

# Bor Oksit ( $B_2O_3$ ) Nano Partikül Emprenye Edilmiş Çam Ahşabın Basınç ve Çekme Dayanımının İncelenmesi

\*Tahir AKGÜL, Ahmet APAY

Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya-Türkiye  
[tahirakgul@sakarya.edu.tr](mailto:tahirakgul@sakarya.edu.tr), [aapay@sakarya.edu.tr](mailto:aapay@sakarya.edu.tr)

## Özet:

Yapı tasarımlarda yaygın olarak kullanılan ahşap, büyük boyutlu elemanlarda tek parça halinde kullanılması, hem ekonomik hem de teknik açıdan elverişli değildir. Fonksiyonel ve özgün ahşap yapı tasarımlar elde etmenin birçok yöntemi vardır. Daha büyük kesitli eleman kullanımı, dayanımı yüksek ahşap türü tercih edilmesi, 1. Sınıf ahşap malzeme kullanımı bunlardan birkaçı olarak sıralanabilir. Ancak bu yöntemler eldeki imkânlarla sınırlı olup maliyeti oldukça yüksektir. Bu çalışmada özgün yapı tasarımı imkanı sağlayacak bir başka yöntem olan ahşap güçlendirme üzerinde durulmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalarda yapı tasarımında yaygın olarak kullanılan sarıçam ahşaba alçak basınç-vakum yöntemiyle emprenye edilen farklı oranlardaki bor oksit nano parçacıkların ahşabın basınç ve çekme, dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda piyasada kullanılan farklı emprenye tuzlarının aksine, bor oksit nano parçacıklar, ahşabın mekanik dayanımını % 30 oranında artırdığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Çam Ahşap, Emprenye, Nano Parçacık, Bor Oksit, Mekanik Özellikler

## Investigation of the Compressive and Tensile Strength of Boron Oxide ( $B_2O_3$ ) Nanoparticles Impregnated Pine Wood

### Abstract:

The wood is used commonly in building design. using wood in one piece large-sized elements, is not conductive in respect to economically and technically reasons. There are several methods to obtain original and functional wood designs. Use of bigger dross sections, more strength wood types, 1<sup>st</sup> class wood material can be listed as one of this. However, these methods are limited with existing techniques and considerably high-cost. In this study, main subject is strengthen in wood as another method which enables original structure design.

In the experimental studies effect of boron oxide nano particles with different ratios which was impregnated into wood under low pressure vacuum method are examined and compressive, and tensile, bending of wood material have been investigated. At the end of the study a new boron oxide impregnation material has been produced which was improved the mechanical property of wood by 30 % in comparison to standard value.

**Key Words:** wood, impregnated, nanoparticles, boron oxide, mechanical properties

## 1. Giriş

İleri teknolojik ürün üretimi denildiğinde, hiç şüphesiz ilk akla gelen uygulamalardan biri nano boyutta üretilen malzemelerle geliştirilmiş nano teknolojik ürünlerdir. Günümüzde nano teknolojinin, savunma, silah sanayi, tıp, sağlık, gıda, giyim, enerji ve inşaat gibi birçok

\*Corresponding author: Address: Faculty of Technology, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: tahirakgul@sakarya.edu.tr, Phone: +902642956480

endüstriyel alanlarda, gerek bilimsel çalışmalar düzeyinde gerekse uygulama düzeyinde kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır. Literatür ve uygulama alanları incelendiğinde inşaat sanayinde nano teknoloji genellikle inşaatta kullanılan malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi, geliştirilmesi, korunması veya yeni kompozit malzemelerin üretilmesi amaçlı kullanılmaktadır[1,2,3]. Öte yandan yapı sektöründe kullanılan başlıca malzemelerden birisi ahşaptır. Ahşap ilk çağlardan bu yana yapı tasarımında sıklıkla kullanılmış olmakla beraber doğal-organik bir yapıya sahip olmasından dolayı sürekli korunmaya ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, eski çağlardan günümüze, ahşaba birçok koruma yöntemi uygulanmaktadır. Farklı yöntem ve tekniklerden oluşan bu koruma yöntemlerinin başında emprenye yöntemi gelir. Emprenye özellikle ahşabın fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla ahşaba farklı kimyasalların emdirilerek uygulanan koruma yöntemidir.

Günümüzde emprenye birçok farklı malzeme ve yöntem kullanılarak uygulanmaktadır. Emprenye de kullanılan malzemeler ahşabın kullanım amacına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Kullanılan emprenye maddelerinin çoğu ahşabın böceklenme, mantarlanma, yıkanma, UV ışınlarının zararlı etkileri, su geçirimi ve çürüme gibi fiziksel ve biyolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla uygulanmaktadır. Piyasada organik maddeler içermesinden ve su bazlı üretilmelerinden dolayı en sık uygulanan emprenye malzemeleri Bakır-Krom-Arsenik (CCA) ve Bakır-Krom-Bor (CCB)'dir. CCA emprenye konsantresi insan sağlığı için oldukça zararlı olarak bilinen Arsenik içermesinden dolayı, özellikle yaşam alanlarında kullanılmamaktadır. Bunun yerine insan sağlığı üzerinde olumsuz etkisi bulunmayan CCB emprenye malzemesi tercih edilmektedir. CCB emprenye malzemesi genelde ahşap direklerde, çocuk oyun alanlarında, kent-bahçe mobilyalarında ve yapı sistemleri tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır. CCB bileşiği içerisinde yer alan Bakır (Cu) ve Krom (Cr) özellikle ahşabın suya karşı dayanımının artırılması çürümenin geciktirilmesi ve tutuşma kabiliyetinin azaltılması ve yangın dayanımının artırılması amacıyla kullanılırken, Bor (B) bileşimli tuzlar ise ağaç malzemeyi mantar, böcek, termit ve deniz zararlılarına karşı koruyucu olarak kullanılmaktadır [4,5,6].

Birçok olumlu yönüyle yaygın kullanım alanına sahip olan CCB emprenye maddesi ahşabın mekanik dayanımı açısından olumsuz sonuçlar vermektedir [7]. Özellikle içerisinde yer alan bor ve krom bileşenleri nedeniyle çözeltinin bazik bölgede olması ve bazların odunda lignin ve bazı ekstraktifleri çözündürücü etkisinin olmasından dolayı ahşabın direncini olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır [8]. Öte yandan çözelti içerisinde yer alan metal tuzlarının ahşap lifleri arasında çentik etkisi yaparak ahşabın dayanımını düşürdüğü tahmin edilmektedir. Bu durum ahşabın emprenye edilmesinin birçok avantajının yanında en önemli dezavantajını oluşturmaktadır. Yapılan bu çalışma ahşabın emprenye edilmesi sonucu ortaya çıkan bu olumsuzluğun ortadan kaldırılması hedeflenmiştir.

## **2. Meteryal ve Metod**

### **2.1. Ahşap**

Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan sarıçam, Sakarya bölgesindeki kereste işletmelerinden rastgele seçim yöntemi ile temin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılacak ahşap malzeme seçiminde, 1. sınıf kerestenin, normal büyüme göstermiş, kurutulmuş, kusursuz, lifleri düzgün, budaksız, ardaksız, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına özen gösterilmiştir. Açık havada kurutulmuş ahşabın nem oranı  $15 \pm 3$

aralığında ve ortalama yoğunluğu 0,55 g/cm<sup>3</sup>'tür. Numuneler, yapılacak deneyler dikkate alınarak lif yönlerine uygun kesilerek hazırlanmıştır.

## **2.2. Emprenye Maddesi (Bor oksit solüsyonu)**

Piyasada kullanılan makro ve mikro boyutlardaki emprenye tuzlu bileşiklerinin ahşabın mekanik özellikleri üzerindeki dezavantajını ortadan kaldırmak ve emprenye sonucunda daha iyi mekanik dayanım elde edilmesini sağlamak amacıyla tanecik boyutu nano düzeyde olan bor oksit kullanılmıştır. Emprenye işlemlerinde farklı oranlarda su içerisinde disperse edilerek kullanılan nano parçacıklar, Bor Oksit (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): NP-BO8 ticari koduyla Grafen firması tarafından üretilmiş olup %99,5 saflıkta, 80 nm çapında ve beyaz renktedir. Elde edilen bor oksit nano partiküllerin koloidal çözelti içerisinde topaklaşarak çökmesini engellemek için yüzey aktif madde olarak kloroform kullanılmıştır.

## **2.3. Ahşap numunelerin hazırlanması**

Sakarya bölgesinden rastgele seçim tekniği ile elde edilen keresteyle üretilen Ahşap numuneler gözle görünür çatlak, çürük, mantarlanma, budak vb. kusurları olmayan kurutulmuş 1. sınıf sarıçam keresteden elde edilmiştir. Numuneler ASTM D143-09 standardı esas alınarak [9] numune alım yöntemlerine ve lif yönlerine göre kesilmiştir. Boyutları yine ilgili standarda göre tespit edilen numunelerin boyutları orantılı olarak küçültülmüştür.

Liflere Dik Basınç Deneyi, Liflere Paralel Basınç Deneyi, Liflere Dik Çekme Deneyi numuneleri, ASTM D143-09 standardına göre hazırlanmış olup boyutlar ½ oranında küçültülmüştür.

Liflere Paralel Çekme Deneyi: Numuneler ASTM standardına uygun üretilmediğinden ISO 3345:1975 EQV (TS 2475) standardına uygun olarak üretilmişlerdir [10]. Numune boyutları küçük olduğundan elle veya freze ile kesilemeyen bu numuneler lazer ile kesilmişlerdir.

## **2.4. Emprenyenin Yapılması**

DeneySEL çalımlarda emprenye işleminde kullanılan en uygun yöntem alçak basınç-vakum emprenye sistemidir [11]. Bu sistemde kazan içerisine yerleştirilen ahşaba vakum uygulanarak ortamdaki hava alındıktan sonra emprenye malzemesi kazana aktarılır ve ortama basınç uygulanır. Ahşabın türüne göre basınç miktarı ve süresi ayarlanır. Daha sonra ortamdaki emprenye malzemesi dışarı alınıp tekrar vakum uygulanarak ahşap yüzeyindeki fazla emprenye malzemesinin de alınması sağlanır. Son olarak ahşap doğal hava koşullarında veya etüvde kurutulularak kullanıma sunulur [12]. Emprenye çalışmaları, ASTM-D1413-76 standardına uygun [13] ve literatürde yer alan yöntem ve teknikler kullanılarak yapılmıştır[14]. Emprenye işlemi 1 saat 1 bar vakum altında bekletilen numunelerin 3 saat 2 bar basınç altında bekletilmesi şeklinde uygulanmıştır. Emprenye işlemi tamamlanan numunelerin yarısı 105 °C' etüvde 24 saat kurutulduktan sonra deneye tabi tutulmuş, diğer yarısı ise açık havada (20 °C) bir hafta kurutulduktan sonra deneysel nem oranına ulaşmak için 3 saat etüvde bekletilerek mekanik testler uygulanmıştır. Numune deneysel nem oranı %15±3 olarak alınmıştır. DeneySEL çalışmaları süresince numunelerin nem oranlarının değişmemesi için deney sırası bekleyen numuneler desikatör içerisinde bekletilmiştir.

### 3. Deneysel sonuçlar

#### 3.1. Liflere Paralel Çekme Deneyi

Liflere paralel çekme deneyinde test hızı 1 mm/dk olarak alınmıştır. Hazırlanan test numuneleri aynı şartlarda hazırlanış ve deney öncesi nem oranları  $15 \pm 3$  olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numuneye çekme deneyi uygulanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Bor oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel çekme deney düzeneği ve numuneleri

Ayrıca deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından her numuneye ait standart sapma değerleri içerisinde yer alan 3'er numunenin gerilme - birim deformasyon değerleri, bu numunelere ait ortalama değerler ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranlarının yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 1).

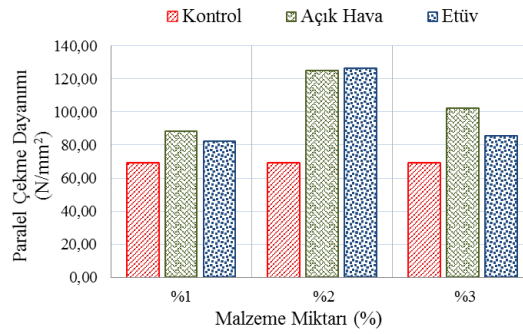
Tablo 1. Bor oksit paralel çekme deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu

Uygulama Türü	1. Numune		2. Numune		3. Numune		Ortalama		Gerilme % Değişim	Birim Deformasyon % Değişim
	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)		
Kontrol	69,59	2,50	69,75	2,40	68,41	2,50	<b>69,25</b>	<b>2,47</b>	0	0
%1 Açık Hava	95,44	2,00	81,97	1,50	88,03	1,60	<b>88,48</b>	<b>1,70</b>	28	-31
%1 Etüv	78,69	1,20	87,91	1,20	80,88	1,00	<b>82,49</b>	<b>1,13</b>	19	-54
%2 Açık Hava	144,19	1,40	117,44	1,30	113,53	1,60	<b>125,05</b>	<b>1,43</b>	81	-42
%2 Etüv	129,19	1,50	115,53	1,40	134,31	1,80	<b>126,34</b>	<b>1,57</b>	82	-36
%3 Açık Hava	95,92	0,90	104,75	1,00	106,16	1,30	<b>102,28</b>	<b>1,07</b>	48	-57
%3 Etüv	82,15	2,10	94,25	3,10	79,84	2,40	<b>85,41</b>	<b>2,53</b>	23	3

Tablo 1 incelendiğinde Kontrol numunelerinde ortalama paralel çekme gerilmesi 69,25 MPa, ortalama birim deformasyon değeri ise yüzde 2,47'dir. Diğer numuneler sırasıyla % 1 açık hava numuneleri paralel çekme gerilmesi 88,48 MPa, yüzde uzaması 1,70, %1 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 82,49 MPa, yüzde uzaması 1,13, %2 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 125,05 MPa, yüzde uzaması 1,43, %2 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 126,34 MPa, yüzde uzaması 1,57, %3 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 102,28 MPa, yüzde uzaması 1,07, %3 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 85,41 MPa, yüzde uzaması 2,53 olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde %28 oranında gerilme artışı elde edilmiş öte yandan malzemenin %31 oranında gevreklediği tespit edilmiştir, %1 etüv numunelerinde ise %19 oranında gerilme

artışı elde edilmiş ve birim deformasyonunda %54 oranında düşüş olduğu görülmektedir. %2 oranında bor oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde; Açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinin %81 oranında arttığı, birim deformasyonun ise %42 oranında düştüğü, Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise gerilme değerinin %82 oranında arttığı, birim deformasyonun % 36 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Son olarak %3 oranında bor oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinin % 48 oranında arttığı, birim deformasyonun ise %57 oranında düştüğü, Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise gerilme değerinin %23 oranında arttığı, birim deformasyonunda belirgin bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Elde edilen gerilme değerlerinin ve değişim oranlarının daha net bir şekilde anlaşılması açısından kontrol numuneleri gerilme değerleri %1,%2 ve %3 oranında sabit olacak şekilde açık hava ve etüvde kurutulmuş numunelerin gerilme değerlerinin alındığı ortalama gerilme değerleri grafiği oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Bor oksit liflere paralel çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak bor oksitin ahşabın paralel çekme direnci üzerindeki etkisi irdelendiğinde tüm numunelerin paralel çekme gerilmesi üzerinde olumlu etkisinin olduğu ancak genel olarak malzemeyi daha gevrek hale getirdiği ve daha düşük birim deformasyon değerleri elde edildiği tespit edilmiştir. Bu konudaki tek istisna % 3 oranında emprenye edilmiş ve etüvde kurutulmuş numunelerde olduğu, bu numunelerde birim deformasyon açısından bir değişim olmadığı görülmektedir. Tüm numuneler içerisinde en yüksek gerilme değeri %2 oranında emprenye edilen numunelerden elde edilmiştir.

### 3.2. Liflere Dik Çekme Deneyi

Liflere dik çekme deneyinde test hızı 2,5 mm/dk olarak alınmıştır. Hazırlanan test numuneleri aynı şartlarda hazırlanmış ve deney öncesi nem oranlarının %15 ±3 olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numuneye dik çekme deneyi uygulanmıştır (Şekil 3).

Ayrıca deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından her numuneye ait standart sapma değerleri içerisinde yer alan 3'er numunenin gerilme - birim deformasyon değerleri, bu numunelere ait ortalama değerler ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranlarının yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 2).



Şekil 3. Bor oksit nano Parçacık emprenye edilmiş dik çekme deney düzeneği ve numuneleri

Tablo 2 incelendiğinde Kontrol numunelerinde ortalama dik çekme gerilmesi 3,24 MPa, ortalama birim deformasyon değeri ise yüzde 2,97 olarak bulunmuştur. Diğer numuneler sırasıyla %1 açık hava numuneleri dik çekme gerilmesi 3,11 MPa, yüzde uzaması 5,67 , %1 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 2,45 MPa, yüzde uzaması 3,70 , %2 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 2,81 MPa, yüzde uzaması 5,10 , %2 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 3,29 MPa, yüzde uzaması yüzde uzaması 5,53, %3 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 2,83 MPa, yüzde uzaması 4,49 , %3 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 3,56 MPa, yüzde uzaması 5,8 olduğu tespit edilmiştir.

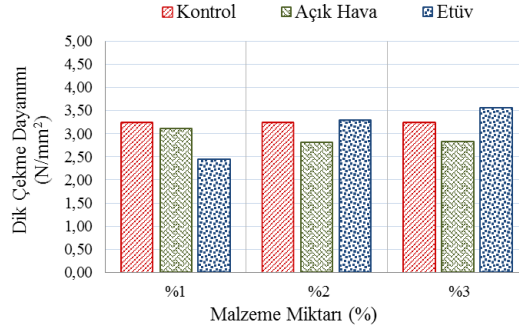
**Tablo 2.** Bor oksit dik çekme deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu

Uygulama Türü	1. Numune		2. Numune		3. Numune		Ortalama		Gerilme % Değişim	Birim Deformasyon % Değişim
	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)		
Kontrol	2,82	2,60	3,65	3,30	3,24	3,00	<b>3,24</b>	<b>2,97</b>	0	0
%1 Açık Hava	3,10	5,00	3,37	6,40	2,85	5,60	<b>3,11</b>	<b>5,67</b>	-4	91
%1 Etüv	2,88	4,40	1,93	2,70	2,55	4,00	<b>2,45</b>	<b>3,70</b>	-24	25
%2 Açık Hava	2,34	5,10	3,19	4,70	2,90	5,50	<b>2,81</b>	<b>5,10</b>	-13	72
%2 Etüv	3,36	5,80	2,90	5,40	3,61	5,40	<b>3,29</b>	<b>5,53</b>	2	87
%3 Açık Hava	2,46	3,85	2,96	4,58	3,08	5,05	<b>2,83</b>	<b>4,49</b>	-13	51
%3 Etüv	3,03	5,30	4,20	6,30	3,44	5,80	<b>3,56</b>	<b>5,80</b>	10	96

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde gerilmelerde belirgin bir değişim olmadığı, malzemenin %91 oranında sünek hale geldiği tespit edilmiştir, %1 etüv numunelerinde de %24 oranında gerilme düşüşü tespit edilmiş ancak birim deformasyonunda %25 oranında artış olduğu anlaşılmıştır. %2 oranında bor oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinin % 13 oranında düşüş olduğu, birim deformasyonun ise % 72 oranında arttığı, Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise gerilme değerinde belirgin bir değişim olmadığı, birim deformasyonunda % 87 oranında arttığı tespit edilmiştir. Son olarak %3 oranında bor oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinde % 13 oranında düşüş olduğu, birim deformasyonun ise % 51 oranında arttığı, Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise gerilme değerinin %10 oranında arttığı, birim deformasyonun da % 92 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Elde edilen gerilme değerlerinin ve değişim oranlarının daha net bir şekilde anlaşılması açısından kontrol numuneleri gerilme değerleri %1, %2 ve %3 oranında sabit olacak şekilde,

açık hava ve etüvde kurutulmuş numunelerin gerilme değerleri ile kıyaslamak amacıyla ortalama gerilme değerleri grafiği oluşturulmuştur (Şekil 4).

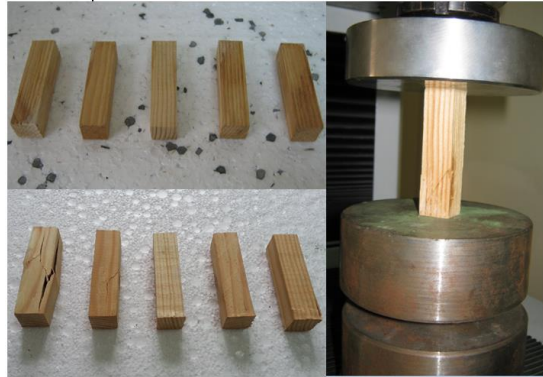


Şekil 4. Bor oksit liflere dik çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak bor oksitin ahşabın dik çekme direnci üzerindeki etkisine bakıldığında %3 etüv numuneleri hariç tüm numunelerin dik çekme gerilmesi üzerinde olumsuz etkisinin olduğu ancak ahşabı daha sünek hale getirdiği ve daha yüksek birim deformasyon değerleri elde edildiği tespit edilmiştir. Bor oksit emprenye edilmiş dik çekme numuneleri içerisinde hem en yüksek gerilme değeri hem de en yüksek yüzde uzama değeri elde edilen numune grup %3 etüv numuneleri olmuştur.

### 3.3. Liflere Paralel Basınç Deneyi

Liflere paralel basınç deneyinde test hızı 0,3 mm/dk olarak alınmıştır. Hazırlanan test numuneleri aynı şartlarda hazırlanmış ve deney öncesi nem oranları  $15 \pm 3$  olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numune paralel basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Bor oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel basınç deney düzeneği ve numuneleri

Ayrıca deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından her numuneye ait standart sapma değerleri içerisinde yer alan 3'er numunenin gerilme - birim deformasyon değerleri, bu numunelere ait ortalama değerler ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranlarının yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 3).

Tablo 3 incelendiğinde Kontrol numunelerinde ortalama paralel basınç gerilmesi 42,86 MPa, ortalama birim deformasyon değeri ise yüzde 2,10 olarak bulunmuştur. Diğer numuneler sırasıyla %1 açık hava numuneleri paralel basınç gerilmesi 27,68 MPa, yüzde uzaması 1,63 , %1 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 57,76 MPa, yüzde uzaması 2,43 , %2 açık hava

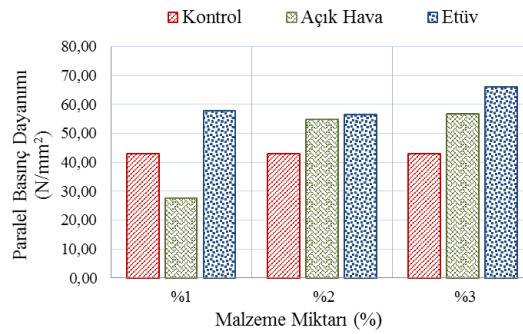
numuneleri ortalama gerilmesi 54,72 MPa, yüzde uzaması 2,20 , %2 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 56,49 MPa, yüzde uzaması 2,17 , %3 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 56,52 MPa, yüzde uzaması 1,9 , %3 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 66,00 MPa, yüzde uzaması 1,93 olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 3.** Bor oksit paralel basınç deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu

Uygulama Türü	1. Numune		2. Numune		3. Numune		Ortalama		Gerilme % Değişim	Birim Deformasyon % Değişim
	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)		
Kontrol	46,58	2,00	43,80	2,10	38,20	2,20	<b>42,86</b>	<b>2,10</b>	0	0
%1 Açık Hava	29,66	1,60	26,93	1,60	26,45	1,70	<b>27,68</b>	<b>1,63</b>	-35	-22
%1 Etüv	59,58	2,50	58,11	2,40	55,60	2,40	<b>57,76</b>	<b>2,43</b>	35	16
%2 Açık Hava	55,81	2,10	52,14	2,20	56,21	2,30	<b>54,72</b>	<b>2,20</b>	28	5
%2 Etüv	59,11	2,00	54,61	2,20	55,76	2,30	<b>56,49</b>	<b>2,17</b>	32	3
%3 Açık Hava	53,82	1,97	55,87	2,07	59,87	1,67	<b>56,52</b>	<b>1,90</b>	32	-9
%3 Etüv	61,35	1,90	66,98	2,00	69,67	1,90	<b>66,00</b>	<b>1,93</b>	54	-8

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde % 35 oranında gerilmeye düşüş olduğu öte yandan malzemenin % 22 oranında gevrek hale geldiği tespit edilmiştir, %1 etüv numunelerinde de % 35 oranında gerilme artışı tespit edilmiş, birim deformasyonunda %16 oranında artış olduğu gözlenmemiştir. %2 oranında bor oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde Açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinin % 28 oranında artış olduğu, Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise gerilme değerinin % 32 oranında arttığı, birim deformasyonlarında belirgin bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.

Son olarak %3 oranında bor oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme %32 oranında artış, birim deformasyonunda %9 oranında düşüş olduğu, Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise gerilme değerinin % 54 oranında artış olduğu, birim deformasyon değerlerinde ise %8 oranında düşüş olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarının gerilme değerleri yönünden numuneler arasındaki değişimlerin daha anlaşılabilir olması açısından ortalama değerler grafiği çizilmiştir (Şekil 6).



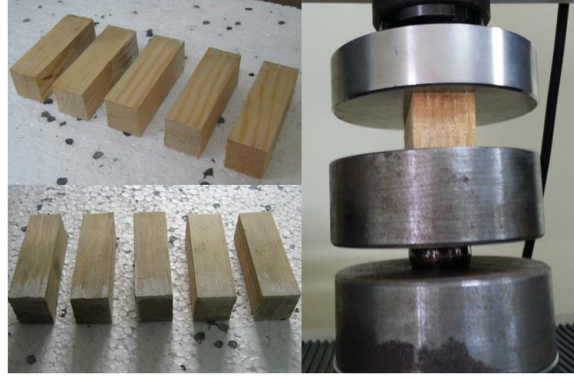
**Şekil 6.** Bor oksit liflere paralel basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak bor oksitin ahşabın paralel basınç direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde % 1 açık hava numunelerinin dışındaki tüm numuneler üzerinde olumlu yönde etkilediği öte yandan birim deformasyon değişimi açısından %1, %3 açık hava numuneleri ile %3 etüv numunelerinde malzemenin gevrekleştiği %1 etüvde sünek hale geldiği %2 numunelerinde ise belirgin bir değişim olmadığı anlaşılmaktadır. Tüm numune grupları içerisindeki en iyi paralel basınç gerilmesi % 3 etüv numunelerinde elde edilmiştir.



### 3.4. Liflere Dik Basınç Deneyi

Liflere dik basınç deneyinde test hızı 0,305 mm/dk olarak alınmıştır. Hazırlanan test numuneleri aynı şartlarda hazırlanış ve deney öncesi nem oranları  $\%15 \pm 3$  olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numune dik basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Bor oksit nano Parçacık empenye edilmiş dik basınç deney düzeneği ve numuneleri

Ayrıca deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından her numuneye ait standart sapma değerleri içerisinde yer alan 3'er numunenin gerilme - birim deformasyon değerleri, bu numunelere ait ortalama değerler ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranlarının yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 4).

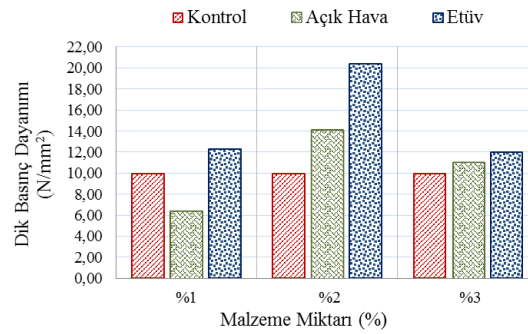
**Tablo 4.** Bor oksit dik basınç deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu

Uygulama Türü	1. Numune		2. Numune		3. Numune		Ortalama		Gerilme % Değişim	Birim Deformasyon % Değişim
	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)	Gerilme (Mpa)	Birim Deformasyon (%)		
Kontrol	8,97	4,60	9,79	3,80	11,06	5,00	<b>9,94</b>	<b>4,47</b>	0	0
%1 Açık Hava	6,40	11,00	6,44	15,00	6,59	8,00	<b>6,48</b>	<b>11,33</b>	-35	154
%1 Etüv	11,98	5,00	13,06	7,00	11,84	5,00	<b>12,29</b>	<b>5,67</b>	24	27
%2 Açık Hava	12,90	6,60	14,94	6,80	14,51	6,90	<b>14,12</b>	<b>6,77</b>	42	51
%2 Etüv	20,66	7,60	22,07	5,50	18,53	6,00	<b>20,42</b>	<b>6,37</b>	105	43
%3 Açık Hava	11,50	7,50	11,17	6,90	10,57	6,10	<b>11,08</b>	<b>6,83</b>	11	53
%3 Etüv	11,98	8,70	14,03	9,60	10,08	10,00	<b>12,03</b>	<b>9,43</b>	21	111

Tablo 4 incelendiğinde Kontrol numunelerinde ortalama dik basınç gerilmesi 9,94 MPa, ortalama birim deformasyon değeri ise yüzde 4,47 olarak bulunmuştur. Diğer numuneler sırasıyla %1 açık hava numuneleri dik basınç gerilmesi 6,48 MPa, yüzde uzaması 11,33 , %1 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 12,29 MPa, yüzde uzaması 5,67 , %2 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 14,12 MPa, yüzde uzaması 6,77 , %2 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 20,42 MPa, yüzde uzaması 6,37, %3 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 11,08 MPa, yüzde uzaması 6,83 , %3 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 12,03 MPa, yüzde uzaması 9,43 olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde % 35 oranında gerilmede düşüş olduğu öte yandan malzemenin % 154 oranında sünek hale geldiği tespit edilmiştir, %1 etüv numunelerinde gerilme artışında % 24, birim deformasyonunda ise % 27 oranında bir artış gözlenmiştir. %2 oranında bor oksit

emprenye edilen numuneler incelendiğinde Açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinin % 42 oranında artış olduğu, birim deformasyonunda da % 51 oranında bir artış olduğu görülmüştür. Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise gerilme değerinin % 105 oranında arttığı, birim deformasyonlarında da % 43 oranında arttığı tespit edilmiştir. Son olarak %3 oranında bor oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilmede %11 oranında bir artış, birim deformasyonlarında ise %53 oranında artış olduğu, Etüvde kurutulmuş numunelerinde gerilme değerinin %21 oranında artış olduğu, birim deformasyon değerlerinde ise %111 oranında artış olduğu görülmüştür. Gerilme değerleri açısından numuneler arasındaki değişimlerin daha anlaşılabilir olması açısından dik basınç gerilmesi ortalama değerler grafiği çizilmiştir (Şekil 8). Sonuç olarak bor oksitin ahşabın dik basınç direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde % 1 açık hava numunelerinde düşüş diğer numunelerde ise farklı oranlarda artış olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Bor oksit liflere dik basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Öte yandan birim deformasyon değişimi açısından da tüm numunelerde artış olduğu tespit edilmiştir. Tüm numune grupları içerisindeki en iyi dik basınç gerilmesini ise % 2 etüv numuneleri sağlamıştır [15].

#### 4. Sonuç ve Değerlendirme

Bor Oksit Emprenye edilen numunelerde; Paralel çekme gerilmesi açısından %2 oranında emprenye edilmiş numunelerde %81-82 oranında yüksek gerilme değeri elde edilmiş ancak %40 oranında malzemenin gevreklediği görülmüştür. Dik Çekme gerilmesi açısından %2 oranında emprenye edilmiş ve etüvde kurutulmuş numunelerde olumlu yönde belirgin bir değişim olmamıştır. (Kontrol numunesine göre %2 artış elde edilmiştir.) Ancak %87 oranında yüzde uzama değeri artışı elde edilmiştir. Paralel basınç deneyinde tüm numune grupları içerisindeki en iyi gerilme değeri %3 etüv numunelerinde elde edilmiştir (%54 artış). Bu numunelerde %8 oranında bir birim deformasyon düşüşü görülmüştür. Tüm numune grupları içerisindeki en iyi dik basınç gerilmesini %2 etüv numuneleri sağlamıştır (%105 artış). Öte yandan yüzde uzama açısından da %43 oranında artış sağlanmıştır.

Emprenye sonucunda elde edilen numuneler gözle muayene edildiğinde bor oksit parçacıklarının bir kısmının su içerisinde çözüldüğü ancak büyük bir kısmının ahşabın derinliklerine kadar nüfuz ettiği görülmüştür. Ayrıca bor oksitin ahşap içerisindeki yayılımı homojen olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin kurutma sıcaklığının tüm numunelerde doğru orantılı bir değişim sergilediği ve etüvde kurutulan numunelerin basınç ve çekme dayanımı açısından açık havada kurutulan numunelere göre daha olumlu etkisinin olduğu tespit

edilmiştir. Koloidal çözelti içerisinde bulunan madde miktarı dikkate alındığında, basınç ve çekme dayanımı açısından seçilecek optimum numune nano bor oksit malzemesinin ağırlıkça %2 oranında katılan numuneler olduğu görülmektedir. Emprenyede kullanılan bor oksit nano Parçacıklar ahşabın basınç ve çekme dayanımı üzerinde %40 oranında iyileştirme sağladığı, piyasada kullanılan emprenye maddelerinin mekanik özellikler üzerindeki olumsuz etkisi dikkate alındığında artış oranının %70'lere ulaştığı görülmektedir. Üretilen yeni nano bor oksit emprenye maddesiyle emprenye edilen kerestede daha yüksek mekanik dayanım elde edildiğinden tasarlanacak olan yapıların, daha özgün tasarımlarla, daha büyük açıklıkların, daha küçük boyutlarla çözümlenmesini mümkün kılacağı açıkça görülmektedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Rektörlüğü, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAPK) tarafından 2012-09-04-003 ve 2012-50-02-030 nolu projelerle desteklenmiştir.

### **Kaynaklar**

- [1] Cestari, C. B., Invernizzi, S., Marzi, T., Tulliani, J-M., Nano-technologies applied to the restoration and maintenance of wooden built heritage, in Structural analysis of historical construction, Taylor & Francis, London, 941-947, 2008.
- [2] Perker, S., Nano teknoloji ve Yapı Malzemesi Alanına Etkileri, e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 1A0114, 5, (4), 639-648. 2010.
- [3] Winandy, J. E., Boone, R. S., The Effects of CCA Preservative Treatment and Redrying on The Bending Properties of 2\*6 Southern Pine Lumber, Wood and Fiber Science, 20 (3), pp. 350-364, 1988.
- [4] Özçiftçi A., Batan F., Bor Yağının Ağaç Malzemenin Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi, Politeknik Dergisi, Cilt 12, Sayı 4, 2009.
- [5] Sivrikaya H., Saraçbaşı A., Bor Madeninini Ahşap Koruma Endüstrisinde Değerlendirilmesi, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, s; 365-372, Eskişehir, Türkiye, 2004.
- [6] Sivrikaya H., Saraçbaşı A., Bor Madeninini Ahşap Koruma Endüstrisinde Değerlendirilmesi , II. Uluslararası Bor Sempozyumu, s; 365-372, Eskişehir, Türkiye, 2004
- [7] Kartal S. N., CCA ve CCB emprenye maddeleri ile korunan ağaç malzemenin dayanıklılık, yıkanma ve direnç özellikleri, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul, 1998
- [8] Cai, X., Riedl B., Zhang, S.Y. B., Wanb H., "The impact of the nature of nano fillers on the performance of wood polymer nano composites" Composites: Part A 39 727-737, 2008.
- [9] ASTM-D 143-09 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, USA. 2009.
- [10] ISO 3345-1975 Wood-Determination of ultimate tensile stress parallel to grain, International Organization for Standardization (ISO), 1975.
- [11] Aslan, S., Ağaç Zararlıları Koruma Ve Emprenye Teknikleri, KOSGEB Yayınları, Ankara, 1998.
- [12] Bozkurt, Y., Göker, Y., Erdin, N., Emprenye Tekniği, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3779, Orman Fakültesi Yayın No: 425, İstanbul, 1993
- [13] ASTM-D 1413-07, Standard test method of testing wood preservatives by laboratory soil-block cultures, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, USA. 2007.
- [14] Vlosky, R.P., An overview of the U.S. preservative wood treating industry: 2004. Sponsor report to the Southern Pine Council. Kenner, LA. March 16th. 65 p, 2006.

[15] Akgul T., CCB Nano Partiküllerle Güçlendirilmiş Ahşap Yapı Elemanlarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya, 2013