

İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PALMIYE AĞACI BUDAMA ATIKLARINDAN PLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih Cafer KARAMAN

DİSİPLİNLERARASI BİYOKOMPOZİT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

2019

İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PALMİYE BUDAMA ATIKLARINDAN PLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih Cafer KARAMAN
(Y150102004)

Disiplinlerarası Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nilgöl ÇETİN

TEMMUZ 2019

İKÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsünün Y150102004 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Fatih Cafer KARAMAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “PALMİYE BUDAMA ATIKLARINDAN PLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :

Prof. Dr. Nilgöl ÇETİN
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. Kutlay SEVER
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Mehmet SARIKANAT
Ege Üniversitesi

.....

Teslim Tarihi : 28.06.2019
Savunma Tarihi : 19.07.2019



Aileme,

ÖNSÖZ

Fosil kökenli kaynakların hızla tükenmesi ve çevreye karşı zararlı olması, yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kalan ormanlardan dolayı da odun kökenli kaynakların azalması çevre dostu, sağlıklı, yenilenebilir biyo-kökenli malzemelere olan ihtiyacı günde güne arttırmaktadır. Biyo-kökenli kompozit malzemeler atık lignoselülozik metaryelin kullanıma olanak sağlamakla birlikte ülke ekonomisine değer kattığı bilinmektedir.

İzmir ilinde süs amaçlı kullanılan palmiye ağacı budama atıkları değerlendirilmemekte ve önemli miktarda lignoselülozik metaryel zayi olmaktadır. Bu tez çalışmasında İzmir İlinin Çiğli İlçesinden temin edilmiş çöl palmyesi (*washington filifera*) türünün yaprak kısmı budama atıkları öğütülmüştür. Öğütülen palmye unu ekstraksiyon ve modifiye aşamalarına tabi tutulmuştur. Öğütülmüş palmye unu, ekstrakte edilmiş palmye unu, modifiye edilmiş palmye unu, uyumlaştırıcı ajan belirli oranlarla yüksek yoğunluklu polietilen matrisinin içine katılarak kompozit malzeme haline getirilmiştir. Üretilen kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerinin analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmanın her safhasında yanımda bulunarak yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Ayberk AYDOĞMUŞ'a, tez çalışmam boyunca maddi manevi tüm imkanlarıyla yardımını esirgemeyen, en olumsuz anlarımda bile bir çıkış yolu göstererek ilerlememi sağlayan değerli hocamlarım Prof. Dr. Nilgöl ÇETİN'e ve Prof. Dr. Nihat Sami ÇETİN'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

TEMMUZ 2019

Fatih Cafer KARAMAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
TABLO LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Kompozit Malzemelerl.....	3
1.1.1 Matris malzemeleri	4
1.1.1.1 Termoset polimerler	5
1.1.1.2 Termoplastik polimerler	6
1.1.2 Takviye malzemeleri.....	6
1.2 Kompozit Malzemelerde Kullanılan Bitkisel Lifler	7
1.2.1 Pamuk.....	8
1.2.2 Ketten	8
1.2.3 Kenevir	9
1.2.4 Jüt	9
1.2.5 Sisal.....	9
1.2.6 Palmiye	10
1.2.7 Hindistan cevizi (koko lifi)	11
1.3 Bitkisel Liflerin Kimyasal Bileşeni Ve Yapısı.....	12
1.3.1 Selüloz.....	12
1.3.2 Hemiselüloz	13
1.3.3 Lignin	13
1.3.4 Ekstraktif maddeler	14
1.4 Bitkisel Liflere Uygulanan Kimyasal Modifikasyon Yöntemleri.....	14
1.4.1 Esterler	15
1.4.1.1 Sodyum hidroksit modifikasyonu	15
1.4.1.2 Vinil asetat modifikasyonu	15
1.4.2 Asetaller	16
1.4.3 Eterler.....	16
1.5 Literatür Özeti	17
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	12
2.1 Materyal	22
2.2 Metod	22
2.2.1 Öğütme ve eleme	22
2.2.2 Ekstraksiyon işlemi	24
2.2.3 Klason lignin tayini	25
2.2.4 Holoselüloz tayini	25
2.2.5 Alfa selüloz elde etme (TAPPI T 203 os-71).....	26
2.3 Kimyasal Modifikasyon İşlemleri.....	27
2.3.1 Sodyum hidroksit modifikasyonu	27
2.3.2 Vinil asetat modifikasyonu	28

2.3.3 FTIR analizi	29
2.4 Palmiye Budama Atıklarından Plastik Kompozit Üretimi	30
2.5 Üretilen Plastik Kompozitlerin Karakterizasyonu	33
2.5.1 Mekanik testler.....	33
2.5.2 Dinamik eğilme mekanik testi (DMA)	34
2.5.3 Termogravimetrik analiz (TGA).....	34
2.5.4 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları	35
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	36
3.1 Kimyasal Analiz Değerleri.....	36
3.2 Kimyasal Modifikasyon İşlemleri.....	38
3.3 Üretilen Kompozitlerin Mekanik Test Değerleri	40
3.3.1 Çekme direnci deneyi.....	40
3.3.2 Eğilme deneyleri	42
3.4 Termogravimetrik Analizi (TGA).....	44
3.5 Dinamik Mekanik Analizi (DMA).....	49
3.6 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri.....	52
4. SONUÇLAR	54
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ.....	61

KISALTMALAR

YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
P1K	: %25 öğütölmüş palmiye yaprağı unu takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen matrisli kompozit
P2E	: %25 ekstrakte edilmiş palmiye yaprağı unu takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen matrisli kompozit
P3MAPE	: %25 ekstrakte edilmiş palmiye yaprağı unu ve %5 maleik anhidrit polietilen takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen matrisli kompozit
P4NA1	: %25 oranında %8,5 sodyum hidroksit ile modifiye edilmiş ekstrakte palmiye yaprağı unu takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen matrisli kompozit
P5NA2	: %25 oranında %17,5 sodyum hidroksit ile modifiye edilmiş ekstrakte palmiye yaprağı unu takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen matrisli kompozit
P6VA	: %25 oranında vinil asetat ile modifiye edilmiş ekstrakte palmiye yaprağı unu takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen matrisli kompozit
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
TGA	: Termogravimetrik Analiz
DMA	: Dinamik Mekanik Analiz
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 : Palmiye plastik kompozit üretiminde kullanılan karışım oranları.....	31
Tablo 3.1 : Çöl palmyesi (washingtonia filifera) yaprağı liflerinin kimyasal analiz değerleri.....	36
Tablo 3.2 : Çöl palmyesi (washingtonia filifera) yaprağı liflerinin kimyasal bileşenlerinin diğer selülozik lifler ile karşılaştırılması [35]	37
Tablo 3.3 : Üretilen kompozit örneklerinin çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri.....	40
Tablo 3.4 : Üretilen kompozitlerin eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerleri... ..	42

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kompozit malzeme bileşenleri ...	3
Şekil 1.2 : Kompozitlerin sınıflandırılması ...	4
Şekil 1.3 : Termoset polimer zincirlerinin çapraz bağlanması .	5
Şekil 1.4 : Bitkisel liflerin sınıflandırılması .	7
Şekil 1.5 : Çöl palmyesi (washingtonia filifera).....	11
Şekil 1.6 : Selülozun kimyasal yapısı.....	12
Şekil 2.1 : Küçültülmüş palmye yaprağı parçacıkları.....	22
Şekil 2.1 : Küçültülmüş palmye yaprağı parçacıkları.....	22
Şekil 2.2 : Mertest LB 160 laboratuvar tipi bıçaklı öğütücü... ..	23
Şekil 2.3 : Öğütülmüş palmye yaprağı.	23
Şekil 2.4 : Ekstraksiyon işlemi... ..	24
Şekil 2.5 : Holoselüloz tayini... ..	26
Şekil 2.6 : Düşük alkali ve yüksek alkali ile modifikasyon deney aşaması.. ..	28
Şekil 2.7 : Vinil asetat modifikasyonu deney düzeneği.....	29
Şekil 2.8 : FTIR Shimadzu 8400s markalı spektrofotometre cihazı.....	30
Şekil 2.9 : Gülnar ısıtma-soğutma üniteli laboratuvar tipi hidrolik pres	32
Şekil 2.10 : Plaka haline getirilmiş kompozit malzemeler	32
Şekil 2.11 : Shimadzu AG-IC üniversal test cihazı	33
Şekil 2.12 : Q800 dinamik mekanik eğilme test cihazı	34
Şekil 2.13 : Q600 termogravimetrik analiz test cihazı	34
Şekil 2.14 : Carl Zeiss 300VP taramalı elektron mikroskobu	35
Şekil 3.1 : Öğütülmüş palmye unu ile ekstrakte palmye unu FTIR analiz görüntüleri	38
Şekil 3.2 : Ekstrakte palmye unu ile %8,5 NaOH modifikasyonu FTIR görüntüleri ..	38
Şekil 3.3 : Ekstrakte palmye unu ile %17,5 NaOH modifikasyonu FTIR görüntüleri ..	39
Şekil 3.4 : Ekstrakte palmye unu ile vinil asetat modifikasyonu FTIR görüntüleri ..	39
Şekil 3.5 : Kompozit malzemelerin çekme dayanımındaki (MPa) değişimler.....	40
Şekil 3.6 : Kompozit malzemelerin elastisite modülündeki (MPa) değişimler	41
Şekil 3.7 : Kompozit malzemelerin eğilme dayanımındaki (MPa) değişimler.	42
Şekil 3.8 : Kompozit malzemelerin eğilme modülündeki (MPa) değişimler	43
Şekil 3.9 : YYPE'nin TGA grafiği	44
Şekil 3.10 : P1K'nın TGA grafiği	45
Şekil 3.11 : P2E'nin TGA grafiği.....	46
Şekil 3.12 : P3MAPE'nin TGA grafiği	46

Şekil 3.13 : P4NA1'in TGA grafiği	47
Şekil 3.14 : P5NA2'nin TGA grafiği.....	48
Şekil 3.15 : P6VA'nın TGA grafiği.....	48
Şekil 3.16 : Kompozitlerin depolama modülü grafiği	49
Şekil 3.17 : Kompozitlerin kayıp modülü grafiği.....	50
Şekil 3.18 : Kompozitlerin tan delta modülü grafiği.....	51
Şekil 3.19 : a) YYPE, b) P1K, c) P2E, d) P3MAPE, e) P4NA1, f) P5NA2, g) P6VA kompozitlerinin SEM görüntüleri	52



PALMIYE BUDAMA ATIKLARINDAN PLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ

ÖZET

Palmiye ağaçlarının peyzaj amaçlı süs bitkisi olarak kullanıldığı İzmir ilinde kış aylarında yapılan budama faaliyetleri sonucunda önemli miktarda atık elde edilmektedir. Budama atıkları değerlendirilmediği için önemli miktardaki lignoselülozik metaryal zayi olmaktadır. Palmiye ağacı budama atıkları ile termoplastik malzemeler bir araya getirilerek çevremiz ve endüstri açısından önemli bir geri kazanım elde edilebileceği düşünülmektedir.

Palmiye ağacı budama atıkları İzmir ilinde bol miktarda bulunan ve henüz kompozit endüstrisinde kullanılmayan bitkisel atıklardır. Palmiye ağacı budama atıklarından elde edilecek plastik kompozitlerle alternatif malzemeye olan ihtiyaç karşılanacağı gibi oluşturacağı endüstri ile yeni iş imkanlarına olanak verebileceği öngörülmektedir.

Bu çalışma kapsamında İzmir'in Çiğli ilçesinden çöl palmyesi (*washingtonia filifera*) türüne ait budama sonucu elde edilen yapraklar öğütülmüş ve ekstraksiyon, lignin, holoselüloz, alfa selüloz gibi kimyasal analizleri yapılarak yapısını oluşturan kimyasal bileşenleri tespit edilmiştir. Kimyasal bileşenleri bulunduktan sonra sodyum hidroksit (düşük alkali ve yüksek alkali) ve vinil asetat modifikasyonları yapılmıştır. Öğütülmüş, ekstrakte edilmiş, kimyasal modifiye edilmiş, uyumlaştırıcı ajan eklenmiş palmye yaprağı unu yüksek yoğunluklu polietilen YYPE matrisi ile belirlenmiş oranlarla birleştirilerek plastik kompozit haline getirilmiştir. Kompozit malzemeler üretildikten sonra çekme testleri, eğilme testleri, dinamik mekanik analizleri (DMA), termogravimetrik analizleri (TGA) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır.

PLASTIC COMPOSITE PRODUCTION FROM PALM PRUNING WASTES

ABSTRACT

A significant amount of waste is obtained as a result of the pruning activities carried out during the winter months in İzmir province, which is used as an ornamental plant for palm trees for landscaping purposes. Since pruning wastes are not evaluated, a significant amount of lignocellulosic material is lost. Palm tree pruning waste and thermoplastic materials can be brought together to achieve a significant recovery for our environment and industry.

Palm tree pruning wastes are vegetable wastes which are abundant in İzmir province and not used in the composite industry yet. It is foreseen that the need for alternative material will be met with plastic composites to be obtained from palm tree pruning wastes and it will provide new business opportunities with the industry it will create.

Within the scope of this study, the leaves obtained from the pruning of palm species from Çiğli district (*washingtonia filifera*) of İzmir were grinded and chemical components such as extraction, lignin, holocellulose, alpha cellulose were determined and the chemical components forming the structure were determined. Sodium hydroxide (low alkali and high alkali) and vinyl acetate modifications were made after the chemical components were found. The milled, extracted, chemically modified, harmonizing agent added palm leaf flour was combined with high density polyethylene HDPE matrix in the specified proportions and turned into a plastic composite. After the composite materials were produced, tensile tests, three point bending tests, dynamic mechanical analyzes (DMA), thermogravimetric analyzes (TGA) and scanning electron microscopy (SEM) analyzes were performed.

1. GİRİŞ

Fosil kökenli ürünlerin yerine yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilen malzemelerin üretilmesi için yeni teknolojilerin geliştirilmesi yönünde artan bir eğilim bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar fosil kökenli kaynakların belli bir süre sonra ihtiyaçlarımızı karşılamayacağını göstermektedir. Bu nedenle biyo-kökenli kaynaklara olan eğilim artış göstermekte ve yaşadığımız çevre, canlılar hatta Dünya açısından önem arz etmektedir. Yenilenebilir kaynaklar fikri 1930'lu yıllara dayanmaktadır. Fıstıktan birçok endüstriyel ürün üretimi gerçekleştiren George Washington Carver bu fikrin ilk öncüsü kabul edilmektedir. 1934 yılında William J. Hale öncülüğünde organik maddelerin endüstriyel kullanımı (Chemurgy) hareketinin başladığı görülmektedir. Bu hareketin; 2. Dünya savaşının sona ermesi ile yeni ucuz petrokimyasal ürünlerin üretilmesi sonucunda önemini kaybettiği görülmektedir [1].

Dünya nüfusundaki hızlı artış; beraberinde tüketim toplumu oluşturmuş artan ihtiyacı karşılamak için tek kullanımlık doğada yok olması yüzyıllar alan fosil kökenli ürünlerin de artmasına sebep olmuştur. Doğal kaynakların bilinçsizce kullanımı, artan çevre kirliliği küresel ısınma gibi Dünya'nın tamamını ilgilendirecek boyutta önemli problemler meydana getirmektedir. 1992 yılında Rio Deklarasyonunda önemli bir adım atılarak sürdürülebilirlik kavramının önemi vurgulandı ve uluslararası boyutta yapılacak hususlar hakkında kararlar alındı. Alınan kararlar sonucunda biyo-kökenli kaynaklara olan yönelim hızlı bir şekilde artış gösterdi. Biyo-kökenli kaynakların; yenilenebilir olması, çevre dostu olması, sağlıklı olması, mevcut kaynakların korunmasına yardımcı olması gibi daha nice faydalar ihtiva etmektedir. Son yıllarda biyo-malzemelerle ilgili bilimsel alanda önemli çalışmalar yapılmakta ve yeni metotlar geliştirilmektedir [2].

Ülkemiz biyo-kökenli ürünler bakımından çok zengin bir çeşitlilik göstermektedir. Sahip olduğu bu biyo-potansiyel onu yenilenebilir ürünlerin elde edilmesinde önemli bir yere getirmektedir. Ülkemizde orman ve tarım arazilerinin %34.9'unu orman, %27.9'unu ekili tarım arazisi oluşturmaktadır. Geriye kalan alanların büyük bir çoğunluğunu; mera arazileri, çayır, şehir içi peyzaj alanları, meyve ve sebze

bahçeleri oluşturmaktadır. Arazilerden önemli miktarda biyo-kütle elde edilmekte ve bu ürünlerin kullanımı sonucunda önemli miktarda bitkisel atık oluşmaktadır [3]. Bu bitkisel atıklardan biri de palmiye ağacı budama atıklarıdır. Ülkemizde her sene kış aylarında gerçekleşen palmiye ağacı budama faaliyetleri sonucunda önemli miktarda budama atığı oluşmakta ve henüz bu atıkların değerlendirilmesi konusunda bir girişim bulunmadığı için zayi olmaktadır. İzmir palmiye ağaçlarının peyzaj amaçlı kullanımı bakımından ülkemizin önde gelen şehirlerindendir. Bu şehir palmiye ağaçları ile adeta bütünleşmiş bir yapı göstermektedir. İzmir'in bu özelliği göz önüne getirildiğinde, palmiye ağacı budama atığı bakımından önemli bir rezerve sahip olduğu görülmektedir [4].

İzmir'de bulunan palmiye ağaçlarının sayısı yaklaşık olarak 10.000 civarındadır. Her sene kış ayları içinde palmiye ağaçlarının budaması yapılmaktadır. Bir ağaçtan budama sonrası yaklaşık 5 kg atık elde edilmektedir. Bu bilgiye dayanarak bir sene içinde yapılan budama faaliyetlerinden önemli miktarda atık elde edildiği görülmektedir. Palmiye ağacı budama atıklarının geri dönüşümü yapılmamakta ve atıklar çöplüklere götürülerek yakılmaktadır. Günümüzde alternatif kaynaklara olan ihtiyaç İzmir'i palmiye ağaçları bakımından önemli bir konuma getirmektedir [4].

Ülkemizde sadece süs bitkisi olarak yetiştirilen palmiyelerden ekonomik alanlarda az da olsa yararlanılmaktadır. Genel olarak şeker, bitkisel yağ ve dokumacılıkta kullanılan lifler elde edilmektedir. İzmir'de palmiye ağacı budama atıklarından elde edilen biyo-kökenli malzeme rezervi çok önemli sayıda bulunmakta ve bu biyo-hazine günümüze kadar keşfedilmediğinden dolayı zayi olmaktadır. Palmiye ağacı budama atıklarından üretilecek plastik kompozit malzemeler ülkemizin önemli derecede alternatif malzeme ihtiyacını karşılayacağı gibi bu üretim faaliyetlerinin gerçekleşmesi ile birlikte yeni iş ve istihdam alanları oluşturacağından ekonomik olarak da çok önemli bir adım atılacağı öngörülmektedir.

Biyo-malzemelerin sağladığı avantajlardan faydalanmak ve yeni metotlar geliştirerek mevcut çalışmalarını ilerletmek amacıyla 'Palmiye Budama Atıklarından Plastik Kompozit Üretimi' adlı akademik çalışması yapılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında İzmir'de çok sayıda bulunmasından, yapraklarının büyük ve lifli olmasından dolayı çöl palmyesi (*washingtonia filifera*) adlı palmiye türü kullanılmıştır. Palmiye ağacı yaprak lifi öğütüldükten sonra ekstraksiyon, klason lignin tayini, holoselüloz tayini, ve alfa selüloz tayini yapılarak kimyasal yapısı incelenmiştir. Kimyasal analiz

işlemlerinden sonra hidroksit (düşük ve yüksek alkali) ve vinil asetat kimyasal modifikasyonları yapılmıştır. Her aşamadan sonra kimyasal işlem görmüş lifin FTIR analizleri yapılmıştır. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) matrisi içine belirli oranlarda öğütülmüş palmiye lifi, ekstrakte edilmiş palmiye lifi, kimyasal modifikasyona uğramış palmiye lifi ve uyumlaştırıcı ajan katılmıştır. Kompozit malzemeler üretildikten sonra çekme testleri, eğilme testleri, dinamik mekanik analizleri (DMA), termogravimetrik analizleri (TGA) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır.

1.1 Kompozit Malzemeler

Kompozit, kelime olarak iki veya daha fazla parçadan oluşan anlamına gelmektedir. Kompozit malzemeler farklı ve aralarında kimyasal etkileşimler olmayan maddelerin birbirlerinin zayıf yönlerini iyileştirerek üstün özellikler elde etmek amacıyla bu malzemelerin makro seviyede belli bir düzende bir araya getirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir [5]. Şekil 1.1’de kompozit malzemeyi meydana getiren bileşenler gösterilmektedir.



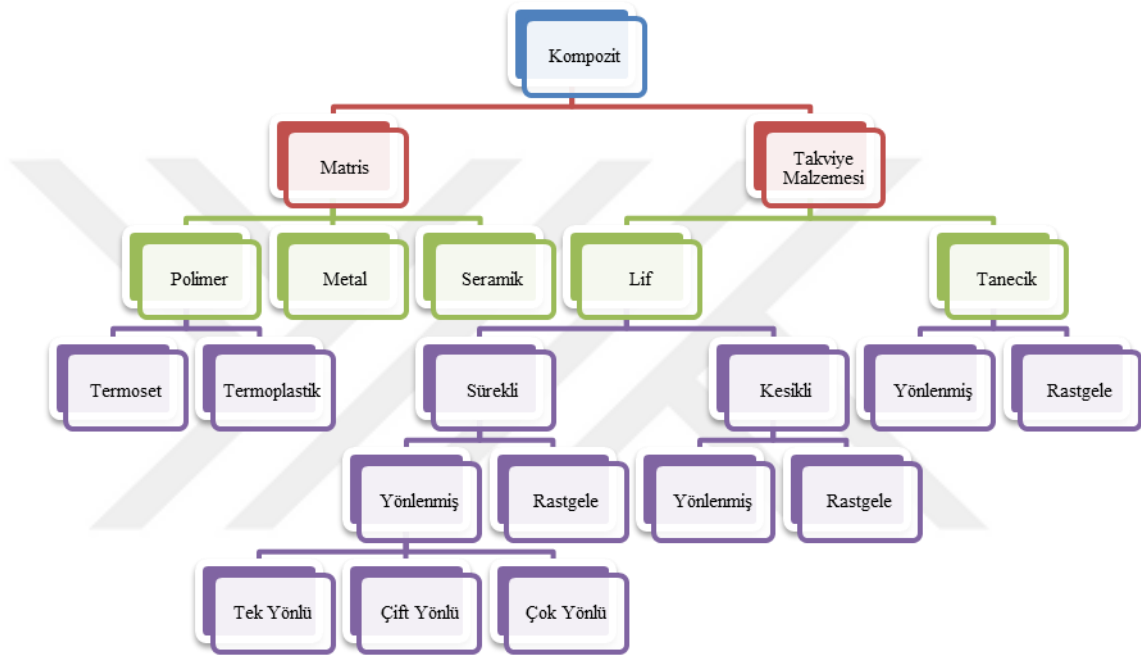
Şekil 1.1 : Kompozit malzeme bileşenleri [6].

Kompozit malzemelerin kullanımının çok eski zamanlara kadar uzandığı ve ilk kullanım alanında inşaat malzemesi olarak çamur ve samanın karışımından elde edilen kompozitler olduğu literatürde belirtilmiştir. 1950’li yıllara gelindiğinde ise kompozit malzemelerin araç gövdelerinde kullanılması için üretimi yapılmaya başlamıştır. Yaklaşık 10 yıl kadar daha kompozit malzemelerden teknolojik sorunların çözümünde yararlanılmıştır. Daha sonra polimer kökenli malzemeler kullanılarak oluşturulan kompozitler mühendislik malzemesi olarak kullanımı büyük bir kabul görmüştür. Yapısal alanlarda çelik ve alüminyum yerine alternatif olarak kullanıldıklarında, çelik ve alüminyuma nazaran daha iyi performans göstermeleri kompozit malzemelerin hızlı bir şekilde büyümelerine olanak sağlamıştır. Kompozit

malzemeler kullanıldığında enerji bakımından tasarruf sağladığı için günümüzde kullanımı iyice yaygınlaşmıştır [7].

Kompozit malzemeler oluşumunda matris ve takviye elemanları rol üstlenmektedir. Kompozit malzemelerde çekirdek olarak kullanımı olan takviye elemanı ve takviye elemanının çevresini saran, hacim olarak üstünlüğe sahip matris malzemesi bulunmaktadır [8].

Şekil 1.2’de kompozitlerin sistematik bir şekilde sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 1.2 : Kompozitlerin sınıflandırılması [9].

1.1.1 Matris malzemeleri

Bir kompozit malzemedeki matrisin görevleri; lifi / takviyeyi bir arada tutarak bireysel hareketlerine mani olmak, kompozit malzemeye yüklenen yükü liflere dağıtmak, kompozit malzemeye şekil verildiğinde bu şeklin korunmasını sağlamak ve çevresel etmenlerin sebep olabileceği kimyasal ve fiziksel etkilere karşı kompozit malzemeyi korumaktır [6].

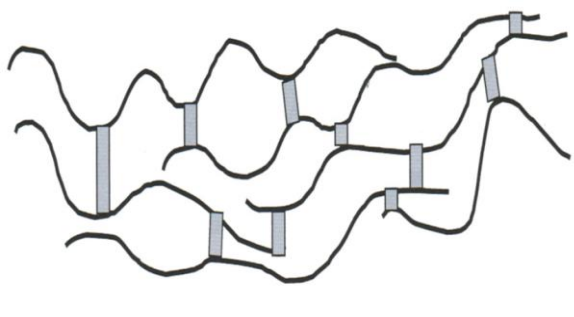
Kompozit malzemelerde yükü taşıyan takviye elemanlarının işlevlerini yerine getirmeleri açısından matrisin mekaniksel özelliklerinin payı çok önemlidir. Örneğin; matris metaryeli mevcut olmayan bir lif demeti düşünüldüğü zaman yük bir ya da birkaç lif tarafından üstlenilecektir. Matrisin en önemli işlevlerinden biri de maruz kaldığı yükü liflere eşit ve homojen bir şekilde dağıtmaktır. Kayma yüküne

gösterilecek dayanım liflerle matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kayma mukavemeti özelliklerini istemektedir [6].

Lif yönlenmelerine dik doğrultudaki dayanım, matrisin mekanik özelliklerine ve lif ile matris arasındaki bağ kuvvetlerine mukabil olup, kompozit yapının mukavemetini tayin eder. Matris, kullanılacak life nazaran daha zayıf ve daha esneklik gibi özelliklere sahip olduğundan kompozit yapıların tasarımında dikkate alınması gereken hususlardan birini oluşturmaktadır [9]. Kompozitin ana bileşeni olan matrisler birliktelik sağladığı liflerin etrafını sarmaktadır. Liflerin etrafını sardığı için dış çevreden gelebilecek etkilere ilk maruz kalan kısım olmaktadır. Bu durumdan dolayı kompozit malzeme meydana getirirken matris seçimi en önemli kriter olarak görülmektedir [6]. Matris malzemesi olarak polimer, metal ve seramik kullanılmaktadır. Kullanılan polimer cinsine göre matris malzemeler termoset ve termoplastik olmak üzere ikiye ayrılır.

1.1.1.1 Termoset polimerler

Termoset polimerler; katı fazına geçmeden önce serbest moleküller halinde görülmektedirler. Sertleşme ile birlikte kimyasal tepkimeler sonucu Şekil 1.3'te görüldüğü üzere çapraz bağlardan oluşan 3 boyutlu bir ağ yapısı şeklinde bulunmaktadırlar. Fiziksel ve mekanik özellikleri, 3 boyutlu ağ yapısı meydana getiren moleküllerin özelliğine ve bu moleküller arası bağlara ait olduğu bilinmektedir. Polimerizasyon esnasında çapraz bağlanma süreciyle kontrolleri mümkün olmaktadır. Termoset polimerler rijit özellikleri sebebi ile sıcaklık artışına maruz kalmakla tekrar yumuşama göstermezler. Termoplastiklere göre daha yüksek mukavemet göstermelerine karşın, daha kırılgan yapıdadırlar. Termoset polimerler kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin geri dönüşümü sağlanamamaktadır [9].



Şekil 1.3 : Termoset polimer zincirlerinin çapraz bağlanması [9].

1.1.1.2 Termoplastik polimerler

Termoplastikler termal enerji (ısı) ve basınç uygulandığında kolay bir şekilde yumuşama gösteren, deforme olabilen ve akışkan durumda istenilen bir şekli alabilen ve soğutulduğunda sertleşebilen malzemelerdir. Bu özellikleri sayesinde ile tekrar tekrar kullanılabilirler. Şekillendirme aşamasında başka bir kimyasal değişiklik geçirmesi söz konusu değildir. Bu özellikleri esasen termoplastiklerin molekül yapısından meydana gelmektedir [9]. 54°C ile 120°C arasında, bazen de yapılarına bağlı olarak 260-270°C'ye kadar bulunan sıcaklıklarda bozunurlar. Termoplastiklerin kullanılma süreleri, malzemenin kullanım yerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Birçok termoplastik polimer bulunmakla birlikte en yaygın kullanıma sahip olanı polietilendir.

Polietilen, üretim bakımından diğer polimerlere oranla ilk sırada yer almaktadır. Polietilen fiziksel özellikleri nedeni ile 106°C ile 130°C arasında değişen düşük erime sıcaklıklarına sahip termoplastik malzemedir. Çok farklı viskozitelerde üretilebilmekte oldukları bilinmektedir. Düşük erime sıcaklığı selülozik liflerin termal degradasyona uğramadan kullanılabilmesi sağlamaktadır. Polietilen esaslı kompozit malzemelerin çivilenmesi, vidalanması ve kesilmesi daha kolay bir şekilde gerçekleşmektedir. Polietilen %0 rutubet absorpsiyonuna sahiptir. 24 saat su içerisinde bekletilmesinin ardından %0,02'nin altında bir rutubet absorpsiyonunun meydana geldiği tespit edilmiştir. Kuvvetli asitlere karşı yüksek oranda direnç gösterdiği gözlenmiştir [10].

Polietilenlerin başlıca özellikleri şunlardır:

- ❖ Dayanıklılık bakımından çok iyi performans sergilemeleri,
- ❖ Asit, baz ve çözücülere karşı dayanıklılık göstermeleri,
- ❖ Dielektrik özellikleri bakımından üstünlük sağlamaları,
- ❖ Değişen çevre koşullarına karşı üstün mukavemet göstermeleri,
- ❖ İşlenebilirlik bakımından kolay olmaları [9].

1.1.2 Takviye malzemeleri

Kompozitlerde lifler ve farklı geometrilerde tanecikler takviye edici maksadı ile kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılacak

liflerin boyları, kesitlerinden belirgin bir şekilde büyüktür. Tanecikli takviyeler de ise üç yöndeki boyutları birbirine yakındır ve belirgin farklılık gözlenmez.

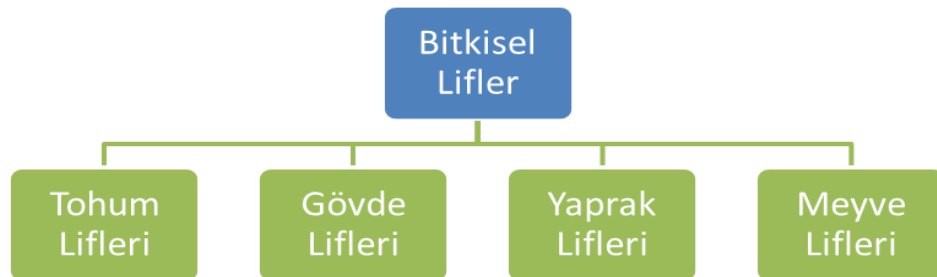
Takviye malzemesi olarak kullanılacak liflerin temel fonksiyonları şunlardır:

- ❖ Kompozit malzemenin etkisi altında kaldığı yük miktarının yaklaşık olarak %70 - 90'lık bölümünü taşımak,
- ❖ Kompozit malzemenin ısı kararlılığını, rijitliğini, dayanımını ve diğer yapısal özelliklerini sağlamak,
- ❖ Kompozit malzemenin oluşumunda rol üstlenen takviye malzemesine göre elektriksel iletkenliği veya yalıtkanlığı sağlamak.

Takviye elemanları parçacık, lif, dolgu, ince tabakalı halinde bulunabilmektedir. Uygulama alanına ve üretim yöntemine göre takviye malzemeleri şekilsel olarak seçilebilmektedir. Yapısal uygulamalar için sürekli ve uzun lifler tavsiye edilirken, yapısal olmayan ve yük altında kullanılmayacak, enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemleri ile üretimi gerçekleştirilecek kompozit malzemeler için kısa lif takviyeler kullanımı tavsiye edilebilir. Kısa lif takviyeli kompozit malzemeler uzun lif takviyeli kompozit malzemelere oranla daha düşük dayanım özellikleri göstermektedir [9].

1.2 Kompozit Malzemelerde Kullanılan Bitkisel Lifler

Kompozit malzeme üretiminde çoğunlukla lignoselülozik karakterli olan bitkisel lifler içerisinde olan tohum lifleri, gövde lifleri, yaprak lifleri ve meyve lifleri kullanılmaktadır. Şekil 1.4'te biyokompozit malzeme üretiminde takviye metaryeli olarak kullanılan bitkisel liflerin sınıflandırılması verilmektedir [11]. Bitkisel liflerin çevre dostu, sağlıklı ve geri dönüştürülebilir özelliklerde olması kompozit malzeme olarak kullanımında birçok avantaj sağlamaktadır.



Şekil 1.4 : Bitkisel liflerin sınıflandırılması [11].

Takviye malzemesi olarak kullanılan bitkisel liflerin biyolojik olarak parçalanabilir ve geri dönüştürülebilir olması, yüksek özgül mukavemet ve düşük özgül ağırlık değerlerine sahip olmasının yanı sıra lignoselülozik karakterli lif kaynaklarının tekrardan eski haline getirilebilir olması sebebi ile biyo-kökenli malzemelerin kullanılmasında hızlı bir şekilde artış meydana getirdiği bilinmektedir [11].

Kompozitlerde takviye elemanı olarak kullanılan sentetik liflerin teknolojik bakımından ilerlemesine karşın kenevir, keten, sisal, jüt, koko lifleri gibi lignoselülozik karakterde olan bitkisel liflerin birçok üstün özelliklere sahip olması nedeni ile özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan cam liflerinin yerine alternatif lif kaynakları olarak değerlendirilmeleri ön plana çıkmalarında önemli bir adım olarak kabul edilmektedir [9]. Kompozit malzeme üretiminde başlıca kullanılan bitkisel lifler şunlardır; pamuk, keten, kenevir, jüt, sisal, palmye ve hindistan cevizidir.

1.2.1 Pamuk

Pamuk lifinin kimyasal içeriğinde; selüloz, hemiselüloz, protein, inorganik bileşikler bulunmaktadır. Pamuk lifinin kimyasal yapısını oluşturan bileşenlerin en başında yer alan selüloz, pamuk lifinin içinde %90'nın üstünde bulunduğu için selülozun gösterdiği kimyasal özelliklerin tamamına yakını göstermektedir [12].

Günlük yaşamımızın her alanında pamuk lifinden elde edilmiş ürünlere rastlamak mümkündür. Giyim sektöründe, mobilya endüstrisinde, ev eşyalarının örtülerinde, tıp alanında vb. birçok alanda kullanımı görülmektedir [12].

1.2.2 Keten

Keten, bitki gövdesinden elde edilen bitkilerin başında gelmektedir. En önemli yetiştirilme sebebi tohumu ve gövdesidir. Ülkemizde de keten üretimi vardır fakat kalite olarak düşük seviyededir. Yıllık bitki türlerinden olup, rutubetli ve soğuk iklimi, kumlu ve derin toprakları sevmektedir. Keten bitkisinin yaprakları kuruduktan sonra demetler haline getirilerek kendi sapları ile bağlanır. Çürütme, dövme ve taraklama yöntemleri ile keten bitkisinden lifler elde edilebilmektedir [12].

Keten bitkisinin bünyesinde su bulunduğu zaman dayanımı %20 daha fazladır. Su emme özelliğinin pamuktan daha iyi olduğunu bilinmektedir. Bünyesinde nemi taşıdığı halde bile kuru hissi vermesi keteni, diğer bitkilerden ayıran özellikleri

arasındadır. Sıcaklık değerinin 120°C ve üstüne çıktığı ortamlarda bozunmaya başladığı görülür. Dayanıklılığındaki azalmanın nedenlerinden biri de güneş ışığı etkisi altında uzun süre bekletilmesidir [12].

Serin tutma özelliğinden dolayı yazın dış giyimde tercih edilir. Giyim sektöründe, ev içi tekstilinde, kağıt endüstrisinde ve gemi halatı gibi dayanıklı ip yapımında vb. alanlarda kullanımı mevcuttur. Keten tohumu %40–45 oranlarında bünyesinde yağ bulundurduğu için boyacılık, hayvan yemi vb. farklı alanlarda da kullanılmaktadır [12].

1.2.3 Kenevir

Kenevir bitkisi genel olarak lifleri ve tohumunun içinde bulunan yağı için üretilmektedir. Yaklaşık olarak 2m boylanabilen yıllık bitkilerdendir. Kenevir bitkisinin yaprak kısımları uyuşturucu madde içerdiğinden dolayı çoğu ülkede devlet kontrolünde üretimi gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde de üretimi sınırlı olmakla birlikte pamuktan sonra en çok üretimi yapılan bitki olduğu bilinmektedir. Kenevir bitkisinin hasadı genellikle tohumunun ekiminden 120 ile 140 gün sonra yapılmaktadır [12].

Çürütme, dövme ve taraklama metotları kullanılarak kenevir bitkisinden lif eldesi yapılır. Kenevir bitkisinin lifleri açık sarı veya esmerimsi renkte olup boyları 40-45 mm arasındadır. Kenevir bitkisinde %9 oranında pektin bulunduğu için lifleri ketene göre daha kabadır. Çoğunlukla ip, bez, kumaş, çuval vb. yapımında kullanılır [12].

1.2.4 Jüt

Tropikal iklim bölgelerinde üretimi gerçekleştirilen jüt bitkisi en çok tercih edilen yıllık bitkiler içinde pamuktan sonra yer almaktadır. Olgunlaştığında yapraklar kuruyup sararmaya başlar. Kuruyan yapraklardan çürütme metodu ile lif elde edilir. Liflerin rengi açık sarıdan zamanla açık kahverengiye döner. Lifler 18-25cm arası değişen boylardadır. Keten ve kenevire nazaran jüt bitkisinin mukavemeti düşüktür. Çoğunlukla ip, bez, kumaş, çuval, örtü vb. yapımında kullanılır [12].

1.2.5 Sisal

Sisal bitkisi sıcak ve nemli iklimleri seven bir bitkidir. Yıllık bitkiler içerisinde yaprağından lif elde etme bakımından birinci sırada yer alır. Sisal bitkisinin tohumu

ekildikten 7 ya da 8 sene sonra lifleri kullanılmaya hazır hale gelir. Yapraklarının %80'i sudur [12].

Sisal bitkisinin lifleri birbirine kenetlenmiş şekilde bulunur ve 100 cm'e kadar ulaşan boy uzunluğuna sahiptirler. Liflerin kimyasal bileşenleri arasında en fazla miktarda selüloz bulunur. Sisal lifleri porozite yapıda olduğundan nemi rahatlıkla bünyelerine çekebilecek kabiliyettedirler. Deniz suyuna karşı oldukça dayanıklıdırlar. Esneme kabiliyetleri oldukça iyidir. Deniz suyuna karşı dayanımları yüksek olduğu için denizcilikte bağlama elemanı olarak kullanılırlar. [12].

1.2.6 Palmiye

Palmiye (Palmae/Arecaceae) ailesine ait, ayırıcı özellik olarak dallanmamış gövdeler ile tüysü veya el ayası formunda belirgin paralel damar veya dallanmalar gösteren yapraklardan meydana gelen bir taca sahip, ağırlıklı olarak tropik herdem yeşil ağaç, çalı veya odunsu sarmaşıklar olarak tanımlanan palmiyeler bugünkü modern ikili biyolojik isimlendirmenin kurucusu olan 18. yy. dönemi İsveçli botanist Carolus Linnaeus tarafından 'bitkiler aleminin prensleri' olarak tanımlanmıştır [13].

Palmiye ağaçları çok fazla türe sahip olduğundan dolayı zengin bir kullanım alanına sahiptir. Palmiye ağaçlarını diğer ağaçlardan ayıran bir özellik ise süs ağacı olarak kullanıma sahip olmalarıdır. Palmiye ağaçlarının ülke ekonomilerine katkıları azımsanmayacak ölçüdedir. Palmiye ağaçları, 30 metreye kadar boylanabilmektedir. Uzunca bir gövdeye sahip olup, etrafı yapraklarla çevrili bir ağaçtır. Palmiye ağaçları gövde ve yapraklardan meydana geldiği için dallara sahip değildirler [14].

Palmiye ağaçları, genel olarak akdeniz iklimi ve tropikal bölgelerde yetiştirilmektedir. Palmiye ağaçlarının yetiştirildiği bölgeleri kısaca sıralayacak olursak; yaygın olarak Asya Kıtası'nda; Çin'de ve az da olsa ülkemizde, Afrika Bölgesi ve özellikle Kuzey Afrika ülkeleri olan; Mısır Fas Cezayir gibi ülkelerde geçim kaynağı olarak hurma palmiyesi yetiştirilmektedir. Palmiye ağaçları besin olarak tüketilmenin yanında ayrıca gövdesindeki lifler ile sepet, mobilya gibi bir çok yapı malzemelerinde hammadde olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde yetiştirilen palmiyeler ise sadece süs bitkisi olarak kullanılmaktadır [14].

Şekil 1.5'te palmiye (palmae/arecaceae) ailesine ait çöl palmiyesi (*washingtonia filifera*) türü gösterilmektedir



Şekil 1.5 : Çöl palmiyesi (*washington filifera*)

1.2.7 Hindistan cevizi (koko lifi)

Tropikal iklimleri seven hindistan cevizi ağacı palmiye ailesi içinde yer alır. Hindistan cevizi meyvesinin üstündeki lifli yapı koko lifi olarak adlandırılır. Hindistan cevizi meyvesi ağaçlardan toplandıktan sonra üzerindeki lifli yapının elde edilebilmesi için akarsularda 6 ila 12 ay boyunca bekletilir. Beklenen süre zarfında meyvenin üzerindeki topraklı yapı kaybolur ve lifler birbirinden ayrılmaya başlar [12].

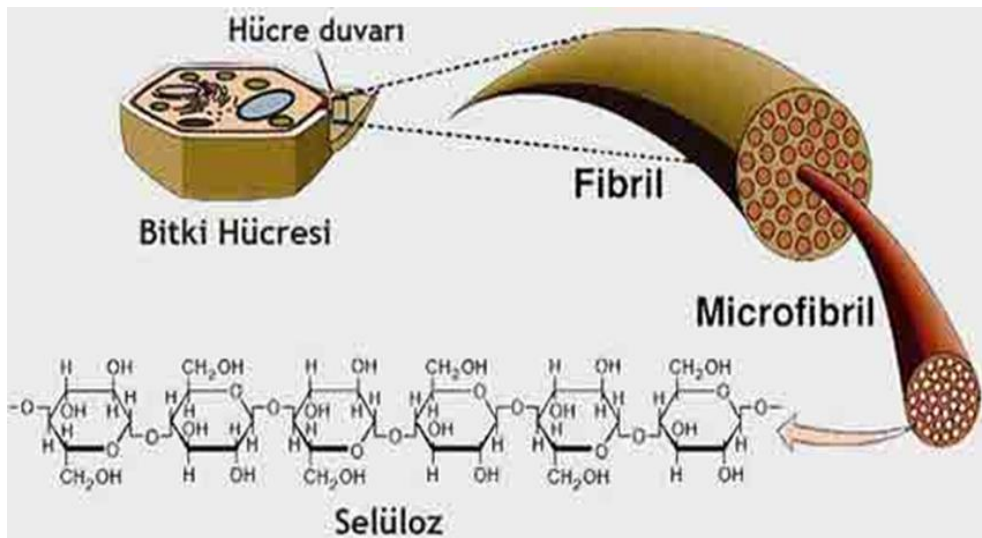
Hindistan cevizi meyvesi kabuğu kurutulduktan sonra sert cisimlerle dövülür. Dövdükten sonra boyutlarına göre sınıflandırılır. Koko lifleri özellikle suya karşı dayanımı çok yüksektir. Koko lifleri urgan imalatında, denizcilikte halat olarak, taşımacılıkta çuval, sert olanları temizlik aletleri yapımında kullanılır [12].

1.3 Bitkisel Liflerin Kimyasal Bileşeni Ve Yapısı

Bitkisel liflerin ana bileşenleri selüloz (alfa-selüloz), hemiselüloz, lignin ve ekstraktif maddelerdir. Bitkisel lifler yapıları gereği selülozik karaktere sahip malzemeler olup, amorf karakterli lignin ve hemiselüloz matris içerisinde mikrofibriller içermektedir. Bitkisel lifler, lif boyunca ilerleyen fibrillerden meydana gelmektedir. Liflerin kimyasal yapısındaki hidrojen köprüleri ve diğer bağlar liflere dayanım ve rijitlik sağlamaktadır. Bitkisel liflerin içerisinde bulunan mikrofibriller, lignin, hemiselüloz ve matris bünyesinde destekleyici olarak görev almaktadırlar. Bu saydığımız özelliklerden de anlaşılacağı üzere lignoselülozik kaynaklar yapıları gereği kompozit metaryellerdir [15].

1.3.1 Selüloz

Selüloz molekülü doğal ve doğrusal bir polimer olup, üzerinde oksitlenme ve diğer kimyasal reaksiyonlara karşı hassas olan hidroksil grupları (-OH) ve köprü oksijen atomu bulunur. Bu (-OH) grupları bir başka selüloz zincirini (-OH) grupları ile bağlanma niteliğine sahiptir. Bu gruplar vasıtası ile gerçekleşen bağlara hidrojen bağları denir. Hidroksil gruplar benzer şekilde su moleküllerini de bünyelerine çekebilirler. Sahip oldukları bu özelliklerden dolayı selüloz hidrofil (suyu seven) madde olarak da adlandırılmaktadır. Selüloz oda sıcaklığındaki havadan %10-12 neme doymuş havada ise %15-30 oranında rutubet alır [16]. Şekil 1.6'da selülozun kimyasal yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1.6 : Selülozun Kimyasal Yapısı [17].

Selüloz zincirindeki anhidroglukoz birimi sayısının ortalama değerine selülozun polimerizasyon derecesi denir. Bu değer çok yüksek olmakla birlikte pamuk selülozu için 10.000-15.000 arasında değişmektedir. Selüloz molekülleri düzenli ve düzensiz olmak üzere sıralı dizilen iki farklı yapı gösteren bölgeden meydana gelir. Selüloz fibrilleri kompozit malzemelerde, sertliği sağlamanın yanı sıra, maksimum gerilme ve eğilme mukavemetleri oluşturan lifin uzunluğu boyunca hizalanır. Doğal elyafın güçlendirici etkinliği selülozun doğası ve kristallliği ile ilgilidir [15].

1.3.2 Hemiselüloz

Hemiselülozlar, bitkilerde bulunan karbonhidratlar olup asit ve diğer yöntemlerle hidroliz sonucu oluşturdukları ürünlerle selülozdan ayrılırlar. Asit hidrolizi sonucu selüloz glikoz verdiği halde, hemiselülozlar glikozun yanı sıra galaktoz, mannoz, arabinoz ve ksiloz gibi çeşitli şeker birimleri verirler. Bu durumda selülozlar homopolisakkaritlere girerken hemiselülozlar heteropolisakkaritlere girmektedir. Hemiselülozlar selülozlara nazaran daha hidrofilik yapıya sahiptirler. [18].

Hemiselülozlar kristal yapılı olmamakla birlikte polimerizasyon derecesi, selülozun polimerizasyon derecesinden daha düşüktür. Hemiselülozlar dallanmış bir yapı gösterirler [19].

1.3.3 Lignin

Lignin hem alifatik hem de aromatik bileşenlerle kompleks bir yapıda bulunan hidrokarbon polimerdir. Çoğu solventte tamamen çözünmezler ve monomerik birimlere parçalanamazlar. Lignin doğada tamamen amorf ve hidrofobik olarak bulunmaktadır. Bitkilere sertlik, dayanıklılık ve sağlamlık veren bileşiktir. Çok yüksek molekül ağırlıklı alifatik ve aromatik bileşenlerin kompleks, üç boyutlu bir kopolimeri olduğu konusunda bir eğilim vardır. Hidroksil, metoksil ve karbonil grupları tespiti gerçekleştirilmiştir. Lignin, yapı birimi başına beş hidroksil ve beş metoksil grubu içerdiği tespit edilmiştir. Lignin molekülünün yapısal birimlerinin 4-hidroksi 3-metoksi fenilpropan türevleri olduğu düşünülmektedir [19].

Lignin kimyasındaki ana güçlük, ligninin kendi doğal halindeki fiberinden izole edilmesinin mümkün olmadığı bir yöntemin kurulmamasıdır. Lignin, yaklaşık 90°C'lik bir camsı geçiş sıcaklığını ve 170°C'lik bir erime sıcaklığını gösteren bir

termoplastik polimerdir. Asitlerle hidrolize edilemez, fakat sıcak alkali içinde çözünür, kolayca oksitlenir ve fenol ile kolayca yoğuşabilir durumdadırlar [20].

1.3.4 Ekstraktif maddeler

Lignoselülozik metaryellerin, kimyasal yapısını oluşturan ana bileşenleri (alfa-selüloz, hemiselüloz, lignin) dışında bünyesinde yabancı maddelerde ihtiva etmektedir. Ekstraktif maddeler reçine, mum, tanen ve boya gibi maddeler olup türlere göre değişir ve diğer bileşenlere oranla az miktarda bulunur [21].

1.4 Bitkisel Liflere Uygulanan Modifikasyon Yöntemleri

Bitkisel liflerde kullanılan başlıca modifikasyon yöntemleri şunlardır: Yüzey modifikasyonu, termal modifikasyon, emdirme modifikasyonu ve kimyasal modifikasyondur.

Yüzey modifikasyonu; biyo-malzemenin yüzeyine uygulanan daha çok malzemeyi dış etkilere karşı koruyamayı amaçlayan ve fiziksel özelliklerini iyileştiren bir yöntemdir. Termal modifikasyon; biyo-malzemenin içindeki rutubet miktarını azaltarak malzemenin zarar verici canlılara karşı bozunmasını geciktirir. Emdirme modifikasyonu; biyo-malzemenin kimyasal madde ile muamele edilerek dış ortam şartlarına karşı dayanıklı hale getirmeyi amaçlar.

Yukarıdaki saydığımız yöntemler malzemenin fiziksel özelliklerini iyileştirerek yaşam ömrünü uzatmayı hedeflemektedir. Termal modifikasyonda malzeme fazla ısı görmesi halinde kimyasal özelliklerinde değişimler meydana gelmektedir. Yüzey ve emdirme modifikasyonlarında kullanılan kimyasallar canlı hayatına zarar vermekte ve malzemenin geri dönüşümünü zorlaştırmakta hatta engellemektedir.

Kimyasal modifikasyon; biyo-malzemeyi çürümeye karşı direncinin artırılması, boyutsal sabitlik kazandırılması veya su absorpsiyonunun düşürülmesi, dış ortam direncinin artırılması ve başka diğer özelliklerinin iyileştirilmesini hedeflemektedir. Çevre dostu olduğundan, geri dönüştürülebilme imkanı olduğundan diğer yöntemlere karşı üstünlük sağlamaktadır [22].

Aşağıda uygulanan bazı kimyasal yöntemler hakkında bilgi verilmektedir.

1.4.1 Esterler

Biyo-malzemelerle özellikle ağaç malzemenin modifikasyonunda günümüze kadar yapılan akademik çalışmalarda asetik anhidrit en çok kullanılan yöntemlerin başında yer almaktadır. Asetillendirme reaksiyonu tek taraflı gerçekleştiğinden her asetil grubu polimerleşme oluşturmaksızın bir hidroksil grubu ile tepkimeye girmektedir. Asetillendirme sonucu oluşan ağırlık kazancı bloke edilmiş hidroksil gruplarının sayısına çevirebileceği anlamına gelmektedir. Başka anhidritlerin de örneğin; propiyonik, bütirik, heksanoik vb. ağaç malzeme ile tepkimeye girdiği bilinmektedir [23].

İzosiyanatlarda ağaç malzeme hidroksil grupları ile tepkimeye girerek ürethan derivatiflerini oluşturur. Yüksek molekül ağırlıklı izosiyanatlarda reaksiyonun gerçekleşmesi için kataliz gerekirken, düşük molekül ağırlıklı izosiyanatlarda katalizin bulunması mecburi değildir. Ağaç malzeme bünyesinde bulunan nem kuvvetli baz yapıdaki katalizler ile tepkime aşamasında bağlanmamış ürethan homopolimer açığa çıkmasına neden olmaktadır [23].

1.4.1.1 Sodyum hidroksit modifikasyonu

Alkali işlem takviye liflerini genellikle çeşitli konsantrasyonlarda sodyum hidroksit (NaOH) ile farklı sıcaklık veya sürede muamele etmektir. Bitkisel lifler, yapılarında bulunan hidroksil gruplar (selüloz) nedeniyle polar karakterlidir. Liflerde bulunan pektin, lignin ve vaks gibi safsızlıklar ve yüksek miktarlardaki hidroksil grupları, bu liflerin matris polimerine bağlanmasına engel olup arayüzeyi zayıflatmakta ve nihai kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Alkali işlem ile selüloz liflerinin yüzeyinde bulunan bu maddelerin bir kısmı giderilmekte ve lif yüzeyinde polimer ile etkileşime girebilecek çok sayıda açık selüloz uçları oluşmaktadır. Alkali işlem lifin yüzeydeki serbest enerjisini arttırmaktadır. Aynı zamanda lif yüzeyini pürüzlü hale getirerek lif/polimer arayüzeyinde mekaniksel bağlanmayı geliştirmektedir [24].

1.4.1.2 Vinil asetat modifikasyonu

Transesterifikasyon, bir alkol bileşiminin hidroksil grupları ile başka bir alkol bileşiminin hidroksil grupları ile yerlerini değiştirme işlemidir. Reaksiyon bir denge

reaksiyonu olduğu için iyi bir verimle istenilen esteri meydana getirebilmek için alkol üretiminin sürekli bir şekilde devam etmesi gerekmektedir. Tautomerizasyon ile asit aldehite dönüşümü esnasında enol ester ile vinil alkol oluşur. Bu dengede doğal ester oluşumuna doğru yönlendirilir [25].

Yapılan çalışmalar sonucunda esterleşmenin asit klorür ya da anhidritler kullanılarak yapıldığında ağaç malzemenin özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Biyo-malzemenin hücre duvarı esterleşme modifikasyonu ile modifiye edilirse, biyo-malzemenin boyutsal stabilitesini ve mantarlara karşı direncini yükseltir [26]. Bu tür modifikasyonlar ağaç malzemenin yüzeyinin fotostabilite ve hava direncini de geliştirebilir [27].

Modifikasyondaki farklılıklar kullanılan vinil estere bağlı olarak değişebilmekte, fakat bu istatistiksel olmayan analiz genel olarak tartışılabilir durumdadır. Ağaç malzeme hücre duvarları içerisindeki kinetik farklılıklardan dolayı artan moleküler ağırlıkla yer değiştiren hidroksil grubu sayısı azalır. Benzer bir durum aril içeren vinil ester grubunda da görülmüştür. Ağaç malzeme ile asetik anhidrit arasındaki yapılan kinetik çalışmalar sonucunda reaksiyon materyel içerisindeki difüzyon ajanları tarafından kontrol edildiği gözlenmiştir [27].

Yöntemin kataliz olmadan gerçekleşmemesi en büyük dezavantajı olarak görülmektedir. Bu durum kimyasal işlemin ardından kimyasal işleme tabi tutulmadan kalan katalizörün sistemden atılması için zaman ve emek gerekmektedir. [28].

1.4.2 Asetaller

Formaldehit ağaç malzeme hidroksil grubu ile reaksiyona iki safhada girmektedir. Formaldehitin bir molekülü lignin, selüloz veya hemiselüloz üzerinde bulunan bir hidroksil grubu ile reaksiyona girerek hemiasetal yapısını meydana getirir. Bu hemiasetaller oldukça reaktif olup diğer bir hidroksil grubu ile çapraz bağ meydana getirerek asetal ürününün oluşumu ile sonuçlanır. Genellikle bu reaksiyon esnasında güçlü bir asit kataliz olarak kullanılmaktadır [25].

1.4.3 Eterler

Metil eter ağaç malzeme ile oluşan en basit eterdir. Kataliz eşliğinde dimetil sülfat veya metil iyodid hücre duvarı hidroksil grupları ile reaksiyona girerek metil eteri meydana getirir. Ağaç malzeme ile alkil klorürde tepkimeye girebilmektedir.

Bununla beraber yan ürün olarak hidroklorik asitin meydana gelmesi sebebi ile ağaç malzemenin yapısına ciddi bir şekilde zarar verir [29].

Epoksitler ile lignoselülozik hidroksil grupları arasındaki reaksiyon hem asit hem de baz katalizler beraberinde gerçekleşir. Ağaç malzeme ile ilgili modifikasyon çalışmalarının tamamında alkali kataliz kullanıldığı bilinmektedir. Ağaç malzeme hidroksil grubu ile reaksiyona giren epoksit molekülünün yeni bir hidroksil grubu oluşturması ve bu oluşan grup ile başka bir epoksit molekülünün reaksiyona girmesi sonucunda polimerleşme meydana gelmektedir. Lignoselülozik içerisinde bulunan su polimer başlatıcı olarak görev almakta ve ağaç malzemeye bağlanmamış glikollerin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Etilen, propilen veya bütlen oksitin orta alkali koşullar altında lignoselülozik hidroksil grupları ile daha kolay reaksiyona girdiği daha önce yapılan akademik çalışmalarda belirtilmiştir [29].

1.5 Literatür Özeti

Waikambo ve arkadaşları (2002) yaptıkları bir çalışmada; kenevir, sisal, jüt ve kapok liflerini sodyum hidroksit ile modifiye ederek yüzey safsızlıklarını ve büyük miktarda mevcut olan hidroksil gruplarının olumsuz etkilerini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Alkali işleminin lif-reçine yapışmasının gelişmesini teşvik eden bitki liflerini değiştirdiğini, daha sonra arayüz enerjisinin artmasına ve dolayısıyla kompozitlerin mekanik ve termal stabilitesinde iyileşmeye yol açacağını sonucuna varmışlardır [30].

Rozman ve arkadaşları (2006) yaptıkları bir çalışmada; palmiye yaprağı lifini YYPE matrisi içine dahil ederek plastik kompozit malzeme üretmişler ve üretilen kompozit malzemenin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yüksek dolgu yüklemeleri ve partikül boyutlarının palmiye-polietilenden oluşturulan kompozit malzemenin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak palmiye yaprağı lifi dolgu maddelerinin polietilen matrisine dahil edilmesi, gerilme ve darbe özelliklerinin azaltılmasına neden olmuştur. Daha küçük dolgu boyutlarına sahip kompozitlerin, çekme ve darbeye karşı daha dirençli olduğu görülmüştür [31].

Kaddami ve arkadaşları (2006) palmiye yaprağı lifleri takviyeli polyester ve epoksi kompozitler üretmişlerdir. Yüzeyler arasındaki uyumu iyileştirmek için lifler asetat ile modifiye edilmiştir. Tüm sonuçlar arasında en iyi etkileşimlerin epoksi matrisi ile

Üretilen kompozitlerde olduğu görülmüştür. Asetat ile modifiye edilmiş liflerin epoksi matris ile çok iyi arayüzey özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir. Polyester matrisi ile oluşturulan kompozitlerde ise matris ile modifiye edilmiş lifler ile arasındaki arayüzey uyumu zayıf kalmıştır. En iyi mekanik sonuçlar epoksi matrisi ile üretilen kompozitlerde elde edilmiştir [32].

Mohanty ve arkadaşları (2006) yaptıkları bir çalışmada; doğal lifler (keten, kenevir, jt sisal vb.) biyo-polimerler ve lif-matris yapışmasını iyileştirmek için doğal liflere alkali, vinil asetat vb. kimyasal modifikasyon uygulanan işlemleri araştırarak lif ile matris arasındaki arayüzeyi iyileşiminin en iyi sonuçlarını hangi kimyasal modifikasyon işleminde sağlandığını tespit etmeyi amaçlamışlardır. Nitekim alkali ve vinil asetat ile modifiye edilmiş liflerin matrisle oluşturdukları arayüzeyin daha iyi performans sergilediği görülmüştür [33].

Alawar ve arkadaşları (2009) yaptıkları başka bir çalışmada hurma ağacı liflerini alkali ve hidroklorik asit ile farklı işlem proseslerinde işleme tabi tutmuşlardır. Hurma ağacı liflerini %0.5, %1, %1.5, %2.5 ve %5 oranlarında 100°C'de 1 saat alkali ile modifiye işlemlerine tabi tutmuşlardır. %1 alkali ile işlem görmüş hurma ağacı liflerinin en iyi mekanik özellik değerleri gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Hidroklorik asit ile işlem görmüş hurma ağacı liflerinin mekanik özelliklerinde azalma görüldüğünü tespit etmişlerdir [34].

Alawar ve arkadaşları (2010) yaptıkları bir çalışmada; polipropilen (PP) matrisi içine hurma ağacının gövdesinden (HGL) ve sapından (HSL) elde ettikleri lifleri katarak farklı iki tip kompozit malzeme elde etmişlerdir. Bu iki farklı hurma lifini alkali ile modifiye etmişlerdir. İki farklı polipropilen yüzdesi (%50, %75) ift vidalı ekstrüder kullanılarak kompozit malzeme oluşturmak için her bir lif çeşidi ile karıştırılmıştır. İki farklı lif arasındaki modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş lif takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin nasıl olduğunu tespit etmeyi amaçlamışlardır. Sonuç olarak; alkali ile işlem görmüş HGL-PP kompozitlerin, alkali işlem görmüş ve görmemiş tüm HSL-PP kompozitlere kıyasla daha iyi mekanik özelliklere sahip oldukları görülmüştür. Alkali ile işlem görmüş kompozitlerin her ikisinde de matris ile takviye elamanı arasındaki arayüzey uyumunda bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir. HGL-PP' nin alkali işlenmiş ile karışlaştırıldığında; her iki durumda da, %75 PP' ye sahip olan kompozitler, %50 PP kompozitlerinden daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu yapılan mekanik deneyler sonucunda tespit edilmiştir [35].

Patel ve arkadaşları (2011) yaptıkları bir çalışmada; hurma yaprağı liflerine dahil ettikleri polivinil alkol ile oluşturdıkları nano-kompozitlerin karakterizasyonunu incelemişlerdir. Bu çalışmada palmiye yaprağı liflerine çözelti döküm tekniği kullanılarak polivinil alkole (PVA) dahil edilmiştir. Saf PVA ve palmiye yaprağı dolgulu liflerin yapısal ve mikro sertlik özelliklerini incelemişlerdir. Tüm kompozisyonlarda mikro sertlik değerleri artış göstermiştir. Bu mikro sertlik değerlerindeki artış palmiye yaprağı liflerinin PVA'ye çok iyi bağlanmasına bağlanmıştır [36].

Goulart ve arkadaşları (2011) yaptıkları bir çalışmada palmiye yaprağı takviyeli polipropilen kompozitlerin mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Üretilen kompozitlerin mekanik ve ısı kararlılıklarını tespit etmek için deneyler yapmışlardır. En iyi mekanik özelliklerin eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerlerinde görüldüğünü tespit etmişlerdir. Üretilen kompozitlerin ısı özelliklerinde de artış tespit etmişlerdir [37].

Bachtar ve arkadaşları (2012) alkali ile modifiye edilmiş hurma yaprağı lifi takviyeli epoksi kompozit üretmişlerdir. Alkali işlem görmüş lifler ile matris arasındaki arayüz uyumunun arttığını gözlemlemişlerdir. En yüksek mekanik özelliklerin %5 alkali ile modifiye edilmiş kompozitlerden elde edildiği sonucuna varmışlardır [38].

Ratanawilai ve arkadaşları (2012) yaptıkları bir çalışmada; palmiye ağacı testere talaşı takviyeli YYPE'den kompozit elde etmişler ve elde ettiklerin kompozit malzemenin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Matrisdeki palmiye ağacı lif oranındaki artışlar kompozitlerin mekanik özelliklerinde kademeli bir şekilde azalmaya neden olmuştur. Bununla birlikte, daha yüksek kalıplama sıcaklıkları orta derecede mekanik özellikleri geliştirmiştir. Depolama ve kayıp modülü sıcaklık değerleri arttıkça kademeli olarak azalma başlamış ve kompozitlerdeki palmiye ağacı lif oranı arttıkça önemli ölçüde artış gösterdiği tespit edilmiştir [39].

Al Maadeed ve arkadaşları (2013) palmiye yaprak liflerini %0.5, %1, %2 ve %5'lik farklı konsantrasyonlarda alkali ile modifiye etmişlerdir. Modifiye edilmiş dişi ve erkek yaprak lifleri ile termoplastik kompozit üretmişlerdir. Alkali oranının artması ile dişi yapraklarda daha iyi gerilme özellikleri görülürken, erkek yapraklarda ise daha düşük gerilme özellikleri görülmüştür. Dişi yaprakların, erkek yapraklardan daha

fazla gözeneklere sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Alkali ile işlem görmüş dişi yaprakların erkek yapraklardan (343°C) daha yüksek termal kararlılık (353°C) gösterdiğini tespit etmişlerdir. Alkali ile modifiye edilmiş palmiye yaprağı lifleri ile üretilmiş termoplastik kompozitlerin mekanik ve ısı kararlılıklarının arttığı tespit edilmiştir [40].

Aldousiri ve arkadaşları (2013) yaptıkları bir çalışmada; palmiye lifleri ile takviyeli YYPE kullanılarak plastik kompozit malzeme elde etmişlerdir. Ede ettikleri kompozit malzemenin farklı ağırlık değerlerinde mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda kompozit malzemenin daha yüksek gerilme performansı gösterdiği, palmiye liflerinin iyi arayüzey elemanı olduğu, iyi basınç dayanımı sergilediği, uygulanan yük ve deformasyona karşı iyi direnç gösterdiğini tespit etmişlerdir [41].

Al-Oqla ve arkadaşları (2014) yaptıkları bir çalışmada; hurma liflerinin kullanımının, farklı polimer matrislere sahip doğal lifli kompozitlerde oluşturabilecek olan etkilerini incelemişlerdir. Doğal liflerin ve ayrıca belirli uygulamalar için kompozitlerin uygun seçimini ve değerlendirmesini etkileyebilecek kriterler tartışılmıştır. Doğal liflerin alkali ve vinil asetat gibi kimyasal modifikasyonlarının fiziksel, mekanik ve diğer özellikler üzerindeki faydaları da araştırılmıştır. Modifiye edilmiş hurma ağacı liflerinin mekanik ve termal özelliklerinin iyileştiği çalışmada belirtilmiştir. Uygun hurma ağacı lifi takviye koşulunun seçilmesi gelecekteki beklentilerini önemli ölçüde artırabilir ve farklı uygulamalarda kullanımını genişletebilir düşüncesine varılmıştır [42].

Mirmehdi ve arkadaşları (2014) yaptıkları bir çalışmada; polietilen matrisi ile hurma ağacı liflerinden oluşturulmuş kompozit malzenin mekanik özellikleri incelemişlerdir. Uyumlaştırıcı olarak %2 MAPE ile polietilen kullanılmıştır. Doldurucu içeriğinin artmasının eğilme mukavemetinin, gerilme mukavemetinin ve darbe mukavemetinin azalmasına neden olduğu, buna karşın eğilme modülünün, su emme ve kalınlık miktarının arttığı gözlenmiştir. Genel olarak yaprak unu, kompozitlerin yaprak sapı unundan daha iyi özelliklere yol açtığı görülmüş ve delignifikasyon edilmiş lifler, kompozitin gerilme mukavemetini, çekme modülünü, darbe mukavemetini, su emme ve kalınlık miktarını arttırdığını tespit etmişlerdir [43].

Koçak ve arkadaşları (2015) palmiye yaprağı liflerinin kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılabilirliği konusunda araştırma yapmışlardır. Palmiye yaprağı liflerinin ekolojik ve ekonomik bakımdan çok önemli olduğunu ve sentetik liflere alternatif olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Palmiye yaprağı lifleri ile üretilen plastik kompozitlerin mekanik özelliklerinin arttığını gözlemlemişlerdir. 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. Mekanik ve termal özelliklerinden dolayı özellikle inşaat ve otomotiv endüstrisinde değerlendirilebileceğini vurgulamışlardır [44].



2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Materyal

Bu çalışmada kullanılan çöl palmiyesi (*washingtonia filifera*) adlı palmiye türünün yaprakları İzmir ilinin Çiğli ilçesinden temin edilmiştir. Palmiye plastik kompozit üretimi için gerekli yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) PETKİM A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Modifikasyon işleminde sodyum hidroksit (NaOH, M:39,97 g/mol) ve vinil asetat (C₄ H₆ O₂, M:86,09 g/mol) kimyasalları kullanılmıştır. Uyumlaştırıcı madde olarak ise maleik anhidrit (C₄ H₂ O₃, M:98,05 g/mol) kullanılmıştır.

2.2 Metod

2.2.1 Öğütme ve eleme

Budama işleminden sonra doğal kurutmaya bırakılan palmiye yaprakları laboratuvar ortamına getirilmiştir. Palmiye yaprakları öğütücü makinasında işleme sokulmadan önce makasla yaklaşık olarak 3-6cm (Şekil 2.1) uzunlukta parçacıklar haline getirilmiştir.



Şekil 2.1 : Küçültülmüş palmiye yaprağı parçacıkları

Küçültülen palmiye yapraklarının öğütülmesinde bıçaklı öğütücü (Şekil 2.2) Mertest LB160 laboratuvar tipi bıçaklı öğütücü kullanılmıştır.



Şekil 2.2 : Mertest LB160 Laboratuvar Tipi Bıçaklı Öğütücü

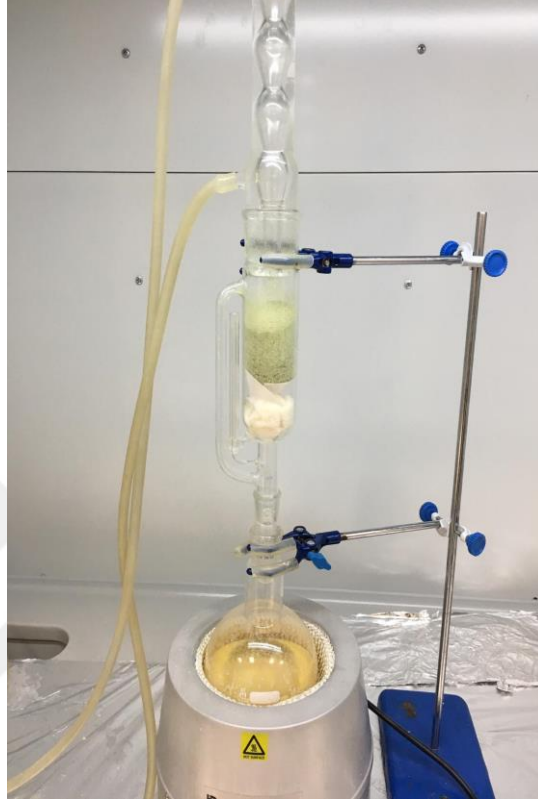
Öğütülen palmiye lifleri (Şekil 2.3) elekten geçirilerek makinanın alt kısmında bulunan haznede toplanmıştır.



Şekil 2.3 : Öğütülmüş palmiye yaprağı

2.2.2 Ekstraksiyon işlemi

Palmiye lifleri cam kroze içerisinde yerleştirilip toluen, aseton, etanol ile (4/1/1, hacim/hacim) 6 saat süre ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 2.4'te ekstraksiyon işleminin deney düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 2.4 : Ekstraksiyon işlemi

İşlem süresinin tamamlanmasının ardından örnekler sokslet aletinden alınarak 24 saat süre ile 25°C oda sıcaklığında bekletilmiş ve daha sonra 103±2°C etüvde 24 saat süre ile kurutulmaya bırakılmıştır. Ekstraksiyon miktarı formül 2.1 referans alınarak belirlenmiştir.

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

(2.1)

w = Ekstrakte edilen madde miktarı (%)

W_1 = Ekstraksiyon işlemi öncesi tam kuru palmiye unu ağırlığı (gr)

W_2 = Ekstraksiyon işlemi sonrası tam kuru palmiye unu ağırlığı (gr)

2.2.3 Klason lignin tayini

1 gr ekstrakte edilmiş fırın kurusu palmye lifi ile 15 ml %72'lik sülfirik asit bir beher içine konularak 20°C oda sıcaklığında 2 saat süre ile ara ara karıştırılarak işleme tabi tutuldu. 2 saatin sonunda 560 ml saf su sisteme ilave edildi. %3'lük asit konsantrasyonu sağlanarak 1 lt'lik balona aktarılan karışım 100°C'de 4 saat süre ile ısıtıldı. İşlem sonrası karışım çeker ocak altında bekletildi ve önceden kuru ağırlıkları alınmış krozedden yararlanılarak süzme aşamasına tabi tutuldu. Süzme işlemi de bittikten sonra tekrar çeker ocak altında bir süre bekletildi ve sonra 103±2°C etüvde kurutulmaya bırakıldı. Kalıntı lignin miktarı formül 2.2 referans alınarak belirlenmiştir.

$$w = \frac{W_1}{W_2} \times 100$$

(2.2)

w = Kalıntı lignin miktarı (%)

W_1 = Numunelerin fırın kurusu ağırlığı (gr)

W_2 = Numunelerin işlem sonrası fırın kurusu ağırlığı (gr)

2.2.4 Holoselüloz tayini

Manyetik ısıtıcının üzerine içi su dolu kap yerleştirildi ve ısıtıcının 75°C sıcaklığa ulaşması istenildi. İstenilen sıcaklık değerine ulaşıldıktan sonra 50 ml erlenmayerin içine 2.5 gr ekstrakte edilmiş palmye yaprağı lifi, 1 gr sodyum klorit, 0.5 ml asetik asit ve 80 ml saf su eklendi. Holoselüloz tayini deney düzeneği Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Hazırlanan karışımlara toplamda 6 kez 1 gr sodyum klorit ve 0.5 ml asetik asit eklemesi yapıldı. Sistem belli aralıklarla homojen dağılımın sağlanabilmesi için çalkalandı. Son porsiyonun eklenmesinden sonra ısıtıcı kapatıldı ve deney örnekleri kurulan sistem içinde yaklaşık 1 gün bekletildi. Süzme işlemi için kullanılacak krozeler önceden kurutuldu ve ağırlıkları hassas terazide hesaplandı. Krozeler erlenmayer üzerine yerleştirildikten sonra süzme işlemine geçildi. Süzme işleminden sonra krozeler 103±2°C etüvde 24 saat süre ile kurutuldu. Kurutma işleminden sonra 30 dakika desikatörde bekletilen krozelerin tam kuru ağırlıkları belirlendi.



Şekil 2.5 : Holoselüloz tayini

Holoselüloz miktarı formül 2.3 referans alınarak belirlendi.

$$w = \frac{W_1}{W_2} \times 100$$

(2.3)

w = Holoselüloz miktarı (%)

W_1 = Fırın kuru holoselüloz ağırlığı (gr)

W_2 = Fırın kuru örnek ağırlığı (gr)

2.2.5 Alfa selüloz elde etme (TAPPI T 203 os-71)

Palmye yaprağı unundan elde ettiğimiz holoselüloz örneğinden 2 gr alınarak tam kuru hale getirilmesi sağlandı. 2 gr ağırlığındaki tam kuru örnekler 250 ml'lik beherlere aktarıldı. 20°C'deki su banyosuna yerleştirilen beherlerin içine %17,5'lik 10ml NaOH çözeltisi ilave edildi ve cam baget yardımıyla karışım sağlandı. Daha sonra her 10 dakika bir beherlerin içinde bulunan karışıma 5 ml NaOH eklendi. En

son 5 ml NaOH eklenmesinin ardından 30 dakika 20°C'deki su banyosunda bekletildi. 30 dakika sonunda beherlerin içinde bulunan karışımlara 33 ml saf su eklendi. Daha önceden tam kuru ağırlıkları ölçülmüş krozelere yararlanılarak süzme işlemine geçildi. Vakum altında bulunan krozelere ilk önce beherlerin içindeki karışımlar döküldü daha sonra %8,3'lük 100 ml NaOH ile yıkandı. Vakum kapatıldıktan sonra % 10'luk 15 ml asetik asit ilave edildi ve en son yine vakum açılarak 250 ml saf su ile yıkanma sağlandı. Süzme işleminden sonra krozeler 103±2°C etüvde 24 saat süre ile kurutuldu. Kurutma işleminden sonra 30 dakika desikatörde bekletilen krozelerin tam kuru ağırlıkları belirlendi. Alfa selüloz miktarı formül 2.4 referans alınarak belirlendi.

$$w = \frac{W_1}{W_2} \times 100$$

(2.4)

w = Alfa selüloz miktarı (%)

W_1 = Numunelerin fırın kurusu ağırlığı (gr)

W_2 = Numunelerin işlem sonrası fırın kurusu ağırlığı (gr)

2.3 Kimyasal Modifikasyon İşlemleri

2.3.1 Sodyum hidroksit modifikasyonu

Ekstrakte edilmiş 300 gr palmiye unu %8,5 ve %17,5'lük sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile 25°C oda sıcaklığında 24 saat süresince batırılarak bekletildi. Reaksiyon tamamlandıktan sonra süzme işlemine tabi tutuldu daha sonra saf su ile yıkanarak çeker ocak altında bekletildi ve son olarak 103±2°C etüvde kurutuldu. Ağırlık kaybı hesabı yapıldı. Sodyum hidroksit modifikasyonu sonrası ağırlık kaybı miktarı formül 2.5 referans alınarak belirlenmiştir.

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

(2.5)

w = Modifikasyondan sonraki palmiye ununun ağırlık kaybı (%)

W_1 = Modifiye edilmemiş ekstrakte tam kuru palmiye ununun ağırlığı (gr)

W_2 = Modifiye edilmiş ekstrakte tam kuru palmiye ununun ağırlığı (gr)

Şekil 2.6’da sodyum hidroksit modifikasyonunun deney aşaması gösterilmektedir.



Şekil 2.6 : Düşük alkali ve yüksek alkali modifikasyon aşaması

2.3.2 Vinil asetat modifikasyonu

2 litre flask içerisine 100 gr ekstrakte edilmiş fırın kurusu palmye lifleri/unu, 333 ml dimetilformamid, 67,5 ml vinil asetat ve 3,33 gr potasyum karbonat konduktan sonra 100°C’de ısıtılmış manyetik karıştırıcılı ısıtıcı içerisine yoğunlaştırıcı takılarak yerleştirildi. Flask içerisine manyetik balık konularak reaksiyon esnasında liflerin karışması sağlandı. Şekil 2.7’de vinil asetat modifikasyonunun deney aşaması gösterilmektedir. 6 saat süren reaksiyon sonunda saf su ilave edilerek reaksiyon durduruldu. Saf su ile yıkanarak filter edildikten sonra sokslet cihazında 4/1/1 (toluene/aseton/etanol) oranında karışım ile ekstrakte edildi. Ekstra edildikten sonra çeker ocak altında bir gece bekletildi ve daha sonra 103±2°C etüvde kurutulmaya bırakıldı. Kurutma işleminin ardından 30 dakika desikatörde bekletildi.



Şekil 2.7 : Vinil asetat modifikasyonu deney düzeneği

Vinil asetat modifikasyonu sonrası ağırlık artışı miktarı formül 2.6 referans alınarak belirlenmiştir.

$$WPG = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

(2.6)

W = Modifikasyondan sonraki palmye ununun ağırlık artışı (%)

W_1 = Modifiye edilmemiş ekstrakte tam kuru palmye ununun ağırlığı (g)

W_2 = Modifiye edilmiş ekstrakte tam kuru palmye ununun ağırlığı (gr)

2.3.4 FTIR analizi

FTIR analizi için öğütülmüş palmye yaprağı lifi, palmye yaprağı lifinin selüloz, hemiselüloz, lignin kısımları ve ekstrakte edilmiş örnekler, düşük alkali, yüksek

alkali ve vinil asetat işlemine tabi tutulmuş palmiye yaprağı lifinin fırın kurusu örnekleri toz haldeki potasyum bromür ile karıştırıldı (Potasyum bromür /lif unu oranı; 100:1). Bu karışım özel pres yardımıyla sıkıştırıldıktan sonra ölçüm yapılacak hale getirildi. FTIR incelemeleri Shimadzu 8400s markalı spektrofotometre cihazı (Şekil 2.8) kullanılarak yapıldı.



Şekil 2.8 : FTIR Shimadzu 8400s markalı spektrofotometre cihazı

2.4 Palmiye Budama Atıklarından Plastik Kompozit Üretimi

Palmiye budama atıklarından plastik kompozit üretiminde, ana materyal olarak palmiye yaprağından öğütülmüş lif unu ve polimer matrisi olarak yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kullanılmıştır. YYPE ve palmiye yaprağı unu Rondol marka çift vidalı ve yan besleyici ekstrüder cihazında iyice karıştırıldıktan sonra istenilen ebatlarda otomatik pelletizer makinasında pellet üretimi gerçekleştirilmiştir. Öğütülmüş palmiye unu, ekstrakte edilmiş palmiye unu, maleik anhidrit katkılı ekstrakte palmiye unu, alkali ve vinil asetat ile modifiye edilmiş palmiye unu Tablo 2.1’de gösterilen yüzde ağırlık oranlarında yan besleyici aracılığıyla YYPE matrisi içine karıştırılmıştır.

Tablo 2.1: Palmiye plastik kompozit üretiminde kullanılan karışım oranları

Palmiye Plastik Kompozit Üretiminde Kullanılan Örnekler	YYPE Miktarı (%)	Palmiye Unu (%)	MAPE (%)
Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)	100	-	-
Öğütülmüş Palmiye Unu (P1K)	75	25	-
Ekstrakte Edilmiş Palmiye Unu (P2E)	75	25	-
%5 Maleik Anhidrit Eklenmiş Palmiye Unu/Polimer Karışımı (P3MAPE)	75	20	5
Düşük Alkali ile Modifiye Edilmiş Palmiye Unu (P4Na1)	75	25	-
Yüksek Alkali ile Modifiye Edilmiş Palmiye Unu (P5Na2)	75	25	-
Vinil Asetat ile Modifiye Edilmiş Palmiye Unu (P6VA)	75	25	-

Ekstrüderde ana besleyiciden çıkış kalıbı arasındaki sıcaklık profili 90/180/190/195/200°C ve vida dönüş hızı 50 devir dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Üretilen pelletler 70°C'deki fırında kurutulmuştur.

Pres aşaması Gülnar ısıtma-soğutma üniteli laboratuvar tipi hidrolik press (Şekil2.9) ile gerçekleştirilmiştir. Pellet haline getirilen karışımların her biri hassas terazide 70 gr olarak ölçülmüştür. 1 mm kalınlığında 15cm x 15cm boyutlarında iki metal plaka arasına 70 gr olarak ölçülen pelletler yerleştirilmiştir. Makinanın ısısı 190°C sıcaklığa ayarlanmıştır. Ön preste 7 dakika işlem gördükten sonra sıcak pres aşamasında değişen bar seviyelerinde 3 dakika işleme tabi tutulmuştur. Sıcak presin ardından soğuk prese alınan plakalar 2 dakika işlem gördükten sonra makinadan çıkarılmıştır. Her bir numune için işlem 3 kere tekrar edilmiştir.



Şekil 2.9 : Gülnar ısıtma-soğutma üniteli laboratuvar tipi hidrolik pres

Şekil 2.10’da plaka haline getirilmiş kompozitler gösterilmiştir. Plakalar hidrolik pres cihazında özel kalıplar yardımıyla kırılarak mekanik testlerde kullanmak amacıyla deney çubukları haline getirilmiştir.



Şekil 2.10 : Plaka haline getirilmiş kompozit malzemeler

2.5 Üretilen Plastik Kompozitlerin Karakterizasyonu

2.5.1 Mekanik Testler

Üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemek için 5 kN yük hücreğine sahip Shimadzu AG-IC universal test cihazından (Şekil 2.11) yararlanılmıştır. Çekme testleri ASTM D638 ve eğilme testleri ASTM D790 standartlarına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.11 : Shimadzu AG-IC üniversal test cihazı

Çekme testi sırasında çene hareket hızı 50 mm/dakika ve eğilme testlerinde çene hareket hızı 1 mm/dakika'dır. Üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme ve üç noktada eğme deneyleri yapılmıştır. Her bir kompozit malzeme numunesi için deney 3 kez tekrarlanmış ve standart sapma değeri belirlenmiştir.

2.5.2 Dinamik Eğilme Mekanik Testi (DMA)

Dinamik mekanik analiz (DMA) cihazı DMA Q800, TA instruments (Şekil 2.12) ile üretilen kompozit malzemelerin depolama ve kayıp modülleri ve tan delta nitelikleri belirlenmiştir. Makinada deneyler tek noktalı tutucu ile 35-140°C sıcaklık değerleri arasında ve 3°C/dakika ısıtma süratinde işleme tabi tutulmuştur.



Şekil 2.12: Q800 dinamik mekanik eğilme test cihazı

2.5.3 Termogravimetrik Analiz (TGA)

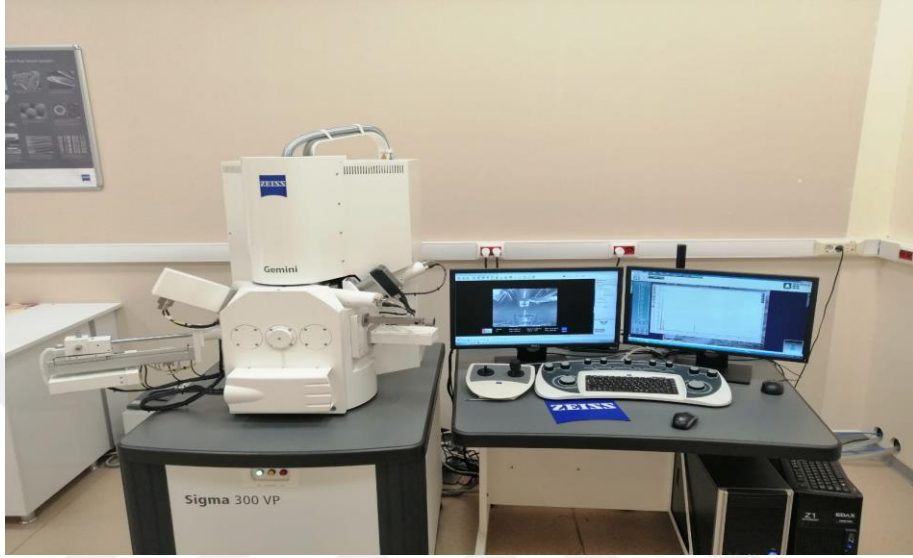
Termal özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynayan TGA deneyi İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında mevcut olan STA makinesi Q600, TA instruments (Şekil 2. 13) yardımıyla yapılmıştır. Analiz 25°C ile 600°C arasında değişen sıcaklık değerlerinde, 10 °C/dakika ısıtma süratinde yapılmıştır.



Şekil 2.13: Q600 termogravimetrik analiz test cihazı

2.5.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğrafları

Kompozitlerden alınan numunelerle yapılan çekme deneylerinin ardından oluşan kırılma yüzeylerinin görüntüleri İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında mevcut olan SEM Carl Zeiss 300VP cihazı (Şekil 2.14) yardımıyla elde edilmiştir.



Şekil 2.14: Carl Zeiss 300VP taramalı elektron mikroskobu

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Kimyasal Analiz Değerleri

Kompozit performansını optimize etmek için bitkisel liflerin mekanik davranışının yanı sıra kimyasal özelliklerinin de bilinmesi çalışmada yapılacak işlemlerin parametrelerini belirlemek açısından önem arz etmektedir [45]. Çöl palmyesi (*washingtonia filifera*) yaprağı liflerinin kimyasal bileşenleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 : Çöl palmyesi (*washingtonia filifera*) yaprağı liflerinin kimyasal analiz değerleri

Bitkisel Lif Türü	Alfa-Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)	Ekstraktif Madde (%)
Çöl Palmyesi (<i>Washingtonia Filifera</i>)	57,5-58	17,7-19	23–24,8	3–3,5

Al-Kaabi ve arkadaşları (2005) yaptıkları bir çalışmada; palmye familyasına ait hurma ağacı (*phoenix dactylifera*) lifinin kimyasal bileşenlerini tespit etmişlerdir. Hurma lifinin kimyasal bileşenlerinden alfa-selülozu %46, hemiselülozu %18, lignini %20, nem miktarını da %5 olarak bulmuşlardır [46]. Sbiai ve ark (2010) yaptıkları bir çalışmada; palmye familyasına ait hurma ağacı (*phoenix dactylifera*) yaprak lifinin kimyasal bileşenlerini tespit etmişlerdir. Hurma ağacı yaprak lifinin kimyasal bileşenlerinden alfa-selülozu %38.26, hemiselülozu %28.17, lignini %22.53, kül miktarını %5.96, ekstraktif madde miktarını %5.08 olarak bulmuşlardır [47]. Hong ve arkadaşları (2012) Afrika yağ palmyesi (*elaeis guineensis*) yaprağı üzerine yaptıkları çalışmada; yaprak lifinin kimyasal bileşenlerinden alfa-selülozu %31, hemiselülozu %19, lignini %14, kül miktarını %12, protein miktarını %9 olarak bulmuşlardır [48]. Bitkisel liflerin kimyasal bileşimini ve lif özelliklerini; bulunduğu

coğrafya, iklim çeşidi, toprağın cinsi, bitkilerin olgunluk seviyesi ve yeniden tutunma gibi çeşitli parametreler belirlemektedir [49].

Çöl palmyesi (*washingtonia filifera*) yaprağı liflerinin kimyasal bileşenlerinin diğer kompozit malzeme üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan bitkisel lifler ile karşılaştırılması (Tablo 3.2) literatüre yeni kazandırılan bu lif türünün hakkında bilgi edinilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır.

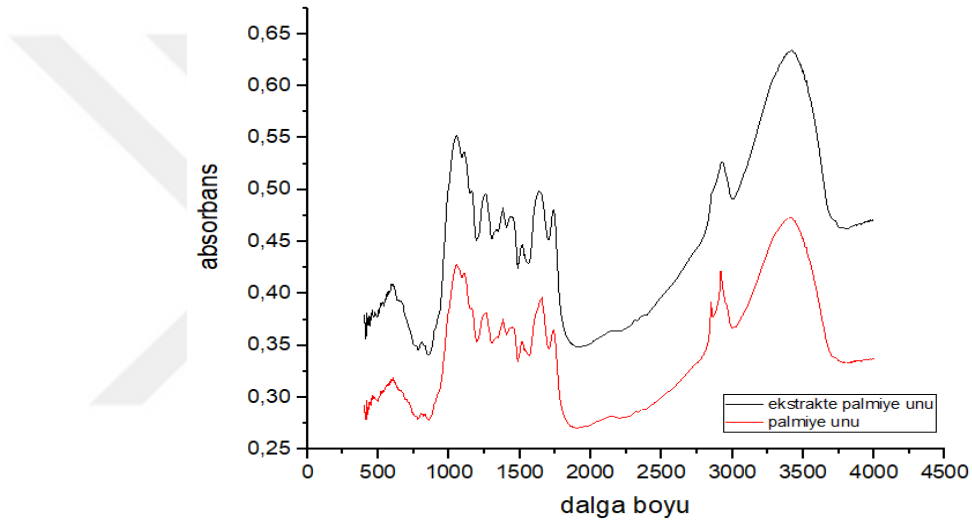
Tablo 3.2 : Çöl palmyesi (*washingtonia filifera*) yaprağı liflerinin kimyasal bileşenlerinin diğer selülozik lifler ile karşılaştırılması [50].

Bitkisel Lif Türü	Alfa-Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)	Ekstraktif Madde (%)
Çöl Palmyesi	57,5-58	17,7-19	23-24,8	3-3,5
Pamuk	92,89	2,67	0,54	1,43
Keten	71	18,6-20,6	2,2	3,8-4
Kenevir	68-74,4	15-22,4	3,7-10	1,7
Jüt	61-71,5	13,6-20,4	12-13	0,7
Sisal	60-78	10-14,2	8-12	12
Hindistan Cevizi	32-43	0,15-0,25	40-45	3-4

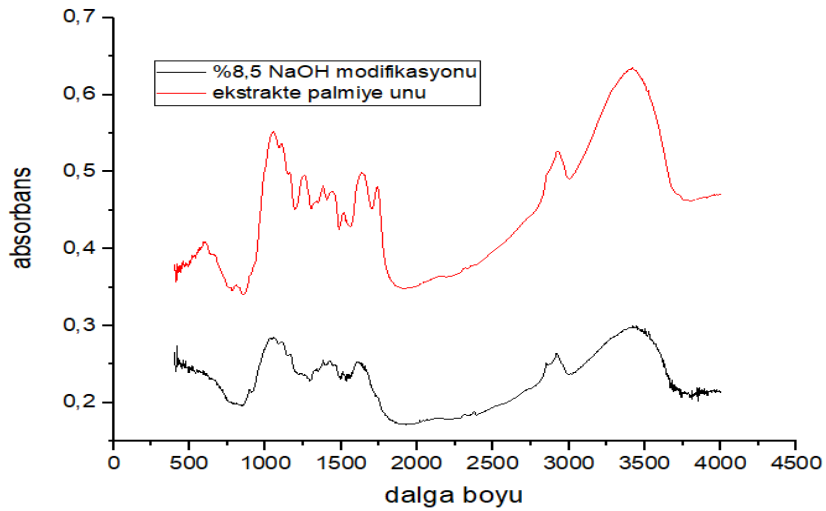
Tablo 3.2’de görüldüğü üzere çöl palmyesi (*washingtonia filifera*) yaprağı liflerinin alfa-selüloz miktarı hindistan cevizi (koko) lifi hariç diğer bitkisel liflerden düşük seviyededir. Hemiselüloz miktarı ise; hindistan cevizi (koko), pamuk ve sisal liflerinden yüksek seviyede olmakla birlikte geriye kalan lif türleri ile arasında belirgin bir farklılık görülmemektedir. Lignin miktarı olarak hindistan cevizi (koko) lifi hariç diğer lif türlerinden yüksek seviyede olduğu görülmektedir. İçerdiği ekstraktif madde miktarı bakımından keten ve hindistan cevizi (koko) lifleri ile hemen hemen aynı seviyelerde olduğu görülmektedir.

3.2 Kimyasal Modifikasyon İşlemleri

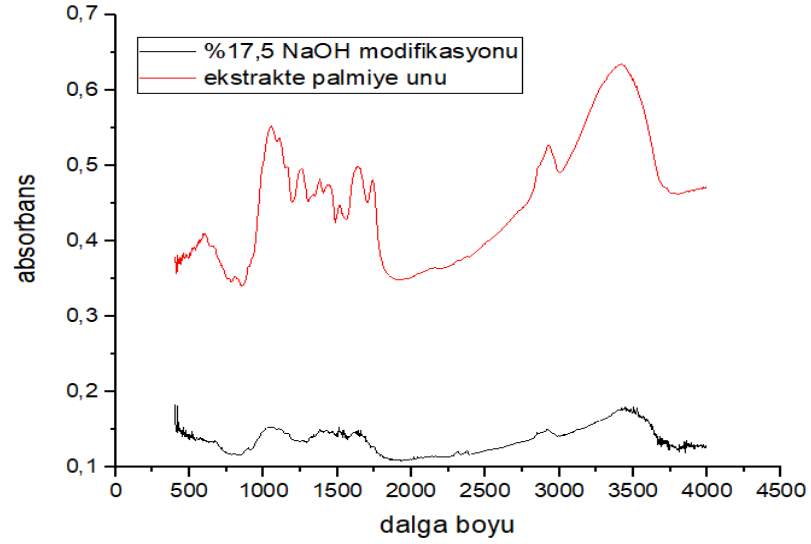
%8,5 ve %17,5 NaOH çözeltisi ile yapılan kimyasal modifikasyon işleminin sonunda modifikasyona uğramış palmiye yaprağı liflerinin %41 ve %45 oranında ağırlık kaybına uğradığı tespit edilmiştir. Vinil asetat ile yapılan kimyasal modifikasyon işleminde palmiye yaprağı lifleri 100°C sıcaklıkta 4 saat süre ile işlem görmüştür. Modifiye işlemi sonunda WPG değerinde %20 artış gözlenmiştir. Düşük alkali ve yüksek alkali modifikasyon işlemlerindeki ağırlık kaybı ile vinil asetat modifikasyon işleminden sonra kazanılan ağırlık kazancı FTIR sonuçları (Şekil 3.1 - 3.4) ile kanıtlanmıştır.



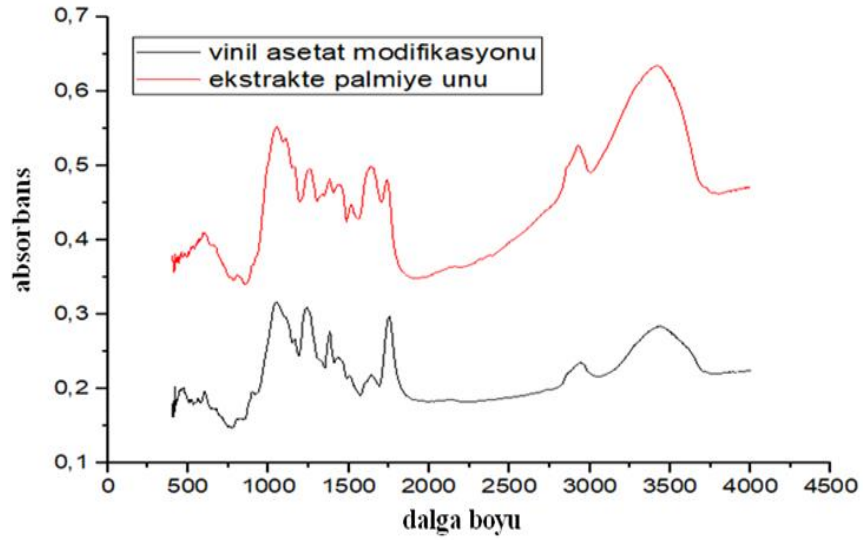
Şekil 3.1 : Öğütülmüş palmiye unu ile ekstrakte palmiye unu FTIR görüntüleri



Şekil 3.2 : Ekstrakte palmiye unu ile %8,5 NaOH modifikasyonu FTIR görüntüleri



Şekil 3.3 : Ekstrakte palmiye unu ile %17,5 NaOH modifikasyonu FTIR görüntüleri



Şekil 3.4 : Ekstrakte palmiye unu ile vinil asetat modifikasyonu FTIR görüntüleri

Şekil 3.2 - 3.3'te görüldüğü üzere 1700-1670 cm^{-1} 'de aralığında yer alan pikte karbonil esneme titreşimleri meydana gelmektedir. Bu durum alkali ile modifikasyon işlemlerinin başarılı olduğunu göstermektedir. Şekil 3.4'te görüldüğü gibi 1745 cm^{-1} üzerinde beliren pik karbonil grubunun gerilme titreşiminden oluşmaktadır. Oluşan pikten vinil asetat modifikasyonundan sonra ester bağlarının oluştuğu anlaşılmakta ve modifikasyon işleminin başarıyla gerçekleştiğini kanıtlamaktadır [51].

3.3 Üretilen Kompozitlerin Mekanik Test Değerleri

HDPE, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozit malzemelerinin çekme dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı ve eğilme modülü gibi mekanik değerleri çekme ve üç noktada eğilme deneyleri sonucunda elde edilmiştir.

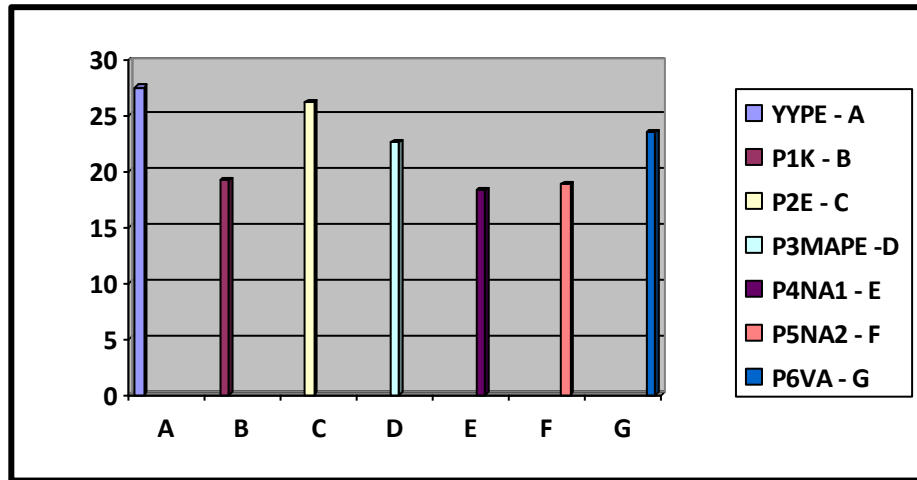
3.3.1 Çekme direnci deneyi

Çekme direnci deneyleri onucunda elde edilen değerler Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3 : Üretilen kompozit örneklerinin çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri

Numune Adı	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
YYPE	27.51	1105.10
P1K	19.20	1370.95
P2E	26.14	1490.93
P3MAPE	22.57	1559.40
P4NA1	18.33	1467.04
P5NA2	18.86	1473.13
P6VA	23.45	1508.33

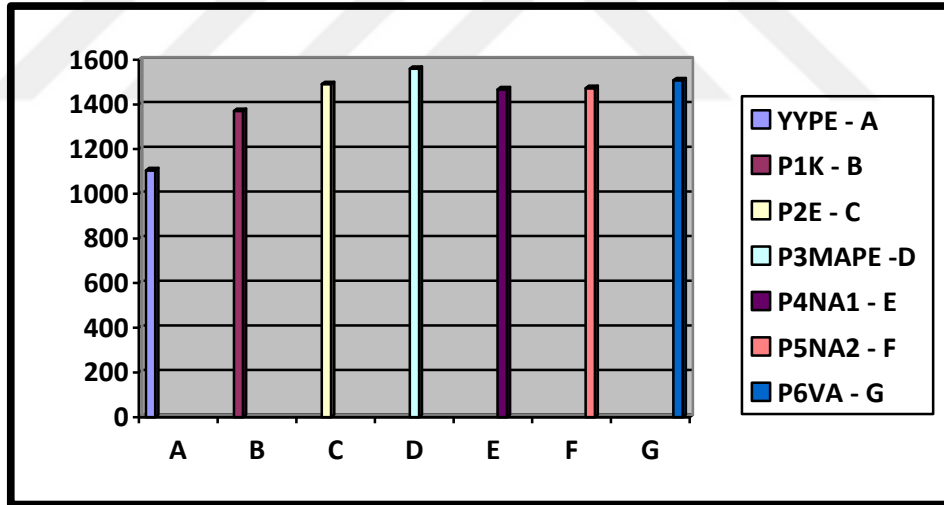
YYPE, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozit malzemelerinin çekme dayanımındaki değişimler Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : Kompozit malzemelerin çekme dayanımındaki (MPa) değişimler

YYPE'den üretilen kompozit malzemenin çekme dayanımı 27.51 MPa'dır. Çekme dayanımının en yüksek değeri YYPE'den üretilen kompozit malzemeden elde edilmiştir. Matrisi YYPE olan P1K kompozitinin çekme dayanımı değerinde azalma meydana gelmiştir. P2E'nin YYPE'den sonra en yüksek çekme dayanımı gösterdiği gözlenmiştir. P3MAPE'nin çekme dayanımı 22.57 MPa'dır. P3MAPE en yüksek ve en düşük çekme dayanımı değerleri arasında kaldığı görülmüştür. P4NA1 ile P5NA2'nin çekme dayanım değerleri birbirine yakın sonuçlar göstermekle birlikte diğer kompozitler içinde en düşük çekme dayanım değerlerine sahip olduğu görülmüştür. P6VA, YYPE ve P2E'den sonra en iyi çekme dayanımı değerine sahip olduğu görülmüştür. Alavar ve arkadaşları (2009) hurma lifi takviyeli polietilenden ürettikleri kompozitlerde çekme dayanımı 200 MPa bulmuşlardır. %1 alkali ile modifiye edilmiş hurma lifi takviyeli polietilen kompozitlerin çekme dayanımı ise 247 MPa bulmuşlardır [35].

YYPE, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozit malzemelerinin elastisite modülündeki değişimler Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Kompozit malzemelerin elastisite modülündeki (MPa) değişimler

YYPE'den üretilen kompozit malzemenin elastisite modülü 1105.10 MPa'dır. Matrisi YYPE olan P1K'nın elastisite modül değerinde YYPE'ye oranla artış olduğu görülmüştür. P2E'nin elastisite modülünde YYPE ve P1K'ya oranla artış gösterdiği gözlenmiştir. P3MAPE 1559.40 MPa değerindeki elastisite modülü ile en yüksek değere sahip olduğunu göstermiştir. P4NA1 ile P5NA2'nin elastisite modül değerleri birbirine yakın sonuçlar göstermiştir. P6VA'nın elastisite modülü P3MAPE'den

sonra en iyi değere sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitleri YYPE'ye oranla elastisite modülünde önemli bir artış göstermişlerdir. Gösterdikleri artışın sebebi selüloz esaslı partiküllerin, polimer matrisine nazaran daha yüksek elastisite modülü değeri göstermeleridir [52].

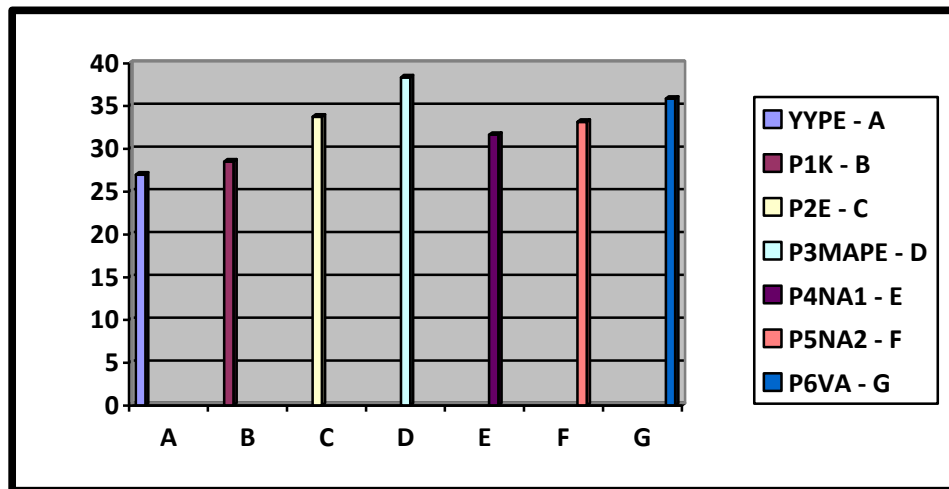
3.3.2 Eğilme Deneyleri

Üç noktada eğilme deneyleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4 : Üretilen kompozit örneklerinin eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerleri

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)
YYPE	26.98	791.34
P1K	28.52	1173,66
P2E	33.76	1374.92
P3MAPE	38.34	1664,67
P4NA1	31.64	1268.73
P5NA2	33.15	1360.96
P6VA	35.86	1261.88

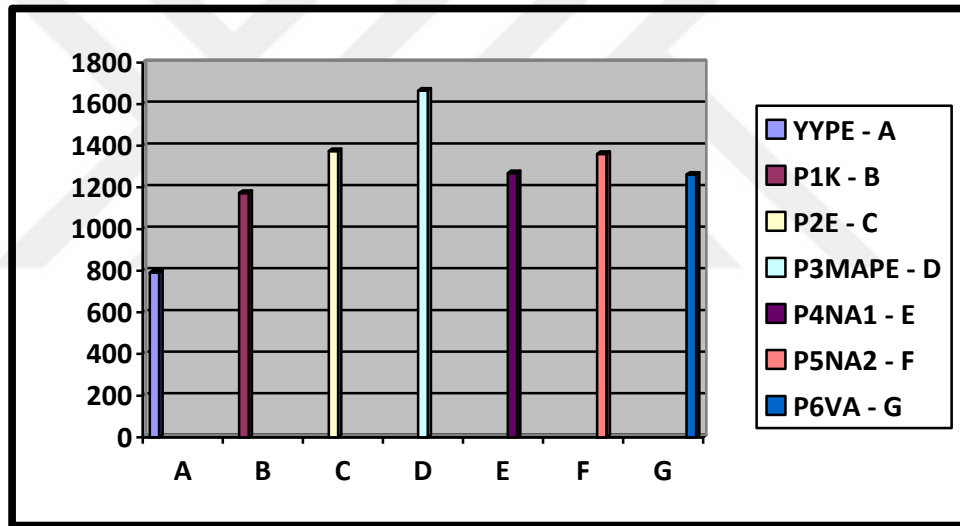
YYPE, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozit malzemelerinin eğilme dayanımındaki değişimler Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Kompozit malzemelerin eğilme dayanımındaki (MPa) değişimler

YYPE'den üretilen kompozit malzemenin eğilme dayanımı değeri 26.98 MPa'dır. Matrisi YYPE olan P1K'nın eğilme dayanımı değerinde YYPE'ye oranla artış olduğu görülmüştür. P2E'nin eğilme dayanımı YYPE ve P1K'ya oranla artış gösterdiği gözlenmiştir. P3MAPE'nin eğilme dayanımı değeri en yüksektir. P4NA1 ile P5NA2'nin eğilme dayanımı değerleri birbirine yakın olmakla birlikte yüksek alkali ile modifiye edilmiş P5NA2'nin düşük alkali ile modifiye edilmiş P4NA1'e kıyasla biraz daha yüksek değer gösterdiği görülmüştür. P6VA'nın eğilme dayanımı değeri P3MAPE'den sonra en yüksek değere sahiptir. P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitleri YYPE'ye oranla yüksek eğilme dayanımı göstermişlerdir.

YYPE, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozit malzemelerinin eğilme modülündeki değişimler Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Kompozit malzemelerin eğilme modülündeki (MPa) değişimler

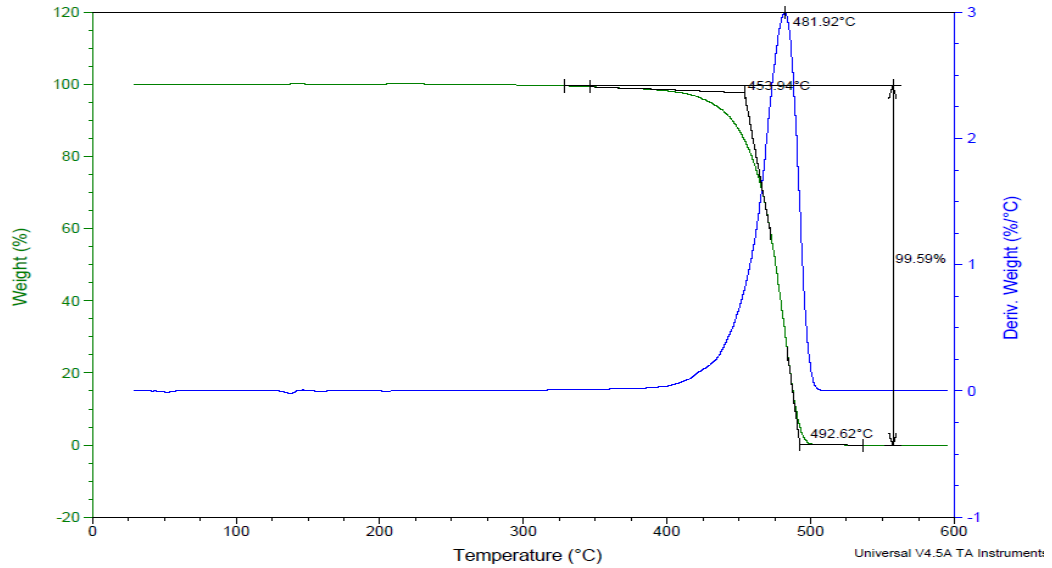
YYPE'den üretilen kompozit malzemenin eğilme modülü değeri 791.34 MPa'dır. Matrisi YYPE olan P1K'nın eğilme modülü değerinde YYPE'ye oranla artış olduğu görülmüştür. P2E'nin eğilme modülünde YYPE ve P1K'ya oranla artış gösterdiği gözlenmiştir. P3MAPE'nin eğilme modülü değeri en yüksektir. P4NA1 ile P5NA2'nin eğilme modülü değerleri birbirine yakın olmakla birlikte yüksek alkali ile modifiye edilmiş P5NA2'nin düşük alkali ile modifiye edilmiş P4NA1'e kıyasla daha yüksek değer gösterdiği görülmüştür. P6VA'nın eğilme modülü değeri YYPE ve P1K'dan sonra en düşük değere sahip olduğu görülmüştür. P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitleri YYPE'ye oranla yüksek eğilme

modülüne sahip oldukları görülmüştür. Lignoselülozik metaryellerin eğilme modüllerinin polimer matrisine oranla daha yüksek olduğundan polimer matrisi ile oluşturacakları kompozitlerin eğilme modülünde de artışa olanak sağlayacakları bilinmektedir [52].

3.4 Termogravimetrik Analizi (TGA)

YYPE, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerin termal bozunma davranışlarını belirlemek için TGA analizleri yapılmıştır. Bozunma sıcaklığı polimer tabanlı malzemelerin termal stabilitesini karakterize etmek için önemli bir parametredir. Başlangıç bozunma sıcaklığı, maksimum bozunma sıcaklığı ve bozunma bitiş sıcaklığı TGA eğrilerinden elde edilmiştir.

Şekil 3.9 - 3.15’de YYPE, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerin termal bozunma grafikleri verilmiştir. Grafiklerin altında YYPE matrisli kompozitlerin bozunma başlama sıcaklığı (°C), maksimum bozunma sıcaklığı (°C), bozunma bitiş sıcaklığı (°C), bozunma miktarı (%) ve kül miktarı (%) açıklanmıştır.

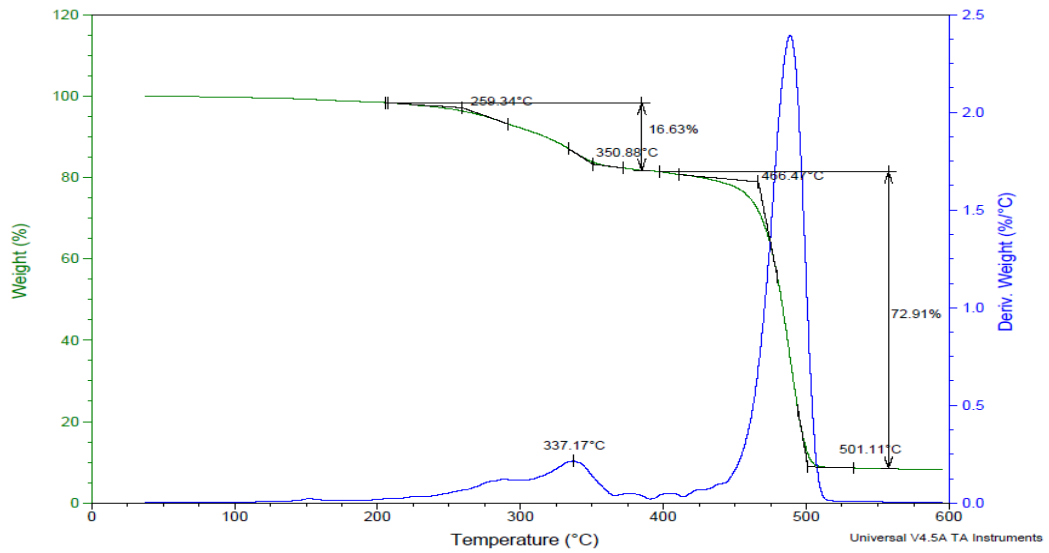


Şekil 3.9 : YYPE’nin TGA grafiği

YYPE kompoziti tek basamaklı bozunma gerçekleştirirken, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA çift basamaklı bozunma gerçekleştirmektedir. Kompozitlerin ilk kütle kaybı, C-O ve C-C bağlarının transglikozilasyonu ve glikozidik bağlarının termal olarak bölünmesinden meydana gelmektedir [53].

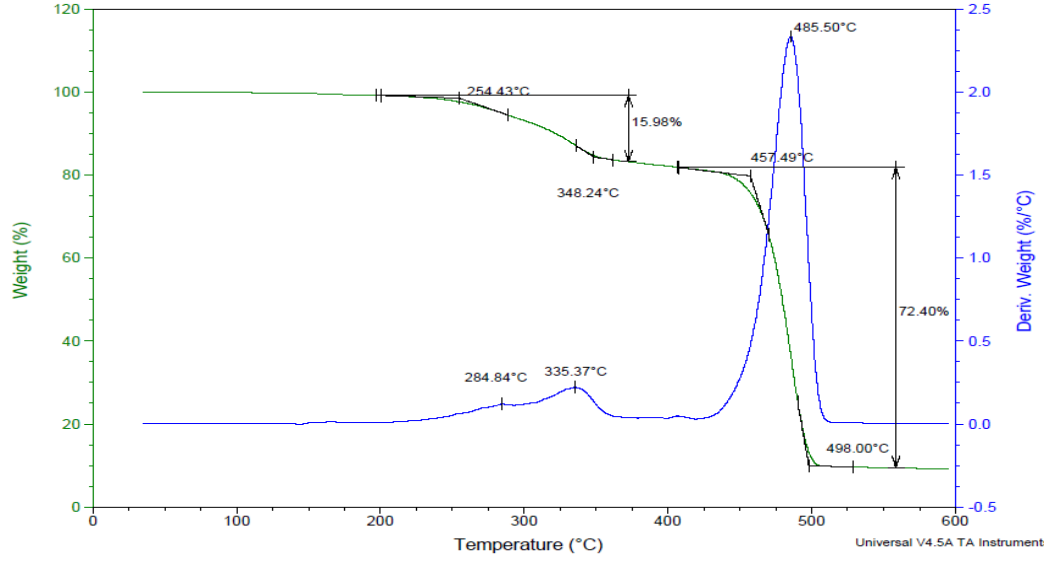
Lignoselülozik materyallerin termal olarak bozunma aralığı 150°C - 500°C iken YYPE'nin termal bozunma aralığı 450°C - 510°C arasındadır. Lignoselülozik materyalin yapısında bulunan selüloz, hemiselüloz, ligninin termal bozunma aralıkları sırasıyla 275°C - 350°C, 150°C - 350°C ve 250°C - 500°C arasında olduğu belirtilmektedir [54]. Kompozitlerin ikinci adımdaki kütle kaybının YYPE ve ligninin termal olarak bozunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Polietilenden üretilen YYPE kontrol örneğinin termal bozunma başlama sıcaklığı 453.94°C, maksimum bozunma sıcaklık değeri 481.92°C, termal bozunmanın sona erdiği sıcaklık değeri 492.62°C olarak belirlenmiştir. YYPE örneğinin bozunma miktarı %99.59 olarak belirlenmiştir.



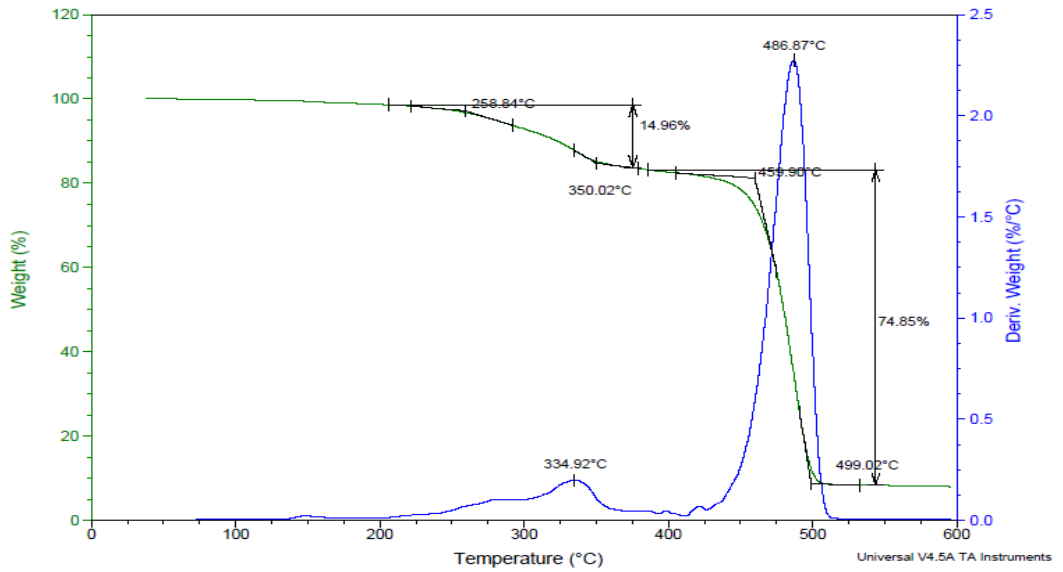
Şekil 3.10 : P1K'nın TGA grafiği

P1K kompozitinin termal bozunma başlama sıcaklığı 259.34°C, maksimum bozunma sıcaklık değeri 337.17°C, termal bozunmanın son bulunduğu sıcaklık değeri 350.88°C olarak belirlenmiştir. P1K örneğinin bozunma miktarı %16.63 olarak belirlenmiştir. Matris malzemesi olarak kullanılan YYPE'nin termal bozunma başlama sıcaklığı 466.47°C, maksimum bozunma sıcaklık değeri 484.96°C, termal bozunmanın son bulunduğu sıcaklık değeri sıcaklığı 501.11°C olarak belirlenmiştir. YYPE örneğinin bozunma miktarı %72.91 olarak belirlenmiştir. Kül miktarı %10.46 olarak hesaplanmıştır.



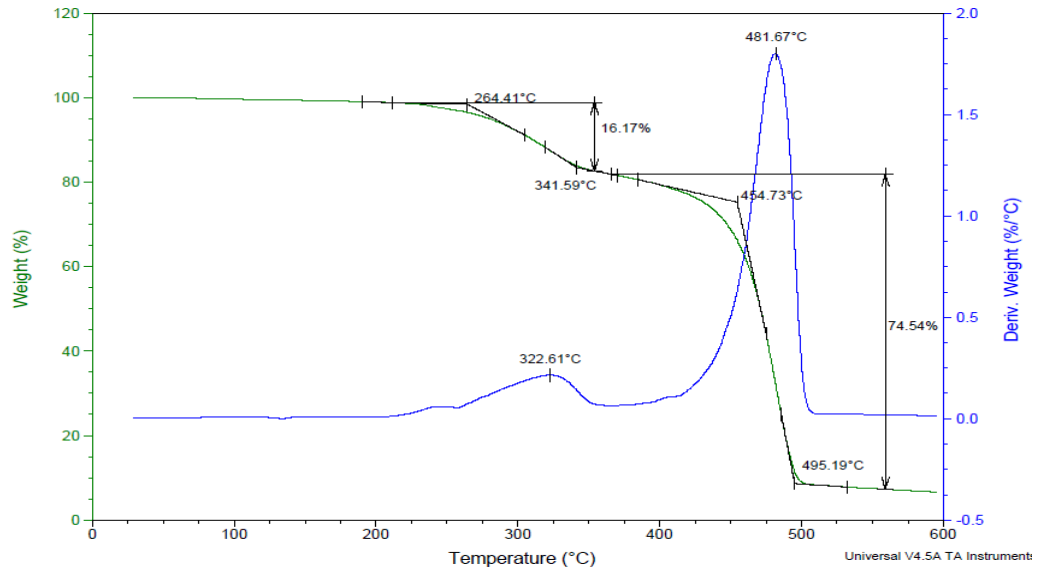
Şekil 3.11 : P2E'nin TGA grafiği

P2E kompozitinin termal bozunma başlama sıcaklığı 254.43°C, maksimum bozunma sıcaklık değeri 284.84°C - 335.37°C, termal bozunmanın son bulunduğu sıcaklık değeri 348.24°C olarak belirlenmiştir. P2E örneğinin bozunma miktarı %15.98 olarak belirlenmiştir. Matris malzemesi olarak kullanılan YYPE'nin termal bozunma başlama sıcaklığı 457.49°C, maksimum bozunma sıcaklık değeri 485.50°C, termal bozunmanın son bulunduğu sıcaklık değeri 498.00°C olarak belirlenmiştir. YYPE örneğinin bozunma miktarı %72.40 olarak belirlenmiştir. Kül miktarı %11.62 olarak hesaplanmıştır.



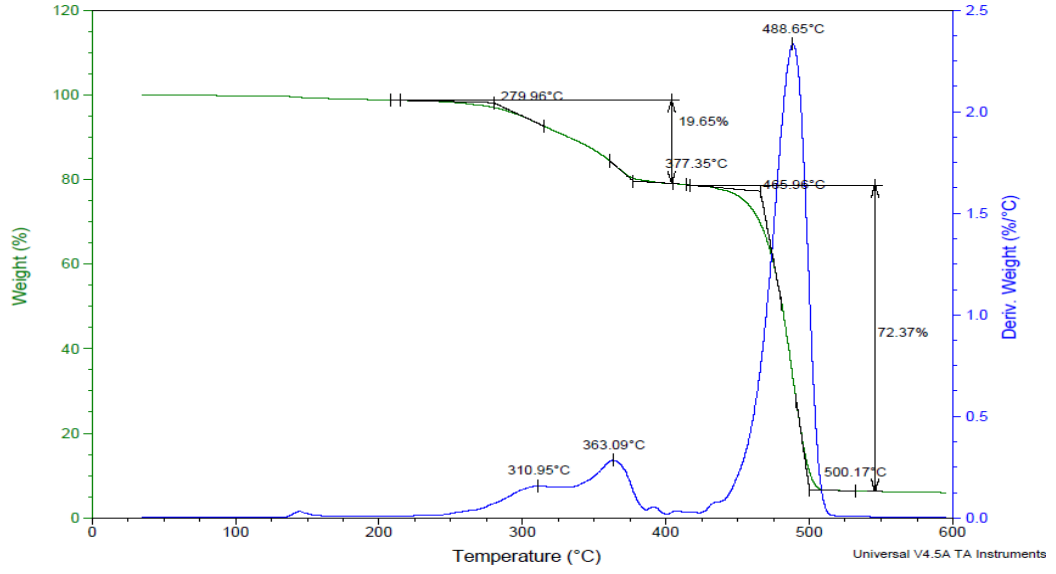
Şekil 3.12 : P3MAPE' nin TGA grafiği

P3MAPE kompozitinin termal bozunma başlama sıcaklığı 258.84°C, maksimum bozunma sıcaklık değeri 334.92°C, termal bozunmanın son bulunduğu sıcaklık değeri 350.02°C olarak belirlenmiştir. P3MAPE örneğinin bozunma miktarı %14.96 olarak belirlenmiştir. Matris malzemesi olarak kullanılan YYPE'nin termal bozunma başlama sıcaklığı 459.90°C, maksimum bozunma sıcaklık değeri 486.87°C, termal bozunmanın son bulunduğu sıcaklık değeri 499.02°C olarak belirlenmiştir. YYPE örneğinin bozunma miktarı %74.85 olarak belirlenmiştir. Kül miktarı %10.19 olarak hesaplanmıştır.



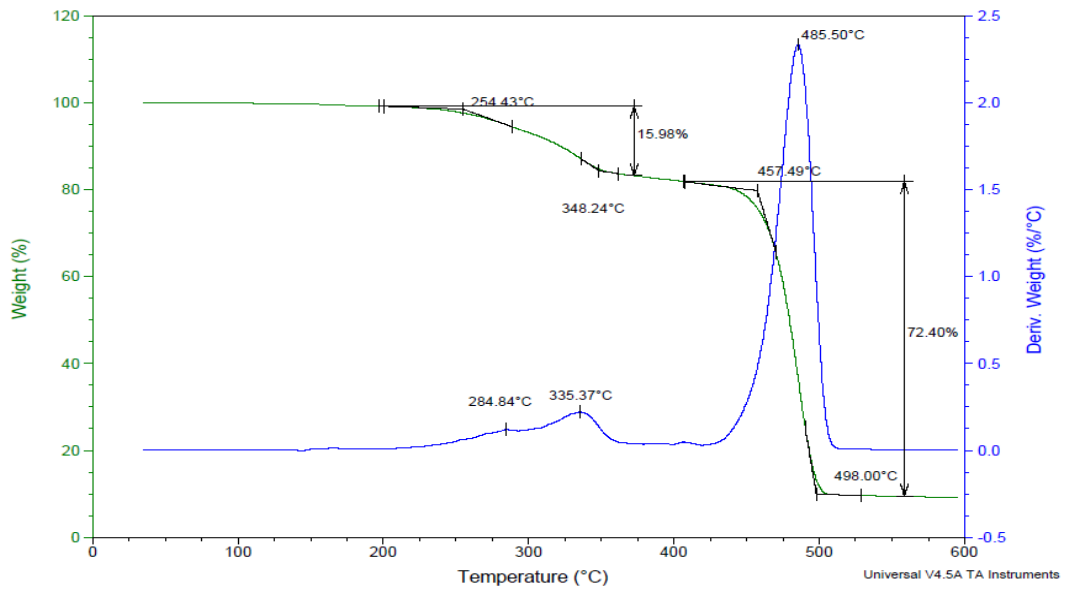
Şekil 3.13 : P4NA1'in TGA grafiği

P4NA1 kompozitinin termal bozunma başlama sıcaklığı 264.41°C, maksimum bozunma sıcaklık değeri 322.61°C, termal bozunmanın son bulunduğu sıcaklık değeri 341.59°C olarak belirlenmiştir. P4NA1 örneğinin bozunma miktarı %16.17 olarak belirlenmiştir. Matris malzemesi olarak kullanılan YYPE'nin termal bozunma başlama sıcaklığı 454.73°C, maksimum bozunma sıcaklık değeri 481.67°C, termal bozunmanın son bulunduğu sıcaklık değeri 495.19°C olarak belirlenmiştir. YYPE örneğinin bozunma miktarı %74.54 olarak belirlenmiştir. Kül miktarı %9.29 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.14: P5NA2'nin TGA grafiği

P5NA2 kompozitinin termal bozunma başlama sıcaklığı 279.96°C, maksimum bozunma sıcaklık değeri 310.95°C-363.09°C, termal bozunmanın son bulunduğu sıcaklık değeri 377.35°C olarak belirlenmiştir. P5NA2 örneğinin bozunma miktarı %19.65 olarak belirlenmiştir. Matris malzemesi olarak kullanılan YYPE'nin termal bozunma başlama sıcaklığı 465.96°C, maksimum bozunma sıcaklık değeri 488.65°C, termal bozunmanın son bulunduğu sıcaklık değeri 500.17°C olarak belirlenmiştir. YYPE örneğinin bozunma miktarı %72.37 olarak belirlenmiştir. Kül miktarı %7.98 olarak hesaplanmıştır.



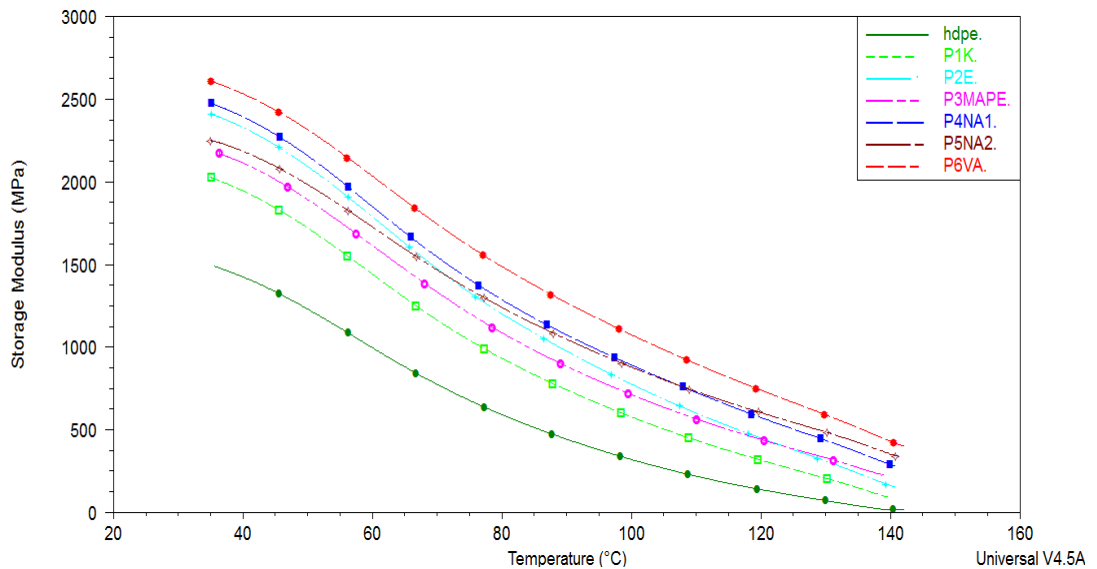
Şekil 3.15 : P6VA'nın TGA grafiği

P6VA kompozitinin termal bozunma başlama sıcaklığı 257.59°C, maksimum bozunma sıcaklık değeri 315.80°C, termal bozunmanın son bulunduğu sıcaklık değeri 334.46°C olarak belirlenmiştir. P6VA örneğinin bozunma miktarı %15.93 olarak belirlenmiştir. Matris malzemesi olarak kullanılan YYPE'nin termal bozunma başlama sıcaklığı 467.10°C, maksimum bozunma sıcaklık değeri 488.32°C, termal bozunmanın son bulunduğu sıcaklık değeri 500.48°C olarak belirlenmiştir. YYPE örneğinin bozunma miktarı %75.13 olarak belirlenmiştir. Kül miktarı %8.94 olarak hesaplanmıştır.

En yüksek termal bozunma değeri hem takviye malzemesi olarak hem de YYPE matrisi olarak P5NA2'de elde edilmiştir. P5NA2'nin içindeki palmiye lifleri yüksek alkali modifiye edildiği için lignin seviyesinin düşük olduğu için bu duruma sebebiyet verdiği düşünülmektedir. P5NA2'nin termal bozunma miktarı YYPE dışındaki kompozitlerden daha yüksektir. Yine P5NA2'nin kül miktarı seviyesi YYPE dışındaki kompozitlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

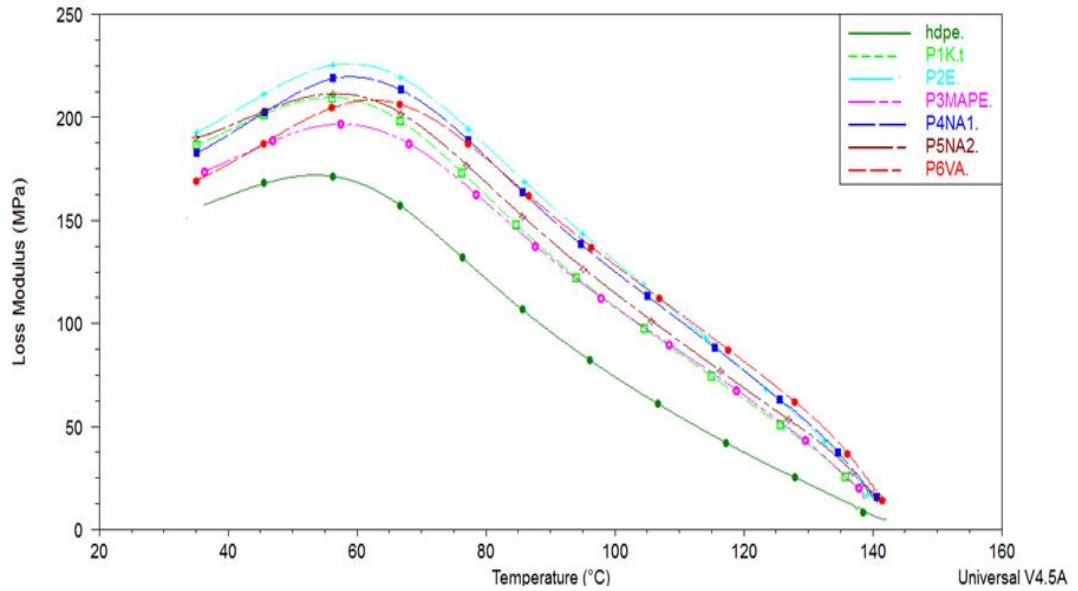
3.5 Dinamik Mekanik Analizi (DMA)

YYPE, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerinin viskoelastik özelliklerini tayin etmek için dinamik mekanik analizi yapılmıştır. YYPE, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerinin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak depolama modülü, kayıp modülü, tan delta değerlerindeki değişimler Şekil 3.16 - 3.18'de gösterilmiştir.



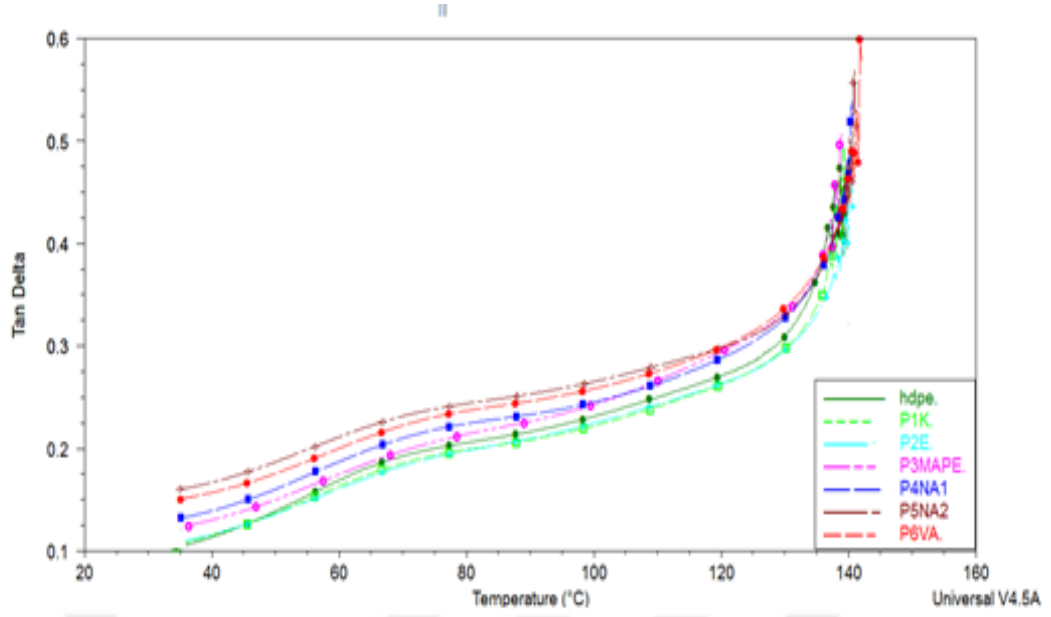
Şekil 3.16 : Kompozitlerin depolama modülü grafiği

YYPE, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerin 35°C sıcaklıktaki depolama modülü değerleri sırasıyla 1479 MPa, 1965 MPa, 2285 MPa, 1977 MPa, 2223 MPa, 1936 MPa, 2234 MPa'dır. En yüksek depolama modülüne sahip kompozit P2E'dir. P2E yakın değerlere sahip diğer kompozit malzemler büyüklük sırasıyla P6VA ile P4NA1'dir. Diğer kompozitlerin de YYPE kontrol örneğine nazaran depolama modülünde önemli miktarda artış gösterdiği görülmektedir. Takviye miktarındaki artış ile meydana gelen mekaniksel sınırlamalar depolama modülünün artışına sebebiyet vermektedir [55]. P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerinin yüksek sıcaklık değerlerinde YYPE'ye oranla daha iyi mekanik özellikler sergileyeceği söylenebilir.



Şekil 3.17: Kompozitlerin kayıp modülü grafiği

YYPE, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerin 35°C sıcaklıktaki kayıp modülü değerleri sırasıyla 156 MPa, 186 MPa, 192 MPa, 173 MPa, 183 MPa, 190 MPa, 160 MPa'dır. P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerinin YYPE'den daha yüksek kayıp modülüne sahip olduğu görülmektedir. En yüksek kayıp modülü P2E'de görülmektedir. Enerji emilimindeki azalma kayıp modülündeki artma oranı ile ilişkilendirilebilir [56].

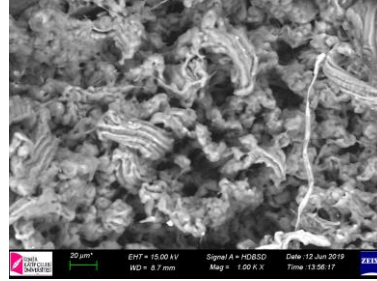


Şekil 3.18 : Kompozitlerin tan delta modülü grafiği

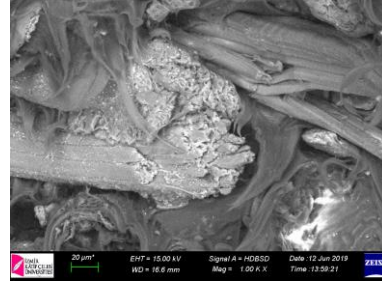
Tan delta değeri, takviye malzemesi ve polimer matrisi arasındaki arayüz özellikleri ile ilişkilendirilebilir [33]. Nispeten daha güçlü bir arayüzey, daha az enerji tüketimi ve tan delta pikinin düşük yoğunluğu ile tanımlanabilir [57]. Tan delta pik yüksekliği arayüzeydeki moleküler zincirlerin hareketliliği azaldığından, P1K ve P5NA2 yüklemesinden sonra daha düşüktür. Nitekim en yüksek tan delta değerleri P1K ve P5NA2’de elde edilmiştir.

3.6 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri

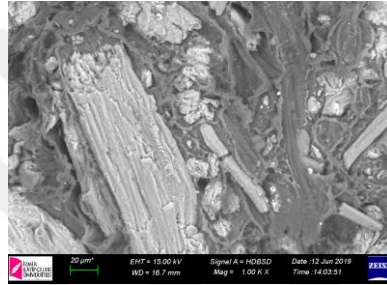
Çekme testlerinden sonra YYPE, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerinin kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



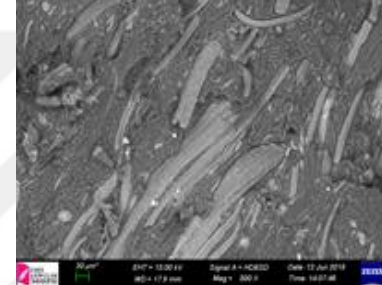
a) YYPE



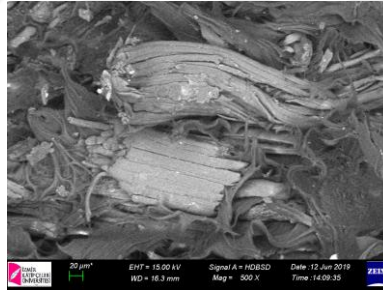
b) P1K



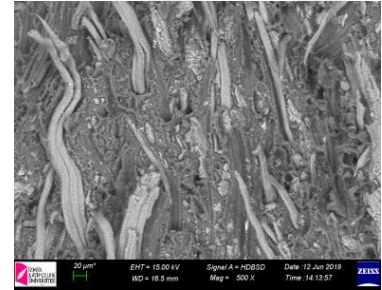
c) P2E



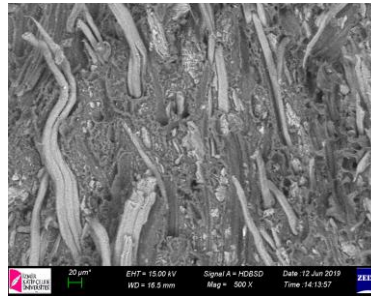
d) P3MAPE



d) P4NA1



e) P5NA2



f) P6VA

Şekil 3.19 : a) YYPE, b) P1K, c) P2E, d) P3MAPE, e) P4NA1, f) P5NA2, g) P6VA kompozitlerinin SEM görüntüleri

Kompozitlerin SEM görüntüleri incelendiğinde en düşük homojen dağılımın P1K, P2E, P3MAPE örneklerinde olduğu görülmektedir. Alkali ile modifiye edilmiş P4NA1, P5NA2 örneklerinin daha P1K, P2E, P3MAPE'ye oranla daha homojen dağıldığı görülmektedir. P6VA ile alkali ile modifiye edilmiş P4NA1, P5NA2 örnekleri arasında belirgin bir farklılık görülmemektedir. Modifiye edilmiş örneklerin matris ile daha uyumlu geldiği ve homojen dağılım sergilediği görülmektedir.



4. SONUÇLAR

Bu çalışmada YYPE, P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitleri üretilmiştir. Üretilen kompozitler hakkında aşağıda verilen sonuçlara varılmıştır.

YYPE'nin çekme dayanımı 27.51 MPa'dır. YYPE matrisi ile oluşturulan P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerinin çekme dayanımlarında azalma meydana geldiği görülmektedir. Çekme dayanımlarındaki en düşük azalma P2E'de görülmekte iken en yüksek azalma P4NA1'de görülmektedir. YYPE'nin elastisite modülü 1105.10 MPa'dır. YYPE matrisi ile oluşturulan P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerinin elastisite modülü değerlerinde belirgin bir şekilde artış meydana geldiği görülmektedir. En yüksek elastisite modülü P3MAPE görülürken, en düşük elastisite modülü P1K'da görülmektedir.

YYPE'nin eğilme dayanımı 26.98 MPa'dır. YYPE matrisi ile oluşturulan P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerinin eğilme dayanımı değerlerinde artış meydana geldiği görülmektedir. En yüksek eğilme dayanımı P3MAPE görülürken, en düşük eğilme dayanımı P1K'da görülmektedir. YYPE'nin eğilme modülü 791.34 MPa'dır. YYPE matrisi ile oluşturulan P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerinin eğilme modülü değerlerinde artış meydana geldiği görülmektedir. En yüksek eğilme modülü P3MAPE görülürken, en düşük eğilme modülü P1K'da görülmektedir.

Termogravimetrik analizi (TGA) sonucunda saf YYPE polimerinin termal bozunma başlangıç sıcaklığı 453.94°C'dir. YYPE matrisi ile oluşturulan P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerinin termal bozunma başlama sıcaklıklarında azalma görülmektedir. Termal bozunma başlama sıcaklıklarındaki en düşük azalma P5NA2'de görülürken, en yüksek azalma ise P2E'de görülmektedir. Saf YYPE polimerinin maksimum bozunma sıcaklığı 481.92°C'dir. YYPE matrisi ile oluşturulan P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerinin maksimum bozunma sıcaklık değerlerinde artış meydana geldiği görülmektedir.

En yüksek maksimum bozunma sıcaklığı P5NA2’de görülürken, en düşük maksimum bozunma sıcaklığı P4NA1’de görülmektedir. P5NA2 YYPE kontrol örneği dışındaki diğer kompozitlerle de karşılaştırıldığında en yüksek termal bozunma değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Dinamik mekanik analizi (DMA) sonucunda saf YYPE polimerinin maksimum depolama modülü 1479 MPa’ dır. YYPE matrisi ile oluşturulan P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerinin depolama modülü değerlerinde artış meydana geldiği görülmektedir. P2E’de en yüksek depolama modülü değeri görülürken, en düşük depolama modülü değeri P5NA2’de görülmektedir. YYPE’nin maksimum kayıp modülü 156 MPa’ dır. YYPE matrisi ile oluşturulan P1K, P2E, P3MAPE, P4NA1, P5NA2, P6VA kompozitlerinin kayıp modülü değerlerinde artış meydana geldiği görülmektedir. P2E’de en yüksek kayıp modülü değeri görülürken, en düşük kayıp modülü değeri P6VA’da görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Yakıncı Z.D., Kök M. (2007). Yenilenebilir Enerji ve Toplum Sağlığı, *İ.Ü. Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi*, (5) 1.
- [2] Fowler P. A., Hughes J.M., & Elias R.M. (2006). Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86 1781-1789
- [3] DİE, (2007). Tarım İstatistikleri Özeti 1988–2007, T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü. ISSN 1300–1213.
- [4] Anonim (2016). İzmir Büyükşehir Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürü İle Yapılan İkili Mülakat.
- [5] Saçak, M. (2005). *Polimer Teknolojisi*, Ankara: Gazi Yayınevi.
- [6] Yıldızhan, H. (2008). *Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [7] Ersoy, M. S. (2005). *Lif takviyeli polimerik kompozit malzeme tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] Vatangül, E. (2008). *Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve ansys 10 programı ile ısı gerilme analizi* (Lisans Tezi), İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü.
- [9] Bodur, M.S. (2008). *Doğal lif takviyeli kompozitlerde lif / matris ara yüzey iyileştirme çalışmaları ve çevresel koşullara göre karakterizasyonu* (Doktora Tezi), İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [10] <https://www.aldemirltd.com/polymer>
- [11] Bulut Y., & Erdoğan Ü.H. (201). Selüloz esaslı doğal liflerin kompozit üretiminde takviye materyali olarak kullanımı, *The Journal of Textiles and Engineers* (18) 12.
- [12] Megep, (2006). Bitkisel Lifler, *Tekstil Teknolojisi*, Ankara.

- [13] oşkuner, A. (2006). *Dünya ve Türkiye'deki Palmiyeler, Ekolojik Özellikleri ile İzmir ve Çeşme'deki Kullanımları Üzerine Araştırmalar* (Yüksek Lisans Tezi) İzmir: Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [14] <https://www.huzursayfasi.com/faydali-bilgiler-sayfasi/32565-palmiye-agaci-hakkinda-kisa-bilgi-s1.html>
- [15] John M. J., & Thomas S. (2007). Biofibres and biocomposites, *Carbohydrate Polymers* 71 (2008), 343–364.
- [16] Hafızoğlu, H. (1982). *Orman Ürünleri Kimyası Ders Notları*, K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 52.
- [17] Moore, R., Clark, D., & Vodopich, D.(1998), Botany Visual Resources Library, *The Mc Grow-Hill companies*.
- [18] Brauns E. F. (1970). Chemical Technology of Wood, *The Institute of Paper Chemistry*, Appleton, Wisconsin, Academic Press, New York and London.
- [19] Eroğlu H. (1988). *Lif Levha Endüstrisi Ders Notları*, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 304.
- [20] Bismarck, A., Mishra, S., & Lampke, T. (2005). In Natural fibres, biopolymers and biocom, *CRC Press. Posites*, 37.
- [21] Hafızoğlu H.(1983) *Odun Ekstraktifleri*, K.T.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 6(2), 342 – 348.Edition, Boston/New York
- [22] Çetin N. S. (2009). *Orman Ürünleri Kimyası Ders Notları*, Kahramanmaraş
- [23] Çetin N. S., & Özmen N. (2001). Dimensional Changes in Corsican Pine Sapwood due to Reaction with Crotonic Anhydride, *Wood Science and Technology*, 35(3), 257-267.
- [24] Li X., Tabil L.G., & Panigrahi S. (2007). Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites, *A Review, Journal of Polymer Environment*, 15, 25-33.
- [25] Otera J. (1993). *Transesterification*, *Chemical Reviews*, (93) 1449–1470.
- [26] Chang T. (2003). *Improvements in dimensional stability and lightfastness of wood by butyrylation using microwave heating. Journal of Wood Science*, (49) 455–460.
- [27] Chang S. (2001). *Comparisons of the photostability of esterified wood. Polymer Degradation and Stability*, (71) 261–266.

- [28] Özmen N., Birinci E., Çetin N. S., & Narlıoğlu, N. (2010). A New Approach for Acetylation of Wood - Vinyl Acetate, Karadeniz Technical University, The 1st International Symposium on Environment Forestry.
- [29] Çetin N. S., & Hill C.S.A. (1999). An Investigation of the Reaction of Epoxides with Wood, *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 19 (3), 247-264.
- [30] Waikambo L Y., & Ansell M. P. (2002) Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization, *Journal of Applied Polymer Science*, 84(12).
- [31] Rozman H.D., İsmail H., Jaffri M.R., Aminullah A., & Mohd İshak Z.A. (2006). Polyethylene-Oil Palm Frond Composites-A Preliminary Study on Mechanical Properties, *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 39, 3-4, 161-172.
- [32] Kaddami H., Dufresne A., Khelifi B., Bendahou A., Taourirte M., Raihane M., Issartel N., Sautereau H., Gerard J.F., & Sami N. (2006). Short palm tree fibers – Thermoset matrices composites, *Composites Part A*, 37, 1413 – 1422.
- [33] Mohanty S., Verma S.K., & Nayak S. K. (2006). Dynamic Mechanical and Thermal Properties of MAPE Treated Jute/HDPE Composites, *Composites Science and Technology*, (66) 538–547.
- [34] Alawar A., Hamed A.M., & Al-Kaabi K. (2009). Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement, *Composites: Part B*, 40, 601-606.
- [35] Alawar A., Ahmed W., & Al-Kaabi K. (2010). Comparative Study of Polypropylene Matrix Reinforced With Date Palm Fibers & *Date Palm Twigs*, *Advanced Materials Research Vols*, 123-125, pp 1115-1118.
- [36] Patel A.K., Bajpai R., Keller J.M., & Saha A. (2011). Preparation and Characterization of palm leaf incorporated polyvinyl alcohol biocomposites, *AIP Conference Proceedings*, 12 December 2011, Vol. 1393, Issue 1, 151.
- [37] Goulart S.A.S., Oliveira T.A., Teixeira A., Mileo P., & Mulinari D.R (2011). Mechanical behaviour of polypropylene reinforced palm fibers composites, *Procedia Engineering*, 10, 2034 – 2039.
- [38] Bachtiar D., Sapuan S.M., & Hamdan M.M. (2009). The influence of alkaline surface fibre treatment on the impact properties of sugar palm fibre-reinforced epoxy composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 48(3), 379 -383.

- [39] Ratanvilai T., Thanawattanasirikul N., & Homkhiev C. (2012). Mechanical and thermal properties of oil palm wood sawdust reinforced post-consumer polyethylene composites, *Research Article*, Science Asia 38: 289-294.
- [40] Al Maadeed M.A., Kahraman R., Noorunnisa Khanam P., & Al-Maadeed S. (2013). Characterization of untreated and treated male and female date palm leaves, *Materials and Design*, 43, 526 – 531.
- [41] Aldousiri B., Alajmi M., & Shalwan A. (2014). Mechanical Properties of Palm Fibre Reinforced Recycled HDPE, Volume 2013, ArticleID 508179, 7 pages.
- [42] AL-Oqla M. F., & Alothman O. Y. (2014). Processing and Properties of Date Palm Fibers and Its Composites, *Biomass and Bioenergy*, 1-25.
- [43] Mirmehdi S.M., Zeinaly F., & Dabbagh F. (2014). Date palm wood flour as filler of linear low-density polyethylene, *Composites Part B: Engineering*, Volume 56, Pages 137-141.
- [44] Kocak D., & Mistik S.I. (2015). The use of palm leaf fibres as reinforcements in composites, Marmara University, Turkey.
- [45] Baley, C. (2002). *Analysis of the flax fibers tensile behavior and analysis of the tensile stiffness increase*, *Composites: Part A*, 33, (2002), 939-948
- [46] Al-Kaabi1 K., Al-Khanbashi A., & Hammami A. (2005). Natural Fiber Reinforced Composites From Date Palm Fibers, College of Engineering, United Arab Emirates University, United Arab Emirates.
- [47] Sbiai A., Maazouz A., Fleury E., Souterneau H., & Kaddami H. (2010). Short Date Palm Tree Fibers/ Polyepoxy Composites Prepared Using Rtm Process: Effect Of Tempo Mediated Oxidation Of The Fibers, *Bio Resources*, Vol 5, No 2.
- [48] Hong L.S., Ibrahim D., & Omar I.C. (2012). Oil Palm Frond for the Production of Bioethanol, *International Journal of Biochemistry and Biotechnology* Vol.1,(1), pp. 007-011.
- [49] Mohanty, A.K., Misra, M., & Hinrichsen, G., (2000). Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: an overview, *Macromol. Mater. Eng.*, 276/277, 1-24.

- [50] Kalaycı E., Avinc O.O., Bozkurt A., & Yavaş A. (2016). Tarımsal atıklardan elde edilen sürdürülebilir tekstil lifleri: Ananas yaprağı lifleri, *SAÜ Fen Bil Der.*, 20. Cilt, 2. Sayı, s. 203-221.
- [51] Birinci, E. (2011). *Asetillendirilmiş Sarıçam (Pinus sylvestris L.) Odun Unu İle Yeni Odun Plastik Kompozitlerinin Üretimi* (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [52] Shuming D., Tarasova E., Krumme A., & Meier P. (2011). Rheological and Mechanical Properties of Poly(Lactic) Acid/Cellulose and LDPE/Cellulose Composites, *Material Science*, 17(1), 32-37.
- [53] Plastics Europe, (2013). Association of Plastics Manufactures, An Analysis Of European Latest Plastics Production, *Demand and Waste Data Plastics-The Facts*, 38.
- [54] Jeske H., Schirp A., & Cornelius F. (2012). Development of a Thermogravimetric Analysis (TGA) Method For Quantitative Analysis of Wood Flour and Polypropylene in Wood Plastic Composites (WPC), *Thermochimica Acta*, (543) 165–171.
- [55] Kaya N., Atagur M., Akyuz O., Seki Y., Sarıkanat M., Sutcu M., Seydibeyoglu M.O., & Sever K. (2018). Fabrication and characterization of olive pomace filled PP composites, *Composites Part B* 150, (2018) 277-283.
- [56] Nagarajan T. T., Suresh B. A., Palanivelu K., & Nayak S.K. (2016). Mechanical and Thermal Properties of PALF Reinforced Epoxy Composites, *Macromolecular Symposia*, (361) 57-63.
- [57] Sever K., Atagür M., Tunçalp M., Altay L., Seki Y., & Sarıkanat M. (2018). The Effect of Pumice Powder on Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene, *Journal of Thermoplastic Composite*, In press.
DOI: 10.1177/0892705718785692.

ÖZGEÇMİŞ

AD SOYAD: Fatih Cafer KARAMAN

DOĞUM YERİ ve TARİHİ: İzmir, 26/12/1989

E-Mail: fatih_karaman22@hotmail.com

Eğitim:

Lisans: İstanbul Üniversitesi - Orman Endüstri Mühendisliği (2010-2014)

Yüksek Lisans: İzmir Katip Çelebi Üniversitesi - Biyokompozit Mühendisliği
(2016-2019)