

Bakır Oksit (CuO₂) 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, aapay@sakarya.edu.tr

Özet:

İnşaat sektöründe kullanılan başlıca malzemelerden birisi ahşaptır. Ahşap yapı tasarımlarda, masif ağaç malzemenin büyük boyutlu elemanlarda tek parça halinde kullanılması, gerek ekonomik ve gerekse teknik açıdan elverişli değildir. Ahşap yapı tasarımında, emniyet sınırları içerisinde daha küçük ebatlarda yapı elemanı üretmek ancak ahşabın mekanik özelliklerini artırmakla mümkündür. Günümüzde ahşap güçlendirme konusunda birçok teknik uygulanmaktadır. Son dönem güçlendirme teknolojilerinde nano parçacık kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu kapsamda ahşaba metal oksit nano parçacıklar emprenye edilerek ahşabın mekanik performansının artırılması böylece daha özgün tasarımlara sahip, daha az ahşap gerektiren, sağlam ve çevreye duyarlı yapılar tasarlanabilmesine olanak sağlanması hedeflenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda yapı tasarımında sıkça kullanılan sarıçam ahşaba alçak basınç-vakum yöntemiyle emprenye edilen farklı oranlardaki bakır nano parçacıkların ahşabın basınç ve çekme, dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda piyasada kullanılan farklı emprenye tuzlarının aksine, bakır oksit nano parçacıklar, ahşabın mekanik özelliklerini yaklaşık % 40 oranında iyileştirme elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ahşap, Emprenye, Nano Parçacık, Bakır Oksit, Mekanik Özellikler

Investigation of the Compressive and Tensile Strength of Copper Oxide (CuO₂) Nanoparticles Impregnated Pine Wood

Abstract

Wood is an important material which is used in the construction sector. But in these constructions, use of a single massive wood material in big size elements is not suitable in terms of economic and technical problems. In wooden construction design, production of smaller structure parts in safety limits is possible only with improving mechanical properties of wood. Nowadays, many techniques are applied to strengthen the wood. Recently, the use of nano-particles in reinforcement technology are becoming increasingly common. For this purpose, nano metal oxide particles are impregnated into wood material for improving mechanical performance of the wood. Thus, this study aims to produce structures requiring less wood, stable, strong and environmentally sensitive.

In the experimental studies, effect of impregnated copper oxide nano particles with different ratios into wood under low pressure vacuum method are examined and compressive tensile and bending of wood material have been investigated. At the end of the study, a new copper oxide impregnated material which was improved the mechanical property of wood by 40 % in comparison to standard value has been produced.

Key Words: wood, impregnated, Nanoparticles, Copper 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 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 iyileştirmesi, 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].

Birçok olumlu yönüyle yaygın kullanım alanına sahip olan CCB emprenye maddesi ahşabın mekanik dayanımı açısından olumsuz sonuçlar vermektedir [5]. Özellikle içerisinde yer alan bor ve krom bileşenleri nedeniyle çözeltinin bazik bölgede olması ve bazların odunda lignin ve bazı ekstraktifleri çözüldürücü etkisinin olmasından dolayı ahşabın direncini olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır [6]. 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 ± 3 aralığında ve ortalama yoğunluğu $0,55 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Numuneler, yapılacak deneyler dikkate alınarak lif yönlerine uygun kesilerek hazırlanmıştır.

2.2. Emprenye Maddesi (Bakır oksit solüsyonu)

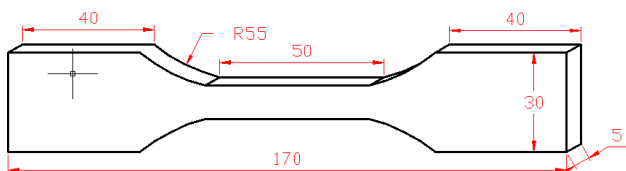
Piyasada kullanılan makro ve mikro boyutlardaki emprenye tuzlu bileşiklerinin ahşabın mekanik özellikleri üzerindeki dezavantajını ortadan kaldırmak ve emprenye sonucunda daha iyi mekanik dayanım elde edilmesini sağlamak amacıyla tanecik boyutu nano düzeyde olan bakır oksit kullanılmıştır. Emprenye işlemlerinde farklı oranlarda su içerisinde disperse edilerek kullanılan nano parçacıklar Bakır (II) oksit (CuO_2): Koyu kahverengi renkte olup Alfa Aesar firması tarafından NanoArc® U1121W ticari koduyla %99,9 saflıktaki 30 nm çaplı nano parçacıkların su içerisinde %50 oranında disperse edilmesiyle üretilmiştir.

2.3. Ahşap numunelerin hazırlanması

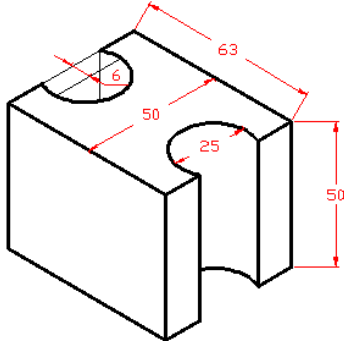
Ahşap numuneler gözle görünür çatlak, çürük, mantarlanma, budak vb. kusurları olmayan kurutulmuş 1. sınıf sarıçam keresteden elde edilmiştir. Numuneler ASTM D143-09 standardı esas alınarak [7] numune alım yöntemlerine ve lif yönlerine göre kesilmiştir. Boyutları yine ilgili standarda göre tespit edilen numunelerin boyutları orantılı olarak küçültülmüştür.

ASTM D143-09'a göre hazırlanan numuneler ve boyutları aşağıda belirtilmiştir;

- Liflere Dik Basınç Deneyi: ASTM D143-09'de numuneler $50 \times 50 \times 150$ mm büyüklüğünde verilmiştir. Numuneler $\frac{1}{2}$ oranında küçültülerek $25 \times 25 \times 75$ boyutlarında hazırlanmıştır.
- Liflere Paralel Basınç Deneyi: ASTM D143-09'de numuneler $50 \times 50 \times 150$ mm büyüklüğünde verilmiştir. Numuneler $\frac{1}{3}$ oranında küçültülerek $16,5 \times 16,5 \times 65,5$ boyutlarında hazırlanmıştır.
- Liflere Paralel Çekme Deneyi: Numune boyutları şekil üzerinde verilmiştir (Şekil 1). Liflere paralel çekme deneyi numuneleri ASTM standardına uygun üretilmediğinden ISO 3345:1975 EQV (TS 2475) standardına uygun olarak üretilmişlerdir. Numune boyutları küçük olduğundan elle veya freze ile kesilemeyen bu numuneler lazer ile kesilmişlerdir [8].
- Liflere Dik Çekme Deneyi: Numuneler ASTM D143-09 standardına göre hazırlanmış olup, boyutları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Liflere paralel çekme deneyi numunesi
(Boyutlar mm'dir)

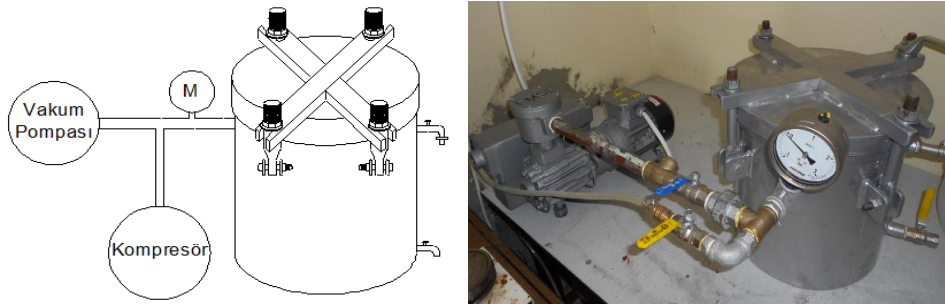


Şekil 2. Liflere dik çekme deneyi numunesi

2.4. Emprenyenin Yapılması

Deneysel çalışmalarda emprenye işleminde hem uygulanabilirliği hem de istenen sonuçların elde edilebilmesi açısından en yaygın olarak kullanılan sistem alçak basınç-vakum emprenye sistemidir [9]. 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 kurutulmuş olarak kullanıma sunulur [10]. Emprenye çalışmaları, literatürde yer alan ve yukarıda ifade edilen yöntem ve teknikler kullanılarak yapılmıştır[11].

Yapılan deneysel çalışmalarda emprenye için uygulanacak basınç ve vakum değerlerini emniyetli bir şekilde kaldırabilecek özel bir emprenye tankı tasarlanmıştır. Çapı 320 mm ve yüksekliği 500 mm olan silindirik şeklindeki bu tankın et kalınlığı 6 mm olan çelik saçıtan üretilmiştir. Tanka vakum pompası, kompresör ve çift taraflı manometre bağlanmıştır (Şekil 3). Emprenye ile ilgili deneysel çalışmalar ASTM-D1413-76 standardına göre yapılmıştır [12].



Şekil 3. Emprenye tankı ve şematik görünümü

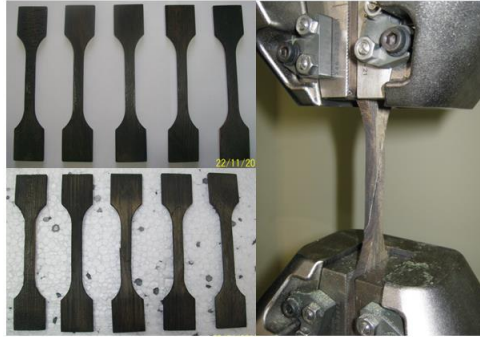
Emprenye işlemi tamamlanan numunelerin bir kısmı 105 °C' etüvde 24 saat kurutulduktan sonra deneye tabi tutulmuş, diğer kısmı ise açık havada (20 °C) bir hafta kurutulduktan sonra deneysel nem oranına ulaşmak için 3 saat etüvde bekletilerek mekanik testler uygulanmıştır. Numune deneysel nem oranı %15±3 olarak alınmıştır. Deneysel çalışmalar süresince numunelerin nem oranlarının değişmemesi için deney sırası bekleyen numuneler desikatör içerisinde bekletilmiştir.

3. Deneysel sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmalarda ağırlıkça %1, %2 ve %3 oranlarla bakır oksit nano parçacık emprenye edilip, etüvde (105 °C) ve açık havada (20 °C) olmak üzere iki farklı sıcaklıkta kurutulmuş numunelerin mekanik performansları incelenmiştir. Numunelerin mekanik performansları dik çekme, dik basınç, paralel çekme, paralel basınç deneylerini içermektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda bakır oksit nano parçacıklarının hem kurutma sıcaklıklarının bakımından hem de solüsyon konsantrasyonunun oransal olarak mekanik dayanıma etkileri irdelenerek optimum malzeme oranları, uygun kurutma sıcaklığı ve solüsyon yüzdesi tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bakır oksit emprenye edilerek hazırlanan numunelerden 4 farklı deney numunesi ile beraber işlem görmüş numunelerin deney sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla her bir deney çeşidinden işlem görmemiş kontrol numunesi grubu da hazırlanmıştır. Çalışmamızda her bir deney grubunda 5 adet numune test edilmiş, ancak özellikle ahşabın heterojen ve anizotropik bir yapıya sahip olmasından dolayı deney sonuçlarında her grup kendi arasında değerlendirilmek suretiyle standart sapma dışında kalan iki numune dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla deney sonucu elde edilen ortalama değerler üç numunenin aritmetik ortalamasıdır [13].

3.1. Liflere Paralel Çekme Deneyi

Liflere paralel çekme deneyi için aynı şartlarda hazırlanan numunelerin deney öncesi nem oranlarının 15 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir. Kontrol numuneleri de dâhil olmak üzere 5 farklı numune grubundan 5'er numune 1 mm/dk çekme hızı ile liflere paralel çekme deneyi uygulanmıştır. Şekil 4'de deney numunelerinin ve test düzeneğinin resmi görülmektedir.



Şekil 4. Bakır oksit nano parçacık emprenye edilmiş paralel çekme deney düzeneği ve numuneleri

Çekme testi sonucunda kontrol numuneleri, ağırlıkça %1, %2, %3 oranında bakır oksit emdirilerek oda şartlarında kurutulmuş numuneler ve %1, %2, %3 oranında bakır oksit emdirilerek etüvde kurutulmuş numuneler ve şahit numuneler olmak üzere toplam 7 farklı gruptan elde edilen yük-sehim (N - mm) değerleri, gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülmüştür ve tablo halinde verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1 incelendiğinde kontrol numunelerinde ortalama paralel çekme gerilmesinin 69,25 MPa, ortalama birim deformasyon değerinin ise %2,47 olduğu görülmektedir. Diğer numunelerin paralel çekme gerilmesi-uzama değerleri sırasıyla %1 açık hava numuneleri için 92,33 MPa ve %1,37, %1 etüv numuneleri için 83,31 MPa ve %1,53, %2 açık hava numuneleri için 96,91 MPa ve %1,17, %2 etüv numuneleri için 126,28 MPa ve %3,73, %3

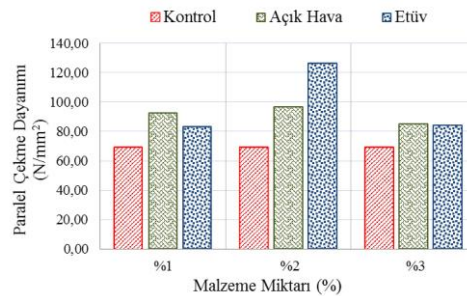
açık hava numuneleri için 85,14 MPa ve %2,40, son olarak %3 etüv numuneleri için 84,13 MPa ve %1,23 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 1. Bakır oksit empenye edilmiş numunelerin 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	69,25	2,47	0	0
%1 Açık Hava	90,06	1,60	86,69	1,20	100,25	1,30	92,33	1,37	33	-45
%1 Etüv	86,50	1,70	86,28	1,40	77,16	1,50	83,31	1,53	20	-38
%2 Açık Hava	77,72	1,00	103,19	1,10	109,81	1,40	96,91	1,17	40	-53
%2 Etüv	117,94	3,50	138,72	4,00	122,19	3,70	126,28	3,73	82	51
%3 Açık Hava	80,91	2,20	92,81	2,40	81,69	2,60	85,14	2,40	23	-3
%3 Etüv	80,62	1,10	87,84	1,40	83,93	1,20	84,13	1,23	21	-50

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde %33 oranında gerilme artışı elde edildiği öte yandan malzemenin %45 oranında gevrekleştiği tespit edildiği anlaşılmaktadır. %1 etüv numunelerinde ise %20 oranında gerilme artışı sağlanırken birim deformasyonda %38 oranında bir düşüş olduğu görülmüştür. %2 oranında bakır oksit empenye edilen numuneler incelendiğinde oda şartlarında kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinin %40 oranında arttığı, birim deformasyonun ise %53 oranında düştüğü; etüvde kurutulmuş numunelerde ise gerilme değerinin %82 oranında arttığı, birim deformasyonun da %51 oranında arttığı tespit edilmiştir. Son olarak %3 oranında bakır oksit empenye edilen numuneler incelendiğinde açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinin %23 oranında arttığı, birim deformasyonda ise belirgin bir değişiklik olmadığı, etüvde kurutulmuş numunelerde ise gerilme değerinin %21 oranında arttığı, birim deformasyonun ise %50 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Elde edilen gerilme değerlerinin ve değişim oranlarının daha net bir şekilde anlaşılması açısından kontrol numunesi gerilme değerleri sabit olacak şekilde açık hava ve etüvde kurutulmuş numunelerin gerilme değerlerinin alındığı ortalama gerilme değerleri grafiği oluşturulmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Bakır oksit empenye edilmiş numunelere uygulanan liflere paralel çekme deneyi sonucunda elde edilen ortalama gerilme değerleri

Sonuç olarak bakır oksitin tüm numunelerin paralel çekme gerilmesi üzerinde olumlu etkisinin olduğu, ancak genel olarak malzemeyi daha gevrek hale getirdiği ve dolayısıyla daha düşük birim deformasyon değerleri elde edilmesine neden olduğu görülmüştür. Daha düşük birim deformasyon değerleri elde edilmesi konusunda %2 oranında bakır oksit empenye

edilip etüvde kurutulmuş numuneler diğer gruplardan farklı bir davranış göstermişlerdir. Diğerlerine göre en yüksek gerilme değerlerinin elde edildiği bu numunelerde etüvde kurutmanın ahşabın sünekliğini % 50 oranında arttırdığı müşahade edilmiştir.

3.2. Liflere Dik Çekme Deneyi

Liflere dik çekme deneyinde test hızı 2,5 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Test numuneleri aynı şartlarda hazırlanmış ve deney öncesi nem oranlarının yaklaşık olarak aynı olmasına dikkat edilmiştir. 5 farklı numune türünden 5'er numuneye dik çekme deneyi uygulanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Bakır oksit nano Parçacık empenye edilmiş dik çekme deney düzeneği ve numuneleri

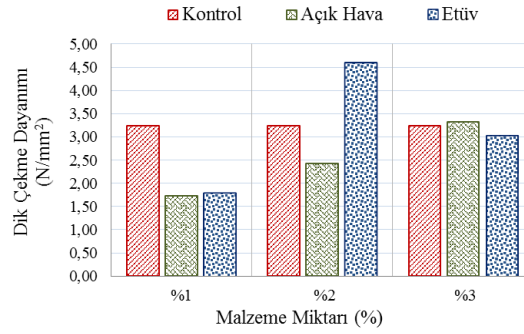
Çekme testi sonucunda; kontrol numuneleri, ağırlıkça %1, %2, %3 oranında bakır oksit emdirilmiş ve açık havada kurutulmuş, %1, %2, %3 oranında bakır oksit emdirilmiş ve etüvde kurutulmuş toplam 7 numune gurubundan elde edilen yük-sehim (N - mm) değerleri, gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülerek sonuçlar tablo halinde verilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Bakır oksit empenye edilmiş numunelerin dik çekme deneyi gerilme-birim deformasyon değerleri ve değişim oranları

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	3,24	2,97	0	0
%1 Açık Hava	1,77	4,80	1,72	4,70	1,69	4,90	1,73	4,80	-47	62
%1 Etüv	1,91	4,60	1,57	2,50	1,89	3,50	1,79	3,53	-45	19
%2 Açık Hava	2,32	3,80	2,81	3,20	2,15	5,10	2,43	4,03	-25	36
%2 Etüv	5,02	8,10	4,53	5,60	4,20	6,60	4,58	6,77	41	128
%3 Açık Hava	3,09	5,60	3,51	5,80	3,38	5,30	3,33	5,57	3	88
%3 Etüv	3,26	4,90	3,32	5,50	2,50	4,00	3,03	4,80	-7	62

Tablo 2’de kontrol numunelerinde ortalama dik çekme gerilmesinin 3,24 MPa, ortalama birim deformasyon değerinin ise yüzde 2,97 olduğu görülmektedir. %1 açık hava numunelerinin dik çekme gerilmesi 1,73 MPa, yüzde uzaması 4,8, %1 etüv numunelerinin ortalama gerilmesi 1,79 MPa, yüzde uzaması 3,53, %2 açık hava numunelerinin ortalama gerilmesi 2,43 MPa, yüzde uzaması 4,03, %2 etüv numunelerinin ortalama gerilmesi 4,58 MPa, yüzde uzaması 6,77, %3 açık hava numunelerinin ortalama gerilmesi 3,33 MPa, yüzde uzaması 5,57 ve %3 etüv numunelerinin ortalama gerilmesi 3,03 MPa, yüzde uzaması 4,8 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava

numunelerinde %47 oranında gerilmeye düşüş olduğu, öte yandan malzemenin %62 oranında sünek hale geldiği görülmüştür. %1 etüv numunelerinde de %45 oranında gerilme düşüşü ve birim deformasyonda %19 oranında bir artış olduğu tespit edilmiştir. %2 oranında bakır oksit emprenye edilen numunelerden açık havada kurutulanların ortalama gerilme değerlerinin %25 oranında düşüş sergilediği, birim deformasyonlarının ise %36 oranında arttığı görülürken, etüvde kurutulmuş numunelerde gerilme değerinin %41 oranında arttığı ve buna % 128’lik bir oranla birim deformasyondaki artışın eşlik ettiği müşahade edilmiştir. %3 oranında bakır oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinde belirgin bir değişiklik olmadığı, birim deformasyonun ise % 128 oranında arttığı, Etüvde kurutulmuş numunelerde ise gerilme değerinin %7 oranında düştüğü, birim deformasyonun ise % 62 oranında arttığı tespit edilmiştir. Elde edilen gerilme değerlerinin ve değişim oranlarının daha net bir şekilde anlaşılması amacıyla kontrol numunelerinin gerilme değerlerini, %1, %2 ve %3 oranında bakır oksit emprenye edilip açık havada ve etüvde kurutulmuş numunelerin gerilme değerleri ile kıyaslamak için ortalama gerilme değerleri grafiği oluşturulmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Bakır oksit liflere dik çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak bakır oksit emprenyesinin hemen hemen tüm numunelerin dik çekme gerilmesi üzerinde olumsuz etkisinin olduğu, ancak ahşabı daha sünek hale getirerek daha yüksek birim deformasyon değerleri elde edilmesini sağladığı görülmüştür. Bu konudaki tek istisnanın %2 oranında bakır oksit emprenye edilmiş ve etüvde kurutulmuş numune grubu olduğu görülmektedir. Bu numunelerde hem en yüksek gerilme hem de en yüksek yüzde uzama değerleri elde edilmiştir.

3.3. Liflere Paralel Basınç Deneyi

Aynı şartlarda hazırlanıp deney öncesinde nem oranlarının birbirine yakın olmasına dikkat edilen 7 farklı numune türünden 5'er numune 0,3 mm/dk basma hızı ile liflere paralel basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 8).



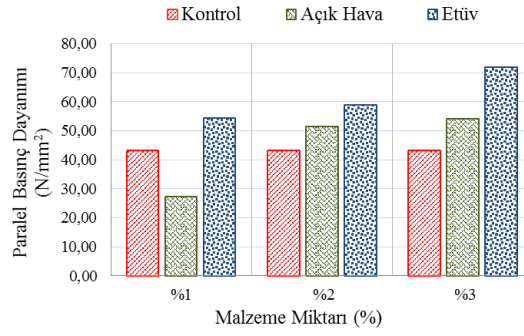
Şekil 8. Bakır oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel basınç deney düzeneği ve numuneleri 7 numune gurubundan paralel basınç deneyi sonucunda elde edilen yük-sehim (N - mm) değerleri, gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülmüştür ve sonuçlar tablo halinde verilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3 incelendiğinde kontrol numunelerinin ortalama paralel basınç gerilmesinin 42,86 MPa, ortalama birim deformasyon değerinin ise yüzde 2,10 olduğu görülmektedir. %1 bakır oksit emprenyesi yapıp açık havada kurutulan numunelerin paralel basınç gerilmesi 27,2 MPa, yüzde uzaması 1,7 iken yine %1 bakır oksit emprenyesi yapıp etüvde kurutulan numunelerin ortalama gerilmesinin 54,41 MPa ve yüzde uzamasının 2,07 olduğu görülmektedir. %2 bakır oksit emprenyesi yapıp açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilmesi 51,35 MPa, yüzde uzaması 2,10 iken, aynı oranda bakır oksit emprenye edilip etüvde kurutulan numunelerin ortalama gerilmesi 58,88 MPa, yüzde uzaması 1,93 olarak Tablo 3'e geçilmiştir. %3 oranında bakır oksit emprenye edilen numunelerden açık havada kurutulanların ortalama gerilmesi 54,04 MPa, yüzde uzaması 2,20 iken etüvde kurutulanlarda bu değerler sırasıyla 71,8 MPa ve 2,03 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3. Paralel basınç deneyi sonucunda bakır oksit emprenyesi yapılmış numunelerden elde edilen gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri

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	42,86	2,10	0	0
%1 Açık Hava	24,55	1,60	26,59	1,70	30,45	1,80	27,20	1,70	-37	-19
%1 Etüv	51,91	1,90	55,84	2,30	55,48	2,00	54,41	2,07	27	-2
%2 Açık Hava	51,09	1,80	51,89	2,40	51,06	2,10	51,35	2,10	20	0
%2 Etüv	55,76	1,90	63,55	1,90	57,34	2,00	58,88	1,93	37	-8
%3 Açık Hava	54,33	2,20	53,55	2,20	54,25	2,20	54,04	2,20	26	5
%3 Etüv	71,10	1,90	77,12	2,10	67,17	2,10	71,80	2,03	68	-3

Şekil 9'da emprenye işlemine tabi tutulan numunelerin gerilme değerlerinin kontrol numunelerine göre değişimi grafik olarak verilmiştir. Şekil incelendiğinde en yüksek gerilme artışını %3 bakır oksit emprenye edilip etüvde kurutulan numunelerin sağladığı ve bu artış oranının %68 olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Bakır oksit liflere paralel basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak bakır oksit empenyesinin %1 açık hava numunelerinin dışındaki tüm numunelerin paralel basınç direnci üzerinde olumlu etkilerinin olduğu ve yine adı geçen numune grubu hariç tüm numunelerde kayda değer bir birim deformasyon değişimine neden olmadığı anlaşılmıştır. Tüm numune grupları içerisinde en yüksek paralel basınç gerilmesi %3 etüv numunelerinden elde edilmiştir.

3.4. Liflere Dik Basınç Deneyi

Liflere dik basınç deneyi 0,305 mm/dk basma hızı ile gerçekleştirilmiştir. Deneye tabi tutulacak 7 farklı numune grubu aynı şartlarda hazırlanarak deney öncesi nem oranlarının 15 ± 3 olması sağlanmıştır. Her gruptan 5'er numune dik basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 10).

3 farklı oranda bakır oksit empenye edilip açık hava ve etüv olmak üzere iki farklı ortamda kurutulmak suretiyle elde edilen 7 farklı numune gurubundan dik basınç deneyi sonucu elde edilen yük-sehim (N - mm) değerleri gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülmüş ve sonuçlar tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 10. Bakır oksit nano Parçacık empenye edilmiş numuneler ve dik basınç deneyi düzeneği

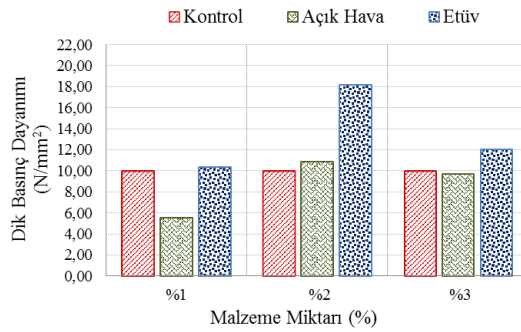
Tablo 4. Bakır oksit empenye edilmiş numunelerin dik basınç deneyi sonucu elde edilen gerilme-birim deformasyon değerleri

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	9,94	4,47	0	0
%1 Açık Hava	5,18	12,00	5,62	11,00	5,92	9,90	5,57	10,97	-44	146
%1 Etüv	10,14	14,00	10,60	10,00	10,35	11,90	10,36	11,97	4	168
%2 Açık Hava	10,96	4,20	10,90	4,60	10,77	4,80	10,88	4,53	9	1
%2 Etüv	18,47	7,70	17,55	6,60	18,49	6,70	18,17	7,00	83	57
%3 Açık Hava	9,65	6,20	10,09	6,60	9,39	6,20	9,71	6,33	-2	42
%3 Etüv	11,97	7,70	11,56	6,20	12,57	6,00	12,03	6,63	21	49

Tablo 4 incelendiğinde kontrol numunelerinin ortalama dik basınç gerilmesinin 9,94 MPa, ortalama birim deformasyon değerinin ise %4,47 olduğu görülmektedir. Diğer numunelerden elde edilen gerilme-yüzde uzama değerlerinin sırasıyla %1 açık hava numuneleri için 5,57 MPa ve 10,97, %1 etüv numuneleri için 10,36 MPa ve 11,97, %2 açık hava numuneleri için 10,88 MPa ve 4,53, %2 etüv numuneleri için 18,17 MPa ve 7,00, %3 açık hava numuneleri için 9,71 MPa ve 6,33, %3 etüv numuneleri için 12,03 MPa ve 6,63 olduğu görülmektedir.

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinin gerilme değerinde %44 oranında bir düşüş olduğu öte yandan uzama değerinde %146 oranında bir artış olduğu anlaşılmaktadır. %1 etüv numunelerinde ise %4 oranında küçük bir gerilme artışı ile birlikte %1 açık hava numunelerine benzer biçimde süneklikte %168 oranında bir artış gözlenmiştir. %2 oranında bakır oksit empenye edilen numuneler incelendiğinde açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinin %9 oranında arttığı, ancak birim deformasyonunda bir değişim olmadığı görülmüştür. %2 oranında bakır oksit empenye edilip etüvde kurutulmuş numunelerde ise gerilme değerinin %83 oranında arttığı, birim deformasyonun da %57 oranında arttığı müşahade edilmiştir. Son olarak %3 oranında bakır oksit empenye edilen numuneler incelendiğinde açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinde belirgin bir değişim olmadığı, birim deformasyonlarında ise %42 oranında artış olduğu, etüvde kurutulmuş numunelerin gerilme değerinin %21 oranında arttığı, birim deformasyon değerlerinin de %49 oranında artış sergilediği görülmüştür.

Gerilme değerleri açısından numuneler arasındaki değişimlerin daha anlaşılabilir olması amacıyla oluşturulan dik basınç deneyi gerilme değerleri Şekil 11'de verilmiştir. Şekilden en yüksek gerilme artışının %2 bakır oksit empenye edilip etüvde kurutulan numunelerde sağlandığı görülmektedir.



Şekil 11. Bakır oksit empenye edilmiş numunelerin liflere dik basınç deneyi ortalama gerilme değerleri

Sonuç olarak emprenye edilen bakır oksit oranının ahşabın dik basınç direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde; en yüksek gerilme artışının %2 oranında yapılan emprenye ve etüvde kurutma işlemi ile sağlandığı tespit edilmiştir. Öte yandan birim deformasyon değişimi açısından en yüksek sünekliğin %1 oranındaki bakır oksit emprenyesi ile sağlandığı görülmüştür.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Bakır oksit nano parçacıkların farklı oranlarda emprenye edilip, iki farklı sıcaklıklarda kurutulduktan sonra yeni üretilen kompozit malzemelerin çekme ve basınç özelliklerinin araştırılması amacıyla yapılan mekanik testler sonucunda;

Paralel çekme gerilmesi açısından %2 oranında emprenye edilmiş ve etüvde kurutulmuş numunelerde hem diğerlerine göre en yüksek gerilme değeri (%82 artış) elde edilmiş hem de %50 oranında ahşap daha sünek hale gelmiştir. Dik Çekme gerilmesi açısından %2 oranında emprenye edilmiş ve etüvde kurutulmuş numunelerde hem en yüksek gerilme değeri (%41 artış) elde edilmiş hem de en yüksek yüzde uzama (%128 artış) elde edilmiştir. Paralel basınç deneyinde tüm numune grupları içerisindeki en iyi gerilme değeri %3 etüv numunelerinde elde edilmiştir (%68 artış). Bu numunelerde birim deformasyon açısından bir değişim olmamıştır. Tüm numune grupları içerisindeki en iyi dik basınç gerilmesini %2 etüv numuneleri sağlamıştır (%83 artış). Öte yandan yüzde uzama açısından %57 oranında artış sağlanmıştır. Sonuç olarak;

Emprenye sonucunda elde edilen numuneler gözle muayene edildiğinde özellikle bakır oksit parçacıklarının ahşabın derinliklerine kadar nüfuz ettiği ve bu malzemelerin ahşap içerisindeki yayılımı homojen olduğu tespit edilmiştir. Kurutma sıcaklığının ahşabın mekanik özellikleri açısından tüm numunelerde doğru orantılı bir değişim sergilemediği ancak genel olarak etüvde kurutulan numunelerin basınç ve çekme dayanımı açısından daha olumlu etkisinin olduğu ifade edilebilir. Solüsyonun konsantrasyonu, kurutma sıcaklıkları ve deney çeşitleri göz önünde bulundurulduğunda basınç ve çekme dayanımı açısından seçilecek optimum numune nano bakır oksit malzemesinin ağırlıkça %2 oranında emprenye edilmesi ve etüvde kurutulması ahşabın mekanik davranışına en olumlu etkinin sağlanacağı sonucuna varılmıştır. Emprenyede kullanılan bakır oksit nano Parçacıklar ahşabın basınç ve çekme dayanımı üzerinde %40-%50 oranında iyileştirme sağladığı, piyasada kullanılan emprenye maddelerinin mekanik dayanımı %20-%30 oranında düşürdüğü dikkate alındığında bu oranın %70-%80'lere ulaştığı görülmektedir. Üretilen yeni nano bakır 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 kılacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Rektörlüğü, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAPK) tarafından 2012-50-02-030 ve 2012-09-04-003 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] Sivrikaya H., Saraçbaşı A., Bor Madeninin Ahşap Koruma Endüstrisinde Değerlendirilmesi , II. Uluslararası Bor Sempozyumu, s; 365-372, Eskişehir, Türkiye, 2004
- [5] 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
- [6] 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.
- [7] ASTM-D 143-09 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, USA. 2009.
- [8] ISO 3345-1975 Wood-Determination of ultimate tensile stress parallel to grain, International Organization for Standardization (ISO), 1975.
- [9] Aslan, S., Ağaç Zararlıları Koruma Ve Emprenye Tekn., KOSGEB Yayınları, Ankara, 1998.
- [10] Bozkurt, Y., Göker, Y., Erdin, N., Emprenye Tekniği, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3779, Orman Fakültesi Yayın No: 425, İstanbul, 1993
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Akgul T., CCB Nano Partiküllerle Güçlendirilmiş Ahşap Yapı Elemanlarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya, 2013