklu polietilen/hidroksiapatit numunelerinin nanokompozitleri iki yöntemle üretilmiştir. Birinci yöntemde, YYPE ve nano yapıli hidroksiapatit (HA) granülleri, takviye fazının farklı ağırlık yüzdesine sahip nanokompozit numuneleri hazırlamak için karıştırıcıda işlenmiştir. İkinci yöntemde ise, YYPE kaynayan ksilen içinde nano toz halinde işlenmiştir. Ayrıca, numuneler, 70-200 kGy (kilo gray) ışınlama dozunda ve 10 MeV (milyon elektron volt) elektron demeti altında ışınlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda numunelerin mekanik, termal ve morfolojik (biçimsel) özellikleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Farklı HA içeriğine sahip numunelerin her iki üretim yöntemi için soğurulmuş doz boyunca elastisite modülü değişimleri Şekil 4.21'de gösterilmektedir. Grafikten görüldüğü üzere, nanoyapılı hidroksiapatitin arttırılmasıyla numunelerin mekanik özelliklerinde önemli derecede artış elde edilmiştir. Aynı zamanda, tüm örneklerde elastisite modülündeki artış 120 kGy ışınlama dozu civarında görülmektedir. Sonuç

olarak, normal granül kullanılarak işlenen YYPE'nin, nano YYPE'lere kıyasla daha iyi mekanik özellikler göstermiştir (Mohammadi ve diğer., 2017).



Şekil 4.21 YYPE/HA ve nano YYPE/HA'nın soğurulmuş doz boyunca elastisite modülü değişimleri (Mohammadi ve diğer., 2017)

YYPE/HA nano kompozitlerinde Van der Waals kuvvetleri belli bir rol oynayabilir. Bu nedenle, nanokompozitin mukavemeti YYPE'nin nano toz halinde işlenmesi yöntemi kullanılarak artırılmaktadır. Bu, homojen ortamdan dolayı, matris ile dolgu maddesi arasındaki daha fazla temas yüzeyinin Van der Waals etkileşimlerini arttırdığı ve böylece nanokompozitin mukavemetini arttırdığı gerçeğinden kaynaklanmaktadır (Mirsalehi, Sattari, Khavandi, Mirdamadi, ve Naimi-Jamal, 2016).

4.3 Deneylerde Kullanılan Cihazlar, Kompozit Üretimi, Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Yapılan Deneyler

4.3.1 Kompozit Üretiminde ve Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Bu tez çalışmasında kompozit numunelerin üretiminde ve deney aşamalarında kullanılan cihazlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Fontijne LabEcon 600 sıcak pres cihazı
- Ağırlık düşme prensipli darbe cihazı CEAST-Fractovis Plus
- Çekme, basma ve üç nokta deneyini uygulamak için kullanılan Shimadzu AG-X serisi üniversal test cihazı

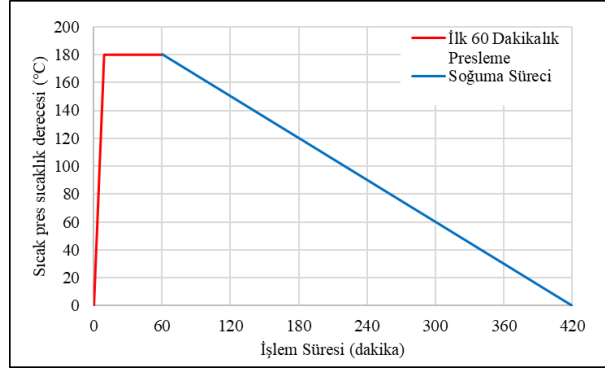
4.3.2 Sıcak Presli Kalıplama ve Numunelerin Elde Edilmesi

Bu tez çalışmasında numune üretebilmek için Fontijne markasının LabEcon 600 serisine ait bir pres kullanılarak sıcak pres ile üretim yöntemi tercih edilmiştir. Sözü geçen presin çeneleri 400x400 mm boyutundadır. Çenelerin arasındaki aralık 200 mm mesafeye kadar açılabilir. Çenelerin uygulayabileceği en yüksek kuvvet değeri 600 kN olup, presin ulaşabileceği maksimum sıcaklık değeri 300°C'dir. Sıcak pres, numunenin üretilmesi gereken sıcaklık değerine (180°C) 8,5 dakikada ulaşmaktadır. Üretim için kullanılan sıcak pres Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



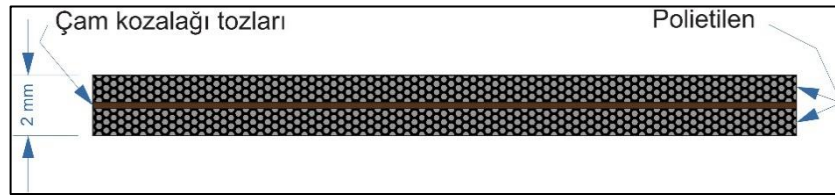
Şekil 4.22 Üretim için kullanılan LabEcon 600 serisine ait pres (Kişisel arşiv, 2018)

İlk olarak, üretim yapabilmek için 0,961 g/cm³ yoğunluğa sahip granül halinde olan saf polietilen yoğunluk-hacim ilişkisi kullanılarak 235 gram tartılmış ve sac metalden yapılmış 1 mm kalınlığındaki kalıba eklenerek sıcak pres makinesinde, 180 °C sıcaklıkta, 100 kN yük altında ve 60 dakika süresince iki adet 1x350x350 mm ebatında plaka üretilmiştir. 60 dakikalık presleme bittikten sonra kompozit plakalarda çarpılmanın olmaması için kompozit numuneler 100 kN yük altında en az 6 saat numunenin soğuması için pres altında bekletilmiştir. Daha sonra ise numuneler kalıptan çıkarılmıştır. Numune üretimi sırasında sıcaklığın zaman ile değişimini ve soğuma sürecini gösteren grafik Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.23 Sıcak preslemede sıcaklığın zaman ile değişim grafiği

Tozdan ve kirden arındırılmış çam kozalağı tozlarının YYPE kompozit granülleri içindeki yüzde ağırlık oranı sırasıyla %5 ÇK/YYPE (11,75 gram), %10 ÇK/YYPE (23,5 gram), %15 ÇK/YYPE (35,25 gram), %20 ÇK/YYPE (47 gram) olacak şekilde ayarlanmıştır. Yüksek yoğunluklu polietilen ile çam kozalağının yüzdeli karışımları, üretilmiş iki adet 1 mm kalınlıktaki plakaların arasına homojen bir biçimde eklenmiş, sıcak pres makinesinde aynı sıcaklıkta ve aynı basınç altında üretilmek üzere 60 dakika bekletilmiştir. Daha sonra, üretilmiş 2x350x350 mm ebatında kompozit plaka 6 saat soğumaya bırakıldıktan sonra kalıptan çıkarılmıştır. Üretilen kompozit malzemenin şematik görünümü Şekil 4.24'te sunulmuştur. Son olarak, çam kozalağının farklı yüzdeli karışımları ile takviye edilmiş polietilen ile saf halde üretilmiş numuneler ile karşılaştırma yapabilmek için 2x350x350 mm ebatında polietilen granülleri kullanılarak saf polietilen plaka üretilmiştir.



Şekil 4.24 Üretilen kompozit malzemenin şematik görünümü (Kişisel arşiv, 2018)

4.3.3 Numunelerin Deney Standartlarına Uygun Hazırlanması

Tez çalışmasında yapılan düşük hızlı darbe, çekme, basma ve 3 nokta eğme deneyleri için numuneler ASTM standartlarına uygun şekilde Dokuz Eylül Üniversitesi Teknik Atölyesinde bulunan PLC kontrol ünitesine sahip MZK 3800

DIAMOND SX marka ve modelli çizicili yatar daire makinesi kullanılarak kesilmiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25 MZK 3800 DIAMOND SX çizicili yatar daire makinesi (Mizrakmakine, 2018)

4.3.4 Düşük Hızlı Darbe Deneyinin Tanımı ve Darbe Cihazı

4.3.4.1 Deneyin Tanımı

Mühendislik malzemeleri kuvvet uygulandığında şekil, biçim ve boyut değişiklikleri gösterebilen yapılardır. Darbeler sınıflandırılırken yüksek hızlı veya düşük hızlı olmaktadır; ancak bu sınıflandırmalar arasında net bir geçiş bulunmamaktadır. Daha önce yapılmış araştırmalara bakıldığında, bu geçişin tespit edilmesinde şu ana kadar belirgin bir sonucun bulunamadığı görülmektedir. Yapılan bazı çalışmalar, düşük hızlı darbeleri, çarpan cismin dayanıklılığına, ağırlığına ve malzeme özelliklerine bağlı olarak 1 m/s ile 10 m/s aralığında değişken hızlar şeklinde tanımlanması gerektiğini savunmaktadır (Sjoblom, Hartness ve Cordell, 1988).

Düşük hızlı darbelere basit bir örnek göstermek gerekirse kompozit malzeme üzerine bakım veya imalat sırasında kazayla bir parçanın düşmesini verebiliriz. Kompozitlerin performansını etkilediği için kompozit lamineler üzerindeki en tehlikeli yüklerden biri olarak kabul edilebilir. Düşük hızlı darbeleri çarpma temas zamanı malzeme iç yapısında şekil değiştirme veya deformasyon oluşturan darbeler olarak da

tanımlayabiliriz. Bunun yanı sıra, düşük hızlı darbeler, düşük enerjili darbeler olarak da bilinmektedir (Safri, Sultan, Yidris, ve Mustapha 2014).

4.3.4.2 Deneyin Amacı

Mühendislik uygulamaları başta olmak üzere montaj, imalat ve kullanım zamanı dıştan etki edebilecek birkaç darbe doğrultusunda beklenilmeyen sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bunun önüne geçmek için malzemenin bunun gibi tesirler karşısında nasıl bir davranış sergileyeceğinin belirlenmesi istenmektedir. Bu nedenden dolayı darbe deneyleri malzemelerin hasar mekanizmalarının veya darbe hasar modlarının saptanmasında ve dinamik deformasyonlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır (Şenel ve Kurşun, 2009).

Darbe dayanımı mühendislik tasarımında darbeye uğrayan, en başta ele alınması gereken en önemli faktörlerden birtanesidir. Darbe dayanımı vasıtasıyla sadece malzeme ömrünün tespit edilmesi değil, aynı zamanda malzeme güvenliğinin de belirlenmesi beklenmektedir (Şenel ve Kurşun, 2009).

Tez çalışması süresince yapılan darbe deneylerinde saf polietilen ile çam kozalak takviyeli polietilenle karşılaştırma yapabilmek ve mekanik özelliklerde oluşan değişiklikleri inceleyebilmek ve yorumlayabilmek için temas kuvveti-deformasyon, enerji-zaman ve eş enerji grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler incelenerek numunelerdeki maksimum temas kuvveti, absorbe edilen enerji değerleri, maksimum çökme ve maksimum temas süreleri bir sonraki bölümde karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

4.3.4.3 Düşük Hızlı Darbe Teknikleri

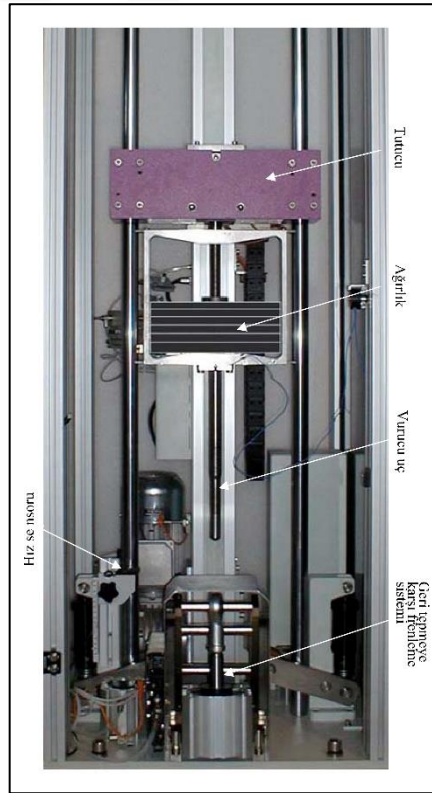
Düşük hızlı darbe deneyi kullanarak kompozitleri test etmek için birkaç farklı teknik vardır. Tablo 4.6’da araştırma çalışmalarında yaygın olarak kullanılan düşük hızlı darbe test cihazının farklı türleri gösterilmiştir (Safri ve diğer., 2014)

Tablo 4.6 Düşük hızlı darbe test cihazı türleri (Duell, 2004)

Yöntem	Ana İşlev
Izod ve Charpy	Darbe Deneyi
Çentikli bir numune, bir ağırlık sarkacı ile büyük bir makineye yerleştirilir. Sarkaç belli bir yüksekliğe kadar yükseltilir ve düşmesine izin verilir. Sarkaç çarptığında, numuneye darbe uygular ve kırar.	1.Malzemelerin darbe dayanıklılığını test etmek 2. Dokuma ve tek yönlü laminatlar da dahil olmak üzere farklı tabakalı kompozitleri karşılaştırmak
Ağırlık düşürme	Prensipli Darbe Deneyi
Bir yük belirli bir yüksekliğe çıkarılır ve serbest bırakılır;	Kompozit plakaların darbe davranışını test etmek

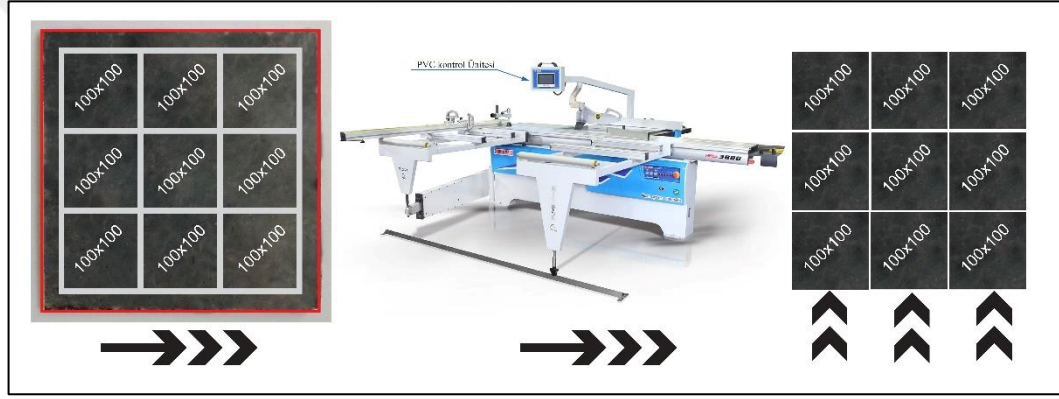
4.3.4.4 Darbe Deneyinin Yapılışı ve Darbe Cihazı

Bu tez çalışmasında düşük hızlı darbe deneyi ağırlık düşme prensipli darbe cihazı olan CEA-FT-Fractovis Plus kullanılarak yapılmıştır. Bu cihazın parçaları ile ilgili bir iç gösterimi Şekil 4.26’da sunulmuştur.



Şekil 4.26 CEA-FT-Fractovis Plus darbe cihazının iç gösterimi (Akgün, 2010)

CEAST-Fractovis Plus -100 °C ile 150 °C ortam sıcaklığı aralığında, 1800 Joule ilave enerji sistemi, darbe sonrası frenleme sistemi (geri sekme önleyici) gibi özellikleri kendinde bulunduran bir cihazdır. Vurucu uç çapı 12,7 mm, yarım küre şeklinde olup 626 gr ağırlığa sahiptir. Düşük hızlı darbe deneyini gerçekleştirmek için 2 mm kalınlığındaki saf YYPE, %5 ÇK/YYPE, %10 ÇK/YYPE, %15 ÇK/YYPE, %20 ÇK/YYPE yüzde oranlı numuneler ASTM D3763 standardında, 100x100 mm ebatında kesilmiştir (Şekil 4.27). Darbe deneyleri 5J, 10J, 15J, 20J ve 25J darbe enerjileri ile gerçekleştirilmiştir. Her bir deney en az üçer kez tekrar edilmiştir. Darbe deneyi yapıldıktan sonra kompozit malzemede farklı çeşitlerde hasar modları meydana gelmiştir.



Şekil 4.27 Darbe deneyi için numunelerin hazırlanması (Kişisel arşiv, 2018)

4.3.4.5 Kompozit Malzemelerde Darbe Hasar Modları

Darbe davranışları ve darbe hasar modları, çarpma aygıtı olan vurucu ucun şeklinden, çarpma hızı ve enerjisinden, sınır koşulları ve yerleştirme dizisi gibi birçok parametreye bağlıdır (Chib, 2006).

4.3.4.5.1 Matris Modu. Matris kırılması olarak da bilinen matris modu genellikle düşük hızlı darbeye ve fiberlere paralel olan çekme, basma ve kayma nedeniyle ortaya çıkan bir hasar modudur. Eğme sırasında oluşan çatlama (dikey eğim) ve *shear crack* olarak bilinen kesme çatlağı (45 °C eğim) matris hasar moduna bir örnektir. Bu yapıyı etkileyen; ancak çıplak gözle görülemeyen ilk hasardır. (Safri ve diğer., 2014).

4.3.4.5.2 Delaminasyon Modu. Havacılıkta kompozit malzemelerin kullanımı artığından özellikle uçakların kuyruk kısımlarında oluşan delaminasyon, yani katmanlarda oluşan ayrılmalar, hava güvenliğinde bir kaygıya dönüşmüştür. Delaminasyon düşük hızlı darbeye; kompozitlerde, betonarme yapılarında ve lamine malzemelerde oluşan en kritik hasar mekanizmasıdır. Aynı katman sınıfındaki tabakalar içinde bulunmayan, çeşitli fiber yerleşimlerine sahip tabakalar içinde matris açısından elverişli alanda oluşan bir kırılmadır (Akgün, 2010; Safri ve diğer., 2014).

4.3.4.5.3 Fiber Modu. Fiber kopması, düşük hızlı darbe deneylerinde oluşan en yaygın hasar modudur. Genel olarak delaminasyondan ve matris kırılmasından sonra oluşan hasar modudur. Fiberlerin kopmasına iki önemli faktör sebep olmaktadır:

- 1) Lokal gerilmeler ve nüfuziyet sebebiyle oluşan etkilerdir: Bu olay darbe gerçekleştikten sonra çarpan cismin hemen alt kısmında oluşur (Akgün, 2010).
- 2) Yüksek eğme gerilmeleridir: Darbe gerçekleştikten sonra darbeye maruz kalmayan bölgelerde oluşmaktadır (Akgün, 2010).

4.3.4.5.4 Nüfuziyet ve Delinme. Darbe deneylerinde genellikle vurucu ucun hızına veya kütesine bağlı olarak nüfuziyet (*penetration*) ve delinme (*perforation*) gibi hasar durumları meydana gelmektedir. Kısaca açıklamak gerekirse çarpan cismin veya vurucu ucun numuneye saplanması nüfuziyet gibi nitelendirilirse vurucu ucun numuneyi tümüyle delip geçmesi ise delinme biçiminde ortaya çıkmaktadır (Yeşildal, 2010).

4.3.5 Çekme Deneyinin Tanımı ve Çekme Cihazı

4.3.5.1 Deneyin Tanımı

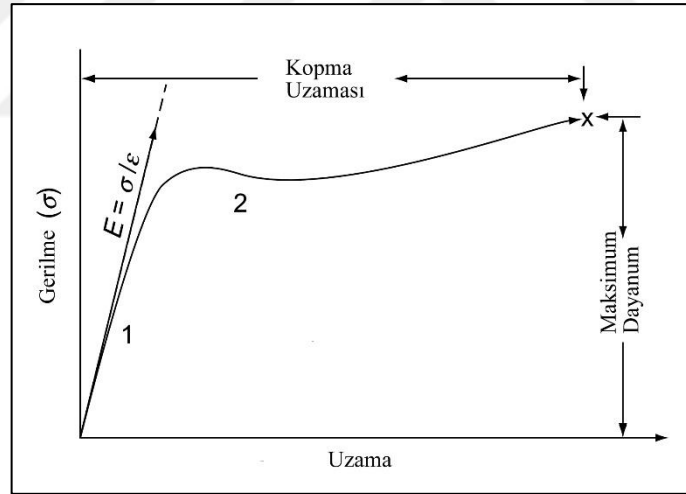
Germe deneyi olarak da bilinen çekme deneyi, malzeme üzerinde yapılabilecek en yaygın, en temel ve en kullanışlı mekanik test yöntemidir. Çekme deneyi çeşitli nedenlerden dolayı gerçekleştirilir. Bu deneyin en temel amacı malzemelerin yükleme

altında elastik ve plastik davranışlarını incelemektir. Bu davranışları inceleyebilmek için belirli standartlardaki kesitlerde deney numunelerinin çekme cihazına sabitlenmesi, farklı ve değişken kuvvetler altında oluşan davranışları gözlemlenir.

4.3.5.2 Çekme Deneyinde Tanımlamalar ve Teorik Bilgi

Mühendislik uygulamaları için malzeme seçiminde çekme deneyi sonuçları kullanılır. Çekme özellikleri, kalite ve kontrolü sağlamak için sıklıkla malzeme teknik özelliklerine dahil edilir.

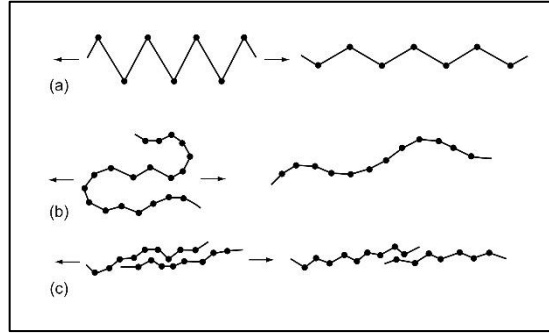
Sabit bir yükleme hızında ölçülmüş plastikler için gerilme-birim uzama davranışı kalite kontrol açısından ve diğer plastikler ile karşılaştırma yapabilmek için bir temel oluşturur. Şekil 4.28’de çekme deneyinden elde edilen tipik bir gerilme-birim uzama diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.28 Polimer malzemenin gerilme-birim uzama davranışı (Chanda ve Roy, 2008)

Şekil 4.28’de sunulan diyagramda malzeme 1 noktasına kadar elastik bir davranış göstermiş ve küçük deformasyon oluşmuştur. Oluşan küçük deformasyon, polimer moleküllerinin atomları arasındaki interatomik bağların, yani atomlar arası bağların bükülmesi veya uzaması ile ilişkilidir (Şekil 4.29a). Böyle bir deformasyon neredeyse anlıktır ve geri kazanılabilir ve moleküllerin birbirine göre kalıcı bir yer değiştirmesi yoktur. Şekil 4.28’deki 1 ve 2 noktası arasında deformasyon, çekme

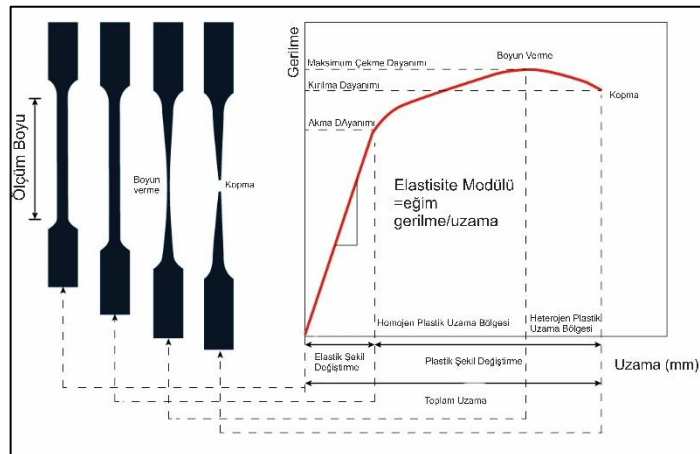
gerilmesi zamanı birbirine bağılı ve sarılı halde olan molekül zincirlerinin açılarak düzleşmesiyle ilişkilidir (Şekil 4.29b). Basma gerilmesinde ise tam tersi davranış gözlemlenmektedir (Chanda ve Roy, 2008).



Şekil 4.29 Plastiklerde deformasyon; a) polimer molekülün uzaması, b) sarılı moleküler zincirin açılması ve c) moleküller arası yer değiştirme (Chanda ve Roy, 2008)

Polimer malzemeler için geri kazanılabilir olan en büyük uzama elastik sınırı işaret eder. Bu noktanın ötesinde oluşan malzemenin uzaması sıvıların Newton akışı gibi moleküllerin birbirleri ile yer değiştirmesiyle oluşur (Şekil 4.29c). Bu yer değiştirmiş moleküllerin eski konumlarına geri dönme durumu yoktur. Bu yüzden böyle bir deformasyon kalıcıdır ve geri dönüşü yoktur (Chanda ve Roy, 2008).

Tez çalışmasında matris olarak kullanılan polietilen sünek bir malzeme olduğu için Şekil 4.30'daki gerilme-uzama eğrisinden, sünek malzemelere çekme kuvveti uygulandığında nasıl bir davranış gösterdiğini net olarak görebiliriz.



Şekil 4.30 Çekme deneyi sırasında sünek malzemelerin gerilme-uzama eğrisi (Admet, 2017)

4.3.5.3 Çekme Deneyinin Yapılışı ve Çekme Cihazı

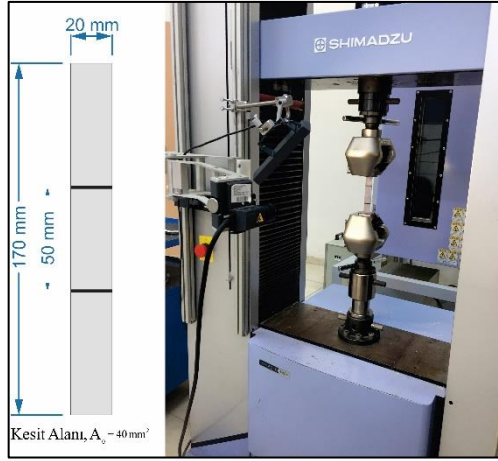
Çekme deneyinin yapıldığı çekme cihazı, numune üzerinde eksenel yükleme yapabilmek amacıyla aşağı ve yukarı hareket edebilen, üzerine deney numunesinin monte edildiği iki çeneden oluşur. Deney sırasında, bu iki çeneden gelen değerleri ölçen üniteler ve kameralar ise bize deney verilerini ulaştırır.

Çekme deneyi uygulanarak çam kozalak katkısının polietilenin mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla bir video ekstensometre sistemi (SHIMADZU Temassız Video Ekstensometre DVE-101/201) ile donatılmış bir Shimadzu AG-X serisi üniversal test cihazı (Şekil 4.31) kullanılmış ve ASTM D638-10 standardına göre 170x20 mm boyutunda kesilen numuneler, 5 mm/dk.'lık sabit çekme hızında beşer kez tekrar edilmiştir. Her bir saf YYPE, %5 ÇK/YYPE, %10 ÇK/YYPE, %15 ÇK/YYPE ve %20 ÇK/YYPE numuneleri için yapılan deneyler sonucunda, bulunan verilerin ortalaması alınmış, tablo ve grafik halinde sunulmuştur.



Şekil 4.31 Shimadzu AG-Xserisi üniversal test cihazı (Kişisel arşiv, 2017)

170x20 mm boyutundaki çekme numunelerinin ortasından 50 mm aralıkla iki adet çizgi çizilip, numuneler cihazın çeneleri arasına düzgün şekilde sabitlenmiştir. Çizilen çizgiler çekme cihazında bulunan kamera tarafından yansımasız görülecek şekilde kalibre edilmiştir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32 Numunenin şematik görünümü ve numunelerin Shimadzu AG-X çekme testi cihazına yerleştirilmesi (Kişisel arşiv, 2018)

Deney sırasında kuvvet artarken bilgisayara kuvvet ve uzama verileri saniyede 10 veri kaydedecek şekilde ayarlanmıştır. Kuvvet ile cihaz ve video ekstensometreden alınan uzama verileri vasıtasıyla her numune için ayrı ayrı kuvvet-uzama diyagramları çizilmiş, kuvvet (F) ve uzama (ΔL) diyagramları kullanılarak elastisite modülleri ve çekme dayanımları belirlenmiştir.

Çekme dayanımı

$$\sigma_{\zeta} = F_{mak} / A_0 \quad (4.1)$$

eşitliğinden,

$$E_{\zeta} = \sigma_{\zeta} / \varepsilon \quad (4.2)$$

elastisite modülü ise birim uzama ile çekme gerilmesi arasındaki doğrusal ilişkiden belirlenmiştir.

4.3.6 Basma Deneyinin Tanımı ve Amacı

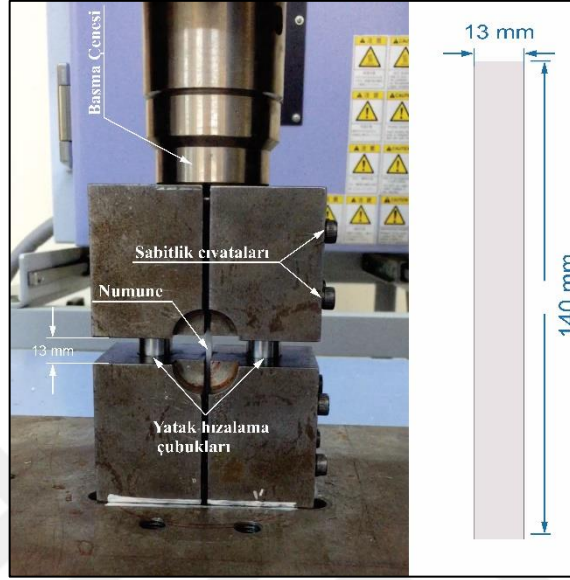
Basma deneyi genel olarak bir ürün veya malzemenin, basınç yükü altında basıldığında, sıkıştırıldığında, ezildiğinde veya düzleştirildiğinde nasıl tepki

vereceğini belirlemek için kullanılan test yöntemidir. Bu deney, uygulanan yük ve numune üzerinde oluşan etkileri bakımından çekme deneyinin tersi olarak düşünülebilir. Basma deneyi de çekme deneyinde olduğu gibi universal test cihazları ile yapılmakta olup, sabit hız ile artan basma yükü, test cihazında bulunan iki basma çenesi arasına sabitlenen numuneye uygulanmaktadır. Bu yük sonucunda, numunenin kesit alanı artarken, numune boyu ise devamlı kısalmaktadır. Genellikle basma mukavemetleri çekme mukavemetlerinden fazla olan tuğla ve beton benzeri metal olmayan malzemelerin mekanik özellikleri basma deneyi kullanılarak belirlenmektedir. Sünek malzemeler üzerinde basma deneyi yapıldığında, numunelerin kesit alanları sürekli artıp, yassı hale gelmektedir. Kuvvet uygulanmış yüzey kısımlarda oluşan sürtünme sonucunda numune fıçıya benzer şekilde şişmektedir. Gerilme sürekli artsa dahi kırılma görülmez. Bu sebepten sünek malzemeler için basma deneyinin uygulanmasına ihtiyaç kalmamaktadır; ancak bu tez çalışmasında polietilen sünek bir malzeme olmasına rağmen çam kozalağı ile takviye edildiği için çam kozalağı takviyeli polietilenin basma dayanımına karşı nasıl bir tepki vereceğini incelemek amacıyla basma deneyi yapılmıştır (Çalın, 2017).

4.3.6.1 Basma Deneyinde Numune Standartları

Homojen gerilim dağılımı elde etmek için çoğunlukla yuvarlak kesite sahip numuneler tercih edilmektedir; ancak yuvarlak kesitlilerin yanı sıra, dikdörtgen veya kare kesitli numuneler de tercih edilmektedir. Basma deneyinde dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri numune yüksekliği (h_0) ile genişliği (d_0) arasındaki h_0/d_0 oranıdır. Bu oran çok fazla olduğunda, deney yapılırken numunede bükülme ve homojen olmayan gerilim dağılımı meydana gelmektedir. Numunenin yükseklik/genişlik oranının küçülmesi plaka ile numune arasında sürtünmeye neden olmaktadır. Bu sürtünme deney sonuçlarını çok fazla etkilediğinden numunenin h_0/d_0 oranının $1,5 \leq h_0/d_0 \leq 10$ aralığında tutulması önerilmektedir. Metalik malzemelerde ise bu oran $h_0/d_0 = 2$ şeklinde önerilmektedir. Bu çalışmada uygulanan basma deneyinde ASTM D 695 standardında h_0/d_0 oranı dikkate alınarak numune uzunluğu 140 mm, genişliği ise 13 mm olarak belirlenmiştir. Destekler arasındaki değer standartlarda belirtildiği gibi 13 mm boşluk kalacak şekilde ayarlanmıştır. Standart

basma hızı $1,3 \pm 0,3$ mm/dk. aralığı dikkate alınarak deneyler 1 mm/dk. hızında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.33'te basma deney düzeneği ve numunenin şematik yapısı gösterilmiştir (Çalın, 2017).



Şekil 4.33 Basma deneyi aparatu ve numunenin şematik görünümü (Kişisel arşiv, 2018)

4.3.6.2 Basma Deneyinin Yapılışı ve Basma Cihazı

Basma deneyinde, çekme deneyinde kullanılan Shimadzu AG-X serisi universal test cihazı (Şekil 4.31) kullanılmıştır. Deney numuneleri 1 mm/dk.'lık sabit basma hızında bir yandan devamlı olarak basma yüküne maruz bırakılırken, diğer taraftan yer değiştirme değerleri ölçülmüştür. Bunun sonucunda elde edilen kuvvet-yer değiştirme eğrilerinden malzemenin bası dayanımı ve maksimum bası kuvveti gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir. Saf YYPE, %5 ÇK/YYPE, %10 ÇK/YYPE, %15 ÇK/YYPE ve %20 ÇK/YYPE numuneleri için beşer kez tekrar edilen deneyler sonucunda bulunan verilerin ortalaması alınmış, en doğru sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

4.3.7 Üç Nokta Eğme Deneyinin Tanımı ve Amacı

Bükme deneyi olarak bilinen eğme deneyi, bir malzemenin sünekliliğini ve dayanımını belirlemek, mukavemetine göre dizayn bilgilerini ve malzemenin

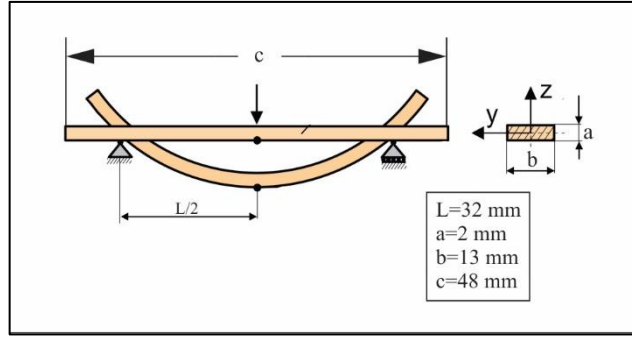
eğilmeye karşı gösterdiği davranışları belirlemek amacı ile yapılabilecek basit ve ucuz test yöntemidir.

Eğilme dayanımı, çekme ve bası dayanımı gibi malzemelerin mekanik özelliklerinden birtanesidir. Numuneye kuvvet etki ettiğinde, numune kesit alanının bir tarafında *bası*, diğer tarafında *çekme gerilmesi* oluşmaktadır. Eğilme halinde olan numune kesitlerinde dış yüzeye yakın alanlarda çeki gerilmeleri, iç yüzeye yakın alanlarda ise bası gerilmeleri meydana gelmektedir (Çelebi, 2015).

4.3.7.1 Üç Nokta Eğme Deneyinin Yapılışı ve Numune Standartları

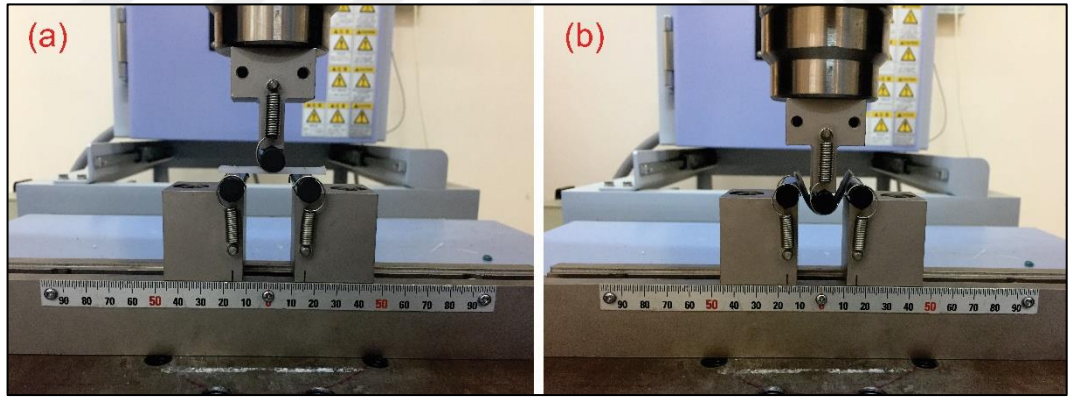
Eğme deneyi, iki desteğe serbest şekilde oturtulan, genel olarak dikdörtgen veya daire kesitli bir deney numunesinin, sabit yönde ortasına bir eğme kuvveti uygulandığında meydana çıkan biçim değişmesidir. Eğme deneyi, genel olarak üç noktalı ve dört noktalı olarak bilinmektedir. Bu çalışmada, numunelere üç noktalı eğme deneyi yapılmıştır. Eğme deneyi yöntemlerindeki ana amaç, malzemeyi çatlayana kadar tek eksende eğmektir. Bu deneydeki temel prensip, kullanılacak olan malzemeyi *basit kiriş* modeli olarak kabul etmektir.

İdeal moment durumuna bağlı olarak kiriş denklemi oluşturulduğundan, kirişte meydana gelen kayma gerilmesinin normal gerilmelere nispeten ihmal edilebilir seviyede kalması istenmektedir. Bu nedenden dolayı, numunenin sabit kesit alanına sahip olması gerekmektedir. Numune mesnetleri arasındaki mesafe doğru sonuçlar alabilmek açısından çok önemlidir. Mesnet aralığı (*span length*) ASTM D790 standartlarına göre numune kalınlığının 16 katı olması gerekmektedir. Ayrıca, numune mesnet açıklığının her bir tarafındaki çıkıntı değerinin $[(c-L)/2]$ 6,4 mm'den daha az olmayacak kadar uzun olmalıdır. Numunenin kaymasını önlemek için bu çıkıntı değeri yeterli olmaktadır. Bu yüzden mesnetler arası mesafe ve çıkıntı değeri dikkate alınarak numune 48x13 mm ebatında kesilmiştir. Üç Nokta eğme deneyi düzeneği Şekil 4.34'te verilmiştir (Çelebi, 2015).



Şekil 4.34 Üç nokta eğme deneyi düzeneği ve numune boyutları (Kişisel arşiv, 2018)

Eğme deneyini gerçekleştirmek için ilk olarak mesnetler arasındaki mesafe (L) 32mm olacak şekilde ayarlanmış ve numuneler mesnetler üzerinde ortalanacak şekilde yerleştirilmiştir. Cihaz üzerindeki hassas ayar kullanılarak bilgisayarda kuvvet göstergesi yükselinceye kadar üst çene numuneye temas edene kadar indirilir. Cihazdaki değerler sıfırlanıp, deney başlatılıp, numunede istenen hasara ulaşana kadar devam ettirilir. Bilgisayardan kuvvet-çökme verileri alınarak gerekli hesaplamalar yapılır. Deney öncesi ve sonrası numune resimleri Şekil 4.35'te gösterilmiştir.



Şekil 4.35 Eğme deneyinde a) numunenin deney için hazırlanması ve b) deney sonrası numune şekli (Kişisel arşiv ,2018)

BÖLÜM BEŞ

DENEY SONUÇLARI

5.1 Darbe Deneyi Sonuçları

Yapılan darbe deneyinden elde edilen veriler ile her bir numune için kuvvet-çökme ve enerji-zaman grafikleri çizilmiştir. Kuvvet-çökme eğrilerini inceleyerek malzemelerin uygulanan darbe yüküne verdiği tepkiyi belirleyebiliriz. Eğriler kapalı ve açık olmak üzere iki farklı şekilde karşımıza çıkmaktadır. Deney sırasında uygulanan darbe enerjisi numuneyi delemek kadar yeterli olmadığında kapalı tip eğri oluşur ve geri sekme denilen olay gerçekleşir. Uygulanan böyle bir yüklemelerde darbe yükü, numunelere ciddi bir hasar vermez. Sadece matris modu veya matris çatlağı olarak bilinen hasar meydana gelmektedir. Darbe enerjisi az olduğunda kapalı eğri oluşturan diğer bir hasar modu olan nüfuziyet meydana gelmektedir. Böyle bir hasarda geri sekme olmaz ve vurucu uç numuneye saplanır. Meydana gelen hasarlarda matris çatlağının yanı sıra takviye malzemeleri de hasar görür. Nüfuziyetten daha fazla darbe enerjilerinde ise numune delinir. Sonuç olarak grafikte açık tip eğri oluşur. Açık olan eğrilerde meydana çıkan yatay kısım, delinmeden sonra oluşan sürtünmeyi belirtmektedir. Numunelerde oluşan hasarlardan kaynaklanan enerji absorpsiyonunu belirlemek için delinme sonrasında sürtünme kısmı eğriden silinir. Bu amaca yönelik eğrinin inen kısmının son kısmından çökme eksenine eğri uzatılır (Ataş ve Sayman, 2008).

Deney sırasında numuneyi hasara zorlayan enerji absorbe edilen enerji olarak bilinmektedir. Absorbe edilen enerji temas kuvveti-çökme eğrileri kullanılarak belirlenebilir. Eğrinin altında kalan bölge absorbe edilen enerji değerini göstermektedir. Ayrıca enerji-zaman eğrilerinden de absorbe edilen enerji belirlenebilmektedir. Enerji-zaman grafiklerinde eğriler bir miktar artış sergiledikten sonra uygulanan enerji derecesine ulaşmaktadır. Daha sonra ise eğriler yatay şekil alıp sabit bir değere ulaşmaktadır. Bu sabit değer absorbe edilen enerjiye eşittir (Ataş ve Sayman, 2008).

Yüksek yoğunluklu polietilenin çam kozalağı ile takviyesinden elde edilen numuneler ve karşılaştırma yapabilmek için saf YYPE üzerinde 5 farklı enerji değerinde (5J, 10J, 15J, 20J ve 25J), üçer tekrar yapılan darbe testlerinden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak Tablo 5.1-5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.1 Saf halde olan YYPE için elde edilen mekanik özellikler

YYPE	Enerji (J)	Temas Kuvveti (N)	Absorbe Edilen Enerji (J)	Çökme (mm)
	5 J	1298	2,83	9,85
	10 J	1710	6,43	13,27
	15 J	1821	11,46	16,37
	20 J	1900	20,1	19,71
	25 J	1834	21,89	21,84

Tablo 5.2 %5 çam kozalağı katkılı YYPE için mekanik özellikler

%5ÇK/YYPE	Enerji (J)	Temas Kuvveti (N)	Absorbe Edilen Enerji (J)	Çökme (mm)
	5J	1322	2,72	10,13
	10J	1746	7,09	13,26
	15J	1905	10,88	15,82
	20J	2032	19,07	21,03
	25J	2020	21,33	22,64

Tablo 5.3 %10 çam kozalağı katkılı YYPE için mekanik özellikler

%10ÇK/YYPE	Enerji (J)	Temas Kuvveti (N)	Absorbe Edilen Enerji (J)	Çökme (mm)
	5J	1339	2,3	9,79
	10J	1743	6,76	12,71
	15J	1978	13,19	15,5
	20J	1945	19,8	20,94
	25J	2005	21,55	22,79

Tablo 5.4 %15 çam kozalağı katkılı YYPE için mekanik özellikler

%15ÇK/YYPE	Enerji (J)	Temas Kuvveti (N)	Absorbe Edilen Enerji (J)	Çökme (mm)
	5J	1309	2,43	9,98
	10J	1718	6,7	12,73
	15J	1874	15	15,35
	20J	1930	19,5	22,8
	25J	1867	19,4	25

Tablo 5.5 %20 çam kozalağı katkılı YYPE için mekanik özellikler

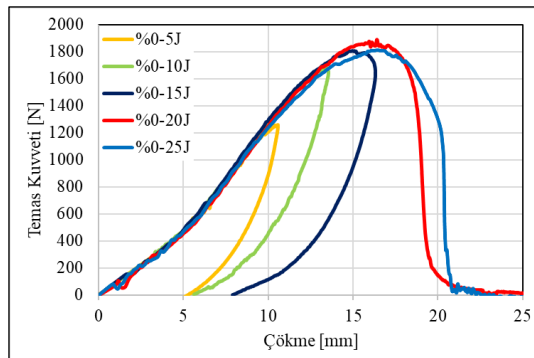
	Enerji (J)	Temas Kuvveti (N)	Absorbe Edilen Enerji (J)	Çökme (mm)
%20ÇK/YYPE	5J	1286	2,5	10,25
	10J	1496	7,17	13,25
	15J	1799	12,65	18,67
	20J	1688	16,16	21,4
	25J	1679	16,46	23,21

5.1.1 Artan Enerji Değerine Göre Temas Kuvveti-Çökme Grafikleri

Öncelikle, tez çalışmasında ilk olarak 100x100 mm boyutunda ve 2 mm kalınlığındaki katkısız YYPE'ye uygulanan darbe deneyinin temas kuvveti-çökme grafikleri artan darbe enerjisine göre incelenmiş ve yorumlanmıştır.

5.1.1.1 Katkısız YYPE'nin Temas Kuvveti-Çökme Grafiklerinin İncelenmesi

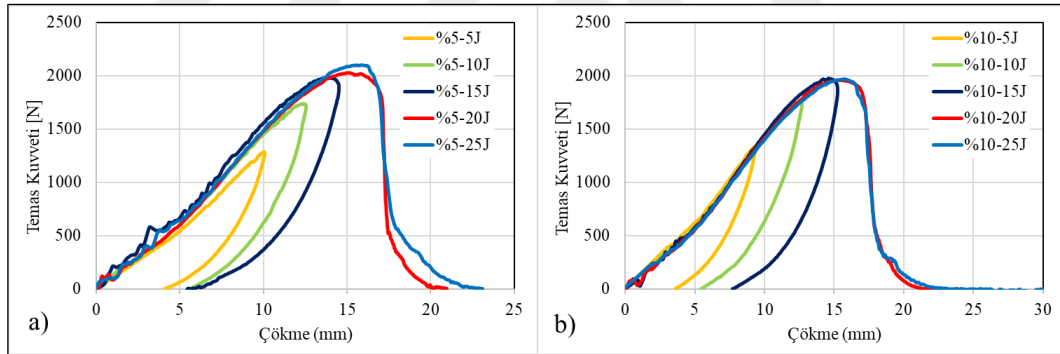
Şekil 5.1' de katkısız olarak granülden üretilmiş YYPE numunelerinde 15J enerji değerine kadar eğrinin alçalan kısmı incelendiğinde çökmede bir geri dönüş olduğu görülmektedir. Bu durum vurucu ucun numuneleri delemmediğini, yani numuneden geri sektiğini göstermektedir. Ancak, enerji değeri 15J'dan 25J'a kadar arttırıldığında grafikteki eğride herhangi bir geri dönüş görülmemiştir. Vurucu ucun numuneyi delip geçtiği gözlemlenmiştir. Granülden üretilmiş kompozitlerde 20J enerji değerine kadar artan enerji ile birlikte maksimum temas kuvvetinde artış meydana gelmiştir; ancak 25J enerji değeri delinme eşiğini aşmaya yettiği için maksimum temas kuvvetinde düşüş gözlemlenerek 1811N olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.1 Katkısız YYPE'nin farklı enerji seviyelerinde temas kuvveti-çökme grafiği

5.1.1.2 %5 ve %10 Çam Kozalağı Takviyeli YYPE'nin Temas Kuvveti-Çökme Grafiklerinin İncelenmesi

Şekil 5.2'de %5 ve %10 çam kozalağı katkılı YYPE'nin farklı enerji seviyelerinde temas kuvveti-çökme eğrileri incelendiğinde katkısız YYPE'de olduğu gibi 15J enerji değerine kadar geri sekme görülmüştür. Enerji değerinin artırılmasıyla birlikte grafikteki eğrinin kapalı olmadığı, yani vurucu ucun numuneyi delip geçtiği gözlemlenmiştir. Ancak, katkısız numunelere kıyasla %5 oranda çam kozalağı ile takviye edilmiş numunelerde artan enerji ile birlikte temas kuvveti sürekli artmış, herhangi bir düşüş gözlemlenmemiştir. Belirlenen maksimum temas kuvveti 25J darbe enerjisinde %5 katkılı YYPE için 2100N'dır. %10 katkılı YYPE kompozitlerinde maksimum temas kuvveti 15J darbe enerjisinde 1978N olarak gözlemlenmiştir. Darbe enerjisinin 15J'dan 25J'a kadar çıkarılması maksimum temas kuvvetinde büyük değişiklik yaratmamıştır.

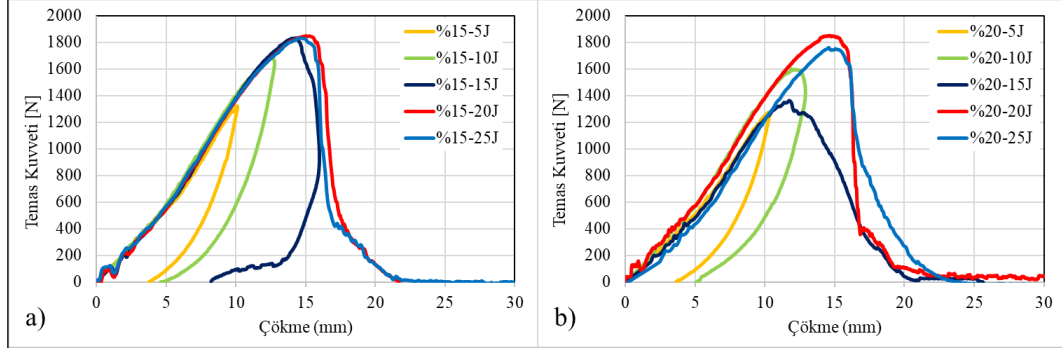


Şekil 5.2 a) %5 ve b) 10 çam kozalağı katkılı YYPE'nin farklı enerji seviyelerinde temas kuvveti-çökme grafikleri

5.1.1.3 %15 ve %20 Çam Kozalağı Takviyeli YYPE'nin Temas Kuvveti-Çökme Grafiklerinin İncelenmesi

Şekil 5.3'te %15 katkılı YYPE kompozitlerinde önceki grafiklerde olduğu gibi 15J enerji değerine kadar delinme gözlemlenmemiştir. Teması kuvveti 20J darbe enerjisine kadar sürekli artarak 1845N olmuştur. Daha sonra enerji değerinin artması ile birlikte temas kuvvetinde düşüş yaşanmıştır. Şekil 5.3'te %20 katkılı YYPE kompozitlerde ise 10J darbe enerjisine kadar geri sekme, 15J ve üzeri darbe

enerjilerinde ise delinme gözlemlenmiştir. Maksimum temas kuvveti 20J darbe enerjisinde 1851N olarak elde edilmiştir.



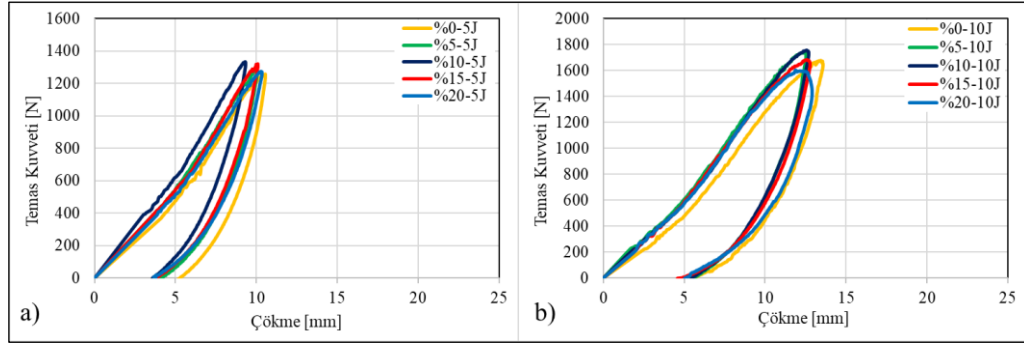
Şekil 5.3 a) %15 ve b) %20 çam kozalağı katkılı YYPE'nin farklı enerji seviyelerinde temas kuvveti-çökme grafikleri

5.1.2 Artan Takviye Miktarına Göre Temas Kuvveti-Çökme Grafikleri

Artan darbe enerji değerine göre temas kuvveti-çökme grafikleri incelendikten sonra grafiklerdeki eğrilerin daha iyi yorumlanabilmesi için YYPE'ye ilave edilen takviye miktarına yani çam kozalağının yüzdelik oranına bağlı olarak incelenmiştir.

5.1.2.1 5J ve 10J Enerji Değerinde Katkılı YYPE Kompozitlerin Temas Kuvveti-Çökme Grafiklerinin İncelenmesi

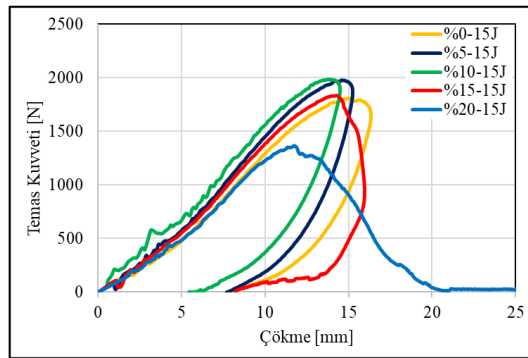
Şekil 5.4'teki eğri incelendiğinde saf halde granülden üretilen kompozitler ve farklı oranlarda çam kozalağı katkılı YYPE kompozitlerde 5J ve 10J enerji değerinde vurucu uç numuneleri delememiştir. Numuneye çarparak geri sekmiştir. Takviye miktarının %10'a çıkarılması ile birlikte temas kuvveti katkısız kompozite kıyasla 5J ve 10J enerji değerinde, sırasıyla %10,3 ve %4,76 oranında artmıştır. Takviye miktarının %10'dan %20'ye kadar çıkarılması temas kuvvetinde çok ciddi oranda düşüşe neden olmamıştır. 5J enerji değerindeki düşüş katkısız YYPE kompozitin temas kuvvetinden %1,11 daha fazla olmuştur. 10J darbe enerjisinde ise düşüş sadece %4,73 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.4 a) 5J ve b) 10J enerji seviyesinde ÇK/YYPE kompozitlerin artan takviye miktarına göre temas kuvveti-çökme grafikleri

5.1.2.2 15J Enerji Değerinde Katkılı YYPE Kompozitlerin Temas Kuvveti-Çökme Grafiklerinin İncelenmesi

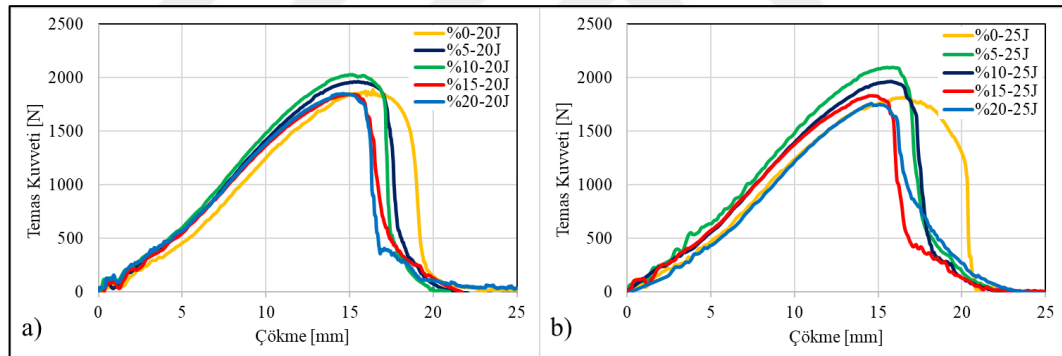
Şekil 5.5'teki eğriye bakılırsa katkısız, %5, %10 ve %15 katkılı YYPE kompozitlerde 15J darbe enerjisinde temas kuvveti-çökme eğrisinde geri dönüş olduğu gözlemlenmiştir. Yani 15J darbe enerjisi numuneleri delmek için yeterli olmamış, vurucu uç numuneye çarpmış ve geri sekmiştir. Ancak saf granülden üretilen YYPE kompozitlerde 15J enerji değerinde maksimum temas kuvveti 1811N iken, bu değer takviye miktarının %5'e çıkarılması sonucunda %9,4 oranında artarak 1981N olmuştur. Takviye miktarı %15'e kadar çıkarıldığında ise temas kuvvetinde büyük değişiklik gözlemlenmemiştir. %20 katkılı YYPE kompozitleri için eğriye bakıldığında eğrinin açık durumda olduğu yani numunenin takviye miktarının %20'ye çıkarılması ile birlikte YYPE kompozitlerini olumsuz etkileyerek numunenin delindiği gözlemlenmiştir. Delinme ile beraber temas kuvvetinde de düşüş yaşanmıştır.



Şekil 5.5 15J enerji seviyesinde ÇK/YYPE kompozitlerinin artan takviye miktarına göre temas kuvveti-çökme grafiği

5.1.2.3 20J ve 25J Enerji Değerinde Katkılı YYPE Kompozitlerin Temas Kuvveti-Çökme Grafiklerinin İncelenmesi

Şekil 5.6'daki 20J ve 25J enerji değeri için açık eğriye bakıldığında geri sekmenin olmadığı, numunelerin delindiği sonucuna varılmaktadır. Kısaca özetlemek gerekirse, 20J enerji değeri katkılı ve katkısız numuneler için delinme eşiğini aşmaya yettiği için geri sekme veya saplanma gözlemlenmemiştir. 20J ve 25J darbe enerjisinde maksimum temas kuvveti %5 katkılı YYPE kompozitlerde görülmüş ve katkısız kompozite göre sırasıyla %7,5 ve %16 artarak 1890N ve 1811N'dan 2032N ve 2100N değerine ulaşmıştır. 20J ve 25J enerji değeri için takviye miktarının %10'a kadar çıkarılması maksimum temas kuvvetini olumsuz etkilese de bu düşüş katkısız YYPE kompoziti ile kıyaslandığında bu değer 1890N ve 1811N'nun altında olmadığı açık şekilde görülebilmektedir. Takviye miktarının daha fazla artırılması maksimum temas kuvvetini olumsuz yönde etkilemiştir.



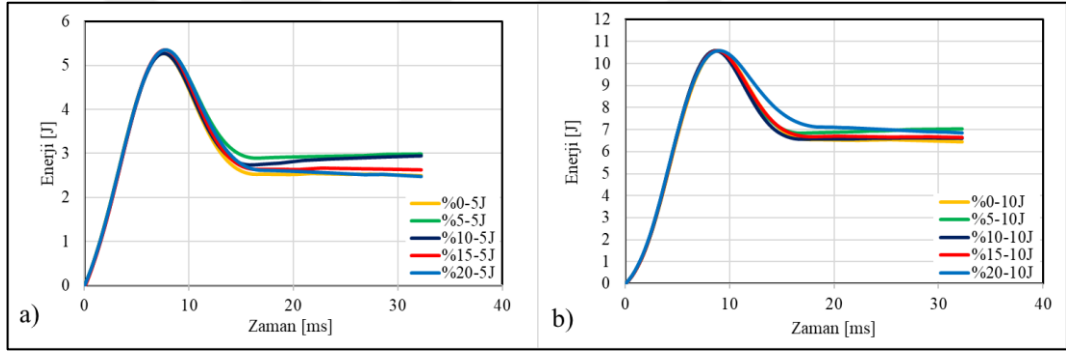
Şekil 5.6 ÇK/YYPE kompozitlerinin artan takviye miktarına göre a) 20J ve b) 25J enerji seviyesinde temas kuvveti-çökme grafikleri

5.1.3 Enerji-Zaman Grafikleri

Enerji-zaman grafiklerinde inceleme artan darbe enerjisinin seviyesine göre yapılmıştır. Bununla birlikte, bu grafiklerde uygulanan darbe enerjisi sırasında katkılı ve katkısız kompozitlerin ne kadar enerji absorbe ettiği ile ilgili bilgiler verilmiştir.

5.1.3.1 5J ve 10J Enerji Seviyesinde Gerçekleştirilen Deneyler

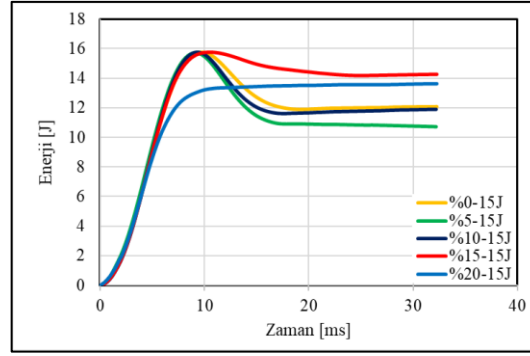
Şekil 5.7’de 5J ve 10J darbe enerjisinde farklı takviye miktarına göre YYPE kompozitlerin enerji-zaman grafikleri verilmiştir. 5J darbe enerjisinde grafikteki eğrinin yatay kısmına bakılırsa takviye miktarının artması ile birlikte absorbe edilen enerji değeri de azalmıştır; ancak 10J enerji seviyesinde katkılı ve katkısız kompozitlerin enerji-zaman grafikleri incelendiğinde çam kozalağı katkılı kompozitlerin katkısız kompozitlerden daha fazla enerji absorbe ettiği görülmüştür. Enerji değerinin 10J’a çıkarılması ile beraber absorbe edilen enerji, katkısız YYPE kompoziti ile kıyaslandığında 6,53J iken %8 oranında artarak 7,05J olmuştur. Buradan takviye miktarının artmasının 10J enerji seviyesinde darbe dayanımına olumlu etki gösterdiği görülmüştür.



Şekil 5.7 ÇK/YYPE kompozitlerinin artan takviye miktarına göre a) 5J ve b) 10J enerji seviyesinde enerji-zaman grafikleri

5.1.3.2 15J Enerji Seviyesinde Gerçekleştirilen Deneyler

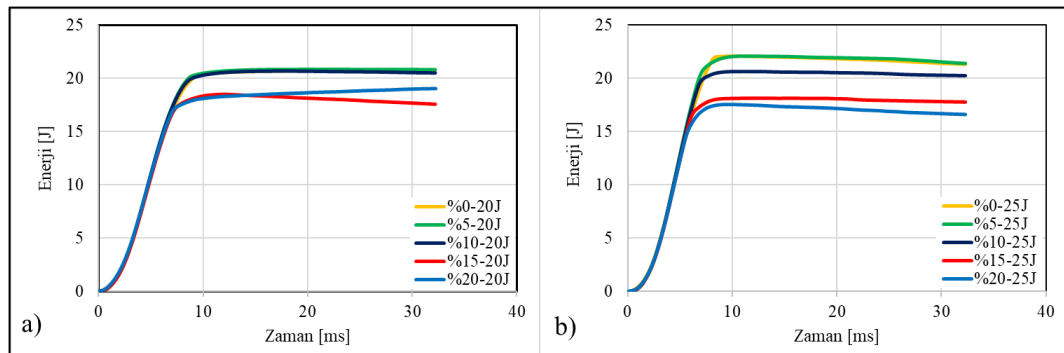
Farklı katkı oranlarındaki YYPE kompozitlerine 15J enerji seviyesinde darbe deneyi uygulandığında Şekil 5.8’de sunulan enerji-zaman grafiğinde katkısız YYPE kompozitlerinin absorbe ettiği enerji değeri 12J iken bu değer çam kozalağı ile takviye olunmuş numunelerde takviye oranının %15 ve %20’ye çıkarılması ile birlikte sırasıyla %12,5 ve %18,3 artarak 13,5J ve 14,2J’a ulaşmıştır.



Şekil 5.8 ÇK/YYPE kompozitlerinin artan takviye miktarına göre 15J enerji seviyesinde enerji-zaman grafiği

5.1.3.3 20J ve 25J Enerji Seviyesinde Gerçekleştirilen Deneyler

Şekil 5.9'daki 20J darbe enerjisi seviyesinde uygulanan deneylerin enerji-zaman eğrisine bakıldığında katkısız, %5 ve %10 katkılı kompozitlerin uygulanan darbe enerjisinin tamamını absorbe ettiği gözlemlenmiştir. Vurucu uç numunelere saplanmıştır. 25J darbe seviyesindeki eğriyi incelersek katkısız ve katkılı YYPE kompozitlerde takviye oranının artması ile birlikte absorbe edilen enerjide düşüş yaşandığı görülmektedir. Katkısız YYPE kompozitlerde absorbe edilen enerji değeri 21.7J'dan 17,1J'a düşmüştür.



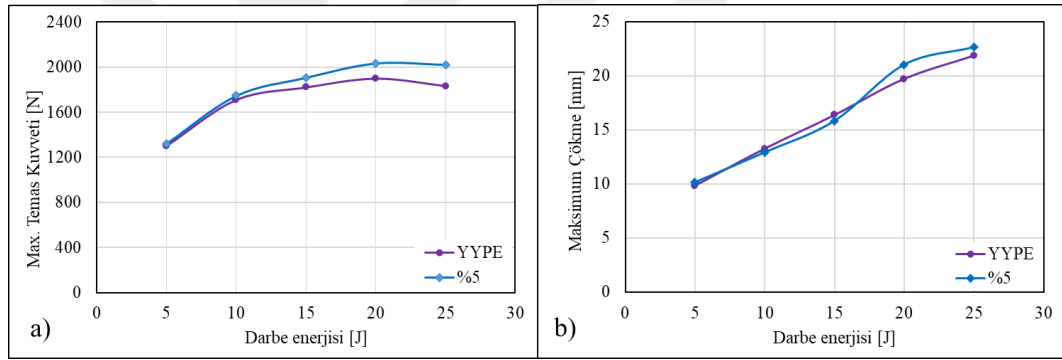
Şekil 5.9 ÇK/YYPE kompozitlerinin artan takviye miktarına göre a) 20J ve b) 25J enerji seviyesinde enerji-zaman grafikleri

5.1.4 Ortalama Değerlerle Numunelerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi

Kompozit numunelerin darbe davranışlarını daha iyi inceleyebilmek ve yorumlayabilmek amacıyla enerji-zaman, temas kuvveti-çökme grafiklerinin yanı sıra

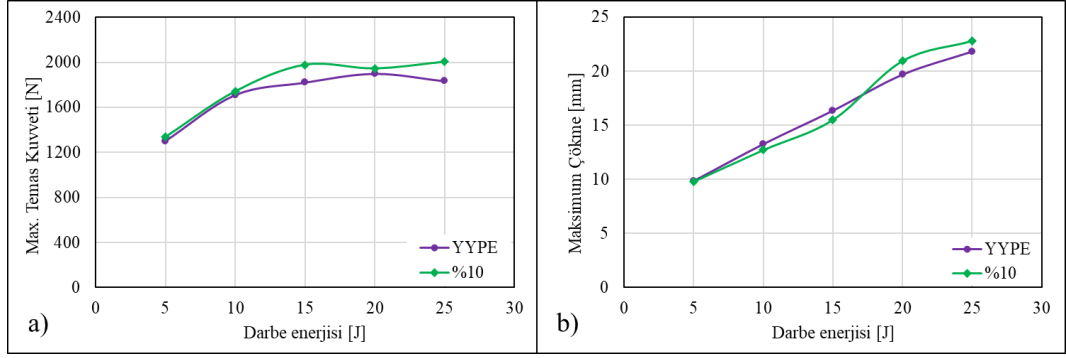
numunelerin farklı darbe enerjilerinde ortalama maksimum temas kuvvetleri ile ortalama maksimum çökme değerleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.10'da %5 katkılı YYPE kompozitlerin ortalama maksimum temas kuvveti-ortalama maksimum çökme değerlerinin darbe enerjisi ile değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 5.10a incelendiğinde, katkısız ve %5 katkılı YYPE kompozitlerin delinme enerjileri olan 20J ve 25J değerlerinden sonra temas kuvvetinde katkısız kompozitlere kıyasla %5 katkılı kompozitlerde artış görülmektedir. Maksimum temas kuvvetleri artan darbe enerjisi ile birlikte katkısız YYPE'lerde 1900N iken katkılı YYPE'lerde artarak 2032N olmuştur. Şekil 5.10b incelendiğinde ise iki numunede de maksimum temas kuvvetlerinde değişikliklerin olduğu enerji değerlerinde maksimum çökme değerinin sabit bir değere yaklaşmaya başladığı görülmektedir.



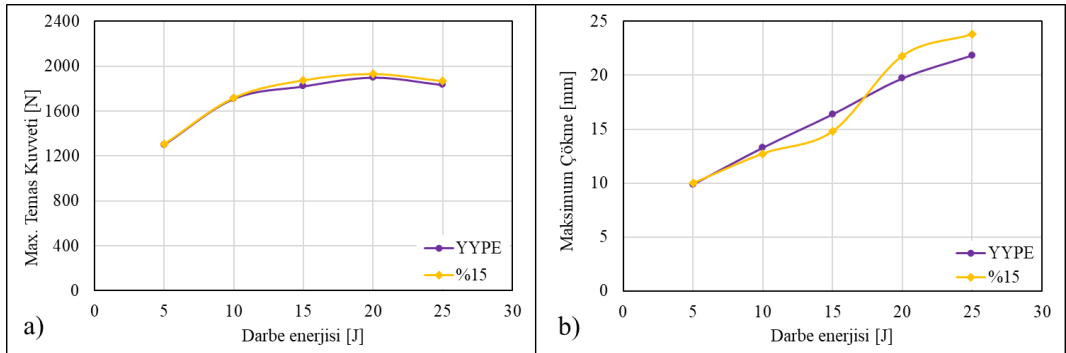
Şekil 5.10 %5 katkılı YYPE kompozitlerin a) maksimum temas kuvvetlerinin ve b) maksimum çökme değerlerinin darbe enerjisi ile değişim grafikleri

Şekil 5.11a'da katkısız ve %10 katkılı YYPE kompozitlerin delinme enerjileri olan 20J'de temas kuvvetleri neredeyse aynıdır. 15J ve 25J enerji seviyesinde %10 ÇK/YYPE kompozitlerinin temas kuvveti katkısız numunelere kıyasla artmıştır. Şekil 5.11b'de %5 ve 10% katkılı kompozitlerin 15J darbe enerjisine kadar maksimum çökme değerlerinin katkısız numunelere kıyasla daha az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak %5 ve %10 ÇK/YYPE kompozitlerinin 5J, 10J ve 15J enerji seviyesinde daha rijit davranış göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. %5 katkılı kompozitlerde olduğu gibi iki numunede de maksimum temas kuvvetlerinde değişikliklerin olduğu 20J ve 25J değerlerinde maksimum çökme değerinin sabit bir değere yaklaşmaya başladığı görülmektedir.



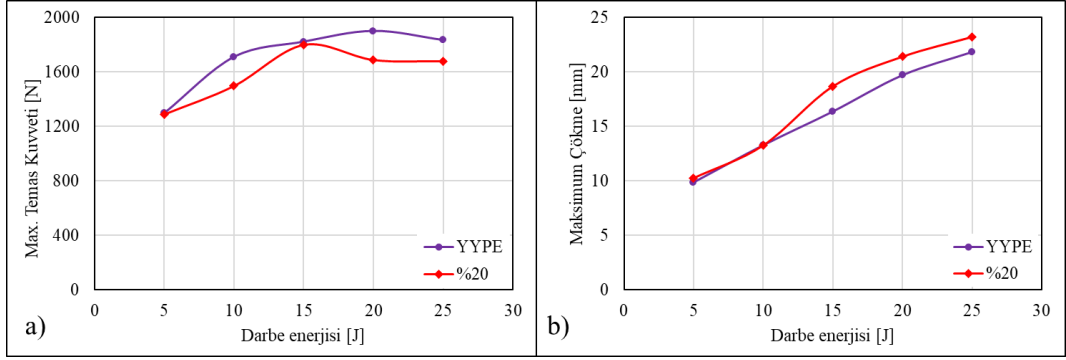
Şekil 5.11 %10 katkılı YYPE kompozitlerin a) maksimum temas kuvvetlerinin ve b) maksimum çökme değerlerinin darbe enerjisi ile değişim grafikleri

Şekil 5.12a'daki eğriler incelendiğinde artan darbe enerjilerinde katkılı ve katkısız kompozitlerin maksimum temas kuvveti değerleri yakın çıkmıştır. Granülden üretilmiş numuneler ve %15 ÇK/YYPE kompozitleri için maksimum temas kuvveti 20J enerji seviyesine kadar artmıştır. Enerji değerinin 25J'a çıkarılması ile birlikte maksimum temas kuvvetinde azalma görülmüştür. Her iki numune için delinme enerjisi sayılan 15J, 20J ve 25J'de katkısız numunelerin maksimum çökme değerlerinin katkılı kompozitlere kıyasla daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak takviye miktarının %15'e çıkarılması ÇK/YYPE kompozitlerinin 15J, 20J ve 25J enerji seviyesinde rijitliğinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.12 %15 katkılı YYPE kompozitlerin a) maksimum temas kuvvetlerinin ve b) maksimum çökme değerlerinin darbe enerjisi ile değişim grafikleri

Şekil 5.13a'da katkılı kompozitlerin 20J enerji değerine kadar maksimum temas kuvvetlerinde artış gözlemlenmiştir. Şekil 5.13b'de ise %20 katkılı YYPE kompozitleri için delinme enerjisi olan 15J enerji değerlerinde maksimum çökme değerlerinin katkısız kompozitlere kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür.



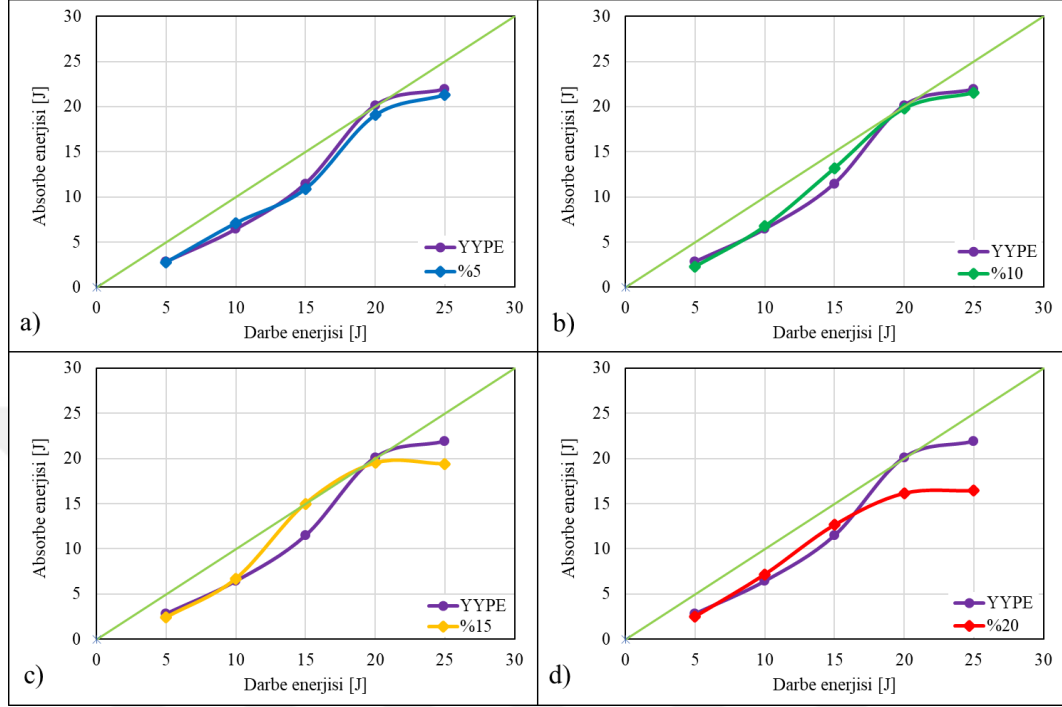
Şekil 5.13 %20 katkılı YYPE kompozitlerin a) maksimum temas kuvvetlerinin ve b) maksimum çökme değerlerinin darbe enerjisi ile değişim grafikleri

5.1.5 Eş Enerji Diyagramları

Eş enerji diyagramları kompozit malzemelerin darbe yükü altında enerji absorbe edebilme davranışları konusunda görüş bildiren önemli bir grafiklerdir. Numunelerin enerji sönümleme davranışlarında daha net değerlendirmeler yapabilmek için eş enerji çizgisi grafikte yer almaktadır. Şekil 5.14'teki her bir numune için eğriler incelendiğinde her bir numunedeki delinme enerjisi sınırları daha belirgin şekilde görülmektedir. Şekil 5.14a'daki grafikten her iki numunede de delinme öncesinde ve sonrasında absorbe edilen enerji değerinin arttığı görülmektedir.

Şekil 5.14b'deki grafikte delinme enerjisine kadar her iki numunede absorbe edilen enerji artmıştır. 15J enerji seviyesinde %10 katkılı YYPE kompozitlerinin absorbe ettiği enerji değeri katkısız numunelerden daha fazladır. Delinme enerjisi olan 20J ve 25J'de her iki numunenin absorbe ettiği enerji değerleri yakındır. Şekil 5.14c'de ki grafikte ise %15 katkılı YYPE kompozitlerinin 25J darbe enerjisindeki değeri hariç diğer bütün enerji seviyelerinde her iki numunenin absorbe ettikleri enerjiler artmıştır. Şekil 5.14d'deki grafikte delinme enerjisine kadar her iki numunenin absorbe edilen enerji değerleri artmış, delinme sonrasında ise azalmıştır. Absorbe edilen enerji değerinin azalması ile birlikte eğriler yatay şekil almaya başlamıştır. Bunun haricinde katkısız numunelerin absorbe ettikleri enerji değeri daha düşük olmuştur. Delinme öncesinde %15 ÇK/YYPE ve %20 ÇK/YYPE numunelerinin absorbe ettiği enerji değeri katkısız numunelerin absorbe ettikleri enerjilerden daha fazla olmuştur; ancak delinme sonrasında %15 ÇK/YYPE ve %20 ÇK/YYPE kompozitlerinin absorbe

ettikleri enerji değerlerinde düşüş yaşanmıştır. Bu durum takviye miktarının artması ile kompozitlerin darbe sönümleme davranışlarının azalması ile açıklanabilmektedir.

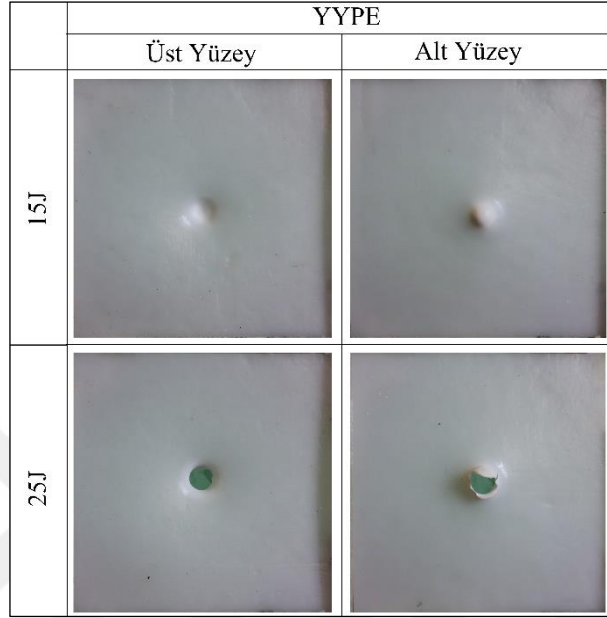


Şekil 5.14 Katkısız ve a) %5 b) %10 c) %15 ve d) %20 çam kozalağı takviyeli YYPE kompozitlerin farklı enerji seviyelerindeki absorbe edilen enerji-darbe enerjisi grafikleri

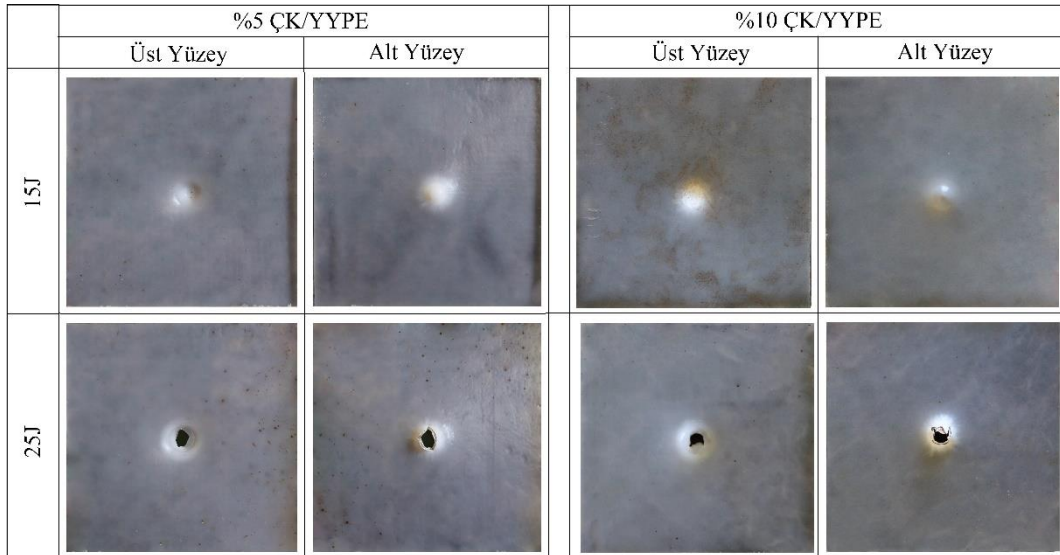
5.1.6 Hasarlı Numunelerin İncelenmesi

Tez çalışmasının bu bölümünde darbe deneyi sonrası numunelerde oluşan hasar şekilleri görsel muayene ile incelenmiştir. Bu amaçla Şekil 5.15-5.17’de iki önemli enerji değeri olan 15J ve 25J’lük enerji seviyelerinde darbeye maruz kalmış saf granülden üretilmiş numunelerin ve ÇK/YYPE kompozitlerinin farklı takviye miktarlarında üst ve alt yüzeylerinin dijital resimleri verilmiştir. 15J’lük enerji seviyesinde saf granülden üretilmiş numunelerde, %5 ve %10 ÇK/YYPE kompozitlerinde hasar meydana gelmiş ve delinme olmuştur. %15 ÇK/YYPE kompozitinin üst yüzeyinde hasarın meydana geldiği ve delinmenin olmadığı görülmektedir; ancak şeklin alt yüzeyi incelendiğinde nüfuziyet ve delinmenin meydana geldiği görülmektedir. Takviye miktarının %20 ve enerji seviyesinin 15J olduğu numunenin, üst ve alt yüzeyi incelendiğinde nüfuziyet ve delinmenin yanı sıra

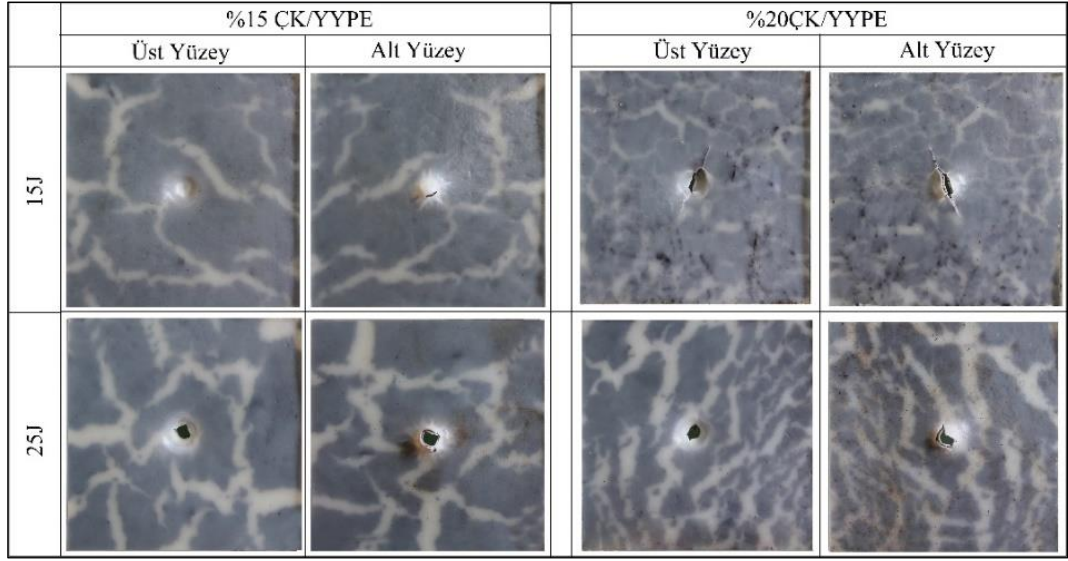
numunede fiber ve matris hasarları meydana gelmiştir. Darbe enerjisinin 25J'a çıkartılmasıyla birlikte numunelerin üst ve alt yüzeylerinde fiber ve matris hasarı meydana gelerek nüfuziyet ve delinme olmuştur.



Şekil 5.15 Saf granülden üretilmiş numunelerin darbe sonrası hasar şekilleri (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 5.16 %5 ÇK/YYPE ve %10 ÇK/YYPE kompozitlerinin darbe sonrası hasar şekilleri (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 5.17 %15 ÇK/YYPE ve %20 ÇK/YYPE kompozitlerinin darbe sonrası hasar şekilleri (Kişisel arşiv, 2018)

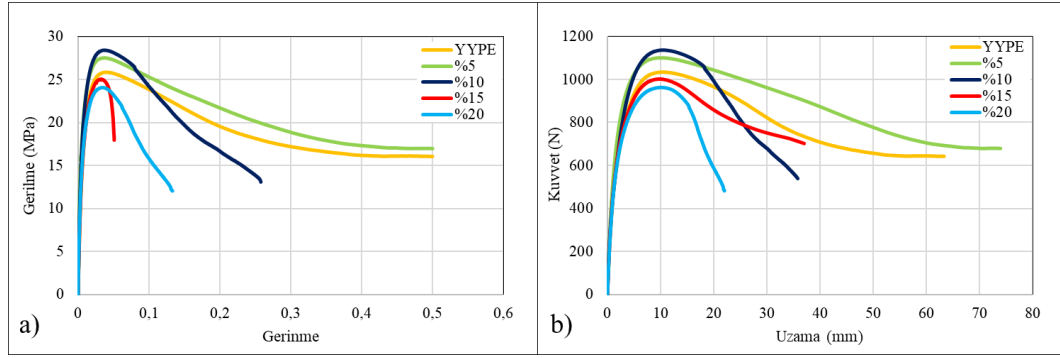
5.2 Çekme Deneyi Sonuçları

Sadece granülden üretilmiş YYPE numuneleri ve çam kozalağı takviyeli YYPE numuneleri için yapılan 5 tekrar çekme deneyi sonrasında elde edilen ortalama mekanik özellikler Tablo 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.6 Çekme deneyi sonrası numunelerin ortalama mekanik özellikleri

Numune No	Maksimum Çekme Kuvveti (N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
YYPE	1037,81±15,98	25,95±0,40	2450,63±117,1
%5ÇK/ YYPE	1123,55±18,10	28,09±0,45	2902,85±368,43
%10ÇK/YYPE	1168,18±25,98	29,20±0,65	3015,83±257,40
%15ÇK/YYPE	1041,21±44,67	26,03±1,12	2540,61±139,06
%20ÇK/YYPE	962,21±11,55	24,06±0,29	2308,46±298,96

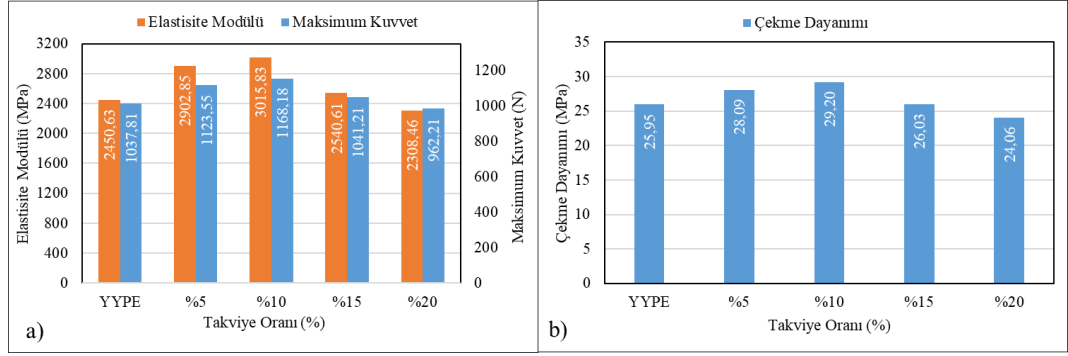
Şekil 5.18’de ise ÇK/YYPE kompozitlerinin farklı takviye miktarındaki numunelere ait gerilme-gerinme ve kuvvet-uzama eğrileri sunulmuştur.



Şekil 5.18 Artan takviye miktarına göre numunelerin a) gerilme-gerinme ve b) kuvvet-uzama grafikleri

Saf granülden üretilmiş numuneler için cihazın çeneler arası izin verilebilir yükseklik sınırına kadar deney devam ettirilmiştir. Daha sonra bilgisayara sadece kuvvet uzama verileri kaydedilmiştir. Numunelerde ekstensometrenin görüş alanı içinde kırılma gözlemlenememiştir. Bunun nedeni katkısız YYPE numunesinin süneklik kabiliyetinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Saf YYPE, %5ÇK/YYPE, %10 ÇK/YYPE, %15ÇK/YYPE ve %20 ÇK/YYPE kompozitlerinin çekme dayanımı değerleri sırasıyla, 25,95 MPa, 28,09 MPa, 29,20 MPa, 26,03 MPa ve 24,06 MPa olarak elde edilmiştir. Şekil 5.18'deki eğriler incelendiğinde ÇK/YYPE kompozitleri içinde en iyi gelişmenin %5 ÇK/YYPE ve %10 ÇÇ/YYPE kompozitlerinde olduğu açıkça görülmektedir. Takviye miktarının %10'a kadar çıkarılması maksimum çekme kuvveti, maksimum çekme dayanımı ve elastisite modülünde önemli derecede artışa neden olmuştur. Daha fazla takviye miktarı YYPE kompozitlerini olumsuz yönde etkilemiştir. Daha fazla takviyenin YYPE'ye ilave edilmesi %10 ÇK/YYPE kompoziti ile kıyaslandığında, çekme dayanımında ve elastisite modülünde düşüslere neden olmuştur. Dolgu maddesinin dağılım derecesi kompozitlerin mekanik ve biçimsel özellikleri üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Kötü dağılım, dolgu maddelerinde topaklanmaya neden olmaktadır. Bu da aynı zamanda gerilme özelliklerinin azaltılmasına neden olmuştur (Mwaikambo ve Ansell, 2002).

Çam kozalağı takviyesinin YYPE'nin çekme dayanımı, elastisite modülü ve maksimum çekme kuvvetine etkisini gösteren grafikler Şekil 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.19 YYPE ve ÇK/YYPE için a) maksimum kuvvet ve elastisite modülü değerleri ve b) çekme dayanımı değerleri

5.3 Basma Deneyi Sonuçlarının Belirlenmesi

Çekme deneyinde olduğu gibi, basma deneyinde de maksimum kuvvet değerinin numunenin kesit alanı bölünmesiyle bası dayanımı,

$$\sigma_b = \frac{F_{mak}}{A_0} \quad (5.1)$$

eşitliğiyle belirlenmektedir.

5.3.1 Basma Deneyi Sonuçları

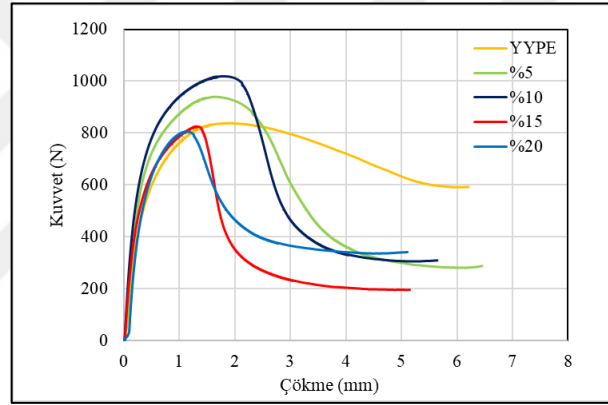
Yapılan beşer tekrar deney sonrası numunelerden elde edilen ortalama mekanik özellikler Tablo 5.7’de gösterilmiştir.

Tablo 5.7 Basma deneyi sonrası numunelerin ortalama mekanik özellikleri

Numune No	Maksimum Bası Kuvveti (N)	Bası Dayanımı (MPa)
YYPE	837,39±24,03	32,21±0,92
%5ÇK/YYPE	931,74±12,74	35,84±0,49
%10ÇK/YYPE	1002,83±19,65	38,57±0,76
%15ÇK/YYPE	874,95±55,09	33,65±2,12
%20ÇK/YYPE	844,36±54,12	32,48±2,08

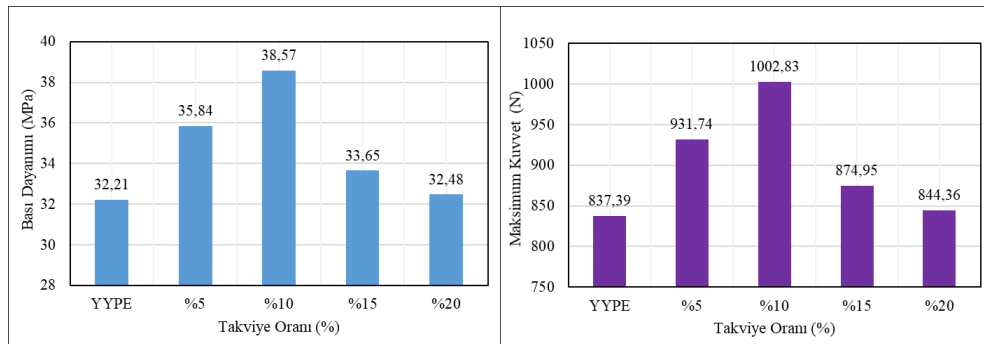
Şekil 5.20’de ise ÇK/YYPE kompozitlerinin farklı takviye miktarındaki numunelere ait kuvvet-çökme eğrileri sunulmuştur. Saf YYPE, %5ÇK/YYPE, %10

ÇK/YYPE, %15ÇK/YYPE ve %20 ÇK/YYPE kompozitlerinin bası dayanımı değerleri sırasıyla, 837,39 MPa, 931,74 MPa, 1002,83 MPa, 874,95 MPa ve 844,36 MPa olarak elde edilmiştir. Elde edilen ortalama mekanik özellikler ve eğriler incelendiğinde saf YYPE numunelerine kıyasla takviye miktarının %10'a çıkarılması ile birlikte bası dayanımında %19,75 oranında artış elde edilmiştir; fakat çekme deneyindeki sonuçlara benzer şekilde, basma deneyinde de takviye miktarının %10'un üzeri çıkarılması ÇK/YYPE kompozitlerinin bası dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir. Burada da dolgu maddesinin dağılım derecesinin kompozitlerin mekanik özelliklerinde güçlü etkiye sahip olduğu bir kez daha gözlemlenmiştir. Takviye miktarının artırılması ile birlikte topaklanma artarak ÇK/YYPE kompozitlerinin bası dayanımı değerleri azalmıştır (Mwaikambo ve Ansell, 2002).



Şekil 5.20 Basma deneyi sonrası numunelerin kuvvet-çökme grafiği

Çam kozalağı takviyesinin YYPE'nin bası dayanımı ve maksimum basma kuvvetine etkisini gösteren grafikler Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.21 Basma deneyi sonrası numunelerin ortalama a) bası dayanımı ve b) maksimum kuvvet değerleri

5.4 Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçlarının Belirlenmesi

Üç nokta eğme deneyi sonrasında, numunelerin eğilme dayanımı (σ_e), ve elastisite modülü (E_e) gibi değerlerinin belirlenebilmesi için dikdörtgen kesitli numuneler için aşağıdaki formüller kullanılmıştır:

Eğilme dayanımı σ_e ,

$$\sigma_e = \frac{Mc}{I} \quad (5.2)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada c, numunenin en dış yüzeyinden olan uzaklık değeri olup, dikdörtgen kesitli numuneler için numune kalınlığının yarısına (a/2) eşittir.

Maksimum eğilme momenti (M),

$$M = \frac{FL}{4} \quad (5.3)$$

formülü ile, *düzlemsel atalet momenti* (I) ise, b genişliğinde ve a yüksekliğine sahip dikdörtgen kesitli malzeme için aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$I = \frac{ba^3}{12} \quad (5.4)$$

(5.3) ve (5.4) denklemi (5.2)'de yerine yazılırsa,

$$\sigma_e = \frac{\frac{FL}{4} \cdot \frac{a}{2}}{\frac{ba^3}{12}} = \frac{3F_{mak}L}{2ba^2} \quad (5.5)$$

Eğilme dayanımı için (5.5) denklemini elde ederiz. Burada F_{mak} maksimum eğilme kuvveti, L ise mesnetler arasındaki mesafedir.

Elastisite modülü veya eğilme modülünü hesaplamak için öncelikle (y), sehim (deplasman) denkleminde (E)'yi çekmemiz gerekmektedir.

$$y_{mak} = \frac{FL^3}{48EI} \quad (5.6)$$

$$E = \frac{FL^3}{48Iy_{mak}} = \frac{FL^3}{48 \frac{ba^3}{12} y_{mak}} = \frac{FL^3}{4ba^3 y_{mak}} \quad (5.7)$$

Rijitliği yüksek olan kiriş uygulanan yük altında rijitliği daha düşük olan kirişe kıyasla daha fazla eğilmektedir. Bu durum elastik birim şekil değiştirmede elastisite modülünün etkisine benzemektedir; ancak eğilmede sadece elastiklik modülü değil, kirişin boyutları da etkin faktördür. Kiriş elastik bölgede eğildiği süresince rijitlik uygulanan yükün (F) sehime (y_{mak}) oranına eşittir. Yani,

$$S = \frac{F}{y_{mak}} \quad (5.8)$$

Denklem (5.7)'de sehim (y_{mak}) (5.6)'da yerine yazılırsa elastisite modülü için,

$$E_e = \frac{L^3 S}{4ba^3}, \quad (5.9)$$

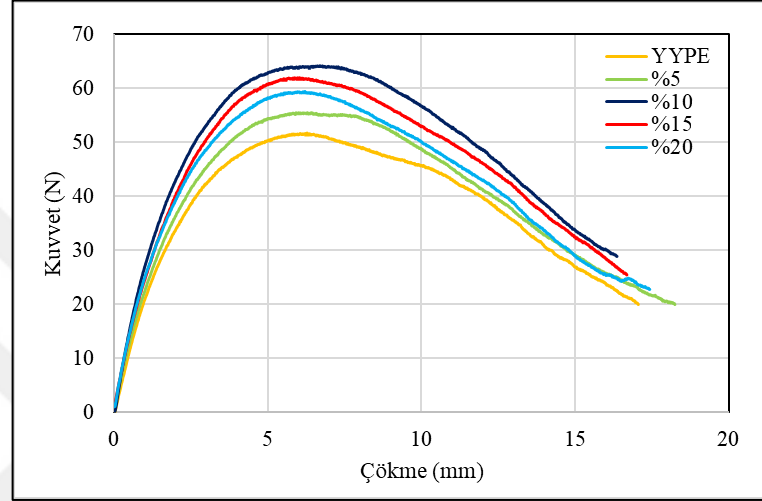
(5.9) denklemi çıkarılır. Burada, (S) kuvvet-çökme eğrisinin başlangıçtaki düzgün doğrudan eğriye çizilen teğetin eğimidir. Birimi N/mm'dir.

5.4.1 Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları

Sadece granülden üretilmiş YYPE numuneleri için yapılan 5 tekrar deneyi sonrasında elde edilen ortalama değerler Tablo 5.8'de gösterilmiştir. Şekil 5.22'de ise numunelerin kuvvet-çökme eğrileri sunulmuştur.

Tablo 5.8 Üç nokta eğme deneyi sonrası kompozit numunelerin ortalama mekanik özellikleri

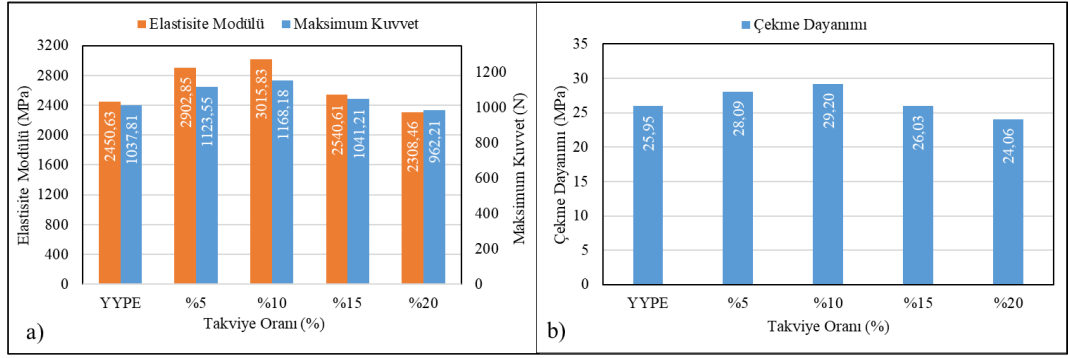
Numune No	Maksimum Eğme Kuvveti (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Saf YYPE	46,72±2,78	43,19±2,57	978,77±50,53
%5ÇK/YYPE	48,93±2,00	45,23±1,85	1027,98±48,03
%10ÇK/YYPE	58,76±3,46	54,30±3,19	1223,96±69,71
%15ÇK/YYPE	54,84±2,68	50,68±2,47	1085,24±53,47
%20ÇK/YYPE	52,83±2,80	48,83±2,58	1054,35±45,51



Şekil 5.22 Artan takviye miktarına göre numunelerin kuvvet-çökme eğrileri

Şekil 5.22'deki kuvvet-çökme eğrisi ve Tablo 5.8'de sunulan ortalama mekanik özellikler incelendiğinde, çam kozalağı ile takviye edilmiş YYPE kompozitlerinin eğilmeye karşı daha iyi dayanıma sahip olduğu görülmektedir. %10 katkılı YYPE kompozitler ile saf granülden üretilmiş numuneler kıyaslandığında katkılı kompozitlerin eğilme dayanımında ve elastisite modülünde sırasıyla %25,7 ve %25,05 oranında artışlar görülmektedir. Takviye miktarının %15 ve %20'ye çıkarılması, bu değerlerde %16 oranında düşüşe neden olmuştur.

Çam kozalağı takviyesinin YYPE'nin eğilme dayanımı, maksimum eğme kuvveti ve elastisite modülü üzerindeki etkisini gösteren grafikler Şekil 5.23'te verilmiştir.



Şekil 5.23 Üç nokta eğme deneyi sonrası numunelerin ortalama a) eğilme dayanımı ve maksimum eğme kuvveti ve b) elastisite modülü değerleri

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında çam kozalağı takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin düşük hızlı darbe, çekme, basma ve üç nokta eğilme davranışları deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan ağırlıkça farklı takviye miktarına sahip numunelerin (%5 ÇK/YYPE, %10 ÇK/YYPE, %15 ÇK/YYPE ve %20 ÇK/YYPE) düşük hızlı darbe davranışları 5J, 10J, 15J, 20J ve 25J darbe enerjilerinde belirlenmiştir. Deney sonrasında bulunan veriler karşılaştırılmalı olarak incelenmiş ve sonuç olarak elde edilen yargılar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Takviye olunmuş kompozitler ile sadece granüllerden üretilen kompozitler karşılaştırıldığında düşük hızlı darbe dayanımının tüm enerji seviyelerinde önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Takviye miktarının %20'ye çıkarılması katkısız numunelere kıyasla kompozitlerin maksimum temas kuvveti %7,65 oranında azaltmıştır.
- Delinme enerjisi eşiği saf granülden üretilmiş numunelerde ve %5 ÇK/YYPE, %10 ÇK/YYPE, %15 ÇK/YYPE kompozitlerinde 20J iken, %20 ÇK/YYPE kompozitlerinde numuneler 15J enerji seviyesinde delinmiştir.
- Saf granülden üretilmiş numunelere kıyasla ÇK/YYPE kompozitleri için takviye miktarının %10'a çıkarılması ile birlikte 5J enerji değerinde maksimum temas kuvveti %3,16 oranında artmıştır. Absorbe edilen enerji değeri ise %23 oranında azalmıştır.
- 10J enerji değerinde maksimum temas kuvveti takviye miktarının %10'a çıkarılması ile birlikte saf granülden üretilmiş numunelere kıyasla %2,1 oranında artmıştır. Daha fazla takviye miktarı maksimum temas kuvvetinde %16,7 oranında düşüşe neden olmuştur. Absorbe edilen enerji değeri ise %11,5 oranında artmıştır.
- %10 ÇK/YYPE, %15 ÇK/YYPE ve %20 ÇK/YYPE kompozitlerinin absorbe ettikleri enerji saf granülden üretilmiş numunelere kıyasla artan darbe enerjisiyle

birlikte delinme enerjilerine kadar sırasıyla %47,7, %47,4 ve %39,9 oranında artmıştır.

Çekme testi sonuçlarına göre saf granülden üretilmiş numunelere kıyasla en yüksek mekanik özellikler %10 ÇK/YYPE kompozitlerinde görülmüştür. Maksimum çekme kuvveti, maksimum çekme dayanımı ve elastisite modülü gibi mekanik özellikler %10 çam kozalağı takviyesi ile saf granülden üretilmiş numunelere kıyasla sırasıyla %12,56, %12,52 ve %23,09 oranında artmıştır. Takviye miktarının artırılması ile birlikte numunelerde topaklanma meydana gelerek ÇK/YYPE kompozitlerinin çekme özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir. Takviye miktarının %15 ve %20 olduğu değerlerde numunelerin maksimum çekme kuvveti, maksimum çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri %10 ÇK/YYPE kompozitleri ile kıyaslandığında sırasıyla %21,4, 21,36 ve %30,7 oranında azalmıştır.

Basma deneyi verilerine göre granülden üretilmiş numunelere kıyasla maksimum bası kuvveti ve bası dayanımı gibi mekanik özelliklerde en iyi gelişme çekme deneyi sonuçlarında olduğu gibi %10 ÇK/YYPE kompozitlerinde görülmüştür. Maksimum bası kuvveti ve bası dayanımı granülden üretilmiş numunelerle kıyaslandığında %19,75 oranında artmıştır. Daha fazla takviye miktarı numunelerin mekanik özelliklerinde %18,75 oranında düşüşe neden olmuştur.

Üç nokta eğme deneyi sonuçlarına göre granülden üretilmiş numunelerle kıyaslandığında maksimum eğilme kuvveti, eğilme dayanımı ve elastisite modülü değerleri için en iyi gelişme %10 ÇK/YYPE kompozitlerinde görülmüştür. Maksimum eğilme kuvveti, eğilme dayanımı ve elastisite modülü değerleri sırasıyla %25,75 ve %25,05 oranında artmıştır. Daha fazla takviye miktarı ÇK/YYPE numunelerinin eğilme dayanımını olumsuz yönde etkilese de bu değerlerin sadece granülden üretilmiş numunelere kıyasla %17,34 ve %13,05 oranında daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Yukarıda varılan yargılar incelendiğinde çam kozalağı takviyeli YYPE kompozitlerinin darbe, çekme, basma ve üç nokta eğmeye karşı dayanımında elde edilen en büyük artış takviye miktarının %10 olduğu kompozitlerde görülmüştür.

Odun ve bitki kaynaklı dolgu maddeleri, biyoparçalanabilirlik, düşük maliyet ve yenilenebilirlik gibi özellikler nedeniyle polimer endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünya çapında ağaç kıtlığı nedeniyle, çalışmalar çeşitli yan ürün materyallerine, özellikle de termoplastik polimerler için takviye malzemelerine odaklanmış durumdadır.

Orman tali ürünlerine baktığımızda ağaç kabukları, kozalaklar ve kullanılamayacak boyutlardaki dal atıklarının genelde yakacak olarak kullanıldığı ve ormanlık alanda bırakıldığını görmekteyiz. Orman tali atıkları kullanılarak üretilen malzemeler ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında kullanılan plastik malzemeye oranla eğilme dayanımı, elastisite modülü, çekme ve darbe dayanımında olumlu yönde iyileşmeler görülmüştür. Orman tali atıklarından olan çam kozalağının polietilen gibi termoplastiklerde ağırlıkça %10 oranında kullanımı plastik kullanımını azaltmasıyla beraber, doğada bırakılacak veya sadece yakacak olarak kullanılacak birçok atığın değer kazanmasına olanak sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abramovich, H. (2017). *Stability and vibrations of thin-walled composite structures*. United Kingdom: Woodhead Publishing.
- Akgün, Y. (2010). *Onarılmış kompozit plakların darbe davranışları*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Akovali, G. (2001). *Handbook of composite fabrication*. Shawbury: iSmithers Rapra Publishing.
- Alexander, S. (2017). *The methods used to manufacture thermoplastics*. 9 Mart 2018, <https://bizfluent.com/list-7550202-methods-used-manufacture-thermoplastics.html>
- Arrakhiz, F. Z., Benmoussa, K., Bouhfid, R., ve Qaiss, A. (2013). Pine cone fiber/clay hybrid composite: mechanical and thermal properties. *Materials and Design*, 50, 376-381.
- Arrakhiz, F. Z., El Achaby, M., Benmoussa, K., Bouhfid, R., Essassi, E. M., ve Qaiss, A. (2012). Evaluation of mechanical and thermal properties of Pine cone fibers reinforced compatibilized polypropylene. *Materials and Design*, 40, 528-535.
- Ataş, C. ve Sayman, O. (2008). An overall view on impact response of woven fabric composite plates. *Composite Structures*, 82, 336-345.
- Bahra, M. S., Gupta, V. K., ve Aggarwal, L. (2017). Effect of Fibre Content on Mechanical Properties and Water Absorption Behaviour of Pineapple/HDPE Composite. *Materials Today: Proceedings*, 4, 3207-3214.
- Balasubramanian, M. (2013). Introduction to composites. *Composite materials and processing* (1-10). London: CRC Press.

Barbero, E. J. (2017). *Introduction to composite materials design* (3. Baskı). Boca Raton: CRC press.

Beach, E. (2017). *What are some uses of composite materials?* 7 Şubat 2018, <https://www.livestrong.com/article/131647-what-are-some-uses-composite-materials/>

Biron, M. (2007). *Thermoplastics and thermoplastic composites: technical information for plastics users*. New York: Elsevier.

Borcia, G., Anderson, C. A., ve Brown, N. M. D. (2006). Surface treatment of natural and synthetic textiles using a dielectric barrier discharge. *Surface and Coatings Technology*, 201, 3074-3081.

Brown, G. (2014). *The use of composites in aircraft construction*. 6 Şubat 2018, <http://vandaair.com/2014/04/14/the-use-of-composites-in-aircraft-construction>.

Çalın, R. (2017). *Kırıkkale üniversitesi mühendislik fakültesi metalurji ve malzeme mühendisliği laboratuvar föyleri*. 7 Mayıs 2018, <https://panel.kku.edu.tr/Content/metalurji/Ders%20ve%20S%C4%B1nav%20Programlar%C4%B1/Deney/Met%20ve%20Malz.%20Lab.%20Deney%20%20I%202017.pdf>

Carey, J. P. (2016). *Handbook of advances in braided composite materials: Theory, production, testing and applications*. New York: Woodhead Publishing.

Çelebi, E. (2015). *Üç nokta ve dört nokta eğme deney föyü*. 7 Mayıs 2018, http://erzurum.edu.tr/Content/Yuklemeler/Personel/Faraz_AFSARI/Uc_nokta_ve_dort_nokta_egme_deneyi18010.pdf

Chanda, M. (2018). *Plastics Technology Handbook* (5. Baskı). London: CRC Press.

- Chanda, M., ve Roy, S. K. (2008). *Plastics fundamentals, properties, and testing*. London: CRC press.
- Chib, A. (2006). *Parametric study of low velocity impact analysis on composite tubes*. Yüksek Lisans Tezi, Pune Üniversitesi, Hindistan.
- Chung, D. D., ve Chung, D. (2012). *Carbon fiber composites*. United States of America: Butterworth-Heinemann.
- Mizrakmakine, (2018). *Çizicili yatar daire makinesi*, 3 Ağustos 2018, <http://www.mizrakmakine.com/uploads/121B/643.jpg>
- Davis, J. R. (2004). *Tensile testing* (2. Baskı). United States of America: ASM international.
- Duell, J. M. (2004). Impact testing of advanced composites. *Advanced topics in characterization of composites* (97-112). Canada: Trafford Publishing.
- Admet, (2017). *Effect of specimen geometry on tensile testing results*, 3 Ağustos 2018, <https://www.admet.com/effect-specimen-geometry-tensile-testing-results/>
- Eker, B. (2013). *Plastikten bioplastiğe geçiş*. 1 Mart 2018, <http://www.makinatek.com.tr/arsiv/yazi/152-plastikten-bioplastige-gecis>
- El-Sonbati, A. Z. (2012). *Thermoplastic: composite materials*. Croatia: InTech.
- Erkut. Ö. (2017). *Kevlar nedir*. 5 Şubat 2018, <https://www.muhandisbeyinler.net/kevlar-nedir/>
- Evcin, A. (2017). *Polimer malzemeler*. 22 Şubat 2018, <http://blog.aku.edu.tr/evcin/files/2017/05/10-polimer-uygulamalar%C4%B1-termoplastik-polimerler.pdf>

- Gülmez, T. (2015). *Plastiklerin şekillendirme yöntemleri*. 13 Mart 2018, <http://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI/ch13-Plastik%20isleme.pdf>
- Haro, E. E., Szpunar, J. A., ve Odesi, A. G. (2018). Dynamic and ballistic impact behavior of biocomposite armors made of HDPE reinforced with chonta palm wood (*Bactris gasipaes*) microparticles. *Defence Technology*. xxx, 1-12
- Hu, N. (2012). *Composites and Their Properties*. Croatia: InTech
- Hull, D., ve Clyne, T. W. (1996). *An introduction to composite materials*. Australia: Cambridge university press.
- Ibeh, C. C. (2011). *Thermoplastic materials: properties, manufacturing methods, and applications*. Boca Raton: CRC Press.
- Kaw, A. K. (2006). Classification. *Mechanics of composite materials* (2. Baskı) (16-19). Boca Raton: CRC press.
- Kılınç, A. C., Atagur, M., Özdemir, O., Sen, I., Kucukdogan, N., Sever, K., ... ve Seki, Y. (2016). Manufacturing and characterization of vine stem reinforced high density polyethylene composites. *Composites Part B: Engineering*, 91, 267-274.
- Le Troedec, M., Sedan, D., Peyratout, C., Bonnet, J. P., Smith, A., Guinebretiere, R., ... ve Krausz, P. (2008). Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39, 514-522.
- Li, H., ve Xie, X. M. (2018). Polyolefin-functionalized graphene oxide and its GO/HDPE nanocomposite with excellent mechanical properties. *Chinese Chemical Letters*, 29, 161-165.

- Malpass, D. B. (2010). *Introduction to industrial polyethylene*. Salem: Scrivener Publishing.
- Marco, Y., ve Chevalier, L. (2009). *Advances in Polymer Processing* Cambridge: Woodhead Publishing.
- Matthews, F. L., ve Rawlings, R. D. (1999). *Composite materials: Engineering and science* (2. Baskı). Cambridge: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- Mirsalehi, S. A., Sattari, M., Khavandi, A., Mirdamadi, S., ve Naimi-Jamal, M. R. (2016). Tensile and biocompatibility properties of synthesized nano-hydroxyapatite reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene nanocomposite. *Journal of Composite Materials*, 50, 1725-1737.
- Mohammadi, M., Ziaie, F., Majdabadi, A., Akhavan, A., ve Shafaei, M. (2017). Improvement of mechanical and thermal properties of high energy electron beam irradiated HDPE/hydroxyapatite nano-composite. *Radiation Physics and Chemistry*, 130, 229-235.
- Mortensen, A. (2007). *Concise encyclopedia of composite materials* (2. Baskı). Boca Raton: Elsevier.
- Mwaikambo, L. Y., ve Ansell, M. P. (2002). Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization. *Journal of applied polymer science*, 84, 2222-2234.
- Njuguna, J. (2016). *Lightweight composite structures in transport: design, manufacturing, analysis and performance*. Cambridge: Woodhead publishing.
- Peters, S. T. (1998). *Handbook of composites* (2. Baskı) London: Springer Science and Business Media.

- Rana, S., ve Fanguiero, R. (2016). *Advanced composite materials for aerospace engineering: processing, properties and applications*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Red, C. (2015). *Composites in commercial aircraft engines*. 5 Şubat 2018, <http://www.compositesworld.com/articles/composites-in-commercial-aircraft-engines-2014-2023>.
- Safri, S. N. A., Sultan, M. T. H., Yidris, N., ve Mustapha, F. (2014). Low velocity and high velocity impact test on composite materials—a review. *International Journal of Engineering and Sciences*, 3, 50-60.
- Sarvetnick, H. A. (1971). *Plastisols and organosols*. New York: Van Nostrand Reinhold Co.
- Şenel, M., ve Kurşun, A. (2009). Düşük hızlı darbe deney düzeneği için geri sekme (rebound) frenleme ve kontrol sistemi, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, IATS-2009, Karabük*,
- Sever, K., Erden, S., Gülec, H. A., Seki, Y., ve Sarikanat, M. (2011). Oxygen plasma treatments of jute fibers in improving the mechanical properties of jute/HDPE composites. *Materials Chemistry and Physics*, 129, 275-280.
- Sever, K., Tavman, I. H., Seki, Y., Turgut, A., Omastova, M., ve Ozdemir, I. (2013). Electrical and mechanical properties of expanded graphite/high density polyethylene nanocomposites. *Composites Part B: Engineering*, 53, 226-233.
- Sjoblom, P. O., Hartness, J. T., ve Cordell, T. M. (1988). On low-velocity impact testing of composite materials. *Journal of composite materials*, 22, 30-52.
- Strong, A. B. (2008). *Fundamentals of composites manufacturing: materials, methods and applications* (2. Baskı). Michigan: Society of Manufacturing Engineers.

Compositence, (2014). *The advantage of tape laying*, 15 Mart 2018, <http://www.compositence.com/en/fiber-placement/tape-laying/>

Petkim, (2017). *Ürün teknik özellikleri*, 29 Mart 2018, https://app.petkim.com.tr/web/files/urunler/tr/UR.15-BF-U1542_1.pdf

Vasile, C., ve Pascu, M. (2005). *Practical guide to polyethylene*. London: iSmithers Rapra Publishing.

Verma, R., ve Shukla, M. (2017). Characterization of mechanical properties of short kenaf fiber-hdpe green composites. *Materials today: Proceedings*, 5, 3257–3264.

Vinson, J. R., ve Sierakowski, R. L. (2006). *The behavior of structures composed of composite materials* (2. Baskı). Netherlands: Springer Science and Business Media.

Quora, (2016). *What are radomes on aircraft?*, 1 Şubat 2018, <https://www.quora.com/What-are-radomes-on-aircraft>

Compositeslab, (2016). *Where are composites used?*, 15 Şubat 2018, <http://compositeslab.com/where-are-composites-used/>

Yeşildal, S. (2010). *Darbe yüklerine maruz denizel kompozitlerde hasar mekanizmaları*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Yuan, X., Jayaraman, K., ve Bhattacharyya, D. (2004). Mechanical properties of plasma-treated sisal fibre-reinforced polypropylene composites. *Journal of adhesion science and technology*, 18, 1027-1045.