

Karbon Nanotüp İle Güçlendirilen Ahşap Polimer Nanokompozitlerin Uzun Süreli Su Alma Davranışlarının Belirlenmesi

Alperen KAYMAKCI

Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Kastamonu
Sorumlu yazar: akaymakci@kastamonu.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.01.2016

Özet

Bu çalışmada polipropilen, çam ahşap unu ve karbon nanotüp kullanılarak üretilen ahşap polimer nanokompozitlerin su alma davranışı incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda çam ahşap unu, Polipropilen, karbon nanotüp ve uyum sağlayıcı ajan çift vidalı ekstruder içerisinde homojen bir biçimde karıştırılmıştır. Daha sonra elde edilen peletler enjeksiyon kalıplama makinesi kullanılarak fiziksel özelliklerin tespitinde kullanılan numunelerin üretimi sağlanmıştır. Ahşap polimer nanokompozitlerin uzun süreli su alma davranışı 6 ay boyunca takip edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karbon nanotüp kullanımının ahşap polimer nanokompozitlerin fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Ayrıca uyum sağlayıcı ajan (MAPP) kullanımının ahşap polimer nanokompozitlerin boyutsal stabilizasyonunu arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Nanokompozit, Karbon nanotüp, Boyutsal stabilite, MAPP

Long Term Water Absorption Behaviours of Wood Polymer Nanocomposites Reinforced with Carbon Nanotubes

Abstract

The water absorption of wood polymer nanocomposites prepared from polypropylene/pine wood flour, carbon nanotube and coupling agent was studied. The pine wood flour, carbon nanotube and MAPP were compounded in a twin screw co-rotating extruder. Test specimens were produced by injection molding process from the pellets dried to moisture content of 1%. Long term water absorptions of manufactured nanocomposites were evaluated by immersing them in water at room temperature for several weeks (for 6 months). Results indicated that water absorption and thickness swelling properties increased with increasing carbon nanotube content. Also adding the MAPP improved the dimensional stability properties of the nanocomposites.

Keywords: Nanocomposite, Carbon nanotube, Dimensional stability, MAPP

Giriş

Doğal kaynakların kullanımı genel olarak hammaddelerin çok veya az bulunuşuna göre belirlenmektedir. Bu kaynakların azalmasına bağlı olarak rasyonel ve ekonomik kullanma yöntemleri geliştirilerek hammaddelerden en iyi şekilde yararlanma yoluna gidilmiştir (Avcı, 2012). Ormanlar ve orman ürünlerinden bu anlamda oldukça farklı şekillerde yararlanılabilmektedir. Ancak günümüzde ormanların tahribatı engellenemez boyutlara ulaşmış ve fauna- flora dengesi ciddi bir biçimde zarar görmüştür. Bunun sebepleri arasında yanlış politikalar, doğal felaketler ve eğitim yetersizlikleri gösterilebilir. Kalite ve kantite bakımından yetersiz ormanlarımız üzerindeki baskının azaltılması için çeşitli tedbirler

hayata geçirilmiştir (Kaymakçı, 2010; As, 1992). Bu bağlamda alınan tedbirler arasında orman ürünleri endüstrisi için en uygulanabilir olanı hiç şüphesiz kalite bakımından yetersiz olan ağaçların mühendislik ürünü malzemeler üretiminde değerlendirilme çalışmaları olmuştur. Bu amaç doğrultusunda gelişen yeni teknolojiler ile birlikte yonga levha, lif levha, yönlendirilmiş yonga levha ve ahşap polimer kompozit gibi yeni ve performansı yüksek malzeme grupları oluşmuştur. Ahşap polimer kompozitler genel manada bir polimer matris içerisinde iki ya da daha fazla sayıda materyalin bir araya getirilmesiyle oluşturulan malzeme grubuna verilen addır. Ahşap polimer kompozit üretiminde genel olarak ahşap unu, buğday ve arpa sapları, marangozhane atıkları

gibi lignoselülozik materyaller kullanılabilir. Ahşap polimer kompozit üretiminde kullanılan ahşap kökenli dolgu maddeleri performans artışı sağlamakla beraber son ürünün fiyatını da düşürmektedir (Kaymakçı ve Ayrılmış, 2012; Tufan ve ark., 2015). Ancak belli oranlar dâhilinde lignoselülozik liflerle güçlendirilen polimer kompozitler kullanım yerine bağlı olarak gösterdiği performans kullanıcı isteklerini yeteri düzeyde karşılayamamaktadır. Bu nedenle bu alanda süregelen arayışlar beraberinde yeni teknolojileri ve yeni materyallerin kullanılmasını gündeme getirmiştir. Özellikle son on yılda ahşap polimer kompozit üretiminde bu alandaki açığın kapatılması bağlamında nano takviye elemanları kullanılmaya başlanmıştır. Ahşap polimer kompozitlerin yarı-yapısal ürünlerdeki performansının yetersiz olduğu görüşü bu çalışmaların ivme kazanmasını sağlamıştır. Nano takviye elemanları kullanılarak üretilen kompozitlere genel manada nanokompozit denilmektedir. Polimer nanokompozitlerin hazırlanmasında kullanılan nano boyutlu dolgu maddeleri farklı türde, yapıda ve geometride olabilmektedir. Bunlardan en çok kullanılanlar; doğal ve sentetik killer, karbon malzemeler (nano boyutlu karbon siyahı, tek ya da çok cidarlı karbon nanotüpler, exfoliated grafit tabakaları vs.), nano boyutlu çeşitli metaller, metal tuzları ve metal oksitler, amorf silika, polihedral silisyum bileşikler (silsesquioxane vs.) ve selüloz lifleri olarak sıralanabilir. Karbon nanotüpler, uzunluğu çapının 100 milyon katı olan, karbon atomlarının yan yana dizilmesiyle oluşan, sadece birkaç nanometre çapındaki yapılarıdır. Karbon nanotüpler sıra sıra dizilen karbon atomlarının aynı bir kâğıt gibi kıvrılıp silindirik şekline getirilmiş halidir. Bu silindirler tek duvarlı veya çok duvarlı olabilmektedir (TÜBİTAK, 2014; Küçük yıldırım ve ark., 2012; Ghasemi ve Kord,

2009; Kord ve ark., 2011; Alexandre ve Dubois, 2000). Çok hafif olması, yüksek elastiklik modülüne sahip olması ve bilinen en dayanıklı fiber olması ihtimalleri, karbon nanotüplerin (KNT) en önemli özelliklerindedir (Küçük yıldırım ve ark., 2012). Karbon nanotüp kullanılarak üretilen ahşap polimer kompozitlerin üretiminde çeşitli metotlar uygulanmaktadır. Kullanılan üretim metotları hiç şüphesiz ahşap

polimer nanokompozitlerin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri gibi son ürün performansını etkileyecektir. Bu çalışmanın amacı eriyik harmanlama yöntemi kullanılarak üretilen Polipropilen/karbon nanotüp ahşap polimer kompozitlerinin uzun süreli su absorpsiyon performansının belirlenmesidir. Bununla beraber uyum sağlayıcı ajanın (MAPP) ahşap polimer nanokompozitlerin su alma özellikleri üzerine etkisi de araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Bu çalışmada polimer malzeme olarak polipropilen (PP), dolgu maddesi olarak çam ahşap unu kullanılmıştır. Polimer matrisi olarak kullanılan PP ($T_m = 160^\circ\text{C}$, $q = 0.9 \text{ g/cm}^3$, MFI/230°C/ 2.16 kg= 6.5 g/10 dk) Petkim Petrokimya A.Ş. den satın alma yoluyla temin edilmiştir. Lignoselülozik dolgu maddesi (Çam ahşap unu 40 mesh) ise İstanbul'da faaliyet gösteren Ahşap Polimer Kompozit Deck fabrikasından satın alma yoluyla temin edilmiştir.

Çok duvarlı karbon nanotüp Ankara'da faaliyet Grafen AŞ. den satın alma yoluyla tedarik edilmiştir. Çok duvarlı karbon nanotüp ile ilgili bilgiler Tablo 1'de gösterilmiştir. Ahşap unu ve PP arasında uyumsuzluğu gidermek amacıyla maleik anhidritle muamele edilmiş polipropilen (MAPP) kullanılmıştır. MAPP (Optim-425, MFI/190 °C; 2,16 kg = 120 g/10 dk, yoğunluk: 0,91 g/cm³) Pluss Polymers Pvt. Ltd den satın alma yoluyla tedarik edilmiştir.

Ahşap Polimer Nanokompozitlerin (APN) Üretimi

Ahşap polimer nanokompozitlerin üretiminde kullanılan polipropilen (PP), çam ahşap unu, karbon nanotüp (KNT), Maleik Anhidrit Polipropilen (MAPP) oranları ve deneme deseni Tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 1: Karbon nanotüp'ün bazı fiziksel ve teknik özellikleri

Özellik	Endüstriyel Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
Görünüş	Siyah toz
Ortalama çap	10- 30 nm
Uzunluk	10- 30 µm
Safılık	> % 90
Yüzey alanı	> 200 m ² /g

Tablo 2: Ahşap polipropilen nanokompozit deneme deseni

APN Kod	Ahşap unu (%)	KNT (%)	PP (%)	MAPP (%)	Yağlayıcı (%)
A	50	0	50	3	1
B	50	0	50	0	1
C	50	1	50	3	1
D	50	1	50	0	1
E	50	3	50	3	1
F	50	3	50	0	1
G	50	5	50	3	1
H	50	5	50	0	1

Tablo 2’de gösterilen oranlara uygun olarak hazırlanan karışım çift vidalı ekstruder içerisine besleme yapılarak eritilmiştir (Şekil 1).

Ekstruderin vida hızı 40 rpm ve sıcaklık ayarları 170–190 °C arasında ayarlanmıştır.



Şekil 1. Çift vidalı ekstruder

Ekstruderden çıkan sıcak eriyik soğuk su içerisinde soğutularak beklemeye alınmıştır. Bünyesindeki fazla suyun doğal olarak dışarı atılmasına müteakip örnekler 80°C sıcaklığa sahip

etüvde 4 saat süreyle bekletilmiştir. Kurutulan numuneler plastik kırma makinesi (Şekil 2) yardımıyla küçük peletler haline getirilmiştir.



Şekil 2: Plastik kırma makinesi

Elde edilen peletler enjeksiyon ile kalıplama işlemi öncesinde 3-4 saat boyunca etüvde kurutulmuştur. Kurutulan peletler enjeksiyon kalıplama makinesinde 4-5 MPa arasında değişen

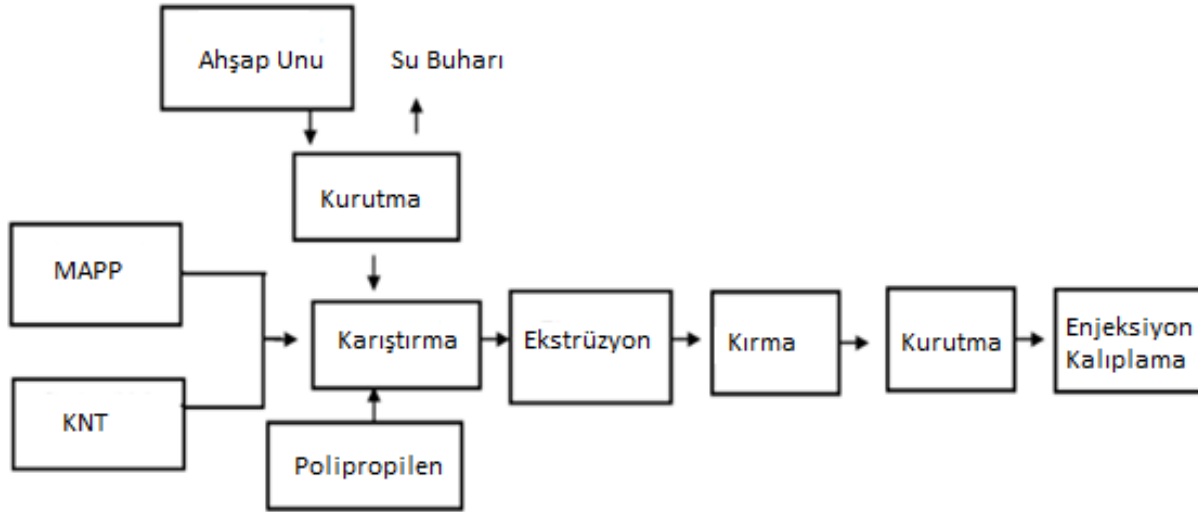
enjeksiyon basınçlarında (Şekil 3) 20-30 sn soğuma hızı kullanılarak fiziksel testlerde kullanılacak test materyali haline getirilmiştir.



Şekil 3: Enjeksiyon kalıplama makinesi

Daha sonra elde edilen örneklerin ASTM 618-08'de belirtilen şartlara uygun olarak hazırlanan Genel olarak ahşap Polipropilen nanokompozitlerin üretim akışını Şekil 4'de ki gibi

klima odalarında uygulanacak performans testleri öncesi kondisyonlanması sağlanmıştır. özetlemek mümkündür.



Şekil 4: Ahşap Polipropilen Nanokompozit Üretimi İş Akış Şeması

Polimer Nanokompozit Örneklerinin Test Edilmesi

Bu çalışmada üretilen polimer nanokompozitlerin su alma ve kalınlığına şişme gibi fiziksel performans testleri ISO 62 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda 50x50 mm boyutundaki numuneler kullanılmıştır. 23 ±2 °C ve % 50 ±5 kondisyonlanan örnekler 1 gün, 7 gün, 14 gün ve 1 ay, 2 ay, 3 ay ve

6 ay suda bekletilmek suretiyle ölçümler yapılmıştır. Her ölçüm periyodunun sonunda numunelerin kalınlıkları 0.001 mm hassasiyete sahip dijital mikrometre ile ağırlıkları ise 0.01 gr hassasiyete sahip analitik terazilerde sudan çıkarmaya müteakip hızlıca belirlenmiştir. Her test için toplam 10'ar numune üzerinden çalışılmıştır. Su alma (SA) ve kalınlığına şişme (KŞ) testleri aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

Burada;

KŞ: Kalınlığına şişme oranı (%)

T(t): Suda bekledikten sonraki kalınlığı (mm)

To: İlk kalınlık (mm)

Bulgular ve Tartışma

Karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap polimer nanokompozitlerin uzun süreli su alma davranışına ilişkin değerler Tablo 3'te gösterilmiştir.

$$SA = \frac{W(t) - W_0}{W_0} \times 100$$

Burada;

SA: Su alma oranı (%)

W(t): Suda bekledikten sonraki ağırlığı (gr)

Wo: İlk ağırlık (gr)

$$KŞ = \frac{T(t) - T_0}{T_0} \times 100$$

Tablo 3: Polimer nanokompozitlerin % su alma değerleri

APN Kodu	Günler						
	1	7	14	30	60	90	180
A	0.38	0.81	1.12	1.36	1.41	1.42	1.42
B	0.35	0.77	1.02	1.31	1.35	1.37	1.37
C	0.36	0.80	1.10	1.35	1.38	1.40	1.41
D	0.34	0.77	1.07	1.34	1.36	1.37	1.38
E	0.31	0.75	1.04	1.31	1.35	1.35	1.36
F	0.33	0.75	1.01	1.29	1.34	1.35	1.36
G	0.31	0.74	0.98	1.28	1.32	1.34	1.35
H	0.28	0.73	0.96	1.26	1.29	1.32	1.34

Tablo 3’deki ahşap polimer nanokompozitlerin su alma özelliklerine ait veriler incelendiğinde, genel olarak su içerisinde bekleme süresi arttıkça lif doygunluğu noktasına kadar su alma değerlerinin arttığı net bir şekilde görülebilmektedir. Bu durum polimer nanokompozit içerisindeki ahşap ununun hidrofilik doğası ile açıklanabilir. Bu durum diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Ghasemi ve Kord, 2009; Homkhiew ve ark., 2014; Kord, 2014). Ghasemi ve Kord (2009) yaptıkları çalışmada Polipropilen/ahşap unu/ organokil hibrit nanokompozitlerin uzun süreli su alma davranışını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda nanokompozitlerin su içerisinde bekleme süresine paralel olarak lif doygunluğu noktasına kadar su almaya devam ettiğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar bu durumun tüm nanokompozit formülasyonları için aynı olmadığını, deneme deseni içerisindeki ahşap unu, uyum sağlayıcı ajan ve güçlendirici materyal oranına bağlı olarak sürenin değişebileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar sabit ahşap unu oranında su alma özelliklerindeki değişimin temelinde ahşap polimer nanokompozit üretiminde kullanılan diğer materyallerin etkin olduğunu tespit etmişlerdir. Buna paralel olarak Tablo 3 incelendiğinde, polimer nanokompozit içerisindeki karbon nanotüp oranının artmasına bağlı olarak su alma yüzdesinin azaldığı görülebilmektedir. Benzer sonuçlar farklı

araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir (Kaymakçı ve Ayrılmis, 2015; Ayrılmis and Kaymakçı, 2015; Kord, 2014). Bilindiği üzere ahşap unu yapısı nedeniyle hidrofilik yapı sergilerken, polimer, uyum sağlayıcı ajan ve güçlendirici materyal hidrofobik bir yapı sergilemektedir. Karbon nanotüplerin hidrofobik yapısı nedeniyle su moleküllerinin polimer nanokompozit yapı içerisinde bağlanamaması toplam su alma yüzdesini azaltmaktadır. Bu durum ahşap polimer nanokompozitlerin boyutsal stabilitesinin artmasını sağlamaktadır. Yine tablodan görüleceği üzere uyum sağlayıcı ajan (MAPP) kullanılarak üretilen polimer nanokompozitlerin su alma yüzdesinin aynı grubun kontrolüne göre daha düşüktür. Bu durum polimer ve ahşap unu arasındaki yüzeyler arası bağlanmanın daha iyi olması ile açıklanabilmektedir. MAPP ahşap içerisindeki OH gruplarıyla kimyasal olarak bağlanarak polimer nanokompozitin su almasını sınırlar ve böylece stabilite sağlanmış olur. Bundan dolayı polimer nanokompozit üretiminde uyum sağlayıcı ajan kullanılması son derece önemlidir. Bu şekilde hidrofilik grupların engellenmesi ve polimer ve dolgu arasındaki boşlukların azaltılması sağlanabilmektedir. (Ghasemi ve Kord, 2009; Tufan ve ark., 2015). Karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap polimer nanokompozitlerin uzun süreli kalınlığına şişme davranışına ilişkin değerler Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4: Polimer nanokompozitlerin % kalınlığına şişme değerleri

APN Kodu	Günler						
	1	7	14	30	60	90	180
A	0.83	1.63	1.96	2.38	2.42	2.43	2.44
B	0.80	1.59	1.92	2.30	2.33	2.34	2.35
C	0.83	1.60	1.98	2.35	2.40	2.41	2.42
D	0.81	1.58	1.96	2.31	2.37	2.38	2.39
E	0.80	1.55	1.93	2.28	2.35	2.36	2.38
F	0.79	1.57	1.89	2.27	2.30	2.32	2.33
G	0.76	1.55	1.85	2.24	2.28	2.30	2.31
H	0.74	1.52	1.84	2.21	2.25	2.28	2.30

Tablo 4’ deki ahşap polimer nanokompozitlerin su alma özelliklerine ait veriler incelendiğinde, genel olarak su içerisinde bekleme süresi arttıkça lif doygunluğu noktasına kadar kalınlığına şişme yüzdesinin arttığı görülebilmektedir. Elde edilen sonuçlar bu yönüyle su alma özellikleriyle benzerlik göstermektedir. Kalınlığa şişme yüzdesi tüm ahşap polimer nanokompozit gruplarda karbon nanotüp miktarı arttıkça azalmıştır. Bu durum literatürde yapılan çalışmalar ile uyumludur. Esnaashari ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada testere talaşı unu, düşük yoğunluklu polietilen ve güçlendirici dolgu materyali olarak %2.5, %5 ve %7.5 oranlarında nano kil kullanmak suretiyle ekstrüzyon ve bunu takiben enjeksiyon kalıplama prosesi kullanılarak nanokompozitler üretilmiştir. Yapılan testler sonucunda nano kil oranının %2.5’tan %7.5’e çıkarılması durumunda kalınlığa şişme oranında azalma meydana getirdiğini belirlemişlerdir. Bu durumun temelinde nano materyalin kalıplanmış nanokompozit yüzeye iyi bir şekilde dağılmasıyla açıklanmaktadır. Nano kil oranının artmasına bağlı olarak yüzeyde daha fazla alan kaplayan nano kilin hidrofobik yapısının kalınlığına şişme özelliklerinin iyileşmesini sağlamıştır. Yine Deka ve Maji (2012) tarafından yapılan çalışmada güçlendirici nano partikül ilavesinin ahşap plastik nanokompozitlerin kalınlığına şişme

oranını azalttığı diğer bir ifade ile suya karşı direncini arttırdığını tespit etmişlerdir. Ahşap polimer nanokompozit üretiminden uyum sağlayıcı ajan kullanılması kalınlığına şişme özelliklerinin iyileşmesini sağlamıştır. Doğası gereği hidrofilik yapıdaki ahşap unu ile hidrofobik yapıdaki polipropilenin birbirine kimyasal yollarla bağlanması mümkün değildir. Ekstruder ve enjeksiyon kalıplama prosesleri ile birbirinden ayrı bu iki faz ancak mekanik bir bağlanma gerçekleştirebilir. Uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap plastik nanokompozitlerin su alma özelliklerini iyileştirmesinin temelinde polimer ile ahşap unu arasındaki yüzeyler arası bağlanmanın artırılması bulunmaktadır. Genel anlamda ahşap plastik nanokompozitlerin içerisine su molekülleri yüzeyler arasındaki boşluk ve kusurlardan, üretim prosesi esnasında matris materyalde meydana gelen mikro çatlaklardan, ince gözeneklerden ve lignoselülozik malzemede bulunan serbest hidroksil gruplarına bağlanarak girmektedir. Nanokompozit yapı içerisine uyum sağlayıcı ajanın girmesiyle birlikte polimer ve lignoselülozik dolgu materyali arasındaki zayıf bağlanmanın önüne geçilerek bahsedilen kusurlar ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır (Kaymakçı, 2015).

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada polipropilen/karbon nanotüp/ahşap unu kullanılarak polimer nanokompozitler üretilmiştir. Üretilen

nanokompozitlerin fiziksel özelliklerden su alma ve kalınlığına şişme performansı tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre; polimer kompozit üretiminde karbon nanotüp kullanımının su alma ve kalınlığına şişme özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir. Artan karbon nanotüp kullanımına bağlı olarak numunelerin su alma ve kalınlığına şişme performansının geliştiği söylenebilmektedir. Polimer nanokompozit üretiminde uyum sağlayıcı ajan kullanımının ahşap unu ve polimer arasındaki yüzeylere arası bağlanmayı arttırmasından dolayı fiziksel özellikleri geliştirdiği belirlenmiştir. Ancak elde edilen sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde polimer kompozit üretiminde karbon nanotüp kullanımının fiziksel özellikleri geliştirmesi amacıyla kullanımının ekonomik olmadığı söylenebilir. Bu amaçla kullanılan karbon nanotüplerin fiziksel özellikler üzerinde çok önemli derecede performans artışı sağlamadığı açıktır. Ancak karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap polimer nanokompozitlerin uzun süreli su alma ve kalınlığına şişme performansı düşünüldüğünde oldukça başarılı sonuçlar elde edildiği düşünülmektedir. Ahşap polimer nanokompozitlerin su alma ve kalınlığına şişme yüzdesi 180 günün sonunda dahi oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. Bu yönüyle ahşap plastik nanokompozitlerin boyutsal stabilizasyonu oldukça tatmin edicidir. Bu bağlamda ahşap polimer nanokompozitlerin, mühendislik ürünü ağaç malzemelerin kullanım yerine uygun olmayan yüksek rutubetli alanlarda rahatlıkla kullanılabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

Alexandre M., Dubois P., 2000. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials, *Materials Science and Engineering R: Reports A Review Journal*, 28, 1-63.

As N. 1992. P. Pinaster Ait Değişik Irkların Fiziksel, Mekaniksel ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Avcı M. 2012. Ahşap Plastik Kompozitlerin Kullanım Performansları Üzerine Araştırmalar, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,

İstanbul.

Ayrilmis, N., Kaymakci, A., 2015. Physical, Mechanical, And Thermal Properties of Wood Plastic Nanocomposites Reinforced with Multi Walled Carbon Nanotubes, In *Wood2015: Innovations in wood materials and processes* Brno, Czech Republic.

Deka B.K., Maji T.K., 2012. Effect of SiO₂ and nanoclay on the properties of wood polymer nanocomposites, *Polymer Bulletin*, DOI 10.1007/s00289-012-0799-6.

Esnaashari C., Khorasani S.N., Entezam M., Khalili S., 2012. Mechanical and water absorption properties of sawdust-low density polyethylene nanocomposite, *Journal of Applied Polymer Science*, DOI: 10.1002/app.37624.

Ghasemi I., Kord B., 2009. Long-term Water Absorption Behaviour of Polypropylene/Wood Flour/Organoclay Hybrid Nanocomposite. *Iranian Polymer Journal*, 18(9), 683-691.

Homkhiew C., Ratanawilai T., Thongruang W., 2014. Long-term water absorption and dimensional stability of composites from recycled polypropylene and rubberwood flour, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, DOI: 10.1177/0892705713518789.

Kaymakçı A. 2010. *Paulownia (Paulownia Elongata)* Odununun Bazı Anatomik, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri İle Kullanım Alanları Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, K.S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Kaymakçı A., Bal B.C., Bektaş İ. 2011. Pavlonya Odununun Bazı Özellikleri ve Kullanım Alanları, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 11(2), 228– 238.

Kaymakçı A., Ayrılmış N. 2012. Kastamonu Yetiştirilen Kestane Meyvesi Kabuklarının Polipropilen Esaslı Odun Polimer Kompozit Üretiminde Kullanılması, *Kastamonu'nun Doğal Zenginlikleri Sempozyumu*, 27-31.

Kaymakçı A. 2015. Çeşitli Güçlendirici Dolgularla Üretilen Ahşap Plastik Nanokompozitlerin Karakterizasyonu, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kaymakci A., Ayrilmis N., 2015. Long term water absorption properties of wood polymer nanocomposites (WPN), *International*

conference Wood Science and Engineering in the third millenium, ICWSE 2015, 819-822, Brasov, Romania.

Kord B., Danesh M.A., Veysi R., Shams M., 2011. Effect of Virgin and Recycled Plastics on Moisture Absorption od Nanocomposites from Newsprint Fiber and Organoclay, *Bioresources*, 6(4), 4190-4199.

Kord B., 2014. Investigation on the long-term water absorption behavior and cell morphology of foamed wood-plastic nanocomposites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27(3), 379-394.

Küçükyıldırım B.O., Eker, A.A., 2012. Karbon Nanotüpler, Sentezleme Yöntemleri ve Kullanım Alanları, *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 53(630), 34-44.

Tufan M., Akbas S., Gulec T., Tascıoğlu C., Alma M.H., 2015. Mechanical, Thermal, Morphological Properties and Decay Resistance of Filled Hazelnut Husk Polymer

TÜBİTAK, 2014.
http://www.biltek.tubitak.gov.tr/haberler/teknoloji/s518_6.pdf (Erişim Tarihi: 25.03.14)