

NANO TiO₂ VE NANO BORUN ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Eser SÖZEN¹ Deniz AYDEMİR¹ Gökhan GÜNDÜZ¹

¹Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü 74200, Bartın, TURKEY

Özet- Lignoselülozik materyaller termoplastik endüstrisine önemli katkılar sağlamaktadır. Odun polimer kompozitler de bu sektörde önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, nano bor ve nano titanium dioksitin (TiO₂) odun polimer kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine etkisi belirlenmiştir. Polimer matriks olarak polipropilen kullanıldı. Dolgu maddesi olarak kullanılan odun lifleri %10 ve %20 oranında, nano bor ve nano titanyum dioksit %0,5 ve %1 oranında kullanıldı. Odun liflerinin polipropilene eklenmesiyle tüm örneklerin eğilme direncinde artışlar gözlemlenmiştir. Nano titanium dioksit içeren örneklerin çekme dirençlerinde azalmalar görülürken, nano bor içeren örneklerin darbe dirençlerinde artışlar gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler- Odun plastik kompozitler, nano bor, nano titanyum dioksit.

THE EFFECTS OF NANO TiO₂ AND NANO BORON NITRIDE (BN) ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD POLYMER COMPOSITES

Abstract- Lignocellulosic materials have made significant contributions to the thermoplastic industry. Wood polymer composites (WPCs) also have an important place in this sector. In this study, the effect of nano boron nitride (BN) and nano titanium dioxide (TiO₂) on mechanical properties of WPCs were evaluated. Polypropylene was used as a polymer matrix. Wood fibers used as filler 10% and 20%, nano-boron and nano-titanium dioxide was used 0.5% and 1%, respectively. It was observed that wood fiber adding to polypropylene have increased bending strength in the all samples. While the tensile strengths of the samples contained nano-titanium dioxide were decreased, the impact resistance of the nano boron contained samples was increased..

Key Words- Wood polymer composites, nano boron nitride, nano titanium dioxide.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ahşap en yaygın ve bol miktarda bulunan düşük maliyetli doğal lif kaynağıdır. Ahşap, uzun süre inşaat ve yapı malzemesi olarak kullanılmış olmasına rağmen, günümüzde mekanik

Bu makale, 4. Uluslararası Mobilya ve Dekorasyon Kongresi'nde sunulmuş ve İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi'nde yayınlanmak üzere seçilmiştir.

özellikleri mühendislik malzemesi olarak kullanımda yetersiz kalmaktadır. Ayrıca odunun içinde bulunan selüloz, hemiselüloz ve ligninden kaynaklanan doğal sakıncaları da bulunmaktadır [1-2]. Ancak, düşük yoğunluğu, kolay işlenebilir olması, doğada kullanıma hazır halde bulunması ve daha iyi performans/maliyet oranı gibi özellikleri odun materyallerini diğer doğal liflerden daha üstün kılmaktadır. Odun lifleri, düşük erime sıcaklığına sahip termoplastik poliolefinlerle birlikte güçlendirme ve dolgu materyali olarak yoğun bir şekilde kullanılmaktadırlar [3]. Genel olarak, dolgu maddesi olarak kullanılan odun unu, kompozitin sertliğini arttırmakta, direnç özelliklerini ise geliştirmemektedir. Doğal lifler ise sertliği arttırmanın yanında direnç özelliklerini de arttırmaktadır. Odun ve diğer lignoselülozik lifler tipik olarak odunun unundan daha yüksek en/boy oranına sahiptir. Ayrıca bu liflerin oranı farklı üretim yöntemlerine bağlı olarak artırılıp azaltılabilir. Kritik lif uzunluğunda gerilme matriksten life aktarılır ve daha güçlü bir kompozit ortaya çıkar. Gerilim, yalnızca matriks ve lif arasındaki bağ iyi olduğunda verimli bir şekilde aktarılır [7].

Bledzki vd., [4] polipropilen (PP), polietilen (PE) ve polivinil klorid (PVC) poliolefinlerini odun lifleri ile desteklemiş ve özelliklerini lif levha (MDF) ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda %55 oranında odun lifi, %45 oranında PP içeren örneklerin eğilme ve çekme dirençlerinin MDF örneklerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrılmış vd., [5] PP ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) etilen ile ürettikleri odun plastik kompozitlerinde uyum sağlayıcı olarak kullandıkları hegzagonal nano borun eğilme direncini ve elastikiyet modülünü arttırdığını bildirmişlerdir. Stark ve Rowlands [6] dört farklı elek kullanarak sınıflandırdığı odun unlarıyla ürettiği odun plastik kompozitlerinde (OPK), en boy oranının artmasıyla eğilme direnci, çekme direnci ve bu dirençlerdeki elastikiyet modüllerinin arttığını bildirmişlerdir. Aynı çalışmada %20 ve %40 oranında odun unu ve odun lifi ayrı ayrı ürettiği OPK'ları karşılaştırmış ve liflerle üretilen kompozitlerin odun unları ile üretilen kompozitlerden daha yüksek performans gösterdiğini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, odun lifleri ve iki farklı nano partikül ile desteklenerek elde edilen odun plastik kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. YÖNTEM (METHOD)

Odun plastik kompozitlerin üretiminde polimer matriks olarak kullanılan polipropilen (EH241) PETKİM Petrokimya Holding AŞ'den temin edilmiş ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Polipropilenin (EH241) genel özellikleri

Özellikler	Değer
Erime akış hızı, g/10 dak (230 °C'de/2.16 kg)	5 to 20
Yoğunluk (g/cm ³)	0.92
Su alma (%)	0.1
İşleme sıcaklığı (°C)	160-170
Çekme direnci (MPa)	35
Elastikiyet modülü (GPa)	1.5
Darbe direnci (kJ/m ²)	2

Dolgu maddesi olarak kullanılan odun lifleri, %50 yapraklı ağaç, %50 iğne yapraklı ağaç odunları kullanıldığı üretim sürecinde Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi AŞ'nin MDF (Medium Density Fiberborad) fabrikasından tutkalsız olarak temin edilmiştir. Odun lifleri temin edildikten sonra 103±2°C sıcaklığa sahip etüvde tam kuru ağırlığa (%0 rutubete) getirilmiştir. Dolgu maddesi olarak kullanılan odun lifleri, toplam karışım ağırlığına oranla %10 ve %20 oranında kullanılmıştır.

Nano partikül olarak kullanılan TiO_2 MK Nano Corporation (Kanada) şirketinden ve bor ise BORTEK® Bor Teknolojileri ve Mekatronik San. Tic. AŞ'den temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan nano partiküller toplam karışım ağırlığına oranla %0,5 ve %1 olarak kullanılmıştır. Odun plastik kompozitlerinin üretiminde kullanılan materyaller ve oranları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan materyaller ve oranları

Dolgu maddesi	Polipropilen Miktarı (gr)	Dolgu Maddesi Miktarı (gr)	Nano malzeme miktarı (gr)	Karışım Ağırlığı (gr)	Nano Malzeme Türü	Örnek Kodu
Odun Lifi	1000	-	-	-	-	Kontrol
	895	100	5	1000	NB	OL1NB0,5
	890	100	10	1000	NB	OL1NB1
	895	100	5	1000	TiO_2	OL1T0,5
	890	100	10	1000	TiO_2	OL1T1
	795	200	5	1000	NB	OL2NB0,5
	790	200	10	1000	NB	OL2NB1
	795	200	5	1000	TiO_2	OL2T0,5
	790	200	10	1000	TiO_2	OL2T1

2.1. Kompozitlerin Hazırlanması (Preparation of composites)

Tablo 2'de türleri ve miktarları verilen materyaller, kapalı kap içerisinde dört kollu mekanik karıştırıcı vasıtasıyla 5 dakika boyunca karıştırılmıştır. Mekanik karıştırma işlemi sonrası kompozitlerin genel görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Mekanik karıştırma sonrası kompozitlerin genel görünümü

Elde edilen bu kompozitler 50 rpm hıza sahip tek vidalı ekstruder vasıtasıyla ekstrüzyon yöntemiyle işleme tabi tutulmuştur. Üretim süreci boyunca ekstruder sıcaklığı $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında, basıncı ise 5- 10 bar olacak şekilde ayarlanmıştır. Ekstruderden çıkan karışım, su ile soğutmaya tabi tutulmuş ve öğütücü vasıtasıyla öğütülerek granül haline getirilmiştir. Granül halinde bulunan karışım, sıcaklığı $103\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan etüvde tam kuru ağırlığa gelinceye kadar (24 saat) bekletilmiştir. Tam kuru ağırlığa ulaşan granül halindeki karışım, mekanik test örneklerinin elde edilmesi için enjeksiyon kalıplama işlemine tabi tutulmuştur. Enjeksiyon kalıplama işlemi sonrası eğilme ve çekme testlerinde kullanılacak örnekler Şekil 2'de gösterilmiştir.

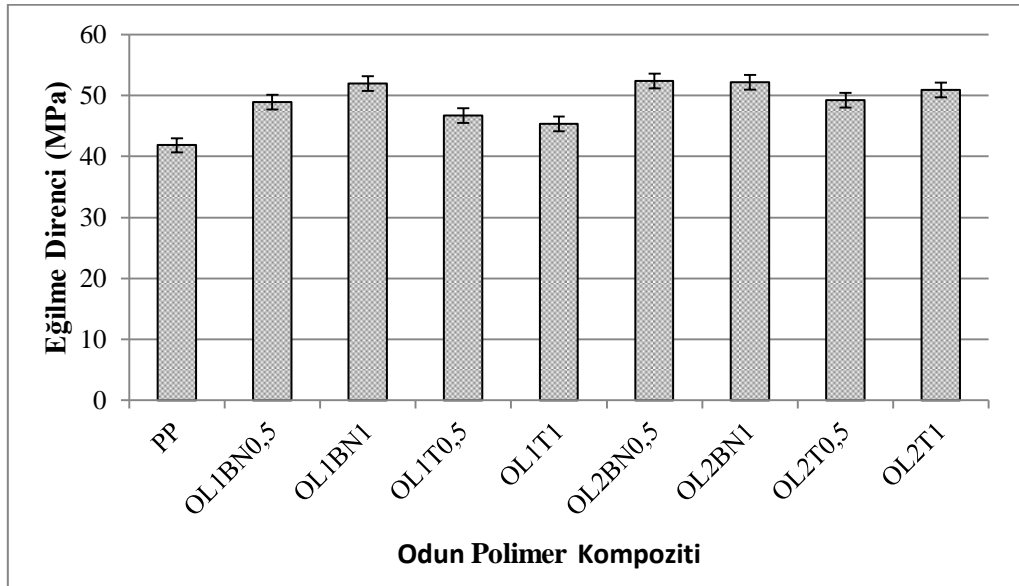


Şekil 2. Çalışmaya ait eğilme ve çekme örnekleri

Elde edilen odun plastik kompozitlerinin eğilme direnci testleri ASTM D 790-03, çekme direnci testleri ise ASTM D 638-03 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Zwick marka test makinasında 5 mm/dak. hızla eğilme ve çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Darbe direnci testleri ise ASTM D 256-06 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR (FINDINGS)

%10 ve %20 oranında odun lifi, %0,5 ve %1 oranında iki farklı nano (TiO_2 ve BN) partikülleri ile üretilen odun plastik kompozitlerinin eğilme direnci incelendiğinde en yüksek dayanım OL2BN0,5 kodlu örneklerde (52,38 MPa) elde edilmiştir. En düşük eğilme direnci değeri PP (kontrol) örneklerinde (41,82 MPa) görülmüştür. Odun lifi oranı %20 olan örnekler genel olarak %10 odun unu içeren örneklerden daha yüksek direnç özellikleri göstermiştir. Eğilme testi sonuçları nano partikül türü olarak incelendiğinde, BN içeren örnekler de daha yüksek dayanım göstermişlerdir.



Şekil 3. Üretilen odun polimer kompozitlere ait eğilme direnci sonuçları

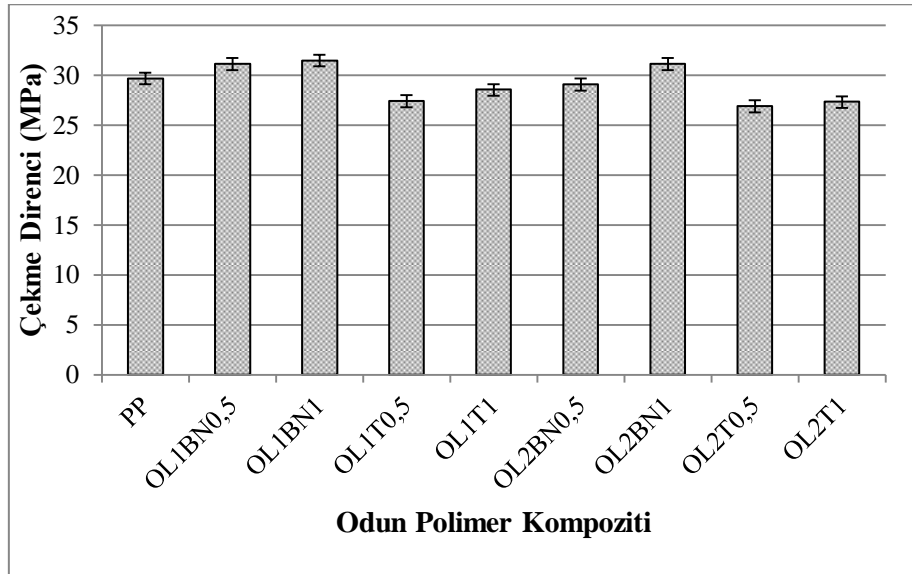
Nano partikül oranı artışları (%0,5'den %1'e) BN içeren örneklerde doğrusal bir artış gösterirken, TiO_2 içeren örneklerde; %10 odun lifli örneklerde düşüşlere, %20 odun lifli örneklerde artışlara neden olmuştur. Şekil 3'te eğilme direnci testi sonuçları verilmiştir. Odun lifi, nano partikül türü ve oranının eğilme direnci üzerine etkisi istatistiksel anlamda

önemli çıkmıştır ($F=61,406$; $P=0.000<0$). Önem derecelerinin belirlenmesi için yapılan Duncan test sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Eğilme direncinde odun lifi oranı, nanopartikül oranı ve türüne ait Duncan testi sonuçları

Örnek Kodu	Eğilme Direnci (N/mm ²)	Gruplar
PP (Kontrol)	41,83	A
CF1T1	45,33	B
CF1T0,5	46,75	C
CF1BN0,5	48,91	D
CF2T0,5	49,21	D
CF2T1	50,94	E
CF1BN1	51,96	EF
CF2BN1	52,18	EF
CF2BN0,5	52,39	G

Çekme direncinde en yüksek değer OL1BN1 kodlu test örneklerinde (31,48 MPa) belirlenmiştir. En düşük değer ise 26,91 MPa ile OL2T0,5 örneklerinde görülmüştür. Şekil 4'te çekme direnci testi sonuçları verilmiştir.



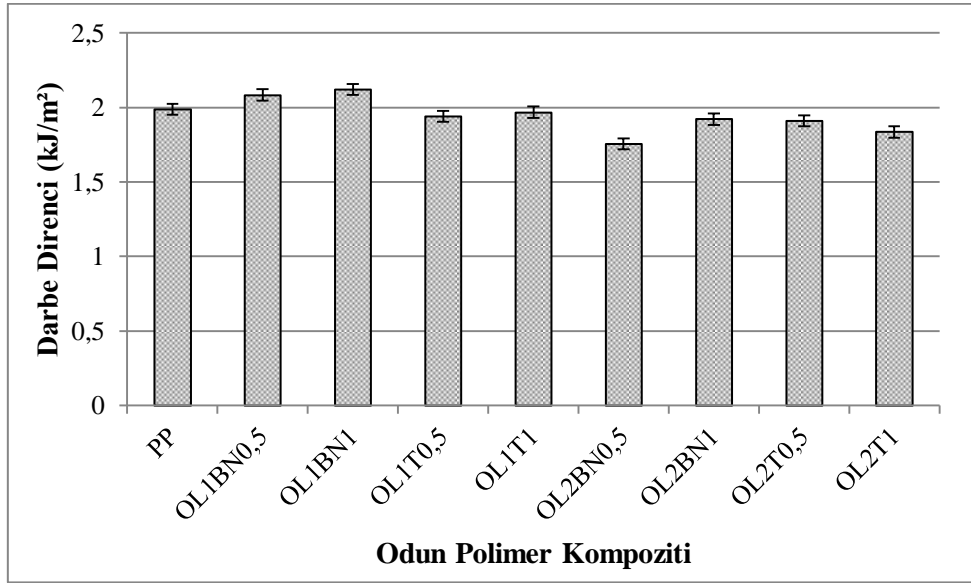
Şekil 4. Üretilen odun polimer kompozitlere ait çekme direnci sonuçları

BN içeren örneklerin genel olarak (OL2BN0,5 hariç) çekme direncini arttırdığını söyleyebiliriz. Odun lifi, nano partikül türü ve nano partikül oranının çekme direnci üzerine etkisi istatistiksel anlamda önemli çıkmıştır ($F=19,453$; $P=0.000<0$). Önem derecesine bağlı olarak oluşan homojenlik grupları Duncan testi ile belirlenmiştir. Çekme direncine ait Duncan testi sonuçları Tablo5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Çekme direncinde odun lifi oranı, nanopartikül oranı ve türüne ait Duncan testi sonuçları

Örnek Kodu	Çekme Direnci (N/mm ²)	Gruplar
OL2T0,5	26,92	A
OL2T1	27,33	A
OL1T0,5	27,43	AB
OL1T1	28,55	BC
OL2BN0,5	29,08	C
PP (Kontrol)	29,6	C
OL1BN0,5	31,13	D
OL2BN1	31,15	D
OL1BN1	31,49	D

Darbe direnci testlerinde kontrol örneklerine göre sadece OL1BN0,5 ve OL1BN1 örneklerinde artışlar görülmüştür. Özellikle odun lifi oranının artması darbe direncini önemli derecede düşürmüştür. NanoTiO₂, diğer mekanik testlerde olduğu gibi darbe direnci testlerinde de düşüşlere neden olmuştur. Şekil 5'te darbe direnci testi sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 5. Üretilen odun polimer kompozitlere ait darbe direnci sonuçları

İstatiksel anlamda odun lifi, nano partikül türü ve nano partikül oranının darbe direnci üzerine etkisi önemsiz ($F=0,805$; $P=0.602>0$) bulunmuştur. %10 odun lifi ve nano bor içeren örneklerin darbe dirençlerinde, kontrol örneklerine oranla yaklaşık %6 oranında bir artış görülmektedir. Bu durum diğer mekanik özelliklerde olduğu gibi PP, odun lifi ve nano borun etkileşiminden/kimyasal bağların oluşmasından kaynaklanabilir. Diğer taraftan diğer bütün örneklerin darbe dirençleri düşmüştür. Özellikle odun lifi oranı %20 olan örneklerde nano bor da etkili olamamıştır.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Nano bor, nano titanyum dioksit ve odun lifi kullanılarak elde edilen odun plastik kompozitlerinin mekanik özelliklerinin incelendiği bu çalışma sonucunda, odun lifi oranı arttıkça eğilme direnci de artmıştır. Nano bor içeren örneklerin eğilme direncindeki artış oranı, titanyum dioksit içeren örneklerden %6,8 daha fazladır. Bu durumun nano borun uyum sağlayıcı özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çekme direnci testlerinde nano bor içeren örneklerden OL2BN0,5 kodlu örnekler hariç diğer bütün örneklerde çekme direnci artmıştır. Diğer taraftan TiO₂ içeren tüm örneklerde ise düşüşler meydana gelmiştir. Çekme direnci testlerinde odun lifi oranından çok, nano malzemelerin etkili olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada kontrol örneklerine oranla %10 ve %20 oranında odun lifi kullanılmıştır. Bu nedenle daha yüksek oranlarda odun lifi kullanılarak yapılacak çalışmalar farklılıklar gösterebilir. Karmarkar vd., [8] odun lifleri ile desteklediği PP kompozitleri incelediği çalışmalarında, farklı oranlarda odun lifi ve uyum sağlayıcı (coupling agent) kullanmışlar ve çekme direnci değerlerinde odun lifi oranının %30'a çıktığında maksimum çekme direncine (35 MPa) ulaştığını bildirmişlerdir. Yine aynı çalışmada uyum sağlayıcı kullanarak maksimum çekme direncine (44 MPa) %50 odun lifi oranında ulaşmıştır.

Odun lifi ve nano malzemelerin darbe direncine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Çekme direncinde olduğu gibi, darbe direncinde de TiO₂ içeren örneklerde düşüşler görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda, odun plastik kompozitlerin üretiminde destek materyallerinin ve uygun uyum sağlayıcıların kullanılması daha etkili sonuçların elde edilmesini sağlayabilir. Nano bor genel olarak tüm özellikleri artırırken, TiO₂ üretilen kompozitlerin sadece eğilme dirençlerine katkı sağlamıştır. Bu nedenle üretilecek kompozitte yüksek olması istenen özelliklere (eğilme direnci, çekme direnci darbe direnci vb.) göre farklı uyum sağlayıcıların kullanılması daha etkili olacaktır.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Stamm, A. J., (1964). Wood and Cellulose Science; The Renold Press Co.: New York.
- [2] Rowell, R. M., Banks, W. B., (1985). Water Repelling and Dimensional Stability of Wood, USDA Forest Service General Technical report FPL,50,FPL, Madison, WI, USA.
- [3] Bledzki, A. K., Faruk, O., and Huque, M., (2002). Physico-mechanical studies of wood fiber reinforced composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 41(3), 435-451.
- [4] Bledzki, A. K., Gassan, J., and Theis, S. (1998). Wood-filled thermoplastic composites. *Mechanics of Composite Materials*, 34(6), 563-568.
- [5] Ayrilmis, N., Dundar, T., Kaymakci, A., Ozdemir, F., Kwon, J. H., (2014). Mechanical and thermal properties of wood-plastic composites reinforced with hexagonal boron nitride. *Polymer composites*, 35(1), 194-200.
- [6] Stark, N. M., Rowlands, R. E., (2007). Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood and Fiber Science*, 35(2), 167-174.
- [7] Osswald, T. A., (1999). Fundamental principles of polymer composites: processing and design. Proceeding of 5th International Conference on Wood Fiber-Plastic Composites, Madison, WI, USA.
- [8] Karmarkar, A., Chauhan, S.S., Modak, J.M. and Chanda, M., (2007). Mechanical properties of wood-fiber reinforced polypropylene composites: Effect of a novel compatibilizer with isocyanate functional group. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(2), 227-233.