

Nano Partiküllü Hegzagonal Bor Nitrür'ün Ağaç Malzemenin Mekanik Özelliklerine Etkileri

Şekip Şadiye Yaşar^{1,*}, Mehmet Irkilata², Mehmet Yaşar³, Selim Şen⁴

^{1,3}Afyon Kocatepe Üniversitesi, Dinar UBYO, Endüstriyel Tasarım Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Teknik Bilimleri MYO, Tasarım Bölümü, Elâzığ, Türkiye

⁴Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane MYO, Ormanlık Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 05.07.2024

Kabul: 25.11.2024

Yayın: 25.12.2024

Araştırma Makalesi



Öz – Bu çalışma nano boyutlu Hegzagonal Bor Nitrür (h-BN) emdirmenin sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* M.) ve Doğu ladini (*Picea orientalis*) odunlarının elastikiyet modülü (ISO 13061-4) ve eğilme direnci (ISO 13061-3) üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlanmıştır. %1,5 konsantrasyonda nano boyutlu h-BN ile emprenye edilen sarıçam en yüksek tutma değerleri göstermiştir. h-BN ile emprenye, tüm ağaç türlerinde %1,5 ile %5 arasında değişen yoğunluk değerinde artış olmuştur. Emprenye işlemi, tüm ağaç türleri için eğilme direnci değerlerinde bir düşüşe neden olmuştur. Kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında, h-BN uygulaması sonrası eğilme direnci değerleri sarıçamda %25, ladinde %18.5 ve kestanede %9 azalmıştır. En düşük eğilme direnci değeri Ladin + h-BN'de (58,1 N/mm²), en yüksek Kestane kontrol örneklerinde (89,6 N/mm²) elde edilmiştir. Retensiyon değeri daha düşük olan kestane ağacı, elastikiyet açısından değişken değerler göstermiştir. Emprenye işlemi, elastikiyet modül değerlerinde sarıçamda %18, ladinde %1 oranında azalmaya neden olurken, kestanede artışa neden olmuştur. En düşük elastikiyet modülü değeri Sarıçam+h-BN'de (8530 MPa), en yüksek Sarıçam kontrol örneklerinde (10444 MPa) bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler – Ağaç malzeme, eğilme direnci, elastikiyet modülü, emprenye, nano hegzagonal bor nitrür

Effects of Nanoparticle Hexagonal Boron Nitride on the Mechanical Properties of Wood Materials

^{1,3}Afyon Kocatepe University, Dinar School of Applied Sciences, Department of Industrial Design, Afyonkarahisar, Türkiye

²Fırat University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Design, Elazığ, Türkiye

⁴Gumushane University, Vocational School of Gumushane, Department of Forestry, Gumushane, Türkiye

Article History

Received: 05.07.2024


Accepted: 25.11.2024

Published: 25.12.2024


Research Article

Abstract – This study aims to investigate the effects of nano-sized Hexagonal Boron Nitride (h-BN) impregnation on the modulus of elasticity (ISO 13061-4) and bending strength (ISO 13061-3) of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Anatolian chestnut (*Castanea sativa* M.) and Oriental spruce (*Picea orientalis*) wood. Scots pine impregnated with Nano-sized Hexagonal Boron Nitride (h-BN) at 1.5% concentration showed the highest retention values. Impregnation with h-BN led to an increase in density values ranging from 1.5% to 5% in all wood species. The impregnation process caused a decrease in bending strength for all types of wood. Compared to control samples, h-BN treatment reduced bending strength by 25% in Scots pine, 18.5% in spruce and 9% in chestnut wood. The lowest bending strength value was obtained in Spruce + h-BN (58.1 N/mm²), the highest in Chestnut control samples (89.6 N/mm²). Chestnut wood, which has a lower retention value, has shown variable values in terms of modulus of elasticity. The impregnation process caused a decrease in the modulus of elasticity values by 18% in Scots pine and 1% in spruce, while it caused an increase in chestnut. The lowest modulus of elasticity value was found in Scots Pine+h-BN (8530 MPa), the highest in Scots Pine control samples (10444 MPa).

Keywords – Wood material, bending strength, modulus of elasticity, impregnation, nano hexagonal boron nitride

¹  ssyasar@aku.edu.tr

²  mirkilata@firat.edu.tr

³  myasar@aku.edu.tr

⁴  selimsen@aku.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Ahşap kolayca işlenebilir, doğal, hafif, dayanıklı, ısı-ses yalıtımı, geniş desen çeşitliliği, estetik görünüşü, sıcaklığı ve sürdürülebilir bir kaynak olmasından dolayı barınaklardan, evlere, araç gereçlerden, makinelere, teknelerden mobilyalara kadar birçok ürünün imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kurtoğlu, 2000; Archer ve Lebow, 2006). Anatomik ve kimyasal yapıları nedeniyle belirli etkenlere karşı doğal dirençlerine rağmen, belirli uygulamalarda ahşap malzeme uzun süreli dayanım sağlamaz (Usta, 1993).

Ahşap, su buharına maruz kaldığında anizotropik ve higroskopik özelliklerinden dolayı boyutsal değişikliklere uğrar. Yıllar geçtikçe, ahşap malzemeleri farklı ortamlarda korumak için çeşitli koruyucu önlemler geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Yapılan arkeolojik kazılar ahşabı yakmanın (dış yüzeyin kömürleştirilmesi) ve bitkisel, hayvansal ve mineral yağların kullanılmasının, ahşabı çevresel unsurlardan, termitlerden, böceklerden, deniz organizmalarından ve mantarlardan korumak için yaygın uygulamalar olduğunu göstermiştir. Teknolojinin ilerlemesi ve ahşabın tekrar yorumlanıp (modifikasyon vb.) bazı özelliklerinin geliştirilmesiyle elde edilen yeni ürünlerde, mobilya, iç mimari ve yapı sektörlerinde önemli fırsatlar sunmaktadır ve aynı zamanda doğal ahşap tüketim oranında bir miktar azalmaya katkıda bulunmaktadır (Kurtoğlu, 1984; Evans vd., 1992; Hon ve Shiraishi, 2001; Yaşar ve Altunok, 2019).

Ahşap koruyucuları malzemeyi açık hava koşulları, yanma, biyolojik zararlılar, mekanik, kimyasal ve fiziksel bozulmalardan korur. Ahşap malzemelerin özelliklerini daha kullanışlı hale getirmek amacıyla yapılan araştırmalardan elde edilen yöntemlere "Odun Modifikasyonu Metotları" denilmektedir. Ahşap malzemenin kullanım süresini artırmak için koruyucu maddelerle emprenye edilmesi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Sandberg vd., 2017). Emprenye farklı koruyucuların ahşabın içerisine basınç ve vakum gibi çeşitli teknikler kullanılarak emdirilmesiyle gerçekleştirilir. Emprenye uygulamasını ahşap malzemenin özellikleri, akışkanların geçiş yolları, geçit yapısı, emprenye yöntemi, kullanılan maddenin dayanıklılığı, etkinliği ve çevresel zararlılık seviyesi gibi faktörler etkilemektedir (Bozkurt vd., 1993; URL-1, 2017).

Günümüzde ahşap koruyucuların sadece ortam koşullarına dayanıklı, iyi tutunma özelliklerine (retensiyon) sahip ve etkili olması değil, aynı zamanda çevre dostu ve insan sağlığı açısından güvenli olması da beklenmektedir (Yaşar vd., 2017; Perçin ve Atar, 2018). Çevre Koruma Ajansı (EPA), çevreye zararları nedeniyle özellikle arsenik, pentaklorofenol ve kreozot için hafifletici önlemler olarak etiket değişikliklerinin yapılmasını önermiştir (URL-1, 2017).

Nanoteknoloji, geliştirilmiş özelliklere sahip yeni ve benzersiz metal biyositlerin oluşturulması yoluyla ahşap koruma alanında büyük bir potansiyele sahiptir (Aydemir vd., 2016). Nanopartiküllerin, ahşap liflerindeki boşlukları doldurarak koruyuculuğu artırabileceği düşünülmektedir (Taghiyari vd., 2012; Akhtari ve Arefkhani, 2013; Moon vd., 2016; Gümüş vd., 2020).

Hegzagonal bor nitrürün (HBN) ısıl işlem görmüş ahşabın termal kararlılığı ve mekanik özellikleri (eğilme direnci/elastikiyet modülü) üzerindeki etkileri incelenmiştir. HBN elastikiyet modülü ve eğilme direnci özelliklerinde farklılaşan sonuçlar çıkarmıştır. Sarıçam kontrol ve ısıl işlem görmüş İroko hariç tüm örneklerde elastikiyet modülü değerleri olumsuz etkilenmiştir (Aydemir vd., 2016). Bakır ve bor ile zenginleştirilmiş ahşap koruyucular, emprenye işlemlerinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılan deneylerde, bu koruyucuların mantar ve termitler gibi biyolojik bozucu organizmalar ve yanmaya karşı ahşap malzemelerin kullanım ömrünü uzattığı görülmüştür (Kartal vd., 2009; Adanur vd., 2017; Gan vd., 2020).

Nano boyutlu Hegzagonal Bor Nitrür'ün boşluklara daha iyi nüfus ederek yapısal sertlik ve boyutsal stabilitenin gerekli olduğu uygulamalarda ahşabın dayanıklılığını artırma potansiyeli incelenmiştir. Bu amaçlarda sarıçam (*Pinus sylvetris* L.), Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* M.) ve Doğu ladini (*Picea orientalis*) odunlarına %1,5 konsantrasyonda h-BN emprenye edilmiş yoğunluk, elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada yaygın olarak kullanılan iğne yapraklı ağaç türlerinden Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Doğu ladini (*Picea orientalis*) ve yapraklı ağaç türlerinden Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* M.) kullanılmıştır. Deneylede kullanılan birinci sınıf keresteler Elâzığ Keresteciler Sanayi'nden rastgele yöntemlerle seçilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 2000; Örs ve Keskin, 2001).

Çalışmada kullanılan hekzagonal bor nitrür %99,85 saflık ve 65-75 nm boyutlarında Nano grafit Nano Tek. Bil. İmalat ve Dan. Ltd Şti firmasından temin edilmiştir.

Emprenye uygulaması Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane MYO Laboratuvarında ASTM-D 1413-07 (2007), standardına uygun olarak yapılmıştır. Emprenye malzemesi, nano h-BN'nin %1,5 konsantrasyonlu sulu karışım içerisinde çözülmesiyle hazırlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Emprenye kazanının deney esnasındaki görünümü

Emprenye uygulamasında ağaç türlerine göre Tablo 1'de gösterilen farklı sürelerle ön vakum ve basınç uygulanmıştır. Ön vakum ve basınç sonrasında 60 cm Hg⁻¹'ya eşdeğer 30 dk. süreyle son vakum uygulanmıştır (Bozkurt vd., 1993; Şen, 2001).

Tablo 1.

Ağaç türlerinin ön vakum- basınç süreleri

Ağaç Türü	Ön vakum (dakika)	Basınç (dakika)
Anadolu Kestanesi	120	240
Sarıçam	30	60
Doğu Ladini	120	240

Emprenye edilen örnekler; çözücünün buharlaşması için, iklimlendirme odasında 20±2°C sıcaklık ve %65±5 bağıl nemde değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletilmiştir. Emprenye uygulaması yapılırken h-BN'nin retensiyon oranını ölçmek için numuneler emprenyeden önce ve sonra hassas terazi ile tartılmış ve pH metre (Hanna HI 2211 model ph metre) ile ölçümü yapılmıştır. Retensiyon miktarı ve retensiyon oranı sırasıyla eşitlik 2.1'deki şekilde hesaplanmıştır.

$$R = \left[\frac{G.C}{V} \right] \times 10(kg/m^3) \quad (2.1)$$

eşitliğiyle retensiyon miktarı bulunmuştur. Burada;

$$G: M_2 - M_1 (g) \quad (2.1)$$

M₁: Emprenyeden önce örneklerin ağırlığı (g)

M₂: Emprenyeden sonra örneklerin ağırlığı

V: Örnek hacmi (cm³)

C: h-BN konsantrasyonu (%)

$$R: (M_{os}-M_o)/M_o * 100 (\%) \quad (2.1)$$

eşitliğiyle retensiyon oranı bulunmuştur. Burada;

M_{os} : Tam kuru ağırlık (emprenyeden sonra) (g)

M_o : Tam kuru ağırlık (emprenyeden önce) (g)

2.1. Hava Kurusu Yoğunluk

Fiziksel özelliklerin belirlenmesinde kullanılan ahşap örnekler ISO 13061–1 (2021) standardına göre 20 x 20 x 30 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Hava kurusu yoğunluğu belirlemek için örnekler %65±5 bağıl nem ve 20±2°C sıcaklıkta saklanmış, boyutsal stabilizeye ulaştıktan sonra, ±0.01 mm hassasiyetli kumpas ve analitik terazi ile ölçümler yapılmıştır. Hacimleri belirlendikten sonra hava kurusu haldeki ağırlık (M_3), hacim (V_3) ve yoğunluk (D_3) değerleri aşağıdaki eşitlik 2.2’de görüldüğü şekilde hesaplanmıştır.

$$D_3 = \frac{M_3}{V_3} (\text{g/cm}^3) \quad (2.2)$$

Burada;

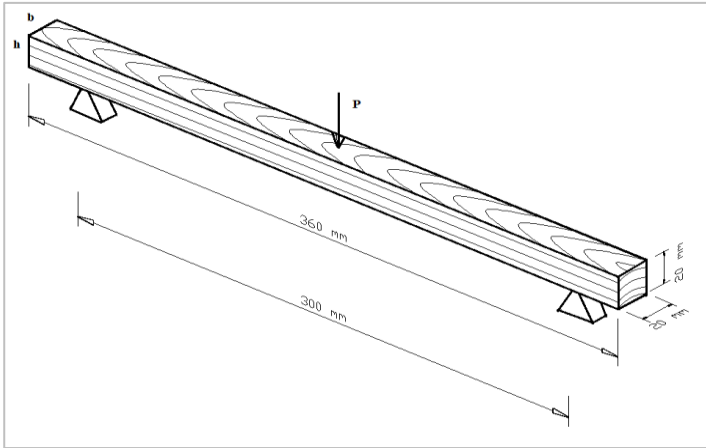
M_3 : Örneklerin ağırlığı (g)

V_3 : Örnek hacmi (cm^3)

D_3 : Hava kurusu yoğunluk

2.2. Mekanik Özellikler

Mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan ahşap malzemeler Şekil 2’de gösterildiği gibi ISO 13061-3 eğilme direnci (2021) ve ISO 13061–4 elastikiyet modülü (2021) standartlarına göre 20 x 20 x 360 mm boyutlarında hazırlanmıştır.



Şekil 2. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü örneği

Mekanik testler Şekil 3’de gösterildiği gibi Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane MYO Laboratuvarı’nda Zwick Z050 Ünlversal test cihazı ile yapılmıştır. Kırılma anındaki kuvvet (P_{max}) okunmuş ve eğilme direnci (σ_E), aşağıdaki eşitlik 2.3’e göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_E = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{max} \cdot L}{b \cdot h^2} (\text{N/mm}^2) \quad (2.3)$$

Burada;

P_{max} : Kırılma anında uygulanan yük (N)

L: Dayanak noktaları açıklığı (mm)

b: Örneklerin eni (dik, mm)

h: Örneklerin kalınlığı (teğet, mm)’dir.



Şekil 3. Eğilme direnci deneyi

Elastik deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet farkı (ΔF) için numunedeki sehimler arasındaki fark (Δf) yardımı ile elastiklik modülü (E) aşağıdaki eşitlik 2.4'e göre hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\Delta F \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta f} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2.4)$$

Burada;

ΔF : Deformasyon bölgesinde yüklemenin alt ve üst limitlerinin aritmetik ortalamaları arasındaki farka eşit kuvvet (N)

L: Dayanak noktaları açıklığı (mm)

Δf : Net eğilme alanındaki sehim, yüklemenin alt ve üst limitlerinde ölçülen sehimlere ait sonuçların aritmetik ortalamaları arasındaki fark (mm)

b: Örneklerin eni (dik, mm)

h: Örneklerin kalınlığı (teğet, mm)'dir.

2.3. Veri Analizi

Çalışmada standart sapmalar, homojenlik grupları, yüzde (%) değişim oranları, ortalamalar ve varyans analizi SPSS 22.0 (2013) istatistik programı kullanılarak belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Nano boyuttaki h-BN'nin konsantrasyonu ve pH değeri Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2

h-BN konsantrasyonu ve pH değeri

	h-BN
Çözelti konsantrasyon (%)	1,5
Emprenye Öncesi pH	8,9
Emprenye Sonrası pH	8,37

Literatürde yapılan incelemelerle nano h-BN konsantrasyonu %1,5 olarak seçilmiştir (Aydemir vd., 2016; Karaman vd., 2019). Emprenyeden önce ve sonra pH olarak önemli bir değişim olmamıştır. Nano boyuttaki h-BN'nin retensiyon oranı ve miktarı Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3

Ağaç türlerine göre retensiyon değerleri

Ağaç Türü	R (kg/m ³)	R (%)
Kestane	85	7,8
Sarıçam	145	14
Ladin	106,4	10,6

Retensiyon miktarları Sarıçamda 145 kg/m^3 , Ladinde $106,4 \text{ kg/m}^3$ ve Kestanede 85 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Kestane odununun yüksek tül oluşumu geçirgenlik oranında düşüşe sebep olabilir. Sarıçam odununun yüksek geçirgenlik kabiliyeti retensiyon oranını arttırmıştır (Bozkurt ve Erdin, 1990; Bozkurt vd., 1993; Örs vd., 1999).

3.1. Hava Kuru Yoğunluk

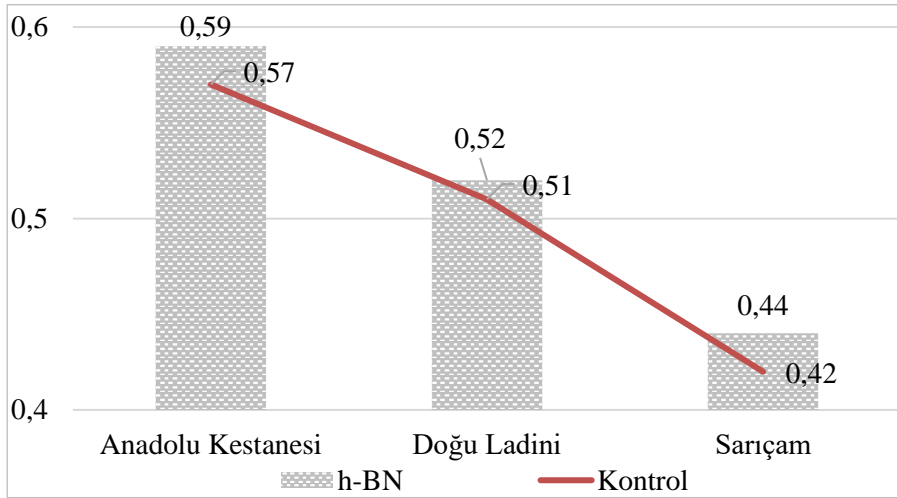
Ağaç türü - emprenye uygulamasına göre hava kuru değerleri Tablo 4’de yer almaktadır (Şekil 5).

Tablo 4

Ağaç Türü - Emprenye Uygulaması etkileşiminde yoğunluk değerleri

Ağaç Türü	Emprenye Uygulaması	Yoğunluk (g/cm^3)
Kestane	h-BN	0,59
	Kontrol	0,57
Sarıçam	h-BN	0,44
	Kontrol	0,42
Ladin	h-BN	0,52
	Kontrol	0,51

Hava kuru yoğunluğu en yüksek Kestane + h-BN’ de ($0,59 \text{ g/cm}^3$), en düşük Ladin kontrol ($0,42 \text{ g/cm}^3$) örneklerinde elde edilmiştir. Buna paralel olarak ağaç türü bakımından en yüksek Sarıçam, en düşük Ladinde değerler görülmüştür. h-BN’ yoğunluk değerlerini arttırmıştır. h-BN % 1,5-5 arasında yoğunluk artışına neden olmuştur (Bozkurt ve Erdin, 1990; Kretschmann 2010; Yaşar, 2014).



Şekil 5. Ağaç türü - Emprenye Uygulaması etkileşiminde hava kuru yoğunluk (g/cm^3)

3.2. Eğilme Direnci

Tüm faktörlerin eğilme direncine etkisi Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 5

Eğilme direnci varyans analizi

Faktör	Karelerin Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	P
Ağaç (A)	6585,518	2	3292,759	44,585	,000*
Emprenye (B)	4517,042	1	4517,042	61,162	,000*
A + B	672,283	2	336,141	4,551	,013*
Hata	6203,676	84	73,853		
Toplam	17978,518	89			

df: Serbestlik derecesi, *: P değeri $\leq 0,05$ de anlamlı

Ağaç türü - Emprenye Uygulamasına göre tüm etkileşimler anlamlı bulunmuştur. Ağaç türü - Emprenye uygulaması arasındaki farklılıklar Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8 de verilmiştir (Şekil 6).

Tablo 6

Ağaç türüne göre eğilme direnci (N/mm²)

Ağaç	X _{ort}	HG	%95 Güven sınırı	
			Alt	Alt
Kestane	85,5	A	82,4	82,4
Ladin	65,7	C	61,6	61,6
Sarıçam	73,3	B	70,2	70,2

Std. Error: 1,569, X_{ort}: Ortalama değer, HG: Homojenlik grupları

Eğilme direnci ağaç türüne göre en yüksek Kestane ve en düşük Ladinde bulunmuştur.

Tablo 7

Emprenye uygulamasına göre eğilme direnci

Emprenye	X _{ort}	HG	%95 Güven sınırı	
			Alt	Alt
h-BN	67,4	C	64,9	70
Kontrol	81,6	A	79,1	84,1

Std. Error: 1,281, X_{ort}: Ortalama değer, HG: Homojenlik grupları

Emprenye uygulamasına göre eğilme direnci en düşük h-BN uygulamasında (67,4 N/mm²) bulunmuştur.

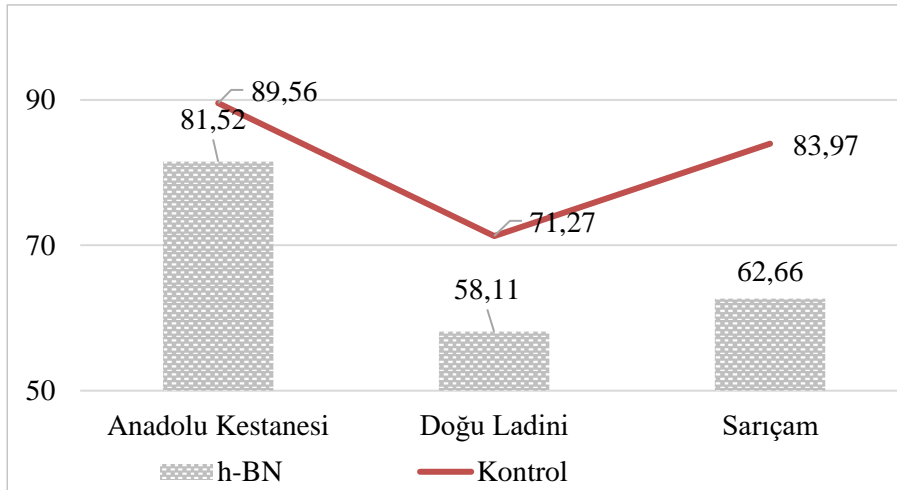
Tablo 8

Ağaç Türü- Emprenye Uygulaması etkileşimi eğilme direnci

Faktör	Eğilme Direnci (N/mm ²)					
	Ağaç Türü	Emprenye Uygulaması	X _{ort}	HG	Sd	N
Kestane		h-BN	81,5	A	7,2	15
		Kontrol	89,6	A	15,08	15
Ladin		h-BN	58,1	C	5,02	15
		Kontrol	71,3	B	5,46	15
Sarıçam		h-BN	62,6	C	9,45	15
		Kontrol	84	A	4,43	15

Std. Error: 2,219, Sd: Stand. D., HG: Homojenlik grup N: Ölçüm sayısı

Ağaç türü- Emprenye uygulaması etkileşiminde en düşük eğilme direnci Ladin +h-BN'de (58,1 N/mm²), en yüksek Kestane kontrol örneklerde (89,6 N/mm²) bulunmuştur. Benzer çalışmalar da nano partiküller ve h-BN emdirme ile eğilme direnci değerlerinde azalmalar görülmüştür (Simsek vd., 2013; Ayrılmis vd., 2014; Aydemir vd., 2016). Nano partiküllerin belirli bir homojenlikte dağılamaması mekanik özelliklerde düşüşe sebep olabilir (Ashori, 2012; Askerden vd., 2023).

Şekil 6. Ağaç türü - Emprenye Uygulaması etkileşimi eğilme direnci (N/mm²)

3.3. Elastikiyet Modülü

Elastikiyet modülüne faktörlerin etkisi Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9

Elastikiyet modülü varyans analizi

Faktör	Karelerin Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	P
Ağaç (A)	21455175,556	2	10727587,778	5,922	,004*
Emprenye (B)	6405334,444	1	6405334,444	3,536	,064
A + B	22168708,889	2	11084354,444	6,119	,003*
Hata	152165013,333	84	1811488,254		
Toplam	202194232,222	89			

df: Serbestlik derecesi, *: P değeri $\leq 0,05$ de anlamlı

Ağaç türünün tekli ve ikili etkileşimi anlamlı bulunmuştur. Ağaç türü ve emprenye türüne göre ortalama değerler Tablo 10 ve 11’de yer almaktadır.

Tablo 10

Ağaç türüne göre elastikiyet modülü (MPa)

Ağaç	X_{ort}	HG	%95 Güven sınırı	
			Alt	Alt
Kestane	9735,3	A	9246,7	10224
Ladin	8598	B	8109,3	9086,7
Sarıçam	9487	AB	8998,3	9975,7

Std. Error: 245,729, X_{ort} : Ortalama değer, HG: Homojenlik grupları

Elastikiyet modülü değeri ağaç türlerine göre en düşük Ladinde ve en yüksek Kestanede bulunmuştur. Basınç odunu (yumuşak ağaçlar) içeriğinin yüksek olması Sarıçam ve Ladin’in MOE değerlerini de düşürmektedir (Thelandersson ve Larsen 2003).

Tablo 11

Emprenye uygulamasına göre eğilmede elastikiyet modülü (MPa)

Emprenye	X_{ort}	HG	%95 Güven sınırı	
			Alt	Alt
h-BN	9006,7	AB	8607,7	9405,7
Kontrol	9540,2	A	9141,2	9939,2

Std. Error: 200,637, X_{ort} : Ortalama değer, HG: Homojenlik grupları

Elastikiyet modülü değeri emprenye türüne göre en yüksek kontrol değerlerinde elde edilmiştir. Emprenye + ağaç ikili etkileşimine göre elastikiyet değerleri arasındaki farklılıklar Tablo 12’de buna ait grafikte Şekil 7’de verilmektedir.

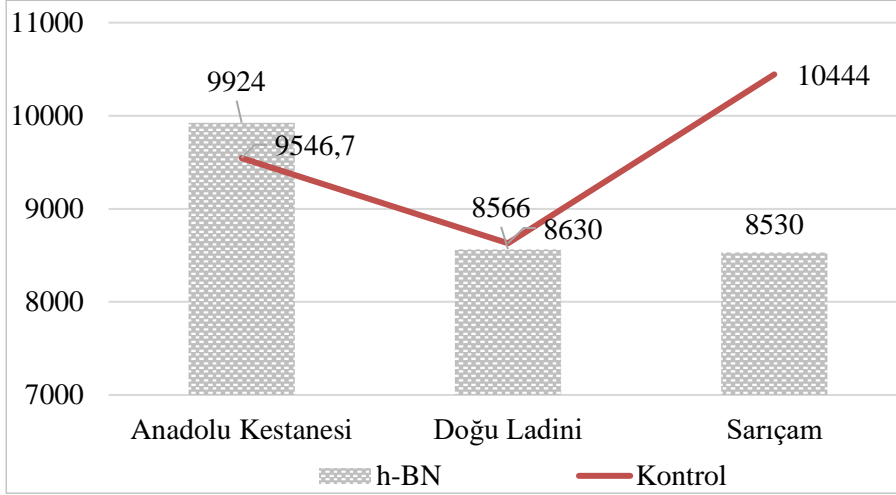
Tablo 12

Ağaç Türü - Emprenye Uygulaması etkileşimi elastikiyet modülü değerleri (MPa)

Faktör	Elastikiyet Modülü (MPa)					
	Ağaç	İşlem	X_{ort}	HG	Sd	N
Kestane		h-BN	9924	A	1214,26	15
		Kontrol	9546,7	AB	1397,83	15
Ladin		h-BN	8566	B	746,12	15
		Kontrol	8630	B	1313,94	15
Sarıçam		h-BN	8530	B	1814,38	15
		Kontrol	10444	A	1365,82	15

Std. Error: 347,514, Sd: Stand. D., HG: Homojenlik grup N: Ölçüm sayısı

Ağaç türü - Emprenye Uygulaması etkileşiminde en düşük elastikiyet modülü değeri Sarıçam +h-BN'de (8530 MPa), en yüksek Sarıçam kontrol örneklerinde (10444 MPa) bulunmuştur. Nano boyuttaki Bor Nitrid benzer çalışmalara paralel şekilde elastikiyet modülü değerlerini kestane odunu haricinde düşürmüştür (Karaman vd., 2019).



Şekil 7. Ağaç Türü- Emprenye Uygulaması etkileşimine göre elastikiyet modülü

Elastikiyet modülü en düşük Sarıçam + h-BN'de, en yüksek Sarıçam+kontrol örneklerinde bulunmuştur. Aydemir vd., (2016) çalışmasında hegzagonal bor nitrid'ün üç ağaç türünün elastikiyet değerlerine etkisini incelemiştir. Sadece sarıçam+kontrol ve iroko+ısıtılmış işlem'de değerlerini yükseltirken diğerlerinde tam tersi sonuçlar elde edilmiştir. Ağaç türlerinin yoğunluk değerleri elastikiyet ve eğilme direnci üzerinde etkilidir. Düşük yoğunluktaki ağaçlarda (özellikle iğne yapraklı-yumuşak ağaç türleri) elastikiyet değerleri de düşüktür (Kretschmann 2010). Kullanılan h-BN'de elastikiyet değerlerini etkilemiştir. Kestane odununa h-BN nüfus oranının düşük olması ve bu ağaç türünün yüksek miktarda tanen ihtiva etmesi farklılaşmanın sebebi olarak düşünülebilir (Kollmann ve Cote, 1968; Malkoçoğlu, 1994; Bozkurt ve Erdin, 1995; Bektaş vd., 2002; Pizzi, 2008; Gündüz vd., 2011; Bal ve Bektaş, 2018).

4. Sonuçlar

Bu çalışmada nano boyutlu Hegzagonal Bor Nitrid'ün ahşabın, yapısal bileşenler, yük taşıyıcı elemanlar veya inşaatta özel döşemeler gibi gelişmiş sertlik ve boyutsal stabilitenin gerekli olduğu uygulamalarda nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Sarıçam, Doğu ladini ve Anadolu kestanesi odunları uygun standartlara göre boyutlandırılmış ve ardından %1,5 konsantrasyonda nano h-BN ile emprenye edilmiştir. Daha sonra retensiyon değerleri, yoğunluk, elastikiyet modülü ve eğilme direnci incelenmiştir. Ahşap malzemelerin nano h-BN ile emprenye edilmesi, yoğunluğun artmasına ve eğilme mukavemeti ve elastikiyet modülü gibi mekanik özelliklerde değişikliklere neden olmuştur. Eğilme mukavemetinde gözlenen azalma nedeniyle, h-BN ile işlenmiş ahşap, mobilya yapımı veya dış mekan zemin kaplaması gibi yüksek esneklik veya darbe direnci gerektiren uygulamalar için uygun olmayabilir.

Diğer ağaç türlerinin aksine Anadolu kestanesinin h-BN emdirildikten sonra daha yüksek bir elastikiyet modülüne sahip olması mekanik performans açısından araştırılması gereken bir potansiyel sunmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, yoğunluk, eğilme mukavemeti ve elastikiyet arasındaki dengeyi optimize etmek için farklı h-BN emprenye konsantrasyonlarını araştırmalıdır. Bu malzemelerin değişen çevresel koşullara uzun süre maruz kaldıklarında nasıl davrandıklarını anlamak, dış mekan uygulamalarında yaşayabilirliklerini değerlendirmek için çok önemli olacaktır.

Tesekkür

Bu çalışma, Mehmet İRKILATA tarafından 2014 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Dr. Öğr. Üyesi Şekip Şadiye YAŞAR'ın danışmanlığında hazırlanan yüksek lisans tezinin bir kısmından oluşturulmuştur.

Yazar Katkıları

Şekip Şadiye Yaşar: Analizi planlamış ve tasarlamıştır.

Mehmet İrkılata: Veri toplamış ve analizini yapmıştır.

Mehmet Yaşar: Çalışmanın istatistiksel analizlerini yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Selim Şen: Çalışmanın deney örneklerinin emprenye işleminde katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Adanur, H., Fidan, M.S. and Yasar, S.S. (2017). The technological properties of oriental beech (*Fagus orientalis L.*) impregnated with boron compounds and natural materials, *BioResources*, 12(1), 1647–1661.
- Akhtari, M. and Arefkhani, M. (2013). Study of Microscopy Properties of Wood Impregnated with Nanoparticles during Exposed to White-Rot Fungus, *Agriculture Science Developments*, 2(11), 116-119,
- Archer, K. and Lebow, S. (2006). *Wood preservation*, Wood Process. Princ. Pract., pp: 297-338.
- Ashori, A. (2013). Effects of nanoparticles on the mechanical properties of rice straw/polypropylene composites. *Journal of Composite Materials*, 47(2), 149-154. <https://doi.org/10.1177/0021998312437234>
- Askerden, M. K., Akdemir, A., Karabörk, F. and Yazman, Ş. (2023). Nano Çinko Oksit Partikül Katılan Epoksi Kaplamaların Mekanik ve Antikorozif Özelliklerinin İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 28(1), 11-24. <https://doi.org/10.17482/uumfd.1204841>
- ASTM-D 1413-07. (2007). Standard Test Method of Testing Wood Preservatives by Laboratory Soilblock Cultures, *ASTM*, USA, 1-9.
- Aydemir, D., Civi, B., Alsan M., Can., A., Sivrikaya, H., Gunduz, G. and Wang., A. (2016). Mechanical, Morphological and Thermal Properties of Nano-Boron Nitride Treated Wood Materials, *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 18(1), 19-32. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000003>
- Ayrılmis, N., Dundar, T., Kaymakci, A., Ozdemir, F., and Kwon, J. H. (2014). Mechanical and Thermal Properties of Wood-Plastic Composites Reinforced With Hexagonal Boron Nitride. *Polymer composites*, 35(1), 194-200. <https://doi.org/10.1002/pc.22650>
- Bal, B.C. ve Bektaş, İ. (2018). Kayın ve kavak odunlarında fiziksel özelliklerle yoğunluk ilişkisinin belirlenmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1 (1), 1-10.
- Bektaş, İ., Güler, C. and Baştürk, M.A. (2002). Principal mechanical properties of eastern beech wood (*Fagus orientalis L.*) naturally grown in Andırın northeastern mediterranean region of Turkey, *Turk J Agric For*, 26, 147–154.
- Bozkurt, Y. ve Erdin, N. (1990). Ticarete kullanılan ağaçlarda fiziksel ve mekanik özellikler, *İ.Ü., Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 40, 1. s. 6-24.
- Bozkurt, Y. ve Erdin, N. (1995). Yoğunluk ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiler, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 45(2), 11-34.
- Bozkurt, Y. ve Erdin, N. (2000). *Odun anatomisi*, İ.Ü. Orman Fak., Dilek Matbaası, İstanbul, 466:360.
- Bozkurt, Y., Göker, Y. ve Erdin, N., (1993). *Emprenye tekniği*, İ.Ü.Orman Fak. Yayınları, İstanbul, 3779 (425) :125, 135.
- Evans, P.D., Michell, A.J. and Schmalzl, K. (1992). Studies of the degradation and protection of wood surfaces, *Wood Sci. Technol.*, 26: 151-163.

- Gan, W., Chen, C., Wang, Z., Pei, Y., Ping, W., Xiao, S., Dai, J., Yao, Y., He, S., Zhao, B., Das, S., Yang, B., Sunderland, P. B. and Hu, L. (2020). Fire-Resistant Structural Material Enabled by an Anisotropic Thermally Conductive Hexagonal Boron Nitride Coating. *Adv. Funct. Mater.* 30, 1909196, 1–9. <https://doi.org/10.1002/adfm.201909196>
- Gümüş H., Aydemir D., Altuntas E., Kurt R. ve Imren E. (2020). Selüloz nanofibriller ve nano ölçekli titanyum dioksit takviyeli biyopolimer nanokompozitler: Çok kriterli karar verme yöntemleri ile en iyi nanokompozitlerin seçilmesi. *Kompozit Malzemeler Dergisi* 54(7): 923-935. <https://doi.org/10.1177/0021998319870842>
- Gündüz, G., Aydemir, D. and Akgün, K. (2011). The effects of tannin and thermal treatment on physical and mechanical properties of laminated chestnut wood composites. *BioResources*, 6(2), 1543-1555. <http://doi.org/10.15376/biores.6.2.1543-1555>
- Hon, D.N.S. and Shiraishi, N. (2001). Weathering and photochemistry of wood, *In: wood and cellulosic chemistry*, ISBN-8247-0024-4, 514-914.
- ISO 13061–1. (2021). Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 13061–3. (2021). Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 3: Determination of ultimate strength in static bending, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 13061–4. (2021). Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 4: Determination of modulus of elasticity in static bending, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Karaman, A., Yıldırım, M.N. and Yaşar Ş.Ş. (2019). Determination of Modulus of Elasticity and Bending Strength of Wood Material Impregnated with Nanoparticle Silicon Dioxide (SiO₂), *Turkish Journal of Forestry*, 20(1), 50–56. <https://doi.org/10.18182/tjf.462611>.
- Kartal, S.N., Green, F. and Clausen, C.A. (2009). Do the unique properties of nanometals affect leachability or efficacy against fungi and termites?, *International Biodeterioration and Biodegradation*, 63(4), 490–495. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.01.007>
- Kollmann, F. and Cote, W.A. (1968). Principles of wood science and technology, *Springer Verlag*.
- Kretschmann, D.E. (2010). *Mechanical properties of wood: Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Chapter 5, Forest Products Laboratory - General Technical Report: Erişim adresi: [https://doi.org/General Technical Report FPL-GTR-190](https://doi.org/General%20Technical%20Report%20FPL-GTR-190)
- Kurtoğlu, A. (1984). Ağaç malzemenin kimyasal olmayan yolla korunması olanakları, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, İstanbul, Seri B, 4(34): 27-29.
- Kurtoğlu, A. (2000). Ağaç malzeme yüzey işlemleri, Genel Bilgiler, İ.Ü. Orman Fak. Orman End. Müh. Böl., *Çantay Matbaacılık*, 1:1.
- Malkoçoğlu, A. (1994). *Doğu kayını (Fagus orientalis L.) odununun teknolojik özellikleri* (Doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Moon, R.J., Schueneman, G. T. and Simonsen, J. (2016). Overview of Cellulose Nanomaterials, Their Capabilities and Applications. *Jom*, 68(9), 2383–2394. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1007/s11837-016-2018-7>
- Örs, Y. ve Keskin, H. (2001). Ağaç Malzeme Bilgisi, *Atlas Yayın Dağıtım*, Baskı. ISBN:975-6574-01-1, İstanbul, 33-34.
- Örs, Y., Atar, M. ve Peker H. (1999). Çeşitli emprenye ve üst yüzey işlem maddelerinin sarıçam ve kestane odununun yanma özelliklerine etkileri, *Tr. J. of Agriculture and Forestry* 2, 541-549.
- Perçin, O. and Atar, M. (2018). Combustion properties of impregnated and heat-treated wood material, *Journal of Polytechnic*, 0900(4), 839–845. Erişim adresi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.453808>
- Pizzi, A. (2008). *Tannins: major sources, properties and applications*. in Monomers, polymers and composites from renewable resources (pp. 179-199). *Elsevier*.
- Sandberg, D., Kutnar, A. and Mantanis, G. (2017). Wood modification technologies – A review, *Forest-Biogeosciences and Forestry*, 10(6): 895-908.
- Simsek, H., Baysal, E., Yilmaz, M. and Culha, F. (2013). Some Mechanical Properties of Wood Impregnated with Environmentally-Friendly Boron and Copper Based Chemicals. *Wood Research* 58(3), 495–504.
- SPSS 22.0 (2013). İstatistik Programı, Sun Microsystems, Inc., Network Circle, Santa Clara, CA, USA.
- Şen, S. (2001). *Bitki Fenollerinin Odun Koruma Etkinliklerinin Belirlenmesi* (Doktora tezi). Zonguldak Bülent

- Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, s300.
- Taghiyari, H.R., Rassam, G., Sani, Y.L. and Karimi, A. (2012). Effects of nano-silver impregnation on some mechanical properties of ice-blasted wood specimens, *Journal of Tropical Forest Science*, 24(1), 83–88.
- Thelandersson, S. and Larsen, H.J. (2003). *Timber Engineering*; Wiley & Sons Ltd.: Hoboken, NJ, USA, 496p, ISBN 978-0-470-84469-4
- URL-1 (2017). US EPA, Overview of Wood Preservative Chemicals. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/overviewwoodpreservative-chemicals>.
- Usta, İ. (1993). *Türkiye ağaç malzeme emprenye endüstrisinin bugünkü durumu ve geliştirilmesine ilişkin öneriler* (Yüksek lisans tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Ankara, 139 s.
- Yaşar, M. (2014). *Doğal ve yapay koruyucu maddeler ile muamele edilmiş ahşap malzemenin bazı özelliklerine açık hava şartlarının etkisi* (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yaşar, M. and Altunok, M. (2019). Some physical and mechanical properties of impregnated chestnut wood with natural and chemical agent exposed to outdoor conditions. *Journal of Polytechnic*, 22(2), 399-406. doi:10.2339/politeknik.404006.
- Yaşar, M., Yaşar, Ş.Ş., Fidan, M.S., Ertaş, M. ve Altunok, M. (2017). Doğal ve kimyasal emprenye maddeleri ile emprenye edilen sedir (*Cedrus Libani* A.Rich.) odununun direnç özelliklerinin tespiti. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 463–470. Erişim adresi: <http://dergipark.gov.tr/duzceitbd/issue/33124/363871>