

Silika ile kuşelenmiş atık kâğıtların plastik kompozit üretiminde değerlendirilmesi

Utilization of silica coated waste paper fibre in plastic composite production

Emrah PEŞMAN, Mürşit TUFAN

Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye

Eser Bilgisi

Araştırma makalesi

DOI: 10.17474/acuofd.28948

Sorumlu yazar: Emrah PEŞMAN

e-mail: emrahpesman@artvin.edu.tr

Geliş tarihi: 28.02.2016

Düzelme tarihi: 13.04.2016

Kabul tarihi: 15.04.2016

Anahtar Kelimeler:

Silika

Atık kâğıt lifi

Yüksek yoğunluklu polietilen

Plastik kompozit

Key words:

Silica

Waste paper fiber

High density polyethylene

Plastic composite

Özet

Bu çalışmada silika ile kaplanmış atık kâğıt liflerinin dolgu maddesi olarak polietilen kompozit içerisinde değerlendirilebilme olanakları araştırılmıştır. Lif plastik kompozitlerin fiziksel, termal ve bazı mekanik özellikleri üzerine atık kâğıtların içeriğinde bulunan silika kuşe tabakasının etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) içerisine % 40 oranında mineral içermeyen saf selüloz lifleri ile farklı oranlarda mineral içeren selüloz lifleri eklenmiştir. Kompozit levhaların içeriğinde yer alan mineral miktarı (SiO₂-CaCO₃) yaklaşık %0, %2.67, %4.95, %7.28 ve %9.73 civarında hesaplanmıştır. Silika ve dolgu maddesi miktarının artması ile plastik kompozitlerin su alma ve kalınlığına şişme değerlerinde önemli miktarda azalma meydana gelmiştir. Termal özelliklerinde ise kısıtlı bir artış olmuştur. Ayrıca kullanılan lifler ve üretilen kompozit örnekleri FTIR-ATR ve SEM-EDS ile karakterize edilmiştir.

Abstract

In this study, utilization of silica coated waste paper fibers as filler in high density polyethylene matrix were investigated. The effects of silica coating pigment in paper on physical, thermal and some mechanical properties of cellulose fiber-plastic composite were examined. The filler used in this study were uncoated cellulose, 6.68%, 12.38%, 18.21% and 24.32% mineral contented cellulose fibers. Each filler type was mixed with high density polyethylene (HDPE) at 40% by weight fiber loading. In this case, the ratio of SiO₂-CaCO₃ in plastic composites were calculated as 0%, 2.67%, 4.95%, 7.28% and 9.73% respectively. Water absorption and thickness swelling of fiber-plastic composites were significantly decreased with the silica and filler concentrations. With increased mineral content, thermal properties of fiber-plastic composites increased slightly. In addition, fibers and fiber-plastic composites were characterized with FTIR-ATR and SEM-EDS.

GİRİŞ

Günümüzde düşük maliyetlerinden dolayı doğal liflerin plastik kompozit üretiminde kullanılması yaygın hale gelmiştir. Bu doğal lifler odun (Bledzki ve ark. 1998), bambu (Banga ve ark. 2015) ve keten (Panigrahy ve ark. 2002) gibi yıllık bitkiler, tarımsal atıklar (Ashori ve Nourbakhsh 2009), kâğıt fabrikası atık çamurları (Ismail ve Bakar 2006) ve atık kâğıt lifleridir (Faisal ve Salmah 2012). Bolca bulunabilen atık kâğıt lifleri kompozit plastik üretimi için önemli bir kaynak olabilir.

Ardekani ve çalışma arkadaşları (2014) atık gazete kâğıtlarını, geri dönüştürülmüş polietilen terefitalatın (rPET) takviyesinde kullanmışlar ve ortama ilave ettikleri SEBS-g-MA ile şok direncinin arttığını buna karşın çekme ve eğilme mukavemetinin azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca ortama ilave edilen gazete kâğıdı liflerinin, polietilen terefitalatın termal özellikleri ve kristallenliğini

arttırdığını tespit etmişlerdir. Mitchell ve çalışma arkadaşları (2014) tek kullanımlık kâğıt bardakları % 40 oranında polipropilene (PP) ilave etmişler ve kompozit plastiklerin mekanik özelliklerini iyileştirmişlerdir. Faisal ve Salmah (2012) ise beyaz ofis kâğıtlarını düşük yoğunluklu polietilen ile karıştırmışlar ve ilave edilen lif ile birlikte kompozit plastiklerin çekme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün arttığını gözlemlemişlerdir. Souchy ve arkadaşları (2014) kâğıt fabrikası atık çamurlarının plastik kompozit üretiminde değerlendirilebilme olanaklarını araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre plastik kompozit üretiminde kraft (kimyasal hamur) kâğıdı üreten fabrikaların atık çamurlarının, kimyasal termomekanik ve termomekanik kâğıdı üreten fabrikaların atık çamurlarına göre çok daha uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Bununla birlikte bu malzemeler dış hava koşullarında kullanılacaksa rutubete karşı dayanımları plastik kadar iyi

değildir. Rutubet direncini artırmak için lif-plastik uyumunu geliştirmek amaçlı çeşitli uyum sağlayıcılar kullanılmaktadır. Bir diğer yöntem, kompozit bileşimine mineral ilavesidir. Minerallerin odun veya lif plastik kompozitlerinde kullanılması ile kompozit plastiklerin su absorpsiyonunun azaldığı, eğilme direnci ve ısı bozunma kapasitelerinin geliştiği belirtilmiştir (English ve ark. 1997; Sherman 2004; Hadal ve ark. 2004). Huuhilo ve arkadaşları (2010a) benzer bir çalışmada odun plastik kompozitlerine çeşitli mineraller ilave etmişler ve rutubet direncinde önemli gelişmeler kaydetmişlerdir.

Bu bilgilerin ışığında bu çalışmada, silika ile kuşelenmiş sanat işi kâğıtların lif kaynağı olarak kullanılması planlanmıştır. Bu tip kâğıtların selüloz liflerinin yanı sıra önemli miktarda silikat ve kalsiyum karbonat gibi mineralleri içerdiği bilinmektedir. Böylece lif ve minerallerin olumlu etkileri birleştirilerek plastiğin takviye edilmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Selüloz lifleri Kombassan kâğıt fabrikasından (Konya), silika kuşeli kâğıtlar (UltraStarfilm) ticari kaynaklardan, yüksek yoğunluklu polietilen plastik (YYPE) Petrokimya Holding şirketinden (Aliğa, İzmir) ve maleik anhidritle aşılınmış polietilen (MAPE) Addcomp Polymer Additive Solution firmasından (Nijverdal, Hollanda) tedarik edilmiştir.

Liflerin hazırlanması

Öncelikle selüloz ve kâğıt lifleri 3x3 cm boyutunda olacak şekilde küçük parçalara yırtılmıştır. Bu işlemin ardından selüloz ve kâğıt parçaları Tablo 1 deki oranlarda karıştırılarak hamurlaştırıcıya (Micro-Maelström laboratory pulper) ilave edilmiştir. Hamurlaştırıcı konsantrasyonu %7, sıcaklığı 50°C ve işlem süresi 10 dk olarak belirlenmiştir. Hamurlaştırma işleminden sonra liflerin kesafeti artırılmış ve ardından kurutucuda hava kurusu hale gelene kadar kurutulmuştur. Kuruyan hamurlar Willey değirmeninde öğütülüp sarsak elekte boyutlarına göre tasnif edilmiştir. Üretimde 40 mesh elek üzerinde kalan lifler kullanılmıştır.

Liflerin kül miktarının belirlenmesi

Kuşeli kâğıt ve selülozun kül miktarları ile hamurlaştırma işlemi sonrasında elde edilen liflerin kül miktarları TAPPI-T 211 om-02 test metoduna göre belirlenmiştir.

Lif-plastik kompozit üretimi

Deney planı Tablo 1 de verilmiştir. Tablo 1 de belirtilen oranlarda hazırlanan lifler, YYPE ve MAPE ekstrüzyon işleminden önce homojen bir şekilde birbirlerine karışabilmesi için SHINI marka karıştırıcıda 5 dakika boyunca karıştırılmıştır. Karışım tek vidalı ekstruderden (Rondol 3212) geçirilerek pelet oluşturulmuş ve peletler su banyosunda soğutulmuştur. Üretim sırasında ekstrüder ısıtma bölgeleri 160°-165°-170° ve 175°C ve hız 60 rpm (devir/dakika) olarak ayarlanmıştır. Peletler soğutulduktan sonra kırıcı yardımı ile daha küçük parçalar haline getirilmiştir. Parça küçültme işleminin ardından elde edilen malzeme 5 x 150 x 160 mm boyutlarındaki kalıba yerleştirilerek sıcak preste 170 °C sıcaklıkta preslenmiştir.

Tablo 1. Deney planı.

Dolgu maddesi	Örnek No	Dolgu oranı (%)	MAPE (%)	YYPE (%)
Selüloz (%100)	A	40	3	57
Selüloz (%75)+Silika kuşeli kâğıt (%25)	B	40	3	57
Selüloz (%50)+Silika kuşeli kâğıt (%50)	C	40	3	57
Selüloz (%25)+Silika kuşeli kâğıt (%75)	D	40	3	57
Silika kuşeli kâğıt lifi (%100)	E	40	3	57

Lif-plastik kompozitlerin karakterizasyonu

Lif ve plastiklerin kompozit FTIR-ATR (Fourier transform infrared- Attenuated Total Reflectance) spektrumları, Shimadzu IR Prestige-21 FTIR cihazı ve Pike MIRacle ATR ataçmanıyla ölçülmüştür.

Taramalı elektron mikroskop görüntüleri (SEM) ve enerji dağılım spektrumları (EDS) sırasıyla Carls Zeiss Evo LS-10 taramalı elektron mikroskobu ve Bruker Quantax XFlash 6/ 100 enerji dağılım spektrometresiyle ölçülmüştür. Örnekler ölçülmeden önce altın ile kaplanmıştır. Ayrıca EDS ölçümleri sırasında yazılım vasıtasıyla altın kaplama düzeltilmesi yapılmıştır.

Fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Su alma ve kalınlığına şişme testleri için ASTM D 570 standardına uygun olacak şekilde her bir levha için 50 × 50 × 5 mm boyutlarında 10 adet örnek hazırlanmış ve 23±2°C sıcaklıkta 1, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 ve 70 günlük periyotlarda su içerisinde bekletilmiştir. Her bir süre sonucunda örneklerin ağırlıkları ve kalınlıkları kaydedilmiş ve aşağıdaki eşitliklere göre su absorpsiyonu (SA) ve kalınlığına şişme (KA) değerleri hesaplanmıştır:

$$SA (\%) = 100[(M2-M1)/M1] \quad (1)$$

SA: Su absorpsiyonu (%), M1: Kuru örnek ağırlığı (g), M2: Yaş örnek ağırlığı (g)

$$KA (\%) = 100[(K2-K1)/K1] \quad (2)$$

KA: Kalınlığına şişme (%), K1: Kuru örnek kalınlığı (mm), K2: Yaş örnek kalınlığı (mm)

Mekanik özellikler

Eğilme direnci ve çekme direnci testleri Zwick/Roell Z010 Universal test makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğilme direnci ASTM D 790, çekme direnci ASTM D 638 standartlarına göre yapılmıştır.

İstatistiksel yöntem

Elde edilen veriler SPSS paket programı kullanılarak ve % 95 güven düzeyi esas alınarak analiz edilmiştir. Elde edilen farklılıkların dolgu maddesi oranlarının etkisini araştırmak amacıyla Duncan testi uygulanmıştır.

Termal özelliklerin belirlenmesi

Termogravimetrik (TGA) analiz için Perkin Elmer TGA-6000 cihazı kullanılmıştır. Isıtma oranı 10 °C/dk, azot gazı

oranı 20ml/dk olarak belirlenmiş ve örnekler oda sıcaklığından 600°C ye kadar yakılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

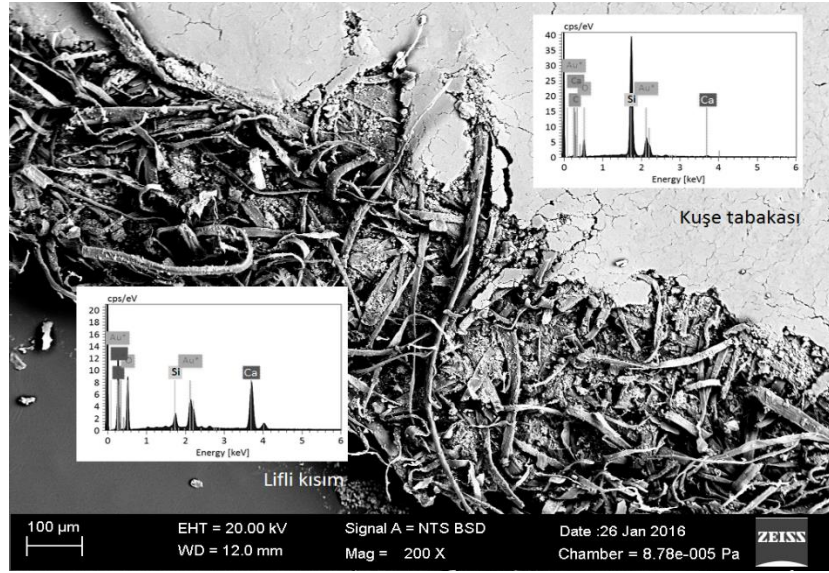
Tablo 2 de dolgu maddesi olarak kullanılan kuşeli kağıt ve liflerin inorganik madde miktarları (kül) görülmektedir. Tabloda kağıt ve selülozun kül miktarları ve hamurlaştırma işleminden sonra liflerin içerdiği kül miktarları yer almaktadır. Beklenildiği gibi hamurlaştırma prosesi sonrası hamurdan su uzaklaştırılması ve liflerin 40 mesh boyutuna getirilme aşamasında inorganik maddenin bir bölümü lif içerisinde uzaklaşmıştır. Ayrıca kompozit plastik içeriğinde olması beklenen inorganik madde miktarı lifin içerdiği inorganik madde miktarına göre hesaplanmıştır.

Şekil 1 de dolgu maddesi olarak kullanılan silika ile kuşelenmiş kağıdın taramalı elektron mikroskobu ve EDS spektralleri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi kağıdın üst yüzeyi silika ile kuşelenmiştir. Bu sonuçları EDS sonuçları da desteklemektedir. Kağıdın üst yüzeyinden yani kuşeli kısımdan yapılan EDS ölçümleri sonucu silis pikinin yoğunluğunun arttığı ve EDS sonuçlarına göre kuşe tabakasının %48.11 oranında silis içerdiği görülmektedir. Bununla birlikte kâğıdın kuşeli olmayan lifli kısımdan yapılan ölçümlerde kalsiyum pikinin önemli derecede arttığı görülmektedir. Elde edilen bu bulgulardan kuşelenmeden önce bu kâğıdın kalsiyum karbonat ile takviye edildiği ve daha sonrasında silika ile kuşelendiği anlaşılmaktadır.

Tablo 2. Kâğıt ve liflerin inorganik madde içeriği.

Dolgu maddesi	Örn. No	Selüloz ve kuşeli kağıdın kül miktarı (%)	Lif hazırlama sonrası kül miktarı (%)	Kompozit içerisinde olması beklenen kül miktarı (%)
Selüloz (%100)	A	1.2	0.6	0.24
Selüloz (%75)+Silika kuşeli kağıt (%25)	B	-	6.68	2.67
Selüloz (%50)+Silika kuşeli kağıt (%50)	C	-	12.38	4.95
Selüloz (%25)+Silika kuşeli kağıt (%75)	D	-	18.21	7.28
Silika kuşeli kağıt lifi (%100)	E	31.2	24.32	9.73

Kompozit içerisinde olması beklenen kül miktarı dolgu maddesinin kompozit içerisindeki oranı ile hesaplanmıştır (Lifin kül miktarı × 0.40).



Şekil 1. Kuşeli kağıdın SEM görüntüleri ve EDS sonuçları.

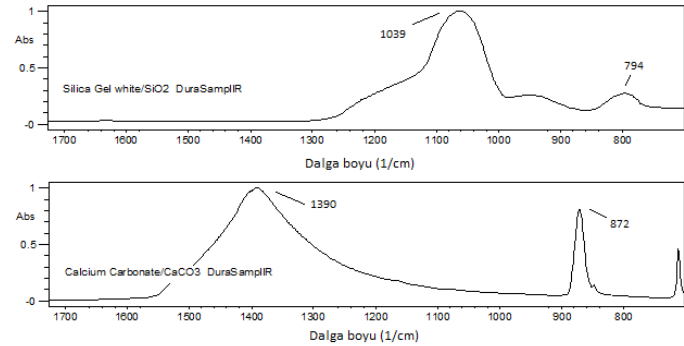
Tablo 3'te SEM üzerinde konuşlandırılmış EDS detektörü ile gerçekleştirilen elemental analiz sonuçları bulunmaktadır. EDS sonuçları 250x büyütmede görünen alan içinde plastik kompozitlerin kesitlerinden toplanmıştır. Bu sonuçlardan kompozit içerisindeki inorganik maddenin yaklaşık %40'nın silika ve %60'nın kalsiyum karbonat kaynaklı olduğu söylenebilir. Tablo 2'deki kompozit içeriğinde beklenen inorganik madde miktarı ile tablo 3'te EDS ile ölçülen silis ve kalsiyum karbonatın toplam miktarı karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, inorganik maddenin beklenildiği gibi plastik kompozit içerisinde liflerle birlikte homojen bir şekilde dağıldığını göstermektedir.

Tablo 3. EDS detektörü ile gerçekleştirilen elemental analiz sonuçları.

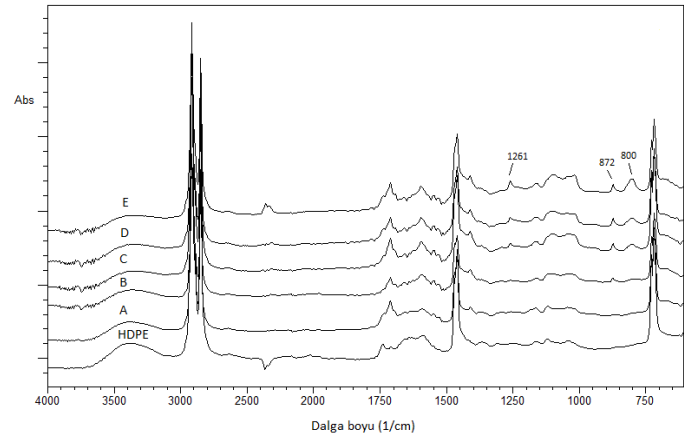
Örnek No	Karbon (C) (%)	Oksijen (O) (%)	Silis (Si) (%)	Kalsiyum (Ca) (%)	Silis ve Kalsiyum (%)
A	76.16	23.28	0.11	0.45	0.56
B	75.49	21.55	0.98	1.98	2.96
C	74.24	21.72	1.44	2.60	4.04
D	71.05	23.60	2.06	3.28	5.34
E	60.87	30.67	3.34	5.11	8.45

Benzer sonuçlar FTIR-ATR ölçümleriyle de tespit edilmiştir. Şekil 2'de saf silika ve kalsiyum karbonatın FTIR-ATR spektralleri ve Şekil 3'te lif-plastik kompozitlerin FTIR-ATR spektralleri görülmektedir. Şekil 2 de görüldüğü gibi silika 794 cm⁻¹ ve 1039 cm⁻¹ de, kalsiyum karbonat 872 cm⁻¹ ve 1390 cm⁻¹ de karakteristik pikler vermektedir (Feng 2010 ; Zhao ve ark. 2014). Şekil 3'teki

spektrumlar incelendiğinde kompozit içerisindeki inorganik madde miktarının artması ile 1261 cm⁻¹, 872 cm⁻¹ ve 800 cm⁻¹ deki piklerin yoğunluğunun arttığı görülmektedir. 1261 cm⁻¹ ve 872 cm⁻¹ deki artış kalsiyum karbonat, 800 cm⁻¹ bandındaki artış ise silikadan kaynaklanmaktadır.

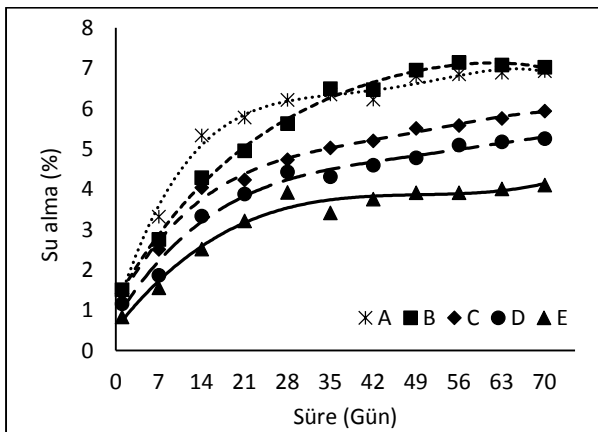


Şekil 2. Silika ve kalsiyum karbonatın FTIR-ATR spektrumları.

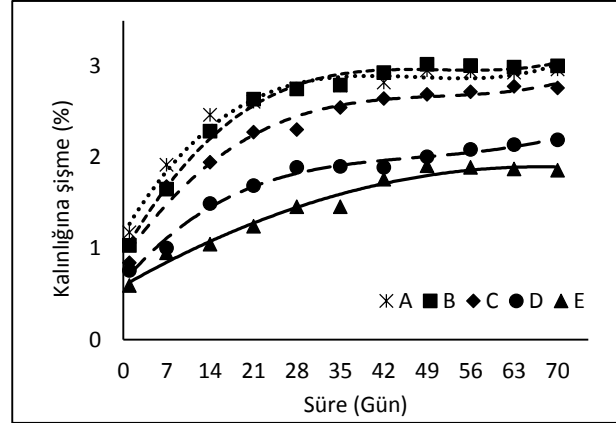


Şekil 3. Lif-YYPE kompozitlerinin FTIR-ATR spektrumları.

Şekil 4 ve 5'te sırasıyla üretilen lif plastik kompozitlerin yüzde su alma ve kalınlığına şişme oranları görülmektedir. Grafiklerden açıkça görüldüğü gibi lif-plastik kompozitlerin içeriğindeki inorganik madde miktarı arttıkça örneklerin yüzde su alma ve kalınlığına şişme oranlarının azaldığı görülmektedir. Benzer sonuçlar Huulio ve arkadaşları (2010a) tarafından odun plastik kompozitlerinde de tespit edilmiştir. Dört hafta sonunda inorganik madde içermeyen liflerden üretilen kompozitlerin su alma oranı %6.23 ve kalınlığına şişmesi %2.76 olarak ölçülmüştür. Lifin içerdiği inorganik madde oranı %2.67 ye çıkarıldığında örneklerin su alma oranı %5.63'e ve kalınlığına şişme oranı %2.75'e, inorganik madde içeriği %4.95'e çıkarıldığında su alma oranı %4.73'e ve kalınlığına şişmesi %2.30'a düşmüştür. İnorganik madde içeriği %9.73'e kadar artırıldığında ise su alma oranı %3.92 ve kalınlığına şişmesi %1.46'ya kadar gerilemiştir. On haftalık bekleme süresinden sonra inorganik madde içermeyen örneklerin su alma oranı %6.93'e ve kalınlığına şişme oranı %2.96'ya çıkmıştır. İnorganik madde içeriği %9.73 kadar artırıldığında örneklerin su alma oranı %4.11 ve kalınlığına şişme oranı %1.86 olarak ölçülmüştür. Bu haliyle lif-plastik kompozitlerin su alma oranları içeriğinde %9.73 civarında silika ve kalsiyum karbonat karışımından oluşan inorganik madde varlığı ile yaklaşık %40 oranında azalmıştır. Benzer şekilde kalınlığına şişme miktarı da %37 oranında azalmıştır. Bu iyileşme, plastik içerisindeki boşlukların dolması ve suyun iç kısımlara geçişinin engellenmesi ile açıklanabilir (Çavdar ve ark. 2015).



Şekil 4. Örneklerin su alma miktarları



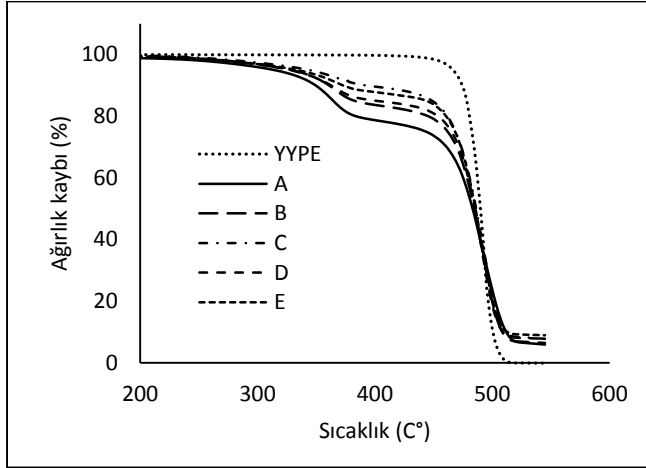
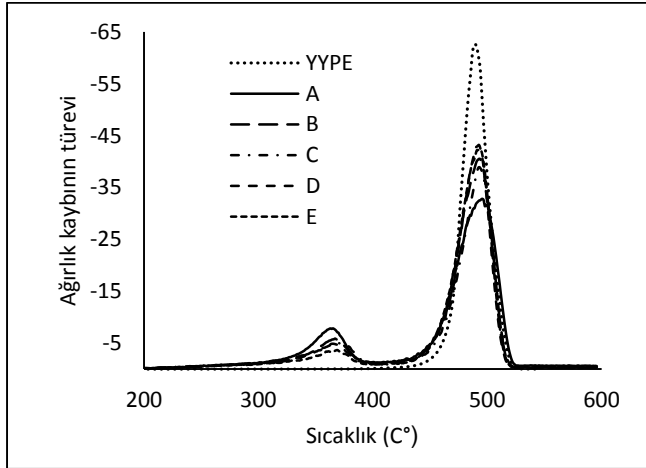
Şekil 5. Örneklerin kalınlığına şişme oranları

Tablo 4'te lif plastik kompozitlerin mekanik özelliklerine ait bulgular yer almaktadır. Tablodan görüldüğü gibi inorganik madde miktarının artırılması ile sağlamlık özelliklerinde özellikle eğilme direncinde azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni inorganik madde içeriğinin tekdüze olmaması, silika ve kalsiyum karbonatın karışımından meydana gelmesi olabilir. Ayrıca bazı çalışmalar mineral ilavesinin bazı mekanik özellikleri olumsuz etkilediğini belirtmektedir. Odun plastik kompozit bileşimine mineral ilavesi sonucu plastiğin gevrekliği artmaktadır (Godara ve ark. 2009). Huuhilo ve arkadaşları (2010b) yaptıkları çalışmada odun plastik kompozitine çeşitli mineraller ilave etmişler ve eğilme direncinde kontrol örneklerine kıyasla önemli bir değişimin olmadığını belirlemişlerdir. Bununla birlikte suda bekletme/dondurma ve kurutma aşmalarından geçirilen mineral ile takviye edilmiş örneklerin mekanik özelliklerinde meydana gelen azalmanın kontrol örneklerine göre daha az olduğunu da belirlemişlerdir.

Şekil 6 ve 7 de lif-YYPE kompozitlerin TGA eğrileri görülmektedir. Şekil 7'de görüldüğü gibi ilk pikte lifin bozunması ile ilgili dönüm noktası, mineral içeriğinin %9.73'e artırılması ile birlikte 364.64°C den 377.56°C'ye kadar çıkmıştır. İkinci pikte ki YYPE'nin dönüm noktası ise mineral ilavesi ile 489.38°C den 493.71°C'ye kadar çıkmıştır. Bu sonuçlardan mineral varlığının kısıtlı olsa da termal özellikler üzerine olumlu etki ettiği görülmektedir. Martikka ve ark. (2010) mineral takviyeli odun plastik kompozitlerinin termal özelliklerini incelemişler ve benzer sonuçlara ulaşmışlardır.

Tablo 4. Lif-YYPE kompozitlerin mekanik özellikleri

Örnek no	Eğilme direnci (Mpa)	Eğilme modülü (Mpa)	Çekme direnci (Mpa)	Çekme modülü (Mpa)
A	22.07 b (1.48)	2788.57 b (149.93)	17.58 c (0.67)	2025.71 b (130.95)
B	21.01 ab (1.52)	2630 ab (302.82)	17.50 bc (0.75)	1977.14 b (156.06)
C	20.92 ab (1.26)	2501.42 ab (173.53)	16.92 bc (0.86)	1925.71 b (81.76)
D	20.6 ab (1.75)	2460.57 a (337.39)	15.71 b (2.51)	1832.42 b (138.19)
E	19.55 a (1.40)	2451.42 a (198.27)	13.46 a (1.34)	1546.57 a (257.38)

**Şekil 6.** Örneklerin TGA sonuçları**Şekil 7.** TGA eğrisinin türevi (DTGA).

SONUÇ

Çalışma kapsamında silika ile kuşelenmiş atık kağıtların plastik endüstrisinde katkı maddesi olarak kullanılabilme olanakları araştırılmıştır. Ortamda bulunan silika ve kalsiyum karbonat içeriğinin plastiğe ilave edilen lif içeriğinde silika ve kalsiyum karbonat oranının artırılmasıyla lif plastik kompozitlerin özellikle rutubet dirençlerinin önemli ölçüde geliştiği tespit edilmiştir. Mineral ilavesinin artışı ayrıca plastiklerin termal özelliklerinde de artışa neden olmaktadır. Bununla birlikte

malzemelerin gevrekliği artmış ve bunun sonucu olarak belirgin olmasa da eğilme ve çekme dirençlerine yansımıştır. Sonuç olarak çalışma ile dış hava koşullarına daha dayanıklı lif-plastik kompozit üretimi amacıyla içeriğinde önemli miktarda dolgu/kuşe maddesi içeren atık kağıtların kullanılabilmesi belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ardekani SM, Dehghani A, Al-Maadeed MA, Wahit MU, Hassan A (2014) Mechanical and thermal properties of recycled poly (ethylene terephthalate) reinforced newspaper fiber composites. *Fibers and Polymers* (15):71531-1538
- Ashori A, Nourbakhsh A (2009) Mechanical behavior of agro-residue-reinforced polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science* 111(5):2616–2620
- Banga H, Singh VK, Choudhary SK (2015) Fabrication and study of mechanical properties of bamboo fibre reinforced bio-composites. *Innovative System Design and Engineering* 6(1):84-98
- Bledzki AK, Reihmane S, Gassan J (1998) Thermoplastics reinforced with wood fillers: A literature review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 37(4):451-468
- Çavdar Dönmez A, Kalaycıoğlu H, Mengeloğlu F (2015) Technological properties of thermoplastic composites filled with fire retardant and tea mill waste fiber. *Journal of Composite Materials* doi: 10.1177/0021998315595113
- English B, Stark N, Clemans C (1997) Weight reduction: wood versus mineral filler in PP. 4th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, Madison, WI: Forest Products Society, 324, pp 237-244
- Faisal A, Salmah H (2012) Mechanical and thermal properties of compatibilized waste office white paper-filled low-density polyethylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 25(2):193-207
- Feng, J.M. The Application of Infrared Spectroscopy in the Analysis of Trace Evidence. Chemical Industry Press, Beijing, 2010
- Godara A, Raabe D, Bergmann I, Putz R, Müller U (2009) Influence of additives on the global mechanical behavior and the microscopic strain localization in wood reinforced polypropylene composites during tensile deformation investigated using digital image correlation. *Composite Science and Technology* 69:139-146
- Hadal RS, Dasari A, Rohrmann J, Misra RDK (2004) Effect of wollastonite and talc on the micromechanisms of tensile

- deformation in polypropylene composites. *Materials Science and Engineering A* 372(2):296-315
- Huuhilo T, Martikka O, Butylina S, Kärki T (2010a) Impact of mineral fillers to the moisture resistance of wood-plastic composites. *Baltic Forestry* 16(1):126-131
- Huuhilo T, Martikka O, Butylina S, Kärki T (2010b) Mineral fillers for wood-plastic composites. *Wood Material Science & Engineering* 5(1):34-40
- Ismail SH, Bakar AA (2006) Effects of chemical modification of paper Sludge filled Polypropylene (PP)/Ethylene propylene diene terpolymer (EPDM) composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 25(1):43-58
- Martikka O, Huuhilo T, Butylina S, Kärki T (2010) The effect of mineral fillers on the thermal properties of wood-plastic composites. *Wood Material Science & Engineering* 7(2):107-114
- Mitchell J, Vandepierre L, Dvorak R, Kosior E, Tarverdi K, Cheeseman C (2014) Recycling disposable cups into paper plastic composites. *Waste Management* 34(11):2113-2119
- Panigrahy BS, Rana A, Chang P, Panigrahi S (2006) Overview of flax fiber reinforced thermoplastic composites. *Canadian Biosystems Engineering Journal* 06(165):1-12
- Sherman LM (2004) Wood-filled plastic they need the right additives for strength, good looks and long life. *Plastic Technology* 6(6):52-59
- Souchy J, Koubaa A, Migneault S, Riedl B (2014) The potential of paper mill sludge for wood-plastic composites. *Industrial Crops and Products* (54):248-256
- Zhao, H., Hou, Q., Hong, Y., Liu, W., Li, Y., Tony, F. Determination of Calcium carbonate and Styrene-butadiene Latex Content in the Coating Layer of Coated Paper *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 20 (4) 2014: pp. 1571-1576.