

Krom Oksit (Cr_2O_3) Nano Partikül Emprenye Edilmiş Çam Ahşabın Basınç ve Çekme Dayanımının İncelenmesi

Tahir AKGÜL^{1*} Ahmet APAY¹

¹Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya-Türkiye
tahirakgul@sakarya.edu.tr, aapay@sakarya.edu.tr,

Özet:

Ahşap doğal ve sağlıklı bir yaşam ortamının sembolüdür. Diğer yapı malzemeleriyle karşılaştırıldığında hiçbir yapı malzemesi bu denli sürdürülebilir değil ve hiçbiri bu düzeyde çevreci ve doğa dostu değildir. Ahşap yapı sistemleri günümüz modern yaşam standartları açısından talep edilen sağlık, tasarım, konfor ve enerji verimliliği bakımından da diğer yapı sistemleri ile karşılaştırılmayacak derecede ileri düzeydedir. Dünyanın en eski yapı malzemesi olan ahşap ile yüzyıllar önce inşa edilen birçok yapı günümüzde halen kullanılmakta olup yeni ahşap yapı tasarımları da dünyanın birçok yerinde tercih sebebi olmaktadır.

Ahşap yapı tasarımında, emniyet sınırları içerisinde daha küçük ebatlarda yapı elemanı üretmek ancak ahşabın mekanik özelliklerini artırmakla mümkündür. Bu nedenle ahşap güçlendirme konusunda birçok teknik uygulanmaktadır. Bu tekniklerden, nano parçacıklarla desteklenmiş kompozit ahşap kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu yeni kompozit ahşapların üst düzey fiziksel özelliklerinin yanında yüksek mekanik performansa sahip malzemeler geliştirilmektedir.

Bu çalışmada; ahşap yapılarda sıkça kullanılan sarıçam ahşaba alçak basınç-vakum yöntemiyle emprenye edilen farklı oranlardaki krom nano parçacıkların ahşabın basınç ve çekme, dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

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

Investigation of the Compressive and Tensile Strength of Chrome Oxide (Cr_2O_3) Nanoparticles Impregnated Pine Wood

Abstract

Wood is the symbol of natural and healthy a living environment. When compared to other building materials, anyone is not environmentally sustainable and eco-friendly at this level. Wooden building systems cannot be compared with other building systems in terms of energy efficiency, claimed for modern living standards of health, design or comfort standards. The world's oldest building materials is wood. Many buildings are still in use today, was built centuries ago. On the other hand new wooden building designs are preferred in many parts of the world.

In wooden construction design, production of smaller structure parts in safety limits is possible only with improving mechanical properties of wood. For this purpose, nano metal oxide particles are impregnated into wood material for improving mechanical performance of the wood. In the experimental studies, effect of impregnated cooper 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.

Key Words: wood, impregnated, Nanoparticles, Chrome Oxide, mechanical properties

1. Giriş

Günümüze ileri teknolojik ürünlerden biri de nano boyutta üretilen malzemelerle geliştirilmiş nano teknolojik ürünlerdir. Nano teknolojik ürünler 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 eski tarihlerden günümüze kadar yaygın olarak kullanılan başlıca malzemelerden birisi ahşaptır. Ahşap doğal-organik bir yapıya sahip olmasından dolayı sağlıklı ancak 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[4,5].

Ahşabı korumak amacıyla 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 [4]. Piyasada organik maddeler içermesinden ve su bazlı üretilmelerinden dolayı uygulanan emprenye malzemeleri Bakır-Krom-Arsenik (CCA) ve Bakır-Krom-Bor (CCB) maddelerinin türevlerinden oluşturulmaktadır. CCA emprenye konsantresi insan sağlığı için oldukça zararlı olarak bilinen Arsenik içermesinden dolayı, günümüzde özellikle yaşam alanlarında kullanımı yasaklanmıştır. Bunun yerine insan sağlığı üzerinde olumsuz etkisi bulunmayan yada daha az olan CCB emprenye malzemesinin türevleri tercih edilmektedir. CCB emprenye malzemesi genelde ahşap direklerde, çocuk oyun alanlarında, kent-bahçe mobilyalarında ve yapı sistemleri tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. 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 [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 çözeltilerin bazik bölgede olması ve bazların odunda lignin ve bazı ekstraktifleri çözüdürücü etkisinin olmasından dolayı ahşabın direncini olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır [8]. Ahşabın emprenye edilmesinin mekanik dayanımını düşürmesi birçok avantajının yanında en önemli dezavantajını oluşturmaktadır. Yapılan bu çalışma ahşabın emprenye edilmesi sonucu ortaya çıkan bu olumsuz etkinin 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 numune alım yöntemine uygun kesilerek hazırlanmıştır.

2.2. Emprenye Maddesi (Krom oksit solüsyonu)

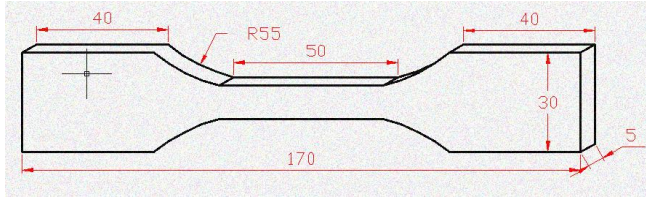
Piyasada kullanılan makro ve mikro boyutlardaki emprenye tuzlu bileşiklerinin ahşabın mekanik özellikleri üzerindeki dezavantajını ortadan kaldırmak ve emprenye sonucunda daha iyi mekanik dayanım elde edilmesini sağlamak amacıyla tanecik boyutu nano düzeyde olan krom oksit kullanılmıştır. Emprenye işlemlerinde farklı oranlarda su içerisinde disperse edilerek kullanılan nano parçacıklar Krom Oksit (Cr_2O_3): NP-CHO6 ticari koduyla Grafen firması tarafından üretilmiş olup $99+$ saflıkta, 60 nm çapında ve yeşil renktedir. Solüsyon nano parçacıkların su içerisinde ağırlıkça 1 , 2 ve 3 oranında disperse edilmesiyle üretilmiştir.

2.3. Ahşap numunelerin hazırlanması

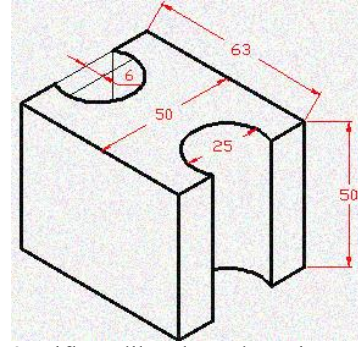
Ahşap numuneler gözle görünür çatlak, çürük, mantarlanma, budak vb. kusurları olmayan kurutulmuş 1. sınıf sarıçam keresteden elde edilmiştir. Numuneler ASTM D143-09 standardı esas alınarak [9] numune alım yöntemlerine ve lif yönlerine göre kesilmiştir. Boyutları yine ilgili standarda göre tespit edilen 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 $50 \times 50 \times 150 \text{ mm}$ büyüklüğünde verilmiştir. Numuneler $1/2$ oranında küçültülerek $25 \times 25 \times 75$ boyutlarında hazırlanmıştır.
- Liflere Paralel Basınç Deneyi: ASTM D143-09'de numuneler $50 \times 50 \times 150 \text{ mm}$ büyüklüğünde verilmiştir. Numuneler $1/3$ 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 [10].
- 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 çalışılarda emprenye işleminde hem uygulanabilirliği hem de istenen sonuçların elde edilebilmesi açısından en yaygın olarak kullanılan sistem 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 kurularak kullanıma sunulur [12]. Emprenye çalışmaları, literatürde yer alan ve yukarıda ifade edilen yöntem ve teknikler kullanılarak yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışılarda emprenye için uygulanacak basınç ve vakum değerlerini emniyetli bir şekilde kaldırabilecek özel bir emprenye tankı tasarlanmıştır. Çapı 320 mm ve yüksekliği 500 mm olan silindir şeklindeki bu tankın et kalınlığı 6 mm olan çelik saçtan üretilmiştir. Tanka vakum pompası, kompresör ve çift taraflı manometre bağlanmıştır. Emprenye ile ilgili deneysel çalışılalar ASTM-D1413-76 standardına göre yapılmıştır [13].

Emprenye işleminin 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 [14]. Deneysel çalışılalar süresince numunelerin nem oranlarının değişmemesi için deney sırası bekleyen numuneler desikatör içerisinde bekletilmiştir.

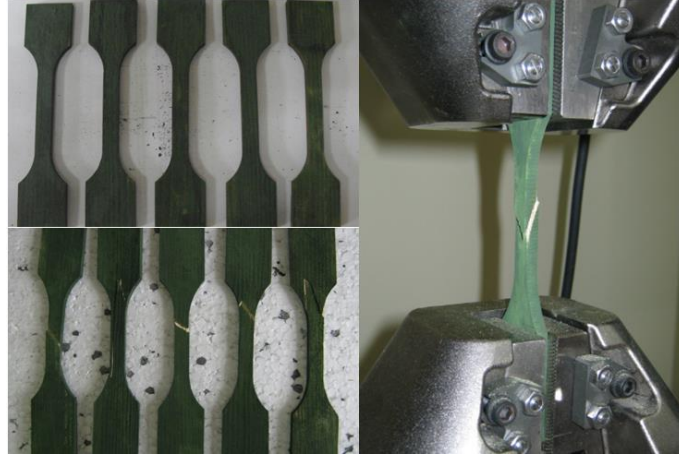
3. Deneysel sonuçlar

Yapılan deneysel çalışılalarda ağırlıkça %1, %2 ve %3 oranlarla krom oksit nano parçacık emprenye edilip, etüvde (105 °C) ve açık havada (20 °C) olmak üzere iki farklı sıcaklıkta kurutulan numunelerin mekanik performansları incelenmiştir. Numunelerin mekanik performansları dik çekme, dik basınç, paralel çekme, paralel basınç deneylerini içermektedir. Deneysel çalışılalar sonucunda krom oksit nano parçacıklarının hem kurutma sıcaklıkları bakımından incelenmiş hem de solüsyon konsantrasyonunun oransal olarak mekanik dayanıma etkileri irdelenerek optimum malzeme oranları, uygun kurutma sıcaklığı ve solüsyon yüzdesi tespit edilmesi hedeflenmiştir. Krom oksit emprenye edilerek hazırlanan numunelerden 4 farklı deney numunesi grubu 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 [15].

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 3).



Şekil 3. Krom oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel çekme deney düzeneği ve numuneleri

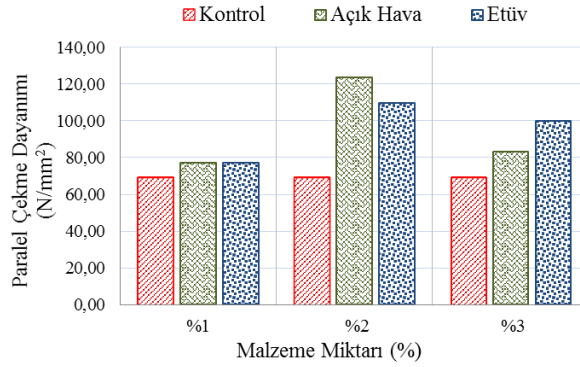
Çekme testi sonucunda kontrol numuneleri, ağırlıkça %1, %2, %3 oranında krom oksit emdirilmiş ve açık havada kurutulmuş, %1, %2, %3 oranında krom oksit emdirilmiş ve etüvde kurutulmuş toplam 7 numune gurubundan elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Ayrıca deney sonuçlarının değerlendirilebilmesi ve birbirleriyle daha rahat 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. Krom 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	69,25	2,47	0	0
%1 Açık Hava	83,28	1,70	76,19	1,20	71,91	1,30	77,13	1,40	11	-43
%1 Etüv	84,16	1,60	73,81	1,40	73,53	1,60	77,17	1,53	11	-38
%2 Açık Hava	111,62	1,10	122,19	1,50	136,91	1,40	123,57	1,33	78	-46
%2 Etüv	106,62	1,00	111,62	1,20	111,50	1,30	109,91	1,17	59	-53
%3 Açık Hava	85,75	0,99	73,91	1,20	89,41	1,10	83,02	1,10	20	-56
%3 Etüv	102,28	2,00	106,62	2,00	90,75	2,20	99,88	2,07	44	-16

Tablo 1 de; elde edilen değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde %11 oranında gerilme artışı elde edilmiş öte yandan malzemenin %43 oranında gevreklediği tespit edilmiştir, %1 etüv numunelerinde ise %11 oranında gerilme artışı elde edilmiş ve birim deformasyonunda %38 oranında düşüş olduğu görülmektedir. %2 oranında krom oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde; Açık havada kurutulan

numunelerin ortalama gerilme değerlerinin %78 oranında arttığı, birim deformasyonun ise %46 oranında düştüğü, Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise gerilme değerinin %59 oranında arttığı, birim deformasyonun % 53 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Son olarak %3 oranında krom oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinin %20 oranında arttığı, birim deformasyonun ise %56 oranında düştüğü, Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise gerilme değerinin %44 oranında arttığı, birim deformasyonunda ise %16 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile, kontrol numunelerinin 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 4).

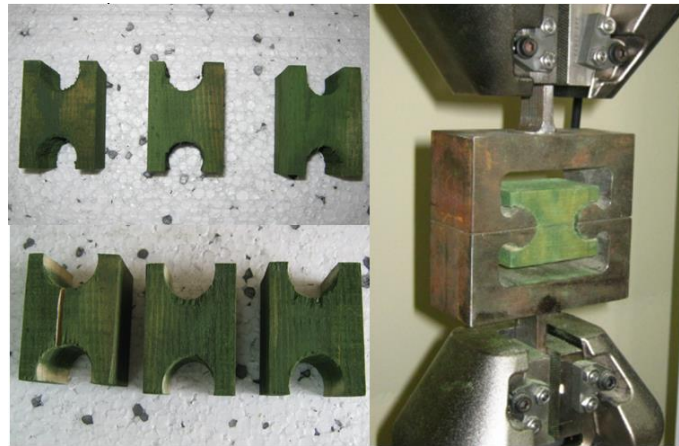


Şekil 4. Krom oksit liflere paralel çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak krom oksitin ahşabın paralel çekme direnci üzerindeki etkisi irdelendiğinde tüm numunelerin paralel çekme gerilmesi üzerinde olumlu etkisinin olduğu ancak malzemeyi daha gevrek hale getirdiği ve daha düşük birim deformasyon değerleri elde edildiği tespit edilmiştir. Tüm numuneler içerisinde en yüksek gerilme değeri %2 açık hava numunelerinden 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 hazırlanış ve deney öncesi nem oranlarının %15 ±3 olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numuneye dik çekme deneyi uygulanmıştır (Şekil 5).



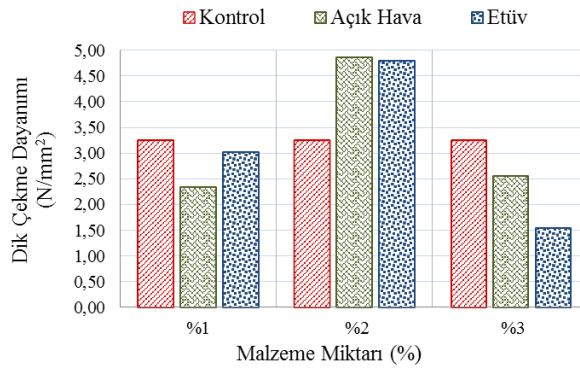
Şekil 5. Krom oksit nano Parçacık emprenye edilmiş dik çekme deney düzeneği ve numuneleri

Elde edilen dik çekme deneyi deney sonuçları ile, 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).

Tablo 2. Krom 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	3,24	2,97	0	0
%1 Açık Hava	2,03	5,00	2,68	5,20	2,30	5,80	2,34	5,33	-28	80
%1 Etüv	3,52	6,10	2,36	5,30	3,16	5,40	3,01	5,60	-7	89
%2 Açık Hava	5,49	7,60	4,08	4,80	5,02	7,50	4,86	6,63	50	124
%2 Etüv	5,37	7,50	5,22	6,70	3,81	6,50	4,80	6,90	48	133
%3 Açık Hava	2,07	2,83	2,62	3,77	2,96	3,77	2,55	3,46	-21	17
%3 Etüv	1,42	3,90	1,62	2,90	1,57	4,00	1,54	3,60	-53	21

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde %28 gerilme düşüşü ve %80 oranında birim deformasyon artışı elde edilmiştir, %1 etüv numunelerinde de %7 oranında gerilme düşüşü tespit edilmiş öte yandan birim deformasyonunda %89 oranında artış olduğu anlaşılmıştır. %2 oranında krom oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinin %50 oranında artış olduğu, birim deformasyonunda %124 oranında arttığı, Etüvde kurutulmuş numunelerinde de gerilme değerinin %48 oranında arttığı, birim deformasyonunda %133 oranında arttığı tespit edilmiştir. Son olarak %3 oranında krom oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinde % 21 oranında düşüş olduğu, birim deformasyonun ise % 17 oranında arttığı, Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise gerilme değerinin %53 oranında düştüğü, birim deformasyonun da % 21 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 6).



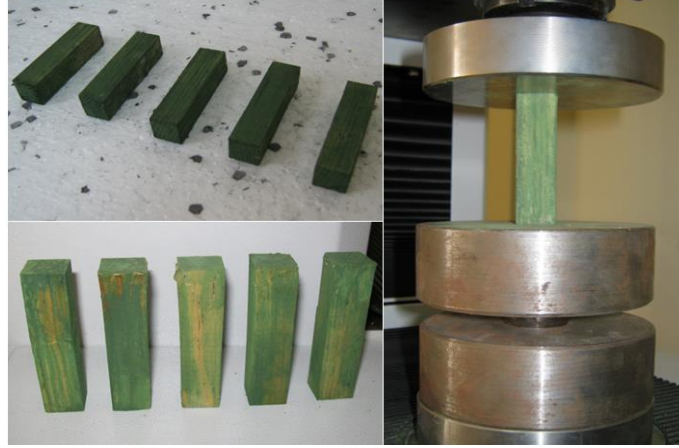
Şekil 6. Krom oksit liflere dik çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak krom oksitin ahşabın dik çekme direnci üzerindeki etkisine bakıldığında %2 oranında emprenye edilmiş numuneler hariç diğer numunelerin dik çekme gerilmesi üzerinde olumsuz etkisinin olduğu ancak tüm numunelerde ahşabın 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 grubu %2 açık hava ve %2 etüv numunelerinden 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 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numune paralel basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Krom oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel basınç deney düzeneği ve numuneleri

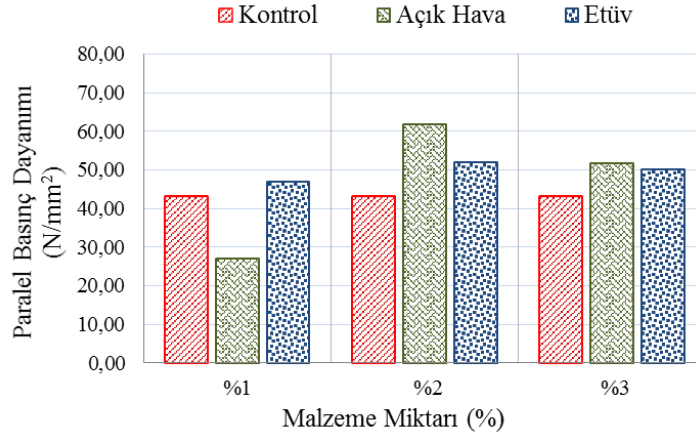
Elde edilen deney sonuçları ile, her numuneye ait standart sapma değerleri içerisinde yer alan 3'er numunenin gerilme - birim deformasyon değerleri, bu numunelere ait ortalama değerler ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranlarının yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 3).

Tablo 3. Krom 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	42,86	2,10	0	0
%1 Açık Hava	27,79	1,80	26,95	1,50	26,13	1,50	26,96	1,60	-37	-24
%1 Etüv	47,66	1,90	49,17	2,10	43,81	1,70	46,88	1,90	9	-10
%2 Açık Hava	63,42	2,50	61,18	1,80	60,77	2,00	61,79	2,10	44	0
%2 Etüv	53,89	2,10	52,39	2,30	49,45	2,20	51,91	2,20	21	5
%3 Açık Hava	52,12	1,85	51,22	2,04	51,82	2,05	51,72	1,98	21	-6
%3 Etüv	51,47	2,57	48,69	2,18	50,03	2,12	50,06	2,29	17	9

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde %37 oranında gerilmede düşüş olduğu öte yandan malzemenin %24 oranında gevrek hale geldiği tespit edilmiştir, %1 etüv numunelerinde ise %9 oranında gerilme artışı, birim deformasyonunda %10 oranında düşüş olduğu gözlenmemiştir. %2 oranında krom oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde Açık havada kurutulmuş numunelerin ortalama gerilme değerlerinin % 44 oranında artış olduğu, Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise gerilme değerinin % 21 oranında arttığı, birim deformasyonlarında belirgin bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Son olarak %3 oranında bakır oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulmuş numunelerin ortalama gerilme %21 oranında artış, birim

deformasyonunda %6 oranında düşüş olduğu, Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise gerilme değerinin % 17 oranında artış olduğu, birim deformasyon değerlerinde de %9 oranında artış olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarının gerilme değerleri yönünden numuneler arasındaki değişimlerin daha anlaşılabilir olması açısından ortalama değerler grafiği çizilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Krom oksit liflere paralel basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak krom 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 genel olarak ya değişim olmamış yada %1 numunelerinde olduğu gibi numuneler gevrek hele gelmiştir. Tüm numune grupları içerisinde en iyi paralel basınç gerilmesi % 2 açık hava 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 hazırlanmış ve deney öncesi nem oranları 15 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numune dik basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Krom oksit nano Parçacık emprenye edilmiş dik basınç deney düzeneği ve numuneleri

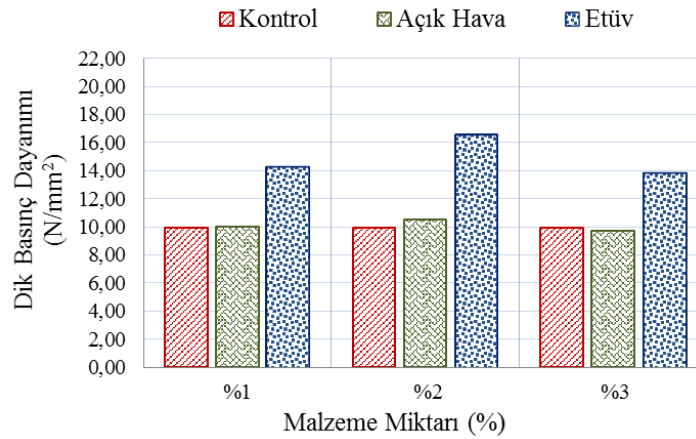
Elde edilen sonuçlar için, her numuneye ait standart sapma değerleri içerisinde yer alan 3'er numunenin gerilme - birim deformasyon değerleri, bu numunelere ait ortalama değerler ve bu

değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranlarının yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 4).

Tablo 4. Krom 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	9,94	4,47	0	0
%1 Açık Hava	10,83	8,80	9,60	9,60	9,61	7,90	10,01	8,77	1	96
%1 Etüv	15,70	9,70	11,64	11,20	15,38	11,70	14,24	10,87	43	143
%2 Açık Hava	10,86	5,90	9,05	5,10	11,64	7,40	10,52	6,13	6	37
%2 Etüv	16,61	4,90	14,92	8,10	17,92	8,80	16,48	7,27	66	63
%3 Açık Hava	9,21	7,70	9,56	7,26	10,41	7,26	9,73	7,41	-2	66
%3 Etüv	13,44	6,90	12,36	7,70	15,67	7,80	13,82	7,47	39	67

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde gerilmelerde bir değişim olmadığı ve malzemenin % 96 oranında sünek hale geldiği tespit edilmiştir, %1 etüv numunelerinde gerilme artışında % 43, birim deformasyonunda ise % 143 oranında artış gözlenmiştir. %2 oranında krom oksit empenye edilen numuneler incelendiğinde Açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinin % 6 oranında artış olduğu, birim deformasyonunda da % 37 oranında bir artış olduğu görülmüştür. Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise gerilme değerinin % 66 oranında arttığı, birim deformasyonlarında da % 63 oranında arttığı tespit edilmiştir. Son olarak %3 oranında krom oksit empenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilmelerde bir değişim olmadığı, birim deformasyonlarında ise %66 oranında artış olduğu, Etüvde kurutulmuş numunelerinde gerilme değerinin %39 oranında artış olduğu, birim deformasyon değerlerinde ise %67 oranında artış olduğu görülmüştür. Gerilme değerleri açısından numuneler arasındaki değişimlerin daha anlaşılabilir olması açısından dik basınç gerilmesi ortalama değerler grafiği çizilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Krom oksit liflere dik basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak bakır oksitin ahşabın dik basınç direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde % 1 açık hava ve %3 açık hava numunelerinde değişim olmadığı diğer numunelerde ise farklı oranlarda artış olduğu görülmektedir. 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.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Krom 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 açık hava numunelerinde %78 oranında yüksek gerilme değeri elde edilmiş ancak %46 oranında malzemenin gevreklediği görülmüştür.
- Dik Çekme gerilmesi açısından %2 oranında emprenye edilmiş numunelerde %50 oranında olumlu bir değişim elde edilmiştir. Öte yandan %130 oranında yüzde uzama değerinde artışı olmuştur.
- Paralel basınç deneyinde tüm numune grupları içerisindeki en iyi gerilme değeri %2 açık hava numunelerinde elde edilmiştir (%44 artış). Bu numunelerde birim deformasyon değişimi görülmemiştir.
- Tüm numune grupları içerisindeki en iyi dik basınç gerilmesini %2 etüv numuneleri sağlamıştır (%66 artış). Öte yandan yüzde uzama açısından da %63 oranında artış sağlanmıştır.

Sonuç olarak;

Emprenye sonucunda elde edilen numuneler gözle muayene edildiğinde özellikle krom oksit parçacıklarının ahşapta oluşan yüzey gerilimi sonucunda ahşap yüzeyinde biriktiği ve ahşabın derinliklerinde homojen olarak dağılmadığı gözlenmiştir. Bu durum çözeltinin PH dengesi değiştirilerek giderilebileceği tespit edilmiştir. Kurutma sıcaklığının ahşabın mekanik özellikleri açısından dik basınç numuneleri dışında tüm numunelerde doğru orantılı bir değişim sergilemediği ancak genel olarak açık havada kurutulmuş numunelerin basınç ve çekme dayanımı açısından daha olumlu etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Solüsyonun konsantrasyonu, kurutma sıcaklıkları ve deney çeşitleri göz önünde bulundurulduğunda krom oksit emdirilen numunelerde basınç ve çekme dayanımı açısından seçilecek optimum numune nano krom oksit malzemesinin ağırlıkça %2 oranında emprenye edilmesi ve açık havada kurutulması ahşabın mekanik davranışına en olumlu etkinin sağlanacağı sonucuna varılmıştır. Emprenyede kullanılan krom oksit nano parçacıklar ahşabın basınç ve çekme dayanımı üzerinde ortalama %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 krom 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 tespit edilmiştir.

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] Akgül T., Apay, A. C., “Bakır Oksit (CuO₂) Nano Partikül Emprenye Edilmiş Çam Ahşabın Basınç ve Çekme Dayanımının İncelenmesi” 2nd International Symposium On Innovative Technologies In Engineering and Science (ISITES), 18-20 Haziran, Karabük, 2014
- [5] Akgül T., Apay, A. C., “Bor Oksit (B₂O₃) Nano Partikül Emprenye Edilmiş Çam Ahşabın Basınç ve Çekme Dayanımının İncelenmesi” 2nd International Symposium On Innovative Technologies In Engineering and Science (ISITES), 18-20 Haziran, Karabük, 2014,
- [6] Sivrikaya H., Saraçbaşı A., Bor Madeninin 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 Tekn., 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