



DOĞAL LİF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LEYLA KILIÇ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
AĞUSTOS - 2022**

DOĞAL LİF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LEYLA KILIÇ

ORCID ID: 0000-0001-5015-1139

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Berat Barış BULDUM
ORCID ID: 0000-0003-2855-2571**

**MERSİN
AĞUSTOS - 2022**

ÖZET

DOĞAL LİF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ VE ANALİZİ

Bu çalışmada polimer kompozit malzeme üretiminde takviye malzemesi olarak doğal lifler kullanılmıştır. Doğal liflerin tercih edilme nedeni; doğal kaynaklardan elde edilebilir olmaları, kısmen ya da tamamen yenilenebilir olmaları, biyolojik bozunabilirlikleri, üretimlerinde kimyasal katkı maddelerinin kullanılmaması, düşük yoğunluklu ve düşük maliyetli olmaları gibi özelliklerdir. Yapılan tez çalışması kapsamında, kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak düşük yoğunluklu polietilen ve polipropilen kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak turba, hindistan cevizi kabuğu ve palmye lifi, farklı boyut (100 µm, 200 µm, 400 µm) ve farklı oranlarda (%5, %10, %15) kullanılmıştır. Takviye malzemeleri, bilyalı öğütme cihazı kullanılıp titreşimli elek cihazından geçirilerek farklı boyutlar (100 µm, 200 µm, 400 µm). elde edilmiştir. Ekstrüzyon ve enjeksiyon cihazı kullanılarak doğal lif takviyeli kompozit malzeme üretilmiştir. Bu işlemlerin ardından numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak; takviye malzemesi olarak hindistan cevizi kabuğu ve palmye lifinin kullanılması çekme ve darbe dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Ancak turbanın kullanılması ile beraber malzemenin çekme ve darbe dayanımı azalmıştır. Havacılık, otomotiv sanayisi gibi alanlarında doğal lif takviyeli kompozit malzeme kullanımının kayda değer bir alternatif olduğu öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzemeler, Takviye elemanı, Matris malzemesi, Lif takviyeli, Doğal atık, Polimer kompozit malzemeler

Danışman: Doç. Dr. Berat Barış BULDUM, Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

PRODUCTION AND ANALYSIS OF NATURAL FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITE MATERIALS

In this thesis, natural fibers were used as reinforcement material in the production of polymer composite materials. The reason why natural fibers are preferred; They are features such as being obtainable from natural resources, being partially or completely renewable, biodegradable, not using chemical additives in their production, low density and low cost. In this Thesis, low density polyethylene and polypropylene are used as matrix materials. Peat, coconut shell and palm fiber were used as reinforcement elements in different sizes (100 μm , 200 μm , 400 μm) and in different proportions (5%, 10%, 15%). Different sizes were obtained by passing the reinforcement materials through a vibrating sieve using a ball milling device (100 μm , 200 μm , 400 μm). Natural fiber reinforced composite material was produced using an injection and extruder device . After these processes, the mechanical properties of the samples were examined. As a result; It has been observed that the use of coconut shell and palm fiber as reinforcement material increases the tensile and impact strength. However, the tensile and impact strength of the material decreased with the use of peat. It is predicted that the use of natural fiber reinforced composite materials in fields such as aviation and automotive industry is a remarkable alternative.

Keywords: Composite materials, Reinforcement member, Matrix material, Fiber reinforced, Natural waste, Polymer composite materials

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Berat Barış BULDUM, Department of Mechanical Engineering, University of Mersin, Mersin

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarında bana yol gösteren, bilgisini ve desteğini esirgemeyen, özverisi ve titizliği ile çalışmalarına katkı sağlayan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Berat Barış BULDUM'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında yardımını esirgemeyen Berna AKTAŞ SAR'a, Bilge BOZDOĞAN'a, Arş. Gör. Nergiz ÜLKER'e, teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince, bana büyük bir özveriyle destek olan, sevgili hayat arkadaşım Cengiz Göktaş YILDIRIM'a en derin duygularıyla teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, sevgi ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür eder, sevgi ve saygılarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR ve SİMGELER	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1. Literatür Araştırmaları	3
2.2. Kompozit Malzemeler	6
2.3. Kompozit Malzemelerin Tarihi ve Kullanım Alanları	6
2.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	8
2.4.1. Matris Malzemeleri	8
2.4.1.1. Polimer Matrisler	9
2.4.1.1.1. Termoset Polimerler	9
2.4.1.1.1.1. Epoksi	10
2.4.1.1.1.2. Fenolik	10
2.4.1.1.1.3. Polyester	11
2.4.1.1.2. Termoplastik Polimerler	11
2.4.1.1.2.1. Polipropilen (PP)	12
2.4.1.1.2.2. PEEK	12
2.4.1.1.2.3. Polietilen	12
2.4.2. Takviye Malzemeleri	13
2.4.2.1. Doğal Lif Takviyeli Kompozitler	13
2.4.2.1.1. Palmiye	15
2.4.2.1.2. Hindistan cevizi (koko lifi)	16
2.4.2.1.3. Turba	16
2.5. Kompozit Üretim Yöntemleri	17
2.5.1. El ile Yatırma Yöntemi	17
2.5.2. Reçine Transfer Kalıplama (RTM)	18
2.5.3. Vakumla Kalıplama Yöntemi	18
2.5.4. Pres (basıncılı) kalıplama yöntemi	19
2.5.5. Enjeksiyon Yöntemi	19
2.5.6. Ekstrüzyon Yöntemi	20
3. MATERYAL ve YÖNTEM	21
3.1. Kompozit Malzemelerin Hazırlanması	21
3.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi	22
3.3. Karakterizasyon	33
3.3.1. Çekme Deneyi	33
3.3.2. Darbe Deneyi	34
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	37
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	68

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Bazı termoset reçine özellikleri	10
Tablo 2.2. Bazı termoplastik reçine özellikleri	11
Tablo 3.1. Deney Numuneleri Bileşimi	24
Tablo 4.1. Numunelerin Maksimum Çekme Dayanımları	37
Tablo 4.2. Numunelerin Darbe Dayanımları	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Airbus şirketinin A320 uçağında kullanılan kompozit parçalar	7
Şekil 2.2. Kompozitlerin sınıflandırılması	8
Şekil 2.3. Sertleşme sırasında termoset moleküllerin çapraz bağlanması	10
Şekil 2.4. Polietilen	12
Şekil 2.5. Bitkisel liflerin sınıflandırılması	14
Şekil 2.6. Palmiye -Washingtonia robusta	16
Şekil 2.7. Hindistan cevizi ve lifi oluşturan meyvesi	16
Şekil 2.8. Turba	17
Şekil 2.9. El ile yatırma yöntemi	18
Şekil 2.10. Reçine transfer kalıplama	18
Şekil 2.11. Vakumla Kalıplama Yöntemi	19
Şekil 2.12. Pres (basınçlı) kalıplama yöntemi	19
Şekil 2.13. Enjeksiyon yöntemi	20
Şekil 2.14. Ekstrüzyon yöntemi	20
Şekil 3.1. (a) Polipropilen, (b) Polietilen	21
Şekil 3.2. (a) Palmiye, (b) Hindistan Cevizi, (c)Turba	21
Şekil 3.3. Halkalı Değirmen	22
Şekil 3.4. Etüv	22
Şekil 3.5. Çift Vidalı Ekstrüzyon Makinesi	23
Şekil 3.6. (a) Granülatör, (b) Kompozit Pelet	23
Şekil 3.7. Dikey Enjeksiyon Kalıplama Makinesi	27
Şekil 3.8. (a) Çekme test numunesi için kalıp, (b) Darbe test numunesi için kalıp	28
Şekil 3.9. Saf Polipropilen çekme test numunesi	28
Şekil 3.10. Saf D.Y. Polietilen çekme test numunesi	28
Şekil 3.11. Hindistan Cevizi + PP çekme test numunesi	29
Şekil 3.12. Hindistan Cevizi + PE çekme test numunesi	29
Şekil 3.13. Turba + PP çekme test numunesi	29
Şekil 3.14. Turba + PE çekme test numunesi	29
Şekil 3.15. Palmiye + PP çekme test numunesi	29
Şekil 3.16. Palmiye + PE çekme test numunesi	29
Şekil 3.17. Saf Polipropilen darbe test numunesi	30
Şekil 3.18. Saf D.Y. Polietilen darbe test numunesi	30
Şekil 3.19. Hindistan Cevizi + PP darbe test numunesi	30
Şekil 3.20. Hindistan Cevizi + PE darbe test numunesi	31
Şekil 3.21. Turba + PP darbe test numunesi	31
Şekil 3.22. Turba + PE darbe test numunesi	32
Şekil 3.23. Palmiye + PP darbe test numunesi	32
Şekil 3.24. Palmiye + PE darbe test numunesi	33
Şekil 3.25. Çekme cihazı	33
Şekil 3.26. (a) Charpy darbe testi, (b) Izod darbe testi	34
Şekil 3.27. Çentikli darbe numunesi	35
Şekil 3.28. (a) Darbe test cihazı, (b) Test cihazında numune konumu	36
Şekil 4.1. Polipropilen esaslı Hindistan Cevizi Takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre maksimum çekme dayanımı	40
Şekil 4.2. D.Y. Polietilen esaslı Hindistan Cevizi Takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre maksimum çekme dayanımı	41
Şekil 4.3. Polipropilen esaslı Palmiye Takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre maksimum çekme dayanımı	42
Şekil 4.4. D.Y. Polietilen esaslı Palmiye Takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre maksimum çekme dayanımı	43

	Sayfa
Şekil 4.5. Polipropilen esaslı Turba Takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre maksimum çekme dayanımı	44
Şekil 4.6. D.Y. Polietilen esaslı Turba Takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre maksimum çekme dayanımı	45
Şekil 4.7. Polipropilen esaslı hindistan cevizi , palmiye , turba takviyeli malzemede takviye boyutlarına göre maksimum çekme dayanım	46
Şekil 4.8. D.Y Polietilen - esaslı hindistan cevizi , palmiye , turba takviyeli malzemede takviye boyutlarına göre maksimum çekme dayanımı	47
Şekil 4.9. Polipropilen esaslı Hindistan Cevizi Takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre darbe dayanımı	51
Şekil 4.10. D.Y. Polietilen esaslı Hindistan Cevizi Takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre darbe dayanımı	52
Şekil 4.11. Polipropilen esaslı Palmiye Takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre darbe dayanımı	53
Şekil 4.12. D.Y. Polietilen esaslı Palmiye Takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre darbe dayanımı	54
Şekil 4.13. Polipropilen esaslı Turba Takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre darbe dayanımı	55
Şekil 4.14. D.Y. Polietilen esaslı Turba Takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre darbe dayanımı	56
Şekil 4.15. Polipropilen esaslı hindistan cevizi ,palmiye ,turba takviyeli malzemede takviye boyutlarına göre darbe dayanımı	57
Şekil 4.16. D.Y Polietilen esaslı hindistan cevizi ,palmiye ,turba takviyeli malzemede takviye boyutlarına göre darbe dayanımı	58
Şekil 4.17. Saf Polipropilen numunesinin darbe testi sonrası görüntüsü	59
Şekil 4.18. Saf D.Y Polietilen numunesinin darbe testi sonrası görüntüsü	59
Şekil 4.19. Hindistan Cevizi + PP numunelerinin darbe testi sonrası görüntüsü	59
Şekil 4.20. Hindistan Cevizi + PE numunelerinin darbe testi sonrası görüntüsü	60
Şekil 4.21. Turba + PP numunelerinin darbe testi sonrası görüntüsü	60
Şekil 4.22. Turba + PE numunelerinin darbe testi sonrası görüntüsü	61
Şekil 4.23. Palmiye + PP numunelerinin darbe testi sonrası görüntüsü	61
Şekil 4.24. Palmiye + PE numunelerinin darbe testi sonrası görüntüsü	62

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
D.Y. Polietilen.	Düşük Yoğunluklu Polietilen
PP.	Polipropilen
PE.	Polietilen
DPF	Hurma Lifi
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen



1. GİRİŞ

Dünyadaki ekonomik faaliyetler üzerinde baskın bir rol oynayan doğal kaynaklar, ülkelerin gayri safi milli hasıllarına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Doğal kaynakların korunması ve geri dönüşümü hakkında yapılan önemli çalışmalar son yıllarda yenilenebilir hammadde merkezli doğal malzemelere karşı artan bir ilgiye yol açmıştır (Evren, 2013).

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla farklı malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan bir malzemedir (Srinivasulu ve Tejaswi, 2012). Kompozit malzemeler; matris malzemeleri, takviye elemanları ve katkı malzemelerinden oluşmaktadır. Kompozit malzemeler matris malzemesi ve takviye elemanı çeşidine göre sınıflandırılmaktadır. Matris malzemesine göre kompozit malzemeler; polimer, metal ve seramik matrisli kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır. Matris malzemesi polimer olan malzeme, polimer matrisli kompozit olarak adlandırılmaktadır (Yıldızhan, 2008). Takviye elemanına göre kompozit malzemeler; lif takviyeli, tanecik takviyeli ve karma (hibrit) kompozit malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır (Özdemir, 2019).

Doğayla dost malzeme ve ürünlerinin kullanımı, gün geçtikçe artmaktadır. Son yıllarda imalat endüstrisinde genel eğilim, farklı üretim alanlarında doğal lif esaslı malzemelerin kullanılması yönündedir. Doğal liflerin tercih edilme nedenleri arasında, bitkilerden elde edilebilir olmaları, kısmen ya da tamamen yenilenebilir olmaları, biyolojik bozunabilirlikleri, üretimlerinde kimyasal katkı maddelerinin kullanılmaması, düşük yoğunluklu ve düşük maliyetli olmaları, ekolojik dengenin korunmasına katkı sağlamaları bulunmaktadır (Evren, 2013).

Doğal lif esaslı kompozit malzemelerde lif seçimi malzemenin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Lif türü ise yaygın olarak kaynağına göre sınıflandırılır; bitki, hayvan veya mineral. Bitki liflerinin, büyük yapısal bileşenleri selüloz içerir. Hayvan lifleri ise protein içermektedir (Shah vd., 2014).

Geri dönüştürülebilen ve sürdürülebilir bir malzeme türü olan selülozik esaslı liflerden düşük yoğunluk, yüksek tokluk ve mukavemet performansı sunan malzemeler üretilebilmektedir (Cao ve Wu, 2008).

Dünyada kompozit malzeme endüstrisinde selülozik esaslı doğal liflerin kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılması konusundaki çalışmalar artmaktadır. Polimer kompozit malzemelerde, selülozik esaslı doğal lifli ürünler kullanılarak yayılan CO₂(karbondioksit) miktarı seviyesi düşürülür. Atık bitkisel liflerin hammadde olarak kullanılabilirliği konusundaki çalışmaların artması ile atık bitkisel liflerin geri dönüşüm ürünleri sınıfına girmesini sağlamaktadır (Evren, 2013).

Projenin amacı; kompozit malzeme endüstrisinde selülozik esaslı doğal liflerin kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılmasıyla beraber yayılan CO₂ miktarının azalması ve atık bitkisel liflerin kullanılarak geri dönüşüme katkı sağlanmasıdır. Bu tez kapsamında selülozik esaslı doğal lif takviyeli polimer kompozit malzeme üretiminde takviye malzemesi olarak turba, palmye ve

hindistan cevizinden elde edilen selülozik esaslı doğal lif kullanılarak, fiber-matris uyumu, fiber-matris bağ mukavemeti, kompozitlerin mekanik, özellikleri ayrıntılı olarak ele alınıp karşılaştırılması amaçlanmıştır. Turba, palmiye, hindistan cevizinden elde edilen farklı takviye elemanlarının ve bu takviye elemanlarının farklı oranlarının kompozit malzemelerin özellikleri üzerinde etkisi incelenecektir. Elde edilen kompozit malzemelerin mekanik testleri yapılarak karşılaştırma yapılacaktır. Turba, palmiye ve hindistan cevizinden elde edilen selülozik esaslı doğal lif takviyeli polimer kompozit malzemelerden hangisinin kullanılmasının en uygun olacağı belirlenecektir. Elde edilen selülozik esaslı doğal lifler alternatif kompozit malzeme üretiminde kullanılabilir. Bu çalışma, geri dönüşümü mümkün olan doğal lif içeren kompozit malzemelerin kullanım alanını genişleterek ekolojik dengenin korunmasına, çeşitli endüstrilere, literatüre ve ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Literatür Araştırmaları

Alshammari vd. 2019 yılında epoksi kompozit üretiminde takviye elemanı olarak hurma ağacı yaprağı kılıfı, hurma ağacı gövdesi, meyve sapı ve yaprak sapı kullanmışlardır. Hurma ağacının farklı kısımları epoksi matrisinde takviye elemanı olarak kullanılarak kompozitlerin mekanik, mukavemet, yoğunluk, su emme ve morfolojik özelliklerini araştırılmışlardır. Araştırmanın sonucunda bu çalışmanın otomotiv parçaları ve yapısal paneller dahil olmak üzere endüstriyel hafif mühendislik ve dış mekan uygulamaları için umut verici olduğunu ve enerji ve ses emme uygulamaları içinde düşünülebileceğini belirtmişlerdir (Alshammari vd., 2019).

Hamid vd. 2006 yılında polyester ve epoksi matrislerinde takviye fazı olarak kısa palmye ağacı lignoselülozik liflerini kullanarak kompozit üretmişlerdir. Elde edilen kompozitlerin morfolojisi ve mekanik özellikleri, tarama elektron mikroskopi analizi, diferansiyel tarama kalorimetrisi, dinamik mekanik analiz ve üç noktalı eğilme testleri kullanarak karakterize etmişlerdir. Epoksi bazlı kompozitler durumunda arayüzey yapışmasının daha iyi olduğunu göstermiştir. Arayüzey yapışmasını iyileştirmek için alkalın ortamındaki lignoselülozik dolgu maddesinin esterleştirilmesi asetik ve maleik anhidritler kullanarak yapmışlardır. Dolgu maddesinin kimyasal bileşiminde bir değişikliğe yol açan bu tür kimyasal modifikasyon, sadece epoksi bazlı kompozitlerin mekanik özelliklerini geliştirmeyi başardığını belirtmişlerdir (Hamid vd., 2006).

Khanam ve AlMaadeed 2013 yılında hurma lifi takviyeli geri dönüştürülmüş polimer harman kompozitlerinin incelenmesi ve hazırlanmasını araştırmışlardır. Uyumlaştırıcı olarak maleik anhidrit kullanmışlardır. Uyumlaştırıcıların kompozit üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu kompozitlerin mekanik, termal, morfolojik özellikler, su emme, kimyasal direnç özellikleri değerlendirilmiştir. Hurma lifi, geri dönüştürülmüş polimer harman matrisinin gerilme mukavemetini ve sertliğini arttırdığı gözlenmiştir. Maleik anhidrit daha fazla gelişme sağladığını ve maleik anhidrit ve palmye lifi karışımlarının erime ve kristalleştirme sıcaklıklarını etkilemediği gösterilmiştir (Khanam ve AlMaadeed, 2014).

Asim vd 2020 yılında fenolik kompozitlerde takviye edilmiş malzeme olarak çeşitli hurma lifleri (DPF) yükleme (ağırlıkça% 0,% 40,% 50 ve% 60) ile ilgili araştırma yapmışlardır. DPF ile güçlendirilmiş fenokomik kompozit, el koyma tekniği ile üretilip, kompozitlerin optimum fiber yükünü değerlendirmek için mekanik (çekme, eğilme ve darbe), morfolojik ve dinamik mekanik özellikleri karakterize edilmiştir. % 50 DPF yüklemesinin dahil edilmesinin gerilme modülünü ve darbe özelliklerini geliştirdiği ancak gerilme mukavemetini, eğilme mukavemetini ve modülünü azalttığı gözlenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu, kompozitlerde lif ve matrisin arayüzey bağlanmasını araştırılmıştır. DPF kompozitlerin depolama modülü iyileştirildiği ve % 50 DPF yükleme en yüksek depolama modülünü gösterdiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar,% 50 DPF kompozitlerin, lifler ve

matris arasında daha iyi arayüzey bağı ile daha iyi mekanik ve termal özelliklere sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Asima vd., 2020).

Koçak vd 2015 yılında kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak palmiye yaprağı liflerini çalışmalarında kullanmışlardır. Sentetik liflere alternatif olarak ekolojik ve ekonomik bakımdan çok önemli olan palmiye yaprağı liflerinin kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Plastik kompozitlerin palmiye yaprağı lifleri takviyesi ile üretimi mekanik özelliklerinin arttırdığını göstermişlerdir. Polimer nano-kompozitlerde palmiye yaprağı liflerinin takviye olarak nasıl kullanılabileceği konusu tartışılmadan önce farklı yüzey modifikasyon yöntemlerini açıklamışlardır. Modifiye edilmiş palmiye yaprağı lifleri ile üretilen plastik kompozitlerde mekanik ve termal özelliklerin geliştiğini vurgulamışlardır (Kocak ve Mıstık, 2015).

Cao vd 2016 yılında turba külünden endüstriyel atık olarak elde edilen yeni bir tip polimer kompoziti sentezlemişlerdir. Değişen karıştırma oranlarında yüksek yoğunluklu polietilene (HDPE) ilave edilmiştir. Elde edilen ürünler fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), tarayıcı elektron mikroskopisi (SEM), eriyik akış indeksi (MFI), yoğunluk gibi deneyler kullanılarak karakterize edilmiştir. Çeşitli kül yüklemelerinin etkileri ve maleik anhidrit aşılanmış yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE-g-MA) uyumlaştırıcısının kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Turba külü kullanımının gerilme mukavemetini ve eğilme modülünü önemli ölçüde arttırdığı ve aynı zamanda hammadde maliyetini de azalttığı gözlenmiştir. Kompozit formülasyonuna (HDPE-g-MA) katılması, çekme ve eğilme özelliklerinde daha fazla artışa yol açtığı gözlenmiştir. Tersine, HDPE'ye kıyasla tüm kompozitler için darbe mukavemetinde önemli bir azalma olmuştur. Turba külü içeriği arttıkça, etki gücü genellikle azaldığını ve mikroyapısal analizler, yüzey işleme tabi tutulmuş turba külü partiküllerinin, yoğun polimer / turba külü teması gözlemlendiğinden HDPE matrisine iyi bir şekilde dahil edildiğini göstermiştir. Kompozitlerin eriyik akış indeksi, turba külü içeriğindeki artışla önemli ölçüde azalmıştır. Turba külü kompozitleri üzerinde önemli bir su alım etkisi tespit edilmemiştir, bu da bu malzemelerin darbe dayanımının kritik bir faktör olmadığı uygulamalarda HDPE için doğrudan bir yedek olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, turba külü kullanımı, HDPE'ye kıyasla kompozit yoğunluğunu arttırdığını göstermiştir (Cao vd., 2016).

Hietala vd. 2017 yılında turba alanlarında vejetasyonun eksik bozulmasından oluşan organik madde olan turbayı, biyokompozit üretiminde linyoselülozik hammadde olarak incelemişlerdir. Değişen ayrışma derecesine sahip turba yosunları, yani hafifçe ayrışmış turba (H2) ve orta derecede ayrışmış turba (H6), ekstrüzyon kullanılarak ağırlıkça% 50 turba içeriği içeren turba-polipropilen (PP) kompozitleri hazırlamak için kullanılan farklı partikül boyutu fraksiyonlarına öğütülüp Turba-PP kompozitlerin döngüsel donma-çözülme şartlandırılmasından önce ve sonra nem emme ve boyutsal kararlılığın yanı sıra mekanik özellikler ve mikro yapı analiz edilmiş ve referans ahşap-plastik kompozit (WPC) ile karşılaştırılmıştır. Turba-PP kompozitlerin mekanik özellikleri, donma-çözülme şartlandırılmasından önce referans WPC'nin özelliklerinden daha iyi olduğu gözlenmiştir. Özellikle daha yüksek ayrışma derecesine sahip turba kullanıldığında (H6), turba-PP kompozitlerin mekanik kalıcılığı

geliştirilmiştir. Benzer şekilde, nem emilimi ve boyutsal stabilite özellikleri de, kullanılan turba ayrıştığında geliştirilmiştir. Partikül büyüklüğü, turba ayrışım derecesi kadar kompozit özellikleri etkilemese de, orta derecede ayrışmış turba ile turba-PP kompozitinin boyutsal stabilitesi, daha küçük partikül boyutlu turba ile daha iyi olmuştur (Hietala vd., 2017).

Adeniyi vd 2019 yılında hindistan cevizi lifi ve Hindistan cevizi lifi takviyeli polimer kompozitleri hakkında güncel bilgi vermek için derleme hazırlamışlardır. Hindistan cevizi lifleri ile güçlendirilmiş farklı matrislerin hazırlanması ve üretimi ile bu kompozitlerin mekanik yapısal ve termal özellikleri birkaç araştırmacı tarafından incelenmiş ve bu derlemede açıklanmıştır. Hindistan cevizi liflerini modifiye etmek için kullanılan başlıca tedavi teknikleri de bu çalışmada tartışılmıştır (Adeniyi vd., 2019).

Chowdari vd 2020 yılında doğal elyaf takviyeli polimer kompozitlerin ısı iletkenliği, özgül ısı ve ısı yayılımı gibi sıcaklığa bağlı özelliklerin anlaşılması, ısı iletim/yalıtım kapasitelerinin belirlenmesinde önemli olmasından dolayı epoksi esaslı hibrit kompozitler, ısı yalıtımını iyileştirmek için areca ve hindistan cevizi kabuğu tozunun (CSP) güçlendirilmesi ile üretmişlerdir. İki takviye, 1:1, 1:3 ve 3:1 gibi farklı ağırlık oranları ve toplam ağırlıkça% 10-40 fiber yükü ile birlikte ilave edilmiştir. Ağırlık oranı ve lif yüklemesinin, areca-CSP ile güçlendirilmiş epoksi kompozitlerin yoğunluk, su emme, termal iletkenlik, özgül ısı ve termal yayılma özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, hibrit kompozitlerin yoğunluğunun, termal iletkenliğinin ve özgül ısısının, fiber yüklemesinde artışla azaldığını ortaya koymuştur. Diğer taraftan, melez kompozitin su emiliminin lif yüklemesi ile arttığı gözlenmiştir (Chowdari vd., 2020).

Singh vd 2013 yılında farklı tanecik boyutunda hindistan cevizi kabuğu tozu (CSP) kullanarak ve farklı hacimde takviye edici bir polimer matris kompozit (Epoksi reçine) geliştirmeyi ve sonuçtaki kompozitlerin mühendislik uygulamasının yanı sıra gerilme mukavemetini, eğilme özelliğini ve hidrofilik davranışını değerlendirmeyi rapor etmişlerdir (Singh vd, 2013).

Bulut vd 2011 yılında doğal lif takviyeli biyokompozit malzeme üretmişlerdir. Doğal lif takviyeli biyokompozit malzemenin iç yapılarını, mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Üretim yöntemini ara yüzey modifikasyonu ile açıklamışlardır. Polimer matris malzemeleri ve sisal, keten, kenevir lifleri arasındaki ara yüzey ilişkileri araştırılmıştır. Lif modifikasyonunu alkali işlem, bağlayıcı madde ile modifikasyon, asetilasyon ve aşırı kopolimerizasyonu başlıklarıyla ve matris modifikasyonu incelemişlerdir (Bulut ve Erdoğan, 2011).

Elanchezhiana vd. 2016 yılında takviye malzemesi olarak abaka, jüt ve sisal, matris olarak polimerleri kullanarak biyokompozitler üretmişlerdir. Üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Doğal liflerin gerilme, eğme ve darbe dayanımları gibi mekanik özelliklerini incelemişlerdir. En iyi mekanik özelliğe sahip olan lifin abakada olduğu, en iyi eğilme dayanımı jütte olduğu ve en yüksek sertliğin sisalde olduğunu gözlemlemişlerdir (Elanchezhiana vd, 2016).

2.2. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla farklı malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan bir malzemedir (Srinivasulu ve Tejaswi, 2012). Makro veya mikro ölçekte malzemelerin birleştirilmesiyle elde edilen bu malzemeler yüksek mukavemet ve rijitlik, yüksek sıcaklık kapasitesi, iyi elektrik ve ısı iletkenliği, iyi aşınma ve korozyon direnci, hafiflik vb. özelliklere sahip olabilmektedirler. Fakat bu özellikler aynı anda meydana gelmemekte ve bu gereksinime ihtiyaç bulunmamaktadır. Uygulama alanlarının gereksinim duyduğu özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilebilmektedir (Şahin, 2015).

Kompozit malzemelerin avantajlarıyla beraber zor üretim, yüksek maliyet, gerekli yüzey kalitesinin elde edilememesi, kırılma uzamalarının az olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Şahin, 2015).

Kompozit malzemeler; matris malzemeleri, takviye elemanları ve katkı malzemelerinden oluşmaktadır. Genellikle takviye malzemesi olarak fiber ve onu çevreleyen matris malzemesi kullanılmaktadır. Takviye malzemesi, kompozite rijitlik ve dayanım özelliği sağlayarak malzeme üzerine gelen yükü taşımaktadır. Hafiflik, mukavemet, elektrik ve ısı iletkenliği gibi özellikler dikkate alınarak takviye malzemesi seçimi yapılmaktadır (Bulut ve Erdoğan, 2011). Matris malzemesi; kompozit malzemeyi bir arada tutarak kompozit malzemeye şeklini verir. Matris malzemesinden; yüksek tokluk ve darbe dayanımı, yüksek mukavemet, takviye edilen malzeme ile iyi bağ oluşturma, yüksek elastik uzama, düşük ısı iletkenlik, kullanım sıcaklığında düşük sürünme, yüksek kayma mukavemeti, düşük nem emme, kimyasallara ve çözücülere dayanım, düşük çekme oranı, uzun raf ömrü, hızlı kür etme/katılaşma, kür etme sıcaklığının kullanım sıcaklığından çok yüksek olması, düşük öz kütle ve fiyat gibi özellikler istenmektedir (Pala, 2015). Matris malzemesi seçiminde lifler arasında gerilimin sağlaması, liflerin ortam etkileri, oksidasyon, korozyon ve darbelerden korunması önemlidir (Bulut ve Erdoğan, 2011).

2.3. Kompozit Malzemelerin Tarihi ve Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin ilk örnekleri antik çağlara dayanmaktadır. Antik çağlardan itibaren insanlar kırılğan malzemelerin içerisine hayvansal veya bitkisel kaynaklı lifler ilave ederek kırılğan malzemeleri güçlendirmeyi amaçlamışlardır. Kerpiç, bunun en eski örneğidir. Saman ve sapların çamur içine eklenip karıştırılmasıyla dayanımı yüksek malzeme elde edilmiştir. Bu malzemenin kullanılmasıyla beraber insanlar dayanıklı barınak yapmışlardır. Zamanla kompozit malzemenin avantajları anlaşılıp, kullanım alanı artmıştır (Pala, 2015).

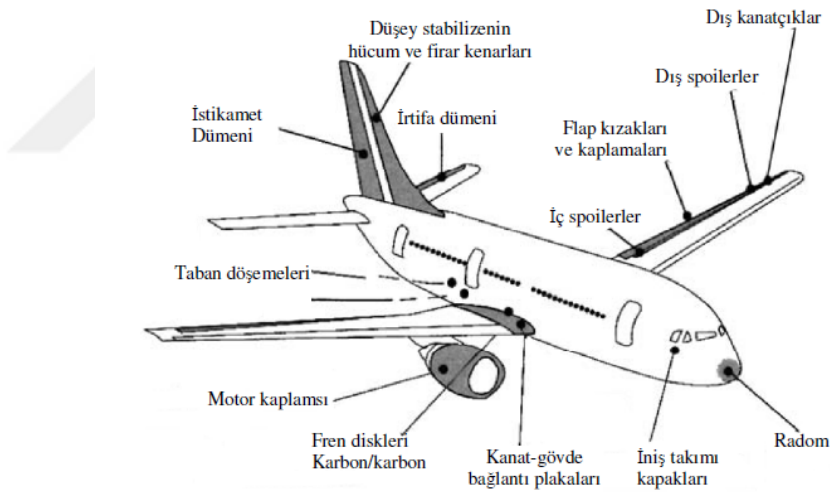
Günümüzde kullanılan modern kompozitler olarak adlandırılan kompozitlerin kullanımı, Owens Corning şirketi çalışanı olan bir mühendisin 1930 yılında cam elyafını bulmasıyla beraber 1937'de Amerika Birleşik Devletleri'nde satışıyla başlamıştır. İlk zamanlar eriyik camın çekilmesiyle

elde edilen cam elyaflar, yalıtım malzemesi olarak kullanılmıştır. Zamanla cam elyafların yapısal alanlarda kullanımı artmıştır.

İlk modern sentetik plastikler 1900'lerde geliştirilmiştir. Kolay şekillendirilebilme, yüksek yüzey kalitesi, korozyon dayanımı gibi özelliklere sahip olmasından dolayı plastiklerin kullanımı artmıştır. Düşük dayanıklılık ve sertlik özelliklere sahip olan plastikler, yapısal uygulamalarda zayıf kalmıştır. Bu özellikler plastiklerin güçlendirilmesi ihtiyacına neden olmuştur. Bu ihtiyaç cam elyafla plastiklerle denemesine neden olmuştur. Elde edilen bu malzeme havacılık endüstrisinin ilgisini çekmiştir (Strong, 2006).

Kompozit malzemelerdeki gelişmeler 1960'lı yıllara kadar sınırlıdır. Bu yıllardan sonra dayanıklı, sağlam, hafif malzeme ihtiyacı ile beraber araştırma ve geliştirme hızlanmıştır. Havacılık, otomotiv, denizcilik, enerji ve inşaat sektörleri, spor malzemeleri ve ev eşyaları gibi bir çok alanda kompozit malzeme kullanımı artmıştır. Kompozit malzeme üretim teknolojisindeki gelişmeler ve daha ucuz hammadde maliyetleriyle beraber kompozit malzeme kullanım alanı daha fazla genişlemiştir (Pala, 2015).

Günümüzde kompozit endüstrisi; otomotiv, denizcilik, petrol ve spor endüstrileri, havacılık ve uzay sanayisi gibi büyük bir alana sahiptir.



Şekil 2.1. Airbus şirketinin A320 uçağında kullanılan kompozit parçalar (Gay vd., 2003).

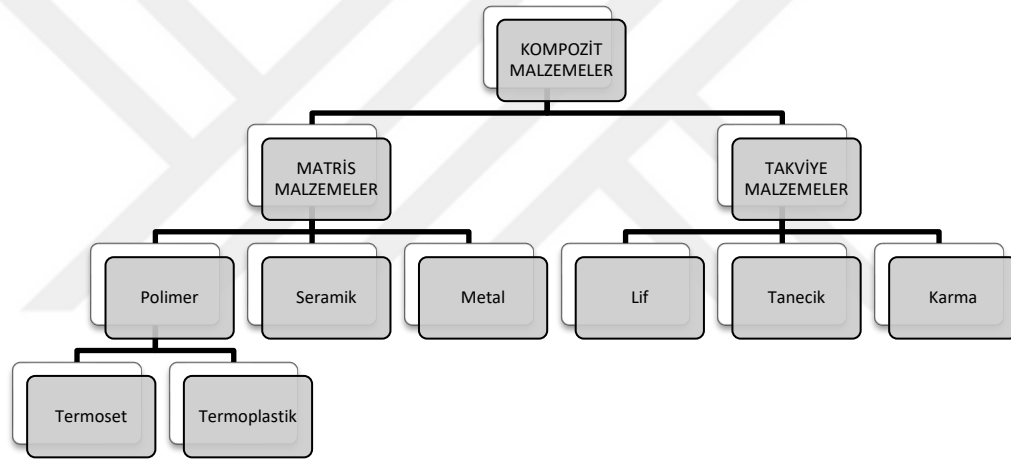
Elektriksel yalıtım özellikleri sebebiyle elektrik ve elektronik sektöründe; televizyon parçaları, dikiş makineleri, saç kurutma makinelerinde kompozit malzemeler tercih edilmektedir. Otomotiv endüstrisinde; kaporta, motor elemanları, kabin içi parçaları, fren diskleri, tampon ve lastiklerde tercih edilmektedir. Esnek ve kolay tasarım özelliği, yüksek yalıtım kapasitesi, nakliye ve montajda sahip olduğu avantajlardan dolayı inşaat sektöründe; soğuk hava depoları, paneller, inşaat kalıpları, cephe korumalarında tercih edilmektedir. Çevresel etkenlere dayanım özellikleri sebebiyle şehircilikte; elektrik direkleri, heykel, banklar, gişeler, kabinler, büfeler ve otobüs duraklarında kompozit

malzemeler tercih edilmektedir. Kompozit malzemeler, performansın önem teşkil ettiği birçok ürün ve alanda pazar paylarını zamanla arttırmaktadır (Strong, 2006).

2.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler; matris malzemeleri, takviye elemanları ve katkı malzemelerinden oluşmaktadır. Genellikle takviye malzemesi olarak fiber ve onu çevreleyen matris malzemesi kullanılmaktadır (Bulut ve Erdoğan, 2011).

Kompozit malzemeler matris türüne göre; polimer esaslı kompozitler, metal esaslı kompozitler ve seramik esaslı kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır. Takviye türüne göre; lif takviyeli kompozitler, tanecik takviyeli kompozitler ve karma (Hibrit) kompozit malzemeler olarak olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.2. Kompozitlerin sınıflandırılması (Özdemir, 2019).

Bu tez çalışmasının konusu, doğal lif takviyeli polimer kompozit malzemelerin ekstrüzyon yöntemi ile üretimi ve karakterizasyonudur. Bu nedenle literatür incelemesi doğal lif takviyeli polimer kompozit malzemeler ve ekstrüzyon yöntemi üzerinde yoğunlaştırılmıştır.

2.4.1. Matris Malzemeleri

Matris malzemesi; kompozit malzemeyi bir arada tutarak kompozit malzemeye şeklini vermek, çevre faktörlerinin neden olabileceği kimyasal ve fiziksel etkilere karşı malzemenin korunmasını sağlamak, kompozit malzemeye gelen kuvveti takviye malzemesine iletme gibi görevlere sahiptir. Takviye elemanlarının görevlerini yerine getirmesi konusunda matris malzemesinin seçimi ve matris malzemesinin sahip olduğu mekaniksel özellikler önem taşımaktadır (Yıldızhan, 2008).

Matris malzemesinden; yüksek tokluk ve darbe dayanımı, yüksek mukavemet, takviye edilen malzeme ile iyi bağ oluşturma, yüksek elastik uzama, düşük ısı iletkenlik, kullanım sıcaklığında düşük sürünme, yüksek kayma mukavemeti, düşük nem emme, kimyasallara ve çözücülere dayanım, düşük çekme oranı, uzun raf ömrü, hızlı kür etme/katılaşma, kür etme sıcaklığının kullanım sıcaklığından çok yüksek olması, düşük öz kütle ve fiyat gibi özellikler istenmektedir (Pala, 2015).

Kompozit malzemede takviye malzemesi olan lifin yönlenmesine dik olan dayanım, matris malzemesinin sahip olduğu mekanik özelliklerine ve lif ile matris malzemesinin arasındaki bağ kuvvetlerine bağlıdır. Bu özellik kompozit malzemenin mukavemetini belirlemektedir. Kompozit malzemede kullanılan matris malzemesi lif malzemesine göre zayıf ve esnek özelliklere sahiptir. Bu nedenle kompozit malzemesi tasarımında bu özellikler dikkate alınmalıdır (Bodur, 2016).

Kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak; seramikler, metaller ve polimerler kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasının konusu, doğal lif takviyeli polimer kompozit malzemeler olduğu için literatür incelemesi polimer matris üzerinde yoğunlaştırılmıştır.

2.4.1.1. Polimer Matrisler

Matris malzemesi olarak polimer (polyester, epoksi gibi) ve takviye malzemesi olarak fiberlerden(aramid, grafit gibi) oluşan Polimer Matrisli Kompozitler (PMC), yaygın kullanılan ileri kompozit malzemedir. Polimer Matrisli Kompozit (PMC) malzemelerin yaygın kullanılmalarının nedeni; maliyetinin düşük, mukavemetinin yüksek ve üretimin basit olmasıdır.

Polimer malzemeler; plastiklerle çoğunlukla ekstra işlem yapılmadan karmaşık parça geometrilerinin kalıplanabilmesi, metal malzemelerin maliyetlerine göre daha düşük olması, elektrik ve ısı iletkenliğinin düşük olması, korozyon direncinin yüksek olması, metal ve seramik malzemelerle karşılaştırıldığında daha az yoğunluğa sahip olması gibi özelliklere sahip olduğu için teknik olarak önemlidir.

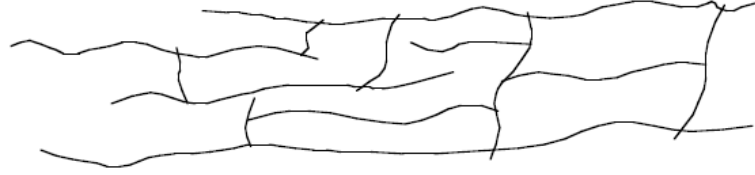
Polimer Malzemelerin; metal ve seramik malzemelerle karşılaştırıldığında dayanımı daha az, düşük elastiklik modülü, düşük sıcaklık, yükleme şartlarının sınırlı olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Özdemir, 2019).

Kompozit malzemelerde kullanılan polimerler; termoset ve termoplastik malzemeler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

2.4.1.1.1. Termoset Polimerler

Termoset malzemeler kürlendikten sonra tekrar eritilip şekillendirilemezler. Şekil 2.3'te çapraz bağlama olarak adlandırılan üç boyutlu moleküler zincirler termoset malzemelerin sertleşmesi esnasında ortaya çıkmaktadır. Çapraz bağlantılar; moleküllerin esnek olmamasına ve yeniden şekillendirilmemesine sebep olmaktadır. Çapraz bağlantı sayısının artması, malzemenin sertliğini ve

termal olarak kararlılığını arttıracaktır. Kauçukların ve diğer elastomerlerin esnek olmasının nedeni çapraz bağlantıların yoğunluklarının az olmasıdır. Doğada kırılğan olan termoset malzemeler, çoğunlukla dolgu ve takviye ile beraber kullanılmaktadırlar (Mazumdar, 2002).



Şekil 2.3. Sertleşme sırasında termoset moleküllerin çapraz bağlanması (Mazumdar, 2002).

Termoset reçineler, kolay işlenebilirlik ve iyi lif emdirme sağlamaktadır. Kompozit malzemelerde kullanılan en yaygın termoset reçine malzemeleri epoksi, polyester, vinilester, fenolikler, siyanat esterler, bismaleimidler ve polimidlerdir. Tablo 2.1'de başlıca termoset reçinelerin bazı temel özellikleri gösterilmektedir (Mazumdar, 2002).

Tablo 2.1. Bazı termoset reçine özellikleri

Reçine Malzemesi	Yoğunluk (cm^3)	Elastisite Modülü (GPa)	Gerilme dayanımı (MPa)
Epoksi	1.2-1.4	2.5-5.0	50-110
Fenolik	1.2-1.4	2.7-4.1	35-60
Polyester	1.1-1.4	1.6-4.1	35-95

2.4.1.1.1. Epoksi

Epoksi reçine malzemesi, kullanımı en fazla olan termoset reçine malzeme çeşitidir. En çok tercih edilen polimer matrisi olan epoksi reçine diğer polimer matrislere göre daha pahalıdır. Epoksi reçine; metal ve metal olmayan yüzeylere iyi yapışma, iyi elektrik ve mekanik özelliğine sahiptir. Kimyasallara ve ısıya karşı direncinin yüksektir. Epoksi reçinenin başlıca görevi lifler ile ara yüzey bağı oluşturmak ve liflere yük transferi sağlamaktır (Almeida vd., 2016).

2.4.1.1.2. Fenolik

Fenolik reçine malzemesi, alkalın şartlar altında fenol formaldeitle yoğunlaştığında polimerizasyon meydana gelmektedir. Fenolik reçine malzemesi yüksek sıcaklık direnç özelliğine

sahiptir. Fakat diğer matris malzemelerinin özellikleriyle kıyaslandığında mekanik özellikleri düşüktür (Chawla, 1987).

2.4.1.1.3. Polyester

Polyester matrisler maliyetlidir. İyi korozyon direncine sahiptir. Polyesterlerin çalışma sıcaklıkları epoksilerle kıyaslandığında daha düşüktür (Mazumdar, 2002). Polyester, takviyelerin nemini dışarı atılabilmesini sağlayan düşük viskoziteye sahiptir. Fakat kür esnasında yüksek egzotermik reaksiyon, lif ve matris bağ mukavemetinin düşük olmasına sebep olmaktadır (Chawla, 1987).

2.4.1.1.2. Termoplastik Polimerler

Termoplastik matris malzemeler, termoset matris malzemelerle karşılaştırıldığında daha sünek ve daha serttir. Termoplastik ısıtılarak ve soğutularak yeniden şekillendirme özelliğine sahiptir. Termoplastik moleküller çapraz bağlanmadıkları için esnek ve yeniden düzenlenebilmektedirler (Mazumdar, 2002). Termoplastik matris malzemelerin molekülleri düz zincirli polimerler olmasından dolayı termoplastik matris malzeme ısıtıldığında yapısındaki atomlar birbirlerinin üzerine kaymaktadırlar. Termoplastik matris malzemelere uygulanan ısıtma ve soğutma işlemi ile beraber sadece fiziksel özellik değişir, kimyasal özellik değişmemektedir (Chawla, 1987). Tablo 2.2'de başlıca termoplastik reçinelerin bazı temel özellikleri gösterilmektedir (Mazumdar, 2002).

Tablo 2.2. Bazı termoplastik reçine özellikleri

Reçine Malzemesi	Yogunluk (gr / cm^3)	Çekme Modülü GPa	Çekme Dayanımı MPa
Naylon	1.1	1.3 – 3.5	55 – 90
PEEK	1.3 – 1.35	3.5 – 4.4	100
PPS	1.3 – 1.4	3.4	80
Polyester	1.3 – 1.4	2.1 – 2.8	55 – 60
Polikarbonat	1,2	2.1 – 2.8	55 – 70
Asetal	1.4	3,5	70
Polietilen	0.9 – 1.0	0.7 – 1.4	20 – 35
Teflon	2.1 – 2.3	---	10 – 35

2.4.1.1.2.1. Polipropilen (PP)

Polipropilen (PP); düşük maliyetli, düşük yoğunluklu, bir plastiktir. Tüm plastiklerin düşük yoğunluğuna (0.9 g/cm^3) sahiptir. İyi mukavemet, sertlik, kimyasal direnç ve yorulma direncine sahiptir (Mazumdar, 2002).

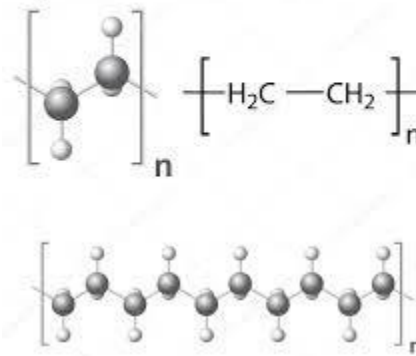
2.4.1.1.2.2. PEEK

PEEK, yüksek sıcaklıklarında kullanılabilen yeni nesil bir termoplastiktir. Karbon takviyeli PEEK kompozitler (APC-2); havacılık yapılarında gövde ve uydu parçalarında kullanılabilirler. 250 °C'de sürekli olarak kullanılabilirler. PEEK malzemesinin; cam geçiş sıcaklığı (T_g) 143 °C, kristal erime sıcaklığı 336 °C'dir. PEEK/karbon termoplastik kompozit malzemeler, iyi hasar toleransı ve iyi solvent direnci, yüksek sıcaklık kullanımı gibi özelliklerinden dolayı araştırmacılar ve uçak endüstrisi tarafından yoğun bir ilgiye sahiptir. Epoksilerden yaklaşık 10 kat daha düşük su emme özelliği vardır. PEEK esaslı kompozitlerin dezavantajlarından biri malzeme maliyetinin çok yüksek olmasıdır (Mazumdar, 2002).

2.4.1.1.2.3. Polietilen

Termoplastik malzeme olan polietilen beyaz, kokusuz, kararlı, yarı geçirgen ve kimyasal maddelere dayanıklıdır. Polietilen, etilenin polimerizasyonu ile üretilmektedir. Etilen molekülü, çift bağ ile bağlanmış iki CH_2 'den oluşmaktadır. Polimerizasyon; radikal, anyonik, katyonik polimerizasyon metotları ile olmaktadır. Her metod, farklı tip polietilen meydana getirmektedir.

Plastik endüstrisinde genelde ismi kısaca PE olarak kullanılan polietilen, adını monomer haldeki etilenden almaktadır. Bir çift hidrojen atomuyla kovalent bağ ile birleşen çift sayıdaki karbon atomlarının birbirleriyle bağlanmasıyla polietilen molekülü oluşur.



Şekil 2.4. Polietilen (Can, 2019).

Polietilen malzemesinin; polimer zincirlerinin uzunluğu ve dallanma dereceleri, kristal yapısı ve molekül ağırlığı mekanik özelliklerini belirlemektedir. Kısa zincirli yapılar kırılğan plastiklerdir. Uzun zincirli yapılar sert plastiklerdir. Polietilen malzemesinin yumuşama noktası, bulanıklık ve yağlara dayanıklılığı ile yoğunluğu doğru orantılıdır.

Polietilenin özellikleri arasında; dış ortam koşulları ve neme karşı iyi direnç, esneklik, zayıf mekaniksel kuvvet ve üstün kimyasal direnç bulunmaktadır. Düşük maliyetli ve ucuz bir polimerdir. Polietilen malzeme, mekanik özelliklerine göre; alçak yoğunluklu polietilen (LDPE), lineer alçak yoğunluklu polietilen (LLDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE) olarak çeşitli tipleri bulunmaktadır.

Farklı yoğunluklara sahip çeşitli polietilen tipleri bulunmaktadır. Kopmaya, kırılmaya ve parçalanmaya karşı direncini kaybeden yüksek yoğunluklu polietileni kalıplanma için yüksek sıcaklık ve basınç gerekmektedir. Saf etilenin 150-250 °C'de, 20.000-35.000 psi basınç altında ve oksijenin çok olduğu ortamda polimerize edilmesiyle düşük ve orta yoğunluklu polietilen üretilmektedir. Reaksiyon sıcaklığı düşerken, yoğunluk yükselmektedir.

Yüksek yoğunluklu polietilenin yoğunluğu 0,94-0,97 gr-cm³ arasındadır. Bunun sonucunda sert yapı ortaya çıkmaktadır. Alçak yoğunluklu polietilenin yoğunluğu 0,90-0,94 gr/cm³ arasındadır (Can, 2019).

2.4.2. Takviye Malzemeleri

Kompozitlerde takviye malzemesi olarak lifler ve farklı geometrilere tanecikler kullanılmaktadır. Liflerin boy uzunluğu, kesit uzunluğundan büyüktür. Tanecikli takviyelerde üç düzlemdeki boyutları arasında çok az farklılık bulunmaktadır. Takviye elemanı; kompozit yapıya gelen yükün %70 - 90'lık kısmını taşır, kompozit malzemenin dayanımını, ısıl kararlılığını ve rijitliğini sağlar, takviye malzemesine göre elektriksel iletkenliği sağlar. Takviye elemanlarının şekli, üretim yöntemine ve uygulama alanına göre belirlenmektedir. Sürekli ve uzun liflerin, yapısal uygulamalarda kullanımı tavsiye edilmektedir. Kısa liflerin; yapısal uygulamalarda, enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemleri ile üretimi olacak kompozit malzemelerde kullanımı tavsiye edilmektedir. Uzun lif takviyeli kompozit malzemeler, kısa lif takviyeli kompozit malzemelere göre daha yüksek dayanıma sahiptir (Bodur, 2016).

Bu tez çalışmasının konusu, doğal lif takviyeli polimer kompozit malzemeler olduğu için literatür incelemesi doğal lif takviye üzerinde yoğunlaştırılmıştır.

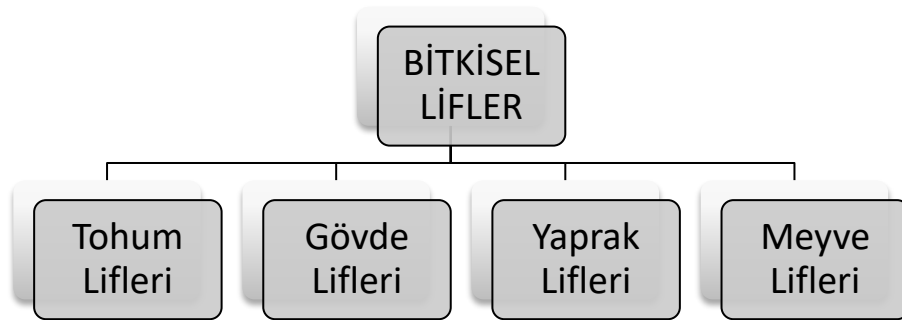
2.4.2.1. Doğal Lif Takviyeli Kompozitler

Lif takviyeli kompozitler, inşaat, uçak, otomotiv, plastik endüstrisi gibi alanlarda çoğunlukla kullanılmaktadır. Takviye lifleri genellikle kompozit malzemeyi desteklemek ve güçlendirmek için

kullanılmaktadır. Takviye lifi olarak genellikle cam, boron, karbon, aramid gibi malzemeler kullanılmaktadır. Genellikle bu malzemelerin tercih edilme nedeni, düşük yoğunlukta yüksek performans sağlamasıdır. Son yıllarda doğal ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen liflerin kompozit malzemelerde kullanımı için çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların ortak amacı; yapay liflerin yerine doğal liflere yönelmektir. Biobozunabilirliği düşük olan yapay lifler yerine biobozunabilirliği yüksek liflerin kullanılması ile kullanım sonrası çevresel problemlere sebep olmayacak yeni kompozit malzemeler geliştirmek ve yenilenebilir kaynakların kullanımına yönelmek hedeflenmiştir. Ayrıca doğal lifler, solunum ve cilt problemleri gibi sağlık sorunları bakımından cam liflerle karşılaştırıldığında zararsızdır (Bodur, 2016).

Doğal lif esaslı kompozit malzemelerde lif seçimi malzemenin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Lif türü ise yaygın olarak kaynağına göre sınıflandırılır; bitki, hayvan veya mineral. Bitki liflerinin, büyük yapısal bileşenleri selüloz içerir. Hayvan lifleri ise protein içermektedir (Shah vd., 2014). Geri dönüştürülebilir ve sürdürülebilir bir malzeme türü olan selülozik esaslı liflerden düşük yoğunluk, yüksek tokluk ve mukavemet performansı sunan malzemeler üretilebilmektedir (Cao ve Wu, 2008). Dünyada kompozit malzeme endüstrisinde selülozik esaslı doğal liflerin kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılması konusundaki çalışmalar artmaktadır. Polimer kompozit malzemelerde, selülozik esaslı doğal lifli ürünler kullanılarak yayılan CO₂(karbondioksit) miktarı seviyesi düşürülür. Atık bitkisel liflerin hammadde olarak kullanılabilirliği konusundaki çalışmaların artması ile atık bitkisel liflerin geri dönüşüm ürünleri sınıfına girmesini sağlamaktadır (Evren, 2013).

Şekil 2.5'te doğal lif takviyeli kompozit malzeme üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan bitkisel liflerin sınıflandırılması gösterilmektedir. Bitkisel lifler; gövde lifleri, yaprak lifleri ve meyve lifleri olarak sınıflandırılmaktadırlar (Karaman, 2019).



Şekil 2.5. Bitkisel liflerin sınıflandırılması(Karaman, 2019).

Bitkisel liflerin kompozit malzeme olarak kullanımında birçok avantajı bulunmaktadır. Takviye malzemesi olarak kullanılan bitkisel lifler; biyolojik olarak parçalanabilir, geri dönüştürülebilir, yüksek özgül mukavemet, düşük özgül ağırlık özelliğine sahiptir. Bitkisel liflerin üstün özelliklerine

sahip olmasıyla beraber özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan cam liflerine alternatif lif kaynağı olarak değerlendirilmektedirler (Karaman, 2019).

Pamuk, kompozit malzeme üretiminde bitkisel lif olarak kullanılır. Pamuk lifinin kimyasal yapısında; selüloz, hemiselüloz, protein ve anorganik maddeler bulunmaktadır. Pamuk lifinin yapısında %90'nın üstünde selüloz bulunmaktadır. Bu nedenle selülozun kimyasal özelliklerini göstermektedir (Karaman, 2019).

Keten, yüksek çekme dayanımı, titreşim emme , çevre dostu , yüksek su emme ve ultra-ışınları bloklaya özelliğine sahiptir (Özdemir, 2019).

Kabak, kompozit malzemelerde kullanılmaktadır. Kabak fiber iplikleri yapısında; %50–62 a-selüloz,%20–28 hemiselüloz ve % 10–12 lignin içermektedir. Kabak lifleri, ses yalıtımında kullanılması için önemli malzemelerdir. Kompozit malzemede kabak liflerinin ses yalıtımında kullanılmasının iyi bir gelişme olduğu araştırmalar ile belirtilmiştir (Özdemir, 2019).

Jüt lifi, kuruyan yapraklardan çürütme metodu yardımıyla elde edilmektedir. Jüt liflerinin boyları 18-25 cm arasındadır. Jüt bitkisinin mukavemet değeri keten ve kenevirden düşüktür (Karaman, 2019).

Sisal liflerinin boyu 100 cm'e kadar ulaşmaktadır. Sisal liflerinin kimyasal yapısında en fazla miktarda selüloz bulunmaktadır. Sisal lifleri nemi rahatlıkla bünyelerine çekmektedirler. Sisal lifleri, deniz suyuna karşı dayanıklı ve esneme kabiliyetleri iyidir (Karaman, 2019).

Bu tez çalışmasında, doğal lif takviyeli polimer kompozit malzeme üretiminde palmiye, hindistan cevizi ve turba kullanılacaktır. Bu nedenle literatür incelemesi; palmiye, hindistan cevizi ve turba üzerinde yoğunlaştırılmıştır.

2.4.2.1.1. Palmiye

Palmiye, Palmae/Arecaceae ailesine aittir. Palmiye bitkisinin; dallanmamış gövde, tüysü veya el ayası formunda belirgin paralel damar veya dallanmalar gösteren yapraklardan meydana gelen bir taca sahip olması ayırtıcı özelliktir. Palmiye ağacı uzun bir gövdeye sahiptir ve 30 metreye kadar uzayabilmektedir. Etrafı yapraklarla çevrilidir. Palmiye ağacı gövde ve yapraklardan oluşmaktadır (Karaman, 2019).

Palmiye ağaçları çok fazla türe sahiptir. Palmiye ağacı süs ağacı olarak kullanım özelliğine sahiptir. Bu özellik palmiye ağacını diğer ağaçlardan ayırmaktadır. Palmiye ağaçları, ülke ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır. Genellikle akdeniz iklimi ve tropikal bölgelerde yetiştirilirler (Karaman, 2019). Türkiyede yol ağacı olarak kullanılan Palmiye -Washingtonia robusta Şekil 2.6 da görülmektedir (Evren, 2013).



Şekil 2.6. Palmiye -Washingtonia robusta (Evren, 2013).

2. 4.2.1.2.Hindistan cevizi (koko lifi)

Hindistan cevizi ağacı, palmiyeye aittir. Hindistan cevizi meyvesinin üstündeki lifli yapılara koko lifi denilmektedir. Koko lifi, hindistan cevizi meyvesinin akarsularda 6 ila 12 ay boyunca bekletilmesi ile elde edilmektedir. Bu süreçte meyve üzerindeki topraklı yapı yok olur ve lifler ayrılır. Koko lifleri, yüksek suya dayanım özelliğine sahiptir (Karaman, 2019).



Şekil 2.7. Hindistan cevizi ve lifi oluşturan meyvesi (Megep, 2006).

2.4.2.1.3. Turba

Turba, dünyanın birçok yerinde bataklıklarda bitki biyokütlesinin eksik ayrışması sonucu oluşan organik maddedir. Turba hidrofobik özelliklere sahip olduğu için bir lignoselülozik malzemedir. Turbanın kalitesi ve bileşimi; turbanın derinliğine, yaşına, turba alanlarının drenaj rejimine ve bitki maddesine bağlı olarak değişmektedir. Turbalarda çeşitli boyutlarda selüloz, hemiselüloz ve lignin bulunmaktadır. Turba kompozit malzeme için ilgi duyulan bir malzemedir. Turbanın hidrofobik yapısından dolayı hidrofobik termoplastiklerle yapışmayı geliştirmekle beraber ve daha az neme duyarlı malzemelere yol açabilir (Hietala vd., 2017).



Şekil 2.8. Turba (2020,05,19).

2.5. Kompozit Üretim Yöntemleri

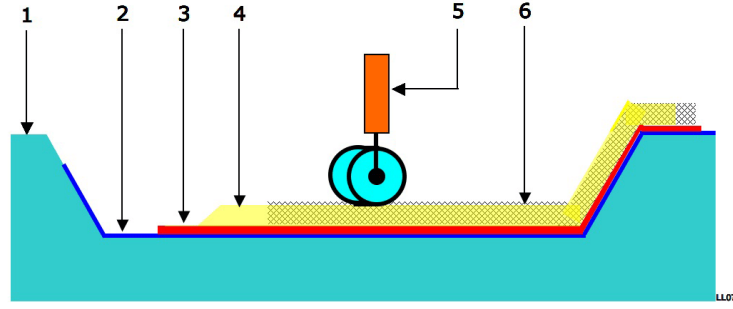
Genellikle kompozit üretiminde yöntemler;

- El ile yatırma
- Püskürtme
- Elyaf sarma
- Reçine transfer kalıplama (RTM / reçine enjeksiyonu)
- Profil çekme
- Hazır kalıplama (SMC, BMC)
- Otoklav
- Vakum destekli reçine infüzyon tekniği (VDRİT) (İlik, 2018).

Bu tez çalışmasının üretim aşamasında ekstrüzyon ve enjeksiyon yöntemi kullanılmıştır.

2.5.1. El ile Yatırma Yöntemi

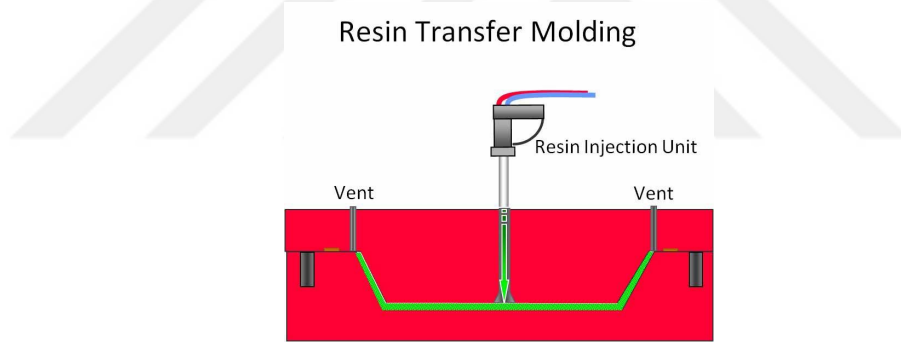
El ile yatırma yöntemi, kompozit malzeme üretmek amacı ile kullanılan en yaygın yöntemdir. Genellikle takviye elemanı olarak; keçe, dokuma şeklinde olan lifler kullanılmaktadır. El ile yatırma yönteminde kullanılan matris malzemesi genellikle polyester ve epoksidir. En çok kullanılan takviye malzemelerinden biri cam liftir (Özdemir, 2019). Bitmiş ürünün kalıptan düzgün olarak çıkarmak amacı ile kalıba genellikle balmumu veya sıvı formda bir ayırma maddesi uygulanır. Reçine, sertleştiricisi ile karıştırılıp yüzeye uygulanır. Cam lifi kalıba serilir. Fazla reçine rulo yardımıyla eklenir. Cam lifi ile kalıp arasında hava olmamalıdır. Tüm katmanların reçineyle kaplanması ve hava boşluğu olmaması için merdane kullanılır (Bildirici, 2014). Düşük yatırım maliyeti, üretim sırasında müdahale edilebilir olması yöntemin avantajları arasındadır (Özdemir, 2019).



Şekil 2.9. El ile yatırma yöntemi (Bildirici, 2014).

2.5.2. Reçine Transfer Kalıplama (RTM)

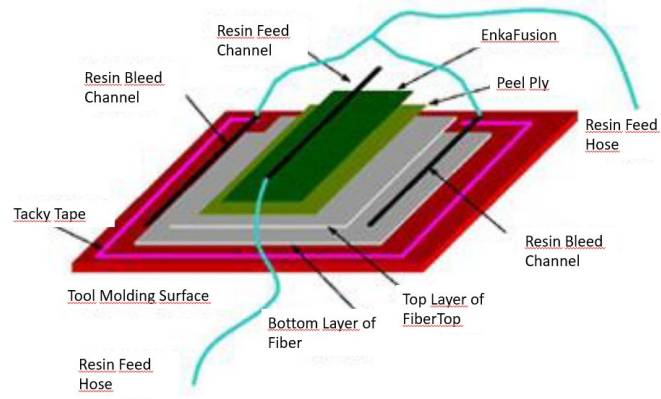
Reçine transfer kalıplama yönteminde, düşük viskoziteli reçine, lif içerisine düşük basınç ile kapalı kalıp içine enjekte edilmektedir. Reçinenin enjektisi bittikten sonra kürlenmesi için bırakılır. Yüksek sıcaklıkta ya da oda sıcaklığında sertleştirme sağlanır. Reçine transfer kalıplama yönteminde; elle yatırmaya göre maliyeti daha düşük, otomasyona uygun olması gibi avantajları vardır (Özdemir, 2019).



Şekil 2.10. Reçine transfer kalıplama (Bildirici, 2014).

2.5.3. Vakumla Kalıplama Yöntemi

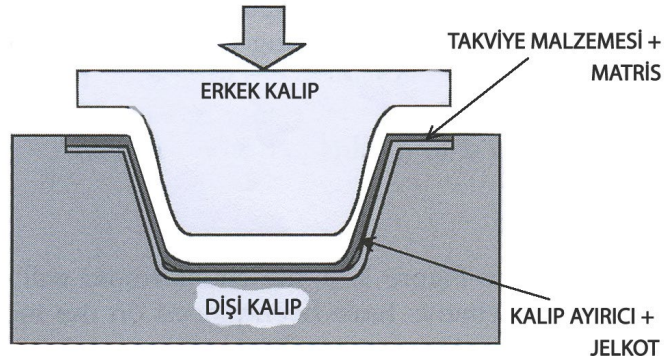
Vakumla kalıplama yöntemi yaygın bir yöntemdir. Reçine, lif takviye malzemesinin üzerine vakum kullanılarak eklenir. Takviye malzemesi kalıba kuru olarak serilmektedir. Reçine eklenmeden önce vakum işlemi gerçekleştirilir. Vakum sağlandığında reçine, besleme tüpü yardımıyla laminatın içine emilir. Kurulumu basit bir yöntemdir (Bildirici, 2014).



Şekil 2.11. Vakumla Kalıplama Yöntemi (Bildirici, 2014).

2.5.4. Pres (basınçlı) kalıplama yöntemi

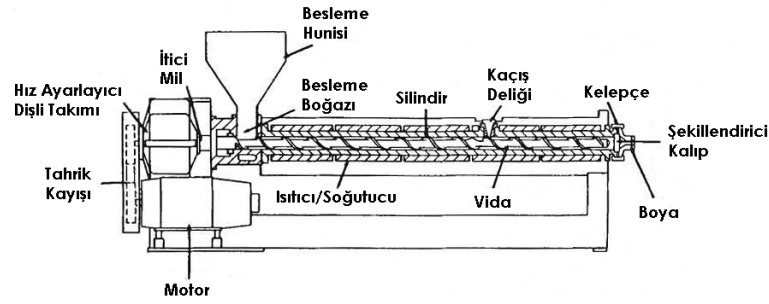
Malzemenin kalıptan sorunsuz çıkması ve yüksek yüzey kalitesi için kalıp yüzeyine jelkot ve kalıp ayırıcı eklenir. Karıştırılmış matris ile takviye malzemesinin kalıp boşluğuna yerleştirilir. Basınç ve ısı yardımıyla üzerine erkek kalıp gelerek şekil verilir (Sönmez, 2009).



Şekil 2.12. Pres (basınçlı) kalıplama yöntemi (Sönmez, 2009).

2.5.5. Enjeksiyon Yöntemi

Enjeksiyon yöntemi, küçük lif takviyeli kompozit malzemeleri üretmek için kullanılabilir. Plastik enjeksiyon bölümünde sürekli dönen vida aracılığı ile matris ve takviye malzemeleri homojen karıştırılır (Özdemir, 2019).

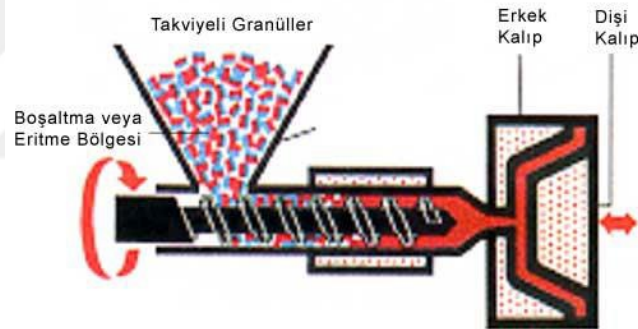


Şekil 2.13. Enjeksiyon yöntemi (Sönmez, 2009).

2.5.6. Ekstrüzyon Yöntemi

Dönerek ilerleyen mil yardımıyla ekstrüder içinde eritilmiş olan polimer ve takviye malzemesi sıkıştırılmaktadır. Bu yöntem ile düz şekilli ve sürekli ürün elde edilir. Eğer karmaşık şekilli ürün elde etmek istenirse enjeksiyon yöntemleri kullanılabilir (Can, 2019).

Plastik ürün üretiminde % 30 yaklaşık bu yöntemle üretilmektedir. Ekstrüzyon makineleri; tek vidalı ve çift vidalı olarak çeşitleri mevcuttur. Homojen karışım elde etmek için çift vidalı ekstrüder kullanılabilir (Ulutaş, 2019).

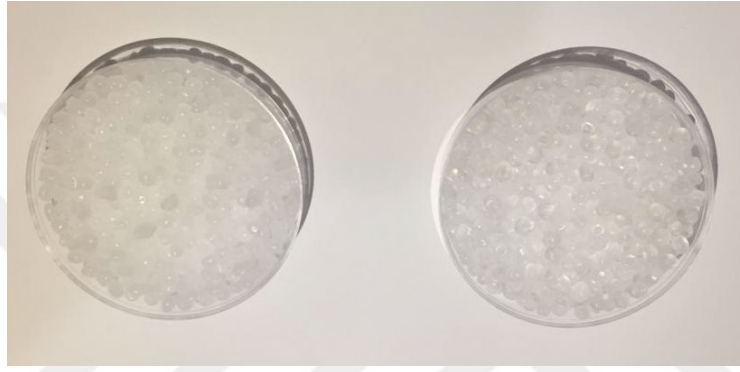


Şekil 2.14. Ekstrüzyon yöntemi (Can, 2019).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Kompozit Malzemelerin Hazırlanması

Yüksek lisans tez çalışmasında doğal lif takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde matris malzemesi olarak polipropilen ve düşük yoğunluklu polietilen, takviye malzemesi olarak hindistan cevizi kabuğu, turba ve palmiye lifi kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak kullanılan hindistan cevizi kabuğu, turba ve palmiye lifi 3 farklı boyutta ve 3 farklı oranda (%5, %10, %15) kullanılmıştır. Elde edilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri araştırılmıştır.



(a)

(b)

Şekil 3.1. (a) Polipropilen, (b) Düşük yoğunluklu polietilen



(a)

(b)

(c)

Şekil 3.2. (a) Palmiye lifi, (b) Hindistan cevizi kabuğu lifi, (c) Turba

Hindistan cevizi kabuğu lifi, turba ve palmiye için bilyalı değirmen kullanılarak 1000 rpm’de 3 dakika boyunca öğütme işlemi yapılmıştır. Öğütme işleminden sonra elde edilen tozlar, 400 µm, 200 µm, 100 µm elekten geçirilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 3.3. (a)Bilyalı Değirmen (b) Titreşimli Elek

Tozların içindeki nemi almak için 80°’de 4 saat etüvde bekletilmiştir.



Şekil 3.4. Etüv

3.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi

Kompozit malzemelerin üretiminde ekstrüzyon ve enjeksiyon yöntemi kullanılmıştır. Şekil 3.5’de gösterilen vida çapı $D=16$ mm, vida boy/çap oranı $(L/D)=40$ özelliğine sahip Gülнар marka çift vidalı ekstrüder kullanılarak kompozit malzemeler (takviye malzemesi olarak ağırlıkça %5 ve %10 ve %15 oranlarında 3 farklı boyutta palmye, turba, hindistan cevizi kabuğu lifi ve matris malzeme olarak polipropilen ve polietilen) elde edilmiştir.



Şekil 3.5. Çift Vidalı Ekstrüzyon Makinesi

Takviye ve matris malzemeler besleme alanından 350 devir/dakika vida hızında ekstrüdere eklenmiştir. Ekstrüder makinesi sıcaklığı beslemeden kalıp çıkışına doğru 25, 170, 180, 180, 180 ve 170 °C'dir. Ekstrüderden çubuk formunda çıkan kompozit malzemeler granülatörde yer alan yüksek hızdaki bıçak yardımıyla granül haline getirilmiştir. Şekil 3.6'da granülatör ve granül halindeki kompozit pelet yer almaktadır.



(a)



(b)

Şekil 3.6. (a) Granülatör, (b) Kompozit Pelet

Tablo 3.1’ de deney numunelerinin bileşimi yer almaktadır.

Tablo 3.1. Deney Numuneleri Bileşimi

Deney Numarası	Matris Malzemesi	Takviye Malzemesi	Takviye Malzemesi Oranı (%)	Takviye Malzemesi Boyutu (µm)
1	Polipropilen	0	0	0
2	D.Y. Polietilen	0	0	0
3	Polipropilen	Hindistan Cevizi	5	100
4	Polipropilen	Hindistan Cevizi	10	100
5	Polipropilen	Hindistan Cevizi	15	100
6	Polipropilen	Hindistan Cevizi	5	200
7	Polipropilen	Hindistan Cevizi	10	200
8	Polipropilen	Hindistan Cevizi	15	200
9	Polipropilen	Hindistan Cevizi	5	400
10	Polipropilen	Hindistan Cevizi	10	400
11	Polipropilen	Hindistan Cevizi	15	400
12	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	5	100
13	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	10	100
14	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	15	100
15	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	5	200
16	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	10	200
17	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	15	200
18	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	5	400
19	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	10	400
20	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	15	400
21	Polipropilen	Turba	5	100
22	Polipropilen	Turba	10	100

Tablo 3.1. (Devamı)

Deney Numarası	Matris Malzemesi	Takviye Malzemesi	Takviye Malzemesi Oranı (%)	Takviye Malzemesi Boyutu (μm)
23	Polipropilen	Turba	15	100
24	Polipropilen	Turba	5	200
25	Polipropilen	Turba	10	200
26	Polipropilen	Turba	15	200
27	Polipropilen	Turba	5	400
28	Polipropilen	Turba	10	400
29	Polipropilen	Turba	15	400
30	D.Y. Polietilen	Turba	5	100
31	D.Y. Polietilen	Turba	10	100
32	D.Y. Polietilen	Turba	15	100
33	D.Y. Polietilen	Turba	5	200
34	D.Y. Polietilen	Turba	10	200
35	D.Y. Polietilen	Turba	15	200
36	D.Y. Polietilen	Turba	5	400
37	D.Y. Polietilen	Turba	10	400
38	D.Y. Polietilen	Turba	15	400
39	Polipropilen	Palmiye	5	100
40	Polipropilen	Palmiye	10	100
41	Polipropilen	Palmiye	15	100
42	Polipropilen	Palmiye	5	200
43	Polipropilen	Palmiye	10	200
44	Polipropilen	Palmiye	15	200
45	Polipropilen	Palmiye	5	400
46	Polipropilen	Palmiye	10	400

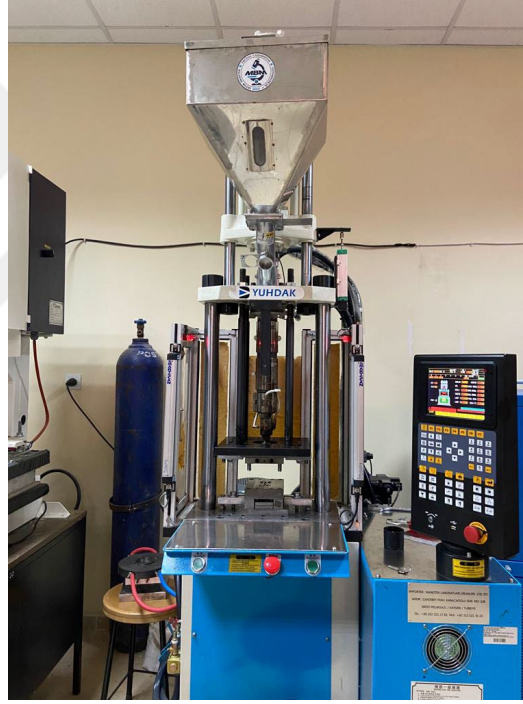
Tablo 3.1. (Devamı)

Deney Numarası	Matris Malzemesi	Takviye Malzemesi	Takviye Malzemesi Oranı (%)	Takviye Malzemesi Boyutu (µm)
47	Polipropilen	Palmiye	15	400
48	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	100
49	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	100
50	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	100
51	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	200
52	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	200
53	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	200
54	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	400
55	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	400
56	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	400
48	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	100
49	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	100
50	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	100
51	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	200
52	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	200
53	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	200
54	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	400
55	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	400
56	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	400
48	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	100
49	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	100
50	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	100
51	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	200
52	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	200

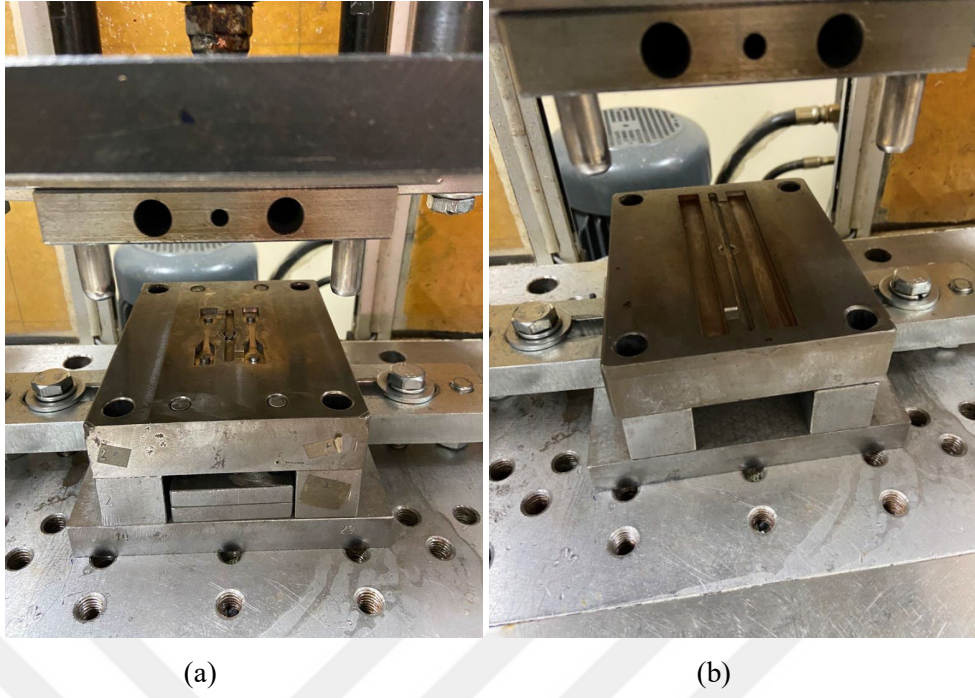
Tablo 3.1. (Devamı)

Deney Numarası	Matris Malzemesi	Takviye Malzemesi	Takviye Malzemesi Oranı (%)	Takviye Malzemesi Boyutu (μm)
53	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	200
54	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	400
55	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	400
56	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	400

Üretimin diğer adımında granül halinde elde ettiğimiz kompozit malzemeleri kullanarak çekme ve darbe test numunelerini standartlara uygun boyutlarda elde etmek amacı ile Şekil 3.7’de gösterilen YH-15V Yuhdak marka dikey enjeksiyon makinesi kullanılmıştır.

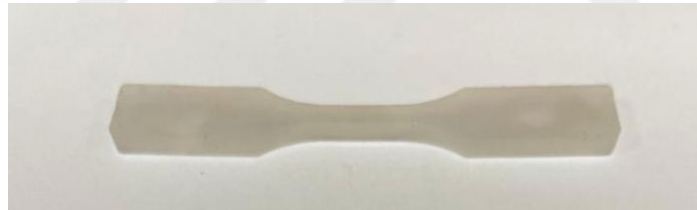
**Şekil 3.7. Dikey Enjeksiyon Kalıplama Makinesi**

Enjeksiyon makinesinde vida ve karıştırma bölgesi sıcaklığı 180-220 °C’de kompozit malzemeler standartlara uygun çekme ve darbe test numunesinin boyutunda olan kalıp aracılığı ile üretilmiştir. Çekme test numunesi kalıp ölçüleri ASTM 638 standardına, darbe test numunesi kalıp ölçüleri ASTM D6110 standardına uygundur. Şekil 3.8’de kalıp görselleri yer almaktadır.



Şekil 3.8. (a) Çekme test numunesi için kalıp, (b) Darbe test numunesi için kalıp

Şekil 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16’da enjeksiyon makinesinde elde edilen ASTM 638 standart boyutuna sahip çekme test numuneleri görülmektedir.



Şekil 3.9. Saf Polipropilen çekme test numunesi



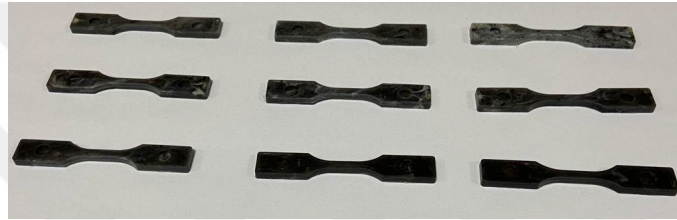
Şekil 3.10. Saf D.Y. Polietilen çekme test numunesi



Şekil 3.11. Hindistan Cevizi + PP çekme test numunesi



Şekil 3.12. Hindistan Cevizi + PE çekme test numunesi



Şekil 3.13. Turba + PP çekme test numunesi



Şekil 3.14. Turba + PE çekme test numunesi



Şekil 3.15. Palmiye + PP çekme test numunesi



Şekil 3.16. Palmiye + PE çekme test numunesi

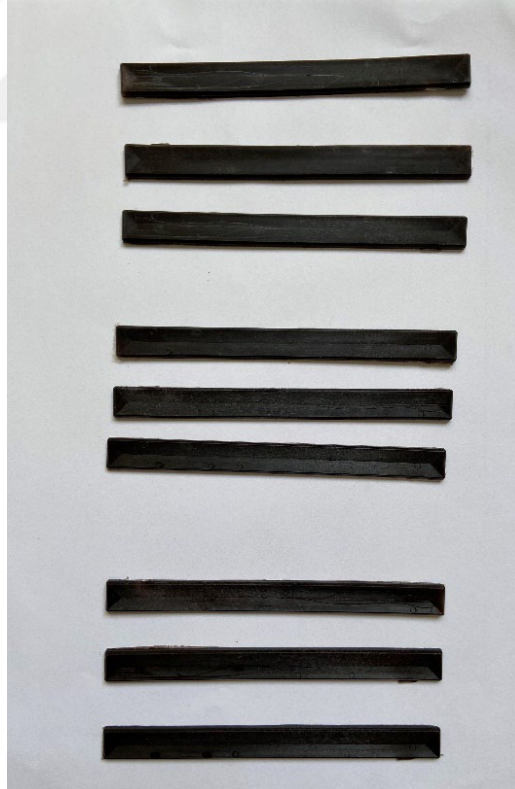
Şekil 3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24’de enjeksiyon makinesinde elde edilen ASTM D6110 standart boyutuna sahip darbe test numuneleri görülmektedir.



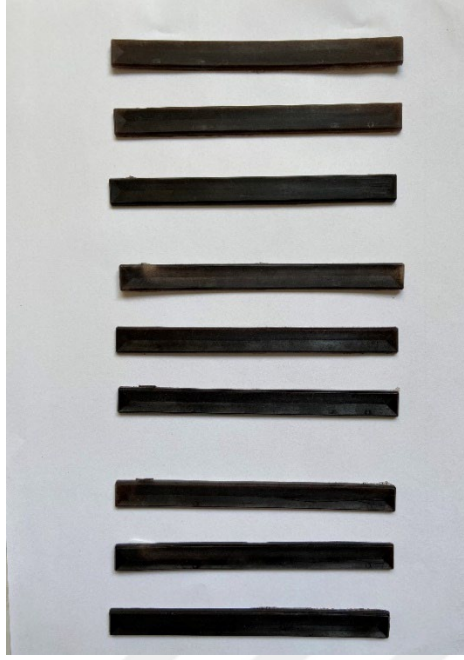
Şekil 3.17. Saf Polipropilen darbe test numunesi



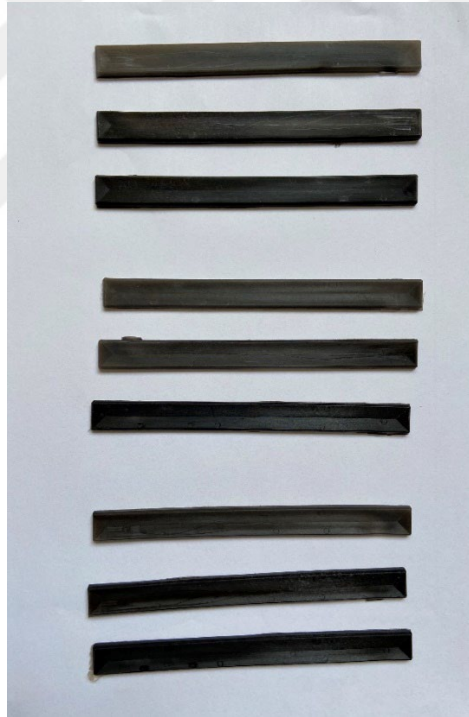
Şekil 3.18. Saf D.Y. Polietilen darbe test numunesi



Şekil 3.19. Hindistan Cevizi + PP darbe test numunesi



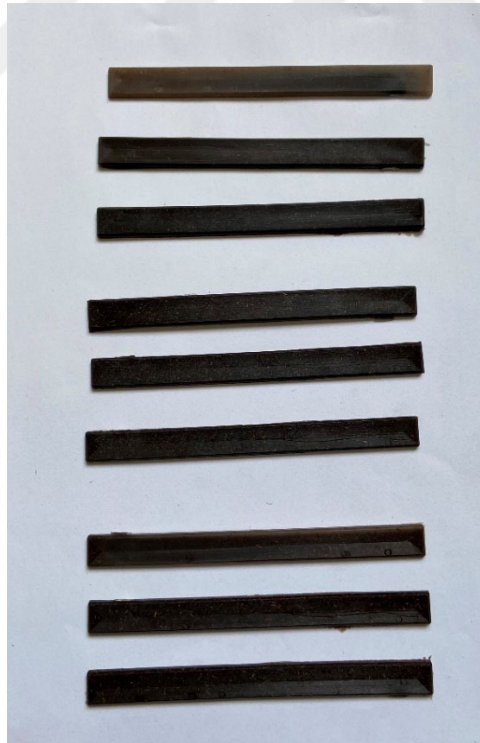
Şekil 3.20. Hindistan Cevizi + PE darbe test numunesi



Şekil 3.21. Turba + PP darbe test numunesi



Şekil 3.22. Turba + PE darbe test numunesi



Şekil 3.23. Palmiye + PP darbe test numunesi



Şekil 3.24. Palmiye + PE darbe test numunesi

3.3. Karakterizasyon

3.3.1. Çekme Deneyi

Elde edilen deney numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla en yaygın test yöntemi olan çekme testi numunelere uygulanmıştır. Testler, ASTM 638 standardına uygun olarak SHİMADZU AG-X PLUS ÇEKME CİHAZI ile Şekil 3.25’de gösterildiği gibi video ekstansometre kullanılarak yapılmıştır. Çekme testi 5 mm/dk çekme kuvveti uygulanarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.25. Çekme cihazı

Çekme testi için numuneler, çekme cihazı çeneleri arasına sıkıştırılır. Numune gittikçe artan yük altında kopana kadar çekilir. Deney sırasında yük (F) ile numunenin gösterdiği uzama (ΔL) kaydedilir. Deney sonucunda Gerilme – Gerinim Eğrisi elde edilir.

$$\text{Gerilme } (\sigma) = F/A_0 \quad (1)$$

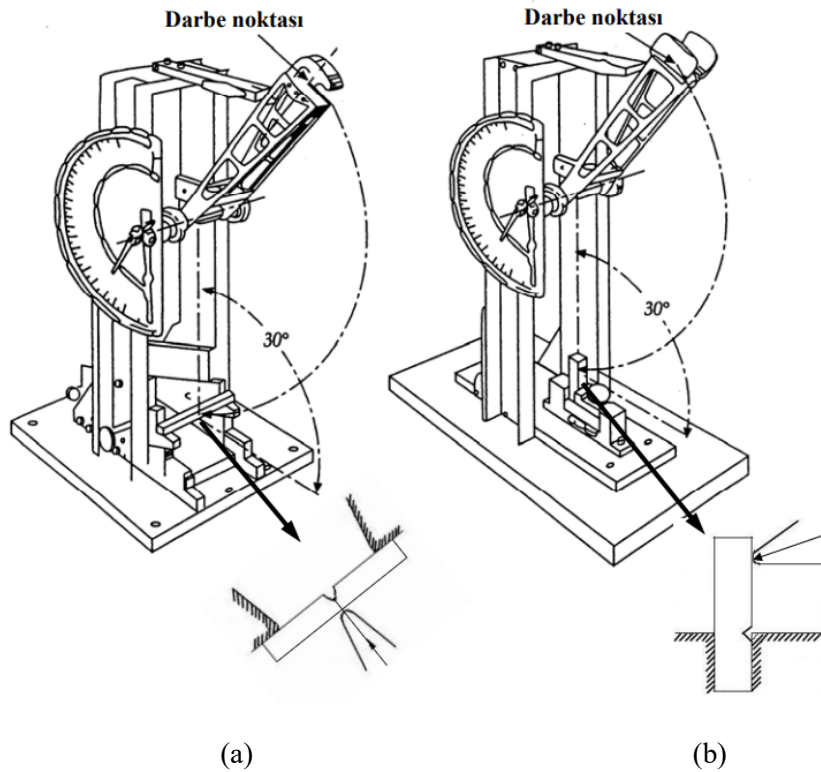
$$\text{Gerinim } (\epsilon) = \Delta L/L_0 \quad (2)$$

$$\text{Çekme dayanımı } (\sigma_{\text{ç}}) = F_{\text{max}}/A_0 \quad (3)$$

3.3.2. Darbe Deneyi

Darbe testi ile malzemelerin elastik bölgede kırılmaya karşı gösterdikleri direnç bulunur. Darbe testi sonucunda bulunan direnç, darbe mukavemetidir. Darbe testi, charpy çentik darbe testi ve izod çentik darbe testi olmak üzere iki farklı yöntem ile yapılabilmektedir (Öksüz, 2019).

Her iki yöntemde numune üzerine uygulanacak darbenin limiti belli olup, iki test arasında numune desteklenme şekli ve numuneye açılan çentik konumuna göre darbe uygulanan alan gibi bazı farklılıklar bulunmaktadır. Numunelerin ortasına gelecek şekilde açılan çentik, U veya V şeklindedir.



Şekil 3.26. (a) Charpy darbe testi, (b) Izod darbe testi

Şekil 3.26’da görüldüğü gibi numune, darbenin çentik açılmayan yüzeye uygulanacak şekilde yatay konumda cihaza yerleştirilmektedir. Sarkaç standart yükseklikten bırakılarak numune üzerine darbe uygulanır. Numune üzerine darbe uygulandıktan sonra sarkacın çıktığı yükseklik tespit edilir.

Sarkacın ilk ve son yüksekliği arasındaki enerji farkı, numunenin absorbe edilen enerji miktarıdır. Darbe testi sonucunda numunelerin darbe mukavemeti bulunur (Sayer, 2009).

$$\text{Darbe dayanımı (U)} = E/b(d-c) \quad (4)$$

Darbe dayanımı formülünde yer alan U darbe enerjisini, E darbe testinde elde edilen numunenin absorbe ettiği enerji miktarını, b numune genişliği, d derinliği ve c numune üzerine açılan çentik derinliğini ifade etmektedir (Sayer, 2009).

Bu tez kapsamında charpy çentik darbe deneyi yapılmıştır. Numuneler üzerine ASTM D6110 standartına uygun olarak çentik açılmıştır. Çentik açılan numune görüntüsü Şekil 3.26 da görülmektedir.

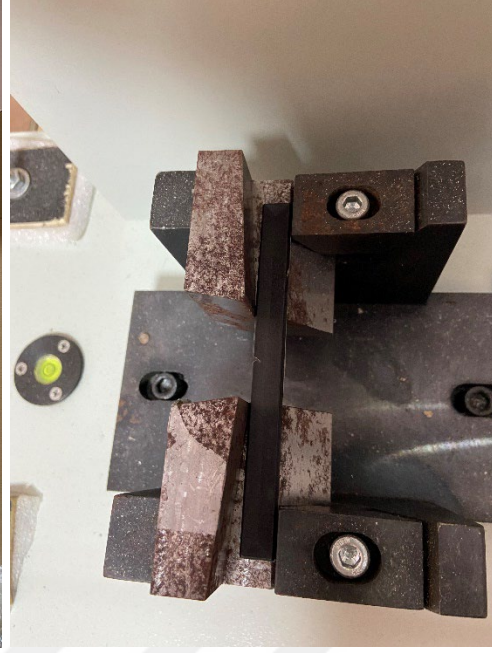


Şekil 3.27. Çentikli darbe numunesi

Testler, ASTM D6110 standardına uygun olarak ONALKON DARBE CİHAZI ile Şekil3.28’de görüldüğü gibi numune cihaza yerleştirilerek darbe testi yapılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.28. . (a) Darbe test cihazı, (b) Test cihazında numune konumu

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Numunelerin çekme testi sonucunda elde edilen maksimum çekme dayanımı Tablo 4.1’de yer almaktadır.

Tablo 4.1. Numunelerin Maksimum Çekme Dayanımları

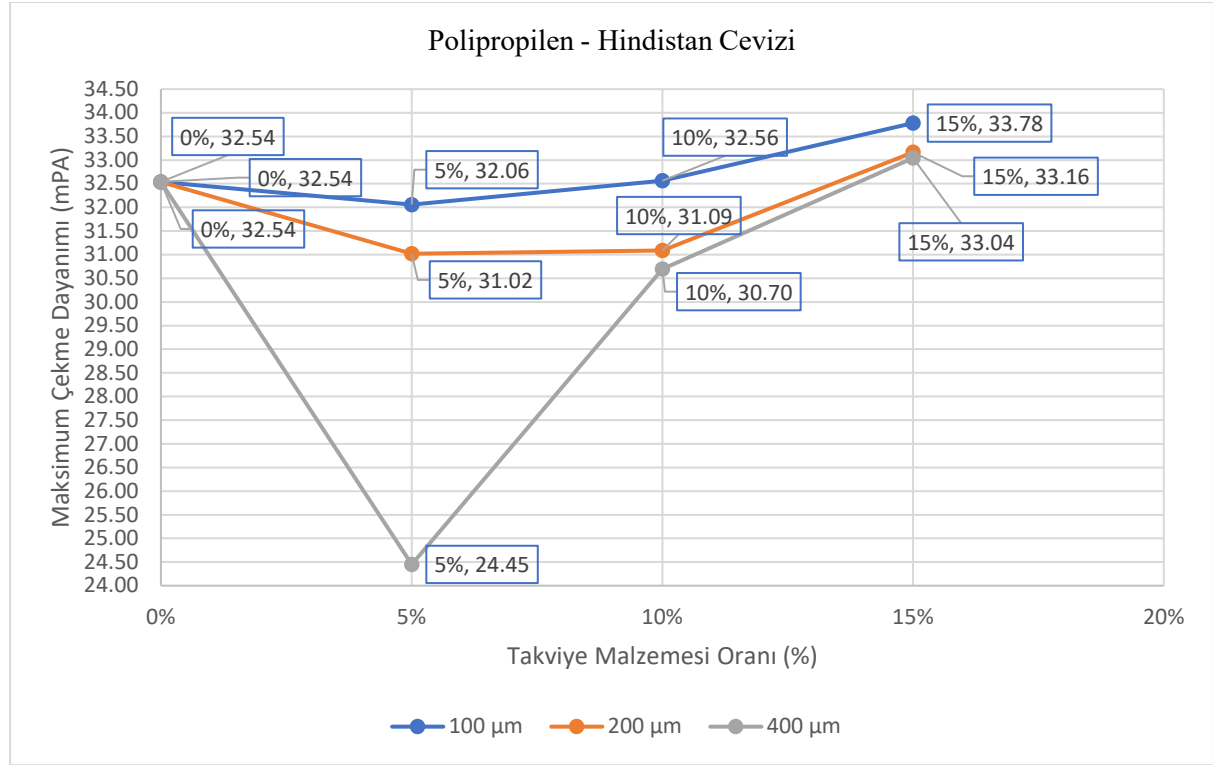
Deney Numarası	Matris Malzemesi	Takviye Malzemesi	Takviye Malzemesi Oranı (%)	Takviye Malzemesi Boyutu (μm)	Çekme Dayanımı (N/mm^2)
1	Polipropilen	0	0	0	32,54
2	D.Y. Polietilen	0	0	0	12,64
3	Polipropilen	Hindistan Cevizi	5	100	32,0587
4	Polipropilen	Hindistan Cevizi	10	100	32,5632
5	Polipropilen	Hindistan Cevizi	15	100	33,7822
6	Polipropilen	Hindistan Cevizi	5	200	31,0201
7	Polipropilen	Hindistan Cevizi	10	200	31,0895
8	Polipropilen	Hindistan Cevizi	15	200	33,1636
9	Polipropilen	Hindistan Cevizi	5	400	24,45
10	Polipropilen	Hindistan Cevizi	10	400	30,6975
11	Polipropilen	Hindistan Cevizi	15	400	33,0445
12	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	5	100	12,4312
13	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	10	100	11,6207
14	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	15	100	11,0799
15	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	5	200	12,1847
16	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	10	200	10,7392
17	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	15	200	11,72
18	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	5	400	11,9366
19	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	10	400	10,6929
20	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	15	400	10,2132

Tablo 4.1. (Devamı)

Deney Numarası	Matris Malzemesi	Takviye Malzemesi	Takviye Malzemesi Oranı (%)	Takviye Malzemesi Boyutu (μm)	Çekme Dayanımı (N/mm^2)
21	Polipropilen	Turba	5	100	31,6089
22	Polipropilen	Turba	10	100	29,161
23	Polipropilen	Turba	15	100	28,2861
24	Polipropilen	Turba	5	200	30,4776
25	Polipropilen	Turba	10	200	29,9516
26	Polipropilen	Turba	15	200	29,9301
27	Polipropilen	Turba	5	400	30,2278
28	Polipropilen	Turba	10	400	29,467
29	Polipropilen	Turba	15	400	27,8229
30	D.Y. Polietilen	Turba	5	100	12,6148
31	D.Y. Polietilen	Turba	10	100	12,2311
32	D.Y. Polietilen	Turba	15	100	10,8731
33	D.Y. Polietilen	Turba	5	200	11,8291
34	D.Y. Polietilen	Turba	10	200	11,6025
35	D.Y. Polietilen	Turba	15	200	11,414
36	D.Y. Polietilen	Turba	5	400	11,1494
37	D.Y. Polietilen	Turba	10	400	10,9922
38	D.Y. Polietilen	Turba	15	400	10,8731
39	Polipropilen	Palmiye	5	100	29,2751
40	Polipropilen	Palmiye	10	100	31,4517
41	Polipropilen	Palmiye	15	100	31,943
42	Polipropilen	Palmiye	5	200	27,9437
43	Polipropilen	Palmiye	10	200	29,113

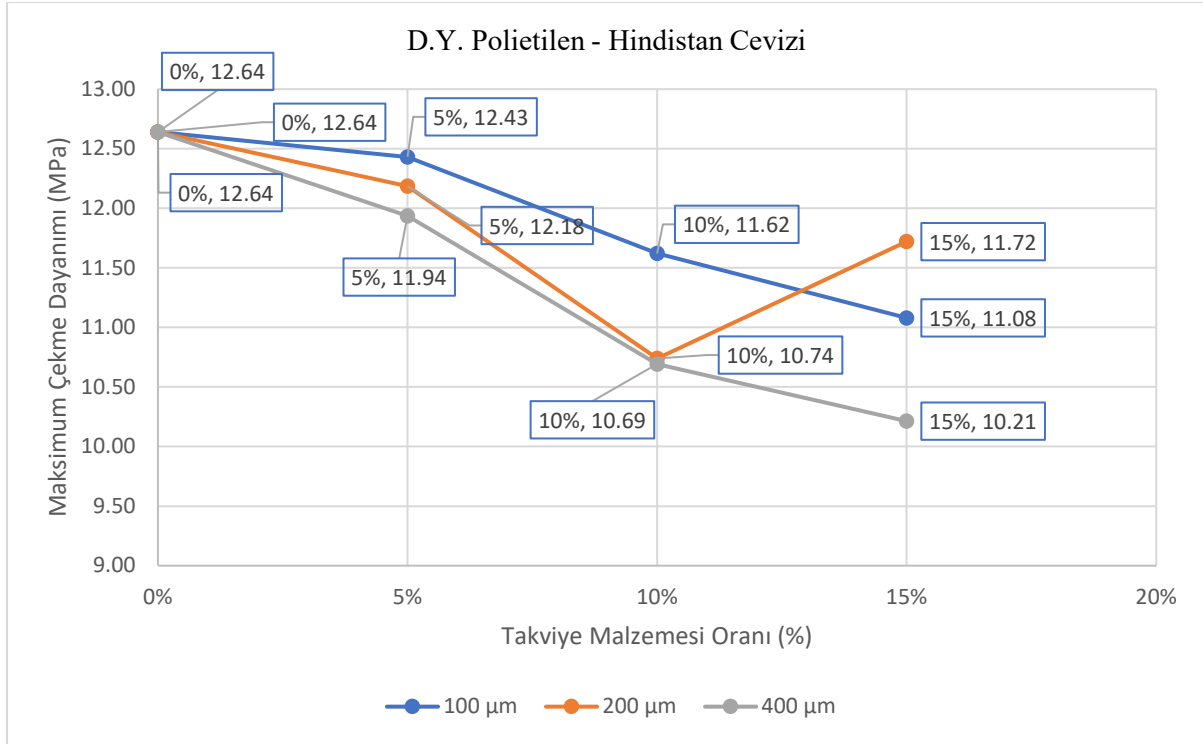
Tablo 4.1. (Devamı)

Deney Numarası	Matris Malzemesi	Takviye Malzemesi	Takviye Malzemesi Oranı (%)	Takviye Malzemesi Boyutu (μm)	Çekme Dayanımı (N/mm^2)
44	Polipropilen	Palmiye	15	200	30,0905
45	Polipropilen	Palmiye	5	400	27,9635
46	Polipropilen	Palmiye	10	400	28,4696
47	Polipropilen	Palmiye	15	400	29,6919
48	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	100	14,1811
49	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	100	14,2009
50	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	100	14,2125
51	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	200	12,7686
52	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	200	13,7047
53	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	200	13,8089
54	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	400	12,1699
55	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	400	12,2277
56	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	400	12,3386



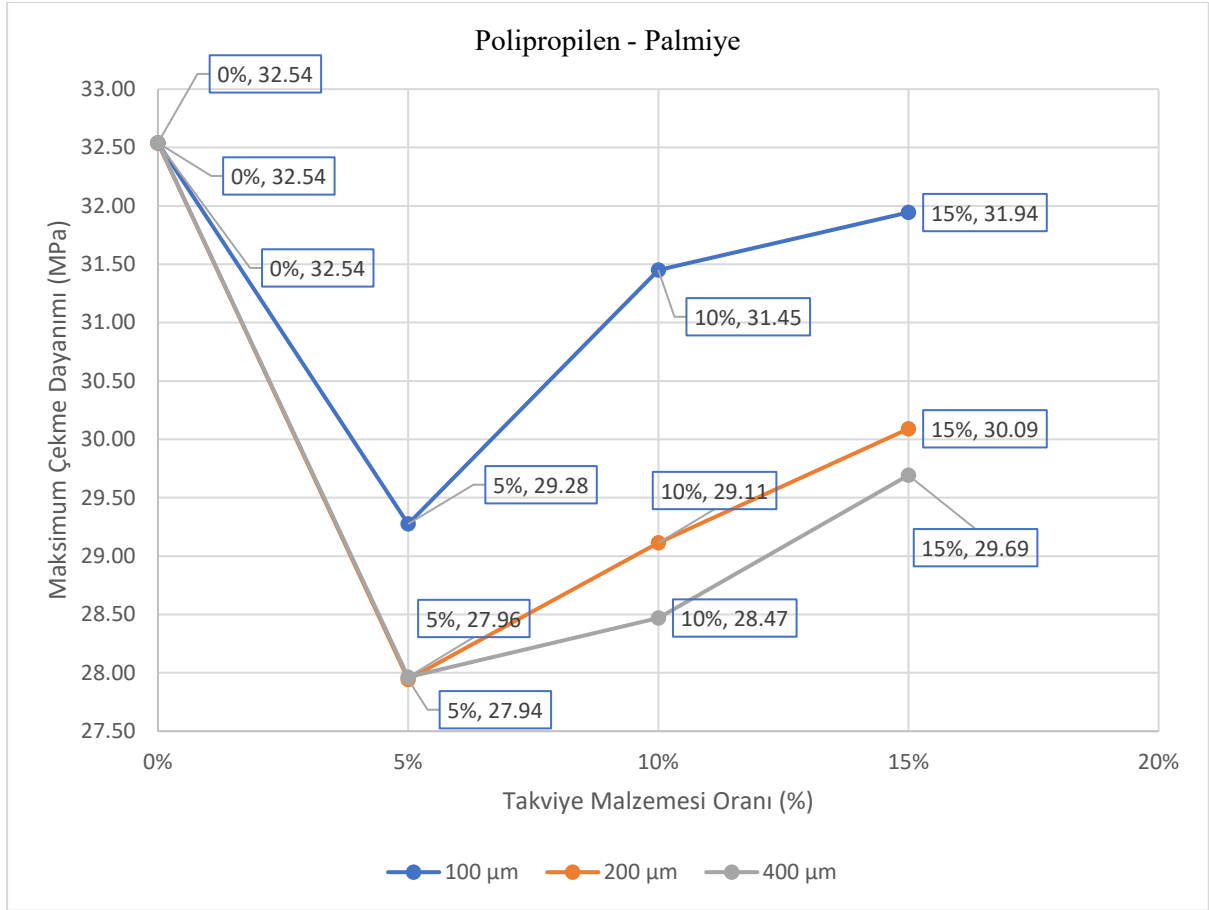
Şekil 4.1 Polipropilen esaslı Hindistan Cevizi takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre maksimum çekme dayanımı

Şekil 4.1 incelendiğinde, polipropilen esaslı malzemeye, %5, %10 ve %15 oranlarında ve 100, 200 ve 400 µm boyutlarında Hindistan Cevizi lifi takviye yapılması ile elde edilen maksimum çekme dayanım sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde takviye oranı %5 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 32,06 MPa , 200 µm takviyede 31,02 MPa, 400 µm takviyede ise 24,45 MPa olarak bulunmuştur. %5 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %10 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 32,56 MPa , 200 µm takviyede 31,09 MPa, 400 µm takviyede ise 30,70 MPa olarak bulunmuştur. %10 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %15 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 33,78 MPa , 200 µm takviyede 33,16 MPa, 400 µm takviyede ise 33,04 MPa olarak bulunmuştur. %15 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Bu veriler ve sonuçlar doğrultusunda en yüksek değer olarak %15’de 100 µm takviyede görülmüş olup, en düşük değer ise %5 de 400 µm takviye olarak tespit edilmiştir.



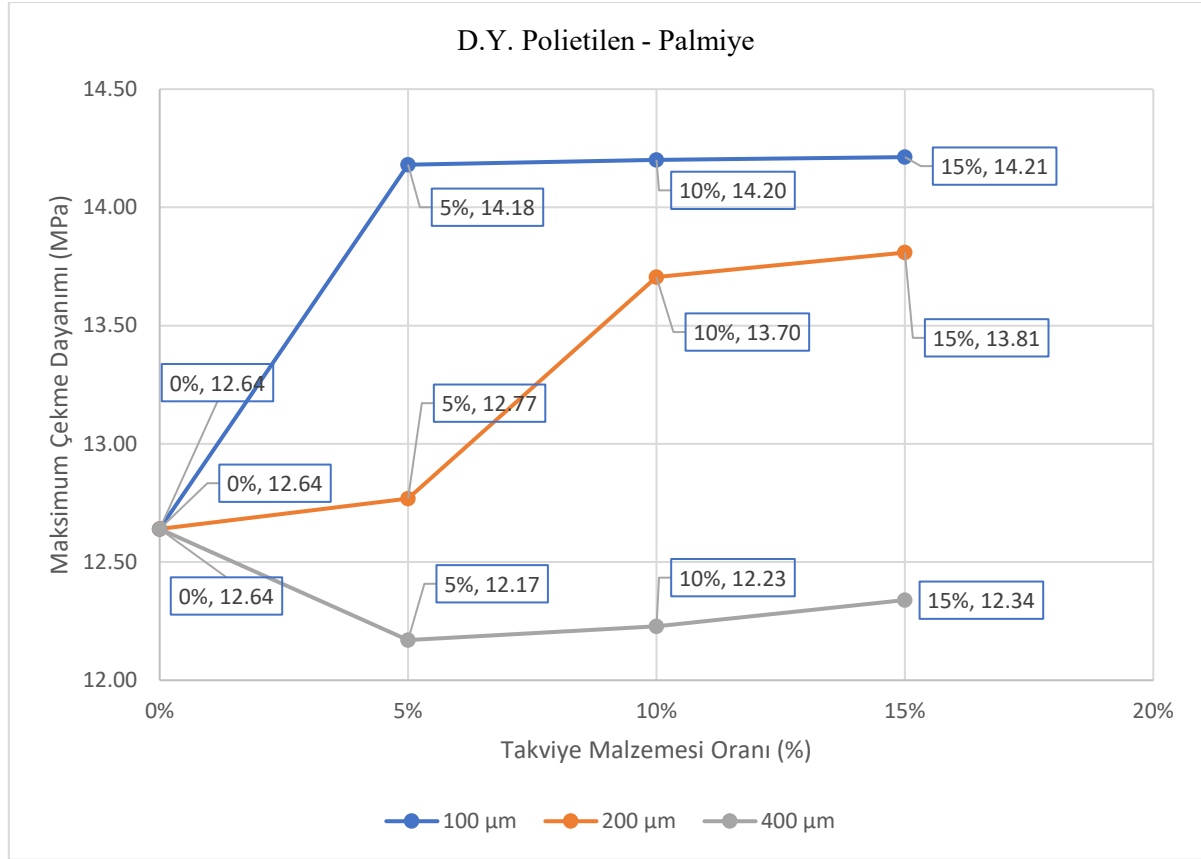
Şekil 4.2 D.Y. Polietilen esaslı Hindistan Cevizi takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre maksimum çekme dayanımı

Şekil 4.2 incelendiğinde, D.Y. Polietilen esaslı malzemeye, %5, %10 ve %15 oranlarında ve 100, 200 ve 400 µm boyutlarında Hindistan Cevizi lifi takviye yapılması ile elde edilen maksimum çekme dayanım sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde takviye oranı %5 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 12,43 MPa , 200 µm takviyede 12,18 MPa, 400 µm takviyede ise 11,94 MPa olarak bulunmuştur. %5 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %10 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 11,62 MPa , 200 µm takviyede 10,74 MPa, 400 µm takviyede ise 10,69 MPa olarak bulunmuştur. %10 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %15 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 11,08 MPa , 200 µm takviyede 11,72 MPa, 400 µm takviyede ise 10,21 MPa olarak bulunmuştur. %15 takviyede en iyi değer 200 µm takviyede tespit edilmiştir. Bu veriler ve sonuçlar doğrultusunda en yüksek değer olarak %5’de 100 µm takviyede görülmüş olup, en düşük değer ise %15 de 400 µm takviye olarak tespit edilmiştir.



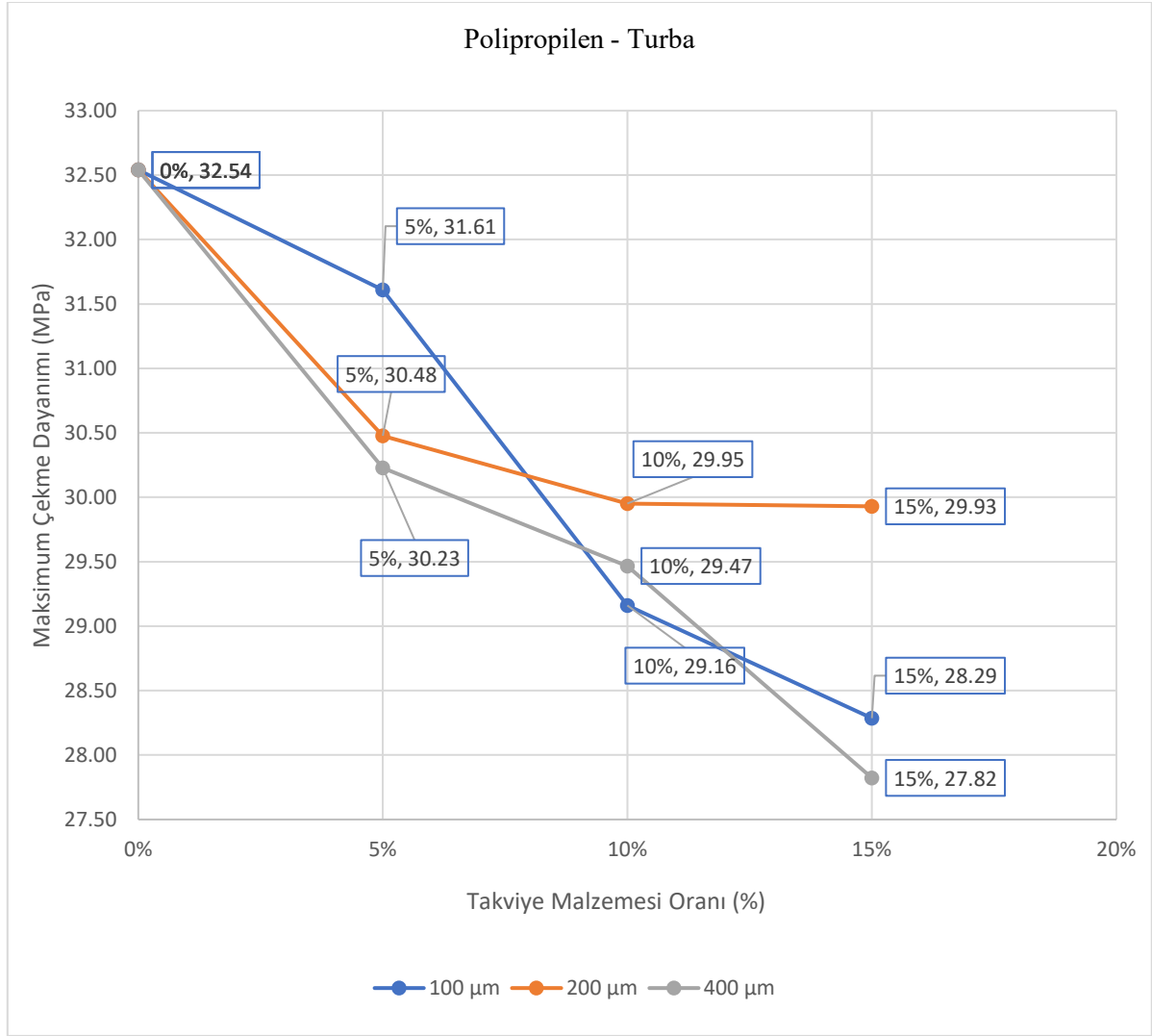
Şekil 4.3. Polipropilen esaslı Palmiye takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre maksimum çekme dayanımı

Şekil 4.3 incelendiğinde, Polipropilen esaslı malzemeye, %5, %10 ve %15 oranlarında ve 100, 200 ve 400 µm boyutlarında Palmiye lifi takviye yapılması ile elde edilen maksimum çekme dayanım sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde takviye oranı %5 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 29,28 MPa , 200 µm takviyede 27,94 MPa, 400 µm takviyede ise 27,96 MPa olarak bulunmuştur. %5 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %10 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 31,45 MPa , 200 µm takviyede 29,11 MPa, 400 µm takviyede ise 28,47 MPa olarak bulunmuştur. %10 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %15 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 31,94 MPa , 200 µm takviyede 30,09 MPa, 400 µm takviyede ise 29,69 MPa olarak bulunmuştur. %15 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Bu veriler ve sonuçlar doğrultusunda en yüksek değer olarak %15’de 100 µm takviyede görülmüş olup, en düşük değer ise %5 de 200 µm takviye olarak tespit edilmiştir.



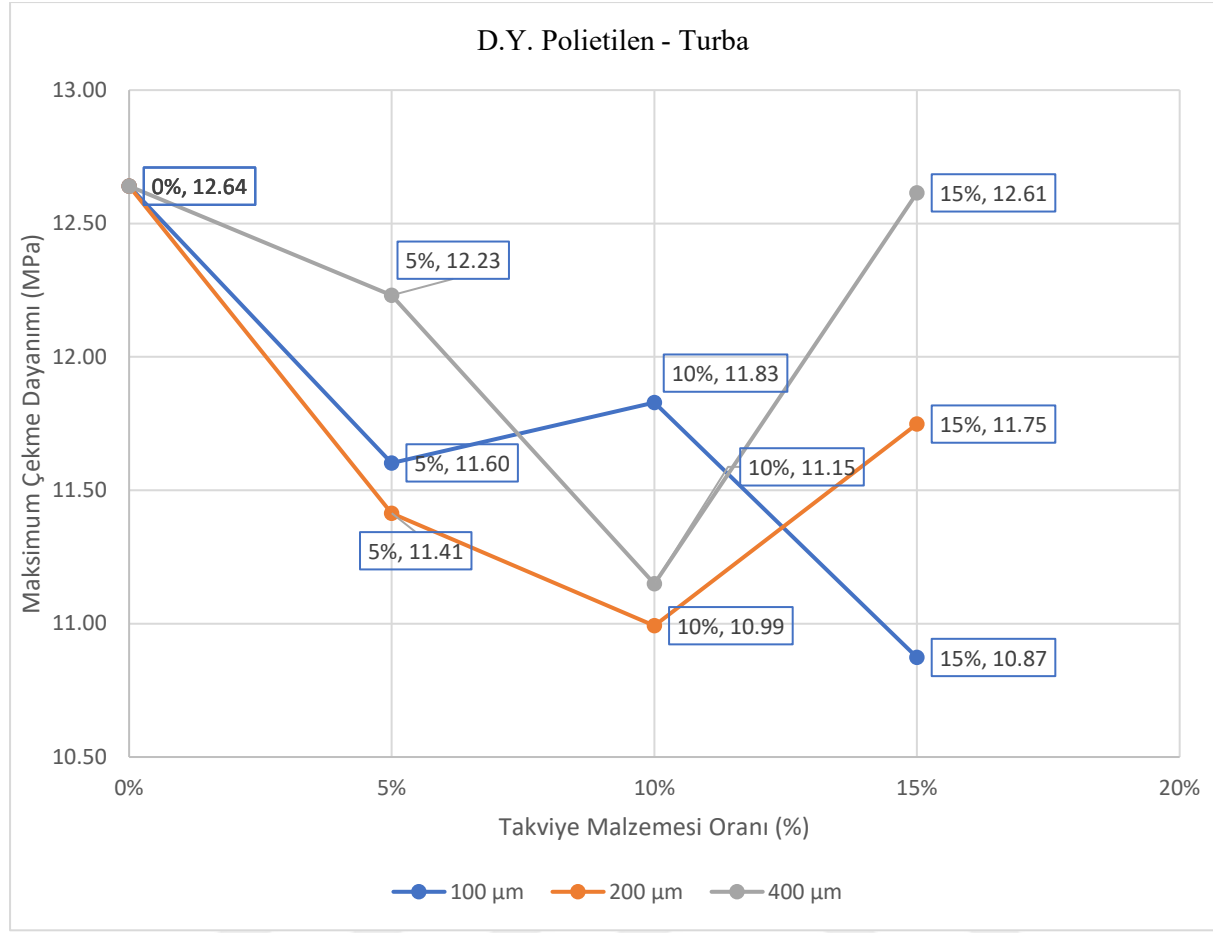
Şekil 4.4. D.Y. Polietilen esaslı Palmiye takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre maksimum çekme dayanımı

Şekil 4.4 incelendiğinde, D.Y. Polietilen esaslı malzemeye, %5, %10 ve %15 oranlarında ve 100, 200 ve 400 μm boyutlarında Palmiye lifi takviye yapılması ile elde edilen maksimum çekme dayanım sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde takviye oranı %5 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 μm takviyede 14,18 MPa , 200 μm takviyede 12,77 MPa, 400 μm takviyede ise 12,17 MPa olarak bulunmuştur. %5 takviyede en iyi değer 100 μm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %10 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 μm takviyede 14,20 MPa , 200 μm takviyede 13,70 MPa, 400 μm takviyede ise 12,23 MPa olarak bulunmuştur. %10 takviyede en iyi değer 100 μm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %15 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 μm takviyede 14,21 MPa , 200 μm takviyede 13,81 MPa, 400 μm takviyede ise 12,34 MPa olarak bulunmuştur. %15 takviyede en iyi değer 100 μm takviyede tespit edilmiştir. Bu veriler ve sonuçlar doğrultusunda en yüksek değer olarak %15’de 100 μm takviyede görülmüş olup, en düşük değer ise %5 de 400 μm takviye olarak tespit edilmiştir.



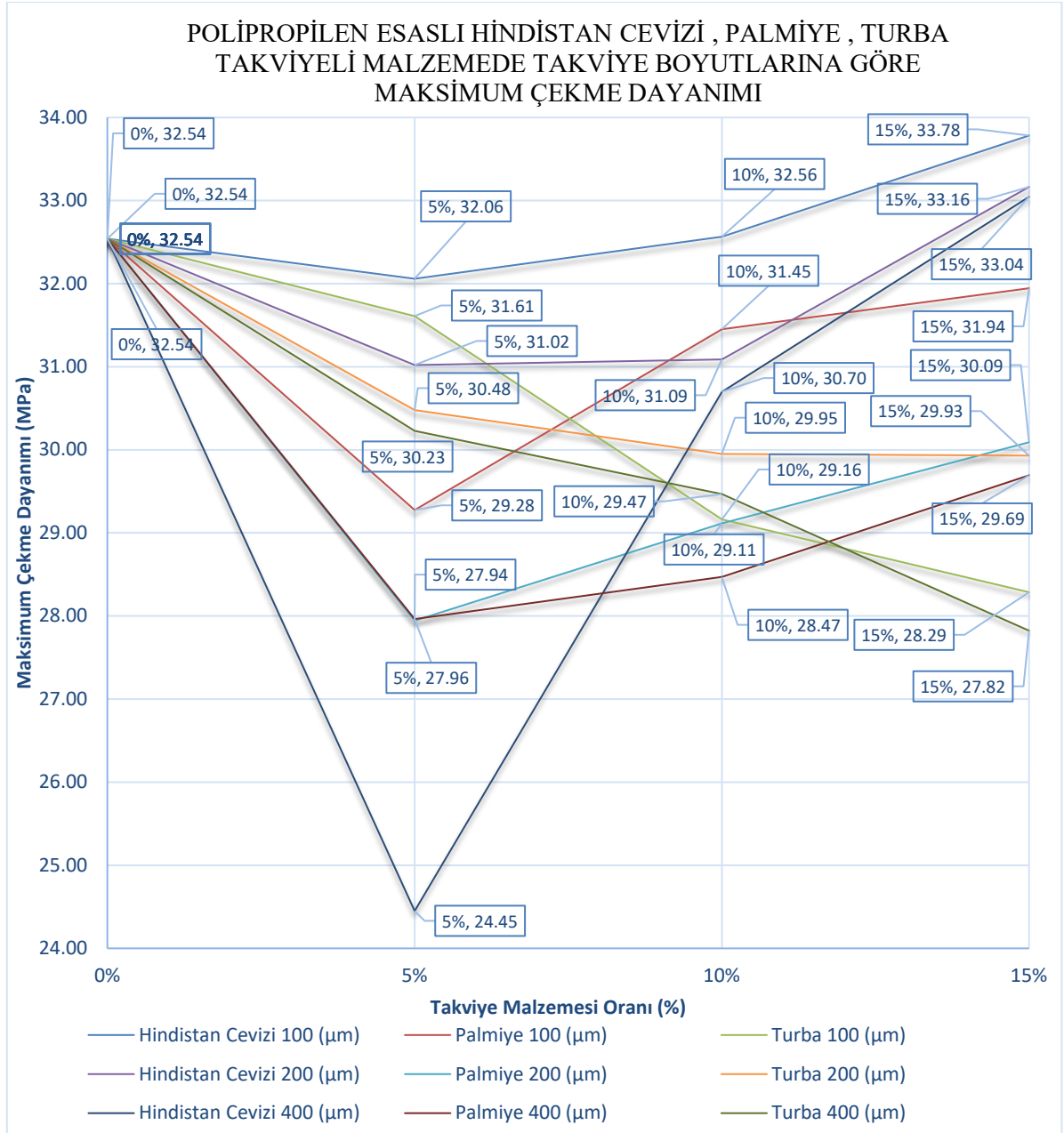
Şekil 4.5. Polipropilen esaslı Turba takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre maksimum çekme dayanımı

Şekil 4.5 incelendiğinde, Polipropilen esaslı malzemeye, %5, %10 ve %15 oranlarında ve 100, 200 ve 400 µm boyutlarında Turba lifi takviye yapılması ile elde edilen maksimum çekme dayanım sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde takviye oranı %5 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 31,61 MPa , 200 µm takviyede 30,48 MPa, 400 µm takviyede ise 30,23 MPa olarak bulunmuştur. %5 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %10 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 29,16 MPa , 200 µm takviyede 29,95 MPa, 400 µm takviyede ise 29,47 MPa olarak bulunmuştur. %10 takviyede en iyi değer 200 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %15 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 28,29 MPa , 200 µm takviyede 29,93 MPa, 400 µm takviyede ise 27,82 MPa olarak bulunmuştur. %15 takviyede en iyi değer 200 µm takviyede tespit edilmiştir. Bu veriler ve sonuçlar doğrultusunda en yüksek değer olarak %5’de 100 µm takviyede görülmüş olup, en düşük değer ise %15 de 400 µm takviye olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. D.Y. Polietilen esaslı Turba takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre maksimum çekme dayanımı

Şekil 4.6 incelendiğinde, D.Y. Polietilen esaslı malzemeye, %5, %10 ve %15 oranlarında ve 100, 200 ve 400 µm boyutlarında Turba lifi takviye yapılması ile elde edilen maksimum çekme dayanım sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde takviye oranı %5 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 11,60 MPa , 200 µm takviyede 11,41 MPa, 400 µm takviyede ise 12,23 MPa olarak bulunmuştur. %5 takviyede en iyi değer 400 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %10 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 11,83 MPa , 200 µm takviyede 10,99 MPa, 400 µm takviyede ise 11,15 MPa olarak bulunmuştur. %10 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %15 olarak ilave edildiğinde maksimum çekme dayanımı 100 µm takviyede 10,87 MPa , 200 µm takviyede 11,75 MPa, 400 µm takviyede ise 12,61 MPa olarak bulunmuştur. %15 takviyede en iyi değer 400 µm takviyede tespit edilmiştir. Bu veriler ve sonuçlar doğrultusunda en yüksek değer olarak %15'de 400 µm takviyede görülmüş olup, en düşük değer ise %15 de 100 µm takviye olarak tespit edilmiştir.

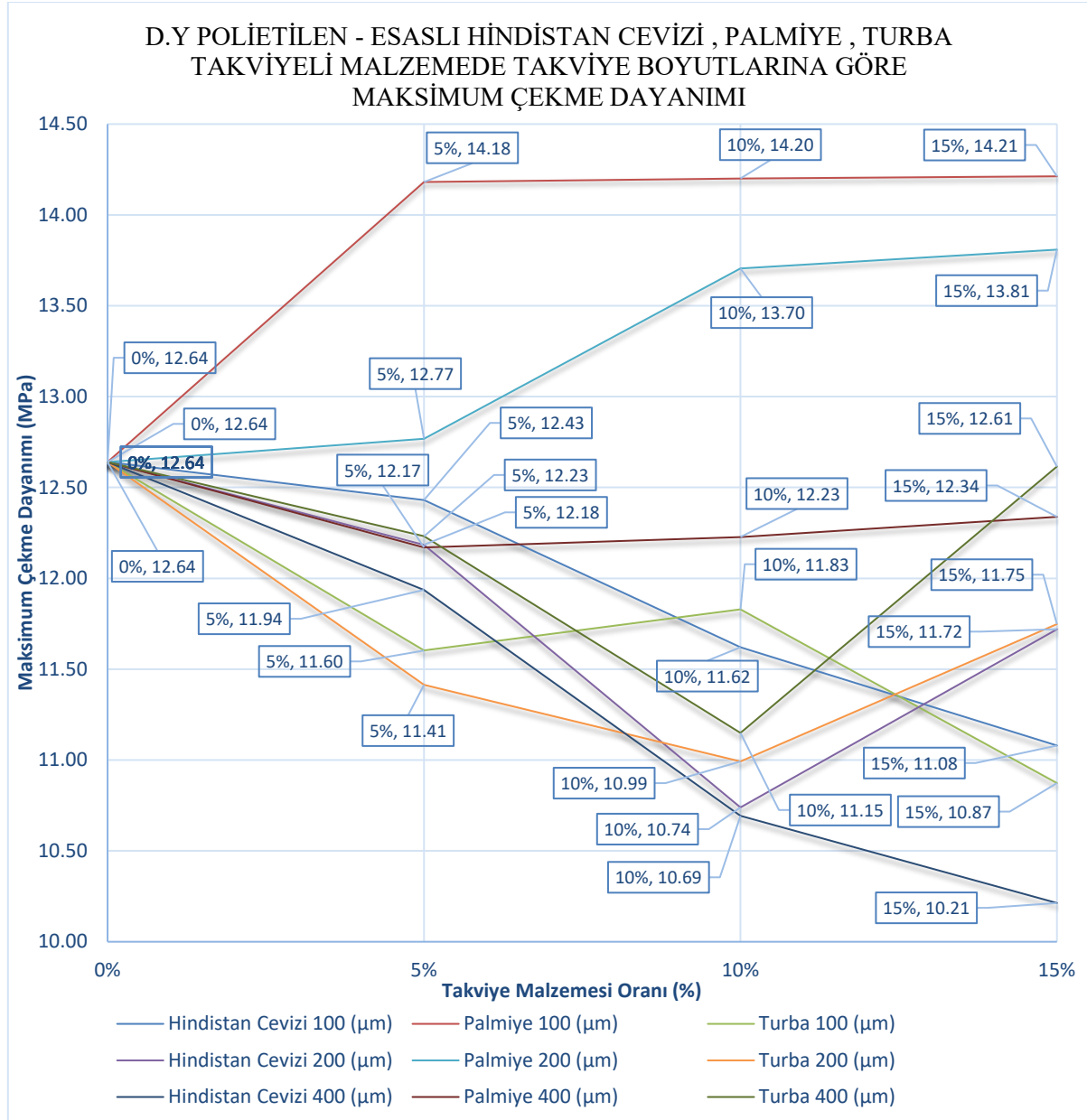


Şekil 4.7. Polipropilen esaslı hindistan cevizi , palmiye , turba takviyeli malzemede takviye boyutlarına göre maksimum çekme dayanımı

Matris malzemesi olarak polipropilen, takviye malzemesi olarak hindistan cevizi kabuğu lifinin kullanıldığı kompozit malzemelerde hindistan cevizi kabuğu lifinin %3,82 çekme dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Matris malzemesi olarak polipropilen takviye malzemesi olarak turba kullanıldığı kompozit malzemelerde %8,85 çekme dayanımının azaldığı görülmüştür.

Matris malzemesi olarak polipropilen, takviye malzemesi olarak palmiye lifinin kullanıldığı kompozit malzemelerde %9,19 çekme dayanımının azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.8. D.Y Polietilen esaslı hindistan cevizi , palmiye , turba takviyeli malzemede takviye boyutlarına göre maksimum çekme dayanımı

Matris malzemesi olarak D.Y.polietilen, takviye malzemesi olarak hindistan cevizi kabuğu lifinin kullanıldığı kompozit malzemelerde %9,79 çekme dayanımının azaldığı görülmüştür.

Matris malzemesi olarak D.Y polietilen, takviye malzemesi olarak turba kullanıldığı kompozit malzemelerde %8,18 çekme dayanımı dayanımının azaldığı görülmüştür.

Matris malzemesi olarak D.Y polietilen, takviye malzemesi olarak palmiye lifinin kullanıldığı kompozit malzemelerde palmiye lifinin %5,14 çekme dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Numunelerin darbe testi sonucunda elde edilen darbe dayanımı Tablo 4.2’da yer almaktadır.

Tablo 4.2. Numunelerin Darbe Dayanımları

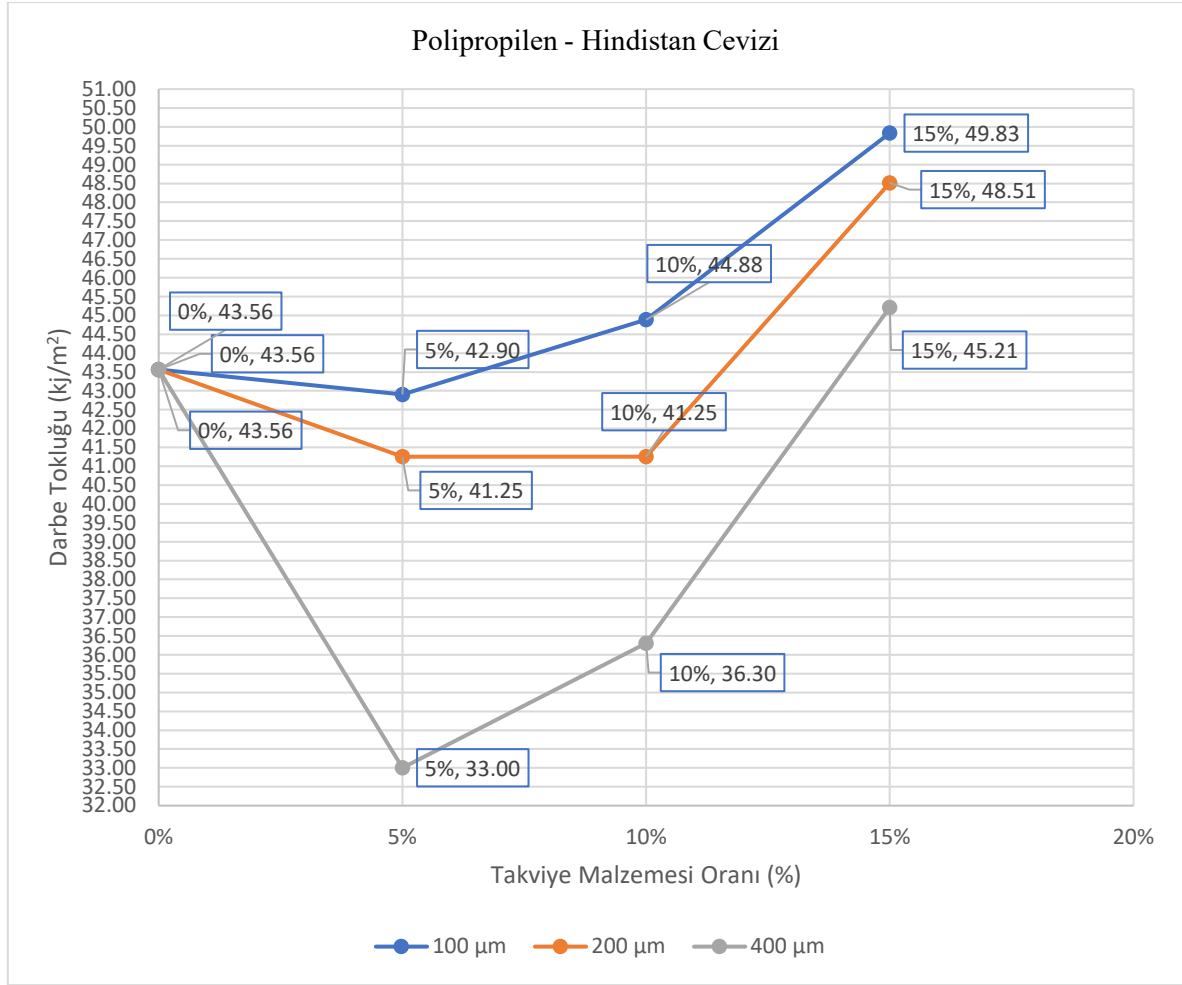
Deney Numarası	Matris Malzemesi	Takviye Malzemesi	Takviye Malzemesi Oranı (%)	Takviye Malzemesi Boyutu (µm)	Darbe Dayanımı (kJ/m^2)
1	Polipropilen	0	0	0	43,56
2	D.Y. Polietilen	0	0	0	30,36
3	Polipropilen	Hindistan Cevizi	5	100	42,90
4	Polipropilen	Hindistan Cevizi	10	100	44,88
5	Polipropilen	Hindistan Cevizi	15	100	49,83
6	Polipropilen	Hindistan Cevizi	5	200	41,25
7	Polipropilen	Hindistan Cevizi	10	200	41,25
8	Polipropilen	Hindistan Cevizi	15	200	48,51
9	Polipropilen	Hindistan Cevizi	5	400	33,00
10	Polipropilen	Hindistan Cevizi	10	400	36,30
11	Polipropilen	Hindistan Cevizi	15	400	45,21
12	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	5	100	29,37
13	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	10	100	23,10
14	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	15	100	22,44
15	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	5	200	28,71
16	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	10	200	21,45
17	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	15	200	23,76
18	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	5	400	23,43
19	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	10	400	21,12
20	D.Y. Polietilen	Hindistan Cevizi	15	400	20,79
21	Polipropilen	Turba	5	100	42,24

Tablo 4.2. (Devamı)

Deney Numarası	Matris Malzemesi	Takviye Malzemesi	Takviye Malzemesi Oranı (%)	Takviye Malzemesi Boyutu (μm)	Darbe Dayanımı (kJ/m^2)
22	Polipropilen	Turba	10	100	39,93
23	Polipropilen	Turba	15	100	36,63
24	Polipropilen	Turba	5	200	38,94
25	Polipropilen	Turba	10	200	38,61
26	Polipropilen	Turba	15	200	38,28
27	Polipropilen	Turba	5	400	38,94
28	Polipropilen	Turba	10	400	39,27
29	Polipropilen	Turba	15	400	35,64
30	D.Y. Polietilen	Turba	5	100	20,79
31	D.Y. Polietilen	Turba	10	100	23,10
32	D.Y. Polietilen	Turba	15	100	18,15
33	D.Y. Polietilen	Turba	5	200	20,79
34	D.Y. Polietilen	Turba	10	200	19,14
35	D.Y. Polietilen	Turba	15	200	22,44
36	D.Y. Polietilen	Turba	5	400	29,04
37	D.Y. Polietilen	Turba	10	400	20,46
38	D.Y. Polietilen	Turba	15	400	29,70
39	Polipropilen	Palmiye	5	100	40,59
40	Polipropilen	Palmiye	10	100	41,91
41	Polipropilen	Palmiye	15	100	42,24
42	Polipropilen	Palmiye	5	200	36,63
43	Polipropilen	Palmiye	10	200	40,59

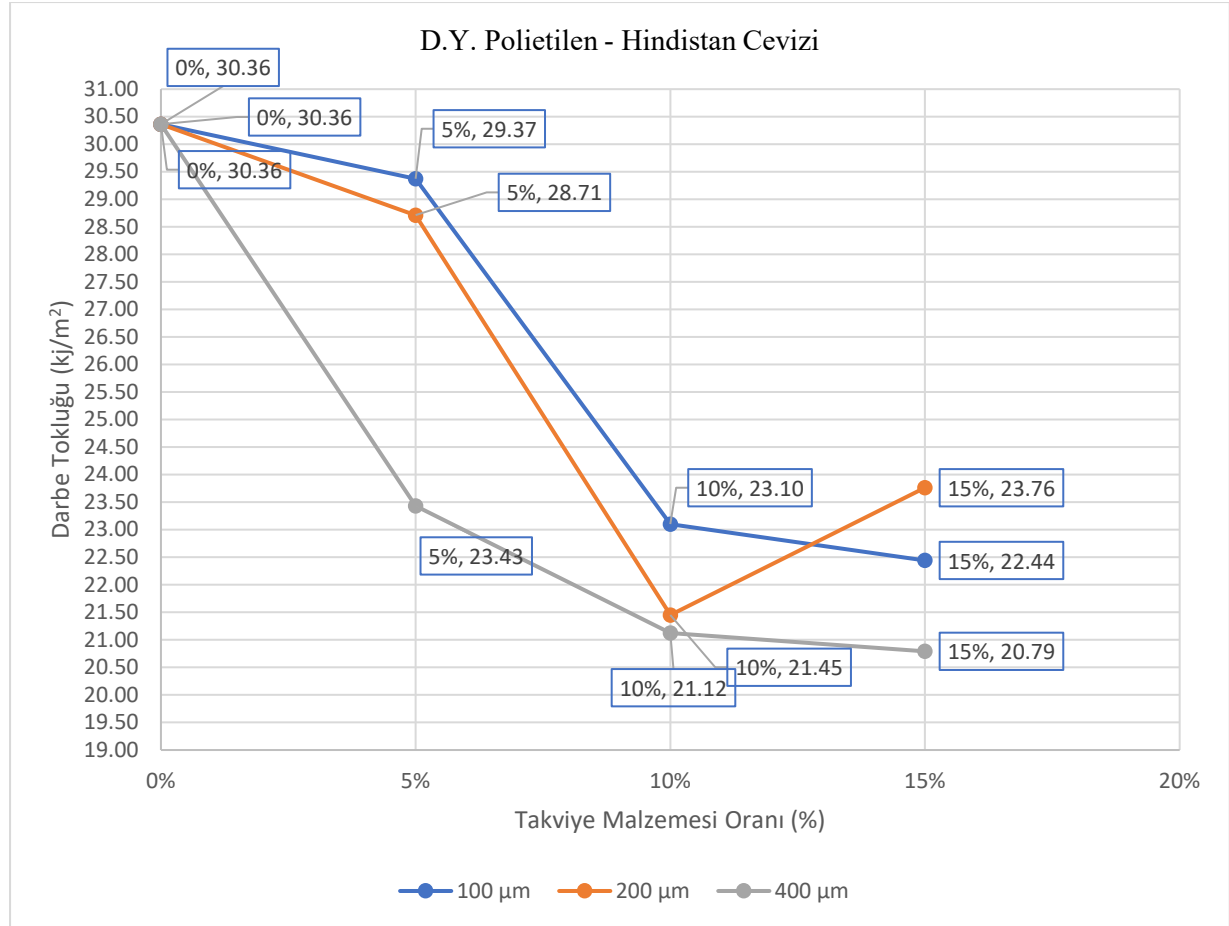
Tablo 4.2. (Devamı)

Deney Numarası	Matris Malzemesi	Takviye Malzemesi	Takviye Malzemesi Oranı (%)	Takviye Malzemesi Boyutu (μm)	Darbe Dayanımı (kJ/m^2)
44	Polipropilen	Palmiye	15	200	41,58
45	Polipropilen	Palmiye	5	400	36,30
46	Polipropilen	Palmiye	10	400	39,60
47	Polipropilen	Palmiye	15	400	41,25
48	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	100	32,34
49	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	100	38,94
50	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	100	39,60
51	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	200	29,37
52	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	200	31,35
53	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	200	29,37
54	D.Y. Polietilen	Palmiye	5	400	26,40
55	D.Y. Polietilen	Palmiye	10	400	28,05
56	D.Y. Polietilen	Palmiye	15	400	29,37



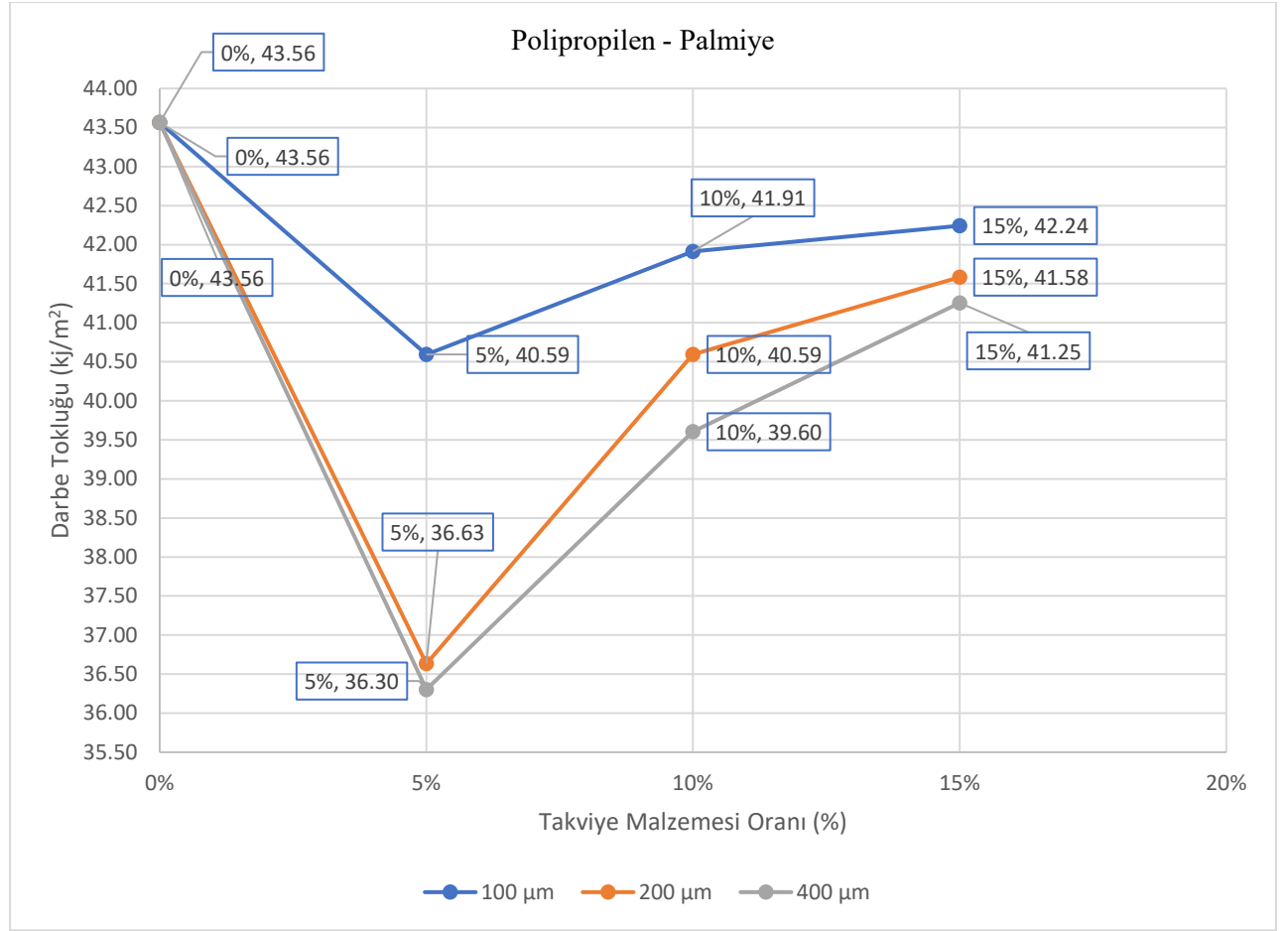
Şekil 4.9. Polipropilen esaslı Hindistan Cevizi takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre darbe dayanımı

Şekil 4.9 incelendiğinde, Polipropilen esaslı malzemeye, %5, %10 ve %15 oranlarında ve 100, 200 ve 400 µm boyutlarında Hindistan Cevizi lifi takviye yapılması ile elde edilen darbe dayanım sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde takviye oranı %5 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 42,90 kJ/m², 200 µm takviyede 41,25 kJ/m², 400 µm takviyede ise 33,00 kJ/m² olarak bulunmuştur. %5 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %10 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 44,88 kJ/m², 200 µm takviyede 41,25 kJ/m², 400 µm takviyede ise 36,30 kJ/m² olarak bulunmuştur. %10 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %15 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 49,83 kJ/m², 200 µm takviyede 48,51 kJ/m², 400 µm takviyede ise 45,21 kJ/m² olarak bulunmuştur. %15 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Bu veriler ve sonuçlar doğrultusunda en yüksek değer olarak %15’de 100 µm takviyede görülmüş olup, en düşük değer ise %5 de 400 µm takviye olarak tespit edilmiştir.



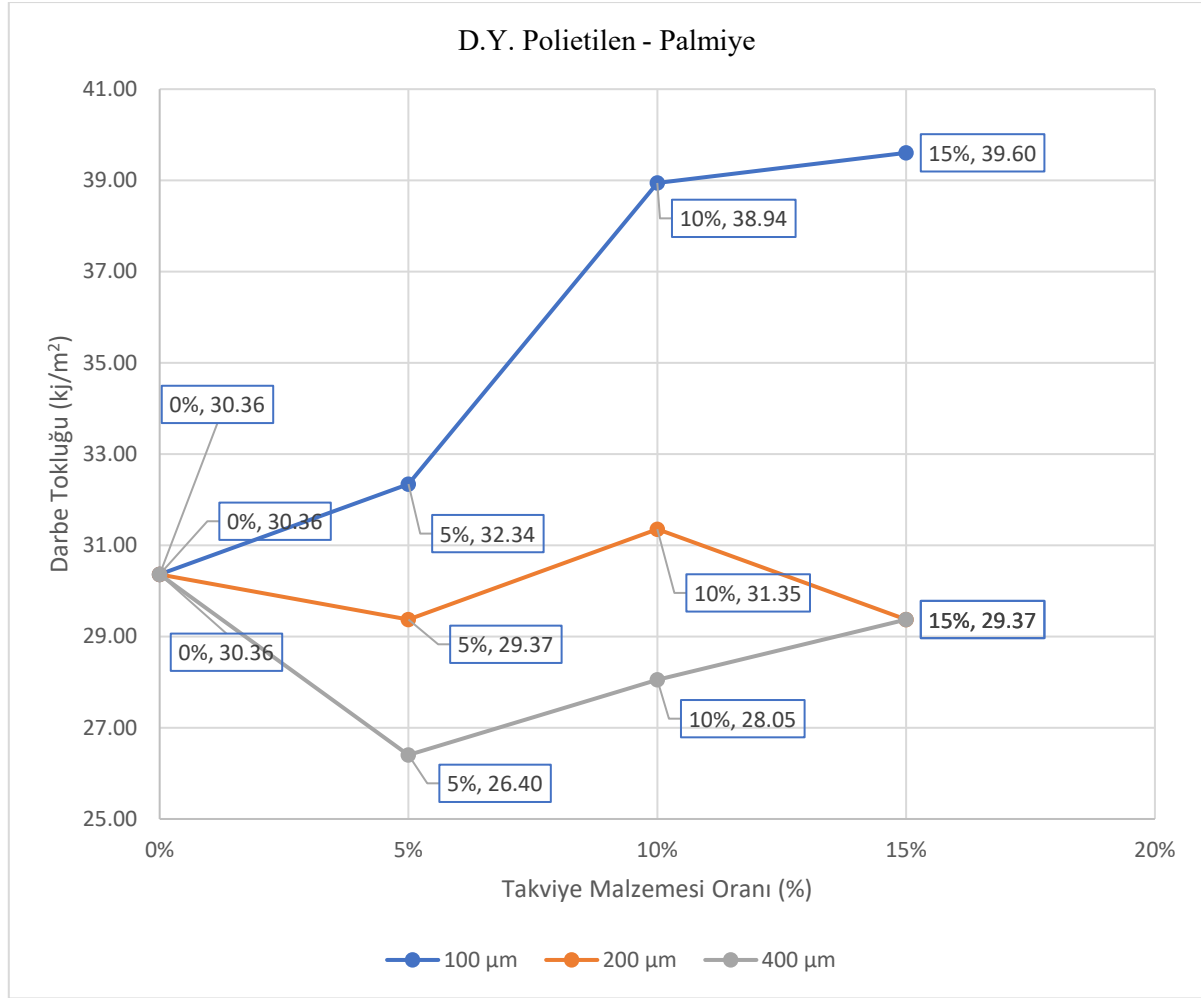
Şekil 4.10. D.Y. Polietilen esaslı Hindistan Cevizi takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre darbe dayanımı

Şekil 4.10 incelendiğinde, D.Y. Polietilen esaslı malzemeye, %5, %10 ve %15 oranlarında ve 100, 200 ve 400 µm boyutlarında Hindistan Cevizi lifi takviye yapılması ile elde edilen darbe dayanım sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde takviye oranı %5 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 29,37 kJ/m², 200 µm takviyede 28,71 kJ/m², 400 µm takviyede ise 23,43 kJ/m² olarak bulunmuştur. %5 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %10 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 23,10 kJ/m², 200 µm takviyede 21,45 kJ/m², 400 µm takviyede ise 21,12 kJ/m² olarak bulunmuştur. %10 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %15 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 22,44 kJ/m², 200 µm takviyede 23,76 kJ/m², 400 µm takviyede ise 20,79 kJ/m² olarak bulunmuştur. %15 takviyede en iyi değer 200 µm takviyede tespit edilmiştir. Bu veriler ve sonuçlar doğrultusunda en yüksek değer olarak %5’de 100 µm takviyede görülmüş olup, en düşük değer ise %15 de 400 µm takviye olarak tespit edilmiştir.



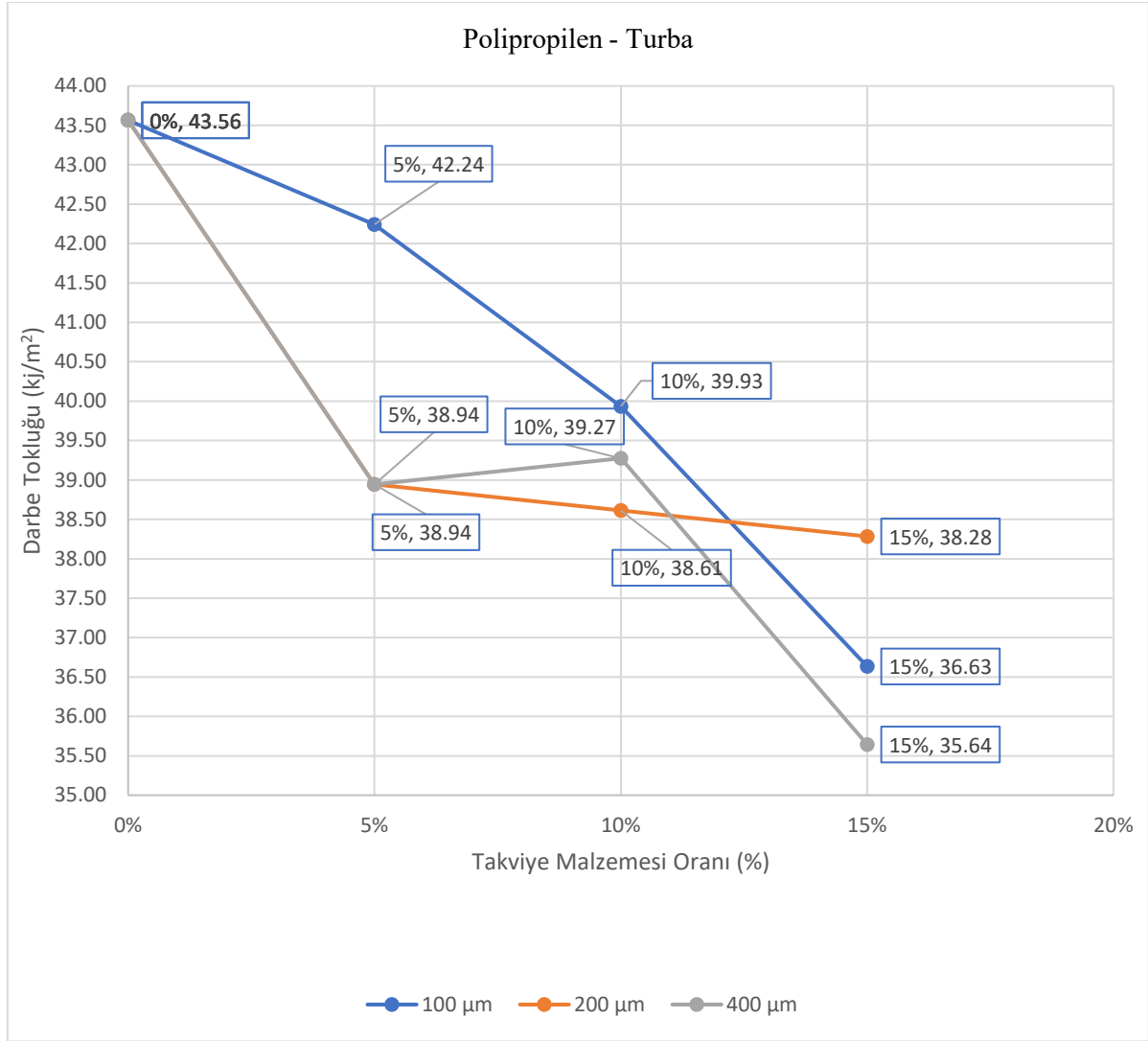
Şekil 4.11. Polipropilen esaslı Palmiye takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre darbe dayanımı

Şekil 4.11 incelendiğinde, Polipropilen esaslı malzemeye, %5, %10 ve %15 oranlarında ve 100, 200 ve 400 µm boyutlarında Palmiye lifi takviye yapılması ile elde edilen darbe dayanım sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde takviye oranı %5 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 40,59 kJ/m², 200 µm takviyede 36,63 kJ/m², 400 µm takviyede ise 36,30 kJ/m² olarak bulunmuştur. %5 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %10 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 41,91 kJ/m², 200 µm takviyede 40,59 kJ/m², 400 µm takviyede ise 39,60 kJ/m² olarak bulunmuştur. %10 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %15 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 42,24 kJ/m², 200 µm takviyede 41,58 kJ/m², 400 µm takviyede ise 41,25 kJ/m² olarak bulunmuştur. %15 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Bu veriler ve sonuçlar doğrultusunda en yüksek değer olarak %15’de 100 µm takviyede görülmüş olup, en düşük değer ise %5 de 400 µm takviye olarak tespit edilmiştir.



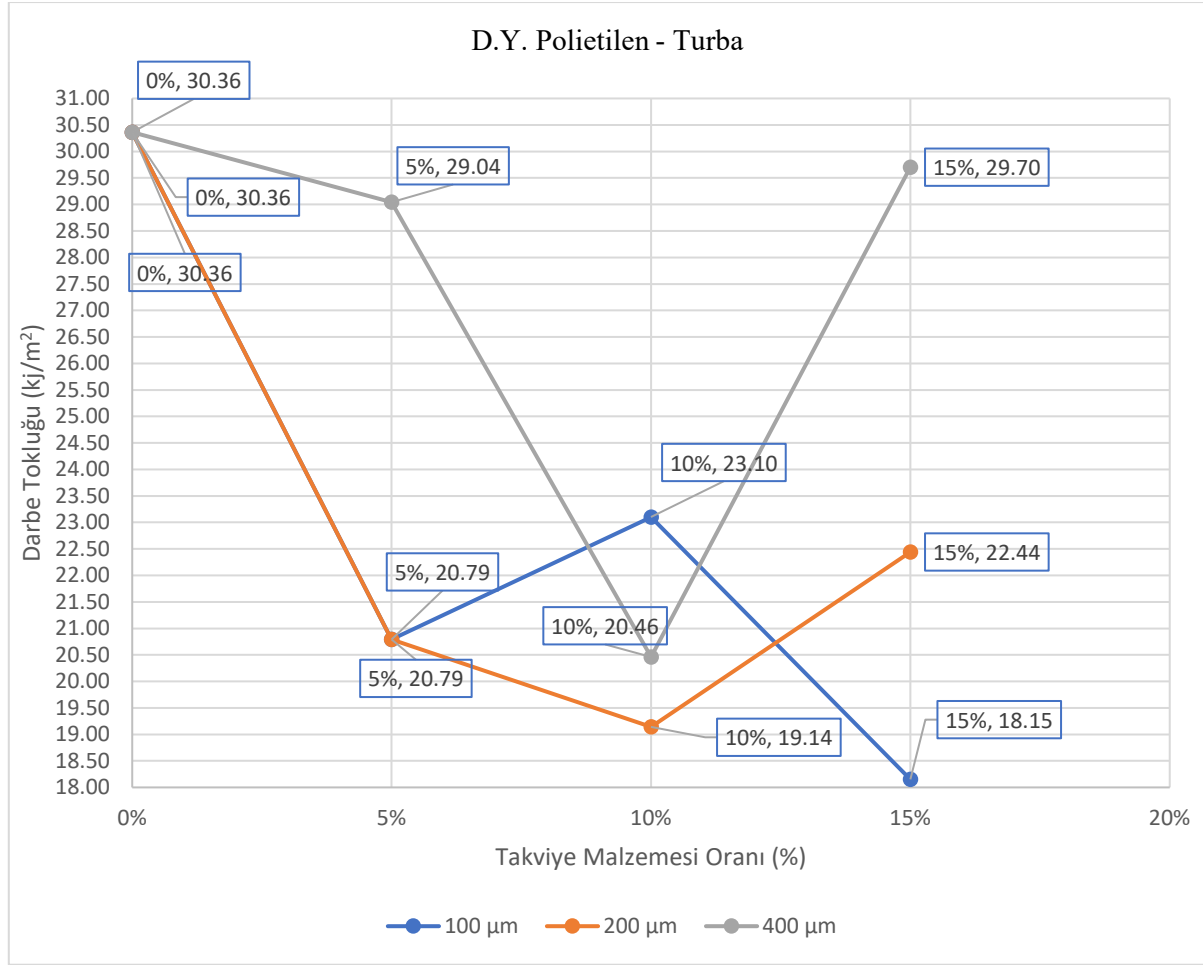
Şekil 4.12. D.Y. Polietilen esaslı Palmiye takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre darbe dayanımı

Şekil 4.12 incelendiğinde, D.Y. Polietilen esaslı malzemeye, %5, %10 ve %15 oranlarında ve 100, 200 ve 400 µm boyutlarında Palmiye lifi takviye yapılması ile elde edilen darbe dayanım sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde takviye oranı %5 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 32,34 kJ/m², 200 µm takviyede 29,37 kJ/m², 400 µm takviyede ise 26,40 kJ/m² olarak bulunmuştur. %5 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %10 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 38,94 kJ/m², 200 µm takviyede 31,35 kJ/m², 400 µm takviyede ise 28,05 kJ/m² olarak bulunmuştur. %10 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %15 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 39,60 kJ/m², 200 µm takviyede 29,37 kJ/m², 400 µm takviyede ise 29,37 kJ/m² olarak bulunmuştur. %15 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Bu veriler ve sonuçlar doğrultusunda en yüksek değer olarak %15’de 100 µm takviyede görülmüş olup, en düşük değer ise %5 de 400 µm takviye olarak tespit edilmiştir.



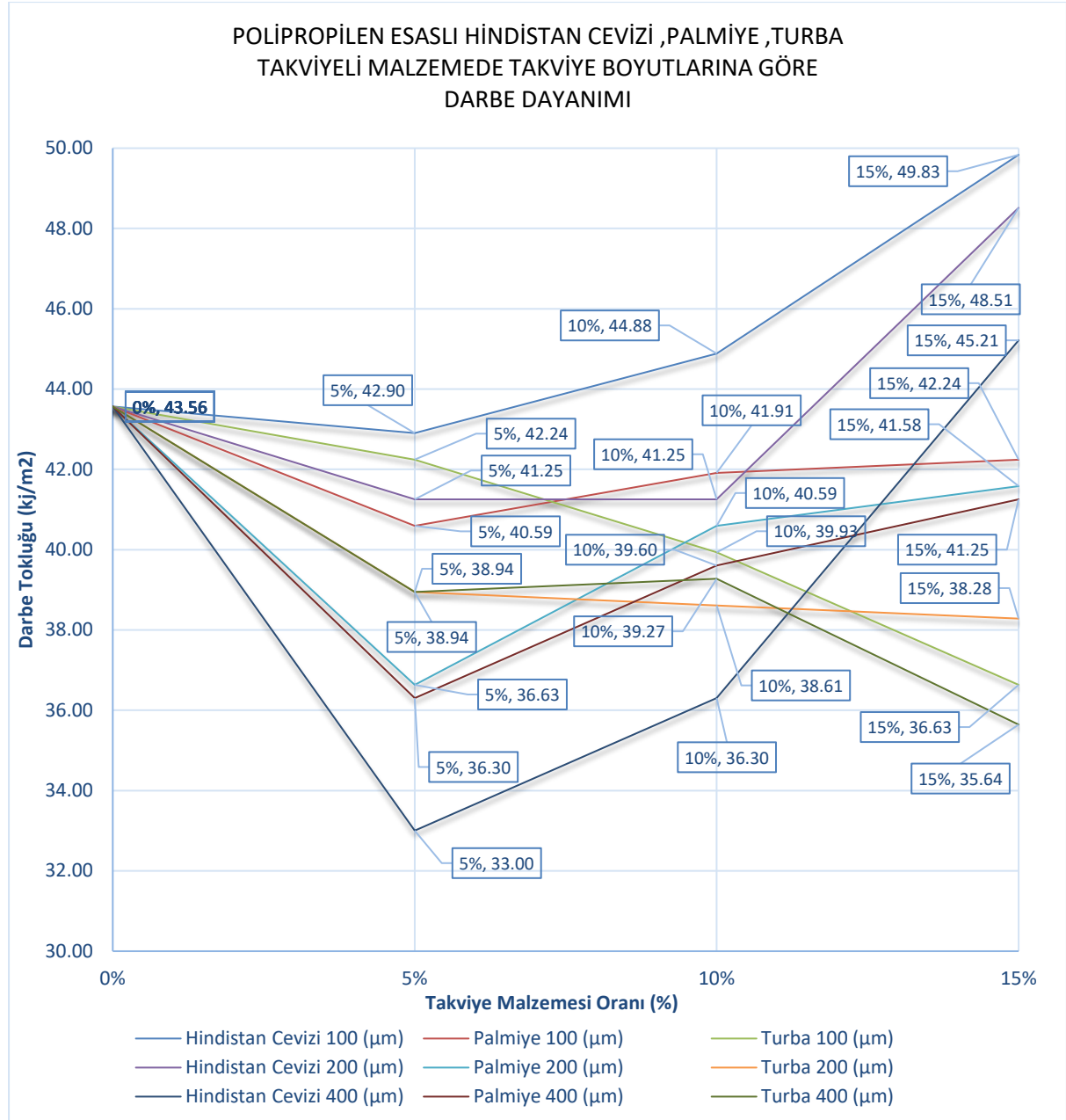
Şekil 4.13. Polipropilen esaslı Turba takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre darbe dayanımı

Şekil 4.13 incelendiğinde, Polipropilen esaslı malzemeye, %5, %10 ve %15 oranlarında ve 100, 200 ve 400 µm boyutlarında Turba lifi takviye yapılması ile elde edilen darbe dayanım sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde takviye oranı %5 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 42,24 kJ/m² , 200 µm takviyede 38,94 kJ/m² , 400 µm takviyede ise 38,94 kJ/m² olarak bulunmuştur. %5 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %10 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 39,93 kJ/m² , 200 µm takviyede 38,61 kJ/m² , 400 µm takviyede ise 39,27 kJ/m² olarak bulunmuştur. %10 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %15 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 39,63 MPa , 200 µm takviyede 38,28 MPa , 400 µm takviyede ise 35,64 kJ/m² olarak bulunmuştur. %15 takviyede en iyi değer 200 µm takviyede tespit edilmiştir. Bu veriler ve sonuçlar doğrultusunda en yüksek değer olarak %5’de 100 µm takviyede görülmüş olup, en düşük değer ise %15 de 400 µm takviye olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.14. D.Y. Polietilen esaslı Turba takviyeli malzemede takviye oranı ve tane boyut değişkenlerine göre darbe dayanımı

Şekil 4.14 incelendiğinde, D.Y. Polietilen esaslı malzemeye, %5, %10 ve %15 oranlarında ve 100, 200 ve 400 µm boyutlarında Turba lifi takviye yapılması ile elde edilen darbe dayanım sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde takviye oranı %5 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 20,79 kJ/m² , 200 µm takviyede 20,79 kJ/m² , 400 µm takviyede ise 29,04 kJ/m² olarak bulunmuştur. %5 takviyede en iyi değer 400 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %10 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 23,10 kJ/m² , 200 µm takviyede 19,14 kJ/m² , 400 µm takviyede ise 20,46 kJ/m² olarak bulunmuştur. %10 takviyede en iyi değer 100 µm takviyede tespit edilmiştir. Takviye oranı %15 olarak ilave edildiğinde darbe dayanımı 100 µm takviyede 18,15 kJ/m² , 200 µm takviyede 22,44 kJ/m² , 400 µm takviyede ise 29,70 kJ/m² olarak bulunmuştur. %15 takviyede en iyi değer 400 µm takviyede tespit edilmiştir. Bu veriler ve sonuçlar doğrultusunda en yüksek değer olarak %15’de 400 µm takviyede görülmüş olup, en düşük değer ise %15 de 100 µm takviye olarak tespit edilmiştir.

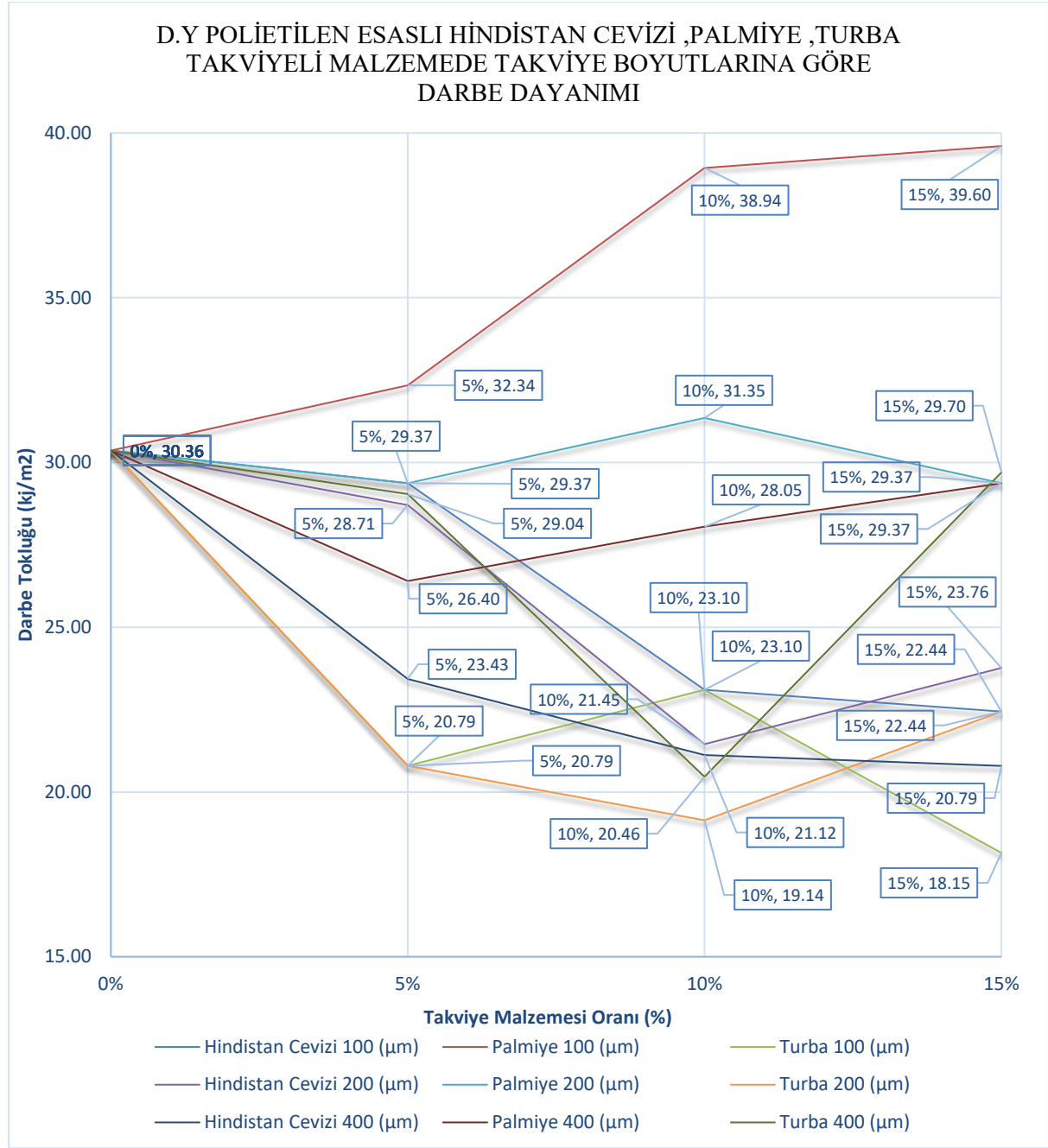


Şekil 4.15. Polipropilen esaslı hindistan cevizi ,palmiye ,turba takviyeli malzemede takviye boyutlarına göre darbe dayanımı

Matris malzemesi olarak polipropilen, takviye malzemesi olarak hindistan cevizi kabuğu lifinin kullanıldığı kompozit malzemelerde hindistan cevizi kabuğu lifinin %8,14 darbe dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Matris malzemesi olarak polipropilen takviye malzemesi olarak turba kullanıldığı kompozit malzemelerde %11,11 darbe dayanımının azaldığı görülmüştür.

Matris malzemesi olarak polipropilen, takviye malzemesi olarak palmiye lifinin kullanıldığı kompozit malzemelerde %8 darbe dayanımının azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.16. D.Y Polietilen esaslı hindistan cevizi ,palmiye ,turba takviyeli malzemede takviye boyutlarına göre darbe dayanımı

Matris malzemesi olarak D.Y.polietilen, takviye malzemesi olarak hindistan cevizi kabuğu lifinin kullanıldığı kompozit malzemelerde %21,62 darbe dayanımının azaldığı görülmüştür.

Matris malzemesi olarak D.Y polietilen, takviye malzemesi olarak turba kullanıldığı kompozit malzemelerde %25,48 darbe dayanımı dayanımının azaldığı görülmüştür.

Matris malzemesi olarak D.Y polietilen, takviye malzemesi olarak palmiye lifinin kullanıldığı kompozit malzemelerde palmiye lifinin %4,23 darbe dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Darbe testinden sonra numunelerin görüntüsü Şekil 4.17 de görülmektedir.



Şekil 4.17. Saf Polipropilen numunesinin darbe testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.18. Saf D.Y Polietilen numunesinin darbe testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.19. Hindistan Cevizi + PP numunelerinin darbe testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.20. Hindistan Cevizi + PE numunelerinin darbe testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.21. Turba + PP numunelerinin darbe testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.22. Turba + PE numunelerinin darbe testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.23. Palmiye + PP numunelerinin darbe testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.24. Palmiye + PE numunelerinin darbe testi sonrası görüntüsü

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan tez çalışması kapsamında, kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak D.Y. polietilen ve polipropilen kullanılmıştır.

Takviye elemanı olarak turba, hindistan cevizi kabuğu ve palmye lifi, farklı boyut (100 µm, 200 µm, 400 µm) ve farklı oranlarda (%5, %10, %15) kullanılmıştır. Takviye malzemeleri öğütme cihazı kullanılıp titreşimli elek cihazından geçirilerek farklı boyutlar elde edilmiştir (100 µm, 200 µm, 400 µm). Ekstrüzyon cihazı yardımıyla matris malzemesi ve takviye malzemesi belirli sıcaklıkta homojen olarak karıştırılarak kompozit granül peletler elde edilmiştir. Enjeksiyon cihazı yardımıyla kompozit malzemeler belirli sıcaklıkta çekme testi için ASTM 638 ve darbe testi için ASTM D6110 standartına sahip kalıplar ile numuneler üretilmiştir. Bu işlemlerin ardından numunelere çekme ve darbe testi yapılarak mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Matris malzemesi olarak polipropilen, takviye malzemesi olarak hindistan cevizi kabuğu lifinin kullanıldığı kompozit malzemelerde hindistan cevizi kabuğu lifinin %3,82 çekme dayanımını ve %8,14 darbe dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Matris malzemesi olarak D.Y. polietilen, takviye malzemesi olarak hindistan cevizi kabuğu lifinin kullanıldığı kompozit malzemelerde %9,79 çekme ve %21,62 darbe dayanımının azaldığı görülmüştür.

Matris malzemesi olarak polipropilen takviye malzemesi olarak turba kullanıldığı kompozit malzemelerde %8,85 çekme ve %11,11 darbe dayanımı dayanımının azaldığı görülmüştür.

Matris malzemesi olarak D.Y. polietilen, takviye malzemesi olarak turba kullanıldığı kompozit malzemelerde %8,18 çekme ve %25,48 darbe dayanımı dayanımının azaldığı görülmüştür.

Matris malzemesi olarak polipropilen, takviye malzemesi olarak palmye lifinin kullanıldığı kompozit malzemelerde %9,19 çekme ve %8 darbe dayanımının azaldığı görülmüştür.

Matris malzemesi olarak D.Y. polietilen, takviye malzemesi olarak palmye lifinin kullanıldığı kompozit malzemelerde palmye lifinin %5,14 çekme ve %4,23 darbe dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Sonuç olarak; takviye malzemesi olarak hindistan cevizi kabuğu lifi ve palmye lifinin kullanılması çekme ve darbe dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Ancak turbanın kullanılması ile beraber malzemenin çekme ve darbe dayanımı azalmıştır.

Bu çalışmada kompozit malzeme üretiminde takviye malzemesi olarak doğal liflerin tercih edilmesinin nedeni doğal liflerin doğal kaynaklardan elde edilebilir olmaları, kısmen ya da tamamen yenilenebilir olmaları, biyolojik bozunabilirlikleri, üretimlerinde kimyasal katkı maddelerinin kullanılmaması, düşük yoğunluklu ve düşük maliyetli olmaları gibi özellikleridir. Üretilen kompozit malzemelerin bu özelliklere sahip olması ekolojik dengenin korunmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Adeniyi, A.G., Onifade, D.V., Ighalo, J.O., Adeoye, A.S. (2019). A review of coir fiber reinforced polymer composites. *Compos Part B*, 176:107305.

Almeida, J. H. S., Souza, S. D. B., Botelho, E. C., Amico, S. C. (2016). "Carbon Fiber-Reinforced Epoxy Filament-Wound Composite Laminates Exposed to Hygrothermal Conditioning", *Journal of Materials Science*, 51, 4697-4708.

Almmarisha, B. A., Saba, N., Alotaibi, M. D., Alotibi, M. F., Jawaid, M., Alothman, O. Y.(2019). Evaluation of Mechanical, Physical, and Morphological Properties of Epoxy Composites Reinforced with Different Date Palm Fillers. *Materials* , 12, 2145–2145.

Asima, M., Jawaida, M., Khanb, A., Asirib, A.M., Malik, M.A. (2020). Article Effects of Date Palm fibres loading on mechanical, and thermal properties of Date Palm reinforced phenolic composites. *JMRTEC*, 1354,8.

Bildirici, K. C. (2014). Investigation Of Different Cure Methods On The Interfacial Strenght Of Polymer Based Fiber Reinforced Composites, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Bulut, Y., Erdoğan Ü. H. (2011). “Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı” *The Journal of Textiles and Engineer*, 26-35.

Bodur, M.S. (2016). Doğal lif takviyeli kompozitlerde lif / matris ara yüzey iyileştirme çalışmaları ve çevresel koşullara göre karakterizasyonu, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Can O. (2019). Biyopartikül Takviyeli Polimer Matrisli Biyokompozit Malzemelerin Üretilirliğinin ve Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

Cao, Y., Wu, Y. Q. (2008). Evaluation of statistical strength of bamboo fiber and mechanical properties of fiber reinforced green composites. *Journal of Central South University of Technology*, 15, 564-567.

Cao, Z., Daly, M., Geever, L.M., Major, I., Higginbotham, C.L., Devine, D.M. (2016). Synthesis and characterization of high density polyethylene/peat ash composites. *Compos B Eng*, 94, pp. 312-321.

Chowdari G.K., Prasad, D.V.V.K., Devireddy, S.B.R. (2020). Physical and thermal behaviour of areca and coconut shell powder reinforced epoxy composites. *Materials Today*.

Chawla, K.K., (1987). Composite Materials Science and Engineering. 140-283s Springer Verlag New York Inc.

Elanchezhian, C., Vijaya, B.R., Ramakrishnan, G., Rajendrakumar, M., Naveenkumar, V. and Saravanakumar, M.K. (2018). “Review on Mechanical Properties of Natural fiber Composites.” Materials Today: Proceedings, 5, 1785-1790.

Evren O. B. (2013). Farklı Yöntemlerle Modifiye Edilmiş Palmiye Esaslı Dokuma Yapılar ile Oluşturulan Kompozit Yapıların Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Gay, D., Hoa, S.V. ve Tsai, S.W.(2003).Composite materials design and applications, CRC Press, Florida.

Hietala, M., Koivuranta, E., Ammala, A., K. Oksman, K., Illikainen, M. (2017). Moisture Stability And Mechanical Durability Of Peat Biocomposites. International Conference on Composite Materials, 21.

Hull. D, and Clyne, T.W., 1996: An Introduction to Composite Materials, Cambridge university press, Cambridge, UK.

İlik, Z. (2018). Bioliflerden Üretilmiş Atık Tekstil Kumaşların, Kompozit Malzemelerde Takviye Elamanı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.

Karaman, F.C. (2019). Palmiye Ağacı Budama Atıklarından Plastik Kompozit Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İzmir.

K. Hamid, D., Alain, K., Bertine, B., Abdelkader, T., Moha, R., Mustapha, et al. (2006). Short palm tree fibres – thermoset matrices composites. Compos A, 37 , pp. 1413-1422.

Khanam P.N., AlMaadeed. M.A. (2014). Improvement of ternary recycled polymer blend reinforced with date palm fibre. Materials and Design, 60, pp. 532-539

Kocak D., Mıstık S.I. (2015). The use of palm leaf fibres as reinforcements in composites. Marmara University, Turkey.

Mazumdar, S. K. 2002. Composites Manufacturing, Materials, Product and Procces Engineering. CRC Press, ABD, 300s.

Megep, (2006). Bitkisel Lifler, Tekstil Teknolojisi, Ankara.

Özdemir Y. (2019). Biyo-Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Öksüz A. (2019). Polipropilen/Cam Elyaf/Etilen Vinil Asetat Polimer Kompozitinin Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Pala, İ. (2015). Tekstil Lifleri İle Takviyelendirilmiş Kompozit Malzemelerin Ürün Tasarımında Kullanılması, İstanbul.

Sayer M. (2009). Hibrit Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Singh, A., Singh, S., Kumar, A. (2013). Study of mechanical properties and absorption behavior of coconut shell powder epoxy composites. Int J Mat Sci App, 2(5), 157-161.

Srinivasulu, N.V., Tejaswi, V. (2012). “Mechanical properties of polymer composite materials.” Int. J. Res. Eng. Technol, 1, 78–81.

Shah, D. U., Porter, D., Vollrath, F. (2014). “Can silk become an effective reinforcing fibre a property comparison with flax and glass reinforced composites.” Composites Science and Technology, 101, 173-183.

Strong, A.B.:(2006). History of Composite Materials – Opportunties and Necessities, Birgham Young University.

Schwartz, M.M., (1984). “Composite Materials Handbook” 8-26s McGraw-Hill Inc.

Sönmez, M. (2009). Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemli Ve Geleceği: Türkiye’den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Şahin, Y. (2015). Kompozit malzemelere giriş. Seçkin Yayınevi.

Ulutaş, E. (2019). Geri Dönüşümlü Polipropilen/Çeltik Polimer Kompozitinin Mekanik, Termal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Yıldızhan H. (2008). Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

<https://www.celignis.com/feedstock.php?value=10> [06.05.2020].

