

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

**ATIK GAZETE KAĞIDI LİFLERİNİN BİYOKOMPOZİT
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin Emrah YILDIZ

**Danışman
Doç. Dr. Emrah PEŞMAN**

ARTVİN-2021

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

**ATIK GAZETE KAĞIDI LİFLERİNİN BİYOKOMPOZİT ÜRETİMİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin Emrah YILDIZ

**Danışman
Doç. Dr. Emrah PEŞMAN**

ARTVİN-2021

JÜRİ TEZ KABUL TUTANAĞI

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Doç. Dr. Emrah PEŞMAN danışmanlığında, Hüseyin Emrah YILDIZ 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. Doç. Dr. Hamit ŞAFAKCI
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Atık Gazete Kağıdı Liflerinin Biyokompozit Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması” konusunda yapılan bu çalışma Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmanın gerçekleştirilmesinde, eğitim aldığım süre boyunca değerli bilgilerini bana aktaran, tez çalışmamın planlanmasını, araştırılmasını, yürütülmesini ve oluşturulmasında ilgini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini aktaran, saygıdeğer hocamın yönlendirmesiyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışman hocam, Artvin Çoruh Üniversitesi öğretim üyesi Doç. Dr. Emrah PEŞMAN hocama teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Hüseyin Emrah YILDIZ

Artvin - 2021

TEZ BEYANNAMESİ

Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “Atık Gazete Kağıdı Liflerinin Biyokompozit Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması” adlı tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

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

- ☒ Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezim sadece Artvin Çoruh Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- ☐ Teziminay süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

..../...../2021

İmza

Hüseyin Emrah YILDIZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ TEZ KABUL TUTANAĞI...	I
ÖNSÖZ....	II
TEZ BEYANNAMESİ	III
HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.	
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
TABLolar DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
KISALTMALAR DİZİNİ.....	VII
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bilgiler	1
1.2 Çalışmada Kullanılan Biyopolimer Ve Dolgu Maddeleri	3
1.2.1 Polilaktik Asit(Pla)	3
1.2.2 Atık Gazete Kağıdı Lifi	5
1.3 Çalışmanın Yapısı Ve Amacı	6
2. MATERYAL VE YÖNTEM	7
2.1 Materyal.....	7
2.1.1 Lignoselülozik Dolgu Maddesi	7
2.1.2 Termoplastik Polimer	7
2.2 Yöntem	7
2.2.1 Lignoselülozik Dolgu Maddeli Termoplastik Kompozitlerin Üretimi.....	7
2.2.1.1 Lignoselülozik Dolgu Maddelerinin hazırlanışı	8
2.2.1.2 Kompozit Levha Üretimi.....	8
2.3 Araştırma Yöntemi	9
2.3.1 Malzemenin Fır-Atr İle Karakterizasyonu	9
2.3.2 Mekanik Özellikler	9
2.3.2.1 Eğilme Direnci Ve Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	9
2.3.2.2 Çekme Özellikleri.....	10

2.3.3	Isıl Özellikler	111
2.3.3.1	Termogravimetrik Analiz (Tga)	111
2.3.3.2	Diferansiyel Tarama Kalorimetresi(Dsc)	111
2.3.4	Optik Özellikler	122
2.3.4.1	Test Kağıtlarına Ait Iso Parlaklık Ölçüsü	122
2.3.4.2	Test Kâğıtlarına Ait C ₁ e L *A* B* Renk Değerlerinin Ölçümü	122
3.	BULGULAR	133
3.1	Mekanik Özelliklere Ait Bulgular	133
3.1.1	Eğilme Özellikleri.....	133
3.1.2	Çekme Özellikleri.....	133
3.2	Termal Özelliklere Ait Bulgular	14
3.2.1	Termogravimetrik Analizlere Ait Bulgular	144
3.2.2	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (Dsc) Analizine Ait Bulgular	144
3.3	Optik Özelliklere Ait Bulgular	155
4.	İRDELEME	166
4.1	Atık Gazete Kağıdı Katkılı-Pla Malzemelerin Karakterizasyonu	166
4.1.1	Lif-Plastik Kompozitlerin F ₁ ır-A ₁ tr Spektrumları	166
4.2	Mekanik Özellikler	19
4.2.1	Eğilme Özelliği.....	19
4.2.2	Çekme Özellikleri.....	211
4.3	Termal Özellikler.....	244
4.3.1	Termogravimetrik (Tga) Analizler	244
4.3.2	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (Dsc) Analizleri.....	290
4.4	Optik Özellikler	356
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	41
	KAYNAKLAR.....	433
	ÖZGEÇMİŞ	47

ÖZET

ATIK GAZETE KAĞIDI LİFLERİNİN BİYOKOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada, polilaktik asit (PLA) ile atık gazete kağıdı lifi (AGKL) ile kullanılabilirliği araştırılmıştır. Mekanik, termal ve optik özellikler açısından incelenmiş ve diğer termoplastikler ile karşılaştırılmıştır.

Plastik kompozitlerin eğilme dirençleri sonuçları incelendiğinde atık gazete kağıdı lifi oranının eğilme direncini azalttığı tespit edilmiştir. Plastik kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise ortama ilave edilen lif miktarı ile artış göstermektedir. Çekme dirençleri dolgu maddesi ilavesi ise azalmıştır. Ortama ilave edilen atık gazete kağıdı ile termal dayanım daha da azalmıştır. DSC analiz sonuçları irdelendiğinde atık gazete kağıdı lifinin camsı geçiş sıcaklığını bir derece azalttığı ve soğumayı yavaşlattığı tespit edilmiştir.

Optik özellikleri ise PLA geçirgen bir malzeme iken lif ilavesi ile geçirgenlik azalmıştır. SO parlaklığı bu nedenle %10 lif ilavesi ile kontrole göre %55'ten %5,15'düşmüş ve oranın %30'a artırılması ile parlaklık %6,07'ye çıkmıştır.

Sonuç olarak PLA ve atık gazete kağıdının birlikte kullanılmasındasakınca olmadığı olumlu etki göseterdiği tespit edilmiştir. Atık gazete kağıdı ve PLA diğer termoplastiklere göre birbiri ile çok daha uyumlu organik iki bileşen olduğunu ve doğada kolay bozunabilir olmaları bu kompozitlerin değerini artırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Polilaktik asit, biyopolimer, Atık gazete kağıdı, Termal özellikler, Mekanik özellikler

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE USABILITY OF WASTE NEWSPAPER FIBERS IN COMPOSITE PRODUCTION

In this study, the usability of polylactic acid (PLA) and waste newspaper fiber (AGKL) was investigated. It has been examined in terms of mechanical, thermal and optical properties and compared with other thermoplastics.

When the bending strength results of plastic composites were examined, it was determined that the rate of waste newspaper fiber decreased the bending strength. Elasticity modulus values of plastic composites in bending increase with the amount of fiber added to the medium. The addition of filler in the tensile strength decreased. Thermal resistance was further decreased with the added waste newspaper. When the results of the DSC analysis were examined, it was found that the glassy transition temperature of the waste newspaper fiber decreased one degree and slowed the cooling.

Optical properties. While PLA is a permeable material, the permeability decreased with the addition of fiber. Therefore, the SO brightness decreased from 55% to 5.15% compared to the control with the addition of 10% fiber, and the brightness increased to 6.07% by increasing the ratio to 30%.

As a result, it has been determined that using PLA and waste newsprint together has positive effects. It has been observed that waste newsprint and PLA are two organic components that are much more compatible with each other than other thermoplastic compounds and that they are easily degradable in nature, increasing the value of these composites.

Key Words: Polylactic acid, biopolymer, Waste newsprint, Thermal properties, Mechanical properties

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 1. Biyoplastikkaynakları	3
Tablo 2. PLA ’nın fiziksel vemekaniközellikleri.....	5
Tablo 3. PLA nın teknik özellikleri.. ..	7
Tablo 4. Atık gazete kağıdı ve bitkisel atık yağlar ile atık polipropilenin karışım oranları.....	9
Tablo 5. Eğilme özelliklerine ait bulgular.....	13
Tablo 6. Çekme özelliklerine ait bulgular.....	13
Tablo 7. Örneklerin termogravimetrik analiz sonuçlarına ait bulgular	14
Tablo 8. Örneklerin optik özelliklerine ait bulgular.....	15
Tablo 9. Lif-plastik kompozitlerin termal ve kristallenlik özellikleri	15
Tablo 10. Selülozik malzemelerin kızılötesi spektrumdaki dalgasayı karakterizasyonu	17

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1. PLA'nın kimyasal yapısı	4
Şekil 2. PLA'nın genel görünümü	4
Şekil 3. Lignoselülozik Dolgu Maddeli Termoplastik Kompozit Levha Üretim Şeması ..	8
Şekil 4. Etüvde kurutulan pişirme kağıtları	8
Şekil 5. Atık gazete kağıdı lifi ve atık PP içeren kompozitlerinin FTIR-ATR spektrum Ları	18
Şekil 6. Lif-PLA kompozit levhaların eğilme dirençleri	20
Şekil 7. Lif-PLA kompozit levhaların eğilmede elastik modülleri	20
Şekil 8. Lif-PLA kompozit levhalarının eğilmede oluşan deformasyon oranları.....	21
Şekil 9. Lif-PLA kompozit levhalarının çekme dirençleri	22
Şekil 10. Lif-PP kompozit levhalarının çekmede elastikiyet modülleri.	23
Şekil 11. Lif-PP kompozit levhaların kopmada uzaman miktarı.....	23
Şekil 12. Lif-plastik kompozitlerin TGA grafikleri.....	24
Şekil 13. Lif-plastik kompozitlerin DTGA grafikleri.....	25
Şekil 14. PLA ve AGKL katkılı PLA kompozitlerin DTGA grafikleri.	26
Şekil 15. Lif miktarının ΔY değeri üzerine etkisi.....	28
Şekil 16. Lif miktarının 550°C sıcaklıktaki kalıntı madde miktarına etkisi.	28
Şekil 17. Örneklerin STA-6000 ile ölçülen DSC spektrumları	29
Şekil 18. Örneklerin STA-6000 ile ölçülen simultane DSC spektrumları	29
Şekil 19. AGKL-PLA kompozitlerinin DSC grafikleri.....	30
Şekil 20. AGKL-PLA kompozitlerinin erime pikleri	31
Şekil 21. AGKL-PLA kompozitlerinin erime pik yükseklikleri	32
Şekil 22. Örneklerin camsı geçiş sıcaklıkları.	32
Şekil 23. Örneklerin kristalleşme sıcaklıkları (erime basamağı).	33
Şekil 24. Örneklerin soğuma (kristalleşme) basamağı.	33
Şekil 25. Plastik kompozitlerin kristallenlikleri	35
Şekil 26. Örneklerin ISO parlaklığı değerleri.....	36
Şekil 27. Örneklerin E313 Sarılık değerleri	37
Şekil 28. Örneklerin CIE L* değerleri.....	38
Şekil 29. Örneklerin CIE ΔE değerleri	39
Şekil 30. Örneklerin CIE a* değerleri	39

Şekil 31. Örneklerin CIE b* değerleri	40
---	----



KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	:	American society for testing and materials
DSC	:	Diferansiyel Tarama Kalorimetresi
DTG	:	Diferansiyel Termo Gravimetrik Analiz
DTA	:	Diferansiyel Termal Analiz
FTIR	:	Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi
PLA	:	Polilaktik Asit
TGA	:	Gravimetrik analiz
Xc	:	Kristalizasyon sıcaklığı
ΔE	:	Toplam renk değişimi

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Çağımızda teknolojiideki inanılmaz hızlı ilerlemeler elektronik aletler, otomotiv sektörü, inşaat, medikal ve ev aletleri dâhil olmak üzere, çoğu alanda sentetik veya yarı sentetik polimerlerden elde edilen plastiklerin kullanılmasına yol açmıştır (Güler, 1997; Gümüşderelioğlu, 2012). Artık günümüzdeher alanda plastik bazlı bileşikler kullanılmaktadır. Plastiklerin tasarımdaki kolaylığı, düşük maliyet, hafif olması gibi bir çok özelliğinden dolayı çoğu sektörlerde kullanılan inorganik maddelerin yerine kullanılmasını veya bu malzemelerle birlikte kullanılarak değerli bir materyal haline gelmiştir (Pei vd., 2011).

Ömürleri birkaç yüz yıl süren petrol bazlı polimerler genel olarak biyo-bozunabilir değildir. Bu polimerler kullanımından sonra çevreye atılırsa zararlı hale gelir. Isıl şekillendirme, enjeksiyon kalıplama, üfleyerek kalıplama gibi yöntemlerle plastik malzemeler polimer olarak isimlendirilen ham maddelerin işlenmesiyle oluşturulur. Genellikle petrol ve petrol kaynakları polimer hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Plastik sanayisinde yeni hammadde keşiflerine petrol rezervlerinin sınırlı sayıda olmasından dolayı başlanmıştır. Yenilenebilir doğal kaynaklı polimerler bunlardan dolayı plastik malzemelerin üretiminin ana faktörü olmuştur. Doğal monomerlerden sentezlenen doğal kaynaklı polimerler, doğada polimer olarak bulunanlar ve bakteriyel polimerler olarak adlandırılır (Gümüşderelioğlu ve Kesgin, 2004). Çevreyi kirlettiği ve yenilenemeyen kaynaklardan üretilmesi petrol ve türevlerinden üretilen ticari polimerlerin başlıca sorundur. Doğada mikroorganizmalar ile yok olabildiğinden biyobozunur plastikler bu sorunlara çözüm olmasından dolayı ilgi odağı olmuştur. Biyoplastikler de çevre dostu ve yenilikçi malzemelerle oluşturulmaktadır (Sarasa vd., 2008).

Yenilenebilir biyolojik kaynaklar, bitkisel yağlar veya bitki nişastalarından Biyoplastikler elde edilir. İlk olarak 1860'da biyoplastik üretilmiştir. Selüloz kimyasal işleme çözünmez olarak oluşturulmuştur.

Bu itibaren biyo kökenli plastik üretilmeye başlandı. Son yirmi yılda biyoplastiklere olan ihtiyaç artmasıyla birlikte biyoplastik üzerinde sürdürülen çalışmalar sonunda

yeni polimerler üretilmiştir.

Ticari öneme sahip biyoplastiklere termoplastik, polihidroksialkonatlar ve polilaktik asit örnek olarak verilebilir (Shen, 2010; Gümüşderelioğlu ve Kesgin, 2012). Hammadde kaynakları ise;

1. Genellikle içinde arpa, patates, mısır gibi “Yenilenebilir Kaynaklardan Elde Edilen Biyoplastikler” (Lörcks, 1998; Özdemir ve Erkmen, 2013), selüloz (Nawrath vd.,1995), lignin (Kumar vd., 2009), protein (buğday gluteni) (Jerez vd., 2007) ve yağ (Yenwo vd., 1977) gibi bitkisel hammaddelerden sentezlenmektedir.
2. Petroliçerikli yapıların kullanıldığı “Petro Türevli Biyoplastikler” Örnek olarak polikaprolakton (PCL) ve polibütülen adipat tereftalat (PBAT)gibi.
3. Fosil ve biyolojik maddelerin birleşmesiyle elde edilen “Biyolojik Petro Karışımli Biyoplastikler” (Özdemir ve Erkmen,2013).

Biyoplastiklerin geri dönüştürülmesinin kolay olması, biyoplastiklerin işlenmesinde enerji tasarrufu olması ve yenilenebilir özellikte olduğundan dolayı biyoplastikler diğer plastiklerden üstün kılmıştır (Luengo vd.,2003).

Petrolden elde edilen plastik malzemeler ile biyoplastikler karşılaştırıldığında biyoplastikler üstün özellikler göstermektedir. Biyoplastikler; azaltılmış CO₂emisyonları, normal plastiğe göre biyoplastikler daha az karbondioksit emisyonları göstermektedir. (Shen vd., 2009; Özdemir ve Erkmen, 2013).

Tablo 1: Biyoplastiklerin kaynakları (Özdemir ve Erkmen, 2013).

Yenilenebilir olan kaynaklardan elde edilenler	Biyo/petrol olarak elde edilenler	Biyo çözünür olarak elde edilenler
Nişasta içerikli plastidler (buğday, patates)	Termosetler (Biyo-Epoksi-Poliüretanlar)	Alifatik polyesterler (polikaprolakton(PCL), Polibütilen Süksinat (PBS)).
Selülozik (selüloz esterleri)	Polyesterler	Alifatik-Aromatik polyesterler (PolibütülenAdipat Tereftalat(PBAT)).
Soya plastikler (soya proteini/yağ bazlıplastidler)	PolitrimetilenTereftalat (PTT)	Polivinil Alkol
Polilaktik Asit (PLA)	Biyoçözünür karışımlar (Örnek; PLA+PBAT)	
Polihidroksialkonatlar(PHAs)	Biyo-Karışımlar Petrol +yenilenebilir plastik (örnek; petrol kökenli Polipropilen (PP)+PLA)	

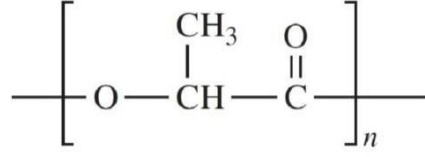
1.2 Çalışmada Kullanılan Biyopolimer ve DolguMaddeleri

1.2.1 Polilaktik Asit(PLA)

Biyo-bazlı polimerler arasında gösterilir (Crank, 2005; Awal vd., 2014). İlk olarak 1845 yılında Pelouze tarafında keşfedilmiştir. Kaynaklar az olmasındasın dolayı üretim pahalı olmuştur. Lipinsky ve Sinclair PLA'yı 1986 yılında kullanılabilen plastik hammaddesi oldupunu açıklamıştır. PLA için son 100 yılda yapılan çalışmalar sonucunda çevre dostu olduğu anlaşılmıştır. PLA'ya olan ilgi artmış ve 2001 yılında ticari hale gelmiştir.

PLA günümüzde önemli plastiklerdendir. Biyomedikal alanlarda kullanılır, yenilenebilen kaynaklardan üretilir, biyobozunurdur (Tsuji, 2005; Jain, 2000). PLA ile araba parçaları, elektronik malzemeler, tekstil ürünleri ve cerrahi aletler üretilmektedir (Sawpan vd., 2007; Graupner ve Herrmann, 2009). PLA'nın kimyasal

yapısı Şekil 1’de deyer almaktadır.



Şekil 1: PLA’nın kimyasal yapısı (URL-2, 2015).

Bozunabilir polyesterler içinde PLA polimeri en dikkat çeken polimer olmuştur. Yenilenebilir malzeme den üretilir. Şekil 2’de PLA’nın genel görünümü yer almaktadır.



Şekil 2. PLA’nın genel görünümü.

PLA polimeri işlenebilmesindeki kolaylık ve biyoyumlu gibi özelliklerinden dolayı ticari olarak potansiyeli artmaktadır (Bax ve Müssig, 2008; Cheng vd., 2009; Ochi, 2008; Okubo vd., 2009). PLA petrol içerikli polimerlere göre pahalıdır. Kırılgan olmasından dolayı her yerde kullanılamaz (Liu vd., 2005). PLA mekanik olarak geliştirilip, plastikleştirici ürünlerle birleştirilerek kırılganlık özelliği en aza indirilebilir (Awal vd., 2014). PLA’ya mekaniksel olarak bakıldığında zincir yapısı yönlendirilmemiş ise kırılgandır ama sert yapıdadır. Zincir yapısı yönlendirilmiş ise değer olarak PET’e yakındır. Mekanik özellik olarak petrol bazlı termoplastik yerine biyobazlı PLA kullanabilecektir. PLA biyoçözünür ve yenilenebilir ürünlerden oluşması diğer termoplastiklere sunduğu çok önemli özelliğidir. Petrol bazlı

polimerlere bağımlılık PLA sayesinde azalacak ve katı atık sorunu artık ciddi boyutta olmayacaktır. Paketleme sanayisinde kullanım artmasıyla çevresel etkisi iyi olacağı düşünülmektedir (URL-3, 2015). Tablo 3’de PLA’nın fiziksel ve mekanik özellikleri değerleriyer almaktadır.

Tablo 2. PLA polimerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (URL-3, 2015).

Özellikler	Değerler
Erime Sıcaklığı (T _m , °C)	150-160
Çekme Direnci (MPa)	70
Çekmede Elastikiyet Modülü (GPa)	3
Camsı Geçiş Sıcaklığı (T _g , °C)	60
Yoğunluk (g/cm ³)	1,25
Elastikiyet Modülü (GPa)	3,5
Kopma anındaki Uzama (%)	6
Eğilme Katsayısı (GPa)	4
Eğilme Direnci (MPa)	80
Isıl Eğilme Sıcaklığı (455 kPa, 66 psi, °C)	65
Kesme Modülü (GPa)	2,4
Özgül Isı Sığası (J/kg-K)	1800
Dayanım/Ağırlık Oranı (kN-m/kg)	40
Isıl İletkenlik (W/m-K)	0,13

1.2.2 Atık Gazete Kağıdı lifi

Gazete kağıdı lifli yapısı sayesinde plastik malzemelerle birlikte odun/plastik kompozitler oluşturulmaktadır. Geri dönüşümü plastiklere oranla daha uygun olması ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır. Dünya genelinde bu pazar yıldan yıla büyümektedir. Atık gazete kağıdı geri dönüşümünde ABD %71,2 ile dünyada lider konumdadır (Masud S. Huda, Lawrence T. Drzal, ve Manjusri Misra ve ark. 2005).

Gazete Kağıdı yüksek oranda mekanik hamur içerir. Çam, Ladin ve kavak ağaçları gazete kağıtları yapımı için en uygun ağaç türleridir. Selüloz içerikli polimer kompozitlerinden uygun maliyetli sert, güçlü ve mekanik olarak iyi özelliklere sahip odun plastik kompozitleri oluşturulmaktadır. (Masud S. Huda, Lawrence T. Drzal, ve Manjusri Misra ve ark. 2005)

Polimerler için dolgu maddesi eklenmesi ürünün özelliklerini daha iyi hale getirmek için uygun bir yoldur. Atık haldeki gazete kağıtları polimerle birleştirilerek malzemenin maliyetini azaltmak ve ürünleri geliştirmek için orman endüstrisinde son yıllarda sıkça kullanılmaktadır (Masud S. Huda, 2005).

1.3 Çalışmanın Yapısı ve Amacı

Tez çalışmasında biyobozunur özellikteki PLA ve atık gazete kağıdı liflerinin kompozit levha üretiminde kullanılabilirliği çalışılmıştır. Bu amaçla çalışmada atık gazete kağıdı liflerinin üretimi ve pla ile birleştirilmesi sağlanmış ve oluşturulan yani kompozit ürünlerin mekanik, termal ve optik özelliklerinin diğer benzer kompozitler ile karşılaştırılması yapılmıştır.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

2.1.1 Lignoselülozik Dolgu Maddesi

Tez çalışmasında lignoselülozik malzeme olarak atık gazete kâğıdı kullanılmıştır. Çalışmada 2007 baskılı atık gazete kağıtları kullanılmıştır. Lifsel bileşim ve baskı oranından kaynaklı etkiler, aynı gün baskılı gazetelerin kullanımı ile minimuma indirilmiştir.

2.1.2 Termoplastik Polimer

Çalışmada bioplastik olarak Total-Luminy LX175 poli-laktik asit kullanılmıştır. Tablo 3'te poli laktik asidin teknik özellikleri yer almaktadır.

Tablo 3. PLA'nın teknik özellikleri.

Görünüş	Pellet (kristalin beyaz)
Yoğunluk	1,24 g/cm ³
Erime Akış Hızı (2160 gr, 210°C-190°C)	6.0-3.0 gr/10d
Erime sıcaklığı	155°C
Camsı geçiş sıcaklığı	60°C
Çekme direnci	45 MPa
Modül	3500 MPa
Uzama	≤%5

2.2 Yöntem

2.2.1 Lignoselülozik Dolgu Maddeli Termoplastik Kompozitlerin Üretimi

Çalışma Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Odun Kimyası ve Odun Mekaniği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Odun Plastik Kompozit üretim iş akışı şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Lignoselülozik Dolgu Maddeli Termoplastik Kompozit Levha Üretim Şeması



Şekil 4: Etüvde kurutulan Pişirm Kağıtları

2.2.1.1 Lignoselülozik Dolgu Maddelerinin Hazırlanışı

Atık gazete kağıtları öncelikle willey tipi değirmen kullanılarak kuru bir şekilde liflendirilmiştir. Liflendirme işlemi sonrası örneklerin Ekstruder aşaması için rutubetinin uzaklaştırılması sağlanmıştır.

2.2.1.2 Kompozit Levha Üretimi

Kurutulan lignoselülozik dolgu maddeleri, 60°C de 5 saat süre ile kurutulan PLA ile Tablo y'de belirtilen oranlarda karıştırılmıştır. Homojen şekilde harmanlanan AGKL ve PLA ekstruder cihazının giriş kısmına beslenmiş ve 100 rpm vida hızı, 170°C, 175°C, 180°C ve çıkışta 190°C erime basamakları ile iki malzemenin birleştirilmesi sağlanmıştır. Üretilen

kompozit malzeme bir kırıcı yardımı ile pelet haline getirilmiştir. Peletler su yardımı ile kurutuldukları için rutubetin uzaklaştırılması amacıyla tekrar kurutma işlemi uygulanmıştır. Kurutma işlemi sonrası örnekler yoğunluk değerine göre pres kalıplarına dökülmüş ve 180°C ye ayarlanan preste 3 dakika süre ile preslenmiştir. Presleme işlemi sonrası örnekler soğuk presleme ile levha haline getirilmiştir. Üretimi yapılmış örnekler son aşama olarak testler için boyutlandırılmıştır.

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

	Poli(L-laktik asit) (%)	Atık Gazete Kâğıdı lifi (AGKL) oranı (%)
Kontrol	100	-
A1	90	10
A2	80	20
A3	70	30

2.3 Araştırma Yöntemi

Çalışmada örneklerin eğilme direnci, çekme direnci, termal özellikleri ve optik özellikleri belirlenerek literatür ile karşılaştırma yapılmıştır.

2.3.1 Malzemenin FTIR-ATR ile Karakterizasyonu

Tez çalışmasında FTIR-ATR (Shimadzu IR Prestige-21/Pike MlRacle ATR) cihazı ile örneklerin yapısal özellikleri belirlenmiştir. 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 Zwick/Roell Z010 Üniversal Test Makinesi kullanılmıştır.

İklimlendirilmeye bırakılan deney örnekleri 5 x 13 x 165 mm boyutlarında olacak şekilde ayarlanmıştır. İki destek arası mesafe 80 mm ve test hızı 5 mm/dak. olacak şekilde ayarlanmıştır. Eğilme direnci ASTM D 790, 2004 standardına göre yapılmıştır.

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 universal test makinesine ait bilgisayar ortamında otomatik olarak hesaplanmıştır

2.3.2.2 Çekme Özellikleri

İklimlendirilen test örnekleri 5 x 13 x 150 mm olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Test hızı 5 mm/dak. olarak ayarlanmıştır.

Deneme levhalarındaki çekme testi (çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü) Zwick/Roell Z050 Universal Test cihazı ile ASTM D 638 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Çekme direnci:

$$\sigma_{\text{çd}} = \frac{F_{\text{max}}}{A} (N/mm^2) \quad (3)$$

$\sigma_{\text{çd}}$ = Çekme direnci (N/mm²)

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

A = Örnek enine kesit alanı (mm²)

Çekmede elastikiyet modülü:

$$E = \frac{\sigma_{\text{çd}}}{\varepsilon} (N/mm^2) \quad (4)$$

ε = Çekme deneyi kopma sırasında oluşan birim uzama

E = Çekmede elastikiyet modülü (N/mm²)

$\delta_{\text{çd}}$ = Çekme direnci(N/ mm^2)

Kopmada Uzama Miktarı;

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

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)

Örneklerin TGA analizi Perkin Elmer (Model STA 6000) marka test cihazı kullanılarak 35°C'den 600 °C'ye kadar 10°C/dakika sıcaklık artışı ile azot gazı akışı 20 mL/ dakika olacak şekilde ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca cihaz üzerinden simultane olarak DSC sinyalleri de ölçülmüştür.

2.3.3.2 Diferansiyel Tarama Kalorimetresi(DSC)

Örneklerin camsı geçiş, erime sıcaklığı, kristalleşme sıcaklığı gibi verilerinin tespit edilmesi için DSC analizi yapılmıştır. Deneme levhalarında DSC analizi için Perkin Elmer (Model DSC 8000) marka cihaz kullanılmıştır. Ölçüm koşulları 35°C ile 250°C sıcaklık aralığı, 10°C/dakika artış hızı ve 20 ml/ dakika olarak ayarlanmıştır.

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:

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

ΔH_e :Örneğin erime ısısı (J/g)

ΔH_0 : PLA nın erime ısısı. Bu çalışma için 93 J/g alınmıştır (Tekinalp ve ark.,2019)

W: PLA oranı (%)

2.3.4 Optik Özellikler

2.3.4.1 Test Kağıtlarına ait ISO Parlaklık Ölçüsü

Kompozit levhaların parlaklık değerleri ISO/ DIS 2470-1977 standardına uygun olarak C/ 2 ilüminasyon ve difüz metot kullanılarak yapılmıştır (ISO/DIS 2470, 1997). Ölçümler iki kat levha üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ölçüm koşulları aşağıdaki gibi ayarlanmıştır.

- MASK/GLOSG :M/ 1+ E
- UV Ayarları : UV % 0
- Aydınlatıcı 1 : D 65
- Aydınlatıcı 2 : C
- Observer : 10 C
- Ekran : Diff &ABS
- Renk genişliği : B ISO 2470
- Auto Avg. : 1
- Gecikme zamanı : 0.05

2.3.4.2 Test Kâğıtlarına ait CIE L *a* b* Renk Değerlerinin Ölçümü

Renk ölçümleri ISO/ CD 5631 standardına göre difüz reflektans metodu ile yapılmıştır. CIE (Commission internationale I Eclairage) tarafından 1971 yılında kağıt endüstrisi için önerilen bu sistem trisitumulus (X, Y,Z) program aracılığı ile L* a*b* CIELAB koordinatlarının hesaplanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sarılık değerleri (Y E313) cihazdan okunarak kaydedilmiştir. İki örnek arasındaki renk farklılığı(ΔE) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\Delta E=[(\Delta L)+(\Delta a)+(\Delta b)]$$

3. BULGULAR

3.1 Mekanik özelliklere Ait Bulgular

3.1.1 Eğilme Özellikleri

Tablo 5’de Lif-PLA kompozitlerin eğilme özelliklerine ait bulgular yer almaktadır.

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 PLA		77,10	7,14	2252	335,8	5,19	0,41
%90 AGKL	PLA-%10	64,14	7,80	2614	216,8	2,96	0,29
%80 AGKL	PLA-%20	53,02	5,14	2870	340,0	2,12	0,26
%70 AGKL	PLA - %30	39,10	6,62	2816	321,4	1,76	0,18

PLA: Poli(L-laktik asit), AGKL: Atık gazete kağıdı lifi

3.1.2 Çekme Özellikleri

Tablo 6’de örneklerin çekme özelliklerine ait bulgular yer almaktadır.

Tablo 6. Çekme özelliklerine ait bulgular

Kompozit malzeme bileşimi		Çekme direnci (N/mm ²)		Çekmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)		Kopmadaki uzama (%)	
		X	S	X	S	X	S
%100 PLA		49,45	0,44	1643	211	4,22	0,44
%90 AGKL	PLA-%10	27,66	1,64	1464	217	2,04	0,15

%80 AGKL	PLA-%20	24,04	2,27	1752	140	1,54	0,17
%70 AGKL	PLA-%30	17,53	2,60	1415	142	1,40	0,24

PLA: Poli(L-laktik asit), AGKL: Atık gazete kağıdı lifi

3.2 Termal Özelliklere 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 kikalıntı miktarına ait bulgular Tablo 7’de gösterilmektedir.

Tablo 7. Örneklerin termogravimetrik analiz sonuçlarına ait bulgular

PLA oranı (%)		100	90	80	70
Lif oranı (%)		-	10	20	30
1. Basam	Başlangıç sıcaklığı (°C)	365,12	348,09	349,14	347,03
	Dönüm noktası (°C)	381,15	365,45	367,77	362,89
	Son sıcaklık (°C)	393,04	382,52	381,02	378,99
	ΔY (%)	98,16	90,24	82,46	74,14
2. Basam	Başlangıç sıcaklığı (°C)	-	-	-	455,28
	Dönüm noktası (°C)	-	-	-	472,66
	Son sıcaklık (°C)	-	-	-	484,06
	ΔY (%)	-	-	-	3,46
550 °C’deki kalıntı miktarı (%)		1,02	5,67	6,88	8,14

3.2.2 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizine Ait Bulgular

Tablo 8’de lif-PLA kompozitlerinin DSC analizi sonuçları yer almaktadır.

Tablo 8. Lif-plastik kompozitlerinin termal ve kristallenlik 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 PLA	-	-	-	153,9	0,75	2,81	3,02

%90 PLA-%10 AGKL	127	-	-	152,9	1,73	6,39	7,63
%80 PLA-%20 AGKL	120	-	-	151,7	2,53	11,89	15,98
%70 PLA-%30 AGKL	118	-	-	151,2	3,92	15,46	23,75

PLA: Poli(L-laktik asit), AGKL: Atık gazete kağıdı lifi

3.3 Optik Özelliklere Ait Bulgular

Tablo 9’da Lif-PLA kompozitlerinin optik özelliklerine ait bulgular verilmiştir.

Tablo 9. Örneklerin optik özelliklerine ait bulgular

		ISO Parlaklığı (%)	Sarılık (YI- E313)	L*	a*	b*	ΔE
	X	55,00	12,25	58,59	1,09	7,22	-
%100 PLA	S	0,45	0,60	0,63	0,04	0,69	-
%90 PLA-%10 AGKL	X	5,15	16,45	29,03	-0,46	5,54	29,65
	S	0,32	1,26	0,66	0,16	0,79	-
%80 PLA-%20 AGKL	X	5,03	17,38	29,50	-0,63	4,97	29,23
	S	0,10	1,43	0,34	0,15	0,21	-
%70 PLA-%30 AGKL	X	6,07	16,73	30,73	-0,57	4,61	28,03
	S	0,72	1,36	0,52	0,13	0,28	-

PLA: Poli(L-laktik asit), AGKL: Atık gazete kağıdı lifi

4. İRDELEME

4.1 Atık Gazete Kağıdı katkı-PLA Malzemelerin Karakterizasyonu

4.1.1 Lif-Plastik Kompozitlerin FTIR-ATR Spektrumları

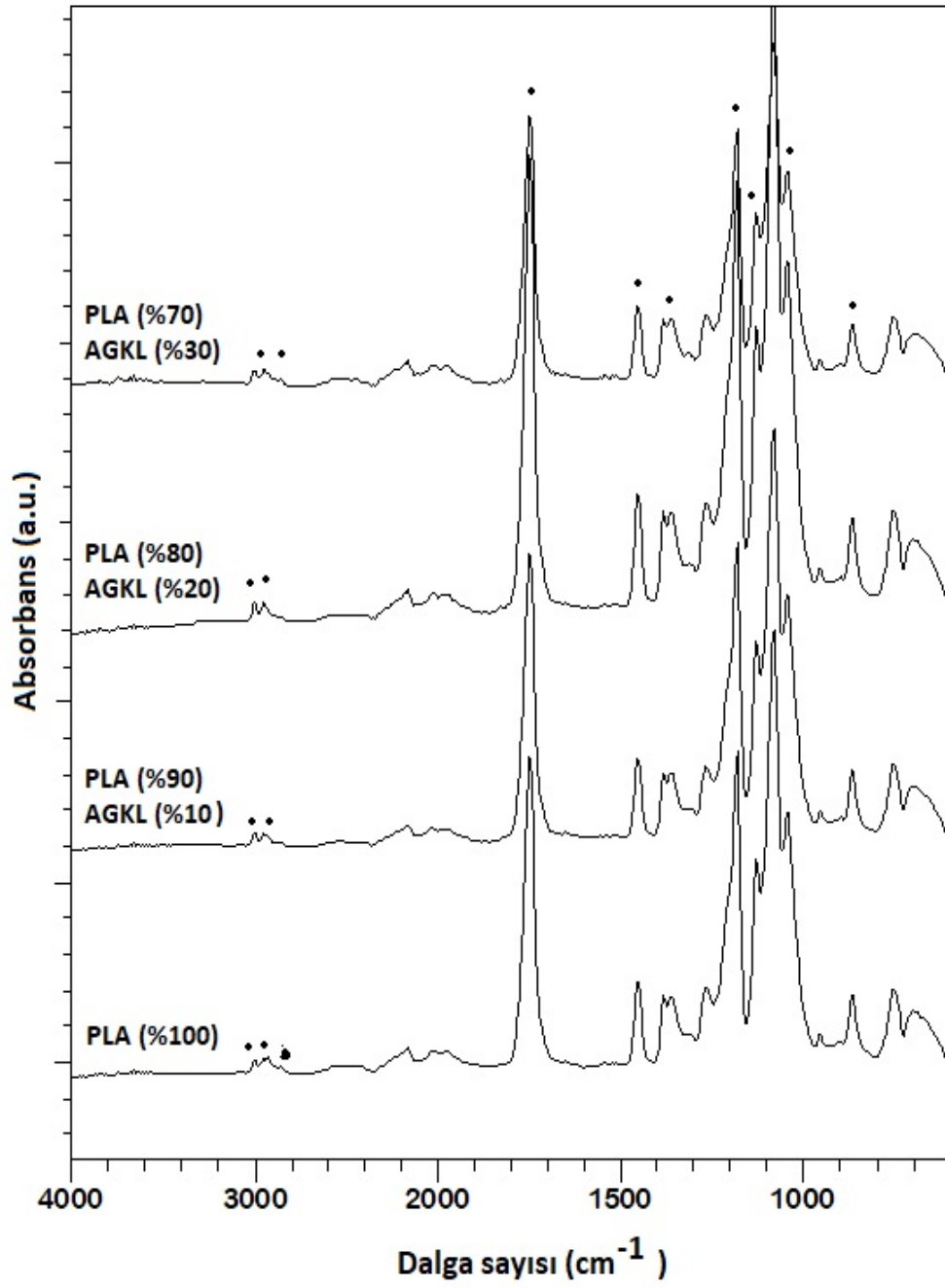
Şekil 5’de polilaktik asit ve atık gazete kağıdı lifi ile hazırlanan polimerlerin FTIR-ATR spektrumları görülmektedir. Tablo 10’da selülozik malzemelerin karakteristik FTIR-ATR pikleri görülmektedir.

Sadece PLA kullanılan örneklerin 1750 cm⁻¹ de tekrarlanan ester birimlerinden kaynaklı karbonil guruplarının($-C=O$) oluşturduğu baskın pik (Rahman ve ark., 2014: Park ve ark., 2019) görülmektedir. Bu pik aynı zamanda atık gazete kağıdı lifinden kaynaklı hemiselülozlar ile ilişkili karbonil pikini tanımlamaktadır 1732 cm⁻¹(Marchessault ve Liang, 1962). Ayrıca PLA nın 1180cm⁻¹, 1129 cm⁻¹ ve 1080 cm⁻¹ bandlarında pik oluşturduğu görülmektedir. Bu pikler ester ve karbonil guruplarının $-C-O$ geriliminden kaynaklanmaktadır(Rahman ve ark., 2014: Park ve ark., 2019). Bu pik selülozun karakteristik C-O pikiyle örtüşmektedir(Liang ve Marchessault, 1959). Spektrumlar ayrıntılı incelendiğinde ilave edilen atık gazete kağıdı lifinin spektrumda fazlaca bir değişikliğe neden olmadığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni yukarıda da açıklandığı gibi organik temelli iki malzemeninde aynı bandalarda pik oluşturması ve piklerin üst üste gelmesi nedeniyledir. PLA nın nişasta bazlı olduğu ve gazete kağıdının da ağırlıklı olarak selüloz bazlı olduğu düşünülürse bu durum beklenen bir sonuçtur.

Bununla birlikte 2917 cm⁻¹ de saf PLA da olan pik gazete kağıdı ilavesi ile ya azalmış ya da tamamen kaybolmuştur. PLA nın ana piki olan 2998 ve 2948 cm⁻¹ bandı tüm örneklerde görülebilmektedir. Bu pikler ana zincirdeki $-CH-$ gurupları ile ilişkilidir (Rahman ve ark., 2014).

Tablo 10. Selülozik malzemelerin kızılötesi spektrumdaki dalgasayı karakterizasyonu

Dalga sayısı (cm ⁻¹)	Ana gruplar	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 aromatic 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 5. Atık gazete kağıdı lifi ve atık PP içeren kompozitlerinin FTIR-ATR spektrumları

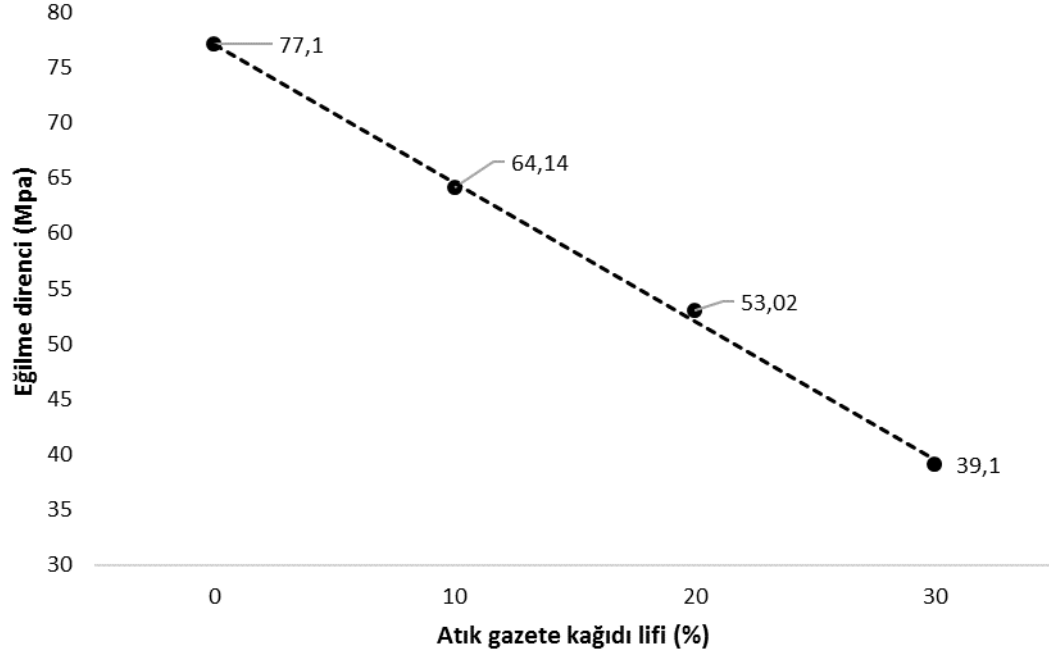
4.2 Mekanik Özellikler

4.2.1 Eğilme Özelliği

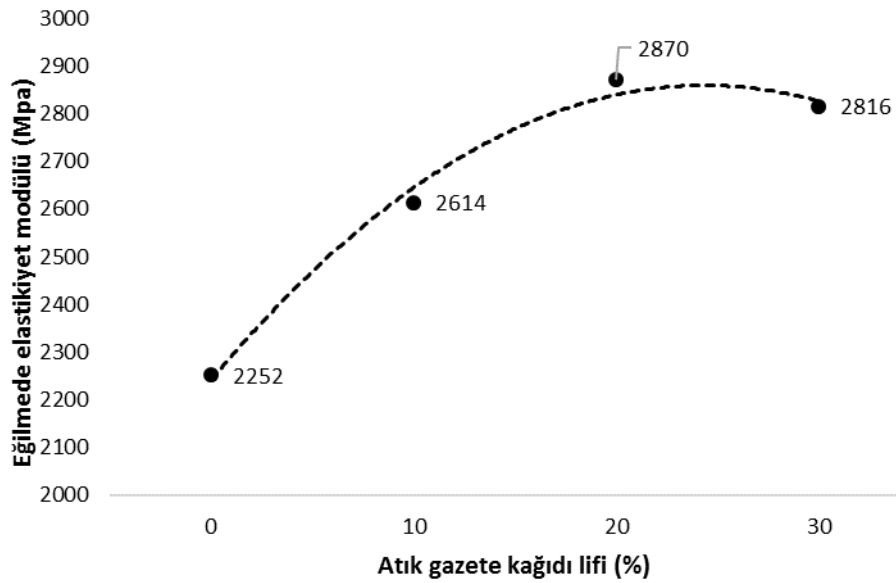
Şekil 6’da da Atık gazete kağıdı lifi ile takviye edilen PLA kompozitlerinin eğilme dirençleri görülmektedir. PLA nın eğilme direnci 77,1MPa olarak belirlenmiştir. Grafiklerden eğilme direncinin %10 atık gazete kağıdı lifi ile 64,14 MPa’a düştüğü, % 20 lif oranı ile 53,02 MPa’ve %30 lif oranı ile 39,1 MPa’a kadar düşmüştür. Grafikten de görüldüğü gibi artırılan lif oranıyla eğilme direnci doğrusal bir şekilde azalış göstermektedir. Çalışma PLA ve atık gazete kağıdı lifi kullanılabilirliğinin araştırılması üzerine gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle atık gazete kağıdının kullanıldığı diğer termoplastik kompozitler ile karşılaştırılması uygun olacaktır. Pesman ve Şahinbaş (2017) atık gazete kağıtlarını alçak yoğunluklu polietilen ile birlikte %30 oranında kullandıklarında eğilme direncinin 25,49 MPa olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ise %30 atık gazete lifi oranında eğilme direnci 39,2 MPa olarak tespit edilmiştir. PLA nın, düşük yoğunluklu polietilenden eğilme direncinde çok daha dirençli olduğu söylenebilir. Atık polipropilen ile yapılan benzer bir çalışmada ise eğilme direnci polietilende olduğu gibi 25,1 MPa civarında ölçülmüştür (Pesman ve Güleç, 2019). Bu sonuçlara göre en rijit olan yani eğilmeye karşı direnç gösteren plastiğin PLA olduğu söylenebilir. Bununla birlikte ilave edilen atık gazete kağıdının direnç özelliğini azaltması incelendiğinde PLA çok rijit bir malzeme olması nedeniyle çok daha büyük bir etki yapmaktadır.

Şekil 7’de örneklerin eğilmede elastikiyet modül değerleri yer almaktadır. Elastikiyet modülü, düşük gerilmeler altında malzemede meydana gelen şekil değişiminin, gerilmeyi oluşturan kuvvetin kaldırıldıktan sonra malzemenin eski haline gelme özelliğini belirten bir değerdir. Grafikten görüldüğü gibi eğilmede elastikiyet modülü lif oranı ile birlikte artmakta ve %30 oranında bu artış yavaşlamaktadır. PLA nın elastikiyet modülü 2252 MPa iken %10 lif ilavesiyle 2614 MPa ya ve %20 lif ilavesi ile 2870 MPa ya kadar çıkmıştır. %30 atık gazete kağıdı ilavesinde eğilmede elastikiyet modülü 2816 MPa civarında kalmıştır. Bu değerlerin artışı malzemenin gazete kağıdı lifi ilavesi ile daha esnek bir yapıya dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Atık polipropilende de benzer şekilde 1100 MPa olan modül gazete kağıdı ilavesi ile 2500 MPa ya kadar çıkmıştır (Pesman ve Güleç,

2019).lignoselülozik malzemelerin elastikiyet modüllerinin yüksek olması kompozit ürünlerininkini de arttırmaktadır (Ward ve Hardley 1993; Matuana ve Balatinecz, 1998; Bouafif, 2009; Zabihzadeh, 2010; Chaharmahali v.d., 2010).

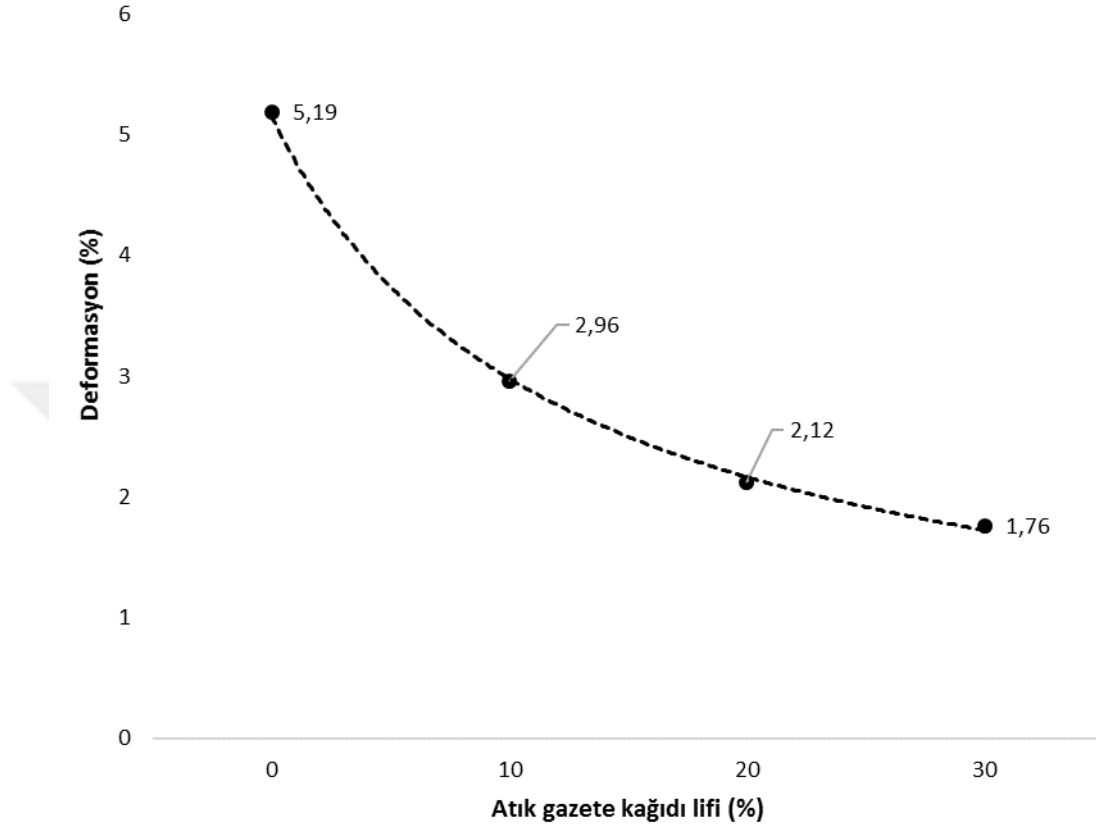


Şekil 6. Lif-PLA kompozit levhalarının eğilme dirençleri



Şekil 7. Lif-PLa kompozit levhalarının eğilmede elastikiyet modülleri.

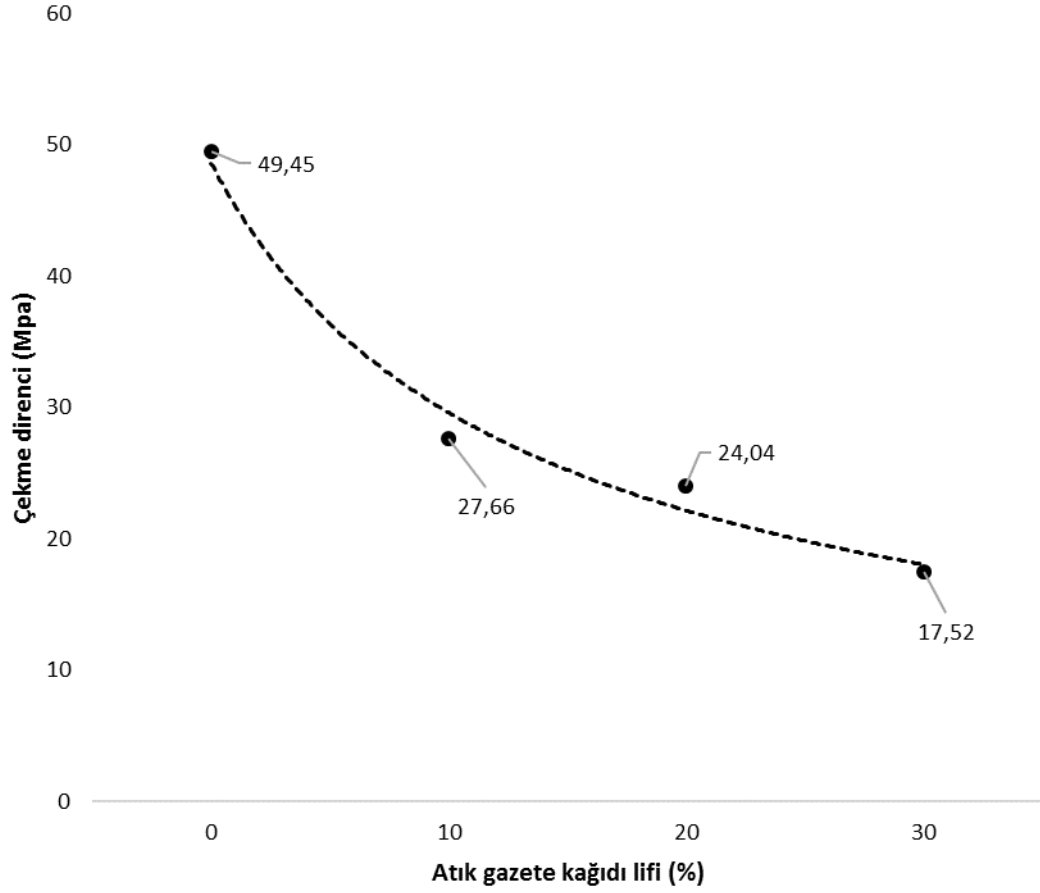
Şekil 8’de örneklerin deformasyon oranları görülmektedir. Grafikten deformasyonun atık gazete kağıdı lifi ilavesiyle düştüğü görülmektedir. PLA’nın deformasyon oranı %5,19 iken %30 atık gazete lifi katkısı ile deformasyon %1,76 ya kadar düşmüştür.



Şekil 8. Lif-PLA kompozit levhalarının eğilmede oluşan deformasyon oranları.

4.2.2 Çekme Özellikleri

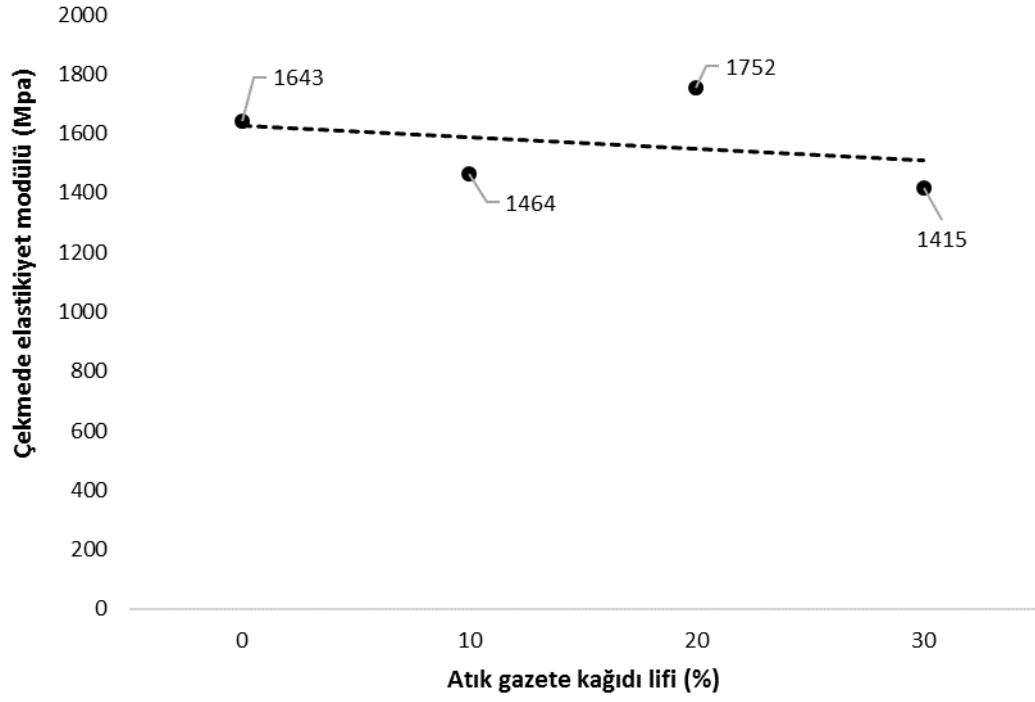
Şekil 9’da atık gazete kağıdı takviyeli PLA kompozitlerin çekme direnci sonuçları görülmektedir. Grafik incelendiğinde PLA’nın çekme direncinin 49,45 MPa olduğu ve %10 AGKL ile 27,66 MPa ya kadar düştüğü görülmektedir. %20 v3 %30 AGKL oranında ise çekme direnci sırasıyla 24,04 ve 17,52 MPa olarak ölçülmüştür. 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). Polietilen ile yapılan çalışmada çekme direnci %30 AGKL takviyesi ile 13,48 MPa olarak ölçülmüştür. PLA’nın direnç özellikleri açısından diğer plastiklerden daha üstün olduğu bu çalışmada ortaya konulmuştur.



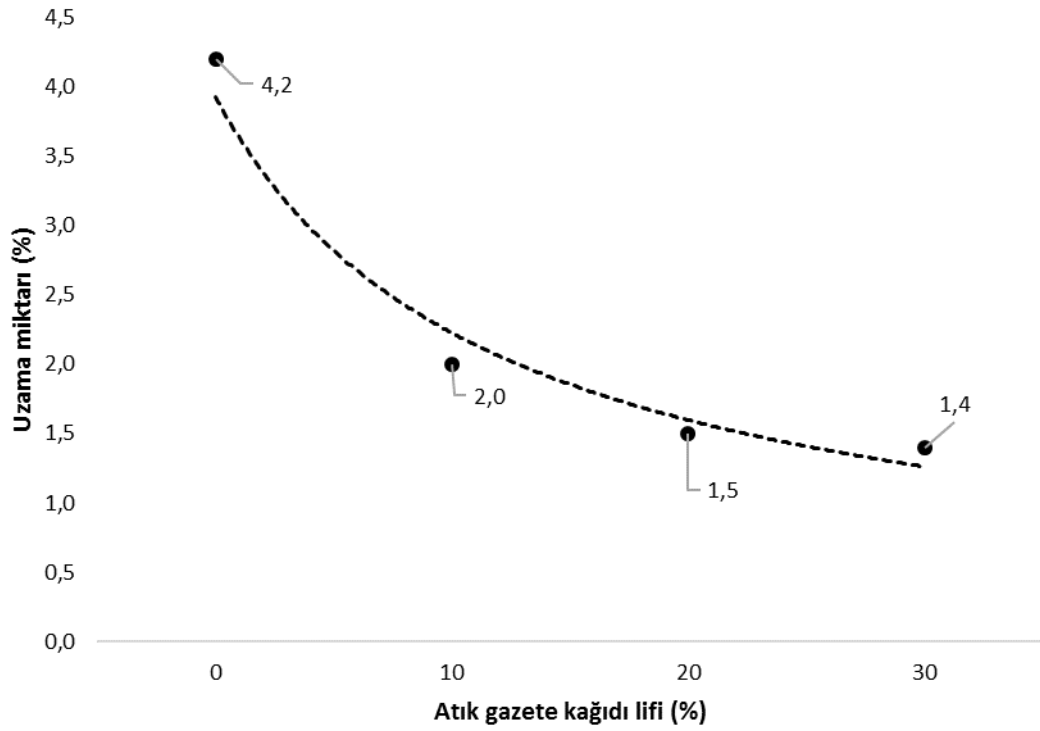
Şekil 9.Lif-PLA kompozit levhalarının çekme dirençleri

Çekmede elastikiyet modülünde azalış dalgalı bir durum tespit edilmiş ve atık gazete kağıdı lifi oranının çekmede elastikiyet modülünü çok önemli ölçüde azaltmadığı gibi artırmadığı da tespit edilmiştir. Artış beklenirken bu şekilde bir sonuç elde edilmesi araştırılmalıdır. Çekme direncindeki azalışa rağmen elastikiyet modülünün değişmediği, ortalama 1600 MPa civarında kaldığı söylenebilir.

Şekil 10'da örneklerin uzama miktarları görülmektedir. PLA'nın deformasyon oranı %4,2 civarında ölçülmüştür. %10 AGKL ilavesi ile bu değer %2,0 civarına kadar düşmüştür. Uzama miktarı %20 AGKL ilavesi ile %1,5'a ve %30 AGKL ilavesi ile %1,4'e düşmüştür. Pesman ve Güleç'in (2019) yaptığı çalışma da atık PP ile %3,8 olan uzama benzer şekilde %1,8'e düşmüştür.



Şekil 10. Lif-PP kompozit levhalarının çekmede elastikiyet modülleri.

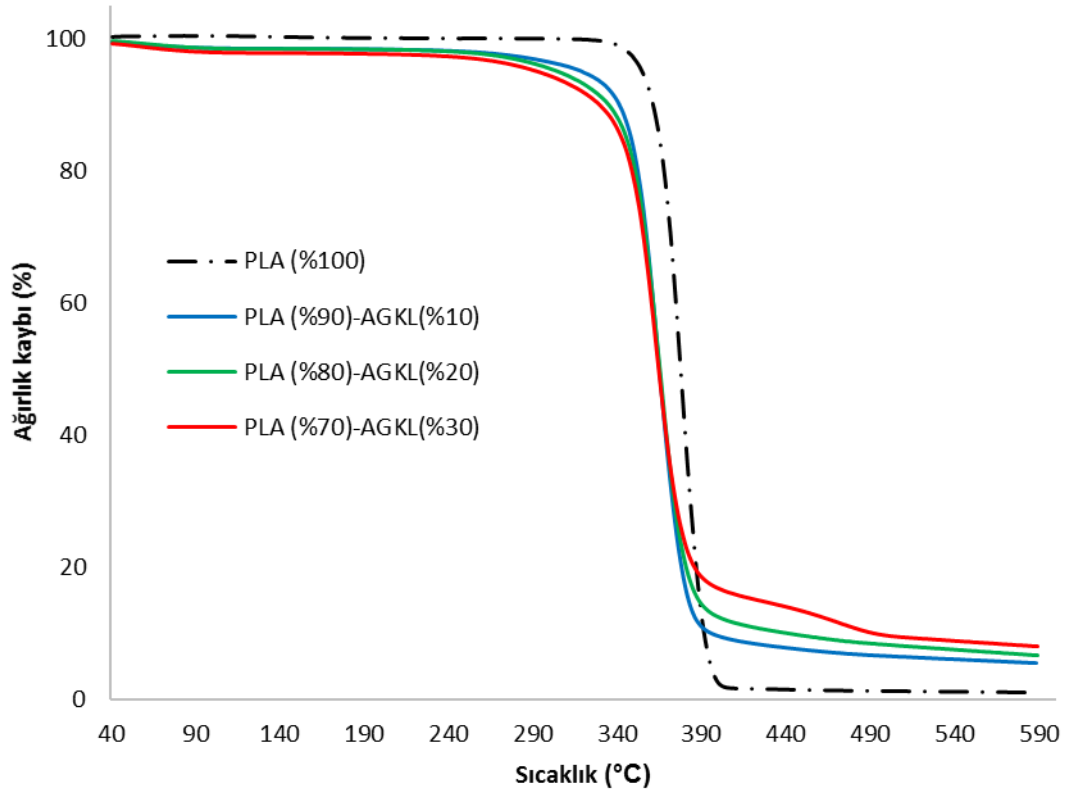


Şekil 11. Lif-PP kompozit levhalarının kopmada uzama miktarları.

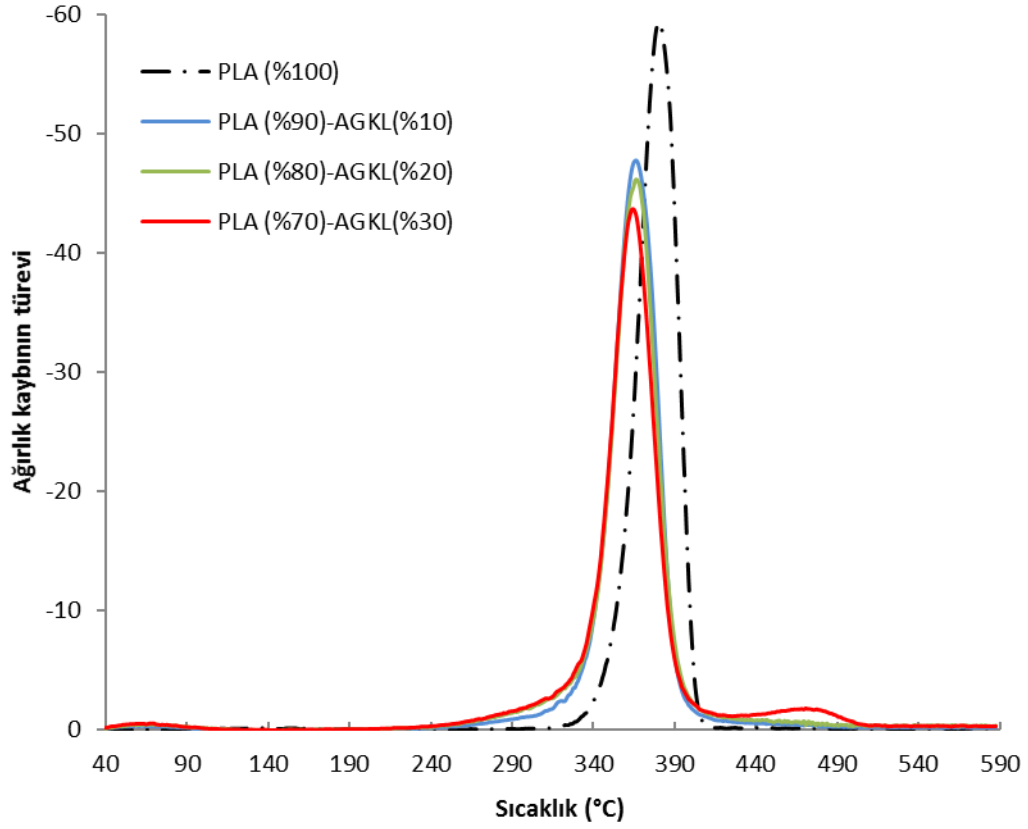
4.3 Termal Özellikler

4.3.1 Termogravimetrik (TGA) Analizler

Şekil 12’de lif-plastik kompozitlerin termogravimetrik analiz sonuçlarına ait ağırlık değişimi grafiği görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi PLA çok temiz bir basamak halinde piroliz olurken, atık gazete kağıdı ilaveli örnekler daha eğimli ve 400°C dan sonra sonlanmayan daha düşük bir eğimle bozunmaya devam etmiş ve bozunma 600° C sıcaklıkta bile bitmemiş ve kalıntı oluşturmuştur. PLA daha düşük sıcaklıklarda pirolize uğradığı için diğer plastiklerde oluşan iki basamaklı bozunma grafiği burada tersi bir şekilde oluşmaktadır. İlk basamak PLA ve atık kağıt lifinin hemiselüloz ve selüloz ile ilişkili iken özellikle %30 lif oranında oluşan ve devam eden basamak lignin ve selülozdan kaynaklanmaktadır. Şekil 13’de ise bu basamakların türevine ait grafikler görülmektedir. Türev grafikleri incelendiğinde yukarıda açıklanan basamaklar daha ayrıntılı olarak pik olarak görülmektedir bu yüzden malzemelerin termal özellikleri türev grafikleri üzerinden açıklanacaktır.



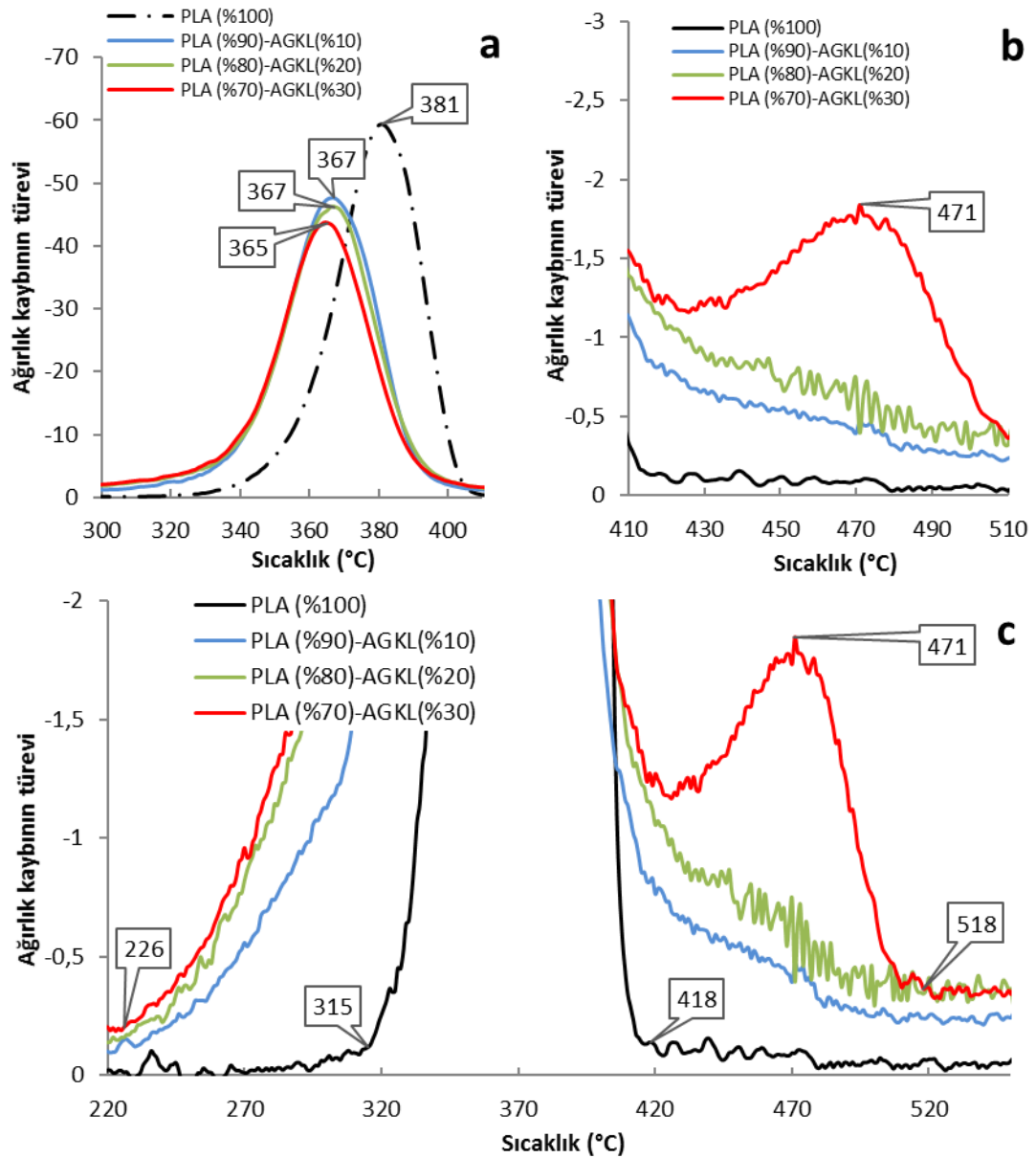
Şekil 12. Lif-plastik kompozitlerin TGA grafikleri



Şekil 13. Lif-plastik kompozitlerin DTGA grafikleri.

Ayrıntılı bir inceleme için 1. basamak ve 2. basamağın spektrumları sırasıyla Şekil 14’de verilmiştir. PLA’nın bozunma basamağı kesik çizgi ile belirtilmiştir. PLA’nın 381°C’de pik oluşturduğu görülmektedir (Şekil 11a). Hesaplanan dönüm noktası sıcaklığı da 381,15°C’dir. Atık gazete kağıdı ilavesi ile bu sıcaklığın azaldığı grafiklerden net bir şekilde görülmektedir. %10 ve %20 atık gazete kağıdı lifi ilavesi ile pik sıcaklığı 367°C’a düşmüştür. Hesaplanan dönüm noktası sıcaklıkları ise sırasıyla 365,45°C ve 367,77°C’dir. %30 atık gazete kağıdı lifi katkılı örneklerde pik sıcaklığı 365°C’ye kadar düşmüştür ki hesaplanan dönüm noktası sıcaklığı daha düşük olup 362,89°C’dir. Açıkça görüldüğü gibi atık gazete ilavesi örneklerin termal dayanımını daha da düşürmektedir. %100 PLA ile %70 PLA-%30 AGKL örneği arasında 18,26°C gibi önemli bir sıcaklık farkı bulunmaktadır. Sıcaklıktaki bu düşüş büyük oranda atık gazete kağıdının bileşiminden kaynaklanmaktadır. Gazete kağıdı bilindiği gibi hemiselüloz, selüloz ve lignin içermektedir. PLA ise nişasta bazlı olup

selüloza yakın bir bozunma sıcaklığına sahiptir. Hemiselülozlar çok kolay degrade olabilen bileşenler olup bozunma 220-315°C arasında gerçekleşmektedir. Selüloz ise 315-400°C arasında bozunmaktadır (Yang ve ark., 2007). AGKL katkılı örneklerin dönüm noktası sıcaklıklarının düşüşü bu piroliz sıcaklıklarından kaynaklanmaktadır. Atık gazete kağıdı ilavesi ile özellikle %30 lif oranında Şekil 14 b’de görüldüğü gibi ikinci bir pik ve bozunma basamağı oluşmuştur. Bu pikin gazete kağıdının içerdiği lignin kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ligninin bilindiği gibi termal dayanımı yüksek olup 900°C ye kadar çıkmaktadır (Yang ve ark., 2007).

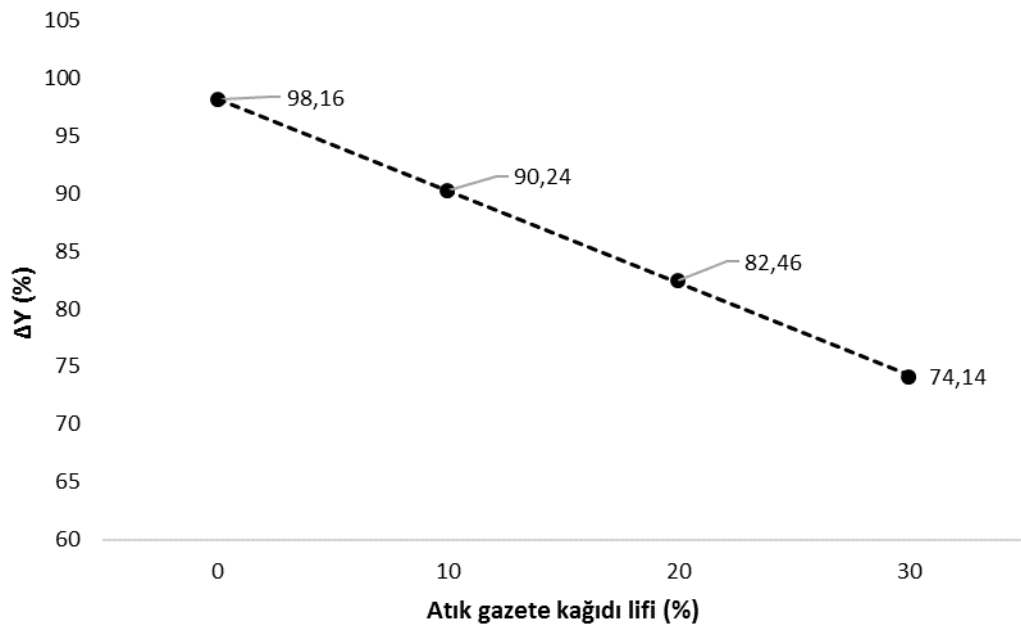


Şekil 14. PLA ve AGKL katkılı PLA kompozitlerin DTGA grafikleri.

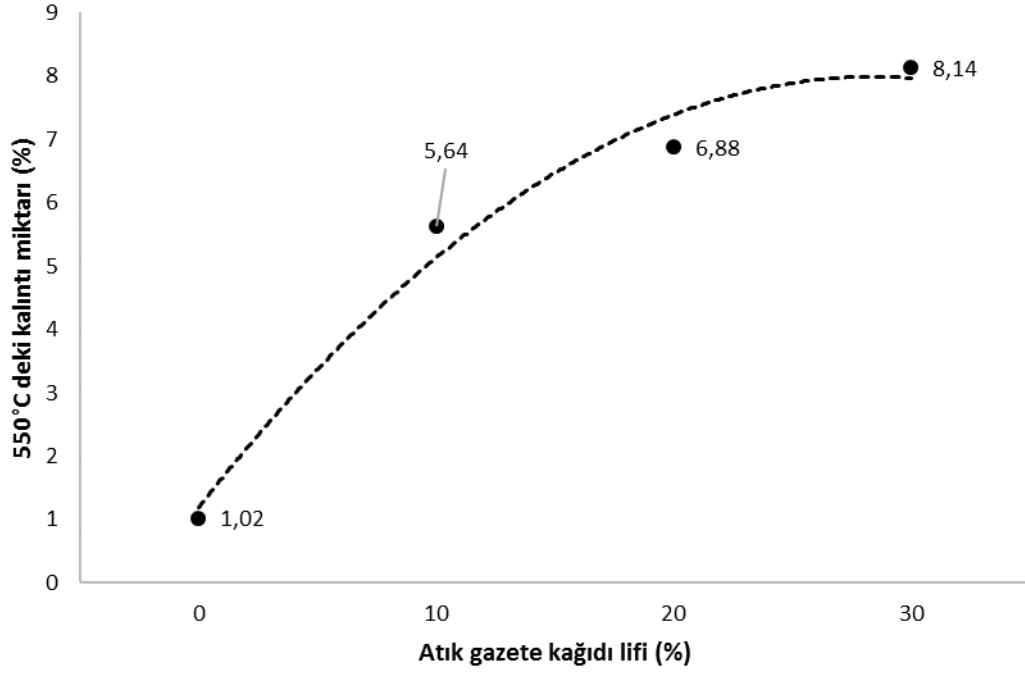
Şekil 15’de örneklerin bozunma piklerinin başlangıç ve sonlanma sıcaklıkları görülmektedir. PLA çok daha düzenli bir dallanma yapan polimer olmasından dolayı çok temiz ve daha dik bir pik oluşturmuştur. Bununla birlikte ortama PLA ve selüloz dışında çok amorf özellikte karmaşık bir dallanma gösteren hemiselüloz ve lignin içeren atık gazete kağıdı lifi katkısı ile örneklerin pik genişliğinin çok daha geniş olduğu görülmektedir. Yukarıda açıklandığı gibi bu farklılık değişen piroliz sıcaklıklarından kaynaklanmaktadır. PLA da pik 315-418°C sıcaklıkları arasında gerçekleşirken, Atık gazete kağıdı lifi katkılı örneklerde 226-518°C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir.

Şekil 15’de kompozit levhaların ΔY değerleri görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi artırılan lif oranı ile birlikte ΔY oranı doğrusal bir şekilde azalmaktadır. %98,16 olan PLA nın bozunma oranı %10, %20 ve %30 AGKL oranı ile sırasıyla %90,24, %82,46 ve %74,14 olarak belirlenmiştir. Ayrıca %30 lif oranında ikinci bir bozunma basamağı oluşmuş ve o basamaktaki bozunma oranı (ΔY) %3,46 olarak tespit edilmiştir.

Şekil 16’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. Bunun nedeni bozunmanın tam olarak sonuçlanmamasıdır.

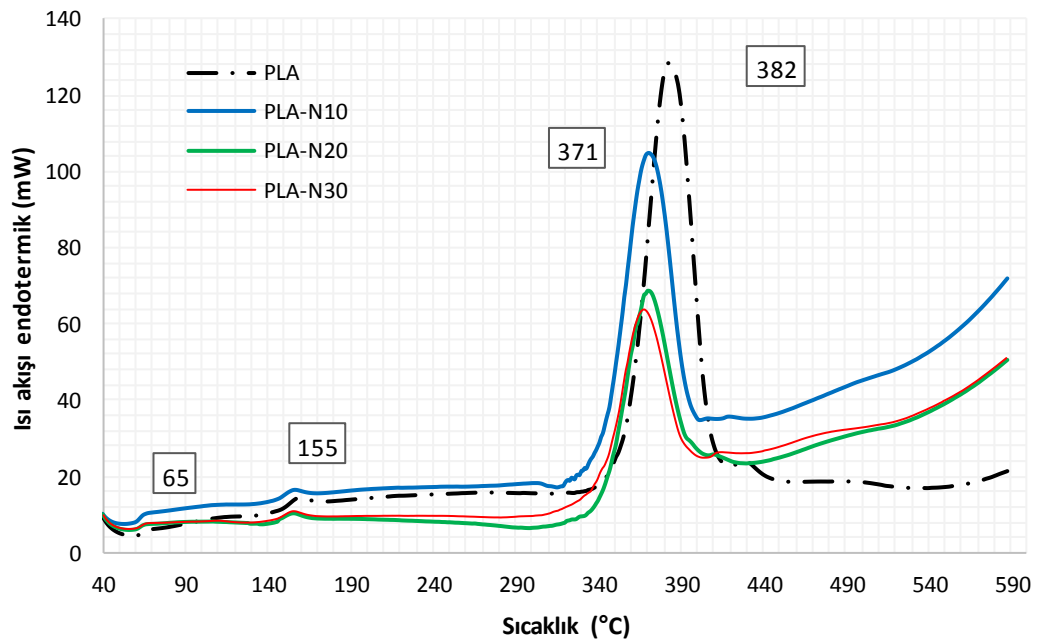


Şekil 15. Lif miktarının ΔY değeri üzerine etkisi.

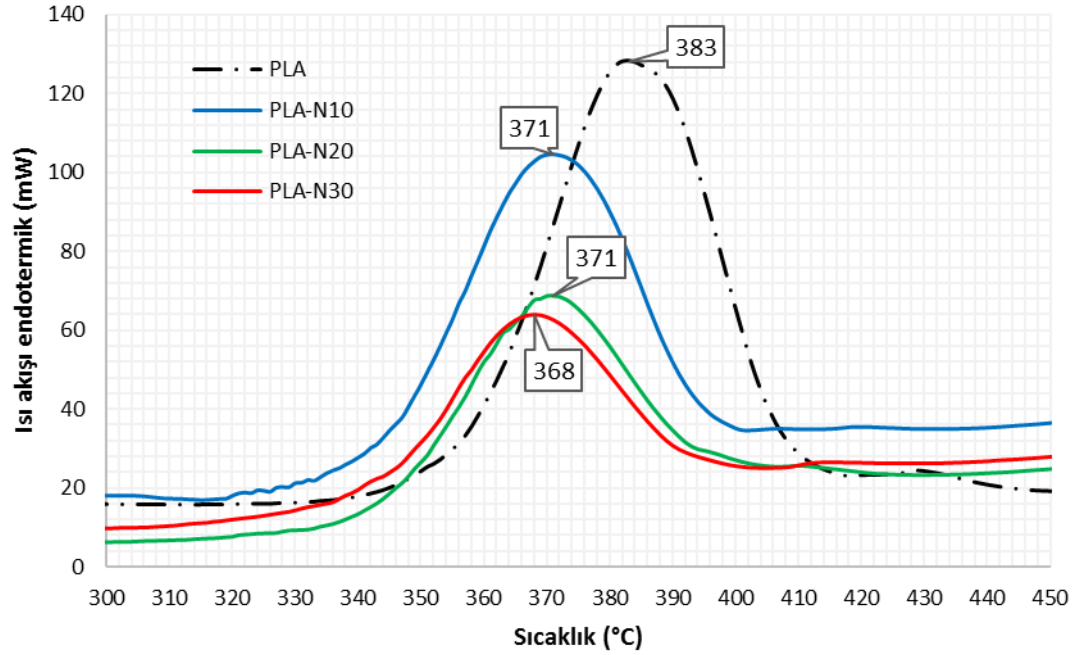


Şekil 16. Lif miktarının 550°C sıcaklıktaki kalıntı madde miktarına etkisi.

Şekil 17’de STA-6000 ile ölçülen DSC grafikleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde plastik malzemenin 60°C civarında camı geçiş olduğu 155°C da eridiği ve 370-385°C sıcaklık civarında bozunduğu görülmektedir. Şekil 18’da örnekler daha ayrıntılı incelenmiştir.



Şekil 17. Örneklerin STA-6000 ile ölçülen DSC spektrumları.

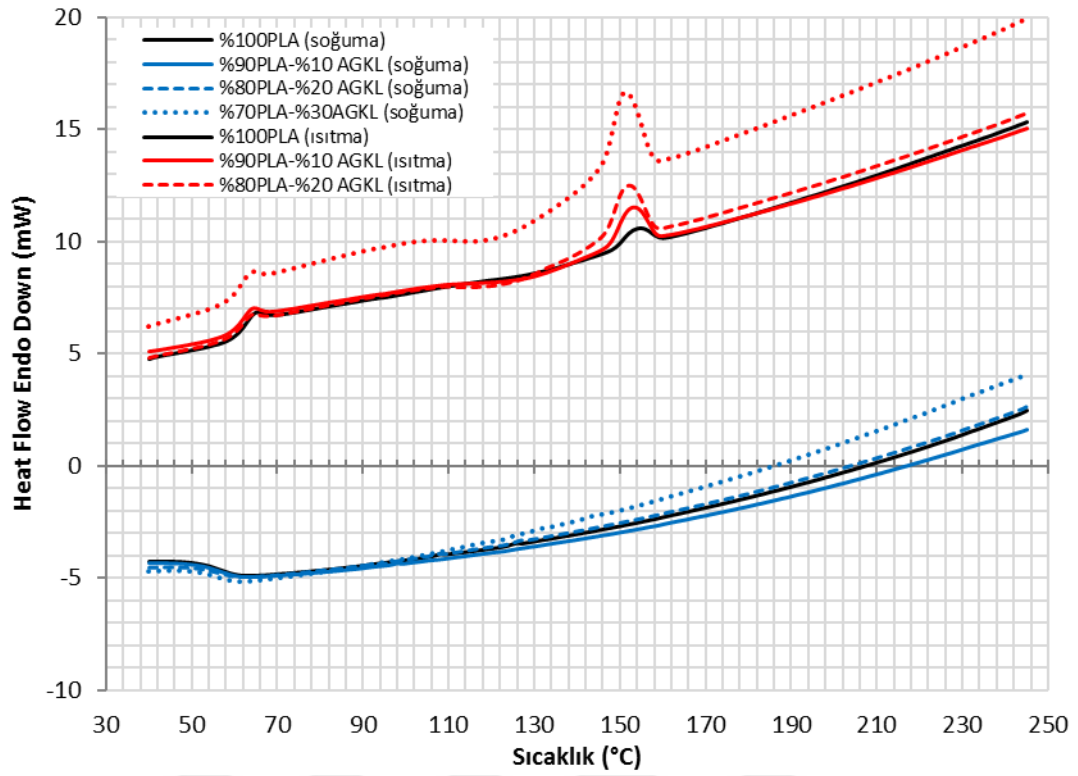


Şekil 18. Örneklerin STA-6000 ile ölçülen simultane DSC spektrumları

Zhang ve çalışma arkadaşları (2020) yaptıkları çalışmada atık ofis kağıtları ve buğday sapı ile çalışmışlar ve selülozca zengin olan ofis kağıdının dönüm sıcaklığını 358°C den 353°C ye düşürdüğünü, lignin ve hemisülüz da içeren ve bizim örneğimize daha yakın bileşime sahip buğday sapının %20 lik oranda dönüm noktası sıcaklığını 332°C ye kadar düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Bu çalışmadaki veriler bizim çalışmada elde ettiğimiz sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

4.3.2 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizleri

DSC, malzemelerin erime noktası, camı geçiş noktaları, kristaleniteleri gibi verilerin ölçüldüğü analitik bir analizdir. Çalışmada tüm örnekler üç kademeli olarak önce 35°C den 250°C ye kadar ısıtılmış sonra geri soğutulmuş ve tekrar ısıtılmıştır. Şekil 19'da örneklerin erime ve soğuma DSC grafikleri görülmektedir. Kırmızı ile işaretli DSC grafiği erime sırasında oluşan değişimleri mavi ile işaretli grafikler ise soğuma sırasında oluşan grafikleri göstermektedir.

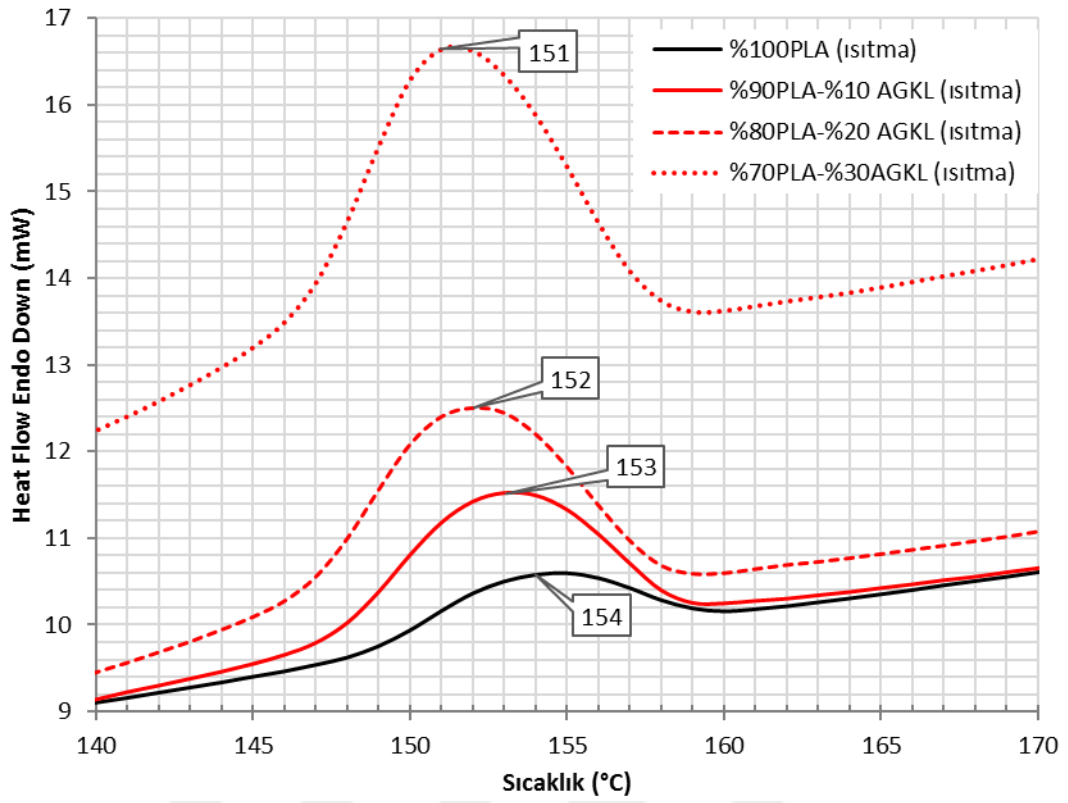


Şekil 19. AGKL-PLA kompozitlerinin DSC grafikleri

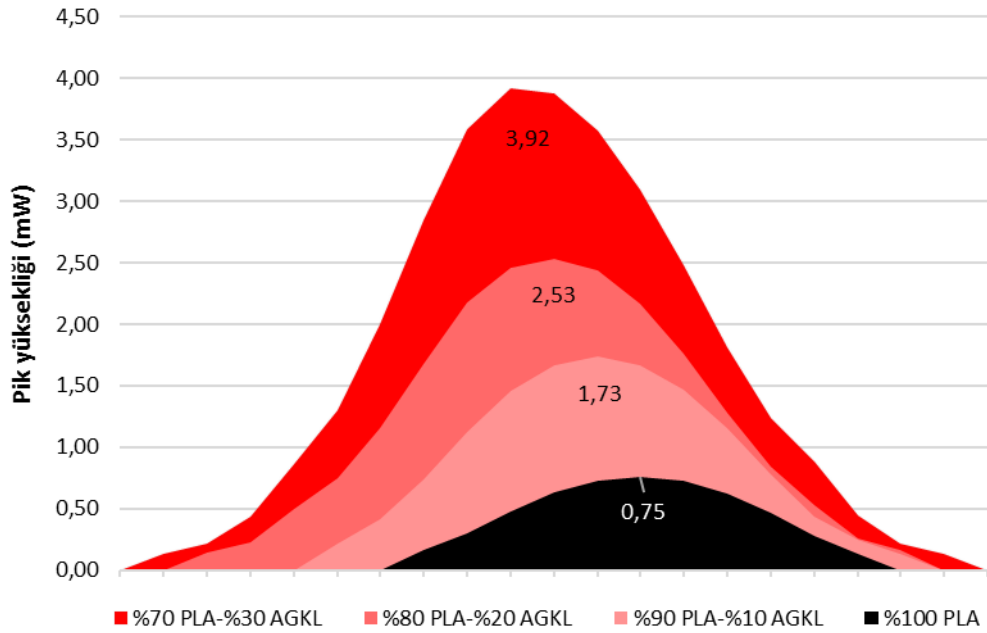
Grafiklerden 65°C civarında camı geçiş, 120-123°C civarında kristalleşme ve 150-155°C civarında erime piklerinin olduğu görülmektedir.

Şekil 20’de malzemenin erime pikleri görülmektedir. Grafiklerden ayrıntılı olarak görüldüğü gibi PLA nın 154°C civarında eridiği, %10 AGKL ilavesi ile erime sıcaklığının 153°C’ye düştüğü, %20 AGKL ile 152°C’ye ve %30 AGKL ile 151°C’ye düştüğü görülmektedir. Atık gazete kağıdının her %10 luk oranı ile erime sıcaklığının yaklaşık 1°C azaldığı görülmektedir.

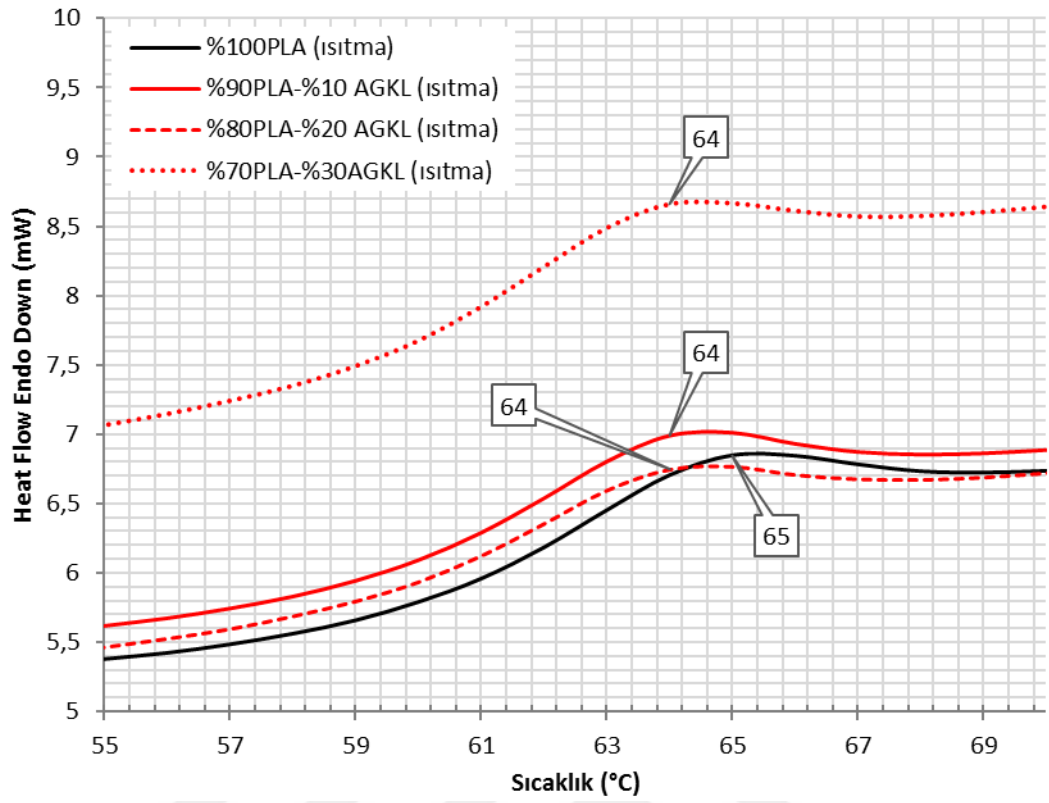
Şekil 21’de örneklerin pik yüksekliklerindeki değişim görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi PLA nın pik yüksekliği oldukça düşük 0,75mW olarak ölçülmüştür. Dolgu maddesi olarak %10 atık gazete kağıdı ilavesi ile pik yüksekliği 1,73 mW’a ve %20 atık gazete kağıdı lifi ile birlikte 2,53 mW’a kadar çıkmıştır. %30 lif ilavesi ile kontrolün neredeyse dört katı oranda 3,92 mW pik yüksekliği ölçülmüştür.



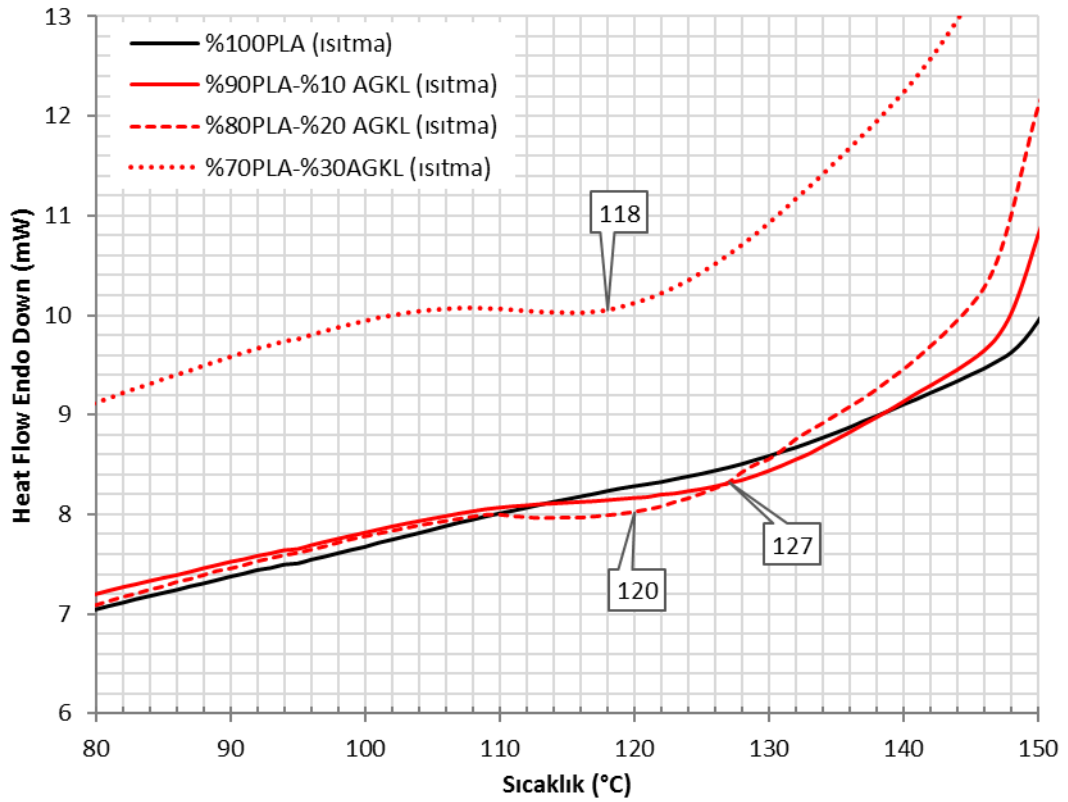
Şekil 20. AGKL-PLA kompozitlerinin erime pikleri



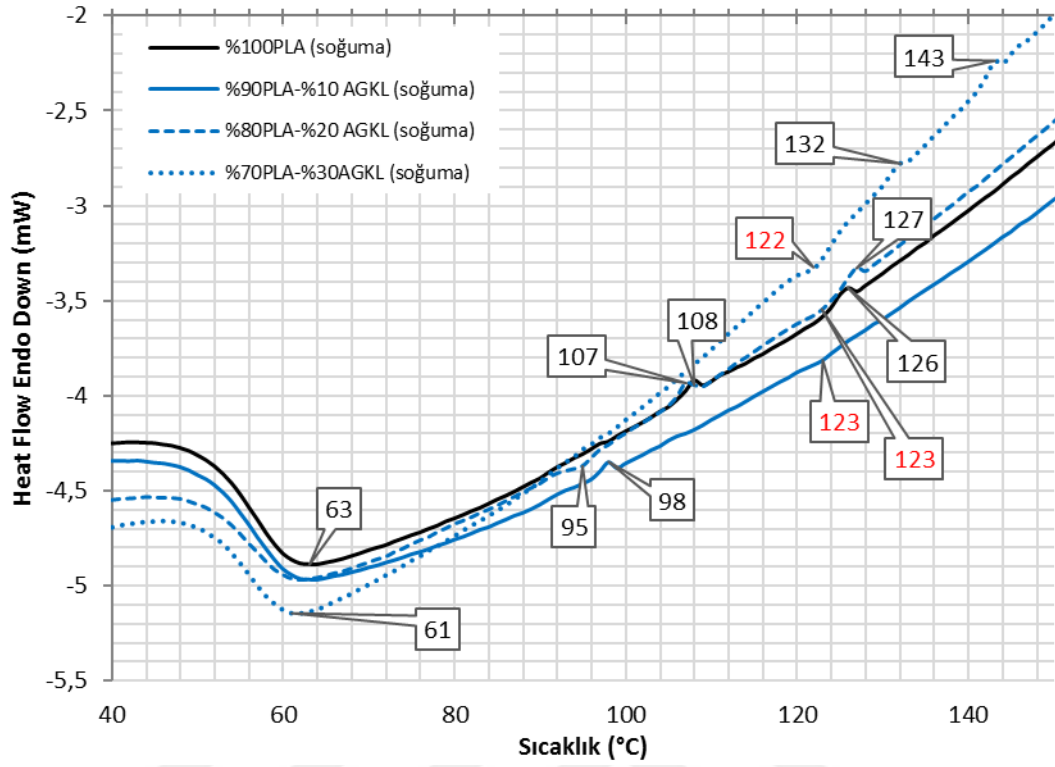
Şekil 21. AGKL-PLA kompozitlerinin erime pik yükseklikleri



Şekil 22. Örneklerin camsı geçiş sıcaklıkları



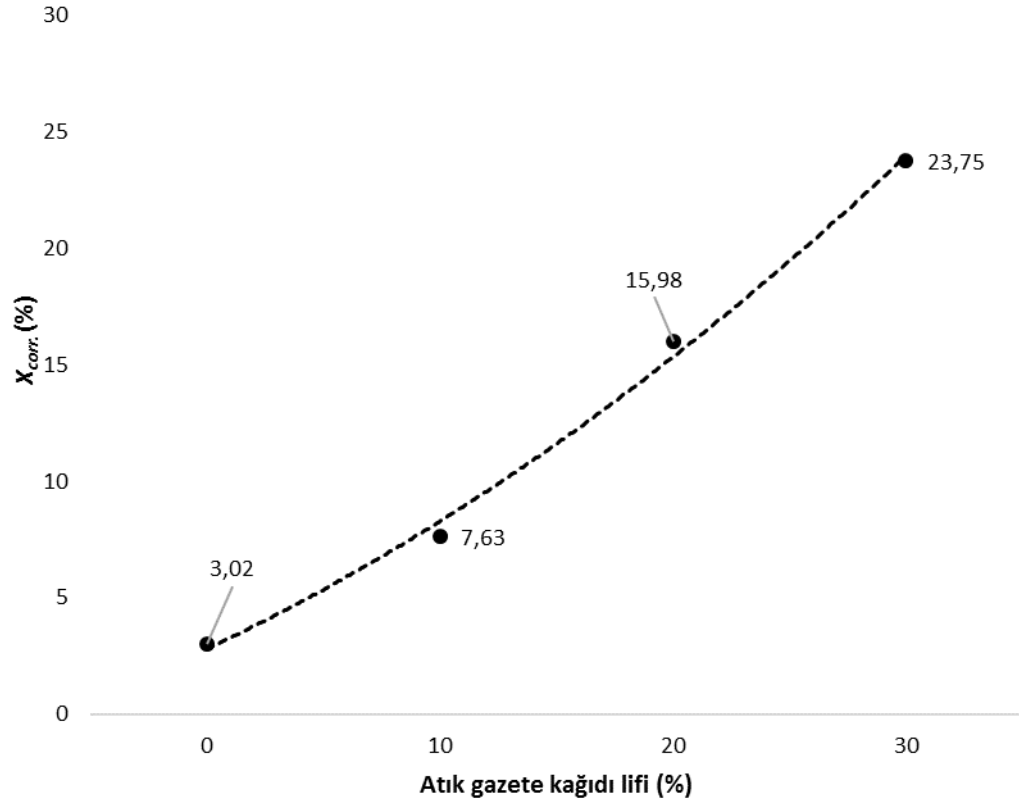
Şekil 23. Örneklerin kristalleşme sıcaklıkları (erime basamağı)



Şekil 24. Örneklerin soğuma (kristalleşme) basamağı

Şekil 22’de Örneklerin camısı geçiş ile ilişkili sıcaklıkları görülmektedir. Kontrol örneği PLA nın 65°C olan camısı geçiş sıcaklığı ortama lif ilavesi ile 64°C olarak belirlenmiş ve soğumanın %100 PLA ya göre yavaşladığı görülmektedir benzer geçiş Şekil 23’te ki soğuma eğrisinden de belirgin bir şekilde görülmektedir. Camısı geçişteki kademelerden malzemenin yarı kristal özellikte olduğu söylenebilir. Şekil 24 ve 25’de örneklerin kristalleşme ile ilgili sıcaklıkları görülmektedir. Kontrol örneği olan PLA nın kristallenliğinin oldukça düşük olduğu 120°C civarında neredeyse hiç pik oluşturmamasından anlaşılmaktadır. Ortama atık gazete kağıdı lifi ilavesi ile kristalleşme artmakta ve pik oluşumu zayıf olsa da gözlenebilmektedir. Şekil 23 ve 24’teki grafiklerden 118-122°C aralığında %30 atık gazete kağıdı lifi içeren örneklerde kristalleşme piki çok daha net bir şekilde görülmektedir. Şekil 25’te örneklerin hesaplanan kristallikler görülmektedir. DSC grafiklerinden de gözlemlendiği gibi kontrol örneğinin kristallenliği çok düşük olup ancak %3,02 olarak hesaplanmıştır. %10 atık gazete kağıdı lifi ile kristallenlik %7,63’e ve %20 lif oranıyla %15,98’e kadar çıkmıştır. %30 lif ilavesi ile kristallenlik en yüksek değerini almış ve

%23,75 olarak hesaplanmıştır.



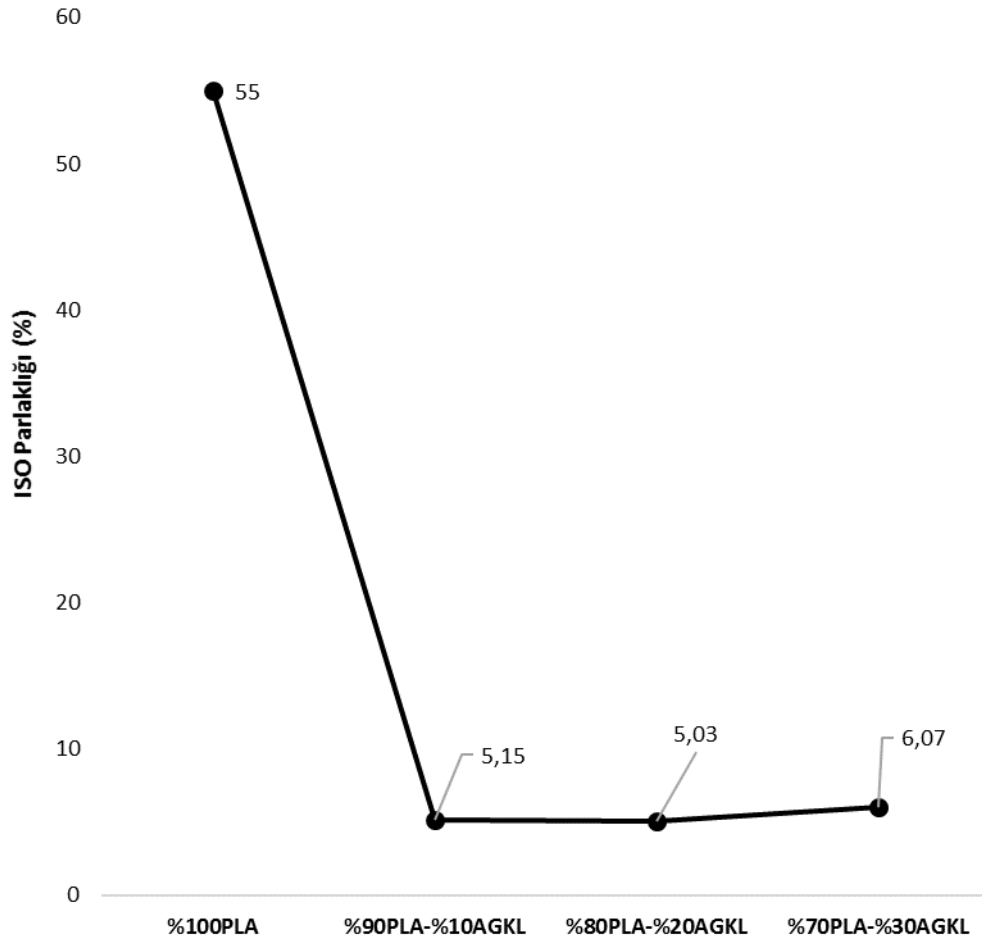
Şekil 25. Plastik kompozitlerin kristallenlikleri

Çalışma kapsamında kullanılan PLA'nın literatürdeki birçok çalışmada kullanılan PLA ya göre kristalliliğinin oldukça düşük olduğu hatta kristalleşme pikinin zorlukla seçilebildiği tespit edilmiştir. Zhang ve arkadaşları (2020) yaptıkları çalışmada PLA'nın tek başına kristallenliğini %39,3 olarak hesaplamışlardır. Oysaki bu çalışmada ancak %3,02 değerine ulaşılmıştır. Benzer şekilde onlarda yaptıkları çalışmada ortama ilave ettikleri lignoselülozik materyal ilavesi ile kristallenliğin daha da arttığını tespit etmişlerdir. Yapılan o çalışmada farklı olarak onlar ΔH_m değerinin lif ilavesi ile azaldığını tespit ederlerken bizim çalışmada artış göstermiştir (Zhang ve ark. 2020). Buna karşın PLA'nın düşük kristalizasyonu bilinen bir dezavantajdır (Wang ve ark, 2019). Aynı çalışmaya göre PLA'nın termal dayanımı da oldukça düşüktür. Wang ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada saf PLA'nın kristalizasyon

pikinin çok geniş olduğunu bu yüzden fark edilmesinin zor olduğunu ve bunun nedeninin de çok yavaş kristalleşmesinden kaynaklandığını açıklamışlardır.

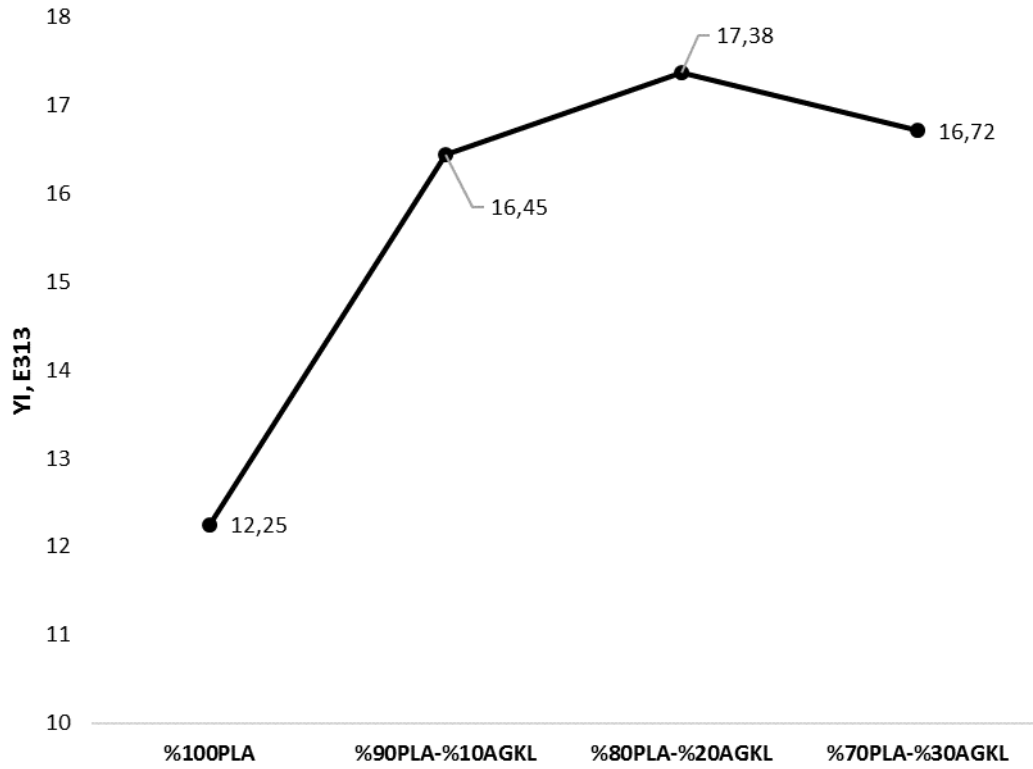
4.4 Optik Özellikler

Şekil 26 ve 27’de sırasıyla örneklerin ISO parlaklığı ve E313 sarılık değerleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde iki kat üst üste konulan örnekler üzerinden yapılan ölçümlerde PLA nın parlaklığının %55 olduğu tespit edilmiştir. Tabi PLA geçirgen bir yapıda olduğu için bu sonuç ışığın iki kat malzeme içinde kırılması sonucu yansıyan değerdir. Lif oranıyla birlikte geçirgenlik azalmakta ve malzemenin rengi koyu yeşile dönüşmekte ve parlaklık değeri %10 lif oranında %5,15’e kadar düşmektedir. Bununla birlikte %30 lif oranında parlaklık azalmak yerine bir miktar artmıştır. Bunun nedeni malzemenin geçirgenliğinin azalması ve cam gibi yapısı nedeniyle ayna görevi görerek ışığı daha fazla yansıtmasıdır. Bu açıdan bu çalışmada ölçülmemiş olsa da glossmetre ile yansıyan ışık ölçümü yapılması büyük önem taşımaktadır.



Şekil 26. Örneklerin ISO parlaklığı değerleri

Şekil 28’de örneklerin sarılık değerleri görülmektedir. Lif oranı ile birlikte %20 atık gazete kağıdı lifi takviyesine kadar sarılığın 12,25’ten 17,38’e arttığı daha sonra %30 lif oranı ile tekrar 16,72’ye gerilediği görülmektedir

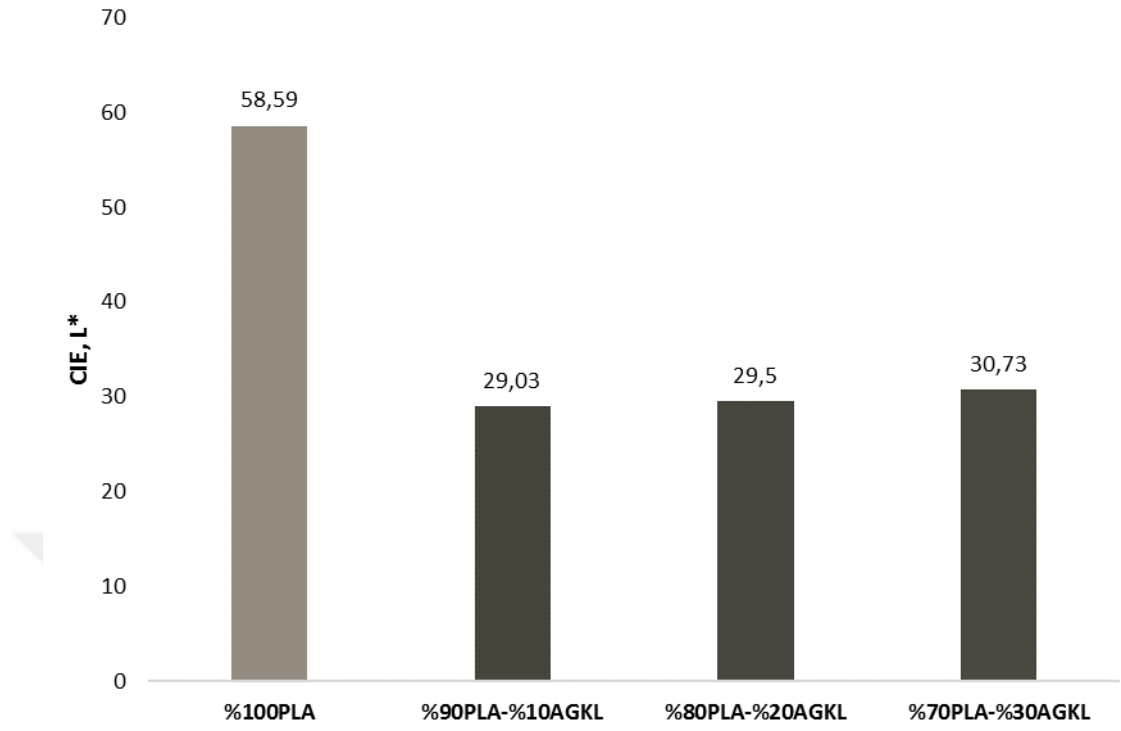


Şekil 27. Örneklerin E313 Sarılık değerleri

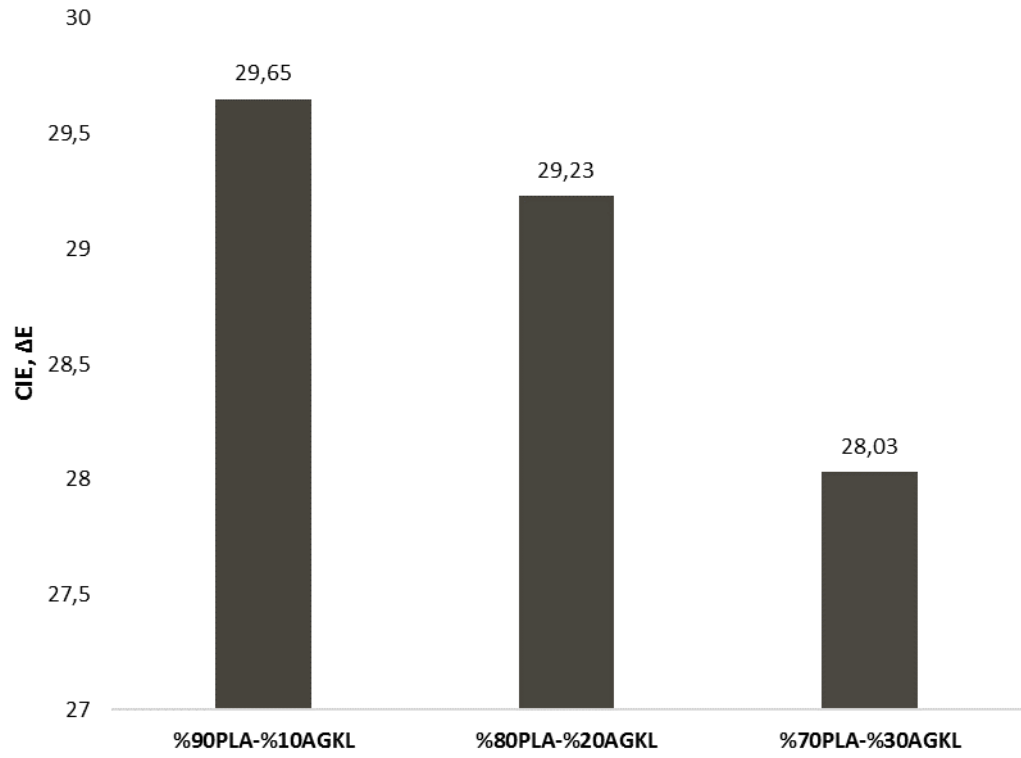
Bilindiği gibi CIE $L^*a^*b^*$ değerleri malzemelerin renk koordinatlarını belirten önemli bir parametredir. Şekil 28, 29, 30 ve 31’de sırasıyla L^* , ΔE , a^* ve b^* değerlerine ait sonuçlar görülmektedir.

L^* değeri aydınlık seviyesini göstermekte olup parlaklık değerine benzer bir eğilimde değişim göstermektedir. Kontrol örneğinin L^* değeri 58,59 iken atık gazete kağıdı lifi içeren örneklerin L^* değerleri 29 ile 31 arasında değişim göstermektedir. Parlaklıkta belirtilen artış L^* değerinde de tespit edilmiştir.

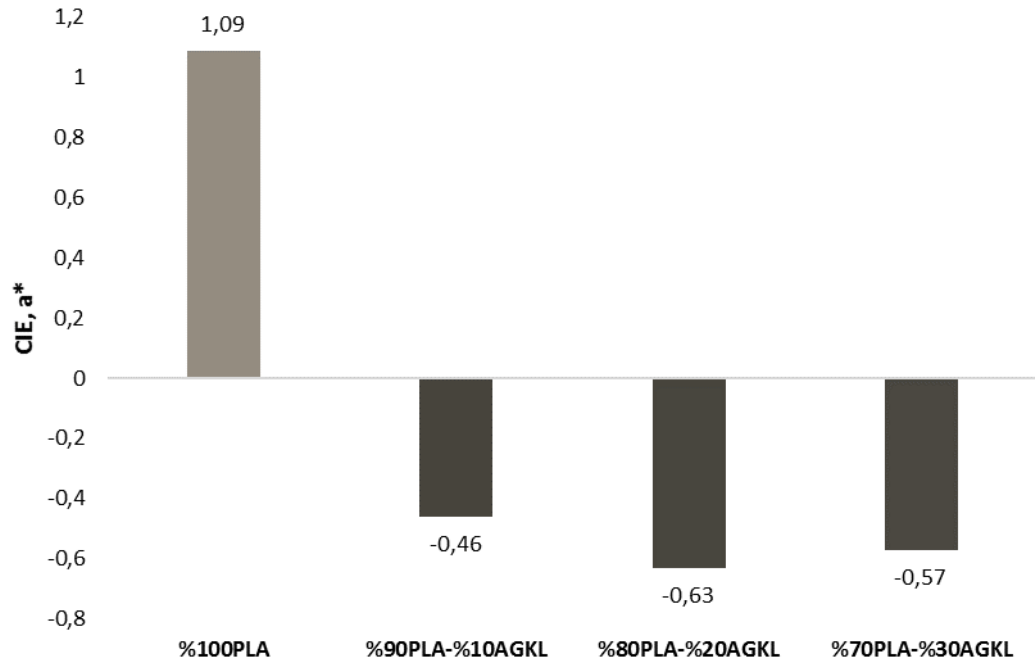
Şekil 28’deki CIE ΔE değerleri kontrole göre örneklerin renk değişimlerini göstermektedir. Malzemenin içerisindeki lif oranı arttıkça renk farkı artmak yerine azalış göstermiştir. Bu artış gözle fark edilmeyecek kadar küçük değerlerde olmuş olsa da malzemenin ışık geçirgenliğinin azalması ve yansıtma özelliğini artmasından kaynaklanmaktadır.



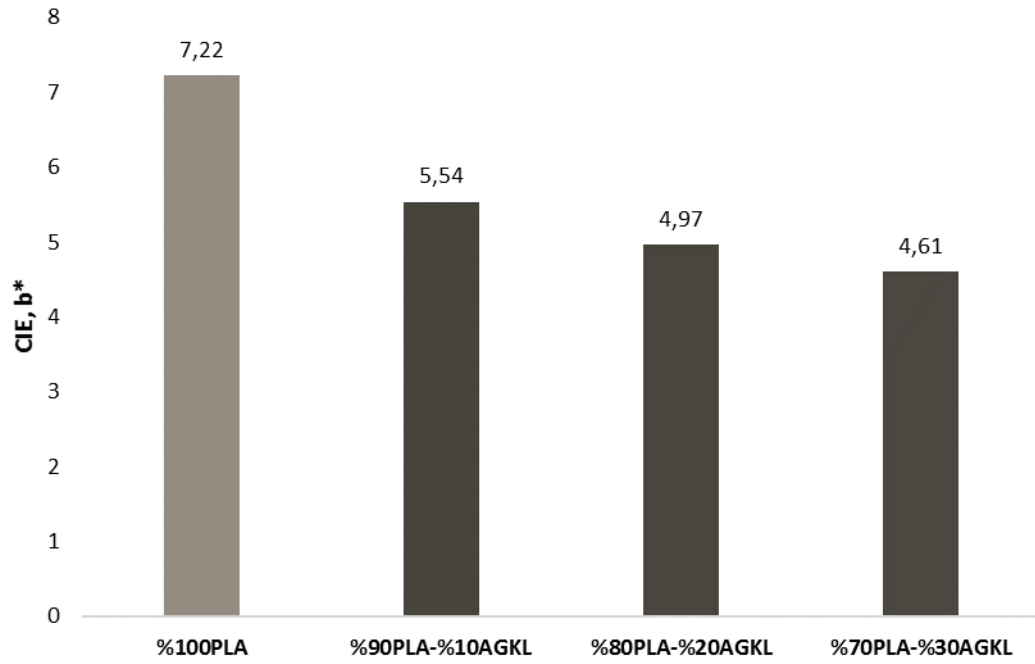
Şekil 28. Örneklerin CIE L* değerleri



Şekil 29. Örneklerin CIE ΔE değerleri



Şekil 30. Örneklerin CIE a* değerleri



Şekil 31. Örneklerin CIE b* değerleri

Şekil 30 ve 31’de örneklerin CIE a* ve b* değerleri görülmektedir. “a*” değeri pozitif ekseninde kırmızı negatif ekseninde yeşil rengi belirtmektedir. Grafik incelendiğinde kontrol örneğinin a* değeri pozitif ekseninde 1,09 olarak ölçülürken lif ilavesi ile negatif ekseninde %10, 20 ve %30 lif oranı için sırasıyla -0,46, -0,63 ve -0,57 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar malzemenin koyu yeşil rengini açıklamaktadır. Bilindiği gibi saf PLA sarımtırak renkli iken gazete kağıdı sarı ve siyah rengin karışımından gri renklidir üç bileşenin birleşimi ile koyu yeşil örnekler elde edilmiştir.

CIE b* değeri ise pozitif ekseninde sarı negatif ekseninde mavi rengi belirtmektedir. Şekil 30’daki grafikten görüldüğü gibi sarı renk lif ilavesi ile azalmaktadır. CIE b değeri %30 lif oranından kontrole göre 7,22’den 4,61’e kadar gerilemiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında polilaktik asitin (PLA) atık gazete kağıdı lifi (AGKL) ile kullanılabilirliği mekanik, termal ve optik özellikler açısından incelenmiş ve diğer termoplastikler ile karşılaştırılmıştır.

- Çalışmada FTIR-ATR ile yapılan ölçümlerde nişasta ve şeker bazlı PLA ile yine selüloz ve hemiselülozun baskın olduğu atık gazete kağıdının karaktersistik piklerinin benzer bağ tiplerini içermesi nedeniyle üst üste çakıştığı tespit edilmiştir.
- Plastik kompozitlerin eğilme dirençleri sonuçları incelendiğinde atık gazete kağıdı lifi oranının eğilme direncini azalttığı tespit edilmiştir. Buna karşın diğer termoplastiklere göre daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.
- Plastik kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise ortama ilave edilen lif miktarı ile artış göstermektedir.
- Plastik kompozitlerin çekme dirençleri dolgu maddesi ilavesi ile azalmıştır.
- Çekmede elastikiyet modülü değerleri ise dolgu maddesi ilavesi ile çok büyük bir değişime uğramamıştır.
- Bilindiği gibi PLA'nın en önemli dezavantajlarından birisi termal dayanımının düşük olmasıdır. Ortama ilave edilen atık gazete kağıdı ile termal dayanım daha da azalmıştır. PLA'nın 381,15°C olan dönüm noktası sıcaklığı %30 atık gazete kağıdı lifi katkısı ile 362,89°C'a kadar düşmüştür. Ayrıca %30 lif oranında dönüm noktası 471°C olan ikinci bir bozunma basamağı oluşmuştur. Dönüm noktası sıcaklığındaki düşüş ve ikinci pik atık gazete kağıdının içerdiği hemiselüloz ve ligninden kaynaklanmaktadır. Ayrıca artırılan lif oranı kompozitlerin 550°C'deki kalıntı miktarlarını da artırmıştır.
- DSC analiz sonuçları irdelendiğinde atık gazete kağıdı lifinin camsı geçiş

sıcaklığını bir derece azalttığı ve soğumayı yavaşlattığı tespit edilmiştir. Kristallenme piki kontrol örneğinde çok geniş olup zor fark edilmiştir. Bununla birlikte kristallenme piki ortama ilave edilen atık gazete kağıdı lifi ile daha belirginleşmiştir. Erime ile ilgili pik sıcaklıkları ortama ilave edilen atık gazete kağıdı lifi oranı ile birlikte 154°C den 151°C ye gerilerken pik yüksekliği artırılan lif ile birlikte artmıştır. PLA'nın hesaplanan kristallenliği çok düşük olup %3,02 iken %30 lif oranıyla %23,75'e kadar çıkmıştır.

- Levhaların ayrıca optik özellikleri de belirlenmiştir. PLA geçirgen bir malzeme iken lif ilavesi ile geçirgenlik azalmaktadır. ISO parlaklığı bu nedenle %10 lif ilavesi ile kontrole göre %55'ten %5,15'düşmüş ve oranın %30'a artırılması ile parlaklık %6,07'ye çıkmıştır. Örneklerin sarılık değeri artırılan lif oranı ile birlikte artmıştır. CIE L*a*b renk koordinatı değerlerine göre örneklerin koyu yeşil rengi içerdiği tespit edilmiştir.

Çalışma PLA ve atık gazete kağıdının birlikte kullanılmasında sakınca olmadığı hatta bazı durumlarda plastiğin kristalleşmesini artırması nedeniyle olumlu etki gösterdiği tespit edilmiştir. Sağlamlık özelliklerini de diğer termoplastik kompozitlerine göre fazla düşürmediği belirlenmiştir. Atık gazete kağıdı ve PLA diğer termoplastiklere göre birbiri ile çok daha uyumlu organik iki bileşendir ve doğada kolay bozunabilir olmaları bu kompozitlerin değerini artırmaktadır. Malzemenin en önemli dezavantajından biri çok rijit bir malzeme olmasıdır. Lif oranının artırılması ile malzemeye esneklik kazandırılmıştır.

KAYNAKLAR

- Awal A., M. Rana , M. Sain. 2014. Thermorheological and mechanical properties of cellulose reinforced PLA bio-composites. *Mechanics of Materials*, 80: 87–95.
- ASTM D 638, 2004. Standard Test Methodfor Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 790, 2004. FlexuralProperties of UnreinforcedandReinforcedPlasticsandElectricalInsulatingMaterials, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bax, B., Müssig, J. 2008. Impact and tensile properties of PLA/ Cordenka and PLA/flax composites. *Composites Science Technology*, 68 (7–8):1601–1607.
- Bouafif, H.,Koubaa, A., Perré P. ve Cloutier, A., 2009. *Effects of Fiber Characteristics on thePhysicalandMechanicalProperties of WoodPlasticComposites*, Composites: Part A, 40, 1975–1981
- Chaharmahali, M.,Mirbagheri, J., Tajvidi, M., Najafi, S.K. ve Mirbagheri Y., 2010. *MechanicalandPhysicalProperties of Wood-plasticCompositePanels*, *Journal of ReinforcedPlasticsandComposites*, 29, 310–319.
- Cheng, S., Lau, K.T., Liu, T., Zhao, Y., Lam, P.M., Yin, Y. 2009. Mechanical and thermal properties of chicken feather fiber/PLA green composites. *Composities Part B: Enginer*, 40 (7): 650–654.
- Crank, M., Patel, M., Marsheider-Weidemann, F., Schleich, J., Husing, B. 2005. Techno-Economic feasibility of large scale production of Bio-based polymers in Europe. *Technical reporties EUR 221003EN*, 1-251.
- Faix O., 1991,Classification of ligninsfromdifferentbotanicaloriginsby FT-IR spectroscopy, *Holzforschung* 45(Suppl.), pp21-27.
- Graupner, N., Herrmann, A.S., Müssig, J. 2009. Natural and man-made cellulose fibre-reinforced poly(lactic acid) (PLA) composites: an overview about mechanical characteristics and application areas. *Composites Part A: Applied Science Manufactory*, 40 (6–7): 810–821.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z. 1997. *Plastikler: Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*, No:46, Ankara, ISBN 975-8088-51-3.
- Gümüşderelioğlu, M., Kesgin, D. 2004. Çevreyle dost polimerler. *Bilim ve Teknik*, 438: 82-84.
- Gümüşderlioğlu, M. 2012. Biyoplastikler. *Polimer Bilim ve Teknolojisi*, Ders Notları, Hacettepe Üniversitesi, 76-79.

- ISO/ DIS 2470, 1997. Paper, board and pulps- measurement of diffuse blue reflectance factor (ISO Brightness).
- Jain, R.A. 2000. The manufacturing techniques of various drug loaded biodegradable poly(lactide-coglycolide) (PLGA) devices. *Biomaterials*, 21: 90-2475.
- Jerez, A., Partal, P., Martínez, I., Gallegos, C. ve Guerrero, A. 2007. Protein-based bioplastics: effect of thermo-mechanical processing. *Rheologica Acta*, 46 (5): 711-720.
- Kato K., Nitta M. and Mizuno T., 1973, Infrared spectroscopy of some mannans, *Agr. Biol. Chem.*, 37(2), pp433-435.
- Kumar, S.M.N., Mohanty, A.K., Erickson, L., Misra, M. 2009. Lignin and its applications with polymers. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 3 (1): 1-24.
- Liang C.Y. and Marchessault R.H., 1959, Infrared spectra of crystalline polysaccharides. 2 Native cellulose in the region from 640 to 1700 cm⁻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.
- Liu, L., Fishman, M.L., Hicks, K.B., Liu, C.K. 2005. Biodegradable composites from sugar beet pulp and poly(lactic acid). *Journal Agric Food Chemical*, 53 (23): 9017–9022.
- Lörcks, J., 1998. Properties and applications of compostable starch-based plastic material. *Polymer Degradation and Stability*, 59 (1–3):245–249.
- Luengo, J.M., García, B., Sandoval, A., Naharro, G. ve Olivera, E.R. 2003. Bioplastics from microorganisms. *Current Opinion in Microbiology*, 6: 251–260.
- Mandelkern, L. Crystallization of Polymer. Series in Advanced Chemistry. New York: McGraw-Hill, 1964.
- Marchessault R.H. and Liang C.Y., 1962, The infrared spectra of crystalline polysaccharides VIII. Xylans, *Journal of Polymer Science*, Vol.59, p357-378
- 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.
- Nawrath, C., Poirier, Y., ve Somerville, C. 1995. Plant polymers for biodegradable plastics: Cellulose, starch and polyhydroxyalkanoates. *Molecular Breeding*, 1 (2): 105-122.
- Nelson M.L. O'Connor R.T., 1964, Relation of certain infrared bands to cellulose crystallinity and crystallite 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

- 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.
- Ochi, S. 2008. Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/PLA composites. *Mechanical Materials*, 40 (4–5): 446–452.
- Okubo, K., Fujii, T., Thostenson, E.T., 2009. Multi-scale hybrid biocomposite: Processing and mechanical characterization of bamboo fiber reinforced PLA with microfibrillated cellulose. *Composites Part A: Applied Science*, 40 (4), 469–475.
- Özdemir, N., Erkmen J. 2013. Yenilenebilir biyoplastik üretiminde alglerin kullanımı. *The Black Season Journal of Sciences*, 3 (8): 89-104.
- Park., C.W., Youe, W.J., Kim, S.J., Han, S.Y., Park, J.S., Lee, E.A., Kwon, G., J., Kim, Y.S., Kim, N.M., Lee, S.H., 2019, Effect of Lignin Plasticization on Physico-mechanical Properties of Lignin/Poly(Lactic Acid) Composites, *Polymers*, 11:2089.
- Pei, L., Schmidt, M ve Wei, W. 2011. Conversion of Biomass into Bioplastics and Their Potential Environmental Impacts. *Biotechnology of Biopolymers Chapter 3*: 58-74.
- Pesman E., Güleç T., 2019. The effects of Ink Presence on Mechanical, Physical, Morphological and Thermal Properties of Office and Newspaper Fiber-Polypropylene Composites, *Materias Science (Medziagotyra)*, 25:2:195-201.
- Peşman, E., Şahinbaş, S., 2017. “Alkali Muamele Edilmiş Eski Gazete Kağıdı Lifleri ile Takviye Edilmiş Yüksek Yoğunluklu Polietilen Kompozitlerinin Fiziksel Mekanik ve Termal Özellikleri,” presented at the IV. *IMCOFE International Multidisciplinary Congress of Eurasia*, ROMA, 2017
- Rahman, M.M., Afrin, S., Haque, P., Islam, M.M., Islam, M.S., Gafur, M.A., 2014, Preparation and Characterization of Jute Cellulose Crystals-Reinforced Poly(L-lactic acid) Biocomposite for Biomedical Applications, *International Journal of Chemical Engineering*, 2014:842147.
- Sarasa, J., Gracia J.M., Javierre, C. 2008. Study of the biodegradation of a bioplastic material waste. *Bioresource Technology*, 100: 3764-3768.
- Sawpan, M.A., Pickering, K.L., Fernyhough, A. 2007. Hemp fibre reinforced poly (lactic acid) composites. *Advances Materias Resorces*, 29–30: 337–340.
- Tekinalp, H.L., Meng, X., Lu, Y., Kunc, V., Love, L.J., Peter, W.H., Ozcan, A., 2019, High modulus biocomposites via additive manufacturing: Cellulose nanofibril networks as “microsporges”. *Composites Part B*, 173(2019):106817.
- Tsuji, H. 2005. Poly(lactide) Stereocomplexes: Formation, Structure, Properties, Degradation, and Applications. *Macromolecular Bioscience*, 5: 569-597.

- Tsuji, H., Fukui, I. 2003. Enhanced thermal stability of poly (lactide)s in the melt by enantiomeric polymer blending. *Polymer*, 44: 2891-2896.
- URL-1 <http://www.makeit from.com/material properties/Polylactic Acid PLA Polylactide/>, PLA Polylactide, (06 Şubat 2021, 14:30).
- Wang, G.,Zhang, D., Li, B., Wan, G., Zhao, G., Zhang, A., 2019. Strongandthermal-resistanceglass fiber-reinforcedpolylacticacid (PLA) compositesenabledbyheattreatment, *InternationalJournal of BiologicalMacromolecules*, 129:448-459.
- Ward,I.M. ve Hadley, D.W., 1993. *MechanicalProperties of Solid Polimers*, John Wiley&Sons LTD, Chichester, England.
- Yang H, Yan R, Chen H, Lee DH, Zheng C., 2007. Characteristics of hemicellulose, celluloseand lignin pyrolysis. *Fuel* 86(12), 1781- 1788.
- Yenwo, G.M., Manson, J.A., Pulido, J., Sperling, L.H., Conde, A., Devia, N. 1977. Castor-oil-based interpenetrating polymer networks: Synthesis and characterization. *Journal of Applied Polymer Science*, 21 (6): 1531–1541.
- Zabihzadeh, S.M., 2010. FlexuralPropertiesandOrthotropicSwellingBehavior ofBagasse/ThermoplasticComposites. *Bioresources*, 5:2:650-660.
- Zhang, X.,Li, S., Xu, C., Li, J., Wang, Z., 2020. Study on mechanicalandthethermalproperties of poly(lacticacid)/Office wastepaper fiber composites, *Journal of AppliedPolymerScience*, 2020;e49390.

ÖZGEÇMİŞ

Fotoğraf

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Hüseyin Emrah YILDIZ
Uyruğu : T.C
Doğum tarihi ve yeri :
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
Telefon :
Faks :
e-posta :

Eğitim

<u>Derece</u>	<u>Eğitim Birimi</u>	<u>Mezuniyet Tarihi</u>
Ön Lisans	PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ	2011
Lisans	ANADOLU ÜNİVERSİTESİ	2014
Yayınlar		