

**T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİTKİSEL ATIK YAĞLAR VE ATIK GAZETE KAĞIDI LİFLERİNİN
ATIK POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİNDE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mevlüt ÖZDEMİR

**Danışman
Doç. Dr. Emrah PEŞMAN**

**Eş Danışman
Doç. Dr. Sevda BORAN TORUN**

ARTVİN-2021

**T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİTKİSEL ATIK YAĞLAR VE ATIK GAZETE KAĞIDI LİFLERİNİN
ATIK POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİNDE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mevlüt ÖZDEMİR

**Danışman
Doç. Dr. Emrah PEŞMAN**

**Eş Danışman
Doç. Dr. Sevda BORAN TORUN**

ARTVİN-2021

JÜRİ TEZ KABUL TUTANAĞI
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Doç. Dr. Emrah PEŞMAN danışmanlığında, Mevlüt ÖZDEMİR tarafından hazırlanan çalışma 11/03/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin PEKER İmza:.....

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Ayfer DÖNMEZ ÇAVDAR İmza:.....

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Emrah PEŞMAN İmza:.....

Yukarıdaki imzalar adı geçen öğretim üyelerine aittir.

..../03/2021
Doç. Dr. Hamit ŞAFAKCI
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Bitkisel Atık Yağlar Ve Atık Gazete Kağıdı Liflerinin Atık Polipropilen Kompozitlerinde Değerlendirilmesi” adlı bu çalışma Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmanın tüm aşamaları AÇÜ Orman Fakültesi, Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana beraber çalışma fırsatı vererek yakın ilgi, teşvik ve tavsiyelerini esirgemeyen çalışmanın her safhasında bilgi desteği ile bana yol gösteren Sayın Hocam Doç. Dr. Emrah PEŞMAN’a ve Sevda BORAN TORUN’ a sonsuz şükranlarımı sunmayı zevkli bir borç bilirim.

Tez çalışmam sırasında yardımları ve fikirleriyle bana destek olan birlikte çalışmaktan zevk aldığım Sayın Koray TORUN’ a teşekkür ederim.

Tez yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Sayın Ceren Başar’a teşekkür ederim.

Son olarak, beni her zaman büyük bir özveri ile destekleyen sevgili aileme gönülden teşekkür ederim.

Mevlüt ÖZDEMİR
Artvin - 2021

TEZ BEYANNAMESİ

Artvin oruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-ğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “Bitkisel Atık Yağlar ve Atık Gazete Kâğıdı Liflerinin Atık Polipropilen Kompozitlerinde Değerlendirilmesi” adlı tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Artvin oruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim-ğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

- ☒ Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezim sadece Artvin oruh niversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- ☐ Teziminay süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu srenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

31/03/2021

İmza

Mevlüt ÖZDEMİR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
TEZ BEYANNAMESİ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VII
TABLolar DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
KISALTMALAR DİZİNİ.....	XI
1 GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler	2
1.2 Literatür Çalışması	3
1.2.1 Odun Kompozitleri	3
1.2.2 Odun Plastik Kompozitlerin Tanımı.....	3
1.2.3 Odun Plastik Kompozitlerin Tarihi Gelişimi.....	4
1.2.4 Odun Plastik Kompozitlerin Kullanım Alanları	5
1.2.5 Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Avantajları	7
1.2.6 Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Dezavantajları.....	7
1.2.7 Odun Plastik Kompozitlerinde Kullanılan Hammaddeler	8
1.2.7.1 Odunsu Materyal	8
1.2.7.2 Atık Gazete Kağıdı	8
1.2.7.3 Diğer Lignoselülozik Hammaddeler	9
1.2.7.3.1 Tarımsal Atıklar.....	9
1.2.7.3.1.1 Bitkisel Atık Yağlar	11
1.2.8 Plastikler	12
1.2.8.1 Plastiklerin Genel Özellikleri	13
1.2.8.1.1 Görünüm.....	13
1.2.8.1.2 Yüzey Özellikleri.....	13
1.2.8.1.3 Yoğunluğu	13
1.2.8.1.4 Isıl Özellikleri.....	13

1.2.8.1.5	Kimyasal Özellikler	14
1.2.8.1.6	Mekanik Özellikler	14
1.2.8.2	Plastiklerin Sınıflandırması	15
1.2.8.2.1	Termoplastikler.....	15
1.2.8.2.1.1	Poliiolefinler.....	15
1.2.8.2.1.1.1	Polietilen	15
1.2.8.2.1.1.2	Polipropilen.....	16
1.2.8.2.2	Termosetler.....	18
1.2.8.2.3	Elastomerler.....	18
1.2.9	Odun Plastik Kompozit Üretim Teknolojisi.....	18
1.2.9.1	Ekstrüzyon Yöntemiyle OPK Üretimi	19
1.2.9.2	Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi ile OPK Üretimi	20
1.2.9.3	Basınçlı Kalıplama ile OPK Üretimi	22
2	MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
2.1	Materyal.....	23
2.1.1	Lignoselülozik Dolgu Maddesi	23
2.1.2	Termoplastik Polimer	23
2.1.3	Kullanılan Diğer Katkı Maddeleri.....	23
2.2	Yöntem	24
2.2.1	Lignoselülozik Dolgu Maddeli Termoplastik Kompozitlerin Üretimi.....	24
2.2.1.1	Lignoselülozik Dolgu Maddelerinin Hazırlanışı	24
2.2.1.2	Kompozit Levha Üretimi.....	25
2.3	Araştırma Yöntemi	26
2.3.1	Malzemenin FTIR-ATR ile Karakterizasyonu	26
2.3.2	Mekanik Özellikler	27
2.3.2.1	Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	27
2.3.2.2	Çekme Özellikleri.....	28
2.3.3	Isıl Özellikler	29
2.3.3.1	Termogravimetrik Analiz (TGA)	30
2.3.3.2	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)	30
3	BULGULAR.....	32
3.1	Mekanik Özelliklere Ait Bulgular	32
3.1.1	Eğilme Özellikleri.....	32

3.1.2	Çekme Özellikleri.....	32
3.2	Termal Özelliklere Ait Bulgular	33
3.2.1	Termogravimetrik Analizlere Ait Bulgular	33
3.2.2	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizine Ait Bulgular.....	34
4	İRDELEME	36
4.1	Lif-PP Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu	36
4.1.1	Lif-Plastik Kompozitlerin FTIR-ATR Spektrumları	36
4.2	Mekanik Özellikler	39
4.2.1	Eğilme Özellikleri.....	39
4.2.2	Çekme Özellikleri.....	42
4.3	Termal Özellikler	44
4.3.1	Termogravimetrik (TGA) Analizler	44
4.3.2	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizleri	51
5	SONUÇ VE ÖNERİLER	56
	KAYNAKLAR.....	58
	ÖZGEÇMİŞ.....	64

ÖZET

BİTKİSEL ATIK YAĞLARIN VE ATIK GAZETE KAĞIDI LİFLERİNİN ATIK POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada lignoselülozik dolgu maddesi olarak atık gazete kâğıdı, bitkisel atık yağlar kullanılmış, polimer olarak da atık polipropilen (rPP) kullanılmıştır.

Atık gazete kâğıdı öğütölüp ve yaklaşık 24 saat boyunca 60°C’i de kurutma fırınında bekletildikten sonra hassas terazide belirli oranlarda atık polipropilen ile karıştırıldıktan sonra tartılarak kompozit malzeme üretilmek üzere bu hazırlanan karışımlar ısı işlem görmesi için 170,175,180,185° C° ısı kademelerinde ayarlanmış olan ekstrüzyon makinasına konulmuştur. Ekstrüzyon yöntemiyle üretilen odun-plastik kompozitlerin (OPK) performans özellikleri belirlenmiştir.

Üretilen levhaların performansları mekanik ve termal özellikleri belirlenerek değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında; Tümüyle atık olan bileşenlerin kompozit üretiminde kullanılabilir olduğu ve vakslar gibi atık bitkisel yağların kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: rPP, Atık Gazete Kâğıdı, Bitkisel Atık Yağlar, OPK, Termoplastik, Polimer, Kompozit

SUMMARY

EVALUATION OF VEGETABLE WASTE OILS AND WASTE NEWSPRINT FIBERS IN WASTE POLYPROPYLENE COMPOSITES

In this study, waste newspaper, vegetable waste oils and waste polypropylene (rPP) as a polymer were used as lignocellulosic filler.

The Waste newsprint paper is grinded and kept in a drying oven at 60 ° C for about 24 hours, then mixed with waste polypropylene in certain proportions on a precision scale and weighed to produced composite material, these prepared mixtures are sent to the extrusion machine set at 170, 175, 180, 185 ° C temperature levels for heat treatment, has been put. Performance characteristics of wood-plastic composites (OPK) produced by extrusion method were determined.

The performances of the produced plates were evaluated by determining their mechanical and thermal properties. In the light of the results obtained; Of all waste components can be used in composite production It was concluded that waste vegetable oils such as waxes could be used.

Keywords: rPP, Waste Newsprint, Vegetable Waste oils, OPK, Thermoplastic, Polymer, Composite

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Türkiye’de çeşitli tarım ürünlerinin 2018 yılı üretim verileri ve bazı tarımsal ürünlere ait atık miktarları(ton).....	10
Tablo 2. Polietilenlerin genel yoğunluk ve erime akış indeksleri	16
Tablo 3. Yüksek yoğunluklu polipropilen (YPP) özellikleri.....	23
Tablo 4. Atık gazete kağıdı ve bitkisel atık yağlar ile atık polipropilenin karışım oranları	26
Tablo 5. Eğilme özelliklerine ait bulgular.	32
Tablo 6. Çekme özelliklerine ait bulgular.	33
Tablo 7. Örneklerin termogravimetrik analiz sonuçlarına ait bulgular	34
Tablo 8. . Lif-plastik kompozitlerinin termal ve kristallik özellikleri.....	35
Tablo 9. Selülozik malzemelerin kızılötesi spektrumdaki dalgasayısı karakterizasyonu	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Plastiklerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması	12
Şekil 2. Polietilenin polimerizasyon gösterimi	15
Şekil 3. Polipropilen polimerizasyon gösterimi	17
Şekil 4. Ekstrüzyon makinası.....	19
Şekil 5. Ekstrüzyon yöntemi ile OPK üretimi genel iş akışı.....	20
Şekil 6. Enjeksiyon yöntem.....	20
Şekil 7. Enjeksiyon kalıplama prosesinin çalışma mekanizması	21
Şekil 8. Basınçlı kalıplama ile OPK üretimi	22
Şekil 9 Lignoselülozik Dolgu Maddeli Termoplastik Kompozit Levha Üretim Şeması	24
Şekil 10. Wiley değirmeni ve un haline gelmiş atık gazete kağıdı	25
Şekil 11. Sarsak elek	25
Şekil 12. Zwick/Roell Z050 Üniversal Test Makinesi	27
Şekil 13. Çekme testi.	28
Şekil 14. Termogravimetrik analiz (TGA) Cihazı.....	30
Şekil 15. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Cihazı	31
Şekil 16. Örneklerin FTIR-ATR spektrumlar	38
Şekil 17. Bitkisel atık yağ takviyeli örneklerin FTIR-ATR spektrumları	39
Şekil 18. Lif-PP kompozit levhalarının eğilme dirençleri.....	40
Şekil 19. Lif-PP kompozit levhalarının eğilmede elastikiyet modülleri.	41
Şekil 20. Lif-PP kompozit levhalarının eğilmede oluşan deformasyon oranları.	42
Şekil 21. Lif-PP kompozit levhalarının çekme dirençleri	43
Şekil 22. Lif-PP kompozit levhalarının çekmede elastikiyet modülleri.....	44
Şekil 23. Lif-PP kompozit levhalarının kopmada uzama miktarları.	44
Şekil 24. Lif-plastik kompozitlerin TGA grafikleri	45
Şekil 25. Lif-plastik kompozitlerin DTGA grafikleri.	46
Şekil 26. Dolgu tipinin birinci bozunma basamağında DTGA üzerine etkisi.....	47
Şekil 27. Dolgu tipinin ikinci bozunma basamağında DTGA üzerine etkisi	48
Şekil 28. Lif miktarının ΔY değeri üzerine etkisi.	49

Şekil 29. Dolgu oranının 550°C sıcaklıktaki kalıntı madde miktarına etkisi.....	49
Şekil 30. Örneklerin STA-6000 ile ölçülen DSC spektrumları.	50
Şekil 31. Örneklerin STA-6000 ile ölçülen simultane DSC spektrumları.	51
Şekil 32. %10 atık gazete kağıdı lifi katkılı PP kompozitlerin DSC grafikleri.....	52
Şekil 33. %20 atık gazete kağıdı lifi katkılı rPP kompozitlerin DSC grafikleri.	53
Şekil 34. %30 atık gazete kağıdı lifi katkılı rPP kompozitlerin DSC grafikleri.	53
Şekil 35. Plastik kompozitlerin soğuma ve erime pikleri.	54
Şekil 36. Erime ve kristalleşme(soğuma) sırasındaki pik yükseklikleri.	55



KISALTMALAR DİZİNİ

AGKL	Atık gazete kâğıdı lifi
BAY	Bitkisel atık yağ
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
OPK	Odun plastik kompozitleri
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
PVC	Polivinil klorür
rPP	Geri dönüştürülmüş polipropilen
TGA	Termogravimetrik Analiz
YYPP	Yüksek yoğunluklu polipropilen

1 GİRİŞ

Günümüzde Polimerle ile yapılan kompozit malzemeler önemli bir yer tutmaktadır. Polimerler üzerinde çeşitli modifikasyonlar yapılarak ve dolgu maddeleriyle (odun, atık gazete vb.) birleştirilerek istenilen özellikte ürünler elde edilebilmesine kompozit malzeme denmektedir. Kompozit üretimi; polimer ürünlerde en çok uygulanan modifikasyon işlemidir. Kompozit birden fazla bileşenin fiziksel karışımı sonucu istenilen özellikte yeni bir ürün elde edilmesi olarak tanımlanabilir.

Geçmişten günümüze ağaç malzeme kullanımı oldukça fazla ve yaygındır. Bunun sebebi ise ahşap malzeme insan sağlığı açısından bir zararının olmadığı yapılan test ve çalışmalar tarafından kanıtlanmış ve insanlar tarafından kabul görmüş doğal bir malzemedir. Ancak ağaç malzeme nispeten yenilenebilir bir kaynak olsa da insanoğlunun ormanlara müdahaleleri nedeniyle bu kaynakta günümüzde yok olma durumuna gelmiştir. Bu neden ile hem ağaç malzeme kullanımını minimum seviyeye çekmek hem de hayatımızın her gününde basılan sonra kullanılmayan atık gazete kağıtlarının ve mutfaklarda kullanılan bitkisel atık yağların geri dönüştürülmesi için polimer (plastik) malzemeler ile deneysel çalışmalar ile birleştirilerek yeni dirençli kompozit malzemeler elde edilebilmesi düşünülebilir.

Odun Plastik Kompozitler (OPK) sayesinde, plastik malzemelere göre maliyeti düşük, çevre dostu, hammadde temini kolay, ağaç malzemeye göre istenilen şekil verilebilmesi, farklı renk seçeneklerinde üretim imkânı olması, mantar ve çürümeye karşı dirençli olması ve en önemli olanı ise bunu yaparken ağaç malzemeye zarar vermeden dolgu maddesi olarak atık kâğıt ve tarımsal atık yağların kullanımı ile geri dönüşüme tabi tutulan ürünler ile elde edilebilir olmasıdır. Bu anlamda lignoselülozik yapıdaki tarımsal atık ve yıllık bitkiler ile orman ürünleri, endüstrinin de oluşan atıkların değerlendirilmesi ayrı bir önem taşımaktadır.

1.1 Genel Bilgiler

Dünya genelinde ve özellikle ülkemizde ormanların kesilmesi ve yanması sonucu orman varlığının hızlıca yok olma noktasına gelmesi nedeniyle buna bağlı olarak dünya genelinde yeni çalışmalar yapılarak ağaç malzemeyi en az kullanmak amaçlanmaktadır.

Yapılan çalışmalar neticesinde hem plastik malzemenin çevreye zararlı yönlerini ve doğada kalma süresini azaltmak hem de ağaç malzemenin kullanımını en az seviyeye çekmek için; orman endüstrisinde kullanılan atık malzemelerin ve tarımsal atık yağlar ile plastik malzemenin karışımı sonucu elde edilen odun-plastik kompozit malzemelerin üretilmesi bilimsel araştırmalar sonucunda kabul görmüştür. Bu üretim yöntemi hızlıca ülkelerde yayılmış ve dünya üzerinde odun plastik kompozit malzemelere olan ilgi artmıştır.

Bunun sebepleri arasında, ağaç malzemeye göre esnek plastik ürünlere oranla da daha çevre dostu, maliyetinin düşük olması, insan sağlığına uygun ve dirençli ürünlerin üretilmesi gösterilebilir. Ayrıca günlük hayatımızda kullandığımız bitkisel atık yağlar olsun günlük atık gazete kağıtları olsun bunların geri dönüşümü yapılarak doğaya bir zarar vermeden plastik ile buluşturularak hayatımıza geri kazandırılması ve buluşturularak plastiğin çevreye verdiği hasarı minimum seviyeye çekmek ve geri kazanım ile ülke ekonomisine bir katkı sağlanması hedeflendiği için odun plastik kompozit malzemeler toplum tarafından kabul görmüştür.

Odun plastik kompozitler; Orman varlığının korunması, odun malzemesinin en az düzeyde kullanılması, odun ve lifsel atıkların geri dönüştürülmesi amaçlanarak plastik ile buluşturularak toplum ve insan sağlığı açısından faydalı bir malzeme üretmek, çevre kirliliğini azaltmak ve orman varlığını sürdürülebilmesi için önemli ve geleceği olan bir kompozit malzemedir ve dünyada kullanımı oldukça yaygındır.

1.2 Literatür Çalışması

1.2.1 Odun Kompozitleri

Önemli derecede birbirinden farklı fiziksel ve kimyasal niteliklerde olan iki veya daha çok bileşen malzemeden üretilen ve birleşim olduktan sonra öncekinden daha değişik özellikler kazanan ürünlere kompozit denir. Termoplastik esaslı odun kompozitleri ise odun mamullerinin (odun, odun unu, tarımsal atıklar, atık gazete vb.) ile polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polivinil klorür (PVC) gibi plastikler ile birleşmesiyle oluşan kompozitlerdir. (Mengeloğlu ve ark. 2002),

1.2.2 Odun Plastik Kompozitlerin Tanımı

Lignoselülozik yapıdaki malzemeler ile termoplastik yapıya sahip polimerlerin birbirleriyle karışmasıyla, birçok yöntem kullanılarak üretimi yapılan ve ortaya çıkan ürünlere odun-plastik kompozitleri (OPK) denir. (Simonsen J.1995)

Buradaki “odun” kelimesini sadece ağacın gövdesi veya parçası olarak değil lifli yapıya sahip bitkisel atıklar, atık gazete kağıtları, orman endüstrisinde kullanılan odunsu malzemeyi kapsamaktadır. OPK üretiminde genellikle tarımsal atıklar ve lif içeren atık gazete kağıtları gibi, odunsu materyallerin un haline getirilmiş malzemeler tercih edilir. (Youngquist, 1995).

Genellikle odun plastik kompozitlerin üretimi iki yöntem ile gerçekleştirilir. Kompozit malzemeyi oluşturacak olan farklı iki malzeme bir karıştırıcı yardımıyla homojen olacak şekilde bir kapta karıştırılarak iki ürünün birleştirme işlemi yapılır. Bir kapta homojen olarak birleştirilen bu karışım farklı yöntemler kullanılarak üretim aşamasına geçilir. Üretim aşamasında ise enjeksiyon, pres kalıplama ve ekstrüzyon yöntemleri kullanılarak oluşan malzemeye nihai şekli verilir (Aslan M. 2008).

Orman ürünleri endüstrilerinin pazar payı gün geçtikçe büyümektedir. Tüketici ilgisine bağlı olarak artışın; odunun dayanma direncini arttıran ve renk tercihi olan maliyeti düşük çevre dostu olan OPK ürünlerin gelişimi hızla artmıştır. Bu durum orman ürünleri sektörünün ilgisini çekmiş ve OPK esaslı ürünleri üretme ve satışına yönelmesini sağlamıştır. Bu yönelim müşteri talebiyle sürdürülmekte olup, inşaat

ürünlerindeki endüstriyel gelişimle desteklenmektedir. Günümüzde bu ürün büyük bir pazar payı bulmuştur hala ilgi sürmektedir. (Youngquist, 1995).

1.2.3 Odun Plastik Kompozitlerin Tarihi Gelişimi

İlk odun-plastik kompozitinin (OPK) Belçikalı kimyacı Leo Beakeland tarafından 1907 yılında fenol formaldehit ve odun tozundan üretilen ve “Bakalit” olarak isimlendirilen ürün olduğu söylenilebilir. İlk ticari maksatlı ürün vites kolu olarak 1916’da Rolls Royce tarafından üretilmiştir. (Gordon, 1988).

Termoplastikler ile odun parçacıklarının homojen olarak karıştırılarak ekstrüzyon yöntemiyle OPK üretimi ise; 1920’li yıllarda İtalya’da patentleşmiştir. Bu kompozitler dünya literatüründe Wood-Plastic Composites (WPC) olarak adlandırılmakta ve odun termoplastikler olarak incelenmektedir (Clemons, 2002).

İlk üretim ve patentlerin Avrupa’da gerçekleşmesine karşın kitle üretimi açısından Amerika’da son zamanlarda büyük bir gelişme sağlanmıştır. AB ve ABD’deki PVC profil ve doğrama araştırmacıları ve şirketler 1980’lerde; Odun ve plastiğin tek başına kullanılması ile oluşabilecek olumsuzlukları gidermek amacı ile, maliyeti düşürmek, sıcaklığın etkisiyle oluşan kimyasal yapıdaki bozulma oranını azaltmak, atıkların geri kazandırılıp endüstriyel olarak tekrar piyasa sürmek gibi amaçlarla plastik endüstrisinde lignoselülozik hammaddeler kullanmaya başlamışlardır. 1983 yılında Amerika’nın Woodstock şirketi, Lear Corpo’nun üretimini sürdüren Sheboygan şirketi, Wisconsin’de İtalyan giydirme teknolojisinden yararlanarak, yaklaşık %50 odun tozu ve %50 propilen kullanılarak yatay kalıplara döküm yöntemiyle çeşitli şekil alabilen otomotiv içi donanım üretimini gerçekleştirmektedir (Schut, 1999).

1990’lı yıllardan itibaren OPK’ler özellikle yapı için kereste üreten önemli sektörlerden biri haline gelmiştir. Advanced Environmental Recycling Technologies (AERT) ve Trex, Mobil Chemical Company (MMC)’nin bir kısmı polietilene yaklaşık %50 odun lifi ilave ederek dayanıklı OPK’nın üretimine başlamışlardır. Strandex Corporation (SC), yüksek odun lifi içeren son ürün üretimleri için uygun bir teknolojinin patentini almıştır. 1996’da birçok Amerikan şirketi, odun veya diğer

doğal lifler ile plastiği kullanarak yuvarlak top şeklindeki pelletlerin üretimine başlamış ve kendi odunsu materyallerini öğretmeyi istemeyen üreticiler için karışım pelletlerini kullanıma sunmuşlardır (Youngquist, 1995; Eckert, 2000; Clemons, 2002).

Plastik sektöründeki bu değişim plastik matrisi içerisine, üretilen malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini artırmak ya da maliyetini düşürmek amacıyla ilave edilen mika, talk, kalsiyum karbonat, sentetik elyaf ve kil gibi inorganik katkı materyalleri yerine, daha ucuz, düşük yoğunluklu ve daha yumuşak yapıları dolayısıyla aşınmaya sebep olmayan odun parçacıklarının kullanılmasına imkân vermiştir (Balatinecz ve Woodhams 1993; Simkovic, 1999; Wolcott ve Englund, 1999; Pickering ve Murray, 1999; Clemons, 2002; Mengeloglu ve Matuana, 2003; Wolcott ve Smith, 2004; Pervaiz ve Sain, 2004).

1.2.4 Odun Plastik Kompozitlerin Kullanım Alanları

Odun plastik kompozit malzemeler orman ürünleri sektörüne girdiğinden beri yeni yöntem ve teknolojinin gelişmesiyle kullanım alanları ve üretimleri gelişme göstermiştir. Tüketici talebi her geçen gün artmasıyla birlikte OPK'nın kullanım alanları genişlemiş olup OPK ürünleri insanlar tarafından daha çok tercih edilmektedir. Bu artış karşısından insanların ihtiyaçlarını karşılamak maksadıyla birçok sektörde kullanılmaya başlanmıştır.

Odun kompozit malzemelerin başlıca kullanım alanları (Wolcott ve ark,1999: Kylosov, 2007; Mengeloglu 2010) ;

1. İnşaat Sektöründe;

- Kapı, pencere ve çerçeve üretiminde
- Havalandırma da
- Çatı kiremitlerinde ve merdivenlerde
- Dekoratif profillerin yapısında

- Raf sistemlerinde
- Yer kaplamasında
- Prefabrik evler
- Kepenk ve korkuluk

2. Otomotiv Endüstrisinde;

- Kapı üretiminde
- İç panelinde
- Karoser (yolcu ve yüklerini taşıdıkları kısım)
- Kontrol paneli

3. Park ve Bahçeler Sektöründe;

- Çitlerde
- Park ve bahçe mobilyasında
- Kamelya
- Yürüyüş parkurları
- Çocuk parkı ve banklarda
- Islak zeminlerde yer döşemesinde

4. Endüstriyel Sektörde;

- Ambalaj
- Palet
- İskele
- Uyarı levhaları

- Sandık
- Oyun alanı ekipmanlarında

1.2.5 Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Avantajları

Avantajları aşağıda verilmiştir (Korucu ve Mengeloğlu, 2007);

- Kendisinden üretilen malzemelere oranla rutubete karşı dirençlidir
- Koruyucu yüzey maddelerine ihtiyacı minimum seviyededir.
- Üretiminde atık malzemelerin kullanılması nedeniyle çevre dostudur.
- Odun veya odunsu materyallere oranla boyut stabilitesi daha iyidir.
- Bakım ihtiyacı birleştiği malzemelere oranla daha azdır.
- Mekanik özellikleri daha üst seviyededir.
- İnsan sağlığı açısından plastiklere oranla doğada kısa sürede kaybolması nedeniyle sağlığa uygun olması
- Renk seçeneği daha fazla olması

1.2.6 Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

Dezavantajları aşağıda verilmiştir (Korucu ve Mengeloğlu, 2007);

- Enerji giderlerinin yüksek olması ve üretim kapasitesinin az olması nedeni ile odunsu malzemelere göre maliyet açısından daha yüksek olmaktadır.
- Yoğunluk bakımından odunsu yapıya sahip malzemelere göre daha yüksek olması.
- Üretim aşamasında katkı maddesi kullanılması gereklidir.
- Hammaddesinin depolanması sırasında yangın çıkma olasılığı yüksektir.

- Biyolojik bozulmalara maruz kalır
- Ağaç malzemenin ve plastiğin homojen olarak karıştırılması en sorunlu kısımdır.

1.2.7 Odun Plastik Kompozitlerinde Kullanılan Hammaddeler

1.2.7.1 Odunsu Materyal

Odun plastik kompozitlerinde öncelikli olarak; çam, akça ağaç ve meşe olmak üzere pek çok ağaç türü kullanılmaktadır. Günümüzde ağaç türü seçimi sahip olduğu özelliklerden ziyade kolaylıkla bulunabilmesine göre belirlenmektedir.

OPK endüstrisinde selüloz esaslı dolgu malzemeleri tanecikler (odun tozu) ve lifsel malzemeler olmak sınıflandırılabilir. Bağlanma derecesi yüksek ise toz tanecikler dolgu ya da güçlendiriciler olarak kullanılabilirler. Toz parçacıklar neredeyse her yönü ile eş değer boyutlara sahiptirler ve istenilen özellikte şekil verilebilir yapıdadırlar. Lifler ise güçlendirme malzemesi olarak düşünülebilir. Çünkü lifsel maddeler uygulanan ağırlığın çoğuna dayanmakta olup, uzunlukları ise genişliğinden çok daha büyüktür (Manson, 1976; Matthews ve Rawlings, 1994).

Lif ve yongalar mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılabilirler. Fakat genellikle polimer kullanımını en az seviyeye çekmek amacıyla hacim artırıcı olarak kullanılırlar. Ayrıca kompozitin sert bir yapıya kavuşmasını ve direncini artırmak için de ilave edilirler. Bu küçük boyutlu malzemeler plastik endüstrisinde kullanılan üretim akışına entegre edilir (Gökalp, 2006).

1.2.7.2 Atık Gazete Kâğıdı

Gazete; bilgi, haber, içeriğine sahip genel olarak maliyeti düşük kağıt tercih edilerek basılan ve dağıtımı yapılan yazılı bir yayın organıdır. Her gün genellikle maliyeti düşük kağıtlara basılan gazete, kullanım fonksiyonunu yitirdikten sonra çöpe atılmaktadır. Bu sebep ile Türkiye ve dünya genelinde geri dönüşümü bekleyen tonlarca atık gazete kağıtları mevcuttur. (Wikipedia URL-9)

Gazeteler lifsel yapıya sahip olmaları nedeniyle plastik malzemeler ile etkili ve kaliteli odun-plastik kompozitleri elde edilebilmektedir. Atık gazete kağıtlarının geri dönüşümü ile plastıklere oranla daha düşük maliyetli olması ayrıca ağaç malzemeye zarar vermeden geri dönüşüm yapılarak ülke ekonomisine ve orman varlığına katkı sağlanmaktadır. Selüloz dünyanın en çok yenilenebilir malzeme kaynağıdır. Dünya gazete kâğıdı pazarı yılda %2'nin üzerinde büyüme potansiyeline sahiptir. Bu büyüme ile birlikte atık gazete miktarıda artmaktadır. Amerika %71,2'sini geri dönüştürmesi ile atık gazete geri dönüşümünde dünyada lider konumdadır. (Masud S. Huda, Lawrence T. Drzal, ve Manjusri Misra ve ark. 2005)

Gazete kâğıdı yüksek miktarda mekanik (yumuşak) hamur içerir. Pulpwood (hamur ağacı) kütükleri ve yongaları kendi birleşenleri içine mekanik enerji kullanımı ile azaltarak üretilirler. Gazete kağıdına en uygun ağaç türleri arasında ladin, çam ve kavak bulunmaktadır. Selüloz esaslı polimer kompozitler düşük maliyet, düşük yoğunluklu, yüksek özgül ağırlıklı, sert ve mukavemet ve iyi mekanik özelliklere sahip odun plastik kompozitleri elde edilmektedir. (Masud S. Huda, Lawrence T. Drzal, ve Manjusri Misra ve ark. 2005)

Geleneksel olarak, polimerler için dolgu maddesi (selüloz vb.) eklenmesi malzemenin özelliklerini iyileştirmek için ucuz bir yoldur. Örnek olarak polipropilen (PP) yapılacak olan özel malzemeye uygun olacak şekilde dayanıklılığını ve sertliğini iyileştirmek maksadıyla dolgu maddeleri (selüloz) ile etkileşime girerek yeni bir kompozit malzeme elde edilir. Atık gazete kağıtları polimer ile birleşerek ürünleri geliştirmek ve kalıplaşmış ürünlerin maliyetini azaltmak amacıyla plastik ve orman ürünleri endüstrisinde sıkça kullanılmaktadır (Masud S. Huda, 2005)

1.2.7.3 Diğer Lignoselülozik Hammaddeler

1.2.7.3.1 Tarımsal Atıklar

Lignoselülozik maddeler temel olarak selüloz, hemiselüloz ve lignin meydana gelmektedir. Selülozik ve hemiselülozik bölümler, mannoz, ksiloz, glukoz, arabinozdan ve galaktoz' dan meydana gelen monosakkaritleri barındırmaktadır.

Karışımlarının tümü hammaddenin doğal yapısına bağlı kalarak değişim göstermektedir. (Beyatlı, 1996).

Ülkemiz dört mevsim yaşanması ve verimli topraklara sahip olması nedeniyle tarım ülkemiz için önemli geçim kaynağıdır. Türkiye’de tarım ürünlerinin hasadı alınması sonucunda azımsanmayacak kadar yüksek miktarda ortaya çıkan lignoselülozik atıklar geri dönüşümünden sonra potansiyel bir kaynak oluşturmaktadır.

Tablo 1. Türkiye’de çeşitli tarım ürünlerinin 2018 yılı üretim verileri ve bazı tarımsal ürünlere ait atık miktarları(ton)

Tarımsal Üretim Miktarı	2018 (Ton)
Mısır	5.700.000/11.514.000
Arpa	7.000.000/3.920.000
Ayçiçeği	1.949.229/711.468
Buğday	20.000.000/16.300.00
Şeker Pancarı	17.436.100/17.959.183

* Hasat indeksine göre hesaplanan tarımsal atık miktarları (Barış gürel 2020 Süleyman Demirel üniversitesi mühendislik bilimleri tasarımı dergisi)

Ülkemizde bulunan yıllık ortalama tarımsal atık ürün miktarı 43-50 milyon ton olduğu bilinmektedir. Dünya piyasasında tarımsal atıkların geri dönüştürülmesi sonucu yıllık olarak 2×10^{11} ton lignoselülozik hammadde elde edilmektedir. Bu atıkların değerlendirilmesinin gerçek bir biçimde gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Mohanty v.d., 2000; Redy ve Yang, 2005).

Lignoselülozik özellikteki tarımsal atıklar, değişik endüstri kollarında işlev görme potansiyeline sahiptir. Bunlardan en çok kullanılan sektör orman endüstri (levha ürünleri, kağıt, vb.) sektörüdür. Bu sanayi kolunda tarımsal atıklardan lifler ya da unlar polimer-kompozit malzeme üretiminde değerlendirilmektedir. (Sanadi v.d. 1997; Mengeloğlu ve Alma, 2004).

Polimer-kompozit üretiminde farklı türlerden (mısır, ayçiçek, buğday sapları, kenevir gibi tarımsal atık ürünlerden) temin edilen unlar dolgu malzemesi olarak karışımlarda kullanılabilir. Bu lignoselülozik hammaddelerin geri dönüşümü yapılarak polimer odun kompozit üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılmasıyla yeni kompozit malzemeler elde etmek mümkündür. (Yang v.d., 2005a; Panthapulakkal ve Sain, 2007; Ahankari v.d., 2011; Mishra ve Sain, 2009; Mengeloğlu, 2006).

1.2.7.3.1.1 Bitkisel Atık Yağlar

Bitkisel yağ; mısır, ayçiçek, soya vb. bitki çeşitlerinin tohumundan temin edilen ve günlük yaşantımızda genellikle yemek pişirmede kullandığımız yağlara verilen isimdir. **Bitkisel atık yağ ise;** bitkisel saf yağ rafinerisinde oluşan tortulu bitkisel yağlar, makinelerde kullanılan yağların kullanılamaz hale gelmesiyle oluşan yağlar, yağlı topraklar ve evde kullandığımız kızartma yağlarının tümüne verilen isimdir. Türkiye’de yılda tahmini 1.500.000 ton bitkisel yağ gıda sektöründe kullanılmaktadır. Bu yağdan yaklaşık olarak 350.000 ton atık yağ oluştuğu tahmin edilmektedir. (Ekolojist 2018 URL 10, Çevreonline URL-11)

Atıkların çevre ve insan sağlığına verdiği zararlar günümüzde birçok bilimsel çalışmanın sonucunda kanıtlanmış durumdadır. Özellikle çevreye verdiği zararlar nedeniyle kullanılmış bitkisel yağ atıkları da doğadaki denge ve yaşam döngüsüyle birlikte insan sağlığına da zararlar vermektedir. Örneğin kızartmalarda kullanılan bitkisel yağların tekrar tekrar kullanımı her ne kadar tavsiye edilmese de en fazla birkaç kullanımın ardından atık durumuna gelmeleri nedeniyle özellikle evlerde lavaboya dökme gibi şekillerde doğaya gönderilmektedirler. Tavsiye edilmeyen bu yöntem ile tıkanabilen atık kanalları, atık şebekelerinde ciddi sorunlara yol açabilmektedir. (Ekolojist 2018 URL-10)

Bitkisel yağların (zeytinyağı, ayçiçek Yağı vb.) atılması sonucu doğaya karışması durumunda ise kanalizasyonlara ulaşması durumunda buradan yağmur suları ile toprak altına inerek içme sularına karışması ve kirletmesine yol açmakla birlikte, toprağa karışması durumunda da toprağın yapısına zarar verebilmektedirler. Öte yandan denizlere de karışabilen yağ atıklarında, her 1 litre atık yağın yaklaşık olarak bir milyon litre temiz suyu kirletebildiği düşünülmektedir. Durum böyleyken, çevreye ve direkt ya da dolaylı şekilde insan sağlığına zarar veren bu atıklardan uygun şekillerde kurtulmayı amaçlamak gerekmektedir. (Kristal yağlar URL-1)

Orman ürünleri ve plastik endüstrisinde bitkisel atık yağlar ile termoplastikler (PP,PE,PVC,PS) karıştırılıp ısıtılarak uygulanması sonucu dirençli, sertlik derecesi kendini oluşturanlara göre daha sağlam OPK ürünleri elde edilmesinin yanında aynı zamanda çevre dostu ve ülke ekonomisi açısından geri dönüşüm olması nedeniyle

ekonomiye katkı sağlamsının yanında insan sağlığı açısından daha sağlıklı ürünler elde etme imkanı oluşturulmuştur(Giuseppe 2007).

1.2.8 Plastikler

Plastik; azot (N), karbon(C), oksijen (O), hidrojen (H), ve organik veya inorganik elementlerin oluşturduğu monomer olarak adlandırılan, oda sıcaklığında genel olarak katı yapıda olan, ısı ve basınç ile birlikte mekanik metotlar ile şekil verilebilen organik yapıya sahip polimerik maddelerdir (Hüner, 2008).

Plastik malzemeler amorf bir yapıya sahiptirler. Bu amorf yapıları nedeniyle uzun ve karışık yapıya sahip zincirler etrafında bulunan diğer moleküllerle uyum göstermesiyle yeni bir yapı oluşturmaları zor bir olaydır. Amorf yapısı olan bu plastiklerin zincir yapıları birbirine dolanmış halde bulunur. Fakat basit yapılı plastiklerde bu zincirler düzenli bir halde bulunmaktadır (Akkurt, 2007).

Plastikler kimyasal yapılarına göre, çapraz bağlı olanlar ve çapraz bağlı olmayanlar diye iki grupta sınıflandırılır.



Şekil 1. Plastiklerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması

Termoplastikler çapraz bağlı olmayan sınıf içerisinde yer almaktadır. Günümüzde odun plastik kompozit yapımında en çok tercih edilen plastik çeşidi olarak termoplastikler kullanılmaktadır. Termoplastikler yapısı bakımından kolay işlenmesi,

ağırlığı bakımından hafif olması , kolay şekil verilebilmesi ve üretim sırasında kimyasal değişime uğrayabilmeleri bakımından günümüzde birçok alanda tercih edilmektedir.(Gürü ve Yalçın, 2006, Onaran, 2009, Akkurt, 2007, Şahin, 2006).

1.2.8.1 Plastiklerin Genel Özellikleri

1.2.8.1.1 Görünüm

Plastikler genellikle renksiz ürünlerdir. Bu nedenden dolayı arzu edilen rengi vermek amacıyla bazı renk verici katkı maddeleri kullanılmaktadır. Pigmentler kullanılarak opak bir görünüm olduğu gibi, çözünür yapıya sahip organik boyalarla saydam görünüme sahip olabilir (Akkurt, 2007; Rosato, 2011; URL-2, 2011).

1.2.8.1.2 Yüzey Özelliği

Plastik malzemelerin en önemli dezavantajı, yüzey yapılarının yumuşak ve çizilme direncinin düşük olmasıdır. Plastikler seramik, cam ve metal malzemelere oranla daha yumuşak ve şekil verilebilen bir yapıya sahiptirler. Renklendirilmiş opak plastikler, yüzey yapısı boya ile kaplanmış plastiklerden daha sert yapıya sahip plastiklerdir. (Mills, 2005; Akkurt, 2007; Rosato, 2011).

1.2.8.1.3 Yoğunluğu

Plastik malzemelerin diğer bir özelliği ise, odun materyali dışında bütün malzemelere oranla daha düşük ağırlık özelliğine sahip olmalarıdır. Plastiklerin yoğunluğu 0.9-2.5g/cm³ arasında değişmektedir (Crawford, 2001; URL-3, 2011).

1.2.8.1.4 Isıl Özellikleri

Plastiklerin en önemli sorunlarından biride ısı iletkenliğidir. İstisnalar dışında genellikle plastiklerin ısı iletkenlik derecesi çok düşük seviyededir. Polimerler zincir yapısında bulunan atomsal hareketler nedeniyle yüksek düzeyde ısı absorpsiyonu yapabilmeleri nedeniyle ısıyı iyi iletmezler. Plastiklerin ısı kararlı yapısı önemli bir faktördür. (Mills, 2005; Akkurt, 2007).

Genellikle termoplastikler dışarıdan ağırlığa maruz kalmadıkları zaman 65-120°C de kimi cinsleri ise 260°C vb. yüksek sıcaklığa maruz kalmaları durumunda bozulabilirler. Bu nedenden dolayı yüksek sıcaklık olduğu zaman plastikler düşük bir ağırlık altında kullanılması tercih edilmelidir. (Mills, 2005; Akkurt, 2007).

Termosetlerin sertlik derecesi daha yüksek ve ısıya daha dayanıklı bir yapıya sahiptirler. Sıcaklık derecesinin artması sonucunda bir seviye ye kadar ısı kararlılığı gösterebilirler de yüksek sıcaklık altında kömürleşir ve bozulurlar. Genel olarak termosetler 150°C -230°C arasındaki sıcaklığa kadar ısı kararlılığı sahiptirler (URL-3, 2011).

1.2.8.1.5 Kimyasal Özellikler

Plastikler, metal malzemelere göre kimyasal bozundurucu maddelere dayanıklılık direnci daha yüksektir. Termoplastikler tuzların sulu çözeltilerinden alkali ve zayıf asitten zarar görmezler. Polipropilen, asit saklama kabı üretiminin yapılmasında kullanılmaktadır. Politetrafluoretile (Teflon) gibi fluor maddesi içeren plastik ürünler kimyasal yapıda aktif olmayan malzemelerdir. Farklı yönden ele alındığında, termoplastikler genellikle organik çözücülerin etkisi ile çözünme veya şişme gibi özellikler göstermenin yanında kuvvetli asit veya alkalilerden etkilenirler (Lampman,2003; Mills, 2005; Akkurt, 2007; Rosato, 2011)

1.2.8.1.6 Mekanik Özellikleri

Plastikler, yumuşak bir yapıya sahip olmalarının yanında, düşük sıcaklık uygulandığında plastik davranış, yüksek sıcaklık uygulandığında ise yüksek viskozite gösteren malzemelerdir.

Plastiklerin en önemli özellikleri, aynı anda hem elastik hem viskoz olarak adlandırılan viskoelastik bir davranış göstermesidir. Viskoelastik davranış sürünme ve gevşeme olarak iki şekilde oluşmaktadır. Buna nedenle sürünme; bir gerilme kuvveti etkisi altında, malzemenin devamlı bir şekil değiştirme hali içinde olması, gevşeme ise belirli bir şekil değiştirme halinde bulunan malzemede, gerilmelerin sürekli olarak azalması olarak ifade edilir (Akkurt, 2007).

1.2.8.2 Plastiklerin Sınıflandırması

Plastiklerin sınıflandırılması üç ana grupta yapılabilir.

- Termoplastikler
- Elastomerler
- Termosetler

1.2.8.2.1 Termoplastikler

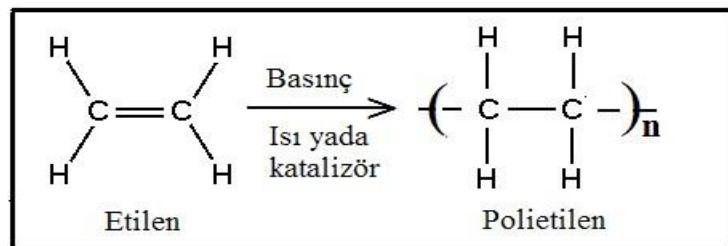
Isı altında yumuşama ve akıcı olabilme özelliğine sahip, fakat tekrar soğutulması ile sertleşen ve katılaştıran bir özelliğe sahip olan polimerlerdir. Bu şekil verme işlemi sırasında herhangi bir kimyasal değişime maruz kalmazlar. (Biron, 2007). PVC, poliolefinler ve polistiren odun plastik kompozit üretiminde sık sık kullanılan termoplastiklerdendir. (Kylosov, 2007).

1.2.8.2.1.1 Poliolefinler

Poliolefin aynı tarz polimerlerden (homopolimer) oluşan bir polimer türü olup, propilen, butilen ve metil penten gibi monomerlerden meydana gelmektedir. Polietilen ve polipropilenler en önemli poliolefinlerdir (Kulshreshtha ve Talapatra, 2000; Biron, 2007).

1.2.8.2.1.1.1 Polietilen

En fazla tercih edilen termoplastik olan ve etilenin basınca maruz kaldığı zaman ısıya veya bir katalizörün etkisiyle serbest radikal zincir polimerizasyon sonucu elde edilen polietilenin (Şekil 2) çok değişik özellikleri vardır (Mills, 2005).



Şekil 2. Polietilenin polimerizasyon gösterimi

Polietilenler yoğunluklarına göre, orta ve yüksek ve alçak yoğunluk olarak üç grup olarak ayrılmaktadırlar. Polietilenlerin en dikkat edilecek özellikleri göz önünde bulunduracak olursak; erime akış indeksi, yoğunluk ve molekül düzeydeki ağırlığından oluşmaktadır. Erime akış indeksi artması sonucu, yumuşama sıcaklık derecesi düşer ve bunun ile birlikte sertlik derecesi' de azalır. (URL 4, 2011). Polietilenlerin yoğunluk ve erime akış indeks değerleri Tablo 2’te verilmiştir.

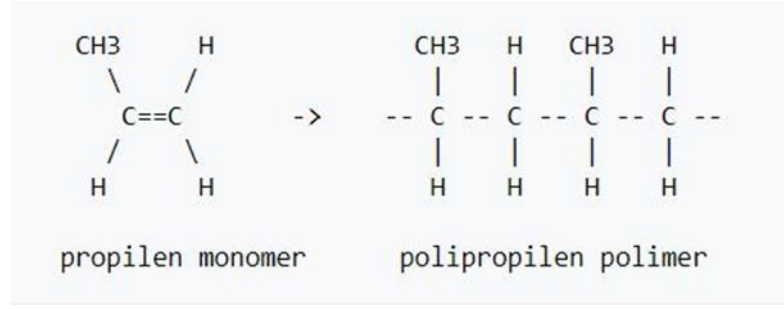
Tablo 2. Polietilenlerin genel yoğunluk ve erime akış indeksleri (Klyosov, 2007).

Polietilen	Yoğunluk (g/m ³)	Erime Akışİndeks(g/10 dak)
Yüksek yoğunluklu polietilen(YYPE)	0.941-0.965	0.2-30
Orta yoğunluklu polietilen(OYPE)	0.926-0940	1-20
Alçak yoğunluklu polietilen(AYPE)	0.915-0.925	0.3-26
Lineer alçak yoğunluklu polietilen (LAYPE)	0.915-0.925	0.1-100

1.2.8.2.1.1.2 Polipropilen (PP)



Polipropilen, petrol ürünlerinden temin edilen propilen polimer zincirinin basınç ile katalizörler etkisi ile polimerizasyon yapısı oluşur. Yapısında bulunan zincirdeki tek tek karbona bağlı olan metil grupları mevcuttur. Propilenin polimerizasyon reaksiyonu Şekil 3’te gösterilmiştir (Mead ve Baker, 2006).



Sekil 3. Polipropilen polimerizasyon gösterimi

Propilen, ilk olarak Giulio Natta ve Alman kimyager Karl Rehn tarafından 1954 yılında polimerleştirme yapılarak kristalin izotaktik yapıda bir polimer meydana getirilmiştir. Sendiyotaktik yapıdaki polipropilen ise ilk olarak Natta ve yardımcıları birlikte yapmışlardır. (URL-5 Elif Küçükkaya 2018)

Polipropilenin işlevleri molekül ağırlığı baz alınarak değişim göstermektedir. Molekül ağırlığı fazla olan yumuşak ve erime direnci yüksek bir yapıya sahip olur iken, az olan polipropilen ise kırılkan ve sert yapıya ve akıcı özelliğe sahiptir. (Hüner, 2008; Mead ve Baker, 2006) .

Polipropilen, yarı şeffaf ve rengi olarak süt beyazına benzer ve boyanma kabiliyeti çok yüksektir. Genel olarak malzemenin belirli bir kimyasal, ısısal ve orta dirençte dayanıklılığa sahip özelliktedir. Polipropilen malzemesiyle üretilen kompozitlerin ömrü yaklaşık olarak 120°C’de beş sene, 110°C’de on sene olarak ön görülmektedir. (Maier ve Calafut, 1998).

Genel olarak polipropilen teknik özellikleri şu şekilde sıralanabilir (URL-5 Elif Küçükkaya 2018):

- Düşük özgül ağırlığı
- Yüksek çekme direnci
- Düşük aşınmaya karşı direnci
- Yüksek elektriksel akımına karşı direnci
- Yüksek kimyasal etkenlere karşı direnci

1.2.8.2.2 Termosetler

Termoset, ısıya maruz kaldığında sert bir şekil alan, tekrar eski haline dönemeyen ömür boyu aldığı şekli koruyabilen bir plastik türüdür. Termoset plastikler bu özellikleri sayesinde kalıcı yapıdaki bileşenlerin ve katı yapıdaki şekillerin yapımında kullanılmasında elverişli bir üründür (URL-6 Pegev).

Polimerizasyon reaksiyonu tersinir yapıya sahip olmadığından yeniden ısı verilerek yumuşatılma işlemi uygulanamaz. Yüksek sıcaklığa maruz kalmasında ise kovalent bağlar koparak git gide kömürleşir. Termosetler çok fazla mekanik isteklerde veya fazla ısı gerektiren üretimlerde tercih edilmelidir. Termosetler; polyester, epoksi, polyester ve fenolik vb. reçineler içermektedir. (Goodman, 1999; Pizzi ve Mittal, 2003; Gökalp, 2006; Akkurt, 2007; Ratna, 2009).

1.2.8.2.3 Elastomerler

Elastomerler temel olarak, yapılarında viskozite ve elastikiyeti bir arada barındıran, lineer polimerler olan termoplastikler bir alt üyesidir. Elastomerler amorf yapılı polimerlerdir. Elastomer sözcüğü kauçuk terimiyle aynı anlamdadır. Normal k kullanım sıcaklık dereceleri camsı geçiş sıcaklıklarının üzerinde seyretmektedir. (Mead ve Baker, 2006).

Elastomerler erimeye karşı dayanıklı ve çözülmeye karşı dirençlidir fakat şişme olasılıkları oldukça yüksektir. Elastomerler çapraz bağlantıya sahiptirler (çapraz bağlantıları ayrı bir yapıya sahiptir) ve bu sebepten ötürü oda sıcaklığında 25 C°'de yumuşak, esnek bir yapıya sahiptirler. Elastomerlere örnek otomobil lastikleri ve kauçuk contalar verilebilir (Hüner, 2008).

1.2.9 Odun Plastik Kompozit Üretim Teknolojisi

Termoplastik sanayisinde birçok ürün elde etmek için değişik üretim teknikleri tercih edilmektedir.

Odun plastik kompozit üretiminde;

- Ekstrüzyon
- Enjeksiyon
- Basınçlı kalıplama metotları kullanılmaktadır.

1.2.9.1 Ekstrüzyon Yöntemiyle OPK Üretimi



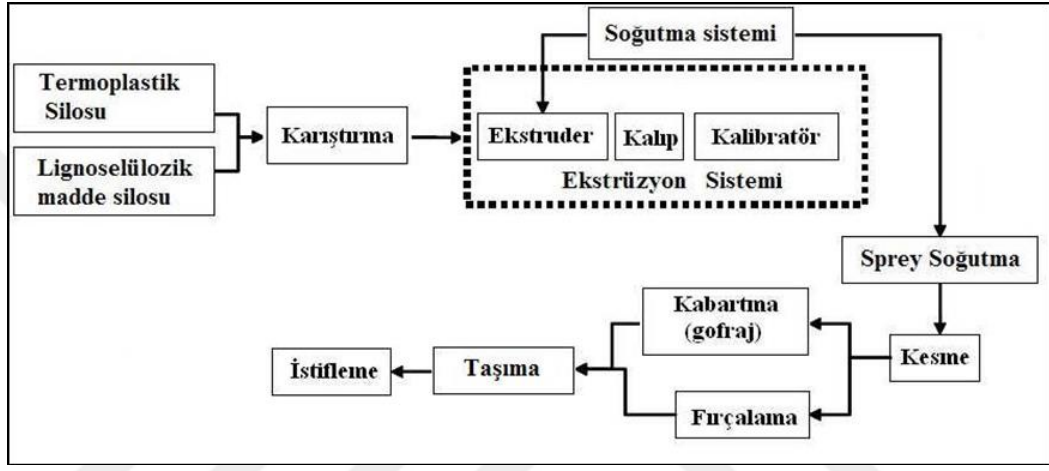
Şekil 4. Ekstrüzyon makinası

Odun plastik kompozitlerinde genellikle tercih edilen en önemli OPK üretim yöntemidir. Ekstrüzyon yöntemi ile iki şekilde üretim yapılmaktadır. Bunlar; ikiz ve tek vidalı ekstruderler olarak adlandırılır. Odun plastik kompozit üretimi sırasında lignoselülozik maddenin termoplastik karışımı içinde homojen yapı sağlamak amacıyla ikiz vidalı ekstruderler genellikle daha fazla tercih edilmektedir. (Wolcott ve Englund, 1999).

Genellikle OPK üretimi Şekil 5’de gösterildiği gibidir. Direk ekstrüzyon ve kademeli ekstrüzyon olarak iki çeşit OPK üretim sistemi vardır. Direk ekstrüzyon OPK’nın granül (pellet) haline gelmeden önce, fiziksel karışımın bir aşamada ekstrüde edilmesiyle kompozitin üretildiği üretim yöntemidir. Bu yöntem sonucunda kompozit malzeme mekanik özelliklerden olan sertlik ve mukavemet derecesinde

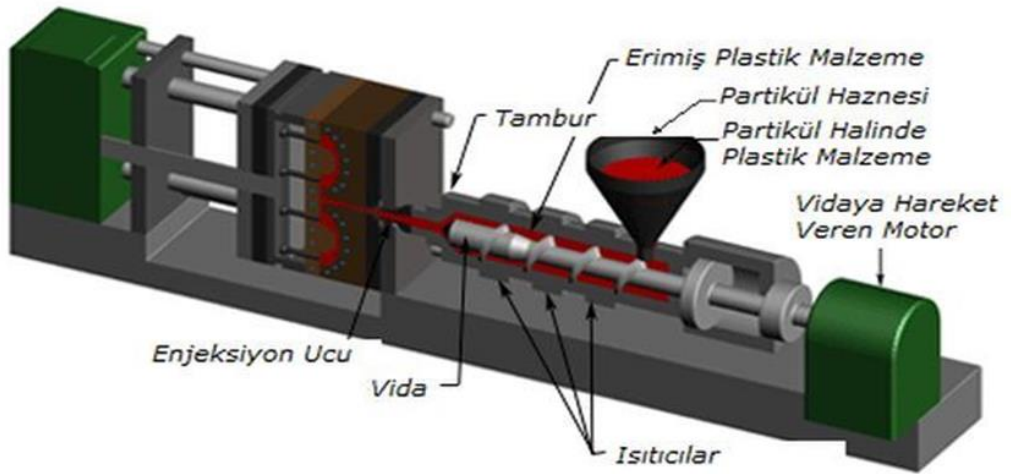
artma, ürün ve üretim maliyetinde azalış, hammadde çeşitliliği, düşük üretim sıcaklığına sahip ve %80'nin üzerinde lignoselülozik madde miktarı ile çalışabilme imkânı sağlanabilmektedir.

Kademeli ekstrüzyon da ise odun ve plastik birinci ekstrüder cihazında granül (pellet) haline getirilir. Sonra enjeksiyon veya ekstrüzyon makinesinde nihai ürün elde edilir.



Şekil 5. Ekstrüzyon yöntemi ile OPK üretimi genel iş akışı (URL-7, 2011).

1.2.9.2 Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi ile OPK Üretimi

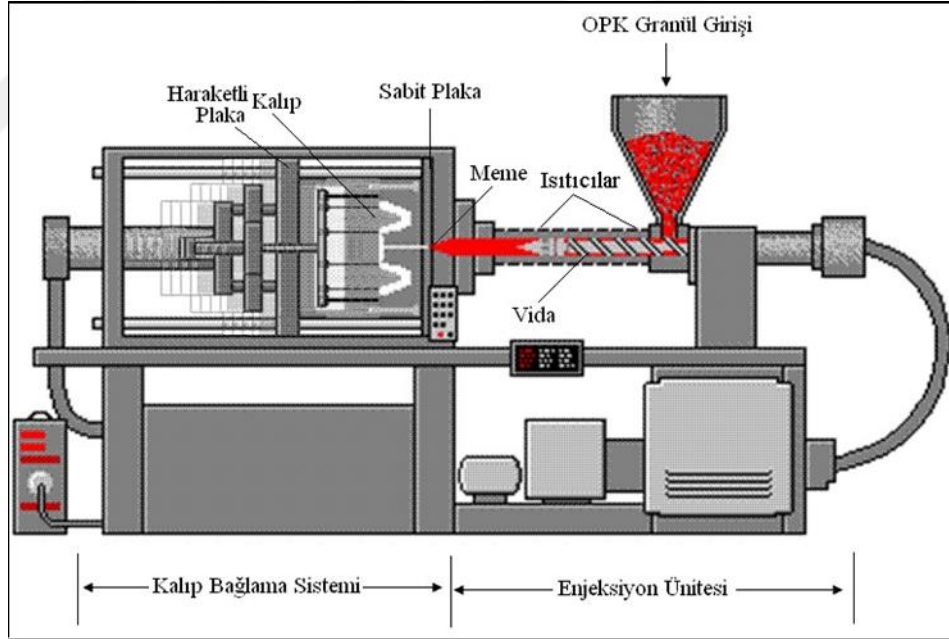


Şekil 6. Enjeksiyon yöntemi

Enjeksiyon kalıplama yöntemi seri üretim için en çok tercih edilen üretim yöntemidir.

Genelde enjeksiyon yöntemiyle odun plastik kompozitleri 4 aşamada elde edilir (Şekil 7).

- Odun plastik kompozit karışımı sıvı hale gelinceye kadar ısıtılır.
- Basınç altında sıvı polimer, meme denilen bir girişten kalıp içine girmesi için zorlanır.
- Kalıp içindeki malzeme katı hale gelene kadar basınç altında bırakılır ve soğuması sağlanır.
- Daha sonra kalıp açılır ve pim' e benzeyen iticilerle parça çıkışı yapılır. (Akkurt, 2007).



Şekil 7. Enjeksiyon kalıplama prosesinin çalışma mekanizması (Akkurt, 2007; URL-8, 2011).

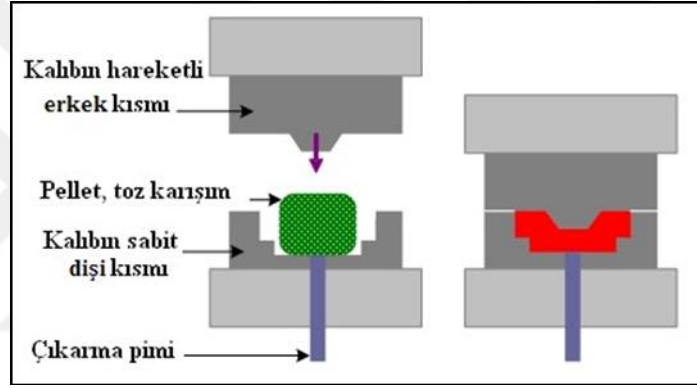
Enjeksiyon kalıplama üretiminin özellikleri; üretim süresinin kısa, atık miktarının az oluşu ve tamamının otomasyona uygun bir yapıya sahip olmasıdır. (Englund, 2001; Akkurt, 2007). Bu yöntem genellikle odun lifli plastik kompozitlerin üretiminde tercih edilmektedir.

1.2.9.3 Basınçlı Kalıplama ile OPK Üretimi

Düz preslerde levha sekline benzer üretimler olduğu gibi, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi kalıplı presler ile de üretimler yapılabilmektedir

Basınçlı kalıplama ile OPK üretimi 3 aşamada yapılmaktadır.

- Toz halindeki karışım kalıbın dişi kısmının boş deliklerini doldurulur.
- Kalıbın erkek kısmı ile basınç altına alınır. Sıcaklığın etki etmesi ile eriyik hale gelen karışım basıncın etki etmesiyle kalıbın boş deliklerini doldurur.
- Kalıp içerisindeki malzeme katı hale geldikten sonra kalıp açılır, parça itici pimler vasıtası ile dışarı alınır (Şekil 8) (Akkurt, 2007).



Şekil 8. Basınçlı kalıplama ile OPK üretimi (URL-8, 2011).

Basınçlı kalıplama OPK üretiminde son zamanlarda yaygın bir kullanıma sahip değildir. En büyük dezavantajı ürünün her parçası için ayrı bir kalıp olması gerekmekte bu yüzden seri üretime uygun değildir ve maliyeti oldukça yüksektir.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

2.1.1 Lignoselülozik Dolgu Maddesi

Yapmış olduğumuz çalışmada lif plastik kompozitlerin üretimi aşamasında lignoselülozik malzeme olarak atık gazete kâğıdı kullanılmıştır. Atık gazete kâğıdı aynı gün baskılı olup lifsel birleşiminin tüm örneklerde aynı olmasına dikkat edilmiştir. Kullanılan atık gazete kâğıtları yaklaşık 14 yıllık eski kâğıtlardan seçilmiştir.

2.1.2 Termoplastik Polimer

Odun plastik kompozit levhaların üretiminde atıkların geri dönüştürülmesi ile hazırlanan polipropilen kullanılmıştır. Tablo 3'te polipropilenin teknik özellikleri yer almaktadır.

Tablo 3. Yüksek yoğunluklu polipropilen (YYPP) özellikleri

Görünüş	Pellet (kirli gri beyaz)
Erime AkışHızı(2160 gr, 190°C)	4.0-6.0 gr/10d
Yoğunluk (23°C)	0.905 gr/cm ³
Gerilme Dayanımı(Akma Noktasında)	350 kg/cm ²

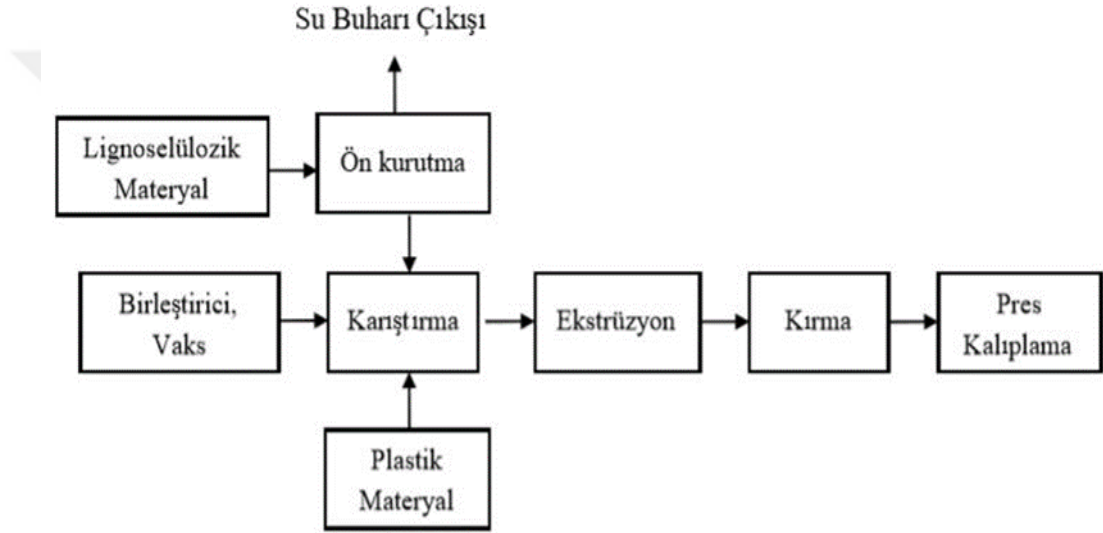
2.1.3 Kullanılan Diğer Katkı Maddeleri

Çalışmada uyum sağlayıcı olarak ve/veya lubricant olarak görev yapması amacıyla sürekli üretim yapan bir atıştırmalık restoranından doymuş atık kızartmalık bitkisel yağ temin edilmiş ve %2,5 oranında kompozit bileşimine katılmıştır.

2.2 Yöntem

2.2.1 Lignoselülozik Dolgu Maddeli Termoplastik Kompozitlerin Üretimi

Odun Plastik kompozitlerin üretimi ve testleri Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Kimyası ve Odun Mekanığı Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Odun Plastik Kompozit üretim aşaması şekil 9 da verilmiştir.



Şekil 9 Lignoselülozik Dolgu Maddeli Termoplastik Kompozit Levha Üretim Şeması

2.2.1.1 Lignoselülozik Dolgu Maddelerinin Hazırlanışı

Eski adıyla Doğan Printing Center Trabzon tesisinden 2007 yılında temin edilen atık gazete kağıtları depolandıkları yerden alınarak öncelikli olarak Şekil 10 'da gösterilen Wiley değirmeni yardımıyla öğütülmüştür. Sarsak elek (Şekil 11) yardımı ile istenilen boyutlara tasnif edilen örnekler birleştirme işlemi öncesi etüvde içerdiği rutubet uzaklaştırılana kadar kurutulmuştur.



Şekil 10. Wiley değirmeni ve un haline gelmiş atık gazete kağıdı



Şekil 11. Sarsak elek

2.2.1.2 Kompozit Levha Üretimi

Kurutulan lignoselülozik dolgu maddeleri, atık polipropilen (rPP) ve atık bitkisel yağ levha tipine göre Tablo 4'te belirtilen oranlarda homojen olacak karıştırılmıştır. Karışım daha sonra ekstruder cihazına beslenmiş ve ekstruder koşulları 100 rpm vida hızı, 170°C, 175°C, 180°C ve çıkışta 185°C olacak şekilde ayarlanmıştır. Üretilen

kompozit plastik malzeme önce bir kırıcı yardımı ile daha sonra willey değirmeni ile öğütülmüştür. Öğütülmüş örnekler presleme ve levha üretimi öncesi rutubetinin uzaklaşması amacıyla kurutma fırınında kurutulmuştur. Kurutulan örnekler 180°C ye ayarlanan preste 3 dakika süre ile preslenmiş ve üretim yapılmıştır. Üretimi yapılmış örnekler son aşama olarak testler için boyutlandırılmıştır.

Tablo 4. Atık gazete kağıdı ve bitkisel atık yağlar ile atık polipropilenin karışım oranları

	Atık Gazete Kâğıdı lifi (AGKL) oranı (%)	Geri kazanılmış Polipropilen (rPP) oranı (%)	Atık Bitkisel Yağ (%)
Kontrol	100	-	-
A1	90	10	-
A2	80	20	-
A3	70	30	-
B1	90	10	2,5
B2	80	20	2,5
B3	70	30	2,5

2.3 Araştırma Yöntemi

Deneysel çalışmalarda, örneklerin Universal test cihazı ile eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve kopmada uzama miktarı, FTIR-ATR ile karakterizasyonu, Shimadzu STA6000 ve DSC8000 cihazları ile termal analizleri belirlenmiştir.

2.3.1 Malzemenin FTIR-ATR ile Karakterizasyonu

Örneklerin yapılarının tespiti için atık gazete kâğıdı lifi-rPP kompozitlerinin FTIR-ATR (Shimadzu IR Prestige-21/Pike Mİracle ATR) ile ölçümleri yapılmıştır. FTIR ölçümleri 600-4000cm⁻¹ band aralığında, tekrar sayısı 24 ve çözünürlüğü 16 olacak şekilde ayarlanmıştır.

2.3.2 Mekanik Özellikler

2.3.2.1 Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilme özellikleri (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü) belirlemek için Şekil 12’de de gösterilen Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Odun Mekaniği laboratuvarında bulunan Zwick/Roell Z010 Üniversal Test Makinesi kullanılmış olup ASTM D 790 standardına uygun olacak şekil ve yöntem ile test edilmiştir.

İklimlendirilmeye bırakılan deney örnekleri 5 x 13 x 150 mm boyutlarında olacak şekilde ayarlanmıştır. Yapılan deney sırasında levha deney örneklerinin konulduğu destekler arasındaki mesafe 80 mm ve test hızı 5 mm/dak. olacak şekilde ayar yapılarak deneme levhasından üç nokta belirlenerek eğilme testi yapılacak şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 12. Zwick/Roell Z050 Üniversal Test Makinesi

Eğilme direnci;

$$\sigma_e = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times d^2} (N/mm^2) \quad (1)$$

F = Kırılma anındaki max. kuvvet (N)

L = Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

d = Örnek kalınlığı (mm)

b = Örnek genişliği (mm)

Eğilmede elastikiyet modülü;

$$E = \frac{F \times l^3}{4 \times b \times \Delta \times d^3} (N/mm^2) \quad (2)$$

F = Deformasyonu sağlayan kuvvet (N)

l = Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

d = Örnek kalınlığı (mm)

b = Örnek genişliği (mm)

Δ = Eğilme miktarı (sehim) (mm)

Eşitliklerinden yararlanarak deney sırasında üniversal test makinesine ait bilgisayar ortamında otomatik olarak hesaplanmıştır

2.3.2.2 Çekme Özellikleri

İklimlendirilen test örnekleri 5 x 13 x 165 mm olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Test hızı 5 mm/dak. olarak ayarlanmıştır.

Deneme levhalarındaki çekme testi (çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü) Şekil 13’de gösterilen Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Odun Mekaniği laboratuvarında bulunan Zwick/Roell Z050 Üniversal Test Makinesi deney düzeneğinde ASTM D 638 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 13. Çekme testi.

Çekme direnci:

$$\delta_{\zeta d} = \frac{F_{max}}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3)$$

$\delta_{\zeta d}$ = Çekme direnci(N/mm²)

F_{max} = Kırılma anındaki max. kuvvet(N)

A = Örnek enine kesit alanı(mm²)

Çekmede elastikiyet modülü:

$$E = \frac{\delta_{\zeta d}}{\varepsilon} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4)$$

ε = Çekme deneyi kopma sırasında oluşan birim uzama

E=Çekmede elastikiyet modülü(N/mm²)

$\delta_{\zeta d}$ = Çekme direnci(N/mm²)

Kopmada Uzama Miktarı;

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \text{ (\%)} \quad (5)$$

ΔL = Birim uzama (mm)

L_0 = Örnek boyu (mm)

ε = Kopmada uzama miktarı(%)

2.3.3 Isıl Özellikler

Üretimi yapılan levhaların termal özellikleri Artvin Çoruh Üniversitesi Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2.3.3.1 Termogravimetrik Analiz (TGA)

TGA örnek ağırlığının, ölçüm sırasında sıcaklık ya da zamana bağlı olarak değişiminin ölçülmesi olarak tanımlanabilir. Şekil 14’de TGA cihazı gösterilmiştir.



Şekil 14. Termogravimetrik analiz (TGA) Cihazı

Deneme levhalarına TGA analizi Perkin Elmer (Model STA 6000) marka test cihazı ile yapılmış olup test yapımı sırasında sıcaklık değerleri oda sıcaklığından 600 °C'ye kadar 10°C/dakika oranında arttırılıp azot gazı akışı 20 mL/ dakika olacak şekilde ayar yapılmıştır. Deneme levhaların örnek ağırlığındaki sıcaklıkla meydana gelen değişimin ölçülerek tespit edilmesi ile TGA grafikleri oluşturulmuştur. Ayrıca cihaz üzerinden simultane olarak DSC sinyalleri de ölçülmüştür.

2.3.3.2 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)

Deneme levhalarında DSC analizi, ürünün ısıtılması, soğutulması ve aynı sıcaklıkta tutulmasıyla meydana gelen farklı enerji değişimlerini tespit etmek için kullanılan bir test yöntemidir. Deneme levhalarında DSC analizi için Perkin Elmer (Model DSC 8000) marka cihaz kullanılmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Cihazı

Örnekler alüminyum pan ile kaplandıktan sonra cihaz içerisine yerleştirilmiştir. Test yapım aşamasında sıcaklık değeri 250°C'ye kadar 10°C/dakika oranında arttırılarak test aşamasında azot gazının akış hızında 20 ml/ dakika olacak şekilde ayar yapılmıştır. Analiz aşamasında örnekler ilk önce 250°C olacak şekilde ısıtılmış daha sonra tekrar soğutulmaya bırakılmıştır. Soğumaya bırakılan örnekler soğuduktan sonra tekrar 250°C'ye kadar ısıtılarak test edilmiştir.

Örneklerin kristallenlikleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. (Mandelkern, 1964)

Kristallenlik:

$$X_{corr.} = \Delta H_e / \Delta H_0 \times (100/W) \times 100 \quad (6)$$

ΔH_e : Örneğin erime ısısı (J/g)

ΔH_0 : PP nin erime ısısı. Bu çalışma için 207 J/g alınmıştır (Norma ve Villar, 2003)

W: PP oranı (%)

3 BULGULAR

3.1 Mekanik Özelliklere Ait Bulgular

3.1.1 Eğilme Özellikleri

Tablo 5’de atık gazete kâğıdı ile bitkisel atık yağ dolgu maddesi kullanılarak yapılan odun plastik kompozit levhaların eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve deformasyon yüzdesinin ortalama değerleri (X) ve standart sapmaları (S) görülmektedir.

Tablo 5. Eğilme özelliklerine ait bulgular.

Kompozit malzeme bileşimi	Eğilme direnci (N/mm ²)		Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)		Deformasyon (%)	
	X	S	X	S	X	S
%100 rPP	25,46	3,13	832,6	117,7	7,34	0,32
%90 rPP+%10 AGKL	16,68	2,76	858,0	160,0	2,70	0,50
%80 rPP+%20 AGKL	18,60	2,76	952,4	118,9	3,02	0,55
%70 rPP+%30 AGKL	22,04	2,44	1496,0	201,2	2,27	0,30
%90 rPP+%10 AGKL +%2,5 BY	17,50	3,31	805,8	202,2	3,58	0,40
%80rPP+%20 AGKL +%2,5 BY	15,12	1,22	834,2	90,5	3,52	0,22
%70 rPP+%30 AGKL +%2,5 BY	19,92	2,31	1036,4	157,7	3,1	0,25

rPP: Geri dönüştürülmüş polipropilen, AGKL: Atık gazete kâğıdı lifi, BY: Atık bitkisel yağ

3.1.2 Çekme Özellikleri

Atık gazete kâğıdı lifi ile bitkisel atık yağlar ile takviye edilmiş odun plastik kompozit levhaların çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve kopmada uzama

miktarının ortalama değerleri (X) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 6’da gösterilmektedir.

Tablo 6. Çekme zelliklerine ait bulgular.

Kompozit bileşimi	malzeme	çekme direnci (N/mm ²)		ekmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)		Kopmadaki uzama (%)	
		X	S	X	S	X	S
%100 rPP		17,28	2,34	691,3	106,8	3,43	0,53
%90 rPP+%10 AGKL		9,36	1,74	901,2	108,3	1,19	0,26
%80 rPP+%20 AGKL		12,32	1,83	1033,0	69,95	1,84	0,18
%70 rPP+%30 AGKL		11,33	2,05	883,2	74,41	1,80	0,34
%90 rPP+%10 AGKL +%2,5 BY		9,58	0,72	703,6	86,50	1,92	0,36
%80rPP+%20 AGKL +%2,5 BY		10,26	0,49	826,8	12,09	1,85	0,13
%70 rPP+%30 AGKL +%2,5 BY		9,32	0,68	723,4	66,80	1,6	0,20
<i>rPP: Geri dönüştürülmüş polipropilen, AGKL: Atık gazete kağıdı lifi, BY: Atık bitkisel yağ</i>							

3.2 Termal zelliklere Ait Bulgular

3.2.1 Termogravimetrik Analizlere Ait Bulgular

Atık gazete kâğıdı lifi ile bitkisel atık yağlar ile takviye edilmiş odun plastik kompozit levhaların termogravimetrik analizleri sonucunda hesaplanan dönüm noktası sıcaklığı, bozunma oranı ve 590°C’de ki kalıntı miktarına ait bulgular Tablo 7 de gösterilmiştir.

Tablo 7. Örneklerin termogravimetrik analiz sonuçlarına ait bulgular

rPP oranı (%)		100	90	80	70	90	80	70
Lif oranı (%)		-	10	20	30	10	20	30
Atık bitkisel yağ (%)		-	-	-	-	2,5	2,5	2,5
1. Basamak	Başlangıç sıcaklığı (°C)	-	360,33	343,99	333,71	317,71	345,64	342,74
	Dönüm noktası (°C)	-	375,07	372,25	373,71	327,82	370,88	378,31
	Son sıcaklık (°C)	-	380,43	381,12	384,38	343,96	379,48	382,60
	ΔY (%)	-	4,43	9,81	22,84	5,52	10,16	11,98
2. Basamak	Başlangıç sıcaklığı (°C)	439,95	445,51	447,17	453,64	449,42	452,82	451,95
	Dönüm noktası (°C)	466,97	468,00	472,61	477,40	475,78	476,57	475,90
	Son sıcaklık (°C)	481,37	484,65	486,13	489,15	486,59	487,46	489,35
	ΔY (%)	95,55	82,88	73,69	51,64	82,18	71,83	67,94
590 °C'deki kalıntı miktarı (%)		1,97	2,91	4,65	8,67	3,40	4,83	5,57

3.2.2 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizine Ait Bulgular

Atık gazete kâğıdı lifi ile bitkisel atık yağlar ile takviye edilmiş odun plastik kompozit levhaların DSC analizi sonucu hesaplanan bulgular Tablo 8'de yer almaktadır.

Tablo 8. Lif-plastik kompozitlerinin termal ve kristallik özellikleri

	T soğ. °C	Pik yüks. soğ. mW	ΔH soğ. J/g	T erime, °C	Pik yüks. erime, mW	ΔH erime, J/g	X corr., %
%100 rPP	122,4	-43,10	-71,64	163,2	17,62	69,13	33,40
%90 rPP+%10 AGKL	122,3	-32,24	-65,59	162,8	12,55	62,91	33,77
%80 rPP+%20 AGKL	122,3	-33,86	-68,73	163,0	13,43	68,00	41,06
%70 rPP+%30 AGKL	122,3	-17,24	-39,50	162,4	7,74	38,73	55,33
%90 rPP+%10 AGKL +%2,5 BY	122,2	-35,51	-66,42	162,7	14,86	64,38	34,56
%80rPP+%20 AGKL +%2,5 BY	121,9	-27,62	-61,42	162,9	11,73	59,79	36,10
%70 rPP+%30 AGKL +%2,5 BY	122,1	-27,69	-56,76	162,7	11,88	56,83	39,22
<i>rPP: Geri dönüştürülmüş polipropilen, AGKL: Atık gazete kağıdı lifi, BY: Atık bitkisel yağ</i>							

4 İRDELEME

4.1 Lif-PP Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

4.1.1 Lif-Plastik Kompozitlerin FTIR-ATR Spektrumları

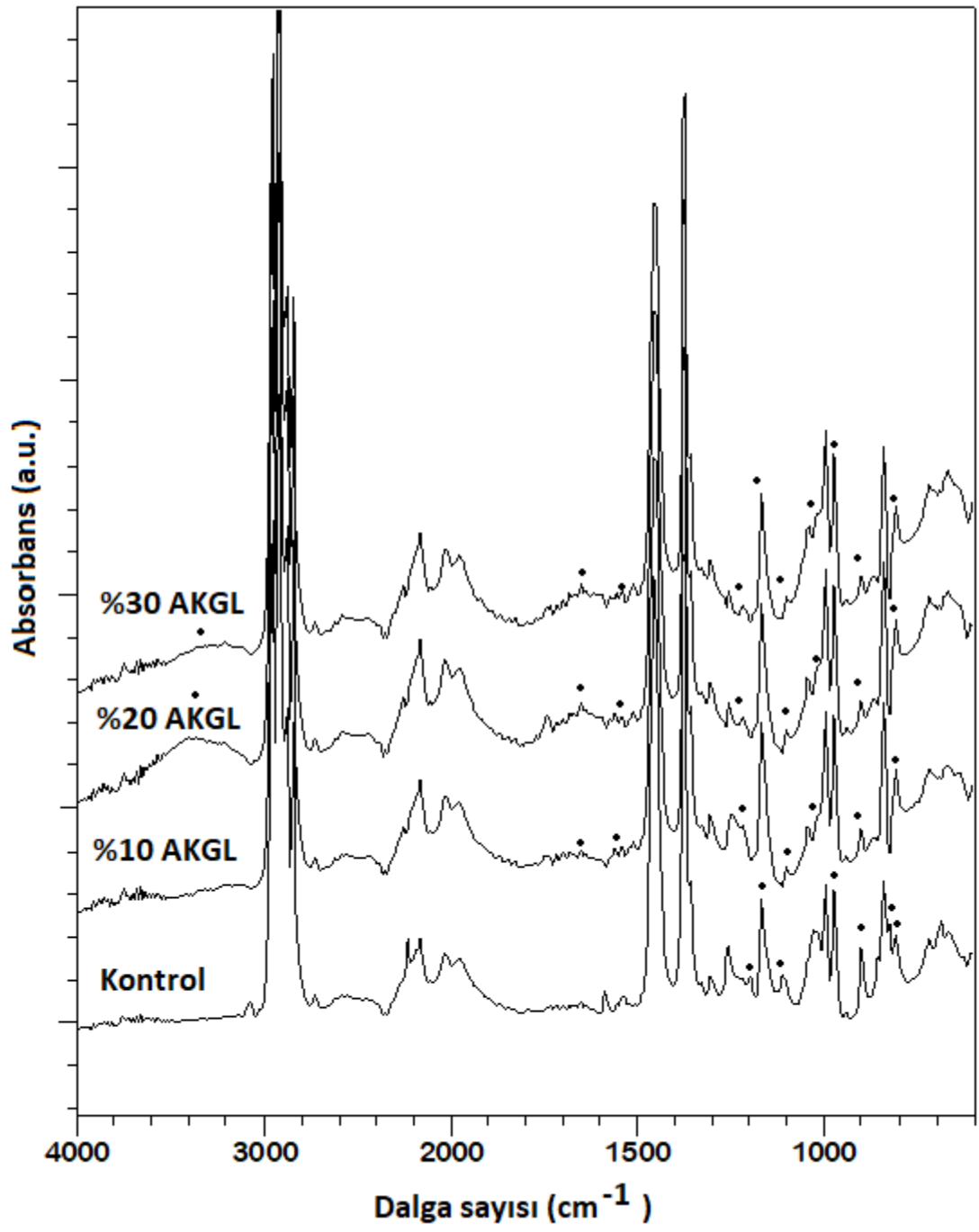
Şekil 16’da atık polipropilen ve atık gazete kâğıdı lifi ile hazırlanan polimerlerin FTIR-ATR spektrumları görülmektedir. Spektrumlar incelendiğinde polipropilenin karakteristik piklerinin olduğu $2954\text{--}2870\text{ cm}^{-1}$, 1459 cm^{-1} , 1377 cm^{-1} , 1256 cm^{-1} , 998 cm^{-1} , 973 cm^{-1} ve 840 cm^{-1} (Chalmers ve ark., 2012; Snyder ve ark., 1978; Afonso ve ark., 2009; Karacan, 2011) bandlarındaki pikler gözlenmektedir. Tablo 9’da selülozik malzemelerin FTIR-ATR ölçümlerinde belirlenen karakteristik pik bandları görülmektedir.

Kompozit malzemelerin spektrumları incelendiğinde ortama ilave edilen atık gazete kâğıdı lifi ile birlikte 810 cm^{-1} , 840 cm^{-1} , bandlarındaki piklerde artış gözlenmiştir. Bu bandlar mannoz birimleri ile ilişkili bandlardır (Kato et. al., 1973). Ayrıca 1015 cm^{-1} , 1043 cm^{-1} ve 1159 cm^{-1} bandında da pik yoğunluğu artmıştır. Bu bandlar sırasıyla selüloz ve hemiselülozlardaki C-O gerilimi ile selülozun C-O-C simetrik gerilimini belirtmektedir (Liang ve Marchessault, 1959). Lif ilavesi ile oluşan bir diğer pik 1742 cm^{-1} bandında oluşan ve lif oranıyla yoğunluğu artan piktir. Bilindiği gibi bu band hemiselülozlarla ilişkili olarak konjuge olmayan ketonlar ile karbonhidratların karbonil ve alifatik gruplarının C=O gerilmesini belirtmektedir (Marchessault ve Liang, 1962).

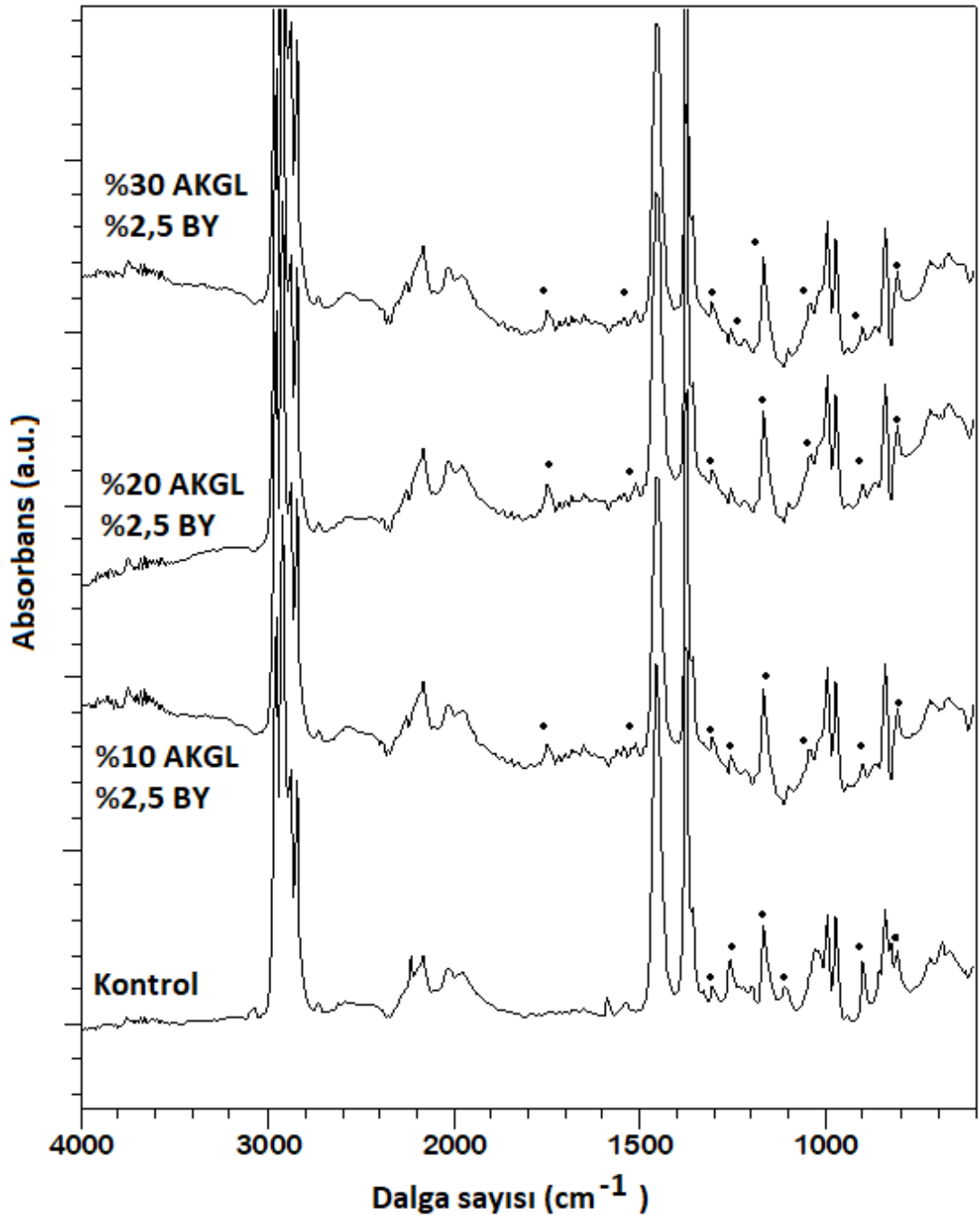
Şekil 17’de %2,5 atık bitkisel yağ ile takviye edilen kompozitlerin FTIR-ATR spektrumları görülmektedir. Spektrumlar incelendiğinde Şekil 16’da gözlenen piklerden farklı bir pik oluşumu ya da pik yoğunluğu tespit edilmemiştir. Yağ takviyeli kompozit levhalar için takviyesiz levhalar için geçerli tüm karakteristik pikler aynı şekilde görülmektedir.

Tablo 9. Selülozik malzemelerin kızılötesi spektrumdaki dalgasayısı karakterizasyonu

Dalga sayısı (cm⁻¹)	Ana gruplar ve titreşim modları	Belirttiği bileşen
1739-1732	Konjuge olmayan ketonlar ile karbonhidratların karbonil ve alifatik gruplarının C=O gerilmesi (Marchessault and Liang, 1962)	Hemiselüloz (ksilan, glukomannan)
1430-1421	CH ₂ bükülme deformasyonu (Nelson and O'Connor 1964), aromatik yapı titreşimi (Nuopponen, 2005).	Selüloz, lignin
1372-1368	C-H deformasyonu (selüloz), -CH ₃ (lignin), -CH ₂ (karbonhidrat), lignin-karbonhidrat kompleks bağları (Nuopponen, 2005)	Selüloz, lignin-karbonhidratlar
1333-1327	Düzlem bükülmesinde OH, siringil halka artı guayasil halka, fenol grubu (Nelson and O'Connor 1964; Nuopponen, 2005)	Selüloz, hemiselüloz, lignin
1275-1260	Guayasil halka esnemesi, lignindeki C-O gerilimi, guayasil aromatik metoksi gruplarındaki C-O bağlanması (Faix 1991)	Lignin
1235-1226	Alkil-aril-eter bağları (Nuopponen, 2005), siringil halkası ve lignin ve ksilandaki C= gerilmesi (Faix 1991)	Laktonlar, lignin
1159-1155	Selüloz C-O-C simetrik gerilimi (Liang and Marchessault, 1959)	Selüloz
1051-1023	C-O gerilimi (Liang and Marchessault, 1959)	Selüloz ve hemiselüloz
897-895	Düzlem deformasyonun dışındaki aromatik C-H (Kato <i>et. al.</i> , 1973; Nelson and O'Connor 1964)	hemiselüloz, selüloz
810-870	Mannoz birimindeki ekvatorial olarak hizalı hidrojenin titreşimi (Kato <i>et. al.</i> , 1973)	Glukomannan



Şekil 16. Örneklerin FTIR-ATR Spektrumları.



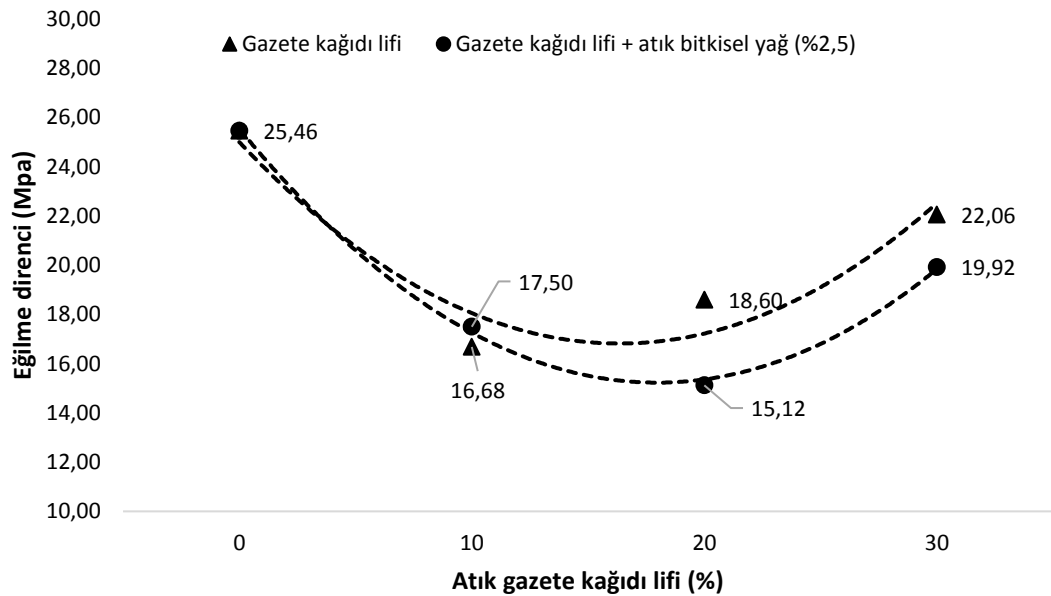
Şekil 17. Bitkisel atık yağ takviyeli örneklerin FTIR-ATR spektrumları.

4.2 Mekanik Özellikler

4.2.1 Eğilme Özellikleri

Şekil 18’de atık gazete kâğıdı lifi ile takviye edilen PP kompozitlerin eğilme dirençleri görülmektedir. Atık polipropilenin eğilme direnci 25,46 MPa olarak belirlenmiştir. Grafiklerden her iki dolgu tipi için eğilme direncinin %10 atık gazete

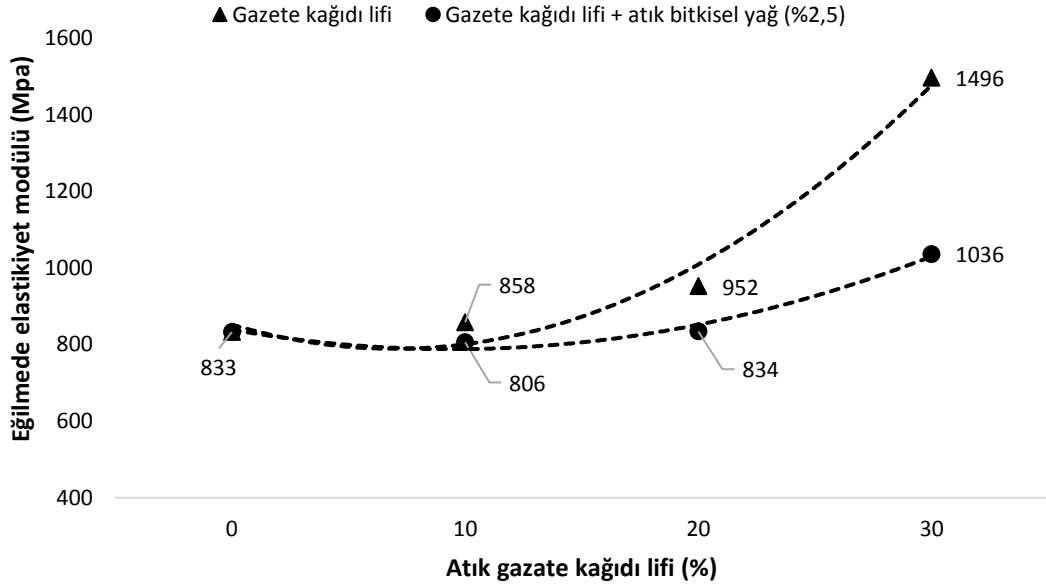
kâğıdı lifi ile önce düştüğü, % 30 lif oranı ile tekrar artışa geçtiği görülmektedir. Kontrol örneğinden sonra en yüksek eğilme direnci değeri %30 atık gazete kâğıdı lifi içeren levhalarda 22,06 MPa olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte %2,5 yağ takviyeli levhaların eğilme dirençleri daha düşük ölçülmüştür. %10 lif oranında bu fark yaklaşık olarak bir birim iken, %20 lif oranında 3,48 birim %30 lif oranında ise 2,14 birim olarak hesaplanmıştır. Suryadiansyah ve Ashari (2007) yaptıkları çalışmada atık kağıt ile PP kompozitlerinde farklı uyum sağlayıcıların etkilerini araştırmışlar ve uyum sağlayıcı olmayan %30 lif içeren örneklerin eğilme direnci değerlerini 48 MPa civarında ölçmüşlerdir. Çalışmalarında uyum sağlayıcı kullanımının eğilme direncini arttırmadığını hatta bir miktar azalttığını tespit etmişlerdir (Suryadiansyah ve Ashari, 2007). Eğilme direnci sonuçlarının bizim bulgularımızdan daha yüksek ölçülmesinin nedeninin, çalışmalarında atık yerine saf PP kullanmaları olduğu düşünülmektedir. Pesman ve Güleç (2019) atık ofis ve gazete kâğıdı- atık PP kompozitleri üzerine yaptıkları çalışmada gazete kâğıdı lifi kullanılan örneklerde kontrole göre eğilme direncinin 28,3 MPa dan 25,1 MPa ya düştüğünü belirlemişlerdir. Bu sonuçlar bu çalışmadaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 18. Lif-PP kompozit levhalarının eğilme dirençleri.

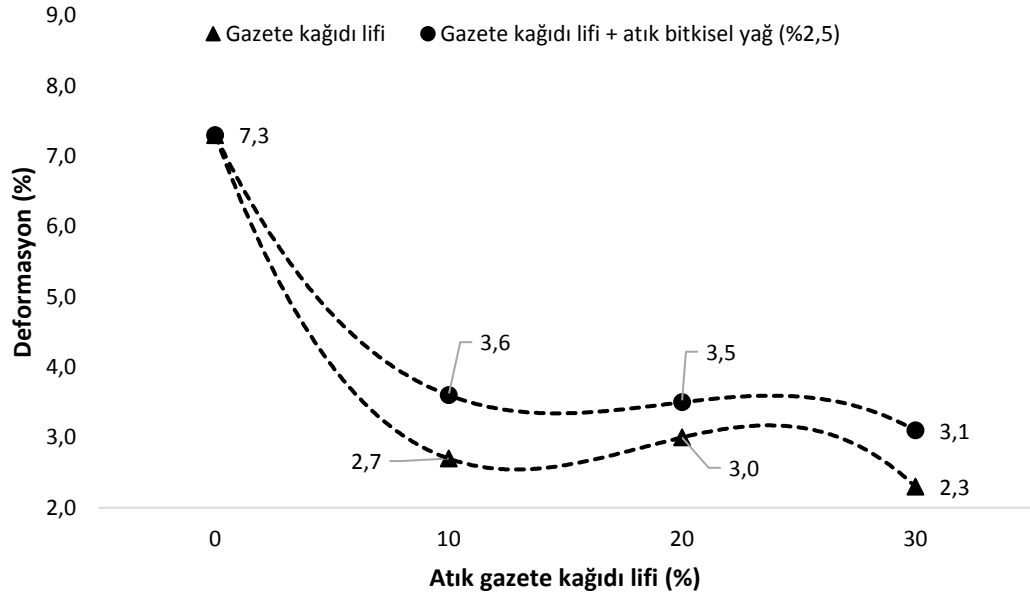
Şekil 19’da örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri görülmektedir. Bilindiği gibi elastikiyet modülü bir malzemeye uygulanan düşük gerilmeler altında meydana gelen şekil değişiminin, gerilmeyi oluşturan yükün kaldırıldıktan sonra

malzemenin eski şekline gelme özelliğini ifade eden bir değerdir. Eğilmede elastikiyet modülü eğilme direncinin aksine artırılan atık gazete lifi oranı ile artmaktadır. Bununla birlikte atık bitkisel yağ ile takviye edilen örneklerin eğilmede elastikiyet modülü bitkisel yağ kullanılmayan örneklerinkine göre daha düşük ölçülmüştür. Atık polipropilenin eğilmede elastikiyet modülü ortalama 833 MPa olarak ölçülürken atık gazete lif oranı %10'a çıkarıldığında elastikiyet modülü 858 MPa'ya çıkmıştır. Bitkisel yağ ilaveli örneklerin %10'luk atık gazete kağıdı lifi oranında ise modül 806 MPa olarak ölçülmüştür. Lifi oranı %30'a çıkarıldığında elastikiyet modülü sadece gazete lifi olan örnekler için 1496 MPa ölçülürken bitkisel yağ kullanımı sonucu elastikiyet modülü 1036 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 19. Lif-PP kompozit levhalarının eğilmede elastikiyet modülleri.

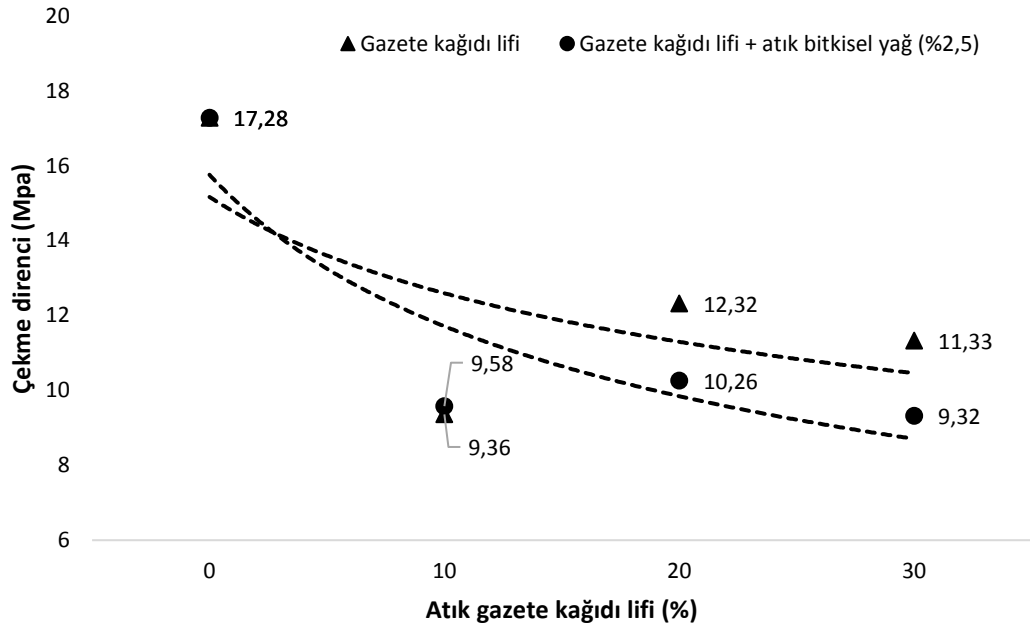
Şekil 20'de levhaların eğilmedeki deformasyon oranları görülmektedir. Grafiklerden deformasyonun atık gazete kâğıdı lifi ilavesiyle düştüğü görülmektedir. Bununla birlikte atık bitkisel yağ kullanılan örneklerin deformasyonunun kullanılmayan örneklerinkine oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Deformasyondaki fark %10 lif oranı için yaklaşık %1 iken %20 lif oranında fark %0,5 ve %30 lif oranında %0,8 olarak ölçülmüştür.



Şekil 20. Lif-PP kompozit levhalarının eğilmede oluşan deformasyon oranları.

4.2.2 Çekme Özellikleri

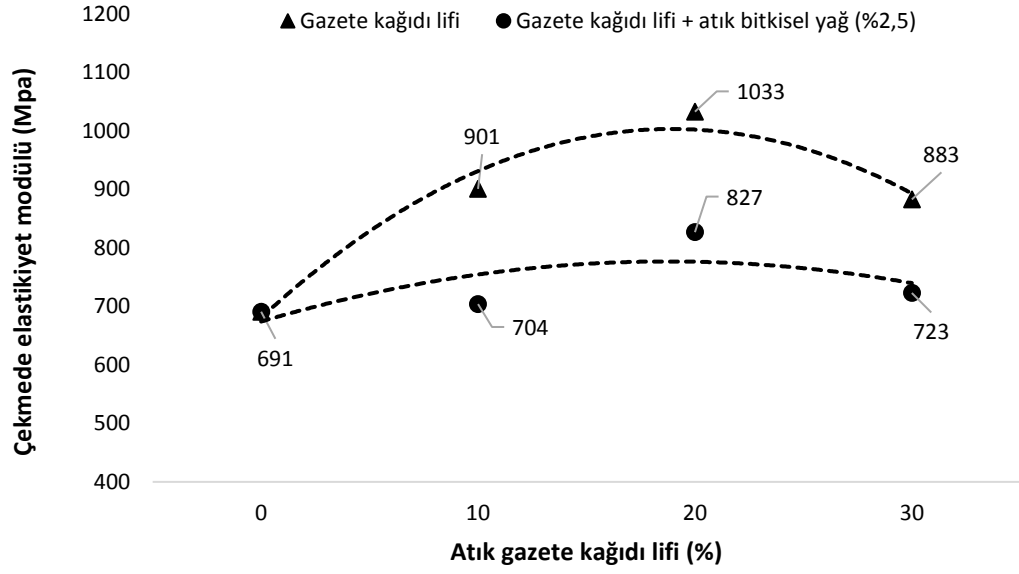
Şekil 21, 22 ve 23’de atık gazete kağıdı lifleri ve atık bitkisel yağ ile takviye edilmiş plastik levhaların sırasıyla çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve kopma sırasındaki uzama miktarlarına ait değerler görülmektedir. Şekil 21’de görüldüğü gibi kontrol örneği olan atık PP’nin çekme direnci 17,28 MPa olarak ölçülmüştür. Ortama ilave edilen %10 atık gazete lifi ile çekme direnci atık bitkisel yağ takviyeli ve takviyesiz örnekler için çekme direnci sırasıyla 9,58 ve 9,36 MPa olarak ölçülmüştür. Lif oranı %30’a çıkarıldığında çekme direnci bitkisel yağ takviyesi olmayan örnek için 11,33 MPa ölçülürken bitkisel yağ takviyesi ile çekme direnci 9,32 civarında ölçülmüştür. Direnç özellikleri açısından atık bitkisel yağ kullanımı liflerin daha homojen dağılımı sağlamış olsa da mekanik özellikleri artırmamaktadır. Zander ve arkadaşları (2019) geri dönüştürülmüş selüloz lifi-PP kompozitleri üzerine yaptıkları çalışmada bakir PP, atık PP, atık kağıt, odun unu, karton lifi ile yaptıkları çalışmada bakir PP’nin çekme direnci 30 MPa civarında iken atık PP’de yaklaşık 26 MPa olarak ölçülmüştür. %10 atık kağıt lifi ilavesi ile direnç değeri yaklaşık 19 MPa’ya kadar düşmüştür. Aynı atık PP’nin kullanıldığı bir başka çalışmada atık PP’nin çekme direnci 17,2 MPa olarak ölçülmüş ve %50 atık gazete kağıdı ile 10,8-14,9 MPa aralığına kadar düşüş gözlenmiştir (Pesman ve Güleç, 2019).



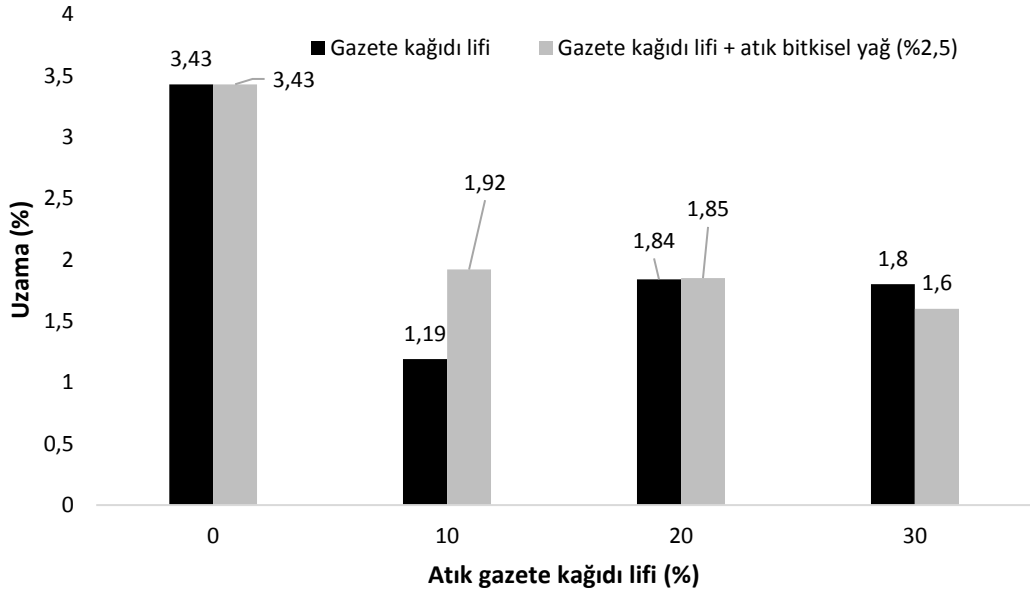
Şekil 21. Lif-PP kompozit levhalarının çekme dirençleri

Çekmede elastikiyet modülünde durum biraz daha farklı olup dolgu oranının artışı ile birlikte elastikiyet modülü her iki grup için %20 lif oranına kadar artmış %30 oranında ise bir miktar azalmıştır. En yüksek değer %20 atık gazete kağıdı lifi içeren kompozit levhada 1033 MPa olarak ölçülmüştür. Bitkisel yağ ilavesi ile elastikiyet modülü 827 MPa ya kadar azalmıştır. Kontrol örneğinde bu değer 691 MPa civarında ölçülmüştür. Çekme direnci azalırken çekme modülünün artışı karışım kuralı ile izah edilmekte, lignoselülozik malzemelerin elastikiyet modüllerinin yüksek olması kompozit ürünlerinkini de arttırmaktadır (Ward ve Hardley 1993; Matuana ve Balatinecz, 1998; Bouafif, 2009; Zabihzadeh, 2010; Chaharmahali v.d., 2010).

Şekil 23’de örneklerin çekme sırasındaki uzama miktarları görülmektedir. Atık PP’nin deformasyon oranı %3,43 civarında iken ortama lif ilave edilmesiyle bu değer %1,8 civarına kadar düşmüştür. Elde edilen sonuçlar Pesman ve Güleç’in (2019) yaptığı çalışma ile de örtüşmektedir.



Şekil 22. Lif-PP kompozit levhalarının çekmede elastikiyet modülleri.



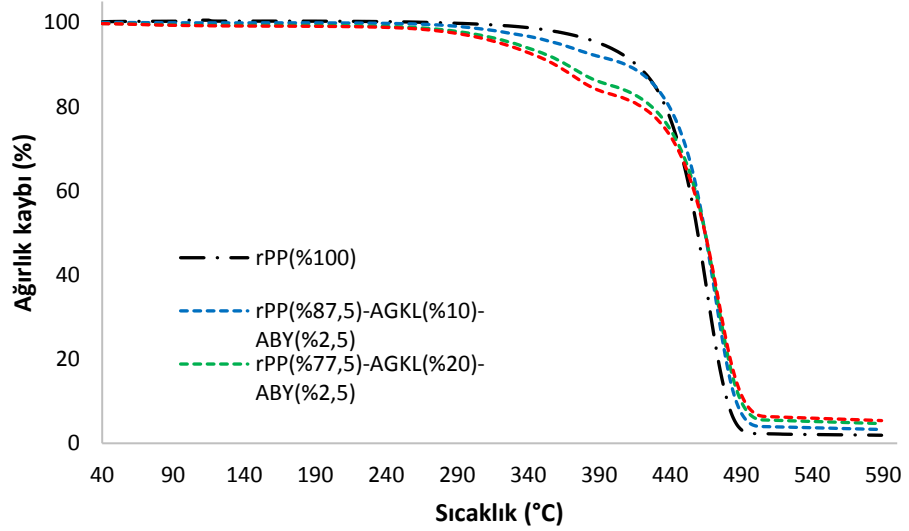
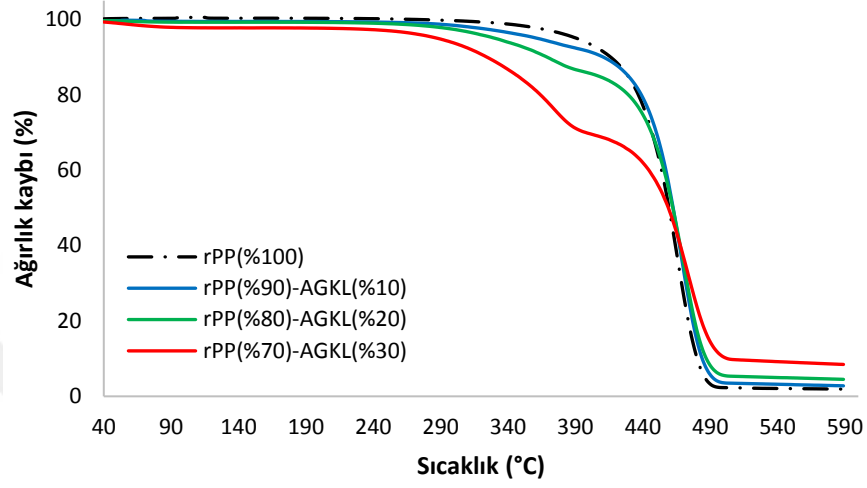
Şekil 23. Lif-PP kompozit levhalarının kopmada uzama miktarları.

4.3 Termal Özellikler

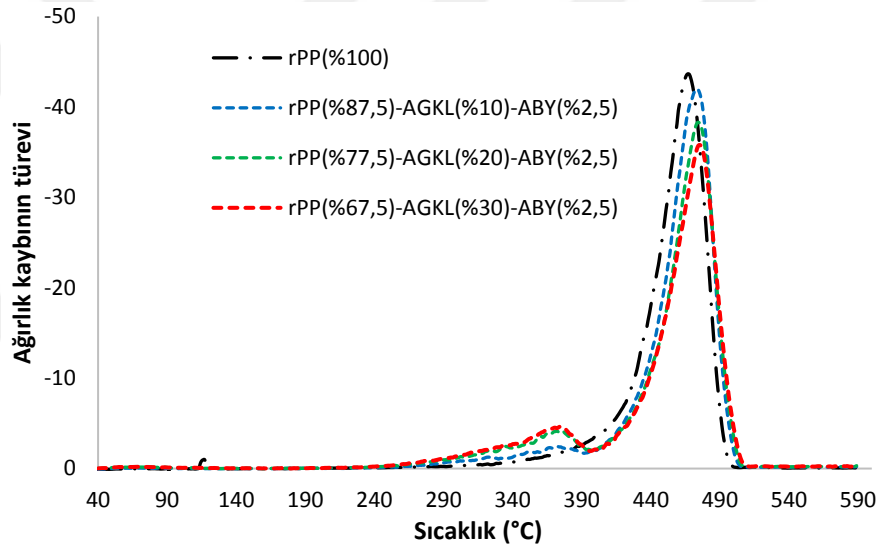
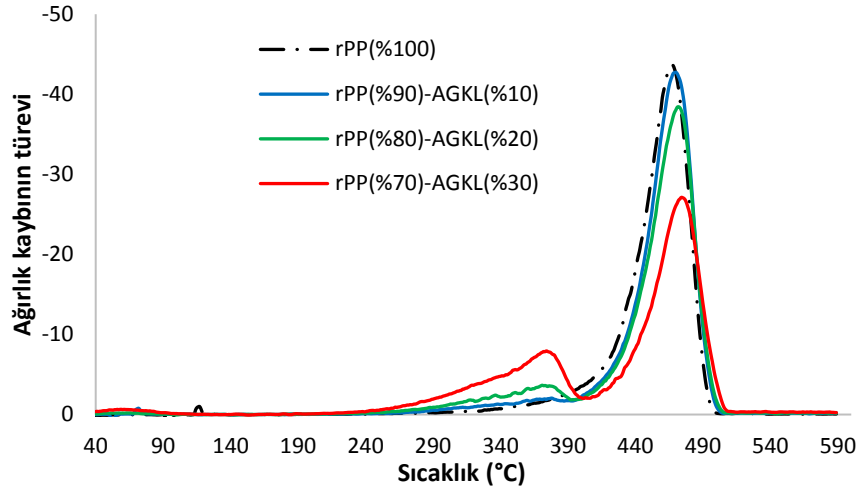
4.3.1 Termogravimetrik (TGA) Analizler

Şekil 24’de lif-plastik kompozitlerin TGA grafiği görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi bozunma iki basamakta gerçekleşmektedir. İlk basamak atık gazete kağıdının ikinci basamak ise atık PP’nin bozunma basamağını göstermektedir.

Şekil 25’de ise bu basamağın türevine ait grafik görülmektedir. Türev grafikleri incelendiğinde rutubetin 80°C civarında uzaklaştığı görülmektedir. Türev grafikleri incelendiğinde özellikle polipropilenin bozunma sıcaklığının lif ilavesi ile arttığı görülmektedir.



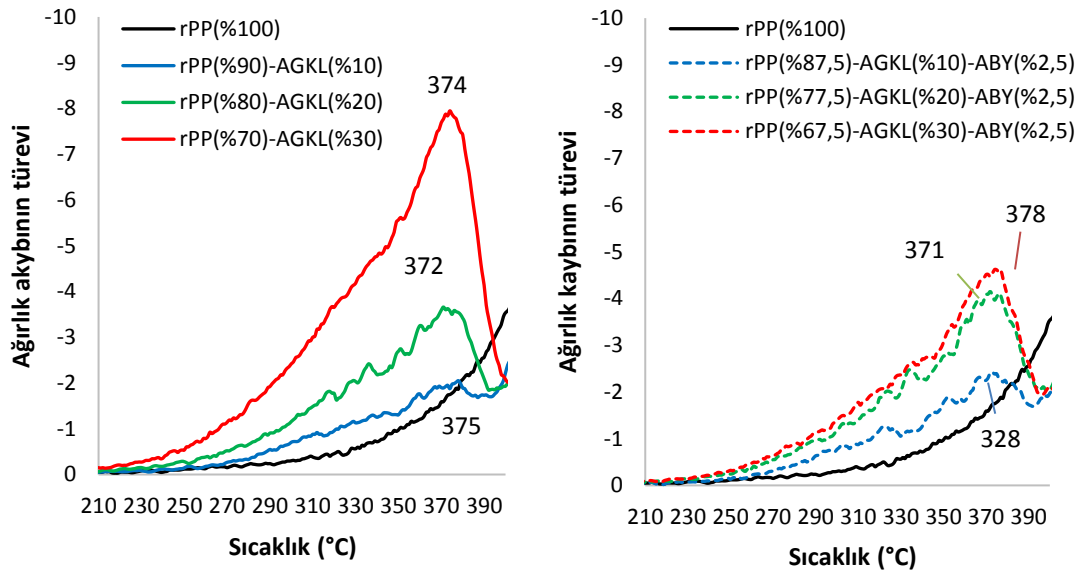
Şekil 24. Lif-plastik kompozitlerin TGA grafikleri



Şekil 25. Lif-plastik kompozitlerin DTGA grafikleri.

Ayrıntılı bir inceleme için 1. basamak ve 2. basamağın spektrumları sırasıyla Şekil 26 ve 27’de verilmiştir. Şekil 26’da kompozit plastik içerisinde bulunan atık gazete kağıdının pirolizi ile ilgili grafikler görülmektedir. İlk grafikte sadece atık gazete kağıdı lifi takviyeli, ikinci grafikte ise atık bitkisel yağ ilaveli atık gazete kağıdı lifi takviyeli örneklerin DTGA pikleri görülmektedir. Pik sıcaklıkları karşılaştırıldığında %30 AGKL ile 374°C sıcaklık, %30AGKL ve %2,5 bitkisel yağ katkısı ile 378°C’de pik tespit edilmiştir. Yağlama etkisi ile liften kaynaklı bozunma basamağının kısmen arttığı söylenebilir. Program üzerinden 1. Basamak için hesaplanan dönüm noktası sıcaklığı sadece %30 gazete kâğıdı lifi katkılı PP kompozitleri için 373,71°C ve bitkisel yağ ve %30 gazete kâğıdı lifi katkılı PP kompozitleri için 378,31°C olarak

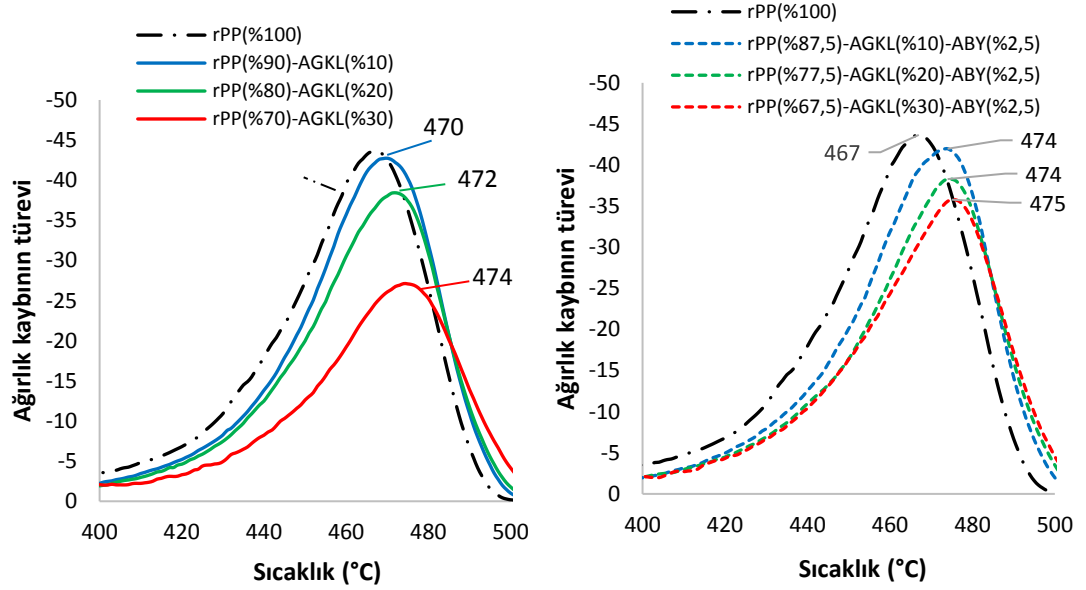
hesaplanmıştır. Türev grafiklerinin pik noktaları ile dönüm noktası sıcaklığı bu çalışmada bire bir örtüşmektedir. Türev grafikleri incelendiğinde ilk basamağın yaklaşık 250°C’de başladığı ve 410°C ye kadar devam ettiği görülmektedir. Birinci basamağın geniş bir sıcaklık aralığında olmasının nedeni gazete kağıdının bileşiminden kaynaklanmaktadır. Sadece selüloz bazlı lif kullanılmış olsaydı bu ilk pikin çok daha dik ve temiz olması beklenirdi. Fakat gazete kağıdı bileşiminde hemiselüloz, selüloz ve lignin içermesi sebebiyle iç içe geçmiş pikler oluşmaktadır.



Şekil 26. Dolgu tipinin birinci bozunma basamağında DTGA üzerine etkisi

Şekil 27’de atık gazete kağıdı liflerinin plastiğin bozunma sıcaklığı üzerine etkisi görülmektedir. Atık polipropilen örneği yaklaşık 467°C’de pik oluşturmuştur. Aynı örneğin dönüm noktası sıcaklığı benzer şekilde 466,97°C olarak belirlenmiştir. %10 atık gazete kağıdı lifi ilavesiyle pik sıcaklığı 470°C olarak belirlenirken dönüm noktası sıcaklığı 468°C olarak hesaplanmıştır. Ortama ayrıca %2,5 yağ ilavesiyle birlikte bu sıcaklık DTGA grafiğinde 474°C, dönüm noktası sıcaklığında 475,78°C olarak ölçülmüştür. %20 lif oranıyla DTGA grafiğinde 472°C, dönüm noktası sıcaklığında 472,61°C ölçüm alınmıştır. Ortama %2,5 bitkisel yağ ilavesi ile DTGA grafiğinde 474°C, dönüm noktası sıcaklığında 476,57°C kaydedilmiştir. %30 lif oranında da yağ ilaveli örnekler diğerlerine göre daha yüksek sıcaklıkta bozunmaya uğramıştır. Sıcaklık farkı 2-3°C kadar olmuş olsa da yağlama etkisinin malzemenin termal dayanımını artırdığı söylenebilir. Zander ve arkadaşları (2019) yaptıkları

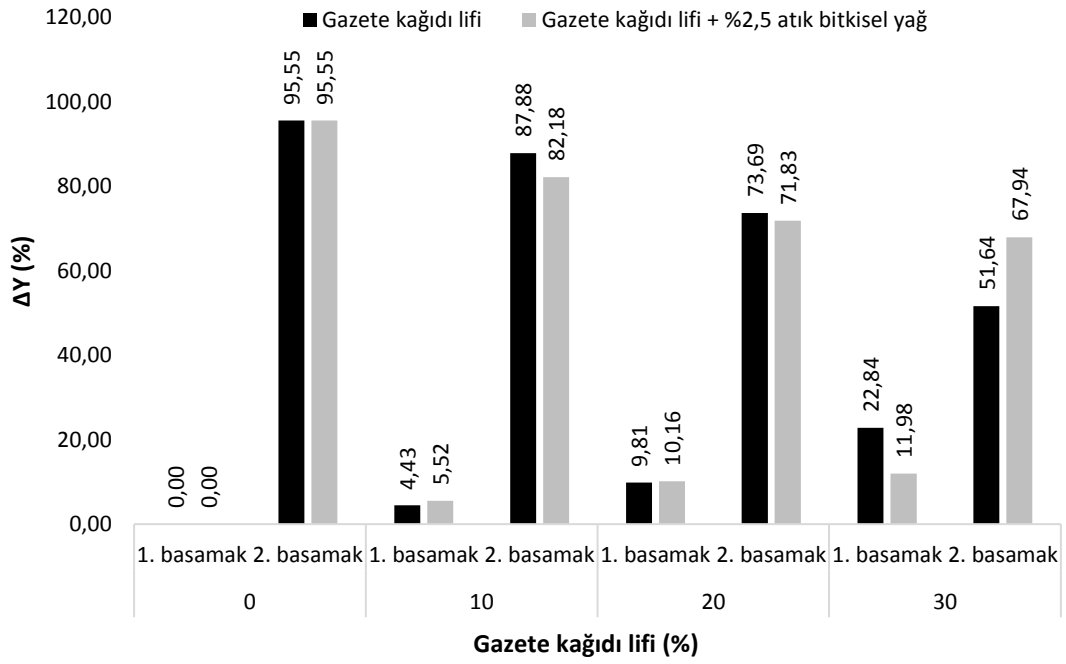
çalışmada atık ve bakir polipropilen ile atık kağıt karışımlarını çalışmışlar ve bozunma sıcaklığının atık kağıt lif oranının artışı ile arttığını tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada atık PP'nin bozunma sıcaklığı 471,8°C olarak ölçülmüş ve ortama %20 atık kağıt lifi eklenmesi ile bozunma sıcaklığı 473,2°C' ye çıkmıştır (Zander ve ark., 2019). Elde edilen bulgular yapılan bu çalışma ile de benzerlik göstermektedir.



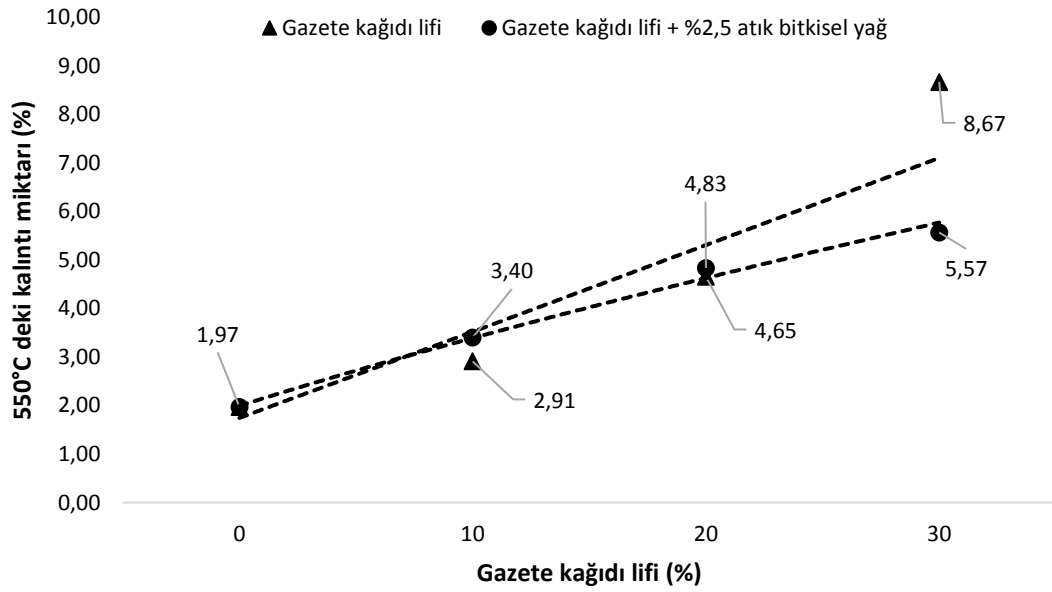
Şekil 27. Dolgu tipinin ikinci bozunma basamağında DTGA üzerine etkisi

Şekil 28'de kompozit levhaların ΔY değerleri görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi artırılan lif oranı ile birlikte 1. Basamaktaki ΔY oranı artmakta 2. Basamaktaki ΔY oranı ise azalmaktadır. Bu oranlar kompozit levhaların doğru oranlarda olduğunu göstermektedir. İlk basamaktaki ΔY oranı, ilave edilen orandan daha düşük olarak hesaplanmıştır. Bunun nedeni iç içe geçen piklerin varlığından kaynaklanmaktadır.

Şekil 29'da kompozit levhaların termal analiz sonrası 550°C'deki kalıntı miktarları görülmektedir. Atık gazete kağıdı lifi oranının artırılması ile birlikte kül miktarının da artış gösterdiği görülmektedir. Bitkisel yağın kül miktarına önemli bir etkisi bulunmamaktadır.



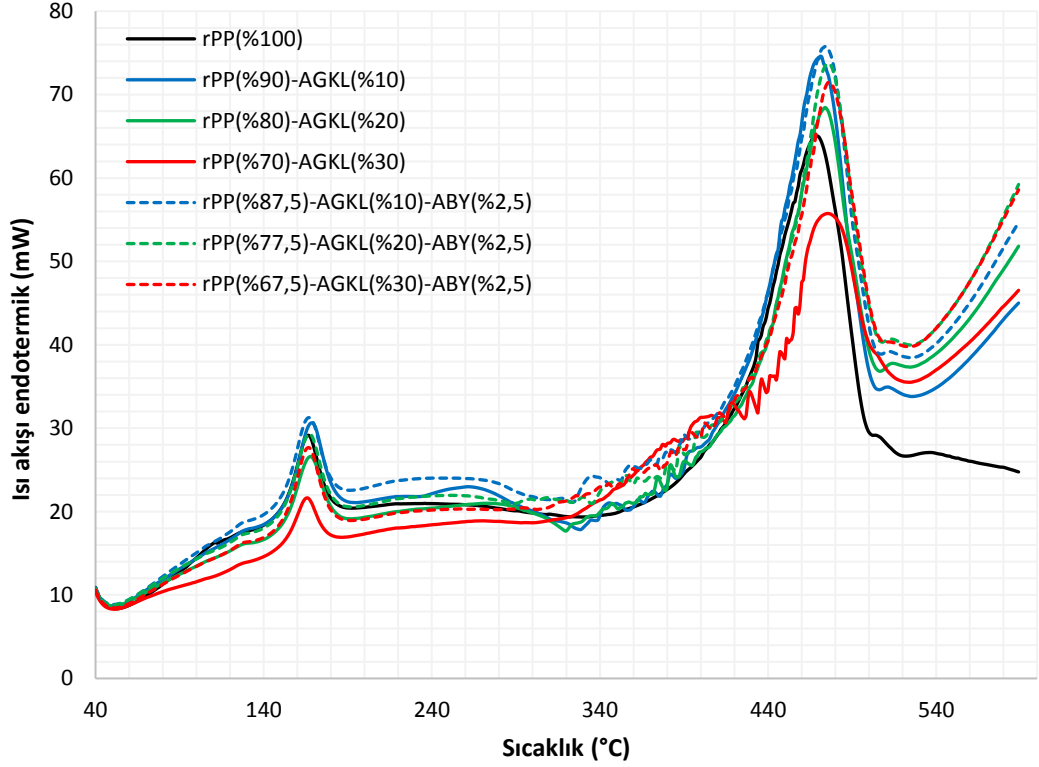
Şekil 28. Lif miktarının ΔY değeri üzerine etkisi.



Şekil 29. Dolgu oranının 550°C sıcaklıktaki kalıntı madde miktarına etkisi

Şekil 30'da STA-6000 ile ölçülen DSC grafikleri görülmektedir. Çalışmada ayrıca DSC analizi yapılmış olsa da TGA üzerinde daha yüksek sıcaklıkların verileri de ölçülebildiği için bu çalışmada ayrıca ölçülmüştür. Grafik incelendiğinde plastik malzemenin özellikle erime piki olan 167°C'de ve 469°C'de iki ana pik oluşturduğu,

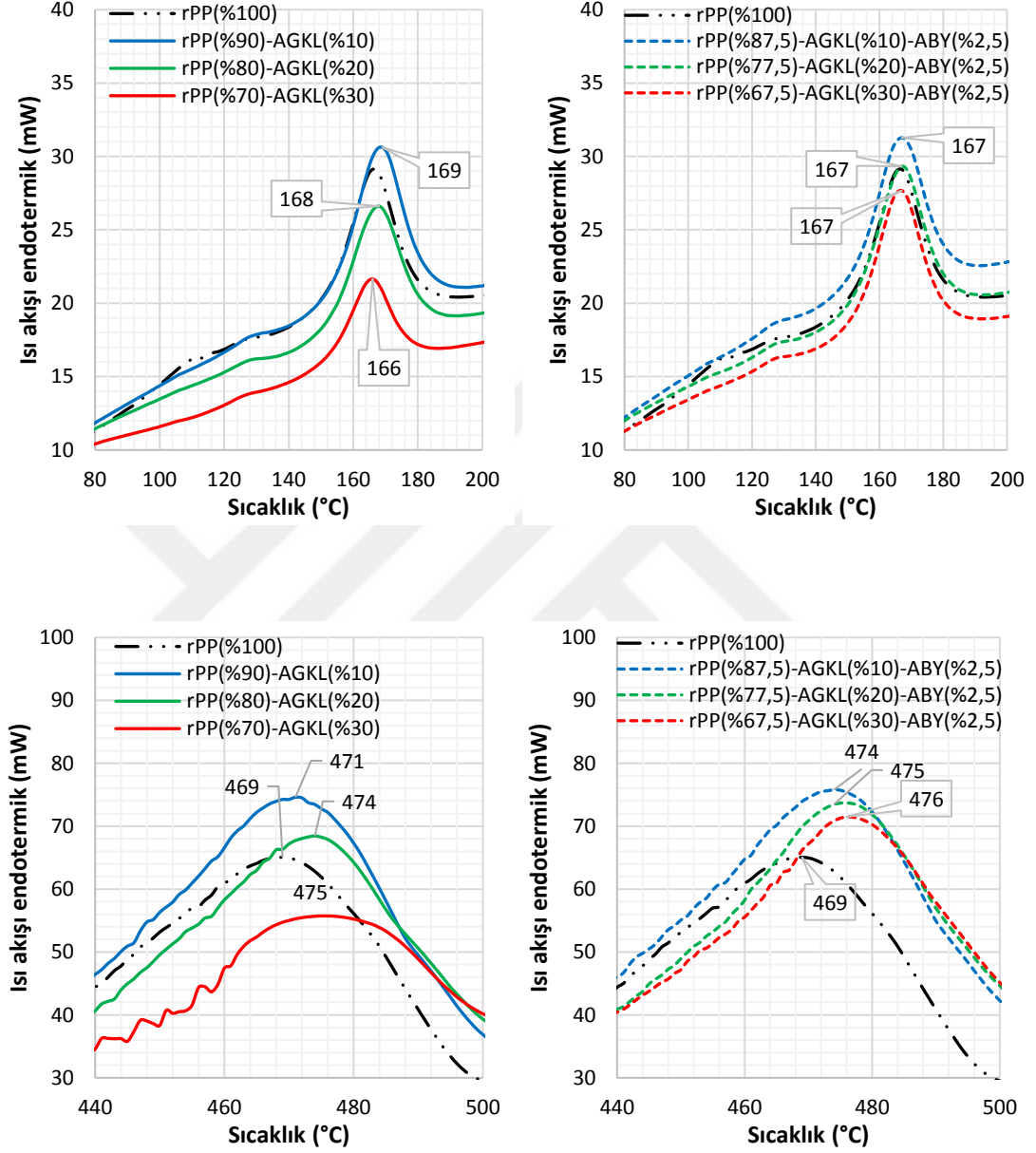
ortama atık gazete kağıdı lifi ilavesi ile 300-400°C civarında dalgalanmalar ve 500°C'den sonra artış gözlenmiştir.



Şekil 30. Örneklerin STA-6000 ile ölçülen DSC spektrumları.

Şekil 31'de örnekler daha ayrıntılı incelenmiştir. 166-169°C'de tüm örnekler erime piki oluşturmuştur. İleride bu pik DSC analizleri başlığı altında daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır. İkinci ve en belirgin pik malzemenin bozunması bir diğer ifade ile pirolizi ile oluşan piktir. Atık PP'nin yaklaşık 469°C sıcaklıkta pik oluşturduğu %10, %20 ve %30 AGKL ilavesi ile sıcaklığın sırasıyla 471°C, 474°C ve 475°C'ye çıktığı görülmektedir. TGA verilerine yakın sonuçlar burada da tespit edilmiştir. Ortama ayrıca %2,5 atık bitkisel yağ ilavesi ile pik sıcaklıklarının %10, %20 ve %30 AGKL oranlarında sırasıyla 474°C, 475°C ve 476°C'ye çıktığı belirlenmiştir. TGA analizi ile aynı anda yapılmış olmakla birlikte farklı detektörlerden alınan sinyaller sonucu sonuçlarda farklılıklar oluşabilmektedir. Bununla birlikte TGA verilerine yakın sonuçlar burada da tespit edilmiştir. TGA ile simultane ölçülen bu DSC analizinde ayrıca 500°C sonrası yeni bir pik oluşumu ayrıca gözlenmektedir. Bu ısı akışındaki artış organik malzemenin içeriğinde yer alan lignin bileşeninden kaynaklanmaktadır.

Bilindiği gibi lignin oldukça yüksek sıcaklıklara oluşan bir aralıkta pirolize uğramaktadır.



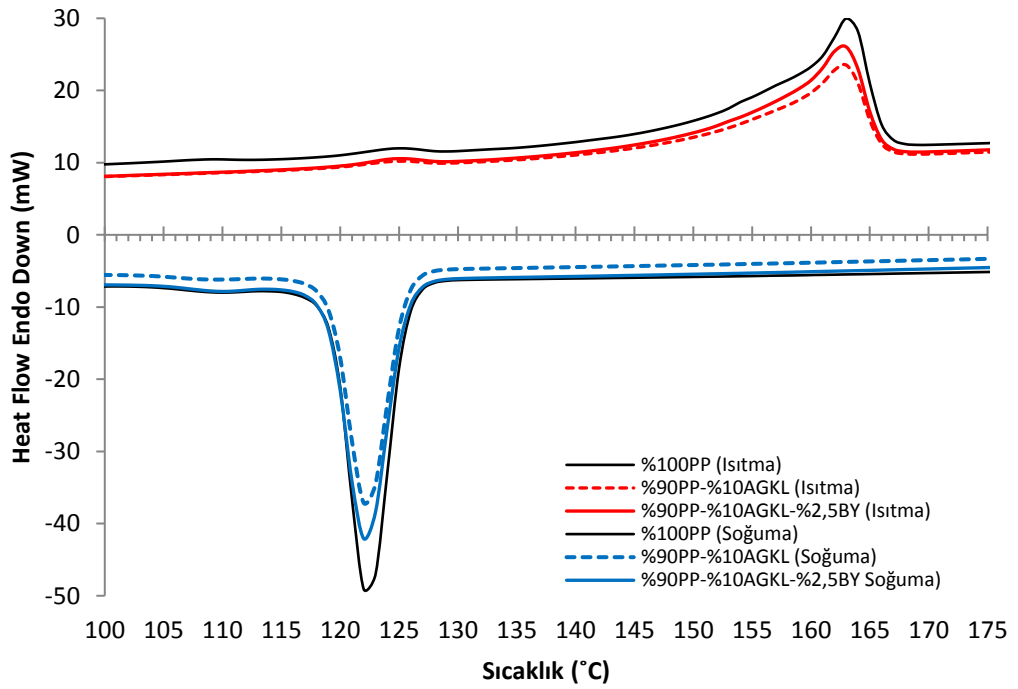
Şekil 31. Örneklerin STA-6000 ile ölçülen simultane DSC spektrumları.

4.3.2 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizleri

DSC malzemelerin erime noktası, camsı geçiş noktaları, kristaleniteleri gibi veriler hakkında bilgiler sunan analitik bir tekniktir. Çalışmada tüm örnekler önce 35°C' den 250°C'ye kadar ısıtılmış ve hesaplamalarda ikinci erime işleminin verileri

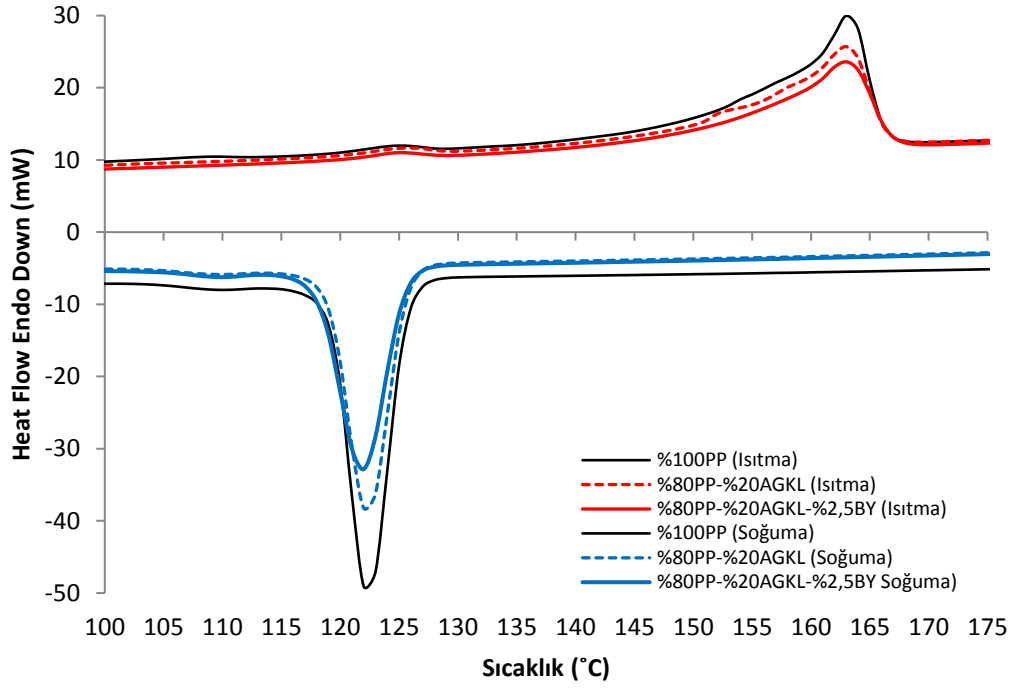
kullanılmıştır. Şekil 32’de atık bitkisel yağ takviyeli ve takviyesiz %10 atık gazete kağıdı lifi içeren kompozitlerin erime ve soğuma DSC grafikleri görülmektedir.

Erime ve soğuma eğrilerinde pik sıcaklıklarının atık bitkisel yağ ilavesi ile değişmediği bununla birlikte pik yüksekliğinin arttığı görülmektedir. Ayrıca grafiklerden atık PP’nin erime grafiğinde yaklaşık 125°C’de yüksekliği düşüktü olsa pik oluşumu tespit edilmiştir. Bu pik kullanılan polipropilenin saflığının daha düşük olması ve geri dönüştürülmüş olmasından kaynaklanmaktadır.

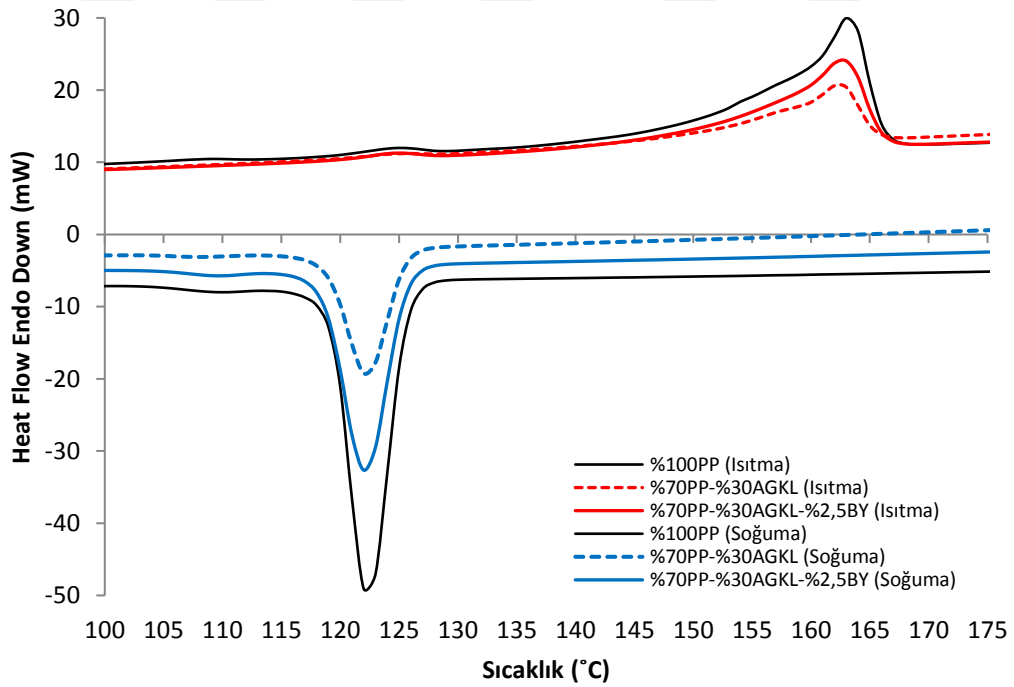


Şekil 32. %10 atık gazete kağıdı lifi katkılı PP kompozitlerin DSC grafikleri.

Şekil 33 ve 34’de sırasıyla atık bitkisel yağ takviyeli ve takviyesiz %20 ve %30 atık gazete kağıdı lifi katkılı PP kompozitlerin DSC grafikleri görülmektedir. %20 lif oranında pik yüksekliği yağ katkılı ve katkısız ürünlerde yaklaşık aynı değerleri almıştır. %30 lif içeren örneklerde ise pik yüksekliği yağ katkılı örneklerde daha yüksek görülmektedir.



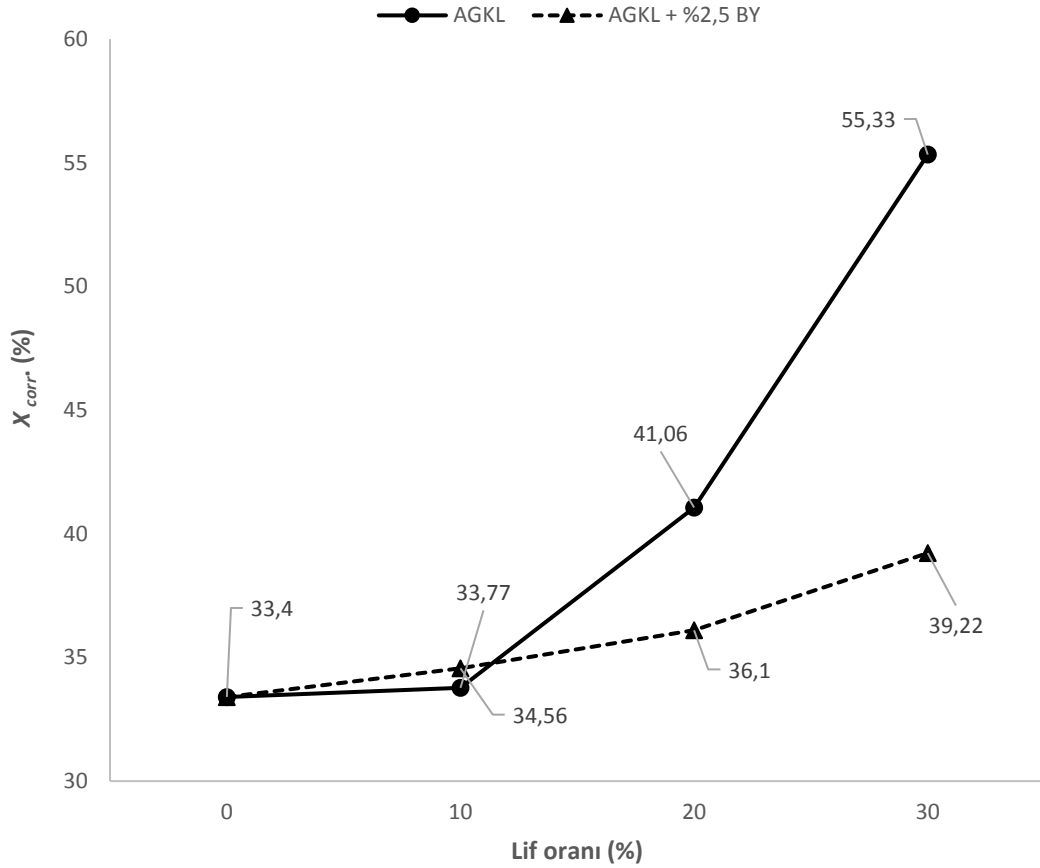
Şekil 33. %20 atık gazete kağıdı lifi katkılı rPP kompozitlerin DSC grafikleri.



Şekil 34. %30 atık gazete kağıdı lifi katkılı rPP kompozitlerin DSC grafikleri.

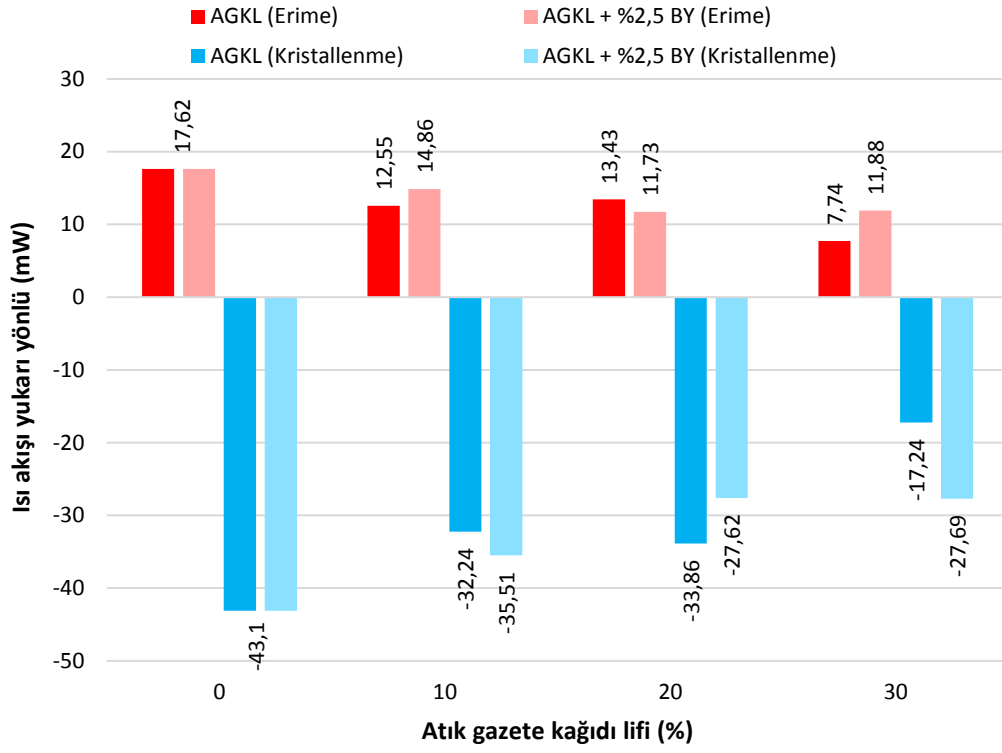
Şekil 35’de örneklerin kristallikleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde odun plastik kompozitlerinde atık kâğıt lif oranının malzemelerin kristalliğini önemli

ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Kristallik %100 atık polipropilen ile %33,4 olarak hesaplanırken %30 atık kağıt lifi ile %55,33'e kadar çıkmıştır. Bununla birlikte ortama ayrıca %2,5 yağ ilave edildiğinde malzemelerin kristallikleri yağ ilavesiz örneklerle göre daha düşük hesaplanmıştır. Yağ ilaveli ve %30 atık gazete kâğıdı lifi içeren örneklerde Kristallik oranı %39,22 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 35. Plastik kompozitlerin soğuma ve erime pikleri.

Şekil 36'da örneklerin erime ve kristalleşme(soğuma) sırasındaki pik yükseklikleri görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi pik yükseklikleri %20 lif oranı hariç atık bitkisel yağ katkılı örneklerde daha yüksek ölçülmüştür. %30 lif oranında yağ içermeyen örneklerin erime piki 7,74 mW ve kristalleşme piki -17,24 mW olarak ölçülmüş, yağ katkısı ile erime 11,88 mW'a kristalleşme -27,69 mW'a çıkmıştır.



Şekil 36. Erime ve kristalleşme(soğuma) sırasındaki pik yükseklikleri.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında atık bitkisel yağların plastik kompozit üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında kompozit levhayı oluşturan tüm bileşenler atık olarak temin edilmiştir. Çalışmada plastik olarak geri dönüştürülmüş polipropilen ve dolgu maddesi olarak atık gazete kâğıdı lifi kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Çalışmada FTIR-ATR ile yapılan ölçümlerde polipropilen ile atık gazete kâğıdından kaynaklanan karakteristik pikler tespit edilmiştir. Buna karşın atık bitkisel yağ kullanımı FTIR-ATR karakterizasyonunda fark edilebilir bir değişime neden olmamıştır.
- Plastik kompozitlerin eğilme dirençleri sonuçları incelendiğinde atık gazete kâğıdı lifi oranının eğilme direncini önce azalttığı daha sonra arttırdığı tespit edilmiştir. Çalışmanın ana değişkeni olan atık yağ ilavesi ile daha düşük eğilme direnci sonuçları elde edilmiştir.
- Plastik kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise ortama ilave edilen lif miktarı ile artış göstermektedir. Sadece %30 atık gazete kâğıdı lifi ilavesiyle elastikiyet modülü kontrole göre 833 MPa'dan 1496 MPa'a kadar çıkmıştır. Ortalama %2,5 atık bitkisel yağ ilavesiyle elastikiyet modülü değerleri daha düşük ölçülmüştür. %30 lif oranında elastikiyet modülü ancak 1036 MPa seviyesine kadar çıkmıştır.
- Plastik kompozitlerin çekme dirençleri dolgu maddesi ilavesi ile azalmıştır. Atık bitkisel yağ ilavesi ile çekme direnci sadece lif kullanılan örneklere göre yaklaşık 2MPa kadar daha düşük ölçülmüştür.
- Çekmede elastikiyet modülü değerleri ise dolgu maddesi ilavesi ile artış göstermiştir. Buna karşın atık yağ ilaveli örneklerde diğer direnç özelliklerine benzer şekilde daha düşük değerler ölçülmüştür.

- Atık bitkisel yağ ilaveli örneklerin direnç özelliklerinin daha düşük ölçülmesinin nedeninin yağın liflerin rijitliğini azaltmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bilindiği gibi aynı bileşenlere sahip olan odun unu ile mekanik hamur lifi arasında da sağlamlık özellikleri açısından oldukça önemli fark bulunmaktadır.
- Çalışmada kompozitlerin termal özellikleri de belirlenmiştir. Çalışmada atık bitkisel yağ kullanımının termal özellikler üzerinde olumlu bir etkisi tespit edilmiştir. Yağlama etkisinden dolayı örnekler daha yüksek sıcaklıklarda pirolize uğramıştır. Bu sonuçlar ile atık bitkisel yağ kullanımının termal dayanımı arttırdığı söylenebilir.
- DSC analiz sonuçları irdelendiğinde atık gazete kâğıdı lifinin odun plastik kompozitlerinde de sık rastlanıldığı gibi kristallliği artırdığı tespit edilmiştir. Buna karşın atık bitkisel yağ kullanımı ile kristallliğindeki ekstrem artış daha ılımlı bir artışa dönüşmüştür.
- Levhaların görsel incelemesi sonucunda atık bitkisel yağ ilaveli örneklerin daha homojen bir renk dağılımı gösterdiği buna karşın diğer örneklerin daha koyu renkli ve dalgalı bir görünümü olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma ile tümüyle atık olan bileşenlerin kompozit üretiminde kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada beklenen etkilerden biri atık bitkisel yağın lif plastik uyumunu olumlu yönde etkilemesiydi. Bununla birlikte çalışmada bitkisel yağların uyum sağlayıcılar gibi etki gösterememekte olduğu ancak lubricantların gösterdiği etkilere benzer bir etki gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle ileride yapılacak çalışmalarda uyum sağlayıcıların atık bitkisel yağlar ile kullanılabilirliği de çalışılmalıdır. Atık bitkisel yağlar bertaraf edilmesi gereken ve farklı yağ asitlerini bünyesinde bulunduran bileşime sahiptir. Çalışma ile vakslar gibi atık bitkisel yağların kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Afonso, J. S., Jorge R. M., Martins P. S., Soldi M. S., Alves O. L., Patricio B., Mascarenhas T. T., Sartori M. G. F., Girao M.J. B. C., 2009 : Structural and thermal properties of polypropylene mesh used in treatment of stress urinary incontinence. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 11, 3, 27-33 (2009).
- Ahankari, S.S., Mohanty, A.K. ve Misra, M., 2011. Mechanical Behaviour of Agro-residue Reinforced Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate), (PHBV) Green Composites: A Comparison with Traditional Polypropylene Composites, *Composites Science and Technology*, 71, 5, 653-657
- Akbaş S. ve ark. 2013, Fındık Kabuğu Polipropilen Esaslı Polimer Kompozit Değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi* Cilt 14, sayı 1 50-56, Nisan 2013.
- Akkurt, S., 2007. Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı, Birsan Yayınevi, İstanbul, 552.
- Aslan M., 2008. Odun Plastik Kompozitlerde Geri Dönüşüm ve Atık Malzeme Kullanımı. VI Ulusal Orman Fakültesi Öğrencileri kongresi, 63-67.
- ASTM D 638, 2004. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 790, 2004. Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Balatinecz, J. J. ve Woodhams, R. T. 1993. Wood-Plastic Composites, Doing More with Less, *Journal of Forestry*, 91, 11, 22-26.
- Banat, R., & Fares, M. M. (2015). Olive oil waste filled high density polyethylene bio-composite: mechanical, morphological and water absorption properties. *International Journal of Composite Materials*, 5(5), 133-141.
- Barış Gürel 2020. Türkiye'deki Güncel Biyokütle Potansiyelinin Belirlenmesi ve Yakılmasıyla Enerji Üretimi İyi Bir Alternatif Olan Biyokütle Atıklar İçin Sektörel Açidan ve Toplam Yanma Enerji Değerlerinin Hesaplanması
- Beyatlı, Y. 1996. Biyoteknoloji ve Biyoprotein Üretimi, Kükem Derneği Bilimsel Yayınları, Ankara, 54-59.
- Biron, M., 2007. Thermoplastics and Thermoplastic Composites: Technical Information for Plastics Users, Publisher: Elsevier Science Ltd, 944.

- Bouafif, H., Koubaa, A., Perré P. ve Cloutier, A., 2009. Effects of Fiber Characteristics on the Physical and Mechanical Properties of Wood Plastic Composites, *Composites: Part A*, 40, 1975–1981.
- Chaharmahali, M., Mirbagheri, J., Tajvidi, M., Najafi, S.K. ve Mirbagheri Y., 2010. Mechanical and Physical Properties of Wood-plastic Composite Panels, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29, 310–319.
- Chalmers, J.M., Edwards, H.G.M. & Hargreaves, M.D.: *Infrared and Raman Spectroscopy in Forensic Science*, Malaysia: John Wiley and Sons. (2012).
- Clemons, C., 2002. Wood–plastic Composites in the United States: The Interfacing of Two Industries, *Journal of Forest Products*, 52, 6, 10–18.
- Crawford, R.J., 2001. Plastic Engineering, *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (Third Edition), Polymers, Ed. Meyers, R, Academic Press, 457474.
- Eckert, C. 2000. Opportunities for Natural Fibers in Plastic Composites In: *Proc. Progress in Woodfibre-Plastic Composites*, Toronto, ON.
- Faix O., 1991, Classification of lignins from different botanical origins by FT-IR spectroscopy, *Holzforschung* 45(Suppl.), pp21-27.
- Goodman, S.H., 1999. *Handbook of Thermoset Plastics*, 2nd Ed., William Andrew Inc., 604.
- Gordon, J.E., 1988. *The New Science of Strong Materials (or Why You Don't Fall Through the Floor)*, 2nd edition, Princeton University Press, Princeton, NJ, 179.
- Gökalp, E., 2006. Odunsu Materyal Kullanımının Polyester Esaslı (Mermerit) Levhaların Bazı Teknolojik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gürü, M ve Yalçın, H. 2006 *Malzeme Bilgisi Kitabı* Palme Yayıncılık Ankara
- H.S., Wolcott, M.P., Kim, H.S. ve Kim, H.J., 2005a. Thermal Properties of Lignocellulosic Filler-Thermoplastic Polymer Bio-Composites, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 82, 157–160.
- Hüner, Ü., 2008. Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- J. Of Ag. Eng. - Riv. Di Ing. Agr.* (2007), 3, 39-47 Analysis Of The Physical And Chemical Characteristics Of Vegetable Oils As Fuel Giuseppe Toscano, Eleonora Maldini Epoxy resin blends and composites from waste vegetable oil Felipe C. Fernandes,

- Karacan I.: The use of infrared spectroscopy technique for the structural characterisation of isotactic polypropylene fibres. *Tekstil ve konfeksiyon*, 116 – 123 (2011).
- Kato K., Nitta M. and Mizuno T., 1973, Infrared spectroscopy of some mannans, *Agr. Biol. Chem.*, 37(2), pp433-435
- Kerry Kirwan, Danielle Lehane, Stuart R. Coles *Sustainable Materials and Manufacturing Group*, WMG, University of Warwick, Coventry, UK
- Korucu, T., Mengeloğlu, F. 2007. Potentials of Agricultural Residues as Raw
- Korucu, T., Mengeloğlu, F. 2007. Potentials of Agricultural Residues as Raw Materials and Their Alternative Usage Possibilities in Turkey. 24 th National Agricultural Mechanization Congress, Kahramanmaraş, s. 297-307.
- Krzysik, A. M., Youngquist, J. A., Myers, G. E., Chahyadi, I. S. ve Kolosick, P. C., 1990. Wood-polymer Bonding in Extruded and Nonwoven Web Composites Panels. in A. H. Conner, A. W. Christiansen, G. E. Myers, B. H. River, C. B. Vick, and H. N. Spelter, eds. *Wood Adhesives 1990. Symposium of USDA Forest Service, Forest Products Laboratory and the Forest Products Research Society*, Madison, WI, 183189.
- Kylosov, A.A., 2007. *Wood Plastic Composites*, John Wiley&Sons, Inc., NJ, USA, 698.
- Lampman, S., 2003. *Characterization and Failure Analysis of Plastics*, ASM International, Materials Park, OH., 485.
- Liang C.Y. and Marchessault R.H., 1959, Infrared spectra of crystalline polysaccharides. 2 Native cellulose in the region from 640 to 1700cm⁻¹, *J. Polym. Sci.* 39, p.269-278
- Liu, R., Peng, Y., Cao, J., ve Chen, Y. (2014). Comparison on Properties of Lignocellulosic Flour/Polymer Composites by using wood, cellulose, and lignin flours as fillers. *Composites Science and Technology*, 130, 1-7.
- Maier, C. ve Calafut, T, 1998. *Polypropylene; The Definitive User's Guide and Databook*, ISBN 1-884207-58-8, New York.
- Mandelkern, L. *Crystallization of Polymer. Series in Advanced Chemistry*. New York: McGraw-Hill, 1964.
- Manson, J.A. ve Sperling L.H., 1976. *Polymer Blends and Composites*, Plenum Pres, New York, NY.
- Marchessault R.H. and Liang C.Y., 1962, The infrared spectra of crystalline polysaccharides VIII. Xylans, *Journal of Polymer Science*, Vol.59, p357-378

- Masud S. Huda, Lawrence T. Drzal, and Manjusri Misra ,2005 5593 A Study on Biocomposites from Recycled Newspaper Fiber and Poly (lactic acid), 44, 5593-5601
- Materials and Their Alternative Usage Possibilities in Turkey. 24 th National Agricultural Mechanization Congress, Kahramanmaras, s. 297-307.
- Matthews, F.L. ve Rawlings, R.D., 1994. Composite Materials: Engineering and Science, Chapman and Hall, New York, NY.
- Matuana, L.M., Balatinecz, J.J., Sodhi, R.N. ve Park, C.B., 2001b. Surface Characterization of Esterified Cellulose Fiber by XPS and FTIR Spectroscopy, Wood Science Technology, 35, 3, 191–201.
- Mead L. J. ve Baker A. M., 2006. Handbook of Plastics Technologies: The Complete Guide to Properties and Performance, Chapter 2: Thermoplastics, Ed. Harper, C.A., The McGraw Hill Companies, USA, 600.
- Mengeloglu, F. 2006. Wood/Thermoplastic Composites. I. Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Sergisi. TBMOB Kimya Mühendisleri Odası, İzmir, 471-480.
- Mengeloglu, F. ve Matuana, L.M., 2003. Mechanical Properties of Extrusion Foamed Rigid PVC/Wood-flour Composites, *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 9, 1, 26-31.
- Mills, N.J., 2005. Plastics, Plastics, Third Edition: Microstructure and Engineering Applications, Publisher: Butterworth-Heinemann, 523.
- Mishra, S. ve Sain, M., 2009. Commercialization of Wheat Straw as Reinforcing Filler for Commodity Thermoplastics, *Journal of Natural Fibers*, 6,1, 83-97.
- Mohanty, A. K., Misra, M. ve Hinrichsen, G., 2000. Biofibers, Biodegradable Polymers and Biocomposites: An Overview, *Macromolecular Materials and Engineering*, 276, 277, 1-24.
- Nelson M.L. O'Connor R.T., 1964, Relation of certain infrared bands to cellulose crystallinity and crystal lattice type. Part II. A new infrared ratio for estimation of crystallinity in cellulose I and II, *J. Appl. Polym. Sci.* 8(3) p.1325-1341
- Norma, F.M., Villar, 2003, M.A. Thermal and Mechanical Characterization of Linear Low-Density Polyethylene/Wood Flour Composites *Journal of Applied Polymer Science* 90 (10) : pp. 2775 – 2784.
- Nuoponnen M., 2005, FT-IR and UV-Raman Spectroscopic Studies on Thermal Modification of Scots pine Wood and Its Extractable Compounds, Helsinki University of Technology, Laboratory of Forest Product Chemistry, Reports Espoo, Ser A23.
- Onaran, K. 2009 Malzeme Bilimi Kitabı Bilim Teknik Yayınları Ankara

- Panthapulakkal, S. ve Sain, M., 2007. Agro-residue Reinforced High-density Polyethylene Composites: Fiber Characterization and Analysis of Composite Properties, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 38, 6, 1445-1454.
- Pervaiz, M. ve Sain, 2004. High Performance Natural Fiber Thermoplastics for Automotive Interior Parts, SAE Paper. 2004-01-0729.
- Pesman E., Güleç T., 2019. The effects of Ink Presence on Mechanical, Physical, Morphological and Thermal Properties of Office and Newspaper Fiber-Polypropylene Composites, *Materiasl Science (Medziagotyra)*, 25:2:195-201.
- Pickering, K.L. ve Murray, T.L., 1999. Weak-link Scaling Analysis of High-strength Carbon Fibre, Composites: Part A, 30, 1017–1021.
- Pizzi, A. ve Mittal, K.L., 2003. Handbook of Adhesive Technology, Second Edition Revised and Expanded Publisher: CRC Press, 1024.
- Ratna, D., 2009. Handbook of Thermoset Resins, A Smithers Group Company, UK, 410.
- Redy, N. ve Yang, Y., 2005. Biofibers from Agricultural Byproducts for Industrial Applications, *Trends in Biotechnology*, 23, 1, 22-27.
- Redy, N. ve Yang, Y., 2005. Biofibers from Agricultural Byproducts for Industrial Applications, *Trends in Biotechnology*, 23, 1, 22-27.
- Rosato, D.V., 2011. Plastics End Use Applications, Springer Science Business Media, LLC., 132.
- Sanadi A.R., Caufield, D.F. ve Jacobson, R.E, 1997. Agro-fiber Thermoplastic Composites. In: R.M. Rowell, R.A. Young, J.K. Rowell (Eds.). *Proceeding Paper and Composites from Agro-Based Resources*. CRC Lewis Press Boca Raton, Florida. 377-401.
- Schut, J., 1999. For Compounding, Sheet & Profile: Wood is Good. *Plastics Technology*, 46-52.
- Simonsen, J., Jacobsen, R. ve Rowell, R., 1998. Wood-Fiber Reinforcement of Styrenemaleic Anhydride Copolymers, *Journal of Applied Polymer Science*, 68, 1567-1573.
- Snyder R. G., Hsu S. L., Krimm, 1978, S. Vibrational spectra in the C-H stretching region and the structure of the polymethylene chain. *Spectrochimica Acta*, 34(A), 395-406.
- Stark, N., Clemons,C., Ibach, R. ve Matuana, L., 2003. Durability of Wood and Polyethylene Composite Lumber, I-OPC-21763 Final Project Rapor, USDA Forest roducts Laboratory, Madison, WI, 38.

Suryadiansyah, H.I., Azhari, B., 2007. Waste Paper Filled Polypropylene Composites: the Compoarision Effect of Ethylene Diamine Dilaurate as a New Compatibilizer with Maleic Anhydride Polypropylene. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 26:1:51-67

Şahin, Y. 2006 Kompozit Malzemelere Giriş Kitabı Seçkin Yayınları Ankara

URL-1 www.kristalyaglari.com/bitkisel-atik-yaglarin-geri-donusumu-nasil-yapilir

URL-2, <http://en.wikipedia.org/wiki/Plastic>, 20.08.2011.

URL-3, <http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Polimerler.pdf>, 20.08.2011.

URL-4, <http://www.scribd.com/doc/2670117/POLETLEN>. 20.08.2011.

URL-5 <https://www.enerjiportali.com/polipropilen-nedir-nelerlerde-kullanilir/>

URL-6 <https://pagev.org/termosetler>

URL-7 Wood Plastic Composite Decking Manufacturing Process., http://firecenter.berkeley.edu/bwmg/docs/BMWG_Decks_WPC_CourtesyWSU.pdf. 20.08.2011.

URL-8 http://www.appropedia.org/Wood-Plastic_Composite_Fabrication. 20.08.2011.

URL-9 https://tr.wikipedia.org/wiki/Gazete#cite_note-7

URL- 10 <https://ekolojist.net/atik-yaglarin-geri-donusumu-nasil-yapilir/>

URL- 11 <https://cevreonline.com/bitkisel-atik-yaglar/>

Youngquist, J.A., 1995. Unlikely Partners, The Marriage of Wood and Nonwood

Zabihzadeh S.M. (2010) Water uptake ve Flexural properties of natural filler/hdpe composites *Bio Resources*, 5(1),316-323.

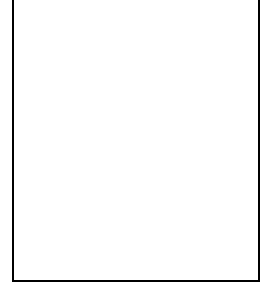
Zabihzadeh, S.M., 2010. Flexural Properties and Orthotropic Swelling Behavior of Bagasse/Thermoplastic Composites. *Bioresources*, 5:2:650-660.

Zander, N.E., Park, J.H., Boelter, Z.R., Gillan, M.A., 2019. Recycled Cellulose Polypropylene Composite Feedstocks for Material Extrusion Additive Manufacturing. *ACS Omega*, 4:13879-138

Ward,I.M. ve Hadley, D.W., 1993. Mechanical Properties of Solid Polimers, John Wiley&Sons LTD, Chichester, England.

Wolcott, M.P. ve Englund, K., 1999. A Technology Review of Wood-plastic Composite, Proceeding of 33rd International Particleboard/ Composite Materials Symposium, Washington, USA, 103-111.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Mevlüt ÖZDEMİR
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri :
Medeni hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
Telefon :
Faks :
e-posta :

Eğitim

Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet Tarihi

Lisans

AÇÜ/Orman endüstri mühendisliği

2014

Yayınlar