



T.C.

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KİMYASAL OLARAK MODİFİYE EDİLMİŞ
LİGNOSELÜLOZİKLERDEN
TERMOPLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ**

NASIR NARLIOĞLU

DOKTORA TEZİ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2018

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYASAL OLARAK MODİFİYE EDİLMİŞ
LİGNOSELÜLOZİKLERDEN
TERMOPLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ

NASIR NARLIOĞLU

Bu tez,
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
DOKTORA
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2018

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Nasır NARLIOĞLU** tarafından hazırlanan “**Kimyasal Olarak Modifiye Edilmiş Lignoselüloziklerden Termoplastik Kompozit Üretimi**” adlı bu tez, jürimiz tarafından 19/03/2018 tarihinde oy birliği ile Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nihat Sami ÇETİN (DANIŞMAN)

Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Hakkı ALMA (İKİNCİ DANIŞMAN)

Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU (ÜYE)

Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet TÜMER (ÜYE)

Kimya Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Tuncer DİLİK (ÜYE)

Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Bilal ACEMİOĞLU (ÜYE)

Kimya Ana Bilim Dalı, Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul ALTUNTAŞ (ÜYE)

Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Nasır NARLIOĞLU

Bu çalışma KSÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 2015/3-61D

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

KİMYASAL OLARAK MODİFİYE EDİLMİŞ LİGNOSELÜLOZİKLERDEN TERMOPLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ

(DOKTORA TEZİ)

NASIR NARLIOĞLU

ÖZET

Bu çalışmada kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselüloziklerin (Karaçam odununu, MDF tozu ve jüt lifi) Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) ve Polipropilen (PP) matrislerine ilave edilmesi ile termoplastik kompozitler üretilmiş ve bu kompozitlerin karakterizasyonu yapılmıştır. Kompozit üretiminin ilk aşamasında lignoselülozik maddeler mikrodalga destekli reaksiyon düzeneğinde kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu için Asetik anhidrit (AA), Propiyonik anhidrit (PA) ve Bütirik anhidrit (BA) kullanılmıştır.

Kompozit üretiminin ikinci aşamasında ise çift burgulu ekstruder kullanılarak kompozit pelletleri elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen kompozit pelletlerinden sıcak pres kalıplama tekniği ile ASTM standartlarına uygun kompozit levhalar üretilmiş ve test örnekleri hazırlanmıştır. Üretilen kompozit örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için ASTM standartlarına göre su alma, çekme, eğilme ve darbe direnci testleri yapılmıştır. Termal ve morfolojik özelliklerini belirlemek için ise sırasıyla TGA ve DSC analizleri ile SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizleri yapılmıştır.

Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası %4 ile %23 arasında değişen ağırlık kazancı yüzdeleri (WPG) elde edilmiştir. Ayrıca lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası yapılan FTIR analizinden elde edilen spektrumlarda 1740 cm^{-1} civarında bulunan karbonil (C=O) grubuna ait pik şiddetlerinde artış görülmüştür. Yapılan su alma testlerinin sonuçlarına göre kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli kompozitlerin modifiye edilmemiş kontrol örneklerine kıyasla su alma miktarlarında önemli azalmalar görülmüştür. TGA analizi sonuçlarına göre kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde katkılı kompozitlerin termal kararlılığında artış görülmüştür. Bunlara ilaveten kontrol kompozit örnekleri ile kıyaslandığında kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde katkılı YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerinde önemli miktarda bir iyileşme görülürken, PP kompozitlerin mekanik özelliklerinde ise kayda değer bir değişiklik görülmemiştir.

Mekanik testlerden elde edilen verilere göre farklı zincir uzunluğuna sahip anhidritler ile yapılan kimyasal modifikasyon işlemi sonucunda lignoselülozik maddelere bağlanan asetil, propil ve bütül gruplarına bağlı olarak farklı mekanik özelliklerin olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak modifiye edici kimyasalların zincir uzunluğu artışı (AA>PA>BA) ile YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerinde zayıflama gözlemlenirken PP kompozitlerin mekanik özelliklerinde ise kayda değer bir değişiklik görülmemiştir. Yine mekanik test sonuçlarına göre üretilen bütün modifiye edilmiş lignoselülozik katkılı kompozit örnekleri içerisinde en iyi çekme, eğilme ve darbe direnci özellikleri AA modifiyeli jüt lifi ilaveli kompozitlerde tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lignoselülozikler, kimyasal modifikasyon, asetik anhidrit, propiyonik anhidrit, bütirik anhidrit, mikrodalga, termoplastikler, kompozit

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Mart/2018

Danışman : Prof. Dr. Nihat Sami ÇETİN
Eř Danışman : Prof. Dr. Mehmet Hakkı ALMA
Sayfa Sayısı : 207

THERMOPLASTIC COMPOSITE PRODUCTION FROM CHEMICALLY MODIFIED LIGNOCELLULOSICS

(PhD THESIS)

NASIR NARLIOĞLU

ABSTRACT

In this study, thermoplastic composites were produced and characterized by adding chemically modified lignocellulosics (Black pine sawdust, MDF dust and Jute fiber) into High Density Polyethylene (HDPE) and Polypropylene (PP) matrices. In the first stage of composite production, lignocellulosic materials were subjected to chemical modification process using a microwave-assisted reaction system. For the chemical modification of lignocellulosic materials, acetic anhydride (AA), propionic anhydride (PA) and butyric anhydride (BA) were used.

In the second stage of composite production, composite pellets were obtained using a twin-screw extruder. Then, the composite boards were produced from the obtained composite pellets via compression molding technique and test specimens were prepared in accordance with ASTM standards. In order to determine the physical and mechanical properties of the produced composite samples, water uptake, tensile, bending and impact strength tests were performed according to ASTM standards. Thermal and morphological properties were determined by using TGA and DSC analyzes along with SEM (Scanning Electron Microscopy), respectively.

After chemical modification of the lignocellulosic materials, weight percentage (WPG) values changing between 4% to 23% were achieved. Moreover, an increase was observed in the peak intensities of the carbonyl (C=O) group, which is around 1740 cm^{-1} in the spectra obtained from the FTIR analysis performed after chemical modification of the lignocellulosic materials. According to the results of water uptake tests, significant reductions in water uptake values of chemically modified lignocellulosic material-added composites were observed compared to the unmodified control samples. According to TGA analysis results, the thermal stability of chemically modified lignocellulosic material-added composites increased. In addition, when compared with the control composite samples, a significant improvement was observed in the mechanical properties of chemically modified lignocellulosic material-added HDPE composites, while a significant change was not observed in the mechanical properties of the PP composites.

According to the results obtained from mechanical tests, it was found that different mechanical properties arose as a result of chemical modification with anhydrides having different chain lengths due to acetyl, propyl and butyl groups bonded to lignocellulosic materials. In general, a decrease in the mechanical properties of the HDPE composites was observed with the increasing chain length (AA>PA>BA) of the modifying chemicals, while a significant change was not observed in the mechanical properties of the PP composites. Moreover, according to the mechanical test results, the best tensile, flexural and impact resistance properties were obtained for AA modified jute fiber-based composites among all modified lignocellulosic containing composites.

Key Words: Lignocellulosics, chemical modification, acetic anhydride, propionic anhydride, butyric anhydride, microwave, thermoplastics, composite

**Kahramanmaraş Sutcu Imam University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Industry Engineering, March/2018**

Supervisor : Prof. Dr. Nihat Sami ÇETİN

Co-Supervisor : Prof. Dr. Mehmet Hakkı ALMA

Page number : 207

TEŞEKKÜR

“Kimyasal Olarak Modifiye Edilmiş Lignoselüloziklerden Termoplastik Kompozit Üretimi” konu başlıklı doktora tezi çalışmamda;

Öncelikle bilimsel ve akademik çalışmalarım boyunca her türlü teori ve uygulama konularında bilgi birikimleri ve yardımlarını benden esirgemeyen tez danışmanlarım Prof. Dr. Nihat Sami ÇETİN’e ve Prof. Dr. Mehmet Hakkı ALMA’ya çok teşekkür ederim. Bilgi ve görüşlerinden faydalandığım tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU ve Prof. Dr. Mehmet TÜMER’e katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca lisansüstü öğrenimimden bugüne her türlü yardım ve desteğinden dolayı Prof. Dr. Nilgöl ÖZMEN’e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimle ilgili çalışmalarda desteğini gördüğüm Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul ALTUNTAŞ, Yrd. Doç. Dr. Kadir KARAKUŞ, Yrd. Doç. Dr. Eyyüp KARAOĞUL’a ve her konuda destek aldığım Arş. Gör. Tufan SALAN’a teşekkürlerimi iletiyorum. Ayrıca mekanik testlerin yapımı esnasında desteğini gördüğüm Arş. Gör. İbrahim Halil BAŞBOĞA, Arş. Gör. İlkay ATAR ve Fatma BOZKURT’a teşekkür ederim.

Son olarak bana her konuda her zaman destek olan kıymetli eşim Zeynep NARLIOĞLU ve özellikle tezimin yazımı aşamasında fazla ilgilenemediğim çocuklarım Emine ve Ebrar’a sevgi ve muhabbetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
EKLER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Doğal Lif Takviyeli Kompozitler.....	2
1.2. Doğal Lif Takviyeli Kompozit Ürünleri	4
1.3. Doğal Lif Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	6
1.4. Doğal Lif Takviyeli Kompozit Üretiminde Kullanılan Maddeler	9
1.4.1. Termoplastik polimerler	9
1.4.2. Termoset polimerler.....	11
1.4.3. Lignoselülozikler ile termoplastikler arasında bağlanmayı artırıcı maddeler	11
1.4.4. Lignoselülozik dolgu maddeleri	15
1.4.4.1. Lignoselülozik maddelerin yapısı	17
1.5. Lignoselüloziklerin Modifikasyonu	21
1.5.1. Termal modifikasyon.....	22
1.5.2. Yüzey modifikasyonu	22
1.5.3. Emprenye modifikasyonu	23
1.5.4. Kimyasal modifikasyon	23
1.5.4.1. Asetillendirme	25
1.6. Mikrodalga Modifikasyonu.....	28

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	31
3. ÇALIŞMANIN AMACI VE ÖZGÜN DEĞERİ	37
4. MATERYAL VE METOD.....	39
4.1. Materyal	39
4.1.1. Termoplastik polimerler	39
4.1.2. Lignoselülozik maddeler	39
4.1.3. Kimyasal maddeler	39
4.2. Metod	40
4.2.1. Lignoselülozik maddelerin tasnifi	40
4.2.2. Lignoselülozik maddelerin kurutması	40
4.2.3. Lignoselülozik maddelerin kimyasal analiz yöntemleri	40
4.2.3.1. Kül tayini.....	40
4.2.3.2. Solvent ekstraksiyonu.....	40
4.2.3.3. Holoselüloz tayini.....	40
4.2.3.4. Alfaselüloz tayini	40
4.2.4. Kimyasal modifikasyon yöntemi	40
4.2.5. Kompozit malzemelerin üretim yöntemi	44
4.2.5.1. Kompozit pelletlerinin hazırlanması	46
4.2.5.2. Kompozit levha üretimi.....	47
4.2.6. Üretilen kompozit malzemelerin analizleri.....	48
4.2.6.1. Termo gravimetrik analiz (TGA) yöntemi	48
4.2.6.2. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analiz yöntemi ve kristalite hesabı.....	48
4.2.6.3. Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FTIR) analizleri	49
4.2.6.4. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi	49
4.2.6.5. Kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi	50
4.2.6.6. Kompozit malzemelerin morfolojik özelliklerinin belirlenmesi.....	50

4.2.6.7. İstatistik analiz yöntemi.....	50
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	51
5.1. Lignoselülozik Maddelerin Kimyasal Analiz Sonuçları	51
5.2. Kimyasal Modifikasyon Yöntemine Ait Bulgular	51
5.2.1. Mikrodalga yöntemiyle optimum reaksiyon süresinin belirlenmesi	51
5.2.2. Mikrodalga yöntemiyle optimum güç (W) değerinin belirlenmesi	52
5.2.3. Mikrodalga yönteminde optimum kimyasal madde miktarının belirlenmesi.....	53
5.2.4. Klasik kimyasal modifikasyon yöntemine ait bulgular	54
5.2.5. FTIR analizlerine ait bulgular.....	55
5.2.6. YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerine ait bulgular	59
5.2.6.1. YYPE kompozitlerin çekme direnci özelliklerine ait bulgular	59
5.2.6.2. YYPE kompozitlerin eğilme direnci özelliklerine ait bulgular.....	63
5.2.6.3. YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular	67
5.2.6.4. YYPE kompozitlerin darbe direnci özelliklerine ait bulgular.....	70
5.2.6.5. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.....	74
5.2.7. PP kompozitlerin mekanik özelliklerine ait bulgular	79
5.2.7.1. PP kompozitlerin çekme direnci özelliklerine ait bulgular	79
5.2.7.2. PP kompozitlerin eğilme direnci özelliklerine ait bulgular.....	82
5.2.7.3. PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular	85
5.2.7.5. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.....	91
5.2.8. Kompozitlerin termal özelliklerine ait bulgular	96
5.2.8.1. YYPE kompozitlerin TGA analizlerine ait bulgular	96
5.2.8.2. PP kompozitlerin TGA analizlerine ait bulgular.....	101
5.2.8.3. YYPE kompozitlerin DSC analizlerine ait bulgular	106
5.2.8.4. PP kompozitlerin DSC analizlerine ait bulgular	111

5.2.9. Kompozitlerin fiziksel özelliklerine ait bulgular	115
5.2.9.1. YYPE kompozitlerin su alma testine ait bulgular	115
5.2.9.2. PP kompozitlerin su alma testine ait bulgular	119
5.2.10. Kompozitlerin morfolojik özelliklerine ait bulgular.....	122
5.2.10.1. YYPE kompozitlerin SEM analizlerine ait bulgular	122
5.2.10.2. PP kompozitlerin SEM analizlerine ait bulgular	125
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	128
6.1. Sonuçlar.....	128
6.1.1. Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyon sonuçları	128
6.1.2. Termoplastik kompozitlerin üretimi ve mekanik özelliklerine ait sonuçlar	129
6.1.2.1. YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerine ait sonuçlar.....	129
6.1.2.2. PP kompozitlerin mekanik özelliklerine ait sonuçlar	131
6.1.3. Kompozitlerin termal özelliklerine ait sonuçlar	132
6.1.3.1. YYPE kompozitlerin termal özelliklerine ait sonuçlar	132
6.1.3.2. PP kompozitlerin termal özelliklerine ait sonuçlar	132
6.1.4. Kompozitlerin fiziksel özelliklerine ait sonuçlar.....	133
6.1.4.1. YYPE kompozitlerin su alma özelliklerine ait sonuçlar	133
6.1.4.2. PP kompozitlerin su alma özelliklerine ait sonuçlar	134
6.1.5. Kompozitlerin morfolojik özelliklerine ait sonuçlar	134
6.2. Öneriler	135
KAYNAKLAR.....	136
EKLER	150
ÖZGEÇMİŞ.....	208

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Doğal lif takviyeli kompozitlerin çeşitli sektörlere göre dağılımı	4
Şekil 1.2. OPK üretimi genel iş akışı	6
Şekil 1.3. Enjeksiyon kalıplama tekniği ile kompozit üretim şeması.....	8
Şekil 1.4. Pres kalıplama tekniği ile kompozit üretim şeması.....	8
Şekil 1.5. Ekstrüzyon profil çekme tekniği ile kompozit üretim şeması.....	9
Şekil 1.6. Doğal lif ilaveli kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan termoplastiklerin kimyasal yapısı.....	11
Şekil 1.7. MAPP ile lignoselülozik lifler arasında oluşan bağın şematik gösterimi	12
Şekil 1.8. Lignoselülozik madde ilaveli kompozit üretiminde takviye edici olarak kullanılan doğal liflerin sınıflandırılması	15
Şekil 1.9. Lignoselülozik maddelerin makroskopik, mikroskopik ve kimyasal yapısının şematik görünümü	17
Şekil 1.10. Modifikasyon yöntemleri	21
Şekil 1.11. Odun hücre çeperinin anhidritler ile reaksiyonu	26
Şekil 1.12. Mikrodalga destekli reaksiyon düzeneğinin şematik gösterimi	29
Şekil 4.1. Mikrodalga tekniği ile kimyasal modifikasyon yöntemi.....	42
Şekil 4.2. Klasik teknik ile kimyasal modifikasyon yöntemi	42
Şekil 4.3. Çift burgulu ekstruder	47
Şekil 4.4. CARVER pres	48
Şekil 5.1. Reaksiyon süresi ve WPG arasındaki ilişki.....	52
Şekil 5.2. Mikrodalga gücü (W) ile WPG arasındaki ilişki.....	53
Şekil 5.3. AA miktarı ve WPG arasındaki ilişki.....	54
Şekil 5.4. Karaçam odununu kontrol ve kimyasal modifikasyon sonrası en yüksek WPG değerlerine sahip örneklerin FTIR spektrumları.....	56
Şekil 5.5. MDF tozu kontrol ve kimyasal modifikasyon sonrası en yüksek WPG değerlerine sahip örneklerin FTIR spektrumları.....	57

Şekil 5.6. Jüt lifi kontrol ve kimyasal modifikasyon sonrası en yüksek WPG değerlerine sahip örneklerin FTIR spektrumları.....	58
Şekil 5.7. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerleri.....	60
Şekil 5.8. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerleri.....	61
Şekil 5.9. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerleri.....	62
Şekil 5.10. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerleri.....	63
Şekil 5.11. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerleri.....	65
Şekil 5.12. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerleri.....	66
Şekil 5.13. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	67
Şekil 5.14. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	68
Şekil 5.15. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	69
Şekil 5.16. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci değerleri.....	71
Şekil 5.17. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci değerleri.....	72
Şekil 5.18. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci değerleri.....	73
Şekil 5.19. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en iyi çekme direnci özelliği sergileyen kompozit örnekleri.....	74
Şekil 5.20. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en iyi eğilme direnci özelliği sergileyen kompozitler.....	76
Şekil 5.21. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerini sergileyen kompozitler.....	77
Şekil 5.22. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en iyi darbe direnci özelliği sergileyen kompozitler.....	78
Şekil 5.23. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci değerleri.....	80
Şekil 5.24. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci değerleri.....	81
Şekil 5.25. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci değerleri.....	82
Şekil 5.26. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci değerleri.....	83

Şekil 5.27. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci değerleri.....	84
Şekil 5.28. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci değerleri.....	85
Şekil 5.29. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	86
Şekil 5.30. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	87
Şekil 5.31. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	88
Şekil 5.32. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci değerleri.....	89
Şekil 5.33. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci değerleri.....	90
Şekil 5.34. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci değerleri.....	91
Şekil 5.35. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden en iyi çekme direnci değerlerini sergileyen kompozitler.....	92
Şekil 5.36. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden en iyi eğilme direnci değerlerini sergileyen kompozitler.....	93
Şekil 5.37. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerlerini sergileyen kompozitler.....	94
Şekil 5.38. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden en iyi darbe direnci değerlerini sergileyen kompozitler.....	95
Şekil 5.39. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin termogram eğrileri.....	96
Şekil 5.40. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin termogram eğrileri.....	98
Şekil 5.41. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin termogram eğrileri.....	99
Şekil 5.42. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin termogram eğrileri.....	102
Şekil 5.43. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin termogram eğrileri.....	103
Şekil 5.44. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin termogram eğrileri.....	105
Şekil 5.45. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin DSC eğrileri.....	107
Şekil 5.46. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin DSC eğrileri.....	108
Şekil 5.47. Jüt ilaveli YYPE kompozitlerin DSC eğrileri.....	110
Şekil 5.48. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin DSC eğrileri.....	112

Şekil 5.49. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin DSC eğrileri.....	113
Şekil 5.50. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin DSC eğrileri.....	114
Şekil 5.51. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin su alma miktarları.....	115
Şekil 5.52. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin su alma miktarları.....	116
Şekil 5.53. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin su alma miktarları.....	117
Şekil 5.54. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin su alma miktarları.....	120
Şekil 5.55. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin su alma miktarları.....	121
Şekil 5.56. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin su alma miktarları.....	121
Şekil 5.57. En iyi çekme ve eğilme direnci özelliğini sergileyen YYPE kompozit örneğinin (JAA21PE) SEM görüntüsü.....	123
Şekil 5.58. En iyi eğilmede elastikiyet modülü değerini sergileyen YYPE kompozit örneğinin (JBA22PE) SEM görüntüsü.....	124
Şekil 5.59. En iyi darbe direnci özelliğini sergileyen YYPE kompozit örneğinin (J0PE) SEM görüntüsü.....	125
Şekil 5.60. En iyi çekme ve eğilme direnci özelliği ile elastikiyet modülü değerlerini sergileyen PP kompozit örneğinin (JAA6PP) SEM görüntüsü.....	126
Şekil 5.61. En iyi darbe direnci özelliğini sergileyen PP kompozit örneğinin (J0PP) SEM görüntüsü.....	126
Şekil 5.62. En iyi darbe direnci özelliğini sergileyen modifiyeli lignoselülozik madde ilaveli PP kompozit örneğinin (MDFBA22PP) SEM görüntüsü.....	127

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Doğal lif ilaveli kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan termoplastik polimerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	10
Çizelge 1.2. Bazı doğal liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	17
Çizelge 4.1. Lignoselülozik maddelerin modifikasyon yöntemleri.....	43
Çizelge 4.2. YYPE kompozitlerin karışım formülasyonları.....	45
Çizelge 4.3. PP kompozitlerin karışım formülasyonları.....	46
Çizelge 4.4. YYPE ve PP polimer matrisli kompozitlerin ekstruder sıcaklık profili.....	47
Çizelge 5.1. Lignoselülozik maddelerin kimyasal analiz sonuçları.....	51
Çizelge 5.2. Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası WPG değerleri.....	55
Çizelge 5.3. Lignoselülozik maddelerin FTIR spektrumlarına ait bazı karakteristik fonksiyonel gruplar ve band pozisyonları.....	59
Çizelge 5.4. Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonuç değerleri.....	97
Çizelge 5.5. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonuç değerleri.....	99
Çizelge 5.6. Jüt ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonuç değerleri.....	100
Çizelge 5.7. Karaçam odununu ilaveli PP kompozitlerin TGA sonuç değerleri.....	103
Çizelge 5.8. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin TGA sonuç değerleri.....	104
Çizelge 5.9. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin TGA sonuç değerleri.....	106
Çizelge 5.10. Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri.....	107
Çizelge 5.11. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri.....	108
Çizelge 5.12. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri.....	109
Çizelge 5.13. Karaçam odununu ilaveli PP kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri.....	111
Çizelge 5.14. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri.....	113
Çizelge 5.15. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri.....	114

EKLER DİZİNİ

EK-1 Lignoselülozik Maddelerin Kimyasal Modifikasyon Öncesi ve Sonrası FTIR Spektrumları	151
EK-2 Kompozitlerin FTIR Spektrumları.....	152
EK-2.A. YYPE kompozitlerin FTIR spektrumları.....	152
EK-2.B. PP kompozitlerin FTIR spektrumları	153
EK-3 Kompozitlerin Mekanik Test Sonuçları.....	154
EK-3.A. YYPE kompozitlerin mekanik özellikleri.....	154
EK-3.B. PP kompozitlerin mekanik özellikleri	157
EK-4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri.....	160
EK-4.A. YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri.....	160
EK-4.B. PP kompozitlerin SEM görüntüleri	168
Ek-5. Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İstatistik Analiz Sonuçları.....	176
Ek-5.A. YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerinin istatistik analiz sonuçları.....	176
Ek-5.B. PP kompozitlerin mekanik özelliklerinin istatistik analiz sonuçları	192

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ΔH_m	: Erime sıcaklığındaki entalpi değişimi
ΔH_m^0	: Saf YYPE ve PP kristallerinin erime entalpisi
AA	: Asetik anhidrit
AK	: Ağırlık kaybı
ASTM	: Amerikan Test Standartları
AYPE	: Alçak Yoğunluklu Polietilen
BA	: Bütirik anhidrit
DMF	: Dimetil formamid
DrTGA	: Derivativ Termo Gravimetrik Analiz
DS	: Yer değiştirme derecesi
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
GPa	: Giga Pascal
H	: Hidrojen
HA	: Heksanoik anhidrit
ia	: İlk ağırlık
İBA	: İzobütirik anhidrit
KM	: Kristalinite miktarı
KMM	: Kalan madde miktarı
MA	: Maleik anhidrit
MAPE	: Maleik anhidritli polietilen
MAPP	: Maleik anhidritli polipropilen
MCC	: Mikro kristal selüloz
MDF	: Orta yoğunluklu liflevha
mf	: Kompozit karışımındaki lignoselülozik madde miktarı

MPa	: Mega Pascal
OH	: Hidroksil
OPK	: Odun plastik kompozit
OSB	: Yönlendirilmiş şerit yongalevha
PA	: Propiyonik anhidrit
PP	: Polipropilen
PTFE	: Politetrafloroetilen
PVC	: Polivinil Klorür
SA	: Su alma
sa	: Son ağırlık
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TGA	: Termo Gravimetrik Analiz
Tmax	: Maksimum bozunma sıcaklığı
UV	: Ultra viyole
VA	: Valerik anhidrit
W	: Güç
WLmax	: Maksimum bozunma oranı
WPG	: Yüzde ağırlık kazancı
YS	: Yarılanma sıcaklığı
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen

1. GİRİŞ

Tüketimin hızla arttığı günümüzde, giderek artan enerji ve hammadde ihtiyacı bilim insanlarını çalışma alanlarında enerji ve doğal kaynakları daha verimli kullanma konularında araştırmaya yönlendirmiştir. Bu çalışma alanlarından biri de, yaşantımız ile iç içe olan malzeme bilimi alanıdır. Malzeme bilimi günlük hayatta kullandığımız küçük ev aletlerinden ulaşım amacı ile kullandığımız taşıt araçları dahil bir çok alet, araç-gereç, makine parçası gibi malzemelerin üretimi ile ilgilenmektedir.

Malzeme bilimi için önemli bir hammadde kaynağı olan doğal yenilenebilir hammaddeler geçmişten günümüze yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu maddeler içerisinde lignoselülozikler ise hiç şüphesiz uzun yıllar araştırmacıların dikkatinden kaçmamış ve bu maddeler üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Günümüzde kullandığımız dayanıklı tüketim mallarından, günlük kullanıp attığımız ürünlere kadar neredeyse hayatın her alanında plastik ve plastik kökenli ürünler yer almaktadır. Plastik, bilinçsiz kullanım ve yeteri kadar geri dönüşümün yapılmadığı takdirde doğada çok uzun yıllar bozunmadan kalan ve çevre sorunlarına sebep olan bir maddedir. Plastik endüstrisinin hammaddesi olan kısıtlı petrol kaynakları da artan tüketim karşısında giderek azalmaktadır. Bu azalış üreticileri plastiğe alternatif yenilenebilir doğal polimer ürünlere yönlendirmiştir. Bunun yanı sıra üreticiler ve araştırmacılar, plastik kökenli ürünlerin üretimi esnasında organik ve inorganik madde ilavesi ile son ürün içerisindeki plastik miktarını azaltmaya ve maliyetleri aşağıya çekmeye çalışmaktadırlar.

Son yıllarda inşaat, otomotiv ve ambalaj sanayii gibi alanlarda çevre kirliliğine neden olan ve doğada bozunmayan atıklar yerine çevre dostu ve sürdürülebilir materyallerin kullanılması yaygınlaşmaktadır. Doğal liflerle güçlendirilmiş biyolojik olarak parçalanabilir kompozitler, çevre dostu yapıları ve yenilenebilir olmaları sebebiyle, çeşitli uygulamalar için çevre dostu ve iyi bir alternatif malzeme olarak ilgi uyandırmışlardır. Düşük ağırlık, yüksek mukavemet ve sertlik gibi mükemmel özelliklerinden dolayı, doğal lif takviyeli kompozitlerin teknik uygulamaları çeşitli alanlarında büyük dağılım bulmuştur (Kumar ve ark., 2011).

Kompozitler, farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip iki veya daha fazla maddeden oluşan, iyi tanımlanmış bir yapıya sahip, günlük hayatımızın her yerinde bulunan ve hayatımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmiş malzemelerdir. Bitki sapları ve çamurdan yapılmış kerpiç, çok eski zamanlarda üretilen kompozitlere iyi bir örnektir.

Kompozit malzemeler genellikle lif veya parçacık ile takviye edilmiş bir matristen oluşmaktadır. Kompozitlerdeki matrise takviye edilmesi için, 20. yüzyılın ortalarına kadar doğal liflerden faydalanılmıştır. 1950'den beri, havacılık, ulaşım ve inşaat gibi alanlarda daha güçlü, daha sert ve hafif kompozitler için artan bir talep oluşmuştur (Hull ve Clyne, 1996; Mallick, 2007; Kumar ve ark., 2011).

Biyokompozitler, matris malzemesi olarak biyobozunur polimerlerden ve genellikle takviye elemanı olarak biyolojik liflerden oluşur. Burada kompoziti oluşturan her iki bileşen de biyo-bozunabilir olduğundan, elde edilen kompozit malzemenin de biyo-bozunabilir olması beklenir (Mohanty ve ark., 2000). Son on yılda genel eğilimin daha çok ekolojik malzemelere karşı olduğu görülmüş ve kompozit pazarı da bu eğilimin önemli bir parçası olmuştur. Biyokompozitler, PLA (Poli Laktik Asit) ve PHAs (Poli Hidroksi Alkonatlar) gibi biyopolimerler ya da PE (Polietilen) ve PP (Polipropilen) gibi biyolojik olarak parçalanmayan petrol türevli polimerler ile doğal liflerden elde edilmiş kompozit malzemeler olarak tanımlanırlar. Biyopolimerler ile cam ve karbon lifleri gibi sentetik liflerden elde edilen kompozit malzemeler de biyokompozitler adı altında tanımlanırlar. Bitkisel kaynaklı liflerden ve biyolojik kökenli plastiklerden (biyopolimer/biyoplastik) üretilen çevre dostu biyokompozitler "yeşil kompozitler" olarak adlandırılırlar (Mohanty ve ark., 2005).

1.1. Doğal Lif Takviyeli Kompozitler

Son zamanlarda doğal lif takviyeli kompozitler potansiyel yapı malzemesi olarak önemli derecede ilgi çekmişlerdir. Jüt, sisal, Hindistan cevizi vd. düşük maliyetli, hafif, yenilenebilir ve biyo-parçalanabilir özelliklere sahip doğal lifler, biyokompozit üretimi için oldukça cazip lif kaynaklarıdır (Shah ve Lakkad, 1981; Prasad ve ark., 1983; Sridhar ve ark., 1984; Roe ve Ansell, 1985; Kumar, 1986; Bisanda ve Ansell, 1991; Pothan ve ark., 1997; Rout ve ark., 1999). Doğal liflerin maliyetinin düşük, hafif, zehirsiz, birtakım olumlu karakteristik özellikleri ve işlenmeleri esnasında makinelerde aşındırmazlık ve geri dönüştürülebilirlik gibi bazı özellikleri sebebiyle ucuz ve hafif kompozit üreten endüstrilerde kullanımlarına karşı ilgi artmıştır (Samal ve ark., 1995; Pothan ve ark., 1997; Rana ve ark., 1998; Bledzki ve Gassan, 1999; Bledzki ve ark., 2002).

Fosil yakıt kullanımının sınırlandırılmasından dolayı yenilenebilir ve düşük maliyetli malzemeler son yıllarda popülerlik kazanmıştır. Odun lifleri ve mineral dolgular ile güçlendirilmiş biyokompozitler alternatif malzemeler olarak büyük ilgi

uyandırmışlardır. Kompozit malzemelerde her bir bileşenin avantajlı özelliklerinden dolayı özellikle OPK (Odun Plastik Kompozit) malzemesi ile ilgilenen araştırmacı sayısında son yıllarda sürekli artış olmuştur (Faruk ve ark., 2007).

OPK kavramı, polimer matris olarak PE'den, Polivinil Klorüre (PVC) ve dolgu malzemesi olarak da odun unundan doğal liflere kadar çok geniş bir malzeme türünü tanımlamaktadır (Özmen ve ark., 2014). OPK 1970'lerde İtalya'da modern bir kavram olarak açığa çıkmış ve 1990'ların başında Kuzey Amerika'da popülerleşmiştir. 21. yüzyılın başlangıcında ise Hindistan, Singapur, Malezya, Japonya ve Çin'e kadar yayılmıştır (Pritchard, 2004).

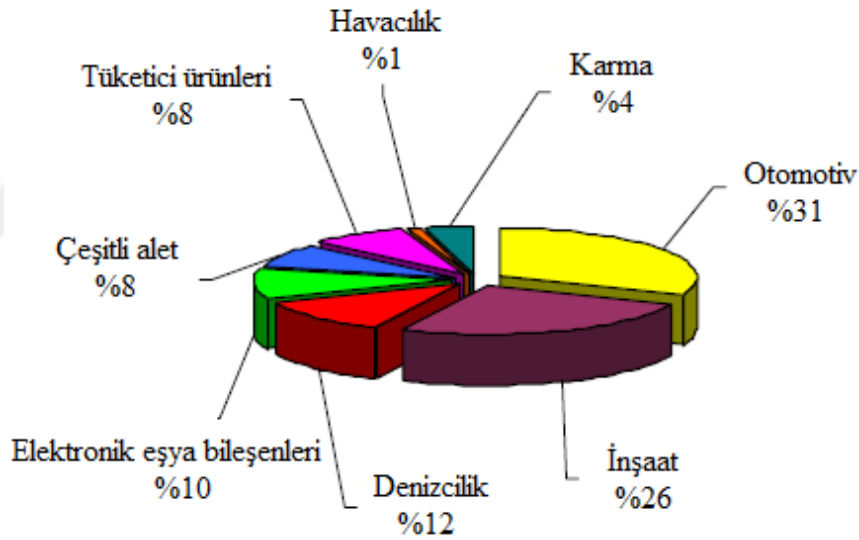
Suya karşı hassas olmaları, düşük boyut kararlılığı, köken ve ağaç yaşına bağlı olarak değişen odun lifi karakteristiği, neredeyse bütün polimer matrisler ile düşük bağ kabiliyeti, ayrıca yüksek odun içeriğinde düşük işlenebilirlik ve estetik özellikler OPK'lerin sakıncaları arasında sayılabilir. Bu tür kompozit bileşenlerinin, yapı ve bağ etkileşim özelliklerinin uyumlu hale getirilmesi onları avantajlı hale getirmektedir. OPK'lerin birtakım dezavantajları olmasına rağmen, kullanım miktarlarındaki artışa bağlı olarak çoğu zaman avantajları daha ağır basmaktadır (Dominkovics ve ark., 2007).

Biyokompozitlerin son zamanlarda oldukça popülerlik kazanmasına ve çok fazla ürünün şuan pazarda yer almasına rağmen, çoğu araştırmalar bu malzemelerin geliştirilmesi gerektiği yönündedir. Örneğin; OPK'ler dış ortamda kullanıldığında mantar saldırısı (Simonsen ve ark., 2004; Schirp ve Wolcott, 2006), morötesi ışınları (UV) aşındırması (Matuana ve Kamdem, 2002; Stark ve Matuana, 2003; Stark ve ark., 2004; Muasher ve Sain, 2006; Stark, 2006) ya da donma çözünme döngüsü (Pilarski ve Matuana, 2005, 2006) gibi çeşitli bozundurucu etkiler ile karşılaşabilmektedirler. Çoğu durumda odun dolgusunun çürüklük, fotodegradasyon ve su absorpsiyonu gibi birtakım dezavantajları sebebiyle, kompozit üretiminde değerlendirilmesi durumunda kompozitlerde yapısal bozunmalara sebep olduğu belirtilmiştir. Diğer bir önemli dezavantaj ise hidrofobik polimer matris ile hidrofilik lignoselülozik dolgular arasındaki bağ yapma eksikliğidir. Bu nedenle sınırlanan mukavemetten dolayı kompozit karışımları içerisine bağ yapma ajanı maddeleri ilave etmek gerekebilmektedir (Brebner ve Schneider, 1985; Bledzki ve Gassan, 1999; Lu ve ark., 2000; Shah ve Matuana, 2005; Geng ve ark., 2006).

1.2. Doğal Lif Takviyeli Kompozit Ürünleri

Masif kereste ile karşılaştırıldığında düşük bakım giderleri, yüksek boyut kararlılığı ve ucuz olması gibi konular doğal lif takviyeli kompozitlerin avantajları arasındadır. Buna karşın bu kompozitler masif keresteden daha düşük mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle kolon, kiriş gibi yapı elemanları ile makine altı vb. parçalar gibi yüksek direnç ve sertlik gerektiren yerlerde ya kullanım için uygun değildir ya da sınırlı kullanıma sahiptirler.

Şekil 1.1'de doğal lif takviyeli kompozitlerin çeşitli sektörlerde kullanım miktarları verilmiştir. OPK'lerin; zemin ve korkuluk sistemleri, kapı-pencere doğraması, profiller, dış cephe kaplaması gibi esasen yarı yapısal ya da yapısal olmayan dış mekan uygulamaları gibi dikkat çekici alanlarda kullanılabilirlikleri belirtilmiştir (Pritchard, 2004; Stark ve Matuana, 2004; Smith ve Wolcott, 2006; Klyosov, 2007a).



Şekil 1.1. Doğal lif takviyeli kompozitlerin çeşitli sektörlerde dağılımı (Ashori, 2008)

Yapı malzemesi olarak OPK'lerin yaygınlaşması zemin kaplaması ve diğer ürünlerin (duvar kaplaması, bahçe çitleri vd.) üretimi ile gerçekleşmiştir (Clemons, 2002). OPK'lerin cam elyaf takviyeli veya mineral dolgulu termoplastik kompozitlerle karşılaştırıldığında bazı avantajları vardır, bunlar arasında üretim esnasında çevreye daha az zararı oluşu, kesici aletlere karşı daha az aşındırıcı olmaları ve yenilenebilir kaynak olan doğal liflerden üretilmeleri sebebiyle daha düşük fiyata sahip olmaları gelmektedir. Hava araçları, otomotiv, inşaat ve ambalaj sanayilerinde dolgu maddesi olarak kullanılan cam veya aramid lifleri gibi inorganik liflerin yerine bitki liflerinin kullanılması ile yeni

kompozit malzemelerin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalarda artış gözlemlenmektedir (Alemdar ve Sain, 2008).

2012 verilerine göre, Avrupa birliği ülkelerinde 260 bin tonu OPK, 92 bin tonu doğal lif ilaveli kompozit olmak üzere toplam 352 bin ton biyokompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Biyokompozitlerin uygulama alanları içerisinde en fazla payı %67 ile yer döşemeleri alırken, bunu sırasıyla %24 ile otomotiv parçaları, %6 ile dış cephe kaplamaları, %3 ile diğer ürünler takip etmektedir. AB ülkelerinde 2012 yılı itibari ile toplam organik ve inorganik madde ilaveli kompozit üretim miktarının 2,4 milyon ton civarında olduğu belirtilmiştir. Avrupa’da, biyokompozit üretim miktarının hala düşük seviyelerde olmakla birlikte, 2020 yılı üretim tahminlerinde %100 den fazla artış olacağı belirtilmektedir (Carus ve ark., 2015).

Avrupa Komisyonu tarafından 2000/53/EG'ye göre alınan karar gereğince, 1 Ocak 2006 yılından önce olmak kaydıyla üretilen bir aracın toplam ağırlığının %85'i için geri dönüştürülebilir olma zorunluluğu getirilmiştir. Alınan karar gereğince 1 Ocak 2015 yılından önce olmak kaydıyla araçların üretildiği malzemelerin tekrar kullanımı ve geri dönüştürülebilirlik oranı % 95'e yükseltilmiştir. Bu %95'lik oranın %85'i yeniden kullanım veya mekanik geri dönüşüm yoluyla geri kazanılabilir, %10'u ise enerji geri kazanım veya termal geri dönüşüm yoluyla dönüştürülebilir olmasına müsaade edilmektedir. Bu yasal zorunluluk nedeniyle otomotiv sektöründe biyokompozitlerin kullanımında kesinlikle bir artış olacağı belirtilmiştir (Peijs, 2003; Ashori, 2008).

Biyokompozitlerin kendine özgü yüksek mekanik direnç, akustik özellikleri, düşük üretim maliyetleri, biyo-bozunabilir olmaları, aşırı sıcaklık değişikliği altında sabit formda kalmaları sebebiyle artırılmış yolcu güvenliği ve ağırlık azalışı sonucu enerji tüketiminde düşüşe sebep olmaları gibi avantajları, bu kompozitlerin otomobil parçaları üretiminde tercih edilme sebepleri arasında olduğu belirtilmiştir (Ashori, 2008).

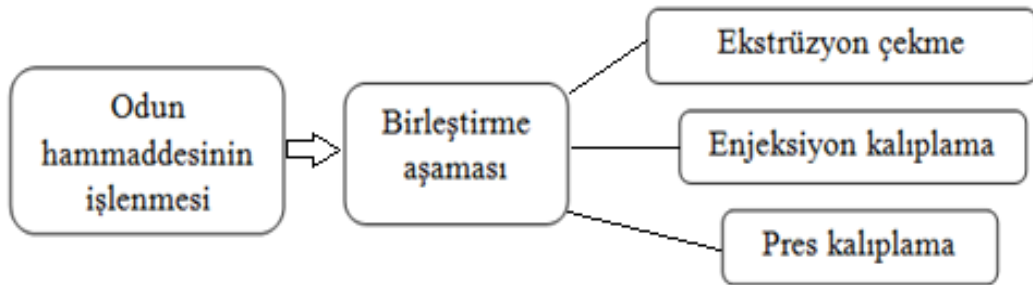
Odun unu dolgulu kompozit malzemelerin temel uygulama alanları otomotiv ve yapı endüstrileridir. Bu malzemeler; çit, zemin kaplaması, dış mekan mobilyaları, pencere parçaları, çatı malzemeleri, kapı panelleri vd. uygulamalarda kullanılırlar (Markarian, 2002; Pritchard, 2004).

1.3. Doğal Lif Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Doğal lif takviyeli kompozitler genellikle termoplastik polimerler kullanılarak üretilirler. Termoplastik kompozitlerin üretimi ise genellikle iki aşamalı bir üretim sürecinde gerçekleştirilir. Birinci üretim aşaması; bağlama ajanları (coupling agent) veya diğer ilave maddeleri ile odun dolgusu ve polimerin birleştirildiği karışım kısmı (compounding), ikinci ve son üretim aşaması ise; birinci aşamada hazırlanan karışımın ekstrüzyon, enjeksiyon ve pres kalıplama gibi üretim yöntemleri ile nihai ürün haline getirilmesi süreçleridir (Mantia, 2002).

Bağlama ajanları veya diğer katkı maddelerinin karışım haline getirildiği işlem sonrası kompozit pelletleri üretilir. Karışım işleminin yapıldığı kompozit üretimindeki ön işlem kısmı nihai kompozitin özelliklerini doğrudan etkiler. Karışım hazırlama kısmı aynı zamanda ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama zamanını kısaltır, bu sebeple kalıplama esnasında doğal liflerin maruz kalacağı olası termal parçalanma azaltılmış olur. Ayrıca ön karışım sırasında rutubet odundan uzaklaştırılarak son ürün kalitesinde gelişim gözlenir (Park ve Balatinecz, 1997; Bledzki ve ark., 2005). Ayrıca üretim sürecinde renklendiriciler, bağlama ajanları, stabilizatörler, şişirme ajanları, takviye edici ve köpükleştirici gibi maddelerin kullanılması ile hedeflenen nihai ürünün istenilen özellikte olması sağlanabilir (Ashori, 2008).

Şekil 1.2’de OPK üretimi için genel iş akışı verilmiştir. OPK’ler genellikle ya ekstrüzyon çekme yada enjeksiyon kalıplama yöntemlerinden biri ile üretilirler. Enjeksiyon kalıplama yönteminde işlem sırasında viskoziteyi düşük tutmak için düşük molekül ağırlığına sahip polimerlere ihtiyaç vardır. Ekstrüzyon yönteminde ise enjeksiyon kalıplama yönteminin aksine, daha iyi bir erime direnci elde etmek için daha yüksek molekül ağırlığına sahip bir polimere ihtiyaç vardır (Faruk ve ark., 2011).



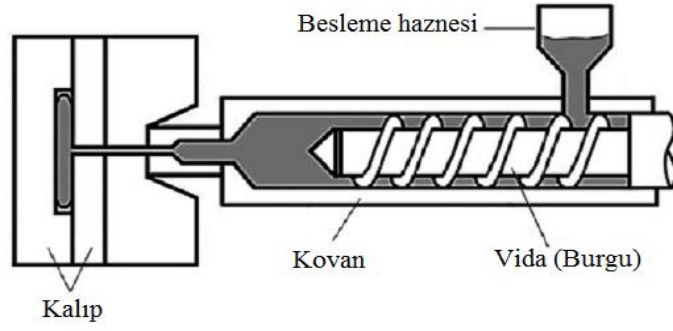
Şekil 1.2. OPK üretimi genel iş akışı

OPK üretiminde ilk adım, farklı boyut ve türdeki odun hammaddesinin kompozit üretiminde etkinliğini artırmak için polimer matris ile birleştirme aşamasından önce kurutulmasıdır. Birleştirme işlemi genellikle çift burgulu ekstruder ile yapılır. Zemin döşemeleri ve düz levhalar için günümüzde kullanılan en yaygın teknik ekstrüzyon profil çekme ve doğrudan pres kalıplama yöntemleridir (Oksman ve Bengtsson, 2007).

OPK'lerin mukavemet özelliklerini etkileyen kritik parametrelerden biri, lif veya parçacıkların boyutudur. OPK üretiminde küçük lif veya parçacıklar (ortalama 0,24 - 0,35 mm arası) tercih edilmelidir. Küçük lif veya parçacıklar, daha yüksek bir spesifik yüzey alanı sağlarlar, uzun lifli veya büyük parçalı olan kompozitlerle karşılaştırıldığında kompozit içerisinde daha homojen bir şekilde dağılırlar ve böylece lif veya parçacığın matris ile uyumluluğunu geliştirirler (Ashori, 2008).

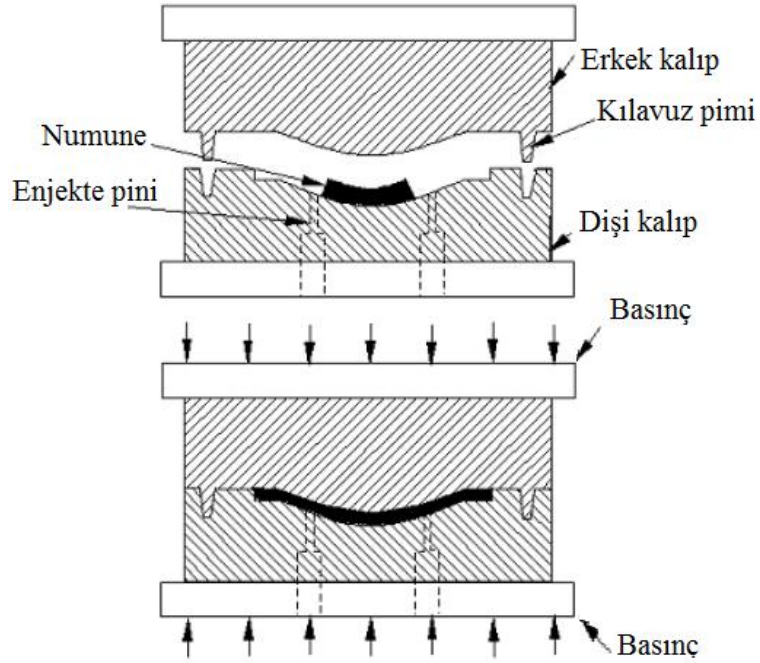
Kompozit üretiminde çift burgulu ekstruderlerin kullanımı ile tek burgulu ekstruderlere kıyasla lifler polimer matris ile daha iyi karıştırılırlar. Polimer matris ile lifler arasında daha iyi bir dağılım, kompozitlerin mekanik özelliklerinde dikkate değer bir iyileşmeye neden olur (Yang ve ark., 2006). OPK'lerin çoğunluğu ekstrüzyon profil çekme yöntemi ile imal edilmektedirler. Bu yöntemde iki tip ekstruderin birbiri ardına kullanılması mümkündür. Ekstruderin bir tanesi kompozisyon için diğeri ise profil üretimi için kullanılabilir (Clemons ve ark., 2013).

Biyokütle maddelerinin yoğunluğu inorganik dolgu maddelerinin yoğunluğundan çok daha düşüktür ve bu durum biyokompozit üretimi esnasında ekstruderlerin beslenmesi için bir problem teşkil edebilir. Doğal lifler veya parçacıklar genellikle ekstruder de iki yoldan biriyle beslenir. Birincisi; biyokütleden pelletler yapılabilir ve plastik peletler ile birlikte ekstruder ana besleyicisinden beslenebilir. İkincisi; ekstruder hattına bir yan besleyici eklenebilir ve bu yan besleyiciden lif veya odun unu ilave edilebilir. Burada yoğunluğu düşük lif veya odun unu kullanımı, çoğunlukla statik elektrik birikimi gibi probleme sebep olmaktadır (Rowell, 2007).



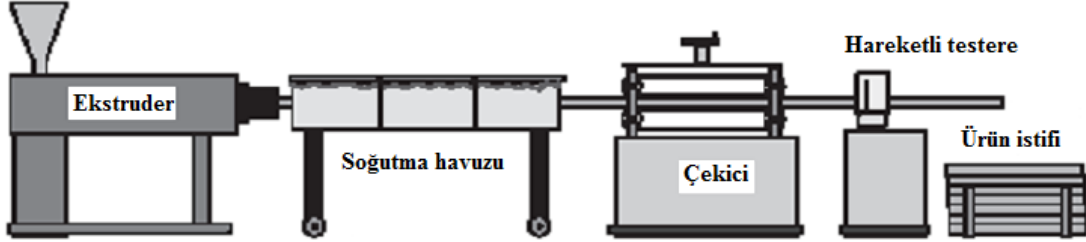
Şekil 1.3. Enjeksiyon kalıplama tekniği ile kompozit üretim şeması (Zheng ve ark., 2011)

Doğal lif takviyeli kompozitler ve OPK'ler; genellikle enjeksiyon kalıplama (Şekil 1.3), pres kalıplama (Şekil 1.4) ve ekstrüzyon çekme (Şekil 1.5) gibi üç farklı üretim tekniği ile elde edilebilirler. Her bir üretim tekniğinde elde edilen kompozitler farklı özelliklere sahiptirler. Örneğin; su alma testlerinde en hızlı su alan kompozitlerin pres kalıplama tekniği ile üretilen kompozitler olduğu; bu teknik ile üretilen kompozitlerin 5 haftalık testin sonunda %4,1 su aldığı; ekstrüzyon çekme tekniği ile üretilen kompozitlerin 9 hafta sonrasında %3,6 su aldığı; enjeksiyon kalıplama tekniği ile üretilen kompozitlerin ise 9 haftalık testin sonunda %2'den daha az miktarda su aldığı bildirilmiştir. (Clemons, 2002; Rowell, 2007).



Şekil 1.4. Pres kalıplama tekniği ile kompozit üretim şeması (Mazumdar, 2001)

Kompozit üretimindeki işleme yöntemleri ve uygulama şartları kompozitlerin iç yapısını ve özelliklerini etkiler. Ekstruder sonrası elde edilen pelletler büyük kapasiteli üretimlerde, ilk önce yanları kapalı kalıplar içerisinde ve üzerinde merdaneli sonsuz bant şeklindeki pres ile hızlı bir biçimde şekillendirilirler. Daha sonra soğuk pres altında soğutulularak son ürün haline getirilirler (Wolcott, 2003).



Şekil 1.5. Ekstrüzyon profil çekme tekniği ile kompozit üretim şeması (Giles ve ark., 2004)

1.4. Doğal Lif Takviyeli Kompozit Üretiminde Kullanılan Maddeler

1.4.1. Termoplastik polimerler

Termoplastik polimerler ısıtılabilir, soğutulabilir ve sertleştirilebilirler. Bu polimerler daha sonraki işlem basamaklarında ise karakteristik özelliklerini koruyan ve yeniden aynı işlemlerin yapılabildiği bir polimer sınıfıdır. Termosetlerin aksine, bu polimerler çapraz bağlar ile bağlanmazlar ve mekanik performansları monomer ünitelerinin özelliklerine, molekül ağırlığına ve polimer zincirinin uzunluğuna bağlıdır (Hull ve Clyne, 1996; Schwarzkopf ve Burnard, 2016).

Termoplastik polimerler ısıtıldığında, molekül zincirleri ayrılmakta ve yeniden işleme tabi tutulmaları için birbirleri üzerinde kaymaktadırlar. YYPE, PP ve PVC lignoselülozik dolgulu kompozitlerde kullanılan en yaygın termoplastik polimer türleridir (Panthapulakkal ve ark., 2006; Klyosov, 2007). YYPE, OPK'lerde kullanılan termoplastiklerin oransal çoğunluğunu oluşturur (%83), bunu sırasıyla PP (%9) ve PVC (%7) takip eder (Caulfield ve ark., 2005).

Odun polimer kompozit üretiminde hem termoplastik hem de termoset polimerler kullanılabilir. Termoplastikler molekül zincirlerinin birbiri üzerinde akan doğrusal veya hafif dallanmış polimerlerdir. Bu tip polimerler normal çevre sıcaklıklarında katı halde bulunurlar, yüksek sıcaklıklarda ise deforme olurlar. Düşük sıcaklıklarda sertleşme, yüksek sıcaklıklarda yumuşama eğilimi gösterirler. Bunlara ek olarak termoplastiklerin yapısında

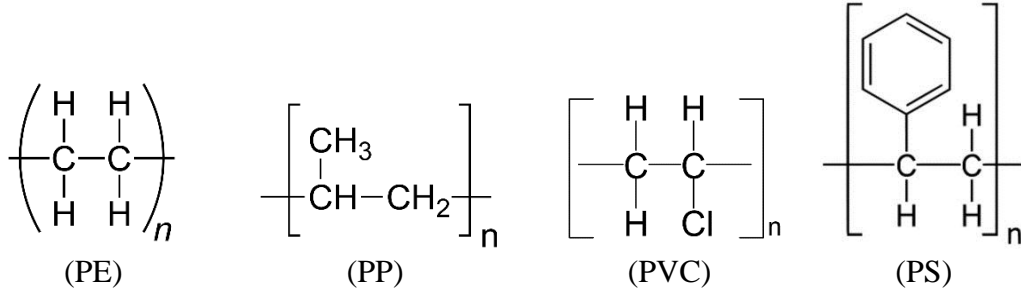
kimyasal değişiklik olmaksızın birkaç erime-donma döngüsü yoluna gidebilir. Bu özellik ise bu tür plastiklerin geri dönüşüme uygunluğunu gösterir (Lightsey ve ark., 1977).

OPK üretiminde Çizelge 1’de verilen termoplastiklerin seçilmesindeki en önemli kriter, işleme sıcaklığının 250 °C sınırının altında olmasıdır. Bu sınırın üzerinde, modifiye edilmemiş lignoselülozik malzemeler hızlı bir şekilde termal bozunuma uğrarlar. Bu termoplastiklerin hem saf, hem de geri dönüştürülmüş toz veya pelletleri OPK üretiminde yaygın olarak kullanılabilirler (Mortensen, 2007). OPK üretiminde YYPE’nin yaygın kullanılmasının sebebi, geri dönüşümünün mümkün ve düşük maliyetli olmasıdır (Niska ve Sain, 2008).

Çizelge 1.1. Doğal lif ilaveli kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan termoplastik polimerlerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Holbery ve Houston, 2006; Klyosov, 2007; Malkapuram ve ark., 2009)

Yaygın ismi (Kısaltma)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Erime sıcaklığı (°C)	Çekme direnci (MPa)	Elastikiyet modülü (GPa)	Darbe direnci (J/m)	Kopma uzaması (%)
Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)	0,94-0,96	120-140	14,5-38	0,4-1,5	26,7-1068	2-600
Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE)	0,91-0,92	105-116	40-78	0,055-0,38	>854	90-800
Polipropilen (PP)	0,89-0,92	160-176	26-41,4	0,95-1,77	21,4-267	15-300
Polistiren (PS)	1,04-1,06	110-135	25-69	4-5	1,1	1-2,5
Polivinil Klorür (PVC)	1,32-1,44	>70	20,6-34,47	2,41-4,13	34,7-40	-

Odunun termal bozulması 180-200 °C üzerindeki sıcaklık derecelerinde gerçekleştiği için OPK üretiminde Şekil 1.6’da verilen düşük sıcaklıklarda eriyen termoplastik polimerler kullanılır. Bu polimerler ahşap işleme makinelerinde kesilebilir, vidalanabilir ve çivilenebilirler (Schwarzkopf ve Burnard, 2016).



Şekil 1.6. Doğal lif ilaveli kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan termoplastiklerin kimyasal yapısı (Baker ve Mead, 2002)

1.4.2. Termoset polimerler

Termosetler, polimerleştikten sonra yeniden eritemeyecek polimerlerin bir sınıfıdır. Bu polimerler kimyasal olarak çapraz bağlanarak sert katılar halinde sertleşirler. Bu polimerlerin mekanik özellikleri başlangıç molekülleri ve kürleşme sırasında oluşan çapraz bağların yoğunluğundan etkilenmektedir. Ahşap yapıştırıcı endüstrisinde, genellikle sağlam ve dayanıklı bir bağ yapısı sağlayan, çapraz bağlı formdan yararlanmak için termoset tutkallar kullanılır. Sıvı polimerler odun ile kullanıldığında, odunun mikro yapısına farklı derecelerde nüfuz eder ve daha sonra kürleşir ayrıca üç boyutlu olarak dağılmış bir faz oluşturur. Yaygın kullanıma sahip termosetler; üre-formaldehit, fenol-formaldehit, epoksi ve poliamidlerdir. Odun polimer kompozitlerde ilk termoset polimer kullanımına örnek olarak 1916'da Rolls Royce firması tarafından "Bakelite" olarak adlandırılan, araçların vites kolu üretiminde kullanılan, fenol formaldehit odun bileşimi verilebilir (Hull ve Clyne, 1996; Clemons, 2002; Schwarzkopf ve Burnard, 2016).

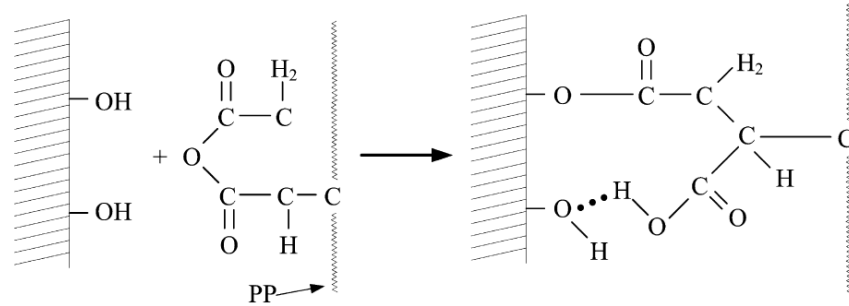
1.4.3. Lignoselülozükler ile termoplastikler arasında bağlanmayı artırıcı maddeler

Doğal liflerin kompozitlere eklenmesinde, hidrofilik lifler ile hidrofobik polimerler arasındaki uyumsuzluk, önemli bir sorun teşkil etmektedir. Birçok araştırmacı, lignoselülozik madde ilaveli termoplastik kompozit üretiminde bazı ilave maddelerinin odun unu ile polimer matris arasında bağlanmayı artırma yeteneğini incelemiş ve sonuç olarak malzemelerin gerilme ve eğilme mukavemeti gibi özelliklerinde bir takım gelişmeler kaydetmişlerdir. Genellikle poliolefin-odun kompozitlerde, polimer matris ile lif arasındaki zayıf bağlanma nedeniyle, lif takviyesinin potansiyelinden tam olarak yararlanılamamaktadır. Lifler ve polimer matris arasındaki bağlanmayı arttırmak için ilave katkı maddeleri kullanmak, kompozitlerin performansını önemli ölçüde arttırabilmektedir (Selke ve Wichman, 2004).

Termoplastik kompozit malzeme içerisindeki termoplastik matris ile doğal liflerin bağlanmasında en önemli etken lif matris uyumluluğudur. Apolar polimerler ile nispeten daha yüksek işleme sıcaklığı gerektiren doğal liflerin termal kararlılığı, polimer matris-lif arası bağ yapmada birtakım problemlere sebep olabilmektedir (Ray ve ark., 2001).

OPK'lerin mekanik özellikleri odun dolgusu ile polimer matris arasındaki karşılıklı bağ derecesine bağlıdır. Bu sebeple polimer matris ile odun dolgusu arasındaki karşılıklı bağ ve uyumu geliştirmek için bağlama ajanları (coupling agent) kullanmak gereklidir (Raj ve Kokta, 1991; Jayamol ve ark., 2001). OPK üretiminde Maleik anhidrit (MA) aşılınmış PE ve PP ile işlevselleştirilmiş bağlama ajanları (MAPE ve MAPP), hidrofobik polimer matris ile hidrofilik odun dolgusu arasındaki bağlama ve uyumu geliştirmek için kullanılırlar. MAPE ve MAPP, OPK üretimde son derece etkili bağlama ajanları olarak kabul edilmektedirler (Gauthier ve ark., 1998; Li ve ark., 2001; Wang ve ark., 2003; Jacob ve ark., 2005).

Şekil 1.7'de MAPP ile lignoselülozik lifler arasında oluşan kimyasal bağlanma görülmektedir. OPK üretiminde odun unu miktarının ağırlıkça %2-5'i arasında MAPP bağlama ajanı kullanıldığı takdirde, odun dolgusunun polimer matris içerisindeki dağılımı ve bağ kabiliyeti artar ve bunun sonucu olarak da eğilme direnci ile sertlikte artış görülür (Li ve ark., 2001).



Şekil 1.7. MAPP ile lignoselülozik lifler arasında oluşan bağın şematik gösterimi (Pickering ve ark., 2016)

OPK'lerin arzu edilen şekilde üretilibilmeleri ve istenilen özelliklere sahip olabilmeleri için birtakım maddelerin yanı sıra kaydırıcı, bağlama ajanları, antioksidan, UV-absorbant ve antimikrobiyal ajanlar gibi ilave maddelerin kullanımına ihtiyaç vardır (Jayamol ve ark., 2001). OPK'lerin özellikleri odun dolgusunun şekline ve türüne, polimer matrisin tipine ve yapısına, polimer matris ile odun dolgusunun kimyasal olarak bağlanması ve uyumuna ayrıca kullanılan üretim yöntemi gibi birçok faktöre bağlıdır.

Odun lifleri, hidrofilik yapıları nedeniyle hidrofobik polimerler ile uyumsuzdurlar (Faruk ve ark., 2011). Doğal lif ilaveli kompozitlerde, lifler ile polimer matris arasındaki zayıf dispersiyon ve uyuşmazlık nedeniyle zayıf bağlanma ortaya çıkabilir (Keener ve ark., 2004). Fiziksel veya kimyasal bağlanma eksikliği, dış zorlamalar ile bağlanma yüzeyi arasında boşlukların oluşmasına neden olabilir. Bu boşluklar, kompozitlerin mekanik özelliklerinin azalmasına ilaveten, mantar arızına yol açarak, biyolojik direnci de azaltabilir. Bu belirtilen sebeplerden dolayı, lif ve polimer matris arasındaki etkileşimi ve dağılımı arttırmak için liflerin yüzey özellikleri ile polimer matrislerin özelliklerini değiştirmek için çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemler geliştirilmiştir (Pendleton ve ark., 2002; Wanjale ve Jog, 2011).

Hidrofilik özelliklerinden dolayı güçlü polarize özellik gösteren selüloz lifleri, hidrofobik polimerler ile esasen uyumsuzdurlar. Çoğu durumlarda ikisi arasına uyum sağlayıcı bir özellik taşıyan üçüncü bir materyal ilavesi ile iki uyumsuz materyalin uyumluluğunu sağlamak mümkündür. Polimer ile lignoselülozik lifler arasında bağ yapma kabiliyetine sahip olan bağlama ajanlarında; zayıf sınır katmanları, deforme olabilen katmanlar, ölçülü katmanlar, ıslanabilirlik, kimyasal bağlanma ve asit-baz etkisi gibi birkaç bağlantı mekanizmaları vardır (Faruk ve ark., 2012). Farklı kimyasallar ile doğal liflerin muamelesi sonucu elde edilen modifiye edilmiş liflerin kompozit karışımlarına ilave edilmesi ile birlikte liflerin polimer matris ile bağ yapma kabiliyetinin arttığı bazı çalışmalarda belirtilmiştir (Mohanty ve ark., 2000; Khalil ve ark., 2001; Mahlberg ve ark., 2001; Tserki ve ark., 2005; Faruk ve ark., 2012; Özmen ve ark., 2013; Çetin ve ark., 2015).

Asetilasyon, benzoilasyon, akrilasyon, permanganat ve izosiyanat muamelesi gibi yöntemler, lignoselülozik lifler ile polimer matrisler arasındaki bağ yapma kabiliyetini iyileştirmek için kullanılan çeşitli kimyasal yöntemlerdir. Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu için kullanılan yaygın diğer yöntemler ise alkali ve silan muameleleridir. Silanlar, lignoselülozik lifler ile polimer matrisler arasındaki bağlanmayı arttırmak için kullanılan bağlama ajanlarıdır (Wanjale ve Jog, 2011).

OPK'lerde yaygın olarak kullanılan bağlama ajanları iki işlevsel özelliğe sahip MA aşılınmış poliolefinlerdir. Bu işlevlerden birincisi; karışım oluşturabilen bir poliolefin, ikincisi; ekstrüzyon sıcaklıklarında hidrojen veya iyonik sınırlar yoluyla kovalent olarak lignoselülozik maddeler ile güçlü bir şekilde etkileşebilen MA'dır (Klyosov, 2007b).

Takviye edici odun unu, OPK'lerdeki ana yükü taşıma bileşenidir. Odun unu OPK'lere uygulanan mekanik gerilim altında, bükülmeye ve kırılmaya karşı direncin yanı sıra yüksek mukavemet ve sertlik sağlar. Dolgu maddeleri ve matris arasındaki bağ, matristeki mekanik gerilimin dolgu maddelerine aktarılmasında önemli bir rol üstlenir. Polimer matris ve odun dolgusu arasındaki bağ, bağlama maddeleri kullanılarak geliştirilebilir (Bhaskar ve ark., 2012). Ayrıca bağ yapma kabiliyetinin geliştirilmesi, odun unu ile polimer matris arasında kimyasal bağ oluşturma yoluyla da gerçekleştirilebilir.

Lif takviyeli kompozitlerin özellikleri, lifler ile matris arasındaki bağ yapma etkileşimlerine bağlıdır. Hidrofilik lignoselülozik lifler ile hidrofobik polimer matrisler arasındaki bağlanmanın eksikliği genel olarak lignoselülozik lif takviyeli yüksek mekanik özelliklere sahip kompozitlerin elde edilmesini sınırlayan önemli bir engeldir (Sèbe ve ark., 2000). Doğal lif takviyeli kompozitlerin uyumsuzluk ve topaklanma gibi birtakım dezavantajlarının üstesinden gelebilmek için alkaliler ile kimyasal modifikasyonu ve uyum sağlayıcı bağlama ajanları ile birtakım değişiklikler uygulanmaktadır (Pickering ve ark., 2003; Buggy ve ark., 2005; Park ve ark., 2008; Threepopnatkul ve ark., 2009).

Sentetik lifler ile takviye edilmiş kompozitlerin aksine doğal liflerle güçlendirilmiş kompozitler, özellikle düşük maliyetli malzeme üretiminde oldukça ilgi uyandırmışlardır. Takviye edici lifler ve polimer matrisler arasındaki bağlanmanın kompozitlerin mekanik özelliklerinin oluşumunda önemli bir etken olmasından dolayı birçok araştırmacının çalışmalarında doğal lifler ile polimer matrislerin bağ yapma kabiliyetini geliştirme uygulamalarına odaklandığından bahsedilmektedir (Mukherjea ve ark., 1983; Zadorecki ve Flodin, 1985a, 1985b; Samal ve ark., 1995; Rana ve ark., 1998; Gassan ve Bledzki, 1999a, 1999b).

Günümüzde, MA aşılınmış bağlama ajanları, doğal lif takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadırlar. MA aşılınmış polimer matrisli kompozitlerin diğer kimyasal işlemlerden temel farkı, MA'nın lignoselülozik liflerin yüzeyini değiştirmek için değil de lif ile polimer matris arasında daha iyi bağlanmanın sağlaması için uyumlaştırıcı ajan konumunda olmasıdır (Faruk ve ark., 2012). MA aşılınmış poliolefin katkılı kompozitler ile ilgili literatürde oldukça fazla sayıda çalışma olmasına rağmen doğal liflerin yapısının kimyasal olarak değiştirilmesi sonucu kompozitlere ilavesiyle ilgi elde edilen kompozitler hakkında çalışma sayısı oldukça sınırlıdır.

1.4.4. Lignoselülozik dolgu maddeleri

Şekil 1.8’de kompozit üretiminde kullanılan doğal lif kaynakları verilmiştir. Çam, Akçaağaç ve Meşe odunu gibi odunlar, OPK üretimi için yaygın kullanılan odun türleri olmasına rağmen diğer odun türleri de OPK üretimi için kullanılabilirler. İğne yapraklı ve yapraklı ağaç türlerinin özellikleri, yapısını oluşturan odunun fiziksel, kimyasal ve mikroskobik özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle OPK üretimi için seçilen odunun türü OPK’lerin mikroskobik yapısını ve özelliklerini önemli derecede etkileyebilir (Selke ve Wichman, 2004). Odun; yonga, talaş, un, lif, toz ya da kağıt hamuru gibi uygun şekillerde olabilir (Bledzki ve ark., 1998). Odun lifi kullanımı darbe enerjisi üzerinde çok az etkilidir. Çoğu ticari ürünlerde 0,425 mm (40 mesh) den daha küçük boyuta sahip odun unlarının dolgu maddesi olarak kullanıldığı belirtilmiştir (Xanthos, 2005).



Şekil 1.8. Lignoselülozik madde ilaveli kompozit üretiminde takviye edici olarak kullanılan doğal liflerin sınıflandırılması (Mohanty ve ark., 2005)

Bitki liflerinin istenilen en-boy oranları ve birtakım olumlu özellikleri ile düşük maliyetleri, onları biyokompozit malzeme üretiminde geleneksel takviye edici liflere göre ekolojik bir alternatif olarak sunmaktadır. Örneğin; keten ve kenevir lifleri, standart cam liflerine kıyasla %40 daha ucuzdur (Ashori, 2008).

Zirai kökenli liflerin en etkin kullanılabileceği alanlardan biri de plastik endüstrisidir. Son yıllarda plastik fiyatlarındaki artış, odun veya diğer doğal lifler gibi biyokütle kaynaklarının plastiklerde maliyeti düşürmek için dolgu maddesi olarak eklenmesini gerekli kılmıştır. Bu sayede plastik endüstrisinde bir maliyet azaltılması sağlanacağı gibi, tarıma dayalı endüstrilerde de zirai atıkların daha değerli olmasını ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Polimer-kompozit üretiminde çok değişik türlerde; odun unları, buğday sapları, keten, kendir, kenevir, jüt gibi tarımsal atıklardan elde edilen unlar dolgu maddesi olarak kullanılabilmektedir (Rowell, 1995; Mengeloğlu, 2006). Genel olarak odun parçacıkları veya odun unu, odun esaslı yonga levha üretiminde yaygın olarak kullanılan çekiçli değirmenler ve öğütücülerden elde edilirler. Lifler ise kağıt hamuru ve lif levha imalatında kullanılan termomekanik ve kimyasal hamur üretim yöntemleriyle elde edilebilirler (Mortensen, 2007).

Doğal lif takviyeli kompozitlerde odun dolgusunun inorganik dolgular üzerine birtakım avantajı olmasına rağmen, odunun yüksek rutubet hassasiyeti bu kompozitlerin bütün performansını etkimektedir. Kompozitlerdeki rutubet miktarı artışı boyut kararlılığını ve mekanik özellikleri azaltır. Ayrıca kompozitlerdeki rutubet artışı biyo-parçalanmaya sebep olur (Lin ve ark., 2002). Çok fonksiyonlu poliolefin bağlanma ajanları (MAPE, MAPP) kullanımı ile hidrofilik odun dolgusu ve hidrofobik polimer matris arasında bağ yapısı geliştirilerek, kompozitlerin suya karşı direnç kazanması ve mekanik özelliklerde gelişim gözlenir (Jayamol ve ark., 2001; Wang ve ark., 2003; Keener ve ark., 2004; Lu ve ark., 2005). OPK'lerde kullanılan lignoselülozik bileşenlerden çoğu genellikle rende talaşı veya testere talaşı olmakla birlikte parçacık boyutları genellikle 10-80 mesh arasında olan odun unlarıdır (Clemons, 2002).

OPK'lerde lignoselülozik madde içeriği, kompozit karışımı toplam ağırlığının yaklaşık %50'sini aştığında kompozitlerin rutubetten etkilenme hızı ve derecesi artmaktadır (Clemons ve ark., 2013). Kısa lifli odun dolgusu içeren kompozitlerin çekme mukavemeti polimer matrisin özelliklerine daha duyarlı iken, elastikiyet modülü ise lignoselülozik liflerin özelliklerinden daha fazla etkilenmektedir (Sahab ve Jog, 1999).

OPK üretici ve araştırmacıları, kompozitlerin mukavemet, sertlik, uzama ve termal kararlılık gibi özelliklerini geliştirmek için çalışmışlardır. Geliştirilme aşamasında olan bu malzemelerin ticari başarısı ise öncelikle kompozitlerin rutubet performansı gelişimine, geri dönüştürülebilirlik olanaklarına ve atık malzemelerin kullanım yaygınlığı ile ürün ve üretim tasarımındaki etkinliğe bağlıdır (Wolcott ve Englund, 1999).

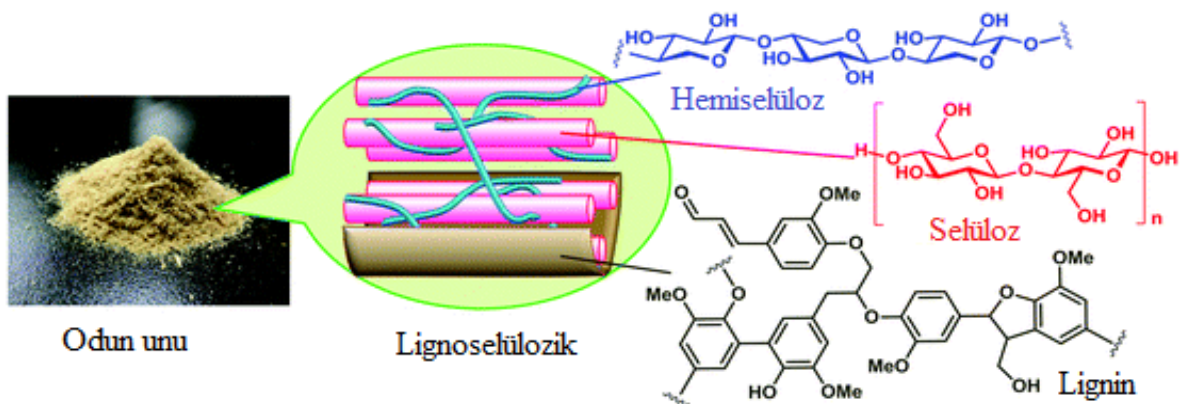
Çizelge 1.2’de biyokompozit üretiminde yaygın kullanılan doğal liflerin bazı özellikleri verilmiştir. OPK endüstrisinde çoğu üretici, üretimde odun unu veya lifi kullanmaktadır. OPK’lerde kullanılan odun genellikle kısa lif, parçacık veya un şeklindedir. Bu küçük parçacıklar, plastik endüstrisinde kullanılan işleme teknikleriyle iyi bir şekilde bütünleşir (Wolcott ve Englund, 1999). Odun unu, lif veya hamur biçimindeki lignoselülozik atıkların poliolefin matris kompozitlerin üretimi için dolgu maddesi olarak kullanımının uygun olduğu birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Woodhams ve ark., 1984; Maiti ve Singh, 1986).

Çizelge 1.2. Bazı doğal liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Sahab ve Jog, 1999; Wambua ve ark., 2003; Ahmad ve ark., 2006; Holbery ve Houston, 2006; Hargitai ve ark., 2008)

Lif kaynağı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Çekme direnci (MPa)	Elastikiyet modülü (GPa)	Kopma uzaması (%)
Pamuk	1,5-1,6	400	5,5-12,6	7-8
Jüt	1,3	393-773	26,5	1,5-1,8
Kenevir	1,47	690	70	2-4
Keten	1,5	500-1500	27,6	2,7-3,2
Sisal	1,5	511-635	9,4-22	2-2,5
Odun	1,5	1000	40	4,4

1.4.4.1. Lignoselülozik maddelerin yapısı

Şekil 1.9’da lignoselülozik maddelerin makroskopik, mikroskopik ve kimyasal yapısı verilmiştir. Lignoselülozik maddeler esas itibarıyla; selüloz, hemiselüloz ve ligninin bitkiler tarafından belirli bir düzende inşası ile oluşturulmuş, çeşitli malzeme üreten endüstriler için doğal, ucuz ve yenilenebilir önemli bir hammadde kaynağıdır.



Şekil 1.9. Lignoselülozik maddelerin makroskopik, mikroskopik ve kimyasal yapısının şematik görünümü (Kobayashi ve Fukuoka, 2013)

Selüloz

Selüloz bitkilerin hücre duvarlarında bulunan, şekerin keşfinden binlerce yıl önce pamuk, odun vd. bitki liflerinin çeşitli işlemlerden geçirilmesi sonucu elde edilen, giysi ve yapı malzemesi üretimi için kullanılan önemli bir hammaddedir. İnsanlık tarihinde önemli yere sahip birçok tarihi yapı, selülozik malzemeler kullanılarak inşa edilmiştir. Çeşitli bitkilere eter, alkol ve su ile izole sonrası, asit ve amonyak ile yapılan uygulamalar sonucunda geriye kalan kalıntının lifli, suda erimeyen bir katı olduğu 1838 yılında Fransız kimyacı Anselme Payen tarafından keşfedilmiştir. Payen, yaptığı kimyasal analizler sonucu keşfettiği bu yapının molekül formülasyonunun $C_6H_{10}O_5$ olduğunu açıklamıştır. Fransız akademisi ise 1839 yılındaki bir bildirisinde ilk olarak bu bitki ögesi için “selüloz” terimini kullanmıştır (Klemm ve ark., 2005).

Dünyada yaşayan organizmalar yaklaşık olarak 27×10^{11} ton karbon ihtiva etmekte olup, bunun %99'u bitki hücreleri bünyesinde yer almaktadır. Selülozun bitki hücreleri bünyesinde bulunma oranları bitki kökenine bağlı olarak değişmekle birlikte bu miktarın yaklaşık %40'ının selüloz bünyesinde var olduğu kabul edilmektedir. Odun yapısında bulunan selüloz, hemiselüloz ve lignin bir biri ile içi içe geçmiş olup, bunların birbirinden ayrılması için hassas kimyasal işlemler gerekmektedir. Selülozun izole edilmesinde, bitkisel hücre yapısında bulunan yağlar, vakslar, protein ve pektinler, organik çözücüler ve seyreltik alkaliler ile kolayca uzaklaştırılabilmektedirler (Fengel ve Wegener, 1989; Stenius, 2000).

Hemiselüloz

Selüloz, bitkinin yapısını destekleyen önemli bir yapısal maddedir, hemiselülozun ise bitkinin selüloz mikrofibrillerinin arasına girerek yapıyı tutkal gibi sağlamlaştırdığı tahmin edilmektedir. Hemiselüloz ile selüloz arasında herhangi bir kimyasal bağ bulunmadığı fakat birbirlerine hidrojen ve van der Waals bağlarıyla bağlandıkları bilinmektedir. Odun hammaddesi büyük oranda karbonhidratlardan daha genel bir ifadeyle polisakkaritlerden meydana gelmektedir. Polisakkaritler ise hem aynı monosakkarit birimlerinin oluşturduğu homopolisakkaritlerden (selüloz) hem de farklı monosakkarit biriminin oluşturduğu heteropolisakkaritlerden (hemiselüloz) oluşabilirler. Hemiselülozlar alkalin sulu çözeltilerde kolaylıkla çözünebilen ve asitlerin etkisiyle kolaylıkla hidroliz olabilen maddelerdir (Hafizoğlu, 1982).

Lignin

Bitkilerin en önemli kimyasal bileşenlerinden biri olan lignin, hücre çeperinin orta lamelinde ve diğer hücre katmanlarında yer alan, amorf ve aromatik yapıya sahip karmaşık bir maddedir. Lignin, selüloz ve hemiselülozların aksine hidrofob karakterde olup odunun su almasını sınırlamaktadır. Lignini izole eden tekniklerin, ligninin yapısında bazı değişikliklere sebep olmasından dolayı ligninin kimyasal yapısı tam olarak açıklanamamıştır (Hafizoğlu, 1982; Sjöstrom, 2013).

Lignin yapısını oluşturan bileşenlerin birbirlerine diğer odun bileşenleri yapısında olduğu gibi sistematik bağlanmayışı lignin karakteristik özelliğidir. Ligninin kimyasal yapısı, diğer odun bileşenleri yapısından oldukça farklı olan karmaşık bir yapıya sahip olup, bitkinin odunlaşmasını sağlayan asitlere karşı dayanıklı bir aromatik yapıya sahiptir. Asitlere karşı gösterdiği direnç sebebiyle selüloz ve hemiselülozdan ayrılmaktadır. Selüloz gibi düzenli bir yapıya sahip olmayıp karbon miktarı bakımından da selüloz ve hemiselüloza göre daha fazla karbon ihtiva eder (Browning, 1967).

1.4.4.2. Masif ve yapay lignoselülozik levha atıkları

Son 20 yılda OPK ürünlerinin yaygınlaşması ile birlikte masif atıklardan tomruk atıkları ile kereste fabrikasında biçme sonrası açığa çıkan testere talaşı atıkları ile ahşap kökenli levha ürünlerinden lif levha, yonga levha ve diğer levha (Kontrplak, OSB vd.) atıkları OPK üretimi için önemli bir hammadde niteliği taşımaktadır. Bu hammaddeler OPK üretim prosesine dahil edilmeden önce cinslerine, sınıflarına ve boyutlarına göre tasnif edilip iyice kurutulduktan sonra verimli bir şekilde değerlendirilmektedir. Burada odun hammaddesinin rutubeti OPK ürünlerinin kalitesine etki etmektedir. Odun ununun ekstruder öncesi tam kuru halde üretime dahil edilmeleri durumunda hem üretim esnasında buhar çıkışı gibi olumsuzluklar görülmez, hem de polimerler ile bağ yapma kabiliyeti artar. Ayrıca makine aksamında korozyon gibi birtakım sorunlar da görülmez.

İğne yapraklı ağaç tomruklarının kereste ve son ürün haline getirilmesinde genel olarak %30-40 arasında odun veya kereste artığı ortaya çıkmaktadır (Sofuoğlu ve Kurtoğlu, 2006). Tomruk hammaddesi verimliliği üzerine yapılan bir diğer çalışmada ise iğne yapraklı ve yapraklı ağaç tomruklarında randıman oranının sırasıyla %67,2 ve %73,4 olduğu belirtilmiştir (Mistepe, 2000). Türkiye de Orman Genel Müdürlüğü İşletme ve Pazarlama Dairesi Başkanlığı verilerine göre endüstriyel odun üretim miktarı 16,6 milyon m³ tür (URL1). Bu miktarın ortalama %30'unun atık durumda olduğu hesaba katılırsa,

yaklaşık 5 milyon m³ endüstriyel odun atığının OPK üretimi için çok önemli bir kaynak olduğundan bahsedilebilir.

30 yıldan uzun süren piyasa gelişmesinden sonra, 2010 yılında dünya genelinde ekstrüze edilmiş OPK üretim miktarı 1,5 milyon tona ulaşmıştır; bu da ortalama %50 odun payıyla 750 bin ton odun varlığı anlamına gelmektedir (Eder ve Carus, 2013). Dünyada üretilen toplam OPK içerisindeki odun miktarı, ülkemizdeki endüstriyel odun atığı miktarı ile kıyaslanacak olursa, ülkemizdeki endüstriyel odun atığı miktarının %15'ine tekabül ettiği söylenebilir. Odun atıkları az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde genellikle ısı enerjisi elde etmek için yakılırken, gelişmiş ülkelerde ise ahşap kökenli levha ürünlerden; lif levha, yonga levha veya kağıt hamuru üretimi için değerlendirilmektedir (Sofuoğlu ve Kurtoğlu, 2006).

Ahşap kökenli levhaların kesimi sırasında açığa çıkan atık madde miktarı ahşap işleme makinelerinde kullanılan testerenin kalınlığına bağlıdır. Türkiye'de ahşap kökenli levhalardan yonga ve lif levhanın toplam üretim miktarı en son elde edilen 2016 verilerine göre yaklaşık 9,35 milyon m³ (4,28 milyon m³ yonga levha ve 5,06 milyon m³ lif levha) seviyesindedir (URL2). Genel olarak yonga ve lif levha üretimi ve kullanımı esnasında yaklaşık olarak ortaya çıkan atık yüzdesinin %5-25 arasında olduğu bilinmektedir (Bromhead, 2003). Bu oranın ortalama olarak %15 olduğu kabul edilirse, yıllık üretim miktarına bağlı olarak 1,4 milyon m³ levha atığının ortaya çıktığı söylenebilir.

1.4.4.3. Lignoselülozik tekstil atıkları

Tekstil endüstrisinde genellikle bitkisel ve hayvansal liflerin yanı sıra sentetik lifler de çok yaygın kullanılmaktadır. Lignoselülozik liflerden en fazla miktarda pamuk lifleri kullanılmakla birlikte jüt, keten, kenevir, sisal ve diğer bitki lifleri çeşitli tekstil ürünlerinde kullanılmaktadır. 2014 yılı verilerine göre dünya pamuk üretim miktarı yaklaşık 26 milyon ton ile ilk sırada bulunmakta, bunu sırasıyla 3,39 milyon ton ile jüt, 320 bin ton ile keten, 247 bin ton ile sisal, yaklaşık 66 bin ton ile kenevir takip etmektedir (URL3).

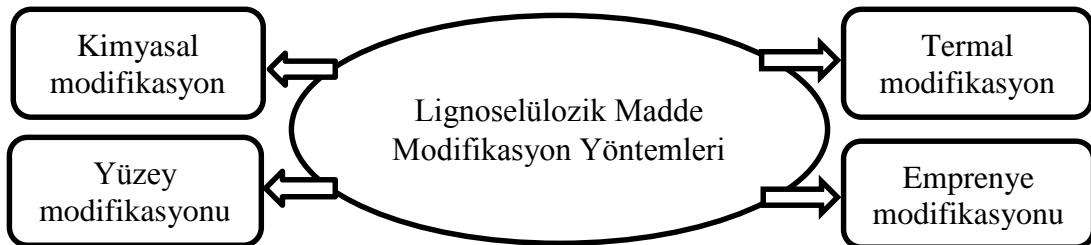
Tekstil atıkları, sentetik lif fabrikalarından çıkan atıklar, tekstil imalatı sonrası açığa çıkan atıklar ve tüketici tekstil atıkları olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Türkiye'de 2008 yılı verilerine göre endüstriyel katı atık miktarının %4.37'sini tekstil ürünleri ve giyim eşyası imalat atıkları oluşturmaktadır (Kozak, 2010).

Tekstil ürünleri arasında olan halı, en fazla üretim ve atık miktarının olduğu ürün grubudur. Halı üretiminde lignoselülozik lif olarak en fazla jüt lifleri kullanılmakta olup, 1 m² makine halısı dokuma sürecinde ortaya çıkan jüt iplikleri fire oranı %15 tir (URL4). Türkiye halı fabrikalarının üretim için ihtiyaç duyduğu toplam jüt miktarı yaklaşık 181 bin ton seviyesinde olup 2013 yılı toplam jüt ipliği kullanım miktarı 148 bin ton civarındadır (URL5). Bu miktarın %15'inin üretim sonrası atık olarak açığa çıktığı varsayılırsa, ülkemizde faaliyet gösteren halı fabrikalarda yaklaşık 22 bin ton civarında jüt lifi atığı oluşmaktadır.

1.5. Lignoselüloziklerin Modifikasyonu

Metal ve alaşımları gibi diğer malzemelere kıyasla lignoselülozik malzemeler; işlenmesi için düşük enerjiye ihtiyaç duyması ve özgül ağırlığına göre diğer malzemelere kıyasla yüksek mukavemet gibi birçok teknik avantajları olmasının yanı sıra, aynı zamanda yenilenebilir ve estetik açıdan hoş olması onu diğer malzemelerden daha cazip hale getirmiştir. Lignoselülozik malzemelerin bu olumlu özelliklerinin aksine diğer malzemelerle kıyaslandığında, farklı rutubet koşullarında boyut kararsızlığı, biyolojik bozunuma uğraması, UV hassasiyeti ve yanmaya karşı dayanıksız olması gibi birtakım olumsuz özellikleri vardır. Bu sebepten dolayı lignoselülozik malzemeyi oluşturan bileşenlerin kimyasal olarak modifikasyonu ile üretilen ürünlerin özellik ve performanslarını geliştirmek önemli bir gereksinimdir (Fengel ve Wegener, 1989; Çetin ve ark., 2005).

Lignoselülozik maddelerin modifikasyon yöntemleri esasen 4 grup altında incelenmektedir (Şekil 1.10). Bu modifikasyon yöntemleri aşağıda ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır.



Şekil 1.10. Modifikasyon yöntemleri

1.5.1. Termal modifikasyon

Termal modifikasyon, lignoselülozik malzemenin performansında arzu edilen bir gelişmeyi sağlamak için malzemeye ısı uygulaması olarak tanımlanmaktadır. Isının malzemeye uygulanması esnasında malzemedeki kimyasal değişikliklere bağlı olarak bozulmalar görülür. Termal modifikasyon işlemi dikkatli bir şekilde kontrol edilirse modifikasyon işlemi sonucu elde edilen ürünler bazı yerlerde (saunalar, yer ve duvar döşemeleri gibi) kullanılabilir. Odunun termal modifikasyonu başta Finlandiya, Fransa ve Hollanda olmak üzere çok sayıda ülkede ticari faaliyet konusu olmuştur (Hill, 2006).

Termal modifikasyon, ahşap malzemenin boyutsal kararlılığını iyileştirmek ve bozunma direncini arttırmak için uzun süre potansiyel olarak yararlı bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Tiemann, termal modifikasyon işleminin odunun fiziksel özelliklerine etkisi hakkında ilk çalışma yapanlardan biridir (Tiemann, 1915). Tiemann hava kurusu odunu, 150 °C'deki kızgın buharda 4 saat süre ile ısıttıktan sonra odunun rutubet emiliminin %10-25 oranında düştüğünü belirtmiştir. Ayrıca çoğu çalışmalarında odunun mukavemet değerlerinde azalmalar olduğunu rapor etmiştir. Termal modifikasyon işleminde, 140 °C'den daha düşük sıcaklıklarda malzeme özelliklerinde hafif bir değişiklik görüldüğü belirtilmiştir. Termal modifikasyon işlemi yaygın olarak 180 °C ile 260 °C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilir. 300 °C'nin üzerindeki sıcaklık değerleri termal modifikasyon işleminde odunun ciddi derecede bozunuma uğraması ile sonuçlandığından bu değer termal modifikasyon işleminin tehlike sınırı değeridir. Modern termal modifikasyon uygulamaları 260 °C'den yüksek olmayan sıcaklıklar ile sınırlıdır (Hill, 2006).

Odunun moleküler bileşenlerinde, termal modifikasyon ile ısı enerjisi sonucu kimyasal değişiklikler görüldüğü belirtilmiş ve bunun sonucu olarak da ahşap malzemenin fiziksel ve biyolojik özelliklerinde birtakım değişiklikler gözlemlendiği bildirilmiştir. Genellikle termal modifikasyon sonucu ahşap malzemenin çalması (su alıp vermesi) ile bazı mekanik özelliklerinde önemli azalmalar olduğu rapor edilmiştir (Hill, 2006).

1.5.2. Yüzey modifikasyonu

Yüzey modifikasyonu, lignoselülozik malzemede arzu edilen bir performans artışı sağlamak için malzeme yüzeyine bir takım fiziksel, kimyasal veya biyolojik uygulamalar olarak tanımlanmaktadır. Yüzey modifikasyonu; kimyasal modifikasyon, enzimleri kullanarak yapılan biyolojik modifikasyon ve plazma modifikasyonu gibi fiziksel işlemleri kapsamaktadır. Yüzey modifikasyonun esas ilgi alanları lignoselülozik malzeme yüzeyleri

arasındaki doğrudan bağlanma veya yüzeyler ile kaplamalar arasındaki bağın iyileştirilmesi konuları olduğu gibi lignoselülozik malzemelerin aşınma performansının iyileştirilmesi de yüzey modifikasyonunun hedefleri arasında bulunmaktadır (Hill, 2006).

Lif modifikasyonunun fiziksel yöntemleri, korona muamelesi ve soğuk plazma uygulamalarını içerir. Bu işlemler, yüzeyin yanı sıra lifin yapısal özelliklerini değiştirir ve böylece lifler ile polimer matris arasındaki mekanik bağları geliştirir. Soğuk plazma işlemi lif yüzeyini püskürtme etkisiyle ve genellikle pürüzlendirme yoluyla değiştirir. Pürüzlü yüzey, lif ve polimer matris arasındaki temas alanını güçlendirir (Wanjale ve Jog, 2011).

Lignoselülozik malzemenin yüzey modifikasyonu, malzemenin UV kararlılığını artırmak, yüzey enerjisini değiştirmek (su ile ıslanmayı azaltmak ve/veya kaplamalar veya polimer matris malzemeleri ile uyumluluğu geliştirmek) ve yüzeyler arasındaki bağın iyileştirilmesi amacıyla yapılmıştır. Yüzey modifikasyonunda kullanılan reaktifin odunun her tarafına dağılımının zor olması ve reaktif madde ile yan ürünlerin reaksiyonu sonunda açığa çıkan ürünlerin ortamdaki uzaklaştırılma zorunluluğu nedeniyle yüzey modifikasyonunun bir takım problemleri olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, reaksiyon sadece odun yüzeyi ile sınırlandırılmışsa, reaktifin erişilebilirliği ve sonrasında modifiye edilmiş malzemenin temizlenmesinin daha kolay olabileceği bildirilmiştir (Hill, 2006).

1.5.3. Emprenye modifikasyonu

Odunun emprenye (emdirme) modifikasyonu, odunda arzu edilen bir performans değişikliği sağlamak için odunun inert (etkisiz) emprenye maddeleri ile doldurulması yöntemi olarak tanımlanır. Odun hücre duvarının çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmesi, geçmişten günümüze ilgi çekmeye devam eden çok geniş bir alandır. Burada belirtilen emprenye işlemi, odunun hücre duvarı içine dağılmış bir monomer çözeltisi ile muamele edilmesini ve ardından polimerizasyonunu belirtmektedir. Odun özelliklerinin iyileştirmesi, öncelikli olarak hücre duvarı hacminin doldurulması ile gerçekleşir. Odunun hücre lümeni dolgu uygulamaları uzun yıllar çalışılmış olup birçok ticari örnekleri olduğu bildirilmiştir (Hill, 2006).

1.5.4. Kimyasal modifikasyon

Kimyasal modifikasyon işlemi; bir kimyasalın, odunun reaktif olan hücre duvarı polimerleri ile katalizörlü ya da katalizörsüz, aralarında kovalent bağ oluşacak şekilde bir araya gelmesi olarak tanımlanır. Bugüne kadar yapılan yöntemlerin tümü hücre duvarı polimerlerinin OH (Hidroksil) grupları ile bir reaktif kimyasal arasındaki reaksiyonları

kapsamaktadır. Odunun kimyasal modifikasyonunda anhidritler, izosiyanatlar, formaldehitler, asetaldehitler ve epoksitler gibi çeşitli kimyasallar uzun yıllar araştırma konusu olmuştur (Kumar, 1994; Çetin ve Özmen, 2001; Hill, 2006). Odunun kimyasal modifikasyonu geçmişten günümüze çevre dostu bazı yöntemler ile geliştirilmiş fakat ekonomik kaygılardan dolayı ticari ilgi kazanamamıştır. Odunun kimyasal modifikasyonunda yakın zamanda ticari hale getirilen üç yöntem; asetillendirme, furfurilasyon ve termal modifikasyon yöntemleridir (Hill, 2006; Petrič ve ark., 2012).

Kimyasal modifikasyon işlemi, odunun yapısını değiştirerek, polimer matris ile arasındaki bağ yapma kabiliyetini arttırmak ve böylece kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmek için de kullanılabilir. Kimyasal modifikasyon yöntemleri, genellikle kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini, modifiye edilmemiş kompozitlere kıyasla iyileştirir. Önceki araştırmalara dayanarak, kimyasal modifikasyon işlemi ile polimer matris ve odun unu arasındaki bağlanmanın önemli ölçüde arttırıldığına inanılmaktadır (Gwon ve ark., 2010b; Kallakas ve ark., 2015).

Kimyasal olarak modifiye edilmiş odun bileşenleri, hem boyutsal kararlılığı ile hem de biyolojik saldırılara karşı direnci ile kompozitler için önemli bir katkı maddesi olabilirler (Segerholm, 2007). Su absorpsiyonunu azaltmak ve kompozit malzeme özelliklerini iyileştirmek için selüloz ve odun unu genellikle kimyasal olarak modifiye edilmektedirler (Dominkovics ve ark., 2007).

Bitki liflerinin yüksek rutubet hassasiyeti, kompozitlerdeki bağ yüzeyinde şişme ve boşluklara neden olur, bu da zayıf mekanik özellikler ve boyutsal kararlılığın azalması ile sonuçlanır. Bitki liflerinin hidrofobik kimyasallarla muamele edilmesi veya vinil monomerleri ve anhidritler ile modifikasyonu rutubete karşı hassasiyetini azaltabilir (Gassan ve Bledzki, 2000; Espert ve ark., 2003).

Son zamanlarda, lignoselülozik maddelerin takviye veya dolgu maddesi olarak polimer kompozit karışımlarına ilave edilmesi oldukça ilgi uyandırmıştır. Doğal liflerin cam liflerine kıyasla birtakım avantajları olmasına rağmen, güçlü apolar termoplastik matrislerle uyumluluğu çok düşüktür. Yüzeylerinin güçlü polar karakteri termoplastik polimerler ile bağ yapma kabiliyetini sınırlayıcı bir etki yapar. Termoplastik polimerler ile uyumsuzluğa neden olan bu tür sorunlar, olumsuz bir etki oluşturmasına rağmen, uyumluluğu artırabilen lif modifikasyon yöntemleri ile bu sorunların üstesinden gelinir.

Yüksek lignin ve hemiselüloz içeriğinden dolayı odun liflerinin esterifikasyon reaksiyonlarında en yüksek seviyelere ulaşıldığı rapor edilmiştir (Tserki ve ark., 2005).

Termoplastik polimer matris ile doğal lifler arasındaki uyumluluk problemi rutubetli koşullarda kompozitlerin boyutlarındaki istikrarsızlık ile daha çok sorun teşkil etmektedir. Kompozitlerin su alarak içerisindeki liflerin genişlemesi sonucu termoplastik polimer matris gerilme altında kalabilmektedir. Matris ile lifler arasında önemli bir bağlayıcının olmamasından dolayı, malzeme kurduğunda liflerin hızlı bir şekilde daralması sonucu mekanik özelliklerde şiddetli bir düşüş ve matris-lif arası bağ ayrışması sonucu çatlaklar görülebilmektedir. Bu sebeple yüksek performansa sahip termoplastik kompozitlerin üretilmesi için, polimer matris ile lignoselülozik maddeler arasındaki bağın geliştirilmesi gerekmektedir (Ray ve ark., 2001).

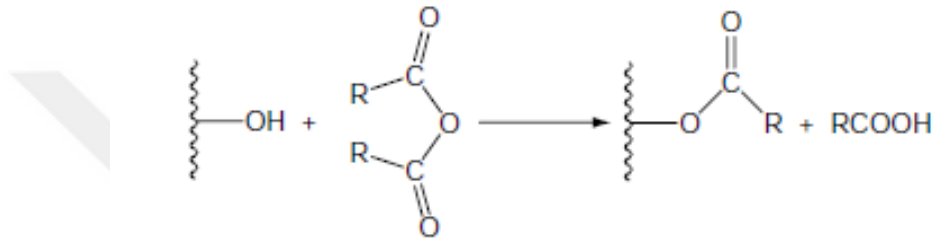
En çok tercih edilen kimyasal modifikasyon reaksiyonları, odunun AA (Asetik anhidrit) ile asetilasyonudur. Odunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin asetilasyon ile geliştirilebileceği araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. Hücre duvarı polimerleri ile tepkimeye giren asetat hücre duvarını genişletir. Dahası odunun su ile teması halinde genişlemesini engelleyerek boyutsal kararlılık sağlar. Bunlara ilave olarak asetilasyon oduna biyolojik direnç de kazandırır (Kumar, 1994; Hill ve Jones, 1996, 1999).

1.5.4.1. Asetillendirme

Lignoselülozik maddelerin asetillendirme yolu ile kimyasal modifikasyonu tüm dünyada kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve asetilasyonun odunun özelliklerini arttırmada çok etkili bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Asetilasyon işlemi, AA ile lignoselülozik maddelerdeki erişilebilir OH grupları arasında gerçekleşen bir kimyasal reaksiyondur. Asetillendirme reaksiyonları, asetil gruplarındaki artış ile birlikte odunda yaklaşık %20 ağırlık kazancına (WPG) sebep olur. Ayrıca asetilasyon işlemi ile odunun mekanik özelliklerinde değişim olmaksızın fiziksel ve biyolojik özellikleri geliştirilebilir (Hill, 2006).

Odunun asetillendirilmesi işlemine, ilk olarak 1928 yılı başlarında, ligninin izole edilmesi için bir prosedürde kullanıldığından bahsedilmiştir (Fuchs, 1928). Masif odunun boyutsal stabilitesini arttırmak için asetillendirilmesi işlemi üzerinde, 1947 ve 1950 yıllarında Stamm ve Tarkow tarafından çalışmalar yapılmıştır (Tarkow ve ark., 1946; Stamm ve Tarkow, 1947). Asetilasyon yöntemleri literatür taraması yapılarak ayrıntılı bir biçimde incelenmiş olup, aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Odunun AA ile modifikasyonu 50 yıldan uzun bir süredir yoğun çalışma konusu olmuştur. Odunun özelliğindeki birçok değişikliğin yapısındaki OH seviyesinden farklı olarak hücre duvarının hacmindeki değişimden olduğu bildirilmiştir. Genel olarak asetilasyon, sıcaklığın çok yüksek olmadığı (120-140 °C) reaksiyon koşullarda gerçekleştirilmekte olup, bu işlem sırasında odunun mukavemet özelliklerinin önemli ölçüde etkilenmediği belirtilmiştir. AA vd. anhidritler ile odunun hücre çeperindeki fonksiyonel gruplar birbiri ile ester bağı oluşturarak reaksiyona girerler (Şekil 1.11). Odun ile AA arasında gerçekleşen reaksiyon sonucu, yan ürün olarak asetik asit açığa çıkar (Hill, 2006).



Şekil 1.11. Odun hücre çeperinin anhidritler ile reaksiyonu; asetik anhidrit (R=CH₃), propiyonik anhidrit (R=C₂H₅), bütirik anhidrit (R=C₃H₇), valerik anhidrit (R=C₄H₉), hekzanoik anhidrit (R=C₅H₁₀) ve heptanoik anhidrit (R= C₆H₁₁) (Hill, 2006)

Geçmişten günümüze en çok tercih edilen, kimyasal modifikasyon reaksiyonları, AA ile asetilasyon yöntemi olmakla birlikte, odunun kimyasal modifikasyonu uzun yıllar bilim insanları tarafından araştırma konusu olmuştur. Asetillendirme işleminde reaksiyona giren asetat birimleri, hücre duvarı polimerlerinin hacmini artırarak, ahşap malzemeye boyutsal kararlılık sağlarlar. Bu sayede su ile temas eden ahşap malzemede çalışma (daralma ve genişleme) daha az görülür. Ayrıca kimyasal modifikasyon, ahşap malzemeye biyolojik direnç de sağlar. Ahşap malzemenin AA ile asetilasyonu, yalnızca akademik çalışmalarla sınırlı değildir, aynı zamanda 2003 yılından beri ticari bir süreç haline gelmiştir (Özmen ve Çetin, 2012).

Asetillendirme reaksiyonları tek yönlü reaksiyon mekanizması ile gerçekleşir, yani asetillendirme reaksiyonu ile her bir asetil grubu polimerleşme olmaksızın, odunun bir OH grubu ile reaksiyona girmektedir. Asetillendirme reaksiyonlarında AA'nın yaygın olarak kullanıldığı, diğer anhidritlerin (propiyonik, bütirik, hekzanoik vd.) de odun ile reaksiyona girdiği belirtilmektedir (Çetin ve ark., 2000). Odunun asetillendirme çalışmaları sonucunda, hücre duvarı polimerlerinden ligninin hemiselüloza göre, hemiselülozun da

selüloza göre daha reaktif olduğu rapor edilmiştir (Rowell ve ark., 1994; Hill, 2006; Jebrane ve ark., 2011).

Odunun AA ile reaksiyonu sırasında yüzey enerjisi düşer, bu nedenle polar OH grupları daha az polar olan asetil gruplarıyla yer değiştirir, bunun sonucu olarak da yüzeyin su bazlı reçineler ile ıslanabilirliğinin değiştiği belirtilmiştir. Ayrıca odun ile tutkal arasındaki bağın gücü, H (Hidrojen) bağı sayısına ve OH gruplarına doğrudan kovalent bağ ile bağlanmaya bağlıdır (Hill, 2006). Asetilasyon, lignoselülozik liflerin yüzeyini değiştirmenin ve daha hidrofobik hale getirmenin önemli bir yöntemidir. Asetilasyonun asıl fikri, hidrofilik karakterlerde olan lignoselülozik liflerin OH gruplarını daha hidrofobik özelliklere sahip moleküller ile kaplamaktır (Faruk ve ark., 2012).

Asetilasyon yoluyla kimyasal modifikasyon, odun polimerleri (selüloz, hemiselüloz vd.) içerisindeki erişilebilir OH gruplarının AA ile reaksiyona girmesi sonucu, odunda asetil gruplarının oluşması ve yan ürün olarak asetik asit açığa çıkması ile sonuçlanır. Asetilasyon sonucu, odunun higroskopikliğinin önemli ölçüde azaldığı ve bu sebeple, odunun yüksek ölçüde boyutsal kararlılığa sahip olduğu belirtilmiştir (Rowell ve ark., 1986a, 1986b).

Kimyasal modifikasyon, yüksek oranda boyutsal kararlılık ve biyolojik bozunmaya karşı direnç ile ahşap malzemeye olumlu katkıda bulunabilir. Diğer taraftan, ahşap malzemenin AA ile asetilasyonunda, asetik asit kokusu, selülozun asit hidrolizi sorunu ve ahşap malzeme ile kullanılan metal parçaların asit korozyonu ile olumsuz etkilenmesi gibi sorunlar asetilasyonun dezavantajları arasındadır. Bunlara ek olarak odun ile reaksiyona giren diğer anhidritlerin çalışmaları sınırlı sayıdadır (Li ve ark., 2000).

Odunun yıllardır geliştirilen modifiye yöntemlerinin çoğunda, ya bir katalizör ya da bir organik çözücü içeren reaksiyon şemaları kullanılmıştır. Güçlü mineral asit veya tuzların katalizör olarak kullanılması, karbonhidrat polimerlerinin hidrolizine yol açarak odun yapısının hasar görmesine neden olur. Piridin veya Dimetil formamid (DMF)'in, odunun asetillendirilme reaksiyonlarında solvent olarak kullanılması durumunda, iki problem ortaya çıkar. Bunlardan birincisi, bu iki bileşiğin odun tarafından kuvvetle emilmesi sebebiyle kokusunun ahşaptan kesinlikle tamamen çıkartılamaması; İkincisi, her iki kimyasal için asetilasyon sonrası, fazla AA ve yan ürün olarak açığa çıkan asetik asidi ahşap malzemedan ayırmanın zorluğudur. Odunun kimyasal reaksiyonlarında solvent kullanımı modifiye edici kimyasalların seyreltilmesi nedeniyle reaksiyon verimliliğini

düşüren, reaksiyon sonrasında kimyasalların geri kazanılmasını zorlaştıran karmaşık ayırma prosedürlerini gerektirir. Organik çözücüler genellikle insanlara ve çevreye zararlıdır. Bu nedenle, reaksiyon sisteminde hem katalizörleri hem de organik çözücülerini gidermenin gerekli olduğu belirtilmektedir (Li ve ark., 2000).

Odunun anhidritlerle reaksiyonunu daha iyi anlamak için daha fazla sayıda çalışma yapılması gereklidir. Odun ile reaksiyona giren diğer anhidritler ile yapılan çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Örneğin, ksilen içinde çözülmüş Propiyonik anhidrit (PA) ve Bütirik anhidrit (BA), katalizörsüz olarak odun ile reaksiyona sokulmuştur. Odunun PA ve BA ile reaksiyonunun, AA'dan çok daha yavaş olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca reaksiyonlar sonucunda yan ürün olarak; propiyonik, bütirik, izobütirik ve heksanoik asitlerin açığa çıktığı bildirilmiştir. Propiyonik, bütirik, izobütirik ve heksanoik asitler, asetik asitten daha zayıf asitlik etkisi gösterirler bu sebeple modifiye edici kimyasallar olarak PA, BA, İzobütirik anhidrit (İBA) ve Heksanoik anhidritlerin (HA) kullanılması durumunda, ahşap malzemenin yukarıda sayılan olumsuz etkilerden daha az etkilenmesi beklenebilir (Li ve ark., 2000).

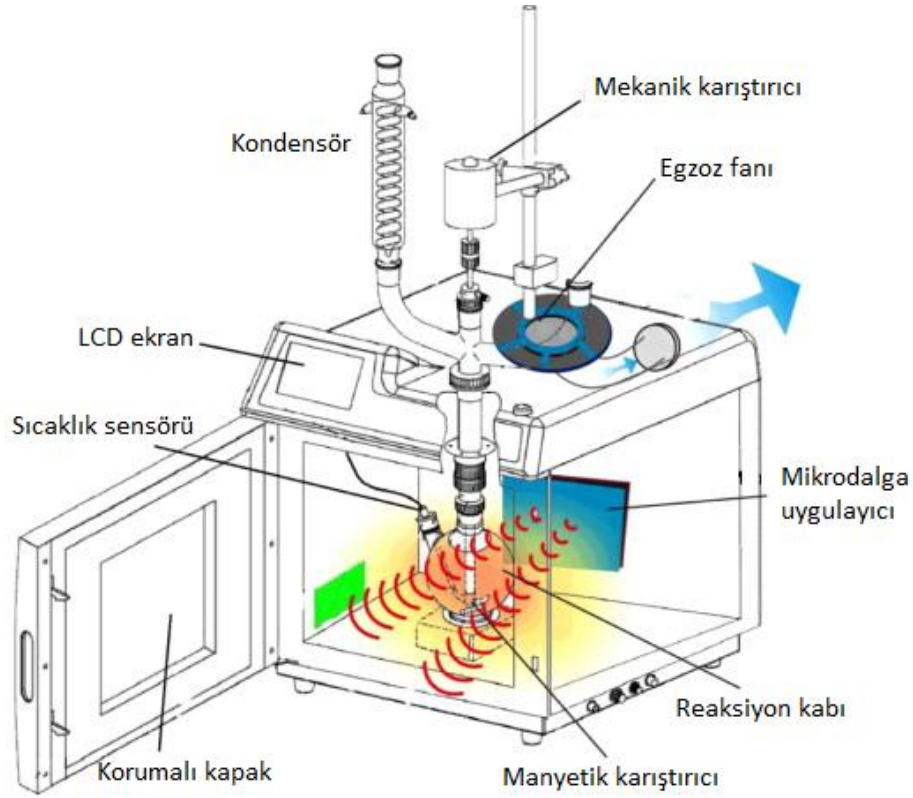
Asetillendirme işlemi, odunun hücre duvarında bulunan erişilebilir OH gruplarının asetil gruplarıyla esterleştirilmesi ile sonuçlanmaktadır. Önceki çalışmalarda, asetillendirilmiş odun lifi ilaveli kompozit malzemelerin, modifiye edilmemiş odun lifi ilaveli kompozit malzemelere kıyasla, daha iyi mekanik özellikler, daha az rutubet içeriği ve biyolojik bozunmaya karşı geliştirilmiş bir direnç sergilediği belirtilmiştir (Khalil ve ark., 2002; Segerholm ve ark., 2005; Gwon ve ark., 2010a, 2010b; Kallakas ve ark., 2015).

1.6. Mikrodalga Modifikasyonu

Odun ile modifiye edici kimyasalların reaksiyonu, genellikle ısı enerjisi desteği ile gerçekleşmektedir. Isı enerjisinin temini için diğer alternatif yöntemlerin kullanılması günümüzde oldukça ilgi uyandırmıştır. Bazı araştırmacılar odunun asetillendirilmesi reaksiyonlarında, reaksiyon sürelerini kısaltmak, oduna bağlı reaktiflerin dağılımını iyileştirmek, kimyasalların ve yan ürünlerin daha etkili bir şekilde çıkarılmasını sağlamak için mikrodalga enerjisi ile reaksiyonların gerçekleştirilebileceğini belirtmişlerdir (Brelid ve ark., 1999; Brelid ve Simonson, 1999; Brelid, 2002).

Odunun AA ile modifikasyonunda, mikrodalga enerjisinin ısı kaynağı olarak kullanılması; kimyasal tepkime süresinin azaltılması, tepkimedenden sonra fazla kimyasalların etkili bir şekilde uzaklaştırılması ve asetillendirilmiş odundaki asetil gruplarının homojen

bir şekilde dağılımının sağlanması amacıyla araştırılmıştır. Asetillasyon işleminde, mikrodalga enerjisi ısıtma amacı ile kullanıldığı takdirde, ısı enerjisi tüm odun içerisinde anında dağılır. Burada emilen mikrodalga radyasyonunun etkinliğinin kimyasalların kutupluluğuna da bağlı olduğu bildirilmiştir. Herhangi bir ısıtma olmaksızın, moleküllerin rastgele titreşimleri tüm malzemelerde gerçekleşir ve sıcaklık bu titreşimlerin enerjisinin bir ölçüsüdür. Şekil 1.12’de mikrodalga destekli reaksiyon düzeneğini oluşturan parçalar ve mikrodalga enerjisinin reaksiyon kabına aktarılması görülmektedir. Mikrodalga enerjisi, kalıcı elektrik dipol ve monopollerine (iyonik yüklere) sahip bir malzemeye uygulandığında, gelen enerjinin bir kısmı ona geri döner ve geriye kalan enerji malzemeye aktarılır (Brelid ve ark., 1999).



Şekil 1.12. Mikrodalga destekli reaksiyon düzeneğinin şematik gösterimi (Lin ve ark., 2015)

Genel olarak selülozun, klasik ısıtma yöntemleriyle (mantolu veya manyetik karıştırıcılı ısıtıcı) yapılan esterifikasyon reaksiyonları daha uzun (örneğin, 5 saat ile 1 gün ya da 2 gün) sürmektedir. Malzemelerin mikrodalga tekniği ile işlenmesi son yıllarda çok sayıda araştırmacı tarafından ilgi odağı haline gelmiştir. Mikrodalga cihazlarının, ısıtma, kurutma ve eritme gibi işlemler için etkinliği tüm dünyadaki laboratuvarlarda ilgi uyandırmıştır. Ayrıca mikrodalga radyasyonunun kimyasal reaksiyonlarda oldukça etkili bir ısıtma kaynağı olduğu kanıtlanmış ve mikrodalga enerjisi ile kimyasal reaksiyonların

hızlandırılabilceği, daha verimli ve her yerde eğit reaksiyon gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir (Ratanakamnuan ve ark., 2012).

AA penetre edilmiş odunda, oldukça hızlı bir asetillendirme reaksiyonu elde etmek için 100 °C'nin uzerinde bir sıcaklık dereceleri gereklidir. Bu işlem ise kapalı reaksiyon ortamlarında mümkündür. Isı, geleneksel reaksiyon düzeneğinde, reaktör dışındadır ve reaktörün harici bir ısı kayaağından konveksiyon yolu ile ısıtılması sonucu reaksiyon ortamı ısınır. Bu işlem ise, nihai ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyebilecek uzun reaksiyon süreleri ile sonuçlanır. Klasik ısıtma ile gerçekleştirilen reaksiyonlar yerine, mikrodalga enerjisini kullanarak, solventler ile ıslatılmış odunun tamamında ısı elde edilebilir. Mikrodalga yöntemi ile lignoselozik maddelerin kimyasal reaksiyonlarında, mikrodalga radyasyonunun absorpsiyon kapasitesi ve solvent penetrasyon derinliği gibi bir takım değişik parametrelerin denenmesinin, ileri çalışmalara ışık tutacağı belirtilmiştir (Brelid ve ark., 1999).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Klinga ve Tarkow (1966), sert liflevha üretimi için liflendirme sonrası elde ettikleri lifleri AA kullanarak buhar fazlı asetilasyona tabi tutmuşlardır. Asetilasyon sonunda asetillendirilmiş liflerden üretilen liflevhaların, boyutsal kararlılığı geliştirilmiş ve rutubete karşı daha dayanıklı hale getirilmiştir. Ayrıca modifiye edilmiş lif kullanılarak üretilen levhaların mekanik özelliklerinin, modifiye edilmemiş liflerden üretilen levhaların mekanik özelliklerine göre daha üstün olduğu belirtilmiştir.

Youngquist ve arkadaşlarının (1986) yonga levha üretimi için yaptıkları çalışmada, asetillendirilmiş odun yongalarının, modifiye edilmemiş odun yongalarına göre daha az sıkıştırılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca mekanik test sonuçlarında modifiye edilmiş yongalardan elde edilen yonga levhaların, normal yongalardan elde edilen levhalara göre daha yüksek çekme direncine ve daha fazla boşluğa sahip olduğu bulunmuştur.

Rowell ve Plackett (1988) Monteri çamı (*Pinus radiata*) ile yaptıkları çalışmada, ilk önce öz ve diri odunların asetillendirilmesi işlemini gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra asetillendirme işlemi sonucu elde ettikleri öz ve diri odun yongalarından, yonga levha elde etmişlerdir. Elde ettikleri yonga levhaların fiziksel test sonuçlarına göre, hem öz hem de diri odunu modifiye edilmiş yongalardan üretilen levhaların su alma testleri sonuçlarında çok benzer davranışlar sergilendiği belirtilmiştir. Ayrıca modifiye edilmiş yongalardan üretilen levhaların modifiye edilmemiş yongalardan üretilen levhalara göre daha yüksek boyutsal kararlılığa sahip olduğu bildirilmiştir.

Asetilasyon reaksiyonları sonucu ahşap malzemenin yoğunluğunun artmasının, mukavemet özelliklerini büyük oranda arttırdığı düşünülmektedir. Çünkü asetil grupları var olan odun polimerleri üzerinde yan gruplar olarak yer almaktadır (Brelid ve Simonson, 1999). Denge rutubeti testlerinde, asetillendirilmiş odun örneklerinin denge rutubeti değerlerinin modifiye edilmemiş odun örneklerinininkinden çok daha düşük olduğu belirtilmiştir. Öte yandan, birçok mukavemet özelliği için odunun rutubet miktarındaki (lif doygunluğunun altında) azalmanın mukavemet özelliklerinde bir artışa neden olduğu bildirilmektedir (Kollmann ve Cote, 1968). Ayrıca asidik ve termal bozunmaların neden olduğu mukavemet azalışlarının, düşük asetillendirme seviyelerinde, odun rutubetindeki azalma nedeniyle mekanik özelliklerde artış şeklinde sonuçlandığı belirtilmiştir (Larsson ve Simonson, 1994).

Brelid ve Simonson (1999) tarafından yapılan asetilasyon çalışmaları sonucu elde edilen asetillendirilmiş Çam ve Ladin odunu örneklerinin statik bükme testleri sonuçlarına göre, hem Çam odunu örneklerinde hem de Ladin odunu örneklerinde asetillendirmenin düşük seviyelerinde eğilme direncinde ve elastikiyet modülünde bir miktar artış görüldüğü bildirilmiştir. Bununla birlikte, asetillendirmenin daha yüksek olduğu kademelerde, hem eğilme direnci değerlerinde hem de elastikiyet modülü değerlerinde, asetillendirmenin düşük olduğu seviyelere kıyasla hafif bir azalma olduğu belirtilmiştir.

Mohanty ve arkadaşları (2000), Jüt/Biopol ve Jüt/Polyamit kompozitleri eldesinden önce yaptıkları liflerin yüzey değişikliklerinin, kompozitlerin mekanik ve biyobozunum özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Mekanik test sonuçlarına göre, kontrol levhalarından elde edilen değerlere kıyasla, kimyasal modifiyeli lif ilaveli kompozitlerin çekme mukavemetinde %50, eğilme mukavemetinde %30 ve darbe mukavemetinde ise %90'dan fazla artış kaydedildiğini belirtmişlerdir.

Hindistan cevizi (*Cocos nucifera*) ağacı lifi ve palmiye (*Washingtonia spp.*) ağacı lifi takviyeli polyester kompozitlerin, biyolojik bozunumu ve makaslama direncine, asetilasyonun etkilerini araştırmak için çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada, asetillendirilmiş doğal lif takviyeli polyester kompozitlerin biyolojik testlerinde, silan ile muamele edilmiş lif takviyeli kompozitlere kıyasla daha yüksek biyolojik direnç ve daha az gerilme mukavemeti kaybı görüldüğü rapor edilmiştir (Hill ve Khalil, 2000; Khalil ve ark., 2001).

Odun lifi/PP kompozitlerin üretimi için MDF üretiminde kullanılan iğne yapraklı ağaç odun liflerinin Maleik ve Saksinik anhidritler ile modifikasyonu sonucunda PP ile odun lifleri arasındaki bağ yapma kabiliyetinin önemli miktarda arttığı belirtilmiştir. Bağ yapma kabiliyetinin artması sonucu odun lifi/PP kompozitlerin boyutsal kararlılığında önemli miktarda artış kaydedildiği bildirilmiştir (Mahlberg ve ark., 2001).

Ray ve arkadaşları (2002), vinil ester reçinesiyle güçlendirilmiş ve alkali ile muamele edilmiş Jüt (*Corchorus spp.*) lifi üzerinde kapsamlı bir şekilde çalışma yapmışlardır. Önceki çalışmalarında, muamele edilmemiş jüt lifi-vinil ester bileşiklerinininkine kıyasla alkali muameleli kompozitlerin dinamik, mekanik, termal ve darbe direnci davranışlarını değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak jüt liflerinin daha uzun alkaliye tabi tutulması, hemiselüloz miktarını azalttığı ve kristaliteyi artırdığından kompozit karışımlarında daha iyi lif dağılımı sağlandığı belirtilmiştir. Ayrıca alkali

muamelesinin süresi ve konsantrasyonuna bağlı olarak modifiye edilmiş lif içeren kompozitlerin kontrol kompozitlerine göre üstün dinamik, mekanik ve termal özellikler sergilediği rapor edilmiştir.

Benzoil klorid, Epolen C-18 ve Silan (A-174) ile modifiye edilmiş odun liflerinin, kompozit karışım miktarının ağırlıkça %40'ı oranında YYPE içerisine ilave edilmesi ile elde edilen kompozitlerin mekanik özelliklerinin herhangi bir kimyasal ile muamele edilmemiş odun lifi katkılı kompozitlere kıyasla daha yüksek mekanik özellikler sergilediği belirtilmiştir. Ayrıca odun liflerinin modifikasyonu ile liflerin polimer matris içerisinde homojen bir şekilde dağılım gösterdiği ve lif matris arasındaki bağlanmanın daha iyi olduğu rapor edilmiştir (Colom ve ark., 2003).

Van Houts ve arkadaşları (2003) tarafından yapılan çalışmada, AA ile modifiye edildikten sonra düşük ağırlık kazancı elde edilen odun yongalarından üretilen yonga levhaların boyutsal kararlılığının, modifiye edilmemiş yongalardan üretilen yonga levhalara göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Joseph ve arkadaşları (2005), asetillendirilmiş Abaca (*Musa textilis*) liflerinin fenol formaldehit kompozitler üzerindeki etkisini araştırmak için yaptıkları çalışmalarında, asetillendirilmiş liflerden kompozit üretmişlerdir. Daha sonra yaptıkları mekanik test sonuçlarına göre, kompozitlerin çekme mukavemeti ve çekmede elastikiyet modülü ile darbe mukavemetinin polimer matris içerisine asetillendirilmiş Abaca lifi ilavesi ile modifiye edilmemiş kompozitlere kıyasla iyileşmelere sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Tserki ve arkadaşlarının (2005), Keten (*Linum usitatissimum*), Kenevir (*Cannabis sativa*) ve odun liflerinin AA ve PA ile modifikasyonu çalışmalarında, lignoselülozik liflerin kristal olmayan kısımlarının uzaklaştırılması ve çeşitli kimyasallar ile liflerin yüzey özelliklerinin değiştirilmesi ile polimer matris ve lifler arasındaki ara yüz gerilmelerinin transfer verimliliğinde bir iyileşme olduğu belirtilmiştir.

Gwon ve arkadaşları (2010b) kompozit malzeme yapısındaki odun liflerinin kimyasal bileşimlerini değiştirerek elde ettikleri kompozitlerin fiziksel özelliklerinde önemli miktarda olumlu değişiklikler olduğunu vurgulamışlardır. Odun liflerinin NaOH (Sodyum Hidroksit) ile alkalizasyonu sonucu PP içerisine ilave edilmesi ile elde edilen PP kompozitlerin çekme direnci değerlerinde kontrol grubu kompozitlerine kıyasla %37 artış kaydedildiği belirtilmiştir. Ayrıca alkalizasyon işlemine tabi tutulmuş odun lifi katkılı PP

kompozitlerin termal bozunma sıcaklığında ve su alma özelliklerinde de iyileşmeler görüldüğü rapor edilmiştir.

Karaçam odununun (*Pinus nigra*) AA, PA, BA, HA ve valerik anhidrit (VA) ile modifiye edilmesi sonucu su alma miktarları ile mantar, termit ve deniz zararlılarına karşı biyolojik direncine, kimyasal modifikasyonun önemli miktarda etki ettiği, buna karşın anhidrit türünün çok az etkili olduğu rapor edilmiştir. Burada anhidrit türünün etkisinden çok, hücre çeperindeki OH gruplarının bloke olması sonucu odun hacminin genişlemesinin su alma miktarında ve biyolojik dirençte olumlu etkiye neden olduğu belirtilmiştir (Papadopoulos ve ark., 2008; Papadopoulos ve Pougoula, 2010).

Mat Taib ve arkadaşları (2010), Akasya ağacı (*Acacia mangium*) liflerinin asetillendirilmesi sonucu elde ettikleri modifiye edilmiş lifler ve YYPE matris ile yaptıkları kompozitlerin mekanik özelliklerinin, modifiye edilmemiş kompozitlere kıyasla daha iyi oluşunu belirtmişlerdir. Ayrıca liflerin modifiye edilmesi ile kompozitlerin su alma özelliklerinde de modifiye edilmemiş lif içeren kontrol grubu kompozitlere kıyasla daha iyi sonuçlar elde edildiğini bildirmişlerdir.

Papadopoulos ve Pougoula (2010) çalışmalarında, Sarıçam (*Pinus sylvestris*) odununun, düz zincir yapısına sahip AA, PA, BA, HA ve VA ile kimyasal modifikasyonu sonucunda, odunun mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir. Mekanik test sonuçlarına göre düşük WPG seviyelerinde modifiye edilmiş odun örneklerinin basınç direnci değerlerinin modifiye edilmemiş odun örneklerine göre yüksek çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca yüksek WPG seviyelerindeki odun örneklerinin modifiye edilmemiş kontrol örneklerine göre basınç direnci değerlerinde azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Li ve arkadaşlarının (2012) YYPE kompozitler ile ilgili yaptıkları çalışmalarında, farklı etilen vinil asetat (EVA) içeriğine sahip kimyasal olarak modifiye edilmiş Kavak odununun YYPE matris içerisine ilavesi ile fiziksel, mekanik ve termal özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonuçlarına göre EVA içeriğinin artışı ile birlikte kompozitlerin su alma yüzdesi ve sertliğinde azalış görüldüğü belirtilmiştir. Ayrıca EVA içeriğindeki artış ile modifiye edilmemiş kompozitlere kıyasla daha yüksek eğilme ve çekme direnci değerleri elde edildiği bildirilmiş. Bunlara ilaveten EVA modifiyeli odununu içeren kompozitlerin termal özelliklerinin, modifiye edilmemiş odununu içeren kompozitlere göre daha iyi sonuçlar sergilediği rapor edilmiştir.

Seki ve arkadaşlarının (2012) alkali ve oligomerik siloksan (Z-6173) muameleli Jüt (*Corchorus spp.*) liflerinin polimer matrise ilavesi ile oluşacak etkileri incelemek için yaptıkları çalışmalarında, YYPE matris içerisine kimyasal muameleli jüt lifi ilavesiyle kompozitlerin mekanik özelliklerde önemli miktarda iyileşme kaydedildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca jüt liflerinin kimyasal muamelesi ile kompozitlerin termal kararlılığı ile matrisin erime ve kristalizasyon sıcaklıklarında kayda değer bir gelişme gözlemlendiğini rapor etmişlerdir.

Kaewkuk ve arkadaşları (2013), alkalizasyon işlemine tabi tuttıkları ve ısı ile muamele ettikleri Sisal (*Agave sisalana*) liflerini PP polimer matris içerisine ilave edilerek kompozit malzeme elde etmişlerdir. Sonrasında elde ettikleri kompozitlerin mekanik, termal, morfolojik ve su alma özelliklerini araştırmışlardır. Yaptıkları testler sonucunda liflerin kimyasal ön muamelesi ile PP kompozitlerin mekanik, termal ve su alma özelliklerinin herhangi bir kimyasal ile muamele edilmemiş lif katkılı PP kompozitlere göre daha iyi sonuçlar sergilediğini belirtmişlerdir.

Lu ve Oza (2013) çalışmalarında, NaOH ve silan ile muamele ettikleri Kenevir liflerinin YYPE matrise ilavesiyle elde ettikleri kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda, herhangi bir kimyasal ile muamele edilmemiş lif ilaveli kompozitlere kıyasla, kimyasal muameleli liflerden üretilen kompozitlerin daha yüksek termal kararlılığa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca dinamik mekanik analiz testleri sonuçlarına göre kimyasal muameleli lif takviyeli kompozitlerin daha yüksek lif ile polimer matris bağı oluşumu sonucunda, daha iyi mekanik değerler sergilediği rapor edilmiştir.

Özmen ve arkadaşlarının (2013) vinil asetat ve AA ile modifiye ettikleri Sarıçam (*Pinus sylvestris*) odun ununu, YYPE polimer matris içerisine ilave ederek elde ettikleri kompozitlerin mekanik ve termal test sonuçlarına göre, odun ununun asetillendirilmesi ile kompozitlerin hem mekanik özelliklerinde hem de termal kararlılığında önemli artışlar görüldüğünü belirtmişlerdir. Bunlara ek olarak asetilasyon ile lignoselülozik liflerin polimer matris içindeki dağılımı ve polimer matris ile karıştırılabilirlik özelliklerinde gelişmeler görüldüğü bildirilmiştir.

Wei ve arkadaşları (2013) çalışmalarında, Kavak (*Populus deltoides-Populus nigra cross*) odunu lifleri ile AA, PA ve BA esterifikasyonu sonucu elde ettikleri modifiye edilmiş lifleri, YYPE polimer matris içerisine %40 oranında ilave ederek kompozit

malzeme üretmişlerdir. Yaptıkları mekanik ve termal test sonuçlarına göre üretilen kompozitlerin termal kararlılığında ve polimer matrisin erime sıcaklığında artış görüldüğünü rapor etmişler. Ayrıca modifiye edilmiş liflerin YYPE'ye ilavesiyle kompozitlerin çekme ve eğilme direnci değerleri ile sertlik değerlerinde gelişme görüldüğünü bildirmişlerdir. Bunlara ek olarak odun liflerinin esterifikasyonu ile kompozitlerin su alma miktarlarında azalma ve boyutsal kararlılığında artış olduğu belirtilmiştir.

Çetin ve arkadaşları (2015) çalışmalarında, ilk önce mikro kristal selülozu (MCC) vinil asetat (VA) ile modifiye etmişler ve daha sonra modifiye ettikleri MCC'yi YYPE matrise ilave ederek kompozit malzeme üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerin test sonuçlarında, modifiye edilmiş MCC ilaveli kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerinin hem saf YYPE'ye göre hem de kontrol MCC ilaveli kompozitlere göre daha iyi olduğunu gözlemlemişler ve bunların neticesinde kimyasal modifikasyon işleminin polimer matris ile MCC arasındaki uyumluluğu arttırdığını bildirmişlerdir.

Kallakas ve arkadaşları (2015) AA ile modifiye ettikleri Huş (*Betula spp.*) odun ununu, ağırlıkça %35 oranında PP içerisine ilave ederek elde ettikleri kompozitlerin mekanik test sonuçlarına göre eğilme mukavemetinde artış, darbe mukavemetinde ise azalış görüldüğünü bildirilmişlerdir. Ayrıca asetillendirilmiş odun unlarının kompozit karışımlarına ilavesi ile kompozit yapısının daha sert ve kırılğan hale geldiği rapor edilmiştir. Termal ve mekanik test sonuçlarına göre, odun ununun kimyasal modifikasyonu ile kompozitlerin erime sıcaklıklarının düştüğü, mekanik özelliklerinin ve kristalliğinin yükseldiği ayrıca vurgulanmıştır.

3. ÇALIŞMANIN AMACI VE ÖZGÜN DEĞERİ

Endüstrileşmeye paralel olarak artan hammadde ihtiyaçları karşısında kısıtlı doğal kaynaklar üreticileri farklı üretim arayışlarına sevk etmiştir. Örneğin, günümüzde yapı ve otomotiv endüstrileri geleneksel üretim yöntemlerinden farklı üretim yöntemlerine yönelmişlerdir. Yapı endüstrisinde yüksek maliyetlere sahip masif yer ve duvar kaplamaları günümüzde düşük maliyetli ve daha hafif kompozit malzemelere yerini bırakmıştır. Aynı şekilde otomotiv endüstrisinde de kompozitlerin kullanılması ile birlikte hem üretim maliyetleri aşağıya çekilmiş hem de hafifleyen gövde yapısı ile yakıt ekonomisinin yanında azalan karbon emisyonu ile çevreye de olumlu katkılar sağlanmıştır.

Bugüne kadar yapılan biyokompozit çalışmalarının çoğunda, polimer matris ile lignoselülozik dolgu maddeleri arasındaki bağ kabiliyetinin artırılması için farklı arayışlara gidilmiştir. Kompozit bileşenlerinin bağ kabiliyetini artırmak için en fazla MAPE ve MAPP kullanılmıştır. Daha önceleri kompozitlerin performanslarını iyileştirmek için yapılan değişiklikler, odun veya lif gibi doğal dolgu maddelerinin yapılarından ziyade, polimer matrislerin yapılarında meydana getirilen değişikliklerdir. Lignoselülozik dolgu maddelerinin kimyasal yapısının değiştirilip polimerler ile uyumlu hale getirilmesi ile ilgili çalışmalar günümüzde oldukça ilgi uyandırmaya başlamıştır. Bu ilgiden dolayı, bu tez çalışması kapsamında, yapısı kimyasal olarak değiştirilmiş lignoselülozik lif kaynaklarından termoplastik polimer kompozitler elde edilmiştir. Daha sonra ise elde edilen kompozitlerin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Odun ve lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcut olmasına rağmen, modifiye edilmiş lignoselüloziklerden elde edilen kompozitler ile ilgili çalışma sayısı oldukça sınırlıdır.

Bu tez çalışması esasen iki aşamada yapılmıştır. Çalışmanın birinci aşamasında lignoselülozik maddeler ile polimer matrislerin bağ kabiliyetini artırmak için lignoselülozik maddelerin düz zincir yapısına sahip farklı anhidritler (AA, PA ve BA) ile kimyasal modifikasyonu amaçlanmıştır. Bu amaçla ülkemizde önemli bir atık potansiyeline sahip orman ve tekstil endüstrisi atıkları, kimyasal olarak modifiye edilecek lignoselülozik maddeler olarak belirlenmiştir. Orman endüstrisi atıklarından Orta Yoğunluklu Liflevha (MDF) ve Karaçam odunu testere talaşı ile tekstil endüstrisi atıklarından jüt lifi atığı kimyasal modifikasyona tabi tutulacak lignoselülozik maddelerdir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise kimyasal olarak modifiye edilmiş orman ve tekstil endüstrileri lignoselülozik madde artık ve/veya atıklarının termoplastik polimerler (YYPE ve PP) içerisine ilave edilmesiyle termoplastik kompozit malzeme üretimi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu için geleneksel reaksiyon yöntemleri ile kimyasal modifikasyonu yerine mikrodalga cihazı destekli reaksiyon düzeneğinden faydalanılarak kimyasal modifikasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzeme üretimi öncesinde kompozit karışımlarına ilave edilecek lignoselülozik maddelerin polimer matrislerle uyumlu hale getirilmesi için uygulanan klasik modifikasyon yöntemleri çok zaman alıcı bir işlem olması nedeniyle kimyasal modifikasyon yöntemlerinin ticari olarak uygulanmasını kısıtlayan en önemli problemdir. Bu çok zaman alıcı reaksiyon sürelerini kısa sürelere indirebilmek amacıyla mikrodalga teknolojisi ile modifiye edilmiş lignoselülozik maddelerden termoplastik kompozit malzeme üretimi ülkemizde hiç denenmemiştir. Bu yönüyle çalışma, mikrodalga enerjisinin ülkemizde ilk defa lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu işleminde değerlendirilmesi ve önceden kimyasal olarak modifiye edilmemiş atık lignoselülozların kimyasal modifikasyonu sonrası elde edilen modifiye edilmiş lignoselüloziklerin kompozit üretiminde denenmemiş olması ile bu güne kadar yapılmış diğer çalışmalardan farklı olacaktır.

Ayrıca bu çalışmada modifikasyon işleminde kullanılan kimyalların zincir uzunluğunun üretilen kompozitlerin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri üzerine etkisi de ilk kez çalışılmıştır.

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Materyal

Bu çalışmada, kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselüloziklerin termoplastik polimer matrisler içerisine ilavesi ile elde edilecek kompozitlerin üretimi için kullanılan termoplastik polimerler, lignoselülozikler ve kimyasal maddeler ayrıntılı olarak aşağıda açıklanmıştır.

4.1.1. Termoplastik polimerler

Bu çalışmada, termoplastik polimer matris olarak Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE; Petilen YYS0464) ve Polipropilen (PP; MH-220N) olmak üzere iki farklı termoplastik polimer matris kullanılmıştır. Kullanılan termoplastik polimerler Türkiye Petkim (Petrokimya Holding A.Ş.) firmasından temin edilmiştir.

4.1.2. Lignoselülozik maddeler

Bu çalışma kapsamında üretilecek kompozit malzemelerde, lignoselülozik dolgu maddesi olarak Karaçam (*Pinus nigra subsp.*) odun unu, MDF tozu ve jüt lifi kullanılmıştır. Karaçam odun unu ve MDF tozu, Kahramanmaraş küçük sanayi sitesi mobilya atölyelerinden temin edilmiştir. Jüt lifi ise Gaziantep organize sanayi sitesinde faaliyet gösteren halı fabrikalarından temin edilmiş, üretim sonrası açığa çıkan atık liflerdir.

4.1.3. Kimyasal maddeler

Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu için Asetik anhidrit (AA), Propiyonik anhidrit (PA) ve Bütirik anhidrit (BA) olmak üzere düz zincir yapısına sahip anhidritler kullanılmıştır. Kimyasal modifikasyon işleminde kullanılan Asetik anhidrit (102,09 g/mol) Merck firmasından, Propiyonik anhidrit (130,14 g/mol) ve Bütirik anhidrit (158,19 g/mol) Sigma Aldrich firmasından, Dimetil formamid (DMF) Tekkim Kimya Sanayi firmasından ve Potasyum Karbonat (K_2CO_3 ; 138,21 g/mol) Merck firmasından temin edilmiştir. Ayrıca lignoselülozik maddelerin kimyasal analizlerini gerçekleştirmek için kullanılan Aseton, Toluen ve Etanol solventleri Tekkim Kimya Sanayi firmasından, Sodyum Klorit ($NaClO_2$) Sigma Aldrich firmasından, Sodyum Hidroksit (NaOH) ve Asetik Asit (CH_3COOH) ise Merck firmasından temin edilmiştir.

4.2. Metod

4.2.1. Lignoselülozik maddelerin tasnifi

Lignoselülozik maddelerin boyutça sınıflandırılması için ilk önce Karaçam odunu ve sonrasında MDF tozu sarsak elekte elenerek 80 mesh üstü (177-250 µm) parçacık boyutundaki kısımlar kompozit malzeme üretiminde kullanılmak üzere tasnif edilmiştir. Ayrıca jüt lifleri istenilen ölçülere küçültüldükten sonra IKA marka laboratuvar tipi öğütücüde 1 mm'den daha küçük boyutlara getirilmiştir.

4.2.2. Lignoselülozik maddelerin kurutması

Kompozit malzeme üretimi için öğütme ve eleme işlemleri sonrası tasnif edilen lignoselülozik maddeler, yapısında bulunan rutubetin uzaklaştırılması için tam kuru ağırlığa gelinceye kadar 103±2 °C'ye ayarlı fırında kurutulmuştur. Daha sonra kurutulan lignoselülozik maddeler desikatörde oda sıcaklığına ulaşınca kadar bekletildikten sonra rutubet almamaları için plastik torbalara konularak torbaların ağızları sıkıca kapatılmıştır.

4.2.3. Lignoselülozik maddelerin kimyasal analiz yöntemleri

4.2.3.1. Kül tayini

Lignoselülozik maddeler içerisindeki inorganik madde miktarının belirlenmesi için TAPPI T 211 om-02 standartlarına (TAPPI, 2004) göre kül tayini yapılmıştır.

4.2.3.2. Solvent ekstraksiyonu

Lignoselülozik maddelerde bulunan ekstraktif madde miktarlarının belirlenmesi için lignoselülozik maddeler 4-1-1 oranında Toluen-Aseton-Etanol (hacim/hacim/hacim) solüsyonu ile soxhlet ekstraksiyonu düzeneğinde 6 saat süresince ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur.

4.2.3.3. Holoselüloz tayini

Bu çalışmada kullanılan lignoselülozik maddelerin holoselüloz miktarlarını belirlemek için Wise'nin klorit yöntemi (Wise ve Karl, 1962) kullanılmıştır.

4.2.3.4. Alfaselüloz tayini

Bu çalışmada lignoselülozik maddelerin alfaselüloz miktarlarını belirlemek için TAPPI T 203 (TAPPI, 2009) standartları kullanılmıştır.

4.2.4. Kimyasal modifikasyon yöntemi

Bu çalışmanın ilk etabında ekstraksiyona tabi tutulmuş tam kuru lignoselülozik maddelerin AA, PA ve BA kimyasalları ile kimyasal modifikasyon işlemleri

gerçekleştirilmiştir. Büyük ölçekli kimyasal modifikasyon işlemine geçilmeden önce çok sayıda ön deneme çalışmaları yapılmıştır. Ön deneme çalışmaları sonucunda elde edilen maksimum ağırlık kazançları kaydedilmiş, daha sonra ise lignoselülozik maddelerin modifikasyon öncesi ve sonrası FTIR spektrumlarındaki fonksiyonel gruplara ait pik şiddetlerine göre kıyaslamalar yapılmıştır. Bu kıyaslama sonuçlarına göre kompozit malzeme üretimi için gerekli olan büyük ölçekte kimyasal modifikasyon işlemine ait üretim parametreleri, önceden yapılan optimum deney parametrelerine göre belirlenmiştir.

Lignoselülozik madde miktarına bağlı kullanılacak modifiye edici kimyasal madde miktarı hesabı için Hill ve Jones (1996) tarafından belirlenen Denklem 4.1'den yararlanılmıştır.

$$\%OH = (N/H) \times 100 \quad (4.1)$$

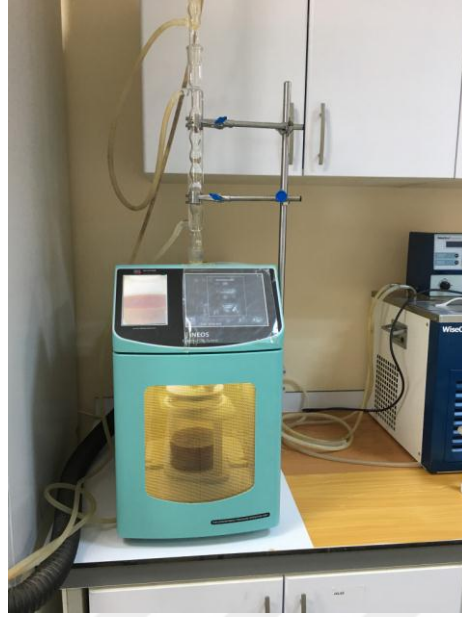
Burada;

N: Modifikasyon sonrası ağırlık artışı / molekül ağırlığı (COCH₃=43; COC₂H₅=57; COC₃H₇=71)

H: Modifiye edilmemiş lignoselülozik maddenin ağırlığı X 1g lignoselülozik maddenin yapısında bulunan OH gruplarının mol sayısı (Sarıçam odunu için Fengel ve Weger (1989) tarafından hesaplanan OH gruplarının mol sayısı; 0,0149 mol)

Bu çalışmada kullanılan lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu için yapılan hesaplamalara göre AA, PA ve BA kimyasallarının lignoselülozik maddelerin yapısında bulunan bağ yapabileceği OH miktarları her 1 g lignoselülozik madde miktarı için teorik olarak ortalama 5 mmol hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre ön denemeler için 1 g Karaçam odunu 5 mmol AA ile kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur.

Kimyasal modifikasyon işlemlerinde gerekli olan ısı enerjisinin temini için, diğer kimyasal reaksiyonlarda yaygın olarak kullanılan konvansiyonel ısıtıcı reaksiyon düzeneği yerine MILESTONE marka (Şekil 4.1) mikrodalga enerjisi destekli reaksiyon düzeneği kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Mikrodalga tekniği ile kimyasal modifikasyon yöntemi

Ayrıca bu çalışmada mikrodalga enerjisi destekli reaksiyon düzeneğinde modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli kompozitlerin, konvansiyonel ısıtıcı reaksiyon düzeneğine sahip klasik yöntem ile modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli kompozitlerle özelliklerinin kıyaslanması için Karaçam odununu manyetik karıştırıcı klasik reaksiyon düzeneğinde (Şekil 4.2) 20 mmol/g AA ile 24 saat süresince kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 4.2. Klasik teknik ile kimyasal modifikasyon yöntemi

Çetin ve arkadaşlarının (2011) farklı katalizör tipinin asetilasyon reaksiyonlarında ağırlık kazancına etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada, Sodyum karbonatın

(Na₂CO₃) ağırlık kazancına en az etki ettiğini, daha sonra Potasyum asetatın, Na₂CO₃'e göre biraz daha fazla iyi etki ettiğini, en iyi etkinin ise K₂CO₃ ilaveli asetilasyon reaksiyonlarında görüldüğünü belirtmişlerdir.

Bu çalışmada kimyasal modifikasyon işlemlerinin tamamı DMF çözücüsü ve K₂CO₃ katalizörlüğünde gerçekleştirilmiştir. Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyon işlemlerinde 1 g tam kuru madde miktarına göre 1 mmol K₂CO₃ kullanılmıştır. Kimyasal reaksiyonlarda kullanılan reaksiyon yöntemi, kimyasal maddeler ve miktarları Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Lignoselülozik maddelerin modifikasyon yöntemleri

Kod	Reaksiyon yöntemi	Kimyasal ve miktarı (mmol/g)	Katalizör ve miktarı (mmol/g)	Lignoselülozik maddeler
W	-	-	-	
WAAK15	Klasik	AA (20)	K ₂ CO ₃ (1)	Karaçam odunu
WAA4	Mikrodalga	AA (5)		
WAA19		AA (20)		
WPA5		PA (5)		
WPA22		PA (20)		
WBA5		BA (5)		
WBA23		BA (20)		
MDF	-	-	-	
MDFAA5	Mikrodalga	AA (5)	K ₂ CO ₃ (1)	MDF tozu
MDFAA20		AA (20)		
MDFPA4		PA (5)		
MDFPA21		PA (20)		
MDFBA4		BA (5)		
MDFBA22		BA (20)		
J	-	-	-	
JAA6	Mikrodalga	AA (5)	K ₂ CO ₃ (1)	Jüt lifi
JAA21		AA (20)		
JPA6		PA (5)		
JPA21		PA (20)		
JBA5		BA (5)		
JBA22		BA (20)		

Not: Kodlardaki rakam veya sayılar modifikasyon sonrası elde edilen WPG değerleridir.

Odunun AA ile kimyasal modifikasyonunda katalizör kullanılmadan gerçekleştirilen reaksiyonlarda en yüksek ağırlık kazancı değeri ortalama %7 iken, bu değer K₂CO₃ katalizliği eşliğinde gerçekleştirilen reaksiyonlarda %20 seviyelerine

yükseldiği belirtilmiştir. Kimyasal modifikasyon işleminde yüksek miktarda katalizör kullanımının ağırlık kazancına herhangi bir etkisinin olmadığı ayrıca rapor edilmiştir (Çetin ve ark., 2011).

Ön deneme çalışmalarında gerçekleştirilen kimyasal reaksiyon sonrası modifiye edilmiş lignoselülozik maddeler ilk önce 4-1-1 (Toluen-Aseton-Etanol) solvent karışımı ile soxhlet ekstraksiyonu düzeneğinde 6 saat süresince ekstrakte edilmiştir. Daha sonra ekstrakte edilen modifiye edilmiş lignoselülozikler tekrar soxhlet ekstraksiyonu düzeneğinde 6 saat süresince saf su ile ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Sonrasında solvent ve su ekstraksiyonuna tabi tutulmuş lignoselülozik maddeler 103±2 °C'ye ayarlı fırında tam kuru hale gelinceye kadar kurutulmuştur.

Kompozit malzeme üretimi için büyük miktarda gerçekleştirilen kimyasal modifikasyon işlemi sonrası, modifiye edilmiş lignoselülozik maddeler çeker ocak altında 24 saat bekletildikten hemen sonra 70±2 °C' ye ayarlı fırında 48 saat kurumaya bırakılmış ve daha sonra 12 saat su içerisinde bekletilerek yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi iki defa tekrar edildikten sonra tekrar modifiye edilmiş lignoselülozik maddeler 103±2 °C'ye ayarlı fırında tam kuru hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutma sonrası modifiye edilen lignoselülozik maddelerdeki ağırlık kazançları Denklem 4.2'ye göre hesaplanmıştır.

$$WPG = \frac{sa - ia}{ia} \times 100 \quad (4.2)$$

WPG: Ağırlık kazancı (%)

ia: İlk ağırlık (g)

sa: Son ağırlık (g)

4.2.5. Kompozit malzemelerin üretim yöntemi

Bu çalışmada AA, PA ve BA ile modifiye edilmiş lignoselülozik maddeler ve kontrol lignoselülozik maddeleri, toplam kompozit ağırlığının %40'ı oranında YYPE ve PP polimerler matrisleri içerisine ayrı ayrı ilave edilerek kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Burada YYPE kompozitlerin üretimi için Çizelge 4.2'de verilen karışım oranları ve içerikleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.2.YYPE kompozitlerin karışım formülasyonları

Kod	Lignoselülozik madde (%)	Kimyasal ve reaksiyon yöntemi	Polimer (%)
W0PE	Karaçam (40)	-	YYPE (60)
WAAK15PE		AA-Klasik	
WAA4PE		AA-Mikrodalga	
WAA19PE		AA-Mikrodalga	
WPA5PE		PA-Mikrodalga	
WPA22PE		PA-Mikrodalga	
WBA5PE		BA-Mikrodalga	
WBA23PE		BA-Mikrodalga	
MDF0PE	MDF (40)	-	
MDFAA5PE		AA-Mikrodalga	
MDFAA20PE		AA-Mikrodalga	
MDFPA4PE		PA-Mikrodalga	
MDFPA21PE		PA-Mikrodalga	
MDFBA4PE		BA-Mikrodalga	
MDFBA22PE		BA-Mikrodalga	
JOPE	Jüt (40)	-	
JAA6PE		AA-Mikrodalga	
JAA21PE		AA-Mikrodalga	
JPA6PE		PA-Mikrodalga	
JPA21PE		PA-Mikrodalga	
JBA5PE		BA-Mikrodalga	
JBA22PE		BA-Mikrodalga	

Ayrıca YYPE kompozitlerin üretimi için verilen karışım oranlarına ve içeriklerine ilave olarak Çizelge 4.3'te PP kompozitlerin üretimi için karışım oranları ve içerikleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. PP kompozitlerin karışım formülasyonları

Kod	Lignoselülozik madde (%)	Kimyasal ve reaksiyon yöntemi	Polimer (%)
W0PP	Karaçam (40)	-	PP (60)
WAAK15PP		AA-Klasik	
WAA4PP		AA-Mikrodalga	
WAA19PP		AA-Mikrodalga	
WPA5PP		PA-Mikrodalga	
WPA22PP		PA-Mikrodalga	
WBA5PP		BA-Mikrodalga	
WBA23PP		BA-Mikrodalga	
MDF0PP	MDF (40)	-	
MDFAA5PP		AA-Mikrodalga	
MDFAA20PP		AA-Mikrodalga	
MDFPA4PP		PA-Mikrodalga	
MDFPA21PP		PA-Mikrodalga	
MDFBA4PP		BA-Mikrodalga	
MDFBA22PP		BA-Mikrodalga	
J0PP	Jüt (40)	-	
JAA6PP		AA-Mikrodalga	
JAA21PP		AA-Mikrodalga	
JPA6PP		PA-Mikrodalga	
JPA21PP		PA-Mikrodalga	
JBA5PP		BA-Mikrodalga	
JBA22PP		BA-Mikrodalga	

4.2.5.1. Kompozit pelletlerinin hazırlanması

Bu çalışmada kontrol ve kimyasal modifiyeli lignoselülozik madde ilaveli termoplastik kompozit malzeme üretimi için ilk önce kompozit üretiminde yaygın olarak

kullanılan ekstruder yöntemi ile kompozit pellet üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda GÜRDAL marka (Şekil 4.3) çift burgulu ekstruder ile 3-5 mm arası boyutlarda kompozit pelletler üretilmiştir. Burada YYPE ve PP kompozitleri için ekstruder kovan sıcaklık profili Çizelge 4.4’de verilmiştir. Ayrıca kompozit üretiminin tamamında ekstruder vida hızı 100 devir/dk ayarlanmıştır.



Şekil 4.3. Çift burgulu ekstruder

Çizelge 4.4. YYPE ve PP polimer matrisli kompozitlerin ekstruder sıcaklık profili

Polimer	Ekstruder kovan sıcaklığı (°C)							
	Giriş Bölgesi	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge	6. Bölge	7. Bölge	Çıkış Bölgesi
YYPE	30	90	120	150	160	160	170	175
PP	40	100	130	160	170	170	180	185

4.2.5.2. Kompozit levha üretimi

Ekstrüzyon sonrası elde edilen kompozit pelletler, CARVER marka (Şekil 4.4) hidrolik preste, 250 X 250 X 2 mm ebatlarında ve teflon (PTFE) ile kaplanmış özel alüminyum kalıpta, sıcak pres kalıplama tekniği ile ASTM D4703 (2010) standartlarına göre 2±0,1 mm kalınlığında levha formuna dönüştürülmüştür.



Şekil 4.4. CARVER pres

Bu çalışmada YYPE kompozitler için pres sıcaklığı 180 °C, PP kompozitler için pres sıcaklığı 190 °C olarak belirlenmiştir. Levhaların üretiminde 9 ton/m² basınç uygulanarak, her bir kompozit pellet formülasyonu için 3 adet kompozit levha üretilmiştir.

4.2.6. Üretilen kompozit malzemelerin analizleri

4.2.6.1. Termo gravimetrik analiz (TGA) yöntemi

TGA analizleri için ilk önce kompozit malzemeler IKA laboratuvar tipi öğütücüde 0,5-1 mm boyutlarında öğütülmüştür. Daha sonra öğütülen numuneler 103±2 °C'ye ayarlı fırında tam kuru hale gelinceye kadar kurutup, fosfor pentaoksit içeren desikatörde bekletilmiştir. Sonrasında SHIMADZU TGA-50 marka cihaz kullanılarak 50 mL/dk akış hızındaki azot gazı ortamında ve ısıtma hızı 10 °C/dk olacak şekilde 25-800 °C sıcaklıklar arasında TGA analizleri yapılmıştır.

4.2.6.2. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analiz yöntemi ve kristalite hesabı

DSC analizleri için önceden öğütülerek 250-400 µm boyutlarına getirilen kompozit malzemeler, 1-5 mg arasında tartılıp, alüminyum DSC-PAN içerisine yerleştirildikten sonra özel presi ile sıkıştırılıp, SHIMADZU DSC-60 marka cihazda 25-300 °C sıcaklıklar arasında 10 °C/dk artan ısıtma hızında ve 50 mL/dk akış hızındaki azot gazı ortamında analiz edilmiştir.

DSC analizi sonuçlarından elde edilen erime sıcaklığı ve entalpi değerlerinden, Spiridon ve arkadaşları (2012) tarafından belirlenen Denklem 4.3'e göre kristalite hesapları yapılmıştır.

$$KM = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^{\circ}(1 - mf)} \times 100 \quad (4.3)$$

Burada;

KM: Kristalinite miktarı (%)

ΔH_m : Erime sıcaklığındaki entalpi değişimi (J/g)

ΔH_m° : Saf YYPE ve PP kristallerinin erime entalpileri (YYPE; 293 J/g, PP; 207 J/g)

mf: Kompozit karışımındaki lignoselülozik madde miktarı

4.2.6.3. Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FTIR) analizleri

Bu çalışma kapsamında, kimyasal olarak modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş lignoselülozik maddeler ve bu lignoselülozik maddelerden üretilen kompozit malzemelerin FTIR analizleri yapılmıştır. Bu analizler için kompozit üretimine uygun bir biçimde daha önceden öğütülen ve kurutulan lignoselülozik maddeler doğrudan analize tabi tutulmuş, kompozit malzemeler ise IKA laboratuvar tipi öğütücüde 0,5-1 mm boyutlarında öğütülmüştür. Daha sonra öğütülen numuneler 103 ± 2 °C'ye ayarlı fırında tam kuru hale gelinceye kadar kurutup fosfor pentaoksit içeren desikatörde bekletildikten sonra Agilent Technologies Cary 630 FTIR spektrometre cihazı ile FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.2.6.4. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Bu çalışmada üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için eğilme, çekme ve darbe direnci testleri yapılmıştır. Test numuneleri önceden elde edilen $2 \pm 0,1$ mm kalınlığındaki kompozit levhalardan hazırlanmıştır. Eğilme direnci testi ASTM D 790 (2003) standardına göre, çekme direnci testi ASTM D 638 (2001) standardına göre ve darbe direnci testi ise ASTM D 256 (2005) standardına göre yapılmıştır. Eğilme ve çekme direnci testleri Zwick/Roell Z010 üniversal test makinesi kullanılarak, darbe direnci testi ise Zwick Roell üniversal test makinesinde (HIT5.5P) yapılmıştır. Bütün mekanik testler için her bir kompozit levhadan 3 adet olmak üzere toplam 9 adet test örneği hazırlanarak teste tabi tutulmuştur. Örnekler teste tabi tutulmadan önce bir hafta boyunca $\%60 \pm 5$ bağıl nem ve 22 ± 3 °C sıcaklığa ayarlı iklimlendirme kabiniinde şartlandırılmıştır.

4.2.6.5. Kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında üretilen kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için ASTM D 7031-11 (2011) standartlarına göre su alma testleri yapılmıştır. Üretilen her bir kompozit levha için standartlara göre önceden hazırlanan 3 adet örnek su içerisine konulmadan önce kurutma fırınında 103 ± 2 °C’de 24 saat süresince kurutulmuş ve ağırlıkları 0,001 g hassasiyetteki terazide tartılarak kaydedilmiştir. Sonrasında numuneler oda sıcaklığında, içerisinde saf su bulunan beher içerisinde 4 hafta süreyle bekletilerek her 1 hafta sonrası su içerisinden çıkartılıp kağıt havlu ile kurulandıktan sonra tekrar tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra Denklem 4.4’e göre su alma miktarları yüzde olarak belirlenmiştir.

$$SA = \frac{sa - ia}{ia} \times 100 \quad (4.4)$$

SA: Su alma miktarı (%)

ia: İlk ağırlık (g)

sa: Son ağırlık (g)

4.2.6.6. Kompozit malzemelerin morfolojik özelliklerinin belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında elde edilen kompozit malzemelerin morfolojik özelliklerini belirlemek için ZEISS/EVO LS10 cihazında SEM analizleri yapılmıştır. Kompozitlerin SEM görüntülerini almak için, ilk önce kompozit malzemeler sıvı azot içerisinde bekletildikten sonra çekiç ile kırılarak düzgün bir kırılma yüzeyleri elde edilmiştir. Elde edilen bu kırılma yüzeyi, analiz öncesinde SEM cihazına ait özel kaplama cihazında 100 Angström kalınlığında altın ile kaplanmıştır. Daha sonra kırılma yüzeyleri altın kaplanan numunelerin üç farklı bölgesinden SEM görüntüleri alınmıştır.

4.2.6.7. İstatistik analiz yöntemi

Bu çalışmada yapılan kimyasal modifikasyon işleminin, üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisini belirlemek için OriginPro 8 programı kullanılarak varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Varyans analizinden elde edilen F değerleri, %95 olasılık düzeyindeki F testi tablosu ile karşılaştırılmıştır. F testleri karşılaştırmalarında ortalamalar arasında anlamlı farklar oluştuğunda Tukey testi karşılaştırmaları yapılmıştır. Tukey testi karşılaştırma sonuçlarından elde edilen çıktılardan istatistiksel olarak farklı gruplar ($P < 0,05$) sonuç grafikleri üzerinde farklı harfler ile gösterilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Lignoselülozik Maddelerin Kimyasal Analiz Sonuçları

Kimyasal analiz sonuçlarına göre Karaçam odunu, MDF tozu ve jüt liflerinin alfaselüloz, hemiselüloz, lignin, ekstraktif madde ve kül miktarları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Lignoselülozik maddelerin kimyasal analiz sonuçları

Lignoselülozik madde	Alfaselüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)	Ekstraktif (%)	Kül (%)
Karaçam odunu	49,347	27,042	17,685	5,48	0,446
MDF tozu	41,102	25,374	31,385	1,2	0,939
Jüt lifi	57,709	28,424	11,303	1,8	0,764

Lignoselülozik maddelerin kimyasal analiz sonuçlarına göre en yüksek selüloz miktarı jüt lifinde belirlenmiş, bunu sırasıyla Karaçam odunu ve MDF tozu takip etmiştir. En yüksek lignin miktarı ise MDF tozunda tespit edilmiş, bunu sırasıyla Karaçam odunu ve jüt lifi takip etmiştir. Ayrıca daha önceden herhangi bir ön muamele görmemesinden dolayı en yüksek ekstraktif madde içeriği Karaçam odununda belirlenmiştir.

Kimyasal analizler sonucunda elde edilen lignoselülozik madde bileşenleri miktarları hem kimyasal modifikasyon işlemlerine hem de kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerine önemli derecede etki etmesi beklenmektedir.

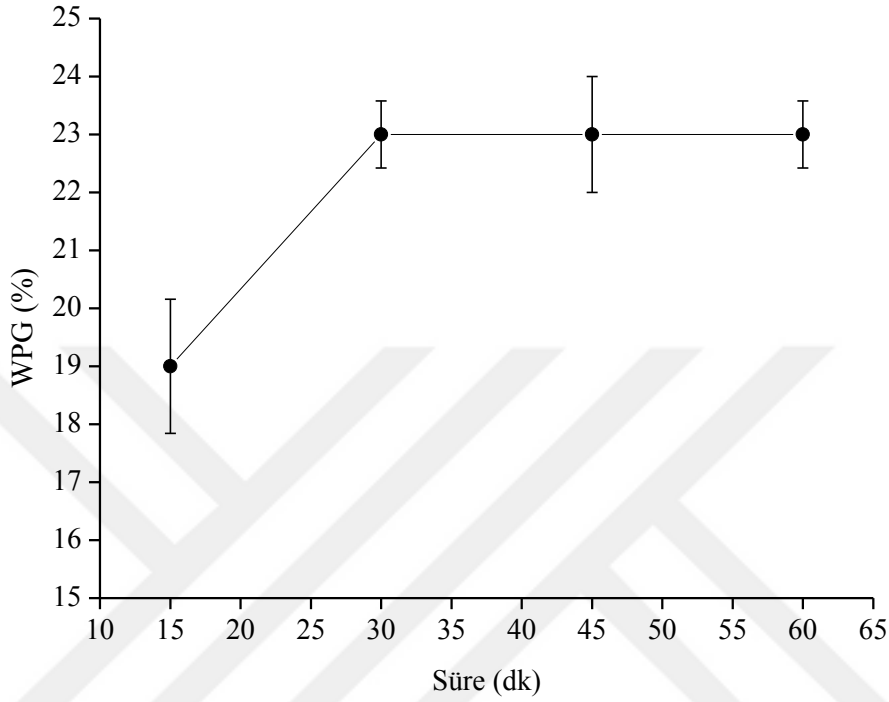
5.2. Kimyasal Modifikasyon Yöntemine Ait Bulgular

5.2.1. Mikrodalga yöntemiyle optimum reaksiyon süresinin belirlenmesi

Mikrodalga yöntemiyle optimum reaksiyon süresinin belirlenmesi için Karaçam odunu AA ile kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Mikrodalga cihazında kimyasal modifikasyon işlemi için ilk başta DMF’nin kaynamaya başladığı sabit bir güç (200 W) seçilerek optimum reaksiyon süresi belirlenmesi yoluna gidilmiştir.

Ratanakamnuan ve arkadaşları (2012), çalışmalarında klasik yöntem ve mikrodalga yöntemine bağlı esterifikasyon reaksiyonu ile atık pamuklu kumaştan selüloz ester sentezi gerçekleştirmişlerdir. Aynı çalışmalarında, selülozun esterifikasyonu için mikrodalga cihazında 90-450 W arasında farklı güç kademelerini denemişlerdir. Ayrıca reaksiyon süresi denemelerinde ise örneklerin optimum reaksiyon sürelerini büyükten küçüğe sırasıyla 180, 150, 120 ve 60 saniye olarak belirlemişlerdir.

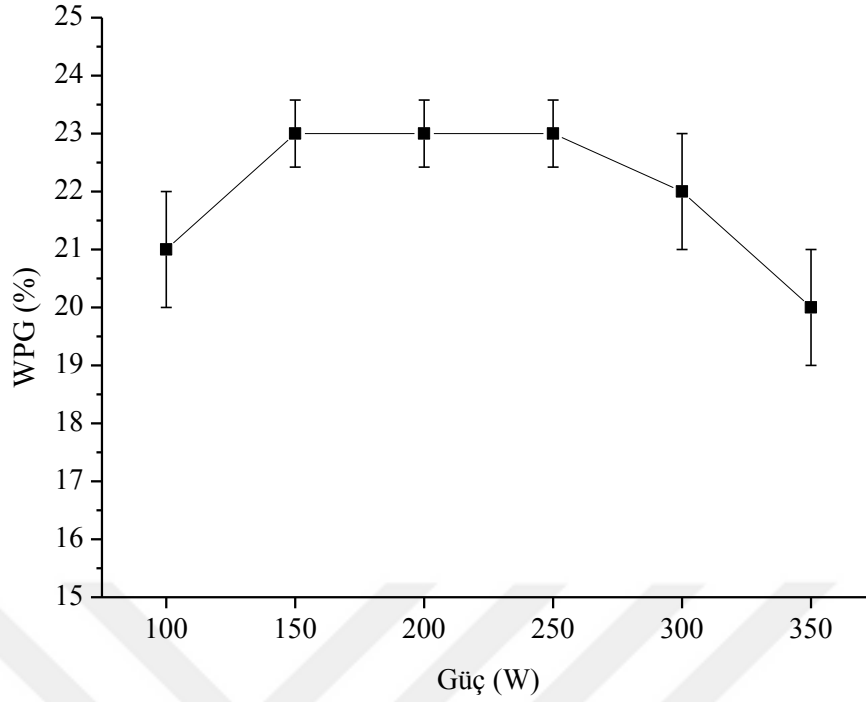
Bu çalışmada yapılan mikrodalga reaksiyonu ön denemelerinde Karaçam odununun AA ile 15 dakikalık reaksiyonu sonrası %19 ağırlık kazancı (WPG) elde edilirken; 30, 45 ve 60 dakikalık reaksiyonlar sonucu maksimum %23 WPG değeri elde edilmiştir (Şekil 5.1)



Şekil 5.1. Reaksiyon süresi ve WPG arasındaki ilişki (Güç: 200 W)

5.2.2. Mikrodalga yöntemiyle optimum güç (W) değerinin belirlenmesi

Karaçam odununun AA ile 200 W güce ayarlı mikrodalga cihazında farklı reaksiyon sürelerinde yapılan kimyasal modifikasyon sonuçlarına göre en uygun reaksiyon süresinin 30 dk olduğu belirlenmiştir. Süre sabit tutulup mikrodalga güç değerinde 50 W'lık artış ve azalış yapılarak gerçekleştirilen reaksiyonlara ait ağırlık kazancı sonuçları Şekil 5.2'de verilmiştir.

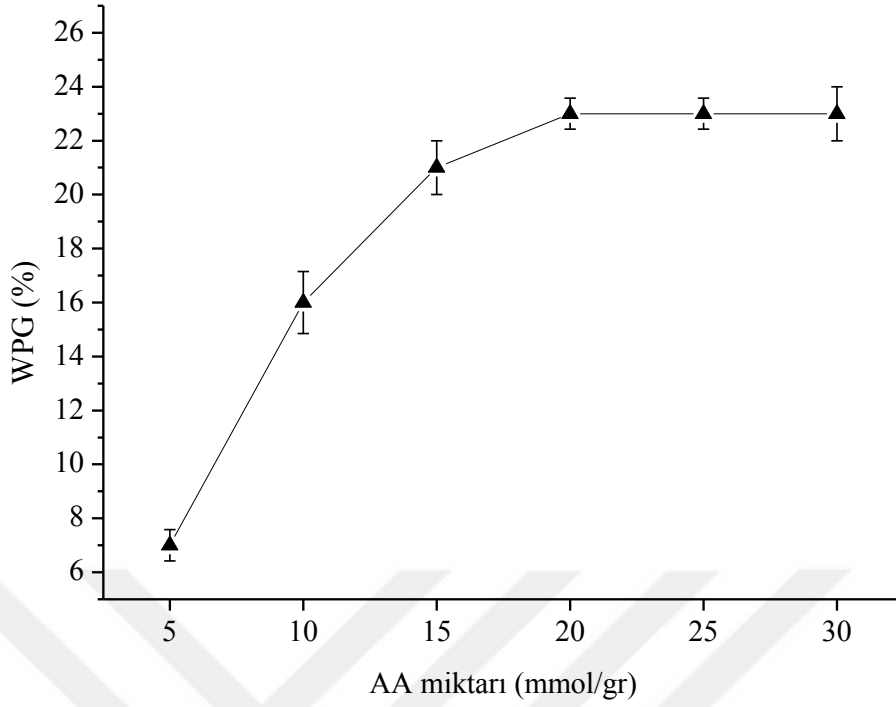


Şekil 5.2. Mikrodalga gücü (W) ile WPG arasındaki ilişki (Süre: 30 dk)

En uygun reaksiyon süresi ve mikrodalga gücünün belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen mikrodalga destekli reaksiyon denemeleri sonuçlarına göre, en uygun mikrodalga gücünün 150-250 W arasında olduğu belirlenmiştir. Ön deneme sonuçlarına göre elde edilen verilerden yola çıkarak mikrodalga cihazında gerçekleştirilen diğer reaksiyonlarda ortalama 200 W güç değeri kullanılmıştır.

5.2.3. Mikrodalga yönteminde optimum kimyasal madde miktarının belirlenmesi

Bu çalışmada kullanılan lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu için modifiye edici kimyasal maddelerin (AA, PA ve BA) miktarları, her 1 g tam kuru Karaçam odununu, MDF tozu ve jüt lifi için ortalama 5 mmol olarak hesaplanmıştır. Optimum kimyasal madde miktarını belirlemek için, hesaplanan bu değer ve bu değer katları şeklinde artışa gidilerek sırasıyla, 5-10-15-20-25-30 mmol seviyelerinde reaksiyonlar gerçekleştirilmiştir. Karaçam odununun farklı mmol miktarlarında AA kullanılarak yapılan kimyasal modifikasyon sonrası elde edilen WPG değerleri Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3. AA miktarı ve WPG arasındaki ilişki (Reaksiyon süresi: 30 dk; güç: 200 W)

Karaçam odun unu ve AA ile mikrodalga cihazında yapılan ön deneme reaksiyonu sonuçlarına göre en düşük ağırlık kazancı 5 mmol seviyesinde %7 olarak hesaplanmış, sonrasında bu değer giderek artış göstererek 20 mmol seviyesinde maksimum değere ulaşarak %23 seviyesinde sabitlenmiştir.

5.2.4. Klasik kimyasal modifikasyon yöntemine ait bulgular

Bu çalışmada yapılan mikrodalga destekli kimyasal modifikasyon yöntemi ile klasik kimyasal modifikasyon yöntemlerini kıyaslamak amacıyla, 24 saat süresince klasik yöntem ile kimyasal modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde her 1 g odun unu 20 mmol AA ile DMF ve K_2CO_3 katalizörlüğü eşliğinde reaksiyona tabi tutulmuş ve sonuç olarak odun ununda %15 ağırlık kazancı elde edilmiştir.

Özmen ve Çetin (2012), Kızılçam odununun AA ve Vinil Asetat (VA) ile klasik yöntemle modifikasyonu çalışmalarında 6 saatlik reaksiyon sonrası AA ile %22, VA ile %18 ağırlık kazancı değeri elde edildiğini bildirmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise Sarıçam odun ununun AA ve VA ile K_2CO_3 katalizliği eşliğinde 6 saat süren kimyasal modifikasyonu sonucu AA ile %24, VA ile %19 ağırlık kazancı elde edildiğini rapor etmişlerdir (Özmen ve ark., 2013).

Akasya ağacı liflerinin geleneksel yöntem ile 24 saat boyunca AA ile kimyasal modifikasyonu sonucunda sırasıyla %4,9-13,7-18,3 olmak üzere üç farklı seviyelerde WPG değeri elde edildiği bildirilmiştir (Mat Taib ve ark., 2010).

Bu çalışmada kullanılan lignoselülozik maddelerin AA, PA ve BA ile kimyasal modifikasyonu sonrası elde edilen WPG değerleri Çizelge 5.2’ de verilmiştir. Burada mikrodalga yönteminde gerçekleştirilen reaksiyonlarda modifiye edici kimyasal madde (AA, PA ve BA) miktarının 5 mmol seviyesinde olması ile lignoselülozik maddelerin WPG değerleri %4-6 arasında, 20 mmol seviyesinde ise %19-23 arasında tespit edilmiştir.

Çizelge 5.2. Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası WPG değerleri

Örnekler	WPG (%)	Örnekler	WPG (%)	Örnekler	WPG (%)
W	0	MDF	0	J	0
WAA4	4	MDFAA5	5	JAA6	6
WAA19	19	MDFAA20	20	JAA21	21
WPA5	5	MDFPA4	4	JPA6	6
WPA22	22	MDFPA21	21	JPA21	21
WBA5	5	MDFBA4	4	JBA5	5
WBA23	23	MDFBA22	22	JBA22	22
WAAK15	15				

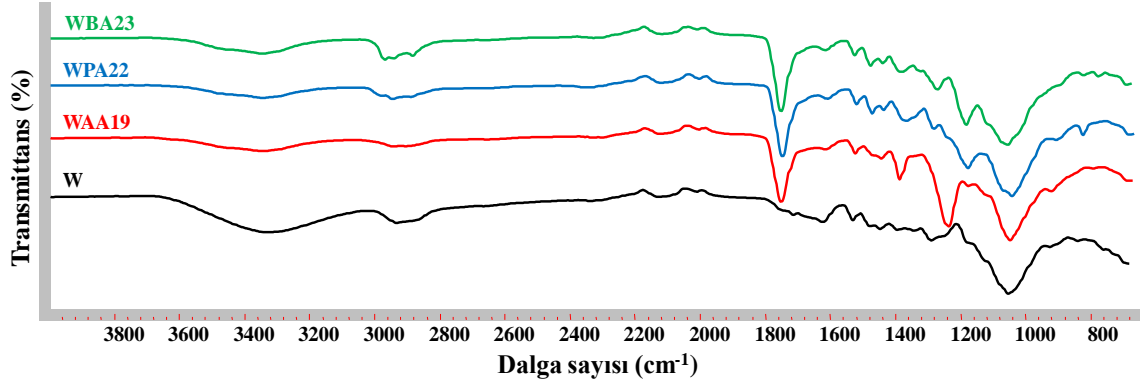
5.2.5. FTIR analizlerine ait bulgular

Lignoselülozik maddelerin FTIR analizi sonuçlarına göre bütün lignoselülozik maddelerde kimyasal modifikasyon işleminin başarı ile gerçekleştiği tespit edilmiştir. Kimyasal modifikasyon sonrası lignoselülozik maddelere bağlanan grupların, FTIR pikleri şiddetlerinde artışa sebep olduğu görülmüştür.

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) odunun kimyasal yapısını karakterize etmek, kağıt hamuru ve odun içerisindeki lignin içeriğini belirlemek için yararlanılan bir tekniktir. Ayrıca farklı işlemlere bağlı olarak odun bileşenlerinde oluşan kimyasal ve yapısal değişikliklerin analizi için de faydalanılmaktadır (Bodirlau ve Teaca, 2009).

AA ve VA ile modifiye edilmiş Kızılcım ve Sedir ağacı odun unlarının FTIR analizleri sonuçlarına göre 1745 cm^{-1} bandındaki karbonil (C=O) gerilme titreşimleri odun unu ile modifiye edici kimyasallar arasındaki ester bağı oluşumunun en önemli kanıtıdır (Çetin ve Özmen, 2011). Benzer şekilde bu çalışmada kullanılan bütün lignoselülozik maddeler ile modifiye edici kimyasallar (AA, PA ve BA) arasındaki esterifikasyon

reaksiyonları sonucu, 1730-1750 cm^{-1} bandı dolayında şiddetli C=O gerilim titreşimleri görülmüştür (Şekil 5.4-5.6).

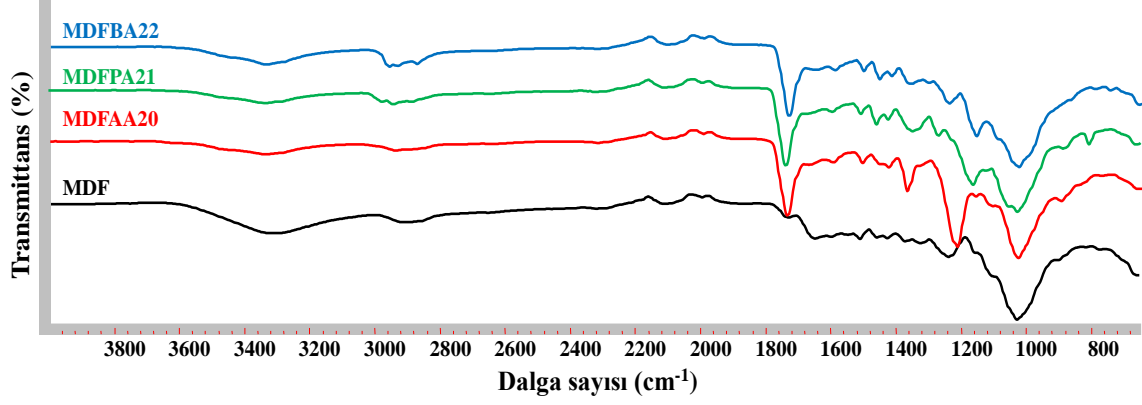


Şekil 5.4. Karaçam odunu kontrol ve kimyasal modifikasyon sonrası en yüksek WPG değerlerine sahip örneklerin FTIR spektrumları

Lignoselülozik maddelerin asetik, propiyonik ve bütirik anhidrit modifikasyonu sonucunda alifatik anhidritlerin karakteristiği olan 1735-1740 cm^{-1} bandı civarında C=O piki görüldüğü belirtilmiştir. Ayrıca 1110 cm^{-1} ve 1298 cm^{-1} bandında C-O gerilim titreşimleri ile 1735 cm^{-1} de metil grubu titreşimleri de görüldüğü bildirilmiştir. Bunlara ek olarak esterifikasyondan dolayı 3200-3600 cm^{-1} arası OH bandı yoğunluğunda azalış görüldüğü belirtilmektedir (Tserki ve ark., 2005; Wei ve ark., 2013). Karaçam odunu, MDF tozu ve jüt lifinin AA, BA ve PA ile yapılan bütün kimyasal modifikasyon işlemleri sonrasında yapılan FTIR analizi sonuçlarından elde edilen spektrumlarda da benzer şekilde 3200-3600 cm^{-1} arası OH bandı yoğunluğunda esterifikasyon reaksiyonları sonucu azalış olduğu görülmüştür (Şekil 5.4-5.6).

Asetil gruplarının karakteristik titreşimleri 1750 cm^{-1} (C=O), 1377 cm^{-1} (CH_3) ve 1180-1300 cm^{-1} (C-O) arasındadır. Ligninin yapısındaki aromatik ve alifatik OH'nin asetilasyonundan sonra sırasıyla 1760 cm^{-1} ve 1740 cm^{-1} 'de iki C=O gerilme titreşimi gözlenir. Ayrıca 2850 ve 2940 cm^{-1} 'deki titreşimlerin metil grubu ve metilin C-O ve C-H gerilmelerinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Jebrane ve ark., 2011).

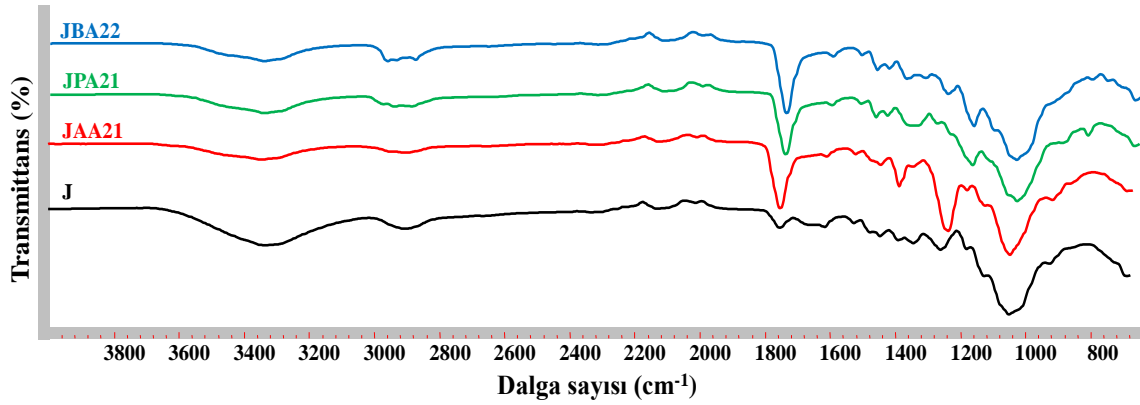
Bu çalışma kapsamında AA, PA ve BA ile modifiye edilen MDF tozunun yapısında, kimyasal modifikasyon sonrası 1735 cm^{-1} bandı dolaylarında C=O gerilme titreşimi görülmüştür (Şekil 4.5). Ayrıca AA modifikasyonu sonrasında da 1370 cm^{-1} ve 1220 cm^{-1} bandında karakteristik C-O gerilme titreşimleri görülmüştür.



Şekil 5.5. MDF tozu kontrol ve kimyasal modifikasyon sonrası en yüksek WPG değerlerine sahip örneklerin FTIR spektrumları

Özmen ve arkadaşları (2013), çalışmalarında Sarıçam odununun AA ile kimyasal modifikasyonu sonrası 1745 cm^{-1} de güçlü C=O gerilim titreşiminin görüldüğünü bildirmişlerdir. Ayrıca 1242 cm^{-1} de asetil gruplarının C-O gerilme titreşimi ve 1375 cm^{-1} de yeni açığa çıkan metil gruplarının C-H eğilme titreşimleri de AA ile odununu arasındaki esterifikasyon reaksiyonunu doğrulamıştır. Bu çalışmada Karaçam odunu, MDF tozu ve jüt lifinin AA ile gerçekleştirilen reaksiyonları sonrası yapılan FTIR analizi sonuçlarında da benzer şekilde 1240 cm^{-1} bandında asetil gruplarından kaynaklı C-O gerilme titreşimleri görülmüştür.

FTIR analizi sonuçlarına göre lignoselülozik maddelerin tamamının $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ arası OH bandı yoğunluğunda, kimyasal modifikasyon sonrası önemli miktarda azalma görülmüştür. Ayrıca PA ve BA ile modifiye edilen Karaçam odunu, MDF tozu ve jüt lifinin 1180 cm^{-1} ve 1290 cm^{-1} bandındaki C-O gerilim titreşiminde artış görülmüştür. 1740 cm^{-1} bandı civarındaki C=O gerilim titreşiminin modifiye edilmemiş MDF tozu ve jüt lifinde modifiye edilmemiş Karaçam odununa kıyasla daha şiddetli görülmesinin sebebinin kimyasal modifikasyondan ziyade hemiselüloz yapısındaki ksilandan ve ayrıca lignin yapısındaki karbonil ve asetil gruplarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca lignoselülozik maddelerin esterifikasyon reaksiyonları $1162\text{-}1229\text{ cm}^{-1}$ bandında yeni bir pikin açığa çıkması ile desteklenmektedir. Bu ise esterleşme sonucu karboksil grubunun C-O gerilimine atfedilmektedir (Tserki ve ark., 2005).



Şekil 5.6. Jüt lifi kontrol ve kimyasal modifikasyon sonrası en yüksek WPG değerlerine sahip örneklerin FTIR spektrumları

Bu çalışmada kullanılan jüt lifinin AA, PA ve BA ile kimyasal modifikasyonu sonrası diğer lignoselülozik maddelerin modifikasyon sonrası elde edilen FTIR spektrumlarına benzer şekilde 1735 cm^{-1} bandında C=O gerilme titreşimi ile AA modifikasyonu sonrasında da 1370 cm^{-1} ve 1220 cm^{-1} bandında karakteristik C-O gerilme titreşimleri görülmüştür (Şekil 5.6).

Wei ve arkadaşları (2013) Kavak odunu liflerini modifiye ettikten sonra YYPE polimer matrisine ilave ederek kompozit malzeme üretmişlerdir. Daha sonra ürettikleri kompozit malzemelerin FTIR analizi sonuçlarından elde ettikleri FTIR spektrumlarının $1800\text{-}1680\text{ cm}^{-1}$ bandı dolaylarında karakteristik C=O bağının, 1715 cm^{-1} 'de karboksilik asitlere özgü bağın, 1734 cm^{-1} 'de ise ester bağının görüldüğünü bildirmişler. Ayrıca elde ettikleri kompozitlere ait FTIR spektrumlarında 1635 cm^{-1} ve 909 cm^{-1} bandındaki piklerin vinil'e ait olan karakteristik C=C bağı olduğunu belirtmişlerdir.

Lignoselülozik maddeler ve bunlardan üretilen kompozit malzemelere ait FTIR spektrumlarının tamamı Ek-1, Ek-2.A ve Ek-2.B'de verilmiştir. AA, PA ve BA ile modifiye edilmiş Karaçam odunu, MDF tozu ve jüt lifi ilaveli YYPE ve PP kompozitlerin FTIR spektrumları incelendiğinde kontrol gruplarına göre anhidrit modifikasyonu sonrası lignoselülozik maddelerin yapısında C=O bağlarından kaynaklanan 1730 cm^{-1} bandı dolaylarında gerilim titreşimleri görülmüştür. Ayrıca kompozit karışımlarına ilave edilen lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyon sonrası elde edilen ağırlık kazancı miktarlarına göre, kompozitlerin karakteristik FTIR piki şiddetlerinde artış gözlenmiştir.

Lignoselülozik maddelere ait bazı karakteristik fonksiyonel grupların FTIR band pozisyonları Çizelge 5.3'te verilmiştir. Önceden belirtildiği ve aşağıdaki çizelgede görüldüğü üzere lignoselülozik maddelerin FTIR bandında birkaç tane önemli fonksiyonel grupları tanımlayan titreşim aralığı vardır. Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası belirtilen bu fonksiyonel grupların titreşim şiddetinde artış veya azalış görülebildiği gibi, band pozisyonlarında kaymalar da görülebilir.

Çizelge 5.3. Lignoselülozik maddelerin FTIR spektrumlarına ait bazı karakteristik fonksiyonel gruplar ve band pozisyonları (Bodirlau ve Teaca, 2009)

Dalga sayısı (cm ⁻¹)	Fonksiyonel gruplar
3450 – 3400	O-H (alkol)
2930 – 2910	C-H (metil ve metilen grubu)
1740 – 1730	C=O (karbonil)
1640 – 1618	C=C (alken)
1515 – 1504	C=C (aromatik)
1462 – 1425	CH ₂ (selüloz ve lignin)
1384 – 1346	C-H (selüloz ve hemiselüloz)
1260 – 1234	O-H (fenolik)
1170 – 1153	O-H (alkoller ve alifatik eterler)
910	C=C (alkenler)

5.2.6. YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerine ait bulgular

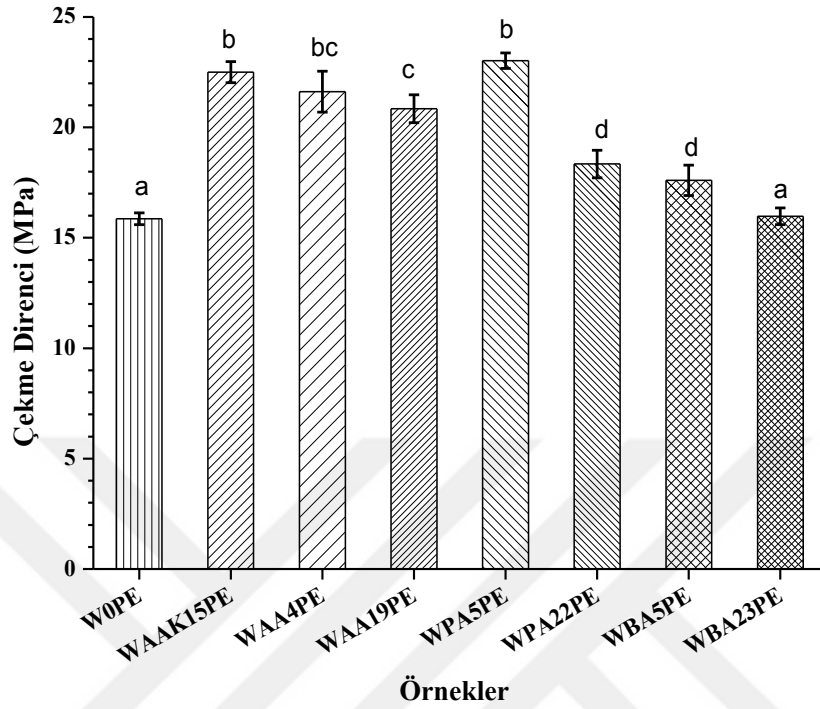
Bu çalışma kapsamında üretilen kimyasal olarak modifiye edilmiş ve kontrol Karaçam odununu, MDF tozu ve jüt lifi ilaveli YYPE ve PP kompozit örneklerinin, çekme, eğilme ve darbe direnci testleri yapılmıştır. Mekanik test sonuçlarından elde edilen bulgular aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

5.2.6.1. YYPE kompozitlerin çekme direnci özelliklerine ait bulgular

Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerden modifiye edilmemiş kontrol grubu kompozit örneğinin çekme direnci değeri 15,86 MPa olarak tespit edilmiştir. Burada elde edilen çekme direnci test sonuçlarına göre kimyasal modifikasyon işlemi ile kompozitlerin çekme direnci değerlerinde kontrol grubu kompozit örneğine kıyasla artış kaydedilmiştir. Modifiye edilmiş gruplar arasında yapılan kıyaslamada ise klasik yöntem ile modifiye edilmiş AA modifiyeli kompozit örneklerinde, mikrodalga yöntemi ile modifiye edilmiş AA modifiyeli kompozit örneklerine kıyasla daha yüksek çekme direnci değeri elde edilmiştir.

AA modifiyeli Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerleri, %22 WPG (yüzde ağırlık kazancı) seviyesinde PA ile modifiye edilmiş Karaçam

odun unu ilaveli YYPE kompozit örneğinden ve her iki WPG seviyesindeki BA modifiyeli kompozit örneklerinden daha yüksek çekme direnci değeri sergilemiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

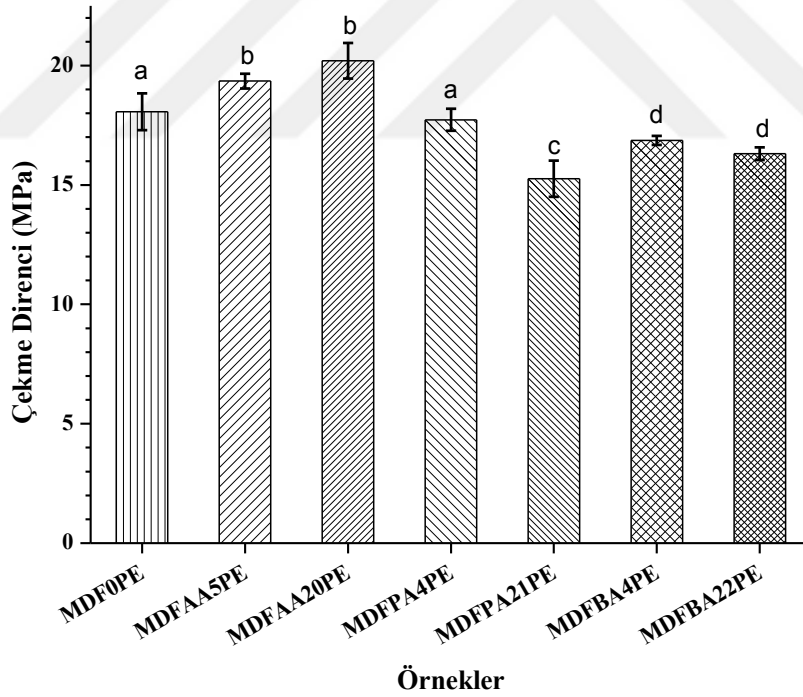
Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direncine ait ANOVA ($\alpha=0,05$) analizi sonuçlarına göre, kimyasal modifikasyon işlemiyle kompozitlerin çekme direnci değerlerinin genel olarak belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. Tukey testi sonuçlarına (Ek-5.A) göre BA (%23 WPG) modifiyeli odun unu ilaveli WBA23PE kompozit örneği ile kontrol odun unundan üretilen W0PE kompozit örneğinin çekme direnci değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin bir fark görülmemiştir.

Karaçam odun unu ilaveli kompozitler arasında en yüksek çekme direnci değeri 23,02 MPa ile PA modifiyeli (%5 WPG) odun unu ilaveli WPA5PE grubu kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Burada WPA5PE grubu kompozit örneği ile klasik yöntem modifiyeli odun unu ilaveli WAAK15PE kompozit örneğinin çekme direnci değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin fark görülmemiştir.

Odunun kimyasal modifikasyonu sonrası yoğunluğunun artması sonucunda mukavemet özelliklerinin büyük oranda arttığı düşünülmektedir. Modifikasyon işlemiyle lignoselülozik maddelerin OH grupları ile yer değiştiren asetil grupları, mevcut odun polimerleri üzerinde yan gruplar oluşturmaktadır. Bunun sonucunda da hidrojen

bağlarının ayrılması ile odunun mukavemet özelliklerinde azalış görülmektedir (Larsson ve Simonson, 1994). Lignoselüloziklerin modifikasyonunda kullanılan kimyasalların zincir uzunluğu artışıyla Karaçam odunu ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerlerinde genel olarak azalma görülmüştür. Bunlara ek olarak düşük WPG seviyeli modifikasyonların, yüksek WPG seviyeli modifikasyonlara göre çekme direnci değerleri üzerinde daha olumlu etki ettiği tespit edilmiştir.

MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerleri Şekil 5.8'de verilmiştir. Burada AA modifiyeli kompozit örneklerinin çekme direnci değerleri kontrol grubu kompozit örneğine kıyasla daha yüksek değer sergilemiştir. Buna karşılık PA ve BA modifiyeli kompozitlerin çekme direnci değerlerinde ise kontrol grubu kompozit örneğine kıyasla bir miktar azalma görülmüştür. Burada kontrol grubu kompozit örneğinin çekme direnci değeri 18,07 MPa, en düşük çekme direnci değeri ise PA modifiyeli (% 21 WPG) MDF tozu ilaveli MDFPA21PE grubu kompozit örneğinde 15,26 MPa olarak tespit edilmiştir.

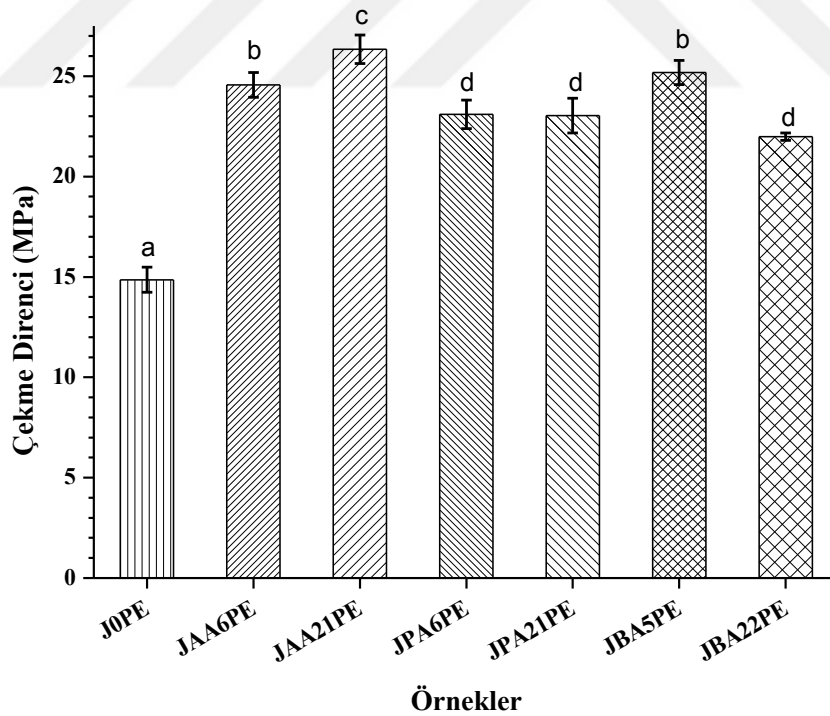


Şekil 5.8. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

MDF tozu ilaveli kompozitler arasında en yüksek çekme direnci değeri 20,2 MPa değeri ile AA modifiyeli (%20 WPG) MDFAA20PE grubu kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Burada MDFAA20PE grubu kompozit örneğinin çekme direnci değeri diğer

kompozit örneklerine göre daha yüksek sergilese, Tukey testi sonuçlarına (Ek-5.A) göre AA modifiyeli (%5 WPG) MDF tozu ilaveli MDFAA5PE grubu kompozit örneği ile aynı istatistik grupta yer almıştır. Ayrıca AA ile modifiye edilmiş kompozit örneklerinde PA ve BA ile modifiye edilmiş kompozit örneklerine kıyasla daha yüksek çekme direnci değerleri elde edilmiştir. Bunlara ek olarak kimyasal modifikasyon işleminde modifiye edici kimyasalın zincir uzunluğu artışı ile MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerlerinde azalma görülmüştür.

Şekil 5.9’da jüt lifi ilaveli YYPE kompozit örneklerinin çekme direnci değerleri verilmiştir. Burada verilen kompozit örneklerinden JOPE kontrol kompozit örneğinin çekme direnci değeri 14,86 MPa olarak tespit edilmiştir. ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonuçlarına göre jüt lifinin kimyasal modifikasyonu ile kompozitlerin çekme direnci değerlerinde belirgin artış görülmüştür. Ayrıca Ek-5.A’da verilen Tukey testi sonuçlarında PA modifiyeli kompozit örnekleri (JPA6PE ve JPA21PE) ile BA modifiyeli (% 22 WPG) JBA22PE kompozit örneğinin çekme direnci değerlerinin istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı görülmüştür.



Şekil 5.9. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

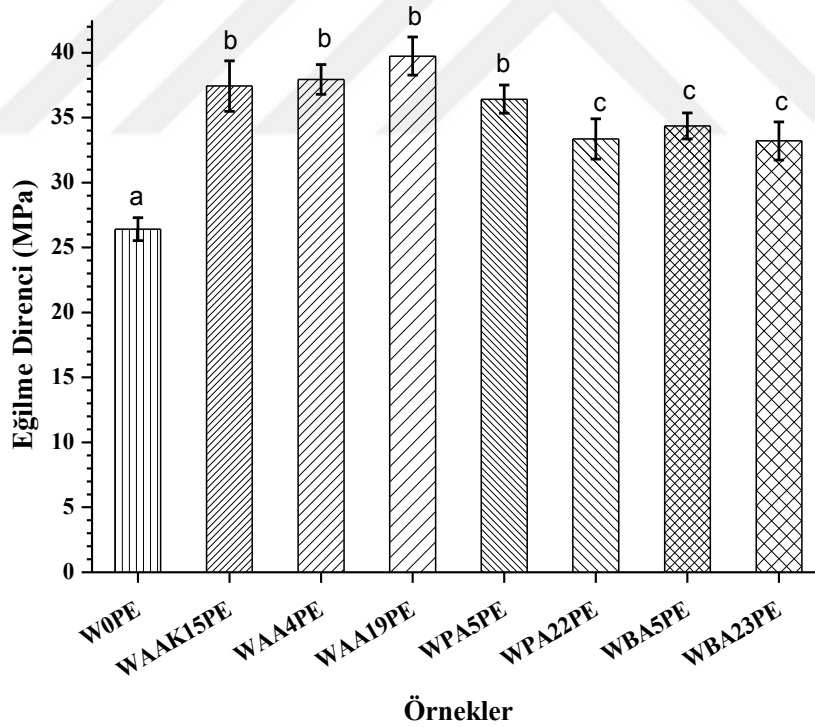
Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerden en yüksek çekme direnci değeri AA modifiyeli (%21 WPG) JAA21PE kompozit örneğinde 26,34 MPa tespit edilmiştir. Diğer

taftan modifiyeli kompozit örnekleri arasında en düşük çekme direnci değeri ise BA modifiyeli (%22 WPG) JBA22PE kompozit örneğinde 21,99 MPa olarak tespit edilmiştir.

Alkali ve Oligomerik siloksan modifiyeli jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerinin, modifiye edilmemiş jüt lifi ilaveli kontrol kompozit örneklerine göre daha iyi mekanik değerler sergilediği bildirilmiştir. Mekanik test sonuçlarında Oligomerik siloksan muameleli jüt lifinin YYPE polimer matrise ilavesiyle kompozit örneklerinin çekme direnci değerlerinde kontrol kompozit örneğine göre yaklaşık %37'lik bir artış görüldüğü bildirilmiştir (Seki ve ark., 2012). Benzer şekilde bu çalışmada da jüt liflerinin AA, PA ve BA ile kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE polimer matrise ilavesiyle elde edilen kompozitlerin çekme direnci değerlerinde, kontrol kompozit örneğine kıyasla yaklaşık %44'lük bir artış tespit edilmiştir.

5.2.6.2. YYPE kompozitlerin eğilme direnci özelliklerine ait bulgular

Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlere ait eğilme direnci değerleri Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerleri ortalama 26,42 MPa olarak belirlenmiş ve kimyasal olarak modifiye edilmiş Karaçam odununun

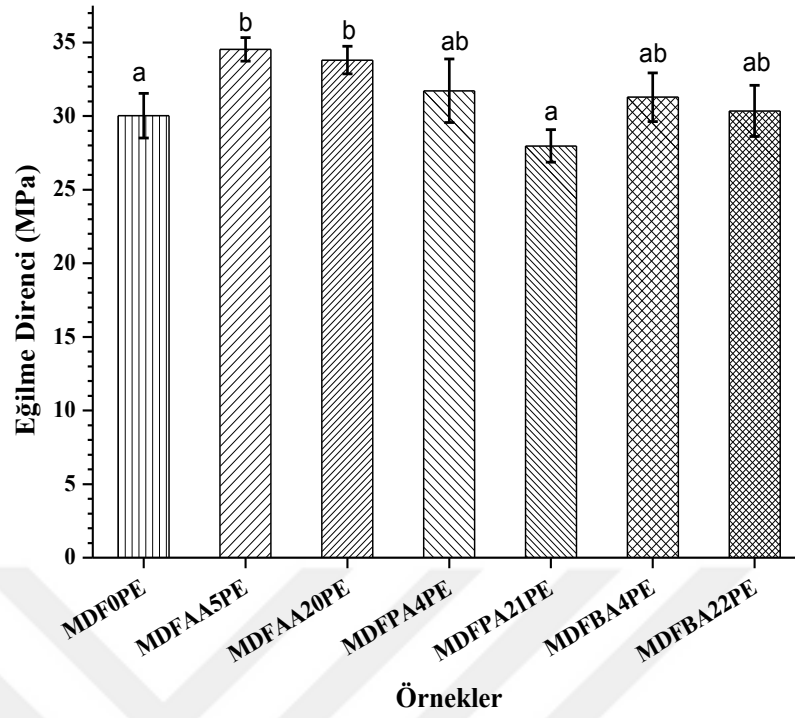
YYPE polimer matrise ilavesiyle elde edilen kompozit örneklerinin eğilme direnci değerlerinin ise kontrol örneğine göre daha yüksek değer sergilediği tespit edilmiştir.

Modifiye edilmiş Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerden en yüksek eğilme direnci değeri 39,74 MPa ile mikrodalga yöntemiyle modifiye edilmiş AA modifiyeli (%19 WPG) WAA19PE kompozit örneğinde tespit edilmiştir. En düşük eğilme direnci ise 33,21 MPa değeri ile BA modifiyeli (%23 WPG) WBA23PE kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Burada modifiye edici kimyasalın zincir uzunluğu artışı ile kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde azalma görülmüştür.

ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonuçlarına göre Karaçam odununun kimyasal modifikasyonu ile kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde belirgin artış kaydedilmiştir. Burada kontrol ve modifiye edilmiş YYPE kompozit örneklerinin eğilme direnci değerleri Tukey testi yapılarak kıyaslama yoluna gidilmiştir. Tukey testi kıyaslamalarına (Ek-5.A) göre modifiye edilmiş odununu ilaveli kompozitlerin tamamının eğilme direnci değerleri, kontrol odununu ilaveli kompozit örneğinin eğilme direnci değerinden istatistiksel olarak farklı grupta yer almıştır.

Sarıçam odununun AA ile modifikasyonu sonrası YYPE matrise ilavesiyle elde edilen kompozitlerin eğilme direnci değerinin kontrol kompozit örneğine göre artış gösterdiği bildirilmiştir (Özmen ve ark., 2013). Benzer şekilde bu çalışmada da Karaçam odununun AA, PA ve BA ile modifikasyonu sonrası YYPE matrise ilavesiyle elde edilen kompozit örneklerinin kontrol kompozit örneğine göre eğilme direnci değerlerinde artış görülmüştür.

Şekil 5.11’de MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerleri verilmiştir. Burada MDF0PE kontrol kompozit örneğinin eğilme direnci değeri 30,03 MPa tespit edilmiştir. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitler arasında en yüksek eğilme direncine sahip kompozit örneği ise 34,53 MPa değeri ile AA modifiyeli (%5 WPG) MDF tozu ilaveli MDFAA5PE kompozit örneğinde tespit edilmiştir.



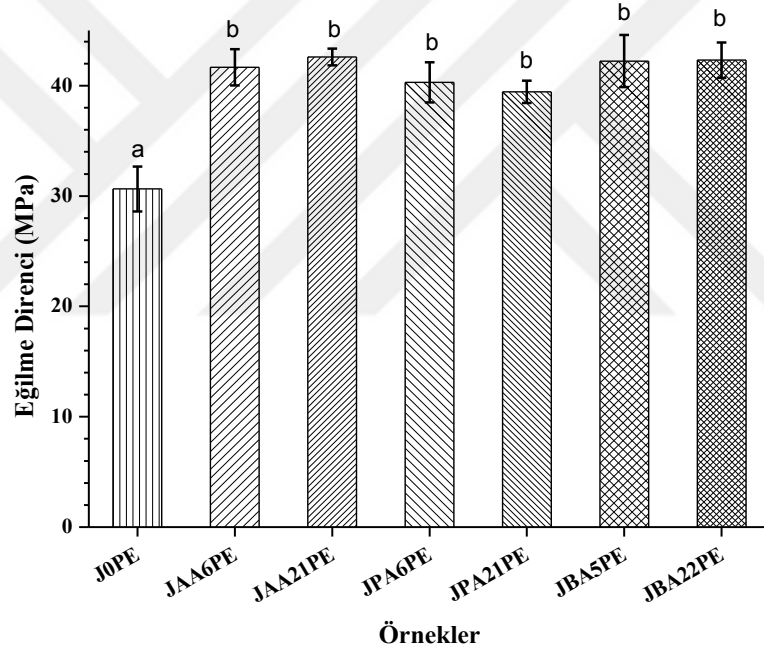
Şekil 5.11. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerleri kimyasal modifikasyon işlemi ile genellikle artış sergilemiştir. Burada sadece PA modifiyeli (%21 WPG) MDFPA21PE kompozit örneğinin eğilme direnci değeri hem kontrol kompozit örneğine hem de diğer kompozit örneklerine göre daha düşük değer sergilemiştir. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerlerini birbirleri ile kıyaslamak için yapılan Tukey testi kıyaslama sonuçlarına (Ek-5.A) göre, kontrol kompozit örneği ile en düşük eğilme direnci değeri sergileyen MDFPA21PE kompozit örneği istatistiksel olarak aynı grup içerisinde yer almıştır. Diğer taraftan PA modifiyeli (%4 WPG) kompozit örneği ile BA (%4-22 WPG) modifiyeli kompozit örneklerinin eğilme direnci değerleri aynı istatistiksel grup içerisinde değerlendirilmiştir.

Vinil asetat ve vinil propiyonat ile modifiye edilmiş Kavak odunu liflerinin YYPE polimer matrisine ağırlıkça %40 oranında ilavesiyle elde edilen kompozitlerin eğilme direnci değerlerinin ağırlıkça aynı oranda kontrol Kavak odunu lifi ilaveli kompozit örneğine göre daha yüksek eğilme direnci değeri sergilediği belirtilmiştir (Wei ve ark., 2013). Bu çalışmada da MDF tozunun AA, PA ve BA ile modifikasyonu sonrasında ağırlıkça %40 oranında YYPE polimer matrisine ilavesiyle elde edilen YYPE

kompozitlerin (MDFPA21PE grubu hariç) eğilme direnci değerleri kontrol kompozit örneğinin eğilme direnci değerine göre artış göstermiştir.

Şekil 5.12’de jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerleri verilmiştir. Burada jüt liflerinin kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE polimer matrisi içerisine ilavesiyle kompozit örneklerinin eğilme direnci değerleri, kontrol kompozit örneğine göre oldukça yüksek değer göstermiştir. Eğilme direnci değerlerinde görülen bu artış miktarı modifiyeli kompozit gruplarının tamamında, kontrol örneğine kıyasla ortalama %25 ve daha fazla değer sergilemiştir. Benzer bir çalışmada, Oligomerik siloksan ile modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerinde kontrol kompozit örneklerine kıyasla yaklaşık %49 oranında artış görüldüğü bildirilmiştir (Seki ve ark., 2012).



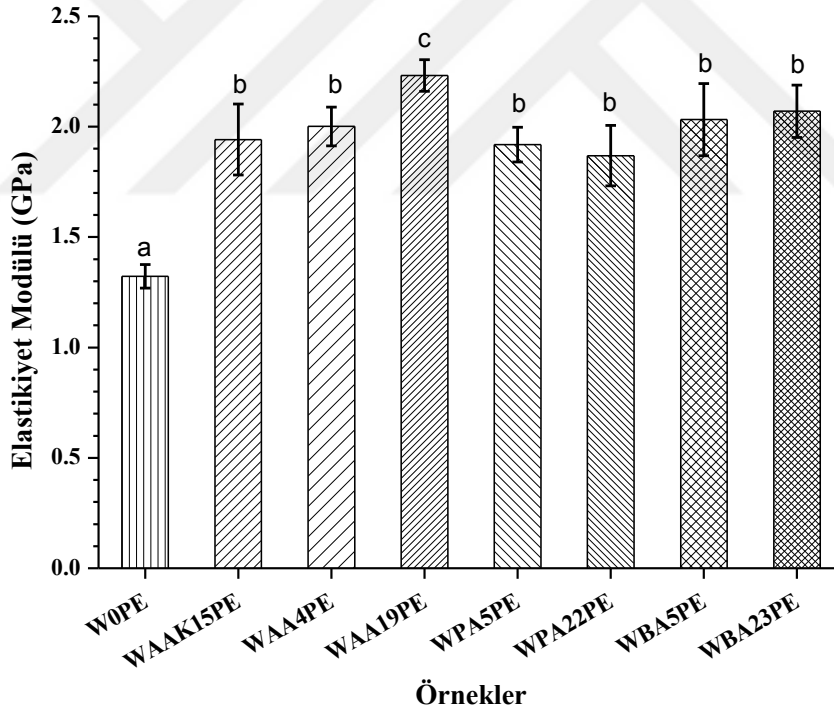
Şekil 5.12. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitler arasında en yüksek eğilme direnci değerini 42,61 MPa ile AA modifiyeli (%21 WPG) JAA21PE kompozit örneği sergilemiştir. Kimyasal olarak modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli YYPE kompozit örnekleri arasında yapılan kıyaslamada ise yaklaşık olarak birbirine benzer eğilme direnci değerleri elde edildiği görülmüştür. Burada en yüksek eğilme direnci değerlerinin AA, PA ve BA modifiyeli kompozitlerde benzer değerler gösterdiği ve modifiye edici kimyasalın zincir uzunluğu ile modifikasyon sonrası elde edilen WPG seviyelerinin, kompozitlerin eğilme

direnci değerlerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonuçlarına göre jüt lifinin kimyasal modifikasyonu ile kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde belirgin artış kaydedilmiştir. Ayrıca Tukey testi sonuçlarında (Ek-5.A) modifiyeli kompozit örneklerinin eğilme direnci değerlerinin aynı istatistiksel grup içerisinde yer aldığı görülmüştür.

5.2.6.3. YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular

Şekil 5.13'te Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri verilmiştir. Karaçam odun ununun kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE polimer matrisine ilavesiyle elde edilen kompozitlerin kontrol kompozit örneğine kıyasla daha yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri sergilediği görülmüştür. Burada en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri kontrol kompozit örneğinde 1,32 GPa olarak, en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri ise mikrodalga yöntemiyle modifiye edilmiş AA modifiyeli (%19 WPG) WAA19PE kompozit örneğinde 2,23 GPa tespit edilmiştir.



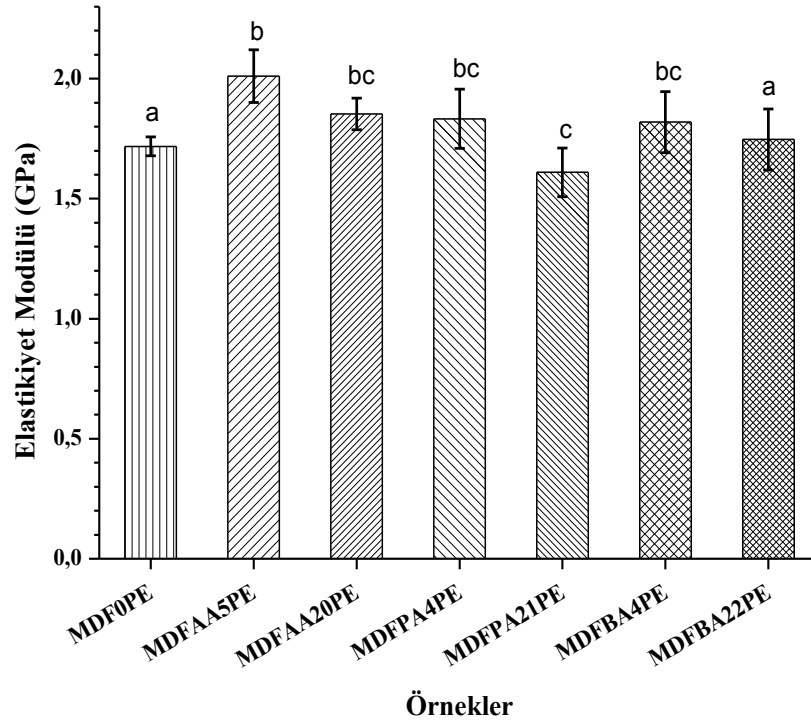
Şekil 5.13. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonuçlarına göre Karaçam odun ununun kimyasal modifikasyonu ile kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde kontrol kompozit örneğine kıyasla belirgin artış kaydedilmiştir. Ayrıca Tukey testi

kıyaslamalarında (Ek-5.A) modifiyeli kompozitlerin (WAA19PE hariç) çekme direnci değerlerinin istatistiksel olarak benzer değerler sergilediği görülmüştür. Kıyaslamalarda WAA19PE kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değeri hem kontrol kompozit örneğine hem de diğer modifiyeli kompozit örneklerine göre farklı istatistik grup içerisinde yer almıştır.

Vinil asetat ve Vinil propiyonat ile modifiye edilmiş odun lifi içeren YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin, kontrol kompozit örneğine göre daha düşük değer sergilediği belirtilmiştir (Wei ve ark., 2013). Diğer bir çalışmada AA modifiyeli odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde, kontrol kompozit örneğine göre %5,8 oranında azalış görüldüğü rapor edilmiştir (Özmen ve ark., 2013). Bu çalışmada ise AA, PA ve BA modifiyeli Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozit örneklerinin tamamının eğilmede elastikiyet modülü değerleri, kontrol kompozit örneğine kıyasla daha iyi değer sergilemiştir. Bunun sebebinin, çalışmada kullanılan reaksiyon yönteminden, odunun yapısından ve diğer (ekstrüzyon, pres vd.) parametrelerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri Şekil 5.14'te verilmiştir.

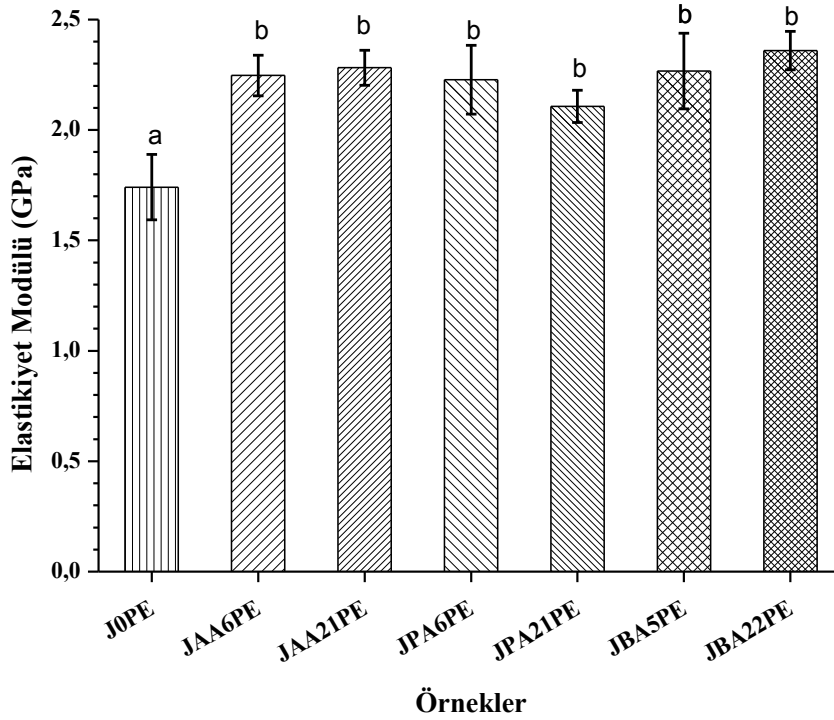


Şekil 5.14. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri 1,61 GPa ile MDFPA21PE kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Diğer taraftan kontrol kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değeri 1,71 GPa olarak tespit edilmiştir. Ayrıca AA modifiyeli (%5 WPG) MDFAA5PE kompozit örneğinde ise 2,01 GPa değeri ile en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri elde edilmiştir.

MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerini kıyaslamak için yapılan ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizinde ortalamalar arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olması sonucu Tukey testi yapılmıştır (Ek-5.A). Tukey testi sonuçlarına göre MDFAA5PE kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değeri kontrol ve diğer modifiyeli kompozit gruplarından daha yüksek değer sergilemesi nedeniyle istatistiksel olarak farklı grupta değerlendirilmiştir. Diğer taraftan MDFBA22PE kompozit örneği ile kontrol kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri aynı istatistik grupta yer almıştır. Ayrıca en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri tespit edilen MDFPA21PE kompozit örneği, kontrol ve modifiyeli kompozit örneklerinden farklı istatistik grupta değerlendirilmiştir.

Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri Şekil 5.15'te verilmiştir.



Şekil 5.15. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

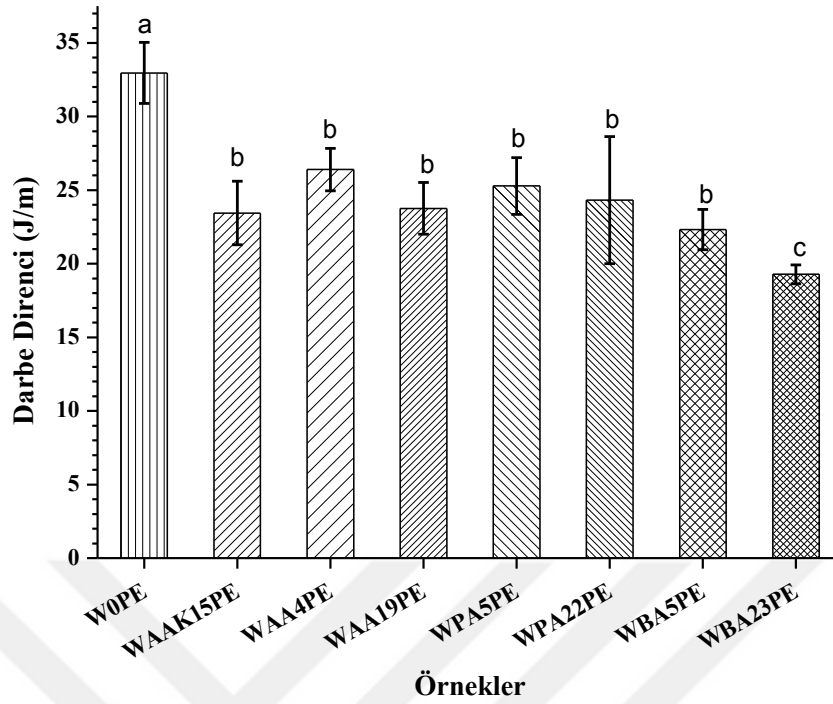
Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerden en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri JOPE kontrol kompozit örneğinde 1,74 GPa tespit edilmiştir. En yüksek eğilmede elastikiyet modüllü değeri ise BA modifiyeli (%22 WPG) JBA22PE kompozit örneğinde görülmüştür. Buradaki kompozit örneklerinin tamamının eğilmede elastikiyet modülü 2 GPa üzerinde bir değer ile birbirine benzer değerler sergilemişlerdir.

ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonuçlarına göre jüt lifinin kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE polimer matrisine ilavesiyle elde edilen kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde kontrol kompozit örneğine kıyasla belirgin artış kaydedilmiştir. Ayrıca jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri Tukey testi yapılarak birbirleri ile kıyaslanmıştır (Ek-5.A). Tukey testi kıyaslama sonuçlarına göre modifiyeli kompozit örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin kontrol kompozit örneğine göre farklı grupta yer aldığı görülmüştür. Diğer taraftan modifiyeli kompozit örneklerinin kendi aralarında yapılan kıyaslamada ise istatistiksel olarak belirgin fark görülmemiştir.

Jüt lifinin Siloksan ile yüzey modifikasyonu sonrası YYPE polimer matrisine ilavesiyle elde edilen kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin, kontrol kompozit örneğine kıyasla yaklaşık %100 artış gösterdiği bildirilmiştir (Seki ve ark., 2012). Benzer şekilde bu çalışmada da jüt lifinin kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE polimer matrisine ilavesiyle elde edilen kompozit örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin, kontrol kompozit örneğine göre daha iyi değerler sergilediği tespit edilmiştir.

5.2.6.4. YYPE kompozitlerin darbe direnci özelliklerine ait bulgular

Şekil 5.16'da Karaçam odunu ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci değerleri verilmiştir. Şekilde açık bir şekilde görüldüğü üzere modifiye edilmiş odunu ilaveli kompozit örneklerinin kontrol kompozit örneğine kıyasla darbe direnci değerlerinde oldukça düşük değerler elde edilmiştir.



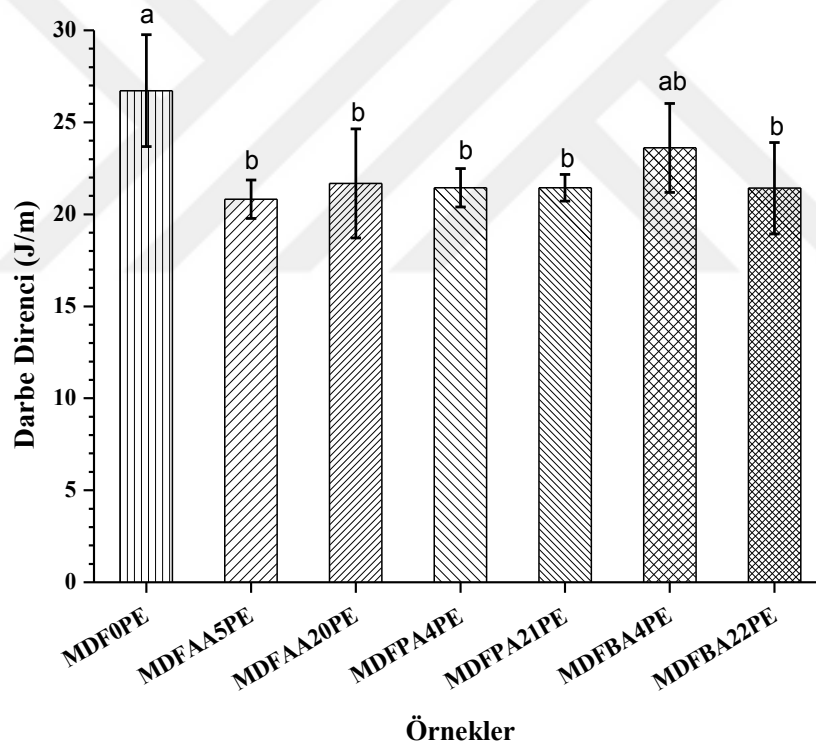
Şekil 5.16. Karaçam odunu ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Karaçam odunu ilaveli YYPE kompozitlerden W0PE kontrol kompozit örneğinin darbe direnci değeri 32,96 J/m ile en yüksek değer olarak tespit edilmiştir. En düşük darbe direnci değeri ise 19,28 J/m ile WBA23PE kompozit örneğinde görülmüştür. Modifiyeli kompozit örnekleri arasında en yüksek darbe direnci değeri ise 26,41 J/m ile mikrodalga yöntemiyle modifiye edilmiş AA modifiyeli (%4 WPG) WAA4PE kompozit örneğinde tespit edilmiştir.

Asetillendirilmiş odunu ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci değerlerinde asetillendirme işleminin herhangi bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir (Özmen ve ark., 2013). Diğer bir çalışmada ise Okalıptus odunu ilaveli YYPE kompozit karışımlarına ilave edilen MAPE'nin darbe direnci değerlerinde azalmalara sebep olduğu bildirilmiş, bunun nedenin ise polimer matris ile artan bağ sonucu odun liflerinde görülen kırılmalardan kaynaklandığı belirtilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008). Bu çalışmada da benzer şekilde Karaçam odununun kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE polimer matrise ilavesiyle elde edilen kompozitlerin darbe direnci değerlerinde azalmalar görülmüştür. Bunlara ek olarak modifiye edici kimyasalların zincir uzunluğu artışı ile kompozitlerin darbe direnci değerlerinde azalış kaydedilmiştir.

ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonucuna göre kimyasal modifikasyon işlemiyle kompozitlerin darbe direnci değerlerinde kontrol kompozit örneğine kıyasla belirgin azalış kaydedilmiştir. Ayrıca kompozitlerin darbe direnci değerleri Tukey testi yapılarak (Ek-5.A) kıyaslanmıştır. Tukey testi kıyaslamalarına göre kontrol kompozit örneğinin darbe direnci değerlerinin diğer kompozit örneklerinin darbe direnci değerlerinden istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca en düşük darbe direnci değerine sahip WBA23PE kompozit örneği ile kontrol ve diğer modifiyeli kompozit örneklerinin darbe direnci değerlerinin istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür. Diğer taraftan WBA23PE kompozit örneği hariç diğer modifiyeli kompozit örneklerinin tamamının darbe direnci değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.17’de MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci değerleri verilmiştir.



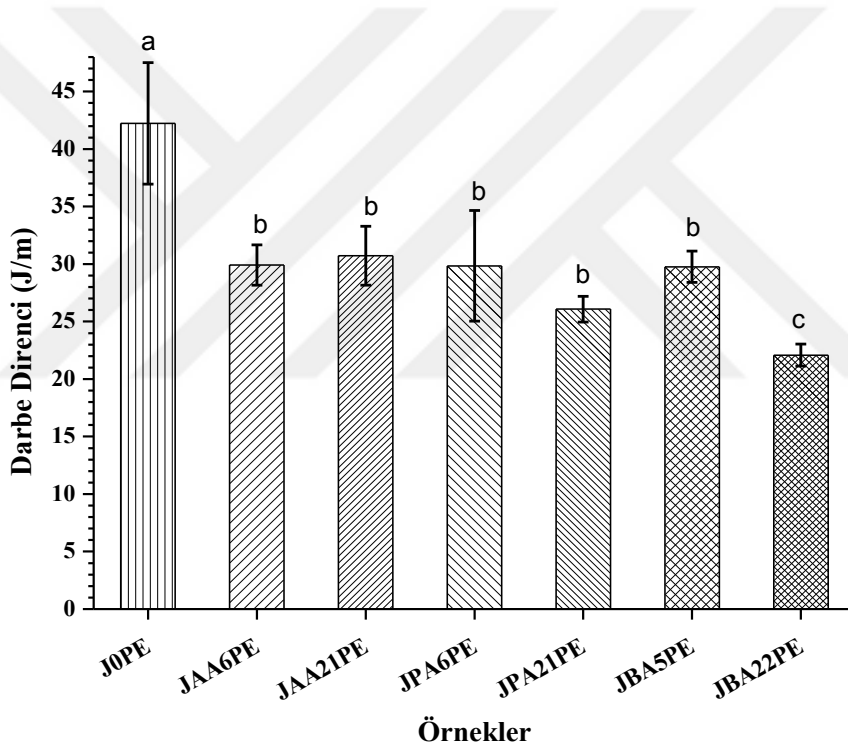
Şekil 5.17. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Burada en düşük darbe direnci değeri MDFAA5PE kompozit örneğinde 20,82 J/m tespit edilmiştir. Diğer taraftan en yüksek darbe direnci değeri 26,73 J/m ile kontrol kompozit örneğinde görülmüştür. Modifiye edilmiş kompozitler arasında en yüksek darbe direnci değeri ise 23,61 J/m ile MDFBA4PE kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Ayrıca

modifiye edici kimyasalın zincir uzunluğu artışı ile kompozitlerin darbe dirençleri arasında herhangi bir ilişkinin olmadığı görülmüştür.

MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci değerlerinin ANOVA ($\alpha=0,05$) analizi sonrası yapılan Tukey testi kıyaslamalarında (Ek-5.A), kontrol kompozit örneğinin darbe direnci değerinin modifiyeli kompozit örnekleri ile farklı gruplarda yer aldığı görülmüştür. Bunlara ek olarak MDFBA4PE kompozit örneği hariç, diğer modifiyeli kompozit örneklerinin darbe direnci değerleri istatistiksel olarak aynı grup içerisinde değerlendirilmiştir.

Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci değerleri Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.18. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

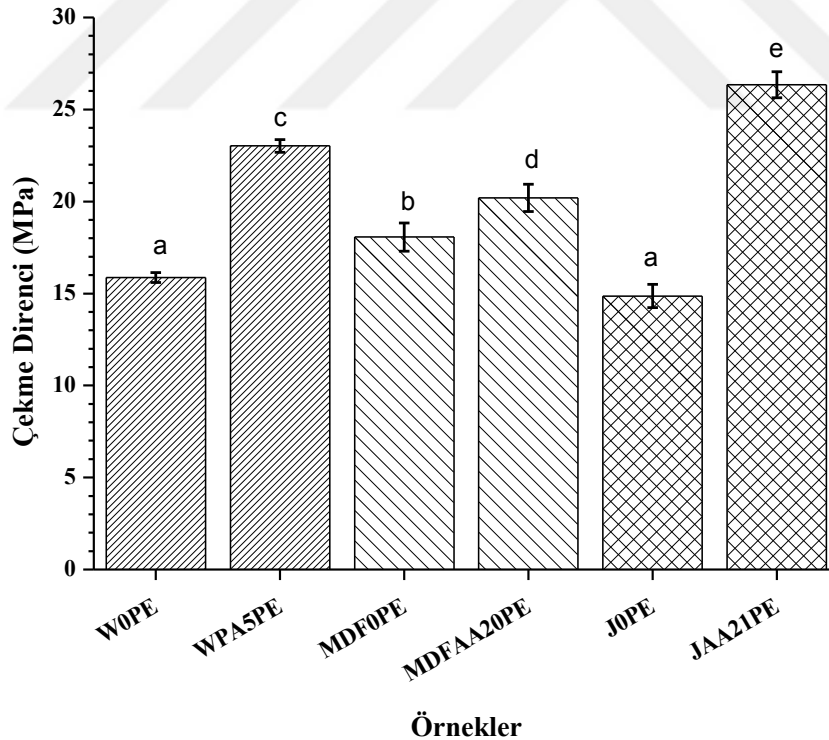
Burada en yüksek darbe direnci değeri 42,24 J/m değeri ile kontrol kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Diğer taraftan en düşük darbe direnci değeri ise 22,08 J/m ile JBA22PE kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Jüt lifinin kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE polimer matrise ilavesiyle elde edilen kompozitlerin darbe direnci değerlerinde önemli miktarda düşüş görülmüştür. Modifiyeli kompozitler arasında en iyi darbe direnci değerleri AA modifiyeli kompozit örneklerinde görülsede, bu kompozit örnekleri istatistiksel olarak diğer modifiyeli kompozit örnekleri ile aynı grupta değerlendirilmiştir.

Diğer taraftan modifiyeli kompozitlerin darbe dirençleri ile modifikasyon sonrası elde edilen WPG değerleri arasında yapılan kıyaslamalarda, WPG değerinin artışı ile genel olarak kompozitlerin darbe direnci değerlerinde azalma görülmüştür.

ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonucuna göre, jüt lifinin kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE polimer matrise ilavesiyle kompozitlerin darbe direnci değerlerinde kontrol kompozit örneğine kıyasla belirgin fark olduğu görülmüştür. Ayrıca kompozitlerin darbe direnci değerleri Tukey testi yapılarak (Ek-5.A) karşılaştırılmıştır. Tukey testi karşılaştırmalarına göre kontrol kompozit örneğinin darbe direnci değeri ile diğer kompozit örneklerinin darbe direnci değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin fark görülmüştür. Bunlara ek olarak JBA22PE kompozit örneği hariç diğer modifiyeli kompozit örneklerinin darbe direnci değerlerinin istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı tespit edilmiştir.

5.2.6.5. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

Şekil 5.19’da farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en iyi çekme direnci özelliği sergileyen kompozit örnekleri verilmiştir.



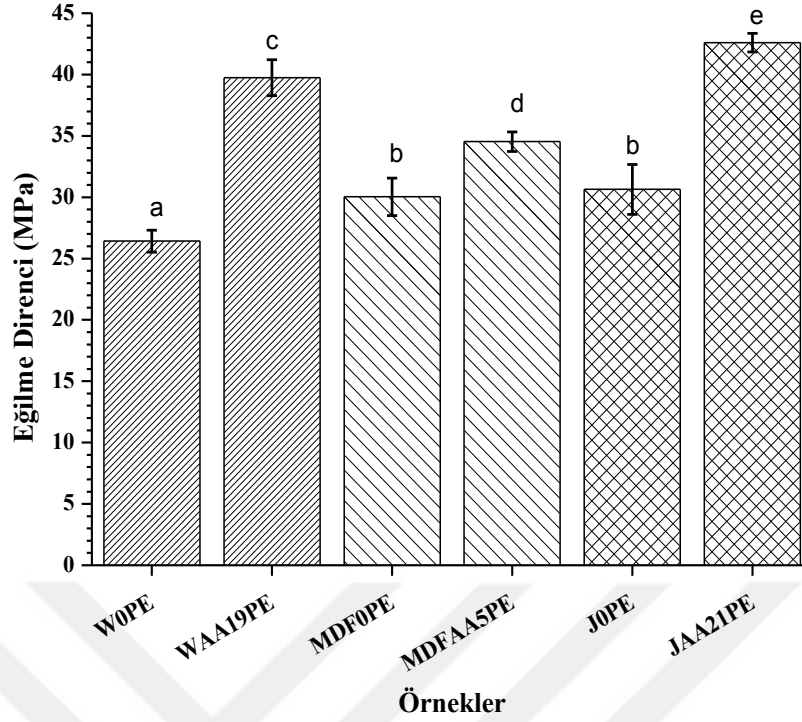
Şekil 5.19. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en iyi çekme direnci özelliği sergileyen kompozit örnekleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Burada en yüksek çekme direnci değeri AA modifiyeli (%21 WPG) JAA21PE kompozit örneğinde 26,34 MPa olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu çekme direnci değerinin aynı grubun kontrol kompozit örneğine göre yaklaşık %44 daha yüksek olduğu görülmüştür. Kontrol kompozit örneklerinin kendi aralarında yapılan kıyaslamada ise en yüksek çekme direnci değeri, 18,07 MPa ile MDF0PE kompozit örneğinde tespit edilmiştir.

AA ile modifiye edilmiş Sarıçam odununun, ağırlıkça %20 oranında YYPE matrise ilavesiyle elde edilen kompozitlerin kontrol kompozit örneklerine göre çekme direnci değerlerinde artış görüldüğü bildirilmiştir (Özmen ve ark., 2013). Bu çalışmada da modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerlerinin kontrol kompozitlerinin çekme direnci değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Diğer bir çalışmada Vinil asetat ve Vinil propiyonat ile modifiye edilmiş odun lifi ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerlerinin, Vinil asetat modifiyeli kompozitlerde 19,6 MPa, Vinil propiyonat modifiyeli kompozitlerde ise 23,7 MPa olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada kontrol kompozit örneği çekme direnci değerinin (15,3 MPa) modifiye edilmiş lif ilaveli kompozitlere göre daha düşük seviyede olduğu rapor edilmiştir (Wei ve ark., 2013).

ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonucuna göre, farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerlerinin kimyasal modifikasyon ile kontrol kompozit örneklerine kıyasla farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Tukey testi sonuçlarına göre (Ek-5.A), kontrol Karaçam odunu ilaveli W0PE kompozit örneğinin çekme direnci değeri ile kontrol jüt lifi ilaveli J0PE kompozit örneğinin çekme direnci değerinin istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı görülmüştür. Bunlara ek olarak kontrol MDF tozu ilaveli MDF0PE kompozit örneğinin çekme direnci değeri farklı grupta değerlendirilmiştir. Ayrıca modifiyeli kompozit örneklerinin farklı istatistik gruplarda yer aldığı görülmüştür.

Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en iyi eğilme direnci özelliği sergileyen kompozit örnekleri Şekil 5.20'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu ile kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde kontrol kompozit örneklerine kıyasla iyileşme kaydedilmiştir.



Şekil 5.20. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en iyi eğilme direnci özelliği sergileyen kompozitler (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden kontrol kompozit örnekleri arasında yapılan kıyaslamaya göre en düşük eğilme direnci değerine sahip kompozit örneğinin 26,42 MPa değeri ile Karaçam odunu ilaveli W0PE kompozit örneği olduğu görülmüştür. En yüksek eğilme direncine sahip kontrol kompozit örneği ise 30,64 MPa değeri ile jüt lifi ilaveli JOPE kompozit örneğinde tespit edilmiştir.

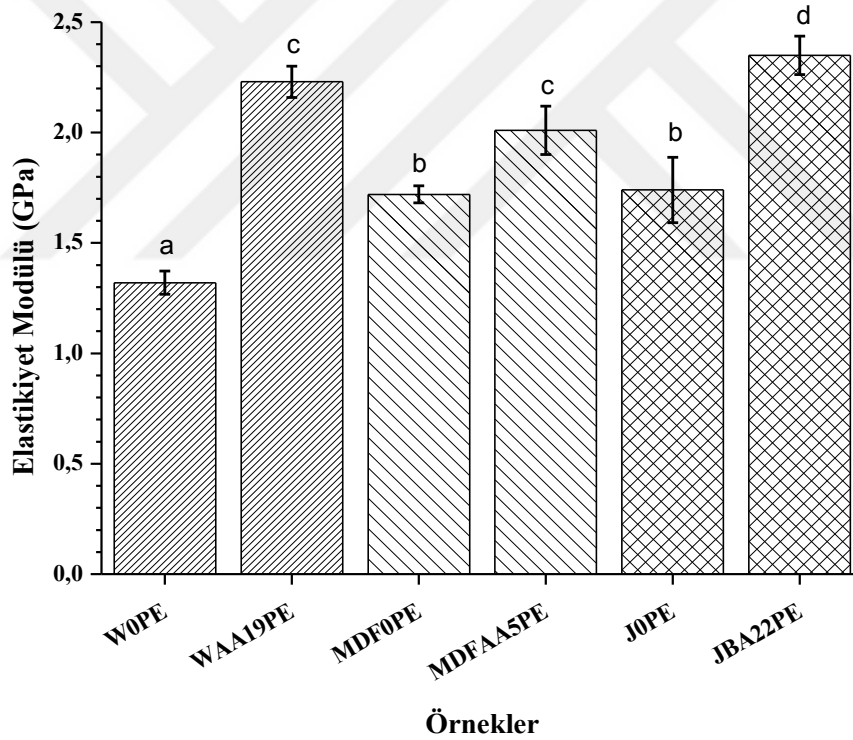
Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en yüksek eğilme direncine sahip kompozit örneği 42,61 MPa değeri ile AA modifiyeli (%21 WPG) jüt lifi ilaveli JAA21PE kompozit örneğinde görülmüştür. JAA21PE kompozit örneğinden sonra en yüksek eğilme direnci değeri AA modifiyeli (%19 WPG) Karaçam odunu ilaveli WAA19PE kompozit örneğinde 39,74 MPa olarak tespit edilmiştir.

ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonucunda, kimyasal modifikasyon işlemi ile kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde farklılık olduğu görülmüştür. Ayrıca kompozit örneklerinin eğilme direnci değerleri Tukey testi yapılarak (Ek-5.A) kıyaslanmıştır. Yapılan Tukey testi kıyaslama sonuçlarına göre JOPE kontrol kompozit örneğinin eğilme direnci değeri ile MDF0PE kontrol kompozit örneğinin eğilme direnci değerinin istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı görülmüştür. Diğer taraftan modifiye edilmiş

kompozit örneklerinin hem kendi aralarında yapılan kıyaslamalarda hem de kontrol kompozit örneklerine göre yapılan kıyaslamalarda farklı istatistiksel gruplarda yer aldığı tespit edilmiştir.

Farklı Etilen vinil asetat (EVA) oranına sahip kimyasal olarak modifiye edilmiş Kavak odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerlerinin EVA oranındaki artış ile birlikte, kontrol kompozitlere göre daha yüksek eğilme direnci değeri sergilediği belirtilmiştir (Li ve ark., 2012). Diğer yandan bu çalışmada da farklı lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrasında YYPE polimer matrise ilavesiyle elde edilen kompozit örneklerinin, kontrol kompozit örneklerine göre daha iyi eğilme direnci değeri sergilediği görülmüştür.

Şekil 5.21’de farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerlerini sergileyen kompozit örnekleri verilmiştir.



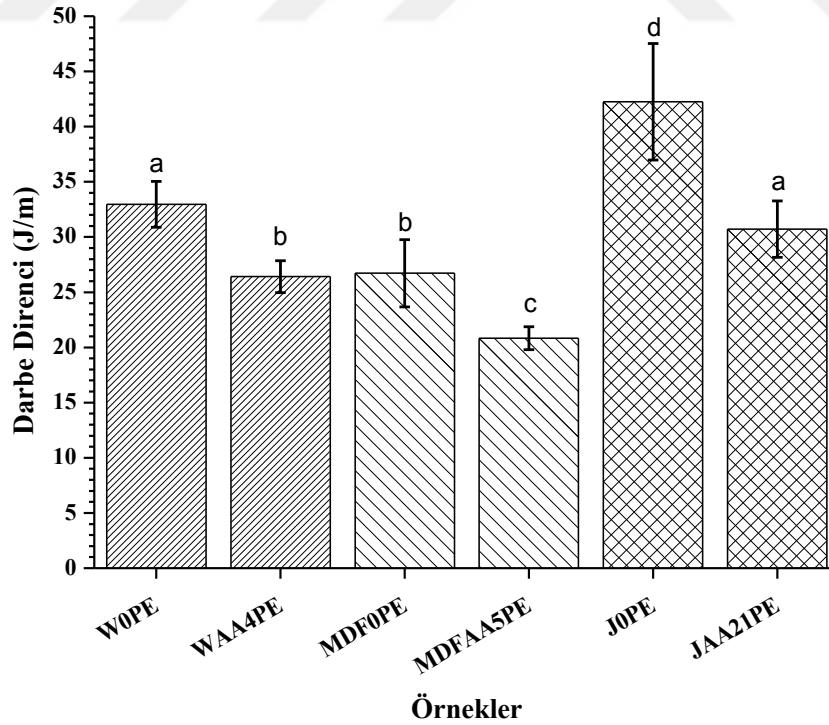
Şekil 5.21. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerini sergileyen kompozitler (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE matrise ilavesiyle kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artış görülmüştür. Bu artış 2,35 GPa ile BA modifiyeli (%22 WPG) jüt lifi ilaveli JBA22PE kompozit örneğinde en yüksek değerini göstermiştir. Diğer taraftan AA modifiyeli (%19 WPG) Karaçam odun

unu ilaveli WAA19PE kompozit örneği de en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerini sergileyen ikinci kompozit örneği olarak belirlenmiştir.

Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden kontrol kompozit örnekleri arasında yapılan kıyaslamada 1,32 GPa değeri ile en düşük eğilmede elastikiyet modülü değerine sahip kompozit örneğinin Karaçam odunu unu ilaveli WOPE kontrol kompozit örneği olduğu görülmüştür. Diğer taraftan MDF ve jüt lifi ilaveli kontrol kompozit örneklerinde benzer eğilmede elastikiyet modülü değerleri elde edilmiştir. ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonucunda, kimyasal modifikasyon işlemi ile kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde kontrol kompozit örneklerine göre farklılık görülmüştür. Ayrıca Tukey testi kıyaslamalarında (Ek-5.A) JOPE ve MDF0PE kontrol kompozit örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı görülmüştür. Bunlara ek olarak MDFAA5PE kompozit örneği ile WAA19PE kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri aynı istatistiksel grupta yer almıştır.

Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en iyi darbe direnci özelliğini sergileyen kompozit örnekleri Şekil 5.22’de verilmiştir.



Şekil 5.22. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en iyi darbe direnci özelliği sergileyen kompozitler (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en iyi darbe direnci değeri AA modifiyeli (%21 WPG) jüt lifi ilaveli JAA21PE kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Diğer taraftan kontrol kompozit örnekleri arasında en iyi darbe direnci değeri ise jüt lifi ilaveli JOPE kompozit örneğinde tespit edilmiştir.

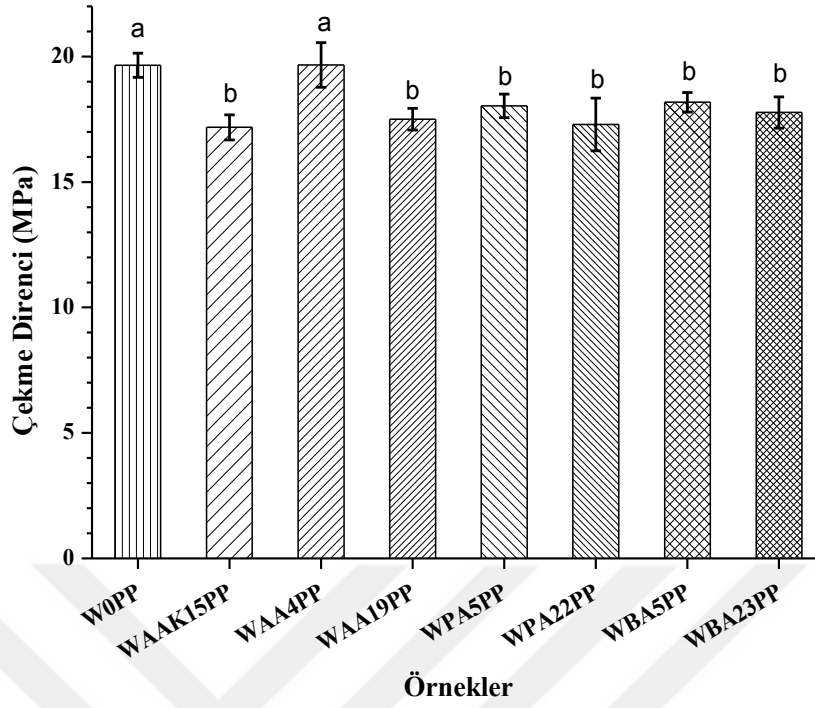
Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden en yüksek darbe direncine sahip kompozit örneği 42,24 J/m değeri ile jüt lifi ilaveli JOPE kontrol kompozit örneğinde görülmüştür. Diğer taraftan en düşük darbe direnci değeri 20,82 J/m ile AA modifiyeli (%5 WPG) MDF tozu ilaveli MDFAA5PE kompozit örneğinde tespit edilmiştir. ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonrası yapılan Tukey testi (Ek-5.A) ile kompozit örneklerinin darbe direnci değerleri karşılaştırılmıştır. Tukey testi karşılaştırmalarında MDF0PE kompozit örneği ile WAA4PE kompozit örneğinin darbe direnci değerleri istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Diğer taraftan darbe direnci değerleri bakımından JAA21PE kompozit örneği ile W0PE kompozit örneği aynı istatistiksel grupta değerlendirilmiştir. Ayrıca en yüksek darbe direnci değerini sergileyen JOPE kontrol kompozit örneği ile diğer kompozit örneklerinin darbe direnci değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin fark olduğu görülmüştür.

Lignoselülozik maddelerin modifiye edilmiş reaktif uç kısımları ile YYPE arasında zayıf van der Waals etkileşimleri olduğundan, polimer zincirleri ile modifiye edilmiş lignoselülozik maddeler arasındaki mesafe asetil, propil ve bütül gruplarında farklıdır. Burada AA ile modifikasyon sonrası elde edilen lignoselülozik maddelerdeki asetil grubunun propil ve bütül gruplarına kıyasla daha küçük olması nedeniyle polimer zincirine daha yakın olduğu, bunun neticesinde AA modifiyeli YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerinin genel olarak PA ve BA modifiyeli kompozitlere göre daha üstün özellikler sergilediği tespit edilmiştir.

5.2.7. PP kompozitlerin mekanik özelliklerine ait bulgular

5.2.7.1. PP kompozitlerin çekme direnci özelliklerine ait bulgular

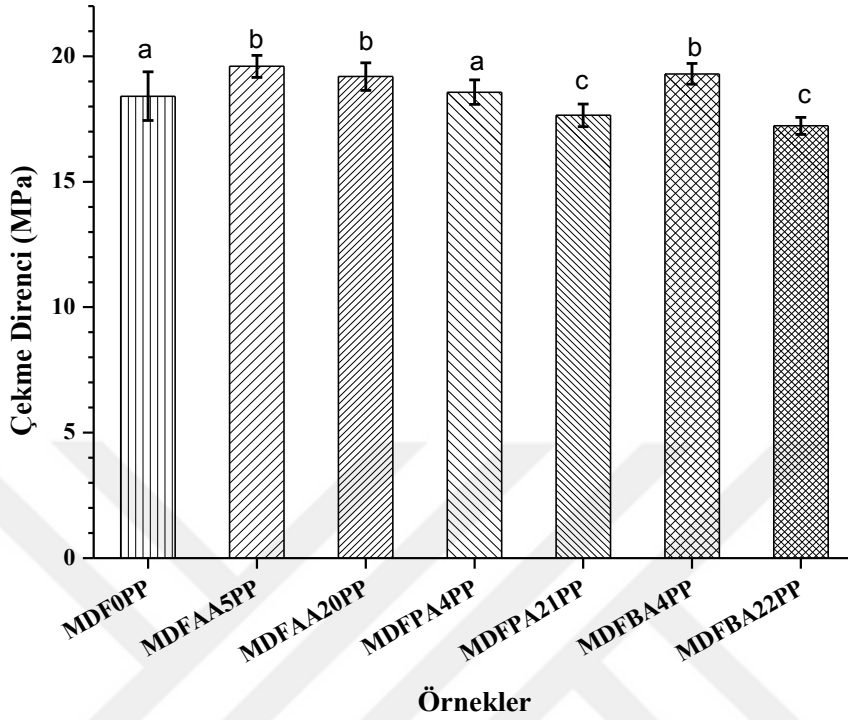
Şekil 5.23'te Karaçam odununu ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci değerleri verilmiştir. Burada en yüksek çekme direnci değeri 19,67 MPa ile AA modifiyeli (%4 WPG) WAA4PP kompozit örneğinde görülmüştür.



Şekil 5.23. Karaçam odunu ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

WAA4PP kompozit örneğinden sonra en yüksek çekme direnci değeri ise kontrol kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak en düşük çekme direnci değeri 17,18 MPa ile klasik yöntem AA modifiyeli (%15 WPG) WAAK15PP kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Kompozitlerin ANOVA ($\alpha = 0,05$) analizi sonuçlarına göre kimyasal modifikasyon sonrası çekme direnci değerlerinde genel olarak belirgin farklılık görülmüştür. Ayrıca Tukey testi sonuçlarına göre (Ek-5.B) kompozitlerden en yüksek çekme direncine sahip WAA4PP kompozit örneği ile kontrol kompozit örneğinin çekme direnci değerleri istatistiksel olarak benzer grupta yer almıştır. Diğer taraftan WAA4PP kompozit örneği ve kontrol kompozit örneğinin çekme direnci değerleri diğer kompozit örneklerinin çekme direnci değerlerinden istatistiksel olarak farklılık göstermiştir. Ayrıca WAA4PP kompozit örneği hariç diğer modifiyeli kompozit örneklerinin çekme direnci değerlerinin kıyaslamalarında istatistiksel olarak farklılık görülmemiştir. Odun liflerinin alkalizasyonu sonrası PP polimer matrisine ilavesiyle elde edilen kompozitlerin kontrol kompozitlere göre çekme direnci değerlerinde artış görüldüğü bildirilmiştir (Gwon ve ark., 2010b). Bu çalışmada modifiye edici kimyasalların zincir uzunluğu artışı ile kompozitlerin çekme direnci değerleri arasında genel olarak herhangi bir ilişki bulunamamıştır.

MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci değerleri Şekil 5.24'te verilmiştir.

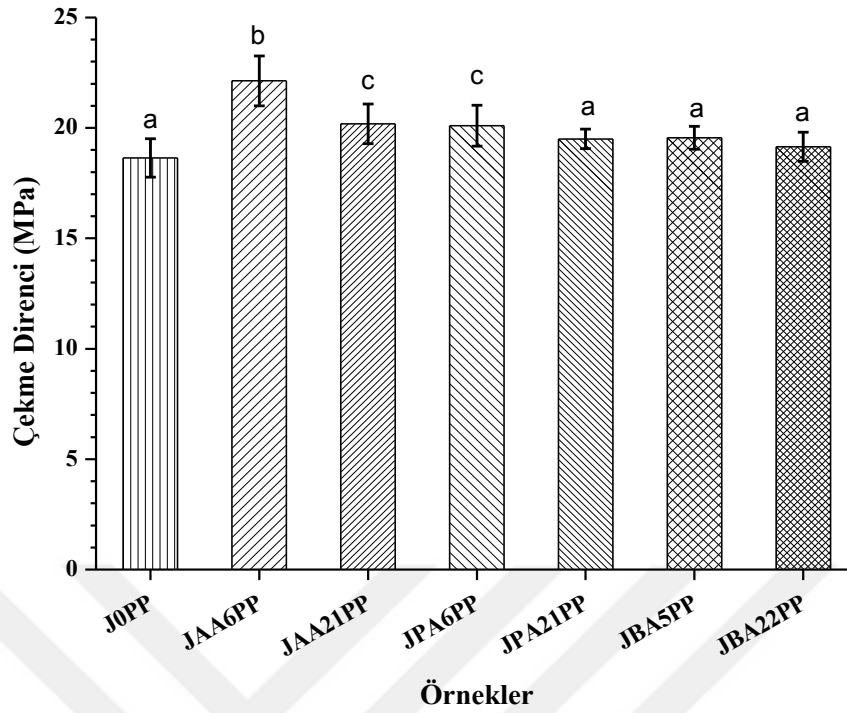


Şekil 5.24. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

MDF tozu ilaveli PP kompozitlerden düşük WPG seviyesinde modifiye edilmiş kompozit örneklerinin çekme direnci değerlerinde, kontrol kompozit örneğinin çekme direnci değerlerine göre bir miktar artış kaydedilmiştir. Burada 19,60 MPa ile en yüksek çekme direnci değeri AA modifiyeli (%5 WPG) MDFAA5PP kompozit örneğinde görülmüştür.

MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci değerleri ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonucuna göre Tukey testi yapılarak (Ek-5.B) karşılaştırılmıştır. Tukey testi karşılaştırma sonuçlarına göre en düşük çekme direnci değeri sergileyen MDFBA22PP ve MDFFA21PP kompozit örneklerinin istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı görülmüştür. Diğer taraftan en yüksek çekme direnci değerine sahip MDFAA5PP kompozit örneği ile MDFAA20PP ve MDFBA4PP kompozit örneklerinin istatistiksel olarak benzer grupta yer aldığı görülmüştür.

Şekil 5.25'te jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci değerleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere kompozitler arasında en yüksek çekme direnci değerini 22,13 MPa ile AA modifiyeli (%6 WPG) JAA6PP kompozit örneği sergilemiştir.

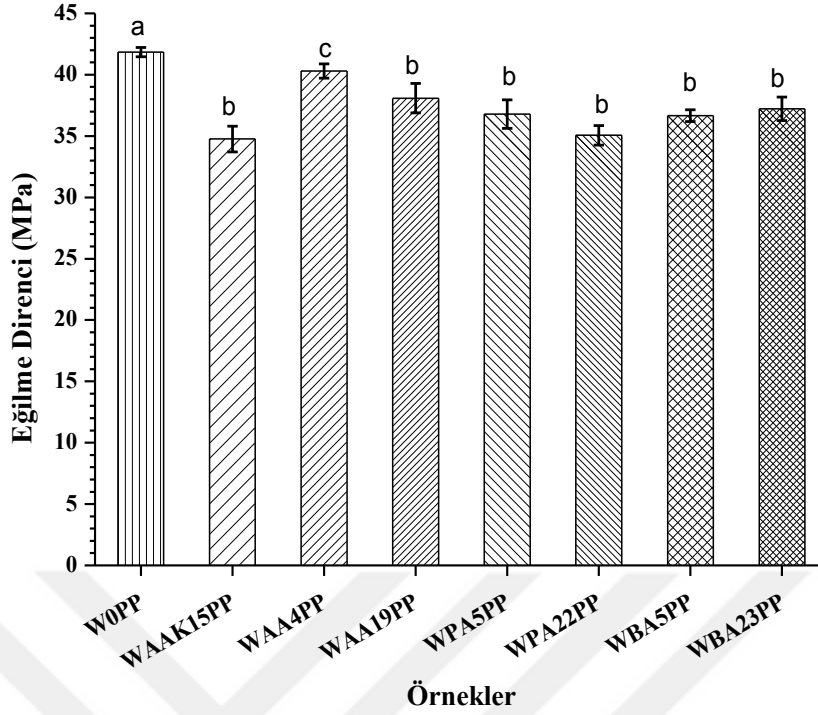


Şekil 5.25. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Jüt lifi ilaveli PP kompozitler arasında en düşük çekme direncine sahip kompozit örneği 18,64 MPa değeri ile kontrol kompozit örneğinde tespit edilmiştir. ANOVA ($\alpha=0,05$) analizi sonrasında yapılan Tukey testinde (Ek-5.B), modifiyeli kompozitlerden JAA6PP kompozit örneği hariç diğer kompozit örneklerinin çekme direnci değerleri birbirine benzer sonuçlar sergilemiştir. Burada JAA6PP kompozit örneğinin çekme direnci değeri hem kontrol kompozit örneğine hem de diğer modifiyeli kompozit örneklerine göre istatistiksel olarak farklı bulunmuştur.

5.2.7.2. PP kompozitlerin eğilme direnci özelliklerine ait bulgular

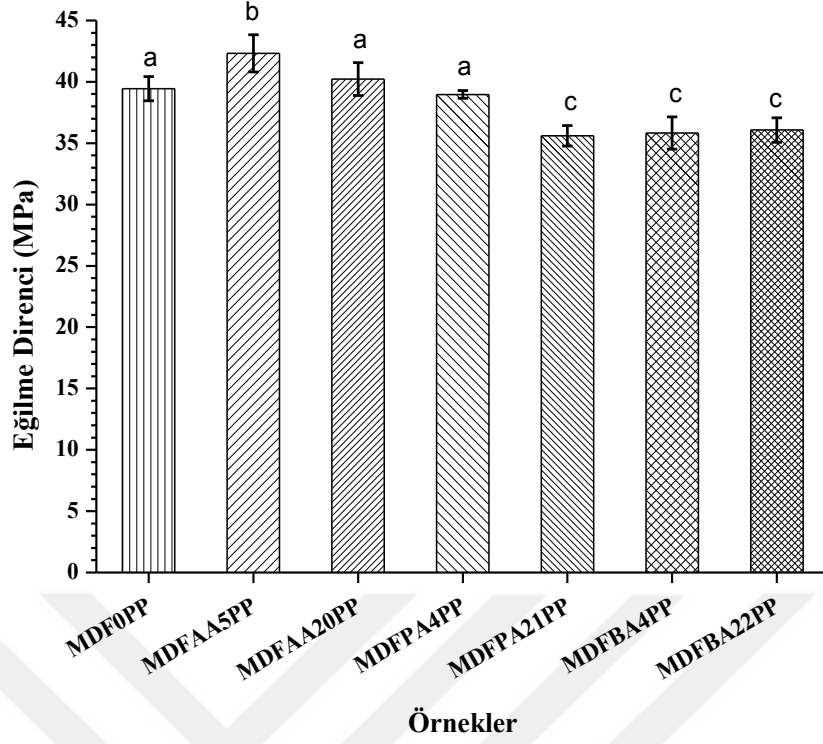
Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci değerleri Şekil 5.26'da verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere kimyasal modifikasyon sonrası kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde düşme görülmüştür. Burada kontrol kompozit örneğinin eğilme direnci değeri 41,85 MPa ile en yüksek değeri sergilemiştir. Kimyasal modifiyeli kompozitler arasında en yüksek eğilme direnci değeri 40,29 MPa ile AA modifiyeli (%4 WPG) WAA4PP kompozit örneğinde görülmüştür.



Şekil 5.26. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Kimyasal modifiyeli kompozitler arasında en düşük eğilme direnci değeri 34,76 MPa ile klasik yöntem AA modifiyeli (%15 WPG) WAAK15PP kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin eğilme direncine ait ANOVA ($\alpha=0,05$) analizi sonuçlarında, kimyasal modifikasyon işleminin eğilme direnci değerlerinde belirgin farklılıklara sebep olduğu görülmüştür. Ek-5.B'de verilen Tukey testi karşılaştırmalarında klasik yöntem AA modifiyeli (%15 WPG) WAAK15PP kompozit örneği ve mikrodalga yöntemi AA modifiyeli (%19 WPG) WAA19PP kompozit örnekleri ile PA ve BA modifiyeli kompozit örneklerinin eğilme direnci değerleri istatistiksel olarak aynı grupta değerlendirilmiştir. Burada verilen modifiyeli gruplar arasında sadece WAA4PP kompozit örneği farklı istatistik grup içerisinde değerlendirilmiştir.

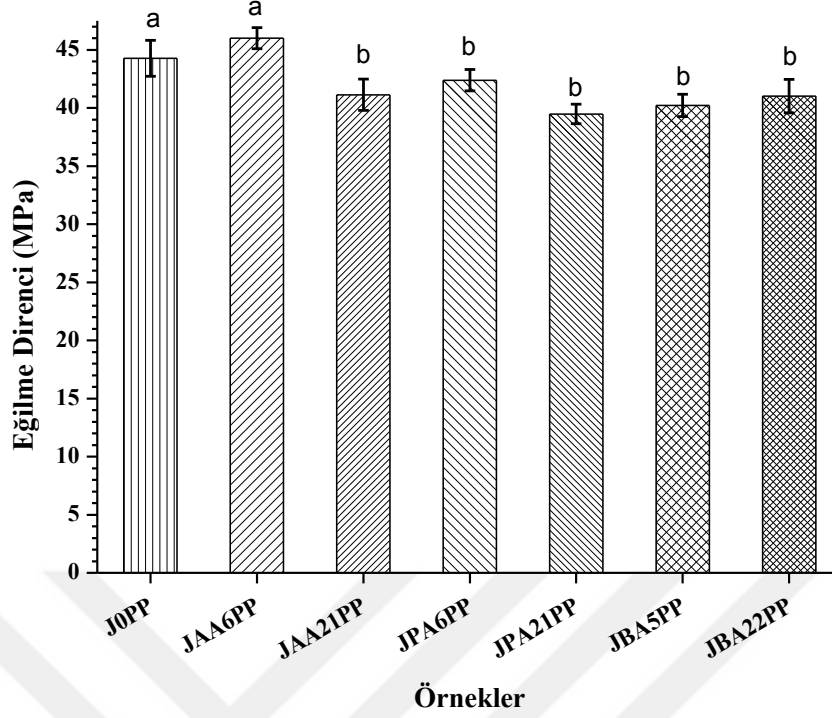
Şekil 5.27'de MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci değerleri verilmiştir. Burada en yüksek eğilme direnci 42,33 MPa değeri ile MDFAA5PP kompozit örneğinde, en düşük eğilme direnci ise 35,60 MPa değeri ile MDFPA21PP kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Ayrıca 39,44 MPa değeri ile kontrol kompozit örneği PA ve BA modifiyeli kompozit örneklerine göre daha yüksek eğilme direnci değeri sergilemiştir.



Şekil 5.27. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonrasında yapılan Tukey testi (Ek-5.B) kıyaslamalarına göre MDF tozu ilaveli kompozitlerden MDFAA5PP kompozit örneğinin eğilme direnci değeri ile kontrol kompozit örneğinin eğilme direnci değerlerinin istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür. Bunlara ek olarak MDFPA4PP kompozit örneği hariç PA ve BA modifiyeli kompozitlerin eğilme direnci değerlerinin istatistiksel olarak birbirinden farksız olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca MDFAA20PP ve MDFPA4PP kompozit örneklerinin eğilme direnci değerlerinde kontrol kompozit örneğine göre istatistiksel olarak belirgin fark görülmemiştir.

Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci değerleri Şekil 5.28’de verilmiştir. Burada kontrol kompozit örneğinin eğilme direnci 44,27 MPa olarak tespit edilmiştir. Ayrıca kompozitler arasında en yüksek eğilme direnci değeri 46,01 MPa ile AA modifiyeli (%6 WPG) JAA6PP kompozit örneğinde, en düşük eğilme direnci değeri ise 39,48 MPa ile PA modifiyeli (%21 WPG) JPA21PP kompozit örneğinde tespit edilmiştir.

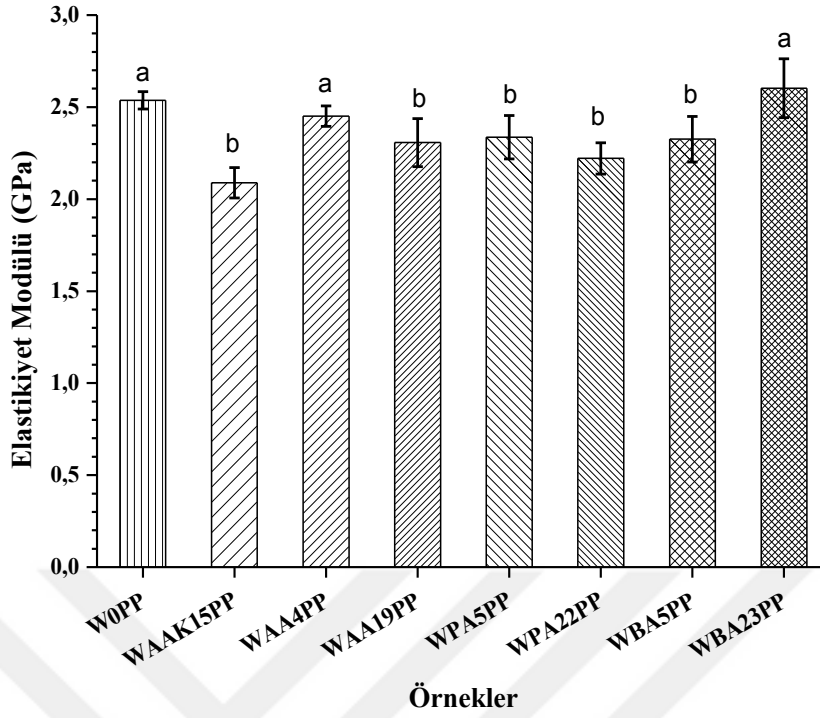


Şekil 5.28. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin eğilme direncine ait ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonuçlarında, kimyasal modifikasyon işleminin bir miktar farklılığa sebep olduğu görülmüştür. Ek-5.B’de verilen Tukey testi sonuçlarına göre AA modifiyeli (%6 WPG) JAA6PP kompozit örneğinin eğilme direnci değeri ile diğer modifiyeli kompozitlerin eğilme direnci değerlerinin istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür. Diğer taraftan JAA6PP kompozit örneği ile kontrol kompozit örneğinin eğilme direnci değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin bir fark görülmemiştir.

5.2.7.3. PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular

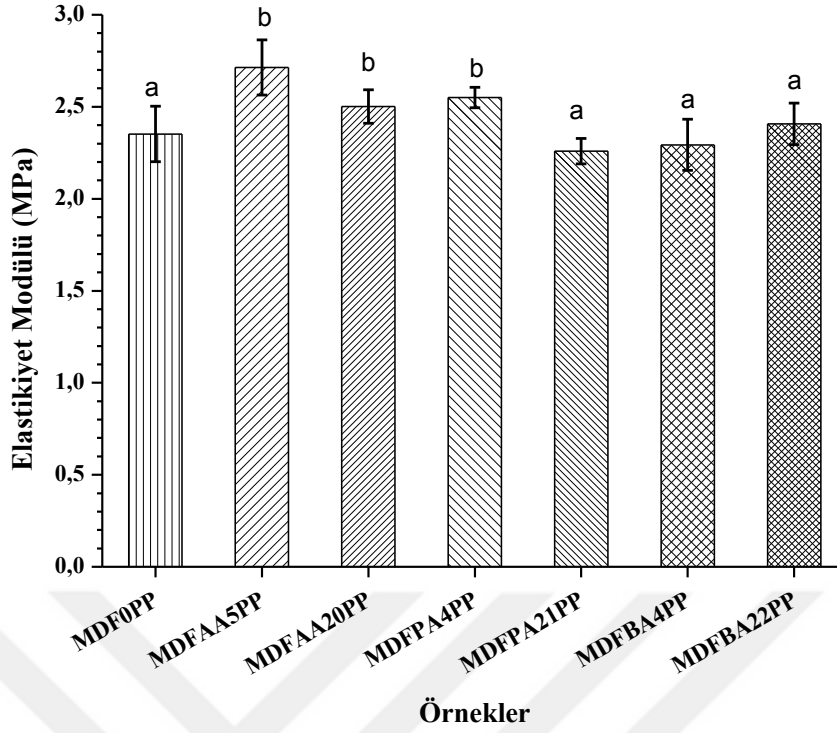
Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri Şekil 5.29’da verilmiştir. Burada kontrol kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değeri 2,53 GPa tespit edilmiş. Diğer taraftan BA modifiyeli (%23 WPG) WBA23PP kompozit örneği 2,60 GPa ile en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerini sergileyen kompozit örneği olmuştur.



Şekil 5.29. Karaçam odununu ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Karaçam odununu ilaveli PP kompozitlerden en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri 2,08 GPa ile klasik yöntem AA modifiyeli (%15 WPG) WAAK15PP kompozit örneğinde tespit edilmiştir. ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonrasında yapılan Tukey testi kıyaslamalarına (Ek-5.B) göre, WBA23PP kompozit örneği ve WAA4PP kompozit örnekleri ile kontrol kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı görülmüştür. Diğer taraftan WBA23PP ve WAA4PP kompozit örnekleri hariç diğer modifiyeli kompozit örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin fark görülmemiştir.

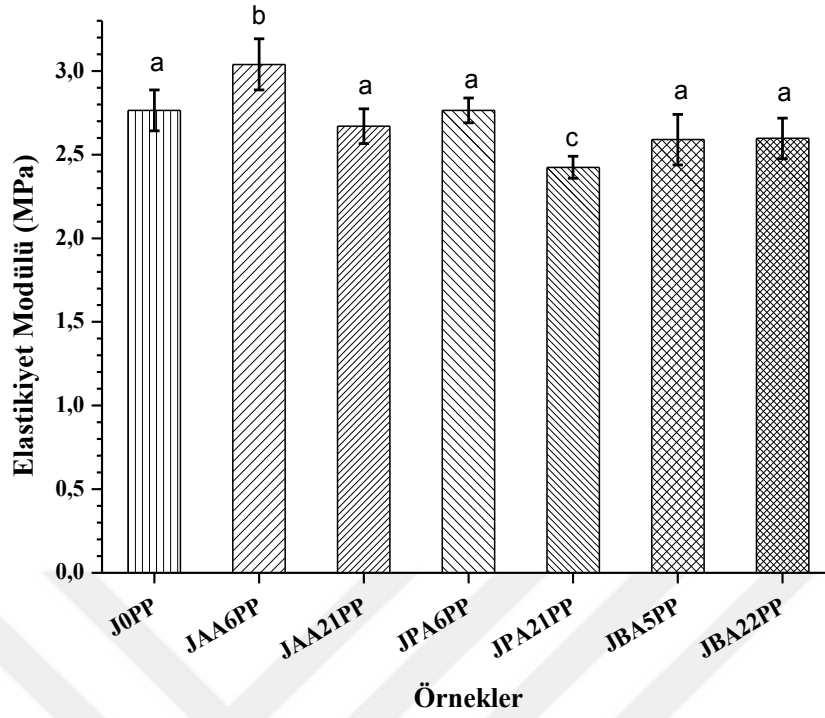
Şekil 5.30'da verilen MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerine göre en yüksek değeri 2,71 GPa ile AA modifiyeli (%5 WPG) MDFAA5PP kompozit örneği sergilemiştir. Diğer taraftan kontrol kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değeri 2,35 GPa, en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri ise MDFPA21PP kompozit örneğinde 2,25 GPa olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.30. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modüllerine ait ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonrası yapılan Tukey testi sonuçlarına (Ek-5.B) göre, MDFAA5PP kompozit örneği ile kontrol kompozit örneğinin istatistiksel olarak farklı gruplarda yer aldığı görülmüştür. Diğer yandan MDFAA20PP ve MDFPA4PP kompozit örneklerinin de MDFAA5PP ve kontrol kompozit örnekleri ile aynı grupta yer aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca PA (MDFPA4PP hariç) ve BA modifiyeli kompozit örnekleri ile kontrol kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin istatistiksel olarak benzer grupta yer aldığı görülmüştür.

Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri Şekil 5.31'de verilmiştir. Burada kontrol kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değeri 2,76 GPa olarak tespit edilmiştir. Diğer taraftan 2,42 GPa değeri ile PA modifiyeli (%21 WPG) JPA21PP kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değeri hem kontrol kompozit örneğinin hem de diğer modifiyeli kompozit örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerine göre daha düşük değer sergilemiştir.

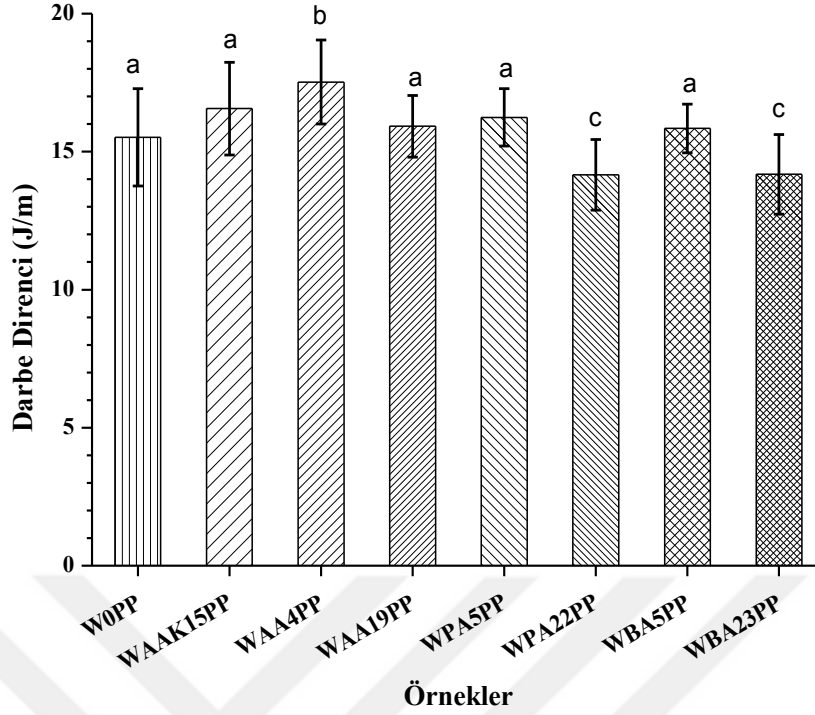


Şekil 5.31. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerden en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri 3,03 GPa ile AA modifiyeli (%6 WPG) JAA6PP kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri ile kimyasal modifikasyon işlemleri arasındaki ilişkiyi tespit etmek için ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonrası Tukey testi yapılmıştır (Ek-5.B). Tukey testi sonuçlarına göre en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerine sahip JAA6PP kompozit örneği ile kontrol ve diğer modifiyeli kompozit örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin fark görülmüştür. Ayrıca en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri sergileyen JPA21PP kompozit örneğinin de diğer jüt lifi ilaveli PP kompozit örneklerinden istatistiksel olarak farklı olduğu tespit edilmiştir.

5.2.7.4. PP kompozitlerin darbe direnci özelliklerine ait bulgular

Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci değerleri Şekil 5.32'de verilmiştir. Burada verilen kompozitler arasında en yüksek darbe direnci değeri 17,52 J/m ile AA modifiyeli (%4 WPG) WAA4PP kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak kontrol kompozit örneğinin darbe direnci değeri 15,52 J/m belirlenmiştir.

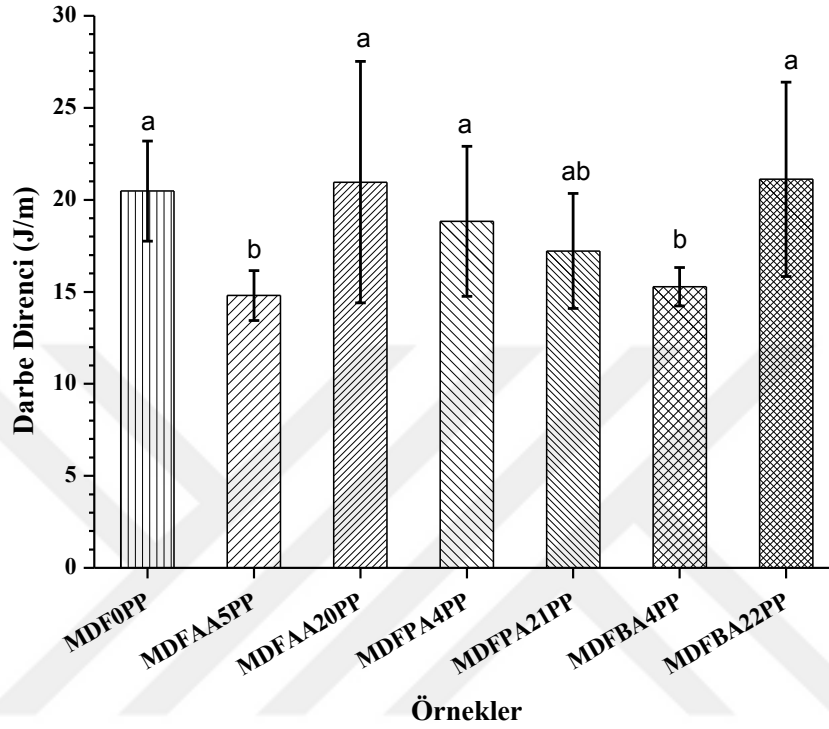


Şekil 5.32. Karaçam odununu ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Karaçam odununu ilaveli PP kompozitlerden en düşük darbe direnci değeri 14,16 J/m ile WPA22PP kompozit örneğinde görülmüştür. Burada düşük WPG seviyelerinde modifiye edilmiş kompozitlerin darbe direnci değerleri hem kontrol kompozit örneğine hem de yüksek WPG seviyelerinde modifiye edilmiş kompozitlere göre daha iyi değerler sergilemiştir. Karaçam odununu ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci değerleri ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonrası Tukey testi yapılarak (Ek-5.B) karşılaştırılmıştır. Tukey testi karşılaştırmalarına göre en yüksek darbe direnci değerine sahip WAA4PP kompozit örneği ile diğer modifiyeli kompozit örnekleri ve kontrol kompozit örneğinin istatistiksel olarak farklı grupta yer aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca WAAK15PP, WAA19PP, WPA5PP ve WBA5PP kompozit örnekleri ile kontrol kompozit örneğinin darbe direnci değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin fark görülmemiştir. Bunlara ek olarak WPA22PP ve WBA23PP kompozit örneklerinin aynı istatistik grupta yer aldığı görülmüştür.

Şekil 5.33'te MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci değerleri verilmiştir. Burada verilen kompozit örneklerinin darbe direnci değerlerinin birbirinden oldukça farklı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara MDF üretimi sürecinde %8-10 arasında kullanılan üre formaldehid reçinesinin sebep olduğu düşünülmektedir. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerden en yüksek darbe direnci değerleri 21,12 J/m ve 20,96

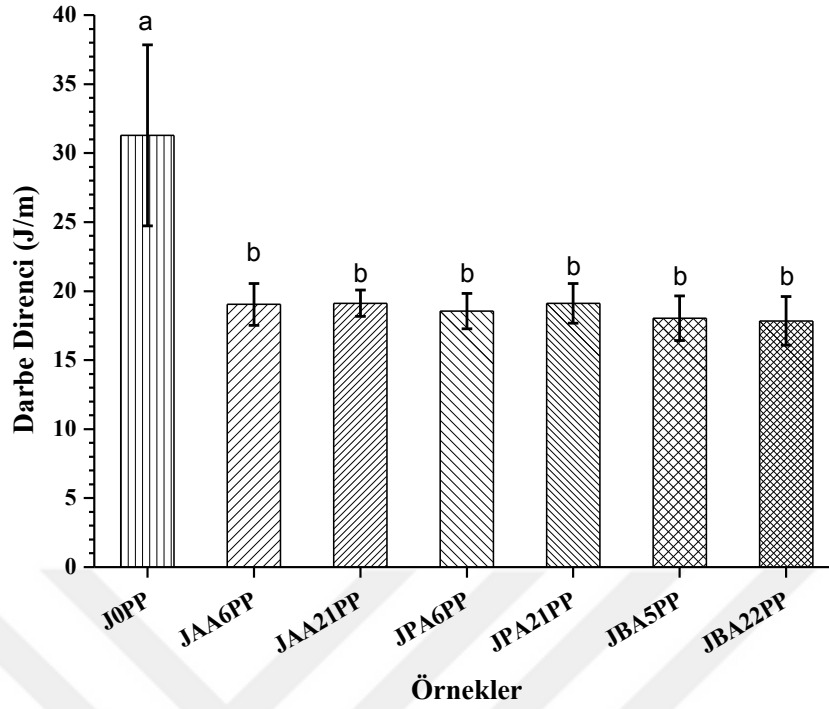
J/m değerleri ile sırasıyla MDFBA22PP ve MDFAA20PP kompozit örneklerinde tespit edilmiştir. Ayrıca 20,48 J/m ile kontrol kompozit örneğinin darbe direnci değeri en yüksek darbe direnci değerlerini sergileyen MDFBA22PP ve MDFAA20PP kompozit örneklerine yakın değer sergilemiştir.



Şekil 5.33. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

MDF tozu ilaveli PP kompozitlerden en düşük darbe direnci değerleri 14,80 J/m ve 15,28 J/m değerleri ile sırasıyla MDFAA5PP ve MDFBA4PP kompozit örneklerinde tespit edilmiştir. Kompozitlerin darbe direnci değerlerini kıyaslamak için ANOVA ($\alpha=0,05$) analizi sonrası Tukey testi yapılmıştır (Ek-5.B). Tukey testi sonuçlarına göre MDFAA20PP, MDFPA4PP ve MDFBA22PP kompozit örnekleri ile kontrol kompozit örneğinin darbe direnci değerleri arasında istatistiksel olarak fark görülmemiştir. Ayrıca MDFAA5PP ile MDFBA4PP kompozit örneklerinin darbe direnci değerleri aynı istatistik grupta değerlendirilmiştir.

Jüt lifinin PP polimer matrisine ilavesiyle elde edilen kompozitlerin darbe direnci değerleri Şekil 5.34'te verilmiştir. Burada verilen değerlere göre, J0PP kontrol kompozit örneği 31,28 J/m değeri ile en yüksek darbe direncine sahip kompozit örneği olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.34. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci değerleri (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

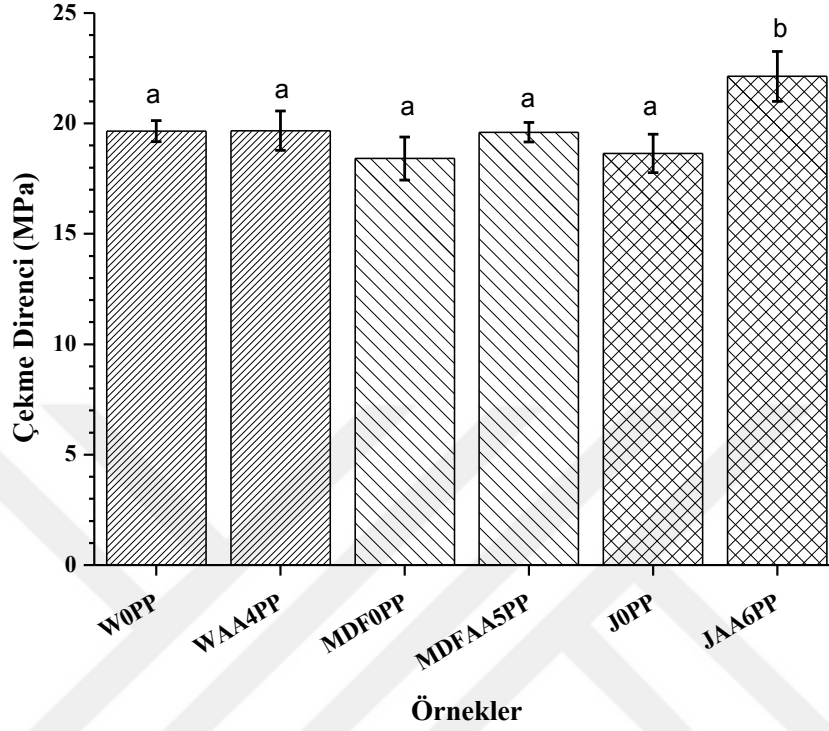
Kimyasal olarak modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli PP kompozitler arasında en yüksek darbe direnci değeri 19,12 J/m ile JAA21PP ve JPA21PP kompozit örneklerinde tespit edilmiştir. Diğer taraftan kimyasal olarak modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli PP kompozitler arasında en düşük darbe direnci değeri ise 17,84 J/m ile JBA22PP kompozit örneğinde tespit edilmiştir.

ANOVA ($\alpha = 0,05$) analizi sonrası yapılan Tukey testi sonuçlarına (Ek-5.B) göre, kontrol kompozit örneğinin diğer kompozit örneklerinden istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür. Bunlara ek olarak modifiyeli kompozitlerin tamamının darbe direnci değerleri birbirine çok yakın seyretmesi sebebiyle aynı istatistiksel grup içerisinde değerlendirilmiştir.

5.2.7.5. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden en iyi çekme direnci değerlerini sergileyen kompozit örnekleri Şekil 5.35'te verilmiştir. Burada en yüksek çekme direnci değeri 22,13 MPa ile AA modifiyeli (%6 WPG) jüt lifi ilaveli JAA6PP kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak kontrol kompozit örnekleri arasında yapılan kıyaslamada en yüksek çekme direnci değeri 19,65 MPa ile kontrol

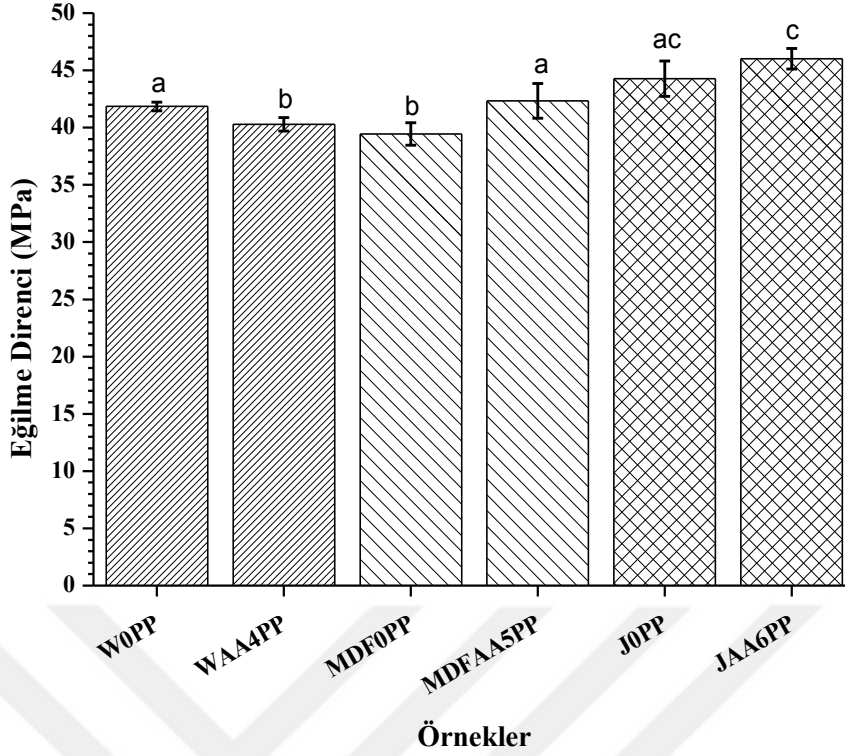
Karaçam odun unu ilaveli kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Diğer taraftan kontrol MDF tozu ilaveli kompozit örneği ile kontrol jüt lifi ilaveli kompozit örneklerinin çekme direnci değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 5.35. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden en iyi çekme direnci değerlerini sergileyen kompozitler (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci değerleri ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonrası Tukey testi yapılarak (Ek-5.B) karşılaştırılmıştır. Tukey testi karşılaştırmalarına göre JAA6PP kompozit örneğinin çekme direnci değerinin hem kontrol kompozit örneğine hem de diğer kompozit örneklerine göre istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca JAA6PP kompozit örneği hariç diğer kompozit örneklerinin çekme direnci değerlerinin istatistiksel olarak birbirinden farksız olduğu görülmüştür.

Şekil 5.36'da Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden en iyi eğilme direnci değerlerine sahip kompozit örnekleri verilmiştir. Burada en iyi eğilme direnci değeri jüt lifi ilaveli kompozitlerde görülmüş olup, J0PP kontrol ve AA modifiyeli (%6 WPG) JAA6PP kompozit örneklerinin eğilme direnci değerleri sırasıyla 44,27 MPa ve 46,01 MPa tespit edilmiştir. Diğer taraftan en düşük eğilme direnci değeri ise 39,44 MPa ile kontrol MDF tozu ilaveli kompozit örneğinde tespit edilmiştir.



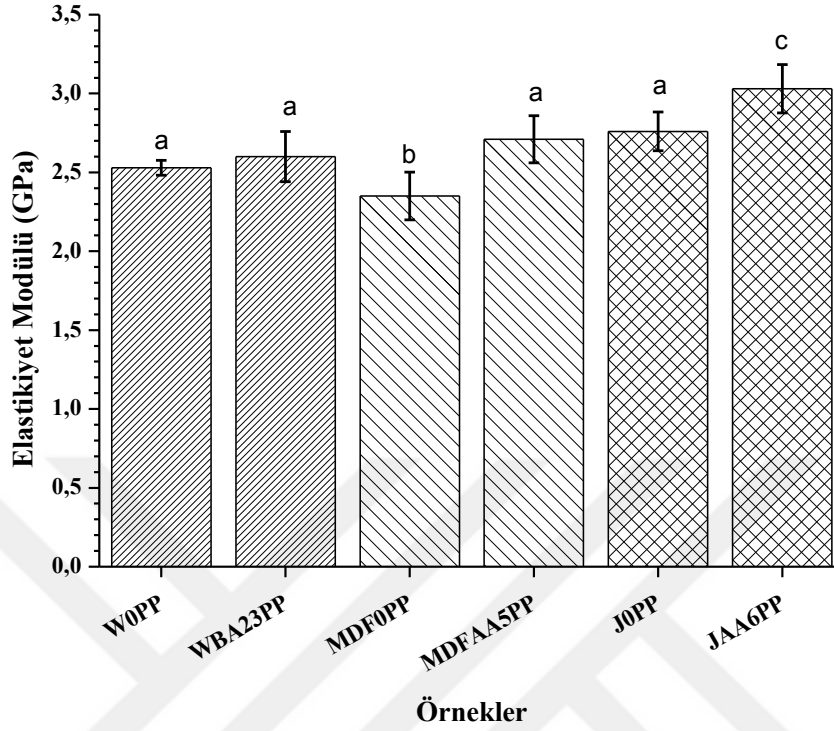
Şekil 5.36. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden en iyi eğilme direnci değerlerini sergileyen kompozitler (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci değerleri ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonrası Tukey testi yapılarak kıyaslanmıştır. Tukey testi kıyaslamalarına (Ek-5.B) göre, W0PP kompozit örneği ile MDFAA5PP kompozit örneğinin eğilme direnci değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin fark görülmemiştir. Ayrıca WAA4PP kompozit örneği ile MDF0PP kompozit örneğinin eğilme direnci değerleri istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Bunlara ek olarak JAA6PP kompozit örneğinin eğilme direnci değerinin kontrol ve diğer kompozit örneklerinden istatistiksel olarak belirgin farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Asetillendirilmiş Huş odun unu ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde, kontrol odun unu ilaveli PP kompozit örneklerine kıyasla %2 oranında artış görüldüğü bildirilmiştir (Kallakas ve ark., 2015). Bu çalışmada kimyasal modifikasyon ile WAA4PP kompozit örneği hariç diğer modifiyeli kompozit örneklerinin eğilme direnci değerlerinde kontrol kompozit örneklerine kıyasla iyileşme görülmüştür.

Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerlerini sergileyen kompozit örnekleri Şekil 5.37'de verilmiştir. Burada verilen kontrol kompozitlerinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde en düşük değer 2,35

GPa ile MDF0PP kompozit örneğinde görülmüştür. Ayrıca en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri ise 3,03 GPa ile JAA6PP kompozit örneğinde tespit edilmiştir.

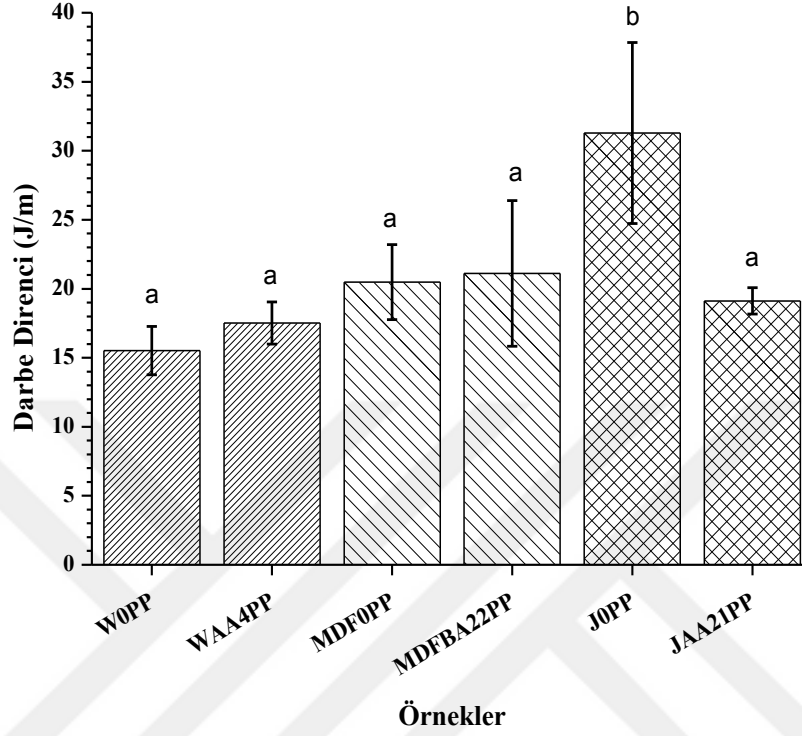


Şekil 5.37. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden en iyi eğilmede elastikiyet modülü değerlerini sergileyen kompozitler (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

ANOVA ($\alpha = 0,05$) analizi sonrası yapılan Tukey testi kıyaslamalarına (Ek-5.B) göre, JAA6PP kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değerinin J0PP kontrol kompozit örneği ve diğer kompozit örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerine göre istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür. Bunlara ek olarak sadece MDF0PP kompozit örneğinin eğilmede elastikiyet modülü değerinin diğer kompozitlerden belirgin şekilde düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Karaçam odunu ilaveli kontrol (W0PP) ve modifiyeli (WBA23PP) kompozit örnekleri ile modifiyeli MDF tozu ilaveli (MDFAA5PP) kompozit örneği ve kontrol jüt lifi ilaveli (J0PP) kompozit örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin fark görülmemiştir.

Şekil 5.38'de farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden en iyi darbe direnci değerlerini sergileyen kompozit örnekleri verilmiştir. Burada kontrol jüt lifi ilaveli J0PP kompozit örneğinin darbe direnci 31,28 J/m ile en yüksek değeri sergilemiştir. AA modifiyeli (%21 WPG) jüt lifi ilaveli JAA21PP kompozit örneğinin darbe direnci değeri

ise 19,12 J/m değeri ile JOPP kontrol kompozit örneğine kıyasla oldukça düşük bir değer sergilemiştir. Farklı lignoselülozik madde ilaveli kontrol kompozitlerinden en düşük darbe direnci değeri ise 15,52 J/m ile WOPP kompozit örneğinde tespit edilmiştir.



Şekil 5.38. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden en iyi darbe direnci değerlerini sergileyen kompozitler (aynı harflerle gösterilen sütunlar arasında belirgin bir farklılık yoktur)

ANOVA ($\alpha= 0,05$) analizi sonrası yapılan Tukey testi sonuçlarına (Ek-5.B) göre, en iyi darbe direnci değerini sergileyen JOPP kontrol kompozit örneği ile diğer kompozit örneklerinin tamamının darbe direnci değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin fark görülmüştür. Ayrıca JOPP kontrol kompozit örneği hariç diğer kompozit örneklerinin darbe direnci değerleri arasında istatistiksel olarak fark görülmemiştir.

Asetillendirilmiş Huş odunu ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci değerlerinin, kontrol Huş odunu ilaveli PP kompozit örneklerinin darbe direnci değerlerine benzer değerler sergilediği bildirilmiştir (Kallakas ve ark., 2015). Bu çalışmada ise farklı lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası PP polimer matrisine ilavesiyle elde edilen PP kompozitlerin darbe direnci değerlerinde kontrol kompozit örneklerine kıyasla (JOPP hariç) artış görülmüştür.

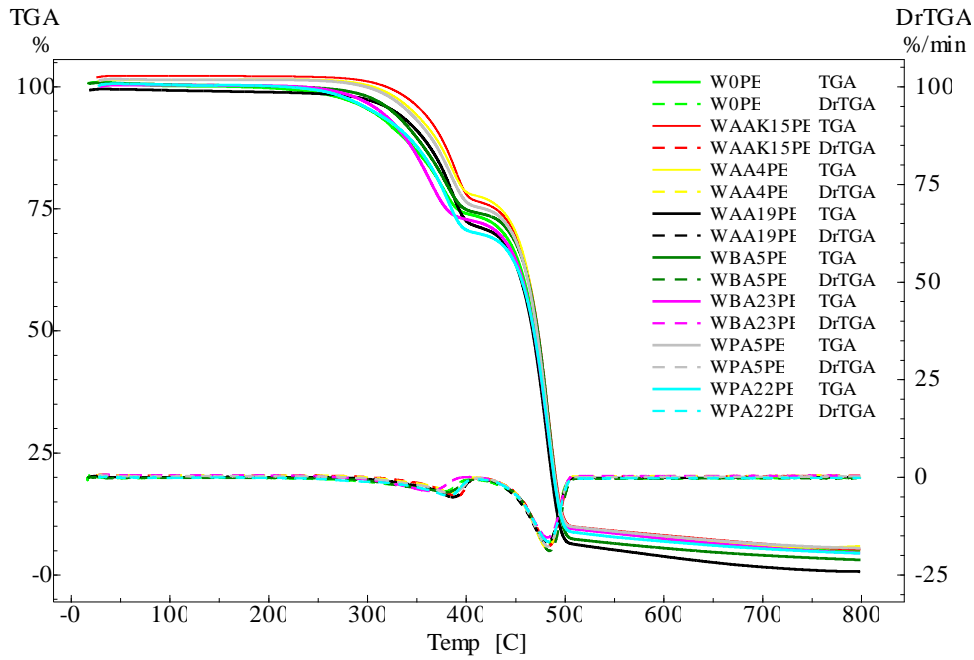
Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası OH grupları ile yer değiştiren asetil, propil ve bütül gruplarının polimer matrisler ile olan zayıf van der Waals

etkileşimlerinin PP polimer matrisinde daha az görülmesinin sebebinin PP'nin yapısında bulunan CH₃ grubundan kaynaklandığı düşünülmektedir. PP yapısında bulunan CH₃ grubunun polimer zinciri ile modifiye edilmiş lignoselülozik maddeler arasındaki mesafeyi arttırmamasından dolayı YYPE matrisli kompozitlere kıyasla PP matrisli kompozitlerin modifiye edilmiş lignoselüloziklerle uyumluluğunun daha az olduğu tahmin edilmektedir.

5.2.8. Kompozitlerin termal özelliklerine ait bulgular

5.2.8.1. YYPE kompozitlerin TGA analizlerine ait bulgular

Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonrası termogram eğrileri Şekil 5.39'de verilmiştir. Burada verilen termogram eğrilerine göre BA modifiyeli (%23 WPG) Karaçam odununu ilaveli WBA23PE kompozit örneği hariç diğer kimyasal modifiyeli odununu ilaveli kompozit örneklerinin kontrol kompozit örneğine kıyasla daha geç bozunduğu görülmüştür. Ayrıca kompozit örnekleri arasında klasik yöntem AA modifiyeli (%15 WPG) Karaçam odununu ilaveli WAAK15PE kompozit örneğinin hem kontrol kompozit örneğine hem de diğer modifiyeli odununu ilaveli kompozit örneklerine göre daha geç bozunduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.39. Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerin termogram eğrileri

Çizelge 5.4'te Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonrası elde edilen sonuç değerleri verilmiştir. Çizelgede WBA23PE kompozit örneğinin hem kontrol kompozit örneğine hem de diğer modifiye edilmiş odununu ilaveli kompozit örneklerine kıyasla daha erken bozunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca klasik yöntem AA modifiyeli (%15

WPG) WAAK15PE kompozit örneğinin hem 1. aşama hem de 2. aşama maksimum bozunma sıcaklıklarının kontrol kompozit örneğine ve diğer modifiyeli odun unu ilaveli kompozit örneklerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Diğer taraftan WAAK15PE kompozit örneğinin yarılanma sıcaklığı ile 1. ve 2. maksimum bozunma oranlarının kontrol kompozit örneğine kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunlara ek olarak kompozitlerin TGA analizi sonrası arta kalan madde miktarları birbirine yakın değerler sergilemiştir.

Odunun TGA sonrası elde edilen sonuç değerlerine göre 400 °C altındaki bozulmaların odun bileşenlerindeki bozulmalardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Örneğin; hemiselülozun 150-350 °C arası, ligninin 350-500 °C arası, selüloz ve ekstraktiflerin ise 275-350 °C arası bozunduğu belirtilmiştir (Kim ve ark., 2006).

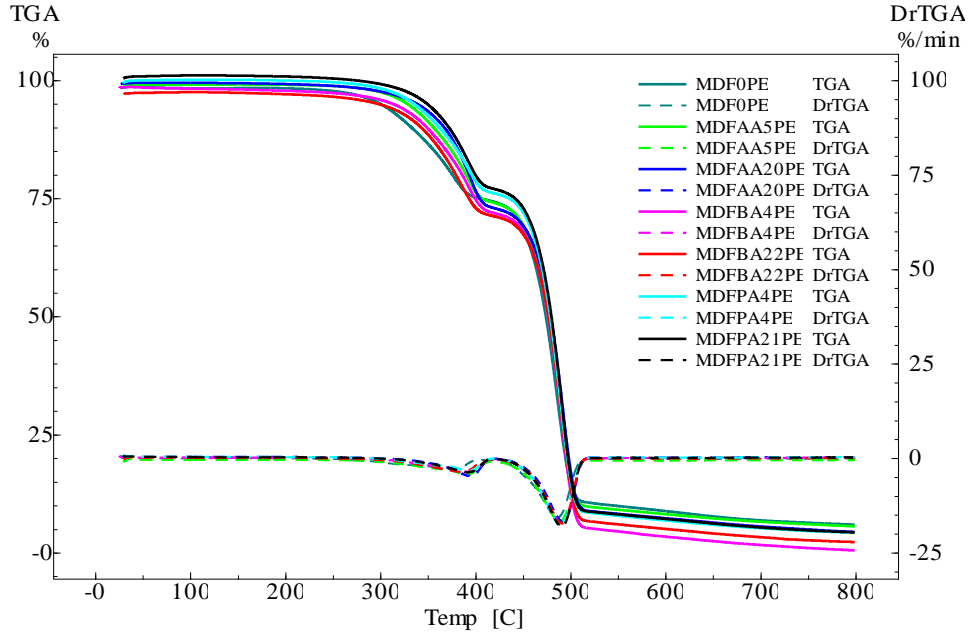
Çizelge 5.4. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonuç değerleri

Kompozit Örnekleri	YS (°C)	1. Aşama Bozunma Sıcaklığı (210-409 °C)			2. Aşama Bozunma Sıcaklığı (410-520 °C)			KMM (%)
		AK (%)	Tmax (°C)	WLmax (%/dk)	AK (%)	Tmax (°C)	WLmax (%/dk)	
W0PE	469,61	26,03	376,70	3,62	64,18	482,87	17,43	4,85
WAAK15PE	473,87	25,39	391,76	5,31	67,04	485,21	18,03	4,49
WAA4PE	473,59	23,74	386,05	4,43	68,28	483,37	18,79	3,56
WAA19PE	469,19	27,28	387,56	5,29	65,58	482,37	17,06	5,28
WPA5PE	471,81	25,90	385,29	4,41	65,96	481,97	17,96	4,11
WPA22PE	470,90	29,97	383,58	4,69	61,66	484,11	16,42	4,053
WBA5PE	473,90	25,77	381,10	3,74	67,21	484,63	18,77	4,00
WBA23PE	470,40	27,74	366,51	4,06	63,28	483,61	15,97	4,69

YS: Yarılanma sıcaklığı, AK: Ağırlık kaybı, Tmax: Maksimum bozunma sıcaklığı, WLmax: Maksimum bozunma oranı (DrTGA eğrisinden), KMM: Kalan madde miktarı

Asetillendirilmiş odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonrası bozunma sıcaklıklarında 30-60 °C arasında artış kaydedildiği bildirilmiş ve asetillendirme işleminin kompozitlerin termal kararlılığına önemli miktarda etki ettiği belirtilmiştir (Özmen ve ark., 2013). Bu çalışmada kimyasal modifikasyon işlemi ile kompozitlerin bozunma sıcaklıklarında 15 °C'ye kadar artış tespit edilmiştir.

MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonrası termogram eğrileri Şekil 5.40'ta verilmiştir. Şekilde verilen termogram eğrilerine göre MDF tozunun kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE matrisine ilavesiyle elde edilen kompozitlerin kontrol kompozit örneğine göre daha geç bozunduğu görülmüştür.



Şekil 5.40. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin termogram eğrileri

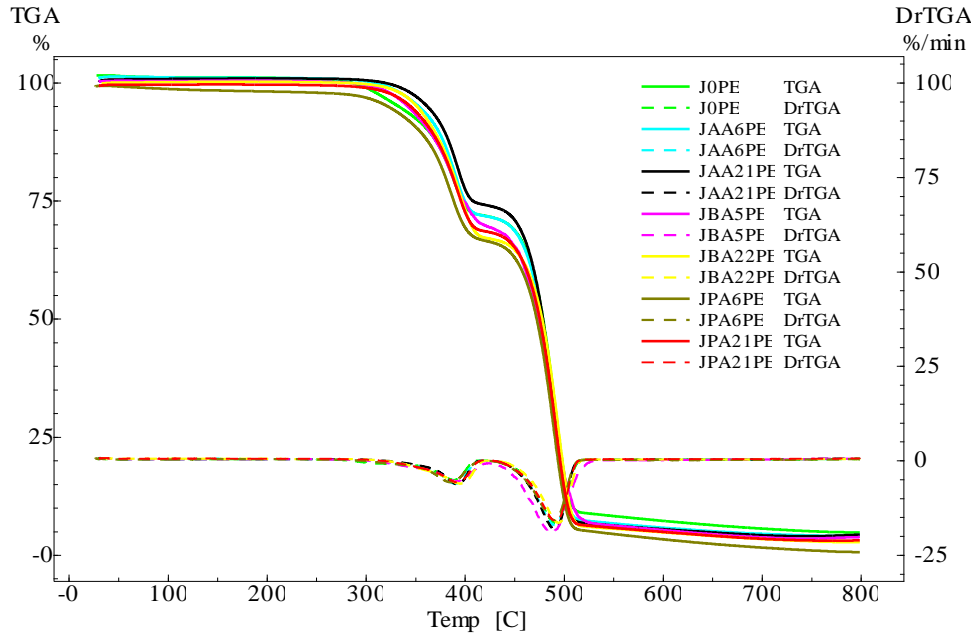
MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonrası elde edilen sonuç değerleri Çizelge 5.5'te verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere MDF tozunun kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE matrisine ilavesiyle elde edilen kompozitlerin kontrol kompozit örneğine kıyasla bozunma sıcaklıklarında artış kaydedilmiştir. Ayrıca MDF tozu ilaveli kompozitler arasında AA modifiyeli (%20 WPG) MDFAA20PE kompozit örneğinin 1. ve 2. aşama maksimum bozunma sıcaklıklarının kontrol kompozit örneği ve diğer modifiyeli MDF tozu ilaveli YYPE kompozit örneklerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak MDF tozu ilaveli kompozitlerin TGA sonrası kalan madde miktarları birbirine yakın değerler sergilemişlerdir. Ayrıca kompozitlerin maksimum bozunma oranı değerlerinin de birbirine yakın değerler sergilediği tespit edilmiştir.

Çizelge 5.5. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonuç değerleri

Kompozit Örnekleri	YS (°C)	1. Aşama Bozunma Sıcaklığı (210-409 °C)			2. Aşama Bozunma Sıcaklığı (410-520 °C)			KMM (%)
		AK (%)	Tmax (°C)	WLmax (%/dk)	AK (%)	Tmax (°C)	WLmax (%/dk)	
MDF0PE	476,78	23,43	378,80	3,01	64,26	486,48	15,74	4,61
MDFAA5PE	478,08	24,18	392,64	3,87	65,07	489,38	16,32	4,14
MDFAA20PE	481,51	25,12	395,09	5,09	65,09	492,80	17,31	4,40
MDFPA4PE	480,96	23,02	394,13	3,65	68,35	490,63	18,02	4,26
MDFPA21PE	481,10	22,81	392,67	4,04	69,12	491,51	18,42	4,40
MDFBA4PE	479,38	24,87	392,51	3,82	67,58	491,81	17,67	4,65
MDFBA22PE	480,47	25,14	385,74	3,76	65,17	491,15	17,38	4,39

YS: Yarılanma sıcaklığı, AK: Ağırlık kaybı, Tmax: Maksimum bozunma sıcaklığı, WLmax: Maksimum bozunma oranı (DrTGA eğrisinden), KMM: Kalan madde miktarı

Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonrası termogram eğrileri Şekil 5.41’de verilmiştir.



Şekil 5.41. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin termogram eğrileri

Şekilde 5.41'de verilen termogram eğrilerine göre jüt lifinin kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE matrise ilavesiyle elde edilen kompozitlerin (JPA6PE kompozit örneği hariç) kontrol kompozit örneğine göre daha geç bozunduğu görülmüştür.

Çizelge 5.6'da jüt ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonrası elde edilen sonuç değerleri verilmiştir. Çizelgede verilen değerlerden görüldüğü üzere JPA6PE kompozit örneği hariç diğer modifiyeli jüt lifi ilaveli kompozit örneklerinin kontrol kompozit örneğine kıyasla daha geç bozunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca JBA5PE ve JBA22PE kompozit örneklerinin 1. ve 2. bozunma aşaması maksimum bozunma sıcaklıklarının hem kontrol kompozit örneğine hem de diğer modifiyeli kompozit örneklerine göre daha yüksek değerler sergilediği görülmüştür. Bunlara ek olarak TGA sonrası kalan madde miktarları kompozit örneklerinde birbirine benzer değerler sergilemiş olup, JAA21PE kompozit örneğinde en az (%2,52), kontrol (%4,13) ve JPA6PE (%4,59) kompozit örneklerinde ise diğer kompozit örneklerine kıyasla bir miktar fazla değer elde edilmiştir. Ayrıca jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin maksimum bozunma oranları bakımında en yüksek kompozit örneğinin BA modifiyeli (%5 WPG) jüt lifi ilaveli JBA5PE kompozit örneği olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.6. Jüt ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonuç değerleri

Kompozit Örnekleri	YS (°C)	1. Aşama Bozunma Sıcaklığı (210-409 °C)			2. Aşama Bozunma Sıcaklığı (410-520 °C)			KMM (%)
		AK (%)	Tmax (°C)	WLmax (%/dk)	AK (%)	Tmax (°C)	WLmax (%/dk)	
J0PE	478,88	28,63	389,87	5,57	63,44	492,39	17,03	4,13
JAA6PE	478,98	28,42	391,20	6,54	65,17	491,34	17,51	3,11
JAA21PE	479,93	25,94	393,68	6,67	68,05	491,63	18,58	2,52
JPA6PE	474,88	30,60	386,76	6,17	62,19	490,97	16,15	4,59
JPA21PE	478,25	29,90	393,53	6,29	63,20	492,54	16,59	3,20
JBA5PE	476,36	29,36	396,46	7,54	63,97	488,86	24,63	3,04
JBA22PE	479,52	30,99	396,10	6,53	62,81	495,85	16,93	3,35

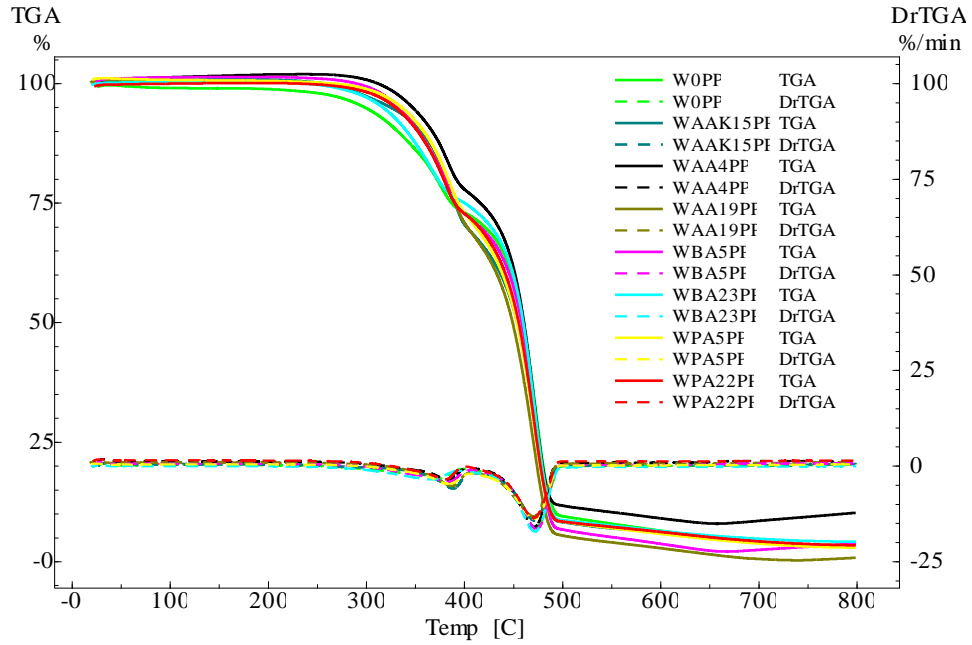
YS: Yarılma sıcaklığı, AK: Ağırlık kaybı, Tmax: Maksimum bozunma sıcaklığı, WLmax: Maksimum bozunma oranı (DrTGA eğrisinden), KMM: Kalan madde miktarı

Jüt lifi ilaveli kompozitlerin termal kararlılığının belirlendiği bir çalışmada ağırlıkça %20 oranında Oligomerik siloksan modifiyeli jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin termal kararlılığında önemli bir değişikliğin olmadığı rapor edilmiştir. Aynı çalışmada kontrol kompozit örneklerinin 1. aşama bozunma sıcaklığının 265-383 °C'ler arasında, maksimum 356 °C'de, 2. Aşama bozunma sıcaklığının 400-509 °C'ler arasında, maksimum 478 °C'de olduğu bildirilmiştir. Modifiyeli kompozit örneklerinin ise 1. aşama bozunma sıcaklığının 280-388 °C'ler arasında, maksimum 362 °C'de, 2. bozunma sıcaklığının, 390-509 °C'ler arasında, maksimum 478 °C'de olduğu bildirilmiştir (Seki ve ark., 2012). Diğer bir çalışmada kimyasal olarak modifiye edilmiş MCC (mikro kristal selüloz) ilaveli YYPE kompozitlerin TGA sonuçlarına göre kimyasal modifikasyon işlemi ile kompozit malzemelerin bozunma sıcaklığı değerinin 347 °C'den 371 °C'ye yükseldiği rapor edilmiştir. Ayrıca çalışmada kimyasal modifikasyon işleminin kompozitlerin termal ayrışma sürecinde önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir (Cetin ve ark., 2015).

Kavak odunu liflerinin Vinil asetat, Vinil benzoat ve Vinil propiyonat ile kimyasal modifikasyonu sonrası elde edilen modifiye edilmiş lif ilaveli YYPE kompozitlerin TGA bozunma sıcaklığı derecelerinin kontrol kompozitlerin bozunma sıcaklığı derecelerine göre artış gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca modifikasyonda kullanılan kimyasalların zincir uzunluğuna bağlı olarak kompozitlerin termal bozunma sıcaklıklarında da giderek artış görüldüğü rapor edilmiştir (Wei ve ark., 2013). Bu çalışmada da benzer şekilde lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE polimer matrisi içerisine ilavesiyle kontrol kompozit örneklerine göre bozunma sıcaklıklarında artış görülmüştür. Burada modifiye edici kimyasalın zincir uzunluğunun artışı ile sadece jüt lifi ilaveli YYPE kompozit örneğinin bozunma sıcaklığında artış görülmüştür. Bunlara ek olarak kimyasal modifikasyon sonrası yüksek WPG seviyeli lignoselülozik maddelerin YYPE matrisine ilavesiyle elde edilen kompozit örneklerinin, düşük WPG seviyeli lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlere göre bozunma sıcaklıklarının daha iyi olduğu görülmüştür.

5.2.8.2. PP kompozitlerin TGA analizlerine ait bulgular

Şekil 5.42'de Karaçam odunu ilaveli PP kompozitlerin TGA sonrası termogram eğrileri verilmiştir. Şekilde verilen kompozitlerin termogram eğrilerine göre Karaçam odunuunun kimyasal modifikasyonu sonrası PP matrisine ilavesiyle elde edilen kompozitlerin kontrol kompozit örneğine göre termal kararlılığında artış görülmüştür.



Şekil 5.42. Karaçam odunu ilaveli PP kompozitlerin termogram eğrileri

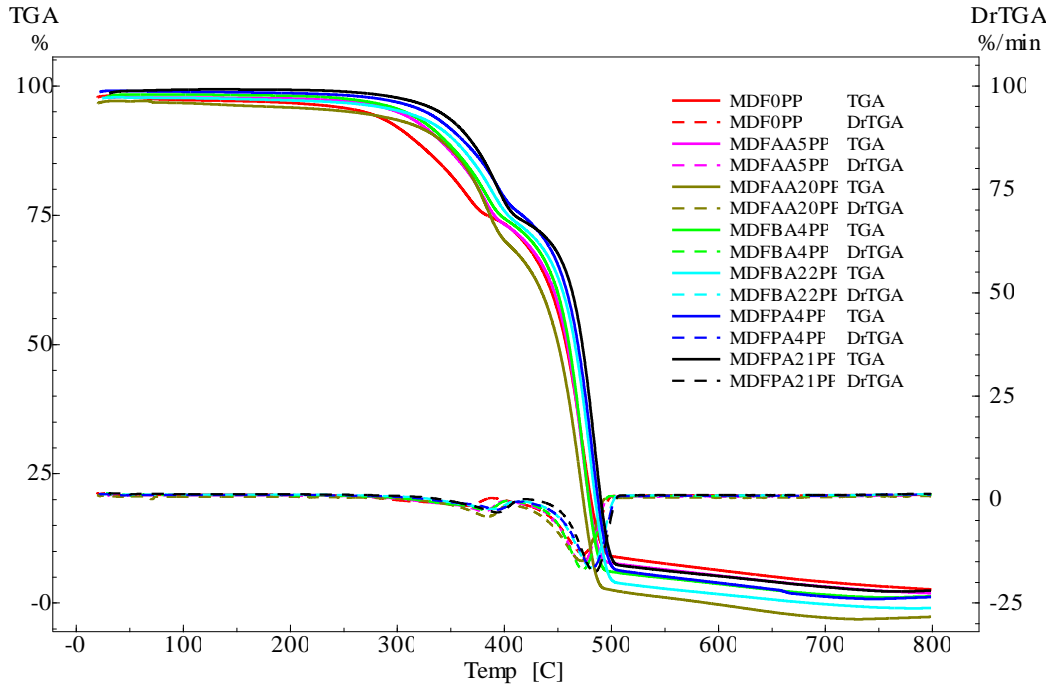
Karaçam odunu ilaveli PP kompozitlerin TGA sonrası elde edilen sonuç değerleri Çizelge 5.7’de verilmiştir. Lignoselülozik madde ilaveli termoplastik kompozitlerin TGA sonrası elde edilen 1. aşama bozunma sıcaklığı değerleri kompozit malzeme içerisindeki lignoselülozik dolgu maddesinin termal özellikleri hakkında, 2. aşama bozunma eğrisi ise polimer matrisin termal özellikleri hakkında bilgi vermektedir. Karaçam odunu ilaveli PP kompozitlere ait TGA sonrası elde edilen değerlerde, klasik yöntem AA modifiyeli (%15 WPG) WAAK15PP kompozit örneğinin 1. aşama bozunma sıcaklığındaki maksimum bozunma sıcaklığı değerinin hem kontrol kompozit örneğinden hem de diğer modifiye edilmiş odunu ilaveli kompozit örneklerinden daha yüksek değer sergilediği tespit edilmiştir.

Çizelge 5.7. Karaçam odunu ilaveli PP kompozitlerin TGA sonuç değerleri

Kompozit Örnekleri	YS (°C)	1. Aşama Bozunma Sıcaklığı (210-409 °C)			2. Aşama Bozunma Sıcaklığı (410-520 °C)			KMM (%)
		AK (%)	Tmax (°C)	WLmax (%/dk)	AK (%)	Tmax (°C)	WLmax (%/dk)	
W0PP	462,27	26,67	377,85	3,7	63,13	473,71	16,40	5,21
WAAK15PP	456,57	32,13	389,15	6,34	60,80	471,97	14,66	4,12
WAA4PP	462,36	25,35	383,12	4,80	65,34	471,56	17,08	0,89
WAA19PP	450,12	31,72	388,30	6,17	63,59	472,52	14,21	3,96
WPA5PP	454,89	29,60	385,30	5,13	62,94	471,77	14,22	4,82
WPA22PP	458,49	28,62	381,36	4,97	63,40	469,94	15,09	4,49
WBA5PP	460,67	29,98	384,64	4,71	65,20	474,94	17,06	2,20
WBA23PP	462,21	26,38	370,58	3,47	65,54	473,86	17,18	4,07

YS: Yarılanma sıcaklığı, AK: Ağırlık kaybı, Tmax: Maksimum bozunma sıcaklığı, WLmax: Maksimum bozunma oranı (DrTGA eğrisinden), KMM: Kalan madde miktarı

Şekil 5.43'te MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin TGA sonrası termogram eğrileri verilmiştir.



Şekil 5.43. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin termogram eğrileri

Şekil 5.43'te verilen termogram eğrilerine göre PA modifiyeli (%21 WPG) MDF tozu ilaveli MDFPA21PP kompozit örneğinin hem kontrol kompozit örneğine hem de diğer modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli PP kompozit örneklerine göre termal kararlılığından daha iyi olduğu görülmüştür.

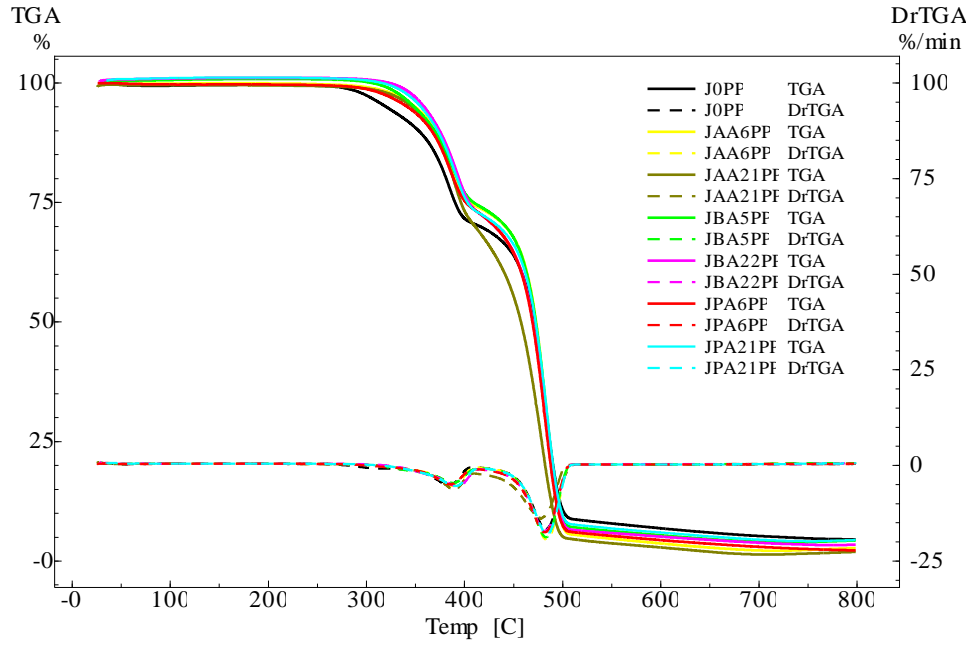
MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin TGA sonrası elde edilen sonuç değerleri Çizelge 5.8'de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere kontrol kompozit örneğinin 1. aşama bozunma sıcaklığındaki maksimum bozunma sıcaklığı değeri ile yarılanma sıcaklığı değerinin (MDFAA20PP kompozit örneği hariç), modifiye edilmiş kompozitlere kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca lignoselülozik maddelerin bozunma aşaması olan 1. aşama bozunma sıcaklığındaki maksimum bozunma sıcaklığı değerinin PA modifiyeli kompozit örneklerinde hem kontrol kompozit örneğine hem de diğer modifiyeli kompozit örneklerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak modifiyeli kompozitlerden MDFAA5PP kompozit örneğinin 1. ve 2. aşama maksimum bozunma sıcaklığı değerlerinin diğer modifiyeli kompozitlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca MDFAA20PP kompozit örneğinin yarılanma sıcaklığı değerinin kontrol ve modifiyeli kompozitlere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.8. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin TGA sonuç değerleri

Kompozit Örnekleri	YS (°C)	1. Aşama Bozunma Sıcaklığı (210-409 °C)			2. Aşama Bozunma Sıcaklığı (410-520 °C)			KMM (%)
		AK (%)	Tmax (°C)	WLmax (%/dk)	AK (%)	Tmax (°C)	WLmax (%/dk)	
MDF0PP	461,45	24,50	366,95	2,78	63,40	475,65	15,25	5,81
MDFAA5PP	462,52	25,39	379,35	3,88	64,71	473,38	16,59	5,30
MDFAA20PP	455,84	27,19	385,74	4,88	66,42	473,60	15,57	4,51
MDFPA4PP	471,28	22,06	395,33	3,57	70,34	483,20	17,60	4,79
MDFPA21PP	475,10	23,85	394,10	4,40	68,13	485,29	18,88	4,55
MDFBA4PP	463,59	24,78	384,22	3,65	67,55	475,80	18,00	4,21
MDFBA22PP	470,07	22,98	390,05	3,57	70,42	482,09	17,65	4,44

YS: Yarılanma sıcaklığı, AK: Ağırlık kaybı, Tmax: Maksimum bozunma sıcaklığı, WLmax: Maksimum bozunma oranı (DrTGA eğrisinden), KMM: Kalan madde miktarı

Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin TGA sonrası termogram eğrileri Şekil 5.44'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere jüt lifinin kimyasal modifikasyonu sonrası PP matrise ilavesiyle elde edilen kompozitlerin termal kararlılığında iyileşme kaydedilmiştir. Burada BA modifiyeli (%22 WPG) JBA22PP kompozit örneğinin termal kararlılığının, hem kontrol kompozit örneğine hem de diğer modifiyeli kompozit örneklerine kıyasla daha iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 5.44. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin termogram eğrileri

Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin TGA sonrası elde edilen sonuç değerleri Çizelge 5.9'da verilmiştir. Çizelgede verilen değerlerden anlaşılacağı üzere modifiyeli kompozitlerin 1. aşama bozunma sıcaklığındaki maksimum bozunma sıcaklığı değerinin kontrol kompozit örneğinkinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunlara ek olarak JAA21PP kompozit örneği hariç diğer kompozit örneklerinin yarılanma sıcaklığı değerlerinin birbirine yakın değer sergilediği tespit edilmişti. Ayrıca JAA21PP kompozit örnekleri hariç diğer kompozit örneklerinin maksimum bozunma oranı değerlerinin birbirine yakın değerler sergilediği tespit edilmiştir.

Çizelge 5.9. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin TGA sonuç değerleri

Kompozit Örnekleri	YS (°C)	1. Aşama Bozunma Sıcaklığı (210-409 °C)			2. Aşama Bozunma Sıcaklığı (410-520 °C)			KMM (%)
		AK (%)	Tmax (°C)	WLmax (%/dk)	AK (%)	Tmax (°C)	WLmax (%/dk)	
J0PP	472,49	28,93	385,73	5,71	62,11	484,79	17,12	3,99
JAA6PP	475,03	25,22	389,17	5,85	69,26	485,20	19,92	2,60
JAA21PP	460,27	28,73	391,39	6,74	66,21	478,64	14,43	2,41
JPA6PP	471,47	25,86	387,03	5,38	67,85	483,21	17,95	3,58
JPA21PP	473,81	27,34	392,33	5,86	66,22	485,54	18,42	3,03
JBA5PP	474,38	25,61	389,95	5,02	68,24	484,17	19,24	2,55
JBA22PP	471,62	27,06	393,80	5,89	67,50	483,47	17,57	2,93

YS: Yarılanma sıcaklığı, AK: Ağırlık kaybı, Tmax: Maksimum bozunma sıcaklığı, WLmax: Maksimum bozunma oranı (DrTGA eğrisinden), KMM: Kalan madde miktarı

5.2.8.3. YYPE kompozitlerin DSC analizlerine ait bulgular

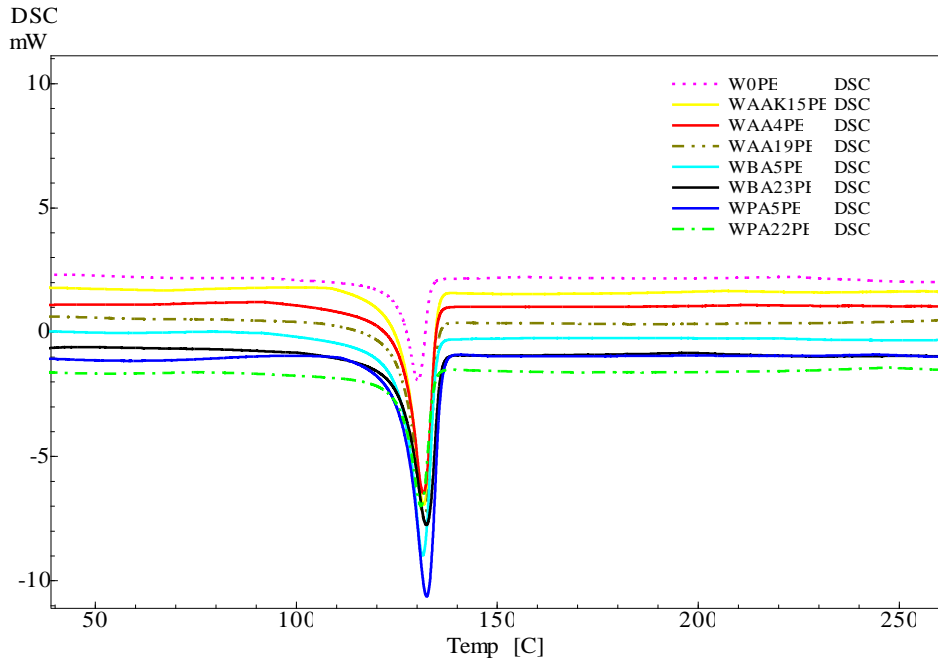
Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri Çizelge 5.10'da verilmiştir. Burada verilen değerlere göre kompozit örneklerinin erime sıcaklığı derecelerinin birbirine benzer sonuçlar sergilediği tespit edilmiştir. Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitler arasında WBA5PE kompozit örneğinin erime entalpisi ve kristalite yüzdesinin, hem WOPE kontrol kompozit örneğinin hemde diğer modifiye edilmiş odununu ilaveli kompozit örneklerinin erime entalpisi ve kristalite yüzdelerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerden genel olarak AA modifiyeli odununu ilaveli kompozit örneklerinin erime entalpileri ve kristalite yüzdesinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Mekanik test sonuçlarına göre Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerinden AA modifiyeli odununu ilaveli kompozitlerin genel olarak daha iyi mekanik performans sergilediği tespit edilmiştir. Bu durum ise kısa zincir uzunluğuna sahip AA ile modifiye edilmiş Karaçam odununu ilaveli kompozitlerin DSC kristalite yüzdelerindeki artış ile desteklenmiştir.

Çizelge 5.10. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri

Kompozit örnekleri	Erime sıcaklığı (°C)	Entalpi (J/g)	Kristalite (%)
W0PE	130,57	115,03	23,56
WAAK15PE	131,99	137,20	28,10
WAA4PE	131,93	139,45	28,56
WAA19PE	132,10	140,51	28,77
WPA5PE	132,77	116,24	23,80
WPA22PE	131,33	116,98	23,95
WBA5PE	131,82	147,78	30,26
WBA23PE	132,67	102,59	21,01

Şekil 5.45’de Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin DSC eğrileri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere modifiye edilmiş odun unu ilaveli kompozitlerin erime piki derinliğinin kontrol kompozit örneğinin erime piki derinliğinden fazla olduğu görülmüştür.



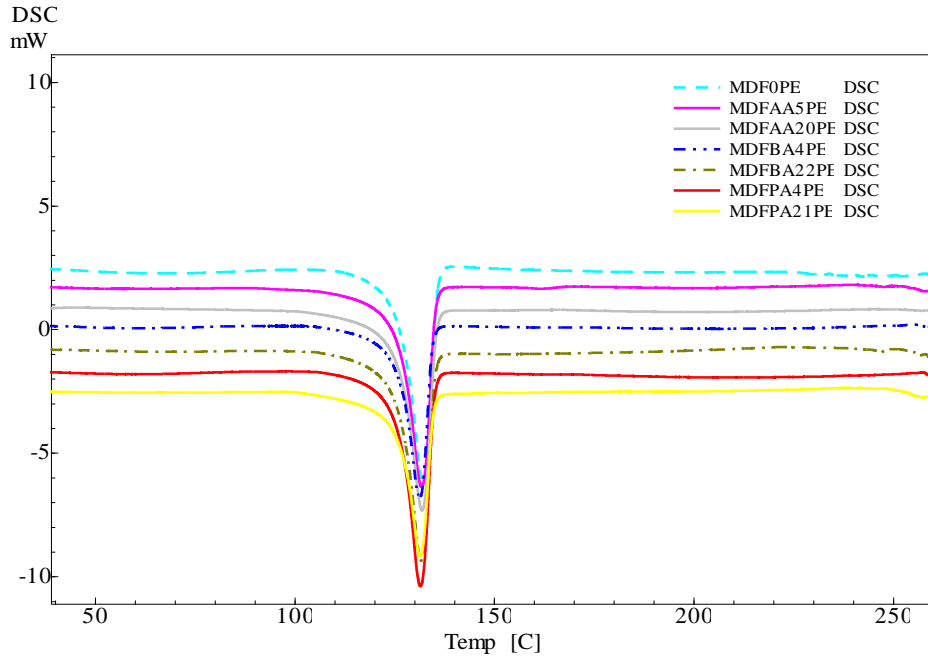
Şekil 5.45. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin DSC eğrileri

MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri Çizelge 5.11’de verilmiştir. Burada verilen değerlere göre kompozitlerin erime sıcaklığı derecelerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin erime entalpisi ve kristalite yüzdelerinin MDF0PE kontrol

kompozit örneğinin erime entalpisi ve kristalite yüzdesinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Burada MDFAA20PE, MDFPA4PE ve MDFBA22PE kompozit örneklerinin erime entalpileri ve kristalite yüzdesinin diğer kompozitlere kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin mekanik test sonuçlarına göre MDFAA20PE kompozit örneğinin çekme direnci değerinin kontrol ve diğer modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli kompozitlere kıyasla daha yüksek olması, burada elde edilen DSC kristalite yüzdesi sonuçları tarafından desteklenmiştir. Şekil 5.46'da MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin DSC eğrileri verilmiştir.

Çizelge 5.11. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri

Kompozit örnekleri	Erime sıcaklığı (°C)	Entalpi (J/g)	Kristalite (%)
MDF0PE	132,41	109,99	22,52
MDFAA5PE	132,03	111,55	22,84
MDFAA20PE	132,18	127,85	26,18
MDFPA4PE	131,74	129,30	26,48
MDFPA21PE	131,68	111,34	22,80
MDFBA4PE	131,56	110,22	22,57
MDFBA22PE	131,93	122,13	25,01



Şekil 5.46. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin DSC eğrileri

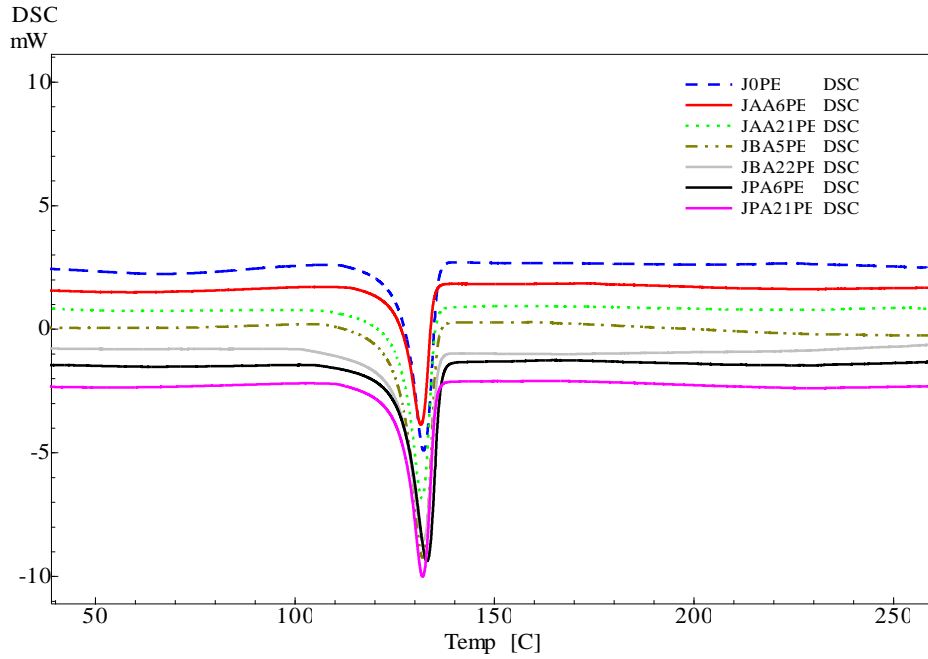
Şekil 5.46'da görüldüğü üzere, genel olarak modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli kompozitlerin erime piki derinliğinin kontrol kompozit örneğinin erime piki derinliğinden fazla olduğu ve kompozitlerin erime sıcaklığı derecelerinin de birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri Çizelge 5.12'de verilmiştir. Burada jüt lifi ilaveli YYPE kompozit örneklerinin erime sıcaklığı derecelerinin birbirine yakın sonuçlar sergilediği tespit edilmiştir. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitler arasında JPA6PE kompozit örneğinin erime entalpisi ve kristalite yüzdesinin, hem JOPE kontrol kompozit örneğinin hemde diğer modifiye edilmiş lif ilaveli kompozit örneklerinin erime entalpisi ve kristalite yüzdelerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca modifiye edici kimyasalın zincir uzunluğu artışı ile kompozitlerin erime entalpileri ve kristalite yüzdelerinin arttığı tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin mekanik özellikleri ile DSC kristalite yüzdeleri arasında oransal bir ilişki bulunamamıştır.

Çizelge 5.12. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri

Kompozit örnekler	Erime sıcaklığı (°C)	Entalpi (J/g)	Kristalite (%)
JOPE	132,59	93,95	19,24
JAA6PE	131,88	87,33	17,88
JAA21PE	132,11	113,50	23,24
JPA6PE	133,45	143,75	29,44
JPA21PE	132,30	132,23	27,08
JBA5PE	132,26	123,15	25,22
JBA22PE	132,54	129,77	26,57

Şekil 5.47'de jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin DSC eğrileri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere JAA6PE kompozit örneği hariç diğer modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli kompozitlerin erime piki derinliğinin kontrol kompozit örneğinin erime piki derinliğinden fazla olduğu ve kompozitlerin tamamının erime sıcaklığı derecelerinin de birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.47. Jüt ilaveli YYPE kompozitlerin DSC eğrileri

Ağırlıkça %20 oranında Oligomerik siloksan modifiyeli jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin erime ve kristallenme sıcaklıklarında önemli bir değişikliğin olmadığı bildirilmiştir. DSC analizi sonuçlarına göre kontrol kompozitlerin erime sıcaklığının 130 °C ve kristalitesinin %47,4 olduğu bildirilmiş, benzer şekilde modifiye edilmiş lif ilaveli kompozitlerin erime sıcaklığının 131 °C ve kristalitesinin %42,7 olduğu rapor edilmiştir (Seki ve ark., 2012). Bu çalışmada ise jüt liflerinin PA ve BA ile modifikasyonu sonrası YYPE polimer matrisine ilavesiyle kontrol kompozit örneğine kıyasla daha yüksek erime entalpileri ve kristalite yüzdeleri elde edilmiştir.

Bu çalışmada lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerden kontrol kompozitlerin kristalite yüzdeleri arasında yapılan kıyaslamada en düşük kristalite yüzdesinin jüt lifi ilaveli kompozit örneğinde, en yüksek ise Karaçam odunu ilaveli kompozit örneğinde olduğu görülmüştür. Ayrıca kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli kompozitlerin kristalite yüzdeleri arasında yapılan kıyaslamada ise en düşük kristalite yüzdesinin modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli kompozit örneğinde, en yüksek kristalite yüzdesinin modifiye edilmiş Karaçam odunu ilaveli kompozit örneğinde olduğu görülmüştür.

5.2.8.4. PP kompozitlerin DSC analizlerine ait bulgular

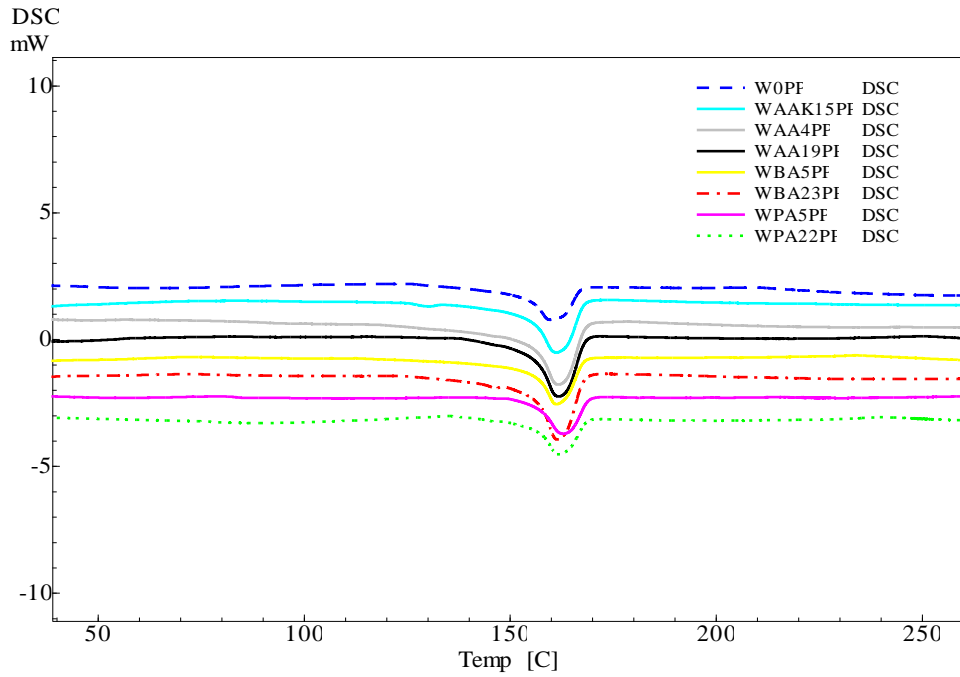
Odun kristal yapıya sahip selüloz, amorf yapıya sahip hemiselüloz ve ligninden meydana geldiği için odun unu ilave edilen polimer matrisin kristalitesi azalır. Odununun AA ile DMF ve K₂CO₃ katalizliğinde gerçekleştirilen kimyasal modifikasyonu sonrası PP matrise ilavesiyle elde edilen kompozitlerin, kontrol kompozit örneklerine kıyasla kristalite miktarları ve erime entalpilerinde artış görüldüğü bildirilmiştir (Kallakas ve ark., 2015).

Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri Çizelge 5.13'te verilmiştir. Burada verilen değerlere göre kompozit örneklerinin erime sıcaklığı derecelerinin kontrol kompozit örneğine kıyasla çok az miktar fazla olmakla beraber birbirine benzer sonuçlar sergilediği tespit edilmiştir. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerden WBA23PP kompozit örneğinin erime entalpisi ve kristalite yüzdesinin, hem W0PP kontrol kompozit örneğinin hemde diğer modifiye edilmiş odun unu ilaveli kompozit örneklerinin erime entalpisi ve kristalite yüzdelерinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerden AA modifiyeli odun unu ilaveli kompozit örneklerinin erime entalpileri ve kristalite yüzdelерinin diğer kompozitlere (WBA23PP hariç) göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.13. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri

Kompozit örnekleri	Erime sıcaklığı (°C)	Entalpi (J/g)	Kristalite (%)
W0PP	159,99	54,29	15,74
WAAK15PP	161,63	56,28	16,31
WAA4PP	162,04	63,51	18,41
WAA19PP	162,05	51,06	14,80
WPA5PP	163,38	29,86	8,66
WPA22PP	162,03	32,64	9,46
WBA5PP	161,55	44,74	12,97
WBA23PP	161,74	64,20	18,61

Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin DSC eğrileri Şekil 5.48'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere modifiye edilmiş Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin erime piki derinliğinin kontrol kompozit örneğinin erime piki derinliğinden fazla olduğu ve erime sıcaklıklarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 5.48. Karaçam odunu ilaveli PP kompozitlerin DSC eğrileri

Alkalizasyon işlemine tabi tutulmuş odun liflerinden üretilen PP kompozitlerin erime sıcaklıkları saf polimerin erime sıcaklığına kıyasla artmıştır. Dolgu maddeleri polimerde çekirdekleştirici ajan (nükleasyon ajanı) olarak hareket ettiğinden dolayı polimerin kristallenme sıcaklığı dolgu maddelerinin ilavesiyle artmaktadır. Ayrıca dolgu maddelerinin kimyasal modifikasyonu polimerin kristallenme sürecini hızlandırabilir. Dolgu maddelerinin eklenmesiyle polimerin erime entalpisi ve kristalliği saf polimerin miktarının azalması ve dolgu maddelerinin kristalizasyon işlemine müdahalesi nedeniyle düşüş gösterebilmektedir (Gwon ve ark., 2010b). Bu çalışmada Karaçam odununun AA ve BA ile modifikasyonu sonrası PP matrise ilavesiyle elde edilen kompozitlerin kontrol kompozit örneğine kıyasla kristalite yüzdelerinde artış görülmüştür.

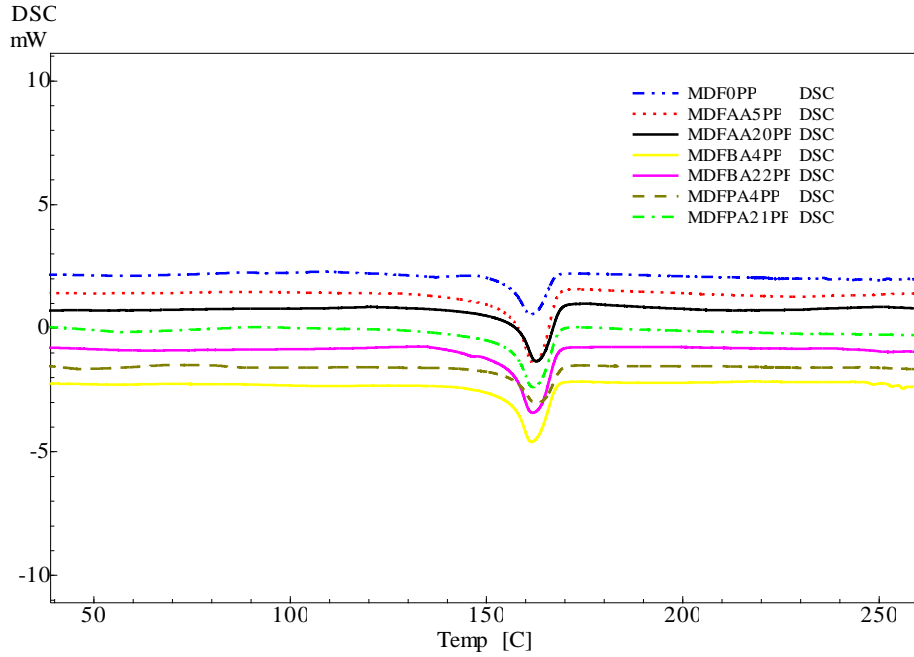
MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri Çizelge 5.14'te verilmiştir. Burada kompozitlerin erime sıcaklığı derecelerinin birbirine yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin erime entalpisi ve kristalite yüzdelerinin MDF0PP kontrol kompozit örneğinin erime entalpisi ve kristalite yüzdesinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Burada her iki WPG değerine sahip AA modifiyeli MDF tozu ilaveli kompozit örnekleri ile yüksek WPG değerine sahip PA ve BA modifiyeli MDF tozu ilaveli kompozit örneklerinin (MDFPA21PP ve MDFBA22PP) erime entalpileri ve kristalite yüzdelerinin diğer

kompozitlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerden MDFAA5PP kompozit örneğinin eğilme direnci özelliğinin kontrol ve diğer modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli kompozitlere kıyasla daha iyi olması DSC kristalite yüzdeleri tarafından desteklenmiştir.

Çizelge 5.14. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri

Kompozit örnekleri	Erime sıcaklığı (°C)	Entalpi (J/g)	Kristalite (%)
MDF0PP	161,61	34,05	9,87
MDFAA5PP	162,38	74,09	21,48
MDFAA20PP	162,99	68,12	19,74
MDFPA4PP	163,10	38,22	11,08
MDFPA21PP	162,13	64,40	18,67
MDFBA4PP	161,77	47,76	13,84
MDFBA22PP	162,06	56,89	16,49

Şekil 5.49’da MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin DSC eğrileri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin erime piki derinliğinin kontrol kompozit örneğinin erime piki derinliğinden daha fazla olduğu ve kompozitlerin erime sıcaklıklığı derecelerinin de birbirine yakın değerler sergilediği görülmüştür.

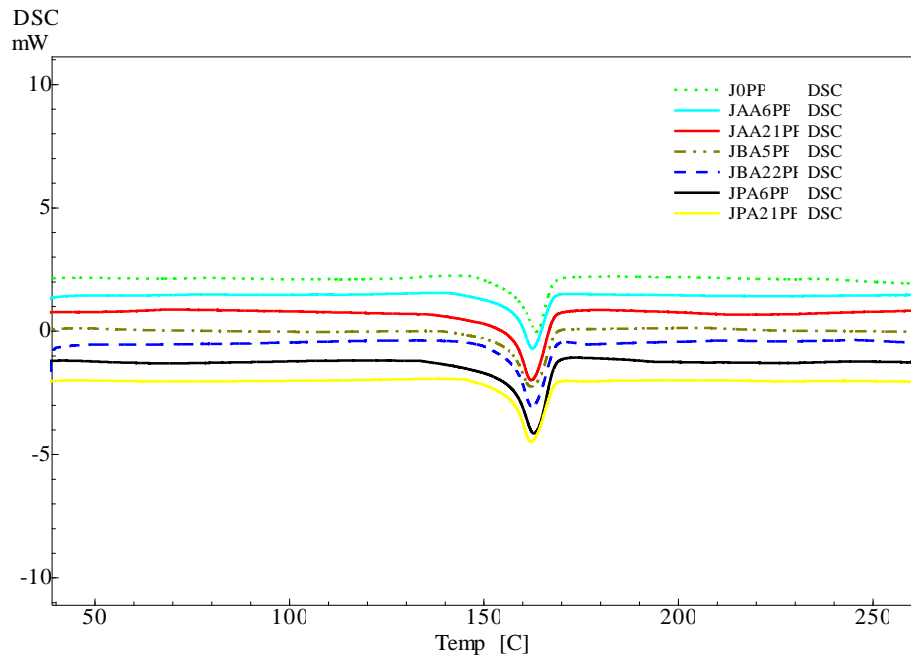


Şekil 5.49. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin DSC eğrileri

Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri Çizelge 5.15’de verilmiştir. Çizelgede jüt lifi ilaveli PP kompozit örneklerinin erime sıcaklığı derecelerinin birbirine yakın değerler sergilediği tespit edilmiştir. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerden JAA21PP kompozit örneğinin erime entalpisi ve kristalite yüzdesinin, hem J0PP kontrol kompozit örneğinin hemde diğer modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli kompozit örneklerinin erime entalpisi ve kristalite yüzdelerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin mekanik özellikleri ile DSC kristalite yüzdeleri arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin DSC eğrileri Şekil 5.50’de verilmiştir.

Çizelge 5.15. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin DSC analizi sonuç değerleri

Kompozit örnekleri	Erime sıcaklığı (°C)	Entalpi (J/g)	Kristalite (%)
J0PP	163,91	34,30	9,94
JAA6PP	162,77	43,45	12,59
JAA21PP	162,50	69,78	20,23
JPA6PP	163,15	67,22	19,48
JPA21PP	162,44	46,82	13,57
JBA5PP	162,43	46,09	13,36
JBA22PP	162,73	39,19	11,36



Şekil 5.50. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin DSC eğrileri

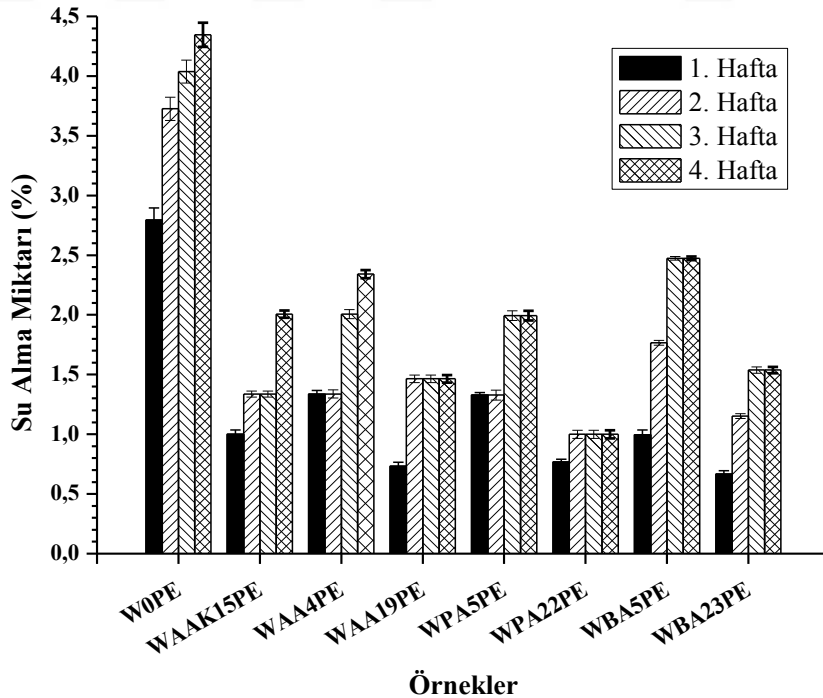
Şekil 5.50’de görüldüğü üzere, modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin erime piki derinliğinin kontrol kompozit örneğinin erime piki derinliğinden fazla olduğu ve kompozitlerin tamamının erime sıcaklığı derecelerinin de birbirine yakın değerler sergilediği görülmüştür.

Burada verilen DSC analizi sonuçlarına göre lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden kontrol kompozitler arasında en düşük kristalite yüzdesi MDF tozu ve jüt lifi ilaveli kompozit örneklerinde, en fazla kristalite yüzdesi ise Karaçam odunu ilaveli kompozit örneğinde rastlanmıştır. Diğer taraftan kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitler arasında en düşük kristalite yüzdesine modifiye edilmiş Karaçam odunu ilaveli kompozit örneğinde, en yüksek kristalite yüzdesine ise kimyasal olarak modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli kompozit örneğinde rastlanmıştır.

5.2.9. Kompozitlerin fiziksel özelliklerine ait bulgular

5.2.9.1. YYPE kompozitlerin su alma testine ait bulgular

Karaçam odunu ilaveli YYPE kompozitlerin su alma miktarları Şekil 5.51’de verilmiştir.

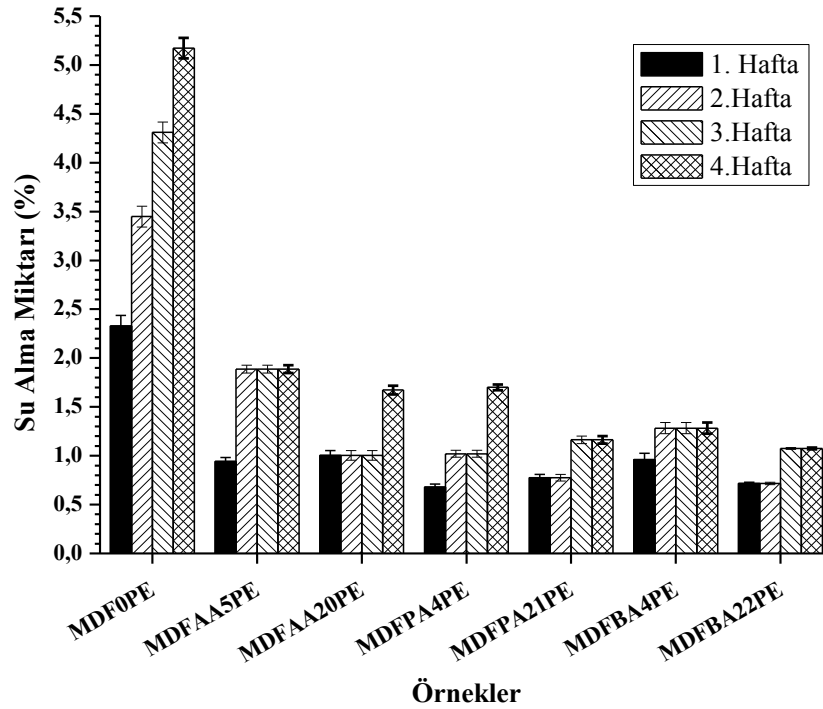


Şekil 5.51. Karaçam odunu ilaveli YYPE kompozitlerin su alma miktarları

Şekil 5.51’de görüldüğü üzere, sırasıyla bir, iki, üç ve dört hafta su içerisinde bekletilen kompozit örneklerinin su alma testi sonuçlarına göre en fazla su alma miktarı kontrol Karaçam odununu ilaveli WOPE kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Kontrol kompozit örneğinin ilk hafta sonundaki su alma miktarı yaklaşık %2,8, ikinci, üçüncü ve dördüncü haftaların sonundaki su alma miktarları ise sırasıyla %3,72, %4,03 ve %4,34 ölçülmüştür.

Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerden modifiyeli kompozitler arasında yapılan kıyaslamada 4 hafta sonrası ortalama %0,94 değeri ile en az su alan kompozit örneğinin PA modifiyeli (%22 WPG) WPA22PE kompozit örneği olduğu görülmüştür. Diğer yandan modifiyeli kompozitler arasında 1-4 hafta ortalamasına göre en fazla su alma miktarı %1,92 değeri ile BA modifiyeli (%5 WPG) WBA5PE kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Ayrıca modifiye edilmiş odununu ilaveli YYPE kompozitlerin 1-4 hafta su alma miktarlarının ortalama %1,5 değerini aşmadığı tespit edilmiştir. Bu değerin ise WOPE kontrol kompozit örneğinin ilk hafta sonrası su alma miktarından bile oldukça az olduğu dikkatlerden kaçmamıştır.

Şekil 5.52’de MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin su alma miktarları verilmiştir.

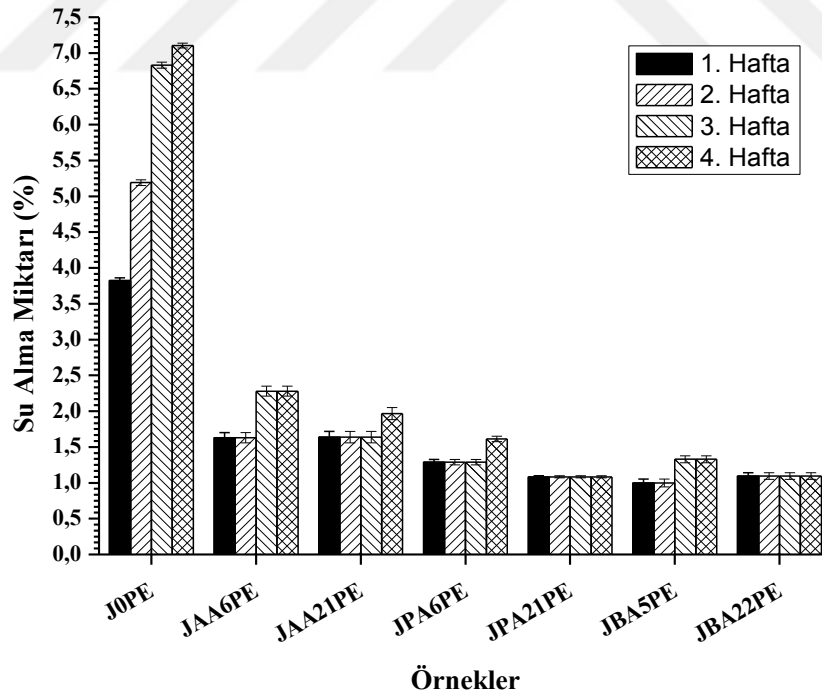


Şekil 5.52. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin su alma miktarları

Şekil 5.52’de verilen su alma miktarlarında, kontrol kompozit örneği ile modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli kompozit örnekleri arasında önemli fark olduğu görülmüştür. Kontrol MDF tozu ilaveli MDF0PE kompozit örneğinin birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü haftaların sonundaki su alma miktarları sırasıyla %2,32, %3,44, %4,31 ve %5,17 tespit edilmiştir.

Kimyasal olarak modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerden 1-4 hafta ortalamasına göre en az su alma miktarı %0,89 değeri ile BA modifiyeli (%22 WPG) MDFBA22PE kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Diğer taraftan modifiyeli kompozitler arasında yapılan kıyaslamada en fazla su alma miktarının ortalama %1,65 değeri ile AA modifiyeli (%5 WPG) MDFAA5PE kompozit örneği olduğu görülmüştür. Burada modifiyeli kompozit örneklerinin su alma miktarlarının 1-4 hafta ortalama %1,17 değerini aşmadığı görülmüştür. Ayrıca MDF0PE kontrol kompozit örneğinin 1-4 hafta ortalama su alma miktarının %3,81 değeri ile modifiyeli kompozit örneklerinin ortalama su alma miktarlarından 3 kat daha fazla su aldığı tespit edilmiştir.

Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin su alma miktarları Şekil 5.53’te verilmiştir.



Şekil 5.53. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin su alma miktarları

Şekil 5.53’te görüldüğü üzere, kontrol jüt lifi ilaveli JOPE kompozit örneğinin birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü haftaların sonundaki su alma miktarları sırasıyla %3,82, %5,19, %6,83 ve %7,1 olarak tespit edilmiştir. Burada verilen değerlerde kontrol

kompozit örneği ile modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli kompozitlerin su alma miktarları arasında belirgin fark olduğu görölmüştür. Genel olarak modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli kompozit örneklerinin su alma miktarlarının, kontrol kompozit örneğine göre oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir.

Kimyasal olarak modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli YYPE kompozitler arasında 1-4 hafta sonrası en az su alma miktarı ortalama %1,08 değeri ile PA modifiyeli (%22 WPG) JPA21PE kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Diğer yandan modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli kompozitler arasında 1-4 hafta ortalamasına göre %1,95 değeri ile en fazla su alan kompozit örneğinin AA modifiyeli (%6 WPG) JAA6PE kompozit örneği olduğu tespit edilmiştir. Burada modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli kompozit örneklerinin 1-4 hafta ortalama su alma miktarları %1,39 hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerin JOPE kontrol kompozit örneğinin 1-4 hafta ortalamasında elde edilen %5,73 değerinden yaklaşık 4 kat daha az olduğu görölmüştür.

Kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli kompozitlerin boyutsal kararlılığındaki gelişim kimyasal modifikasyonun bir sonucu olarak lignoselülozik madde yapısındaki OH gruplarındaki azalış ile ilişkilendirilebilir (Wei ve ark., 2013). Buradaki YYPE kompozitlerden kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli kompozitlerin, kontrol kompozit örneklerine göre su alma miktarlarındaki azalışın, kimyasal modifikasyon sonrası lignoselülozik madde yüzeylerinin higroskopitesindeki düşüşten ve artan boyutsal kararlılıktan kaynaklandığı düşünölmektedir.

Bu çalışmada lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE matrise ilavesiyle elde edilen kompozit örneklerinin kontrol kompozit örneklerine kıyasla su alma miktarlarında azalış kaydedilmiştir. Kontrol kompozit örnekleri arasında yapılan kıyaslamada en az su alma miktarı Karaçam odununu ilaveli W0PE kompozit örneğinde, en fazla su alma miktarı ise jüt lifi ilaveli JOPE kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Diğer taraftan modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli kompozitler arasında en az su alan kompozit örneğinin MDF tozu ilaveli MDFBA22PE kompozit örneği olduğu, en fazla su alan kompozit örneğinin ise jüt lifi ilaveli JAA6PE kompozit örneği olduğu görölmüştür.

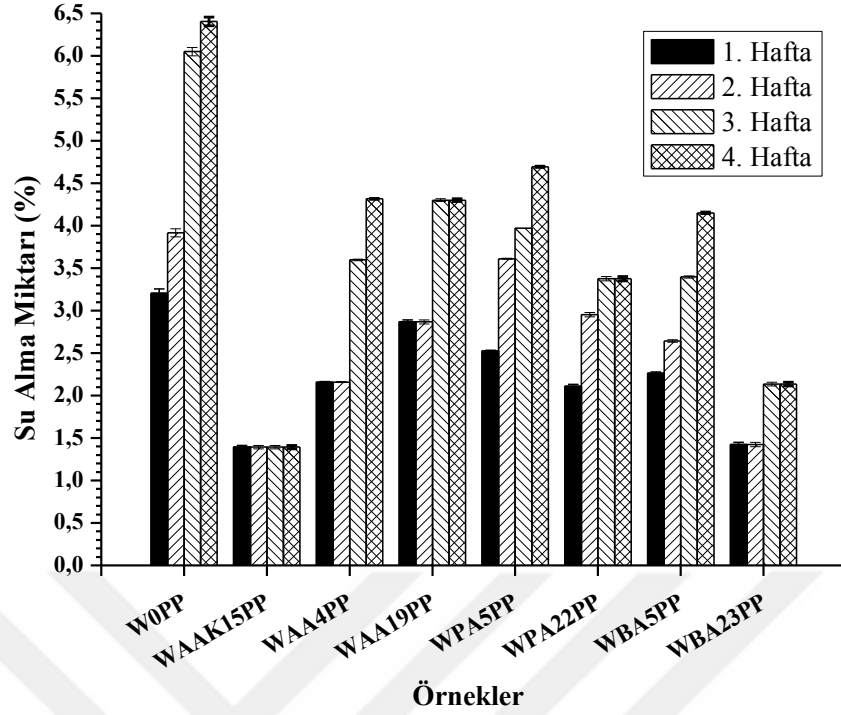
Odun lifi ilaveli YYPE kompozitlerin bir günlük suda bekletilmeleri sonucu su alma miktarlarının kontrol odun lifi ilaveli örneklerde %3,49, vinil asetat ile modifiye edilmiş odun lifi ilaveli örneklerde %2,01, vinil propiyonat ile modifiye edilmiş odun lifi

ilaveli örneklerde ise %0,29 olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca aynı örneklerin 61 gün suda bekletilmeleri sonucu su alma miktarlarının kontrol kompozitlerde %15,19, vinil asetat modifiyeli kompozitlerde %6,15, vinil propiyonat modifiyeli kompozitlerde ise %2,46 olduğu bildirilmiştir (Wei ve ark., 2013). Asetillendirilmiş odun yongası ve liflerinden üretilen yongalevha ve MDF'lerin kimyasal modifikasyon sonucu ağırlık kazançları arttıkça, levhaların su alma ve kalınlığına şişmesinin azaldığı rapor edilmiştir (Mohebbi ve ark., 2009).

Diğer bir çalışmada asetillendirilmiş Akasya odun lifi ilaveli YYPE kompozitlerin kontrol kompozitlere kıyasla su alma miktarlarında azalma görüldüğü belirtilmiştir. Ağırlıkça %40 oranında kontrol odun lifi ilaveli kompozitlerin 30 günlük su alma miktarının %9,05 olduğu rapor edilmiştir. Diğer yandan %4,9, %13,7 ve %18,3 WPG değeri elde edilen odun lifi ilaveli kompozitlerin su alma miktarlarının sırasıyla %6,66, %5,96 ve %5,19 olduğu rapor edilmiştir. Burada WPG değerinin artışına paralel olarak su alma miktarlarında azalış görüldüğü bildirilmiştir (Mat Taib ve ark., 2010). Benzer şekilde bu çalışmada da modifiye edilmiş lignoselülozik maddelerin yüksek WPG değerlerinde, düşük WPG değerlerine kıyasla su alma miktarlarında azalma olduğu görülmüştür. Ayrıca Karaçam odununu ilaveli WBA5PE kompozit örneği hariç diğer kompozit örneklerinde modifiye edici kimyasalın zincir uzunluğu artışı ile kompozitlerin su alma miktarlarında genel olarak azalma görülmüştür.

5.2.9.2. PP kompozitlerin su alma testine ait bulgular

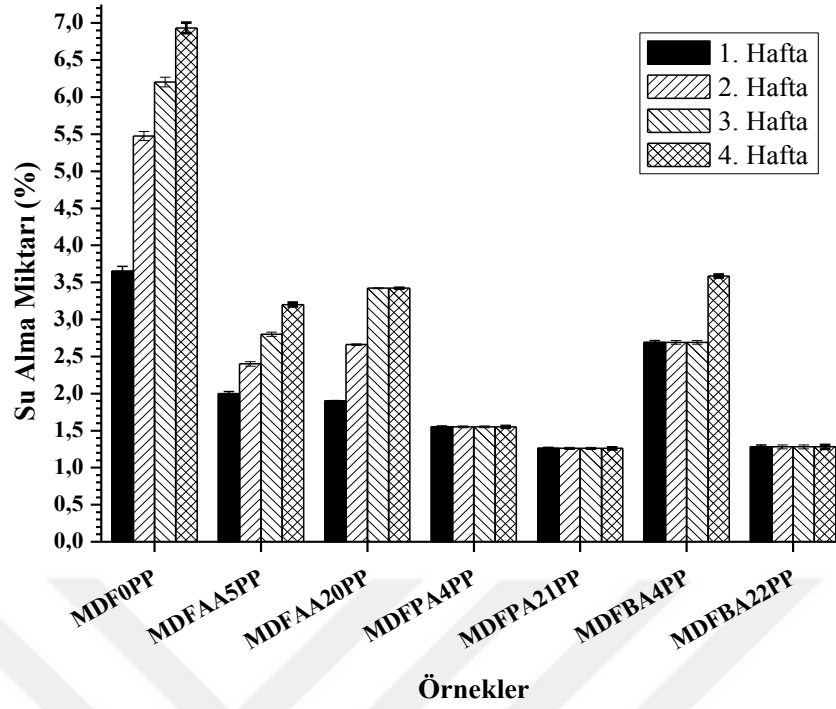
Karaçam odununu ilaveli PP kompozitlerin su alma miktarları Şekil 5.54'te verilmiştir. Burada kontrol Karaçam odununu ilaveli W0PP kompozit örneğinin birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü haftaların sonundaki su alma miktarları sırasıyla %3,2, %3,91, %6,04 ve %6,4 hesaplanmıştır. Modifiye edilmiş odununu ilaveli kompozitler arasında 1-4 hafta ortalamasına göre en az su alma miktarı %1,39 değeri ile klasik yöntem AA modifiyeli (%15 WPG) WAAK15PP kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Diğer taraftan BA modifiyeli (%23 WPG) WBA23PP kompozit örneğinin WAAK15PP kompozit örneğinden sonra en az su aldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.54. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin su alma miktarları

Modifiye edilmiş odun unu ilaveli kompozitler arasında 1-4 hafta ortalamasına göre en fazla su alma miktarı %3,7 değeri ile PA modifiyeli (%5 WPG) WPA5PP kompozit örneğinde görülmüştür. Burada ortalama su alma miktarı %4,89 olan kontrol kompozit örneğinin %2,79 olan modifiye edilmiş odun unu ilaveli kompozitlere göre oldukça yüksek miktarda su aldığı tespit edilmiştir.

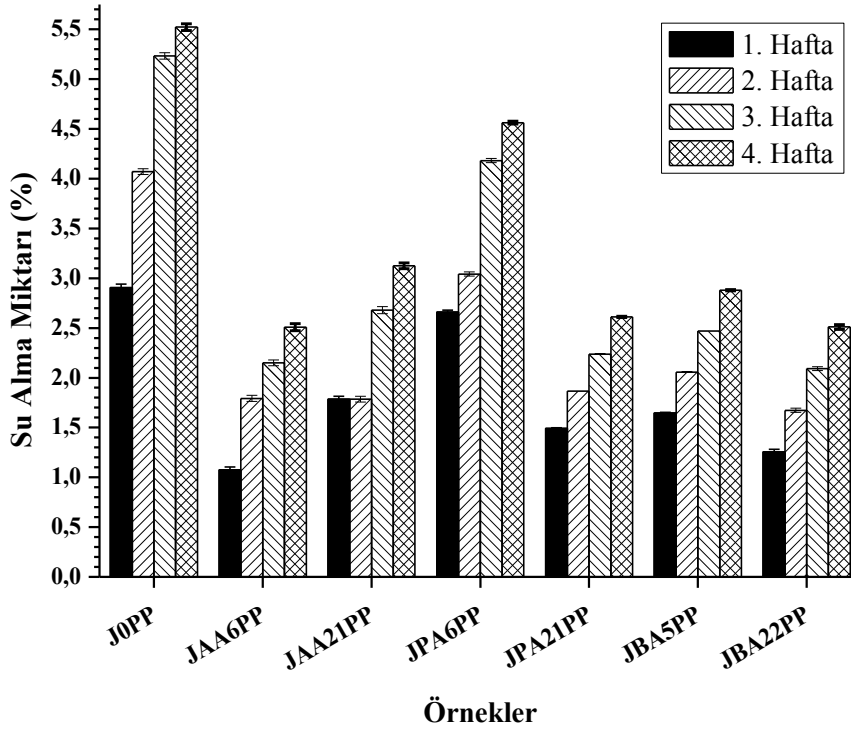
MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin su alma miktarları Şekil 5.55'te verilmiştir. Burada kontrol MDF tozu ilaveli MDF0PP kompozit örneğinin su alma miktarı, modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli kompozitlere kıyasla oldukça yüksek değer sergilemiştir. Kontrol kompozit örneğinin birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü haftaların sonundaki su alma miktarları sırasıyla %3,64, %5,47, %6,2 ve %6,93 hesaplanmıştır. Kompozitler arasında PA modifiyeli (%21 WPG) MDFPA21PP kompozit örneğinin 1-4 hafta ortalama su alma miktarı %1,26 değeri ile en iyi değeri sergilemiştir. Diğer taraftan modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli kompozitler arasında en yüksek su alma miktarı ortalama %2,91 değeri ile BA modifiyeli (%4 WPG) MDFBA4PP kompozit örneğinde görülmüştür.



Şekil 5.55. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin su alma miktarları

Şekil 5.55’de görüldüğü üzere kontrol kompozit örneğinin modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli kompozitlere kıyasla yaklaşık 2,5 kat daha fazla su aldığı tespit edilmiştir.

Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin su alma miktarları Şekil 5.56’da verilmiştir.



Şekil 5.56. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin su alma miktarları

Şekil 5.56'da görüldüğü üzere, kontrol jüt lifi ilaveli JOPP kompozit örneğinin ilk hafta sonunda %2,9, ikinci hafta sonunda %4,06, üçüncü hafta sonunda %5,23 ve dördüncü hafta sonunda %5,52 su aldığı tespit edilmiştir.

Kimyasal olarak modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin 1-4 hafta ortalama su alma miktarlarına göre, AA modifiyeli (%6 WPG) JAA6PP kompozit örneğinin diğer modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli kompozitlere kıyasla daha az (%1,88) su aldığı tespit edilmiştir. Diğer yandan modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli kompozitler arasında en fazla su alma miktarı %3,61 değeri ile PA modifiyeli (%6 WPG) JPA6PP kompozit örneğinde görülmüştür. Burada modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli kompozitlerin 1-4 hafta su alma ortalamasının %2,33 değeri ile kontrol kompozit örneğinin su alma miktarından yaklaşık %55 daha az olduğu tespit edilmiştir.

Herhangi bir kimyasal ile muamele edilmemiş ağırlıkça %40 ve %50 oranında odun unu ilaveli PP kompozitlerin 24 saat su içerisinde bekletildikten sonra ölçülen su alma miktarlarının sırasıyla %2,67 ve %4,1 olduğu belirtilmiştir. Ayrıca %50 odun unu ilaveli geri dönüştürülmüş PP matrisli kompozitlerin karışımına %3 ve %5 oranında MAPP eklenmesiyle, kompozitlerin 24 saat su alma miktarlarının sırasıyla %1,3 ve %1,11 olduğu rapor edilmiştir (Bhaskar ve ark., 2012). Diğer bir çalışmada Sodyum hidroksit (NaOH) ile muamele edilmiş odun lifi ilaveli PP kompozitlerin bir hafta su içerisinde bekletildikten sonra su alma miktarının %3,6 olduğu bildirilmiştir (Gwon ve ark., 2010b).

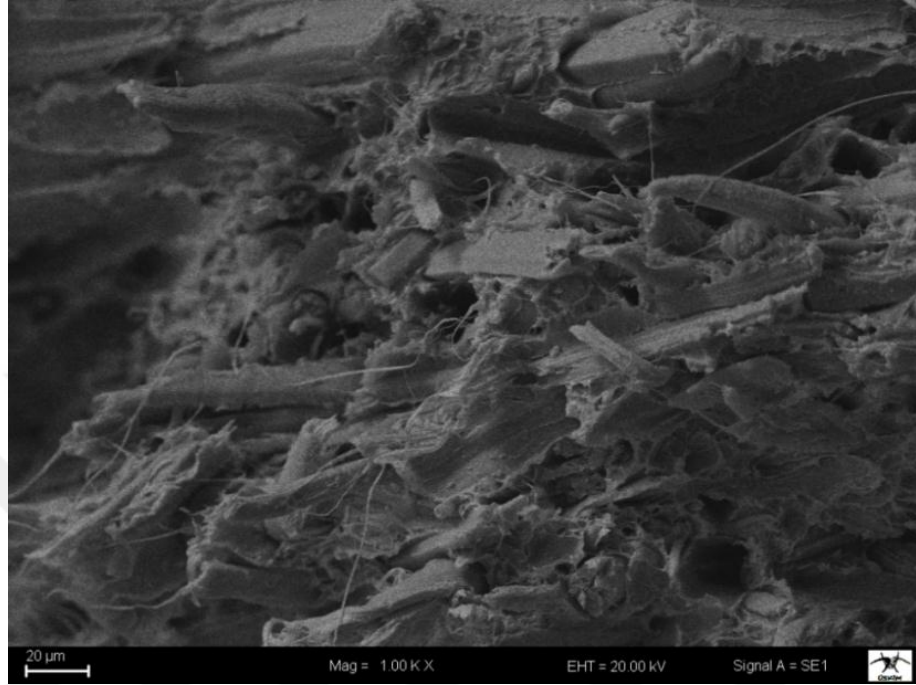
Bu çalışmada kontrol PP kompozitlerin su alma miktarları arasında yapılan kıyaslamada en az su alma miktarına sahip kompozit örneğinin jüt lifi ilaveli JOPP kompozit örneği olduğu görülmüştür. Diğer taraftan modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerin su alma miktarları arasında yapılan kıyaslamada en az su alan kompozit örneğinin PA modifiyeli (%21 WPG) MDF tozu ilaveli MDFPA21PP kompozit örneği olduğu tespit edilmiştir.

5.2.10. Kompozitlerin morfolojik özelliklerine ait bulgular

5.2.10.1. YYPE kompozitlerin SEM analizlerine ait bulgular

Şekil 5.57'de YYPE kompozitler arasında en iyi çekme ve eğilme direnci özelliğini sergileyen AA modifiyeli (%21 WPG) jüt lifi ilaveli JAA21PE kompozit örneğinin SEM görüntüsü verilmiştir. Burada verilen görüntüde jüt liflerinin YYPE matris ile homojen bir şekilde karıştığı görülmüştür. Lignoselülozik maddelerin AA, PA ve BA ile kimyasal modifikasyonu sonrası OH grupları ile yer değiştiren asetil, propil ve bütül

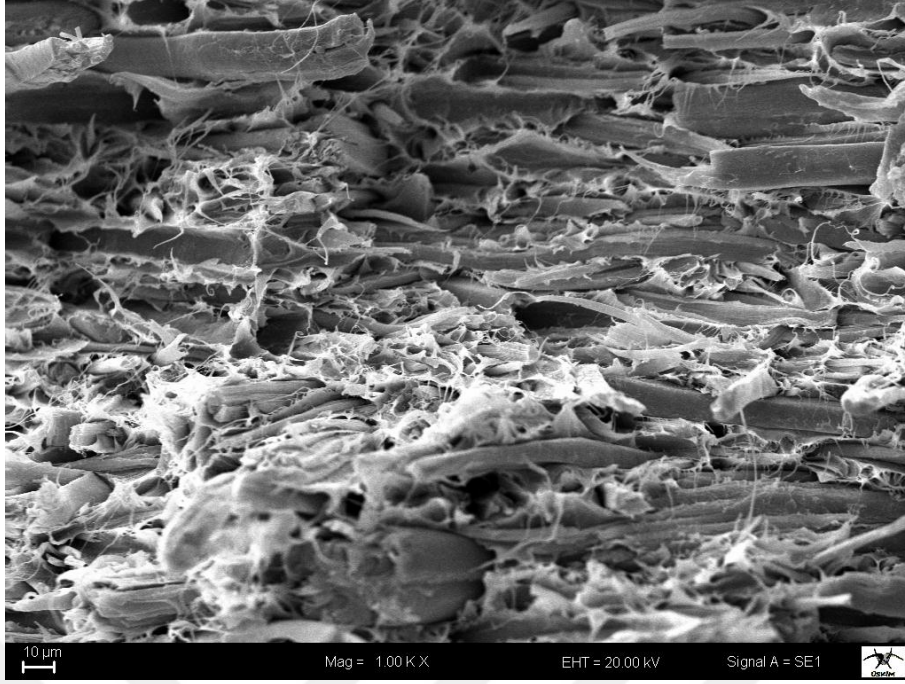
grupları, polimer matris ile lignoselülozik maddeler arasında bağlanmayı artırdığından, polimer-lignoselülozik madde ayrışması daha az görülür. Şekil 5.57’de verilen JAA21PE kompozit örneğinin SEM görüntüsünde ince iplikçikler şeklindeki polimer uzantıları, polimer matris ile jüt liflerinin iyi bağ yaptığının kanıtı olmuştur.



Şekil 5.57. En iyi çekme ve eğilme direnci özelliğini sergileyen YYPE kompozit örneğinin (JAA21PE) SEM görüntüsü

Ek-4.A’da verilen diğer lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntülerinde, kontrol kompozitlerdeki dolgu maddesi ayrışması sonucu polimer matris ile dolgu maddesi arasındaki uyumsuzluktan kaynaklı gerilme dayanımı eksikliği nedeniyle boşluklu bir yapının oluştuğu tespit edilmiştir.

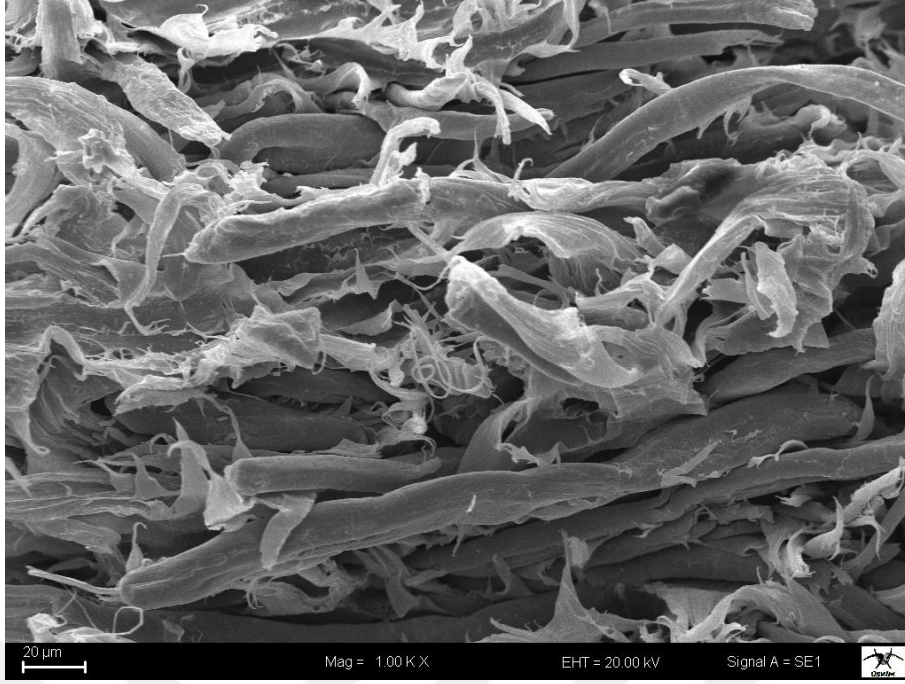
Kimyasal olarak modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerden elde edilen görüntülerde (Ek-4.A), jüt liflerinin polimer matris yüzeyine bağlandığını kanıtlayan birçok polimer parçacıkları görülmüştür. En iyi eğilmede elastikiyet modülü değerini sergileyen JBA22PE kompozit örneğinin SEM görüntüsü Şekil 5.58’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere BA modifiyeli (%22 WPG) jüt lifleri polimer matris ile homojen bir şekilde karışmıştır.



Şekil 5.58. En iyi eğilmede elastikiyet modülü değerini sergileyen YYPE kompozit örneğinin (JBA22PE) SEM görüntüsü

Kompozitlerin kırılma yüzeylerinin SEM görüntülerinde lignoselülozik dolgu maddelerinin kimyasal modifikasyonu ile polimer matristeki dağılımlarının iyileştiği belirtilmiştir. Kompozitlerin gerilme mukavemeti hem lignoselülozik madde içeriğine hem de kullanılan bağ ajanına bağlıdır. Kompozitlerin diğer mekanik özelliklerinin (elastikiyet modülü, kopma uzaması, tokluk) ise büyük oranda lignoselülozik madde içeriğine ve daha az oranda bağlama ajanı mevcudiyetine bağlı olduğu bildirilmiştir (Colom ve ark., 2003).

Bu çalışmada ligoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE matrise ilavesiyle genel olarak kompozitlerin darbe direnci özellikleri olumsuz yönde etkilenmiştir. Şekil 5.59'da YYPE kompozitler arasında en iyi darbe direnci özelliğini sergileyen JOPE kontrol kompozit örneğinin SEM görüntüsü verilmiştir.



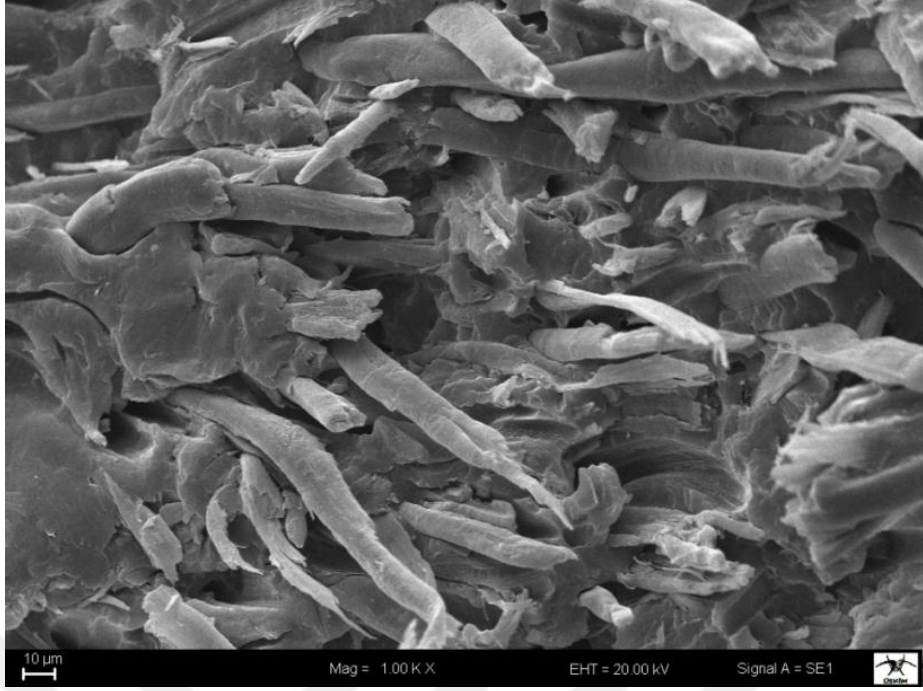
Şekil 5.59. En iyi darbe direnci özelliğini sergileyen YYPE kompozit örneğinin (J0PE) SEM görüntüsü

Modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitler arasında en iyi darbe direnci özelliği ise üstte açıklanan en iyi çekme ve eğilme direnci özelliği sergileyen AA modifiyeli (%21 WPG) JAA21PE kompozit örneğinde görülmüştür (Bkz. Şekil 5.57).

5.2.10.2. PP kompozitlerin SEM analizlerine ait bulgular

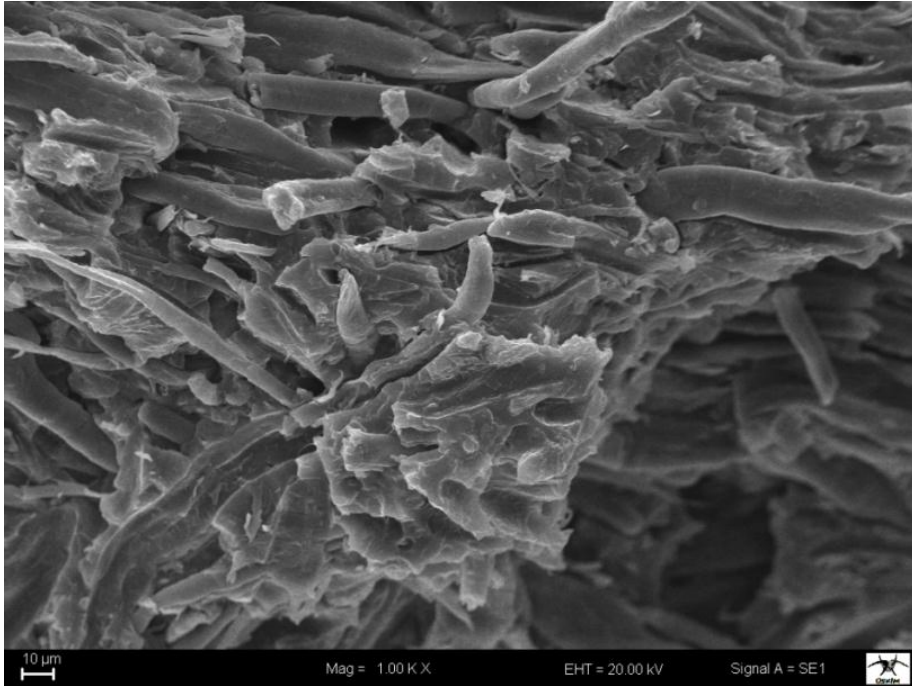
Kompozit malzemelerdeki dolgu maddesi ile polimer matrisin kuvvetli bağ yapması durumunda kırılma yüzeylerindeki kopmalar lifli bir yapı gösterir. SEM görüntüleri, modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli kompozitlerin gelişmiş mekanik özelliklerini net bir şekilde açıklamaktadır. Kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli kompozitlerde polimer matris ile dolgu maddeleri arasındaki güçlü etkileşimin kompozitlerin mekanik özelliklerini geliştirdiği bildirilmiştir. Asetillendirilmiş Okalipthus odun lifi ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntülerinde, liflerin polimer matris ile dağılımının ve bağ yapma kabiliyetinin arttığı rapor edilmiştir (Li, 2014).

Şekil 5.60'da en iyi çekme ve eğilme direnci özelliği ile elastikiyet modülü değerlerine sahip PP kompozitlerden JAA6PP kompozit örneğinin SEM görüntüsü verilmiştir. Ayrıca diğer kontrol ve modifiyeli PP kompozit örneklerinin SEM görüntüleri Ek-4.B'de verilmiştir. Burada AA modifiyeli (%6 WPG) jüt lifi ilaveli JAA6PP kompozit örneğinin kırılma yüzeyinde görülen lif kopmaları, diğer kontrol kompozitlere göre daha iyi bağ yaptığının kanıtı olmuştur.



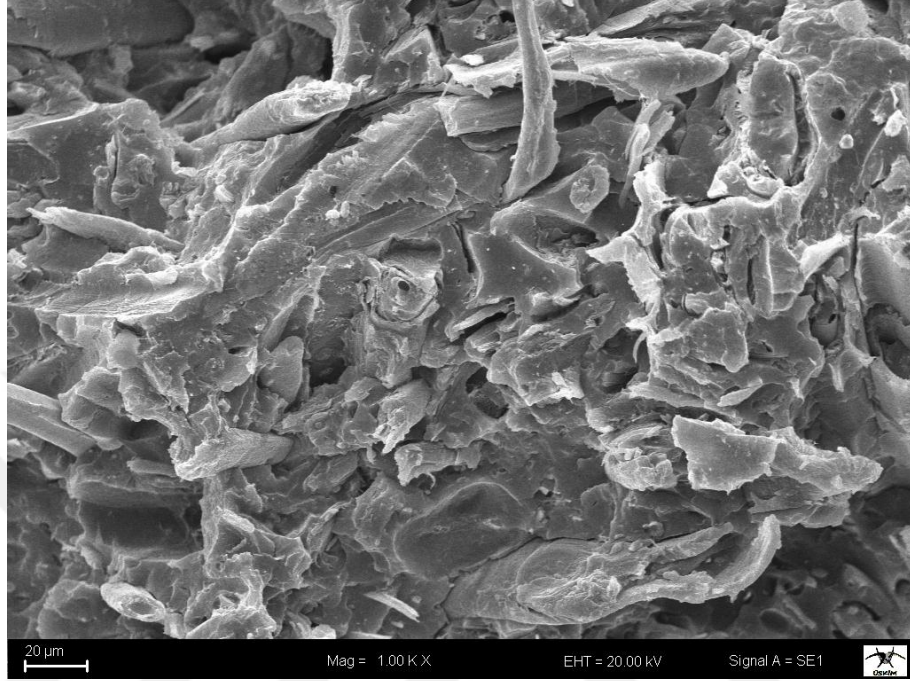
Şekil 5.60. En iyi çekme ve eğilme direnci özelliği ile elastikiyet modülü değerlerini sergileyen PP kompozit örneğinin (JAA6PP) SEM görüntüsü

Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası PP matrise ilavesiyle elde edilen kompozitlerin darbe direnci özelliklerinde düşüş görülmüştür. PP kompozitler arasında en iyi darbe direnci özelliğini kontrol jüt lifi ilaveli JOPP kompozit örneği göstermiştir (Şekil 5.61).



Şekil 5.61. En iyi darbe direnci özelliğini sergileyen PP kompozit örneğinin (JOPP) SEM görüntüsü

Kontrol kompozit örneği hariç modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci özelliklerinde yapılan kıyaslamalarda en iyi darbe direnci özelliğini BA modifiyeli (%22 WPG) MDFBA22PP kompozit örneği sergilemiştir (Şekil 5.62).



Şekil 5.62. En iyi darbe direnci özelliğini sergileyen modifiyeli lignoselülozik madde ilaveli PP kompozit örneğinin (MDFBA22PP) SEM görüntüsü

Bu çalışma kapsamında üretilen kontrol ve modifiye edilmiş Karaçam odunu, MDF tozu ve jüt lifi ilaveli YYPE ve PP kompozitlerin tamamının SEM görüntüleri Ek-4.A ve Ek-4.B’de verilmiştir. Eklerde verilen SEM görüntülerinde kimyasal modifiyeli kompozit örneklerinde lignoselülozik maddeler ile polimer matrisin daha homojen karıştığı ve bunun neticesinde daha iyi bağ yaptığı görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada kompozit üretimi iki aşamada gerçekleştirilmiş olup, üretiminin 1. aşamasında lignoselülozik maddeler (Karaçam odun unu, MDF tozu ve jüt lifi) kompozit karışımına ilave edilmeden önce AA, PA ve BA kimyasalları ile modifiye edilmişlerdir. Kompozit üretiminin 2. aşamasında ise kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik maddelerin YYPE ve PP matrislerine ilave edilmesiyle kompozit pelletleri eldesi ve bu pelletlerden kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyon sonuçları ile kompozit malzemelerin mekanik, termal, fiziksel ve morfolojik özelliklerinin sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

6.1.1. Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyon sonuçları

✓ Bu çalışmada mikrodalga tekniği ile büyük ölçekli kimyasal modifikasyon işlemine başlamadan önce, lignoselülozik maddelerin mikrodalga cihazında kimyasal modifikasyonu için optimum deney koşullarını belirleme yoluna gidilmiştir. Yapılan ön çalışmalarda; 1 g lignoselülozik madde modifikasyonu için gerekli kimyasal madde miktarı 20 mmol, mikrodalga güç değeri 200 W ve reaksiyon süresi 30 dk belirlenmiştir.

✓ Belirlenen optimum reaksiyon koşullarında Karaçam odun unu, MDF tozu ve jüt lifinin kimyasal modifikasyonu AA, PA ve BA kimyasalları kullanılarak mikrodalga tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Kimyasal modifikasyon işlemi sonrası lignoselülozik maddelerde %4 ile %23 arasında WPG (ağırlık kazancı) elde edilmiştir. Burada elde edilen WPG değerleri kimyasal modifikasyon işleminin hücre çeperi içerisinde başarılı bir şekilde gerçekleştiğinin kanıtlarından biridir.

✓ Kimyasal modifikasyon işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini kanıtlayan diğer bir yöntem ise lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyon öncesi ve sonrası FTIR spektrumlarındaki fonksiyonel grupların pik şiddetlerinin kıyaslanmasıdır. Bu çalışmada lignoselülozik maddelerin modifikasyon öncesi ve sonrasında FTIR analizleri yapılmıştır. FTIR analizi sonuçlarına göre kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik maddelerin tamamının esterifikasyona bağlı olarak 1740 cm^{-1} bandı civarındaki karbonil (C=O) piki şiddetlerinde modifiye edilmemiş lignoselülozik maddelerin aynı FTIR bandı konumuna kıyasla artış kaydedilmiştir. Diğer yandan lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyon sonrasında 3200-3600 cm^{-1} bandı arasında görülen OH piki şiddetinde, modifiye edilmemiş lignoselülozik maddelerin aynı

band aralığındaki şiddete kıyasla azalış kaydedilmiştir. Bu ise lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonucu yapısındaki reaktif OH gruplarının modifiye edici kimyasal maddelerdeki asetil, propil ve bütil grupları ile yer değiştirmesinin kanıtı olmuştur.

✓ Ayrıca bu çalışmada, mikrodalga tekniği ile yapılan kimyasal modifikasyon işleminin, klasik modifikasyon yöntemiyle kıyaslanması yoluna gidilmiştir. Bunun için önceden belirlenen optimum AA miktarı (20 mmol/g) ile aynı miktarda AA kullanılarak klasik yöntemle modifikasyon işlemi yapılmıştır. Kıyaslama sonuçlarına göre mikrodalga tekniği ile 30 dakikada elde edilen WPG değerlerinin klasik yöntem ile 24 saatlik reaksiyon sonrası elde edilen WPG değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca mikrodalga tekniği sonrası daha yüksek WPG değerleri elde edildiğinden dolayı klasik yöntemle modifiye edilmişlere kıyasla daha güçlü FTIR piki şiddetleri görülmüştür.

6.1.2. Termoplastik kompozitlerin üretimi ve mekanik özelliklerine ait sonuçlar

Bu çalışmada L/D oranı 44 olan çift burgulu ekstruder kullanılarak modifiye edilmemiş lignoselülozik maddeler, ağırlıkça toplam kompozit karışım miktarının %40'ı oranında YYPE ve PP matrislere ilave edilerek kontrol kompozitlerin pellet üretimi başarılı şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kontrol kompozit örnekleri ile aynı katılım oranı ve aynı ekstruder parametrelerinde kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli YYPE ve PP kompozit pelletleri üretimi de başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Ekstruder sonrası elde edilen kontrol kompozit pelletleri ve modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli kompozit pelletlerinden kompozit malzeme üretimi için sıcak pres kalıplama tekniği ile kompozit levhaların üretimi de başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

6.1.2.1. YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerine ait sonuçlar

✓ Kontrol YYPE kompozitleri arasında en iyi çekme direnci özellikleri MDF tozu ilaveli YYPE kompozit örneğinde (18,07 MPa), en iyi eğilme (30,64 MPa) ve darbe direnci (42,24 J/m) değerleri ise jüt lifi ilaveli YYPE kompozit örneğinde tespit edilmiştir.

✓ Kimyasal modifikasyon işlemi YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerini genel olarak iyi yönde etkilemiştir. Kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitler arasında en iyi çekme (26,34 MPa), eğilme (42,61 MPa) ve darbe direnci (30,72 J/m) değerleri AA modifiyeli (%21 WPG) jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerde tespit edilmiştir.

✓ Modifikasyon işlemi sonrası odun bileşenlerindeki hidroksil grupları yerlerine bağlanan grupların zincir uzunluğundaki artış, üretilen YYPE kompozitlerin tamamının çekme direnci değerlerinde azalışa sebep olmuştur.

✓ Kimyasal maddelerin zincir uzunluğundaki artış Karaçam odununu ve MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde azalışa, jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde ise artışa yol açmıştır.

✓ Kimyasal maddelerin zincir uzunluğundaki artış MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci değerlerinde artışa, Karaçam odununu ve jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci değerlerinde ise azalışa sebep olmuştur.

✓ Kimyasal modifikasyon sonrası elde edilen WPG değeri artışı, Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerin çekme dirençleri üzerinde olumsuz etki yapmıştır. MDF tozu ve jüt lifinin AA ile modifikasyonu sonucu elde edilen WPG artışı YYPE kompozitlerin çekme direnci değerlerinde artışa, PA ve BA modifikasyonu sonucu elde edilen WPG artışı ise MDF tozu ve jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci değerlerinde azalışa neden olmuştur.

✓ WPG değeri artışının AA modifiyeli Karaçam odununu ve jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerleri üzerinde olumlu etkisi olmuştur. Diğer taraftan PA modifiyeli YYPE kompozitlerin tamamının WPG değerindeki artış ile eğilme direnci değerlerinde azalma görülmüştür. Bunlara ek olarak BA modifiyeli Karaçam odununu ve MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde WPG artışı ile azalma görülürken, BA modifiyeli jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin WPG değerindeki değişimin eğilme direnci değerine herhangi bir tesirinin olmadığı tespit edilmiştir.

✓ Kimyasal modifikasyon sonrası artan WPG değerinin AA modifiyeli bütün YYPE kompozit örneklerin darbe direnci değerleri üzerine olumlu etkisi olmuştur. Diğer yandan PA ve BA modifikasyonu sonrası artan WPG değeri ile YYPE kompozitlerin darbe direnci değerleri olumsuz yönde etkilenmiştir.

✓ Klasik yöntemle modifiye edilmiş Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitler, aynı kimyasal ile mikrodalga cihazında modifiye edilmiş Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlere göre daha yüksek çekme direnci yanında daha düşük eğilme ve darbe direnci değerleri sergilemiştir.

6.1.2.2. PP kompozitlerin mekanik özelliklerine ait sonuçlar

✓ Kontrol PP kompozitleri arasında en iyi çekme direnci değeri Karaçam odunu ilaveli kompozitlerde (19,65 MPa), en iyi eğilme (44,27 MPa) ve darbe direnci (31,28 J/m) değerleri ise jüt lifi ilaveli kompozitlerde tespit edilmiştir.

✓ Kontrol kompozitlere kıyasla kimyasal modifikasyon işleminin PP kompozitlerin mekanik özelliklerine genel olarak belirgin etkisi olmamıştır. Kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitler arasında en iyi çekme (22,13 MPa) ve eğilme direnci (46,01 MPa) değerleri AA modifiyeli (%6 WPG) jüt lifi ilaveli kompozit örneklerinde belirlenmiştir. En iyi darbe direnci (21,12 J/m) değeri ise BA modifiyeli (%22 WPG) MDF tozu ilaveli kompozit örneklerinde tespit edilmiştir.

✓ Modifiye edici kimyasal maddelerin zincir uzunluktaki artışın PP kompozitlerin çekme ve eğilme direnci değerleri üzerine olumsuz yönde etkisi olmuştur.

✓ Modifiye edici kimyasalların zincir uzunluğundaki artış ile Karaçam odunu ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci değerlerinde düşüş görülmüştür. Diğer yandan MDF tozu ve jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci değerleri ile modifiye edici kimyasalların zincir uzunluğu artışı arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.

✓ Kimyasal modifikasyon sonrası lignoselülozik maddelerde elde edilen WPG artışı PP kompozitlerin çekme direnci değerlerini az miktar olumsuz etkilemiştir.

✓ Lignoselülozik maddelerin WPG değerlerindeki artış AA ve PA modifiyeli lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerin eğilme dirençleri üzerinde olumsuz yönde etki etmiştir. Diğer yandan lignoselülozik maddelerin BA modifikasyonu sonrası elde edilen WPG artışı, eğilme dirençleri üzerinde çok az iyileşmeye sebep olmuştur.

✓ Kimyasal modifikasyon sonrası elde edilen WPG artışı Karaçam odunu ilaveli PP kompozitlerin tamamının darbe dirençlerine olumsuz etki yapmıştır. Diğer taraftan PA modifiyeli MDF tozu ilaveli PP kompozitler hariç AA ve BA modifiyeli MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin WPG artışı ile darbe direnci değerlerinde artış görülmüştür. Ayrıca jüt lifinin modifikasyonu sonrası elde edilen WPG artışının kompozitlerin darbe direnci değerleri üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

✓ Klasik yöntem ile modifiye edilmiş Karaçam odunu ilaveli PP kompozitlerin, aynı kimyasal ile mikrodalga cihazında modifiye edilmiş Karaçam odunu ilaveli PP kompozitlere kıyasla çekme ve eğilme direnci değerlerinde düşüş, darbe direnci değerlerinde ise artış kaydedilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre termoplastik kompozitlerin mekanik özelliklerine kimyasal modifikasyon işleminin etkisi YYPE ve PP matrislerinde farklı olmuştur. Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonunu ile genel olarak YYPE matrisli kompozitlerde, PP matrisli kompozitlere kıyasla matris lif uyumluluğunun daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

6.1.3. Kompozitlerin termal özelliklerine ait sonuçlar

Bu çalışmada elde edilen kompozit malzemelerin TGA ve DSC analizleri yapılarak termal özellikleri ve kristalite değerleri incelenmiştir. Kompozitlerin termal özellikleri ve kristalite değerlerine ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

6.1.3.1. YYPE kompozitlerin termal özelliklerine ait sonuçlar

Bu çalışmada kullanılan lignoselülozik maddelerin kimyasal olarak modifiye edildikten sonra YYPE polimer matrise ilavesiyle elde edilen kompozitlerin, kontrol kompozitlere göre genel olarak termal özellikleri ile kristalite değerlerinde iyileşme kaydedilmiştir.

✓ Kimyasal olarak modifiye edilmiş Karaçam odununun YYPE polimer matrise ilavesiyle BA modifiyeli (%23 WPG) WBA23PE kompozit örneği hariç diğer modifiyeli Karaçam odunu ilaveli kompozitlerin tamamının termal özellikleri ve kristalite değerlerinde kontrol kompozit örneğine kıyasla iyileşme (bozunma sıcaklığında yaklaşık 15 °C ve kristalite değerinde %28'e varan artış) kaydedilmiştir.

✓ MDF tozunun kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE polimer matrise ilavesiyle elde edilen kompozitlerin tamamının kontrol kompozit örneğine kıyasla termal özelliklerinde ve kristalite değerlerinde iyileşme (bozunma sıcaklığında yaklaşık 16 °C ve kristalite değerinde %18'e varan artış) görülmüştür.

✓ Kimyasal olarak modifiye edilmiş jüt lifinin YYPE polimer matrise ilavesiyle elde edilen AA modifiyeli (%6 WPG) JAA6PE kompozit örneği hariç diğer modifiyeli kompozitlerin tamamının termal özelliklerinde ve kristalite değerlerinde kontrol kompozit örneğine kıyasla iyileşme (bozunma sıcaklığında yaklaşık 7 °C ve kristalite değerinde %53'e varan artış) tespit edilmiştir.

6.1.3.2. PP kompozitlerin termal özelliklerine ait sonuçlar

Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası PP matrise ilavesiyle elde edilen kompozit örneklerinin kontrol kompozit örneklerine göre termal özelliklerinde

genel olarak iyileşme görülürken sadece Karaçam odununu ilaveli kompozitlerin kristalite değerlerinde farklı sonuçlar elde edilmiştir.

✓ Kimyasal olarak modifiye edilmiş Karaçam odununu ilaveli PP kompozitlerden BA modifiyeli (%23 WPG) WBA23PP kompozit örneği hariç diğer modifiyeli kompozitlerin tamamının termal özelliklerinde ve kristalite değerlerinde iyileşme (bozunma sıcaklığında yaklaşık 11 °C ve kristalite değerinde %18'e varan artış) kaydedilmiştir. Bunlara ek olarak klasik yöntem AA modifiyeli (%15 WPG) WAAK15PP, mikrodalga tekniği ile AA modifiyeli (%4 WPG) WAA4PP ve BA modifiyeli (%23 WPG) WBA23PP kompozit örneklerinin kristalite değerlerinde iyileşme görülmüştür.

✓ Kimyasal olarak modifiye edilmiş MDF tozunun PP polimer matrisine ilavesiyle elde edilen kompozitlerin tamamının kontrol kompozit örneğine kıyasla termal özelliklerinde ve kristalite değerlerinde iyileşme (bozunma sıcaklığında yaklaşık 28 °C ve kristalite değerinde %127'ye varan artış) görülmüştür.

✓ Kimyasal olarak modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin tamamının kontrol kompozit örneğine göre termal özelliklerinde ve kristalite değerlerinde iyileşme (bozunma sıcaklığında yaklaşık 8 °C ve kristalite değerinde %53'e varan artış) kaydedilmiştir.

6.1.4. Kompozitlerin fiziksel özelliklerine ait sonuçlar

Bu çalışmada kontrol ve modifiye edilmiş lignoselülozik maddelerin YYPE ve PP polimer matrislerine ilavesiyle elde edilen kompozitlerin 4 hafta süresince suda bekletilmeleri sonucunda elde edilen su alma miktarları aşağıda açıklanmıştır.

6.1.4.1. YYPE kompozitlerin su alma özelliklerine ait sonuçlar

Kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerin su alma miktarlarında kontrol kompozitlere kıyasla genel olarak azalma kaydedilmiştir. YYPE kompozitlerden elde edilen su alma miktarı sonuçları aşağıda açıklanmıştır.

✓ Modifiye edilmiş Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerin su alma miktarlarının kontrol kompozit örneğinkinden daha (ortalama %147) az olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerin su alma miktarlarında modifiye edici kimyasalın zincir uzunluğunun çok fazla etkili olmadığı görülmüştür. Diğer yandan kimyasal modifikasyon sonrası WPG artışı ile Karaçam odununu ilaveli YYPE kompozitlerin su alma değerlerinde azalma görülmüştür.

✓ MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerden kontrol kompozit örneğinin su alma miktarlarının modifiyeli kompozitlere göre (ortalama %226) daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca modifiye edici kimyasalın zincir uzunluğu ve WPG artışı ile kompozitlerin su alma miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir.

✓ Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerden modifiyeli kompozit örneklerinin kontrol kompozit örneğine kıyasla su alma miktarlarının (ortalama %312) daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca modifiye edici kimyasalın zincir uzunluğu ve WPG artış ile kompozitlerin su alma miktarlarının giderek azaldığı tespit edilmiştir.

6.1.4.2. PP kompozitlerin su alma özelliklerine ait sonuçlar

Kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerin su alma miktarlarının kontrol kompozitlere kıyasla daha az olduğu görülmüştür. Lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerden modifiyeli ve modifiyesiz kompozit örneklerinden elde edilen su alma miktarı sonuçları aşağıda açıklanmıştır.

✓ Klasik yöntemle modifiye edilmiş Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin su alma miktarlarının kontrol ve mikrodalga tekniği ile modifiye edilmiş kompozitlere kıyasla daha az olduğu görülmüştür. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerden modifiyeli kompozit örneklerinin kontrol kompozit örneklerine kıyasla (ortalama %75) daha az su aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca modifiye edici kimyasalın zincir uzunluğu artışı ile kompozitlerin su alma miktarlarında azalma kaydedilmiştir.

✓ Kimyasal olarak modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin kontrol kompozitlere kıyasla su alma miktarlarında (ortalama %168) azalma görülmüştür. Ayrıca modifiye edici kimyasalın zincir uzunluğundaki artışı ile BA modifiyeli (%4 WPG) kompozit örneği hariç diğer kompozitlerin su alma miktarlarının giderek azaldığı tespit edilmiştir.

✓ Modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin su alma miktarlarının kontrol kompozit örneğine kıyasla (ortalama %55) daha az olduğu görülmüştür. Modifiye edilmiş jüt lifi ilaveli PP kompozit örnekleri arasında yapılan kıyaslamada modifiye edici kimyasalın zincir uzunluğu ve elde edilen WPG değeri ile kompozit malzemelerin su alma miktarları arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.

6.1.5. Kompozitlerin morfolojik özelliklerine ait sonuçlar

Lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası YYPE ve PP matrislerine ilavesiyle elde edilen kompozitlerin SEM görüntülerinde lignoselülozik maddelerin polimer matrisler ile homojen şekilde karıştığı görülmüştür. Burada artan

matris dolgu maddesi uyumluluğu sonucunda YYPE matrisli kompozitlerin kopma yuzyeylerinde polimer uzantıları gürülmüştür. Diğer yandan lignoselülozik maddelerin kimyasal modifikasyonu sonrası PP matrise ilavesiyle elde edilen kompozitlerden bazılarının kopma kesiti görüntülerinde lignoselülozik madde kırıntıları gürülmüştür.

6.2. Öneriler

Bu çalışmada elde edilen bulgular neticesinde aşağıdaki önerilerin dikkate alınmasının faydalı olacağı düşünölmektedir.

✓ Bu çalışmada kullanılan ekstruderden farklı ekstruder kullanılarak, ekstruder tipinin kompozit malzemelerin özelliklerine etkisinin incelenmesinde yarar gürölmektedir.

✓ İleriki çalışmalarda, polimer matris üzerinde yapılacak fiziksel ve kimyasal modifikasyon ile kompozit malzemelerin özelliklerinde oluşabilecek değışikliklerin incelenmesi önerilir.

✓ Bu çalışmada elde edilen kompozit malzemelerin uzun süre toprakta bekletildikten sonra özelliklerinde meydana gelebilecek değışiklikler incelenememiştir. Sonraki çalışmalarda, optimum parametrelerde üretilen kompozit malzemelerin toprak testleri sonucunda yapısında oluşabilecek fiziksel, kimyasal ve mekanik değışikliklerin aydınlatılmasının faydalı olacağı düşünölmektedir.

✓ Bu çalışmada elde edilen kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselülozik madde ilaveli termoplastik kompozitlerin yüksek fiziksel ve mekanik performanslarından dolayı binaların kapı ve pencere doğramaları yanında yer ve duvar kaplamaları ile çeşitli bahçe mobilyaları üretiminde değerlendirilmesinin üreticiler açısından faydalı olacağı düşünölmektedir.

✓ Bu çalışma neticesinde elde edilen kompozitlerin yüksek fiziksel, mekanik ve termal özelliklerinden dolayı otomotiv endüstrisinde kullanılan çeşitli parçaların (iç kaplamalar, karoser altı kaplamaları, konsol vd.) üretiminde değerlendirilmesinin üreticilere katkı sağlayacağı düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmad, I., Baharum, A., Abdullah, I. 2006. Effect of extrusion rate and fiber loading on mechanical properties of Twaron fiber-thermoplastic natural rubber (TPNR) composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25(9): 957-965.
- Alemdar, A., Sain, M. 2008. Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues—Wheat straw and soy hulls. *Bioresource Technology*, 99(6): 1664-1671.
- Ashori, A. 2008. Wood–plastic composites as promising green-composites for automotive industries! *Bioresource Technology*, 99(11): 4661-4667.
- ASTM, D. 2001. 638; Standard test methods for tensile properties of plastics. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- ASTM, D. 2003. 790: Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- ASTM, D. 2005. 256, Standard test methods for impact resistance of plastics and electrical insulating materials. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- ASTM, D. 2010. 4703-10; Standard practice for compression molding thermoplastic materials into test specimens, plaques, or sheets. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- ASTM, D. 2011. 7031-11; Standard guide for evaluating mechanical and physical properties of wood-plastic composite products. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- Baker, A.M., Mead, J. 2002. Thermoplastics. handbook of plastics, Elastomers, and composites, C.A. Harper (Ed.). The McGraw-Hill Companies Inc., New York City, USA., pp. 1-108.
- Bhaskar, J., Haq, S., Pandey, A., Srivastava, N. 2012. Evaluation of properties of propylene-pine wood plastic composite. *Journal of Materials and Environmental Science*, 3(3): 605-612.
- Bisanda, E.T.N., Ansell, M.P. 1991. The effect of silane treatment on the mechanical and physical-properties of sisal-epoxy composites. *Composites Science and Technology*, 41(2): 165-178.
- Bledzki, A.K., Letman, M., Viksne, A., Rence, L. 2005. A comparison of compounding processes and wood type for wood fibre - PP composites. *Composites Part A-Applied Science and Manufacturing*, 36(6): 789-797.
- Bledzki, A.K., Reihmane, S., Gassan, J. 1998. Thermoplastics reinforced with wood fillers: A literature review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 37(4): 451-468.

- Bledzki, A.K., Sperber, V.E., Faruk, O. (2002). Natural and wood fibre reinforcement in polymers. *Rapra Review Reports* (Vol. 13), iSmithers Rapra Publishing, Shropshire, UK, 144 s.
- Bledzki, A.K., Gassan, J. 1999. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*, 24(2): 221-274.
- Bodirlau, R., Teaca, C. 2009. Fourier transform infrared spectroscopy and thermal analysis of lignocellulose fillers treated with organic anhydrides. *Romanian Journal of Physics*, 54(1-2): 93-104.
- Brebner, K.I., Schneider, M.H. 1985. Wood-polymer combinations-bonding of alkoxy silane coupling agents to wood. *Wood Science and Technology*, 19(1): 75-81.
- Brelid, P.L. 2002. The influence of post-treatments on acetyl content for removal of chemicals after acetylation. *European Journal of Wood and Wood Products*, 60(2): 92-95.
- Brelid, P.L., Simonson, R. 1999. Acetylation of solid wood using microwave heating Part 2. Experiments in laboratory scale. *European Journal of Wood and Wood Products*, 57(5): 383-389.
- Brelid, P.L., Simonson, R., Risman, P. 1999. Acetylation of solid wood using microwave heating Part 1: Studies of dielectric properties. *European Journal of Wood and Wood Products*, 57(4): 259-263.
- Bromhead, A. 2003. Reducing wood waste in furniture manufacture. *Fauna & Flora International*, Cambridge, UK.
- Browning, B.L. 1967. *Methods of wood chemistry*. Volumes I & II, Wiley, New York, 498 s.
- Buggy, M., Bradley, G., Sullivan, A. 2005. Polymer-filler interactions in kaolin/nylon 6,6 composites containing a silane coupling agent. *Composites Part A, Applied Science and Manufacturing*, 36(4): 437-442.
- Carus, M., Eder, A., Dammer, L., Korte, H., Scholz, L., Essel, R., Barth, M. 2015. *Wood-Plastic Composites (WPC) and Natural Fibre Composites (NFC): European and global markets 2012 and future trends in automotive and construction*. Institut GmbH, Hürth, Germany, 16 s.
- Caulfield, D.F., Clemons, C., Jacobson, R.E., Rowell, R.M. 2005. *Wood thermoplastic composites*. handbook of wood chemistry and wood composites, Rowell, R.M. (Ed.), Boca Raton, FL: CRC Press, USA, 365-378.
- Çetin, N.S., Özmen, N., Birinci, E. 2011. Acetylation of wood with various catalysts. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 31(2): 142-153.
- Çetin, N.S., Özmen, N. 2011. Acetylation of wood components and fourier transform infra-red spectroscopy studies. *African Journal of Biotechnology*, 10(16): 3091-3096.

- Clemons, C. 2002. Wood-plastic composites in the United States: The interfacing of two industries. *Forest Products Journal*, 52(6): 10-18.
- Clemons, C.M., Rowell, R.M., Plackett, D., Segerholm, B.K. 2013. Wood/nonwood thermoplastic composites. In: Rowell, Roger, ed. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, Second Edition. Boca Raton, FL: CRC Press. USA, 473-508.
- Colom, X., Carrasco, F., Pages, P., Canavate, J. 2003. Effects of different treatments on the interface of HDPE/lignocellulosic fiber composites. *Composites Science and Technology*, 63(2): 161-169.
- Çetin, N.S., Özmen, N. 2001. Dimensional changes in Corsican and Scots pine sapwood due to reaction with crotonic anhydride. *Wood Science and Technology*, 35(3): 257-267.
- Çetin, N.S., Çetin, N., Harper, D.P. 2015. Vinyl acetate-modified microcrystalline cellulose-reinforced HDPE composites prepared by twin-screw extrusion. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(1): 39-47.
- Çetin, N.S., Hill, C.A.S., Özmen, N. 2000. UV Protection of wood by chemical modification and subsequent graft polymerisation. The European Panel Products Symposium. Leland, Wales, pp. 266-271.
- Çetin, N.S., Özmen, N., Tingaut, P., Sebe, G. 2005. New transesterification reaction between acetylated wood and tetramethoxysilane: A feasibility study. *European Polymer Journal*, 41(11): 2704-2710.
- Dominkovics, Z., Danyadi, L., Pukanszky, B. 2007. Surface modification of wood flour and its effect on the properties of PP/wood composites. *Composites Part A- Applied Science and Manufacturing*, 38(8): 1893-1901.
- Eder, A., Carus, M. 2013. Global trends in wood-plastic composites (WPC). *Bioplastics Magazine*, 4/13(8): 16-17.
- Espert, A., Camacho, W., Karlson, S. 2003. Thermal and thermomechanical properties of biocomposites made from modified recycled cellulose and recycled polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 89(9): 2353-2360.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H.-P.Sain, M. 2012. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11): 1552-1596.
- Faruk, O., Bledzki, A.K., Matuana, L.M. 2007. Microcellular foamed wood-plastic composites by different processes: A review. *Macromolecular Materials and Engineering*, 292(2): 113-127.
- Faruk, O., Bledzki, A.K., Nicolais, L. 2011. Wood plastic composite: Present and future. *wiley encyclopedia of composites* (Editors: Luigi Nicolais, Assunta Borzacchiello, Stuart M. Lee), John Wiley & Sons, Inc., USA, pp. 3212-3231.
- Fengel, D., Wegener, G. 1989. *Wood-chemistry, ultrastructure, reactions*. 2nd Edition, Walter de Gruyter, Berlin, 613 s.

- Fuchs, W. 1928. Zur kenntnis des genuinen lignins, I.: Die acetylierung des fichtenholzes. *European Journal of Inorganic Chemistry*, 61(5): 948-951.
- Gassan, J., Bledzki, A. 2000. Possibilities to improve the properties of natural fiber reinforced plastics by fiber modification jute polypropylene composites. *Applied Composite Materials*, 7(5): 373-385.
- Gassan, J., Bledzki, A.K. 1999a. Alkali treatment of jute fibers: Relationship between structure and mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 71(4): 623-629.
- Gassan, J., Bledzki, A.K. 1999b. Possibilities for improving the mechanical properties of jute epoxy composites by alkali treatment of fibres. *Composites Science and Technology*, 59(9): 1303-1309.
- Gauthier, R., Joly, C., Coupas, A.C., Gauthier, H., Escoubes, M. 1998. Interfaces in polyolefin/cellulosic fiber composites: Chemical coupling, morphology, correlation with adhesion and aging in moisture. *Polymer Composites*, 19(3): 287-300.
- Geng, Y., Li, K., Simonsen, J. 2006. Further investigation of polyaminoamide-epichlorohydrin/stearic anhydride compatibilizer system for wood-polyethylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 99(3): 712-718.
- Giles, H.F., Mount, E.M., Wagner., J.R. 2004. Extrusion: the definitive processing guide and handbook. William Andrew, USA, 636 s.
- Gwon, J.G., Lee, S.Y., Chun, S.J., Doh, G.H., Kim, J.H. 2010a. Effect of chemical treatments of wood fibers on the physical strength of polypropylene based composites. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 27(2): 651-657.
- Gwon, J.G., Lee, S.Y., Chun, S.J., Doh, G.H., Kim, J. H. 2010b. Effects of chemical treatments of hybrid fillers on the physical and thermal properties of wood plastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(10): 1491-1497.
- Hafizoğlu, H. 1982. Orman Ürünleri Kimyası. Cilt 1, 245s.
- Hargitai, H., Rácz, I., Anandjiwala, R.D. 2008. Development of hemp fiber reinforced polypropylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 21(2): 165-174.
- Hill, C., Abdul Khalil, H. 2000. Effect of fiber treatments on mechanical properties of coir or oil palm fiber reinforced polyester composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 78(9): 1685-1697.
- Hill, C.A.S. 2006. Wood modification: Chemical, thermal and other processes. John Wiley & Sons, Ltd., UK, 260 s.
- Hill, C.A.S., Jones, D. 1996. The dimensional stabilisation of Corsican pine sapwood by reaction with carboxylic acid anhydrides - The effect of chain length. *Holzforschung*, 50(5): 457-462.

- Hill, C.A.S., Jones, D. 1999. Dimensional changes in Corsican pine sapwood due to chemical modification with linear chain anhydrides. *Holzforschung*, 53(3): 267-271.
- Holbery, J., Houston, D. 2006. Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications. *Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, 58(11): 80-86.
- Hull, D., Clyne, T. 1996. An introduction to composite materials. Cambridge University Press, UK, 326 s.
- Jacob, M., Joseph, S., Pothan, L.A., Thomas, S. 2005. A study of advances in characterization of interfaces and fiber surfaces in lignocellulosic fiber-reinforced composites. *Composite Interfaces*, 12(1-2): 95-124.
- Jayamol, G., Sreekala, M.S., Thomas, S. 2001. A review of interface modification and characterization of natural fibre reinforced plastics composites. *Polymer Engineering and Science*, 41(9): 1471-1485.
- Jebrane, M., Pichavant, F., Sèbe, G. 2011. A comparative study on the acetylation of wood by reaction with vinyl acetate and acetic anhydride. *Carbohydrate Polymers*, 83(2): 339-345.
- Joseph, S., Koshy, P., Thomas, S. 2005. The role of interfacial interactions on the mechanical properties of banana fibre reinforced phenol formaldehyde composites. *Composite Interfaces*, 12(6): 581-600.
- Kaewkuk, S., Sutapun, W., Jarukumjorn, K. 2013. Effects of interfacial modification and fiber content on physical properties of sisal fiber/polypropylene composites. *Composites Part B: Engineering*, 45(1): 544-549.
- Kallakas, H., Shamim, M., Olutubo, T., Poltimäe, T., Süld, T., Krumme, A., Kers, J. 2015. Effect of chemical modification of wood flour on the mechanical properties of wood-plastic composites. *Agronomy Research*, 13(3): 639-653.
- Keener, T., Stuart, R., Brown, T. 2004. Maleated coupling agents for natural fibre composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(3): 357-362.
- Khalil, H.A., Ismail, H., Rozman, H., Ahmad, M. 2001. The effect of acetylation on interfacial shear strength between plant fibres and various matrices. *European Polymer Journal*, 37(5): 1037-1045.
- Khalil, H.A., Rozman, H., Ismail, H., Rosfaizal Ahmad, M. 2002. Polypropylene (PP)-Acacia mangium composites: the effect of acetylation on mechanical and water absorption properties. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 41(3): 453-468.
- Kim, J.P., Yoon, T.H., Mun, S.P., Rhee, J.M., Lee, J.S. 2006. Wood-polyethylene composites using ethylene-vinyl alcohol copolymer as adhesion promoter. *Bioresource Technology*, 97(3): 494-499.

- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H.P., Bohn, A. 2005. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(22): 3358-3393.
- Klinga, L. O.Tarkow, H. 1966. Dimensional stabilization of hardboard by acetylation. *Tappi*, 49(1): 23-27.
- Klyosov, A.A. 2007. Wood-plastic composites. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 720s.
- Kobayashi, H., Fukuoka, A. 2013. Synthesis and utilisation of sugar compounds derived from lignocellulosic biomass. *Green Chemistry*, 15(7): 1740-1763.
- Kollmann, F., Cote Jr, W. 1968. Principles of wood science and technology. I: Solid wood Springer-Verlag. Berlin, 592 s.
- Kozak, M. 2010. Tekstil atıkların yapı malzemesi olarak kullanım alanlarının araştırılması. *Electronic Journal of Construction Technologies/Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1): 62-70.
- Kumar, P. 1986. Mechanical-behavior of jute fibers and their composites. *Indian Journal of Technology*, 24(1): 29-32.
- Kumar, R., Obrai, S.Sharma, A. 2011. Chemical modifications of natural fiber for composite material. *Der Chemica Sinica*, 2(4): 219-228.
- Kumar, S. 1994. Chemical modification of wood. *Wood and Fiber Science*, 26(2): 270-280.
- Larsson, P., Simonson, R. 1994. A study of strength, hardness and deformation of acetylated Scandinavian softwoods. *European Journal of Wood and Wood Products*, 52(2): 83-86.
- Li, D., Li, J., Hu, X.Li, L. 2012. Effects of ethylene vinyl acetate content on physical and mechanical properties of wood-plastic composites. *Bioresource Technology*, 7(3): 2916-2932.
- Li, J.Z., Furuno, T., Katoh, S., Uehara, T. 2000. Chemical modification of wood by anhydrides without solvents or catalysts. *Journal of Wood Science*, 46(3): 215-221.
- Li, T.Q., Ng, C.N., Li, R.K.Y. 2001. Impact behavior of sawdust/recycled-PP composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 81(6): 1420-1428.
- Li, Y. 2014. Characterization of acetylated eucalyptus wood fibers and its effect on the interface of eucalyptus wood/polypropylene composites. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 50: 96-101.
- Lightsey, G.R., Short, P.H., Sinha, V.K.K. 1977. Low cost polyolefin composites containing pulp mill wood residue. *Polymer Engineering & Science*, 17(5): 305-310.

- Lin, Q.F., Zhou, X.D., Dai, G. 2002. Effect of hydrothermal environment on moisture absorption and mechanical properties of wood flour-filled polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 85(14): 2824-2832.
- Lin, Y.C., Chen, S.C., Wu, T.Y., Yang, P.M., Jhang, S.R., Lin, J.F. 2015. Energy-saving and rapid transesterification of jatropha oil using a microwave heating system with ionic liquid catalyst. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 49: 72-78.
- Lu, J.Z., Wu, Q.L., McNabb, H.S. 2000. Chemical coupling in wood fiber and polymer composites: A review of coupling agents and treatments. *Wood and Fiber Science*, 32(1): 88-104.
- Lu, J.Z., Wu, Q.L., Negulescu, I.I. 2005. Wood-fiber/high-density-polyethylene composites: Coupling agent performance. *Journal of Applied Polymer Science*, 96(1): 93-102.
- Lu, N., Oza, S. 2013. Thermal stability and thermo-mechanical properties of hemp-high density polyethylene composites: effect of two different chemical modifications. *Composites Part B: Engineering*, 44(1): 484-490.
- Mahlberg, R., Paaanen, L., Nurmi, A., Kivistö, A., Koskela, K., Rowell, R. 2001. Effect of chemical modification of wood on the mechanical and adhesion properties of wood fiber/polypropylene fiber and polypropylene/veneer composites. *European Journal of Wood and Wood Products*, 59(5): 319-326.
- Maiti, S.N., Singh, K. 1986. Influence of wood flour on the mechanical-properties of polyethylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 32(3): 4285-4289.
- Malkapuram, R., Kumar, V., Negi, Y.S. 2009. Recent development in natural fiber reinforced polypropylene composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28(10): 1169-1189.
- Mallick, P.K. 2007. Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design. CRC press, USA, 638 s.
- Mantia, F.L. 2002. Handbook of plastics recycling. Ed. Francesco La Mantia. Rapra Technology, UK, 460 s.
- Markarian, J. 2002. Additive developments aid growth in wood-plastic composites. *Plastics, Additives and Compounding*, 4: 18-21.
- Mat Taib, R., Ramarad, S., Mohd Ishak, Z., Rozman, H. 2010. Effect of Acetylation and MAPE on the Properties of Steam-Exploded Acacia mangium Fiber-HDPE Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(3): 431-444.
- Matuana, L.M., Kamdem, D.P. 2002. Accelerated ultraviolet weathering of PVC/wood-flour composites. *Polymer Engineering and Science*, 42(8): 1657-1666.
- Mazumdar, S. 2001. Composites manufacturing: materials, product, and process engineering. CRC press, USA, 416 s.

- Mengeloğlu, F. 2006. Wood/Thermoplastic Composites. I. Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Sergisi, İzmir, pp. 471-480.
- Mengeloğlu, F., Karakuş, K. 2008. Some properties of eucalyptus wood flour filled recycled high density polyethylene polymer-composites. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(6): 537-546.
- Mistepe, M.U. 2000. Orman ürünleri sanayiinde eğitim, teknoloji ve verimlilik ilişkileri. *Laminart Dergisi*, (5): 42-57.
- Mohanty, A., Khan, M.A., Hinrichsen, G. 2000. Surface modification of jute and its influence on performance of biodegradable jute-fabric/biopol composites. *Composites Science and Technology*, 60(7): 1115-1124.
- Mohanty, A., Misra, M., Hinrichsen, G. 2000. Biofibers, biodegradable polymers and biocomposites: an overview. *Macromolecular Materials and Engineering*, 276(1): 1-24.
- Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T. 2005. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. CRC press, USA, 896 s.
- Mohebby, B., Gorbani-Kokandeh, M., Soltani, M. 2009. Springback in acetylated wood based composites. *Construction and Building Materials*, 23(9): 3103-3106.
- Mortensen, A. 2007. Concise encyclopedia of composite materials. Elsevier Science, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switzerland, 1050 s.
- Muasher, M., Sain, M. 2006. The efficacy of photostabilizers on the color change of wood filled plastic composites. *Polymer Degradation and Stability*, 91(5): 1156-1165.
- Mukherjea, R.N., Pal, S.K., Sanyal, S.K. 1983. Studies on jute fiber composites with polyesteramide polyols as interfacial agent. *Journal of Applied Polymer Science*, 28(10): 3029-3040.
- Niska, K.O., Sain, M. 2008. Wood polymer composites. Woodhead Publishing Limited, UK, 384 s.
- Oksman, K., Bengtsson, M. 2007. Wood fibre thermoplastic composites: processing, properties and future developments. Handbook of Engineering Biopolymers Homopolymers, Blends, and Composites, Fakirov, Stoyko and Bhattacharyya, Debes (Ed.) Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, USA, pp. 655-671.
- Özmen, N., Çetin, N. S., Mengeloğlu, F., Birinci, E. 2013. Vinyl acetate modified scots pine reinforced HDPE composites: Influence of various levels of modification on mechanical and thermal properties. *BioResource*, 8(1): 1361-1373.
- Özmen, N., Çetin, N., Narlıoğlu, N., Çavuş, V., Altuntaş, E. 2014. MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15: 65-71.
- Özmen, N., Çetin, N.S. 2012. A new approach for acetylation of wood: Vinyl acetate. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 6(6): 78-82.

- Özmen, N., Çetin, N.S., Mengeloğlu, F., Birinci, E., Karakuş, K. 2013. Effect of wood acetylation with vinyl acetate and acetic anhydride on the properties of wood-plastic composites. *BioResource*, 8(1): 753-767.
- Panthapulakkal, S., Zereskian, A., Sain, M. 2006. Preparation and characterization of wheat straw fibers for reinforcing application in injection molded thermoplastic composites. *Bioresource Technology*, 97(2): 265-272.
- Papadopoulos, A.N., Avtzi, D.N., Avtzi, N.D. 2008. The biological effectiveness of wood modified with linear chain carboxylic acid anhydrides against the subterranean termites *Reticulitermes flavipes*. *European Journal of Wood and Wood Products*, 66(4): 249-252.
- Papadopoulos, A.N., Pougoula, G. 2010. Mechanical behaviour of pine wood chemically modified with a homologous series of linear chain carboxylic acid anhydrides. *Bioresource Technology*, 101(15): 6147-6150.
- Park, B.D., Balatinecz, J.J. 1997. A comparison of compounding processes for woodfiber/thermoplastic composites. *Polymer Composites*, 18(3): 425-431.
- Park, J.M., Kim, P.G., Jang, J.H., Wang, Z., Hwang, B. S., Devries, K.L. 2008. Interfacial evaluation and durability of modified Jute fibers/polypropylene (PP) composites using micromechanical test and acoustic emission. *Composites Part B-Engineering*, 39(6): 1042-1061.
- Peijs, T. 2003. Composites for recyclability. *Materials Today*, 6(4): 30-35.
- Pendleton, D.E., Hoffard, T.A., Adcock, T., Woodward, B., Wolcott, M. P. 2002. Durability of an extruded HDPE/wood composite. *Forest Products Journal*, 52(6): 21.
- Petrič, M., Kričej, B., Pavlič, M., Kutnar, A. 2012. Surface properties of wood thermally modified in vacuum at 210 °C. Paper presented at the Proceedings of the 6th European Conference on Wood Modification. D. Jones, H. Militz, M. Petrič, F. Pohleven, M. Humar and M. Pavlič eds, pp. 17-18.
- Pickering, K.L., Abdalla, A., Ji, C., McDonald, A.G., Franich, R.A. 2003. The effect of silane coupling agents on radiata pine fibre for use in thermoplastic matrix composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 34(10): 915-926.
- Pickering, K.L., Efendy, M.A., Le, T.M. 2016. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83: 98-112.
- Pilarski, J.M., Matuana, L.M. 2005. Durability of wood flour-plastic composites exposed to accelerated freeze-thaw cycling. Part I. Rigid PVC matrix. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 11(1): 1-8.
- Pilarski, J.M., Matuana, L.M. 2006. Durability of wood flour-plastic composites exposed to accelerated freeze-thaw cycling. II. High density polyethylene matrix. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(1): 35-39.

- Poathan, L.A., Thomas, S., Neelakantan, N.R. 1997. Short banana fiber reinforced polyester composites: Mechanical, failure and aging characteristics. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 16(8): 744-765.
- Prasad, S.V., Pavithran, C., Rohatgi, P.K. 1983. Alkali treatment of coir fibers for coir polyester composites. *Journal of Materials Science*, 18(5): 1443-1454.
- Pritchard, G. 2004. Two technologies merge: wood plastic composites. *Reinforced Plastics*, 48(6): 26-29.
- Pritchard, G. 2004. Two technologies merge: wood plastic composites. *Plastics, Additives and Compounding*, 6(4): 18-21.
- Raj, R.G., Kokta, B.V. 1991. Reinforcing high density polyethylene with cellulosic fibers. I: The effect of additives on fiber dispersion and mechanical properties. *Polymer Engineering & Science*, 31(18): 1358-1362.
- Rana, A.K., Mandal, A., Mitra, B.C., Jacobson, R., Rowell, R., Banerjee, A.N. 1998. Short jute fiber-reinforced polypropylene composites: Effect of compatibilizer. *Journal of Applied Polymer Science*, 69(2): 329-338.
- Ratanakamnuan, U., Atong, D., Aht-Ong, D. 2012. Cellulose esters from waste cotton fabric via conventional and microwave heating. *Carbohydrate Polymers*, 87(1): 84-94.
- Ray, D., Sarkar, B., Das, S.Rana, A. 2002. Dynamic mechanical and thermal analysis of vinylester-resin-matrix composites reinforced with untreated and alkali-treated jute fibres. *Composites Science and Technology*, 62(7): 911-917.
- Ray, D., Sarkar, B.Bose, N. 2002. Impact fatigue behaviour of vinylester resin matrix composites reinforced with alkali treated jute fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33(2): 233-241.
- Ray, D., Sarkar, B.K., Rana, A.K., Bose, N.R. 2001. The mechanical properties of vinylester resin matrix composites reinforced with alkali-treated jute fibres. *Composites Part A-Applied Science and Manufacturing*, 32(1): 119-127.
- Roe, P.J., Ansell, M.P. 1985. Jute-Reinforced Polyester Composites. *Journal of Materials Science*, 20(11): 4015-4020.
- Rout, J., Misra, M., Mohanty, A.K. 1999. Surface modification of coir fibers I: Studies on graft copolymerization of methyl methacrylate on to chemically modified coir fibers. *Polymers for Advanced Technologies*, 10(6): 336-344.
- Rowell, R. M.Plackett, D. 1988. Dimensional stability of flakeboards made from acetylated *Pinus radiata* heartwood or sapwood flakes. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 18(1): 124-131.
- Rowell, R., Simonson, R., Hess, S., Plackett, D., Cronshaw, D., Dunningham, E. 1994. Acetyl distribution in acetylated whole wood and reactivity of isolated wood cell-wall components to acetic anhydride. *Wood and Fiber Science*, 26(1): 11-18.

- Rowell, R.M. 1995. New generation of composite materials from agro-based fiber. 3rd international conference on frontiers of polymers and advanced materials, Kuala Lumpur, pp. 659-665.
- Rowell, R.M. 2007. Challenges in biomass–thermoplastic composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(4): 229-235.
- Rowell, R.M., Simonson, R., Tillman, A.M. 1986b. A simplified procedure for the acetylation of chips for dimensionally stabilized particle board products. *Paperi ja puu*, (10): 740-744.
- Rowell, R.M., Tillman, A.M., Simonson, R. 1986a. A simplified procedure for the acetylation of hardwood and softwood flaxes for flakeboard production. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 6(3): 427-448.
- Sahab, D.N., Jog, J.P. 1999. Natural fibre polymer composites: A review. *Advanced Polymer Technology*, 18(4): 351-363.
- Samal, R.K., Mohanty, M., Panda, B.B. 1995. Effect of chemical modification on FTIR spectra; Physical and chemical behavior of jute-II. *Journal of Polymer Materials*, 12(3): 235-240.
- Schirp, A., Wolcott, M.P. 2006. Fungal degradation of wood-plastic composites and evaluation using dynamic mechanical analysis. *Journal of Applied Polymer Science*, 99(6): 3138-3146.
- Schwarzkopf, M.J., Burnard, M.D. 2016. Wood-Plastic Composites-Performance and environmental impacts. Environmental impacts of traditional and innovative forest-based bioproducts. Springer, pp. 19-43.
- Sèbe, G., Cetin, N.S., Hill, C.A., Hughes, M. 2000. RTM hemp fibre-reinforced polyester composites. *Applied Composite Materials*, 7(5): 341-349.
- Segerholm, K. 2007. Wood Plastic Composites made from modified wood: Aspects on moisture sorption, micromorphology and durability, Licentiate Thesis in Building Materials Technology, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), Stockholm, Sweden, 36 s.
- Segerholm, K., Wålinder, M., Larsson Brelid, P., Walkenström, P., Westin, M. 2005. Wood plastic composites made from acetylated wood: Effects on water vapour sorption behaviour and durability. The 9th European Panel Products Symposium, Lladudno, Wales, 2005, October 5-7, pp. 233-242.
- Seki, Y., Sarikanat, M., Ezan, M.A. 2012. Effect of siloxane treatment of jute fabric on the mechanical and thermal properties of jute/HDPE. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(15): 1009-1016.
- Selke, S.E. Wichman, I. 2004. Wood fiber/polyolefin composites. *Composites Part A-Applied Science and Manufacturing*, 35(3): 321-326.
- Shah, A.N. Lakkad, S.C. 1981. Mechanical properties of jute reinforced plastics. *Fibre Science & Technology*, 15(1): 41-46.

- Shah, H.L. Matuana, L.M. 2005. Novel coupling agents for PVC/wood-flour composites. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 11(4): 160-165.
- Simonsen, J., Freitag, C.M., Silva, A. Morrell, J.J. 2004. Wood/plastic ratio: Effect on performance of borate biocides against a brown rot fungus. *Holzforschung*, 58(2): 205-208.
- Sjostrom, E. 2013. Wood chemistry: Fundamentals and applications. Elsevier, Academic Press, USA, 293 s.
- Smith, P.M. Wolcott, M.P. 2006. Opportunities for wood/natural fiber-plastic composites in residential and industrial applications. *Forest Products Journal*, 56(3): 4-11.
- Sofuoğlu, S.D., Kurtoğlu, A. 2006. Masif ağaç malzemenin işlenmesinde fire oranları. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11: 189-204.
- Spiridon, I., Paduraru, O. M., Rudowski, M., Kozłowski, M., Darie, R. N. 2012. Assessment of changes due to accelerated weathering of low-density polyethylene/feather composites. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(21): 7279-7286.
- Sridhar, M.K., Basavarappa, G., Kasturi, S.G. Balasubramanian, N. 1984. Mechanical-properties of jute-polyester composites. *Indian Journal of Technology*, 22(6): 213-215.
- Stamm, A.J., Tarkow, H. 1947. Dimensional stabilization of wood. *The Journal of Physical Chemistry*, 51(2): 493-505.
- Stark, N.M. 2006. Effect of weathering cycle and manufacturing method on performance of wood flour and high-density polyethylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(4): 3131-3140.
- Stark, N.M., Matuana, L.M. 2003. Ultraviolet weathering of photostabilized wood-flour-filled high-density polyethylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 90(10): 2609-2617.
- Stark, N.M., Matuana, L.M. 2004. Surface chemistry and mechanical property changes of wood-flour/high-density-polyethylene composites after accelerated weathering. *Journal of Applied Polymer Science*, 94(6): 2263-2273.
- Stark, N.M., Matuana, L.M., Clemons, C.M. 2004. Effect of processing method on surface and weathering characteristics of wood-flour/HDPE composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(3): 1021-1030.
- Stenius, P. 2000. Papermaking Science and Technology. Book 3, Forest Products Chemistry, Fapet oy, Helsinki, 350 s.
- TAPPI, T. 2004. 211 om-02; Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 C. TAPPI test methods, 2005: 3-6.
- TAPPI, T. 2009. 203 cm-99; Alpha, beta and gamma cellulose in pulp. TAPPI test methods, 2009: 1-5.

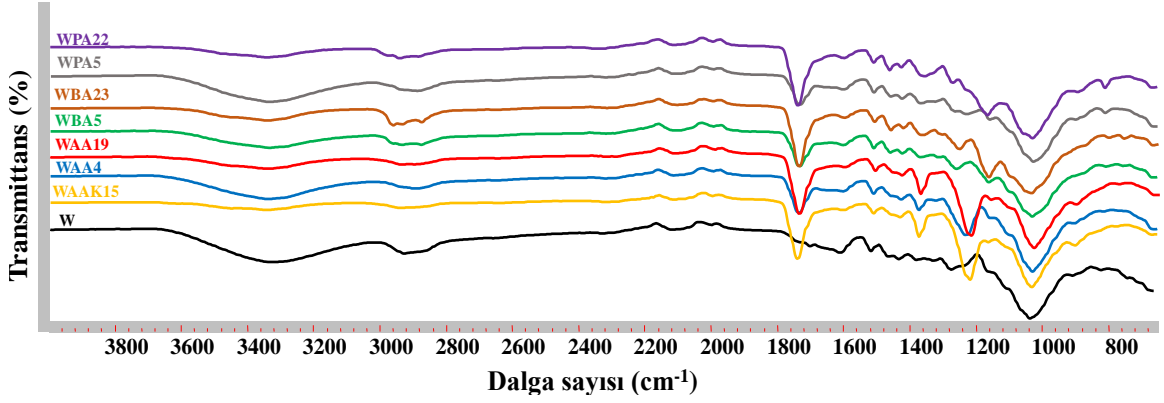
- Tarkow, H., Stamm, A., Erickson, E. 1946. Acetylated wood. USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory: Report.
- Threepopnatkul, P., Kaerkitcha, N., Athipongarporn, N. 2009. Effect of surface treatment on performance of pineapple leaf fiber-polycarbonate composites. *Composites Part B: Engineering*, 40(7): 628-632.
- Tiemann, H. 1915. The effect of different methods of drying on the strength of wood. *Lumber World Review*, 28(7): 19-20.
- Tserki, V., Zafeiropoulos, N., Simon, F., Panayiotou, C. 2005. A study of the effect of acetylation and propionylation surface treatments on natural fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(8): 1110-1118.
- URL1. OGM. Oduna dayalı orman ürünlerinin üretim ve pazarlama faaliyetleri 2016. Orman Genel Müdürlüğü İşletme ve Pazarlama Dairesi Başkanlığı <https://www.ogm.gov.tr> (Erişim Tarihi: 10/11/2017)
- URL2. FAO. Production quantities of wood panels. Food and Agriculture Organization of the United Nation <http://www.fao.org> (Erişim Tarihi: 9/11/2017)
- URL3. FAO. Production of fibre crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations <http://www.fao.org> (Erişim Tarihi: 9/11/2017)
- URL4. İTO. Fire randıman oranları.istanbul ticaret odası <http://www.ito.org.tr> (Erişim Tarihi: 9/11/2017)
- URL5. İKA. Güneydoğu anadolu halı ihracatçı birlikleri halı sektörü envanteri 2014. İpekyolu kalkınma ajansı <http://www.ika.org.tr> (Erişim Tarihi: 10/11/2017)
- Van Houts, J.H., Winistorfer, P.M., Wang, S. 2003. Improving dimensional stability by acetylation of discrete layers within flakeboard. *Forest Products Journal*, 53(1): 82.
- Wambua, P., Ivens, J., Verpoest, I. 2003. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? *Composites Science and Technology*, 63(9): 1259-1264.
- Wang, Y., Yeh, F.C., Lai, S.M., Chan, H.C., Shen, H. F. 2003. Effectiveness of functionalized polyolefin as compatibilizers for polyethylene/wood flour composites. *Polymer Engineering and Science*, 43(4): 933-945.
- Wanjale, S.D., Jog, J.P. 2011. Polyolefin-based natural fiber composites. *Cellulose Fibers: Bio-and Nano-Polymer Composites*. Springer, pp. 377-398.
- Wei, L., McDonald, A.G., Freitag, C., Morrell, J.J. 2013. Effects of wood fiber esterification on properties, weatherability and biodurability of wood plastic composites. *Polymer Degradation and Stability*, 98(7): 1348-1361.
- Wise. E.L., Karl, H.L., 1962. Cellulose and hemicelluloses in pulp and paper science and technology, Vol. 1. Pulp, Edited by C. Earl Libby, McGraw Hill-Book Co., New York.

- Wolcott, M.P. 2003. Formulation and process development of flat-pressed wood polyethylene composites. *Forest Product Journal*, 53(9):25-32.
- Wolcott, M.P., Englund, K. 1999. A technology review of wood-plastic composites. Proceeding 33th Int. Particleboard Composites Material Symposium, pp. 13-15.
- Woodhams, R.T., Thomas, G., Rodgers, D.K. 1984. Wood fibers as reinforcing fillers for polyolefins. *Polymer Engineering & Science*, 24(15): 1166-1171.
- Xanthos, M. 2005. Functional Fillers for Plastics. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, USA, 432 s.
- Yang, H.S., Wolcott, M.P., Kim, H.S., Kim, S., Kim, H.J. 2006. Properties of lignocellulosic material filled polypropylene bio-composites made with different manufacturing processes. *Polymer Testing*, 25(5): 668-676.
- Youngquist, J., Rowell, R.M., Krzysik, A. 1986. Mechanical properties and dimensional stability of acetylated aspen flakeboard. *European Journal of Wood and Wood Products*, 44(12): 453-457.
- Zadorecki, P., Flodin, P. 1985a. Surface modification of cellulose fibers 1. Spectroscopic characterization of surface-modified cellulose fibers and their copolymerization with Styrene. *Journal of Applied Polymer Science*, 30(6): 2419-2429.
- Zadorecki, P., Flodin, P. 1985b. Surface modification of cellulose fibers 2. The effect of cellulose fiber treatment on the performance of cellulose polyester composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 30(10): 3971-3983.
- Zheng, R., Tanner, R.I., Fan, X.J. 2011. Injection molding: integration of theory and modeling methods. Springer Science & Business Media, USA, 185 s.

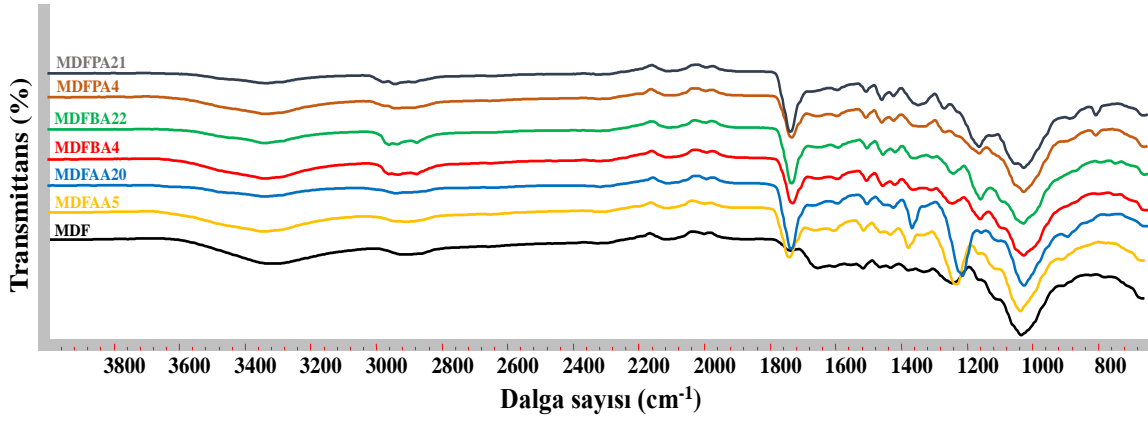


EKLER

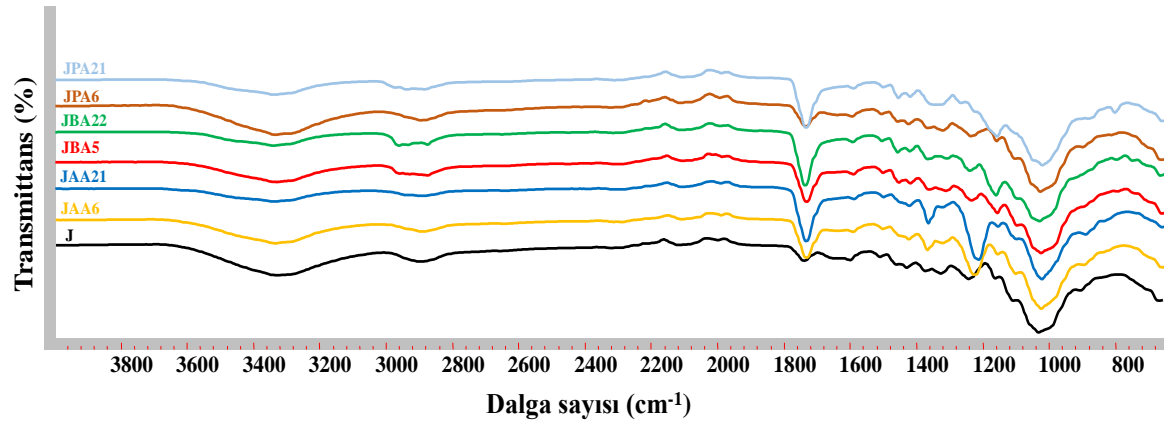
EK-1 Lignoselülozik Maddelerin Kimyasal Modifikasyon Öncesi ve Sonrası FTIR Spektrumları



Şekil 1.1. Karaçam odunu kimyasal modifikasyon öncesi ve sonrası FTIR spektrumları



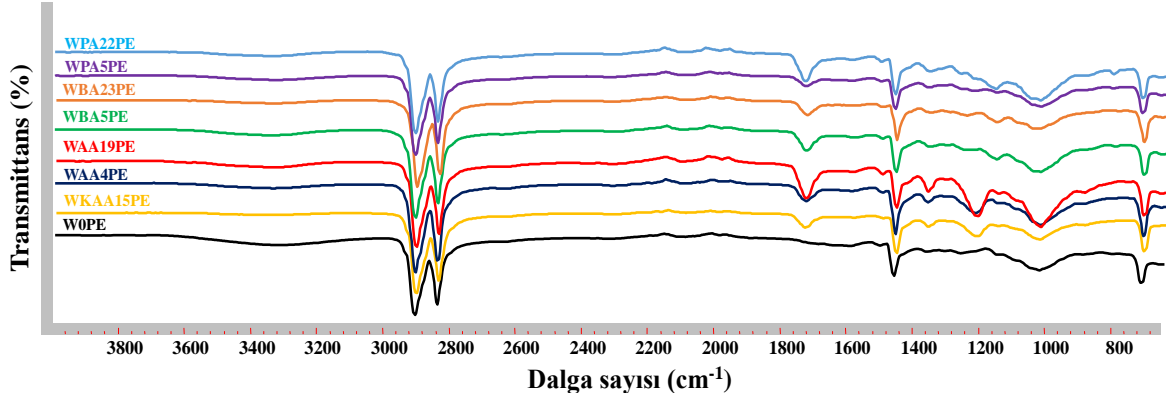
Şekil 1.2. MDF tozu kimyasal modifikasyon öncesi ve sonrası FTIR spektrumları



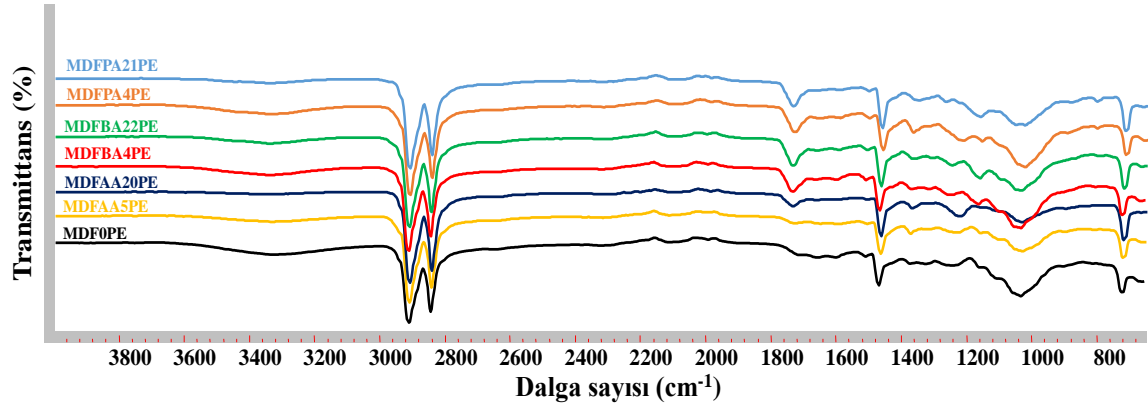
Şekil 1.3. Jüt lifi kimyasal modifikasyon öncesi ve sonrası FTIR spektrumları

EK-2 Kompozitlerin FTIR Spektrumları

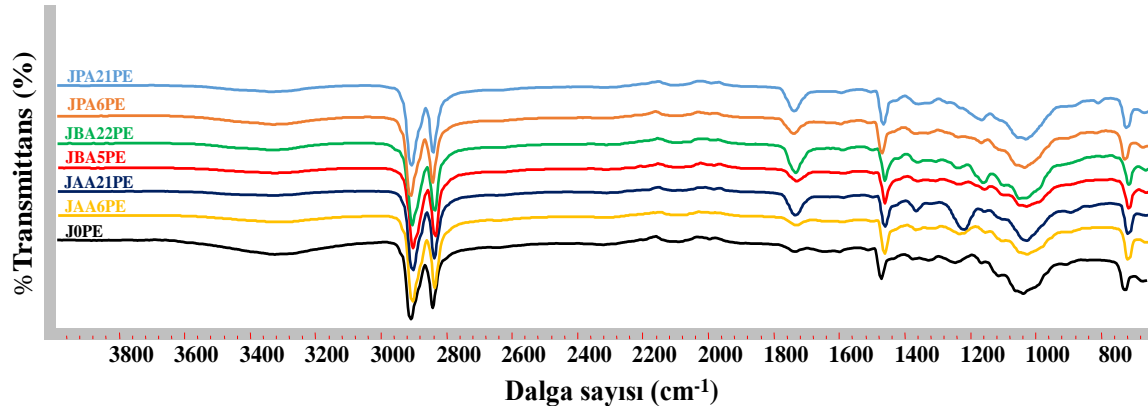
EK-2.A. YYPE kompozitlerin FTIR spektrumları



Şekil 2.A.1. Karaçam odunu ilaveli YYPE kompozitlerin FTIR spektrumları

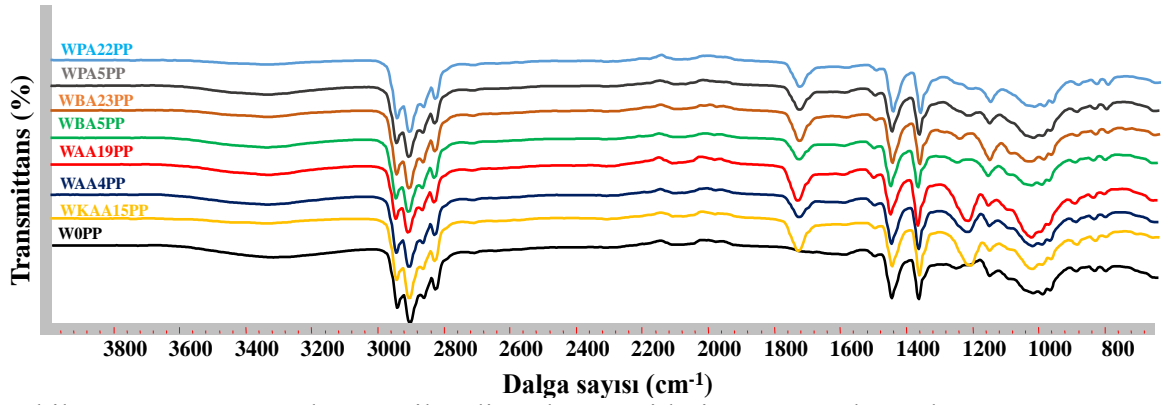


Şekil 2.A.2. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin FTIR spektrumları

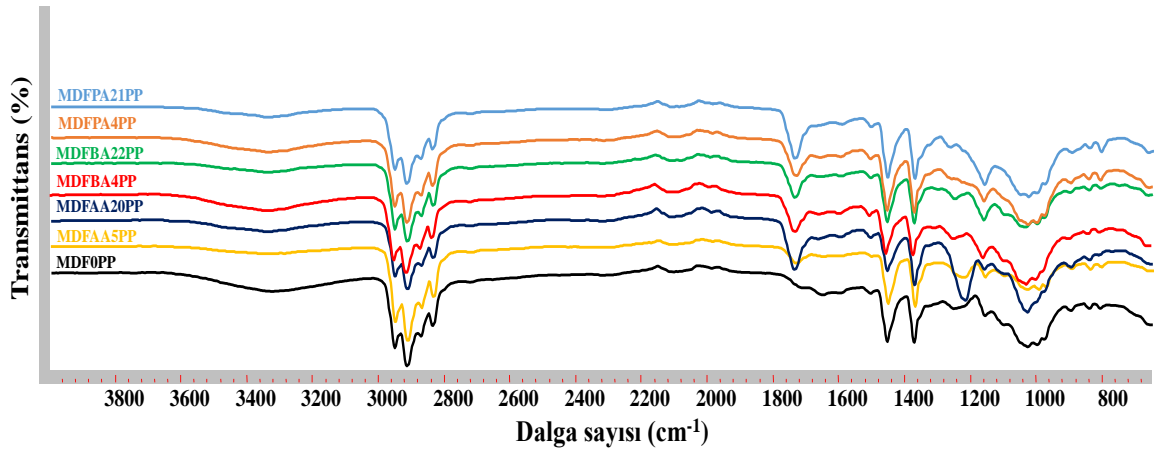


Şekil 2.A.3. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin FTIR spektrumları

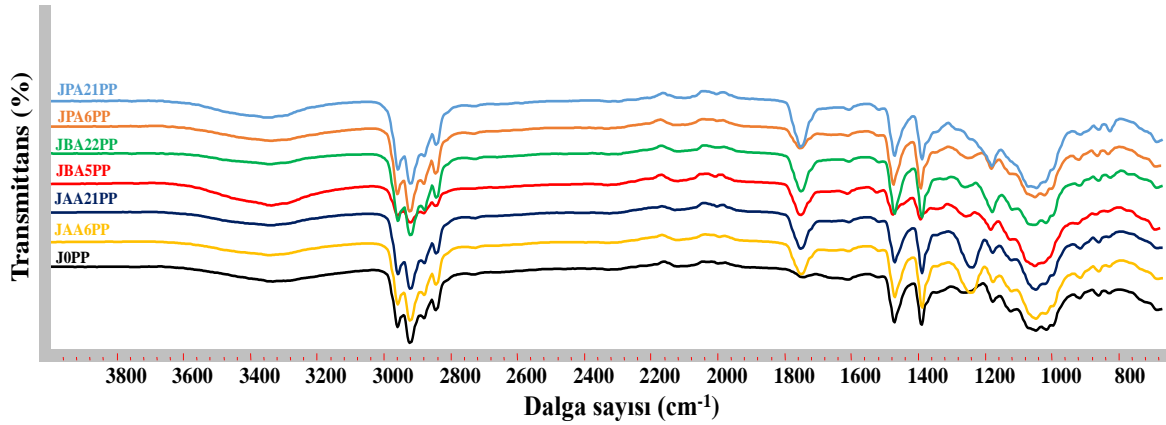
EK-2.B. PP kompozitlerin FTIR spektrumları



Şekil 2.B.1. Karaçam odunu ilaveli PP kompozitlerin FTIR spektrumları



Şekil 2.B.2. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin FTIR spektrumları



Şekil 2.B.3. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin FTIR spektrumları

EK-3 Kompozitlerin Mekanik Test Sonuçları

EK-3.A. YYPE kompozitlerin mekanik özellikleri

Çizelge 3.A.1. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin mekanik test sonuçları

Kompozit Örnekleri	Çekme Direnci (Mpa)	Çekmede Elastikiyet Modülü (Mpa)	Eğilme Direnci (Mpa)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (Mpa)	Kopmada Uzama (%)	Darbe Direnci (J/m)
W0PE	15,86	671,74	26,42	1322,92	3,51	32,96
	(0,27)	(108,11)	(0,89)	(53,31)	(0,22)	(2,08)
WAAK15PE	22,50	802,19	37,43	1942,85	3,87	23,44
	(0,48)	(22,66)	(1,95)	(161,69)	(0,20)	(2,16)
WAA4PE	21,62	825,64	37,94	2001,02	4,08	26,41
	(0,93)	(37,12)	(1,14)	(88,15)	(0,23)	(1,44)
WAA19PE	20,84	863,46	39,74	2232,48	3,38	23,76
	(0,63)	(40,89)	(1,46)	(71,32)	(0,15)	(1,76)
WBA5PE	17,60	771,39	34,36	2032,38	3,33	22,32
	(0,69)	(47,37)	(1,00)	(163,84)	(0,35)	(1,36)
WBA23PE	15,98	801,12	33,21	2070,06	2,67	19,28
	(0,38)	(20,29)	(1,47)	(119,09)	(0,16)	(0,64)
WPA5PE	23,02	869,92	36,42	1919,86	3,94	25,28
	(0,35)	(34,81)	(1,09)	(79,87)	(0,21)	(1,92)
WPA22PE	18,34	830,04	33,36	1869,13	2,90	24,32
	(0,62)	(28,85)	(1,56)	(137,22)	(0,19)	(4,32)

Not: Parantez içerisindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

EK-3.A. YYPE kompozitlerin mekanik özellikleri (Devam)

Çizelge 3.A.2. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin mekanik test sonuçları

Kompozit Örnekleri	Çekme Direnci (Mpa)	Çekmede Elastikiyet Modülü (Mpa)	Eğilme Direnci (Mpa)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (Mpa)	Kopmada Uzama (%)	Darbe Direnci (J/m)
MDF0PE	18,07	701,28	30,03	1718,51	3,33	26,72
	(0,77)	(179,15)	(1,52)	(39,24)	(0,37)	(3,04)
MDFAA5PE	19,35	837,86	34,53	2011,73	3,44	20,82
	(0,31)	(42,98)	(0,80)	(110,45)	(0,29)	(1,04)
MDFAA20PE	20,20	806,48	33,80	1853,14	3,43	21,68
	(0,74)	(37,34)	(0,94)	(66,08)	(0,21)	(2,96)
MDFBA4PE	16,86	748,06	31,28	1819,82	3,57	23,61
	(0,19)	(33,72)	(1,66)	(127,87)	(0,23)	(2,42)
MDFBA22PE	16,31	763,74	30,35	1747,92	3,10	21,42
	(0,26)	(29,40)	(1,74)	(127,44)	(0,18)	(2,48)
MDFPA4PE	17,73	792,62	31,72	1833,76	3,31	21,44
	(0,46)	(37,24)	(2,15)	(123,98)	(0,16)	(1,04)
MDFPA21PE	15,26	764,37	27,97	1610,70	2,81	21,44
	(0,76)	(33,70)	(1,11)	(101,57)	(0,20)	(0,72)

Not: Parantez içerisindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

EK-3.A. YYPE kompozitlerin mekanik özellikleri (Devam)

Çizelge 3.A.3. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin mekanik test sonuçları

Kompozit Örnekleri	Çekme Direnci (Mpa)	Çekmede Elastikiyet Modülü (Mpa)	Eğilme Direnci (Mpa)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (Mpa)	Kopmada Uzama (%)	Darbe Direnci (J/m)
J0PE	14,86	558,53	30,64	1741,27	3,35	42,24
	(0,63)	(176,56)	(2,04)	(148,05)	(0,56)	(5,28)
JAA6PE	24,57	947,10	41,66	2247,33	3,93	29,92
	(0,62)	(47,18)	(1,65)	(92,68)	(0,34)	(1,76)
JAA21PE	26,34	910,01	42,61	2282,29	4,07	30,72
	(0,71)	(61,48)	(0,76)	(79,89)	(0,22)	(2,56)
JBA5PE	25,18	939,68	42,23	2267,57	3,85	29,76
	(0,60)	(67,44)	(2,37)	(171,54)	(0,47)	(1,36)
JBA22PE	21,99	902,56	42,31	2359,65	3,38	22,08
	(0,18)	(45,26)	(1,61)	(87,65)	(0,26)	(0,96)
JPA6PE	23,10	932,74	40,30	2228,49	3,67	29,84
	(0,71)	(63,52)	(1,83)	(156,03)	(0,56)	(4,81)
JPA21PE	23,04	836,61	39,44	2107,38	3,93	26,08
	(0,87)	(49,80)	(1,01)	(73,48)	(0,32)	(1,12)

Not: Parantez içerisindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

EK-3.B. PP kompozitlerin mekanik özellikleri

Çizelge 3.B.1 Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin mekanik test sonuçları

Kompozit Örnekleri	Çekme Direnci (Mpa)	Çekmede Elastikiyet Modülü (Mpa)	Eğilme Direnci (Mpa)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (Mpa)	Kopmada Uzama (%)	Darbe Direnci (J/m)
W0PP	19,65	875,22	41,85	2537,83	3,60	15,52
	(0,48)	(136,30)	(0,38)	(47,48)	(0,39)	(1,76)
WAAK15PP	17,18	761,17	34,76	2089,43	3,91	16,56
	(0,50)	(61,77)	(1,05)	(82,56)	(0,27)	(1,68)
WAA4PP	19,67	952,58	40,29	2451,22	3,49	17,52
	(0,89)	(19,88)	(0,58)	(56,95)	(0,46)	(1,52)
WAA19PP	17,50	841,89	38,08	2307,93	3,59	15,92
	(0,43)	(31,97)	(1,20)	(131,81)	(0,35)	(1,12)
WBA5PP	18,18	899,93	36,66	2326,89	3,79	15,84
	(0,39)	(37,60)	(0,47)	(124,23)	(0,25)	(0,88)
WBA23PP	17,77	940,45	37,22	2602,31	3,55	14,18
	(0,62)	(61,59)	(0,97)	(160,24)	(0,35)	(1,44)
WPA5PP	18,04	843,37	36,78	2337,64	3,79	16,24
	(0,47)	(27,36)	(1,16)	(118,67)	(0,48)	(1,04)
WPA22PP	17,29	848,32	35,06	2221,00	3,64	14,16
	(1,05)	(66,55)	(0,80)	(85,28)	(0,47)	(1,28)

Not: Parantez içerisindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

EK-3.B. PP kompozitlerin mekanik özellikleri (Devam)

Çizelge 3.B.2. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin mekanik test sonuçları

Kompozit Örnekleri	Çekme Direnci (Mpa)	Çekmede Elastikiyet Modülü (Mpa)	Eğilme Direnci (Mpa)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (Mpa)	Kopmada Uzama (%)	Darbe Direnci (J/m)
MDF0PP	18,41 (0,97)	949,26 (178,22)	39,44 (0,99)	2352,02 (151,03)	3,26 (0,34)	20,48 (2,72)
MDFAA5PP	19,60 (0,44)	877,97 (41,16)	42,33 (1,52)	2714,36 (150,46)	4,39 (0,41)	14,80 (1,36)
MDFAA20PP	19,19 (0,55)	895,27 (23,26)	40,23 (1,34)	2501,81 (91,58)	3,97 (0,31)	20,96 (6,56)
MDFBA4PP	19,30 (0,41)	856,33 (25,46)	35,82 (1,31)	2293,74 (139,81)	4,14 (0,27)	15,28 (1,04)
MDFBA22PP	17,23 (0,34)	862,75 (21,96)	36,07 (1,00)	2407,65 (113,64)	3,49 (0,49)	21,12 (5,28)
MDFPA4PP	18,57 (0,49)	818,70 (27,06)	38,97 (0,32)	2550,07 (56,36)	4,65 (0,56)	18,83 (4,08)
MDFPA21PP	17,65 (0,45)	794,90 (30,40)	35,60 (0,83)	2259,53 (69,74)	5,05 (0,30)	17,22 (3,12)

Not: Parantez içerisindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

EK-3.B. PP kompozitlerin mekanik özellikleri (Devam)

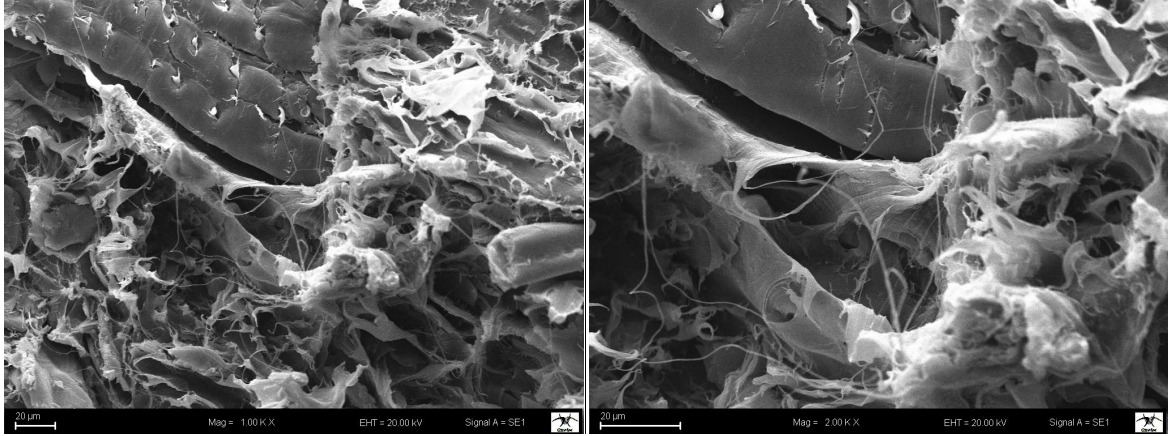
Çizelge 3.B.3. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin mekanik test sonuçları

Kompozit Örnekleri	Çekme Direnci (Mpa)	Çekmede Elastikiyet Modülü (Mpa)	Eğilme Direnci (Mpa)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (Mpa)	Kopmada Uzama (%)	Darbe Direnci (J/m)
J0PP	18,64 (0,87)	855,56 (124,16)	44,27 (1,54)	2764,10 (122,12)	3,55 (0,20)	31,28 (6,56)
JAA6PP	22,13 (1,13)	1023,08 (30,82)	46,01 (0,90)	3039,02 (153,72)	4,02 (0,35)	19,04 (1,52)
JAA21PP	20,19 (0,90)	946,57 (48,54)	41,13 (1,35)	2670,59 (104,00)	3,91 (0,43)	19,12 (0,96)
JBA5PP	19,55 (0,52)	938,79 (45,50)	40,23 (0,96)	2590,50 (151,08)	4,05 (0,66)	18,03 (1,62)
JBA22PP	19,15 (0,66)	915,71 (47,25)	41,02 (1,44)	2597,37 (121,37)	3,54 (0,33)	17,84 (1,76)
JPA6PP	20,10 (0,93)	993,81 (62,20)	42,39 (0,93)	2765,58 (74,35)	3,64 (0,36)	18,56 (1,28)
JPA21PP	19,50 (0,44)	947,40 (30,93)	39,48 (0,84)	2424,47 (66,13)	3,59 (0,45)	19,12 (1,44)

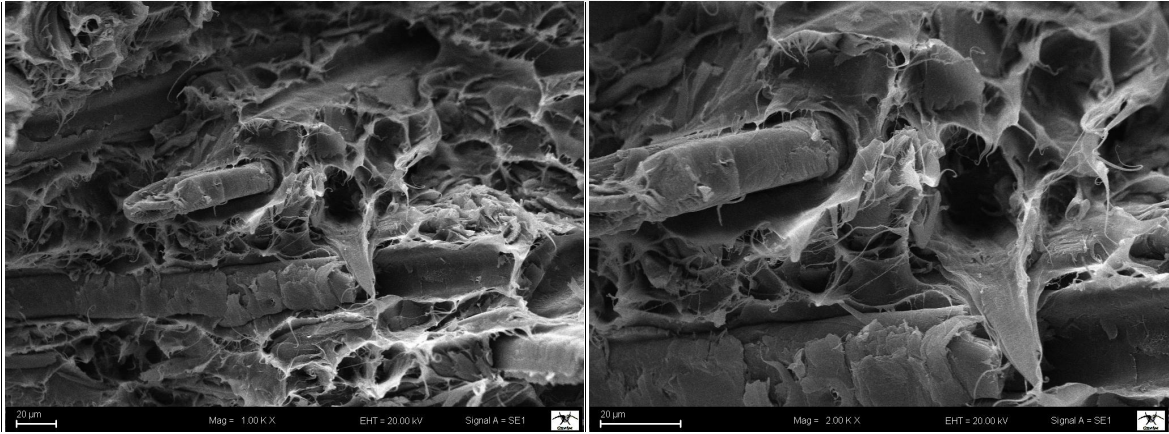
Not: Parantez içerisindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

EK-4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

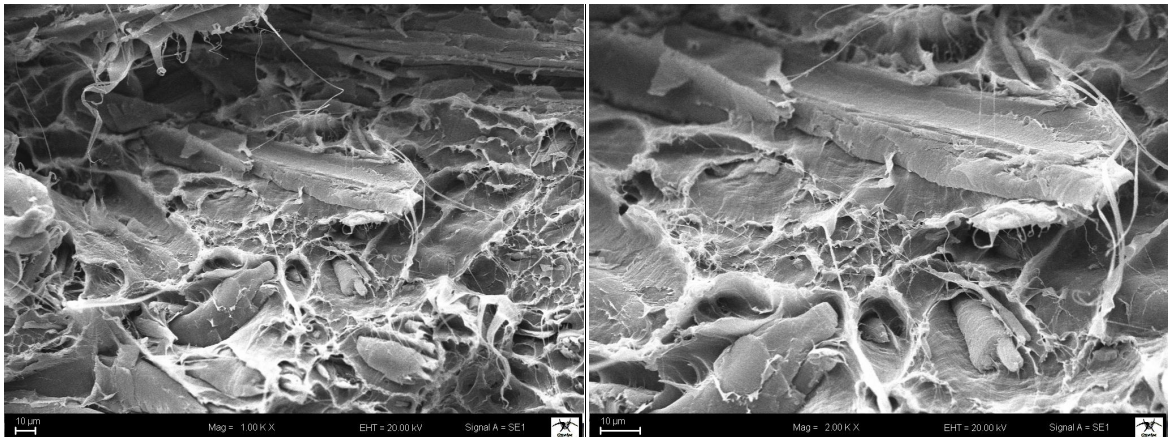
EK-4.A. YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri



Şekil 4.A.1. Kontrol Karaçam odunu (WOPE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

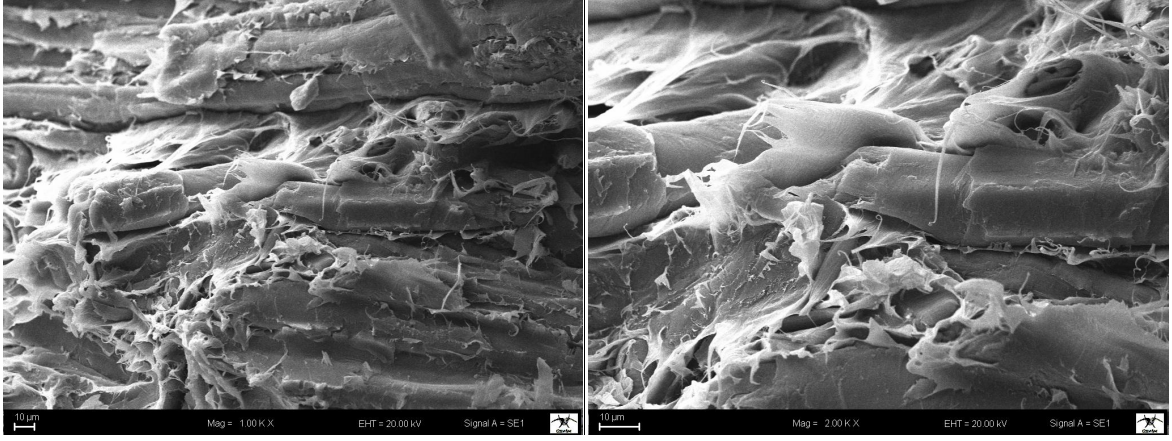


Şekil 4.A.2. Modifiye edilmiş Karaçam odunu (WKAA15PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

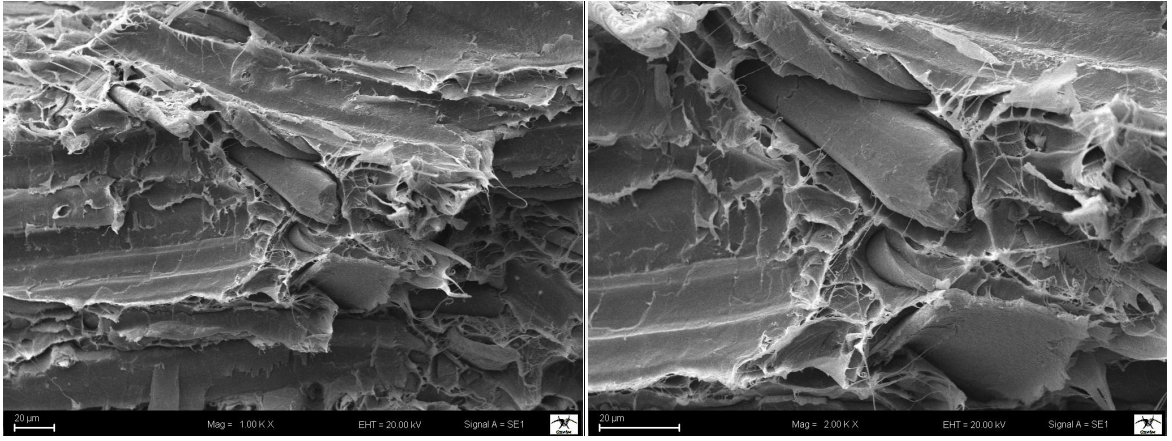


Şekil 4.A.3. Modifiye edilmiş Karaçam odunu (WAA4PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

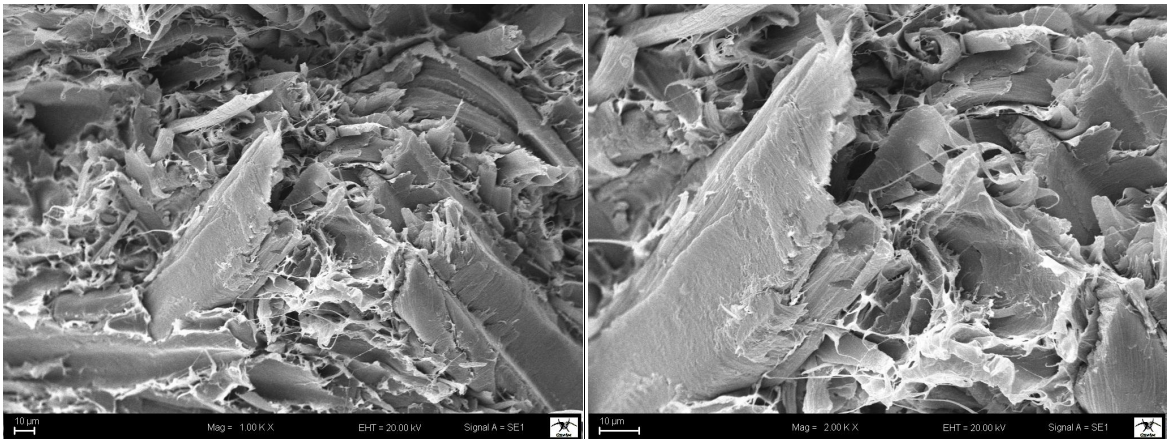
EK-4.A. YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



Şekil 4.A.4. Modifiye edilmiş Karaçam odun unu (WAA19PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

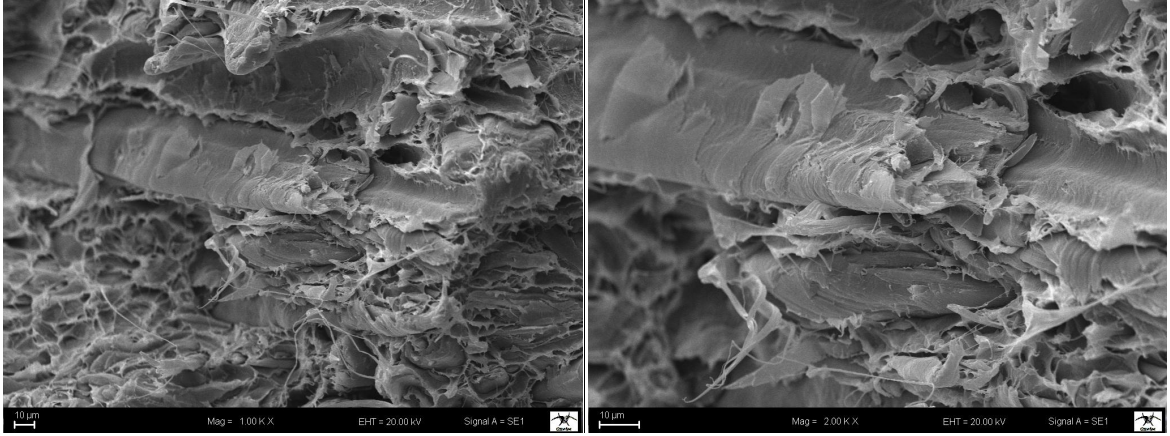


Şekil 4.A.5. Modifiye edilmiş Karaçam odun unu (WBA5PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

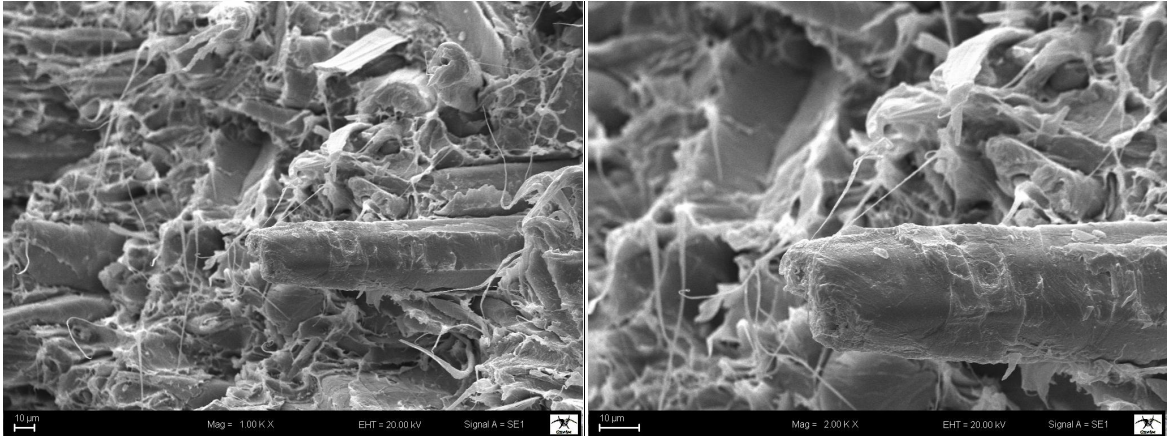


Şekil 4.A.6. Modifiye edilmiş Karaçam odun unu (WBA23PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

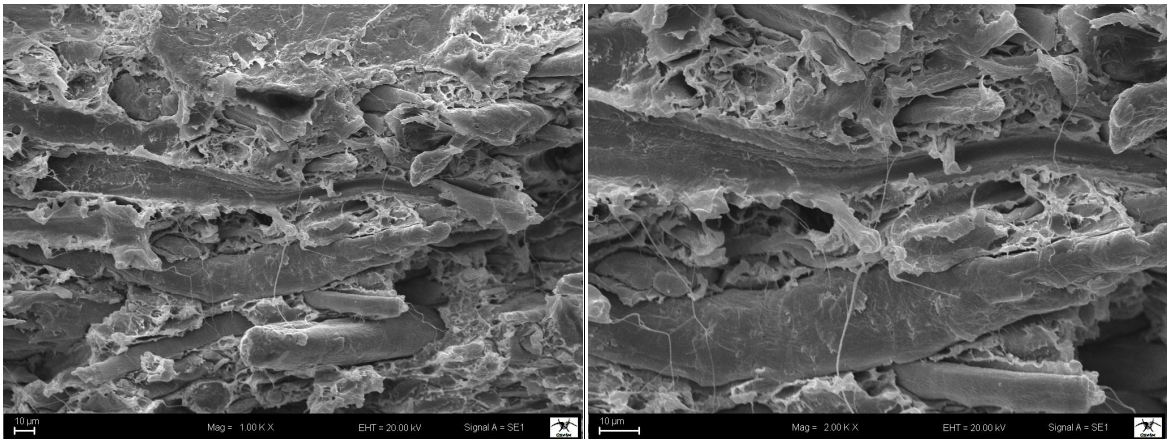
EK-4.A. YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



Şekil 4.A.7. Modifiye edilmiş Karaçam odunu (WPA5PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

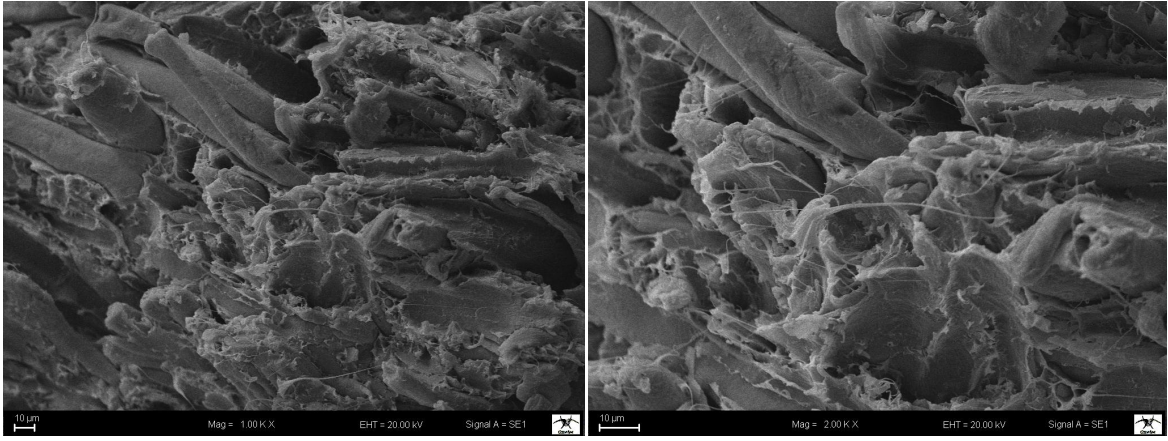


Şekil 4.A.8. Modifiye edilmiş Karaçam odunu (WPA22PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

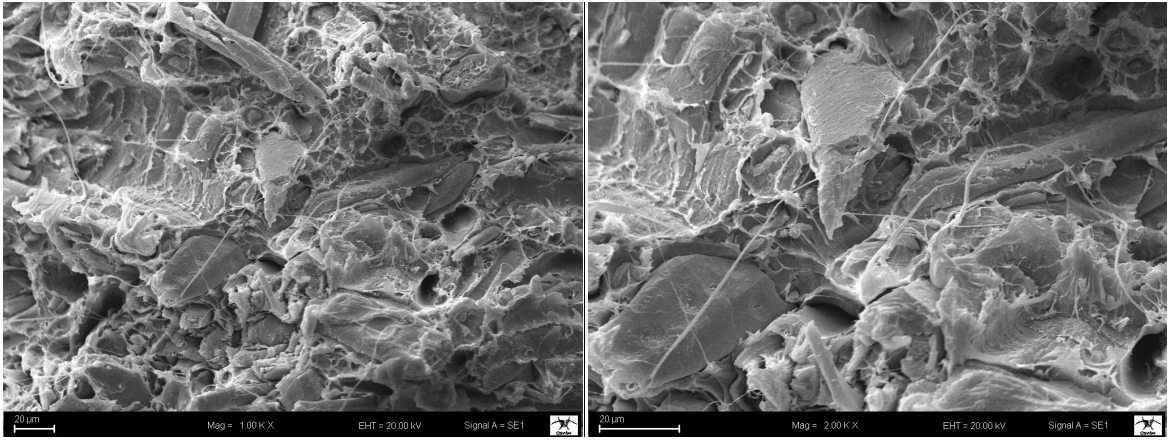


Şekil 4.A.9. Kontrol MDF tozu (MDF0PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

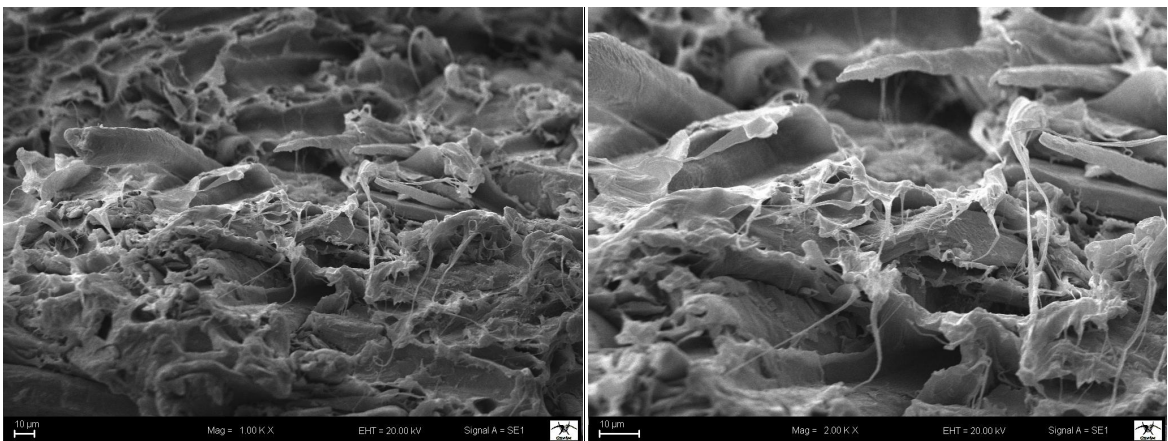
EK-4.A. YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



Şekil 4.A.10. Modifiye edilmiş MDF tozu (MDFAA5PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

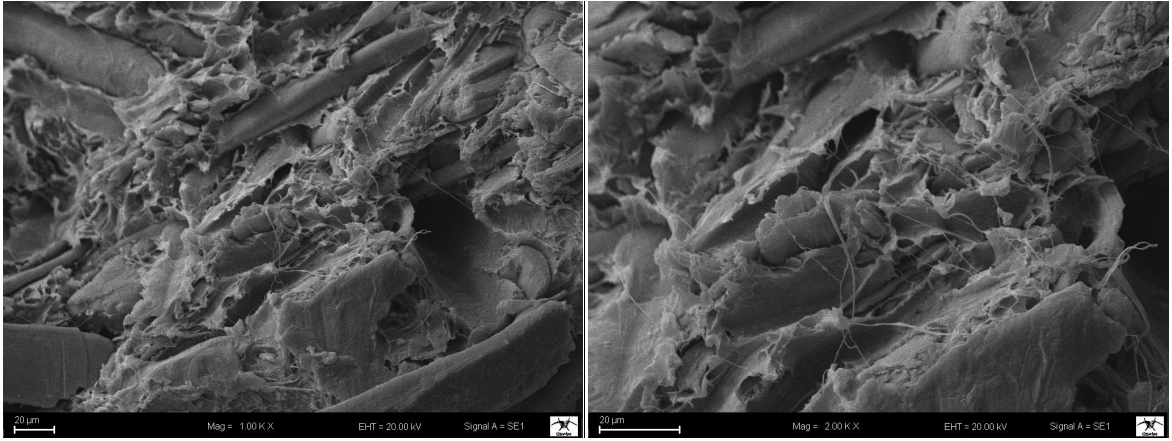


Şekil 4.A.11. Modifiye edilmiş MDF tozu (MDFAA20PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

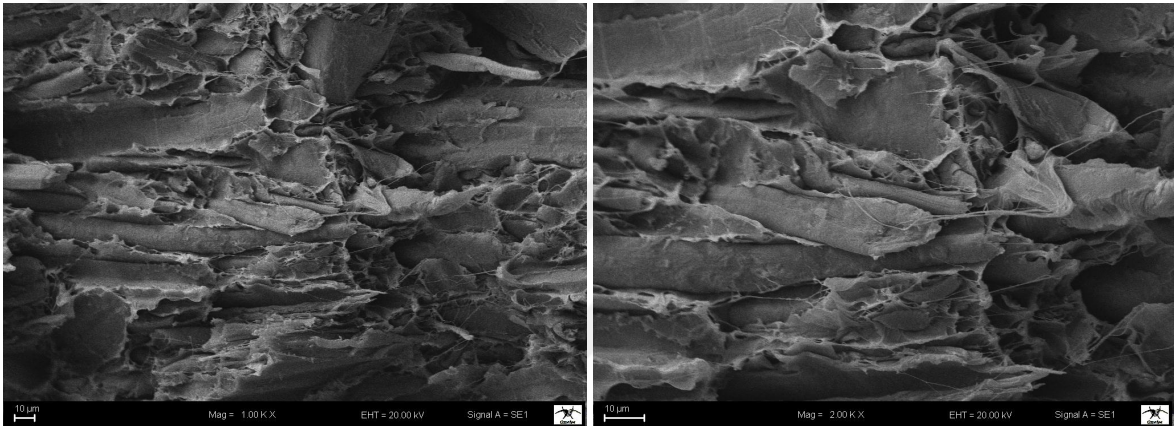


Şekil 4.A.12. Modifiye edilmiş MDF tozu (MDFBA4PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

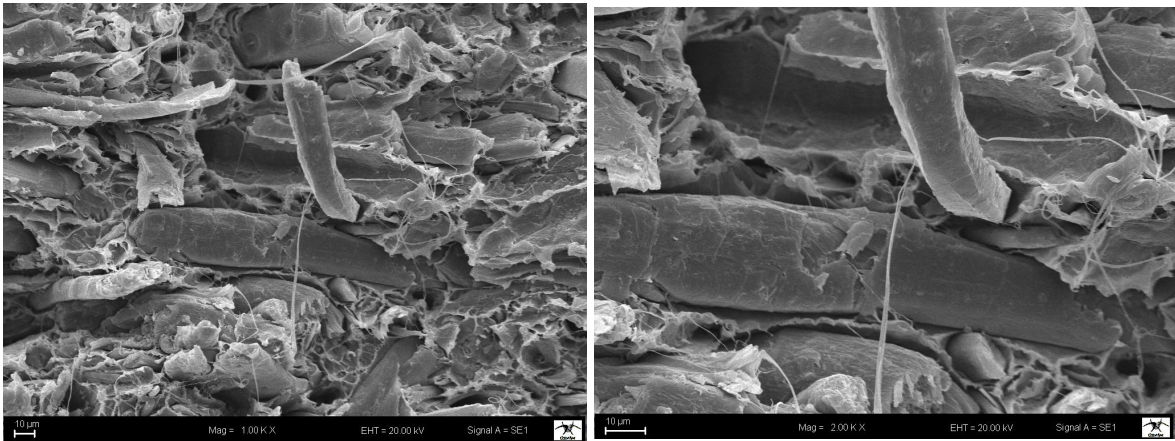
EK-4.A. YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



Şekil 4.A.13. Modifiye edilmiş MDF tozu (MDFBA22PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

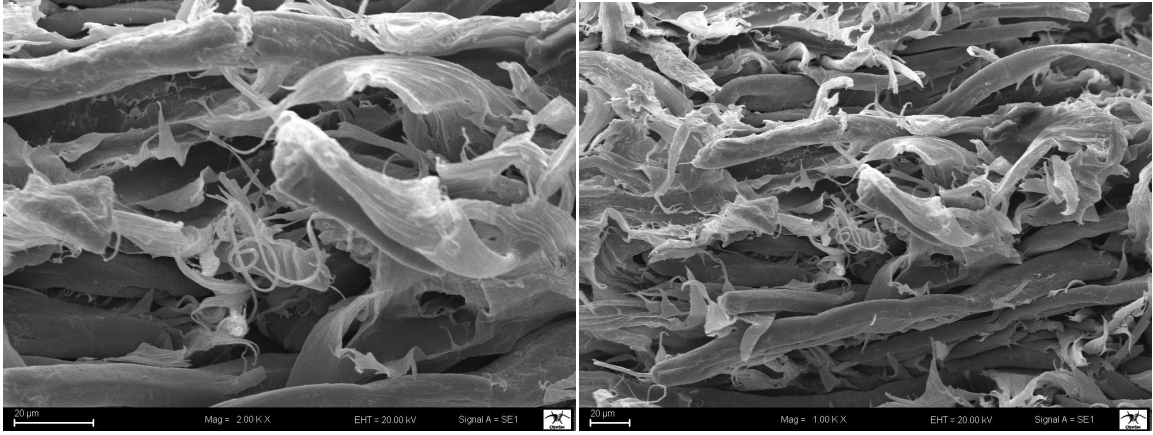


Şekil 4.A.14. Modifiye edilmiş MDF tozu (MDFPA4PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

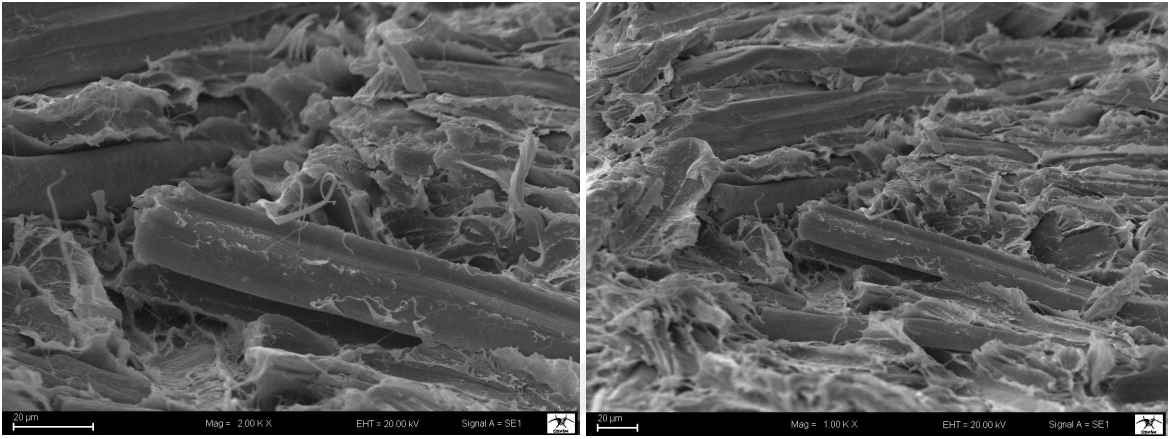


Şekil 4.A.15. Modifiye edilmiş MDF tozu (MDFPA21PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

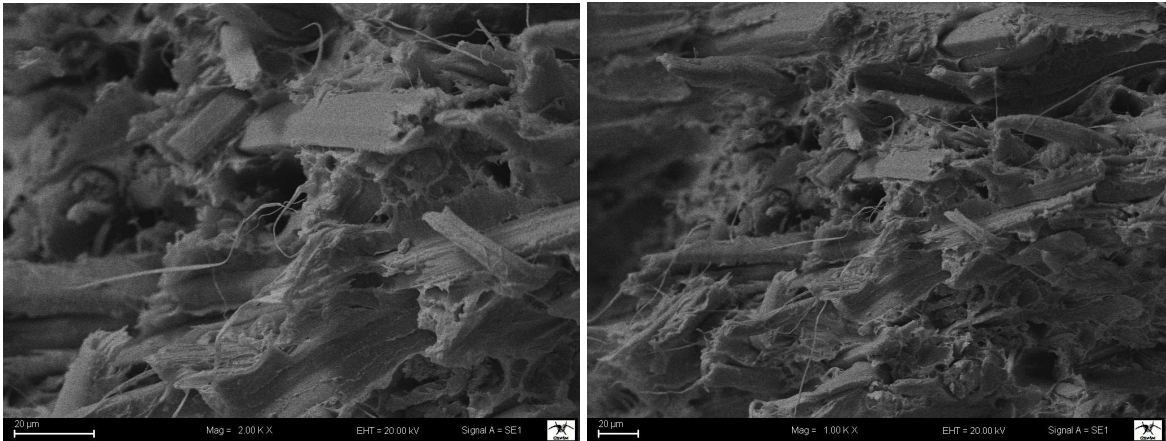
EK-4.A. YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



Şekil 4.A.16. Kontrol jüt lifi (JOPE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

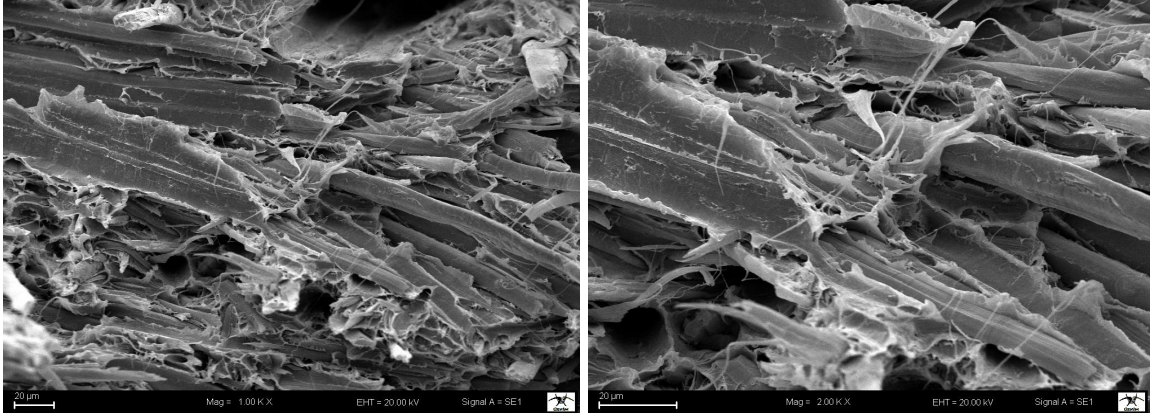


Şekil 4.A.17. Modifiyeli jüt lifi (JAA6PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

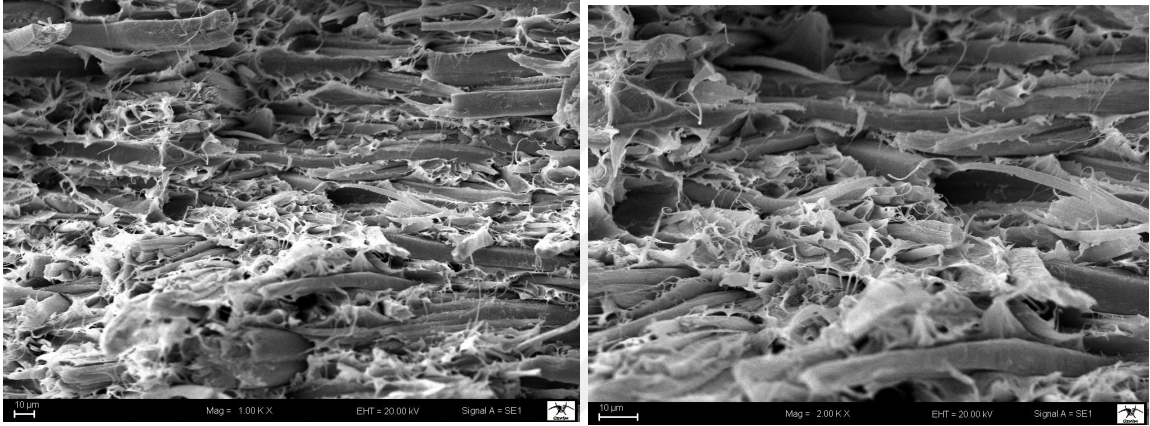


Şekil 4.A.18. Modifiyeli jüt lifi (JAA21PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

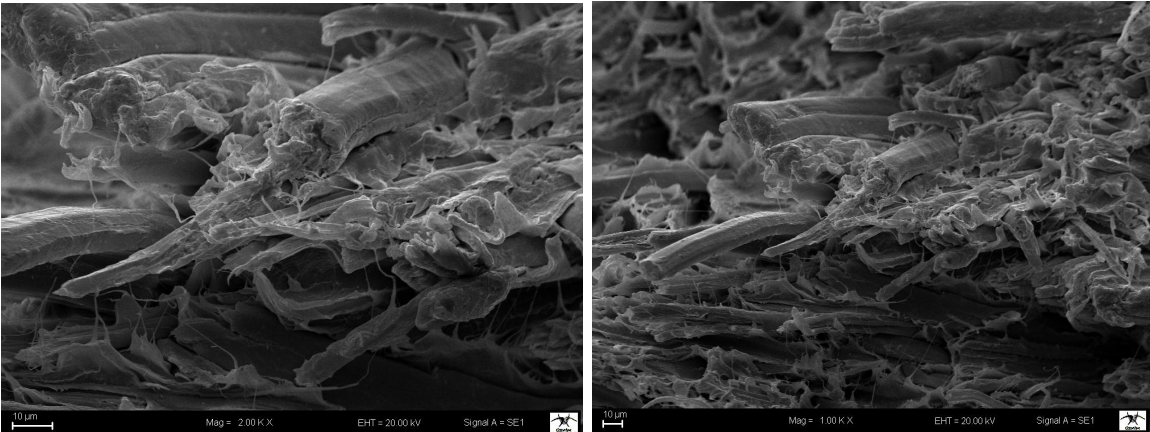
EK-4.A. YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



Şekil 4.A.19. Modifiyeli jüt lifi (JBA5PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

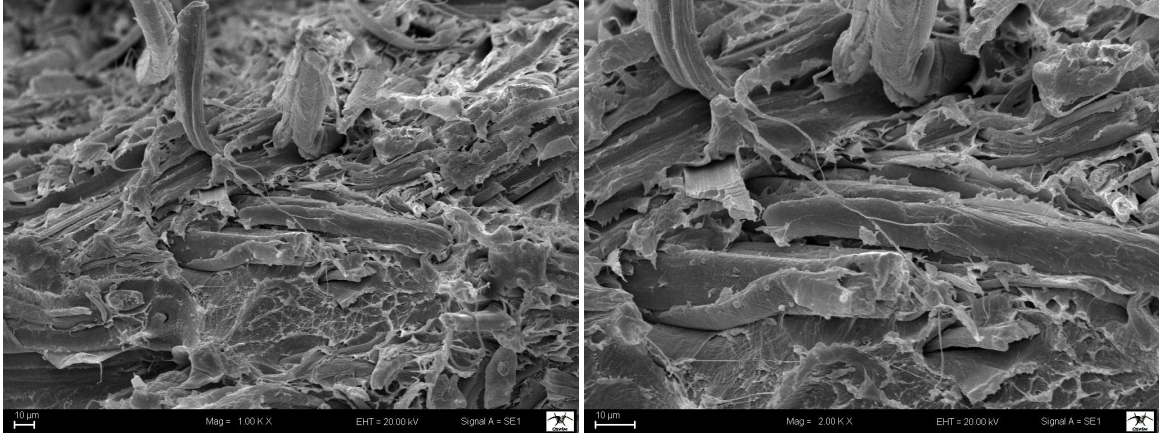


Şekil 4.A.20. Modifiyeli jüt lifi (JBA22PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri



Şekil 4.A.21. Modifiyeli jüt lifi (JPA6PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri

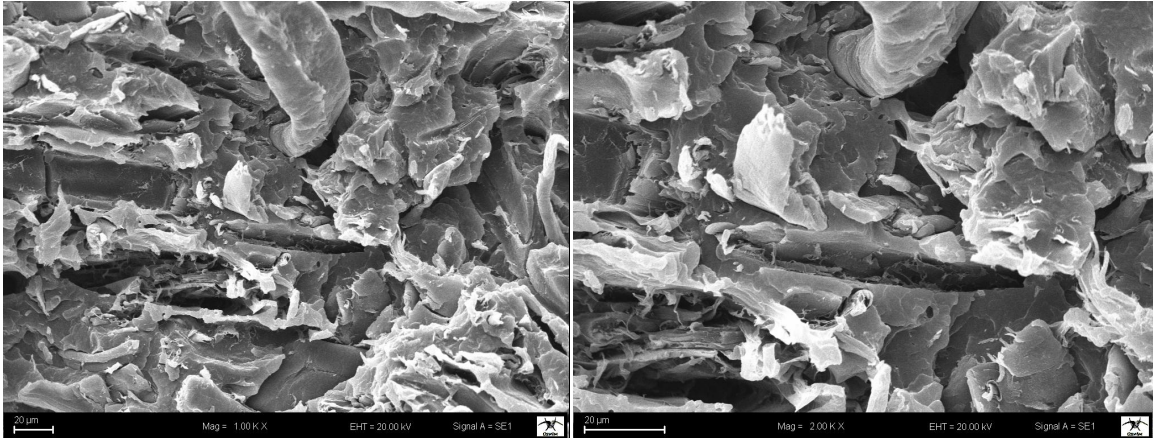
EK-4.A. YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



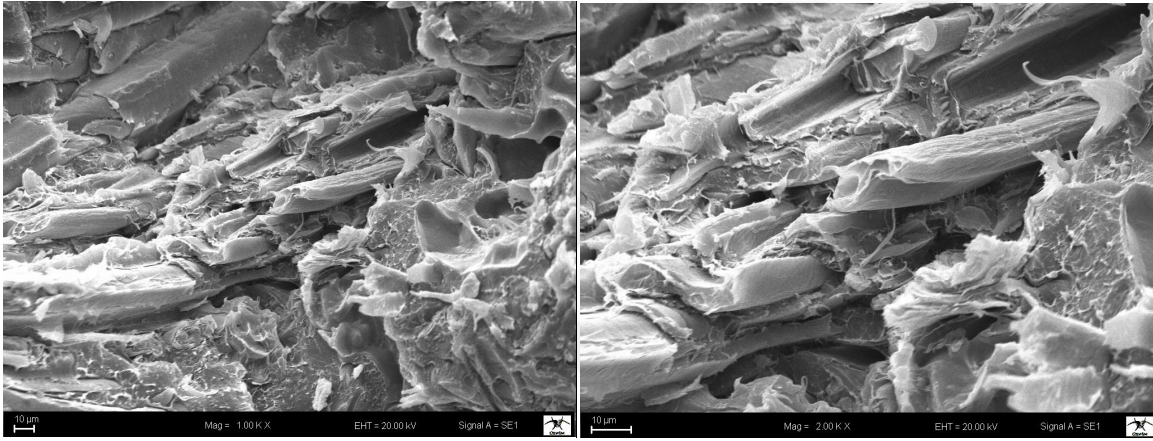
Şekil 4.A.22. Modifiyeli jüt lifi (JPA21PE) ilaveli YYPE kompozitlerin SEM görüntüleri



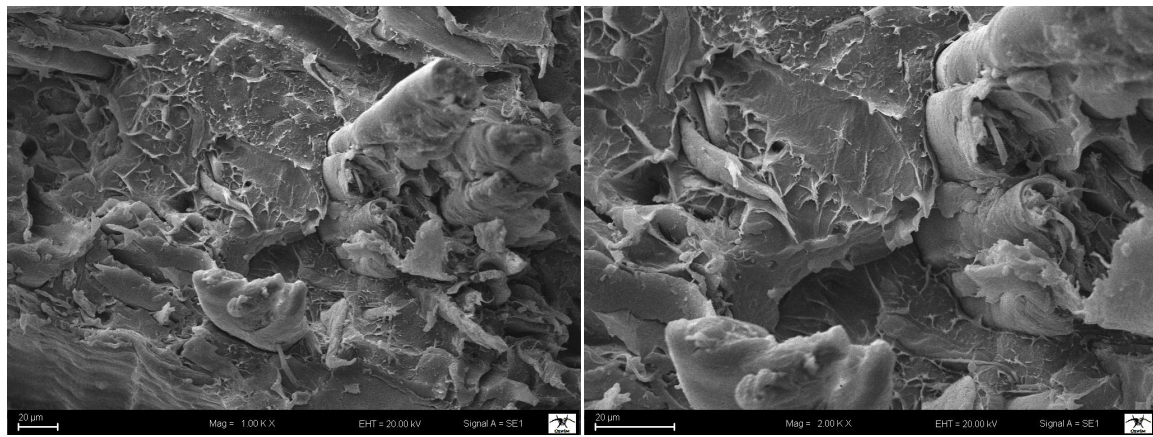
EK-4.B. PP kompozitlerin SEM görüntüleri



Şekil 4.B.1. Kontrol Karacm odunu ilaveli (W0PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

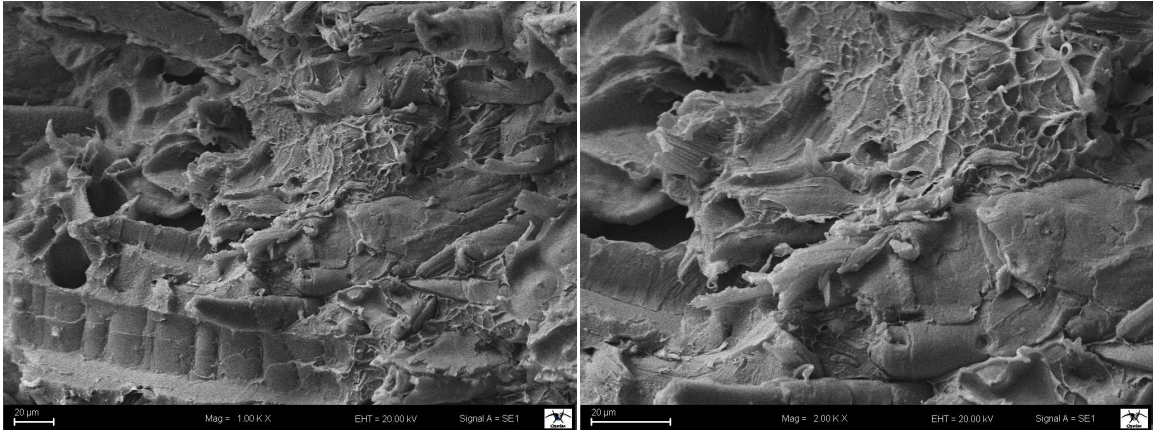


Şekil 4.B.2. Modifiye edilmiş Karacm odunu ilaveli (WAAK15PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

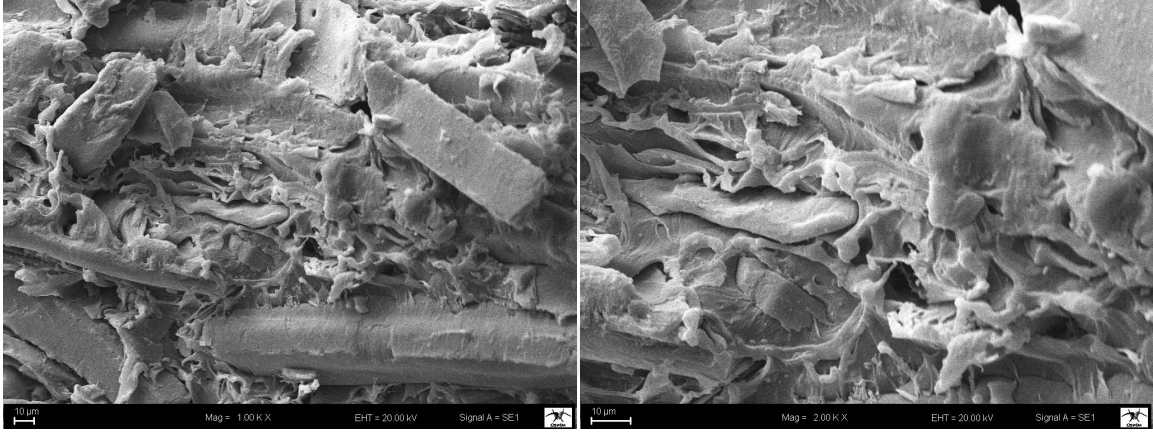


Şekil 4.B.3. Modifiye edilmiş Karacm odunu ilaveli (WAA4PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

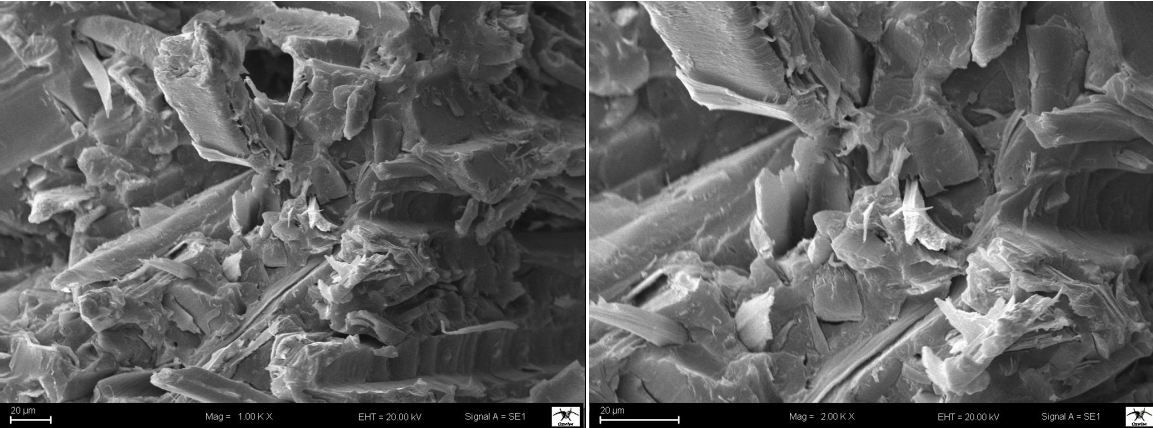
EK-4.B. PP kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



Şekil 4.B.4. Modifiye edilmiş Karaçam odunu ilaveli (WAA19PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

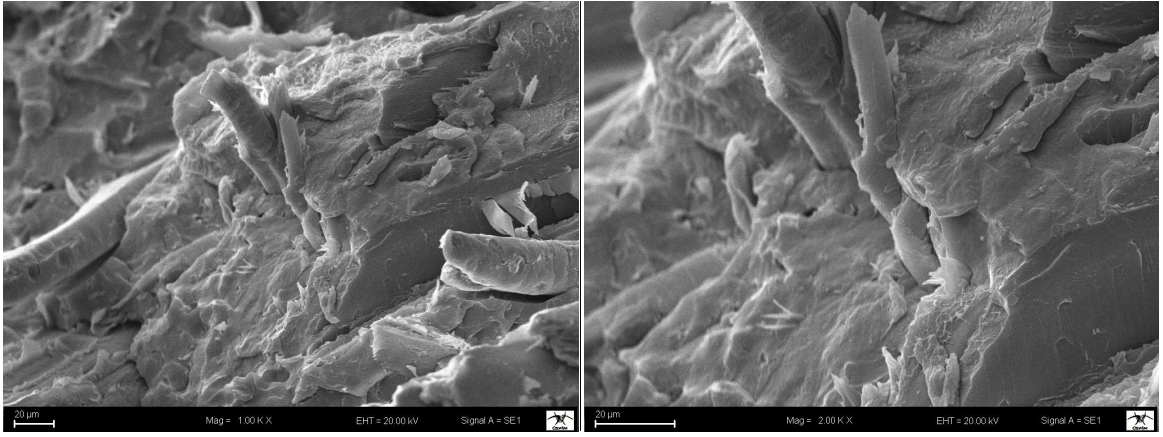


Şekil 4.B.5. Modifiye edilmiş Karaçam odunu ilaveli (WBA5PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

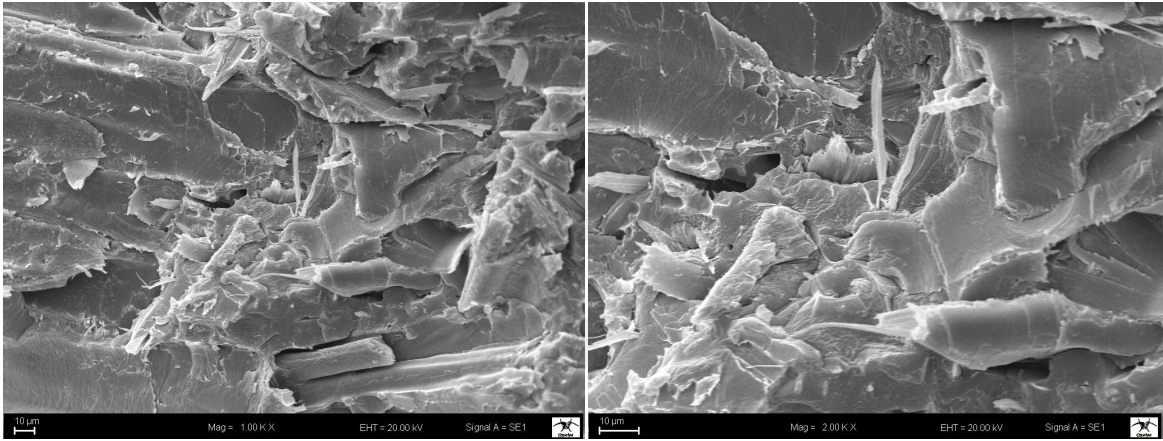


Şekil 4.B.6. Modifiye edilmiş Karaçam odunu ilaveli (WBA23PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

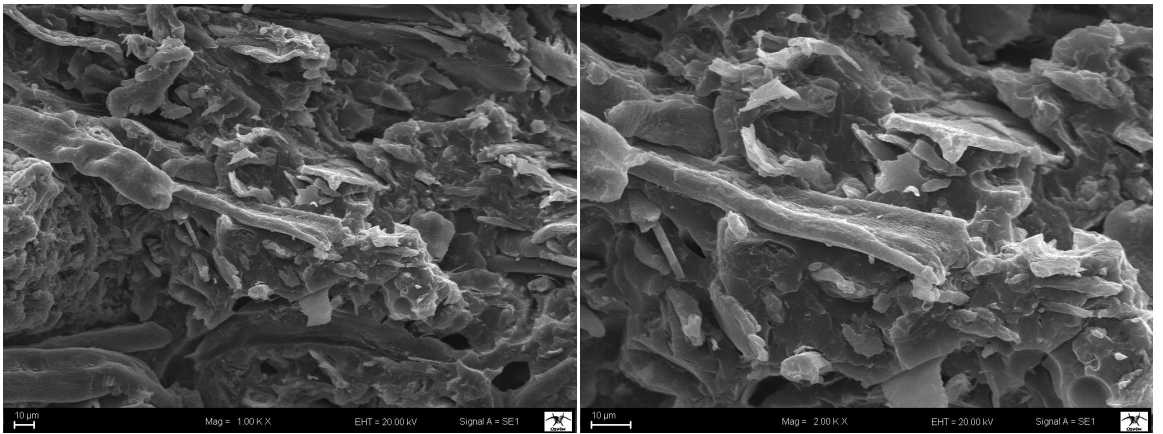
EK-4.B. PP kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



Şekil 4.B.7. Modifiye edilmiş Karaçam odun unu ilaveli (WPA5PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

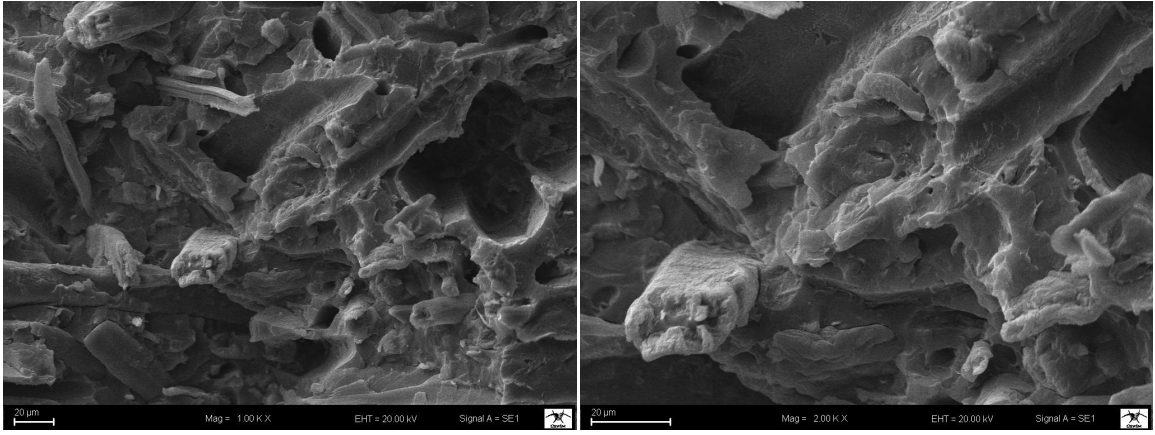


Şekil 4.B.8. Modifiye edilmiş Karaçam odun unu ilaveli (WPA22PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

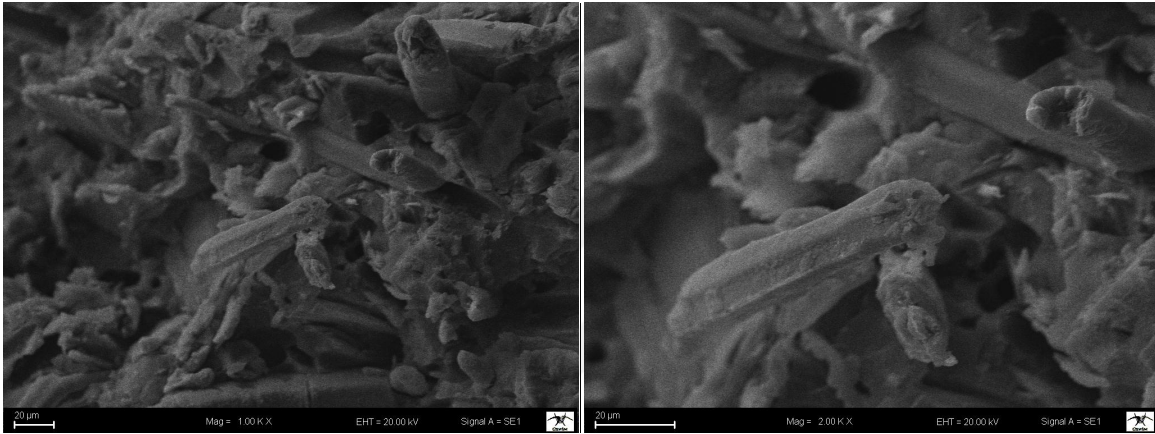


Şekil 4.B.9. Kontrol MDF tozu ilaveli (MDF0PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

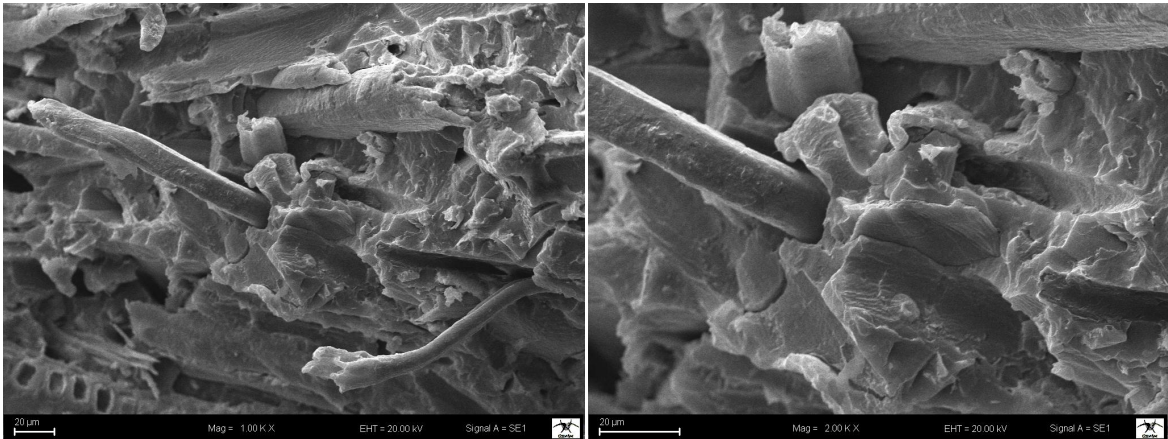
EK-4.B. PP kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



Şekil 4.B.10. Modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli (MDFAA5PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

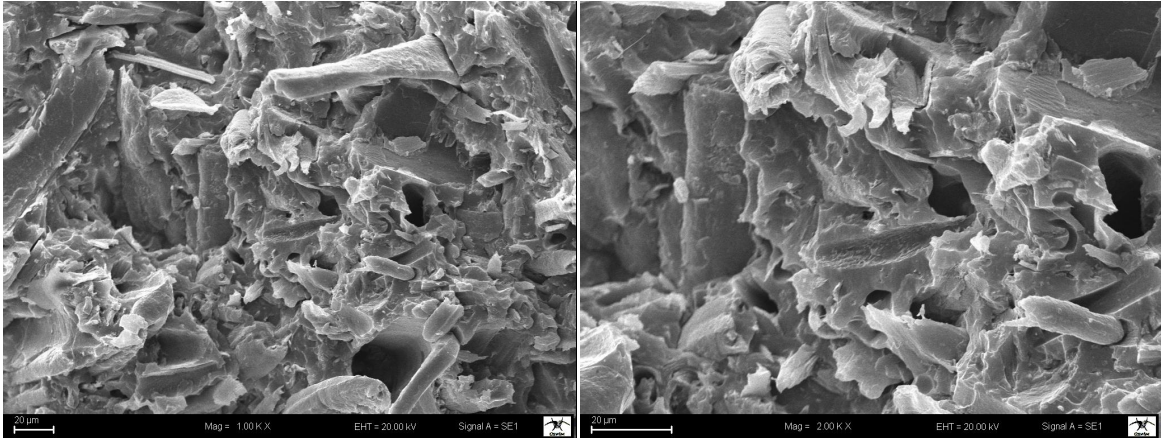


Şekil 4.B.11. Modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli (MDFAA20PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

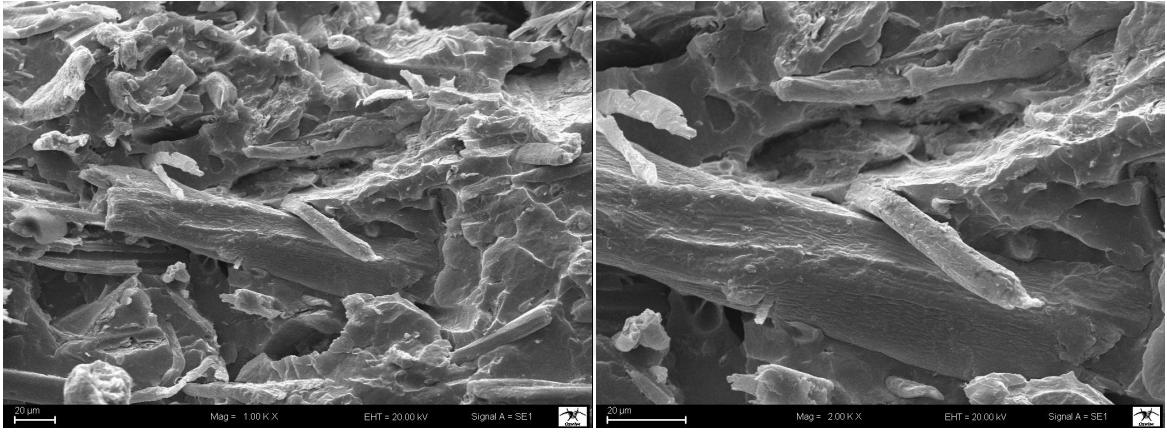


Şekil 4.B.12. Modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli (MDFBA4PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

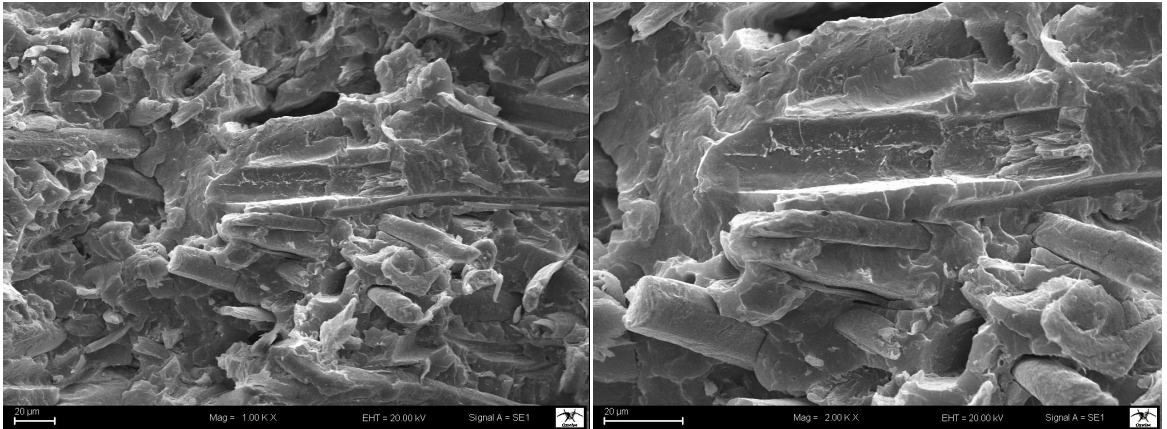
EK-4.B. PP kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



Şekil 4.B.13. Modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli (MDFBA22PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

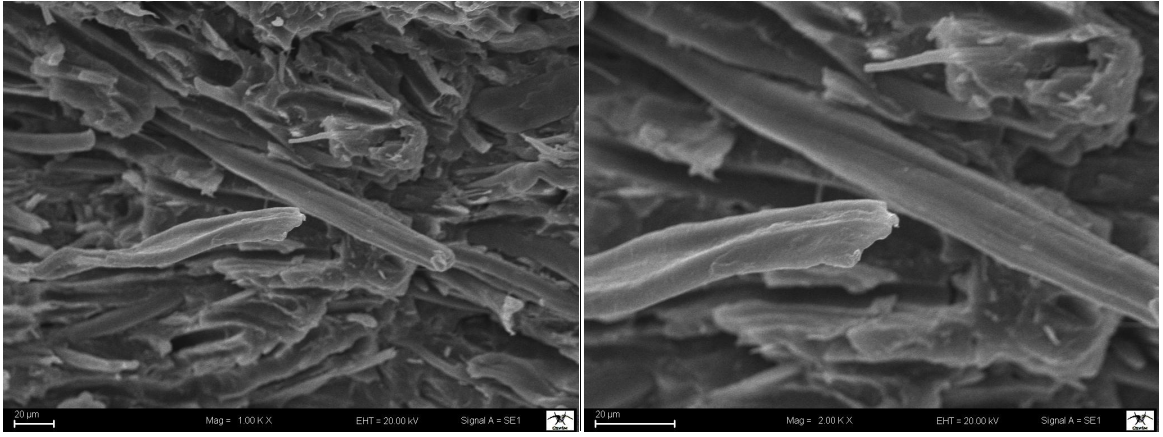


Şekil 4.B.14. Modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli (MDFPA4PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

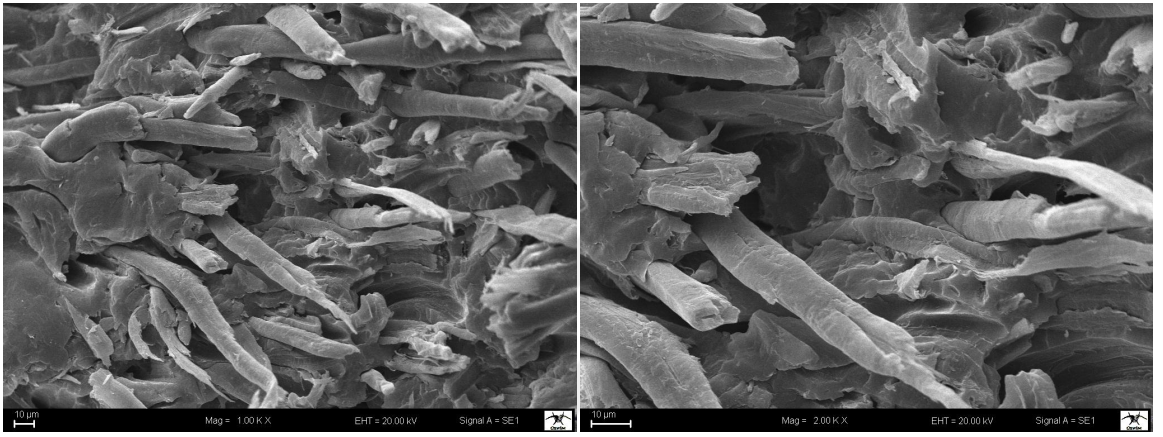


Şekil 4.B.15. Modifiye edilmiş MDF tozu ilaveli (MDFPA21PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

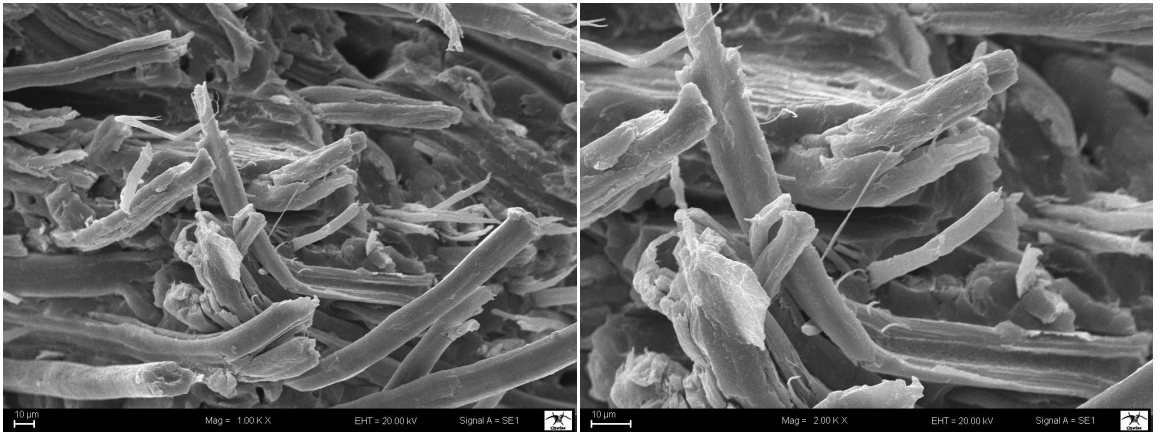
EK-4.B. PP kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



Şekil 4.B.16. Modifiyeli jüt lifi ilaveli (JOPP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

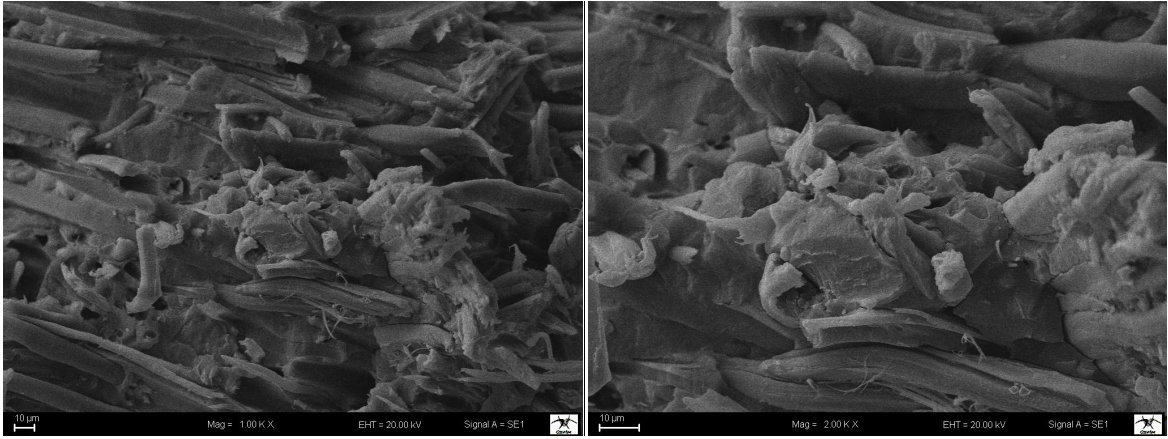


Şekil 4.B.17. Modifiyeli jüt lifi ilaveli (JAA6PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

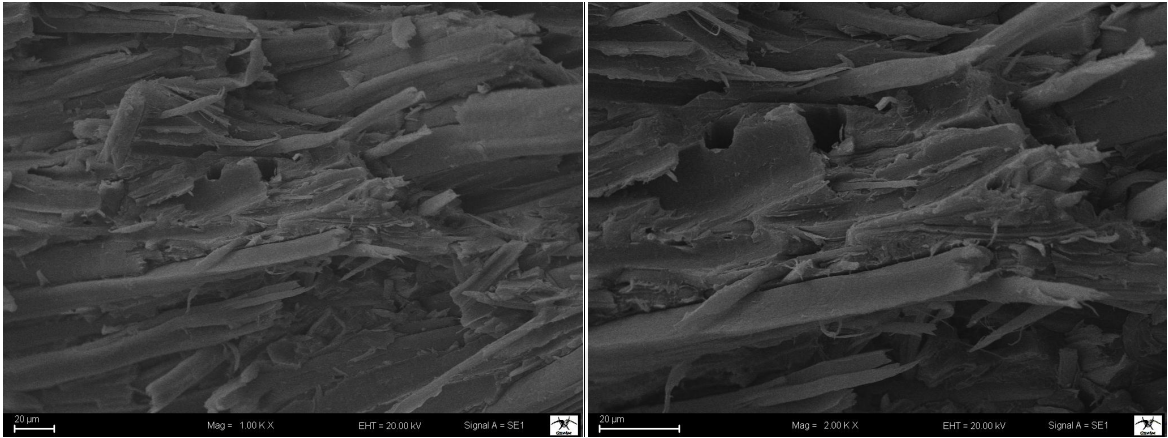


Şekil 4.B.18. Modifiyeli jüt lifi ilaveli (JAA21PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

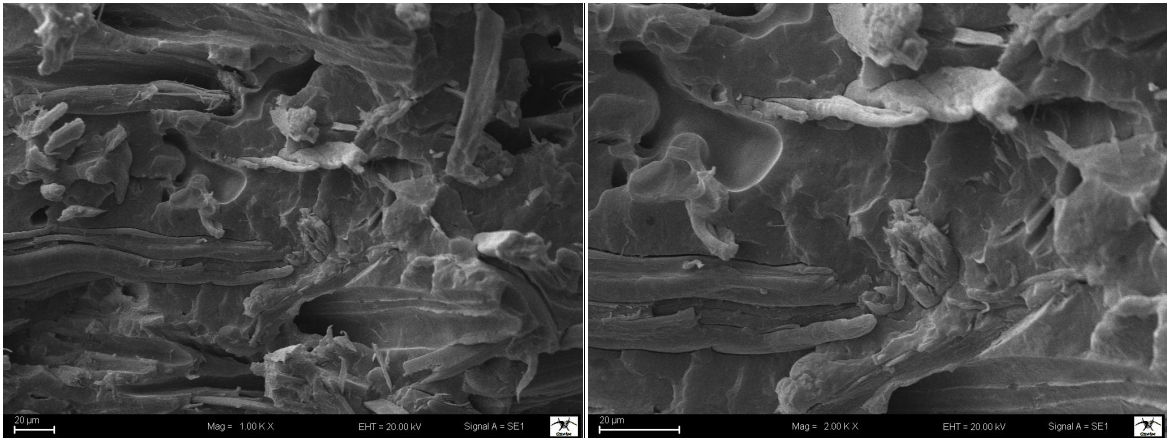
EK-4.B. PP kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



Şekil 4.B.19. Modifiyeli jüt lifi ilaveli (JBA5PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

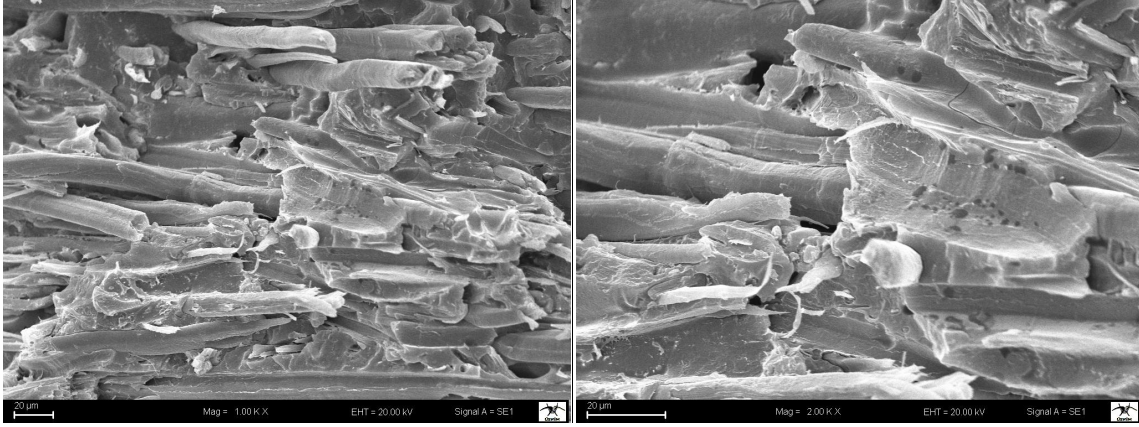


Şekil 4.B.20. Modifiyeli jüt lifi ilaveli (JBA22PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri



Şekil 4.B.21. Modifiyeli jüt lifi ilaveli (JPA6PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri

EK-4.B. PP kompozitlerin SEM görüntüleri (Devam)



Şekil 4.B.22. Modifiyeli jüt lifi ilaveli (JPA21PP) ilaveli PP kompozitlerin SEM görüntüleri



Ek-5. Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İstatistik Analiz Sonuçları

Ek-5.A. YYPE kompozitlerin mekanik özelliklerinin istatistik analiz sonuçları

Çizelge 5.A.1. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAAK15PE - W0PE	6,64095	0,32811	1
WAA4PE - W0PE	5,75952	0,32811	1
WAA4PE - WAAK15PE	-0,88143	0,31523	0
WAA19PE - W0PE	4,9781	0,32811	1
WAA19PE - WAAK15PE	-1,66286	0,31523	1
WAA19PE - WAA4PE	-1,78143	0,31523	1
WPA5PE - W0PE	7,16524	0,32811	1
WPA5PE - WAAK15PE	0,52429	0,31523	0
WPA5PE - WAA4PE	0,51532	0,31523	0
WPA5PE - WAA19PE	2,18714	0,31523	1
WPA5PE - WBA5PE	5,42429	0,31523	1
WPA5PE - WBA23PE	7,04714	0,31523	1
WPA22PE - W0PE	2,4781	0,32811	1
WPA22PE - WAAK15PE	-4,16286	0,31523	1
WPA22PE - WAA4PE	-3,28143	0,31523	1
WPA22PE - WAA19PE	-2,5	0,31523	1
WPA22PE - WBA5PE	0,73714	0,31523	0
WPA22PE - WBA23PE	2,36	0,31523	1
WPA22PE - WPA5PE	-4,68714	0,31523	1
WBA5PE - W0PE	1,74095	0,32811	1
WBA5PE - WAAK15PE	-4,9	0,31523	1
WBA5PE - WAA4PE	-4,01857	0,31523	1
WBA5PE - WAA19PE	-3,23714	0,31523	1
WBA23PE - W0PE	0,1181	0,32811	0
WBA23PE - WAAK15PE	-6,52286	0,31523	1
WBA23PE - WAA4PE	-5,64143	0,31523	1
WBA23PE - WAA19PE	-4,86	0,31523	1
WBA23PE - WBA5PE	-1,62286	0,31523	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.A.2. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
MDFAA5PE - MDF0PE	1,83714	0,34396	1
MDFAA20PE - MDF0PE	2,69571	0,34396	1
MDFAA20PE - MDFAA5PE	0,85857	0,34396	0
MDFPA4PE - MDF0PE	0,22286	0,34396	0
MDFPA4PE - MDFAA5PE	-1,61429	0,34396	1
MDFPA4PE - MDFAA20PE	-2,47286	0,34396	1
MDFPA21PE - MDF0PE	-2,24857	0,34396	1
MDFPA21PE - MDFAA5PE	-4,08571	0,34396	1
MDFPA21PE - MDFAA20PE	-4,94429	0,34396	1
MDFPA21PE - MDFPA4PE	-2,47143	0,34396	1
MDFBA4PE - MDF0PE	-1,63321	0,34396	1
MDFBA4PE - MDFAA5PE	-2,48143	0,34396	1
MDFBA4PE - MDFAA20PE	-3,34	0,34396	1
MDFBA4PE - MDFPA4PE	-0,86714	0,34396	0
MDFBA4PE - MDFPA21PE	1,60429	0,34396	1
MDFBA22PE - MDF0PE	-1,19429	0,34396	1
MDFBA22PE - MDFAA5PE	-3,03143	0,34396	1
MDFBA22PE - MDFAA20PE	-3,89	0,34396	1
MDFBA22PE - MDFPA4PE	-1,41714	0,34396	1
MDFBA22PE - MDFPA21PE	1,57427	0,34396	1
MDFBA22PE - MDFBA4PE	-0,55	0,34396	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.A.3. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
JAA6PE - JOPE	9,88429	0,35738	1
JAA21PE - JOPE	11,65286	0,35738	1
JAA21PE - JAA6PE	1,76857	0,35738	1
JPA6PE - JOPE	8,41286	0,35738	1
JPA6PE - JAA6PE	-1,47143	0,35738	1
JPA6PE - JAA21PE	-3,24	0,35738	1
JPA21PE - JOPE	8,35286	0,35738	1
JPA21PE - JAA6PE	-1,53143	0,35738	1
JPA21PE - JAA21PE	-3,3	0,35738	1
JPA21PE - JPA6PE	-0,06	0,35738	0
JBA5PE - JOPE	10,49	0,35738	1
JBA5PE - JAA6PE	0,60571	0,35738	0
JBA5PE - JAA21PE	-1,16286	0,35738	1
JBA5PE - JPA6PE	2,07714	0,35738	1
JBA5PE - JPA21PE	2,13714	0,35738	1
JBA22PE - JOPE	7,30857	0,35738	1
JBA22PE - JAA6PE	-2,57571	0,35738	1
JBA22PE - JAA21PE	-4,34429	0,35738	1
JBA22PE - JPA6PE	-1,10429	0,35738	0
JBA22PE - JPA21PE	-1,04429	0,35738	0
JBA22PE - JBA5PE	-3,18143	0,35738	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.A.4. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAAK15PE - W0PE	11,20571	0,93728	1
WAA4PE - W0PE	11,54714	0,93728	1
WAA4PE - WAAK15PE	0,34143	0,93728	0
WAA19PE - W0PE	12,81429	0,93728	1
WAA19PE - WAAK15PE	1,60857	0,93728	0
WAA19PE - WAA4PE	1,26714	0,93728	0
WPA5PE - W0PE	10,03	0,93728	1
WPA5PE - WAAK15PE	-1,17571	0,93728	0
WPA5PE - WAA4PE	-1,51714	0,93728	0
WPA5PE - WAA19PE	-2,78429	0,93728	0
WPA22PE - W0PE	7,7581	0,97555	1
WPA22PE - WAAK15PE	-3,44762	0,97555	1
WPA22PE - WAA4PE	-3,78905	0,97555	1
WPA22PE - WAA19PE	-5,05619	0,97555	1
WPA22PE - WPA5PE	-3,9719	0,97555	1
WBA5PE - W0PE	7,43429	0,93728	1
WBA5PE - WAAK15PE	-3,77143	0,93728	1
WBA5PE - WAA4PE	-4,11286	0,93728	1
WBA5PE - WAA19PE	-5,38	0,93728	1
WBA5PE - WPA5PE	-3,63522	0,93728	1
WBA5PE - WPA22PE	-0,32381	0,97555	0
WBA23PE - W0PE	6,81714	0,93728	1
WBA23PE - WAAK15PE	-4,38857	0,93728	1
WBA23PE - WAA4PE	-4,73	0,93728	1
WBA23PE - WAA19PE	-5,99714	0,93728	1
WBA23PE - WPA5PE	-3,21286	0,93728	1
WBA23PE - WPA22PE	-0,94095	0,97555	0
WBA23PE - WBA5PE	-0,61714	0,93728	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.A.5. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
MDFAA5PE - MDF0PE	4,42571	1,10481	1
MDFAA20PE - MDF0PE	3,9	1,10481	1
MDFAA20PE - MDFAA5PE	-0,52571	1,10481	0
MDFPA4PE - MDF0PE	3,15522	1,10481	1
MDFPA4PE - MDFAA5PE	-3,97	1,10481	1
MDFPA4PE - MDFAA20PE	-4,33413	1,10481	1
MDFPA21PE - MDF0PE	-2,63857	1,10481	0
MDFPA21PE - MDFAA5PE	-7,06429	1,10481	1
MDFPA21PE - MDFAA20PE	-6,53857	1,10481	1
MDFPA21PE - MDFPA4PE	-4,14429	1,10481	1
MDFBA4PE - MDF0PE	1,23571	1,10481	1
MDFBA4PE - MDFAA5PE	-4,19	1,10481	1
MDFBA4PE - MDFAA20PE	-3,66429	1,10481	1
MDFBA4PE - MDFPA4PE	-1,27	1,10481	0
MDFBA4PE - MDFPA21PE	2,87429	1,10481	1
MDFBA22PE - MDF0PE	-1,86121	1,10481	1
MDFBA22PE - MDFAA5PE	-4,68714	1,10481	1
MDFBA22PE - MDFAA20PE	-4,16143	1,10481	1
MDFBA22PE - MDFPA4PE	-1,76714	1,10481	0
MDFBA22PE - MDFPA21PE	2,37714	1,10481	1
MDFBA22PE - MDFBA4PE	-0,49714	1,10481	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.A.6. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
JAA6PE - JOPE	11,40857	1,72896	1
JAA21PE - JOPE	13,80714	1,72896	1
JAA21PE - JAA6PE	2,39857	1,72896	0
JPA6PE - JOPE	10,11143	1,72896	1
JPA6PE - JAA6PE	-1,29714	1,72896	0
JPA6PE - JAA21PE	-3,69571	1,72896	0
JPA21PE - JOPE	10,41571	1,72896	1
JPA21PE - JAA6PE	-0,99286	1,72896	0
JPA21PE - JAA21PE	-3,39143	1,72896	0
JPA21PE - JPA6PE	0,30429	1,72896	0
JBA5PE - JOPE	13,54	1,72896	1
JBA5PE - JAA6PE	2,13143	1,72896	0
JBA5PE - JAA21PE	-0,26714	1,72896	0
JBA5PE - JPA6PE	3,42857	1,72896	0
JBA5PE - JPA21PE	3,12429	1,72896	0
JBA22PE - JOPE	12,38143	1,72896	1
JBA22PE - JAA6PE	0,97286	1,72896	0
JBA22PE - JAA21PE	-1,42571	1,72896	0
JBA22PE - JPA6PE	2,27	1,72896	0
JBA22PE - JPA21PE	1,96571	1,72896	0
JBA22PE - JBA5PE	-1,15857	1,72896	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.A.7. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAAK15PE - W0PE	632,67	72,35419	1
WAA4PE - W0PE	688,21714	72,35419	1
WAA4PE - WAAK15PE	55,54714	72,35419	0
WAA19PE - W0PE	875,89571	72,35419	1
WAA19PE - WAAK15PE	243,22571	72,35419	1
WAA19PE - WAA4PE	257,32842	72,35419	1
WPA5PE - W0PE	607,05714	72,35419	1
WPA5PE - WAAK15PE	-25,61286	72,35419	0
WPA5PE - WAA4PE	-81,16	72,35419	0
WPA5PE - WAA19PE	-268,83857	72,35419	1
WPA22PE - W0PE	614,52095	75,30863	1
WPA22PE - WAAK15PE	-18,14905	75,30863	0
WPA22PE - WAA4PE	-73,69619	75,30863	0
WPA22PE - WAA19PE	-261,37476	75,30863	1
WPA22PE - WPA5PE	7,46381	75,30863	0
WBA5PE - W0PE	687,35429	72,35419	1
WBA5PE - WAAK15PE	54,68429	72,35419	0
WBA5PE - WAA4PE	-0,86286	72,35419	0
WBA5PE - WAA19PE	-213,73121	72,35419	1
WBA5PE - WPA5PE	80,29714	72,35419	0
WBA5PE - WPA22PE	72,83333	75,30863	0
WBA23PE - W0PE	757,25857	72,35419	1
WBA23PE - WAAK15PE	124,58857	72,35419	0
WBA23PE - WAA4PE	69,04143	72,35419	0
WBA23PE - WAA19PE	-198,63714	72,35419	1
WBA23PE - WPA5PE	150,20143	72,35419	0
WBA23PE - WPA22PE	142,73762	75,30863	0
WBA23PE - WBA5PE	69,90429	72,35419	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Not: Eğilmede elastikiyet modülü istatistik analizlerinde MPa değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.A.8. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
MDFAA5PE - MDF0PE	281,61714	77,5014	1
MDFAA20PE - MDF0PE	206,36801	77,5014	1
MDFAA20PE - MDFAA5PE	-223,21567	77,5014	1
MDFPA4PE - MDF0PE	197,12356	77,5014	1
MDFPA4PE - MDFAA5PE	-211,12	77,5014	1
MDFPA4PE - MDFAA20PE	-49,14714	77,5014	0
MDFPA21PE - MDF0PE	-199,11343	77,5014	1
MDFPA21PE - MDFAA5PE	-421,49857	77,5014	1
MDFPA21PE - MDFAA20PE	-280,05571	77,5014	1
MDFPA21PE - MDFPA4PE	-267,75811	77,5014	1
MDFBA4PE - MDF0PE	214,44214	77,5014	1
MDFBA4PE - MDFAA5PE	-249,71286	77,5014	1
MDFBA4PE - MDFAA20PE	-108,27	77,5014	0
MDFBA4PE - MDFPA4PE	-59,12286	77,5014	0
MDFBA4PE - MDFPA21PE	171,78571	77,5014	1
MDFBA22PE - MDF0PE	-2,66571	77,5014	0
MDFBA22PE - MDFAA5PE	-284,28286	77,5014	1
MDFBA22PE - MDFAA20PE	-142,84	77,5014	1
MDFBA22PE - MDFPA4PE	-93,69286	77,5014	1
MDFBA22PE - MDFPA21PE	137,21571	77,5014	1
MDFBA22PE - MDFBA4PE	-34,57	77,5014	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Not: Eğilmede elastikiyet modülü istatistik analizlerinde MPa değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.A.9. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
JAA6PE - JOPE	554,28	122,59476	1
JAA21PE - JOPE	666,55857	122,59476	1
JAA21PE - JAA6PE	112,27857	122,59476	0
JPA6PE - JOPE	521,06571	122,59476	1
JPA6PE - JAA6PE	-33,21429	122,59476	0
JPA6PE - JAA21PE	-145,49286	122,59476	0
JPA21PE - JOPE	475,42	122,59476	1
JPA21PE - JAA6PE	-78,86	122,59476	0
JPA21PE - JAA21PE	-191,13857	122,59476	0
JPA21PE - JPA6PE	-45,64571	122,59476	0
JBA5PE - JOPE	659,95	122,59476	1
JBA5PE - JAA6PE	105,67	122,59476	0
JBA5PE - JAA21PE	-6,60857	122,59476	0
JBA5PE - JPA6PE	138,88429	122,59476	0
JBA5PE - JPA21PE	184,53	122,59476	0
JBA22PE - JOPE	675,10857	122,59476	1
JBA22PE - JAA6PE	120,82857	122,59476	0
JBA22PE - JAA21PE	8,55	122,59476	0
JBA22PE - JPA6PE	154,04286	122,59476	0
JBA22PE - JPA21PE	199,68857	122,59476	0
JBA22PE - JBA5PE	15,15857	122,59476	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Not: Eğilmede elastikiyet modülü istatistik analizlerinde MPa değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.A.10. Karaçam odun unu ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAAK15PE - W0PE	-9,49524	1,24557	1
WAA4PE - W0PE	-6,57524	1,24557	1
WAA4PE - WAAK15PE	2,92	1,29258	0
WAA19PE - W0PE	-9,2	1,1967	1
WAA19PE - WAAK15PE	0,29524	1,24557	0
WAA19PE - WAA4PE	-2,62476	1,24557	0
WPA5PE - W0PE	-7,70857	1,24557	1
WPA5PE - WAAK15PE	1,78667	1,29258	0
WPA5PE - WAA4PE	-1,13333	1,29258	0
WPA5PE - WAA19PE	1,49143	1,24557	0
WPA22PE - W0PE	-8,60571	1,1967	1
WPA22PE - WAAK15PE	0,88952	1,24557	0
WPA22PE - WAA4PE	-2,03048	1,24557	0
WPA22PE - WAA19PE	0,59429	1,1967	0
WPA22PE - WPA5PE	-0,89714	1,24557	0
WBA5PE - W0PE	-10,66857	1,24557	1
WBA5PE - WAAK15PE	-1,17333	1,29258	0
WBA5PE - WAA4PE	-4,09333	1,29258	0
WBA5PE - WAA19PE	-1,46857	1,24557	0
WBA5PE - WPA5PE	-2,96	1,29258	0
WBA5PE - WPA22PE	-2,06286	1,24557	0
WBA23PE - W0PE	-13,64571	1,1967	1
WBA23PE - WAAK15PE	-4,15048	1,24557	1
WBA23PE - WAA4PE	-7,07048	1,24557	1
WBA23PE - WAA19PE	-4,44571	1,1967	1
WBA23PE - WPA5PE	-5,93714	1,24557	1
WBA23PE - WPA22PE	-5,04	1,1967	1
WBA23PE - WBA5PE	-3,53256	1,24557	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.A.11. MDF tozu ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
MDFAA5PE - MDF0PE	-5,22667	1,19517	1
MDFAA20PE - MDF0PE	-4,34667	1,25351	1
MDFAA20PE - MDFAA5PE	0,88	1,25351	0
MDFPA4PE - MDF0PE	-4,5981	1,1517	1
MDFPA4PE - MDFAA5PE	0,62857	1,1517	0
MDFPA4PE - MDFAA20PE	-0,25143	1,21213	0
MDFPA21PE - MDF0PE	-4,66667	1,19517	1
MDFPA21PE - MDFAA5PE	0,56	1,19517	0
MDFPA21PE - MDFAA20PE	-0,32	1,25351	0
MDFPA21PE - MDFPA4PE	-0,06857	1,1517	0
MDFBA4PE - MDF0PE	-2,99951	1,1517	1
MDFBA4PE - MDFAA5PE	2,97212	1,1517	1
MDFBA4PE - MDFAA20PE	2,99355	1,21213	1
MDFBA4PE - MDFPA4PE	3,04437	1,10652	1
MDFBA4PE - MDFPA21PE	3,11513	1,1517	1
MDFBA22PE - MDF0PE	-4,85333	1,19517	1
MDFBA22PE - MDFAA5PE	0,37333	1,19517	0
MDFBA22PE - MDFAA20PE	-0,50667	1,25351	0
MDFBA22PE - MDFPA4PE	-0,25524	1,1517	0
MDFBA22PE - MDFPA21PE	-0,18667	1,19517	0
MDFBA22PE - MDFBA4PE	-2,40381	1,1517	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.A.12. Jüt lifi ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
JAA6PE - JOPE	-12,26286	1,59453	1
JAA21PE - JOPE	-11,46286	1,59453	1
JAA21PE - JAA6PE	0,8	1,59453	0
JPA6PE - JOPE	-12,36381	1,65964	1
JPA6PE - JAA6PE	-0,10095	1,65964	0
JPA6PE - JAA21PE	-0,90095	1,65964	0
JPA21PE - JOPE	-16,17143	1,59453	1
JPA21PE - JAA6PE	-3,90857	1,59453	0
JPA21PE - JAA21PE	-4,70857	1,59453	0
JPA21PE - JPA6PE	-3,80762	1,65964	0
JBA5PE - JOPE	-12,45714	1,59453	1
JBA5PE - JAA6PE	-0,19429	1,59453	0
JBA5PE - JAA21PE	-0,99429	1,59453	0
JBA5PE - JPA6PE	-0,09333	1,65964	0
JBA5PE - JPA21PE	3,71429	1,59453	0
JBA22PE - JOPE	-20,14857	1,59453	1
JBA22PE - JAA6PE	-7,88571	1,59453	1
JBA22PE - JAA21PE	-8,68571	1,59453	1
JBA22PE - JPA6PE	-7,78476	1,65964	1
JBA22PE - JPA21PE	-3,97714	1,59453	1
JBA22PE - JBA5PE	-7,69143	1,59453	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.A.13. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerin çekme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WPA5PE - W0PE	7,16524	0,40826	1
MDF0PE - W0PE	1,64952	0,40826	1
MDF0PE - WPA5PE	-5,51571	0,39225	1
MDFAA20PE - W0PE	4,34524	0,40826	1
MDFAA20PE - WPA5PE	-2,82	0,39225	1
MDFAA20PE - MDF0PE	2,69571	0,39225	1
J0PE - W0PE	-1,17333	0,40826	0
J0PE - WPA5PE	-8,33857	0,39225	1
J0PE - MDF0PE	-2,82286	0,39225	1
J0PE - MDFAA20PE	-5,51857	0,39225	1
JAA21PE - W0PE	10,47952	0,40826	1
JAA21PE - WPA5PE	3,31429	0,39225	1
JAA21PE - MDF0PE	8,83	0,39225	1
JAA21PE - MDFAA20PE	6,13429	0,39225	1
JAA21PE - J0PE	11,65286	0,39225	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.A.14. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerin eğilme direnci
Tukey testi

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAA19PE - W0PE	12,81429	1,2456	1
MDF0PE - W0PE	4,21286	1,2456	1
MDF0PE - WAA19PE	-8,60143	1,2456	1
MDFAA5PE - W0PE	8,63857	1,2456	1
MDFAA5PE - WAA19PE	-4,17571	1,2456	1
MDFAA5PE - MDF0PE	4,42571	1,2456	1
J0PE - W0PE	4,45429	1,2456	1
J0PE - WAA19PE	-8,36	1,2456	1
J0PE - MDF0PE	0,24143	1,2456	0
J0PE - MDFAA5PE	-4,18429	1,2456	1
JAA21PE - W0PE	18,26143	1,2456	1
JAA21PE - WAA19PE	5,44714	1,2456	1
JAA21PE - MDF0PE	14,04857	1,2456	1
JAA21PE - MDFAA5PE	9,62286	1,2456	1
JAA21PE - J0PE	13,80714	1,2456	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.A.15. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAA19PE - WOPE	875,89571	71,9471	1
MDF0PE - WOPE	437,78429	71,9471	1
MDF0PE - WAA19PE	-438,11143	71,9471	1
MDFAA5PE - WOPE	719,40143	71,9471	1
MDFAA5PE - WAA19PE	-156,49429	71,9471	0
MDFAA5PE - MDF0PE	281,61714	71,9471	1
JOPE - WOPE	440,29857	71,9471	1
JOPE - WAA19PE	-435,59714	71,9471	1
JOPE - MDF0PE	2,51429	71,9471	0
JOPE - MDFAA5PE	-279,10286	71,9471	1
JBA22PE - WOPE	1115,40714	71,9471	1
JBA22PE - WAA19PE	239,51143	71,9471	1
JBA22PE - MDF0PE	677,62286	71,9471	1
JBA22PE - MDFAA5PE	396,00571	71,9471	1
JBA22PE - JOPE	675,10857	71,9471	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Not: Eğilmede elastikiyet modülü istatistik analizlerinde MPa değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.A.16. Farklı lignoselülozik madde ilaveli YYPE kompozitlerin darbe direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAA4PE - W0PE	-6,57524	1,66717	1
MDF0PE - W0PE	-6,19429	1,60176	1
MDF0PE - WAA4PE	0,38095	1,66717	0
MDFAA5PE - W0PE	-12,14857	1,66717	1
MDFAA5PE - WAA4PE	-5,57333	1,7301	1
MDFAA5PE - MDF0PE	-5,95429	1,66717	1
J0PE - W0PE	9,26857	1,60176	1
J0PE - WAA4PE	15,84381	1,66717	1
J0PE - MDF0PE	15,46286	1,60176	1
J0PE - MDFAA5PE	21,41714	1,66717	1
JAA21PE - W0PE	-2,19429	1,60176	0
JAA21PE - WAA4PE	4,38095	1,66717	1
JAA21PE - MDF0PE	4,92381	1,60176	1
JAA21PE - MDFAA5PE	9,95429	1,66717	1
JAA21PE - J0PE	-11,46286	1,60176	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Ek-5.B. PP kompozitlerin mekanik özelliklerinin istatistik analiz sonuçları

Çizelge 5.B.1. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAAK15PP - W0PP	-2,67	0,35859	1
WAA4PP - W0PP	-0,18143	0,35859	0
WAA4PP - WAAK15PP	2,48857	0,35859	1
WAA19PP - W0PP	-2,35571	0,35859	1
WAA19PP - WAAK15PP	0,31429	0,35859	0
WAA19PP - WAA4PP	-2,17429	0,35859	1
WPA5PP - W0PP	-1,81	0,35859	1
WPA5PP - WAAK15PP	0,86	0,35859	0
WPA5PP - WAA4PP	-1,62857	0,35859	1
WPA5PP - WAA19PP	0,54571	0,35859	0
WPA22PP - W0PP	-2,56	0,35859	1
WPA22PP - WAAK15PP	0,11	0,35859	0
WPA22PP - WAA4PP	-2,37857	0,35859	1
WPA22PP - WAA19PP	-0,20429	0,35859	0
WPA22PP - WPA5PP	-0,75	0,35859	0
WBA5PP - W0PP	-1,67571	0,35859	1
WBA5PP - WAAK15PP	0,99429	0,35859	0
WBA5PP - WAA4PP	-1,49429	0,35859	1
WBA5PP - WAA19PP	0,68	0,35859	0
WBA5PP - WPA5PP	0,13429	0,35859	0
WBA5PP - WPA22PP	0,88429	0,35859	0
WBA23PP - W0PP	-2,08286	0,35859	1
WBA23PP - WAAK15PP	0,58714	0,35859	0
WBA23PP - WAA4PP	-1,90143	0,35859	1
WBA23PP - WAA19PP	0,27286	0,35859	0
WBA23PP - WPA5PP	-0,27286	0,35859	0
WBA23PP - WPA22PP	0,47714	0,35859	0
WBA23PP - WBA5PP	-0,40714	0,35859	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.B.2. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
MDFAA5PP - MDF0PP	1,13454	0,38586	1
MDFAA20PP - MDF0PP	1,03714	0,38586	1
MDFAA20PP - MDFAA5PP	0,3721	0,38586	0
MDFPA4PP - MDF0PP	-0,06857	0,38586	0
MDFPA4PP - MDFAA5PP	-1,33371	0,38586	1
MDFPA4PP - MDFAA20PP	-0,91571	0,38586	1
MDFPA21PP - MDF0PP	-0,98429	0,38586	1
MDFPA21PP - MDFAA5PP	-1,52143	0,38586	1
MDFPA21PP - MDFAA20PP	-1,53143	0,38586	1
MDFPA21PP - MDFPA4PP	-1,51534	0,38586	1
MDFBA4PP - MDF0PP	0,65857	0,38586	0
MDFBA4PP - MDFAA5PP	0,21122	0,38586	0
MDFBA4PP - MDFAA20PP	0,11143	0,38586	0
MDFBA4PP - MDFPA4PP	0,97234	0,38586	1
MDFBA4PP - MDFPA21PP	1,64286	0,38586	1
MDFBA22PP - MDF0PP	-1,40571	0,38586	1
MDFBA22PP - MDFAA5PP	-1,94286	0,38586	1
MDFBA22PP - MDFAA20PP	-1,95286	0,38586	1
MDFBA22PP - MDFPA4PP	-1,33714	0,38586	1
MDFBA22PP - MDFPA21PP	-0,42143	0,38586	0
MDFBA22PP - MDFBA4PP	-2,06429	0,38586	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.B.3. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
JAA6PP - J0PP	3,49143	0,43621	1
JAA21PP - J0PP	1,55286	0,43621	1
JAA21PP - JAA6PP	-1,93857	0,43621	1
JPA6PP - J0PP	1,06571	0,43621	1
JPA6PP - JAA6PP	-2,02571	0,43621	1
JPA6PP - JAA21PP	-0,08714	0,43621	0
JPA21PP - J0PP	0,86429	0,43621	0
JPA21PP - JAA6PP	-2,62714	0,43621	1
JPA21PP - JAA21PP	-0,91237	0,43621	1
JPA21PP - JPA6PP	-0,91143	0,43621	1
JBA5PP - J0PP	0,90714	0,43621	0
JBA5PP - JAA6PP	-2,58429	0,43621	1
JBA5PP - JAA21PP	-0,93321	0,43621	1
JBA5PP - JPA6PP	-0,90852	0,43621	1
JBA5PP - JPA21PP	0,04286	0,43621	0
JBA22PP - J0PP	0,50857	0,43621	0
JBA22PP - JAA6PP	-2,98286	0,43621	1
JBA22PP - JAA21PP	-1,04429	0,43621	1
JBA22PP - JPA6PP	-0,95714	0,43621	1
JBA22PP - JPA21PP	-0,35571	0,43621	0
JBA22PP - JBA5PP	-0,39857	0,43621	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.B.4. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAAK15PP - W0PP	-7,92571	0,8166	1
WAA4PP - W0PP	-1,93443	0,8166	1
WAA4PP - WAAK15PP	6,38857	0,8166	1
WAA19PP - W0PP	-4,24857	0,8166	1
WAA19PP - WAAK15PP	2,02211	0,8166	0
WAA19PP - WAA4PP	-2,71143	0,8166	1
WPA5PP - W0PP	-4,97857	0,8166	1
WPA5PP - WAAK15PP	1,92113	0,8166	0
WPA5PP - WAA4PP	-3,44143	0,8166	1
WPA5PP - WAA19PP	-0,73	0,8166	0
WPA22PP - W0PP	-6,67571	0,8166	1
WPA22PP - WAAK15PP	1,25	0,8166	0
WPA22PP - WAA4PP	-5,13857	0,8166	1
WPA22PP - WAA19PP	-2,42714	0,8166	0
WPA22PP - WPA5PP	-1,69714	0,8166	0
WBA5PP - W0PP	-6,01857	0,8166	1
WBA5PP - WAAK15PP	1,90714	0,8166	0
WBA5PP - WAA4PP	-4,48143	0,8166	1
WBA5PP - WAA19PP	-1,77	0,8166	0
WBA5PP - WPA5PP	-1,04	0,8166	0
WBA5PP - WPA22PP	0,65714	0,8166	0
WBA23PP - W0PP	-4,60857	0,8166	1
WBA23PP - WAAK15PP	2,024453	0,8166	0
WBA23PP - WAA4PP	-3,07143	0,8166	1
WBA23PP - WAA19PP	-0,36	0,8166	0
WBA23PP - WPA5PP	0,37	0,8166	0
WBA23PP - WPA22PP	2,06714	0,8166	0
WBA23PP - WBA5PP	1,41	0,8166	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.B.5. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
MDFAA5PP - MDF0PP	2,99143	0,70923	1
MDFAA20PP - MDF0PP	0,89143	0,70923	0
MDFAA20PP - MDFAA5PP	-2,92872	0,70923	1
MDFPA4PP - MDF0PP	-0,79	0,70923	0
MDFPA4PP - MDFAA5PP	-3,78143	0,70923	1
MDFPA4PP - MDFAA20PP	-1,68143	0,70923	0
MDFPA21PP - MDF0PP	-3,50714	0,70923	1
MDFPA21PP - MDFAA5PP	-6,49857	0,70923	1
MDFPA21PP - MDFAA20PP	-4,39857	0,70923	1
MDFPA21PP - MDFPA4PP	-2,71714	0,70923	1
MDFBA4PP - MDF0PP	-3,51143	0,70923	1
MDFBA4PP - MDFAA5PP	-6,50286	0,70923	1
MDFBA4PP - MDFAA20PP	-4,40286	0,70923	1
MDFBA4PP - MDFPA4PP	-2,72143	0,70923	1
MDFBA4PP - MDFPA21PP	-0,00429	0,70923	0
MDFBA22PP - MDF0PP	-3,62857	0,70923	1
MDFBA22PP - MDFAA5PP	-6,62	0,70923	1
MDFBA22PP - MDFAA20PP	-4,52	0,70923	1
MDFBA22PP - MDFPA4PP	-2,83857	0,70923	1
MDFBA22PP - MDFPA21PP	-0,12143	0,70923	0
MDFBA22PP - MDFBA4PP	-0,11714	0,70923	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.B.6. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
JAA6PP - J0PP	2,50286	1,10821	0
JAA21PP - J0PP	-3,38429	1,10821	0
JAA21PP - JAA6PP	-5,88714	1,10821	1
JPA6PP - J0PP	-3,13412	1,10821	1
JPA6PP - JAA6PP	-4,27286	1,10821	1
JPA6PP - JAA21PP	1,61429	1,10821	0
JPA21PP - J0PP	-4,96714	1,10821	1
JPA21PP - JAA6PP	-7,47	1,10821	1
JPA21PP - JAA21PP	-1,58286	1,10821	0
JPA21PP - JPA6PP	-3,19714	1,10821	0
JBA5PP - J0PP	-4,61714	1,10821	1
JBA5PP - JAA6PP	-7,12	1,10821	1
JBA5PP - JAA21PP	-1,23286	1,10821	0
JBA5PP - JPA6PP	-2,84714	1,10821	0
JBA5PP - JPA21PP	0,35	1,10821	0
JBA22PP - J0PP	-3,34645	1,10821	1
JBA22PP - JAA6PP	-5,48571	1,10821	1
JBA22PP - JAA21PP	0,40143	1,10821	0
JBA22PP - JPA6PP	-1,21286	1,10821	0
JBA22PP - JPA21PP	1,98429	1,10821	0
JBA22PP - JBA5PP	1,63429	1,10821	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.B.7. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAAK15PP - W0PP	-549,07	79,40741	1
WAA4PP - W0PP	-136,41714	79,40741	0
WAA4PP - WAAK15PP	412,65286	79,40741	1
WAA19PP - W0PP	-310,96143	79,40741	1
WAA19PP - WAAK15PP	297,66443	79,40741	1
WAA19PP - WAA4PP	-294,47795	79,40741	1
WPA5PP - W0PP	-299,12456	79,40741	1
WPA5PP - WAAK15PP	234,232335	79,40741	0
WPA5PP - WAA4PP	-291,13478	79,40741	1
WPA5PP - WAA19PP	75,55	79,40741	0
WPA22PP - W0PP	-342,70286	79,40741	1
WPA22PP - WAAK15PP	206,36714	79,40741	0
WPA22PP - WAA4PP	-295,34523	79,40741	1
WPA22PP - WAA19PP	-31,74143	79,40741	0
WPA22PP - WPA5PP	-107,29143	79,40741	0
WBA5PP - W0PP	-322,21429	79,40741	1
WBA5PP - WAAK15PP	226,85571	79,40741	0
WBA5PP - WAA4PP	-291,23422	79,40741	1
WBA5PP - WAA19PP	-11,25286	79,40741	0
WBA5PP - WPA5PP	-86,80286	79,40741	0
WBA5PP - WPA22PP	20,48857	79,40741	0
WBA23PP - W0PP	37,2	79,40741	0
WBA23PP - WAAK15PP	586,27	79,40741	1
WBA23PP - WAA4PP	173,61714	79,40741	0
WBA23PP - WAA19PP	348,16143	79,40741	1
WBA23PP - WPA5PP	272,61143	79,40741	1
WBA23PP - WPA22PP	379,90286	79,40741	1
WBA23PP - WBA5PP	359,41429	79,40741	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Not: Eğilmede elastikiyet modülü istatistik analizlerinde MPa değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.B.8. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
MDFAA5PP - MDF0PP	363,11286	69,62554	1
MDFAA20PP - MDF0PP	289,12245	69,62554	1
MDFAA20PP - MDFAA5PP	-292,46785	69,62554	1
MDFPA4PP - MDF0PP	299,59734	69,62554	1
MDFPA4PP - MDFAA5PP	-213,52429	69,62554	0
MDFPA4PP - MDFAA20PP	-0,97857	69,62554	0
MDFPA21PP - MDF0PP	-66,00571	69,62554	0
MDFPA21PP - MDFAA5PP	-429,11857	69,62554	1
MDFPA21PP - MDFAA20PP	-216,57286	69,62554	1
MDFPA21PP - MDFPA4PP	-215,59429	69,62554	1
MDFBA4PP - MDF0PP	-57,50286	69,62554	0
MDFBA4PP - MDFAA5PP	-420,61571	69,62554	1
MDFBA4PP - MDFAA20PP	-298,22345	69,62554	1
MDFBA4PP - MDFPA4PP	-298,12127	69,62554	1
MDFBA4PP - MDFPA21PP	8,50286	69,62554	0
MDFBA22PP - MDF0PP	32,73429	69,62554	0
MDFBA22PP - MDFAA5PP	-330,37857	69,62554	1
MDFBA22PP - MDFAA20PP	-298,12423	69,62554	1
MDFBA22PP - MDFPA4PP	-296,23456	69,62554	1
MDFBA22PP - MDFPA21PP	98,74	69,62554	0
MDFBA22PP - MDFBA4PP	90,23714	69,62554	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Not: Eğilmede elastikiyet modülü istatistik analizlerinde MPa değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.B.9. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
JAA6PP - J0PP	387,48571	97,13347	1
JAA21PP - J0PP	-38,59286	97,13347	0
JAA21PP - JAA6PP	-426,07857	97,13347	1
JPA6PP - J0PP	71,29286	97,13347	0
JPA6PP - JAA6PP	-316,19286	97,13347	1
JPA6PP - JAA21PP	109,88571	97,13347	0
JPA21PP - J0PP	-287,23429	97,13347	0
JPA21PP - JAA6PP	-674,72	97,13347	1
JPA21PP - JAA21PP	-248,64143	97,13347	0
JPA21PP - JPA6PP	-358,52714	97,13347	1
JBA5PP - J0PP	-182,08571	97,13347	0
JBA5PP - JAA6PP	-569,57143	97,13347	1
JBA5PP - JAA21PP	-143,49286	97,13347	0
JBA5PP - JPA6PP	-253,37857	97,13347	0
JBA5PP - JPA21PP	105,14857	97,13347	0
JBA22PP - J0PP	-90,32571	97,13347	0
JBA22PP - JAA6PP	-477,81143	97,13347	1
JBA22PP - JAA21PP	-51,73286	97,13347	0
JBA22PP - JPA6PP	-161,61857	97,13347	0
JBA22PP - JPA21PP	196,90857	97,13347	0
JBA22PP - JBA5PP	91,76	97,13347	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Not: Eğilmede elastikiyet modülü istatistik analizlerinde MPa değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.B.10. Karaçam odun unu ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAAK15PP - W0PP	0,12571	0,85867	0
WAA4PP - W0PP	1,97765	0,85867	1
WAA4PP - WAAK15PP	1,89564	0,85867	1
WAA19PP - W0PP	-0,53714	0,85867	0
WAA19PP - WAAK15PP	-0,66286	0,85867	0
WAA19PP - WAA4PP	-1,77331	0,85867	1
WPA5PP - W0PP	-0,24	0,85867	0
WPA5PP - WAAK15PP	-0,36571	0,85867	0
WPA5PP - WAA4PP	-1,83321	0,85867	1
WPA5PP - WAA19PP	0,29714	0,85867	0
WPA22PP - W0PP	-2,45675	0,85867	1
WPA22PP - WAAK15PP	-2,47584	0,85867	1
WPA22PP - WAA4PP	-3,31429	0,85867	1
WPA22PP - WAA19PP	-1,93545	0,85867	1
WPA22PP - WPA5PP	-2,71233	0,85867	1
WBA5PP - W0PP	-0,64	0,85867	0
WBA5PP - WAAK15PP	-0,76571	0,85867	0
WBA5PP - WAA4PP	-2,11341	0,85867	1
WBA5PP - WAA19PP	-0,10286	0,85867	0
WBA5PP - WPA5PP	-0,4	0,85867	0
WBA5PP - WPA22PP	1,85965	0,85867	1
WBA23PP - W0PP	-2,86346	0,85867	1
WBA23PP - WAAK15PP	-2,79769	0,85867	1
WBA23PP - WAA4PP	-3,34857	0,85867	1
WBA23PP - WAA19PP	-1,93456	0,85867	1
WBA23PP - WPA5PP	-2,68169	0,85867	1
WBA23PP - WPA22PP	-0,03429	0,85867	0
WBA23PP - WBA5PP	-1,99132	0,85867	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.B.11. MDF tozu ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
MDFAA5PP - MDF0PP	-6,56	2,23095	1
MDFAA20PP - MDF0PP	-0,42	2,36628	0
MDFAA20PP - MDFAA5PP	6,14	2,36628	1
MDFPA4PP - MDF0PP	-1,89813	2,23095	0
MDFPA4PP - MDFAA5PP	4,43523	2,23095	1
MDFPA4PP - MDFAA20PP	-1,63414	2,36628	0
MDFPA21PP - MDF0PP	-4,14667	2,13597	1
MDFPA21PP - MDFAA5PP	2,72235	2,13597	1
MDFPA21PP - MDFAA20PP	-3,72667	2,27695	1
MDFPA21PP - MDFPA4PP	-2,34567	2,13597	1
MDFBA4PP - MDF0PP	-6,42667	2,13597	1
MDFBA4PP - MDFAA5PP	0,13333	2,13597	0
MDFBA4PP - MDFAA20PP	-6,00667	2,27695	1
MDFBA4PP - MDFPA4PP	-3,86667	2,13597	1
MDFBA4PP - MDFPA21PP	-2,44267	2,03657	1
MDFBA22PP - MDF0PP	-1,45333	2,13597	0
MDFBA22PP - MDFAA5PP	5,10667	2,13597	1
MDFBA22PP - MDFAA20PP	-1,03333	2,27695	0
MDFBA22PP - MDFPA4PP	1,10667	2,13597	0
MDFBA22PP - MDFPA21PP	2,89436	2,03657	1
MDFBA22PP - MDFBA4PP	4,97333	2,03657	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.B.12. Jüt lifi ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
JAA6PP - J0PP	-12,22133	1,53811	1
JAA21PP - J0PP	-12,13943	1,48733	1
JAA21PP - JAA6PP	0,0819	1,41318	0
JPA6PP - J0PP	-12,69943	1,48733	1
JPA6PP - JAA6PP	-0,4781	1,41318	0
JPA6PP - JAA21PP	-0,56	1,35774	0
JPA21PP - J0PP	-12,15086	1,48733	1
JPA21PP - JAA6PP	0,07048	1,41318	0
JPA21PP - JAA21PP	-0,01143	1,35774	0
JPA21PP - JPA6PP	0,54857	1,35774	0
JBA5PP - J0PP	-13,27467	1,53811	1
JBA5PP - JAA6PP	-1,05333	1,46653	0
JBA5PP - JAA21PP	-1,13524	1,41318	0
JBA5PP - JPA6PP	-0,57524	1,41318	0
JBA5PP - JPA21PP	-1,12381	1,41318	0
JBA22PP - J0PP	-13,41943	1,48733	1
JBA22PP - JAA6PP	-1,1981	1,41318	0
JBA22PP - JAA21PP	-1,28	1,35774	0
JBA22PP - JPA6PP	-0,72	1,35774	0
JBA22PP - JPA21PP	-1,26857	1,35774	0
JBA22PP - JBA5PP	-0,14476	1,41318	0

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.B.13. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerin çekme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAA4PP - WOPP	-0,18143	0,53186	0
MDF0PP - WOPP	-1,21286	0,53186	0
MDF0PP - WAA4PP	-1,03143	0,53186	0
MDFAA5PP - WOPP	-0,67571	0,53186	0
MDFAA5PP - WAA4PP	-0,49429	0,53186	0
MDFAA5PP - MDF0PP	0,53714	0,53186	0
JOPP - WOPP	-1,21286	0,53186	0
JOPP - WAA4PP	-1,03143	0,53186	0
JOPP - MDF0PP	3,55271E-15	0,53186	0
JOPP - MDFAA5PP	-0,53714	0,53186	0
JAA6PP - WOPP	2,27857	0,53186	1
JAA6PP - WAA4PP	2,46	0,53186	1
JAA6PP - MDF0PP	3,49143	0,53186	1
JAA6PP - MDFAA5PP	2,95429	0,53186	1
JAA6PP - JOPP	3,49143	0,53186	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.B.14. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerin eğilme direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAA4PP - WOPP	-2,22345	1,07827	1
MDF0PP - WOPP	-2,99286	1,07827	1
MDF0PP - WAA4PP	-1,45571	1,07827	0
MDFAA5PP - WOPP	-0,00143	1,07827	0
MDFAA5PP - WAA4PP	2,44892	1,07827	1
MDFAA5PP - MDF0PP	2,99143	1,07827	1
JOPP - WOPP	2,63114	1,07827	1
JOPP - WAA4PP	3,77857	1,07827	1
JOPP - MDF0PP	5,23429	1,07827	1
JOPP - MDFAA5PP	2,24286	1,07827	1
JAA6PP - WOPP	4,74429	1,07827	1
JAA6PP - WAA4PP	6,28143	1,07827	1
JAA6PP - MDF0PP	7,73714	1,07827	1
JAA6PP - MDFAA5PP	4,74571	1,07827	1
JAA6PP - JOPP	2,98286	1,07827	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Çizelge 5.B.15. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WBA23PP - W0PP	37,2	103,8587	0
MDF0PP - W0PP	-267,64571	103,8587	1
MDF0PP - WBA23PP	-304,84571	103,8587	1
MDFAA5PP - W0PP	95,46714	103,8587	0
MDFAA5PP - WBA23PP	58,26714	103,8587	0
MDFAA5PP - MDF0PP	363,11286	103,8587	1
J0PP - W0PP	113,33571	103,8587	0
J0PP - WBA23PP	76,13571	103,8587	0
J0PP - MDF0PP	380,98143	103,8587	1
J0PP - MDFAA5PP	17,86857	103,8587	0
JAA6PP - W0PP	500,82143	103,8587	1
JAA6PP - WBA23PP	463,62143	103,8587	1
JAA6PP - MDF0PP	768,46714	103,8587	1
JAA6PP - MDFAA5PP	405,35429	103,8587	1
JAA6PP - J0PP	387,48571	103,8587	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

Not: Eğilmede elastikiyet modülü istatistik analizlerinde MPa değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.B.16. Farklı lignoselülozik madde ilaveli PP kompozitlerin darbe direnci Tukey testi sonuçları

Index	MeanDiff	SEM	Sig
WAA4PP - WOPP	1,05143	1,82874	0
MDF0PP - WOPP	4,91429	2,00328	0
MDF0PP - WAA4PP	3,86286	2,00328	0
MDFBA22PP - WOPP	3,46095	1,90341	0
MDFBA22PP - WAA4PP	2,40952	1,90341	0
MDFBA22PP - MDF0PP	-1,45333	2,07167	0
JOPP - WOPP	14,80229	2,00328	1
JOPP - WAA4PP	13,75086	2,00328	1
JOPP - MDF0PP	9,888	2,16379	1
JOPP - MDFBA22PP	11,34133	2,07167	1
JAA21PP - WOPP	2,66286	1,82874	0
JAA21PP - WAA4PP	1,61143	1,82874	0
JAA21PP - MDF0PP	-2,25143	2,00328	0
JAA21PP - MDFBA22PP	-0,7981	1,90341	0
JAA21PP - JOPP	-12,13943	2,00328	1

Sig değerinin 1'e eşit olması; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu ($p < 0,05$), 0'a eşit olması ise; ortalamalar arasındaki farkın 0,05 seviyesinde anlamlı olmadığını gösterir ($p > 0,05$)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Nasır NARLIOĞLU
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 05.09.1985, Kahramanmaraş
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (505) 464 17 85
e-posta : nasirnarlioglu@ksu.edu.tr
nasirnarlioglu@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora	KSÜ / Orman Endüstri Mühendisliği ABD	2018
Yüksek Lisans	KSÜ / Orman Endüstri Mühendisliği ABD	2012
Lisans	KSÜ / Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü	2009
Lise	Kahramanmaraş Hoca Ahmet Yesevi Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-2015	KSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	Araştırma Görevlisi
2015- ...	KSÜ Teknik Bilimler MYO	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Uzmanlık Alanları

1. Lignoselülozik kompozit malzemelerin üretimi, fiziksel, mekanik ve termal karakterizasyonu
2. Lignoselülozik maddelerin kimyasal karakterizasyonu
3. Masif ve panel mobilya üretimi
4. 3B yazıcı teknolojisi

Yayınlar

SCI, SSCI, AHCI indekslerine giren dergilerde yayınlanan makaleler

1. Altuntaş E., Narlıoğlu N., Alma M.H. 2017. Investigation of the fire, thermal and mechanical properties of zinc borate and synergic fire retardants on composites produced with PP-MDF wastes, *BioResource*, 12(4): 6971-6983.

Diğer dergilerde yayınlanan makaleler

1. Çetin, N. S., Özmen, N., Narlıoğlu, N. and Çavuş, V. 2014. Effect of bark flour on the mechanical properties of HDPE composites. *Usak University Journal of Material Sciences*, 1: 23-32.
2. Özmen, N., Çetin, N. S., Narlıoğlu, N., Çavuş, V. ve Altuntaş, E. 2014. MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15: 65-71.
3. Özmen, N., Çetin, N. S., Narlıoğlu, N. 2013. Kavak (*Populus nigra* x *Populus deltoides*) odunundan selüloz nanokristalit eldesi, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 14: 58-63.

Hakemli konferans / sempozyumların bildiri kitaplarında yer alan yayınlar

1. Narlıoğlu, N., Çetin, N.S., Altuntaş E., Alma, M.H. 2017. Effect of acetylated furniture wastes on the mechanical properties of HDPE composites. International Symposium on New Horizons in Forestry, Isparta.
2. Özmen, N., Çetin, N.S., Narlıoğlu, N. 2017. Effect of acetylation on the thermal properties of cellulose nanocrystals. International Symposium on New Horizons in Forestry, Isparta.
3. Altuntaş, E., Özdemir, F., Narlıoğlu, N., Salan, T., Alma, M.H. 2017. Evaluation of lignocellulosic and plastic wastes in composite production by using flat pres method. International Symposium on New Horizons in Forestry, Isparta.
4. Narlıoğlu, N., Çetin, N.S., Özmen, N. 2017. The effect of sodium borohydride on the crystallinity of hemp cellulose. International Symposium on New Horizons in Forestry, Isparta.
5. Çetin, N., Çetin, N.S., Narlıoğlu, N. 2017. Effect of chemical modification or compatibilizers on the mechanical properties of WPC, International Symposium on New Horizons in Forestry, Isparta.
6. Narlıoğlu, N., Çetin, N.S., Alma, M.H. 2017. Mobilya fabrikası atıklarının aksesuar ve levha üretiminde değerlendirilmesi. Harran Üniversitesi, HARRAN I. Uluslararası AR-GE Proje Pazarı, P185, Şanlıurfa.
7. Narlıoğlu, N., Çetin, N.S., Alma, M.H. 2017. Atık jüt liflerinin biyokompozit üretiminde kullanımı, Harran Üniversitesi. HARRAN I. Uluslararası AR-GE Proje Pazarı, P186, Şanlıurfa.

8. Narlıoğlu, N., etin, N.S., Alma, M.H. 2016. Effects on some physical properties of wood plastic composites of Anatolian black pine wood bark flour. European Non-Wood Forest Products (NWFPs) Network COST Action FP1203 4th Workshop and 5th Management Committee Meeting, Antalya, Turkey.
9. Narlıoğlu, N., Karaoğul, E., Alma, MH. 2015. Chemical characterization of humic substances added wood plastic composites. 1st International Turkic World Conference on Chemical Sciences and Technologies, Bosnia and Herzegovina.
10. Alma, M.H., Karaoğul, E., Altuntaş, E., Salan, T., Narlıoğlu, N. 2014. Comparison of several properties of foamed Pvc-Wood powder composites manufactured in different thicknesses. understanding wood cell wall structure, biopolymer interaction and composition: implications for current products and new material innovation, Cost Action FP1105 5th Workshop, Thessaloniki, Greece.
11. Narlıoğlu N., Karaoğul E., Altuntaş E., Alma M.H. 2014. Odun plastik kompozitlerine eklenen humik maddenin termal ve mekanik özelliklere etkisi, II. Ulusal Humik Madde Kongresi, 32 s.
12. etin, N. S., Özmen, N., Narlıoğlu, N. and avuş, V. 2014. Utulisation of oak bark flour in the production of wood plastic composite for replacing wood flour. 3rd International Non-wood Forest Products Symposium, (70). Kahramanmaraş, Turkey.
13. Alma, M.H., Salan, T., Karaogul, E., Narlıoğlu, N., Şahin, H.İ., Güler, C. 2014. Effect of thermal treatment on XRD, ATR-FTIR and SEM analysis of several wood species. Final Cost Action FP0904 Conference, Recent Advances in the Field of TH and THM Wood Treatment, Sweden.
14. etin, N. S., Özmen, N. ve Narlıoğlu, N. 2010. Preparation of cellulose whiskers from cellulose. The 1st International Symposium on Environment and Forestry, Trabzon, Turkey, 1530-1539.
15. Özmen, N., etin, N. S., Birinci, E. ve Narlıoğlu, N. 2010. A new approach of acetylation of wood: vinyl acetate. The 1st International Symposium on Environment and Forestry, Trabzon, Turkey, 1540-1551.

Hobiler: Bilim ve teknoloji, kitap okuma, ağaçlar, makineler, doğa yürüyüşü