



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERMAL İŞLEM UYGULANMIŞ MISIR SAPLARINDAN
ÜRETİLEN ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİNİN FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

GÖKHAN YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ODUN MEKANİĞİ VE TEKNOLOJİSİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ÜMİT BÜYÜKSARI**

DÜZCE, 2020

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDRO-TERMAL İŞLEM UYGULANMIŞ MISIR SAPLARINDAN
ÜRETİLEN ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİNİN FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Gökhan YILMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ümit BÜYÜKSARI

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ümit BÜYÜKSARI

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Zeki CANDAN

İstanbul Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim ŞAHİN

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 17/01/2020

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

17 Ocak 2020

Gökhan YILMAZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Ümit BÜYÜKSARI'ya en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmamın ekstrüder işlemlerinin ve darbe testlerinin yapılmasındaki katkılarından dolayı İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Orman Fakültesi Öğretim Üyesi sayın Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ hocama, tez örneklerinin kalıplanmasındaki katkılarından dolayı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Öğretim Üyesi sayın Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU hocama ve çalışma arkadaşlarına, deney örneklerinin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ahşap Atölyesi sorumlusu Sayın Özcan GÜL'e ve deneysel çalışmalarım sırasında her konuda sürekli destek olan arkadaşlarım Şuayip OKUMUŞ ve Burak GÜNAYDIN'a teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

17 Ocak 2020

Gökhan YILMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	VII
ÇİZELGE LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR.....	IX
SİMGELER.....	X
ÖZET	XI
ABSTRACT.....	XII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1. ODUN PLASTİK KOMPOZİTİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER	4
2.1.1. Lifsel Hammaddeler.....	4
2.1.1.1. Odun Unu ve Lifi.....	4
2.1.1.2. Lignoselülozik Esaslı Hammadde Kaynakları.....	4
2.1.2. Plastik Hammaddeler	5
2.1.2.1. Polietilen (PE)	5
2.1.2.2. Polipropilen (PP).....	6
2.1.2.3. Katkı Maddeleri	6
2.1.2.4. Bağlayıcı Ajanlar (Coupling Agent)	6
2.2. YILLIK BİTKİLERİN OPK ÜRETİMİNDE KULLANIMI	7
2.3. AĞAÇ MALZEMEYE TERMAL İŞLEM UYGULANMASI.....	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
3.1. MATERYAL.....	10
3.2. YÖNTEM.....	10
3.2.1. Hammaddenin Hazırlanması.....	10
3.2.1.1. Lignoselülozik Dolgu Maddesinin Hazırlanması.....	10
3.2.1.2. Ekstrüderde OPK Karışımının Hazırlanması	13
3.2.2. Sıcak Presto OPK Levhalarının Kalıplanması.....	14
3.2.3. Deney Örneklerinin Kesilmesi ve Hazırlanması	15
3.2.4. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi	16
3.2.4.1. Yoğunluk	16
3.2.4.2. Suda Bekletme Sonucu Kalınlığına Şişme ve Su Alma Oranı.....	16
3.2.5. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi	17
3.2.5.1. Statik Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü	17
3.2.5.2. Çekme Direnci	18
3.2.5.3. Darbe Direnci	19
3.2.6. İstatistiksel Değerlendirmeler.....	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	21

4.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER	21
4.1.1. Yoğunluk	21
4.1.2. Su Alma	22
4.1.3. Kalınlık Artımı	30
4.2. MEKANİK ÖZELLİKLER	38
4.2.1. Çekme Direnci	38
4.2.2. Çekmede Elastikiyet Modülü	40
4.2.3. Kopmada Uzama	43
4.2.4. Eğilme Direnci	45
4.2.5. Eğilmede Elastikiyet Modülü	48
4.2.6. Darbe Direnci	51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	54
6. KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	66

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Mısır saplarının öğütüldüğü Retsch SM100 öğütücü.	11
Şekil 3.2. Mısır saplarının elenmesi (Sarsak elek).	11
Şekil 3.3. Mısır saplarının kurutulması (Kurutma fırını).	12
Şekil 3.4. Ekstrüder.	13
Şekil 3.5. Kırıcı.	14
Şekil 3.6. Pres makinası.	15
Şekil 3.7. Deney örnekleri.	16
Şekil 3.8. Kalınlığına şişme ve su alma örnekleri.	17
Şekil 3.9. Zwick/Roell Z1.0 test makinası ve eğilme testi.	18
Şekil 3.10. Zwick/Roell Z1.0 test makinası ve çekme deneyi.	19
Şekil 3.11. Devotrans darbe test makinası.	20
Şekil 4.1. Kompozit grupların su alma - zaman grafiği.	23
Şekil 4.2. Kompozit grupların kalınlık artımı – zaman grafiği.	30
Şekil 4.3. Kompozit levhalarının çekme direnci değerleri grafiği.	38
Şekil 4.4. Kompozit levhaların çekmede elastikiyet modülü değerleri grafiği.	40
Şekil 4.5. Kompozit levhaların kopmada uzama değerleri grafiği.	43
Şekil 4.6. Kompozit levhaların eğilme direnci değerleri grafiği.	45
Şekil 4.7. Kompozit levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri grafiği.	48
Şekil 4.8. Kompozit levhaların darbe testi değerleri.	51

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Çalışma planı	12
Çizelge 4.1. Yoğunluk değerleri tanımlayıcı istatistikler.	21
Çizelge 4.2. Yoğunluk değerleri varyans analizi sonuçları.	22
Çizelge 4.3. Yoğunluk değerleri Duncan testi sonuçları.	22
Çizelge 4.4. Su alma değerleri tanımlayıcı istatistikler.	23
Çizelge 4.5. Su alma değerleri varyans analizi sonuçları.	26
Çizelge 4.6. 2 saat su alma değerleri Duncan testi sonuçları.	27
Çizelge 4.7. 24 saat su alma değerleri Duncan testi sonuçları.	28
Çizelge 4.8. 48 saat su alma değerleri Duncan testi sonuçları.	28
Çizelge 4.9. 72 saat su alma değerleri Duncan testi sonuçları.	29
Çizelge 4.10. 96 saat su alma değerleri Duncan testi sonuçları.	29
Çizelge 4.11. 1 hafta su alma değerleri Duncan testi sonuçları.	30
Çizelge 4.12. Kalınlık artımı değerleri tanımlayıcı istatistikler.	31
Çizelge 4.13. Kalınlık artımı değerleri varyans analizi sonuçları.	34
Çizelge 4.14. 2 saat kalınlık artımı değerleri Duncan testi sonuçları.	35
Çizelge 4.15. 24 saat kalınlık artımı değerleri Duncan testi sonuçları.	35
Çizelge 4.16. 48 saat kalınlık artımı değerleri Duncan testi sonuçları.	36
Çizelge 4.17. 72 saat kalınlık artımı değerleri Duncan testi sonuçları.	36
Çizelge 4.18. 96 saat kalınlık artımı değerleri Duncan testi sonuçları.	37
Çizelge 4.19. 1 hafta kalınlık artımı değerleri Duncan testi sonuçları.	37
Çizelge 4.20. Çekme direnci değerleri tanımlayıcı istatistikler.	38
Çizelge 4.21. Çekme direnci değerleri varyans analizi sonuçları.	39
Çizelge 4.22. Çekme direnci değerleri Duncan testi sonuçları.	40
Çizelge 4.23. Çekmede elastikiyet modülü değerleri tanımlayıcı istatistikler.	41
Çizelge 4.24. Çekmede elastikiyet modülü değerleri varyans analizi sonuçları.	42
Çizelge 4.25. Çekmede elastikiyet modülü değerleri Duncan testi sonuçları.	42
Çizelge 4.26. Kopmada uzama değerleri tanımlayıcı istatistikler.	43
Çizelge 4.27. Kopmada uzama değerleri varyans analizi sonuçları.	44
Çizelge 4.28. Kopmada uzama değerleri Duncan testi sonuçları.	45
Çizelge 4.29. Eğilme direnci değerleri tanımlayıcı istatistikler.	46
Çizelge 4.30. Eğilme direnci değerleri varyans analizi sonuçları.	47
Çizelge 4.31. Eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları.	47
Çizelge 4.32. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri tanımlayıcı istatistikler.	48
Çizelge 4.33. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri varyans analizi sonuçları.	49
Çizelge 4.34. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri Duncan testi sonuçları.	50
Çizelge 4.35. Darbe direnci değerleri tanımlayıcı istatistikler.	51
Çizelge 4.36. Darbe direnci değerleri varyans analizi sonuçları.	52
Çizelge 4.37. Darbe direnci değerleri Duncan testi sonuçları.	53

KISALTMALAR

ASTM	Amerikan standartları
MAPE	Maleik anhidrit grafted polietilen
MAPP	Maleik anhidrit grafted polipropilen
OPK	Odun plastik kompoziti
PA	Poliamid
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
PS	Polisitren
PVC	Polivinilklorür



SİMGELER

°C	Santigrat derece
J	Joul
kJ/m^2	Kilo Joul/milimetre kare
MPa	Megapascal
N/mm^2	Newton/milimetre kare



ÖZET

TERMAL İŞLEM UYGULANMIŞ MISIR SAPLARINDAN ÜRETİLEN ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Gökhan YILMAZ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği
ve Teknolojisi Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ümit BÜYÜKSARI

Ocak 2020, 65 sayfa

Mevcut kaynakları daha verimli bir şekilde kullanmak ve zaman ilerledikçe doğan yeni ihtiyaçların düşük maliyetlerle karşılanması için kompozit malzeme üretimi her geçen gün artmaktadır. Kompozit malzeme türlerinden biriside odun-plastik kompozitleridir (OPK). OPK lignoselülozik malzeme ile plastiklerin karıştırılması sonucunda oluşan kompozitlere verilen genel bir isimdir. Türkiye’de ve dünyada azalan orman kaynaklarına karşılık tarımsal atıkların biyo-kompozit üretiminde kullanılması giderek önem kazanmaktadır. Türkiye tarımsal atık potansiyeli bakımından dünyanın önde gelen ülkelerin arasında yer almaktadır. Bu çalışmanın amacı mısır saplarının biyo-kompozit üretiminde kullanım imkanlarının artırılması için boyut stabilitesinin termal işlem uygulaması ile iyileştirilmesidir. Bu amaçla mısır sapları belli boyutlarda un haline getirilerek farklı sıcaklık (140 °C, 160 °C ve 180 °C) ve sürelerde (20 ve 40 dakika) termal işlem uygulanmış ve biyo-kompozit üretimi yapılmıştır. Biyo-kompozit üretiminde %50 plastik (polipropilen (PP)) ve %50 mısır sapı unu kullanılmıştır. PP/ mısır sapı unu karışımının ara yüzeylerinde bağlayıcı etkiyi sağlamak amacıyla %3 oranında maleik anhidrit polipropilen (MAPP) kullanılmıştır. Termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı unu etüvde kurtulmuş ve vidalı extruder kullanılarak plastikle karıştırılarak pelet haline getirilmiştir. Üretilen peletlerden sıcak pres kullanılarak kompozit levha üretimi yapılmıştır. Kompozit levhalardan su alma ve kalınlık artımı değerlerinin ölçümü için her gruptan 10’ar adet deney örneği hazırlanmış ve bu örneklerde 2 saat, 24 saat, 48 saat, 72 saat ve 1 hafta su alma ve kalınlık artımı değerleri ölçülmüştür. Kontrol grubu (termal işlem uygulanmamış) kompozitlerde 2 saat, 24 saat, 48 saat, 72 saat, 96 saat ve 1 hafta su alma değerleri sırasıyla %0,50, %2,12, %3,3, %4,05 ve %6,90 olarak bulunmuştur. 180 °C’de 20 ve 40 dakika ile termal işlem uygulanmış kompozitlerin kalınlık artımı değerlerinde %35’e varan oranlarda iyileşme sağlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Termal işlem, Boyut stabilitesi, Bio-kompozit, Mısır sapı.

ABSTRACT

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD PLASTIC COMPOSITES PRODUCED FROM THERMALLY TREATED CORN STALKS

Gökhan YILMAZ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Forest Industry

Engineering, Wood Mechanics and Technology Program

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ümit BÜYÜKSARI

January 2020, 65 pages

Agricultural wastes are becoming increasingly important in the manufacture of bio-composites in Turkey and in the world. Turkey is among the world's leading country in terms of agricultural waste potential. The aim of this study is to improve the dimensional stability and increase usage possibility of the bio-composites produced from corn stalks. The thermal treatment at different temperatures and times were applied to corn stalk flour and bio-composites were produced from %50 polypropylene and %50 corn stalks. MAPP (Maleic anhydride polypropylene) for polypropylene mixtures will be used at a rate of 3% in order to provide the bonding effect on the interface of polymer/corn stalks flour mixtures. The untreated and thermally treated corn stalks were dried in an oven and pellets were produced in a twin-screw extruder. Composite panels were pressed using a hot press from these pellets. 10 test specimens for each group were cut and 2-h, 24-h, 48-h, 72-h, and 1 week thickness swelling and water absorption values were determined. The thickness swelling values of control group (non-treated) were 0.50%, 2.12%, 3.3%, 4.05%, and 6.90% for 2-h, 24-h, 48-h, 72-h, 96-h and 1 week immersion times, respectively. The thermal treatment at 180 °C for 20 and 40 min were improved the thickness swelling values of the bio-composites.

Keywords: Thermal treatment, Dimensional stability, Bio-composites, Corn stalks.

1. GİRİŞ

İki veya daha fazla sayıdaki aynı ya da farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak veya ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere kompozit malzeme denir. Başka bir deyişle, birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

Odun Plastik Kompozitleri (OPK) lignoselülozik malzeme ile plastiklerin karıştırılması sonucunda oluşan kompozitlere verilen genel bir isimdir. Odun unlarının termoplastik esaslı polimerler polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinilklorür (PVC), polistiren (PS) vb. ile karıştırılmasıyla oluşan kompozit levhalara termoplastik esaslı kompozit malzemeler denilmektedir. Termoplastik esaslı kompozit üretiminde farklı türde ağaçlardan elde edilen unlar ya da lifler ile PE, PP, PVC ve PS gibi plastikler kullanılabilir. Bu termoplastikler, lignoselülozik yapıya sahip olan materyallerin bozunmasını önlemek için daha düşük sıcaklıklarda (150–220 °C) üretilenlerinden dolayı tercih edilmektedir (Matuana ve Heiden, 2004).

OPK kendisini oluşturan plastik ve ahşaba kıyasla daha üstün özelliklere sahip olmaları sayesinde tüm dünyada geniş kullanım alanları bulmaya başlamıştır. OPK'lar, plastik malzemeye kıyasla daha düşük maliyetli olmaları ve doğada daha kolay bozunarak çevre dostu olmaları, ağaç malzemeye kıyasla ise daha iyi boyutsal stabiliteye sahip olmaları, istenilen boyut ve şekilde farklı renk ve dokuda üretilibilmeleri, çatlamalara, mantarlara ve böceklerle karşı daha dayanıklı olmaları, atık malzemelerden üretilibilmeleri açısından plastik ve ahşaba göre üstün özelliklere sahiptir (Avcı, 2012).

OPK'lar başta deck ve dış cephe kaplaması olmak üzere teraslar, çitler, bahçe mobilyaları, peyzaj aksesuarları, kapı ve pencere doğramaları, otomotiv, iç mekân parçaları, güverte yapımı, müzik ve spor aletleri yapımı ve çeşitli kişisel kullanım malzemeleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Odun unu, dolgu maddesi ya da güçlendirici malzeme olarak görev yapmaktadır. OPK üretiminde uygulama yerine bağlı olarak odun unu, bıçkı tozu, küçük yonga, lif ya da özel işlem görmüş atık kâğıt %10 ile % 70 oranları arasında kullanılabilir. OPK üretimi ekstrüzyon, enjeksiyonlu kalıp, sıcaklıkla şekillendirme ve sıcak pres gibi plastik işleme endüstrisinde kullanılan plastik teknolojiyle yapılabilir.

Endüstriyel amaçlı OPK üretimi 1980'li yılların ortalarından itibaren ABD'de başlamış olup, Avrupa'da 2000'li yıllardan sonra, ülkemizde ise son yıllarda tanınmaya ve ithal edilmeye başlanmış olup az sayıda üretim yapan fabrika bulunmaktadır.

OPK'nın diğer dünya ülkelerinde ve ülkemizde nispeten yeni bir sektör olması nedeniyle yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak hammadde ve üretim prosesini iyileştirmeye yönelik olmaktadır. Hammadde olarak, farklı odun unu veya lif boyutları, ağaç türleri, kullanım ömrünü tamamlamış atık ağaç malzemeler, lignoselülozik yıllık bitkiler, farklı plastik tipleri ve karışım oranları çalışmalara örnek verilebilir (Rowell, Young, & Rowell, 1997).

Genel olarak selülozik lifler termoplastiklere göre daha yüksek elastikiyet modülüne sahiptirler ve kompozitin daha yüksek sertliğe sahip olmasını sağlarlar. Kompozitin elastikiyet modülündeki artış kullanılan lif miktarı, liflerin yönlenmesi, matristeki adezyon kuvveti ve etkileşim gibi faktörlere bağlıdır (Rowell ve diğ, 1997).

Doğal liflerden OPK üretiminde genellikle bitki lifleri kullanılmaktadır. Bitki lifleri sentetik liflere göre özgül ağırlığının, fiyatının ve işleme sırasındaki enerji sarfiyatının düşük olması, yenilenebilir ve biyolojik olarak bozunabilir olması, aşındırıcı olmaması gibi avantajlara sahiptir (Ray ve Rout, 2005). Fakat, yıllık bitkilerin daha higroskopik olması yıllık bitkiler kullanılarak üretilen OPK'ların su alma ve kalınlık artımı değerlerinin yüksek olmasına neden olmaktadır ve OPK üretiminde yıllık bitkilerin kullanılmasını sınırlandırmaktadır.

OPK'nın su absorpsiyonu ve yoğunluğu kompozitin son kullanım yerini belirleyen önemli karakteristiklerdir. Su absorpsiyonu bazı özelliklerin azalmasına neden olur. Kompozitteki su absorpsiyonunu tamamiyle elimine etmek zordur. %50 kenaf-PP kompozitinde 24 saatte su alma miktarı %1,05 olarak tespit edilmiştir. Bu değer sentetik lifli kompozitlere göre çok yüksektir (Rowell ve diğ, 1997).

Bu tezin amacı yıllık bitkilerin OPK üretiminde kullanılmasını sınırlandıran en önemli dezavantajlardan biri olan boyut stabilitesinin (su alma ve kalınlık artımı) iyileştirilmesi ve yıllık bitkilerin OPK üretiminde kullanılabilirliğinin artırılmasıdır. Bu amaçla mısır saplarına farklı sıcaklık ve sürelerde termal işlem uygulanmış ve üretilmiş OPK levhaların boyut stabiliteleri ve bazı mekanik özelliklerindeki değişimler ortaya konulmuştur.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. ODUN PLASTİK KOMPOZİTİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER

2.1.1. Lifsel Hammaddeler

2.1.1.1. *Odun Unu ve Lifi*

OPK tipik olarak %10–70 oranında ahşap dolgu maddesi veya güçlendiriciler kullanılarak üretilmektedir. OPK üretiminde en yaygın olarak kullanılan ahşap dolgu maddesi odun unudur. Odun unu ticari olarak planya talaşı, yonga ve testere talaşı (30–80 mesh) gibi işlenmiş materyallerin öğütülmesi ile elde edilmektedir. Odun lifi odun ununa göre daha zor işlenmesine rağmen, daha üstün kompozit özellikleri verir ve dolgu maddesi görevinden daha çok güçlendirici olarak görev yapmaktadır. Odun lifi hem ham odun hem de geri dönüşüm kaynaklarından elde edilebilir. OPK üretiminde atık veya kullanılmamış iğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunlarından elde edilen lifler kullanılabilir. ABD’de OPK üretiminde genellikle çam, akçaağaç ve meşe türleri kullanılmaktadır (Clemons, 2002).

2.1.1.2. *Lignoselülozik Esaslı Hammadde Kaynakları*

Lignoselülozik esaslı bitkiler bol ve ucuz selülozik lif kaynaklarıdır. Tarımsal liflerin yapısı, özellikleri ve bileşimi onları kompozit, tekstil ve kağıt üretimi gibi kullanım alanları için uygun bir materyal yapmaktadır.

Doğal orman kaynaklarının azalması, sentetik malzemelerin kullanımındaki düzenlemeler ve artan çevresel baskılar nedeniyle yıllık bitki liflerinin OPK üretiminde kullanımı giderek artmaktadır. Dünyanın değişik bölgelerinde yetişen odunsu ve otsu bitkisel materyalden elde edilen lifsel hammadde kaynaklarının OPK üretiminde değerlendirilmesi üzerine olumlu sonuçlar bulunmasına rağmen kullanımını sınırlayan bazı ekonomik ve teknolojik sorunlar bulunmaktadır. Bu liflerin kullanımında en önemli

engel, düşük işleme sıcaklığına izin vermesi nedeniyle kullanılacak plastik türünü sınırlamasıdır. İkinci dezavantajı, kompozitin performansını ve boyutsal stabilitesini etkileyen doğal liflerin yüksek nem absorpsiyonudur (Mo, Wang, Sun, Misra, & Drzal, 2005).

Bitki lifleri büyük oranlarda ve dünya çapında elde edilebilmektedir. Avrupa’da kompozit üretiminde bu liflerin kullanımıyla önemli çalışmalar yapılmakta ve yıllık bitkilerin kullanımı teşvik etmektedir. Avrupa’da kullanılan tüm cam liflerinin yerine yalnızca bitki lifleri kullanılırsa her yıl 500 bin ton lif gerekli olmaktadır. Yaklaşık 40 bin hektar yumuşak odun ormanı, 250 bin hektar buğday samanı ya da 1 milyon hektar keten tohumu samanı buna eşdeğerdir (Suinaç, 2007).

2.1.2. Plastik Hammaddeler

Plastiklerin en yaygın üretimi petrolden yapılmaktadır. Dünyada üretilen petrolün % 4 kadarı plastik üretiminde, geri kalanı ise taşıt araçlarında, fabrikalarda ve enerji santrallerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerde plastik matriks olarak kullanılan genelde üç tip plastik mevcut olup bunlar; termoplastikler, termosetler ve elastomerlerdir (Daniel, Craig, Rodney, & Roger, 2005).

OPK üretiminde yaygın olarak Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Poliamid (PA), polivinilklorür (PVC) ve polisitren (PS) gibi plastikler kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılacak olması nedeniyle PE ve PP hakkında kısa bilgi verilecektir.

2.1.2.1. Polietilen (PE)

Yüksek basınç altında ve benzaldehitin mevcut olduğu bir ortamda etilen polimerleşerek polietilene dönüşür. Etilen molekülü C_2H_4 , aslında çift bağ ile bağlanmış iki CH_2 ’den oluşur (Ezdeşir ve diğ, 1999).

Polietilen; çok yüksek darbe dayanımı, yüksek aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, yüksek kimyasal dayanımı, geniş çalışma sıcaklığı, kendinden yağlanma özelliği, mekanik işleme kolaylığı, kolay temizlenebilme ve bakteri üretmeme özelliği sayesinde birçok sektörde kullanılmaktadır. Makine endüstrisinde; kızak ayakları, sürtünme plakaları, dişli çark yapımında, kömür ve maden sanayinde; tank ve siloların kaplanması, kağıt sanayinde vakum kasası örtüsü, gıda ve ambalaj sanayinde; et,

balık kesme masası olarak kullanılmaktadır (Ezdeşir ve diğ, 1999). Polietilen, yüksek yoğunluklu ve düşük yoğunluklu olarak piyasada bulunabilmektedir.

2.1.2.2. *Polipropilen (PP)*

Polipropilen, yüksek saflıktaki propilen gazının basınç altında katalizörler yardımıyla polimerizasyonu sonucu elde edilir. Polipropilen üretimi, propilen polimerizasyonu ile elde edilmektedir. Kristal bir yapıya sahiptir. Yoğunluğu 0.90-0.91 g/cm³ arasında değişir. Bu polimer termoplastiklerin en hafiflerinden biridir. Maksimum kullanılabilir sıcaklığı 135 °C dir. Erime sıcaklığı 165-171 °C'dir. Suda yüzebilen fakat köpük olmayan bir plastiktir. Kimyasal maddelere, ısıya ve aşırı yorulmaya dayanıklı bir maddedir (Ezdeşir ve diğ, 1999).

PP; yarı şeffaf beyaz katı bir madde olup, soğuk organik çözücülerde çözünmez, sıcak çözücülerde yumuşar. Birçok defa bükülmeden sonra bile sertliğini korur, mantarlara ve bakterilere karşı dayanıklıdır ve zehirsizdir. Orta sertliğe ve parlaklığa sahip plastiklerdir (Ezdeşir ve diğ, 1999).

2.1.2.3. *Katkı Maddeleri*

Katkı maddeleri, kompozitin özelliklerini geliştirmek için düşük miktarlarda ilave edilen materyallerdir. Yüksek performans gerektiğinde kompozit malzemenin dispersiyon, akıcılık ve mekanik özelliklerini geliştirmek için uyum sağlayıcı maddeler kullanılmaktadır. Katkı maddeleri ekstrüzyon işleminden önce karışıma eklenebilir. Örneğin yağlayıcı maddeler, kompozit malzemenin yüzey görünümünü ve işlenmesini iyileştirir; uyum sağlayıcı maddeler (coupling agents-compatibiliser), ahşap ile plastik arasındaki yapışmayı geliştirir. Diğer katkı maddeleri ise renklendiriciler, ışık stabilizatörleri, köpük oluşturan maddeler, yanmayı geciktirici maddeler, thermosetting reçineler, ısı ışık stabilizörleri, antimikrobiyaller ve antioksidanlar stabiliteyi geliştiren kimyasallardır (Rowell, 2006).

2.1.2.4. *Bağlayıcı Ajanlar (Coupling Agent)*

Bağlayıcı ajanlar, uyumlaştırıcılar (compatibilizer) olarak da bilinirler. Bunların esas fonksiyonu benzer yapıda olmayan malzemelerin homojen bir şekilde karışımını sağlamaktır. Eğer homojenlik sağlanamazsa son üründe yeterli bir yapısal mukavemet sağlanamaz. Dolayısı ile bu tip maddelerin kullanımı fiziksel özellikleri iyileştirir.

Bunun haricinde mekanik özellikleri iyileştirici özellikleri de vardır. Bu tip maddeler liflerin etrafını kaplamak suretiyle onların rutubet almalarını azaltır.

Günümüzde en yaygın kullanılan uyum sağlayıcı madde, Maleik Anhidrit Grafted Polipropilen (MAPP) veya Maleik Anhidrit Grafted Polietilen (MAPE)'dir. Bu konuda daha önce yapılan araştırmalar, hem MA (grafted-aşılınmış) miktarı hem de molekül ağırlığının, katkı maddelerinin verimliliğini belirleyen önemli parametreler olduğunu belirtmektedir (Sanadi ve diğ, 1995).

MAPP'ın içinde mevcut bulunan MA, yalnızca polar etkileşimleri sağlamaz, aynı zamanda lignoselülozik lif üzerindeki hidroksil gruplarını kovalent olarak bağlamaktadır (Rowell, Young, Rowell, 1997). Bu, hem lif yüzeyine kovalent bağlanmayı, hem de interfaz özelliklerini geliştirmek için geniş moleküler bağları meydana getirmektedir. Bununla beraber çok uzun zincirler ise lif yüzeyine MAPP'ın yerleşme imkanı, kısa proses sürelerinden dolayı düşürebilir. MAPP, son ürünün mekanik dirençlerini ve üretimi iyileştirmektedir (Rowell, 2006).

2.2. YILLIK BİTKİLERİN OPK ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Yıllık bitkilerin OPK üretiminde kullanımı ile ilgili çok sayıda yapılmış çalışma bulunmaktadır. Çam kozalağı (Ayrılmış, Büyüksarı, & Dünder, 2010), zeytin fabrikası atıkları (Ayrılmış ve Büyüksarı, 2010), Hindistan cevizi (Ayrılmış, Jarusombuti, Fueangvivat, Bauchongkol, & White, 2011a), kestane kabuğu (Kaymakçı ve Ayrılmış, 2014), ayçiçeği sapı (Kaymakçı, Ayrılmış, Özdemir, & Güleç, 2013), kendir ve keten (Lia ve Saina, 2003), buğday sapı (Mengeloğlu ve Karakuş, 2012), çay fabrikası atıkları (Çavdar, Kalaycıoğlu, & Mengeloğlu, 2011), mısır sapı (Karakuş, Güleç, Katmakçı, & Mengeloğlu, 2010), fıstık kabuğu (Karakuş, Güleç, Kaymakçı, Tekin, & Mengeloğlu, 2008), pamuk karpeli (Kaymakçı, Güleç, Karakuş, Kayış, & Mengeloğlu, 2008), hintkeneviri (Gassan ve Bledzki, 1997) OPK üretiminde kullanılan odun dışı lignoselülozik hammadde kaynaklarından bazılarıdır.

Isıl işlemin yıllık bitkilerden üretilen OPK ların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi ile ilgili yapılmış bir çalışma bulunamamıştır. (Ayrılmış, Jarusombuti, Fueangvivat, & Bauchongkol, 2011b) ve (Aydemir, Kızıltaş, Kızıltaş, Gardner, & Gündüz, 2015) ısıtma işlemi uygulanmış odun unu ve lifi kullanılmış OPK'larda ısıtma işleminin

boyut stabilitesini iyileştirdiğini bulmuşlardır. (Ayrılmış ve diğ, 2011b) flat pres OPK'ların boyutsal stabilitesini artırmak için okalıptüs liflerine laboratuvar tipi otoklavda 3 farklı sıcaklıkta (120, 150 ve 180 °C) 20 ve 40 dakika süre ile ısıtım işlem uygulanmıştır. Isıtım işlem uygulanmış lifler ve polipropilen %50-%50 oranında karıştırılarak OPK'lar üretmişlerdir. OPK'ların su alma ve kalınlığına şişme değerlerinin ısıtım işlem sıcaklığı ve süresinin artmasıyla önemli bir şekilde azaldığını bulmuşlardır. (Aydemir ve diğ, 2015) 212 °C'de 8 saat ısıtım işlem uygulanmış Çam ve Akçaağaç odunu ve nylon 6 kullanarak ürettikleri kompozitlerin mekanik ve reolojik özelliklerini inceldikleri çalışmada, %20 oranında ısıtım işlem görmüş çam ve akçaağaç odunu içeren OPK'ların daha yüksek çekme direncine sahip olduğunu sadece nylon 6 kullanılarak üretilen OPK'lara göre %109 ve %106 daha yüksek çekme direncine sahip olduğunu bulmuşlardır.

2.3. AĞAÇ MALZEMEYE TERMAL İŞLEM UYGULANMASI

Termal işlem ağaç malzemenin özelliklerini modifiye etmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Termal işlem esnasında ağaç malzemenin kimyasal yapısında meydana gelen değişimlerin etkisiyle daralma ve genişleme azalmakta, biyolojik dayanımı artmakta, termal izolasyon özellikleri iyileşmekte, bazı ekstraktifler odundan uzaklaşmaktadır (Rapp, 2001). Termal işlemin odun özelliklerine etkisi termal işlem metoduna, ağaç türüne ve onun karakteristik özelliklerine, rutubet miktarına, ortama, işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir (Mitchell, 1988). Uzun termal işlem süreleri ve daha yüksek sıcaklıklar daha önemli değişimlere neden olmaktadır (Metsa-Kortelainen, Antikainen, & Viitaniemi, 2006).

Termal işlem esnasında düşük moleköl ağırlıklı ve dallanmış bir yapıya sahip olan hemiselülozlar degrade olmaktadır (Alen ve ark, 2002, Sivonen ve ark., 2002). Termal işlem ve termal degradasyon nedeniyle ağaç malzemedeki ağırlık kaybı meydana gelmekte (Jamsa ve Viitaniemi, 2001; Nakano ve Miyazaki, 2003; Wang ve Cooper, 2005; Metsa-Kortelainen ve diğ, 2006), boyut stabilitesi iyileşmekte (Kollmann ve Schneider, 1963; Viitaniemi, Jamsa, & Viitanen, 1997; Epmeier, Bengtsson, & Westin, 2001; Yıldız, 2002; Bekhta ve Niemz, 2003; Gonzalez-Pena, Breese, & Hill, 2004; Wang ve Cooper, 2005), çürümeye karşı dayanımı artmakta (Kim, Yun, & Kim, 1998; Kamdem, Pizzi, & Jermannaud, 2002; Hakkou, Petrissans, Gerardin, & Zoulalian,

2006) ve rengi koyulaşmaktadır (Bekhta ve Niemz, 2003).

Termal işlemin en önemli dezavantajı ağaç malzemenin mekanik özelliklerinin azalması ve daha kırılğan hale gelmesidir (Kim ve diğ, 1998; Kubojima, Okano, & Ohta, 2000; Bengtsson, Jermer, & Brem, 2002; Ünsal ve Ayrılmış, 2005; Bekhta ve Niemz, 2003; Shi, Kocaefe, & Zhang, 2007). Ayrıca, ağaç malzemenin ıslanabilirliği azalmaktadır (Petrissans, Gerardin, El Bakali, & Serraj, 2003; Sernek, Kamke, & Glasser, 2004; Follich, Muller, & Gindl, 2006; Gerardin, Petric, Petrissans, Lambert, & Ehrhardt 2007; Hakkou ve diğ, 2005).

Lignoselülojik materyallere termal işlem uygulanması ile yapılarında meydana gelen değişimler biyolojik faktörlere karşı direnç özelliklerini arttırmaktadır. Termal işlem ile birlikte odunsu materyallerin hücre çeperindeki amorf polisakkaritlerde önemli derecede degradasyon meydana gelmekte ve odunun ve odunsu materyallerin higroskopitesi azalma göstermektedir. Ayrıca mantarların ana besin maddelerinin azalması ile mantarlara karşı direnç artış göstermektedir (Hakkou ve diğ, 2005; Esteves ve Pereira, 2009). Diğer yandan denge rutubet miktarındaki düşüş odunun ıslanabilirliğini azaltmakta ve mantarların enzimatik aktivitelerini etkilemektedir (Kocaefe, Poncsak, Doré, & Younsi, 2008; Almeida, Brito, & Perré, 2009; Ohmae, Saito, Inoue, & Nakano, 2009). Böylece, odun örnekleri mantarlara karşı dirençleri artış gösterdiği düşünülmektedir. Ayrıca termal işlem uygulamaları ile odunsu materyallerin yapısında mantarların gelişimini engelleyici (fungusidal) yeni ekstraktifler üretilmektedir (Kamdern, Pizzi, & Triboulot, 2000, Mburu ve ark, 2006). Bu ekstraktifler mantarların gelişimini engelleyici etki gösterebilmektedir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERİYAL

Tez çalışması kapsamında hem endüstride yaygın olarak kullanılan hem de literatürde yer alan, sağlık ve bulunabilirlik dikkate alınarak plastik hammadde olarak Polipropilen seçilmiştir. Polimer/ yıllık bitki unu karışımlarının ara yüzeylerinde bağlayıcı etkiyi sağlamak amacıyla Maleik Anhidrit Polipropilen (MAPP) kullanılmıştır. Lignoselülozik hammadde kaynağı olarak mısır sapı kullanılmıştır. Mısır sapları Düzce yöresinden temin edilmiştir.

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Hammaddenin Hazırlanması

Bu çalışmada hammadde olarak polimer ve lignoselülozik dolgu maddesi ve uyumsuzluk giderici malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan uyumsuzluk giderici malzemeler ve polimer satın alındığı şekilde kullanıldıkları için aşağıda lignoselülozik dolgu maddesinin hazırlanışı verilmiştir.

3.2.1.1. Lignoselülozik Dolgu Maddesinin Hazırlanması

Mısır sapları Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi'ne getirilerek OPK üretimi için Şekil 3.1'de gösterilen Retsch SM100 Marka öğütücüde öğütülmüş ve Şekil 3.2'de gösterilen sarsak elek kullanılarak elenmiştir. OPK üretiminde 20 mesh'lik elekten geçip 60 mesh boyutundaki eleğin üzerinde kalan mısır sapı unu kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Mısır saplarının öğütüldüğü Retsch SM100 öğütücü.



Şekil 3.2. Mısır saplarının elenmesi (Sarsak elek).

Elenen mısır sapı unlarının bir kısmı termal işlem uygulanmamış gruplar için ayrılmış, diğer kısım mısır sapı unlarına laboratuvar şartlarında Şekil 3.3’de gösterilen Nüve marka etüv kullanılarak 3 farklı sıcaklık (140, 160 ve 180 °C) ve 2 farklı sürede (20 ve 40 dakika) termal işlem uygulanmıştır. Termal işlem uygulanmamış mısır sapı unları etüvde 100 °C’de kurutulmuşlardır. Çalışma planı Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Mısır saplarının kurutulması (Kurutma fırını).

Çizelge 3.1. Çalışma planı.

Grup	İşlem Türü	Isıl işlem Sıcaklığı °C	Isıl İşlem Süresi (dk)	Plastik Oranı (%)	Yıllık Bitki Oranı (%)	Bağlayıcı madde (MAPP) oranı (%)
A	-	-	-	100	-	-
B	-	-	-	50	50	-
C	-	-	-	47	50	3
D	Isıl İşlem	140	20	50	50	-
E	Isıl İşlem	140	40	50	50	-
F	Isıl İşlem	160	20	50	50	-
G	Isıl İşlem	160	40	50	50	-
H	Isıl İşlem	180	20	50	50	-
I	Isıl İşlem	180	40	50	50	-
J	Isıl İşlem	180	20	47	50	3

A grubu tamamen plastik içermekte olup kontrol grubu olarak üretilmiştir. B ve C grupları ise termal işlem uygulanmamış ve bağlayıcı madde içeren ve içermeyen kontrol grubu olarak kullanılmıştır.

3.2.1.2. Ekstrüderde OPK Karışımının Hazırlanması

Plastik-mısır sapı karışımları İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Orman Fakültesi Kompozit Malzeme Laboratuvarında bulunan Şekil 3.4'de gösterilen ekstrüder kullanılarak hazırlanmıştır. Kullanılan mısır sapı unu, plastik ve bağlayıcı maddelerinin homojenliğinin sağlanması için hammadde, ekstrüzyon makinesine dökülmeden önce iyice karıştırılmıştır. Pellet üretimi için homojen şekilde karışımı yapılacak mısır sapı unu, PP ve bağlayıcı madde ekstruder besleme haznesine dökülmüştür. Ekstruderin çalışma sıcaklığı 185 °C sıcaklığa ayarlanmıştır. Besleme haznesi çıkış hızı 7 m/dk hızı vida hızı 7 m/dk hızı ayarlanmıştır. Sıcak halde çıkan OPK karışımı ekstruder çıkışına bağlı olan su soğutma havuzunda gerçekleştirilmiştir. Ekstruderden çıkan OPK karışımı Şekil 3.5'da gösterilen kırıcı tarafından kesilerek pellet haline getirilmiştir. Üretilen pelletler kurutma işlemine tabi tutularak rutubet oranları %2'nin altına getirilmiş ve rutubet almayacak şekilde depolanmıştır.



Şekil 3.4. Ekstrüder.



Şekil 3.5. Kırıcı.

3.2.2. Sıcak Preste OPK Levhalarının Kalıplanması

Sıcak presleme işlemleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Odun Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. 10 dakikalık ön ısıtma sonrasında presleme işlemi 200 °C sıcaklık ve 80 bar basınçta yapılmıştır. Presleme işleminde Şekil 3.6' de gösterilen Gülsu makine markalı pres makinası kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Pres makinası.

3.2.3. Deney Örneklerinin Kesilmesi ve Hazırlanması

Üretilen OPK levhalardan ilgili standartlarda belirtilen ölçülerde Şekil 3.7’de görülen deney örnekleri hazırlanmıştır. Deney örnekleri Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi ahşap atölyesi’nde hazırlanmıştır. Su alma testleri için grup başına 10’ar tane 50x50x4 mm, eğilme ve çekme testleri içinde grup başına 10’ar tane 120x11x4,5 mm ebatlarında örnekler kesilip hazırlanmıştır.



Şekil 3.7. Deney örnekleri.

3.2.4. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Üretilen OPK levhalarda yoğunluk, su alma ve kalınlık artımı değerleri belirlenmiştir. Testler Amerikan standartları (ASTM)'na uygun olarak yapılmıştır.

3.2.4.1. Yoğunluk

ASTM D 570 göre 50x50 mm ebatında 4 mm kalınlığında kare olmak üzere her bir gruptan en az 10 adet olmak üzere yoğunluk örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler ASTM D 618'de belirtilen esaslara göre sıcaklığı $20^{\circ}\pm 2$ C ve $\%65\pm 5$ bağıl nemde denge rutubetine ulaşınca kadar kondisyonlanmıştır. Yoğunluk değerleri TS EN 323'de (1999) belirlenen esaslara göre belirlenmiştir.

3.2.4.2. Suda Bekletme Sonucu Kalınlığına Şişme ve Su Alma Oranı

ASTM D 570 göre Şekil 3.8' de görülen 50x50 mm ebatında 4 mm kalınlığında kare olmak üzere her bir gruptan en az 10 adet olmak üzere kalınlığına şişme ve su alma örneği hazırlanmıştır. ASTM D 618'de belirtilen esaslara göre kondisyonlanmıştır. Kondisyonlanan örneklerde kalınlığına şişme ve su alma oranları ASTM D 570'de belirtilen esaslara göre belirlenmiştir. Deney örnekleri su içerisinde 2, 24, 48, 72 ve 96 saat ve 1 hafta bekletilmiş kalınlık ve ağırlık ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3.8. Kalınlığına şişme ve su alma örnekleri.

3.2.5. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Üretilen OPK levhalarda eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci ve darbe direnci değerleri belirlenmiştir. Testler Amerikan standartlarına (ASTM) uygun olarak yapılmıştır.

3.2.5.1. Statik Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

Test örneklerinin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri ASTM D790'da belirtilen esaslara göre belirlenmiştir. Her bir gruptan 10 adet örnek kullanılmıştır. Örnekler ASTM D 618'de belirtilen esaslara göre kondisyonlanmıştır. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesi için 4 mm kalınlığında, 11 mm genişliğinde ve 120 mm uzunluğunda örnekler hazırlanmıştır. Eğilme testinde Şekil 3.9'da görülen Zwick/Roell Z1.0 universal test makinası kullanılmıştır. Eğilme test hızı 4 mm/dk olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3.9. Zwick/Roell Z1.0 test makinası ve eğilme testi.

3.2.5.2. Çekme Direnci

Test örneklerinin çekme dirençlerinin belirlenmesi amacıyla; ASTM D 688'de belirlenen esaslara uyulmuştur. Her bir gruptan 10 adet örnek hazırlanmıştır. Örnekler ASTM D 618'de belirtilen esaslara göre kondisyonlanmıştır. Çekme testinde Şekil 3.10'da görülen Zwick/Roell Z1.0 universal test makinası kullanılmıştır. Çekme test hızı 5 mm/dk olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3.10. Zwick/Roell Z1.0 test makinası ve çekme deneyi.

3.2.5.3. Darbe Direnci

Test örneklerinin darbe direnci değerleri ASTM D256’da belirtilen esaslara göre belirlenmiştir. Darbe testinde Şekil 3.11’de görülen Devotrans marka darbe test makinası kullanılmıştır. Testlerde 2 J’lük çekiç kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Devotrans darbe test makinası.

3.2.6. İstatistiksel Değerlendirmeler

İstatistiksel hesaplar ve değerlendirmeler SPSS paket programı kullanılarak elde edilmiştir. Bütün gruplara ait bazı tanımlayıcı istatistiki değerler (örnek sayısı, aritmetik ortalama, standart sapma, standart hata, maksimum ve minimum değerler ve varyasyon katsayısı) tablolar halinde verilmiştir.

Mısır sapı oranı, termal işlem sıcaklık ve süresi ve bağlayıcı madde kullanımının ölçüm sonuçları üzerine etkisinin %95 güven düzeyinde anlamlı olup olmadığı Basit Varyans Analizi kullanılarak belirlenmiştir. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığının belirlenmesi için Duncan testi kullanılmıştır

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

4.1.1. Yoğunluk

Üretilen kompozitlerin yoğunluk değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yoğunluk değerleri tanımlayıcı istatistikler.

Grup	N	X (g/cm ³)	δ	SE	X _{min} (g/cm ³)	X _{max} (g/cm ³)	C _v (%)
A	10	0,903	0,009	0,003	0,889	0,913	0,97
B	10	1,107	0,013	0,004	1,078	1,120	1,20
C	10	1,119	0,011	0,004	1,107	1,149	1,02
D	10	1,099	0,013	0,004	1,080	1,121	1,19
E	10	1,098	0,013	0,004	1,076	1,112	1,14
F	10	1,093	0,023	0,007	1,046	1,114	2,09
G	10	1,094	0,016	0,005	1,069	1,113	1,49
H	10	1,098	0,013	0,004	1,064	1,107	1,15
I	10	1,103	0,023	0,007	1,063	1,137	2,10
J	10	1,090	0,012	0,004	1,074	1,107	1,09

%100 PP içeren A grubu kompozitlerin yoğunluk değeri 0,903 g/cm³ olarak bulunmuştur. %50 PP ve %50 termal işlem uygulanmamış mısır sapı unu içeren levhaların (B grubu) yoğunluk değeri 1,11 g/cm³, termal işlem uygulanmış gruplarda yoğunluk değerleri 1,09-1,10 g/cm³ arasında değişmektedir.

Termal işlem süresi ve sıcaklığının yoğunluk değerleri üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir. Yoğunluk değerleri varyans analizi sonuçları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Yoğunluk değerleri varyans analizi sonuçları.

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	0,355	9	0,039	168,54	0,000
Grup İçi	0,021	90	0,000		
Genel	0,376	99			

Varyans analizi sonuçlarına göre üretilen OPK'ların yoğunluk değerleri bakımından %95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Yoğunluk değerleri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

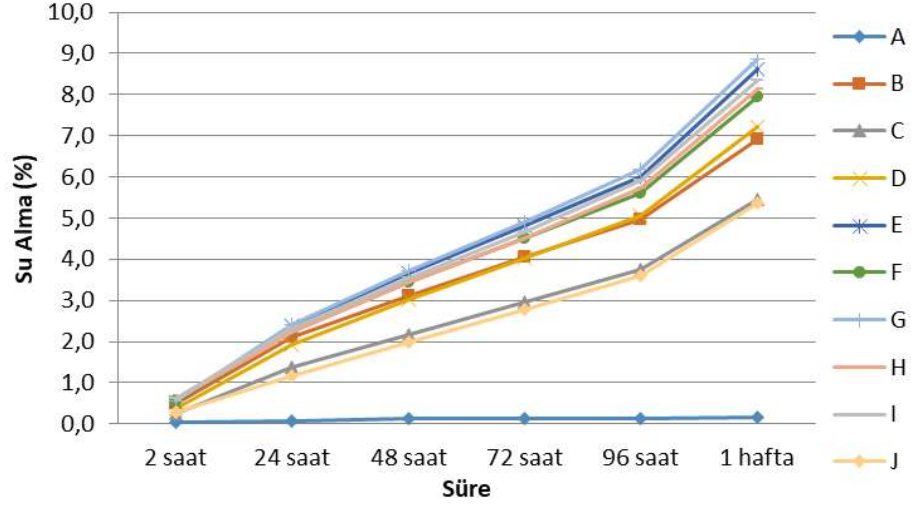
Çizelge 4.3. Yoğunluk değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$			
		1	2	3	4
A	10	0,903			
J	10		1,090		
F	10		1,093	1,093	
G	10		1,094	1,094	
E	10		1,098	1,098	
H	10		1,098	1,098	
D	10		1,099	1,099	
I	10		1,103	1,103	
B	10			1,107	1,107
C	10				1,119
Önem düzeyi		1,000	0,092	0,080	0,088

Duncan testi sonuçlarına göre yoğunluk değerleri bakımından J-F-G-E-H-D-I grupları, F-G-E-H-D-I-B grupları ve B-C grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

4.1.2. Su Alma

Üretilen kompozitleri su alma değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.4'te ve Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kompozit grupların su alma - zaman grafiği.

Çizelge 4.4. Su alma değerleri tanımlayıcı istatistikler.

Süre	Grup	N	X (%)	δ	SE	$X_{\min}$ (%)	$X_{\max}$ (%)	C_v (%)
2 saat	A	10	0,05	0,04	0,01	0,01	0,13	88,5
	B	10	0,50	0,12	0,04	0,35	0,78	23,6
	C	10	0,26	0,03	0,01	0,21	0,30	11,8
	D	10	0,37	0,03	0,01	0,32	0,42	7,6
	E	10	0,53	0,06	0,02	0,40	0,61	12,1
	F	10	0,57	0,04	0,01	0,49	0,64	7,3
	G	10	0,56	0,07	0,02	0,46	0,67	12,4
	H	10	0,59	0,04	0,01	0,52	0,65	7,1
	I	10	0,63	0,05	0,02	0,51	0,70	7,8
	J	10	0,28	0,02	0,01	0,25	0,31	7,9
24 saat	A	10	0,07	0,05	0,02	0,01	0,19	75,9
	B	10	2,12	0,18	0,06	1,95	2,49	8,6
	C	10	1,37	0,04	0,01	1,32	1,47	3,2
	D	10	1,91	0,08	0,03	1,80	2,07	4,1
	E	10	2,37	0,17	0,05	2,12	2,68	7,3
	F	10	2,28	0,08	0,03	2,16	2,42	3,6
	G	10	2,42	0,19	0,06	2,23	2,76	7,7
	H	10	2,23	0,07	0,02	2,12	2,35	3,3
	I	10	2,32	0,10	0,03	2,10	2,48	4,5
	J	10	1,17	0,09	0,03	0,97	1,28	7,5
48 saat	A	10	0,13	0,09	0,03	0,04	0,30	72,8
	B	10	3,13	0,25	0,08	2,88	3,64	8,0
	C	10	2,17	0,09	0,03	2,00	2,28	4,3
	D	10	3,03	0,15	0,05	2,88	3,37	5,0

Çizelge 4.4. (devam) Su alma değerleri tanımlayıcı istatistikler.

Süre	Grup	N	X (%)	δ	SE	X _{min} (%)	X _{max} (%)	C _v (%)
48 saat	E	10	3,65	0,22	0,07	3,28	3,96	5,9
	F	10	3,45	0,13	0,04	3,31	3,70	3,7
	G	10	3,74	0,27	0,09	3,37	4,20	7,3
	H	10	3,45	0,13	0,04	3,26	3,69	3,8
	I	10	3,55	0,14	0,04	3,28	3,77	3,9
	J	10	2,00	0,10	0,03	1,83	2,13	5,2
72 saat	A	10	0,12	0,08	0,02	0,04	0,30	64,6
	B	10	4,05	0,29	0,09	3,76	4,66	7,3
	C	10	2,95	0,12	0,04	2,75	3,08	3,9
	D	10	4,03	0,16	0,05	3,85	4,36	3,9
	E	10	4,83	0,32	0,10	4,32	5,30	6,6
	F	10	4,51	0,15	0,05	4,31	4,76	3,3
	G	10	4,91	0,38	0,12	4,48	5,56	7,7
	H	10	4,52	0,17	0,05	4,28	4,90	3,7
	I	10	4,66	0,19	0,06	4,47	5,00	4,0
	J	10	2,78	0,16	0,05	2,42	3,00	5,7
96 saat	A	10	0,12	0,08	0,02	0,05	0,30	60,6
	B	10	4,98	0,33	0,10	4,66	5,68	6,6
	C	10	3,75	0,14	0,04	3,51	3,92	3,7
	D	10	5,05	0,22	0,07	4,76	5,51	4,5
	E	10	6,01	0,39	0,12	5,38	6,59	6,5
	F	10	5,60	0,17	0,05	5,39	5,87	3,1
	G	10	6,19	0,39	0,12	5,83	6,91	6,3
	H	10	5,73	0,24	0,08	5,37	6,23	4,2
	I	10	5,91	0,24	0,08	5,52	6,32	4,1
	J	10	3,60	0,11	0,04	3,49	3,80	3,2
1 hafta	A	10	0,17	0,1	0,0	0,1	0,3	41,0
	B	10	6,90	0,4	0,1	6,5	7,9	6,4
	C	10	5,45	0,2	0,1	5,1	5,7	3,4
	D	10	7,23	0,3	0,1	6,8	7,9	4,3
	E	10	8,62	0,5	0,2	7,8	9,4	5,7
	F	10	7,94	0,2	0,1	7,7	8,2	2,9
	G	10	8,86	0,5	0,2	8,4	9,8	6,2
	H	10	8,12	0,3	0,1	7,5	8,8	4,1
	I	10	8,33	0,3	0,1	8,1	8,9	3,5
	J	10	5,38	0,1	0,0	5,2	5,6	2,5

En düşük 2 saat su alma değeri %100 PP içeren kompozitlerde (%0,05), en yüksek 2 saat su alma değeri 180 °C’de 40 dakika termal işlem görmüş mısır sapı içeren kompozitlerde (%0,63) bulunmuştur. Termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı içeren kompozitlerde (B grubu) 2 saat su alma değeri %0,50 olarak bulunmuştur. %3 oranında MAPP içeren kompozit levhaların (C ve J grubu) su alma değerlerinde önemli derecede iyileşmeler meydana gelmiştir.

En düşük 24 saat su alma değeri %100 PP içeren kompozitlerde (%0,07), en yüksek 24 saat su alma değeri 160 °C’de 40 dakika termal işlem görmüş mısır sapı içeren kompozitlerde (%2,42) bulunmuştur. Termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı içeren kompozitlerde (B grubu) 24 saat su alma değeri %2,12 olarak bulunmuştur. %3 oranında MAPP içeren kompozit levhaların (C ve J grubu) 24 saat su alma değerlerinde önemli derecede iyileşmeler meydana gelmiştir.

En düşük 48 saat su alma değeri %100 PP içeren kompozitlerde (%0,13), en yüksek 48 saat su alma değeri 160 °C’de 40 dakika termal işlem görmüş mısır sapı içeren kompozitlerde (%3,74) bulunmuştur. Termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı içeren kompozitlerde (B grubu) 48 saat su alma değeri %3,13 olarak bulunmuştur. %3 oranında MAPP içeren kompozit levhaların (C ve J grubu) 48 saat su alma değerlerinde önemli derecede iyileşmeler meydana gelmiştir.

En düşük 72 saat su alma değeri %100 PP içeren kompozitlerde (%0,12), en yüksek 72 saat su alma değeri 160 °C’de 40 dakika termal işlem görmüş mısır sapı içeren kompozitlerde (%4,91) bulunmuştur. Termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı içeren kompozitlerde (B grubu) 72 saat su alma değeri %4,05 olarak bulunmuştur. %3 oranında MAPP içeren kompozit levhaların (C ve J grubu) 72 saat su alma değerlerinde önemli derecede iyileşmeler meydana gelmiştir.

En düşük 96 saat su alma değeri %100 PP içeren kompozitlerde (%0,12), en yüksek 96 saat su alma değeri 160 °C’de 40 dakika termal işlem görmüş mısır sapı içeren kompozitlerde (%6,19) bulunmuştur. Termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı içeren kompozitlerde (B grubu) 96 saat su alma değeri %4,98 olarak bulunmuştur. %3 oranında MAPP içeren kompozit levhaların (C ve J grubu) 96 saat su alma değerlerinde önemli derecede iyileşmeler meydana gelmiştir.

En düşük 1 hafta su alma değeri %100 PP içeren kompozitlerde (%0,17), en yüksek 1 hafta su alma değeri 160 °C’de 40 dakika termal işlem görmüş mısır sapı içeren kompozitlerde (%8,86) bulunmuştur. Termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı içeren kompozitlerde (B grubu) 1 hafta su alma değeri %6,90 olarak bulunmuştur. %3 oranında MAPP içeren kompozit levhaların (C ve J grubu) 1 hafta su alma değerlerinde önemli derecede iyileşmeler meydana gelmiştir.

Termal işlem uygulaması sonucunda su alma değerlerinde iyileşmeler gözlenmiştir. Birinci, Kaymakçı, Dünder, & Ayrılmış, (2016) ısıtma işlemi görmüş Uludağ Göknarı odunu ununu içeren OPK’ların 24 saat, 1 hafta ve 28 gün su alma değerlerinin ısıtma işlemi görmemiş gruba göre daha düşük olduğunu ve ısıtma işlemin su alma değerlerini iyileştirdiğini bulmuştur. Benzer şekilde Ayrılmış ve diğ. (2011b) 120 °C, 150 °C ve 180 °C sıcaklıklarda 20 ve 40 dakika süre ile ısıtma işlemi uygulanmış okaliptüs odunu unu kullanılarak üretilen OPK’ların su alma değerlerinde önemli azalmalar olduğunu belirtmektedir. 180 °C’de 40 dakika ısıtma işlemi görmüş odun unu içeren grubun 24 saat su alma değerinin kontrol grubuna göre % 54,9 daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, ısıtma işlem sıcaklığının ısıtma işlem süresinden daha fazla etkiye sahip olduğunu belirlenmiştir.

Termal işlem süresi ve sıcaklığının su alma değerleri üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı Varyans Analizi ile test edilmiştir. Su alma değerleri varyans analizi sonuçları Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Su alma değerleri varyans analizi sonuçları.

	Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
2 saat	Gruplar Arası	3,177	9	0,353	106,9	0,000
	Grup İçi	0,297	90	0,003		
	Genel	3,474	99			
24 saat	Gruplar Arası	50,732	9	5,637	401,99	0,000
	Grup İçi	1,262	90	0,014		
	Genel	51,994	99			
48 saat	Gruplar Arası	113,320	9	12,591	438,98	0,000
	Grup İçi	2,581	90	0,029		
	Genel	115,902	99			
72 saat	Gruplar Arası	194,668	9	21,630	445,64	0,000
	Grup İçi	4,368	90	0,049		
	Genel	199,037	99			

Çizelge 4.5. (devam) Su alma değerleri varyans analizi sonuçları.

	Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
96 saat	Gruplar Arası	304,852	9	33,872	522,71	0,000
	Grup İçi	5,832	90	0,065		
	Genel	310,684	99			
1 hafta	Gruplar Arası	608,473	9	67,608	592,13	0,000
	Grup İçi	10,276	90	0,114		
	Genel	618,749	99			

Varyans analizi sonuçlarına göre üretilen kompozitlerin su alma değerleri bakımından %95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Su alma değerleri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. 2 saat su alma değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$						
		1	2	3	4	5	6	7
A	10	0,05						
C	10		0,26					
J	10		0,28					
D	10			0,37				
B	10				0,50			
E	10				0,53	0,53		
G	10					0,56	0,56	
F	10					0,57	0,57	
H	10						0,59	0,59
I	10							0,63
Önem düzeyi		1,00	0,44	1,00	0,36	0,14	0,24	0,14

Duncan testi sonuçlarına göre 2 saat su alma değerleri bakımından C-J, B-E, F-G-E, G-F-H ve H-I grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.7. 24 saat su alma değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$							
		1	2	3	4	5	6	7	8
A	10	0,07							
J	10		1,17						
C	10			1,37					
D	10				1,91				
B	10					2,12			
H	10						2,23		
F	10						2,28	2,28	
I	10						2,32	2,32	2,32
E	10							2,37	2,37
G	10								2,42
Önem düzeyi		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,140	0,081	0,061

Duncan testi sonuçlarına göre 24 saat su alma değerleri bakımından H-F-I, F-I-E ve I-E-G grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.8. 48 saat su alma değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$						
		1	2	3	4	5	6	7
A	10	0,13						
J	10		2,00					
C	10			2,17				
D	10				3,03			
B	10				3,13			
H	10					3,45		
F	10					3,45		
I	10					3,55	3,55	
E	10						3,65	3,65
G	10							3,74
Önem düzeyi		1,000	1,000	1,000	0,211	0,233	0,192	0,244

Duncan testi sonuçlarına göre 48 saat su alma değerleri bakımından D-B, H-F-I, I-E ve E-G grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.9. 72 saat su alma değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$					
		1	2	3	4	5	6
A	10	0,12					
J	10		2,78				
C	10		2,95				
D	10			4,03			
B	10			4,05			
F	10				4,51		
H	10				4,52		
I	10				4,66	4,66	
E	10					4,83	4,83
G	10						4,91
Önem düzeyi		1,000	0,093	0,915	0,144	0,098	0,413

Duncan testi sonuçlarına göre 72 saat su alma değerleri bakımından J-C, D-B, F-H-I, I-E ve E-G grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.10. 96 saat su alma değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$						
		1	2	3	4	5	6	7
A	10	0,12						
J	10		3,60					
C	10		3,75					
B	10			4,98				
D	10			5,05				
F	10				5,60			
H	10				5,73	5,73		
I	10					5,91	5,91	
E	10						6,01	6,01
G	10							6,19
Önem düzeyi		1,000	0,178	0,513	0,256	0,116	0,364	0,126

Duncan testi sonuçlarına göre 96 saat su alma değerleri bakımından J-C, B-D, F-H, H-I, I-E ve E-G grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

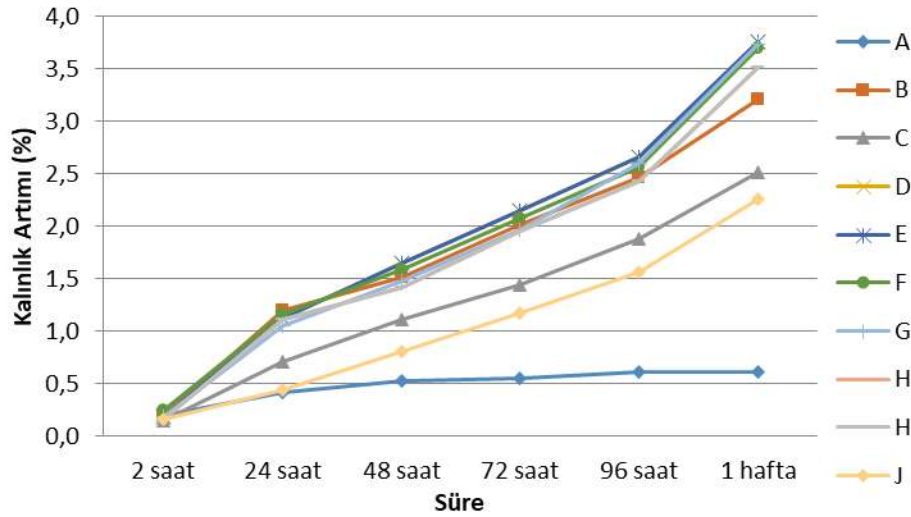
Çizelge 4.11. 1 hafta su alma değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$							
		1	2	3	4	5	6	7	8
A	10	0,17							
J	10		5,38						
C	10		5,45						
B	10			6,90					
D	10				7,23				
F	10					7,94			
H	10					8,12	8,12		
I	10						8,33	8,33	
E	10							8,62	8,62
G	10								8,86
Önem düzeyi		1,000	0,609	1,000	1,000	0,238	0,164	0,060	0,107

Duncan testi sonuçlarına göre 1 hafta su alma değerleri bakımından J-C, F-H, H-I, I-E ve E-G grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

4.1.3. Kalınlık Artımı

Üretilen kompozitlerin kalınlık artımı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.12’de ve Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Kompozit grupların kalınlık artımı – zaman grafiği.

Çizelge 4.12. Kalınlık artımı değerleri tanımlayıcı istatistikler.

Süre	Grup	N	X (%)	δ	SE	X _{min} (%)	X _{max} (%)	C _v (%)
2 saat	A	10	0,20	0,17	0,05	0,05	0,64	83,6
	B	10	0,20	0,11	0,03	0,04	0,33	53,4
	C	10	0,15	0,08	0,02	0,05	0,27	49,6
	D	10	0,29	0,13	0,04	0,13	0,51	46,6
	E	10	0,19	0,06	0,02	0,08	0,27	32,3
	F	10	0,25	0,10	0,03	0,11	0,45	41,2
	G	10	0,19	0,08	0,02	0,11	0,34	39,9
	H	10	0,17	0,08	0,02	0,04	0,24	45,7
	I	10	0,25	0,11	0,03	0,11	0,38	43,4
	J	10	0,16	0,03	0,01	0,11	0,22	20,2
24 saat	A	10	0,42	0,20	0,06	0,10	0,68	47,2
	B	10	1,20	0,09	0,03	1,06	1,39	7,8
	C	10	0,71	0,15	0,05	0,40	0,97	20,6
	D	10	1,10	0,14	0,04	0,94	1,28	12,3
	E	10	1,13	0,07	0,02	1,00	1,22	5,9
	F	10	1,17	0,10	0,03	1,00	1,29	8,5
	G	10	1,06	0,11	0,03	0,85	1,18	10,4
	H	10	1,12	0,12	0,04	0,91	1,26	10,4
	I	10	1,23	0,16	0,05	0,91	1,44	12,6
	J	10	0,45	0,14	0,04	0,22	0,71	31,3
48 saat	A	10	0,53	0,22	0,07	0,10	0,83	42,1
	B	10	1,52	0,28	0,09	0,77	1,80	18,7
	C	10	1,11	0,16	0,05	0,76	1,29	14,1
	D	10	1,54	0,19	0,06	1,28	1,85	12,1
	E	10	1,65	0,15	0,05	1,50	2,03	9,4
	F	10	1,59	0,12	0,04	1,45	1,80	7,6
	G	10	1,48	0,13	0,04	1,22	1,66	8,7
	H	10	1,42	0,13	0,04	1,18	1,67	9,1
	I	10	1,69	0,17	0,05	1,49	2,08	9,8
	J	10	0,81	0,16	0,05	0,53	1,01	19,4
72 saat	A	10	0,55	0,20	0,06	0,10	0,83	36,7
	B	10	2,01	0,15	0,05	1,83	2,27	7,5
	C	10	1,44	0,15	0,05	1,11	1,64	10,4
	D	10	1,88	0,08	0,03	1,75	1,99	4,5
	E	10	2,15	0,20	0,06	1,87	2,54	9,1
	F	10	2,08	0,16	0,05	1,77	2,27	7,5
	G	10	1,97	0,28	0,09	1,41	2,36	14,4
	H	10	1,96	0,10	0,03	1,75	2,12	5,3
	I	10	2,23	0,16	0,05	1,98	2,61	7,2

Çizelge 4.12. (devam) Kalınlık artımı değerleri tanımlayıcı istatistikler.

Süre	Grup	N	X (%)	δ	SE	X _{min} (%)	X _{max} (%)	C _v (%)
72 saat	J	10	1,18	0,14	0,04	0,93	1,37	11,5
96 saat	A	10	0,61	0,22	0,07	0,10	0,83	35,2
	B	10	2,47	0,13	0,04	2,31	2,65	5,1
	C	10	1,89	0,22	0,07	1,51	2,30	11,4
	D	10	2,47	0,18	0,06	2,25	2,71	7,2
	E	10	2,66	0,13	0,04	2,42	2,84	5,0
	F	10	2,57	0,17	0,05	2,28	2,77	6,5
	G	10	2,61	0,18	0,06	2,37	2,95	6,8
	H	10	2,43	0,18	0,06	2,05	2,65	7,5
	I	10	2,73	0,19	0,06	2,47	3,10	7,1
	J	10	1,57	0,15	0,05	1,37	1,81	9,5
1 hafta	A	10	0,62	0,2	0,1	0,1	0,8	35,5
	B	10	3,21	0,2	0,1	2,9	3,6	5,4
	C	10	2,51	0,2	0,1	2,2	2,8	7,0
	D	10	3,26	0,2	0,1	2,9	3,6	6,1
	E	10	3,77	0,2	0,1	3,5	3,9	4,4
	F	10	3,70	0,2	0,1	3,4	4,2	5,8
	G	10	3,74	0,2	0,0	3,4	3,9	4,1
	H	10	3,52	0,2	0,1	3,2	3,9	5,4
	I	10	3,90	0,3	0,1	3,4	4,4	7,1
	J	10	2,27	0,2	0,1	1,9	2,5	8,0

En düşük 2 saat kalınlık artımı değeri % 3 MAPP içeren kompozitlerde (%0,15), en yüksek 2 saat kalınlık artımı değeri 140 °C’de 20 dakika termal işlem görmüş mısır sapı içeren kompozitlerde (%0,29) bulunmuştur. Termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı içeren kompozitlerde (B grubu) 2 saat kalınlık artımı değeri %0,20 olarak bulunmuştur. %3 oranında MAPP içeren kompozit levhaların (C ve J grubu) kalınlık artımı değerlerinde önemli derecede iyileşmeler meydana gelmiştir.

En düşük 24 saat kalınlık artımı değeri %100 PP içeren kompozitlerde (%0,42), en yüksek 24 saat kalınlık artımı değeri 180 °C’de 40 dakika termal işlem görmüş mısır sapı içeren kompozitlerde (%1,23) bulunmuştur. Termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı içeren kompozitlerde (B grubu) 24 saat kalınlık artımı değeri %1,20 olarak bulunmuştur. %3 oranında MAPP içeren kompozit levhaların (C ve J grubu) 24 saat kalınlık artımı değerlerinde önemli derecede iyileşmeler meydana gelmiştir.

En düşük 48 saat kalınlık artımı değeri %100 PP içeren kompozitlerde (%0,53), en yüksek 48 saat kalınlık artımı değeri 180 °C’de 40 dakika termal işlem görmüş mısır sapı içeren kompozitlerde (%1,69) bulunmuştur. Termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı içeren kompozitlerde (B grubu) 48 saat kalınlık artımı değeri %1,52 olarak bulunmuştur. %3 oranında MAPP içeren kompozit levhaların (C ve J grubu) 48 saat kalınlık artımı değerlerinde önemli derecede iyileşmeler meydana gelmiştir.

En düşük 72 saat kalınlık artımı değeri %100 PP içeren kompozitlerde (%0,55), en yüksek 72 saat kalınlık artımı değeri 180 °C’de 40 dakika termal işlem görmüş mısır sapı içeren kompozitlerde (%2,23) bulunmuştur. Termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı içeren kompozitlerde (B grubu) 72 saat kalınlık artımı değeri %2,01 olarak bulunmuştur. %3 oranında MAPP içeren kompozit levhaların (C ve J grubu) 72 saat kalınlık artımı değerlerinde önemli derecede iyileşmeler meydana gelmiştir.

En düşük 96 saat kalınlık artımı değeri %100 PP içeren kompozitlerde (%0,61), en yüksek 96 saat kalınlık artımı değeri 180 °C’de 40 dakika termal işlem görmüş mısır sapı içeren kompozitlerde (%2,73) bulunmuştur. Termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı içeren kompozitlerde (B grubu) 96 saat kalınlık artımı değeri %2,47 olarak bulunmuştur. %3 oranında MAPP içeren kompozit levhaların (C ve J grubu) 96 saat kalınlık artımı değerlerinde önemli derecede iyileşmeler meydana gelmiştir.

En düşük 1 hafta kalınlık artımı değeri %100 PP içeren kompozitlerde (%0,62), en yüksek 1 hafta kalınlık artımı değeri 180 °C’de 40 dakika termal işlem görmüş mısır sapı içeren kompozitlerde (%3,90) bulunmuştur. Termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı içeren kompozitlerde (B grubu) 1 hafta kalınlık artımı değeri %3,21 olarak bulunmuştur. %3 oranında MAPP içeren kompozit levhaların (C ve J grubu) 1 hafta kalınlık artımı değerlerinde önemli derecede iyileşmeler meydana gelmiştir.

Termal işlem uygulaması sonucunda kalınlık artımı değerlerinde azalmalar gözlenmiştir. Benzer sonuçlar daha önceki çalışmalarda da bulunmuştur (Birinci ve diğ. 2016, Ayrılmış ve diğ. 2011b). Birinci ve diğ. (2016) ısı işlem görmüş Uludağ Göknaarı odunu ununu içeren OPK’ların 24 saat, 1 hafta ve 28 gün kalınlık artımı değerlerinin ısı işlem görmemiş gruba göre daha düşük olduğunu ve ısı işlemin kalınlık artımı değerlerini iyileştirdiğini bulmuşlardır. Ayrılmış ve diğ. (2011b) 120 °C, 150 °C ve 180 °C sıcaklıklarda 20 ve 40 dakika süre ile ısı işlem uygulanmış okaliptüs

odunu unu kullanılarak üretilen OPK'ların kalınlık artımı değerlerinde önemli azalmalar olduğunu belirtmektedir. 120 °C'de 20 dakika ısıtıl işlem görmüş odun unu içeren grubun 28 gün kalınlık artımı değerinin % 36, 180 °C'de 40 dakika işlem görmüş grupta ise kontrol grubuna göre %60 daha düşük olduğunu bulmuşlardır.

Termal işlem süresi ve sıcaklığının kalınlık artımı değerleri üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir. Kalınlık artımı değerleri varyans analizi sonuçları Çizelge 4.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Kalınlık artımı değerleri varyans analizi sonuçları.

	Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
2 saat	Gruplar Arası	0,177	9	0,020	1,92	0,058
	Grup İçi	0,919	90	0,010		
	Genel	1,096	99			
24 saat	Gruplar Arası	8,720	9	0,969	56,31	0,000
	Grup İçi	1,549	90	0,017		
	Genel	10,268	99			
48 saat	Gruplar Arası	13,861	9	1,540	49,19	0,000
	Grup İçi	2,818	90	0,031		
	Genel	16,679	99			
72 saat	Gruplar Arası	25,204	9	2,800	96,44	0,000
	Grup İçi	2,613	90	0,029		
	Genel	27,817	99			
96 saat	Gruplar Arası	40,087	9	4,454	143,53	0,000
	Grup İçi	2,793	90	0,031		
	Genel	42,880	99			
1 hafta	Gruplar Arası	92,348	9	10,261	261,61	0,000
	Grup İçi	3,530	90	0,039		
	Genel	95,878	99			

Varyans analizi sonuçlarına göre üretilen kompozitlerin 2 saat kalınlık artımı değerleri bakımından %95 güven düzeyinde anlamlı farklılık yokken, diğer sürelerdeki kalınlık artımı değerleri bakımından farklılık bulunmuştur. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Kalınlık artımı değerleri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 ve 4.19'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. 2 saat kalınlık artımı değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$	
		1	2
C	10	0,15	
J	10	0,16	
H	10	0,17	
E	10	0,19	0,19
G	10	0,19	0,19
A	10	0,20	0,20
B	10	0,20	0,20
F	10	0,25	0,25
I	10	0,25	0,25
D	10		0,29
Önem düzeyi		0,059	0,069

Duncan testi sonuçlarına göre 2 saat kalınlık artımı değerleri bakımından C-J-H-E-G-A-B-F-I ve E-G-A-B-F-I-D grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.15. 24 saat kalınlık artımı değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$			
		1	2	3	4
A	10	0,42			
J	10	0,45			
C	10		0,71		
G	10			1,06	
D	10			1,10	1,10
H	10			1,12	1,12
E	10			1,13	1,13
F	10			1,17	1,17
B	10				1,20
I	10				1,23
Önem düzeyi		0,620	1,000	0,103	0,067

Duncan testi sonuçlarına göre 24 saat kalınlık artımı değerleri bakımından A-J, G-D-H-E-F, ve D-H-E-F-B-I grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.16. 48 saat kalınlık artımı değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$					
		1	2	3	4	5	6
A	10	0,53					
J	10		0,81				
C	10			1,11			
H	10				1,42		
G	10				1,48	1,48	
B	10				1,52	1,52	1,52
D	10				1,54	1,54	1,54
F	10					1,59	1,59
E	10					1,65	1,65
I	10						1,69
Önem düzeyi		1,000	1,000	1,000	0,155	0,059	0,057

Duncan testi sonuçlarına göre 48 saat kalınlık artımı değerleri bakımından H-G-B-D-, G-B-D-F-E ve B-D-F-E-I grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.17. 72 saat kalınlık artımı değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$						
		1	2	3	4	5	6	7
A	10	0,55						
J	10		1,18					
C	10			1,44				
D	10				1,88			
H	10				1,96	1,96		
G	10				1,97	1,97		
B	10				2,01	2,01	2,01	
F	10					2,08	2,08	2,08
E	10						2,15	2,15
I	10							2,23
Önem düzeyi		1,000	1,000	1,000	0,105	0,152	0,099	0,062

Duncan testi sonuçlarına göre 72 saat kalınlık artımı değerleri bakımından D-H-G-B, H-G-B-F, B-F-E ve F-E-I grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.18. 96 saat kalınlık artımı değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$					
		1	2	3	4	5	6
A	10	0,61					
J	10		1,57				
C	10			1,89			
H	10				2,43		
B	10				2,47	2,47	
D	10				2,47	2,47	
F	10				2,57	2,57	2,57
G	10					2,61	2,61
E	10						2,66
I	10						2,73
Önem düzeyi		1,000	1,000	1,000	0,100	0,103	0,078

Duncan testi sonuçlarına göre 96 saat kalınlık artımı değerleri bakımından H-B-D-F, B-D-F-G ve F-G-E-I grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.19. 1 hafta kalınlık artımı değerleri Duncan testi sonuçları.

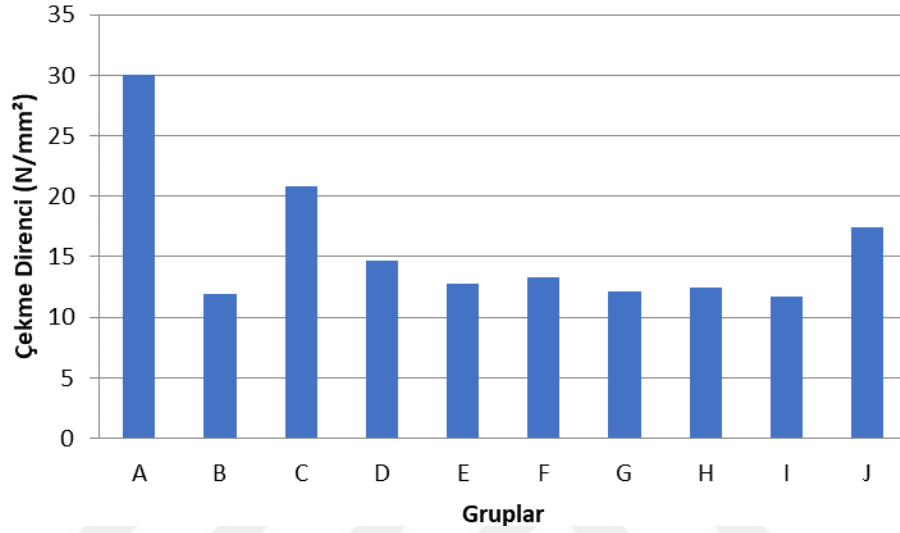
Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$						
		1	2	3	4	5	6	7
A	10	0,62						
J	10		2,27					
C	10			2,51				
B	10				3,21			
D	10				3,26			
H	10					3,52		
F	10						3,70	
G	10						3,74	3,74
E	10						3,77	3,77
I	10							3,90
Önem düzeyi		1,000	1,000	1,000	0,569	1,000	0,468	0,085

Duncan testi sonuçlarına göre 1 hafta kalınlık artımı değerleri bakımından B-D, F-G-E, ve G-E-I grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

4.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

4.2.1. Çekme Direnci

Üretilen kompozitlerin çekme direnci değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.20’de ve Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.3. Kompozit levhalarının çekme direnci değerleri grafiği.

Çizelge 4.20. Çekme direnci değerleri tanımlayıcı istatistikler.

Grup	N	X (N/mm ²)	δ	SE	X _{min} (N/mm ²)	X _{max} (N/mm ²)	C _v (%)
A	10	30,0	0,6	0,2	29,2	31,0	1,9
B	10	11,9	0,7	0,2	10,8	13,1	6,1
C	10	20,8	1,3	0,4	18,7	23,0	6,2
D	10	14,7	1,0	0,3	13,0	16,4	6,8
E	10	12,8	0,5	0,2	12,1	13,6	3,8
F	10	13,3	0,4	0,1	12,6	14,1	3,3
G	10	12,1	0,7	0,2	10,4	13,0	5,9
H	10	12,5	0,3	0,1	11,8	12,9	2,4
I	10	11,8	0,5	0,2	10,9	12,6	4,2
J	10	17,4	0,9	0,3	15,8	19,1	5,2

%100 PP içeren A grubu kompozitlerin çekme direnci değeri 30,0 N/mm² olarak bulunmuştur. %50 PP ve %50 termal işlem uygulanmamış mısır sapı unu içeren levhaların (B grubu) çekme direnci değeri 11,9 N/mm², termal işlem uygulanmış gruplarda ise çekme direnci değerleri 11,8 – 14,7 N/mm² arasında değişmektedir.

Tüm sıcaklık değerinde farklı sürelerde termal işlem gören mısır sapı unun içeren gruplarda termal işlem süresinin artması ile çekme direnci değerleri azalmıştır.

20 dakika süre ile farklı sıcaklıklarda (140, 160, 180 °C) termal işlem uygulanan kompozitlerde (D-F-H) sıcaklığın artışı ile çekme direncinin azaldığı gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar 40 dakikalık termal işlem uygulanmış gruplarda da (E-G-I) bulunmuştur.

%3 MAPP içeren J grubu kompozitlerin çekme direncinin diğer ısıtıl işlem görmüş mısır sapı unu içeren kompozitlerden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Termal işlem uygulaması sonucunda çekme direnci değerlerinde azalmalar gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar daha önceki çalışmalarda da bulunmuştur (Birinci ve diğ. 2016). Birinci ve diğ. (2016) ısıtıl işlem görmüş Uludağ göknarı odunu ununu içeren OPK'ların çekme direncinin ısıtıl işlem görmemiş gruba göre daha düşük olduğunu ve MAPP kullanımının çekme direnci değerlerini artırdığını bulmuşlardır.

Termal işlem süresi ve sıcaklığının çekme direnci değerleri üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir. Çekme direnci değerleri varyans analizi sonuçları Çizelge 4.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.21. Çekme direnci değerleri varyans analizi sonuçları.

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	3022,87	9	335,874	597,76	0,000
Grup İçi	50,57	90	0,562		
Genel	3073,44	99			

Varyans analizi sonuçlarına göre üretilen kompozitlerin çekme direnci değerleri bakımından %95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Çekme direnci değerleri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.22'de gösterilmiştir.

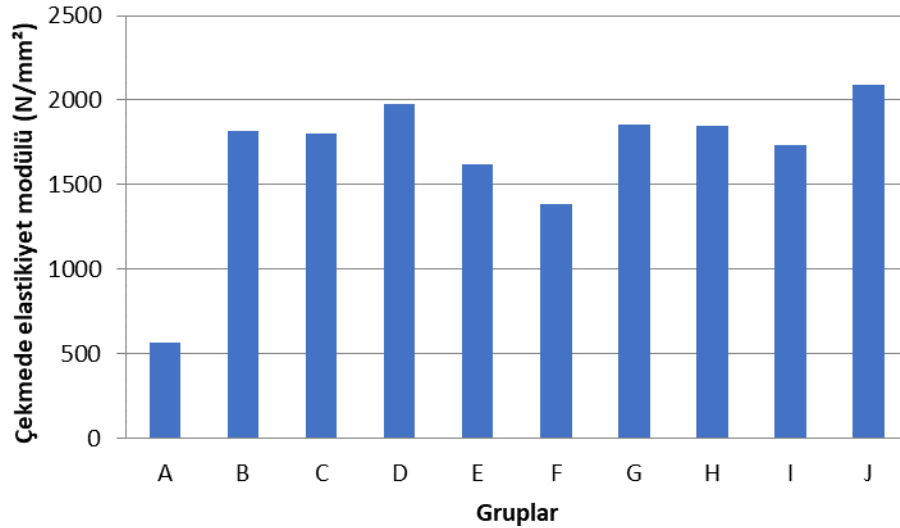
Çizelge 4.22. Çekme direnci değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$							
		1	2	3	4	5	6	7	8
I	10	11,8							
B	10	11,9	11,9						
G	10	12,1	12,1	12,1					
H	10		12,5	12,5					
E	10			12,8	12,8				
F	10				13,3				
D	10					14,7			
J	10						17,4		
C	10							20,8	
A	10								30,0
Önem düzeyi		0,290	0,083	0,061	0,124	1,000	1,000	1,000	1,000

Duncan testi sonuçlarına göre çekme direnci değerleri bakımından I-B-G grupları, B-G-H, G-H-E grupları ve E-F grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

4.2.2. Çekmede Elastikiyet Modülü

Üretilen kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.23'te ve Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Kompozit levhaların çekmede elastikiyet modülü değerleri grafiği.

Çizelge 4.23. Çekmede elastikiyet modülü değerleri tanımlayıcı istatistikler.

Grup	N	X (N/mm ²)	δ	SE	X _{min} (N/mm ²)	X _{max} (N/mm ²)	C _v (%)
A	10	565,4	18,1	5,7	541,0	591,7	3,2
B	10	1820,1	74,8	23,7	1639,7	1895,1	4,1
C	10	1806,0	404,8	128,0	727,0	2104,0	22,4
D	10	1974,7	87,2	27,6	1823,4	2109,5	4,4
E	10	1618,8	81,2	25,7	1473,6	1727,6	5,0
F	10	1386,2	176,0	55,6	1089,9	1662,6	12,7
G	10	1856,1	42,5	13,4	1777,8	1908,8	2,3
H	10	1846,5	37,5	11,8	1772,4	1890,9	2,0
I	10	1732,0	64,0	20,2	1597,4	1802,0	3,7
J	10	2092,7	187,7	59,4	1713,6	2366,5	9,0

%100 PP içeren A grubu kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değeri 565,4 N/mm² olarak bulunmuştur. %50 PP ve termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı unu içeren levhaların (B grubu) çekmede elastikiyet modülü değeri 1820,1 N/mm², termal işlem uygulanmış gruplarda çekmede elastikiyet modülü değerleri 1386,2 – 2092,7 N/mm² arasında değişmektedir.

20 dakika süre ile farklı sıcaklıklarda (140, 160, 180 °C) termal işlem uygulanan kompozitlerde (D-F-H) sıcaklığın artışı ile D ve H gruplarında çekmede elastikiyet modülünün arttığı gözlemlenirken F grubunda çekmede elastikiyet modülünün düştüğü gözlemlenmiştir. %3 MAPP eklenen J grubunun çekme direncinin diğer ısıtma işlem görmüş örneklerden daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

40 dakika süre ile farklı sıcaklıklarda (140, 160, 180 °C) termal işlem uygulanan örneklerde (E-G-I) sıcaklığın artışı ile E ve I gruplarında çekmede elastikiyet modülünü azalırken G grubunda çekmede elastikiyet modülünde artış gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar daha önceki çalışmalarda da bulunmuştur (Birinci ve diğ. 2016). Birinci ve diğ. (2016) ısıtma işlem görmüş Uludağ göknarı odunu ununu içeren OPK'ların çekmede elastikiyet modülü değerlerinin ısıtma işlem görmemiş gruba göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Termal işlem süresi ve sıcaklığının çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir. Çekmede elastikiyet modülü değerleri varyans analizi sonuçları Çizelge 4.24'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.24. Çekmede elastikiyet modülü değerleri varyans analizi sonuçları.

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	16855592,8	9	1872843,6	72,725	0,000
Grup İçi	2317726,5	90	25752,5		
Genel	19173319,3	99			

Varyans analizi sonuçlarına göre üretilen kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerleri bakımından %95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Çekmede elastikiyet modülü değerleri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.25'te gösterilmiştir.

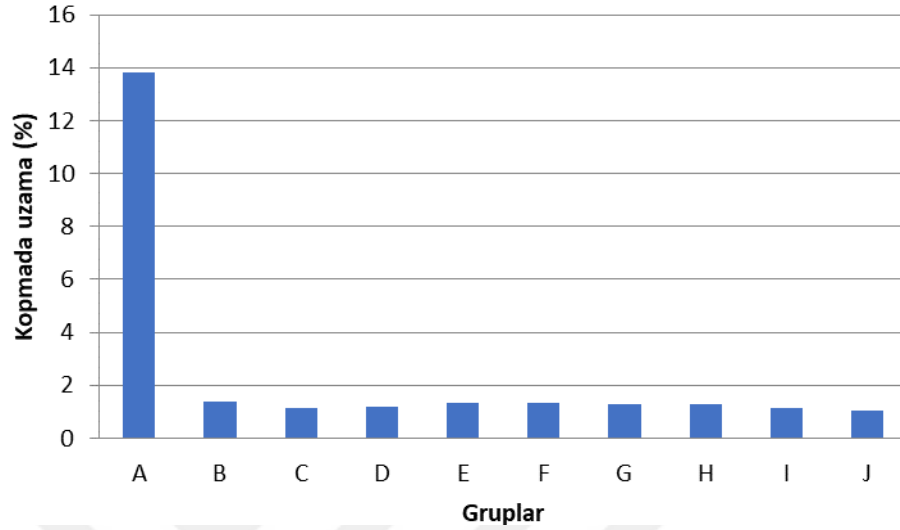
Çizelge 4.25. Çekmede elastikiyet modülü değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$					
		1	2	3	4	5	6
A	10	565,4					
F	10		1386,2				
E	10			1618,8			
I	10			1732,0	1732,0		
C	10				1806,0		
B	10				1820,1	1820,1	
H	10				1846,5	1846,5	
G	10				1856,1	1856,1	
D	10					1974,7	1974,7
J	10						2092,7
Önem düzeyi		1,000	1,000	0,118	0,128	0,051	0,104

Duncan testi sonuçlarına göre çekmede elastikiyet değerleri bakımından E-I grupları, I-C-B-H-G, B-H-G-D grupları ve D-J grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

4.2.3. Kopmada Uzama

Üretilen kompozitlerin çekmede uzama değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.26'da ve Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Kompozit levhaların kopmada uzama değerleri grafiği.

Çizelge 4.26. Kopmada uzama değerleri tanımlayıcı istatistikler.

Grup	N	X (%)	δ	SE	$X_{\min}$ (%)	$X_{\max}$ (%)	C_v (%)
A	10	13,8	0,4	0,1	13,4	14,6	3,2
B	10	1,4	0,2	0,1	1,0	1,6	14,8
C	10	1,1	0,2	0,1	0,9	1,6	21,4
D	10	1,2	0,1	0,0	1,0	1,3	8,1
E	10	1,3	0,2	0,1	1,0	1,6	12,8
F	10	1,3	0,1	0,0	1,2	1,4	5,1
G	10	1,3	0,2	0,0	0,9	1,4	12,3
H	10	1,3	0,1	0,0	1,1	1,4	8,9
I	10	1,2	0,2	0,1	1,0	1,5	13,7
J	10	1,0	0,1	0,0	0,9	1,1	6,6

%100 PP içeren A grubu kompozitlerin çekmede uzama değeri %13,8 olarak bulunmuştur. %50 PP ve termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı unu içeren levhaların (B grubu) çekmede uzama değeri %1,4 termal işlem uygulanmış gruplarda çekmede uzama değerleri %1,0-1,3 arasında değişmektedir.

20 dakika süre ile farklı sıcaklıklarda (140,160,180 °C) termal işlem uygulanan kompozitlerde (D-F-H) sıcaklıktaki artışın çekmede uzama değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir. %3 MAPP eklenen J grubunun çekmede uzama değerinin diğer ısıtma işlem görmüş örneklerden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

40 dakika süre ile farklı sıcaklıklarda (140,160,180 °C) termal işlem uygulanan örneklerde (E-G-I) sıcaklıktaki artışın çekmede uzama değerinde azalma gözlemlenmiştir.

Termal işlem süresi ve sıcaklığının çekmede uzama değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir. Çekmede uzama değerleri varyans analizi sonuçları Çizelge 4.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.27 Kopmada uzama değerleri varyans analizi sonuçları.

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	1432,217	9	159,135	3950,94	0,000
Grup İçi	3,625	90	0,040		
Genel	1435,842	99			

Varyans analizi sonuçlarına göre üretilen kompozit levhaların çekmede uzama değerleri bakımından %95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Çekmede uzama değerleri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.28’de gösterilmiştir.

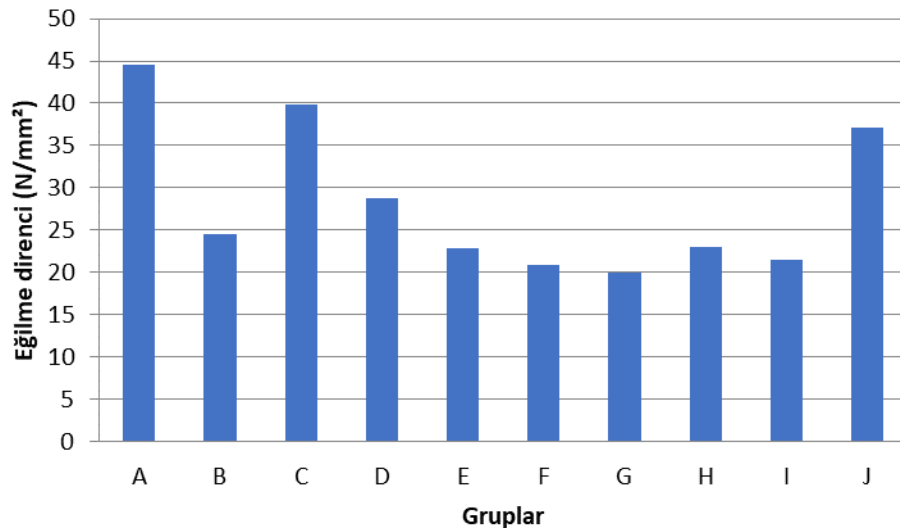
Çizelge 4.28. Kopmada uzama değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$				
		1	2	3	4	5
J	10	1,03				
C	10	1,12	1,12			
I	10	1,15	1,15	1,15		
D	10	1,17	1,17	1,17		
G	10		1,27	1,27	1,27	
H	10		1,28	1,28	1,28	
F	10			1,33	1,33	
E	10			1,34	1,34	
B	10				1,38	
A	10					13,84
Önem düzeyi		0,160	0,116	0,066	0,284	1,000

Duncan testi sonuçlarına göre çekmede uzama değerleri bakımından J-C-I-D grupları, C-I-D-G-H, I-D-G-H-F-E grupları ve G-H-F-E-B grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

4.2.4. Eğilme Direnci

Üretilen kompozitlerin eğilme direnci değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.29’da ve Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. Kompozit levhaların eğilme direnci değerleri grafiği.

Çizelge 4.29. Eğilme direnci değerleri tanımlayıcı istatistikler.

Grup	N	X (N/mm ²)	δ	SE	X _{min} (N/mm ²)	X _{max} (N/mm ²)	C _v (%)
A	10	44,6	2,0	0,6	41,5	46,9	4,5
B	10	24,5	1,1	0,4	22,9	25,8	4,6
C	10	39,8	3,2	1,0	35,7	45,5	8,0
D	10	28,8	2,2	0,7	25,4	32,2	7,6
E	10	22,9	2,2	0,7	20,3	26,5	9,6
F	10	20,8	1,8	0,6	17,5	23,7	8,9
G	10	20,0	2,3	0,7	16,3	23,8	11,3
H	10	23,0	2,0	0,6	18,7	25,8	8,7
I	10	21,5	2,0	0,6	18,0	24,8	9,5
J	10	37,1	2,5	0,8	33,1	41,4	6,6

%100 PP içeren A grubu kompozitlerin eğilme direnci değeri 44,6 N/mm² olarak bulunmuştur. %50 PP ve termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı unu içeren levhaların (B grubu) eğilme direnci değeri 24,5 N/mm², termal işlem uygulanmamış gruplarda eğilme direnci değerleri 21,5 – 37,1 N/mm² arasında değişmektedir.

20 dakika süre ile farklı sıcaklıklarda (140,160,180 °C) termal işlem uygulanan kompozitlerde (F-H) sıcaklıktaki artışın eğilme direnci değerlerini kontrol grubu levhalarına göre (B grubu) azalttığı, D kompozitinde ise arttırdığı gözlemlenmiştir. %3 MAPP eklenen J grubunun eğilme direnci değerinin diğer ısıtıl işlem görmüş örneklerden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

40 dakika süre ile farklı sıcaklıklarda (140,160,180 °C) termal işlem uygulanan örneklerde (E-G-I) sıcaklıktaki artışın eğilme direnci değerinde kontrol grubu levhalara göre azalma gözlemlenmiştir.

Ayrılmış ve diğ. (2011b) 120 °C, 150 °C ve 180 °C sıcaklıklarda 20 ve 40 dakika süre ile ısıtıl işlem uygulanmış okalıptüs odunu unu kullanılarak üretilen OPK'ların eğilme direnci değerlerinde istatistiki olarak anlamlı azalmalar olduğunu belirtmektedirler. En fazla azalmanın 180 °C'de 40 dakika süre ile ısıtıl işleme maruz kalmış grupta meydana geldiğini bulmuşlardır. 180 °C'de 40 dakika ısıtıl işlem görmüş odun unu içeren grubun eğilme direnci (21,0 MPa) değerinin kontrol grubuna (25,9 MPa) göre % 18,9 daha düşük olduğunu bulmuşlardır.

Termal işlem süresi ve sıcaklığının eğilme direnci değerleri üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir. Eğilme direnci değerleri varyans analizi sonuçları Çizelge 4.30’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.30. Eğilme direnci değerleri varyans analizi sonuçları.

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	7188,530	9	798,726	166,92	0,000
Grup İçi	430,664	90	4,785		
Genel	7619,194	99			

Varyans analizi sonuçlarına göre üretilen kompozitlerin eğilme direnci değerleri bakımından %95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.31’de gösterilmiştir.

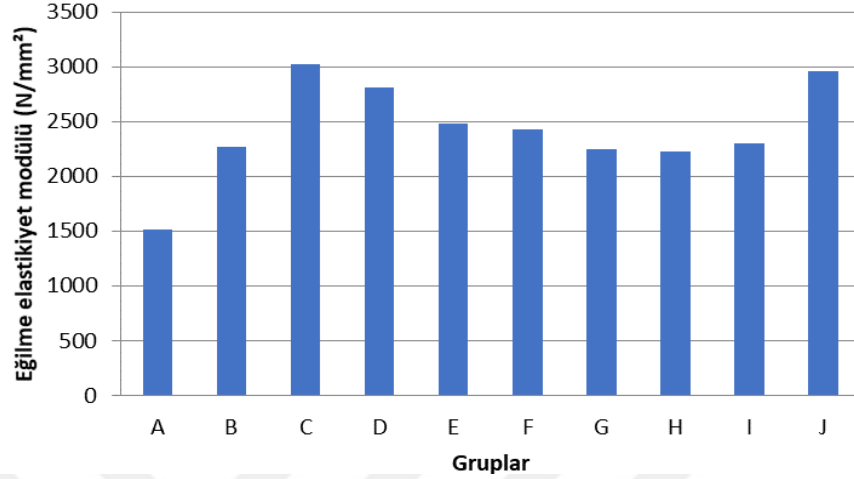
Çizelge 4.31 Eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$						
		1	2	3	4	5	6	7
G	10	20,0						
F	10	20,8						
I	10	21,5	21,5					
E	10		22,9	22,9				
H	10		23,0	23,0				
B	10			24,5				
D	10				28,8			
J	10					37,1		
C	10						39,8	
A	10							44,6
Önem düzeyi		0,136	0,163	0,131	1,000	1,000	1,000	1,000

Duncan testi sonuçlarına göre eğilme direnci değerleri bakımından G-F-I grupları, I-E-H grupları ve E-H-B grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

4.2.5. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Üretilen kompozit levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.32’de ve Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Kompozit levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri grafiği.

Çizelge 4.32. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri tanımlayıcı istatistikler.

Grup	N	X (N/mm ²)	δ	SE	X _{min} (N/mm ²)	X _{max} (N/mm ²)	C _v (%)
A	10	1511,7	101,6	32,1	1381,8	1694,8	6,7
B	10	2267,6	171,6	54,3	1931,2	2427,0	7,6
C	10	3024,4	278,9	88,2	2758,4	3465,6	9,2
D	10	2812,6	199,3	63,0	2547,6	3162,3	7,1
E	10	2485,8	149,3	47,2	2175,1	2723,9	6,0
F	10	2422,9	139,8	44,2	2152,6	2632,0	5,8
G	10	2246,8	119,4	37,8	2095,5	2453,1	5,3
H	10	2228,4	231,4	73,2	1598,1	2420,5	10,4
I	10	2295,2	96,6	30,6	2183,8	2465,7	4,2
J	10	2960,5	170,3	53,8	2778,0	3231,9	5,8

%100 PP içeren A grubu kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değeri 1511,7 N/mm² olarak bulunmuştur. %50 PP ve termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı unu içeren levhaların (B grubu) eğilmede elastikiyet modülü değeri 2267,7 N/mm² termal işlem uygulanmış gruplarda eğilmede elastikiyet modülü değerleri 2228,4 – 2960,5 N/mm² arasında değişmektedir.

20 dakika süre ile farklı sıcaklıklarda (140,160,180 °C) termal işlem uygulanan örneklerde (D-F) sıcaklıktaki artışın eğilmede elastikiyet modülü değerlerini kontrol grubuna kıyasla (B grubu) arttırdığı H kompozitinde ise eğilmede elastikiyet modülü değerlerini azalttığı gözlemlenmiştir. %3 MAPP eklenen J grubunun eğilmede elastikiyet modülü değerinin diğer ısıtma işlem görmüş örneklerden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Aynı süre (40 dakika) farklı ısıtma değerleri (140,160,180 °C) uygulanan örneklerde (E-G-I) sıcaklıktaki artışın eğilmede elastikiyet modülü değerinde azalma gözlemlenmiştir.

Ayrılmış ve diğ. (2011b) 120 °C, 150 °C ve 180 °C sıcaklıklarda 20 ve 40 dakika süre ile ısıtma işlem uygulanmış okaliptüs odunu unu kullanılarak üretilen OPK'ların eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde istatistiki olarak anlamlı azalmalar olduğunu belirtmektedirler. En az azalmanın (%7,4) 120 °C 'de 20 dakika süre ile ısıtma işlem uygulanmış OPK'da, en fazla azalmanın ise 180 °C'de 40 dakika ısıtma işlem görmüş odun unu içeren OPK' da olduğunu belirtmişlerdir.

Termal işlem süresi ve sıcaklığının eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri varyans analizi sonuçları Çizelge 4.33'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.33. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri varyans analizi sonuçları.

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	17461002,5	9	1940111,4	63,546	0,000
Grup İçi	2747784,1	90	30530,9		
Genel	20208786,6	99			

Varyans analizi sonuçlarına göre üretilen kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri bakımından %95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.34'te gösterilmiştir.

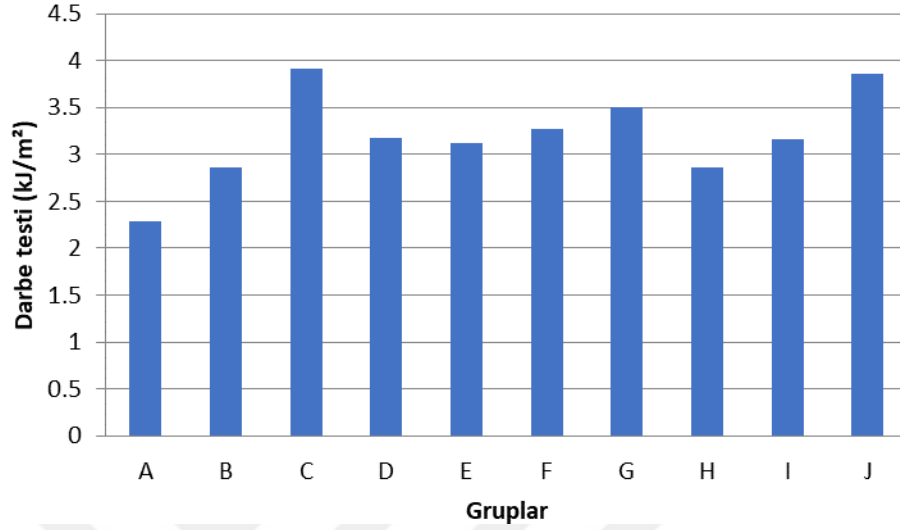
Çizelge 4.34. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$					
		1	2	3	4	5	6
A	10	1511,7					
H	10		2228,4				
G	10		2246,8				
B	10		2267,6	2267,6			
I	10		2295,2	2295,2			
F	10			2422,9	2422,9		
E	10				2485,8		
D	10					2812,6	
J	10					2960,5	2960,5
C	10						3024,4
Önem düzeyi		1,000	0,444	0,062	0,423	0,062	0,416

Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede elastikiyet modülü değerleri bakımından H-G-B-I grupları, B-I-F, F-E, D-J, grupları ve J-C grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

4.2.6. Darbe Direnci

Üretilen kompozitlerin darbe direnci değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.35'te ve Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Kompozit levhaların darbe testi değerleri.

Çizelge 4.35. Darbe direnci değerleri tanımlayıcı istatistikler.

Grup	N	X (kJ/m ²)	δ	SE	X _{min} (kJ/m ²)	X _{max} (kJ/m ²)	C _v (%)
A	10	2,3	0,8	0,2	1,8	4,2	33,0
B	10	2,9	0,8	0,2	1,5	4,1	26,8
C	10	3,9	0,7	0,2	2,6	4,8	16,9
D	10	3,2	0,5	0,2	2,6	3,9	15,1
E	10	3,1	0,4	0,1	2,4	4,1	14,3
F	10	3,3	0,5	0,1	2,9	4,4	14,2
G	10	3,5	0,7	0,2	2,9	5,0	20,9
H	10	2,9	0,5	0,1	2,4	3,6	16,2
I	10	3,2	1,0	0,3	1,5	5,1	30,6
J	10	3,9	0,5	0,2	3,3	5,1	13,5

%100 PP içeren A grubu kompozitlerin darbe direnci değeri 2,3 kJ/m² olarak bulunmuştur. %50 PP ve termal işlem uygulanmamış %50 mısır sapı unu içeren levhaların (B grubu) darbe direnci değeri 2,9 kJ/m², termal işlem uygulanmış gruplarda darbe direnci değerleri 2,9-3,9 kJ/m² arasında değişmektedir.

20 dakika süre ile farklı sıcaklıklarda (140,160,180 °C) termal işlem uygulanan kompozitlerde (D-F) sıcaklıktaki artışın darbe direncini kontrol grubuna kıyasla (B grubu) arttırdığı gözlenmiştir. H kompozitlerinde darbe değerinin değişmediği gözlemlenmiştir. %3 MAPP eklenen J grubunun darbe direnci değerinin diğer ısıtma işlem görmüş örneklerden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

40 dakika süre ile farklı sıcaklıklarda (140,160,180 °C) termal işlem uygulanan kompozitlerde (E-G-I) sıcaklıktaki artışın darbe direnci değerlerinin kontrol grubuna göre arttığı gözlemlenmiştir.

Termal işlem süresi ve sıcaklığının darbe direnci değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir. Darbe direnci değerleri varyans analizi sonuçları Çizelge 4.36’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.36. Darbe direnci değerleri varyans analizi sonuçları.

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar Arası	21,203	9	2,356	5,614	0,000
Grup İçi	37,770	90	0,420		
Genel	58,974	99			

Varyans analizi sonuçlarına göre üretilen kompozitlerin darbe direnci değerleri bakımından %95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Darbe direnci değerleri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.37’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.37. Darbe direnci değerleri Duncan testi sonuçları.

Grup	Örnek Sayısı	$\alpha = 0,05$			
		1	2	3	4
A	10	2,29			
H	10	2,86	2,86		
B	10	2,87	2,87		
E	10		3,12		
I	10		3,16		
D	10		3,17		
F	10		3,27	3,27	
G	10		3,50	3,50	3,50
J	10			3,87	3,87
C	10				3,92
Önem düzeyi		0,061	0,058	0,054	0,175

Duncan testi sonuçlarına göre darbe direnci değerleri bakımından A-H-B grupları, H-B-E-I-D-F-G, F-G-J grupları ve G-J-C grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Termal işlem uygulanmamış ve uygulanmış mısır sapı kullanılarak üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri 1,09-1,11 g/cm³ arasında bulunmuştur. % 100 PP içeren A grubu hariç diğer kompozitlerin yoğunluk değerleri arasında istatistiki olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır.

Termal işlem uygulanmamış ve uygulanmış mısır sapı kullanılarak üretilen kompozitlerin 2 saat, 24 saat, 48 saat, 72 saat, 96 saat ve 1 hafta su alma değerleri %100 PP içeren kompozitlerle karşılaştırıldığında daha yüksek bulunmuştur.

140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış mısır sapı içeren kompozitlerin 2 saat su alma değerleri termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha düşük bulunmuştur. 140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulaması sonucunda 2 saat su alma değerinin %26 oranında azaldığı tespit edilmiştir. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde 2 saat su alma değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin 2 saat su alma değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %52,5 daha düşük bulunmuştur.

140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış mısır sapı içeren kompozitlerin 24 saat su alma değerleri termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha düşük bulunmuştur. 140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulaması sonucunda 24 saat su alma değerinin %9 oranında azaldığı tespit edilmiştir. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde 24 saat su alma değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin 24 saat su alma değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %47 daha düşük bulunmuştur.

140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış mısır sapı içeren kompozitlerin 48 saat su alma değerleri termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha düşük bulunmuştur. 140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulaması sonucunda 48 saat su alma değerinin %3 oranında azaldığı tespit edilmiştir. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde 48 saat su alma değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin 48 saat su alma değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %42 daha düşük bulunmuştur.

140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış mısır sapı içeren kompozitlerin 72 saat su alma değerleri termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha düşük bulunmuştur. 140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulaması sonucunda 72 saat su alma değerinin %0,7 oranında azaldığı tespit edilmiştir. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde 72 saat su alma değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin 72 saat su alma değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %38 daha düşük bulunmuştur.

MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde 96 saat su alma değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin 96 saat su alma değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %37 daha düşük bulunmuştur.

MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde 1 hafta su alma değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin 1 hafta su alma değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %33 daha düşük bulunmuştur.

180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış mısır sapı içeren kompozitlerin 2 saat kalınlık artımı değerleri termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha düşük bulunmuştur. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem

uygulanması sonucunda 2 saat kalınlık artımı değeri %15 oranında azaldığı tespit edilmiştir. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde 2 saat kalınlık artımı değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin 2 saat kalınlık artımı değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %5 daha düşük bulunmuştur.

180 °C’de 40 dakika süre ile termal işlem uygulanmış mısır sapı içeren kompozitlerin 24 saat kalınlık artımı değerleri hariç diğer tüm termal işlem uygulanmış grupların termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre kalınlık artımı değerleri daha düşük bulunmuştur. 160 °C’de 40 dakika süre ile termal işlem uygulanması sonucunda 2 saat kalınlık artımı değeri %11 oranında azaldığı tespit edilmiştir. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde 2 saat kalınlık artımı değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin 2 saat kalınlık artımı değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %59 daha düşük bulunmuştur.

180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış mısır sapı içeren kompozitlerin 48 saat kalınlık artımı değerleri termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha düşük bulunmuştur. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanması sonucunda 48 saat kalınlık artımı değeri %6 oranında azaldığı tespit edilmiştir. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde 48 saat kalınlık artımı değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin 48 saat kalınlık artımı değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %42 daha düşük bulunmuştur.

140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış mısır sapı içeren kompozitlerin 72 saat kalınlık artımı değerleri termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha düşük bulunmuştur. 140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanması sonucunda 72 saat kalınlık artımı değeri %6 oranında azaldığı tespit edilmiştir. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde 72 saat kalınlık artımı değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren

kompozitlerin 72 saat kalınlık artımı değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %39 daha düşük bulunmuştur.

180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış mısır sapı içeren kompozitlerin 96 saat kalınlık artımı değerleri termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha düşük bulunmuştur. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulaması sonucunda 96 saat kalınlık artımı değerinin %1 oranında azaldığı tespit edilmiştir. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde 96 saat kalınlık artımı değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin 96 saat kalınlık artımı değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %37 daha düşük bulunmuştur.

MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde 1 hafta kalınlık artımı değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin 1 hafta kalınlık artımı değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %35 daha düşük bulunmuştur.

180 °C’de 40 dakika süre ile termal işlem uygulanmış mısır sapı içeren kompozitlerin çekme direnci değerleri termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha düşük bulunmuştur. 180 °C’de 40 dakika süre ile termal işlem uygulaması sonucunda çekme direnci değerinin %0,8 oranında azaldığı tespit edilmiştir. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde çekme direnci değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin çekme direnci değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %28 daha yüksek bulunmuştur.

140 °C’de 20 dakika, 160 °C’de 40 dakika ve 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış mısır sapı içeren kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerleri termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha yüksek bulunmuştur. 140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulaması sonucunda çekmede elastikiyet modülü değerinin %7 oranında arttığı tespit edilmiştir. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde çekmede

elastikiyet modülü değerlerinde belirgin iyileşme olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %11 daha yüksek bulunmuştur.

140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış mısır sapı içeren kompozitlerin kopmada uzama değerleri termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha düşük bulunmuştur. 140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulaması sonucunda kopmada uzama değerinin %14 oranında azaldığı tespit edilmiştir. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde kopmada uzama değerlerinde belirgin azalma olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin kopmada uzama değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %23 daha düşük bulunmuştur.

140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış mısır sapı içeren kompozitlerin eğilme direnci değerleri termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha yüksek bulunmuştur. 140 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulaması sonucunda eğilme direnci değerinin %14 oranında arttığı tespit edilmiştir. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde eğilme direnci değerlerinde belirgin artma olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin eğilme direnci değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %38 daha yüksek bulunmuştur.

H grubu dışında termal işlem görmüş tüm grupların eğilmede elastikiyet modülü değerleri termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha yüksek bulunmuştur. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde belirgin artma olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin elastikiyet modülü değeri, aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %24 daha yüksek bulunmuştur.

Termal işlem görmüş tüm grupların darbe direnci değerleri, termal işlem uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlere (B grubu) göre daha yüksek bulunmuştur. MAPP içeren termal işlem uygulanmış ve uygulanmamış mısır sapı içeren kompozitlerde darbe direnci değerlerinde belirgin artma olduğu tespit edilmiştir. 180 °C’de 20 dakika süre ile termal işlem uygulanmış MAPP içeren kompozitlerin darbe direnci değeri aynı sıcaklık ve sürede termal işlem uygulanmış MAPP içermeyen kompozitlere göre %25 daha yüksek bulunmuştur.



6. KAYNAKLAR

- Alen, R., Kotilainen, R., & Zaman, A. (2002). Thermochemical behavior of Norway spruce (*Picea abies*) at 180–225 °C. *Wood Science and Technology*, 36, 163–171.
- Avcı, E. (2012). ‘Ahşap Plastik Kompozitlerin Kullanım Performansları Üzerine Araştırmalar’, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Almeida, G., Brito, J.O., & Perré, P. (2009). Changes in wood-water relationship due to and fourier transform infrared studies of thermally modified wood exposed to brown and soft rot fungi. *Applied Spectroscopy*, 57, 266–273.
- Aydemir, D., Kızıldaş, A., Kızıldaş, E.E., Gardner, D.J., & Gündüz, G. (2015). Het treated wood–nylon 6 composites. *Composites Part B: Engineering*, 68, 414-423.
- Ayrılmış, N., Büyüksarı, U., & Dünder, T. (2010). Waste Pine Cones as a Source of Reinforcing Fillers for Thermoplastic Composites. *Journal of Applied Polymer Science* 117,2324-2330.
- Ayrılmış, N., & Büyüksarı, U. (2010). Utilization of olive mill sludge in manufacture of lignocellulosic/polypropylene composite. *Journal of Materials Science*, 45(5),1336-1342.
- Ayrılmış, N., Jarusombuti, S., Fueangvivat, V., Bauchongkol, P., & White, R.H. (2011a). Coir fiber reinforced polypropylene composite panel for automotive interior applications. *Fibers and Polymers*, 12(7),919-926.
- Ayrılmış, N., Jarusombuti, S., Fueangvivat, V., & Bauchongkol, P. (2011b). Effect of thermal-treatment of wood fibres on properties of flat-pressed wood plastic composites. *Polymer Degradation Stability*, 96,818-822.
- Bekhta, P., & Niemz, P. (2003). Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of Spruce wood. *De Gruyter*, 57, 539–546.
- Bengtsson, C., Jermer, J., & Brem, F. (2002). Bending strength of heat-treated spruce

- and pine timber. İçinde *International Research Group Wood Pre, Section 4-Processes*, No. IRG/WP 02-40242.
- Birinci, E., Kaymakçı, A., Dündar, T., Ayrılmış, N. (2016). Effect of Heat-Treatment on Some Properties of Wood Plastic Composites. İçinde *International Forestry Symposium*, (ss. 832-838).
- Clemons, C. (2002). Wood-Plastic Composites in the United States The Interfacing of Two Industries. *Forest Product Journal*, 52 (6), 10-17.
- Çavdar, A.D., Kalaycıoğlu, H., & Mengeloğlu, F. (2011). Tea mill waste filled thermoplastic composites: the effects of plastic type and fiber loading. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 1-12.
- Daniel, F.C., Craig, C., Rodney, E.J., & Roger, M.R. (2005). Wood Thermoplastic Composites. İçinde *Handbook of wood chemistry and wood composites* (ss. 365 – 378). CRC Press.
- Epmeier, H., Bengtsson, C., & Westin, M. (2001). Effect of acetylation and heat treatment on dimensional stability and MOE of spruce timber. İçinde *Proceedings for the first conference of the European Society For Wood Mechanics*.
- Esteves, B.M., & Pereira, H.M. (2009). Wood modification by Heat treatment: Review. *BioResources*, 4(1), 370-404.
- Ezdeşir, A., Erbay, E., Taşkıran, İ., Yağcı, M.A., Cöbek, M., Bilgiç, T. (1999). *Polimerler*. İstanbul: PAGEV.
- Follrich, J., Muller, U., & Gindl, W. (2006). Effects of thermal modification on the adhesion between spruce wood and a thermoplastic polymer. *Holz Roh- Werkst*, 64, 373–376.
- Gassan, J., & Bledzki, A.K. (1997). Influence of Fiber-Surface Treatment on The Mechanical Properties of Jute-Polypropylene Composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 28 (12), 1001-1005.
- Gerardin, P., Petric, M., Petrissans, M., Lambert, J., & Ehrhardt, J.J. (2007). Evolution of wood surface free energy after heat treatment. *Polymer Degradation Stability*, 92, 653–657.

- Gonzalez-Pena, M., Breese, M., & Hill, C. (2004). Hygroscopicity in heat-treated wood: effect of extractives. İçinde *International conference on environmentally compatible forest products, ICECFOP 2004* (ss. 105–119).
- Hakkou, M., Petrissans, M., Zoulalian, A., & Gerardin, P. (2005). Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. *Polymer Degradation Stability*, 89, 1–5.
- Hakkou, M., Petrissans, M., Gerardin, P., & Zoulalian, A. (2006). Investigation of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood. *Polym Degrad Stab*, 91, 393–397.
- Jamsa, S., Viitaniemi, P., *Rapp A.O.* (2001). Heat treatment of wood better durability without chemicals. İçinde *Proceedings of the Special Seminar*, (ss. 17–22).
- Kamdem, D.P., Pizzi, A., & Triboulot, M.C. (2000). Heat-treated timber: potentially toxic byproducts presence and extent of wood cell wall degradation. *Holz Roh Werkst*, 58, 253–257.
- Kamdem, D.P., Pizzi, A., & Jermannaud, A. (2002). Durability of heat-treated wood. *Holz Roh- Werkst*, 60, 1–6.
- Karakuş, K., Güleç, T., Kaymakçı, A., Tekin, S., & Mengeloğlu, F. (2008). Geri Dönüşüm Yüksek Yoğunluklu Polietilen Esaslı Polimer Kompozit Üretiminde Fıstık Kabuğu Kullanılması. İçinde *I. Ulusal Batı Karadeniz Ormancılık Kongresi*, (ss. 264-267).
- Karakuş, K., Güleç, T., Kaymakçı, A., & Mengeloğlu, F., (2010). Mısır sapı unlarının dolgu maddesi olarak polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi, Ambalaj, Plastik, Gıda, Makine, Kalıp. *Otomasyon Teknolojileri Dergisi*, 46-50.
- Kaymakçı, A., Güleç, T., Karakuş, K., Kayış, S., & Mengeloğlu, F. (2008). Pamuk Karpeli ve Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Polimer Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi. İçinde *I. Ulusal Batı Karadeniz Ormancılık Kongresi* (ss. 273-277).
- Kaymakçı, A., & Ayrılmış, N. (2014). Waste chestnut shell as a source of reinforcing fillers for polypropylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27(8), 1054-1064.

- Kaymakçı, A., Ayrılmış, N., Özdemir, F., & Güleç, T. (2013). Utilization of Sunflower Stalk in Manufacture of Thermoplastic Composite. *Journal of Polymers and The Environment*, 21(4), 1135-1142.
- Kim, G.H., Yun, K.E., & Kim, J.J. (1998). Effect of heat treatment on the decay resistance and the bending properties of radiata pine sapwood. *Organismen*, 32, 101–108.
- Kocaefe, D., Poncsak, S., Doré, G., & Younsi, R. (2008). Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water. *Holz Roh- Werkst*, 66, 355–361.
- Kollmann, F., & Schneider, A. (1963). The sorption behavior of heat-treated wood. *Holz Roh- Werks*, 21(3), 77–85.
- Kubojima, Y., Okano, T., & Ohta, M. (2000). Bending strength and toughness of heat-treated wood. *Journal of Wood Science*, 46, 8–15.
- Lia, H., & Saina, M.M. (2003). High Stiffness Natural Fiber-Reinforced Hybrid Polypropylene Composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 42(5), 853-862.
- Matuana, L.M., & Heiden, P.A. (2004). Wood Composites, *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 12, 521-546.
- Mburu, F., Dumarçay, S., Huber, F., Pétrissans, M., Gérardin, P. (2006). *Improvement of Grevillea robusta durability using heat treatment*. International Research Group on Wood Preservation.
- Mengeloğlu, F., & Karakuş, K. (2008). Polymer-Composites from Recycled High Density Polyethylene and Waste Lignocellulosic Materials, *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (2), 211-217.
- Mengeloğlu, F., & Karakuş, K. (2012). Mechanical properties of injection-molded foamed wheat straw filled HDPE biocomposites: The effects of filler loading and coupling agent contents. *BioResources*. 7(3), 3293-3305.
- Metsä-Kortelainen, S., Antikainen, T., & Viitaniemi, P. (2006). The water absorption of sapwood and heartwood of Scots pine and Norway spruce heat-treated at 170 °C, 190 °C, 210 °C and 230 °C. *Holz Roh- Werks*, 64, 192–197.

- Mitchell, P.H. (1988). Irreversible property changes of small loblolly pine specimens heated in air, nitrogen, or oxygen. *Wood and Fiber Science*, 20 (3), 320–355.
- Mo, X., Wang, D., Sun, A.K., Misra, L.T., & Drzal, X.S. (2005). Straw based biomass and Biocomposites. İçinde *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites Mohanty* (ss. 473-496). CRC Press.
- Nakano, T., & Miyazaki, J. (2003). Surface fractal dimensionality and hygroscopicity for heated wood. *De Gruyter*, 57, 289–294.
- Ohmae, Y., Saito, Y., Inoue, M., & Nakano, T. (2009). Mechanism of water adsorption capacity change of bamboo by heating. *European Journal of Wood and Wood Products*, 67, 13–18.
- Petrissans, M., Gerardin, P., El Bakali, I., & Serraj M. (2003). Wettability of Heat-Treated Wood. *Holzforschung*, 57, 301–307.
- Rapp, A.O. (2001). Review on Heat Treatments of Wood, Environmental optimisation of wood protection. İçinde *Proceedings of Special Seminar*.
- Ray, D., & Rout, J. (2005). Thermoset Biocomposites, İçinde *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites Mohanty* (ss. 291-345). CRC Press.
- Rowell, R.M., Young, R.A., Rowell, J.K. (1997). *Paper and Composites İçinde Agro – Based Resources*. Florida, CRC Press.
- Rowell, R.M. (2006). Advances and Challenges of Wood Polymer Composites. İçinde *Proceedings of the 8th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium* (ss. 20 – 23).
- Sanadi, A.R., Walz, K., Wieloch, L., Jacobson, R.E., Caulfield, D.E., Rowell, R.M. (1995). Effect of Matrix Modification on Lignocellulosic Composite Properties. İçinde *Woodfiber-Plastic Composites Virgin and Recycled Wood Fiber and Polymer for Composites, Madison 1995* (ss. 166-172).
- Sernek, M., Kamke, F.A., & Glasser, W.G. (2004). Comparative analysis of inactivated wood surface. *Holzforschung*, 58, 22–31.
- Shi, J.L., Kocaefe, D., & Zhang, J. (2007). Mechanical behaviour of Québec wood species heat treated using ThermoWood process. *Holz Roh- Werkst*, 65(4), 255-

- Sivonen, H., Maunu, S.L., Sundholm, F., Jamsa, S., & Viitaniemi, P. (2002). Magnetic Resonance Studies of Thermally Modified Wood. *Holzforschung*, 56, 648–654.
- Suinaç, Ö.F. (2007). ‘Odun Polimer Kompozitlerinin Üretimi, Özellikleri ve Kullanım Yerleri Üzerine Araştırmalar’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Ünsal, O., & Ayrılmış, N. (2005). Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish river red gum wood. *Journal Of Wood Science*, 51, 405–409.
- Viitaniemi, P., Jamsa, S., & Viitanen, H. (1997). *Method for improving biodegradation resistance and dimensional stability of cellulosic products*, US Patent 5678324.
- Wang, J., & Cooper, P. (2005). Effect of oil type, temperature and time on moisture properties of hot oil-treated wood. *Holz Roh-Werkst*, 63, 417–422.
- Yıldız, S. (2002). ‘Physical, mechanical, technological and chemical properties of beech and spruce wood treated by heating’, Doktora Tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gökhan YILMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 24.05.1992 DÜZCE
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gokany06g@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Orman Endüstri Müh.	Düzce Üniversitesi	2020
Lisans	Orman Endüstri Müh.	Düzce Üniversitesi	2016
Lise	Sayısal	Düzce Atatürk Anadolu Lisesi	2010

YAYINLAR

Yılmaz, G., & Buyuksarı, U. (2020). Termal işlemin mısır saplarından üretilen biyo-kompozitlerin boyut stabilitesi üzerine etkisi. *ICAR uluslararası akademik araştırmalar kongresi*.