





Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Geri Dönüştürülmüş Polipropilen Kompozitlerde Bitkisel Atık Yağ ve Atık Gazete Kağıdı Liflerinin Değerlendirilmesi

 Sevda BORAN TORUN ^{a,*}  Mevlüt ÖZDEMİR ^b,  Emrah PEŞMAN ^b
 Ayfer DÖNMEZ ÇAVDAR ^c

^a *Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Arsin Meslek Yüksekokulu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE*

^b *Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, TÜRKİYE*

^c *Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: sboran@ktu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1095142

ÖZ

Bu çalışmada lignoselülozik dolgu maddesi olarak atık gazete kâğıdı lifi, bitkisel atık yağ kullanılmış, polimer olarak da geri dönüştürülmüş polipropilen kullanılmıştır. Atık gazete kâğıdı öğütülüp ve yaklaşık 24 saat boyunca 60°C'de kurutma fırınında bekletildikten sonra %10, %20 ve %30 oranlarında geri dönüştürülmüş polipropilen ile karıştırılmıştır. Atık bitkisel yağ ise %2.5 oranında ilave edilmiştir. Karışımlar 170°C, 175°C, 180°C, 185°C ısı kademelerinde ayarlanmış olan ekstrüzyon makinasına konulmuştur. Ekstrüzyon yöntemiyle üretilen kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri belirlenmiştir. Atık gazete kağıdı lifi oranının ilkin eğilme mukavemetini azalttığı, daha sonra ise arttırdığı gözlemlenmiştir. Termal özelliklerde atık bitkisel yağ kullanımının olumlu etkisi olup ısı direnci arttırmıştır. DSC analiz sonuçları incelendiğinde, atık gazete kağıdı lifinin kristallenliği arttırdığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışma ile tümüyle atık olan bileşenlerin kompozit üretiminde kullanılabilir olduğu ve vaks gibi atık bitkisel yağların kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Atık gazete kâğıdı, Atık bitkisel yağ, Termoplastik, Kompozit*

Evaluation of Vegetable Waste Oil and Old Newspaper Fibers in Waste Polypropylene Composites

ABSTRACT

In this study, old newspaper fiber and waste vegetable oil were used as lignocellulosic filler, and recycled polypropylene was used as polymer. The old newspaper was ground and kept in the drying oven at 60°C for about 24 hours, then mixed with recycled polypropylene at 10%, 20% and 30% ratios. Waste vegetable oil was added at the rate of 2.5%. The mixtures were put into the extruder, which was set at temperatures of 170°C, 175°C, 180°C, 185°C. The mechanical and thermal properties of the composites produced by the extrusion method were determined. It was observed that the ratio of the old newspaper fiber first decreased the flexural strength and then increased it. The use of waste vegetable oil has a positive effect on thermal properties and has increased thermal resistance. When the DSC analysis results were examined, it was concluded that the old newspaper fiber increased the crystallinity. With this study, it was concluded that completely waste components can be used in composite production and waste vegetable oils such as wax can be used.

Keywords: *Old newspaper, Waste vegetable oil, Thermoplastic, Composite*

I. GİRİŞ

Geçmişten günümüze ahşap malzemelerin kullanımı oldukça yaygındır. Bunun nedeni, ahşap malzemenin insan sağlığı açısından hiçbir zararı olmadığı test ve çalışmalarla kanıtlanmış ve insanlar tarafından kabul görmüş doğal bir malzeme olmasıdır. Ancak, ahşap malzeme nispeten yenilenebilir bir kaynak olmasına rağmen, günümüzde ormanların yok olması tehdidi söz konusu olması nedeniyle ahşap yerine lif esaslı kompozitlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Günlük hayatımızda kullandığımız bazı atıkların geri dönüşümü yapılarak doğaya bir zarar vermeden plastik ile buluşturularak hayatımıza geri kazandırılması ve plastiğin çevreye verdiği hasarı minimum seviyeye çekmek için çalışmalar yapılmaktadır.

Genellikle her gün düşük maliyetli kağıda basılan gazete, kullanım işlevini kaybettikten sonra çöpe atılmaktadır. Bu nedenle Türkiye'de ve dünyada geri dönüştürülmeyi bekleyen tonlarca atık gazete kağıdı vardır [1]. Gazeteler lifli bir yapıya sahip olduğu için plastik malzemelerle etkili ve kaliteli ahşap-plastik kompozitler elde edilebilmektedir. Atık gazete kağıtlarının geri dönüşümü plastiğe göre daha düşük maliyetli olup, ahşap malzemeye zarar vermeden geri dönüştürülerek ülke ekonomisine ve orman varlıklarına katkı sağlamaktadır.

Selüloz, dünyanın en büyük yenilenebilir malzeme kaynağıdır. Dünya gazete kağıdı pazarı, yılda %2'nin üzerinde bir büyüme potansiyeline sahiptir. Bu büyüme ile birlikte atık gazete miktarı da artmaktadır. Amerika, gazete atıklarının %71.2'sinin geri dönüştürülmesinde dünya lideridir [2]. Gazete kağıdı yüksek miktarda mekanik (yumuşak) kağıt hamuru içermektedir. Mekanik enerji kullanılarak odun kütüklerinin ve talaşlarının bileşenlerine indirgenmesiyle üretilmektedirler. Gazete kağıdı için en uygun ağaç türleri ladin, çam ve kavaktır. Düşük maliyetli, düşük yoğunluklu, yüksek özgül ağırlığa sahip, sert ve güçlü, iyi mekanik özelliklere sahip ahşap plastik kompozitler, selüloz esaslı ürünlerden elde edilmektedir [3]. Geleneksel olarak, polimerler için dolgu maddesi (selüloz, odun unu, tarımsal atık, yıllık bitki vb.) eklenmesi malzemenin özelliklerini iyileştirmek için ucuz bir yoldur. Atık gazete kağıtları, polimere katılarak ürünleri geliştirmek ve ürünlerin maliyetini azaltmak amacıyla plastik ve orman ürünleri endüstrisinde sıkça kullanılmaktadır [2].

Bitkisel yağlar mısır, ayçiçeği, soya fasulyesi gibi bitki çeşitlerinin tohumlarından elde edilen ve genellikle günlük hayatımızda yemek pişirmede kullanılan yağlardır. Bitkisel atık yağlar ise bitkisel saf yağ rafinerisinde oluşan tüm artık bitkisel yağlar, makinelerde kullanılan yağlar kullanılamaz hale geldiğinde oluşan yağlar ve evlerde kullanılan kızartma yağlarından oluşmaktadır. Türkiye'de gıda sanayinde yılda yaklaşık 1.500.000 ton bitkisel yağ kullanılmaktadır. Bu yağdan ise tahmini olarak 350.000 ton atık yağ oluştuğu bilinmektedir [4-5]. Atıkların çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar günümüzde birçok bilimsel çalışma sonucunda kanıtlanmıştır. Özellikle çevreye verdiği zararlar nedeniyle kullanılmış bitkisel yağ atıkları doğadaki yaşam döngüsü ile birlikte insan sağlığına da zarar vermektedir. Kızartmalarda kullanılan bitkisel yağların tekrar tekrar kullanılması önerilmese de en fazla birkaç kullanımdan sonra atık hale geldikleri için özellikle evlerde lavaboya dökülerek doğaya gönderilmektedir. Tavsiye edilmeyen bu yöntemle tıkanabilen atık kanalları atık şebekelerinde ciddi sorunlara yol açabilmektedir [4]. 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 kirlenmesine yol açmakla birlikte, toprağa karışması durumunda ise toprağın yapısına zarar verebilmektedirler. Öte yandan denizlere de karışabilen yağ atıklarında, her 1 litre atık yağın yaklaşık olarak bir milyon litre temiz suyu kirlitebildiği düşünülmektedir. Çevreye ve direkt ya da dolaylı şekilde insan sağlığına zarar veren bu atıklardan uygun şekillerde kurtulmayı amaçlamak gerekmektedir [6]. Orman ürünleri ve plastik endüstrisinde bitkisel atık yağlar ile termoplastikler (PP, PE, PVC, PS) karıştırılarak ısı işlem uygulanması sonucu dirençli, sertlik derecesi daha sağlam odun plastik kompozitleri elde edilmesinin yanı sıra aynı zamanda çevre dostu ve ülke ekonomisi açısından geri dönüşüm olması nedeniyle ekonomiye katkı sağlaması ve insan sağlığı açısından daha sağlıklı ürünler elde edilmesi mümkündür [7]. Bu nedenle bu çalışmada hem ahşap malzeme kullanımını en aza indirmek hem de her gün basıldıktan sonra kullanılmayan atık gazete

kağıdını geri dönüştürmek için polimer (plastik) malzemelerle birleştirilerek yeni dayanıklı hibrit kompozit malzemelerin üretimi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada lignoselülozik dolgu maddesi olarak atık gazete kâğıdı, atık bitkisel yağlar kullanılmış, polimer olarak da geri dönüştürülmüş polipropilen kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerin FTIR karakterizasyonu, mekanik ve termal özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında; tümüyle atık olan bileşenlerin kompozit üretiminde kullanılabilir olduğu ve vakslar gibi atık bitkisel yağların kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

A. MATERYAL

Lif plastik kompozitlerin üretimi sırasında lignoselülozik malzeme olarak atık gazete kağıdı kullanılmıştır. Atık gazete kağıdı aynı gün basılmış ve tüm örneklerde lif bileşenin aynı olmasına özen gösterilmiştir. Kullanılan atık gazete kağıtları yaklaşık 14 yıllık kağıtlardan seçilmiştir. Lif katkılı plastik kompozit levhaların üretiminde atıkların geri dönüştürülmesiyle hazırlanan polipropilen kullanılmıştır. Tablo 1’de geri dönüştürülmüş polipropilenin teknik özellikleri verilmiştir. Çalışmada, yağlayıcı görev amacıyla sürekli üretim yapan bir restorandan doymuş atık kızartma yağı tedarik edilmiş ve kompozit bileşimine %2.5 oranında ilave edilmiştir.

Tablo 1. Geri dönüştürülmüş polipropilen özellikleri

Görünüş	Pellet (kirli gri beyaz)
Erime Akış Hızı(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

B. METOT

B. 1. Lignoselülozik Dolgu Maddeleri ile Termoplastik Kompozitlerin Üretimi

2007 yılında Doğan Printing Center Trabzon tesisinden elde edilen eski adıyla bilinen atık gazete kağıtları depolandığı yerden alınarak öncelikle Wiley değirmeni yardımıyla öğütülmüştür. Elek yardımı ile istenilen ebatlarda sınıflandırılan örnekler, üretimden önce içerdikleri nem alınana kadar etüvede kurutulmuştur.

B. 2. Kompozit Üretimi

Kurutulmuş lignoselülozik dolgu maddeleri, geri dönüştürülmüş polipropilen ve atık bitkisel yağ, levha tipine göre Tablo 2’de belirtilen oranlarda homojen olacak şekilde karıştırılmıştır. Karışım daha sonra ekstrüder cihazına verilmiştir. Ekstrüder koşulları 100 rpm vida hızında, sıcaklıklar 170°C, 175°C, 180°C ve 185°C olacak şekilde ayarlanmıştır. Üretilen kompozit plastik malzeme önce kırıcı yardımıyla daha sonra Wiley değirmeni ile öğütülmüştür. Öğütülmüş örnekler pres ve plaka üretimi öncesinde nemlerini gidermek için kurutma fırınında kurutulmuştur. Kurutulan örnekler 180°C’ye ayarlanmış preste 3 dakika preslenmiş ve üretim yapılmıştır. Üretilen kompozitler, son bir adım olarak test için boyutlandırılmıştır.

Tablo 2. Atık gazete kağıdı, atık bitkisel yağ ve geri dönüştürülmüş polipropilenin karışım oranları

Kompozit türü	Geri dönüştürülmüş polipropilen (%)	Atık gazete kâğıdı lifi (AGKL) (%)	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

B. 3. FTIR-ATR Karakterizasyonu

Kompozitlerin yapılarını belirlemek için FTIR-ATR (Shimadzu IR Prestige-21/Pike Miracle ATR) ile kompozitlerinin ölçümleri yapılmıştır. FTIR ölçümleri 600-4000 cm⁻¹ bant aralığında, 24 tekrar ve 16 çözünürlükte yapılmıştır.

B. 4. Mekanik Özellikler

Zwick/Roell Z010 Üniversal Test Cihazı kullanılmış ve ASTM D 790 [8] standardına ve yöntemine göre test edilmiştir. İklimlendirmeye bırakılan test numuneleri 5mm x 13mm x 150 mm boyutlarında olacak şekilde ayarlanmıştır. Deney sırasında plaka test numunelerinin yerleştirildiği destekler arasındaki mesafe 80 mm ve test hızı 5 mm/dk'dır. Test plakasından üç nokta belirlenerek eğilme testi yapılmıştır. Test numuneleri 5mm x 13mm x 165 mm olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Test hızı 5 mm/dak. olarak ayarlanmıştır. Test plakaları üzerindeki çekme testi (çekme mukavemeti ve çekmede elastikiyet modülü), Zwick/Roell Z050 Üniversal Test Makinesinin test düzeneğinde ASTM D 638 [9] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

B. 5. Termal Özellikler

B.5.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Test plakalarının TGA analizi Perkin Elmer (Model STA 6000) marka test cihazı ile yapılmış ve test sırasında sıcaklık değerleri oda sıcaklığından 600 °C'ye 10°C/dakika artırılarak azot gazı akışı 20 mL/dk olacak şekilde ayarlanmıştır. Sıcaklık değişimi ölçülerek test plakalarının numune ağırlığındaki değişim belirlenerek TGA grafikleri oluşturulmuştur.

B.5.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

DSC analizi, ürün ısıtıldığında, soğutulduğunda ve aynı sıcaklıkta tutulduğunda meydana gelen farklı enerji değişimlerini tespit etmek için kullanılan bir yöntemdir. DSC analizi için Perkin Elmer (Model DSC 8000) marka cihaz kullanılmıştır. Numuneler alüminyum bir kap ile kaplandıktan sonra cihaza yerleştirilmiştir. Test aşamasında sıcaklık değeri 10°C/dakika artırılarak 250°C'ye yükseltilmiş ve test aşamasında azot gazı akış hızı 20 ml/dk'ya ayarlanmıştır. Analiz aşamasında numuneler önce 250°C'ye ısıtılmış, ardından tekrar soğumaya bırakılmıştır. Soğumaya bırakılan numuneler, soğutulduktan sonra tekrar 250°C'ye ısıtılarak test edilmiştir.

Numunelerin kristalinitesi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [10].

Kristallenlik:

$$X_c(\%) = \frac{\Delta H_e}{\Delta H_0 \times W} \times 100 \quad (1)$$

ΔH_e : örneğin füzyon ısısı (J/g)

ΔH_0 : PP'nin erime noktası. Bu çalışma için 207 J/g alındı [11].

W:PP oranı (%)

III. İRDELEME

A. LİF-PP KOMPOZİT MALZEMELERİN KARAKTERİZASYONU

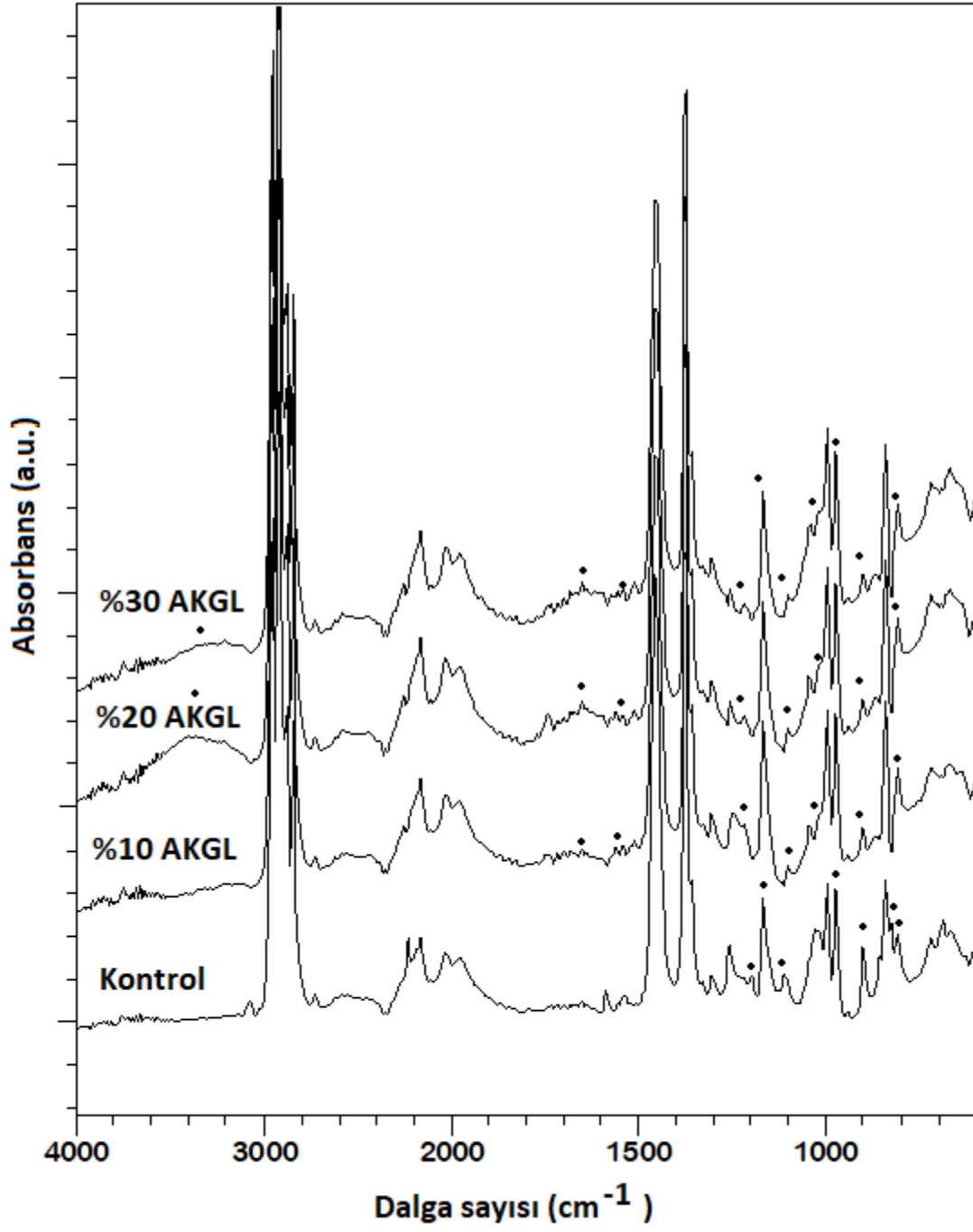
Şekil 1'de geri dönüştürülmüş polipropilen ve atık gazete kâğıdı lifi ile hazırlanan polimerlerin FTIR-ATR spektrumları görülmektedir. Spektrumlar incelendiğinde polipropilenin karakteristik piklerinin olduğu 2954-2870 cm^{-1} , 1459 cm^{-1} , 1377 cm^{-1} , 1256 cm^{-1} , 998 cm^{-1} , 973 cm^{-1} ve 840 cm^{-1} bandlarındaki pikler gözlenmektedir [12-15]. Tablo 3'de 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 [16]. 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 [17]. 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 guruplarının C=O gerilmesini belirtmektedir [18].

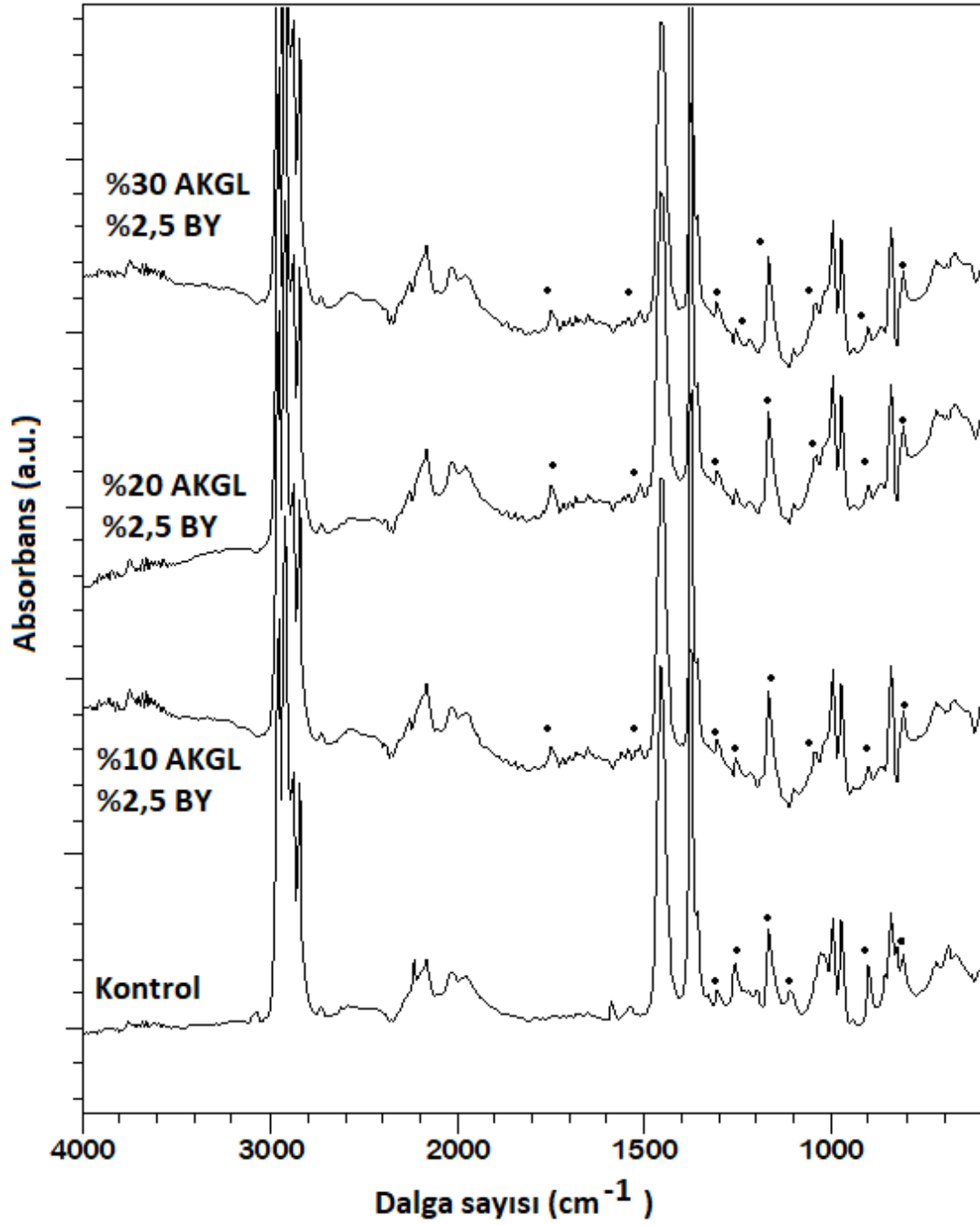
Şekil 1'de %2.5 atık bitkisel yağ ile takviye edilen kompozitlerin FTIR-ATR spektrumları görülmektedir. Spektrumlar incelendiğinde Şekil 2'de gözlenen piklerden farklı bir pik oluşumu ya da pik yoğunluğu tespit edilmemiştir. Yağ takviyeli kompozit levhalar için takviyesiz levhalar için geçerli tüm karakteristik pikler aynı şekilde görülmektedir.

Tablo 3. 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 [18]	Hemiselüloz (ksilan, glukomannan)
1430-1421	CH ₂ bükülme deformasyonu (Nelson and O'Connor 1964), aromatik yapı titreşimi [19]	Selüloz, lignin
1372-1368	C-H deformasyonu (selüloz), -CH ₃ (lignin), -CH ₂ (karbonhidrat), lignin-karbonhidrat kompleks bağları [19]	Selüloz, lignin- karbonhidratlar
1333-1327	Düzlem bükülmesinde OH, siringil halka artı guayasil halka, fenol grubu [19-20]	Selüloz, hemiselüloz, lignin
1275-1260	Guayasil halka esnemesi, lignindeki C-O gerilimi, guayasil aromatic metoksi gruplarındaki C-O bağlanması [21]	Lignin
1235-1226	Alkil-aril-eter bağları (Nuopponen, 2005), siringil halkası ve lignin ve ksilandaki C= gerilmesi [21]	Laktonlar, lignin
1159-1155	Selüloz C-O-C simetrik gerilimi [17]	Selüloz
1051-1023	C-O gerilimi [17]	Selüloz ve hemiselüloz
897-895	Düzlem deformasyonun dışındaki aromatik C-H [16,20]	Hemiselüloz, selüloz
810-870	Mannoz birimindeki ekvatorial olarak hizalı hidrojenin titreşimi [16]	Glukomannan



Şekil 1. Örneklerin FTIR-ATR Spektrumları

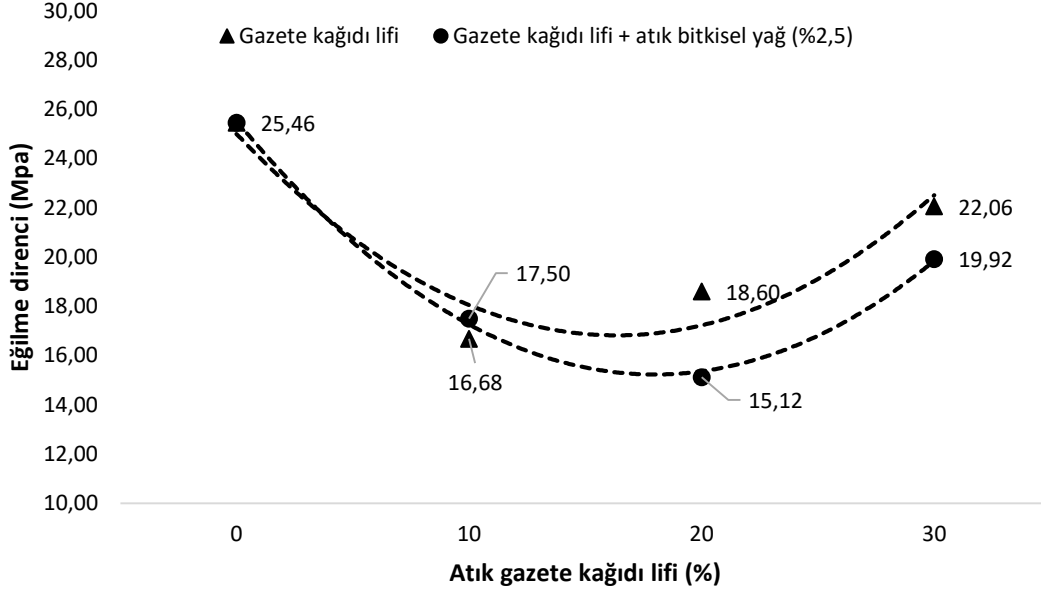


Şekil 2. Bitkisel atık yağ takviyeli örneklerin FTIR-ATR spektrumları.

B. MEKANİK ÖZELLİKLER

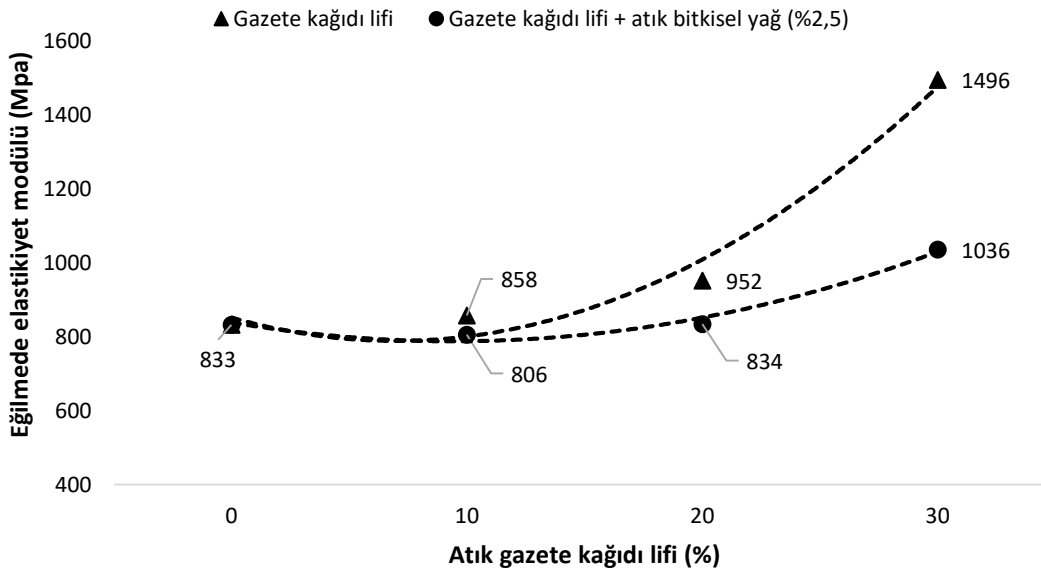
Şekil 3’de atık gazete kâğıdı lifi ile takviye edilen PP kompozitlerin eğilme dirençleri görülmektedir. Geri dönüştürülmüş polipropilenin eğilme direnci 25.46 MPa olarak belirlenmiştir. Grafiklerden her iki dolgu tipi için eğilme direncinin %10 atık gazete kâğıdı lifi ile önce düştüğü, % 30 lif oranı ile tekrar artışa geçtiği görülmektedir. Kontrol örneğinden sonra en yüksek eğilme direnci değeri %30 atık gazete kâğıdı lifi içeren kompozitlerde 22.06 MPa olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte %2.5 yağ takviyeli kompozitlerin eğilme dirençleri daha düşük olduğu görülmüştür. %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 [22]. 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 [23].



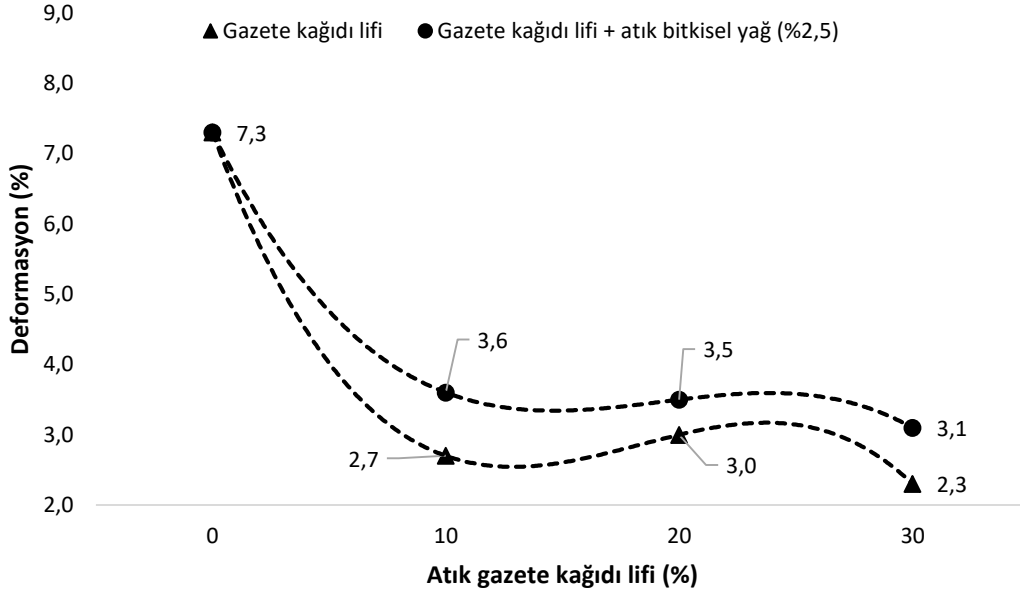
Şekil 3. Lif-PP kompozitlerinin eğilme dirençleri

Şekil 4'de örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri görülmektedir. Eğilmede elastikiyet modülü eğilme direncinin aksine artırılan atık gazete lifi oranı ile artmaktadır. Bununla birlikte atık bitkisel yağı ile takviye edilen örneklerin eğilmede elastikiyet modülü bitkisel yağ kullanılmayan örneklerinkine göre daha düşük ölçülmüştür. Geri dönüştürülmüş 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 806 MPa olarak ölçülmüştür. Lif oranı %30'a çıkarıldığında elastikiyet modülü sadece gazete lifi olan kompozit için 1496 MPa ölçülürken bitkisel yağ kullanımı sonucu elastikiyet modülü 1036 MPa olarak ölçülmüştür.



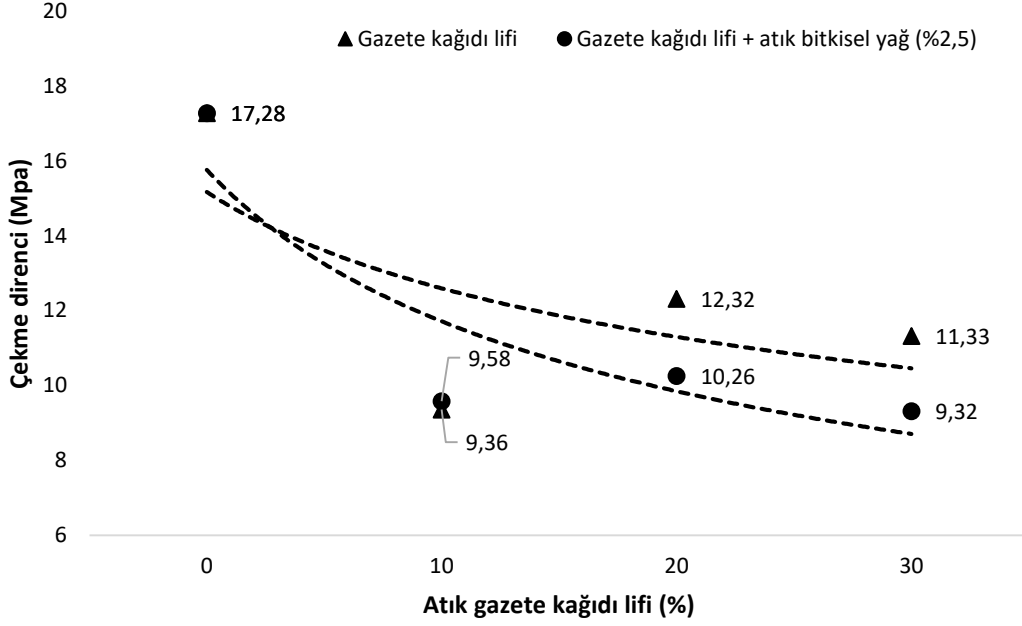
Şekil 4. Lif-PP kompozitlerinin eğilmede elastikiyet modülleri

Şekil 5’de kompozitlerin eğilmedeki deformasyon oranları görülmektedir. Grafiklerden deformasyonun atık gazete kağıdı lifi ilavesiyle düştüğü görülmektedir. Bununla birlikte atık bitkisel yağ kullanılan kompozitlerin deformasyonunun kullanılmayan kompozitlere 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 5. Lif-PP kompozitlerinin eğilmede oluşan deformasyon oranları

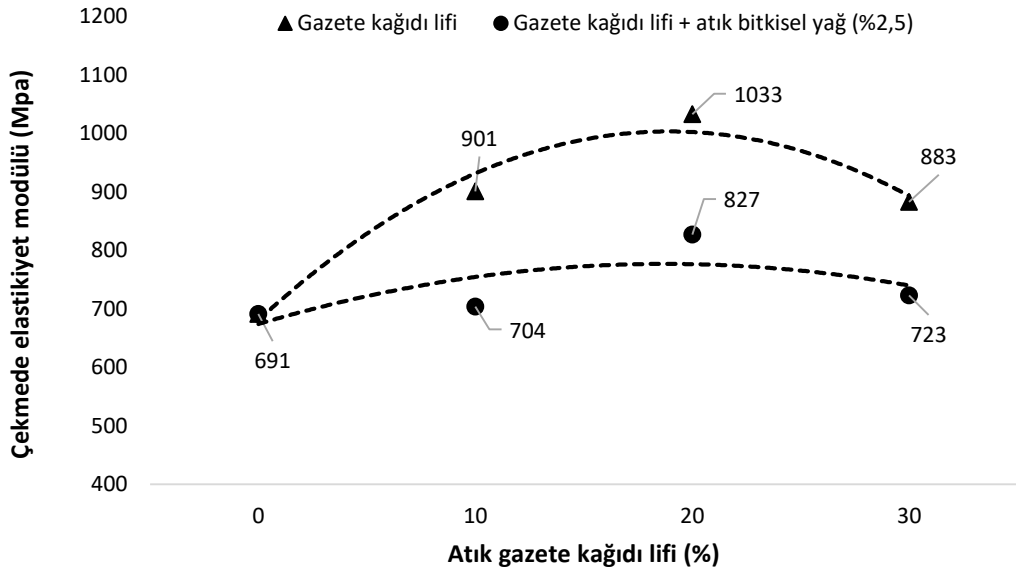
Şekil 6 ve 7’de atık gazete kağıdı lifleri ve atık bitkisel yağ ile takviye edilmiş kompozitlerin sırasıyla çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülüne ait değerler görülmektedir. Şekil 6’de görüldüğü gibi kontrol örneği olan geri dönüştürülmüş polipropilenin çekme direnci 17.28 MPa olarak ölçülmüştür. 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 [24] geri dönüştürülmüş selüloz lifi-PP kompozitleri üzerine yaptıkları çalışmada bakır PP, atık PP, atık kağıt, odun unu, karton lifi ile yaptıkları çalışmada bakır 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 [23].



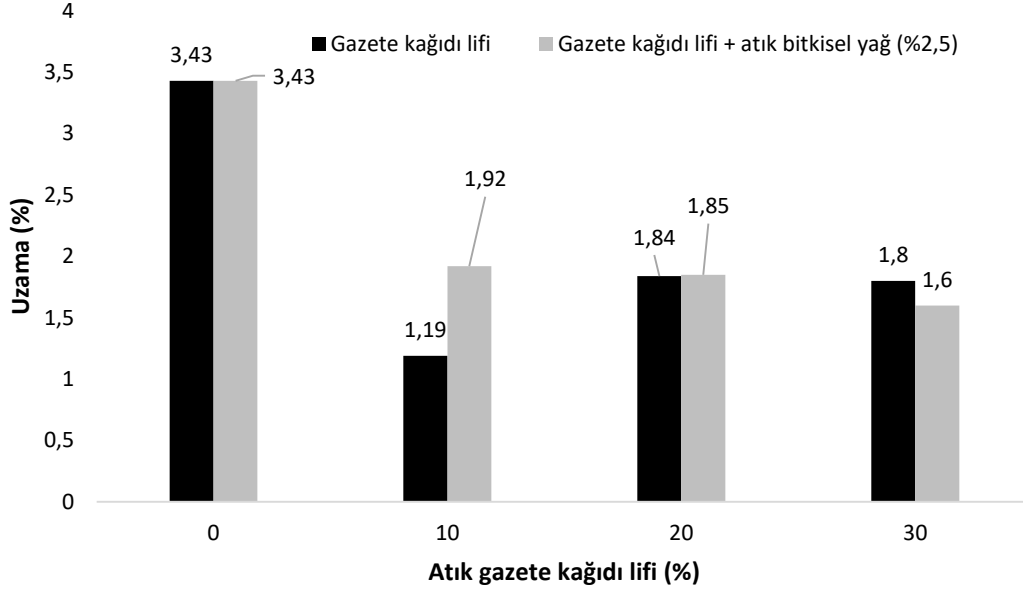
Şekil 6. Lif-PP kompozitlerinin çekme dirençleri

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 için 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 ürünlerininkini de arttırmaktadır [25-29].

Şekil 8'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 [23] yaptığı çalışma ile de örtüşmektedir.



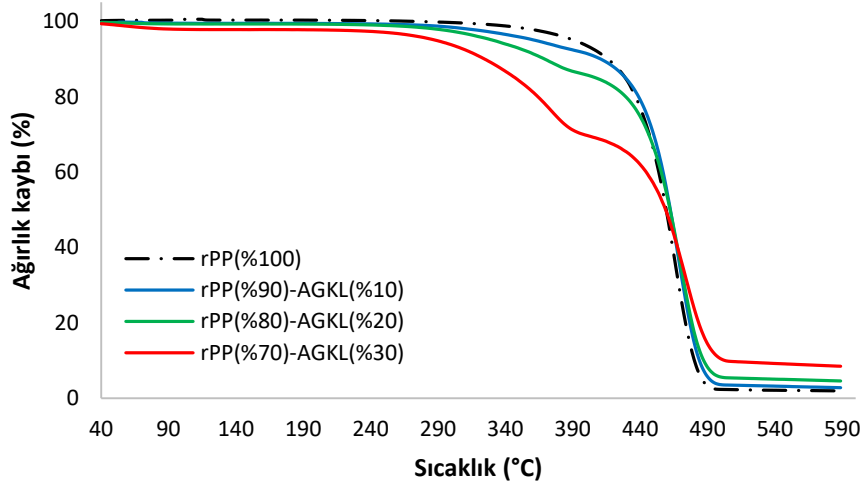
Şekil 7. Lif-PP kompozitlerinin çekmede elastikiyet modülleri

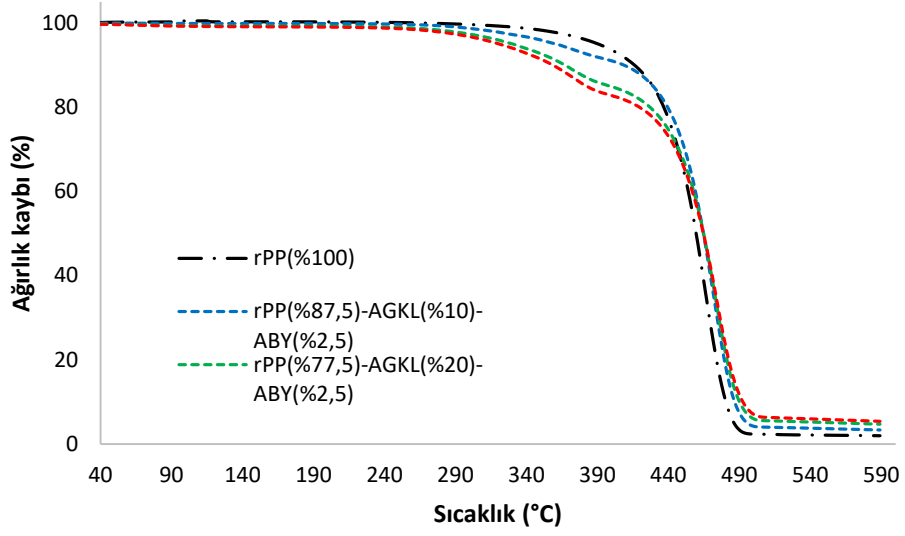


Şekil 8. Lf-PP kompozitlerinin kopmada uzama miktarları

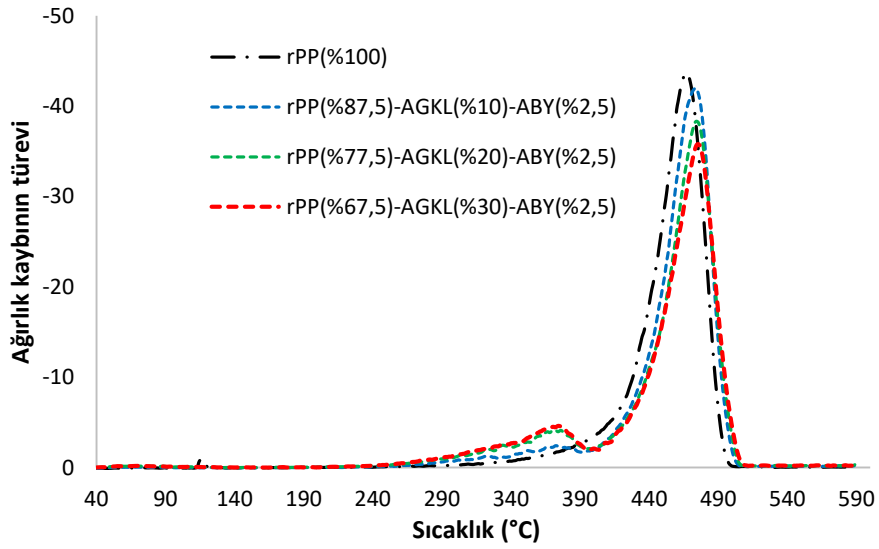
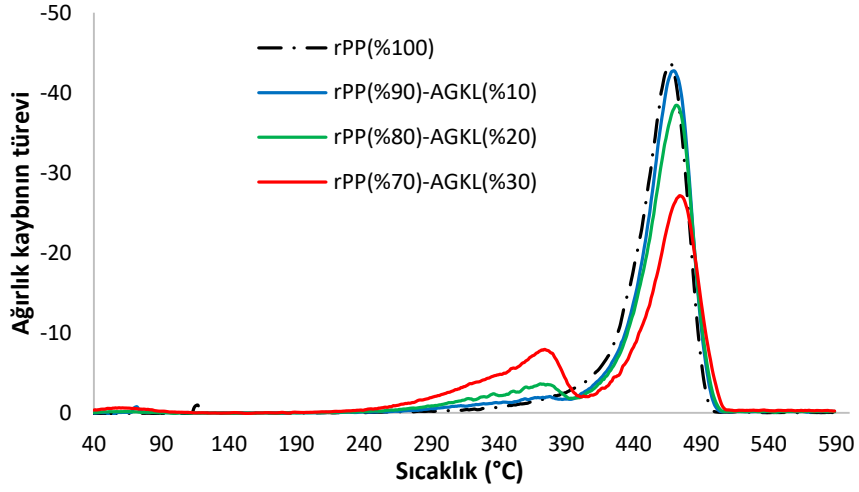
C. TERMAL ÖZELLİKLER

Şekil 9’da 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 10’da 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.



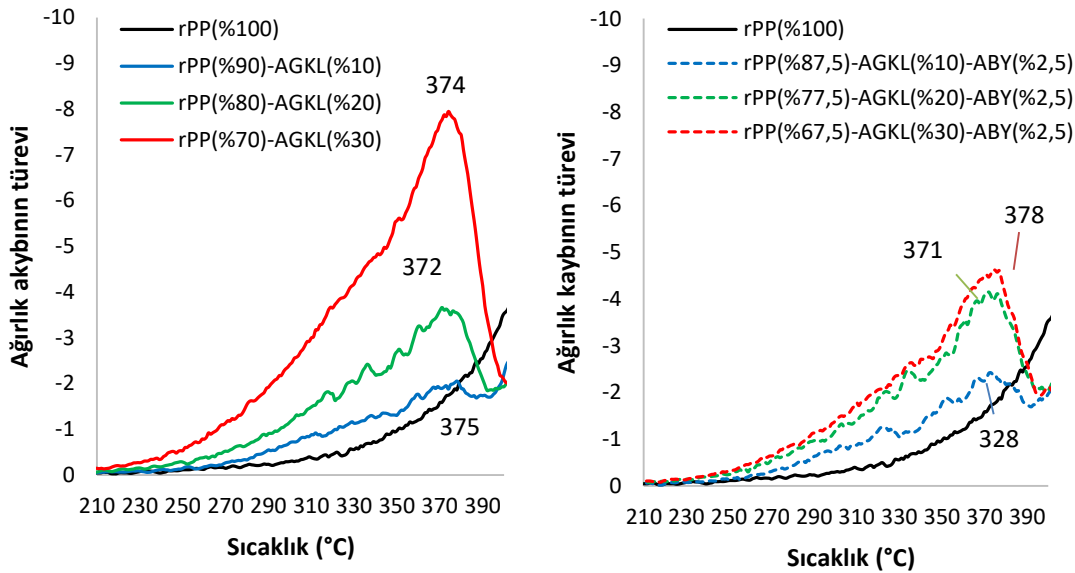


Şekil 9. Lif-plastik kompozitlerin TGA grafikleri



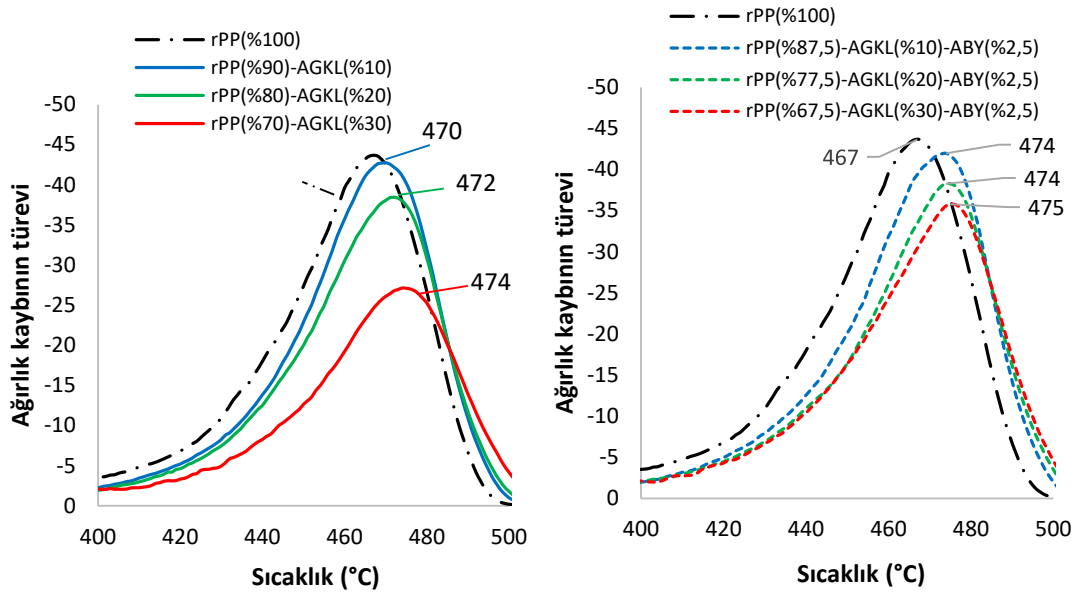
Şekil 10. Lif-plastik kompozitlerin DTGA grafikleri

Ayrıntılı bir inceleme için 1. basamak ve 2. basamağın spektrumları sırasıyla Şekil 26 ve 27’de verilmiştir. Şekil 11’de 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, %30 AGKL 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.



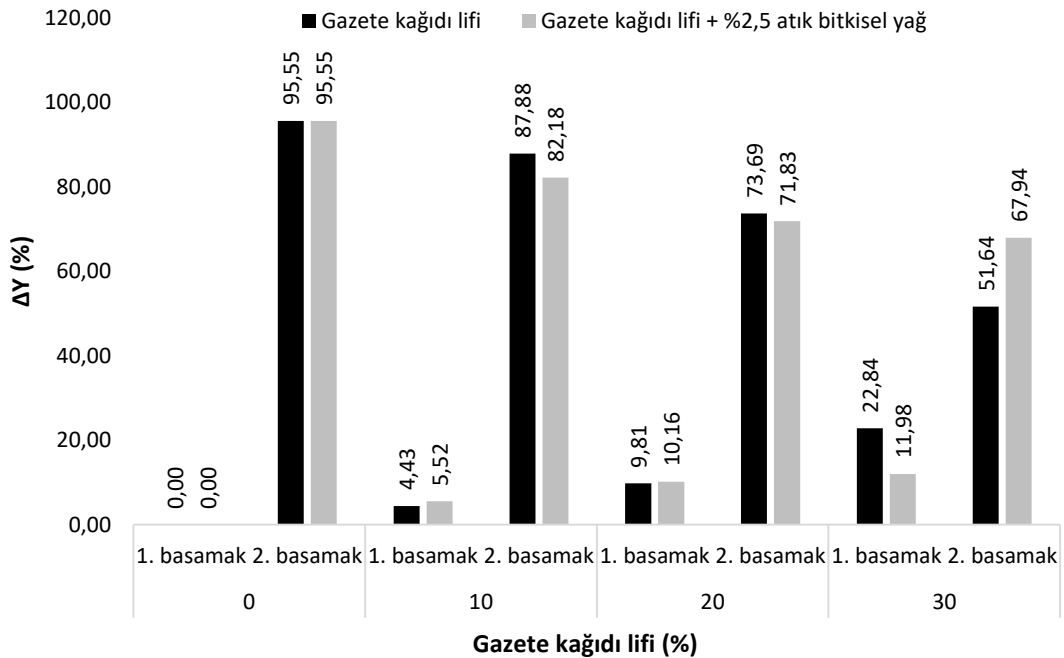
Şekil 11. Dolgu tipinin birinci bozunma basamağında DTGA üzerine etkisi

Şekil 12’de atık gazete kağıdı liflerinin plastiğin bozunma sıcaklığı üzerine etkisi görülmektedir. Geri dönüştürülmüş 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 [24] 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 [24]. Elde edilen bulgular yapılan bu çalışma ile de benzerlik göstermektedir.

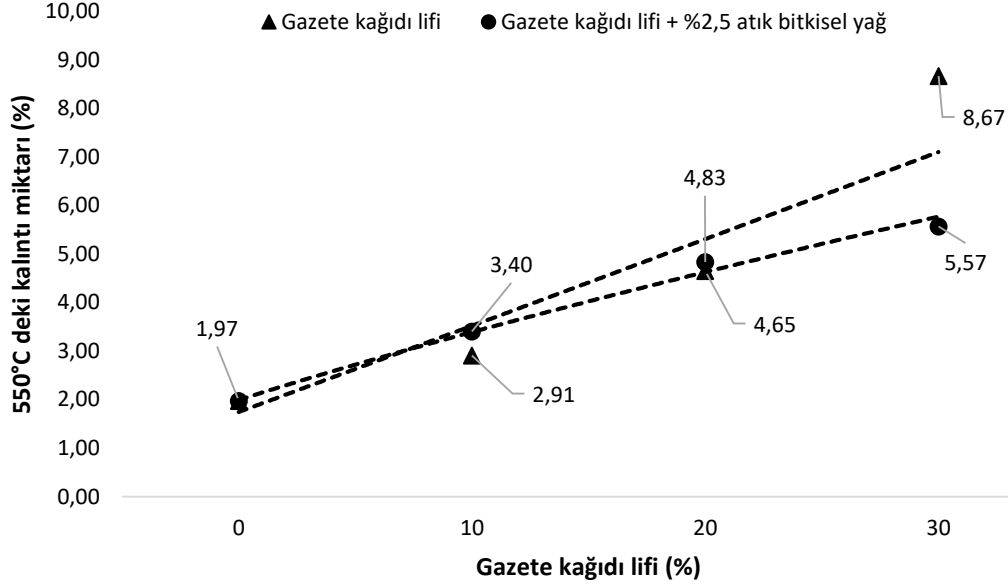


Şekil 12. Dolgu tipinin ikinci bozunma basamağında DTGA üzerine etkisi

Şekil 13’de kompozitlerin ΔY değerleri görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi artırılan lif oranı ile birlikte 1. basamaktaki ΔY oranı artmakta 2. Basamaktaki ΔY oranı ise azalmaktadır. Bu oranlar kompozitlerin doğru oranlarda olduğunu göstermektedir. İlk basamaktaki ΔY oranı, ilave edilen orandan daha düşük olarak hesaplanmıştır. Bunun nedeni iç içe geçen piklerin varlığından kaynaklanmaktadır. Şekil 14’de kompozitlerin 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 13. Lif miktarının ΔY değeri üzerine etkisi



Şekil 14. Dolgu oranının 550°C sıcaklıktaki kalıntı madde miktarına etkisi

D. DİFERANSİYEL TARAMALI KALORİMETRE (DSC) ANALİZLERİ

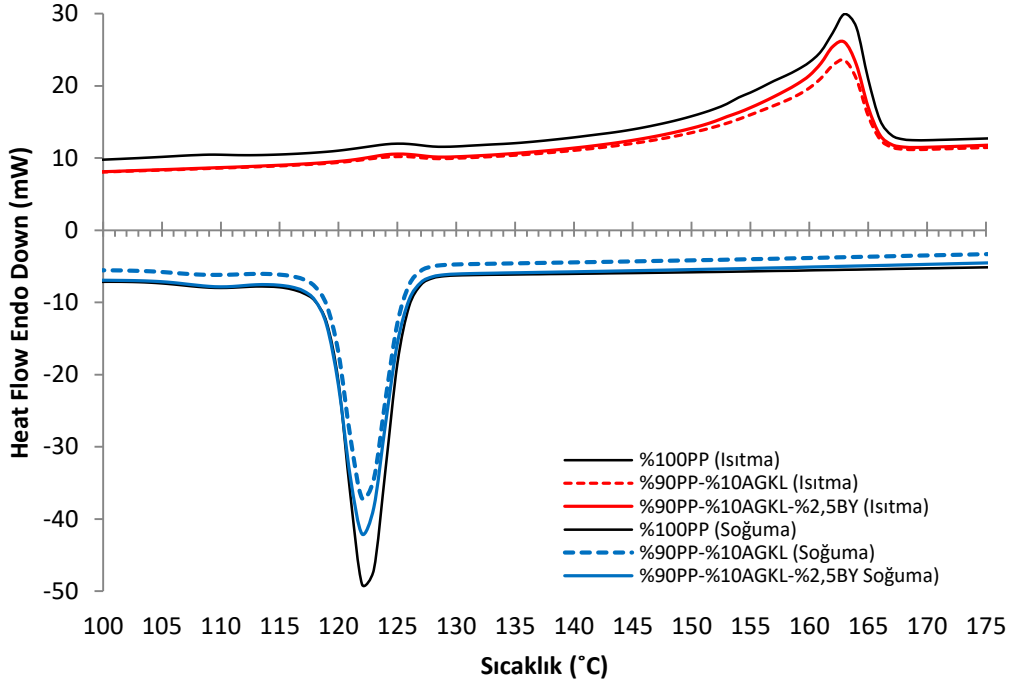
DSC malzemelerin erime noktası, camsı geçiş noktaları, kristaleniteleri gibi veriler hakkında bilgiler sunan analitik bir tekniktir. Çalışmada tüm örnekler önce 35°C' den 250°C'ye kadar ısıtılmış ve hesaplamalarda ikinci erime işleminin verileri kullanılmıştır. Tablo 4'de atık bitkisel yağ takviyeli ve takviyesiz %10 atık gazete kağıdı lifi içeren kompozitlerin erime ve soğuma DSC grafikleri görülmektedir.

Tablo 4. Lif-plastik kompozitlerinin termal ve kristallenlik özellikleri

Kompozit türü	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

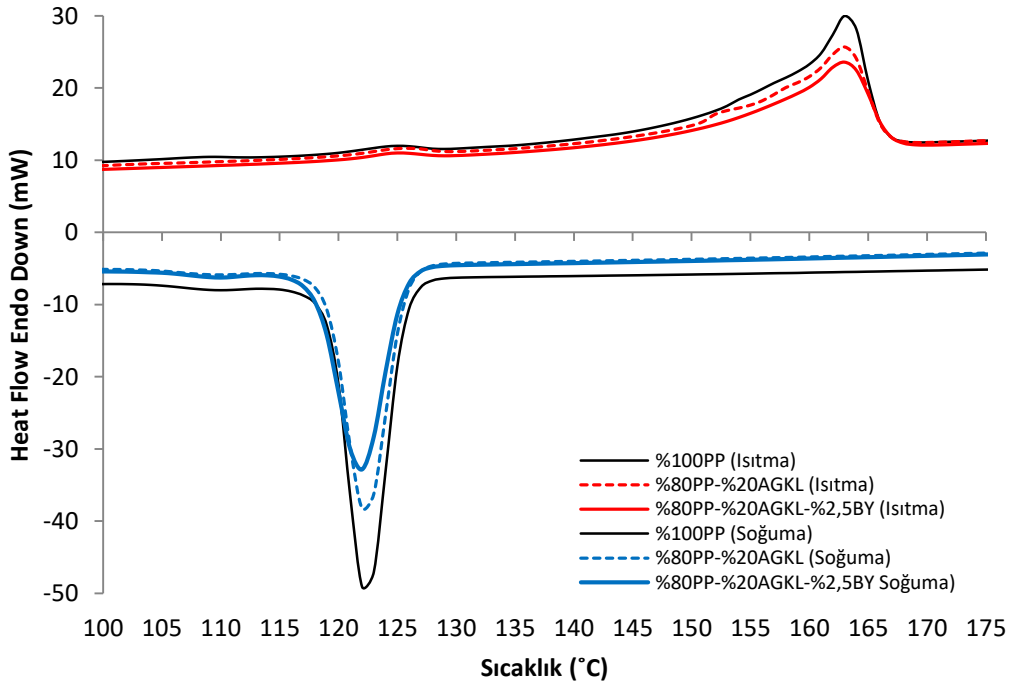
rPP: Geri dönüştürülmüş polipropilen, AGKL: Atık gazete kağıdı lifi, BY: Atık bitkisel yağ

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 düşüğe olsa pik oluşumu tespit edilmiştir. Bu pik kullanılan polipropilenin saflığının daha düşük olması ve geri dönüştürülmüş olmasından kaynaklanmaktadır.

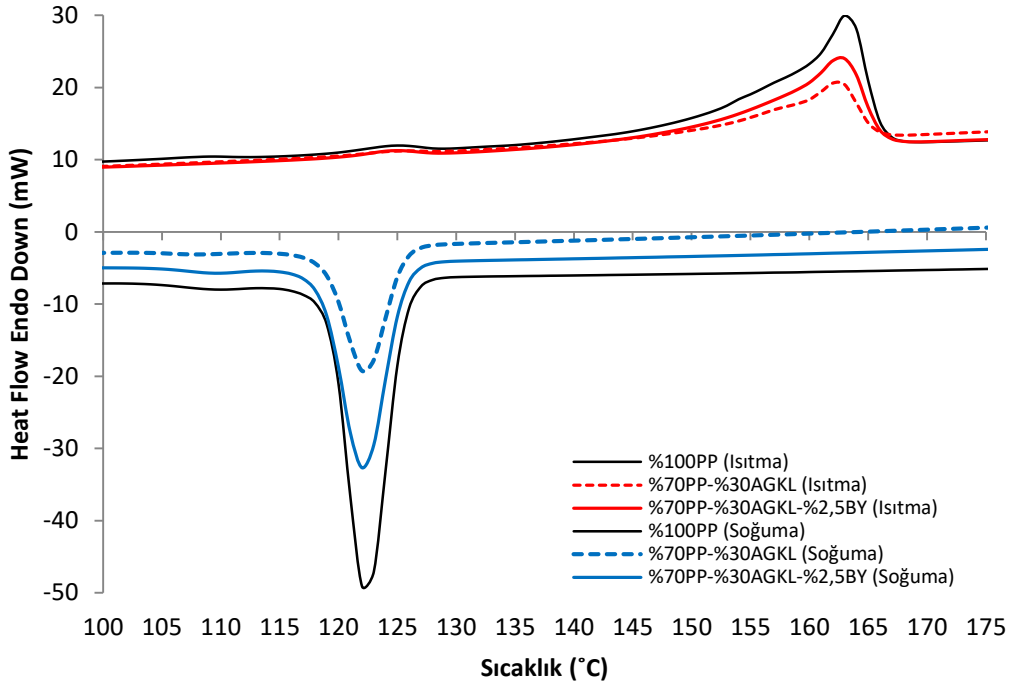


Şekil 15. %10 atık gazete kağıdı lifi katkılı PP kompozitlerin DSC grafikleri

Şekil 16 ve 17'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.



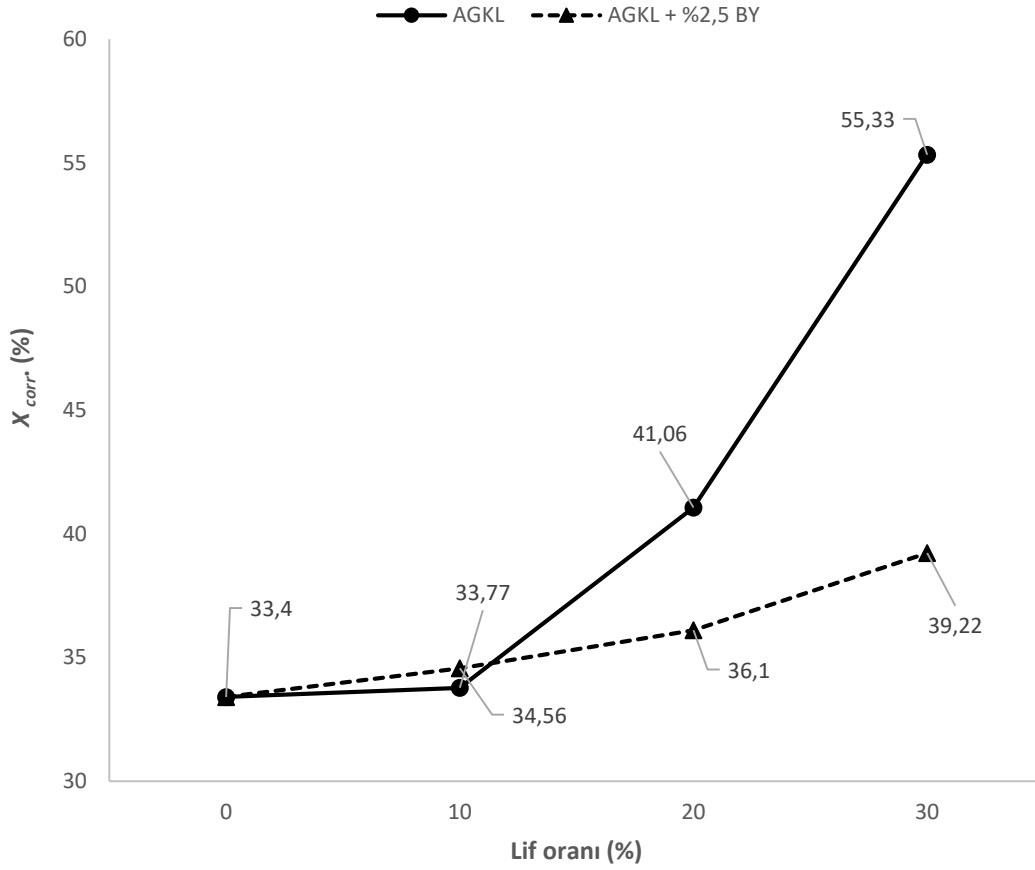
Şekil 16. %20 atık gazete kağıdı lifi katkılı PP kompozitlerin DSC grafikleri



Şekil 17. %30 atık gazete kağıdı lifi katkı PP kompozitlerin DSC grafikleri

Odun plastik kompozitlerinde atık kağıt lif oranının malzemelerin kristallenliğini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Kristallenlik %100 geri dönüştürülmüş 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 kristallenlikleri yağ ilavesiz örneklerle göre daha düşük hesaplanmıştır. Yağ ilaveli ve %30 atık gazete kağıdı lifi içeren örneklerde kristallenlik %39.22 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 18'de örneklerin erime ve kristalleşme(soğuma) sırasındaki pik yükseklikleri görülmektedir. Pik yükseklikleri %20 lif oranı hariç atık bitkisel yağ katkı 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 18. Plastik kompozitlerin soğuma ve erime pikleri

IV. SONUC

Çalışmada atık bitkisel yağların plastik kompozit üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında kompozit levhayı oluşturan tüm bileşenler atık olarak temin edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- FTIR-ATR ile yapılan ölçümlerde polipropilen ve atık gazete kağıdından kaynaklanan karakteristik pikler belirlenmiştir. Ancak atık bitkisel yağ kullanımı FTIR-ATR karakterizasyonunda fark edilebilir bir değişikliğe neden olmamıştır.
- Plastik kompozitlerin eğilme mukavemeti sonuçları incelendiğinde atık gazete kağıdı lifi oranının önce eğilme mukavemetini azalttığı, daha sonra arttırdığı tespit edilmiştir. Çalışmanın ana değişkeni olan atık yağ ilavesi ile daha düşük eğilme mukavemeti sonuçları elde edilmiştir. Plastik kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü, ortama eklenen lif miktarı ile artmıştır. Yalnızca %30 atık gazete kağıdı lifinin eklenmesiyle, elastikiyet modülü kontrole kıyasla 833 MPa'dan 1496 MPa'ya yükselmiştir. Elastikiyet modülü değerleri, ortalama %2.5 atık bitkisel yağ ilavesi ile daha düşük ölçülmüştür. %30 fiberde, elastikiyet modülü sadece 1036 MPa'ya kadar arttığı gözlenmiştir.
- Dolgu ilavesi ile kompozitlerin çekme mukavemeti azalmıştır. Atık bitkisel yağ ilavesi ile çekme mukavemeti, sadece lif kullanılan numunelere göre yaklaşık 2 MPa daha düşük ölçülmüştür. Dolgu ilavesi ile çekmede elastikiyet modülü değerleri artmıştır. Atık yağ ilaveli numunelerde ise diğer direnç özelliklerine benzer şekilde daha düşük değerler ölçülmüştür. Atık

bitkisel yağ ilavesi ile numunelerin dayanım özelliklerinin daha düşük olmasının nedeninin, yağın liflerin sertliğini azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bilindiği gibi aynı bileşenlere sahip olan odun unu ile mekanik hamur lifi arasında mukavemet özellikleri açısından önemli bir fark vardır.

- Çalışmada atık bitkisel yağ kullanımının termal özelliklere olumlu etkisi tespit edilmiştir. Yağlama etkisinden dolayı numuneler daha yüksek sıcaklıklarda pirolizlenmiştir. Bu sonuçlarla atık bitkisel yağ kullanımının ısı direnci arttırdığı söylenebilir.
- DSC analiz sonuçları incelendiğinde, atık gazete kağıdı lifinin, ahşap plastik kompozitlerde yaygın olduğu gibi kristallliği arttırdığı belirlendi. Öte yandan kristallikte aşırı artış, bitkisel atık yağ kullanımı ile daha ılımlı bir artışa dönüşmüştür.

Çalışma ile tamamen atık bileşenlerin kompozit üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir. Çalışmada beklenen etkilerden biri, atık bitkisel yağın fiber-plastik uyumluluğu üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmasıydı. Ancak yapılan çalışmada bitkisel yağların adaptör gibi davranmadıkları, yağlayıcıların etkilerine benzer bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Bu nedenle adaptörlerin atık bitkisel yağlar ile kullanılabilirliği ileride yapılacak çalışmalarda da araştırılmalıdır. Bitkisel atık yağlar, bertaraf edilmesi gereken ve farklı yağ asitleri içeren bir bileşime sahiptir. Çalışma ile mum gibi atık bitkisel yağların kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no:FBA-2020-8464). Ayrıca bu çalışma, Mevlüt ÖZDEMİR'in Artvin Çoruh Üniversitesi Yüksek Lisans Eğitim Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Atık polipropilen kompozitlerde atık bitkisel yağlar ve atık gazete kağıdı liflerinin değerlendirilmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] E. Pesman ve S. Şahinbaş S, "Alkali muamele edilmiş eski gazete kağıdı lifleri ile takviye edilmiş yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerinin fiziksel mekanik ve termal özellikleri," *IV. The IMCOFE International Multidisciplinary Congress of Eurasia*, Roma, Roma, 2017, ss. 293-301.
- [2] M. S. Huda, A. Mohanty, L. T. Drzal, M. Misra, "Mechanical and thermo-mechanical studies of poly(lactic acid) PLA/talc/recycled newspaper fiber hybrid composites," *Global Environmental Conference*, USA, 2005, pp. 1-12.
- [3] M.S. Huda, L.T. Drzal, M. Misra, A.K. Mohanty, K. Williams and D.F. Mielewski. "A study on biocomposites from recycled newspaper fiber and poly(lactic acid)", *Industrial &Engineering Chemistry Research*, vol. 44, pp. 5593-5601, 2005.
- [4] Ekolojist. (2018, 30 Mart). *Atık yağların geri dönüşümü nasıl yapılır?* [Çevrimiçi]. Erişim: [https://ekolojist.net/atik-yaglarin-geri-donusumu-nasil-yapilir/Ekolojist 2018](https://ekolojist.net/atik-yaglarin-geri-donusumu-nasil-yapilir/Ekolojist%2018)
- [5] Çevreonline. (2017, 17 Ocak). *Bitkisel atık yağlar* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://cevreonline.com/bitkisel-atik-yaglar/>
- [6] Kristal yağları. (2018, 22 Haziran). *Bitkisel atık yağların geri dönüşümü nasıl yapılır?* [Çevrimiçi]. Erişim: www.kristalyaglari.com/bitkisel-atik-yaglarin-geri-donusumu-nasil-yapilir
- [7] G. Toscano and E. Maldini, "Analysis of the physical and chemical characteristics of vegetable oils as fuel", *Journal of Agricultural Engineering*, vol.3, pp. 39-47, 2007.

- [8] *Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*, ASTM D 790, 2004.
- [9] *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*, ASTM D 638, 2004.
- [10] L. Mandelkern, *Crystallization of Polymer*, New York, ABD: Cambridge University Press, 1964, 1-359.
- [11] F.M. Norma and M.A. Villar, "Thermal and mechanical characterization of linear low-density polyethylene/wood flour composites", *Journal of Applied Polymer Science*, vol.90, no.10, pp. 2775 – 2784, 2003.
- [12] J.M. Chalmers, H.G.M. Edwards and M.D. Hargreaves, *Infrared and raman spectroscopy in forensic science*, 1rd ed., New York, ABD: John Wiley and Sons, 2012, 1-648.
- [13] R.G. Snyder, S.L. Hsu and S. Krimm, "Vibrational spectra in the C-H stretching region and the structure of the polymethylene chain", *Spectrochimica Acta*, vol. 34, no. A, pp. 395-406, 1978.
- [14] J. S. Afonso, R. M. Jorge, P.S. Martins, M.S. Soldi, O.L. Alves, B. Patricio, T.T. Mascarenhas, M. G. F. Sartori and M.J. B. C. Girao, "Structural and thermal properties of polypropylene mesh used in treatment of stress urinary incontinence", *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, vol. 11, no.3, pp. 27-33, 2009.
- [15] I. Karacan, "The use of infrared spectroscopy technique for the structural characterisation of isotactic polypropylene fibres", *Tekstil ve Konfeksiyon*, c.21, s.2, ss.116-123, 2011.
- [16] K. Kato, M. Nitta and T. Mizuno, "Infrared spectroscopy of some mannans", *Agricultural and Biological Chemistry*, vol. 37, no. 2, pp. 433-435, 1973.
- [17] C.Y. Liang and R.H. Marchessault, "Infrared spectra of crystalline polysaccharides. II. Native cellulose in the region from 640 to 1700 cm^{-1} ", *Journal of Polymer Science*, vol. 39, pp. 269-278, 1959.
- [18] R.H., Marchessault and C.Y. Liang, "The infrared spectra of crystalline polysaccharides VIII. Xylans," *Journal of Polymer Science*, vol. 59, pp. 357-378, 1962.
- [19] M. Nuopponen, "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, Finland, Helsinki, Reports Espoo, Ser A23, Apr. 29, 2005.
- [20] M.L.Nelson and R.T. O'Connor, "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," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 8, no.3, pp.1325-1341, 1964.
- [21] O. Faix, "Classification of lignins from different botanical origins by FT-IR spectroscopy," *Holzforschung*, vol. 45, pp. 21-27, 1991.
- [22] H.I. Suryadiansyah and B. Azhari, "Waste paper filled polypropylene composites: the comparison effect of ethylene diamine dilaurate as a new compatibilizer with maleic anhydride polypropylene," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 26, no.1, pp. 51-67, 2007.
- [23] E. Pesman and T. Güleç, "The effects of ink presence on mechanical, physical, morphological and thermal properties of office and newspaper fiber-polypropylene composites", *Materials Science (Medziagotyra)*, vol. 25, no. 2, pp.195-201, 2019.

- [24] N.E. Zander, J.H., Park, Z.R. Boelter and M.A. Gillan, "Recycled cellulose polypropylene composite feedstocks for material extrusion additive manufacturing," *ACS Omega*, vol. 4, pp.79-138, 2019.
- [25] I.M. Ward, and D.W. Hadley, *Mechanical Properties of Solid Polymers*, 3rd ed., Chichester, England:John Wiley&Sons LTD, 1993, pp.1-477.
- [26] L.M. Matuana and J.J. Balatinecz, "Effect of surface properties on the adhesion between PVC and wood veneer laminates", *Polymer Engineering and Science*, vol. 38, pp. 765-773, 1998.
- [27] H. Bouafif, A. Koubaa, P. Perré and A. Cloutier, "Effects of fiber characteristics on the physical and mechanical properties of wood plastic composites", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 40, pp.1975–1981, 2009.
- [28] S.M. Zabihzadeh, "Uptake ve of flexural properties natural filler/HDPE composites," *BioResources*, vol.5, no. 1, pp. 316-323, 2010.
- [29] M. Chaharmahali, J. Mirbagheri, M. Tajvidi and S.K. Najafi, "Mechanical and physical properties of wood-plastic composite panels," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 29, pp. 310-319, 2010.