

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CCB NANO PARTİKÜLLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
AHŞAP YAPI ELEMANLARININ MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Tahir AKGÜL

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet Celal APAY

Eylül 2013

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CCB NANO PARTİKÜLLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
AHŞAP YAPI ELEMANLARININ MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Tahir AKGÜL

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 16 / 09 / 2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Jüri Başkanı
Prof. Dr. Ekrem
MANİSALI**

**Üye
Prof. Dr. Hatem
AKBULUT**

**Üye
Prof. Dr. Ahmet C.
APAY**

**Üye
Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR**

**Üye
Doç. Dr. Serkan SUBAŞI**

TEŞEKKÜR

Tez çalışmaları süresince hem bilimsel anlamda hem de insani değerler bakımından kendisinden çok şey öğrendiğim, tez konusunun belirlenmesinden sonuçlanmasına kadar her aşamada bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, deneysel çalışmaların yapılması ve yorumlanması esnasında yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli hocam Prof. Dr. Ahmet C. APAY'a teşekkür ederim. Ayrıca tez izleme sınavlarım esnasında yaptıkları yönlendirmeler ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Hatem AKBULUT ve Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR hocalarıma, gerek çalışmalarımın şekillenmesinde gerekse deneysel çalışmalar esnasında yardımlarını esirgemeyen başta değerli hocam Prof. Dr. S. Nami KARTAL olmak üzere, Yrd. Doç. Dr. Özgür ÖZGÜN, Arş. Gör. Dr. Emrah BULUT, Arş. Gör. Sezgin KAÇAR ve Arş. Gör. Murat ÇOLAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmalarım süresince kullandığım laboratuvar, ekipman ve sarf malzemelerin tedariki amacıyla sunulan 2012-50-02-030 ve 2012-09-04-003 nolu proje desteklerinden dolayı Sakarya Üniversitesi Rektörlüğü, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Son olarak bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen anne ve babama, tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı eşime ve biricik kızım Serra Nur'a gönülden teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xiv
ÖZET	xvi
SUMMARY	xvii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	3
1.2. Tezin Kapsamı.....	3
1.3. Literatür Çalışmaları	4
1.3.1. CCB emprenye maddesinin ahşabın mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi	4
1.3.2. Ahşapların nano malzemelerle güçlendirilmesi	7

BÖLÜM 2.

MALZEMELERİN GENEL ÖZELLİKLERİ	9
2.1. Ahşabın Genel Özellikleri.....	9
2.1.1. Ahşabın tanımı	9
2.1.2. Sarıçam (pinus sylvestris l.) ahşabın özellikleri	11
2.1.2.1. Sarıçam ahşabın makroskobik özellikleri	12
2.1.2.2. Sarıçam ahşabın mikroskobik özellikleri	13
2.1.2.3. Sarıçam ahşabın fiziksel ve mekanik özellikleri	14
2.1.2.4. Sarıçam ahşapta permabilite	15

2.2. Ahşabın Doğal Dayanımı ve Emprenye.....	16
2.2.1. Ağaç malzemenin korunmasında kullanılan emprenye maddeleri....	18
2.2.1.1. Yağlı emprenye maddeleri	19
2.2.1.2. Suda çözünen emprenye maddeleri.....	20
2.2.1.3. Organik çözücülü emprenye maddeleri.....	21
2.2.2. Emprenye metotları.....	22
2.2.2.1. Basınç uygulayan yöntemler.....	22
2.2.2.2. Basınç uygulamayan yöntemler.....	25
2.2.2.3. Besi suyu çıkarma yöntemleri.....	25
2.2.2.4. Difüzyon yöntemleri.....	25
2.2.2.5. Yerinde bakım yöntemleri.....	26
2.2.3. Sarıçam ahşabın emprenyesi.....	26
2.3. Nano Yapılar ve Özellikleri.....	27
2.3.1. Nano yapılı malzemelerin sınıflandırılması.....	28
2.3.2. İnşaatta nano parçacık kullanımı ve nedenleri.....	29
2.3.3. Ahşapta nano teknoloji kullanımı.....	32
2.4. Ahşap Yapılarda Taşıyıcı Sistemler ve Ahşap Yapı Tasarımları	33

BÖLÜM 3.

METERYAL VE METOT.....	37
3.1. Ahşap.....	40
3.2. Emprenye Maddesi.....	40
3.3. Ahşap Numunelerin Hazırlanması.....	41
3.4. Emprenye Edilecek Nano Parçacıkların Hazırlanması.....	43
3.5. Zeta Potansiyelinin Ölçülmesi.....	44
3.6. Emprenyenin Yapılması.....	45
3.8. Nano Emprenye Maddelerinin Fiksasyonu.....	46

BÖLÜM 4.

NUMUNELERİN İÇ YAPI ANALİZLERİ.....	48
4.1. Emprenye Edilecek Çözeltinin Zeta Potansiyelinin Ölçülmesi.....	48
4.1.1. Bakır oksitin dispersiyonu ve zeta potansiyeli ölçümü.....	48

4.1.2. Krom oksitin dispersiyonu ve zeta potansiyeli ölçümü.....	50
4.1.3. Bor oksitin dispersiyonu ve zeta potansiyeli ölçümü.....	52
4.1.4. Nano CCB maddesinin dispersiyonu ve zeta potansiyeli ölçümü....	53
4.2. Numunelerinin İnfrared Spektrumlarının İncelenmesi.....	54
4.3. Numunelerin FE-SEM Görüntüleri ve Elementel Haritalama Analizi.....	61
4.3.1. Kontrol numunesi analizi.....	61
4.3.2. Bakır oksit numuneleri analizi.....	62
4.3.2.1. Bakır oksit-açık hava numuneleri.....	62
4.3.2.2. Bakır oksit-etüv numuneleri.....	64
4.3.3. Bor oksit numuneleri analizi.....	66
4.3.3.1. Bor oksit-açık hava numuneleri.....	66
4.3.3.2. Bor oksit-etüv numuneleri.....	68
4.3.4. Krom oksit numuneleri analizi.....	69
4.3.4.1. Krom oksit-açık hava numuneleri.....	69
4.3.4.2. Krom oksit-etüv numuneleri.....	71
4.3.5. CCB numuneleri analizi.....	72
4.3.5.1. CCB-açık hava numuneleri.....	72
4.3.5.2. CCB-etüv numuneleri.....	74

BÖLÜM 5.

NANO PARÇACIK EMPRENYE EDİLMİŞ NUMUNELERİN MEKANİK DENEY SONUÇLARI.....	76
5.1. Bakır Oksit (CuO_2) Nano Parçacık Emprenye Edilmiş Numuneler.....	76
5.1.1. Liflere paralel çekme deneyi.....	77
5.1.2. Liflere dik çekme deneyi.....	80
5.1.3. Liflere paralel basınç deneyi.....	83
5.1.4. Liflere dik basınç deneyi.....	86
5.1.5. 3 Nokta eğilme deneyi.....	89
5.1.6. Liflere paralel kesme deneyi.....	92
5.2. Bor Oksit (B_2O_3) Nano Parçacık Emprenye Edilmiş Numuneler.....	95
5.2.1. Liflere paralel çekme deneyi.....	96

5.2.2. Liflere dik çekme deneyi.....	99	
5.2.3. Liflere paralel basınç deneyi.....	102	
5.2.4. Liflere dik basınç deneyi.....	105	
5.2.5. 3 Nokta eğilme deneyi.....	109	
5.2.6. Liflere paralel kesme deneyi.....	112	
5.3. Krom Oksit (Cr ₂ O ₃) Nano Parçacık Emprenye Edilmiş Numuneler.....	115	
5.3.1. Liflere paralel çekme deneyi.....	116	
5.3.2. Liflere dik çekme deneyi.....	119	
5.3.3. Liflere paralel basınç deneyi.....	122	
5.3.4. Liflere dik basınç deneyi.....	125	
5.3.5. 3 Nokta eğilme deneyi.....	128	
5.3.6. Liflere paralel kesme deneyi.....	131	
BÖLÜM 6.		
NANO CCB EMPRENYE EDİLMİŞ NUMUNELERİN MEKANİK DENEY SONUÇLARI.....		135
6.1. Liflere paralel çekme deneyi.....	136	
6.2. Liflere dik çekme deneyi.....	139	
6.3. Liflere paralel basınç deneyi.....	141	
6.4. Liflere dik basınç deneyi.....	144	
6.5. 3 Nokta eğilme deneyi.....	147	
6.6. Liflere paralel kesme deneyi.....	149	
BÖLÜM 7.		
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		153
7.1. Sonuçlar.....	157	
7.2. Öneriler.....	159	
KAYNAKLAR.....		160
EKLER.....		166
ÖZGEÇMİŞ.....		208

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Numune kesit alanı
N	: Newton
MPa	: Megapaskal
mm	: Milimetre
Cu	: Bakır
Cr	: Krom
B	: Bor
CCB	: Bakır krom bor karışımı emprenye maddesi
CCA	: Bakır krom arsenik karışımı emprenye maddesi
CuO ₂	: Bakır oksit
Cr ₂ O ₃	: Krom oksit
B ₂ O ₃	: Bor oksit
CHCl ₃	: Kloroform
IR	: İnfrared (Kızılötesi)
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
FE-SEM	: Alan emisyon taramalı elektron mikroskobu
EDS	: Enerji dağılımlı spektrometresi
UV	: Ultraviyole

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Sarıçam ahşabın makroskobik görünüşü.....	12
Şekil 2.2.	Sarıçam odununun anatomik yapısı.....	14
Şekil 2.3.	Dünyanın ayakta duran en eski ahşap yapısı Budist tapınağı Yumedono, 607, Nara/Japonya.....	35
Şekil 2.4.	Anadolu'daki en eski ve en büyük ahşap camisi Eşrefoğlu Camii, 1296, Beyşehir/Konya.....	35
Şekil 2.5.	Dünya'nın ilk çok katlı ahşap yapısı Rum Yetimhanesi, 1898, Büyükkada İstanbul.....	35
Şekil 2.6.	Modern tasarıma sahip dünyanın en büyük ahşap konstrüksiyon yapısı, Metropol Parasol, 2011, Seville/İspanya.....	36
Şekil 3.1.	Liflere paralel çekme deneyi numunesi.....	42
Şekil 3.2.	Liflere dik çekme deneyi numunesi.....	42
Şekil 3.3.	Liflere paralel kesme deneyi numunesi.....	42
Şekil 3.4.	Shimadzu 50 kN'luk masaüstü çekme eğilme ve basınç cihazı....	43
Şekil 3.5.	Zeta potansiyelin şematik olarak gösterimi.....	44
Şekil 3.6.	Emrenye tankı ve şematik görünümü.....	45
Şekil 4.1.	CuO ₂ karışımının homojenizatorde disperse edilmesi.....	49
Şekil 4.2.	% 0,5 CuO ₂ koloidal çözeltinin zeta potansiyel grafiği.....	49
Şekil 4.3.	% 0,5 konsantrasyonlu Cr ₂ O ₃ koloidal çözeltinin zeta potansiyel grafiği.....	50
Şekil 4.4.	%50 Kloroformla kaplanmış, % 0,5 Konsantrasyonlu Cr ₂ O ₃ koloidal çözeltinin zeta potansiyel grafiği.....	51
Şekil 4.5.	B ₂ O ₃ karışımının homojenizatorde disperse edilmesi.....	52
Şekil 4.6.	%50 Kloroformla kaplanmış, % 0,5 B ₂ O ₃ koloidal çözeltinin zeta potansiyel grafiği	53

Şekil 4.7.	% 0,5 konsantrasyonlu CCB koloidal çözeltinin zeta potansiyel grafiği.....	54
Şekil 4.8	%1 konsantrasyonlu, açık havada kurutulan numunelerin IR spektrum eğrileri.....	56
Şekil 4.9	%1 konsantrasyonlu, etüvde kurutulan numunelerin IR spektrum eğrileri.....	57
Şekil 4.10.	%2 konsantrasyonlu, açık havada kurutulan numunelerin IR spektrum eğrileri.....	58
Şekil 4.11.	%2 konsantrasyonlu, etüvde kurutulan numunelerin IR spektrum eğrileri.....	58
Şekil 4.12.	%3 konsantrasyonlu, açık havada kurutulan numunelerin IR spektrum eğrileri.....	59
Şekil 4.13.	%3 konsantrasyonlu, etüvde kurutulan numunelerin IR spektrum eğrileri.....	60
Şekil 4.14.	Kontrol numunesinden farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri.....	61
Şekil 4.15.	Kontrol numunesi FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum.....	62
Şekil 4.16.	%2 bakır oksit, açık havada kurutulan numuneden farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri.....	63
Şekil 4.17.	%2 bakır oksit, açık havada kurutulan numunede FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum.....	64
Şekil 4.18.	%2 bakır oksit empenye edilerek etüvde kurutulan numuneden farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri.....	65
Şekil 4.19.	%2 bakır oksit empenye edilerek etüvde kurutulan numunelerin FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum.....	65
Şekil 4.20.	%2 bor oksit empenye edilerek açık havada kurutulan numuneden farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri.....	67
Şekil 4.21.	%2 bor oksit empenye edilerek açık havada kurutulan numunelerin FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum.....	67

Şekil 4.22.	%2 bor oksit emprenye edilerek etüvde kurutulan numuneden farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri.....	68
Şekil 4.23.	%2 bor oksit emprenye edilerek etüvde kurutulan numunelerin FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum.....	69
Şekil 4.24.	%2 krom oksit emprenye edilerek açık havada kurutulan numuneden farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri.....	70
Şekil 4.25.	%2 krom oksit emprenye edilerek açık havada kurutulan numuneden FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum	70
Şekil 4.26.	%2 krom oksit emprenye edilerek etüvde kurutulan numuneden farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri.....	71
Şekil 4.27.	%2 krom oksit emprenye edilerek etüvde kurutulan numunelerin FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum.....	72
Şekil 4.28.	%2 CCB emprenye edilerek açık havada kurutulan numuneden farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri.....	73
Şekil 4.29.	%2 CCB emprenye edilerek açık havada kurutulan numunelerin FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum.....	73
Şekil 4.30.	%2 CCB emprenye edilerek etüvde kurutulan numuneden farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri.....	74
Şekil 4.31.	%2 CCB emprenye edilerek etüvde kurutulan numunelerin FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum.....	75
Şekil 5.1.	Bakır oksit nano parçacık emprenye edilmiş paralel çekme deney düzeneği ve numuneleri.....	77
Şekil 5.2.	Liflere paralel çekme deneyleri sonucunda bakır oksit emprenye edilmiş numunelerden elde edilen ortalama gerilme-birim deformasyon eğrileri.....	78
Şekil 5.3.	Bakır oksit emprenye edilmiş numunelere uygulanan liflere paralel çekme deneyi sonucunda elde edilen ortalama gerilme değerleri.....	80
Şekil 5.4.	Bakır oksit nano Parçacık emprenye edilmiş dik çekme deney düzeneği ve numuneleri.....	81
Şekil 5.5.	Bakır oksit liflere dik çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği.....	81

Şekil 5.6.	Bakır oksit liflere dik çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	83
Şekil 5.7.	Bakır oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel basınç deney düzeneği ve numuneleri.....	84
Şekil 5.8.	Bakır oksit emprenye edilmiş numunelere uygulanan liflere paralel basınç deneylerinden elde edilen gerilme-birim deformasyon eğrileri.....	84
Şekil 5.9.	Bakır oksit liflere paralel basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	86
Şekil 5.10.	Bakır oksit nano Parçacık emprenye edilmiş numuneler ve dik basınç deneyi düzeneği.....	87
Şekil 5.11.	Bakır oksit emprenye edilmiş numunelerden liflere dik basınç deneyi sonucunda elde edilen gerilme-birim deformasyon eğrileri.....	87
Şekil 5.12.	Bakır oksit emprenye edilmiş numunelerin liflere dik basınç deneyi ortalama gerilme değerleri.....	89
Şekil 5.13.	Bakır oksit nano Parçacık emprenye edilmiş numuneler ve üç nokta eğilme deneyi düzeneği.....	90
Şekil 5.14.	Bakır oksit emprenye edilmiş numunelerin üç nokta eğilme deneyi yük-sehim eğrileri.....	90
Şekil 5.15.	Bakır oksit emprenye edilmiş numunelerin üç nokta eğilme deneyi ortalama yük değerleri.....	92
Şekil 5.16.	Bakır oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel kesme deney düzeneği ve numuneleri.....	93
Şekil 5.17.	Bakır oksit liflere paralel kesme deneyleri yük-deplasman grafiği	93
Şekil 5.18.	Bakır oksit liflere paralel kesme deneyi ortalama yük değerleri grafiği.....	95
Şekil 5.19.	Bor oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel çekme deney düzeneği ve numuneleri.....	97
Şekil 5.20.	Bor oksit liflere paralel çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği.....	97

Şekil 5.21.	Bor oksit liflere paralel çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	99
Şekil 5.22.	Bor oksit nano Parçacık emprenye edilmiş dik çekme deney düzeneği ve numuneleri.....	100
Şekil 5.23.	Bor oksit liflere dik çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği.....	100
Şekil 5.24.	Bor oksit liflere dik çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	102
Şekil 5.25.	Bor oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel basınç deney düzeneği ve numuneleri.....	103
Şekil 5.26.	Bor oksit liflere paralel basınç deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği.....	103
Şekil 5.27.	Bor oksit liflere paralel basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	105
Şekil 5.28.	Bor oksit nano Parçacık emprenye edilmiş dik basınç deney düzeneği ve numuneleri.....	106
Şekil 5.29.	Bor oksit liflere dik basınç deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği.....	106
Şekil 5.30.	Bor oksit liflere dik basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	108
Şekil 5.31.	Bor oksit nano Parçacık emprenye edilmiş üç nokta eğilme deney düzeneği ve numuneleri.....	109
Şekil 5.32.	Bor oksit üç nokta eğilme deneyleri yük-sehim grafiği.....	110
Şekil 5.33.	Bor oksit üç nokta eğilme deneyi ortalama yük değerleri grafiği..	111
Şekil 5.34.	Bor oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel kesme deney düzeneği ve numuneleri.....	112
Şekil 5.35.	Bor oksit liflere paralel kesme deneyleri yük-deplasman grafiği..	113
Şekil 5.36.	Bor oksit liflere paralel kesme deneyi ortalama yük değerleri grafiği.....	114
Şekil 5.37.	Krom oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel çekme deney düzeneği ve numuneleri.....	116

Şekil 5.38.	Krom oksit liflere paralel çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği.....	117
Şekil 5.39.	Krom oksit liflere paralel çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	118
Şekil 5.40.	Krom oksit nano Parçacık emprenye edilmiş dik çekme deney düzeneği ve numuneleri.....	119
Şekil 5.41.	Krom oksit liflere dik çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği.....	120
Şekil 5.42.	Krom oksit liflere dik çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	121
Şekil 5.43.	Krom oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel basınç deney düzeneği ve numuneleri.....	122
Şekil 5.44.	Krom oksit liflere paralel basınç deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği.....	123
Şekil 5.45.	Krom oksit liflere paralel basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	124
Şekil 5.46.	Krom oksit nano Parçacık emprenye edilmiş dik basınç deney düzeneği ve numuneleri.....	125
Şekil 5.47.	Krom oksit liflere dik basınç deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği.....	126
Şekil 5.48.	Krom oksit liflere dik basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	127
Şekil 5.49.	Krom oksit nano Parçacık emprenye edilmiş üç nokta eğilme deney düzeneği ve numuneleri.....	128
Şekil 5.50.	Krom oksit üç nokta eğilme deneyleri yük-sehim grafiği.....	129
Şekil 5.51.	Krom oksit üç nokta eğilme deneyi ortalama yük değerleri grafiği.....	130
Şekil 5.52.	Krom oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel kesme deney düzeneği ve numuneleri.....	131
Şekil 5.53.	Krom oksit liflere paralel kesme deneyleri yük-deplasman grafiği.....	132

Şekil 5.54.	Krom oksit liflere paralel kesme deneyi ortalama yük değerleri grafiği.....	133
Şekil 6.1.	CCB nano Parçacık emprenye edilmiş paralel çekme deney düzeneği ve numuneleri.....	136
Şekil 6.2.	%2 konsantrasyonlu tüm numunelerin liflere paralel çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği.....	137
Şekil 6.3.	%2 konsantrasyonlu tüm numunelerin liflere paralel çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	138
Şekil 6.4.	CCB nano Parçacık emprenye edilmiş dik çekme deney düzeneği ve numuneleri.....	139
Şekil 6.5.	%2 konsantrasyonlu tüm numunelerin liflere dik çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği.....	140
Şekil 6.6.	%2 konsantrasyonlu tüm numuneler için liflere dik çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	141
Şekil 6.7.	CCB nano Parçacık emprenye edilmiş paralel basınç deney düzeneği ve numuneleri.....	142
Şekil 6.8.	%2 konsantrasyonlu tüm numunelerin liflere paralel basınç deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği.....	142
Şekil 6.9.	%2 konsantrasyonlu tüm numuneler için liflere paralel basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	144
Şekil 6.10.	CCB nano Parçacık emprenye edilmiş dik basınç deney düzeneği ve numuneleri.....	145
Şekil 6.11.	%2 konsantrasyonlu tüm numunelerin liflere dik basınç deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği.....	145
Şekil 6.12.	%2 konsantrasyonlu tüm numuneler için liflere dik basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği.....	146
Şekil 6.13.	CCB nano Parçacık emprenye edilmiş üç nokta eğilme deney düzeneği ve numuneleri.....	147
Şekil 6.14.	%2 konsantrasyonlu tüm numuneler için üç nokta eğilme deneyleri yük-sehim grafiği.....	148
Şekil 6.15.	%2 konsantrasyonlu tüm numuneler için eğilme deneyi ortalama yük değerleri grafiği.....	149

Şekil 6.16. CCB nano Parçacık emprenye edilmiş paralel kesme deney düzeneği ve numuneleri.....	150
Şekil 6.17. %2 konsantrasyonlu tüm numunelerin liflere paralel kesme deneyleri yük-deplasman grafiği.....	150
Şekil 6.18. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için liflere paralel kesme deneyi ortalama yük değerleri grafiği.....	152

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Bazı ahşap çeşitlerinin mekanik dayanım tablosu.....	15
Tablo 3.1.	Deneysel Tasarım Tablosu.....	39
Tablo 4.1.	Selüloza ait IR bantları.....	55
Tablo 5.1.	Bakır oksit emprenye edilmiş numunelerin paralel çekme deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu	79
Tablo 5.2.	Bakır oksit emprenye edilmiş numunelerin dik çekme deneyi gerilme-birim deformasyon değerleri ve değişim oranları.....	82
Tablo 5.3.	Paralel basınç deneyi sonucunda bakır oksit emprenyesi yapılmış numunelerin gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri.....	85
Tablo 5.4.	Bakır oksit emprenye edilmiş numunelerin dik basınç deneyi sonucu elde edilen gerilme-birim deformasyon değerleri.....	88
Tablo 5.5.	Bakır oksit emprenye edilmiş numunelerinin üç nokta eğilme deneyi yük-sehim değerleri.....	91
Tablo 5.6.	Bakır oksit paralel kesme deneyi yük-deplasman ve değişim değerleri tablosu.....	94
Tablo 5.7.	Bor oksit paralel çekme deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu.....	98
Tablo 5.8.	Bor oksit dik çekme deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu.....	101
Tablo 5.9.	Bor oksit paralel basınç deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu.....	104
Tablo 5.10.	Bor oksit dik basınç deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu.....	107
Tablo 5.11.	Bor oksit üç nokta eğilme deneyi yük-sehim ve değişim değerleri tablosu.....	110

Tablo 5.12. Bor oksit paralel kesme deneyi yük-deplasman ve değişim değerleri tablosu.....	113
Tablo 5.13. Krom oksit paralel çekme deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu.....	117
Tablo 5.14. Krom oksit dik çekme deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu.....	120
Tablo 5.15. Krom oksit paralel basınç deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu.....	123
Tablo 5.16. Krom oksit dik basınç deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu.....	126
Tablo 5.17. Krom oksit üç nokta eğilme deneyi yük-sehim ve değişim değerleri tablosu.....	129
Tablo 5.18. Krom oksit paralel kesme deneyi yük-deplasman ve değişim değerleri tablosu.....	132
Tablo 6.1. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için paralel çekme deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu.....	137
Tablo 6.2. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için dik çekme deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu.....	140
Tablo 6.3. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için paralel basınç deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu.....	143
Tablo 6.4. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için dik basınç deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu.....	146
Tablo 6.5. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için üç nokta eğilme deneyi yük-sehim ve değişim değerleri tablosu.....	148
Tablo 6.6. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için paralel kesme deneyi yük-deplasman ve değişim değerleri tablosu.....	151

ÖZET

Anahtar kelimeler: Ahşap, Emprenye, Nano Parçacık, CCB, Mekanik Özellikler

Günümüzde doğal malzemeler, ileri teknolojik ürünlerle desteklenen kompozit malzeme üretim metodu ile mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi bir yana, kullanım yerleri bakımından alışılmışın çok ötesine taşınabilmektedir. İleri teknolojik ürün üretimi denildiğinde, hiç şüphesiz ilk akla gelen uygulama nano boyutta üretilen malzemelerle geliştirilmiş nano teknolojik ürünlerdir. Günümüzde nano teknolojinin, savunma, silah sanayi, tıp, sağlık, gıda, giyim, enerji ve inşaat gibi birçok endüstriyel alanda kullanımı oldukça yaygındır. Nano teknolojik ürünlerin yapı sektöründeki uygulama alanları incelendiğinde, genellikle inşaatta kullanılan malzeme özelliklerini iyileştirmesi, geliştirilmesi, korunması veya yeni kompozit malzemelerin üretilmesi amacıyla kullanıldığı görülmektedir.

Öte yandan yapı sektöründe kullanılan başlıca malzemelerden birisi ahşaptır. Ahşap yapı tasarımı bazı bölgelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu 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. Bu amaçla 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.

Bu hedef doğrultusunda yapılan ve çalışmanın temelini oluşturan Bakır-krom-bor (CCB) nano parçacıkların, ahşabın güçlendirilmesi amacıyla kullanılması konusunda daha önce yapılan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle yapılan tez çalışması özgün bir değere sahiptir.

Yapılan deneysel çalışmalarda yapı tasarımında sıkça kullanılan sarıçam ahşaba alçak basınç-vakum yöntemiyle emprenye edilen farklı oranlardaki bakır, krom ve bor oksit nano parçacıkların ahşabın basınç, çekme, eğilme ve kesme direnci üzerindeki etkisi ayrı ayrı incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda piyasada bakır-krom-bor bileşiklerinden oluşan ve makro/mikro boyutlarda kullanılan CCB emprenye tuzlarının aksine, ahşabın mekanik özelliklerini yaklaşık %30 oranında iyileştiren yeni bir nano CCB emprenye maddesi üretilmiştir.

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD STRUCTURAL ELEMENTS REINFORCED WITH CCB NANO-PARTICLES

SUMMARY

Key Words: Wood, Impregnation, Nano Particle, CCB, Mechanical Properties

Nowadays, both mechanical properties and application areas of natural materials can move beyond the classical point of use by composite material production methods supported with advanced technological products. Undoubtedly, the first that comes to mind is mentioned the production of high-tech materials is nano technology products developed by nanoscale materials. Today, nano-technology products are widely used in many areas such as defense and war industry, medical, health, food, clothing, energy and construction. However, nano technology applications are focused on material properties improvement, development, protection or development of new composite materials in the construction sector.

On the other hand wood is an important material which is used in the construction sector. Timber constructions design is widely used in some areas such as historical and rural structures. 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 of mechanical properties of wood.

In reviewing the literature, there is not any study using copper-chromium-boron particles to strengthening of wood by nano-tech. In this respect this study is unique at this area.

For this purpose, nano metal oxide particles are impregnated into wood material for improving of 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 copper, chrome and boron oxide nano particles with different ratios which was impregnated into wood under low pressure vacuum method are examined and compressive, tensile, bending and shearing resistance of wood material have been investigated. At the end of the study a new CCB impregnation material has been produced which was improved the mechanical property of wood by 30 % in comparison to standard value.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde ahşap, beton, çelik, taş, plastik, cam gibi malzemelerin çeşitli şekil ve oranlarda bir araya getirilmesi ile daha kullanışlı kompozit malzemeler elde edilmektedir. Öte yandan elde edilen bu ürünlerin yüksek teknolojik ürünlerle desteklenerek hem mekanik ve fiziksel özellikleri hem de kullanım yerleri, alışılmışın çok ötesine taşınabilmektedir. Geliştirilen bu ürünler genelde risk seviyesi yüksek (savunma ve silah sanayi vb.) uygulamalarda kullanılmaya başlanmış ancak son zamanlarda farklı birçok sektörle beraber yapısal uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır.

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.

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 üretilebilmelerinden 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 (Sivrikaya, 2004).

Birçok olumlu yönüyle yaygın kullanım alanına sahip olan CCB emprenye maddesi ahşabın mekanik dayanımı açısından olumsuz sonuçlar vermektedir (Kartal 1998). Özellikle içerisinde yer alan bor ve krom bileşenleri nedeniyle çözeltinin bazik bölgede olması ve bazların odunda lignin ve bazı ekstraktifleri çözüdürücü etkisinin olmasından dolayı ahşabın direncini olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır (Baysal 2005). 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.

Yapılan tez çalışması toplam beş bölümden oluşmaktadır. 1. Bölümde; tez konusuyla ilgili genel bilgi ve literatür çalışmalarına yer verilmiştir. 2. Bölümde; deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin genel özellikleri derlenmiş ve bu malzemelerin tercih edilme nedenleri açıklanmıştır. 3. Bölümde; yapılan deneysel çalışmalarda

kullanılan numunelerin hazırlanması ve bu numunelerde uygulanan deney metotları açıklanmıştır. 4, 5 ve 6. Bölümlerde; yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ham veriler işlenerek, elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır. 7. Bölümde ise; yapılan değerlendirmeler neticesinde elde edilen sonuçlar ortaya konulmuş ve yapılan çalışmalarla ilgili tartışma ve önerilere yer verilmiştir.

1.1. Tezin Amacı

Yapılan tez çalışmasında;

- Ahşap içerisine emprenye edilen nano parçacıklarla yüksek mukavemete sahip yeni bir kompozit malzeme üretmek
- Günümüzde yaygın olarak kullanılan CCB ahşap emprenye malzemesinin ahşabın mekanik dayanımı üzerindeki olumsuz etkisini en aza indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak
- Nano parçacıklarla güçlendirilen ahşapla, daha küçük kesitlerle daha büyük açıklıklar geçmek ve dolayısıyla daha özgün ahşap yapı tasarımını mümkün kılmak
- Gerek emprenye içeriğinde bulunan kimyasalların insan ve çevre sağlığına zararsız olması gerekse daha küçük kesitli yapı elemanlarının kullanılmasıyla çevreye duyarlı ve daha az ağaç kesimine zemin hazırlamak
- Ahşap yapıların sıcak görünümü ve sağlıklı olması nedeniyle ahşap yapı üretiminin yaygınlaştırılmasına katkı sağlamak amaçlanmaktadır.

1.2. Tezin Kapsamı

Bu tez birinci aşamada bakır-krom-bor nano parçacıklarının ayrı ayrı ve farklı oranlar kullanılarak su içerisinde oluşturulan koloidal çözeltinin sarıçam ahşap deney numunelerine alçak basınç-vakum yöntemiyle emprenye edilmesi sonucu oluşturulan yeni kompozit malzemenin farklı sıcaklıklarda kurutulması ve numunelerin farklı mekanik deneylerinin yapılmasını kapsamaktadır. Bu aşamada kullanılacak nano malzemelerin (bakır-krom-bor) ahşabın dayanımına etkisinin ayrı ayrı incelenmesi, optimum madde miktarının belirlenmesi ve uygun kurutma sıcaklığının tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

İkinci aşamada nano parçacıkların ahşabın mekanik dayanımı üzerindeki etkisine bağlı olarak, her üç malzemenin de ortak kullanımıyla oluşturulan ve optimum madde oranıyla yeni nano CCB koloidal çözeltisinin oluşturulması, sarıçam ahşap numunelerine emprenye edilmesi ve bu emprenye sonucu oluşan mekanik dayanım değişiminin incelemesini kapsamaktadır.

Çalışma parametreleri; bir çeşit ahşabın (sarıçam) 4 farklı nano parçacık (bakır-krom-bor-CCB) ile 3 farklı oranda solüsyon (%1- %2 - %3) içerisinde emprenye edilen numunelerin 2 farklı sıcaklıklarda (20 ve 105 °C) kurutularak 6 farklı mekanik teste tabi tutulması şeklinde belirlenmiştir. Çalışma sınırlarının belirlenmesi amacıyla oluşturulabilecek diğer parametreler tez kapsamı dışında tutulmuştur. Öte yandan deney sonuçlarının güvenilirliği açısından her deney gurubundan 5'er adet numune hazırlanmış ve deneye tabi tutulmuştur. Yukarıda ifade edilen parametreler dikkate alındığında tez çalışması için 720 adet numune hazırlanmıştır.

1.3. Literatür Çalışmaları:

Yapılması hedeflenen çalışmalarla ilgili yapılan literatür taramasında, tezin iki önemli ayağını oluşturan CCB emprenye maddelerinin ahşabın mekanik dayanımına etkisi ile nano partiküllerin masif ahşabın mekanik dayanımına etkisi irdelenmiştir.

1.3.1. CCB emprenye maddesinin ahşabın mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi

Doğal koşullarda kalan ve herhangi bir işleme tabi tutulmayan ağaç malzeme beş yıldan daha kısa bir zamanda tahrip olabilmektedir (Sheard, 1988). Bu nedenle ahşap yapıların durabilitesini sağlamak amacıyla ahşap yapı tasarımında kullanılan malzemelerin mutlak surette bazı işlemlerden geçerek koruma altına alınması gerekmektedir. Bu koruma yöntemlerinin başında ahşabın emprenye edilmesi gelmektedir. Emprenye işlemi sonucunda ağaç malzemenin ömrü 7-8 kat daha artmaktadır (Özçifçi, 2009). Yapılan deneysel çalışmalarda emprenye işlemi ahşabı genellikle böceklere, termitlere, mantarlara, yıkanmaya, UV ışınlarının zararlı etkilerine, su geçirimsizliği ve çürümeye, yangında çabuk alev almaya karşı etkin bir

şekilde koruduğu tespit edilmiştir. Ancak emprenyenin avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. Bunların başında ekstra maliyet ve mekanik dayanımının düşmesi olarak sıralanabilir. Aşağıda özellikle CCA ve CCB malzemeleriyle emprenye edilen ahşaplar ile ilgili yapılan çalışmalarla ilgili örnekler sunulacaktır.

J. E. Winandy ve ark., yaptıkları çalışmalarda CCA emprenye malzemesi kullanımının (6,4 ve 9,6 kg/m³ oranında) farklı sıcaklıklarda kurutulan çam türü ahşabın eğilme dayanımına etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda kurutma sıcaklığı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü ve bu düşüş oranının %29'lara kadar ulaştığı tespit edilmiştir. (Winandy, 1988).

N. Kartal, ağırlıkça %1 oranında emprenye edilen CCA ve CCB emprenye maddelerinin 20 ve 70 °C de kurutulan ahşap üzerindeki etkisini incelemiş, özellikle CCA malzemelerin ahşabın eğilme dayanımı ve eğilmede elastisite modülünü önemli ölçüde düşürdüğünü tespit etmiştir (Kartal, 1999).

Jerrold E. Winandy, farklı emprenye malzemelerinin ahşabın dayanımı üzerindeki etkisini modellemek amacıyla bu konuda 7 farklı güncel çalışmanın verilerini işleyerek emprenye maddelerinin farklı kurutma sıcaklıklarının eğilme dayanımına etkisi formüle etmiştir. Çalışmanın sonucunda bu çalışmalarda kullanılan tüm emprenye malzemelerinin kurutma sıcaklığı arttıkça eğilme dayanımını olumsuz etkilediğini tespit etmiştir (Winandy, 1996).

María Cristina Rose ve ark., PVA (polivinil asetat) ile yapıştırılarak lamine edilmiş ahşap ile masif ahşaba, 4 kg/m³ oranında emprenye edilen CCA maddesinin kesme direnci üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmalar sonucunda gerek masif ahşapta gerekse lamine edilmiş ahşapta emprenye malzemesinin ahşabın kesme direncini olumsuz etkilediği tespit etmişlerdir (Rose, 1999).

J. Van Acker ve ark., piyasada Plywood olarak satılan, tabakalar halinde lamine edilmiş farklı tür ahşapların su ve yağ bazlı emprenye ile emprenye edildikten sonra numunelerin emprenye malzemelerini emme miktarlarına bağlı olarak, eğilme dayanımını, kesme mukavemetini, elastisite modülünü incelemiştir. Sonuç olarak hem

su bazlı emprenye malzemeleri (CCA (% 3,3), CCB (% 3,3), CCF (% 3)) hem de yağ esaslı emprenye malzemeleri ahşabın mekanik dayanımını küçük oranlarda da olsa düşürdüğü tespit edilmiştir (Acker, 1993).

Jerrold E. Winandy ve ark., 6.4, 9.6, and 40.0 kg /m³ oranındaki ACA (Amonyak-Bakır-Arsenik) ve CCA (Krom-Bakır-Arsenik) solüsyonları, kızıl çam ve pendora çamına emprenye ettikten sonra farklı sıcaklıklarda kurutulmuş numunelerin yük taşıma kapasitesini, maksimum momentleri ve elastisite modüllerini incelemiştir. Çalışma sonucunda ACA'nın ahşabın mekanik özelliklerini bir miktar artırdığı ancak CCA'nın düşürdüğü tespit edilmiştir (Winandy, 1989).

H. Sivrikaya ve ark., borun ahşap koruma endüstrisinde değerlendirilmesi ile ilgili yaptığı çalışmada etkin ticari kimliğe sahip olan borun ve bor içeren CCB emprenye malzemelerinin ahşap üzerindeki olumlu etkilerini derleyerek ortaya koymuştur (Sivrikaya, 2004).

D.D. Nicholas yaptığı çalışmada, Madison orman ürünleri laboratuvarında geliştirilip uygulamaya konan Ateş-Borusu Test Yöntemi (Fire-Tube Test) ile 130 adet dolayında inorganik madde testlere tabi tutulmuş ve denemelerde alınan sonuçlara göre yangın geciktirici özelliği açısından boraks beşinci sırayı almıştır. Borikasit tek başına kullanıldığında ahşabın kor haline gelmesini önlemek açısından çok etkili olmuş, boraks katılması halinde ise alev yayılma hızını önemli derecede uzatmış ve önlemiş olduğu tespit edilmiştir (Nicholas, 1973).

A. Özçifçi ve ark., yaptığı çalışmalarda doğu kayını ve sarıçamı %5 emülsiyon karışım oranıyla bor yağının kullanıldığı ve iki farklı emprenye yöntemiyle emprenye edilen numunelerin mekanik dayanımlarını ölçülmüştür. Yapılan deneylerde eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, basınç dayanımı ve dinamik eğilme değerleri incelenmiş sonuç olarak tüm mekanik değerlerde küçük oranlarda da olsa düşüş olduğunu tespit etmiştir (Özçifçi, 2009).

Yıldız ve ark., sarıçam odunundan hazırlanan masif ahşap numunelerin farklı emprenye malzemeleri ve farklı oranlarda hazırlanan emülsiyonda emprenye edilerek

numunelerin elastisite modülü (MOE) ve eğilme dayanımı (MOR) incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda CCB emprenye çeşitlerinden olan Wolmanit ve Tanalith'in ahşabın elastisite modülünü çok küçük oranlarda artırdığı tespit edilmiştir. Diğer tüm emprenye maddeleri ise farklı oranlarda düşüş gözlenmiştir (Yıldız, 2004).

1.3.2. Ahşapların nano malzemelerle güçlendirilmesi

Ahşap yapılarda emprenye malzemelerine paralel olarak ahşabın, su geçirgenliğini azaltmak, UV ışınlarına karşı dayanımı artırmak, böceklenmeyi önlemek, çürüme ve mantarlanmayı önlemek, ısı kayıp ve kazançlarını kontrol etmek, yüzey sertliğini artırmak ve büzülme sonucu oluşan çatlakları önlemek vb. amacıyla nano Parçacıklar kullanılmıştır. Genellikle fabrikasyon ahşabı koruma amacıyla kaplama ve emprenye yöntemleri kullanılarak çinko oksit, seryum oksit, gümüş, alüminyum, zeolit, montmorillonit vb. nano Parçacıkların etkileri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Aşağıda yapılan bu çalışmalardan birkaç örnek sunulmuştur.

Carol A ve ark., tarafından yapılan çalışmada, nano parçacıkların yıkama direnci ve termit ölümleri üzerindeki etkisi ile beraber ahşap yapıların büyük problemlerinden biri olan ve ahşabın kurumasıyla oluşan büzülme ve kütle kayıpları ve buna bağlı olarak meydana gelen çatlakların önlenmesi üzerine dikkat çekilmiştir (Carol, 2010).

Kaygın, B. ve ark., yaptıkları çalışmada, polyester, poliüretan, sentetik, selülozik ve ultraviyole nano vernik gibi farklı vernik çeşitlerinin ahşap yüzey sertliğine etkisini incelemiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ultraviyole nano vernik yüzey sertliği açısından diğer verniklere göre daha yüksek dayanımı verdiği tespit edilmiştir (Kaygın, 2009).

Xiaolin Cai, ve ark., Melamin-üre-formaldehit (MUF) ve montmorillonit nano kil ile kavak ağacından üretilen ahşap polimer nano kompozitlerin sertlik, elastisite modülü, kopma modülü ve su emmesini irdelemiştir (Xiaolin, 2008).

D. Fauchadour, ve ark., ise su bazlı emprenye solüsyonunun içerisine konulan ağırlıkça % 1 oranındaki seryum oksitin malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı

ve kopma uzaması üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda Seryum oksitin ahşabın dayanımını belirgin bir şekilde artırdığı görülmüştür. (Fauchadour, 2005).

C. Bertolini Cestari ve ark., çok duvarlı karbon nano tüp ile beraber düşük viskoziteli epoksi reçinesi kullanarak 4 farklı masif ahşap türünü serbest daldırma yöntemiyle emprenye etmiş ve numunelerin eğilme mukavemetlerini incelemiştir (Cestari, 2008).

Yine C. Bertolini Cestari ve ark., çok duvarlı karbon nano tüp ile beraber düşük viskoziteli epoksi reçinesi kullanarak boy birleştirmeyele yapıştırılmış iki eski ahşapta birleştirme bölgelerinin güçlendirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Numuneler serbest daldırma yöntemiyle emprenye edilerek eğilme mukavemetleri incelenmiştir (Cestari, 2010). Ayrıca C. Bertolini Cestari ve arkadaşları carbon nano tüplerin tarihi yapıların güçlendirilmesi ile ilgili bir çok çalışmaları mevcuttur (Cestari ve ark, 2011,2012)

Laurent M. Matuana ve Omar Faruk yaptıkları çalışmada PVC Ahşap unu ve karbon nano tüpler (CNT) kullanılarak elde ettikleri numunelerin eğilme dayanımları ve elastisite modülleri karşılaştırmıştır. Çalışmada ahşap hamuruna ağırlıkça % 5 nano kil ve nano karbon katılarak hazırlanan numuneler eğilme deneyine tabi tutularak elde edilen sonuçlar, ham ahşapların (sedir, çam, akçaağacı) dayanımları ile Polyester-ahşap karışımı elde edilen kompozit malzeme dayanımları ile karşılaştırmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda nano Parçacıkların hem ham ahşap eğilme dayanımından hem de polyester-ahşap karışımı kompozit malzeme eğilme dayanımından daha yüksek değerler elde edilmiştir (Matuana, 2008).

Ping-An Song ve arkadaşları yaptıkları çalışmada %40 ahşap unu içerisine farklı oranlarda polipropilen ve %0,5, %1, %2 oranında karbon nano tüp katarak 10 farklı numune grubu hazırlamış ve bu numunelerin eğilme dayanımı, çekme dayanımı, çentikli darbe dayanımı ve kopma uzamasını karşılaştırmıştır. Karbon nano tüpler numunelerin eğilme ve çekme dayanımını küçük oranlarda da olsa artırdığını tespit etmiştir (Song ve ark. 2011).

BÖLÜM 2. MALZEMELERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde; tez çalışmasında kullanılacak olan sarıçam ahşabın yanı sıra CCB emprenye maddesi ile nano bakır, krom, bor oksit malzemelerin genel özellikleri ve deneysel çalışmalarda tercih edilme nedenlerini açıklanmıştır. Ayrıca, ahşap yapı sistemleri, emprenye teknikleri ve nano teknolojilerinin önemi vurgulanmıştır.

2.1. Ahşabın Genel Özellikleri

Doğal bir malzeme olan ve orman işletmelerinde işlenerek birçok alanda kullanıma sunulan ahşap, işçiliğin kolaylığı, estetik görünüşü ve mukavemetinin yüksekliği sayesinde en çok kullanılan malzemelerden biri olmuştur. Ahşap, ahşap yapılar başta olmak üzere birçok yapı elemanının ham maddesidir.

2.1.1. Ahşabın tanımı

Ahşap, canlı bir organizma olan ağaçtan elde edilen lifli, heterojen ve anizotrop bir dokuya sahip organik esaslı bir yapı malzemesidir. Ahşap, yapıda kullanılan en eski malzemelerden birisidir. İnsanoğlu ahşabı eski çağlardan beri barınma ve korunma amaçlı olarak kullanmaktadır (Şimşek, 2000). Günümüzde ormanların çeşitli nedenlerle azalması, yerine yenisinin yetiştirilememesi veya geç yetişmesi ahşabın değerini artırmıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte ahşabın yerine plastik, metal, alüminyum, beton ve çimento mamulleri kullanılmasına rağmen görünüş, izolasyon ve istenilen şeklin kolayca verilmesinden dolayı ahşap her zaman tercih edilen bir yapı malzemesidir (Apay, 2009).

Ahşap, heterojen ve anizotrop bir malzemedir. Bu nedenle ahşabın mekanik özelliklerini ile ilgili kesin bilgi vermek oldukça zordur. Çünkü ahşap malzemenin mekanik özelliklerine etki eden birçok faktör sayılabilir. Bu faktörler;

- Ahşabın cinsi
- Lif yönleri
- Budak, çatlak, ezik vb görüntü bozukluğu
- Rutubet miktarı
- Mantarlanma
- Ağacın kesilme mevsimi
- Ağacın yaşı
- Ağacın yetişme bölgesi
- Numunenin alındığı bölge vb (Örs, 2001).

Ahşap lif eksenine doğrultusundaki tüm özellikler, basınç ve çekme dayanımları, eksene dik yöndeki dayanımlardan yüksektir. Ahşap su içeriğine bağlı olarak şişen, büzülen çatlayan bir malzemedir. Bu özelliğine bağlı olarak mekanik özellikleri de değişen bir malzemedir. Ancak;

- Ahşap yüksek bir taşıma gücüne sahiptir,
- Ahşap doğal bir malzeme olduğundan farklı iklim koşullarına ve doğa şartlarına dayanıklıdır,
- Ahşap yanan ama yangına karşı direnci yüksek olan bir malzemedir,
- Ahşap kaynağı yenilenebilen tek yapı malzemesidir,
- Ahşap çürür ama uzun ömürlüdür,
- Ahşap çalısır ancak boy değişimi oranı diğer malzemelere göre çok düşüktür,
- Ahşabı tamir etmek ve iyi durumda tutmak kolaydır
- Ahşabın 20 000 değişik doku ve renk seçeneği vardır

Bunun gibi daha birçok özelliğiyle ahşap mükemmel bir yapı malzemesidir (Akgül, 2007).

Bu gerçekler göz önünde bulundurulduğunda, çağımızın getirdiği yeni teknolojilerle ahşabı yeniden tanımalı ve ona gereken önemi vermeliyiz. Eski ahşapları özel yöntemlerle yenilemek ve güçlendirmek mümkünken diğer materyalleri korumak gerekli onarım ve güçlendirmeleri yapmak son derece güç ve pahalıdır.

Ahşap birçok farklı ağaç çeşidinden elde edilebilmekle beraber her bir ağaç türünün kullanım yeri diğerinden farklılık gösterir. Örneğin bir mobilya üretiminde dayanımı yüksek ve şekil değiştirmesi az olan bir ağaç türü (Ceviz, gürgen, meşe vb) kullanılırken kalıp yapımı gibi geçici işlerde daha çok kavak gibi büyümesi kolay çok fazla dayanım gerektirmeyen ağaç türleri tercih edilir. Ahşap yapı tasarımında ise genellikle bol miktarda bulunan, işlenme kabiliyeti yüksek ve yüksek dayanıma sahip çam ahşap kullanılmaktadır. Özellikle ülkemizde yaygın olarak temin edilebilen karaçam ve özellikle sarıçam ahşap yapı tasarımında kullanılan en yaygın ağaç türüdür.

Tez çalışmamızda daha dayanıklı, daha büyük açıklıkları geçebilen, çevreye duyarlı, daha az maliyetli sağlıklı ve ferah yapı tasarımı esas alındığından, ahşap yapı tasarımında kullanılan ve ülkemizde yaygın olarak yetiştirilen sarıçam ahşap tercih edilmiştir.

2.1.2. Sarıçam ahşabın özellikleri

Sarıçam, ülkemizde saf ya da karışık olarak yaklaşık 750.000 hektar bir alanda yayılmaktadır. Yetiştirme ortamlarına göre 20-40 m boylarında narin gövdeli, sivri tepeli ve ince dallı, ya da dolgun ve düzgün gövdeli, yayvan tepeli ve kalın dallı bir her zaman yeşil ağaçtır. (Anşin, 1997).

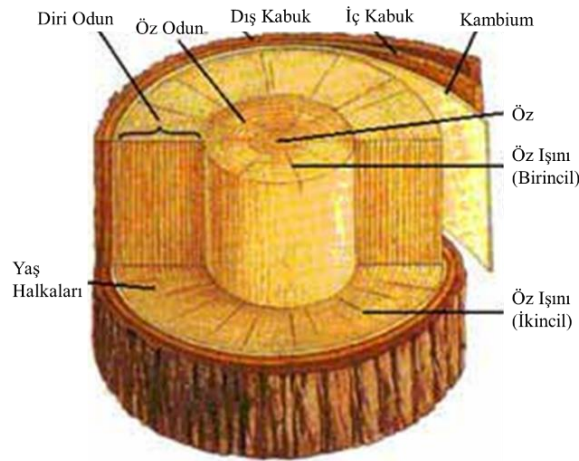
Sarıçam odunu boyuna ve teğet kesitte parlaktır. Bol miktardaki reçine kanalları genellikle geniş olup, enine kesitte ve özellikle yaz odunu tabakası içerisinde açık renkte noktacıklar halinde görülür. Boyuna kesitte ise liflere paralel oyuk çizgicikler oluşturur. Özünün hücreleri zengin ve dardır. Kaba lifli odunu reçinece zengin, oldukça hafif, orta ağırlıkta ve yumuşaktır. Kolaylıkla ve düzgün satırlar halinde yarılr (Öktem, 2001).

2.1.2.1. Sarıçam ahşabın makroskobik özellikleri

Sarıçamda diri odun geniş, sarımsı veya kırmızımsı beyaz renkte olup, enine kesitte gövde yarıçapının yaklaşık üçte birini kapsar (Berkel, 1952). Özodun sınırı belirgin

olup, genellikle yuvarlak, bazı ağaçlarda diri odundan daha koyu renkte kırmızımsı kahverengidir (Şekil 2.1). Kesildikten sonra uzun süre bekletilen ağaçlarda bu renk daha da koyulaşmaktadır. Yıllık halka sınırları her üç kesitte de çok göze çarpıcı ve hafif dalgalıdır. Yıllık halkalar içinde, ilkbahar odunu ile yaz odunu sınırları belirgin ise de, bazı ağaçlarda bu geçiş ani değildir. Yaz odunu parlak kahverengidir ve teğet kesitte geniş sarımsı şeritler oluşturur. Yaz odununun yıllık halka içindeki iştirak oranı %2-73 arasında değişmektedir (Toker, 1960).

Kabuk, ağacın yukarı kısımlarında ince, kırmızı sarımsı kahverengidir. İnce tabakalar halinde soyulur. Gövdenin aşağıda kalan kısımlarında kabuk kalınlaşır; kül rengimsi gri kahve renkli derin yarıntıları bulunan kalın kabuk pulları halinde görülür.



Şekil 2.1. Sarıçam ahşabının makroskobik görünüşü

Çam ağacı; inşaat kerestesi, doğrama, emprenye edildiğinde toprak ve suyla temas eden köprü malzemesi, maden direği, tel direği, bayrak direği, çit kazıkları ve travers olarak, uçaklarda, gemi güverte döşemelerinde, kontrplak, ambalaj sandığı yapımında, kâğıt ve selüloz sanayisinde kullanılmaktadır (Bozkurt 1997). Ayrıca fıstık çamının meyvesinden yararlanılmaktadır.

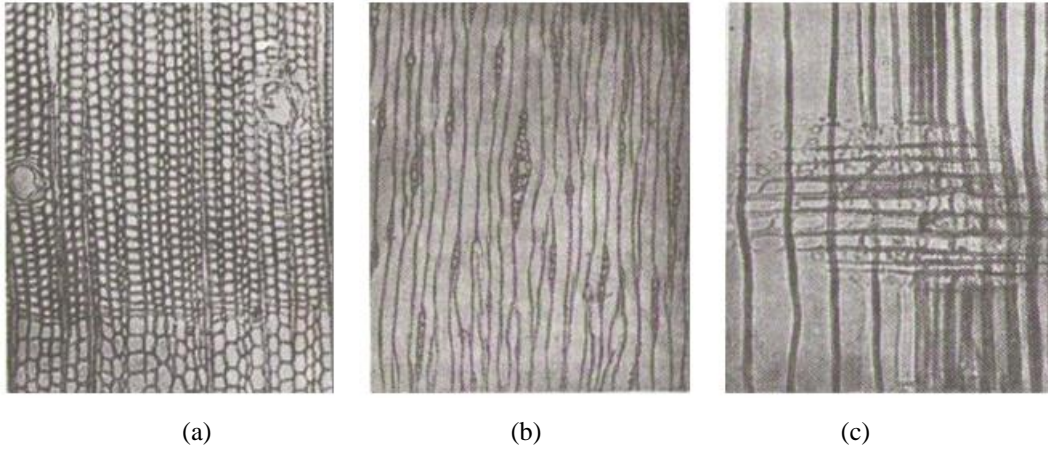
2.1.2.2. Sarıçam ahşabının mikroskobik özellikleri

Enine Kesit: Yıllık halkanın nispeten az bir bölümünü meydana getiren yaz odunu tabakası keskin bir sınırla ayrılmıştır. Yaz odunundan ilkbahar odununa geçiş ise

tedricidir. Kalın çeperli yaz odunu traheidleri (iletim hücreleri), ince çeperli ilkbahar traheidleri içine diller halinde uzanmıştır (Şekil 2.2. a) (Toker, 1960). Bir araştırmada enine kesitteki traheidlerin teğetsel yöndeki boyları 28.325 mikron olarak bulunmuştur. Çok az miktarda ikiz reçine kanalına rastlanmaktadır. Düzensiz bir biçimde serpilmiş bulunan reçine kanalları, en çok yaz odunu tabakası içinde toplanmışlardır. Reçine kanallarının çapları 80-125 mikron arasında değişmektedir (Eliçin, 1971). Bu kanallar basık yuvarlak, yuvarlak ve girintili çıkıntılı olmak üzere çeşitli biçimdedirler. Özışınları yalnız bir sıra paranzim (depolama hücreleri) hücrelerinden yapılmıştır.

Teğet Kesit: Odunların teğet kesitlerindeki kenarlı geçitlerin büyüklüğü 15.745, özışını hücrelerinin yüksekliği 25.711, bu hücrelerin genişliği 11.68 mikron olarak bulunmuştur. Paranzim hücreleri birkaç sıra halinde dizilmiştir (Şekil 2.2. b). Özışınlarındaki ortalama hücre sayısı 7.6 ve azami hücre sayısı 16 dır. Daha fazla hücre sırasına rastlanılamamıştır. Reçine kanalı bulunan özışınları dışında, diğer özışınları genellikle tek sıralıdır. 300 adet özışınından yalnızca ikisinde çift sıralıya rastlanmıştır. Bunlar da devamlı sıra halinde değildir (Eliçin, 1971).

Radyal Kesit: İlkbahar odununda daha çok ve büyük, yaz odununda ise daha seyrek ve küçük kenarlı geçit vardır. Bunlar traheidlerin içinde tek sıra halinde dizilmiş olup, iç içe girmiş 6 adet daireden ve merkezde içi dolu, koyu renkte pordan oluşmuştur. Traheidlerin uç uca birleştikleri yerlerde hücre çeperleri erimiştir ve yer yer çıkıntılar vardır. Kesit içerisinde kısım kısım özışınları traheidleri, odun traheidlerine dik olarak seyretmekte olup, bunların içindeki kenarlı geçitler daha küçüktür. Traheidlerin boyları, genişliklerinin 5-6 katıdır (Şekil 2.2. c) (Toker, 1960). Radyal yöndeki traheid boyları 36.208 mikron olarak bulunmuştur (Eliçin, 1971).



Şekil 2.2. Sarıçam odununun anatomik yapısı, (a) Enine kesit, (b) Teğet kesit, (c) Radyal kesit

Odunların tüm kesitlerinde traheid çeperlerinde kenarlı geçitlerin hepsi tek sıralı olup, çift sıralıya rastlanmamıştır. Bu geçitlerin büyüklüğü 20.994 mikrondur. Karşılaşma yerlerindeki geçitler genellikle tek tek olarak bulunurlar. Traheidlerin boyu 2.9 mm, eni 34.5 mm ve traheid çeperlerinin kalınlığı 6.3 mikrondur (Eliçin, 1971).

2.1.2.3. Sarıçam ahşabın fiziksel ve mekanik özellikleri

Sarıçam ahşap, % 72 holoselüloz (), % 56 selüloz, % 10 pentozan, % 25,83 lignin içerir. Alkol-benzendeki ekstraktif madde çözünürlüğü %4, sudaki ekstraktif madde çözünürlüğü %2,97 dir (As ve ark., 2002). Sarıçam ahşaba ait bazı fiziksel özellikler şu şekilde sıralanabilir; tam kuru yoğunluk 0,496 g/cm³, hava kurusu yoğunluk 0,526 g/cm³, hacim ağırlık değeri 0,426 g/cm³, radyal daralma % 4.30, teğet daralma % 8.30 ve hacimce daralma ise % 12.70 dir.

Mekanik özellikler ise; basınç direnci 64 MPa, eğilme direnci 100 MPa, elastikiyet modülü 12000 MPa, çekme direnci 105 MPa, makaslama direnci 10 MPa, dinamik eğilme 0,4 kN/cm, radyal yarıлма direnci 0,91 MPa, teğet yarıлма direnci 0,95 MPa, liflere paralel brinell sertlik değeri 40 MPa ve liflere dik brinell sertlik değeri 19 MPa olarak verilebilir (As ve ark., 2002).

Batı Karadeniz sarıçamının ve karşılaştırma için Türkiye'de yetişen diğer ahşap türlerinin liflere paralel ve dik basınç, liflere paralel ve dik çekme ve 3 nokta eğilme direnci I. II. Ve III. Sınıf değerleri Tablo 2.1'de Mpa cinsinden verilmiştir.

Tablo 2.1. Bazı ahşap çeşitlerinin mekanik dayanım tablosu

(Mpa)	III. sınıf		II. sınıf		I. sınıf	
	Çam	Kayın, Meşe	Çam	Kayın, Meşe	Çam	Kayın, Meşe
Çekme (\perp)	1,5	2	2,2	2,5	3,0	3
Çekme (//)	-	-	85	100	105	110
Basınç (//)	40	70	50	100	65	120
Basınç (\perp)	2,0	3,0	2,0	3,0	2,0	3,0
Eğilme	50	70	65	90	90	120

2.1.2.4. Sarıçam ahşapta permabilite

Ağaç türlerinin permabilite özelliklerine göre sınıflandırılması, endüstriyel emprenye işlemleri ve laboratuvar denemelerinin birlikte değerlendirilmeleri sonucunda bulunmuştur. Diri odun daima geçirgen olduklarından sınıflandırma, öz odunun nüfuz kabiliyetine göre yapılmaktadır (Bozkurt ve ark., 1993).

Ahşapta permabilite (Geçirgenlik) sınıfları aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir.

- Kolay emprenye edilenler: Basınç altında kolayca ve tamamen nüfuz sağlanan ağaç türleri. Sarıçam diri odun kısmı bu gruba girmektedir.
- Orta derecede güç emprenye edilenler: 2-3 saat basınç altında, oldukça kolay ve enine yönde 6-18 mm nüfuz sağlanan ağaç türleri. Sarıçam öz odun kısmı bu gruba girmektedir.
- Güç emprenye edilenler: Uzun süre basınç altında güç emprenye edilen ve enine yönde 3-6 mm nüfuz sağlanan ağaç türleridir. Ladin, selvi, göknar ağaçları bu gruba girmektedir.
- Çok güç emprenye edilenler: Çok uzun süreli emprenye işlemi sonunda yetersiz miktarda emprenye maddesi nüfuzu sağlanan ağaç türleridir. Ceviz, kestane, akmeşe ağaçları bu gruba girmektedir.

2.2. Ahşabın Doğal Dayanımı ve Emprenye

Ahşabın doğal dayanımı; öncelikli olarak kullanım şartlarına (kesimden, nihai ürün olarak kullanımına kadar) daha sonrada genetik yapısına (hücre çeperine, toksik maddelere) bağlıdır. Ağaç malzemenin doğal dayanım sürelerini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler; Ağaç türü, yaşı, öz odun miktarı, odunun özgül ağırlığı, anatomik ve kimyasal yapısı, ekstraktif maddeler, kullanım yerindeki ortam koşulları, konstrüksiyon şekli, toprakla temasta olup olmaması, kesim zamanı, depolama süresi ve depolama koşulları şeklinde sıralanabilir (Yalınkılıç,1990). Ayrıca aynı ağaç türlerinin farklı bireylerinin doğal dayanımları arasında görülen farklılıkların odunun genetik yapısını etkileyen yetiştirme ortamı koşullarına bağlı olduğu bildirilmektedir.

Ağaç malzemeyi doğal dayanıklılıklarına göre sınıflandırmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Diri odun çürümeye karşı hassas olduğu için, dayanıklılık sınıfları öz oduna göre oluşturulmaktadır. Ağaç türleri dayanım süreleri bakımından, çok dayanıklı, oldukça dayanıklı ve az dayanıklı ağaç türleri olarak sınıflandırılmıştır (Berkel, 1972). Öte yandan, mantar çürüklüklerine karşı odunların doğal dayanıklılıklarını, yüksek derecede dayanıklı, orta derecede dayanıklı ve az dayanıklı ağaç türleri olarak sınıflandırılmaktadır (Selik, 1988). ASTM D 2017 (1994)'e göre, denemeler sonucunda elde edilen yıkanma direnci açısından ağaç türleri, yüksek dayanıklı, dayanıklı, orta derecede dayanıklı, az dayanıklı ve dayanıksız şeklinde sınıflandırma yapılmıştır. Ağırlık kayıplarını referans alarak yaptıkları sınıflandırmaya göre; sarıçam az dayanıklı (5 - 10 yıl arası), Doğu kayını dayanıksız (0 - 5 yıl arası), Uludağ göknarı az dayanıklı (5 - 10 yıl arası) sapsız meşe ise dayanıklı (15 - 20 yıl arası) türdür (Bozkurt ve ark.,1993).

Boya ya da diğer yüzey örtücü maddeler sürülmemiş ağaç malzeme açık hava şartları altında kullanıldığında, çeşitli atmosfer etkilerine maruz kalmaktadır. Bu etkiler sonucunda malzeme yüzeyinde renk değişikliği, kalkık ve gevşek lifliliğe benzer görünüşler, çatlama ve erozyon meydana gelmektedir. Açık hava şartları altında kullanılan ağaç malzemedeki öncelikle türüne bağlı olarak odunun rengi gri ya da gümüşü renge döner. Yüzeydeki hücreler yavaş yavaş dağılır ve yüzey yavaş yavaş erozyona uğrar. Açık hava şartlarının etkileri birçok atmosfer faktörünün birlikte etki

etmesi sonucunda ortaya çıkar. Özellikle ultraviyole (UV) ışınları hücre çeperine yavaş yavaş etki yapar. Islak ve kuru rutubet şartları birbirini izlediğinde yumuşak çürüklük mantarları görülür. Yüzeylerdeki daralma ve genişleme ile küçük çatlaklar oluşur. Ayrıca, rüzgârın ve suyun mekanik aşındırıcı etkileri yüzeylerin yavaş yavaş bozulmasına yol açar (Bozkurt, 1997).

Dayanıklı olmayan bir ağaç malzemenin mantar, böcek ve deniz zararlılarının saldırısına uğrayacağı yerlerde kullanılması halinde emprenye edilmesi şarttır. Ancak bütün ağaç türlerini eşit bir şekilde emprenye etmek mümkün değildir. Bazı ağaç türlerinde emprenye maddesi derinlere nüfuz edebilmekte, bazı türlerde nüfuz güç olmaktadır. Basınç altında kolayca sıvı akışı sağlanıyorsa, o malzemenin permabilitesi yüksek demektir. Genel anlamda permabilite deyiimi, sıvıların poroz bir yüzeyden basınç altında geçişlerinin hızlı veya yavaş oluşunu ifade etmektedir. Ağaç malzeme içinde emprenye maddesi akışı esas itibarıyla dikili ağaçlardaki su, mineral madde ve organik madde akışını sağlayan yollardan olmaktadır. Bu nedenle liflere paralel yönde permabilite, radyal yöndeki permabiliteden daima daha büyüktür. İğne yapraklı ağaçlarda emprenye maddelerinin esas akış yolu, traheidlerden traheidlere olup kenarlı geçit çifti yardımıyla yapılmaktadır. Daha az önemli bir geçiş yolu ise, paranzim hücrelerinden oluşan öz ışınlarıdır ve basit geçitler yardımıyla radyal yönde akışı sağlamaktadırlar. Ayrıca bazı iğne yapraklı ağaçların öz ışınlarında bulunan enine traheidler, radyal yönde emprenye maddesi akışını önemli derecede artırmaktadır. Yapraklı ağaçlarda sıvıların esas geçiş yolu trahelerdir. Traheler içerisindeki sıvı madde, kolay ve devamlı geçiş yolu olan geçit açıklıklarından öz ışınlarına, daha sonra boyuna paranzim hücrelerine ve liflere veya diğer trahelere doğru geçmektedir. Diri odun ve öz odunun geçirgenlikleri arasında genellikle büyük bir fark görülmektedir. Diri odun, öz odundan yaklaşık 1000 kez daha geçirgen olduğundan, birçok ağaç türünde emprenye maddeleri diri oduna kolayca nüfuz edebilmektedir (Bozkurt ve ark., 1993).

2.2.1. Ağaç malzemenin korunmasında kullanılan emprenye maddeleri

Ağaç malzemenin korunmasını sağlayabilmek için 2000 yıldan beri çeşitli maddeler denenmektedir. Avrupa'da endüstrileşmenin başlaması ile ağaç malzemenin

korunmasında, kimyasal maddelerin kullanılması söz konusu olmuştur. 1850'li yıllarda kok kömürü üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilen kreozot, ayrıca bakır, çinko, arsenik ve cıva bileşiklerinin bu maksat için kullanılabileceği tespit edilmiştir. Bugüne kadar 2500 çeşit emprenye maddesi bulunmuştur. Her yıl 20 kadar emprenye maddesinin patenti alınmaktadır. Ancak, bunların içinde çok azı istenen etkinlik derecesine sahip bulunmaktadır (Bozkurt ve ark., 1993).

Pratikte kullanılmaya elverişli koruyucu emprenye maddelerinde bulunması istenilen şartlar çeşitlidir. Ancak, bu şartların hepsinin tam bir şekilde yerine getirilmesi mümkün olamamaktadır. İstenilen bu şartların en önemlileri aşağıda sırası ile belirtilmiştir (Berkel, 1972)

- Odunu koruyucu emprenye maddeleri bitkisel ve hayvansal zararlılara karşı yüksek zehirlilik derecesine sahip olmalıdır.
- Ağaç malzeme içine sevk edilen emprenye maddesi fiziksel bakımdan odun lifleri tarafından iyi bir şekilde tespit edilebilmeli (ağaç liflerine tutunucu (fikse) olabilmeli), dışarıda, açıkta kullanılmaları halinde yağmur ve toprak suları tarafından yıkanmamalı veya yıkanma ve buharlaşma ile meydana gelen kayıp mümkün mertebe az olmalı, tehlike derecesine uygunluk göstermelidir.
- Odun içerisinde rahatça ilerleyebilmeli ve derinlere nüfuz edebilmelidir.
- Emprenye maddeleri ayrışmadan ve özelliklerini kaybetmeden, emprenye tekniğinin gereklerine uygun olarak, sıcak halde (70 °C - 100 °C) kullanılabilmelidir.
- Koruyucu maddeler odunu ayrıştırmamalı, fiziksel ve mekanik özelliklerine zararlı ve bunları azaltıcı etki yapmamalı, ağaç malzeme ile birlikte kullanılan (çivi, vida, bulon, S demiri, demir tabla gibi) demir kısımlara tesir ederek korozyon meydana getirmemeli, bunları paslandırmamalı, diğer yapı malzemelerine, boya tabakasına, yapıştırıcı maddelere, kauçuk ve diğer maddelere zarar vermemelidir.
- İnsan ve hayvan sağlığı üzerine zararlı ve zehirli bir etki yapmamalıdır.
- Bazı kullanım yerlerinde koruyucu emprenye maddesinin kokusuz olması istenmektedir.

- Emprenye maddesi ağaç malzemenin tutuşma kabiliyetini arttırmamalı, bunun aksine olarak azaltmalıdır.
- Koruyucu maddeler ağaç malzemeyi diğer kimyasal maddelerin etkilerine karşı da koruyabilmelidir.
- Gerek rutubetli gerekse kuru ağaç malzemedede kullanılabilir.
- Koruyucu emprenye maddesi ucuz olmalı, istenildiği miktarda sağlanabilmeli, kullanılışı ekonomik olmalı, her bir yıla isabet eden maliyet fiyatı emprenye edilmemiş ağaç malzemeye nazaran olabildiğince düşük bulunmalıdır.

Genel olarak emprenye maddeleri üç ana grupta toplanmaktadır.

- a. Yağlı emprenye maddeleri
- b. Suda çözünen emprenye maddeleri
- c. Organik çözücülü emprenye maddeleri

2.2.1.1. Yağlı emprenye maddeleri

Kreozot, karbolinenum, maden kömürü katranı, linyit kömürü katran yağı, odun katranı ve katran yağı, petrol yağları başlıca yağlı emprenye maddeleri olarak sayılabilir. Başka katranlardan elde olunan diğer kreozotlar ağaç malzemenin emprenyesinde başarılı bir şekilde kullanılabilirlerse da, maden kömürü katranından elde edilen kreozot, endüstride en etkili ve en çok kullanılan yağlı emprenye maddesidir. Kreozot, geniş çapta organik bileşiklerin bir karışımıdır. İçerisindeki organik bileşiklerin oranı ve spesifikasyonları, kullanım yerindeki tecrübelerin sonuçlarına göre, tedrici olarak geliştirilmiştir. Esasta kreozotun özü, destilasyon yöntemi ile maden kömürünün türü ve kompozisyonuna bağlıdır. Kreozotu oluşturan temel madde gruplarını katran asitleri (fenol, kresol, ksilenol), katran bazları (püridin, kinolin, akridin) ve nötr yağlar (naftalin, antrasen ve diğer nötr hidrokarbonlar) olarak sayılabilir (Bozkurt ve ark.,1993). Yüzlerce maddenin karışımından oluşan kreozotun, çoğunluğu aromatik hidrokarbonlardır. Kreozotun % 1 - 3'ü katran asitleri, % 1 - 3'de katran bazlarıdır.

2.2.1.2. Suda çözünen emprenye maddeleri

Suda çözünen emprenye maddeleri bakır, krom, arsenik, bor, çinko, sodyum, potasyum gibi maddelerin tuzlarının karışımından meydana gelirler. Yurdumuzda bakır, krom, arsenik bileşimindeki Tanalith-C ve bakır, krom, bor bileşimindeki Tanalith-CBC ve Wolmanit-CB adlı emprenye maddeleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Erten, 1995).

CCA (bakır, krom, arsenik), ACC (asit, bakır, kromat), ACA (amonyaklı bakır, arsenik), ACZA (amonyaklı bakır, çinko, arsenik), CCB (bakır, krom, bor), CZC (kromlu çinko klorür), FCAP (fluor, krom, arsenik, fenol), bor bileşikleri (boraks, borik asit, disodyum oktaborat tetrahidrat) ve PAS (pentaklorfenol, amonyak, solvent) tipi emprenye maddeleri başlıca suda çözünen emprenye maddeleri olarak sayılabilir.

CCA (Tanalith-C, Boliden K 33 vs.) Tipi Emprenye Maddeleri; CCA tuzları, bakır, krom ve arsenik içeren emprenye maddeleridir. 50 yıldan daha uzun bir süredir üzerinde çalışılmakta olan bu emprenye maddesinin kristal toz halindeki kuru karışımları, macunları ve konsantre sıvıları mevcuttur. CCA tuzları, katı ve konsantre olarak taşınabilmekte ve suyla çözünebilmektedir. Böcek ve mantar zararına karşı etkili olup yanmayı önleyici diğer maddelerle kombine edilebilmektedir. Boyanabilmekte ve koku yapmamaktadır. Bununla birlikte, çalışma kusurları meydana getirebilmeleri ve yıkanabilmeleri olumsuz özellikleri arasındadır.

Arsenik bileşikleri ihtiva eden emprenye maddeleri mantar ve böcekler için zehirli etkisi yanında insanlar ve hayvanlar içinde zehirli bulunduğundan açıkta kullanılan ağaç malzemedede uygun olup, kapalı yerlerde ve maden ocaklarında sakıncalı görülmektedir. Son yıllarda çevresel kaygılardan dolayı, yüksek miktarda arsenik (As) içeren CCA bileşimlerine çeşitli kullanım yerlerinde sınırlamalar getirilmiştir (Berkel, 1972).

CCB (Wolmanit-CB, Tanalith-CBC vs.) Tipi Emprenye Maddeleri; CCB tuzları, bakır, krom, bor içeren emprenye maddeleridir. Piyasada Celcure-M, Wolmanit-CB, Tanalith-CBC ve Triolith-CB ismiyle de bilinirler. CCB emprenye maddesi, bakır

sülfat, potasyum veya sodyum dikromat ve borik asitin belirli oranlarda kuru karışımından üretilir. Ağaç malzemeyi mantar, böcek, termit ve deniz zararlılarına karşı koruyan, odunun tutuşma kabiliyetini azaltan CCB tuzları, genellikle suda çözünen emprenye maddelerinin tüm olumlu özelliklerini taşırlar. CCB tuzları, ağaç malzemenin iç ve dış maksatlarla kullanıldığı yerlerde örneğin; tel direkleri, çit direkleri, soğutma kuleleri, deniz iskele direkleri, iskele döşemeleri, binalarda çatı keresteleri ve çiftlik yapılarındaki ağaç malzemenin emprenyesinde kullanılmaktadır. Bu emprenye maddeleri, vakum-basınç, osilasyon-basınç, besi suyu çıkarma ve daldırma metotları için uygun bulunmaktadır (Bozkurt ve ark. 1993).

Yukarda ifade edilen özelliklerinden dolayı yapı tasarımlarında kullanılan en yaygın emprenye maddesi suda çözünen emprenye maddesi çeşitleridir. Suda çözünen emprenye maddesi çeşitleri içerisinde de özellikle insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmayan Bakır-Krom-Bor (CCB) içerikli ürünler tercih edilmektedir.

2.2.1.3. Organik çözücülü emprenye maddeleri

Bu emprenye maddeleri, petrol damıtma ürünleri olarak elde olunan organik çözücülerde çözülmüş mantar ve böcek öldürücü özellikteki koruyucu maddelerdir (Bozkurt ve ark. 1993). Organik çözücülü emprenye maddeleri bakır naftenat, tribüttilin oksit, pentaklorofenol gibi maddelerdir. Organik çözücü olarak terebentin, tiner ve mineral ispirto gibi kolay uçucu maddeler kullanılır. Emprenye işleminden sonra bu maddeler hemen uçar koruyucu madde ağaç malzemenin içerisinde kalır. Bu tip emprenye maddelerinin içerisine böcek öldürücüler ile parafin ve sentetik reçine gibi su geçirmeyen maddeler ilave edilebilir (Erten, 1995).

Permabilitesi yüksek olan ağaçlarda derin nüfuz sağlaması, suda çözünmediğinden yıkanmasının yok denecek kadar az olması, boyanabilmesi ve emprenye edilen ahşap malzemenin yapıstırılabilmesi üstün özellikleri olarak sayılabilir. Pahalı olmaları, uçucu maddelerin buharlaşmasıyla yangın riskinin yüksek oluşu olumsuz özellikleri olarak sayılabilir. Organik çözücülü emprenye maddelerinin kullanım yerlerini, suda çözünen tuzlarla emprenye edildiği takdirde deformasyon görülme riskinin yüksek olduğu ve kullanım yerine göre ölçülendirilmiş ahşap malzemenin emprenyesi olarak genellenebilir.

2.2.2. Emprenye Metotları

Uygulama şekilleri bakımından emprenye yöntemlerini 5 grupta toplayabiliriz. Bunlar;

- Basınç uygulayan yöntemler
- Basınç uygulamayan yöntemler
- Besi suyu çıkarma yöntemleri
- Difüzyon yöntemleri
- Yerinde bakım yöntemleri

2.2.2.1. Basınç Uygulayan Yöntemler

Ağaç malzemenin emprenyesinde kullanılan önemli ve uygulama başarısı yüksek endüstriyel yöntemlerdir. Bu yöntemlerde ağaç malzeme çelik bir kazan içerisine yerleştirilmektedir. Daha sonra emprenye maddesi; belirli bir süre içerisinde, vakum ve basınç altında, odun hücrelerine sevk edilmektedir.

Basınç uygulayan yöntemlerden, dolu hücre (Bethell yöntemi, Bethell yönteminin modifikasyonları, Burnet yöntemi gibi) yöntemleri ve boş hücre (Rüping yöntemi, Rüping yönteminin modifikasyonları, Lowry yöntemi gibi) yöntemleri endüstride en çok kullanılan ahşap koruma yöntemleridir. Bununla birlikte, osilasyon (salınım) ve değişken basınç yöntemleri, çok yüksek basınçlı yöntemler, çözücü (solvent) geri kazanma yöntemleri ve alçak basınç vakum yöntemlerini bu grupta sıralayabiliriz.

a) Dolu Hücre (Bethell) Yöntemi; Yöntemin prensibi, hücre çeperindeki boşluklarda bulunan havayı boşaltarak yerine emprenye maddesi doldurmaktır (Örs, 2001). Genellikle bu yöntemde suda çözünen tuzlar kullanılmaktadır. Ancak, deniz iskele direklerinde yüksek emprenye maddesi absorpsiyonu (emilim) sağlanması arzu edildiğinde kreozotta kullanılabilir. Kreozot kullanıldığında, basınç periyodu sırasında kreozot 65-100 °C ye kadar ısıtılmaktadır. Nedeni, viskozitenin azaltılarak derine nüfuzun sağlanmasını temin etmektir. Bununla beraber, suda çözünen tuzlar kullanıldığında ısıtmaya gerek bulunmamaktadır (Bozkurt ve ark. 1993).

Bethell yöntemi, rutubeti LDN (lif doygunluk noktası) altında olan ağaç malzemeye uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntem, 1838 yılında John Bethell tarafından bulunmuştur. İşlemin amacı, ağaç malzemenin hücrelerini tamamen emprenye maddesi ile doldurarak maksimum absorpsiyon sağlama esasına dayanmaktadır. İşlemin uygulanması beş aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar:

- Ön vakum işlemi
- Emprenye maddesi verilmesi
- Basınç periyodu
- Emprenye maddesinin kazandan dışarı alınması
- Son vakum dur (Bozkurt ve ark. 1993).

Dolu hücre (Bethell) yönteminde emprenye silindirine ağaç malzeme konulduktan sonra ilk vakum uygulanır. Vakum süresi; ağaç malzemenin kalınlığına, ağaç türüne ve özgül ağırlığına bağlı olarak 15 dakika ile 120 dakika arasında tutulabilir. Sonra silindirin içi emprenye maddesi ile doldurulur ve basınç uygulanır. Basınç miktarı 10-14 kp/cm² ye yükseltilerek, ağaç malzemenin kalınlığına ve emprenye edilebilme kabiliyetine göre 1 saat ile 6 saat arasında uygulanır. Basınç uygulamasına son verildikten sonra emprenye maddesi kazandan alınarak son vakum uygulanır. 635 mm Hg'lik son vakuma 15 dakika kadar devam edilir. Amaç, kazandan çıkarılan ağaç malzemedeki fazlalık nedeniyle taşan emprenye maddesinin kendiliğinden dışarıya sızmasını önlemektir. Bu yöntem ile çam türlerinde 270-300 kg/m³ absorpsiyon (emilim) sağlanabilmektedir.

b) Boş Hücre (Rüping) Yöntemi; Dolu hücre yöntemlerinin fazla emprenye maddesi harcaması nedeniyle pahalı olduğundan Boş hücre yöntemleri geliştirilmiştir. Buna göre; yeterli koruma sağlayacak şekilde hücre boşluklarını dolduran emprenye maddesi dışarı atılarak lümenler boşaltılmakta, bunun sonucunda hücre çeperleri emprenye edilmektedir. Emprenye maddesi olarak çoğunlukla kreozot ya da ağır yağlarda çözülmüş pentaklorfenol kullanılmaktadır (Örs, 2001). Boş hücre yöntemlerinin dolu hücre yöntemlerinden farkı, uygulamada ilk vakumun olmayışıdır. Boş hücre yönteminde basınç sona erdiğinde ağaç malzeme içinde sıkışık durumda bulunan hava yardımıyla fazla miktardaki emprenye maddesi dışarıya atılmaktadır

(Bozkurt ve ark. 1993). Rüping yöntemi, 1902 yılında Alman mühendis Max Rüping tarafından bulunmuştur. Bethell yönteminden daha ekonomik kreozot kullanımı sağlanmaktadır. Emprenye endüstrisinin gelişmesinde büyük rol oynayan yönteme, “Ekonomik emprenye yöntemi” de denilmektedir. İşlemin uygulanması beş aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar:

-  n hava basıncı
- Emprenye maddesi sevki
- Basınc periyodu
- Emprenye maddesinin dışarıya alınması
- Son vakum dur (Bozkurt ve ark. 1993).

Boş hücre (Rüping) yönteminde; hava kurusu haldeki ağaç malzeme kazana yerleştirildikten sonra 1,5-4 kp/cm²’lik bir basınc uygulanarak kazandaki hava sıkıştırılmakta dolayısıyla odun hücreleri içindeki havada sıkıştırılmış olmaktadır. Kullanılan basınc miktarı, odun permabilitesi ve absorbe (emilecek) edilecek emprenye maddesi miktarı ile ilgili olarak değişebilmektedir. Daha sonra emprenye maddesi basınc değiştirilmeden kazana sevk edilir.

Kreozot sıcaklığı 65-100  C arasında olmalıdır. Kazan tamamen doldurulduktan sonra basınc yavaş yavaş 10-14 kp/cm²’ye çıkartılmaktadır. Ağaç türüne bağlı olarak 60 dakika ile 180 dakika basınca devam edilir. Basıncın kaldırılması ile hücrelerdeki hava hızla genişlemekte ve malzeme içine girmiş olan emprenye maddesinin büyük bir kısmı dışarı atılmaktadır. Böylece hücreler hemen hemen boş kalmakta fakat hücre çeperleri tamamen emprenye edilebilmektedir. Dolu hücre yöntemi ile karşılaştırıldığında en belirgin farkı vakum uygulanmadan emprenye maddesinin geri atılmasının mümkün olmasıdır. Emprenye maddesinin kazandan alınmasında sonra 600 mm Hg’lik bir son vakum 10 dakika süreyle uygulanır. Tek programlı Rüping yönteminde çamlarda 90 kg/m³ l k bir absorpsiyon sağlanmaktadır.

2.2.2.2. Basınç uygulamayan yöntemler

Ağaç malzeme basit bir şekilde emprenye edilmek istendiğinde uygulanan yöntemlerdir. Fırça ile Sürme ve Püskürtme Yöntemleri, Sulama (Deluging) Yöntemi, Kısa ve Uzun Süreli Batırma Yöntemleri, Açık Kazanda Sıcak ve Soğuk Yöntem bu gruba girmektedir. Absorbe edilen emprenye maddesi miktarı ve nüfuz derinliği az olmaktadır.

2.2.2.3. Besi suyu çıkarma yöntemleri

Bu yöntem, 1838 yılında Fransız Dr. Auguste Boucherie tarafından bulunmuştur. Yeni kesilmiş taze haldeki, kabuğu soyulmamış ağaç gövdelerinde besi suyunun emprenye maddesi ile yer değiştirmesi esasına dayanmaktadır (Bozkurt ve ark. 1993). Gewecke Basınç ve Emme Yöntemi, Basınçlı Kapsül (Prescap) Yöntemi bu gruba giren emprenye yöntemleridir. Ahşap koruyucu olarak suda çözünen emprenye maddeleri kullanılır.

2.2.2.4. Difüzyon yöntemleri

Birbiri ile temas halinde bulunan çeşitli maddelerde moleküller birbiri içerisine karışıp, yayılabilmekte ve bu olaya difüzyon adı verilmektedir (Bozkurt ve ark. 1993).

Emprenye maddesi ile odundaki besi suyu konsantrasyonu farklı olduğundan yoğunluğu fazla olan ortamdaki az olan ortama doğru yayılma (difüzyon) olur (Örs, 2001). Difüzyon yöntemleri yeni kesilmiş ağaç malzemelere uygulanır. Emprenye işleminde bir tek emprenye maddesi kullanılıyorsa bunun adı basit difüzyondur (Erten, 1995). Çift difüzyon ve Ozmoz Yöntemleri bu gruba girmektedir.

2.2.2.5. Yerinde bakım yöntemleri

Açık havada kullanılan ağaç malzemenin bazı kısımları, diğer kısımlarına göre daha fazla tahrip edilmekte veya böyle yerlerde emprenye maddelerinin koruyucu etkileri daha kısa zamanda kaybolmaktadır. Bu kısımların etrafına veya içerisine konsantre

halde emprenye tuzları tatbik edilerek, tuzların zaman içinde difüzyon yolu ile malzemeye nüfuz etmesi sağlanmaktadır (Bozkurt ve ark. 1993). Bandaj Yöntemi, Kobra Yöntemi ve Oyma Delik Yöntemi bu gruba girmektedir.

2.2.3. Sarıçam ahşabın emprenyesi

Sarıçam odunundaki mavi renk mantarlarına karşı alınacak en etkili önlemler; ormanda kesimlerin sonbahar ve kış aylarında yapılması, kesimden sonra tomrukların ormandan hemen çıkarılması ve kısa zamanda biçilerek elde edilen kerestelerin havadar bir şekilde istiflenmesidir. Bu mümkün olmadığı zaman, odunun doğal halini bozmayan emprenye maddeleri ve kısa süreli daldırma yöntemi ile, 15 saniye süre ile emprenye edilmelidirler. Emprenye maddesi olarak sodyum pentaklorofenat + boraksm, %15 konsantrasyondaki çözeltisi, mavi renk mantarlarına karşı etkili olmaktadır (Berkel ve ark., 1965; İlhan ve ark., 1976). Emprenye işleminden sonra keresteler hemen istiflenmelidir. İstiflemede kullanılan çitler çam öz odundan elde edilmelidir. İstiflerin yerden yüksekte olması ve üzerlerinin güneş ve yağmur etkilerinden korunması için dam ile örtülmesi gerekir.

Sarıçam çit kazıklarının çift difüzyon yöntemi ile %4 lük sodyum florür ve %9 luk bakır sülfat eriyikleri kullanılarak emprenye edildiği zaman iyi sonuç alınabilmekte, diri odun tabakası tamamen emprenye edilebilmektedir. 1 m³ çit kazığı için 4.356 kg sodyum florür ve 12.051 kg bakır sülfat tüketilmektedir (Berkel ve ark., 1968). Yine sarıçam çit kazıkları, sıcak-soğuk açık tank yöntemi uygulanarak kreozot, Tanalith-U ve Hicksons -CBC adlı emprenye maddeleri ile iyi bir şekilde emprenye edilebilmektedir. 1 m³ çit kazığı için 228 kg kreozot, 4.140 kg Tanalith-U ve 4.140 kg Hicksons CBC tüketilmektedir (Berkel ve ark., 1968). Yukarıda anlatılan metotlarla emprenye edilen sarıçam çit kazıkları 18 yıldan fazla süre ile kullanılabilir (Göker, 1985).

Besi suyunu çıkarma (Boucherie) yöntemi ile sarıçam tel direklerinde iyi sonuçlar elde edilebilmekte, diri odun tabakası tamamen emprenye edilebilmektedir. Ortalama emprenye süresi 71 saattir (İlhan, 1973). Ancak bu yöntemin en sakıncalı tarafı, direkler kesildikten hemen sonra rutubetlerini kaybetmeden emprenye edilmelerinin

zorunlu oluşudur. Ancak bu kusur da, kesimden sonra, direk başları, budak yerleri ve kabukların yaralandığı kısımlara rutubet kaybını önleyici maddelerin sürülmesi ile giderilebilir.

Sarıçam odunu basınç uygulayan yöntemlerle de çok kolay emprenye edilebilmektedir. Dolu hücre (Bethell) yöntemi ile sarıçam tel direk ve traversleri emprenye edildiği zaman; sırasıyla ortalama 66.3 mm ve 100.7 mm emprenye nüfuz derinliği elde edilmiş ve 11.6 kg/m^3 ve 8.2 kg/m^3 Wolmanit-CB emprenye maddesi tüketilmiştir. Boş hücre (Rueping) yöntemi ile, yine ağaç tel direk ve traverslerde ise, sırasıyla 55 mm ve 85.3 mm emprenye nüfuz derinliği ve 85.9 kg/m^3 ve 84 kg/m^3 kreozot emprenye maddesi tüketilmiştir (İlhan, 1973). Sonuç olarak sarıçam kolay emprenye edilen bir ağaç türüdür.

Sonuç olarak basınç uygulanmayan sistemlerde emprenye süresinin uzun olması, vakum sistemlerinin genellikle organik emprenye maddelerinde tercih ediliyor olmasından dolayı yapılan deneysel çalışmalarda basınç uygulanan emprenye teknikleri tercih edilmiştir. Öte yandan deneysel çalışmalarda kullanılacak numune boyutlarının küçük olmasından dolayı kapalı hücre alçak basınç yöntemi tercih edilmiştir.

2.3. Nano Yapılar ve Özellikleri

“Nano”, kelime olarak herhangi bir fiziksel büyüklüğün milyarda biri anlamına gelmektedir. “Nanometre” ise 10^{-9} metre (m) büyüklüğünde bir ölçüyü ifade etmektedir. Bir atomların büyüklüğü yaklaşık olarak 0,1 nanometre, bir biyolojik hücre çapı yaklaşık olarak 1 nanometre, bir DNA molekülü 2,5 nanometre, bir saç teli ise yaklaşık olarak 100.000 nanometre kalınlığında olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda nano teknoloji, atom ve moleküllerin bir araya getirilmesi ile nanometre ölçeklerde çeşitli yapıların oluşturulmasını sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanabilmektedir. Nano teknoloji sayesinde maddeler atom ya da molekül boyutunda kontrol edebilmektedirler. Nano teknoloji, genel olarak 100 nanometreden daha küçük boyutta malzeme ve aygıtların geliştirilmesi ile ilgili bir bilim alanı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Nano ölçekli yapıların analiz edilmesi, fiziksel özelliklerinin incelenmesi, nano ölçekli yeni yapıların üretilmesi, nano ölçekli ve/veya duyarlı cihazların geliştirilmesi, uygun yöntemler araştırılarak nanoskopik ile mikroskopik dünya arasında ilişki kurulması gibi konular nano teknolojinin amaçları arasında yer almaktadır. Bilindiği gibi her madde, farklı fiziksel, kimyasal, mekanik vb. çok çeşitli özelliklere sahiptir. Ancak maddelerin makro veya mikro boyuttaki davranışları ile nano boyuttaki davranışları arasında önemli farklar bulunmaktadır. Kuantum etkileri nedeniyle maddeler, nano boyutlarda, makro boyutlarda gösterdikleri özelliklerden daha farklı karakteristikler sergilemektedir. Bu nedenle günümüz bilim insanları maddelerin nano ölçekteki özellikleri üzerinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirmektedir (Cao, 2005; Gogotsi, 2006; Erkoç, 2007).

2.3.1. Nanoyapılı malzemelerin sınıflandırılması

Nanoyapılı malzemeler tek veya çok fazlı polikristallerdir, kristal boyutu en az tek boyutta 1-100 nanometredir. Böylece uzunluk birimi nanometre olan boyutlara dayanarak sınıflandırılabilir. bu sınıflandırma; (a) nano parçacıklar, (b) tabakalı veya lamelli yapılar (c) telse yapılar (d) kütleli nanoyapılı malzemeler. Nano parçacıklar atom salkımları halindedir ve doğada sıfır-boyutlu (0-D) olarak adlandırılırlar. Tabakalı veya lamelli yapılar bir-boyutlu (1-D) nanoyapılı malzemelerdir, uzunluk ve genişlik büyüklükleri kalınlık büyüklüğünden çok daha fazladır. İki boyutlu nanoyapılı malzemeler telse olarak da adlandırılırlar, uzunlukları genişlikleri ve çaplarına oranla çok daha büyüktür. En sık rastlanan nanoyapılar, nanoyapılı kristalitler olarak da adlandırılan üç-boyutlu (3-D) nanoyapılardır. Nanoyapılı malzemeler kristal ve amorf fazlar içerebilirler ve metal, seramik, polimer veya kompozit maddelerden oluşabilirler. Bu maddelerin iç yapısı kristallerden oluşmuş ise bunlara nanokristal yapılar denir. (Suryanarayana ve Koch, 1999).

Klâsik malzeme davranışı kanunları yerine, atom fiziği kanunlarını sergileyen nano malzemeler; metal, seramik, polimer veya kompozit türde olabilir. Dünyada ticarî nano malzemelerin en yaygın çeşidi olan nano kompozitlere olan talep, yılda binlerce

tona ulaşmış ve her geçen gün hızla artmaktadır. Bunların başında da metal esaslı nano ürünler gelmektedir (Hickman, 2002)

2.3.2. İnşaatta nano parçacık kullanımı ve nedenleri

Son yıllarda malzeme alanında yaşanan ileri teknolojik gelişmeler ve nano teknolojik ürün tasarımları yapı malzemelerinde de köklü değişimlere neden olmuştur. Özellikle yapı malzemeleri alanında kendi kendini temizleyebilen ya da ışığı absorbe eden pencereler, kendi kendini onaran betonlar, ultraviyole ve kızılötesi ışınları bloke eden yapı malzemeleri, kirli havayı absorbe eden kaplama malzemeleri, ışığı süzerek alan duvar, tavan vb. yapı elemanları, yapı elemanlarının performanslarına ilişkin gözlem yapabilen sensörler nano teknoloji ile bağlantılı biçimde yapı alanında karşımıza çıkan yenilikler arasında yer almaktadır (Perker, 2010). Nano teknolojinin etkisiyle yapı malzemesi alanındaki yenilik ve gelişimlerin gün geçtikçe daha hızlı bir şekilde ilerleyeceği açıktır. Aşağıda günümüzde nano teknoloji ışığında geliştirilen ürünlerle ilgili Z.S. Perker tarafından derlenen çalışmadan bir bölüm yer almaktadır.

Nano malzemelerin yapı alanında kullanımı ile ilgili öncü araştırmalar Ball State ve Surrey Üniversiteleri'nde gerçekleştirilmiştir. Ball State Üniversitesi Öğretim Üyelerinden George Elvin'in başında bulunduğu "Enerji Araştırma, Eğitim ve Uygulama" servisinin nano teknoloji ve biyoteknoloji üzerine çalışmalar yaptığı, bilimsel, sosyal, etik, yasal vb. açılardan nano malzemeleri ve nano teknolojiyi mercek altına aldığı görülmektedir (Elvin 2005). Elvin bu kapsamda "Yeşil Binalar İçin Nano teknoloji" başlıklı bir de araştırma raporu yayınlamıştır (Elvin 2007). Surrey Üniversitesi'nden bir grup araştırmacı ise birtakım aydınlatma elemanlarının nano-kompozit malzemeler ile entegre kullanılması sonucunda insanın psikolojik durumuna bağlı olarak renk değiştiren duvar ve tavan tasarımları gerçekleştirmiştir. Bir diğer gelişme ise ısı yalıtımı ve korozyona karşı koruma sağlayan nano malzemelerin üretilmeye başlanması yönündedir. Sözü edilen malzemeler aynı zamanda yapı cephesine renk veren, boya olarak kullanılabilir.

Kendi kendini temizleyebilen malzemeler, nano yapı malzemelerinin en bilinenlerindedir. Kendi kendini temizleme özelliğine sahip nano malzemelerin günümüzde iki farklı türü bulunmaktadır. Bunlardan ilki lotus etkisi ile diğeri ise

fotokataliz ile kendi kendini temizleyen malzemelerdir. Lotus etkisi ile kendi kendini temizleyen malzemelerin üretiminde hareket noktasını kendisini sürekli temiz tutma özelliğine sahip olan “lotus” bitkisi oluşturmaktadır (Perker 2010).

Lotus bitkisi, üzerine en ufak bir toz zerresi geldiğinde hemen yapraklarını sallamakta ve toz taneciklerini yaprakları üzerindeki belirli noktalara doğru itmektir. Bitki, yaprağının üzerine düşen yağmur damlalarını da tozu biriktirdiği noktalara doğru yönlendirilmekte ve böylelikle bitki üzerinde biriken tozların süpürülmesi sağlanmaktadır. Nano teknoloji ürünü olan ve kendi kendini temizleyen malzemeler de tıpkı Lotusun yaprağı gibi, yağmur sularından yararlanarak, kullanıldıkları yüzey üzerindeki kiri temizleme özelliğine sahiptir.

Fotokataliz (ışık ile bazı reaksiyonların oluşmasını sağlayan madde) ile kendi kendini temizleyen nano yapı malzemeleri yüzeydeki kirin yüzey ile olan adezyonunun büyük ölçüde azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Temizleme işlevinin yerine gelmesinde normal gün ışığı içindeki UV ışınları fotokataliz tepkimesinin oluşması için yeterli olmaktadır. Katalizör yardımıyla malzeme üzerindeki organik kir çözülmektedir. Katalizör olarak ise genellikle titanyum dioksit tercih edilmektedir. Özellikle nano boyutlarda titanyum transparan özellik göstermekte ve aynı zamanda su emici olmaktadır. Fotokatalitik yüzey kaplamaları özellikle cam ve seramikten üretilmiş olan cephe panellerinde ya da membranlarda kullanılmaktadır. Fotokataliz ile kendi kendini temizleme süreci su olmadan gerçekleşmemektedir (Leydecker, 2008, El-Samny, 2008).

Nano teknoloji ile kendi kendini temizleme özelliğine sahip yüzeylerin yanı sıra kolay temizlenebilen yapı malzemesi yüzeyleri de oluşturulması olanaklıdır. Kolay temizlenen yüzeylerin temel prensibi ise nano boyutta olabildiğince pürüzsüz bir yüzey elde edilmesi ile suyun yüzeyden itilmesinin sağlanmasıdır.

Hava temizleyici nano malzemeler ise nano teknoloji ürünü olan diğer yapı malzemelerindedir. Sözü edilen malzemelerin en önemli özellikleri havanın içeriğinde bulunan kirleticiler ile kötü kokuların kimyasal bileşimini parçalamalarıdır. Böylelikle bu malzemeler yapıdaki mekânsal hava kalitesinin arttırılmasına yardımcı olmaktadır. Nano teknoloji ürünü olan bazı yapı malzemelerinin ise kullanıldıkları

mekânlardaki havanın içinde bulunan bazı kir, toz vb. Parçacıkları absorbe ederek iç ortam hava kalitesini yükseltmeye yardımcı oldukları bilinmektedir (Perker, 2010)..

Nano teknolojinin yapı malzemesi alanına önemli bir katkısı da buhar giderici nano malzemelerin üretilmesi ile olmuştur. Buhar giderici nano malzemeler özellikle su / nem ile karşılaştıklarında, içerdikleri nano boyutlu titanyum dioksit sayesinde yüzeylerindeki suyu ve nemi bir film tabakasına dönüştürmekte ve böylelikle yüzeydeki buharın görünmesini önlemektedirler. Nano teknoloji ile üretilmiş olan banyo aynalarında da uygulanan bu sisteme ise genellikle yapıların ıslak hacimlerinde yer alan duvar ve döşeme kaplamalarında gereksinim duyulmaktadır.

Çağımızın önemli sorunlarından olan enerji korunumunun sağlanmasında yapılarda ve izolasyonda kullanılan malzemelere büyük görev düşmektedir. Nano teknoloji ile üretilen vakumlu izolasyon panelleri ile arojel ve faz değiştiren yapı malzemeleri de yapılarda ısı yalıtımı ve enerji korunumu açısından büyük fayda sağlamaktadır. Özellikle vakumlu izolasyon panelleri, konvansiyonel izolasyon panellerine oranla çok daha ince üretilmekte, konvansiyonel ısı yalıtım malzemelerine oranla çok daha üstün ısı performans göstermektedir. Aerojel ise yapıdaki çeşitli boşlukların doldurulması sayesinde yapıda ısı ve enerji korunumunu sağlamaya yardımcı olmaktadır (Leydecker, 2008, El-Samny, 2008). Özellikle cam panellerin birleşim noktaları, yapı dış kabuğu vb. gibi çok sayıda yapı bölümünde kullanılması uygundur. Ayrıca sözü edilen nano malzemenin bünyesel özellikleri nedeniyle iyi de bir ses izolatörü olduğunu söylemek olanaklıdır. Faz değiştiren nano malzemeler ise özellikle mekânsal ısının kontrol altına alınmasında kullanılmakta olup yapıda enerji korunumuna katkıda bulunmaktadır.

Ayrıca yapılarda yangın güvenliğinin sağlanması da tasarımcı ve uygulamacılar açısından günümüzde önem taşıyan konulardan biridir. Bilindiği gibi yangın güvenliği yapının projelendirilmesinden malzeme seçimine kadar geniş bir yelpazede ve tasarım bütünlüğü içinde ele alınması gereken bir konudur. Nano teknolojinin yangın alanında yapı malzemeleri üzerindeki en önemli etkisi; mevcut yapı malzemelerinin yangından korunmasını ya da yangının malzeme üzerindeki olumsuz etkisinin olabildiğince geciktirilmesini sağlaması şeklindedir. Yangın korunumlu nano camlar sözü edilen

malzemeler arasında önemli bir yer tutmaktadır. Nano camlar iki ya da daha fazla güçlendirilmiş cam tabakanın jel ara katmanlar ile birbirlerine yapıştırılmaları sayesinde elde edilmektedir. Jel biçimindeki ara katmanlar / yapıştırıcılar alev ile karşılaştıklarında topaklaşmakta, ısı yalıtım malzemesi görevi görerek camın yangına karşı daha fazla yalıtılmasını sağlamaktadırlar. Yangın korunumlu nano camlar aynı zamanda güneşin ultraviyole ışınlarına ve darbelere karşı dayanıklı olarak üretilebilmektedirler (Leydecker, 2008, El-Samny, 2008). Yukarıda sayılanların yanı sıra günümüzde anti bakteriyel özellikli, korozyona karşı dayanıklılık arttıran, çeşitli yapı malzemelerinin yüzeylerindeki kir, leke ve hasarların giderilmesini sağlayan, uv ışınlarına ve güneşe karşı korunumlu ya da güneş ışığının konut içi enerjiye dönüştürülmesini sağlayan nano yapı malzemelerinin üretilmesi olanaklı hale gelmiştir (Perker, 2010).

2.3.3. Ahşapta nano teknoloji kullanımı

Nano teknolojik malzemeler her alanda olduğu gibi ahşapta da fiziksel ve mekanik dayanımının iyileştirilmesi amacıyla farklı yöntemlerle kullanılmaktadır. Bu yöntemler; emprenye etme, sürme, ahşap hamuru içerisine katma, kaplama, fabrikasyon ahşaplarda yapıştırıcı ile beraber kullanma ve ahşap koruyucu maddeler içerisinde farklı oranlarda katma şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Son zamanlarda ahşabın özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla, farklı etkenlere sahip birçok farklı nano Parçacık kullanılmaktadır. Zeolit ve montmorillonit, alüminyum oksit, çinko oksit, bakır oksit nano parçacıklar ile karbon nano tüpler ahşabın farklı yönlerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılan nano ürünlerden bazılarıdır.

Nano teknolojik malzemeler birçok yüzeyde olduğu gibi ahşap yüzeylerde de etkili olarak kullanılmakta, suyun ahşabın içine geçmesini önlemekte malzemenin kirlenmesini önlemekte ve UV ışınlarına karşı dayanıklılık sağlamaktadır. Özellikle işlenmemiş ahşap yüzeylerde etkili olan kaplama, ahşap evler, ahşap masalar, ahşap garaj kapıları, verandalar veya bahçe çitleri gibi uzun süre kire, neme ve küflerin olumsuz etkilerine maruz kalan yerlere karşı etkin koruma sağladığı tespit edilmiştir.

Çevrenin etkilerine karşı uzun süreli koruma sağlayan bu nano malzemeler sayesinde yapının veya ahşap eşyanın ömrü uzamakta, dolayısıyla bakım masrafları azalmaktadır. Nano parçacıklarla ahşap kaplama yöntemleri özellikle restorasyon gerektiren tarihi yapıların ömrünün uzaması için etkili bir yöntem olarak görülmektedir.

2.4. Ahşap Yapılarda Taşıyıcı Sistemler ve Ahşap Yapı Tasarımları

Ülkemizde geleneksel yapıları incelendiğimizde ahşap yapı sistemi kuruluşunda sade ve fonksiyonel olmasına özen gösterildiği görülmektedir. Karkas sistem arasındaki düşeyde belli aralıklarla ara dikmeler kullanılmış, çerçeve sistemi payandalar yardımı ile rijitleştirilmiştir. Karkas arası boşluklar kerpiç, tuğla, taş gibi malzemelerle doldurulmuş, yöresel özelliklere göre dıştan yatay ahşap kaplamalar veya bağdadi sıva ile örtülmüştür. Duvar boşlukları ahşap kapaklar ve alçının yer aldığı kafa pencereleri kullanılarak çözümlenmiştir. Ahşap karkas zemin katta masif taş duvar üzerine yükselerek veya dikmeler üzerine alınmak suretiyle aşağıdan yukarıya doğru genişleyen sistem kendini göstermiştir. Yapının doğa ile bütünleşmesi sağlanmış, tavan ve saçaklarda renk ve şekil cümbüşü ile yapıya ayrı bir güzellik kazandırılmıştır. Günümüzde ise teknolojinin getirdiği imkânlarla yeni tasarımlar oluşturulmuş suni ahşap plak ve kirişlerle istenilen mimari formlar elde edilmiştir.

Türkiye’de ahşap taşıyıcı sisteme sahip yapı üretimi yaklaşık 40 yıl öncesine kadar yaygın bir şekilde görülmesine rağmen, özellikle betonarme yapım tekniğinin ortaya çıkması ve gelişmesiyle yapı sahibi olmak isteyenler bu süre içinde genellikle tercihlerini betonarme yapılardan yana kullanmışlardır. İnsanların genel tercihleri betonarme ya da yığma türü binalardan yana olunca da ahşap taşıyıcı sisteme sahip yapılar nadiren yapılmış ve bu yapılar unutulmaya yüz tutmuşlardır. Ancak ABD, Kanada, Japonya ve Avustralya gibi gelişmiş ülkelerde ahşap yapılar için bu tür bir yol izlenmeyip teknolojinin verdiği imkânlardan da yararlanarak yeni detay ve teknikler geliştirilmiş ve bu ahşap yapılar inşa edilmeye devam edilmiştir. Bugün ABD’de ahşap yapılar genel olarak tüm yapıların %80-%90’ını oluşturmakta, Kaliforniya gibi deprem bölgesindeki yerleşim yerlerindeki konutlarda ise bu oran %99’a kadar çıkmaktadır (Çobancoğlu, 1998).

Türkiye için de yapılması gereken; bu yapıları hiçbir irdeleme yapmadan birkaç basit nedenle tamamen devre dışı bırakmak yerine, çağdaş mimari anlayışa ve teknolojiye uygun olarak değerlendirmek, bu değerlendirmelere göre performanslarının iyi ve kötü olduğu hususları belirlemek ve eksik yönlerini geliştirme çarelerini aramaktır. Bunun sonucunda da ahşap taşıyıcı sisteme sahip yapıları, insanlarımızın depremde can güvenliği ve ülke ekonomisi yönünden değerlendirerek, üstün ve zayıf oldukları hususlarla birlikte konut sahibi olmak isteyenlere en azından bir seçenek olarak sunulmalıdır.

Ülkemizde son yıllarda gerçekleşmiş en büyük afetlerden olan 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri, bazı teknik eleman ya da araştırmacıların dikkatlerinin geleneksel yapılar üzerine yoğunlaşmasını sağlamıştır. Bunun bir sonucu olarak da birçok araştırmacı ve gözlemci deprem sonrasında bu yapıların deprem performansları hakkında görüş bildirmişlerdir (Çobancaoğlu, 1998). Bu görüşler genelde geleneksel yapıların deprem performanslarının, betonarme yapıların performanslarına göre daha üstün olduğu şeklinde oluşmuştur. Oysa daha önceki depremlerde bu yapıların deprem performansları hakkında ya hiç görüş sunulmamış ya da çok kısıtlı bilgiler ve görüşler sunulmuştur. Araştırmacılar da geleneksel yapıların çeşitli yük ya da yük etkisindeki davranışları üzerinde çalışmalarına söz konusu depremlerden sonra başlamışlardır. Bu bağlamda sunulan bu çalışmada Türkiye’de geçmişte geleneksel yapılarda uygulanmış ve bugün de uygulanmakta olan ahşap yapılardaki taşıyıcı sistemler tanıtılmakta, bunlar dayanım ve rijitlik açısından irdelenmektedir.

Dünyada ve ülkemizde yüzyıllardır ayakta duran ve özgün tasarımlarıyla beğeni kazanmış birçok ahşap yapı bulunmaktadır. Ayrıca günümüzde özgün tasarımlarıyla yüzyıllarca adından söz ettirmeye aday modern yapılarda tasarlanmaktadır. Aşağıda bu yapılara birkaç örnek verilmiştir.



Şekil 2.3. Dünyanın ayakta duran en eski ahşap yapısı Budist tapınağı Yumedono, 607, Nara/Japonya



Şekil 2.4. Anadolu'daki en eski ve en büyük ahşap camisi Eşrefoğlu Camii, 1296, Beyşehir/Konya



Şekil 2.5. Dünya'nın ilk çok katlı ahşap yapısı Rum Yetimhanesi, 1898, Büyükkada İstanbul



Şekil 2.6. Modern tasarıma sahip dünyanın en büyük ahşap konstrüksiyonlu yapısı, Metropol Parasol, 2011, Seville/İspanya

BÖLÜM 3. METERYAL VE METOT

Malzemelere dıştan etkiyen kuvvetlere karşı gösterdiği dirence mekanik davranış denir. Bu tepki türleri de malzemenin mekanik özelliklerini oluşturur. Bu özellikler de çeşitli deneysel yöntemlerle belirlenir. Bu bölümde ahşabın mekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalara yer verilmiştir.

Tez çalışmasının temelini oluşturan deneysel faaliyetler için hazırlanan materyaller, kullanılan araç gereçler ve deneysel metotlara kapsamlı bir şekilde yer verilmiştir. Uygulanan deneysel metotlarla, nano CCB maddeleriyle emprenye edilen veya edilmeyen ahşabın mekanik davranışlarının ortaya çıkarılması hedeflenmektedir.

Kullanılacak nano parçacıklar metal oksit malzemelerden oluşmaktadır. Bu malzemeler ahşapla karşılaştırıldığında hem metallerin kendi başına mekanik dayanımlarının yüksek oluşu hem de nano boyutta malzemelerin daha üstün mekanik özellikler sergilemesi nedeniyle ahşabın dayanımı üzerinde olumlu etkileri olacağı düşünülmüştür. Bu konuda başka nano parçacıklarla yapılan güçlendirme işlemleri sonucunda elde edilen olumlu değerler çalışmamızın yönlendirilmesine katkıda bulunmuştur. Kullanılacak nano parçacık seçiminde ise, bilindiği gibi birçok ticari isim altında farklı oran ve bileşiklerde su bazlı CCB emprenye maddesi bulunmaktadır. Ancak bu emprenye maddelerinde kullanılan bileşikler makro ve mikro boyutlardan oluşan tuzlardır. Bu nedenle ahşabın içerisinde oluşturdukları fiksasyon (sabitlenme) reaksiyonlarıyla ahşabın içyapısında ligninleri (odunsu hücreleri) indirgediğinden mekanik özelliklerini %30 oranında olumsuz etkilemektedir (Kartal, 1998). Bu olumsuz etkinin ortadan kaldırılarak daha iyi mekanik dayanımlara ulaşmak amacıyla nano boyutta üretilen metal oksit parçacıkların su içerisinde disperse edilmiş ve öncelikle üç farklı metal oksit nano parçacıklar ayrı ayrı ve farklı oranlarda ahşaba emprenye edilmiştir.

Sonuç olarak yapılan çalışmalarda metal oksit nano parçacıkların üstün özelliklerinin ahşabın vazgeçilmez görselliği içinde güçlendirme amacıyla kullanımı sağlanmıştır. Bu güçlendirme işlemi, nano parçacıkların ahşap içerisine alçak basınç yöntemiyle emprenye edilmesi sonucu gerçekleştirilmiştir. Ahşap güçlendirmede yukarıda da ifade edildiği üzere piyasada yaygın olarak kullanılan, insan konforu ve sağlığı açısından en fazla tercih edilen su bazlı Bakır-Krom-Bor (CCB) emprenye maddesi esas alınmıştır. Bu nedenle bakır, krom ve bor oksit nano parçacıklar ayrı ayrı ahşaba emprenye edilmiş, daha sonra elde edilen deneyler sonucunda optimum oranları içeren ve bakır-krom-borun beraber kullanıldığı yeni nano CCB emprenye maddesi üretilmiştir. Üretilen bu yeni maddenin ahşabın mekanik dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Nano CCB maddesinin ahşabın güçlendirilmesinde kullanımı dünya literatüründe yer almayan özgün bir çalışmadır.

Çalışmalarda deney parametreleri ilk olarak; 6 farklı mekanik test için 5'er numune, ağırlıkça 3 farklı orandaki solüsyonda, 3 farklı nano metal oksit parçacık emprenye edilerek 2 farklı sıcaklıkta kurutulmuştur. Daha sonra elde edilen deney sonuçları doğrultusunda 6 farklı mekanik test için 5'er numune, ağırlıkça %2 oranındaki CCB (Bakır, Krom, Bor Oksit) nano parçacıklar emprenye edilerek 2 farklı sıcaklıkta kurularak tüm sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Yapılan mekanik testler;

- Liflere paralel ve dik çekme deneyi
- Liflere paralel ve dik basınç deneyi
- Liflere paralel kesme deneyi
- 3 nokta eğilme deneyidir.

Kullanılacak nano parçacık oranları normal emprenyede kullanılan oranlar dikkate alınarak ağırlıkça %1, %2 ve %3 olacak şekilde hazırlanmıştır. Kurutma sıcaklıkları ise yine literatürde en fazla tercih edilen açık hava (20 oC) ve etüv (105 oC) sıcaklıkları tercih edilmiştir. Öte yandan yapılan tüm deney çeşitleri için 5'er adet numune hazırlanmış ve deneye tabi tutulmuştur. Ancak ahşap anizotrop, heterojen bir yapıya sahip olduğundan sonuçlardan elde edilen değerlerin standart sapmaları göz önüne alınarak 3 adet numune sonucundan ortalama değerler elde edilmiştir.

3.1. 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.

3.2. Emprenye maddesi

Deney örneklerinin emprenyesinde kullanılan bileşikler piyasada yaygın olarak kullanılan, hem insan hem de çevre üzerinde olumsuz etkisi olmayan ve ahşabın birçok fiziksel özelliğini iyileştiren CCB (Bakır-Krom-Bor) emprenye malzemesidir. Ancak makro veya mikro yapıdaki bileşik tuzlarla oluşan bu malzemeler ahşabın mekanik dayanımını belirli oranlarda düşürmektedir (Kartal, 1998). Bu çalışmada emprenye malzemesinin bu dezavantajını ortadan kaldırmak ve emprenye sonucunda daha iyi mekanik dayanım elde edilmesini sağlamak amacıyla tanecik boyutu nano düzeyde olan CCB malzemeleri kullanılmıştır. Emprenye işlemlerinde farklı oranlarda su içerisinde disperse (dağıtılarak) edilerek kullanılan nano parçacıkların özellikleri aşağıda verilmiştir.

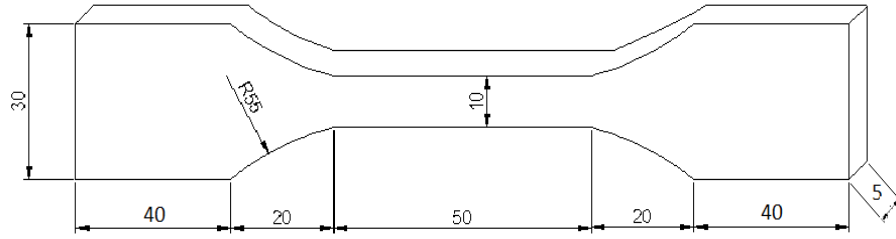
- Bakır (II) oksit (CuO_2): Koyu kahverengi renkte olup Alfa Aesar firması tarafından NanoArc® U1121W ticari koduyla %99,9 saflıktaki 30 nm çaplı nano parçacıkların su içerisinde %50 oranında disperse edilmesiyle üretilmiştir.
- Krom Oksit (Cr_2O_3): NP-CHO6 ticari koduyla Grafen firması tarafından üretilmiş olup %99+ saflıkta, 60 nm çapında ve yeşil renktedir.
- Bor Oksit (B_2O_3): NP-BO8 ticari koduyla Grafen firması tarafından üretilmiş olup %99,5 saflıkta, 80 nm çapında ve beyaz renktedir.

3.3. 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 lif yönlerine göre kesilmiştir. Boyutları yine ilgili standarda göre tespit edilen numunelerin boyutları orantılı olarak küçültülmüştür.

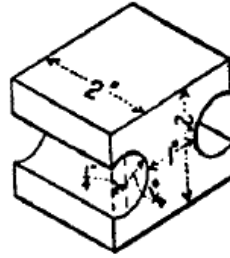
ASTM D143-09'a göre hazırlanan numuneler ve boyutları aşağıda belirtilmiştir;

1. Statik Eğilme (Static Bending): Numunelerin boyutları ilgili standartta 25*25*410 mm olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmaların daha güvenilir olması amacıyla kullanılacak numune sayısının yüksek tutulması için numuneler ilgili standarda göre ½ oranında küçültülerek 12,5*12,5*205 boyutlarında hazırlanmıştır.
2. Liflere Dik Basınç Deneyi (Compression Perpendicular to Grain): ASTM D143-09'de numuneler 50*50*150 mm büyüklüğünde verilmiştir. Numuneler ½ oranında küçültülerek 25*25*75 boyutlarında hazırlanmıştır.
3. Liflere Paralel Basınç Deneyi (Compression Parallel to Grain): ASTM D143-09'de numuneler 50*50*150 mm büyüklüğünde verilmiştir. Numuneler 1/3 oranında küçültülerek 16,5*16,5*65,5 boyutlarında hazırlanmıştır.
4. Liflere Paralel Çekme Deneyi (Tension Parallel to Grain): 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.



Şekil 3.1. Liflere paralel çekme deneyi numunesi (Boyutlar mm'dir)

5. Liflere Dik Çekme Deneyi (Tension Perpendicular to Grain): Numeneler ASTM D143-09 standardına göre hazırlanmış olup, boyutları Şekil 3.2'de verilmiştir.

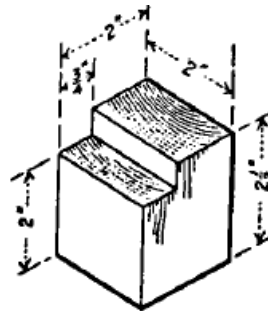


Metric Equivalents

in	1/4	1/2	1	2
mm	6	13	25	50

Şekil 3.2. Liflere dik çekme deneyi numunesi

6. Liflere Paralel Kesme Deneyi (Shear-Parallel-to-Grain): Numeneler ASTM D143-09 standardına göre hazırlanmış olup, boyutları Şekil 3.3'te verilmiştir.



Metric Equivalents

in.	3/4	2	2 1/2
mm	20	50	63

Şekil 3.3. Liflere paralel kesme deneyi numunesi

Deneyisel çalışmada Shimadzu 50 kN'luk masaüstü çekme, eğilme, basınç test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Shimadzu 50 kN'luk masaüstü çekme eğilme ve basınç cihazı

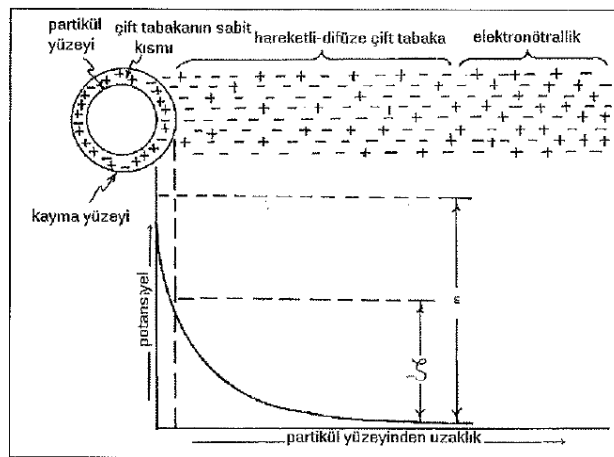
3.4. Emprenye edilecek nano parçacıkların hazırlanması

Ahşaba emdirilmek üzere hazırlanan koloidal yapı, saf su ve belirlenen oranda eklenen nano parçacıklardan oluşmaktadır. Nano parçacıkların koloidal yapı içerisinde homojen olarak dağılması ve belirli bir süre çökmemesi gerekmektedir. Bu nedenle yüzey aktif madde olarak kloroform (CHCl_3) kullanılmıştır. Çalışmamızda gerekli olan çökme süresi ahşabın emprenye edilmesi için gerekli olan süre olarak ifade edilebilir. Bu sürenin istenen sınırlar içerisinde kalabilmesi amacıyla hazırlanan solüsyon disperse edilmesi gerekmektedir. Günümüzde nano parçacıkların disperse edilebilmesi için birçok cihaz geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları ultrasonik banyolar, yüksek hızlı mekanik karıştırıcılar veya homojenizatörlerdir. Çalışmamızda nano parçacıklarının disperse edilebilmesi amacıyla SonoPlus 2200 homojenizatör kullanılmıştır. Nano parçacıklarının uygun süre aralığında askıda kalması disperse süresine, homojenizatörün şiddet ve frekansına, koloidal çözeltinin miktarına, Parçacık yoğunluğuna, malzemenin cinsine, tanecik boyutuna ve kullanılan yüzey aktif maddeye bağlıdır (Cellard ve ark., 2006). Tüm bu parametreler dikkate alınarak yapılan çalışmalar sonucunda nano parçacıkların disperse olup olmadığını ölçmek amacıyla koloidal çözeltinin zeta potansiyeli ölçülmüştür.

3.5. Zeta potansiyelinin ölçülmesi

Tüm süspansiyon ve koloidal çözeltilerde tanecikler çökme eğiliminde olduğu ve farklı sürelerde çöktüğü bilinmektedir. Taneciklerin çökme süresine etki eden birçok faktör vardır. Bu faktörlerin başında taneciklerin birbirini itme veya çekim kuvvetleri etkisi gelir. Koloidal yapılarda kullanılan elementlere bağlı olarak tanecikler arası oluşan itme veya çekim değerleri birbirinden farklıdır. Koloidal çözeltilerde bu kuvvet ölçülerek taneciklerin çökme eğiliminde olup olmadıkları tespit edilir.

Zeta Potansiyeli; koloidal parçacıklar dispersiyon ortamında iyon adsorbe ederler. Pozitif ve negatif olarak yüklenirler. Her Parçacık pozitif ve negatif yüklü oluşuna göre aksi yöndeki iyonlarla çevrilebilirler. Tek tabakalı (monomoleküller) bir yapı oluşur. Bu tabakanın etrafında da parçacığa bağlı olmayan, hareketli ikinci iyon tabakası yer almaktadır. Bu tabakaya helmhoitz çift tabakası veya hareketli difüze çift tabaka denir. Parçacık yüzeyine yapışmış olan elektriksel tabakanın potansiyeline elektro termodinamik potansiyel veya nernst potansiyeli denir. Çift tabakanın dışında da pozitif iyonların negatif iyonlara eşit olduğu nötral bir alan vardır. Parçacığın yüzeyi ile bu nötral bölge arasındaki potansiyel farkına zeta potansiyel denir (Şekil 3.5). (Martin 1993). Diğer bir deyişle, zeta potansiyeli Parçacığın yüzeyi üzerindeki net etkili yükü göstermektedir (Nash 1988). Zetametre ile ölçülür ve birimi mili voltur.



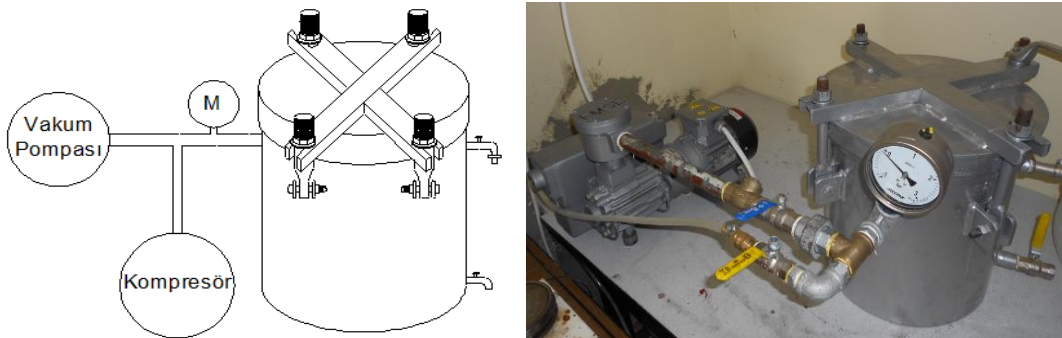
Şekil 3.5. Zeta potansiyelin şematik olarak gösterimi (Martin 1993)

Zeta potansiyel, koloidal dağılımların stabilizesinin değerlendirilmesinde önemlidir. Zeta değeri ne kadar yüksek olursa, koloidal dağılımların stabilizesi de o kadar iyidir. Emülsiyonlarda bu değer genellikle $\pm 30-50$ mV olması istenir (Çelebi 2005).

3.6. Emprenyenin Yapılması

DeneySEL çalımlarda emprenye işleminde hem uygulanabilirliği hem de istenen sonuçların elde edilebilmesi açısından en yaygın olarak kullanılan sistem alçak basınç-vakum emprenye sistemidir (Aslan, 1998). 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 kurutularak kullanıma sunulur (Bozkurt ve ark., 1993). Emprenye çalışmaları, literatürde yer alan ve yukarıda ifade edilen yöntem ve teknikler kullanılarak yapılmıştır.

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 silindir şeklindeki bu tankın et kalınlığı 6 mm olan çelik saçtan üretilmiştir. Tanka vakum pompası, kompresör ve çift taraflı manometre bağlanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Emprenye tankı ve şematik görünümü

Emprenye ile ilgili deneysel çalışmaları ASTM-D1413-76 standardına göre yapılmıştır. Bu standarda uygun olarak vakum-basınç yöntemiyle yapılan çalışmalarda, numuneler

60 dakika süreyle 760 mm Hg⁻¹ negatif basınca eşdeğer ön vakuma maruz bırakıldıktan sonra sisteme 3 bar basınç uygulanmış ve numuneler 6 saat sabit basınç altında tutulmuşlardır. Son olarak numunelere 760 mm Hg⁻¹ negatif basınçlı vakum uygulanarak ağaç malzeme yüzeyinde kalan emprenye maddeleri geri alınmıştır.

Emprenye çalışmalarında her bir deney çeşidi için 5'er adet ahşap numune, her tarafı emprenye malzemesiyle temas edecek şekilde tanka yerleştirilmiştir. Numunelerin yoğunluğu sudan düşük olduğundan su yüzeyine çıkmalarını önlemek amacıyla üzerlerine teflon malzemedan yapılmış ağırlıklar yerleştirilerek emprenye işlemine başlanmıştır.

Emprenye işlemi tamamlanan numunelerin bir kısmı 104 °C'ye çıkarılmış etüvde 24 saat kurutulduktan sonra deneye tabi tutulmuşlardır. Diğer kısmı ise emprenye işleminden sonra 30 gün boyunca açık havada kurutulmuştur. Ancak Sakarya bölgesinin nemli olmasından dolayı ASTM'de belirtilen deneysel nem oranına ulaşamamıştır bu nedenle nem oranının dengelenmesi amacıyla numuneler 3 saat 105 °C etüvde bekletilerek %15±3 nem oranına ulaşılmıştır. Deneysel çalışmalar süresince numunelerin nem oranlarının değişmemesi için deney sırası bekleyen numuneler desikatör içerisinde bekletilmiştir.

3.7. Nano emprenye maddelerinin fiksasyonu (sabitlenme reaksiyonları)

Fiksasyon en genel anlamda, emprenye edilen ahşap içerisinde oluşan kimyasal reaksiyonlar ve etkileşimler olarak tanımlanabilir. Emprenye maddesinin ahşap içerisinde fikse olması, emdirilen malzemenin ahşap içerisinde derinliklere nüfus etmesi ve hücre çeperiyle kimyasal bağ kurması veya etkileşime girmesi sonucu hem yağmur veya rutubet ortamında ahşabın en az malzeme kaybına uğraması hem de içyapıda istenmeyen organizmaların barınmaması anlamına gelmektedir. Öte yandan iyi fikse olmayan bileşenler ahşap malzeme yüzeyinde kaldıklarından malzemeye temas edildiğinde insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadır. Ayrıca malzeme yüzeyindeki kimyasalların zamanla akıp toprağa veya su kaynaklarımıza karışması çevre kirliliğine neden olmaktadır.

Yukarda ifade edildiği üzere fiksasyonun ahşabın fiziksel dayanımı, insan sağlığı ve çevrenin korunması açısından sağladığı birçok avantajının yanında ahşabın mekanik dayanımı açısından olumsuz yönde etkilemektedir. Çünkü fiksasyon reaksiyonları sonucunda özellikle su içerisinde rahat çözünebilen bor ve krom bileşikleri gibi emprenye maddeleri ahşabın içyapısında bulunan lignin ve ekstarktif maddeleri indirgeyerek yaklaşık %30 oranında mekanik dayanım düşüşüne neden olmaktadır (Baysal, 2005).

Fiksasyon reaksiyonlarına etki eden birçok faktör vardır. Bu faktörlerden biride emprenye maddesinin tuz veya oksit bazlı olup olmamasıdır (Forsyth, 1993). Tuz esaslı emprenye maddelerinde fiksasyon daha hızlı, oksit bazlı maddelerde ise daha düşük düzeyde oluşmaktadır.

Yaptığımız çalışmalarda kullanılan malzemelerin oksit bazlı olması oluşacak muhtemel fiksasyon reaksiyonlarının yavaş veya sınırlı düzeyde olması beklenmektedir. Bu nedenle nano parçacıklar emprenye edildikten sonra ahşapta oluşan kimyasal reaksiyonları veya etkileşimi gözlemlemek amacıyla deney numunelerinde infrared (kızılötesi) spektrumlarının incelenmesi yapılmıştır.

BÖLÜM 4. NUMUNELERİN İÇ YAPI ANALİZLERİ

Bu bölümde ilk olarak hazırlanan emprenye solüsyonu içerisinde yer alan nano parçacıkların çökme eğilimlerinin tespiti amacıyla zeta potansiyeli ölçümü ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Daha sonra ahşabın kimyasal yapısı ile emprenye edilen nano metal oksit parçacıkların kimyasal etkileşim veya reaksiyonlarının tespiti amacıyla IR spektrum analizleri yapılmıştır. Son olarak ta bu numunelere nüfuz eden nano parçacıkların ahşap içerisindeki durumunun incelenmesi amacıyla FE-SEM içyapı görüntülerine yer verilmiştir.

3.1.1. Emprenye Edilecek Koloidal Çözeltinin Zeta Potansiyelinin Ölçülmesi

Bakır, krom, bor oksit nano parçacıklarla elde edilen emprenye solüsyonunda nano boyutlu taneciklerin saf su içerisinde dağıtılması (dispersiyon), bu taneciklerin askıda kalma kararlılığının incelenmesi amacıyla zeta potansiyellerinin ölçülmesi ve bu ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin yorumları yapılmıştır. Zeta potansiyeli değerleri solüsyonun emprenye işleminde kullanılıp kullanılmayacağına karar vermek açısından son derece önemlidir. Çünkü taneciklerin çökme eğiliminde olması sonucu ahşabın emprenye olma süresince koloidal çözelti içerisindeki nano parçacıkların dibe çökmesi taneciklerin ahşabın içerisine homojen olarak yayılmasına engel teşkil edecek ve bu durum çalışmanın sonuçlarını olumsuz yönde etkileyecektir.

Bakır oksitin dispersiyonu ve zeta potansiyeli ölçümü

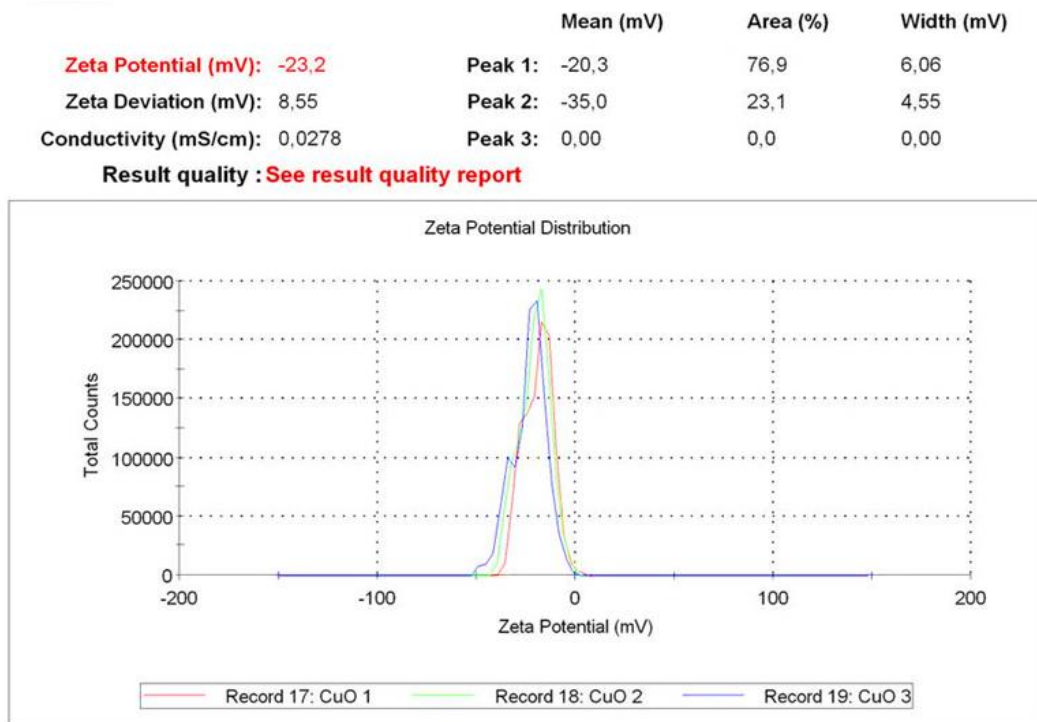
Ahşaba emprenye edilecek CCB malzemelerin ahşap üzerindeki ayrı ayrı etkilerinin incelenmesi ve nihai optimum malzeme karışımının tespit edilmesi açısından ilk olarak 200 ml saf su içerisinde % 3 (6 gr) Bakır Oksit (CuO_2), olacak şekilde koloidal karışım elde edilmiştir. Bakır Oksit çözeltisi su içerisinde % 50 oranında disperse

edilmiş olarak temin edildiğinden seyreltme yapılmıştır. Bu seyreltilen bbbbkarışım SonoPlus 2200 homojenizatörde 20 dk boyunca, %50 devirde , %50 güç altında karıştırılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. CuO₂ karışımının homojenizatörde disperse edilmesi

Elde edilen bakır oksit koloidalinin kullanıma uygun olup olmadığının belirlenmesi açısından zeta potansiyeli ölçülmüştür. Zeta potansiyeli % 3'lük koloidal çözeltinin çok yoğun olması nedeniyle karışım oranı % 0,5 olacak şekilde seyreltilerek ölçüm alınmıştır. Alınan ölçüm sonucunda CuO₂ koloidal çözeltisinin zeta potansiyel değeri aşağıdaki grafikte görülmektedir (Şekil 4.2).

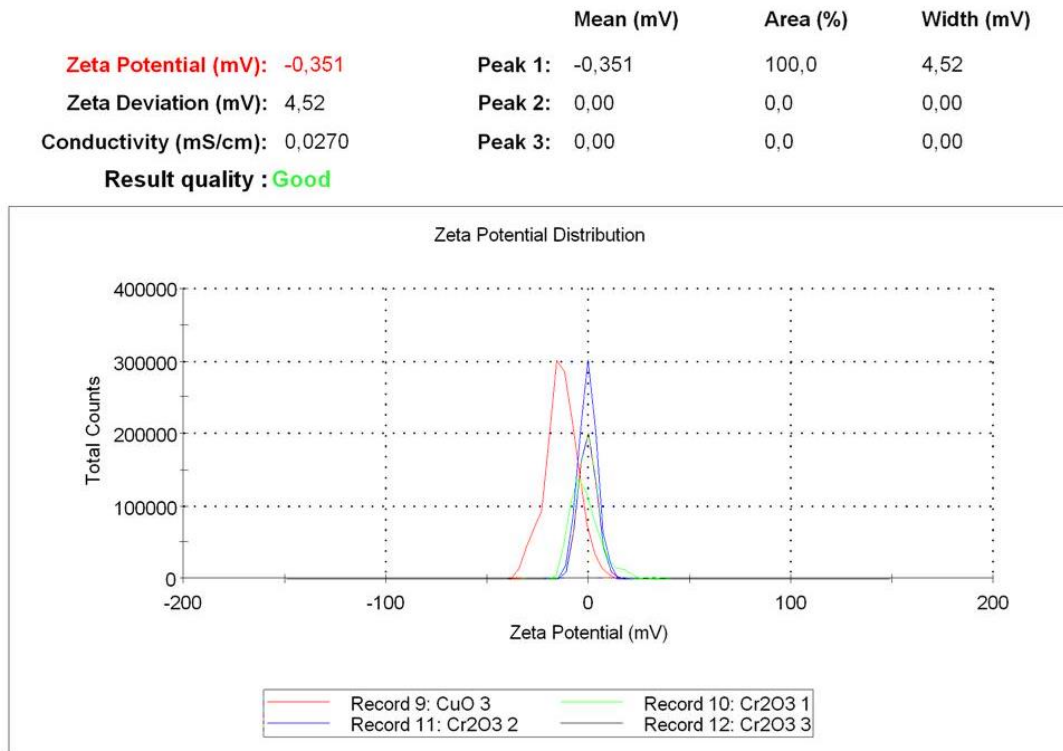


Şekil 4.2. % 0,5 CuO₂ koloidal çözeltinin zeta potansiyel grafiği

Üç sefer tekrarlanan zeta potansiyel ölçümünde ortalama değer $-23,2$ mV olarak tespit edilmiştir. Elde edilen değer ± 30 mV sınır değerinden küçük olduğundan bu koloidal çözeltinin çökmeye meyilli olduğu ve taneciklerin askıda kalma süresinin kısa olduğu ifade edilebilir. Ancak Bakır oksit nano parçacıklar hazır disperse edilmiş olarak satın alındığından tanecikler üzerinde herhangi bir işlem yapılamamış ve bu haliyle kullanılmıştır.

Krom oksitin dispersiyonu ve zeta potansiyeli ölçümü

Krom oksit (Cr_2O_3) saf su içerisinde %3 oranında hazırlanarak SonoPlus 2200 homojenizatörde 80 dk boyunca, %50 devirde, %50 güç altında karıştırılmıştır. Elde edilen bu karışımında % 0,5 olacak şekilde inceltirilerek zeta potansiyeli ölçülmüştür. Bu çözeltide zeta potansiyeli $0,351$ mV olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.3).

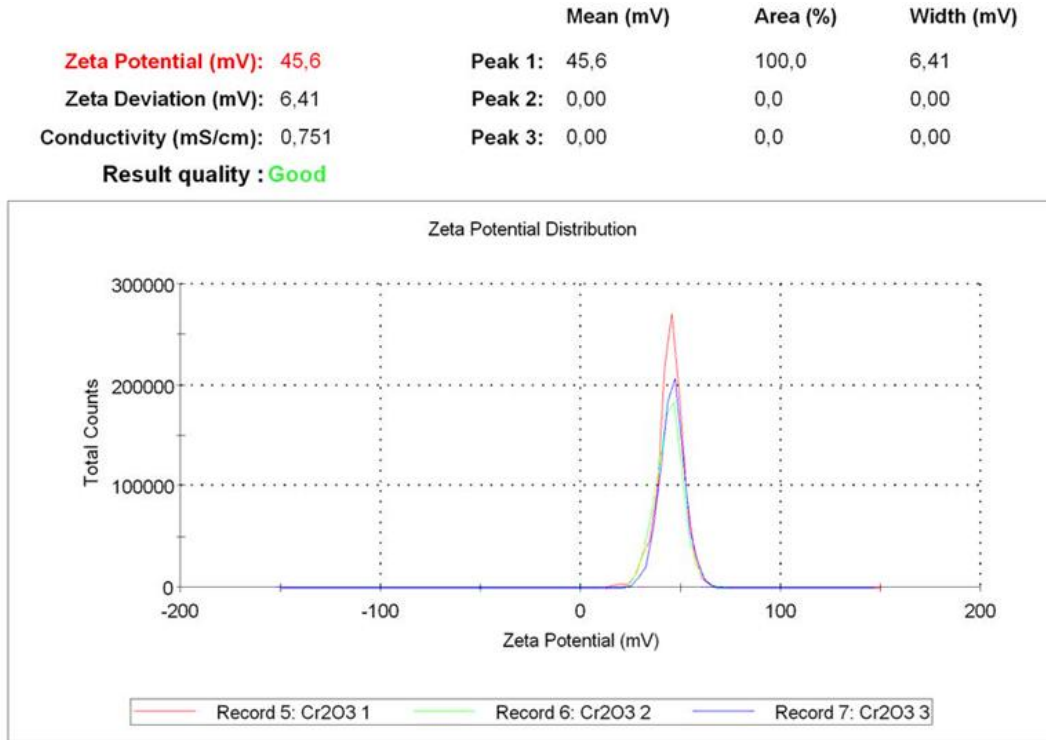


Şekil 4.3. % 0,5 konsantrasyonlu Cr_2O_3 koloidal çözeltinin zeta potansiyel grafiği

Zeta potansiyelinin sıfıra yakın çıkması bu çözeltinin tamamen çökmeye meyilli olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca çözeltide, taneciklerin çökme süresi gözle

görülebilecek düzeyde hızlı olduğu gözlenmiştir. Çözeltinin bu şekilde kullanılması taneciklerin ahsap içerisine homojen olarak nüfuz etmemesine neden olacaktır. Bu nedenle taneciklerin çözelti içerisinde askıda durması çalışmanın sağlıklı olması açısından önemlidir. Bu konuda literatür incelendiğinde taneciklerin çökmesini engellemek amacıyla tanecik yüzeylerinin farklı malzemelerle kaplandığı görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda metal oksitlerle reaksiyona girmeyen kloroformla yüzey kaplama işlemlerinin yapılmasına karar verilmiştir. %50 oranıyla (10 ml kloroform, 5gr Cr₂O₃) hazırlanan bu karışım 60 dk mekanik karıştırıcı yardımıyla karıştırılmış daha sonra saf su ile % 0,5'lik Koloidal çözelti elde edilmiştir. Elde edilen bu çözelti SonoPlus 2200 homojenizatörde 30 dk boyunca, %50 devirde, %50 güç altında karıştırılmıştır.

Krom oksitin saf su içerisinde disperse olup olmadığını 7 gün boyunca gözlem yoluyla inceledikten sonra (7 gün sonunda taneciklerin büyük oranda askıda olduğu gözlenmiştir.) çözeltinin zeta potansiyeli ölçülmüştür. Yapılan ölçüm sonucunda Cr₂O₃ Koloidal çözeltisinin zeta potansiyel değeri aşağıdaki grafikte görülmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. %50 Kloroformla kaplanmış, %0,5 Konsantrasyonlu Cr₂O₃ koloidal çözeltinin zeta potansiyel grafiği

Şekil 4.4'teki grafikte görüldüğü üzere yüzeyi kaplanmış krom oksitin zeta potansiyel değeri 45,6 mV olduğu tespit edilmiştir. Bu değer koloidal çözeltiler için tavsiye edilen $\pm 30-50$ değerleri arasında olduğundan çözeltimizin disperse olduğu anlamına gelmektedir. Böylece Emprenyede kullanılacak krom oksit çözeltisi hazırlama işlem basamakları belirlenmiştir.

Bor oksitin dispersiyonu ve zeta potansiyeli ölçümü

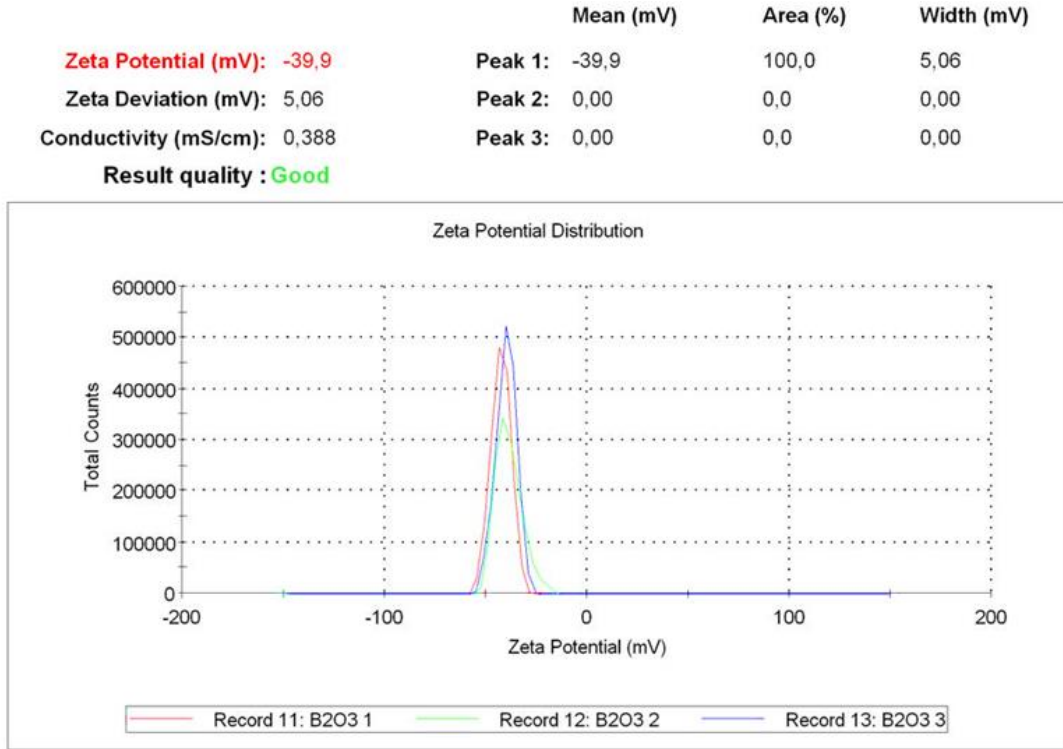
Bor oksit (B_2O_3) ile oluşturulan koloidal çözeltide bor oksitin saf su içerisinde çözündüğü gözlenmiştir. Ahşap içerisine emdirilecek parçacıkların nano düzeyde olması çalışmamızın temelini oluşturmaktadır. Ancak su içerisinde çözünen bor oksitin, ortamdan su uzaklaştırıldığında farklı boyutlarda kristalleşecektir. Bu nedenle bor oksitin suda çözünmesini engelleyecek ve taneciklerin askıda kalmasını sağlayacak bir yüzey aktif maddeyle kaplanması gerekmektedir.

Yapılan literatür taraması ve deneysel çalışmalar sonucunda bor oksit nano parçacıkları kloroformla kaplanarak saf su içerisinde disperse edilmesi sağlanmıştır. Öncelikle %50 oranında kloroformla kaplanan bor oksitten, saf suyla %3'lük solüsyon hazırlanmıştır. Daha sonra zeta ölçümlerinin alınabilmesi için bu solüsyon inceltirilerek %0,5 koloidal çözelti elde edilmiştir. Bor oksit, kloroform ile mekanik karıştırıcıda 60 dk karıştırıldıktan sonra saf su içerisinde 30 dk %50 devir ve güç altında disperse edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. B_2O_3 karışımının homojenizatorde disperse edilmesi

Hazırlanan kloroformla kaplanmış Bor oksit çözeltisinin zeta potansiyeli ölçülmüş, yapılan ölçüm sonucunda B_2O_3 koloidal çözeltisinin zeta potansiyel değeri aşağıdaki grafikte görülmektedir (Şekil 4.6).



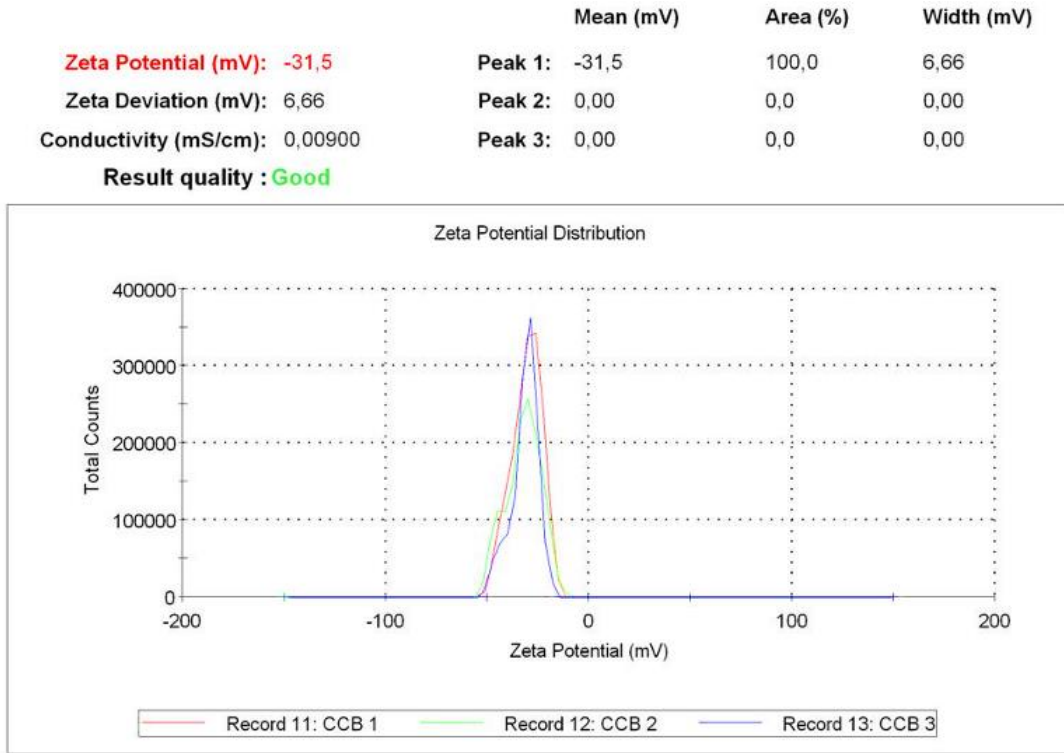
Şekil 4.6. %50 Kloroformla kaplanmış, % 0,5 B_2O_3 koloidal çözeltinin zeta potansiyel grafiği

Şekil 4.6'daki grafikte görüldüğü üzere yüzeyi kloroformla kaplanmış Bor oksitin zeta potansiyel değeri 39,9 mV olduğu tespit edilmiştir. Bu değer koloidal çözeltiler için tavsiye edilen ± 30 -50 değerleri arasında olduğundan çözeltilimizin disperse olduğu anlaşılmış ve empenyede kullanılacak bor oksit çözeltisi hazırlama işlem basamakları belirlenmiştir.

Nano CCB maddesinin dispersiyonu ve zeta potansiyeli ölçümü

Bakır Oksit, Bor Oksit ve Krom oksit nano Parçacıklardan, belirlenen oranlarda alınarak oluşturulan CCB karışımı kloroformla kaplandıktan sonra saf su içerisinde %2 oranında solüsyon hazırlanmış ve SonoPlus 2200 homojenizatörde 60 dk boyunca, %50 devirde, %50 güç altında karıştırılmıştır. Elde edilen bu

karışımında % 0,5 olacak şekilde inceltilerek zeta potansiyeli ölçülmüştür. Bu ölçüm sonucunda çözeltide zeta potansiyeli -31,5 mV olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. % 0,5 konsantrasyonlu CCB koloidal çözeltinin zeta potansiyel grafiği

Sonuç olarak ahşaba emprenye edilecek nano parçacıklarının solüsyon içerisinde askıda kalması ve emprenye süresince taneciklerin numunelerin içerisine homojen bir şekilde nüfuz etmesi için yapılan çalışmalar sonucunda tüm koloidal çözeltiler için optimum değerler; %1 madde miktarı içeren 1lt saf su için 40 dk süre, %50 devirde, %50 güç altında disperse edilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Nano madde miktarı arttıkça disperse süreside artırılmıştır. Bu süre artı %1 nano malzeme için 20 dk ek süre olarak uygulanmıştır.

4.1. Numunelerinin İnfrared Spektrumlarının İncelenmesi

Nano boyutlu tüm malzemeler kararsız yapıya sahip olup reaksiyon veya etkileşime oldukça meyillidirler (Akbulut, 2006). Kimyasal reaksiyon veya etkileşim sonucunda malzemenin iç yapısında oluşan kimyasal bağlar malzemenin mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Ergun, 2012). Yapılan emprenye çalışmalarında kullanılan

maddeler nano boyutta olduğundan ahşabın içyapısında bazı değişikliklere sebep olması muhtemeldir. Bu değişimlerin tespiti ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerin yorumlanması amacıyla tüm numunelerin IR spektroskopisi incelenmiştir.

Ahşap yüzeyinden direkt ölçüm ile elde edilen IR absorpsiyon verileri incelendiğinde 950-1150 cm^{-1} band aralığında en şiddetli pikler elde edilmektedir. Ahşabın IR spektrumu 3300 cm^{-1} civarında kuvvetli hidrojen bağlı O-H gerilme absorpsiyonunu göstermektedir. 2900 cm^{-1} civarında C-H gerilmeleri görülmektedir. 900-1900 cm^{-1} arasındaki parmak izi bölgesinde ahşabı oluşturan bileşenlerin üzerinde bulunan çeşitli fonksiyonel gruplardan kaynaklanan birçok keskin ve ayrık absorpsiyon bandı elde edilmiştir. 1507 cm^{-1} civarında ligninin karakteristik piki görülmektedir. 1640 cm^{-1} civarındaki pikler holoselülozda (selüloz ve hemiselüloz) bulunan aromatik iskelet ve karbonil (C=O) gruplarından kaynaklanan titreşimlerdir. Tablo 4.1’de selüloza ait IR bantları gösterilmektedir. Parmak izi bölgesindeki bazı piklerin şiddetindeki değişim, ahşabın bileşimindeki holoselüloz ve lignin oranlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır (Akerholm ve ark, 2003).

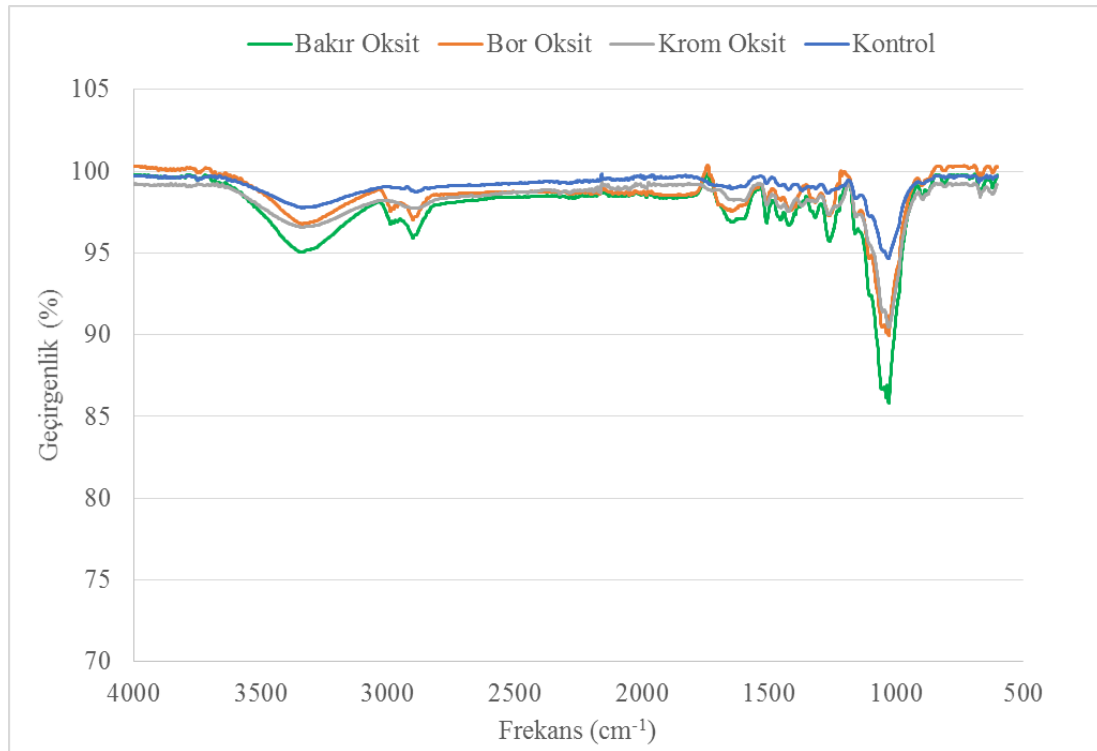
Tablo 4.1. Selüloza ait IR bantları (Pandey, 1998)

Sıra No	Bant Konumu	Absorbans (Soğurum)	Açıklama
1	3348	0.78	O-H Gerilmesi (hidrojen bağlı)
2	2902	0.27	C-H Gerilmesi
3	1640	0.21	Soğrulmuş O-H, C=O Bağları
4	1430	0.37	C-H Deformasyonu (asimetrik)
5	1372	0.43	C-H Deformasyonu (simetrik)
6	1336	0.39	O-H Deformasyonu (düzlemsel)
7	1318	0.41	CH ₂ Salınımı
8	1201	0.35	O-H Deformasyonu
9	1163	0.67	C-O-C Asimetrik titreşimi
10	1112	0.80	Glikoz halkası gerilmesi (asimetrik)
11	1059	1.00	C-O Gerilmesi
12	1033	0.90	C-O Gerilmesi
13	897	0.12	Glikoz halkası gerilmesi, C-H Deformasyonu

Ahşabı oluşturan moleküller başka bir molekül veya atom ile bu fonksiyonel gruplarla etkileşime girmekte ve IR absorpsiyon bantlarının değişiminden bir etkileşimin olup olmadığı anlaşılabilir (Akerholm, 2000). İşlem görmemiş ahşap numunesinin IR spektrumu ile metal oksit nano Parçacıkların emdirildiği ahşap numunelerinin

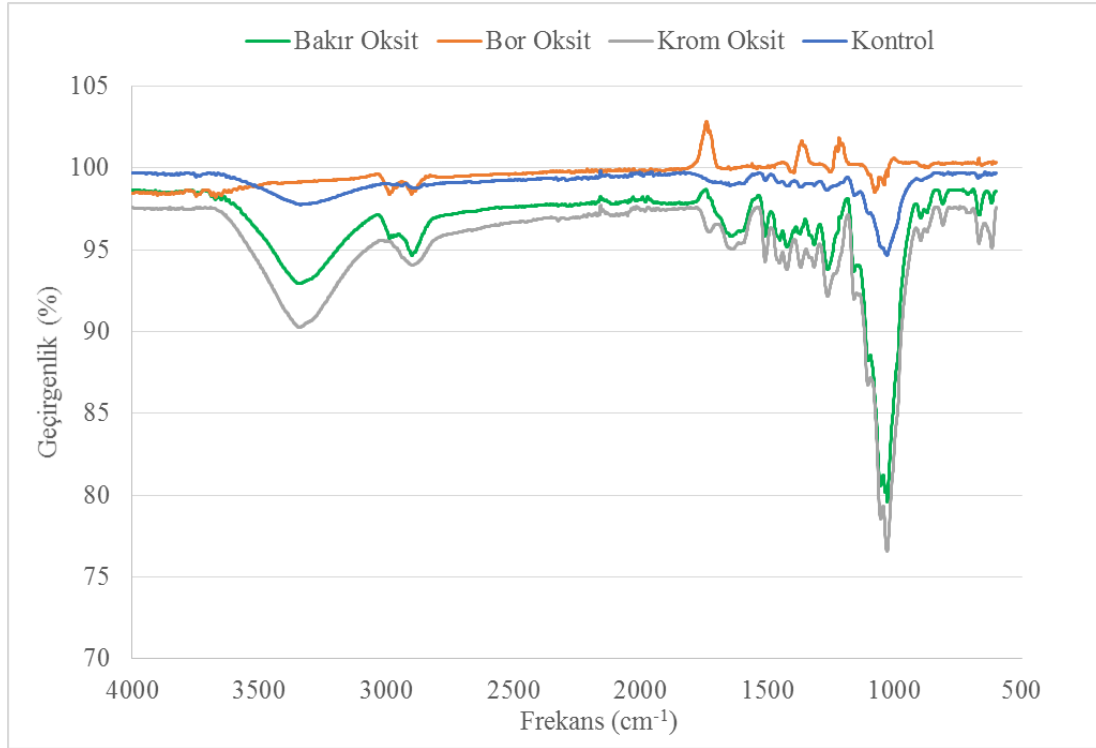
spektrumları karşılaştırıldığında piklerde herhangi bir değişimin olmaması nano parçacıklarla ahşap arasında kimyasal bir bağlanmanın olmadığını göstermektedir. Sadece bant şiddetlerinin değişimi zayıf dipol-dipol etkileşimlerini göstermektedir (Schwanninger ve ark,2004).

Yapılan IR spektroskopi incelemesi sonucunda, kontrol numunesi ile beraber %1, %2 ve %3 konsantrasyonlu bakır-krom-bor oksit nano parçacıklar empenye edilen ahşap numunelerin IR spektrum eğrileri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.8. %1 konsantrasyonlu, açık havada kurutulan numunelerin IR spektrum eğrileri

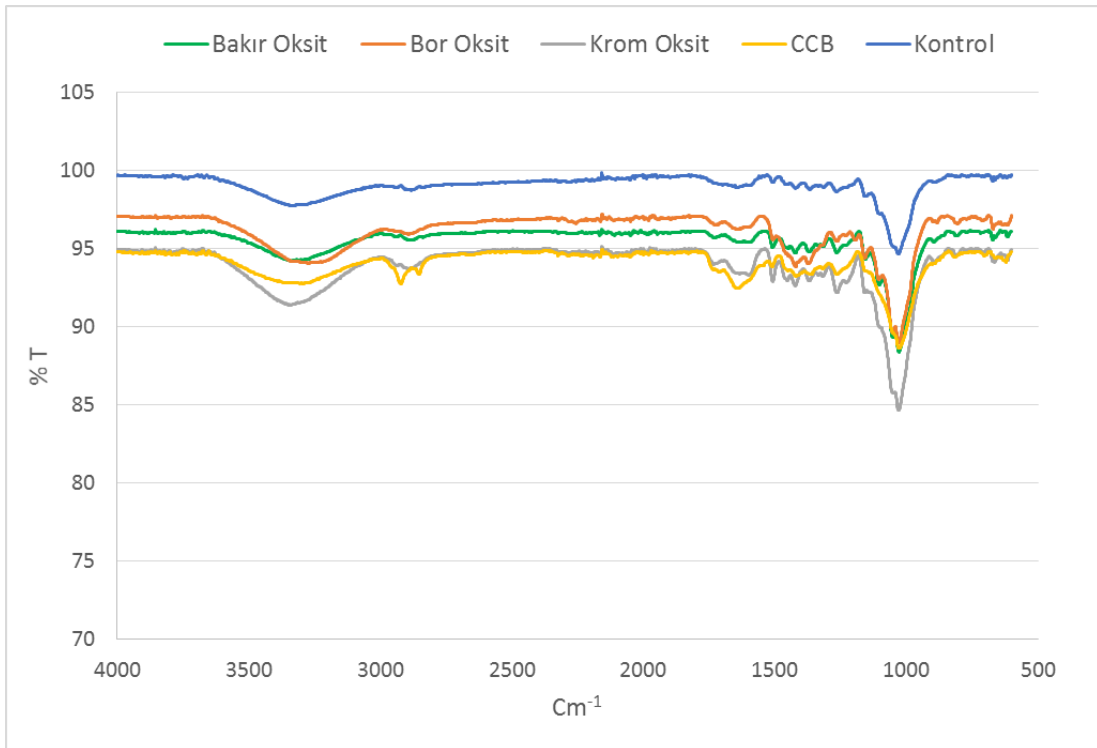
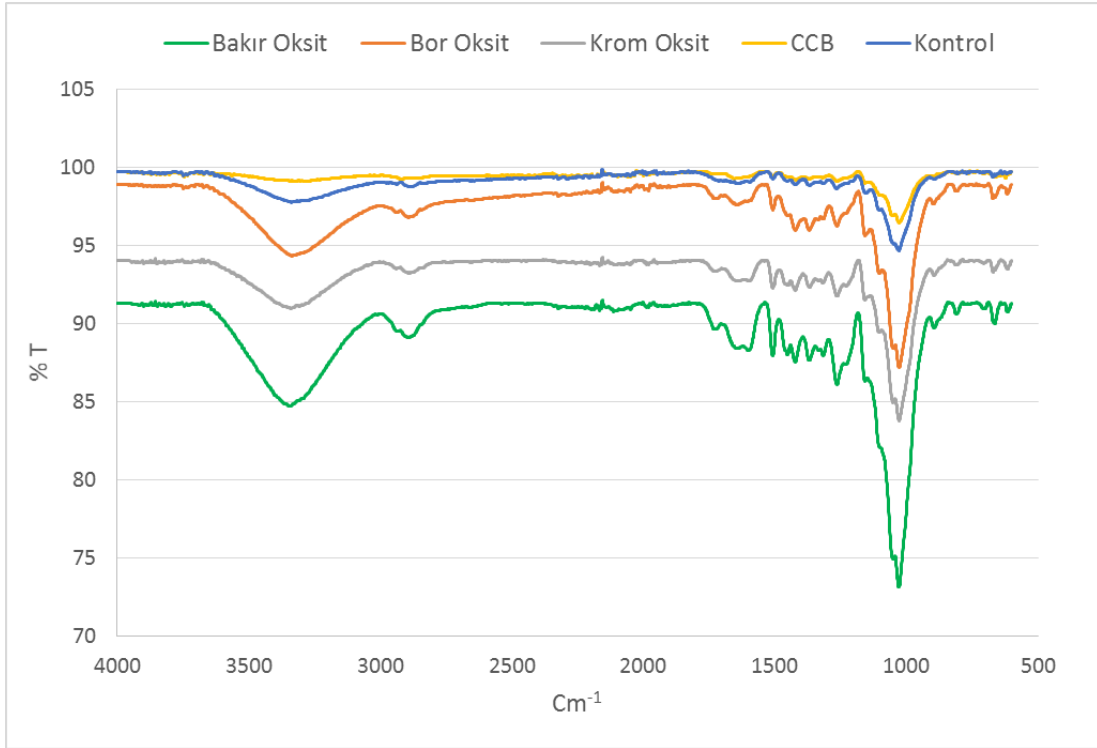
%1 konsantrasyonlu ve açık havada kurutulan numunelerin IR spektrum eğrileri incelendiğinde (Şekil 4.8) kontrol numunesi eğrisi ile diğer nano parçacık empenye edilen numuneler arasında 1600-1700 bandındaki bakır ve borda oluşan pik değişimi dışında bir pik değişimi oluşmamış, ancak tüm frekans boyunca bant şiddetinde değişim olduğu görülmektedir. Bakır ve bor oksit empenye edilen numunelerde 1640 bandında oluşan değişim tablo 4.1’de ifade edildiği üzere O-H soğrulmaları ve C=O bağlanmalarında artış olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. %1 konsantrasyonlu, etüvde kurutulmuş numunelerin IR spektrum eğrileri

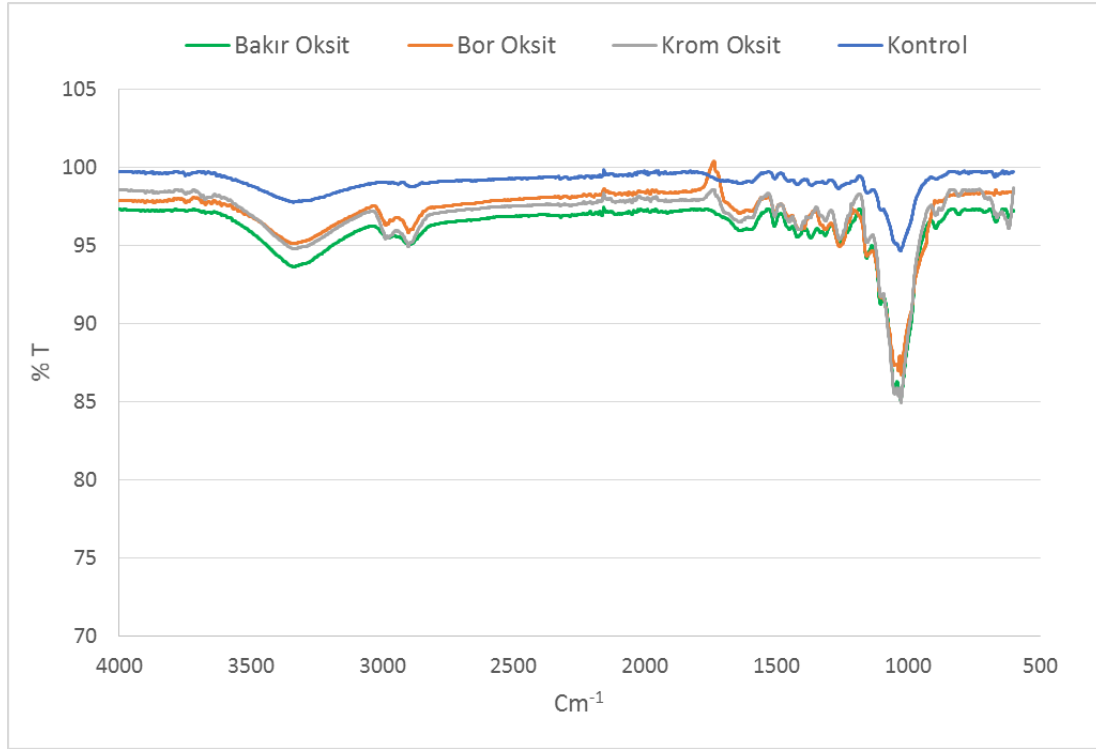
%1 konsantrasyonlu ve etüvde kurutulmuş numunelerin IR spektrum eğrileri incelendiğinde (Şekil 4.9) bor oksit emprenye edilen numune dışındaki diğer numuneler kontrol numunesi eğrisi ile paralellik görülmektedir. Bu numunelerde de frekans boyunca bant şiddetinde değişim olduğu görülmektedir. Ancak bor oksit emprenye edilen numunelerde öncelikle 3340 bandında hidrojen bağlı O-H gerilmelerinin arttığı, 1640 bandında O-H soğrulmaları ve C=O bağlanmalarında artış olduğu, 1318 bandında metilen (CH₂) salınımı olduğu, 1200 bandında ise O-H deformasyonunun arttığı görülmektedir. Bu değişimler bor oksitin ahşabın iç yapısında bulunan ligninlerle düşük düzeyde de olsa tepkimeye girdiği ve ligninlerin yapısını indirgelediği şeklinde yorumlanabilir.

%2 konsantrasyonlu, açık hava ve etüvde kurutulmuş numunelerin IR spektrum eğrileri incelendiğinde her iki durumda da piklerde değişim görülmediği, bant şiddetlerinde ise farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu durumda iç yapıda reaksiyondan çok etkileşimlerin olduğu ifade edilebilir.



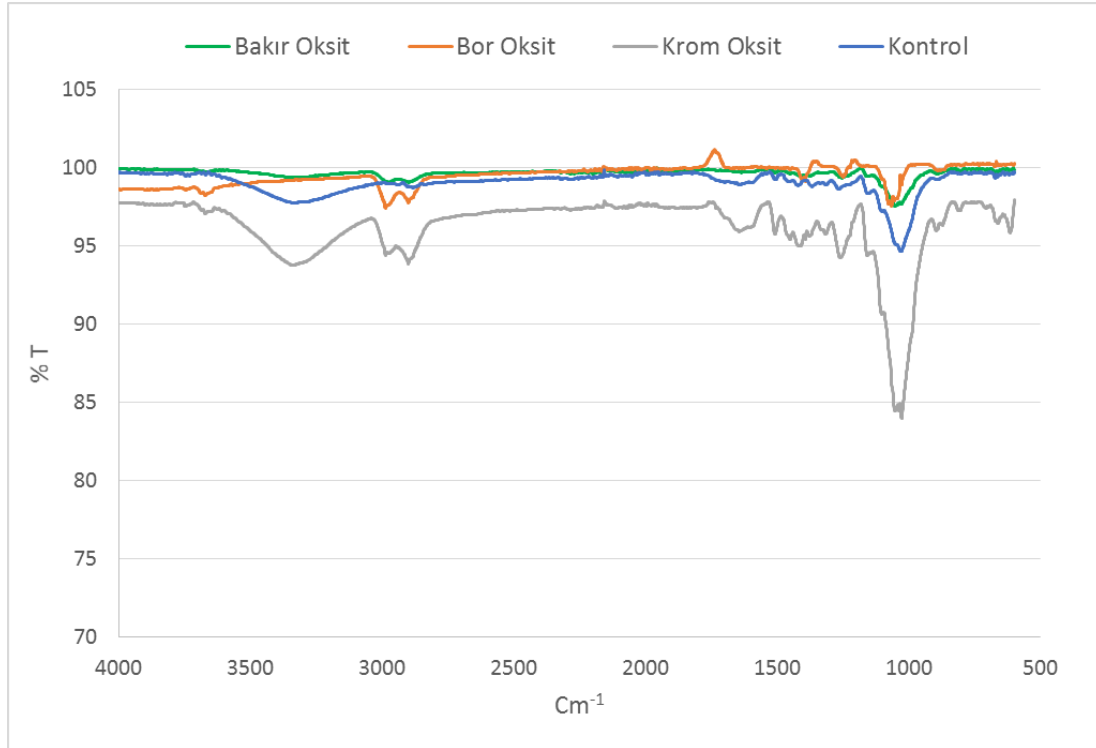
Açık havada kurutulan numunelerin IR değişim grafiği (Şekil 4.8) ile etüvde kurutulan numunelerin IR değişim grafiği (Şekil 4.9) birbiriyle karşılaştırıldığında ise açık

havada kurutulan numunelerde daha yüksek düzeyde etkileşim olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak emprenye malzemesinin ahşapla fiksasyon reaksiyonlarının oluşabilmesi için suya ihtiyaç duymaktadır (Kartal, 1998). Etüvde 105 °C de kurutulan numuneler içerisindeki su hızla buharlaştığından açık havada kurutulan numunelere göre daha düşük düzeyde etkileşim olduğu ifade edilebilir.



Şekil 4.12. %3 konsantrasyonlu, açık havada kurutulan numunelerin IR spektrum eğrileri

%3 konsantrasyonlu ve açık havada kurutulan numunelerin IR spektrum eğrileri incelendiğinde (Şekil 4.12) kontrol numunesi eğrisi ile diğer nano parçacık emprenye edilen numuneler arasında 1640 bandındaki borda oluşan pik değişimi dışında bir pik değişimi oluşmamıştır. Ancak tüm frekans boyunca bant şiddetinde değişim olduğu görülmektedir. Bor oksit emprenye edilen numunelerde 1640 bandında oluşan değişim %1 konsantrasyonlu numunelerde de görülmüştür. Bu değişim O-H soğrulmaları ve C=O bağlanmalarında artış olduğunu göstermektedir.



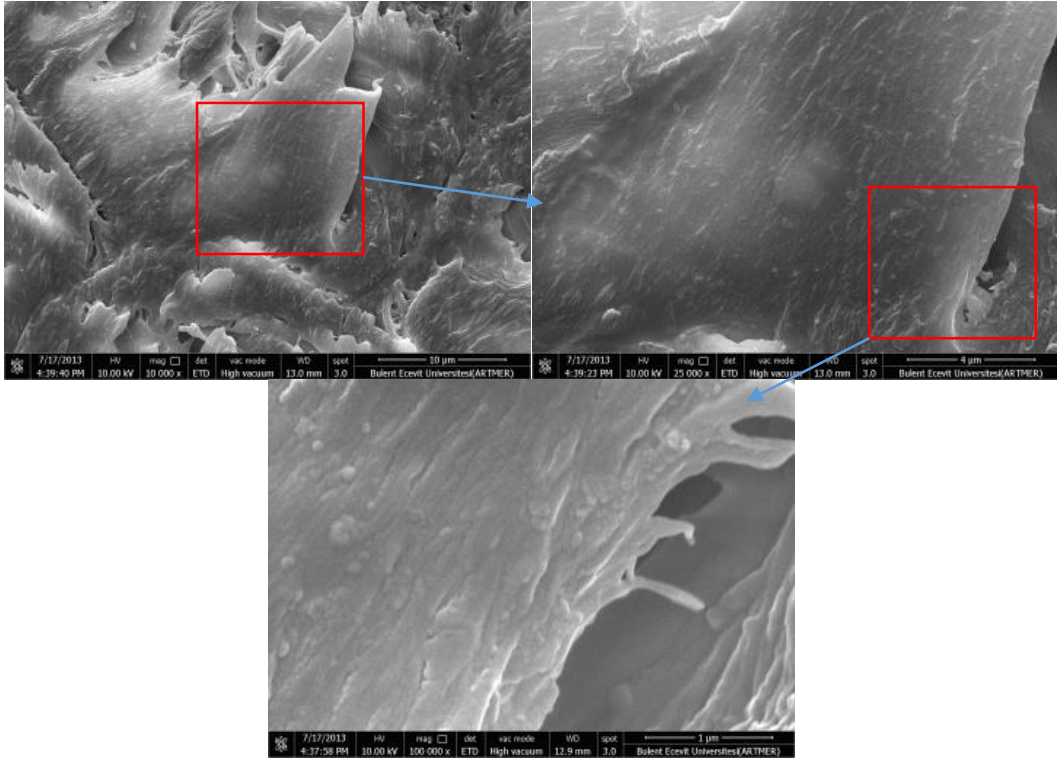
Şekil 4.13. %3 konsantrasyonlu, etüvde kurutulmuş numunelerin IR spektrum eğrileri

%3 konsantrasyonlu ve etüvde kurutulmuş numunelerin IR spektrum eğrileri incelendiğinde (Şekil 4.13) bor oksit emprenye edilen numune dışındaki diğer numuneler kontrol numunesi eğrisi ile paralellik görülmektedir. Bu numunelerde de frekans boyunca bant şiddetinde değişim olduğu görülmektedir. Ancak bakır oksit emprenye edilen numunelerde bant şiddetindeki değişim daha önceki konsantrasyon oranlarına göre daha sınırlıdır. Öte yandan bor oksit emprenye edilen numunelerde %1 konsantrasyonlu ve etüvde kurutulmuş numunelerde olduğu gibi 3340 bandında hidrojen bağlı O-H gerilmelerinin arttığı, 1640 bandında O-H soğrulmaları ve C=O bağlanmalarında artış olduğu, 1318 bandında metilen (CH₂) salınımı olduğu, 1200 bandında ise O-H deformasyonunun arttığı görülmektedir. Bu değişimler bor oksitin sıcaklığa bağlı olarak ahşabın iç yapısında bulunan ligninlerle tepkimeye girdiği ve ligninlerin yapısını indirgediği şeklinde yorumlanabilir.

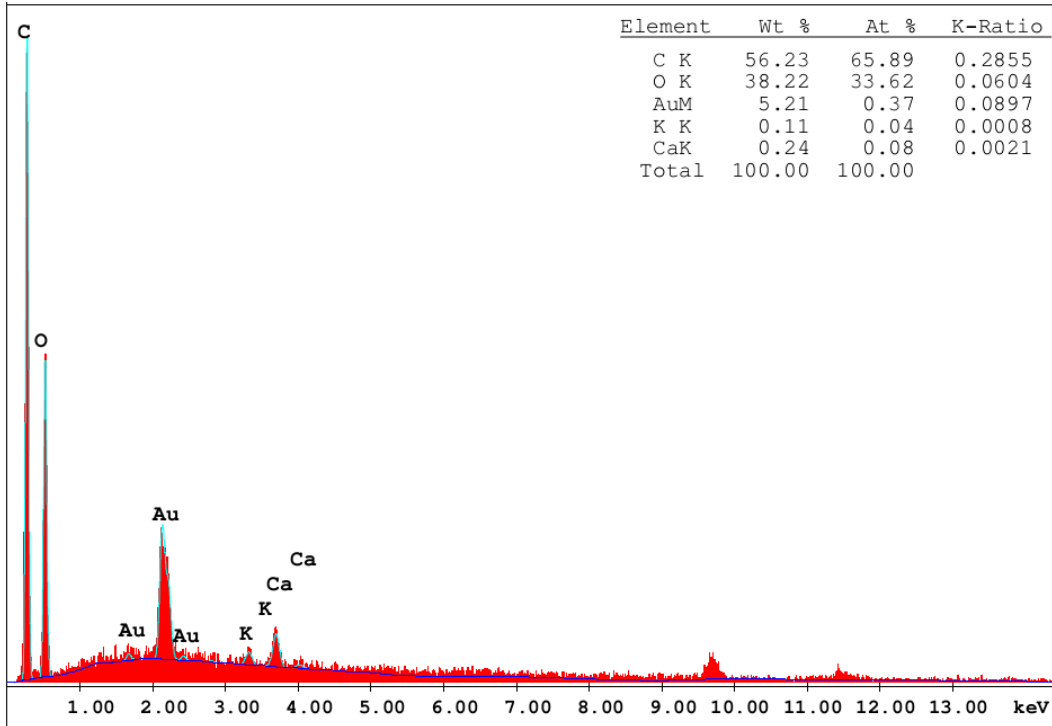
4.3. Numunelerin FE-SEM Görüntüleri ve Elementel Haritalama Analizi

4.3.1. Kontrol Numunesi Analizi

Şekil 4.14'te kontrol numunesinden farklı büyütmeyle alınmış FE-SEM (alan emisyon taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri ve yapılan FE-SEM elementel haritalama analizinden elde edilen spektrum verilmiştir. Görüntülerden kontrol numunesi içerisinde herhangi bir Parçacık bulunmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 4.15'teki FE-SEM elementel haritalama analizi, kimyasal bileşimde önemli bir miktarda altın bulunduğunu göstermekte olup, bu durum malzemelerden görüntü alınabilmesini sağlamak amacıyla FE-SEM çalışmaları öncesinde gerçekleştirilen altın kaplama işleminden kaynaklanmaktadır. Altın ve kontaminasyondan kaynaklandığı düşünülen eser miktardaki Ca ve K dışında kontrol numunesinden elde edilen kimyasal bileşimin ahşabın karakteristik bileşimi ile aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.14. Kontrol numunesinden farklı büyütmeyle alınmış FE-SEM görüntüleri

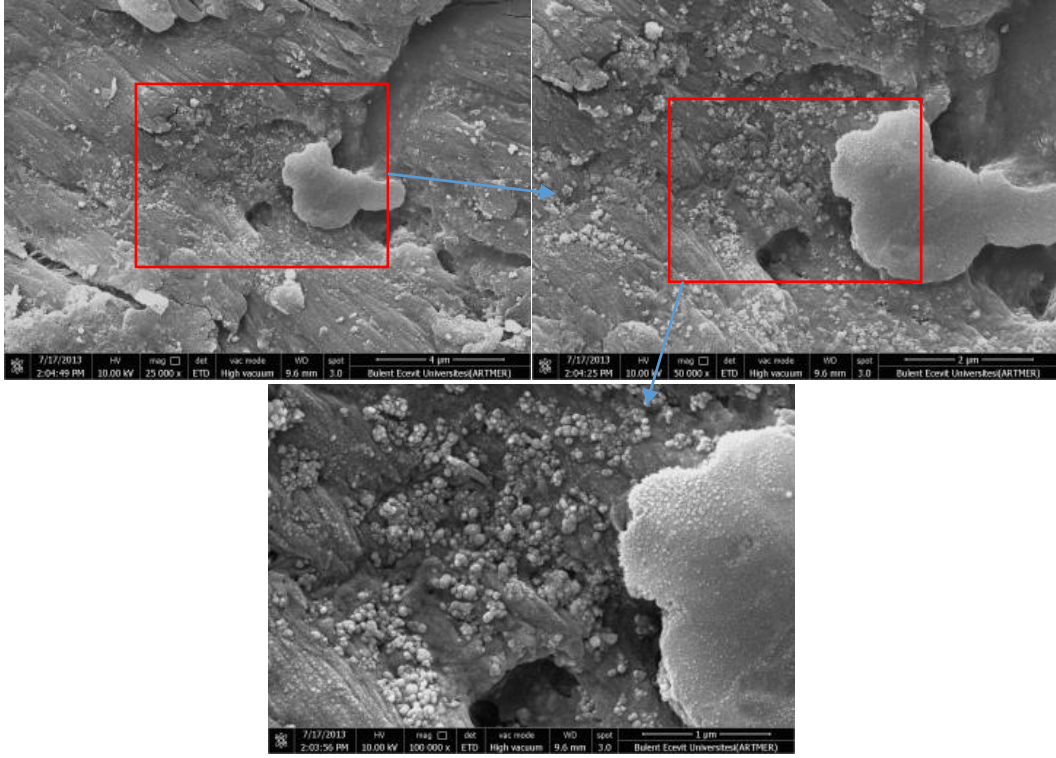


Şekil 4.15. Kontrol numunesi FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum

4.3.1 Bakır Oksit Numuneleri Analizi

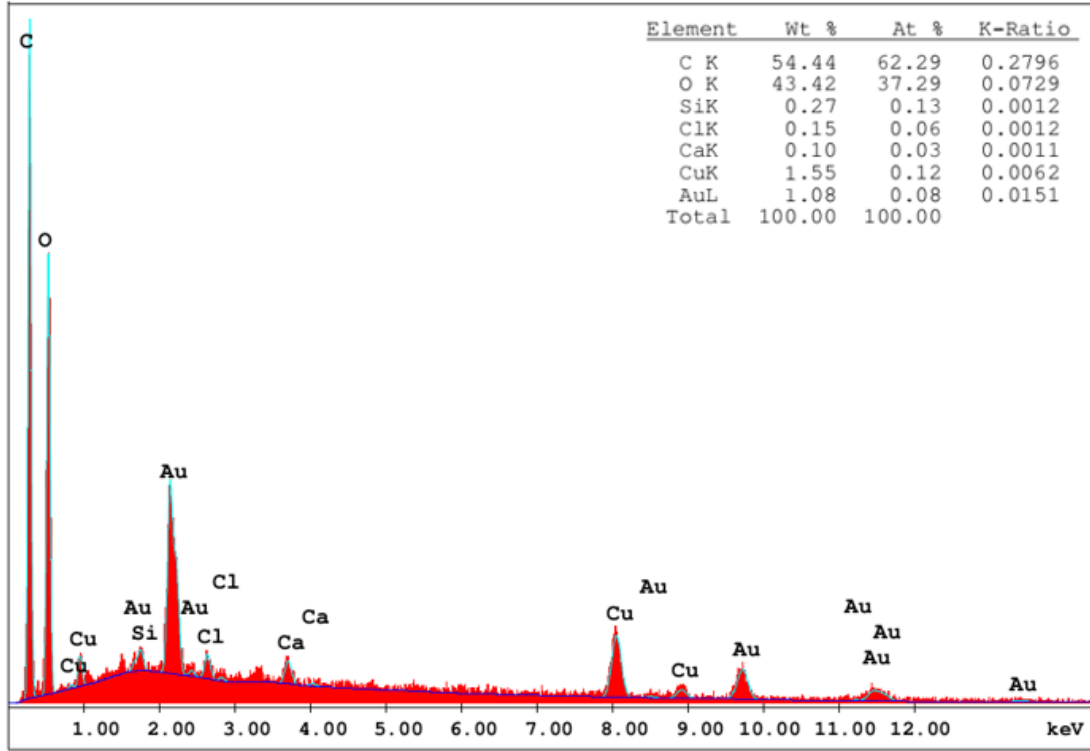
4.3.1.1. Bakır Oksit-Açık Hava Numuneleri

Şekil 4.16’te %2 bakır oksit emprenye edilip açık havada kurutulan numuneden farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri ve yapılan FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum verilmiştir. Görüntülerden ortalama 30 nm çapındaki bakır oksit parçacıklarının emprenye işlemi sonucunda malzeme içerisine nüfuz ettiği anlaşılmaktadır. Farklı büyütmelemlerde çekilmiş olan görüntüler incelendiğinde bakır oksit parçacıklarının malzeme içerisinde homojen dağılmamış olduğu ve yer yer aglomerasyonların meydana gelmiş olduğu gözlenmektedir. Aglomerasyon sonucu bakır oksitin malzeme içerisinde bağımsız parçacıklar şeklinde değil, öbekler halinde dağıldığı müşahade edilmektedir.



Şekil 4.16. %2 bakır oksit, açık havada kurutulanan numuneden farklı büyütmeyle alınmış FE-SEM görüntüleri

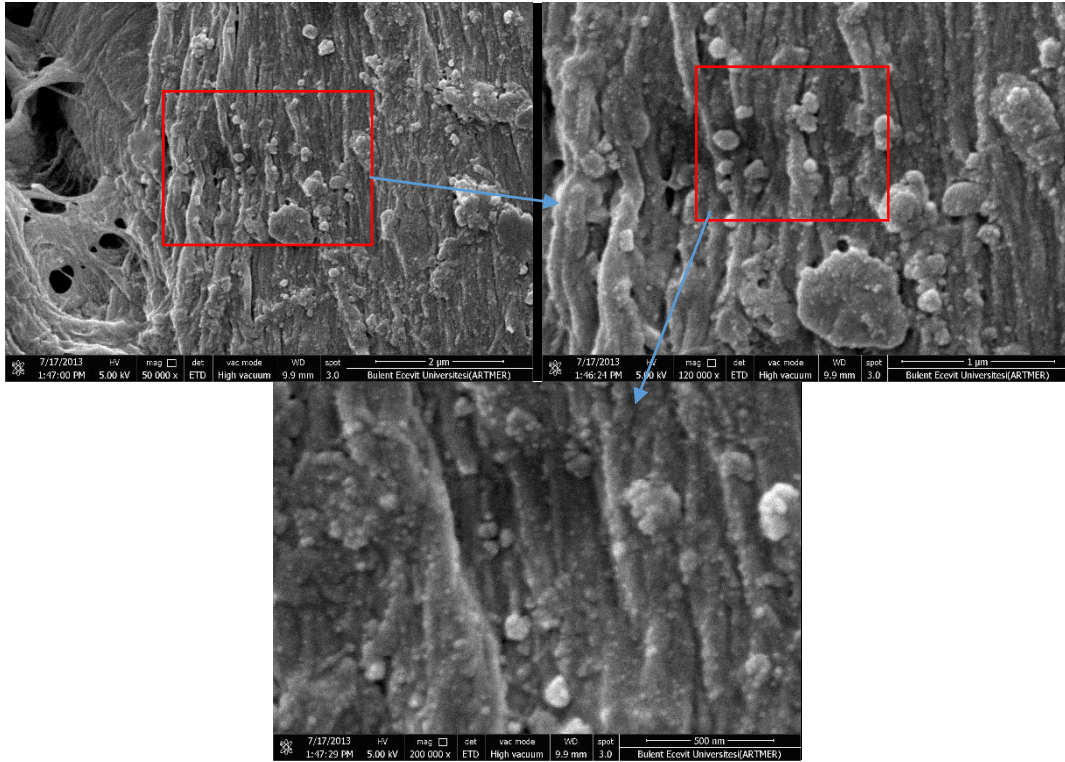
FE-SEM elementel haritalama analizi ile belirlenen kimyasal bileşime göre malzeme içerisinde ağırlıkça %1,55 Cu bulunmaktadır (Şekil 4.17). Hem FE-SEM görüntüleri, hem FE-SEM elementel haritalama analizi ile elde edilen bu bileşim hem de mekanik testlerden elde edilen sonuçlar masif ahşap içerisine bakır oksit emprenyesinin başarıyla uygulanmış olduğunun göstergesidir.



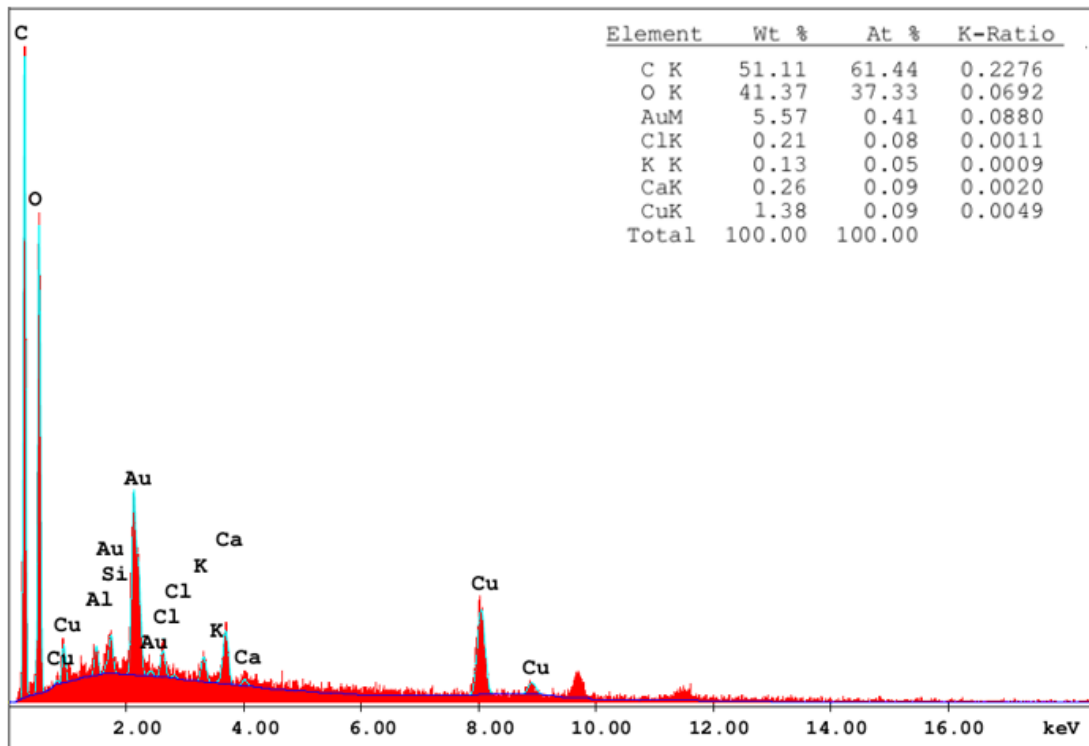
Şekil 4.17. %2 bakır oksit, açık havada kurutulmuş numunedeki FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum

4.3.1.2. Bakır Oksit-Etöv Numuneleri

Şekil 4.18’de %2 bakır oksit emprenye edildikten sonra etüvde kurutulmuş bir numuneye ait FE-SEM görüntüleri ve FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum verilmiştir. Bu numunedeki açık havada kurutulmuş numuneye benzer olarak bakır oksit malzeme içerisine nüfuz ettiği görülmektedir. Etüvde kurutulmuş numunedeki açık havada kurutulmuş numuneye nazaran aglomere olmuş bakır oksit öbeklerinin daha iri olduğu ve daha heterojen bir dağılım sergilediği görülmüştür. Şekil 4.19’de verilmiş olan FE-SEM elementel haritalama analizine göre malzemede ağırlıkça %1,38 Cu bulunmaktadır.



Şekil 4.18. %2 bakır oksit empenye edilerek etüvde kurutulan numuneden farklı büyütmeyle alınmış FE-SEM görüntüleri



Şekil 4.19. %2 bakır oksit empenye edilerek etüvde kurutulan numunelerin FE-SEM elemental haritalama analizine ait spektrum

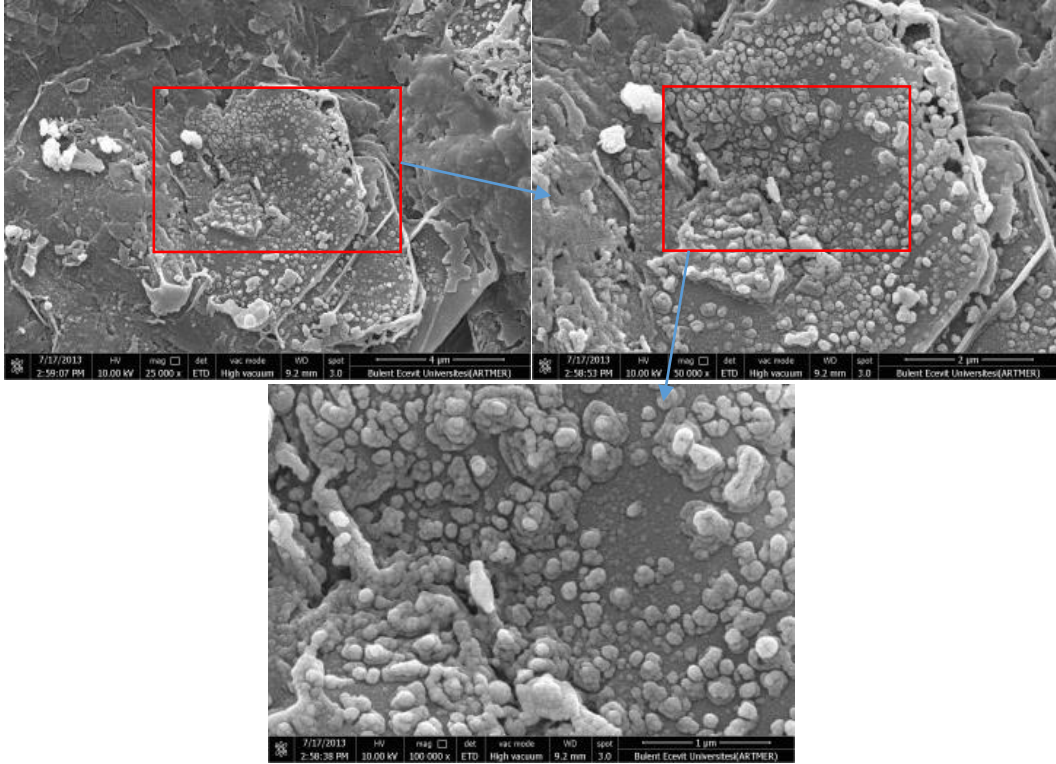
Etüvde kurutulan numunede açık havada kurutulan numuneye göre aglomere olmuş bakır oksit öbeklerinin daha iri boyutlu olması sonucu heterojen bir dağılım izlenmesi ve ahşap içerisine daha az miktarda bakır oksit nüfuz etmesi, numunenin etüvde çabuk kurumamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü açık havada kuruyan numunelerde, etüvde kuruyan numunelere kıyasla suyun daha uzun süre numune içerisinde kalması bakır oksitin malzemenin iç kısımlarına kadar daha homojen bir şekilde taşınmasını sağlamaktadır.

4.3.3. Bor Oksit Numuneleri Analizi

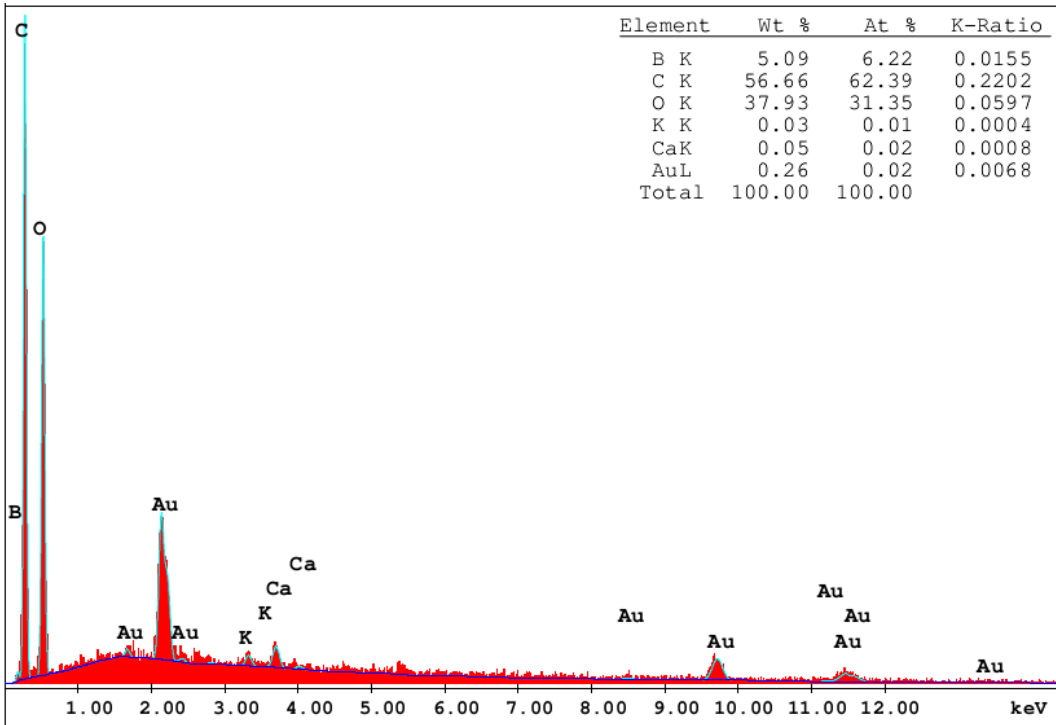
4.3.3.1. Bor Oksit-Açık Hava Numuneleri

Şekil 4.20’da bor oksit empenye edildikten sonra açık havada kurutulan numuneden alınmış FE-SEM görüntüleri ve FE-SEM elementel haritalama analizi sonucunda elde edilen spektrum verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde malzeme içerisine bol miktarda bor oksit nüfuz etmiş olduğu görülmektedir. Farklı büyütmelerde alınmış görüntülerden bor oksitin malzemeye homojen dağılmadığı görülmektedir. Bazı alanlarda daha yüksek miktarda bulunan bor oksitin boyutları 200-300 nm arasında değişen öbekler oluşturmuş olduğu görülmüştür.

FE-SEM elementel haritalama analizi %2 bor oksit empenye edilip açık havada kurutulmuş numunede ağırlıkça %5,09 bor bulunduğunu göstermiştir (Şekil 4.21). Bu oran empenye işlemi ile bor oksitin malzeme içerisine kolaylıkla nüfuz ettiğini göstermektedir.



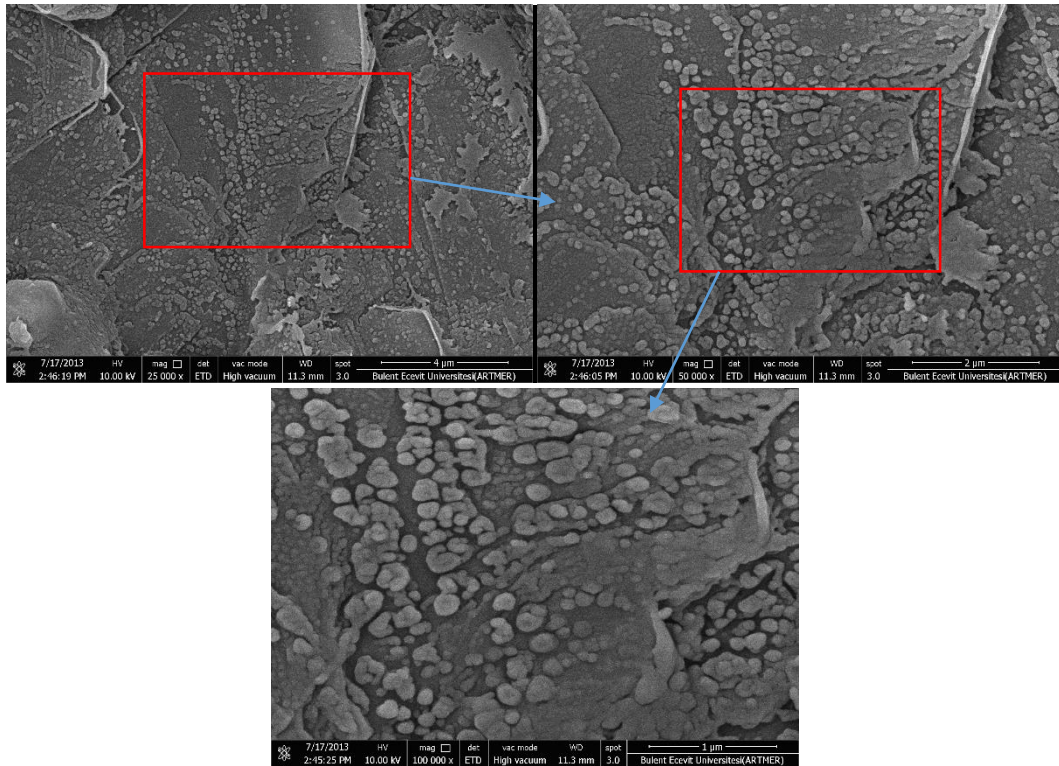
Şekil 4.20 %2 bor oksit emprenye edilerek açık havada kurutulan numuneden farklı büyütmeyle alınmış FE-SEM görüntüleri



Şekil 4.21. %2 bor oksit emprenye edilerek açık havada kurutulan numunelerin FE-SEM elemental haritalama analizine ait spektrum

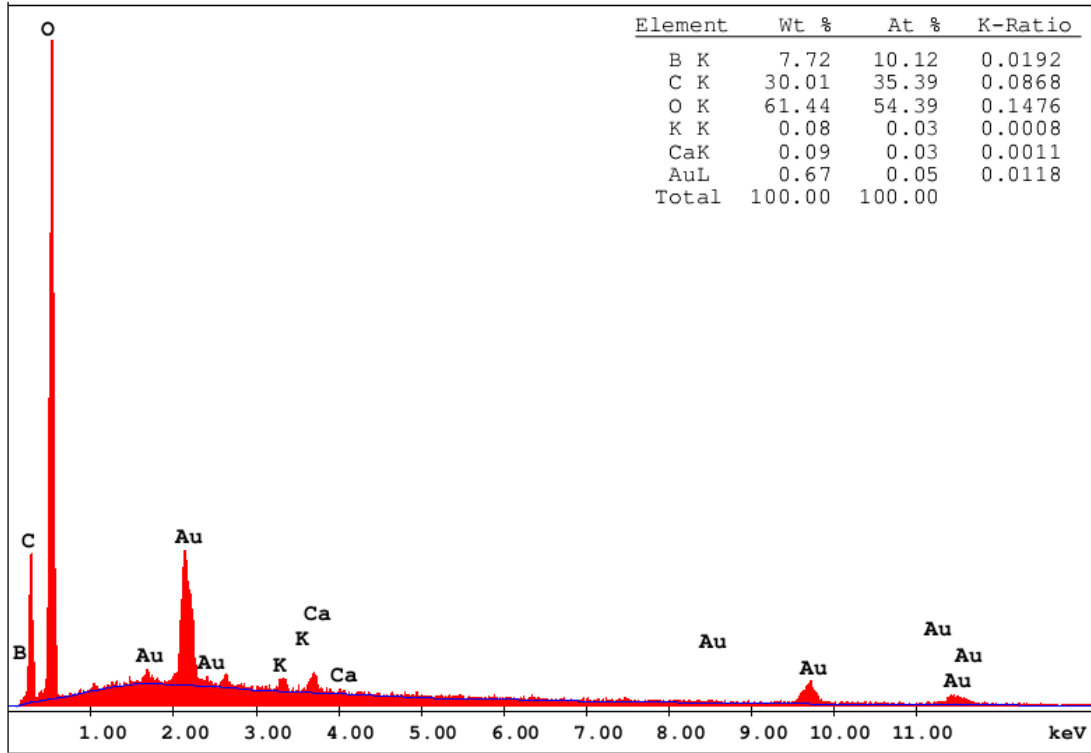
4.3.3.2. Bor Oksit-Etöv Numuneleri

Şekil 4.22’de etövde kurutulan %2 bor oksit emprenye edilmiş numunenin farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri ve FE-SEM elementel haritalama analizi sonuçları verilmiştir. Görüntülerden malzeme içerisinde bor oksit parçacıklarının hem ayrıık parçacıklar hem de aglomere olmuş kümeler şeklinde homojene yakın bir dağılım sergilediği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.22. %2 bor oksit emprenye edilerek etövde kurutulan numuneden farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri

FE-SEM haritalama analizi etövde kurutulmuş bu numunede ağırlıkça %7,72 bor bulunduğunu göstermiştir (Şekil 4.23). Bu oran hem açık havada kurutulan numuneye göre hem de diğler nano Parçacık emprenye edilen numunelere göre oldukça yüksektir. Bunun nedeni yapılan disperse çalışmalarında, her ne kadar bor oksidin yüzeyi kloroform ile kaplanarak su içerisinde çözülmesi engellenmeye çalışılsa da bir miktar bor oksitin su içerisinde çözüldüğü ve çözünen borun ahşabın içerisine daha kolay nüfuz ettiği söylenebilir.



Şekil 4.23. %2 bor oksit emprenye edilerek etüvde kurutulanan numunelerin FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum

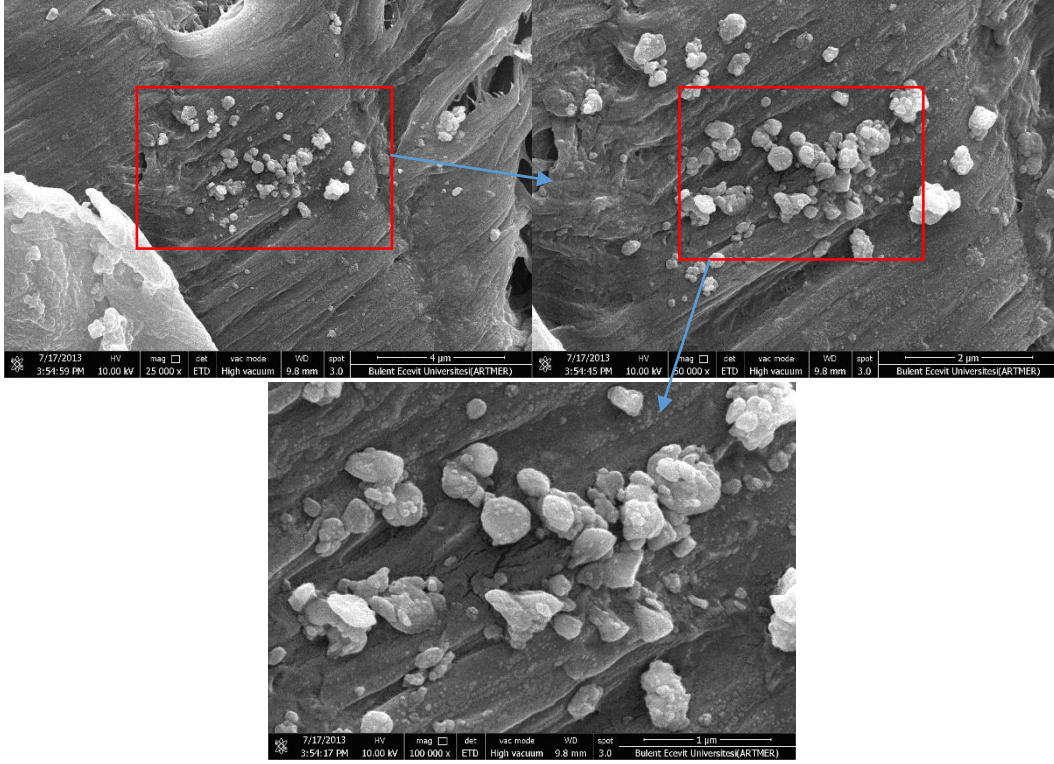
4.3.4. Krom Oksit Numuneleri Analizi

4.3.4.1. Krom Oksit-Açık Hava Numuneleri

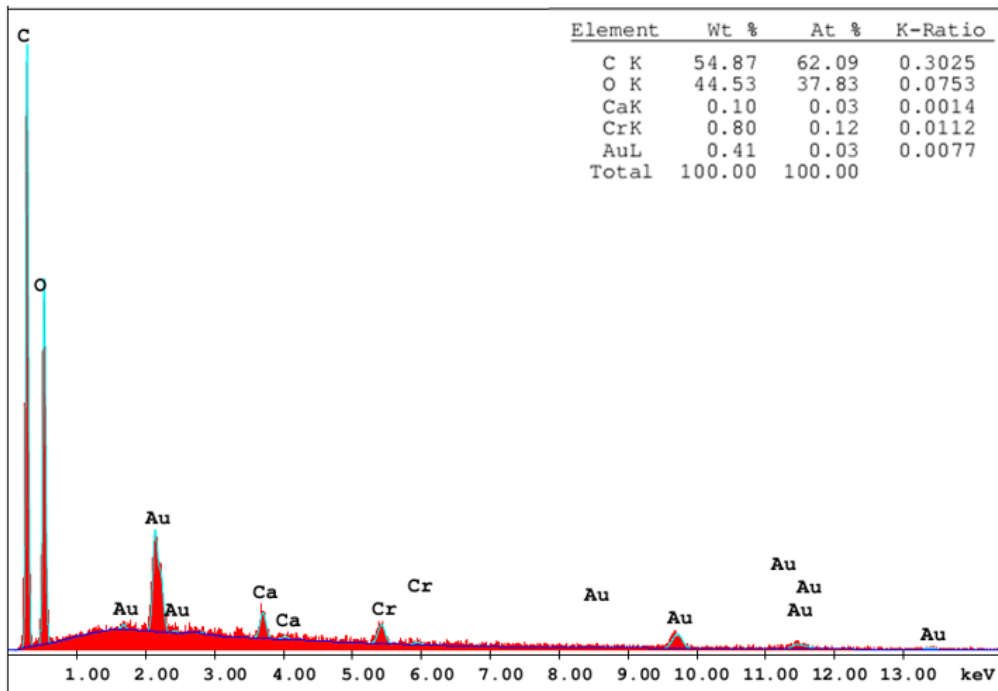
Şekil 4.24'te %2 krom oksit emprenye edilerek açık havada kurutulanan numuneden farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri verilmiştir. Görüntülerde krom oksitin numune içerisindeki homojen bir şekilde yayılmadığı ve bazı bölgelerde birikmeler olduğu izlenmektedir. Öte yandan nano parçacıklar kendi aralarında aglomere olduğu ve emprenye işleminde kullanılan krom oksit parçacıklarının ortalama boyutu 60 nm iken emprenye işleminde sonra boyutları 200 nm ile 400 nm arasında değişen krom oksit yığınlarının olduğu görülmektedir.

FE-SEM haritalama analizi bu numunede ağırlıkça % 0,8 Cr olduğunu göstermektedir (Şekil 4.25). Bu oran hem bakır oksit nano Parçacık emprenye edilen numunelerden hem de bor oksit emprenye edilen numunelerden daha düşüktür. Numuneler gözle incelendiğinde de bu durum net bir şekilde kendini göstermektedir. Krom oksit

emprenye edilen numuneler yarıldığında malzemenin ahşabın derinliklerine nüfuz etmediği daha çok yüzeysel alanlarda biriktiği gözlemlenmiştir.



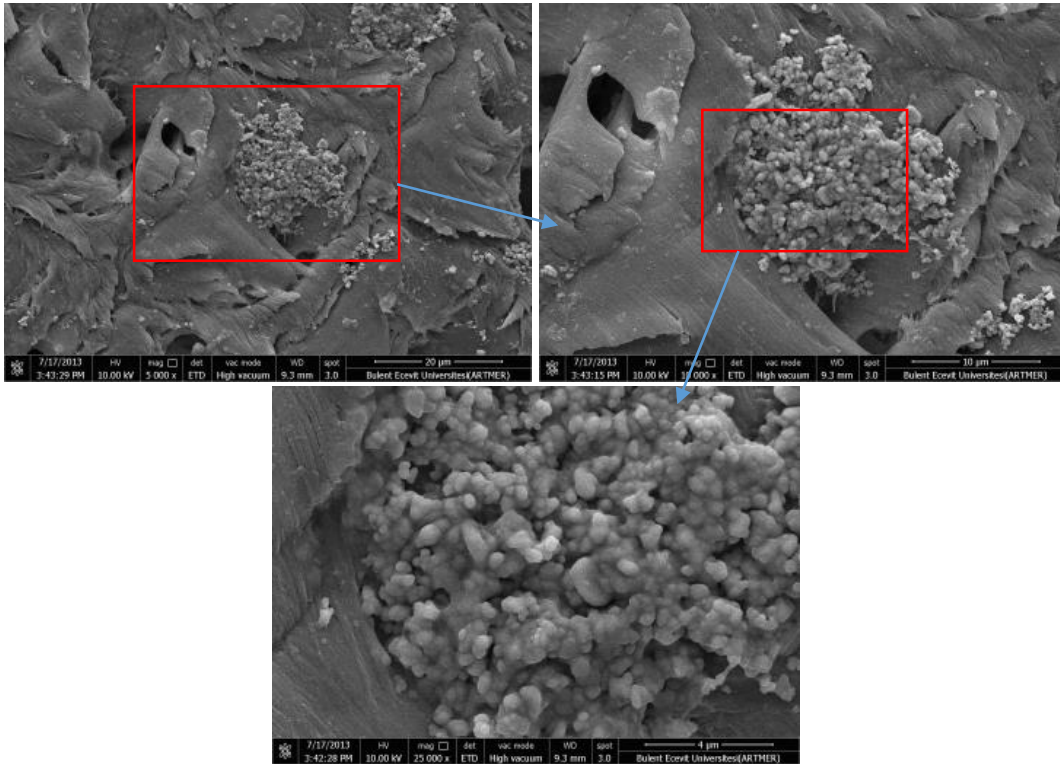
Şekil 4.24. %2 krom oksit emprenye edilerek açık havada kurutulan numuneden farklı büyütmeyle alınmış FE-SEM görüntüleri



Şekil 4.25. %2 krom oksit emprenye edilerek açık havada kurutulan numuneden FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum

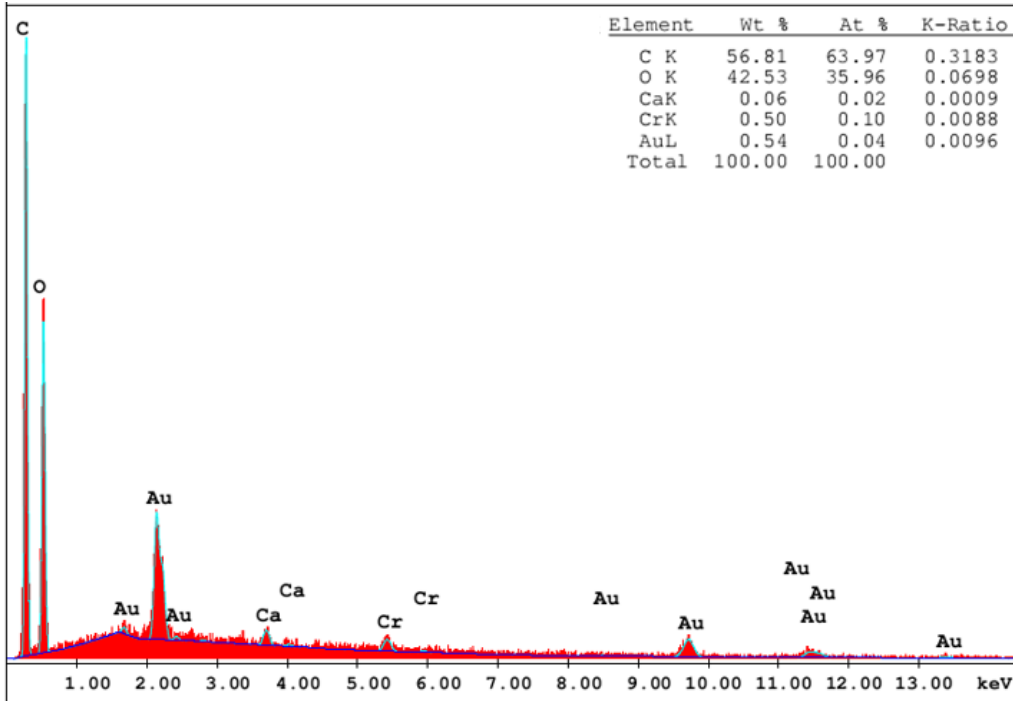
4.3.4.2. Krom Oksit-Etöv Numuneleri

Şekil 4.26’te %2 krom oksit empenye edilip etüvde kurutulan numuneye uygulanan FE-SEM incelemelerine ait görüntüler verilmiştir. Açık havada kurutulan numuneye göre daha fazla oranda krom oksit parçacıklarının malzemenin bazı bölgelerinde toplandığını, neredeyse hiç bağımsız krom oksit parçacık olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.26. %2 krom oksit empenye edilerek etüvde kurutulan numuneden farklı büyütmeyle alınmış FE-SEM görüntüleri

Haritalama analizi bu numunede ağırlıkça %0, 5 Cr bulunduğunu göstermiştir (Şekil 4.27). Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de verilen FE-SEM incelemelerine ait görüntüler, krom oksit empenyesinde kurutma ortamının nüfuziyete etkisinin az olduğunu göstermiştir. Açık havada yapılan kurutma işleminin bakır oksit empenyesine benzer olarak etüvde kurutmaya nazaran çok az daha fazla homojen dağılım ve nüfuziyet sağladığı tespit edilmiştir. Bunun, daha önce de söz edildiği gibi açık havada kurutma işlemi malzeme içerisinde suyun çok daha uzun süre bulunması ve bunun sonucu olarak nano parçacıkların malzeme içerisindeki yayılımını için daha çok zamanın bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



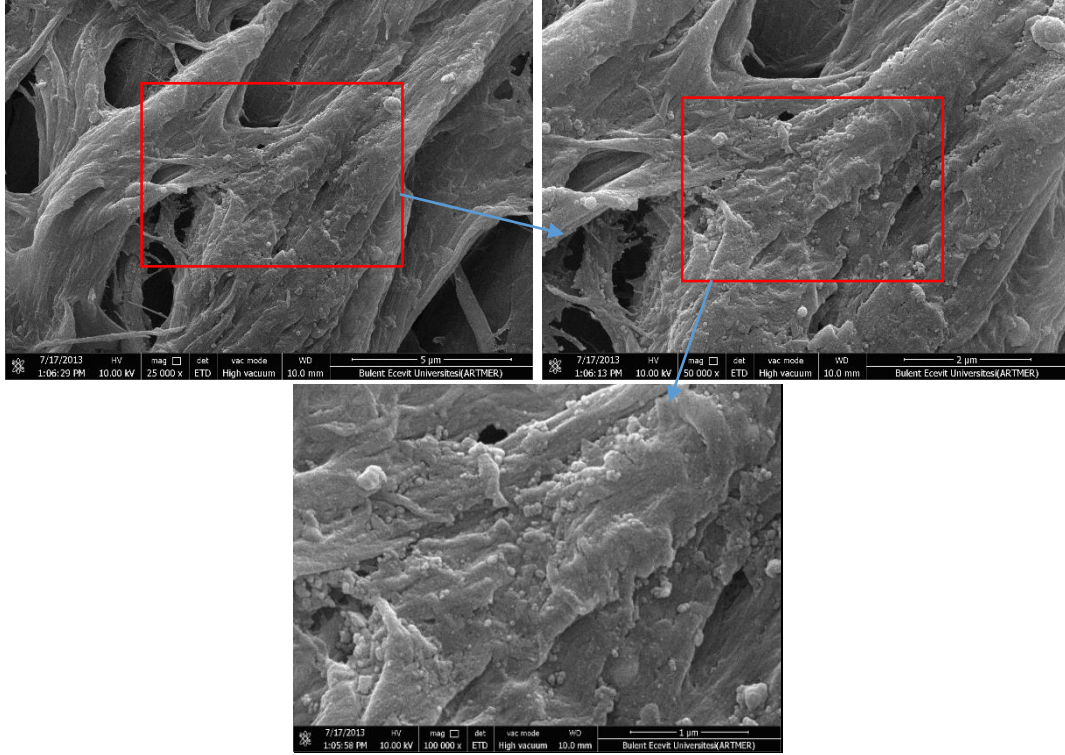
Şekil 4.27. %2 krom oksit empenye edilerek etüvde kurutulmuş numunelerin FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum

4.3.5. CCB Numuneleri Analizi

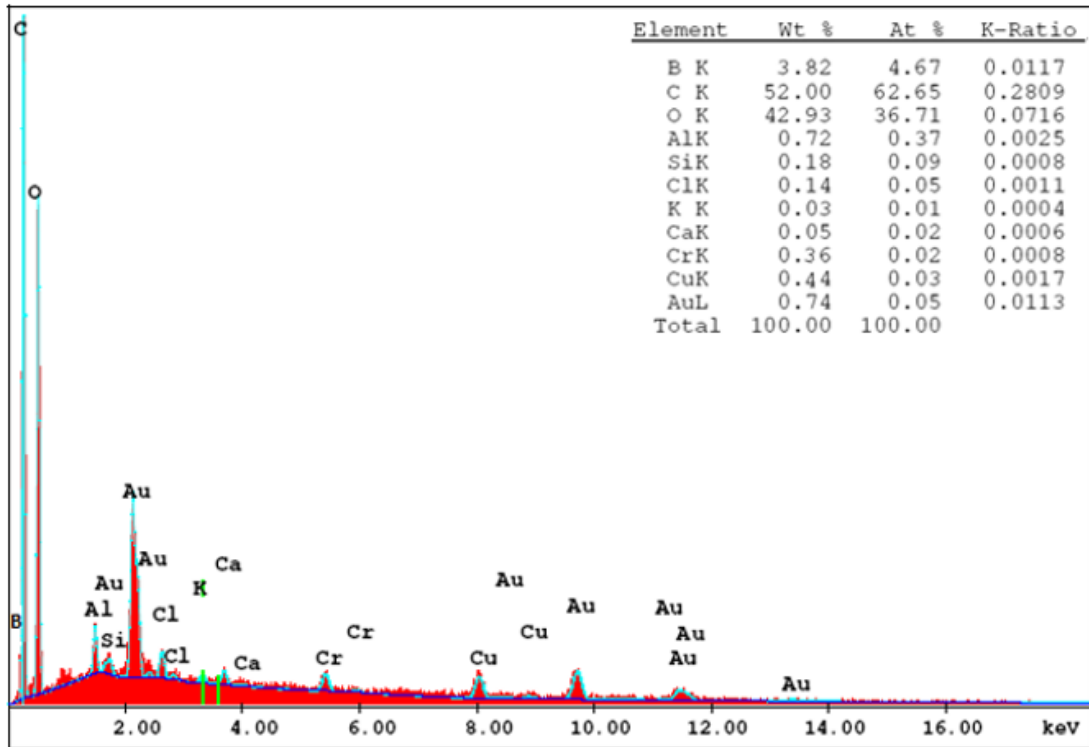
4.3.5.1. CCB-Açık Hava Numuneleri

Şekil 4.28'de %2 oranında bakır krom bor karışımı nano Parçacık empenye edilip açık havada kurutulmuş numune için FE-SEM görüntüleri verilmiştir. Bu numunelerde de nano parçacıklarının malzemenin bazı bölgelerinde daha yoğun olsa bile tüm yüzeye yayıldığı görülmektedir. Öte yandan farklı boyutlardaki nano parçacıkların küçük öbekler halinde topaklaştığı ifade edilebilir.

Numunenin haritalama analizi incelendiğinde bu numunede ağırlıkça %3,82 Bor, %0,36 krom ve %0,44 bakır bulunduğunu tespit edilmiştir (Şekil 4.29). Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'de verilen FE-SEM incelemelerine ait görüntülerde numune içeresine en az nüfuz eden nano parçacıkların krom oksit nano parçacıklar olduğu, en fazla nüfuziyetinde diğer analizlerde olduğu gibi bor oksit olduğu tespit edilmiştir.



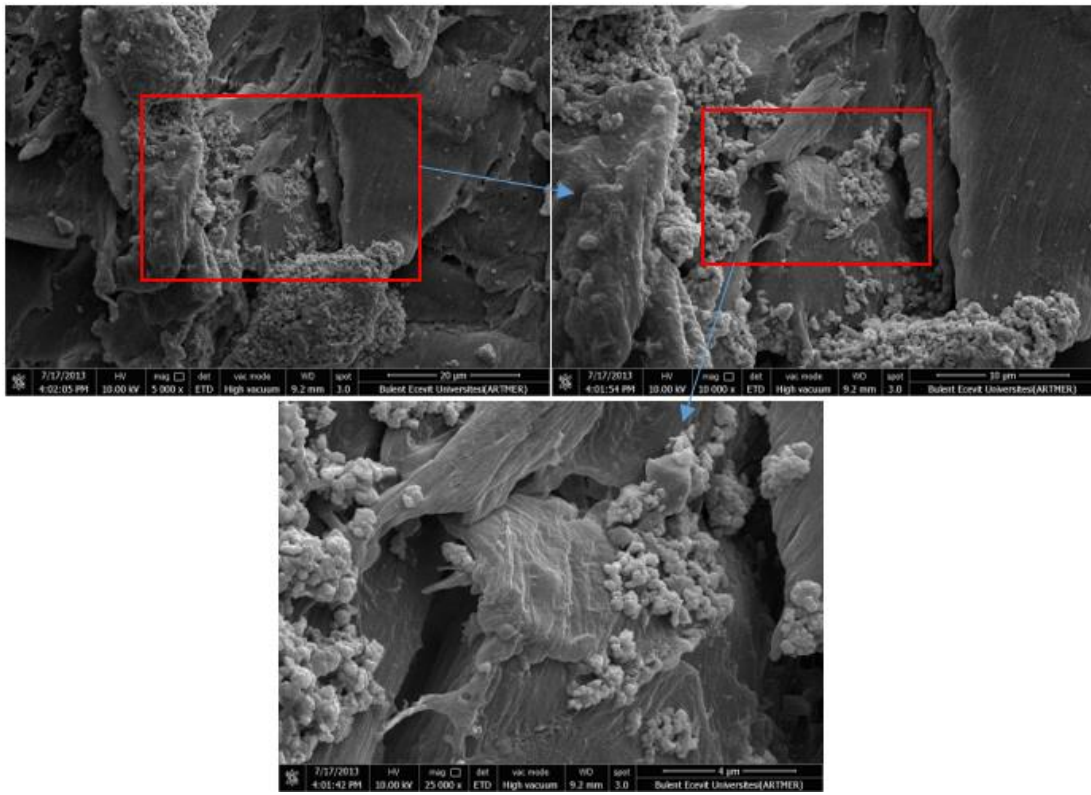
Şekil 4.28. %2 CCB empenye edilerek açık havada kurutulan numuneden farklı büyütmelerle alınmış FE-SEM görüntüleri



Şekil 4.29. %2 CCB empenye edilerek açık havada kurutulan numunelerin FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum

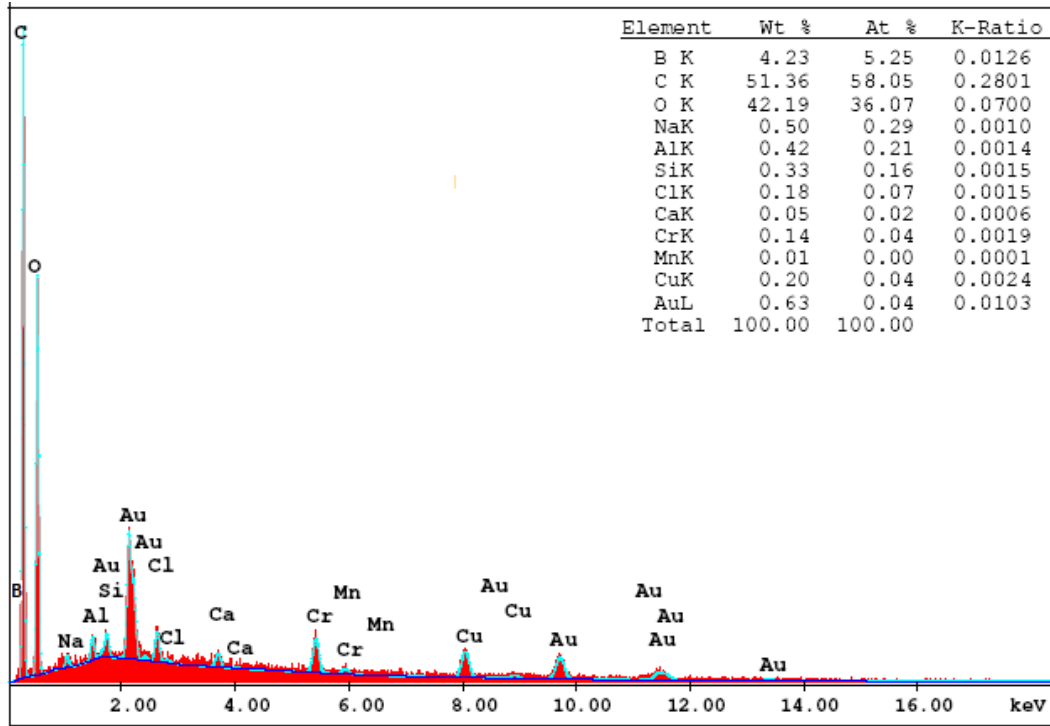
4.3.5.2. CCB-Etöv Numuneleri

Şekil 4.30'da %2 oranında bakır krom bor karışımı nano Parçacık emprenye edilip etövde kurutulan numune için FE-SEM görüntüleri verilmiştir. Bu numunelerde de nano parçacıklarının malzemenin bazı bölgelerinde daha yoğun olduğu ve topaklaşma miktarının açık havada kurutulan numunelere göre daha fazla olduğu ve farklı boyutlardaki nano parçacıkların daha büyük öbekler halinde topaklaştığı ifade edilebilir.



Şekil 4.30. %2 CCB emprenye edilerek etövde kurutulan numuneden farklı büyütmelemlerle alınmış FE-SEM görüntüleri

Numunenin haritalama analizi incelendiğinde bu numunede ağırlıkça %4,23 Bor, %0,14 krom ve %0,20 bakır bulunduğunu tespit edilmiştir (Şekil 4.31). Numuneye ait görüntülerde, açık havada kurutulan numunelerde olduğu gibi en fazla nüfuz eden nano parçacıkların bor oksit nano parçacıklar olduğu, en az nüfuziyetinde diğer analizlerde olduğu gibi krom oksit olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.31. %2 CCB empenye edilerek etüvde kurutulan numunelerin FE-SEM elementel haritalama analizine ait spektrum

Etüvde kurutulan numunelerde, açık havada kurutulan numunelere göre nano parçacıkların daha fazla topaklaştığı ve daha az malzeme nüfuz ettiği görülmektedir. Bu durum diğer numunelere göre farklılık göstermiştir. Çünkü diğer tüm numune gruplarında etüvde kurutulan numunelerde topaklaşmanın daha fazla olmasına rağmen malzeme nüfuziyetide daha fazla olmuştur.

BÖLÜM 5. NANO PARÇACIK EMPRENYE EDİLMİŞ NUMUNELERİN MEKANİK DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde ağırlıkça %1, %2 ve %3 oranlarla ayrı ayrı bakır, krom, bor oksit nano parçacık emprenye edilip, 20 °C ve 105 °C sıcaklıkta kurutulan numunelerin mekanik performansları incelenmiştir. Numunelerin mekanik performansları dik çekme, dik basınç, paralel çekme, paralel basınç, kesme ve eğilme deneylerini içermektedir. Bu bölümde yer alan çalışmaların amacı; oluşturulacak yeni nano CCB emprenye maddesi içeriğinde bulunan bakır krom ve bor nano parçacıklarının ayrı ayrı ahşap üzerindeki mekanik etkileri irdelenip optimum malzeme oranları, uygun solüsyon yüzdesi ve kurutma sıcaklığının tespitidir. Bu bölümde elde edilen sonuçlar bir sonraki bölümde yer alan nano CCB emprenye çalışmalarının temelini oluşturmaktadır.

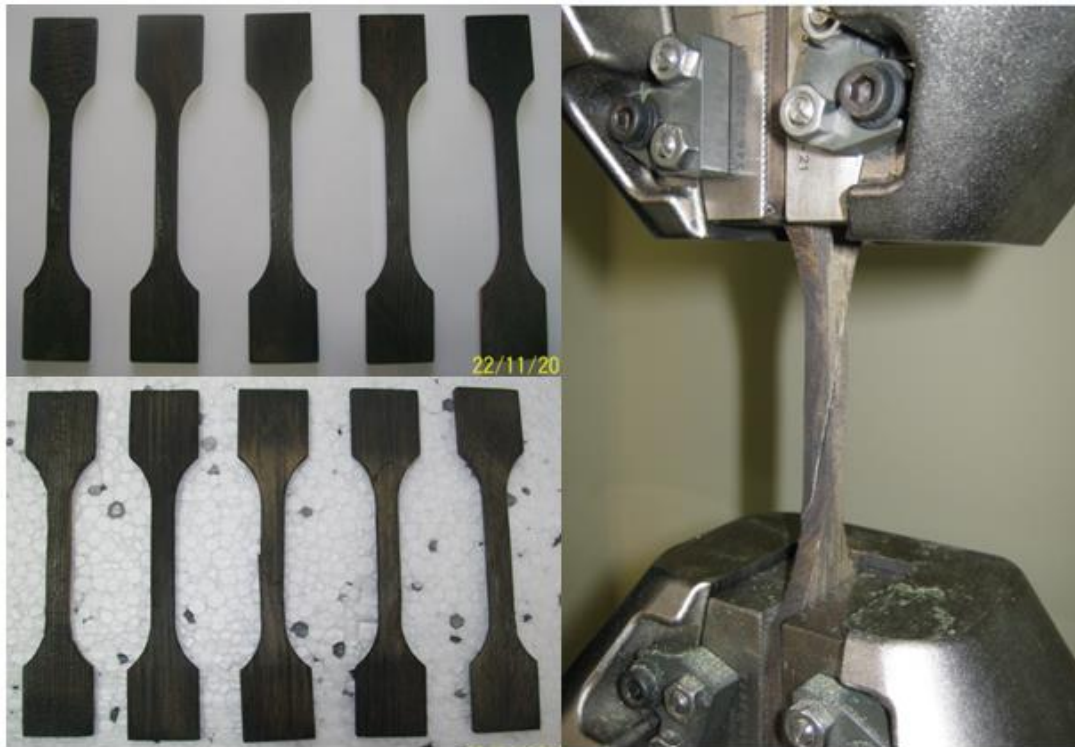
5.1. Bakir Oksit (CuO₂) Nano Parçacık Emprenye Edilmiş Numuneler

Yapılan deneysel çalışmalarda; tüm deney numuneleri boyut ve şekil bakımından ilgili standartlara uygun bir şekilde hazırlandıktan sonra %1, %2 ve %3 oranında Bakır Oksit nano Parçacık emprenye işlemine tabi tutulmuşlardır. Farklı oranlarda nano Parçacık emprenye edilen numunelerde kurutma sıcaklığının da ahşabın mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla numuneler iki farklı sıcaklıkta kurutulmuştur. Bu sıcaklıklar açık hava şartlarında 20°C ve etüvde 105°C olarak belirlenmiştir. Tüm numunelerde deneysel nem oranı %15 ±3 olarak alınmıştır. 3 farklı oranda nano parçacık emprenyesi ve 2 farklı sıcaklıkta kurutma işlemi sonucunda bakır oksit emprenye edilerek hazırlanan numunelerden 6 farklı deney numunesi grubu elde edilmiştir. Ayrıca işlem görmüş numunelerin deney sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla her bir deney çeşidinden işlem görmemiş kontrol numunesi grubu da hazırlanmıştır. Çalışmamızda herbir 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.

Özet olarak bu bölümde; ilgili standartlara uygun olarak hazırlandıktan sonra %1, %2 ve %3 oranında bakır oksit empenye edilerek açık havada (20 °C) kurutma ile ve yine ilgili standartlara uygun olarak hazırlandıktan sonra %1, %2 ve %3 oranında bakır oksit empenye edilerek etüvde (105 °C) kurutma ile 5'er numuneden oluşan 6 farklı deney numunesi grubu oluşturulmuştur. Ek olarak her bir deney numunesi grubu için kontrol numunesi de hazırlanmıştır. Hazırlanan tüm numune grupları liflere paralel çekme deneyi, liflere dik çekme deneyi, liflere paralel basınç deneyi, liflere dik basınç deneyi, üç nokta eğilme deneyi ve paralel kesme deneyine tabi tutulmuşlardır. Her bir gruptan, o grubun ortalama değerlerini temsil eden bir numune seçilerek ortak bir gerilme-birim deformasyon grafiği oluşturulmuş ve aynı zamanda deney sonuçlarının detaylıca gösterilebilmesi ve elde edilen değerlerin bir birleri ile daha kolay kıyaslanmasını sağlamak amacıyla bir tablo oluşturulmuştur.

5.1.1. Liflere Paralel Çekme Deneyi

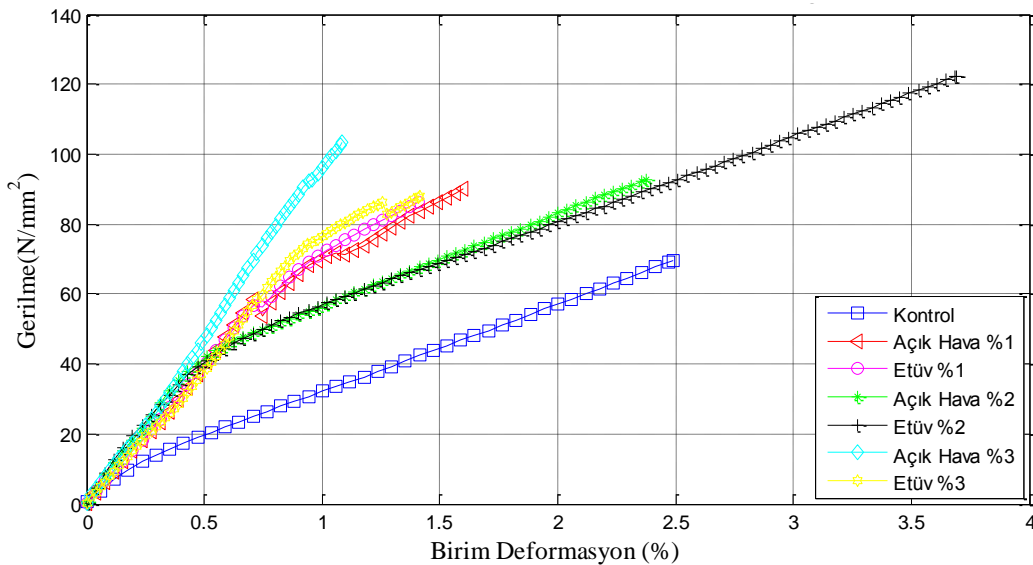
Liflere paralel çekme deneyi için aynı şartlarda hazırlanan numunelerin deney öncesi nem oranlarının 15 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 5.1. Bakır oksit nano parçacık empenye edilmiş paralel çekme deney düzeneği ve numuneleri

Kontrol numuneleri de dâhil olmak üzere 7 farklı numune grubundan 5'er numune 1 mm/dk çekme hızı ile liflere paralel çekme deneyi uygulanmıştır. Şekil 5.1'de deney numunelerinin ve test düzeneğinin resmi görülmektedir.

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 olmak üzere toplam 7 farklı gruptan elde edilen yük-sehim (N - mm) değerleri, gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülmüştür. Daha sonra herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere sahip numuneler seçilerek tüm numune gruplarının yer aldığı bir Gerilme-Birim deformasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Liflere paralel çekme deneyleri sonucunda bakır oksit empenye edilmiş numunelerden elde edilen ortalama gerilme-birim deformasyon eğrileri

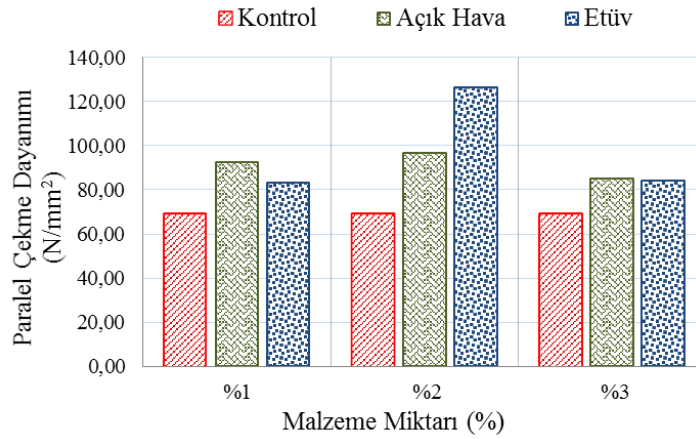
Deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi amacıyla numunelerin standart sapma değerlerinin de içerisinde yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 5.1). Tablo incelendiğinde kontrol numunelerinde ortalama paralel çekme gerilmesinin 69,25 MPa, 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. 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 emprenye 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 emprenye 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.

Tablo 5.1. Bakır oksit emprenye 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 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 5.3).



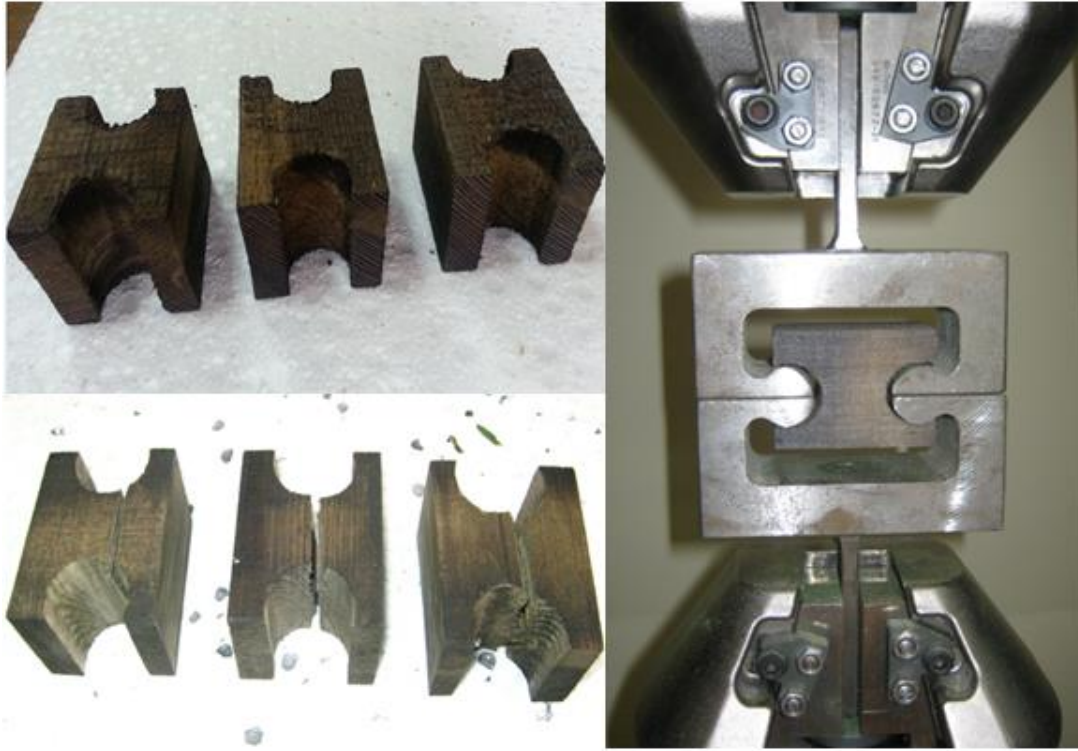
Şekil 5.3. Bakır oksit emprenye edilmiş numunelere uygulanan liflere paralel çekme deneyi sonucunda elde edilen ortalama gerilme değerleri

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 emprenye 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.

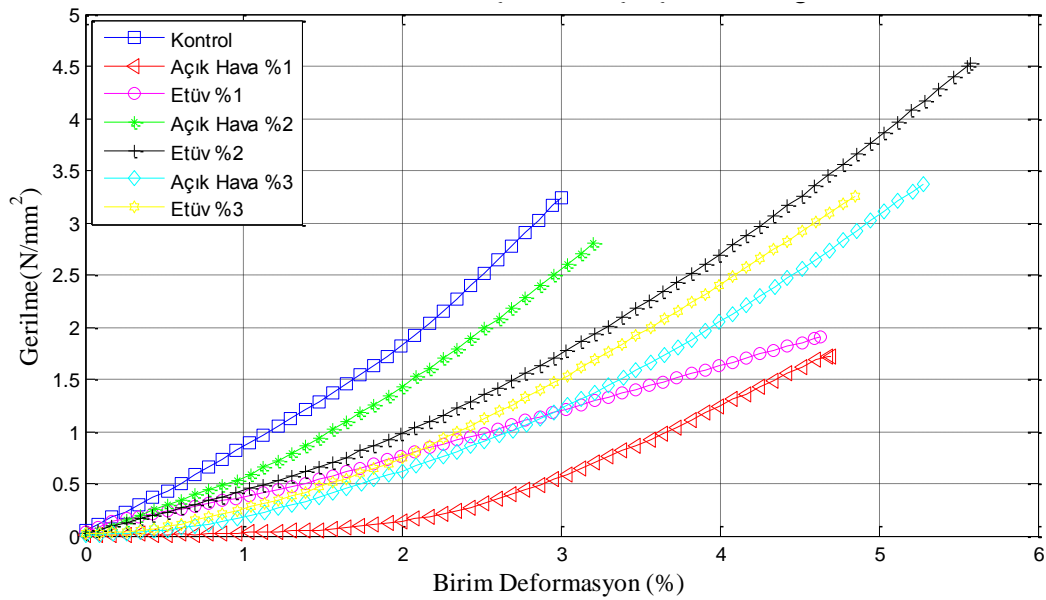
5.1.2. Liflere Dik Çekme Deneyi

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. 7 farklı numune türünden 5'er numuneye dik çekme deneyi uygulanmıştır (Şekil 5.4).

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 grubundan elde edilen yük-sehim (N - mm) değerleri, gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülerek her bir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilerek tüm numune gruplarının yer aldığı bir Gerilme-Birim deformasyon grafiği oluşturulmuştur (Şekil 5.5).



Şekil 5.4. Bakır oksit nano Parçacık empenye edilmiş dik çekme deney düzeneği ve numuneleri



Şekil 5.5. Bakır oksit liflere dik çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği

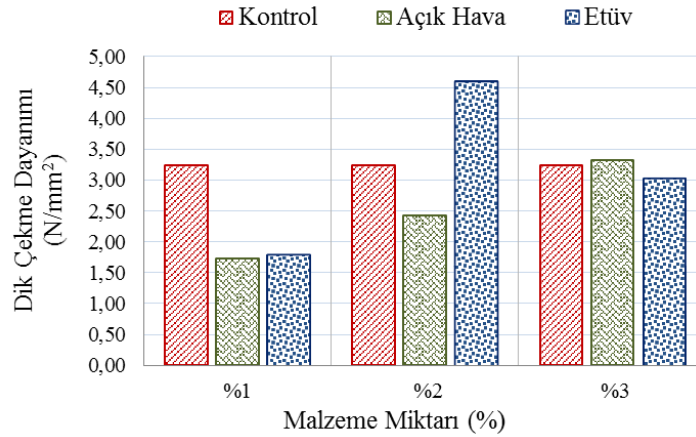
Ayrıca deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi amacıyla her numuneye ait standart sapma değerlerinin de içerisinde yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 5.2). Tablo 5.2’de kontrol numunelerinde ortalama dik çekme gerilmesinin 3,24 MPa, 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 empenye 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 müşahede edilmiştir. %3 oranında bakır oksit empenye 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.

Tablo 5.2. 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

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 5.6).



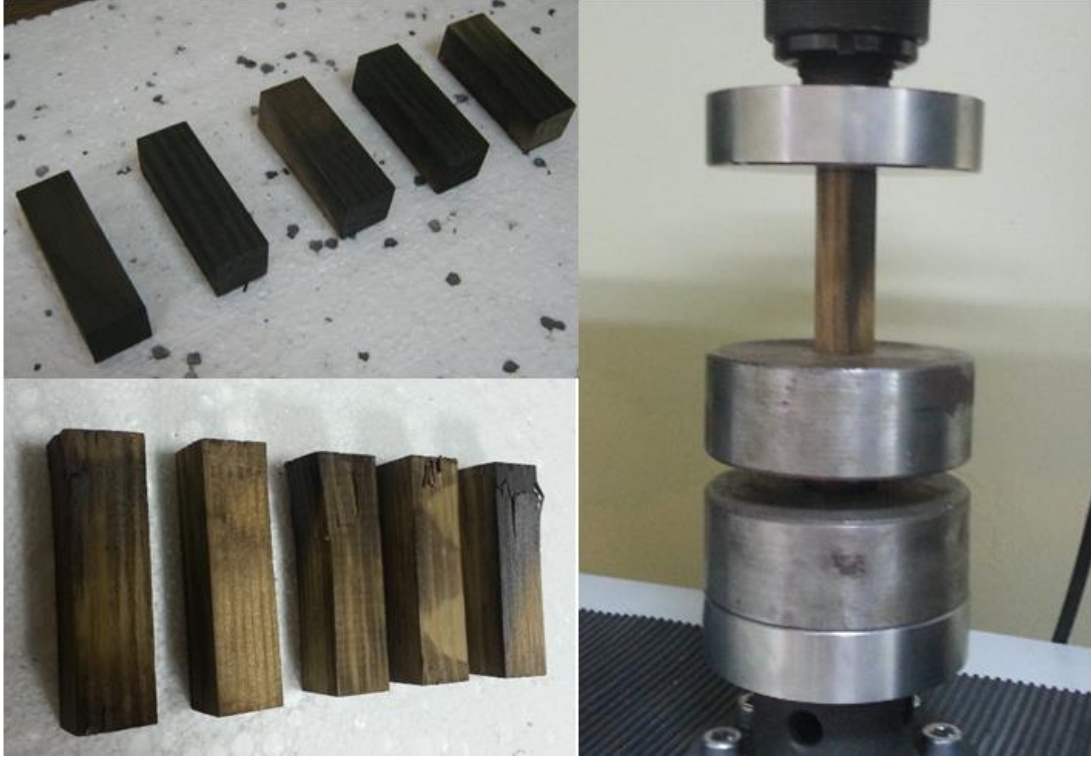
Şekil 5.6. Bakır oksit liflere dik çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

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.

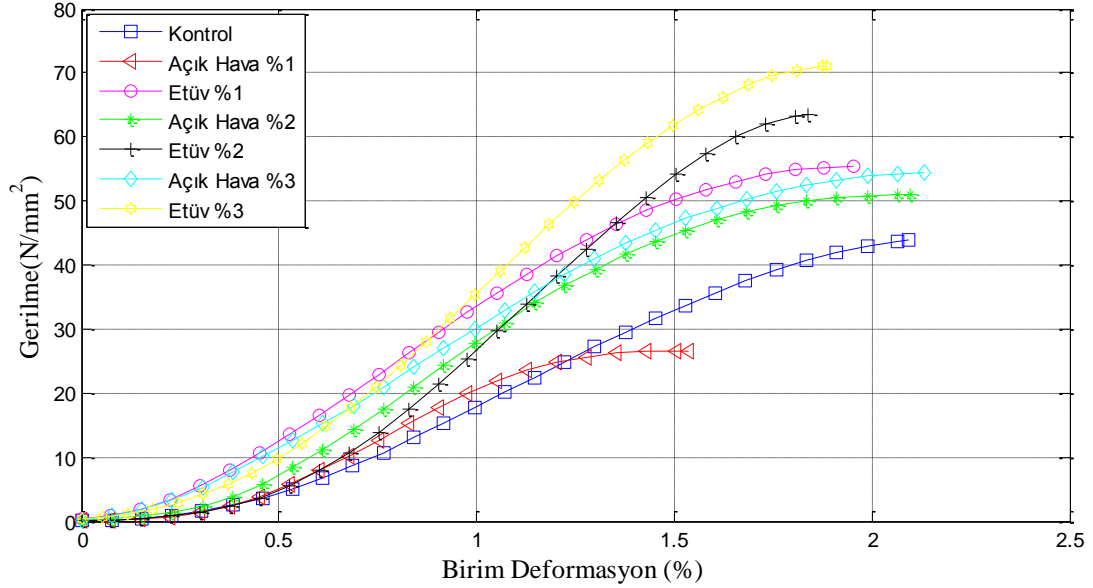
5.1.3. Liflere Paralel Basınç Deneyi

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 5.7).

7 numune grubundan paralel basınç deneyi sonucunda elde edilen yük-sehim (N - mm) değerleri, gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülmüştür. Herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere sahip numuneler seçilerek tüm numune gruplarının yer aldığı bir gerilme-birim deformasyon grafiği oluşturulmuştur (Şekil 5.8).



Şekil 5.7. Bakır oksit nano Parçacık empenye edilmiş paralel basınç deney düzeneği ve numuneleri



Şekil 5.8. Bakır oksit empenye edilmiş numunelere uygulanan liflere paralel basınç deneylerinden elde edilen gerilme-birim deformasyon eğrileri

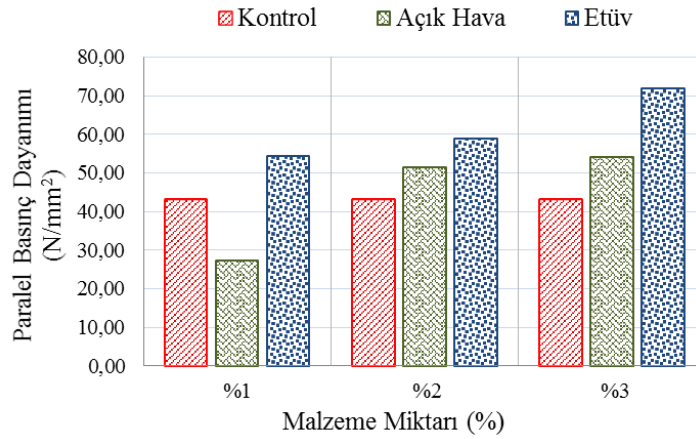
Elde edilen sonuçlarının hem daha kolay değerlendirilebilmesi hem de birbirleriyle daha kolay karşılaştırılabilmesi amacıyla standart sapma değerlerinin de içerisinde yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 5.3). Tabloda numunelere ait ortalama

değerlerin yanında bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranları da verilmiştir. Tablo 3'te kontrol numunelerinin ortalama paralel basınç gerilmesinin 42,86 MPa, ortalama birim deformasyon değerinin ise yüzde 2,10 olduğu görülmektedir. %1 bakır oksit empenyesi yapıp açık havada kurutulan numunelerin paralel basınç gerilmesi 27,2 MPa, yüzde uzaması 1,7 iken yine %1 bakır oksit empenyesi yapıp etüvde kurutulan numunelerin ortalama gerilmesinin 54,41 MPa ve yüzde uzamasının 2,07 olduğu görülmektedir. %2 bakır oksit empenyesi yapıp açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilmesi 51,35 MPa, yüzde uzaması 2,10 iken, aynı oranda bakır oksit empenye edilip etüvde kurutulan numunelerin ortalama gerilmesi 58,88 MPa, yüzde uzaması 1,93 olarak Tablo 3'e geçilmiştir. %3 oranında bakır oksit empenye 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 5.3. Paralel basınç deneyi sonucunda bakır oksit empenyesi 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 5.9'da empenye işlemine tabi tutulan numunelerin gerilme değerlerinin kontrol numunelerine göre değişimi grafik olarak verilmiştir. Şekil incelendiğinde en yüksek gerilme artışını %3 bakır oksit empenye edilip etüvde kurutulan numunelerin sağladığı ve bu artış oranının %68 olduğu görülmektedir.



Şekil 5.9. Bakır oksit liflere paralel basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak bakır oksit emprenyesinin %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.

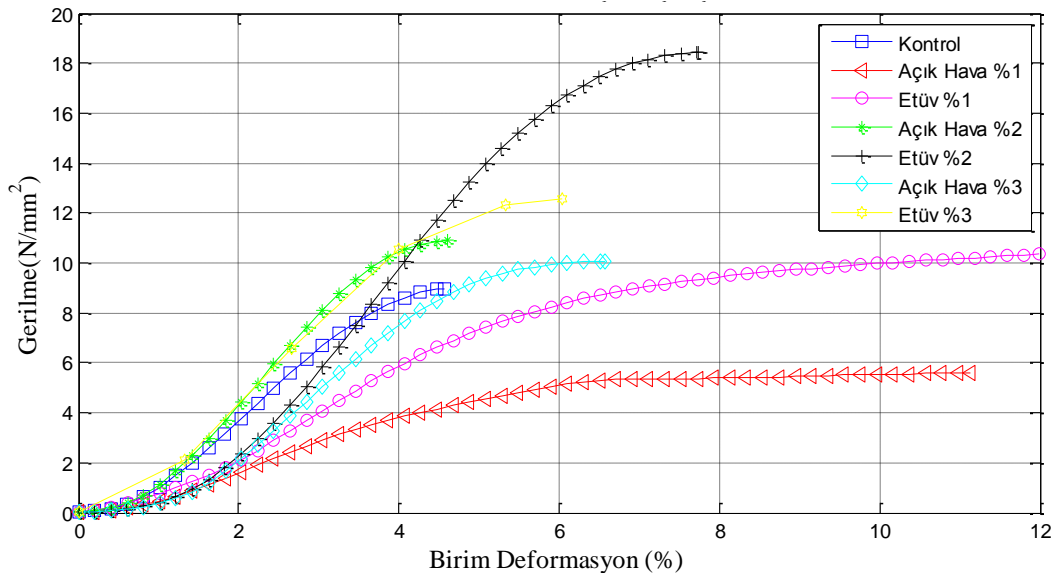
5.1.4. Liflere Dik Basınç Deneyi

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 5.10).

3 farklı oranda bakır oksit emprenye 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 herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilerek bir gerilme-birim deformasyon grafiği oluşturulmuştur (Şekil 5.11).



Şekil 5.10. Bakır oksit nano Parçacık empenye edilmiş numuneler ve dik basınç deneyi düzeneği



Şekil 5.11. Bakır oksit empenye edilmiş numunelerden liflere dik basınç deneyi sonucunda elde edilen gerilme-birim deformasyon eğrileri

Tablo 5.4'te her gruptan 3'er numunenin ortalama gerilme - birim deformasyon değerleri ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranları verilmiştir. 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

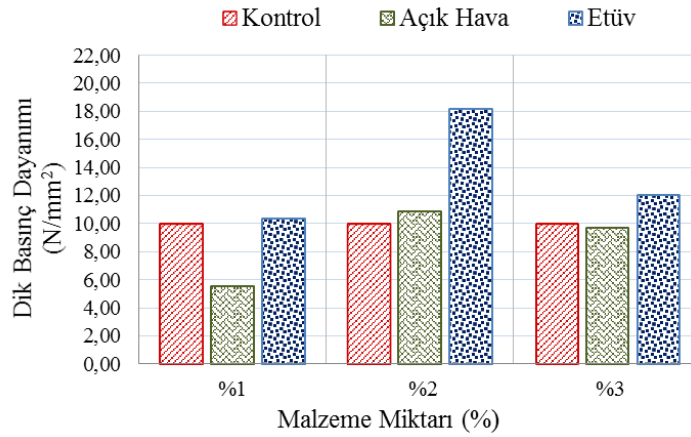
numuneleri için 5,57 MPa ve 10,97, %1 etüv numuneleri için 10,36 MPa ve 11,97, %2 açık hava numuneleri için 10,88 MPa ve 4,53, %2 etüv numuneleri için 18,17 MPa ve 7,00, %3 açık hava numuneleri için 9,71 MPa ve 6,33, %3 etüv numuneleri için 12,03 MPa ve 6,63 olduğu görülmektedir.

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 emprenye edilen numuneler incelendiğinde açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilme değerlerinin %9 oranında arttığı, ancak birim deformasyonunda bir değişim olmadığı görülmüştür. %2 oranında bakır oksit emprenye edilip etüvde kurutulmuş numunelerde ise gerilme değerinin %83 oranında arttığı, birim deformasyonun da %57 oranında arttığı müşahade edilmiştir. Son olarak %3 oranında bakır oksit emprenye 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.

Tablo 5.4. Bakır oksit emprenye 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

Gerilme değerleri açısından numuneler arasındaki değişimlerin daha anlaşılabilir olması amacıyla oluşturulan dik basınç deneyi gerilme değerleri Şekil 5.12'de verilmiştir. Şekilden en yüksek gerilme artışının %2 bakır oksit emprenye edilip etüvde kurutulan numunelerde sağlandığı görülmektedir.



Şekil 5.12. Bakır oksit empenye edilmiş numunelerin liflere dik basınç deneyi ortalama gerilme değerleri

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

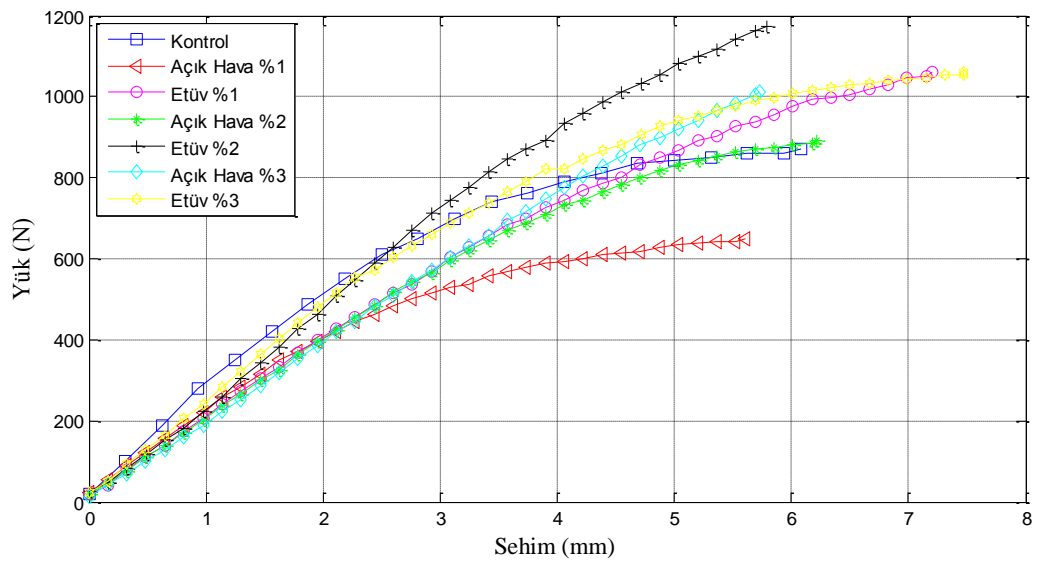
5.1.5. 3 Nokta Eğilme Deneyi

Üç nokta eğilme deneyinde test hızı 2,5 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Diğer testlerde olduğu gibi eğilme deneyinde kullanılacak numuneler aynı şartlarda hazırlanmış ve deney öncesi nem oranlarının her numune için 15 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numune 3 nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 5.13).

Eğilme deneyi sonucunda; kontrol numuneleri, ağırlıkça %1, %2, %3 oranında bakır oksit emdirilip açık havada kurutulmuş ve %1, %2, %3 oranında bakır oksit emdirilip etüvde kurutulmuş toplam 7 numune gurubundan elde edilen yük-sehim (N - mm) değerlerine göre seçilen herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere sahip numuneler kullanılarak bir yük-sehim grafiği oluşturulmuştur (Şekil 5.14).



Şekil 5.13. Bakır oksit nano Parçacık empenye edilmiş numuneler ve üç nokta eğilme deneyi düzeneği



Şekil 5.14. Bakır oksit empenye edilmiş numunelerin üç nokta eğilme deneyi yük-sehim eğrileri

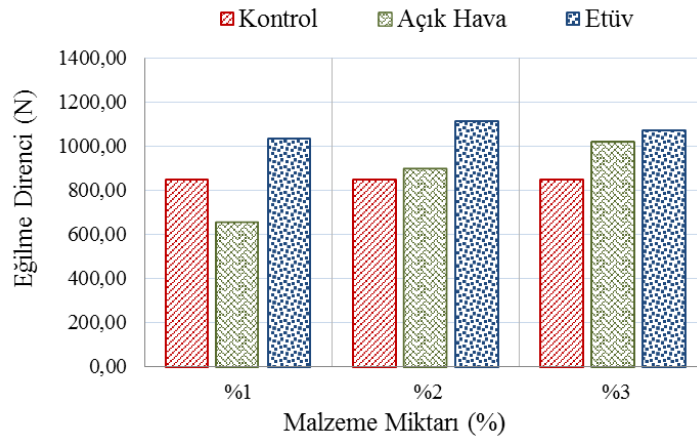
Her numuneye ait standart sapma değerlerinin de yer aldığı Tablo 5.5'te elde edilen yük-sehim değerleri, ortalama değerler ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranları verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde kontrol numunelerinin ortalama yük değerinin 847,4 N, ortalama sehim değerinin ise 6,06 mm olduğu görülmektedir. Diğer numunelerin yük ve sehim değerleri sırasıyla %1 açık hava numuneleri için 653,65 N ve 59 mm, %1 etüv numuneleri için 1031,77 N ve 6,85 mm, %2 açık hava numuneleri için 895,31 N ve 5,94 mm, %2 etüv numuneleri için 1113,54 N ve 5,89 mm, %3 açık hava numuneleri için 1014,59 N ve 6,51 mm, %3 etüv numuneleri için 1072,92 N ve 6,8 mm olarak elde edilmiştir.

Kontrol numunelerine nazaran %1 açık hava numunelerinin %23 oranında yük düşüşü ile birlikte %8 oranında daha az sehim yaptığı tespit edilmiştir. %1 etüv numunelerinde ise %22 oranında yük artışı ve % 13 oranında daha çok sehim gözlenmiştir. %2 oranında bakır oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde açık havada kurutulan numunelerin ortalama yük değerlerinde %6 oranında artış olduğu fakat sehim bakımından bir değişim olmadığı görülmektedir. Etüvde kurutulmuş numunelerde ise yük değerinin %31 oranında bir artış olmuş fakat yine sehim açısından bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Son olarak %3 oranında bakır oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde; açık havada kurutulan numunelerin ortalama yük değerlerinde %20, sehim değerlerinde %7 oranında artış olduğu, etüvde kurutulmuş numunelerde ise %27 oranında yük artışı ve %12 oranında sehim artışı gözlenmiştir.

Tablo 5.5. Bakır oksit emprenye edilmiş numunelerinin üç nokta eğilme deneyi yük-sehim değerleri

Uygulama Türü	1. Numune		2. Numune		3. Numune		Ortalama		Gerilme % Değişim	Sehim % Değişim
	Yük (N)	Sehim (mm)	Yük (N)	Sehim (mm)	Yük (N)	Sehim (mm)	Yük (N)	Sehim (mm)		
Kontrol	876,56	6,07	871,88	6,08	793,75	6,02	847,40	6,06	0	0
%1 Açık Hava	650,00	5,61	670,31	5,59	640,63	5,58	653,65	5,59	-23	-8
%1 Etüv	1073,44	6,48	960,94	6,86	1060,94	7,20	1031,77	6,85	22	13
%2 Açık Hava	890,63	6,21	981,25	5,17	814,06	6,43	895,31	5,94	6	-2
%2 Etüv	1090,63	4,74	1075,00	7,13	1175,00	5,79	1113,54	5,89	31	-3
%3 Açık Hava	1012,50	5,74	1078,13	7,19	953,13	6,60	1014,59	6,51	20	7
%3 Etüv	1093,75	7,47	1062,50	7,48	1062,50	5,45	1072,92	6,80	27	12

Yük değerleri açısından numuneler arasındaki değişimlerin daha anlaşılabilir olması amacıyla eğilme direnci ortalama değerler grafiği çizilmiştir (Şekil 5.15). Grafikten en yüksek yük taşıma kapasitesine %2 bakır oksit emprenye edilip etüvde kurutulan numunelerin sahip olduğu görülmektedir.



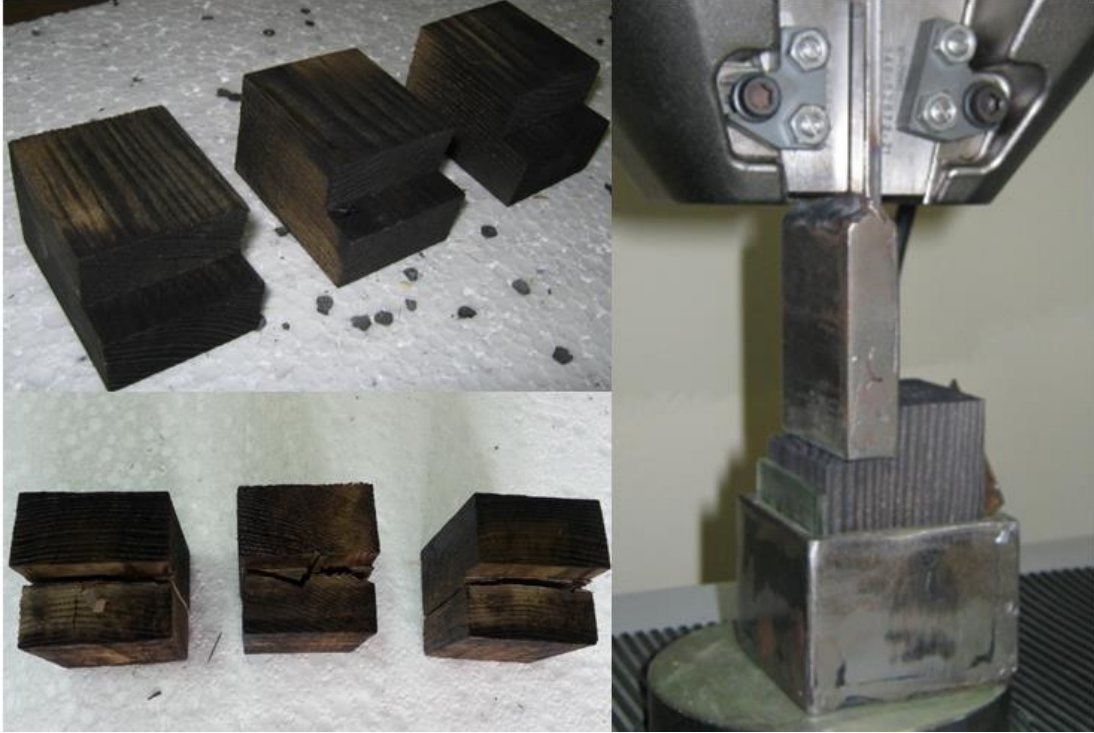
Şekil 5.15. Bakır oksit emprenye edilmiş numunelerin üç nokta eğilme deneyi ortalama yük değerleri

Sonuç olarak bakır oksit emprenyesinin ahşabın taşıyabileceği maksimum yük bakımından kontrol numunelerine göre %1 açık hava numunelerinde düşüşe, diğer tüm numunelerde ise belirli oranlarda artışlara yol açtığı anlaşılmaktadır. Öte yandan sehim değerleri açısından %1 açık hava numunelerinde küçük oranda bir düşüş, %1 ve %3 etiv numunelerinde ise küçük oranda bir artış gözlenmiş diğer numunelerde kayda değer bir fark oluşmamıştır. Tüm numune grupları içerisindeki en iyi eğilme direncini ise %2 etiv numuneleri sağlamıştır.

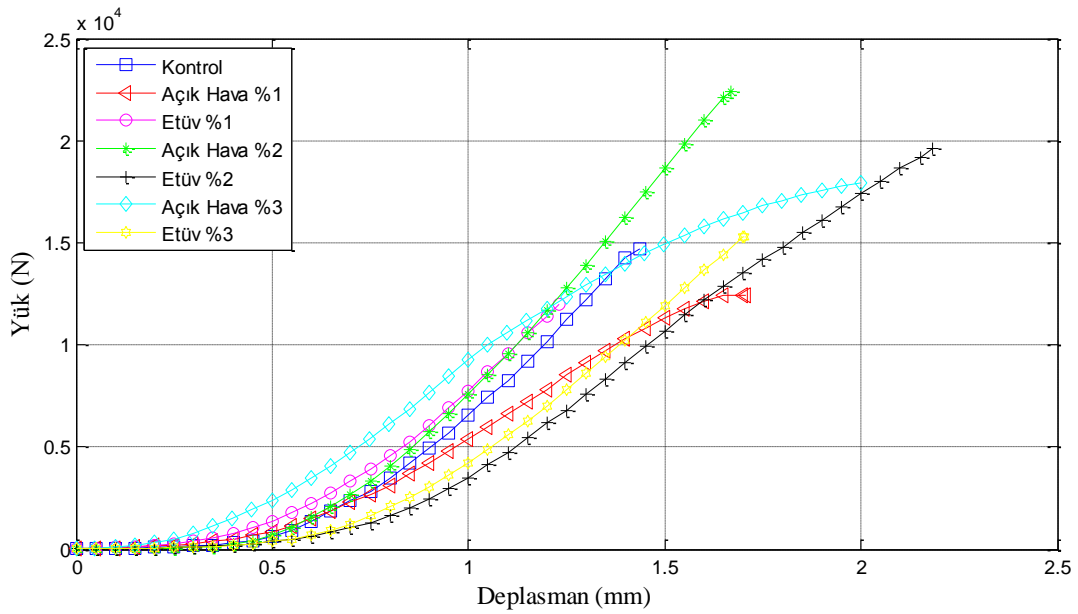
5.1.6. Liflere Paralel Kesme Deneyi

Liflere paralel kesme deneyinde test hızı 0,6 mm/dk olarak alınmıştır. Hazırlanan test numuneleri aynı şartlarda hazırlanış ve deney öncesi nem oranları 15 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numune liflere paralel kesme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 5.16).

Kesme deneyi sonucunda; kontrol numuneleri, ağırlıkça %1, %2, %3 oranında bakır oksit emdirilmiş ve açık havada kurutulmuş, %1, %2, %3 oranında bakır oksit emdirilmiş ve etivde kurutulmuş toplam 7 numune gurubundan elde edilen yük-deplasman (N - mm) değerleri alınarak herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilmiş ve tüm numune gruplarının yer aldığı bir yük-deplasman grafiği çizilmiştir (Şekil 5.17).



Şekil 5.16. Bakır oksit nano Parçacık empenye edilmiş paralel kesme deney düzeneği ve numuneleri



Şekil 5.17. Bakır oksit liflere paralel kesme deneyleri yük-deplasman grafiği

Ayrıca deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından her numuneye ait standart sapma değerleri içerisinde yer alan 3'er numunenin yük - deplasman değerleri, bu numunelere ait ortalama değerler

ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranlarının yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 5.6).

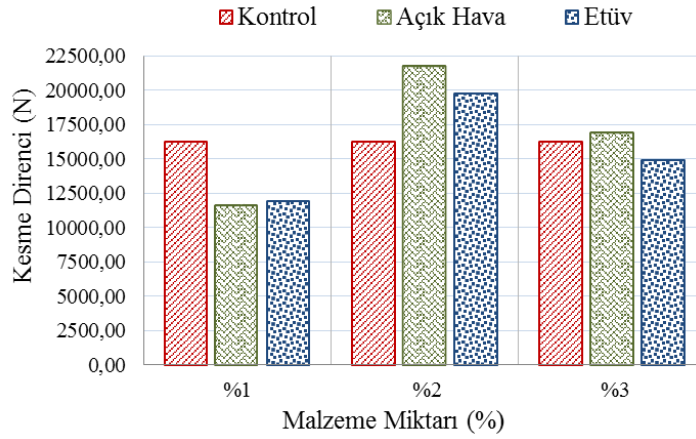
Tablo 5.6. Bakır oksit paralel kesme deneyi yük-deplasman ve değişim değerleri tablosu

Uygulama Türü	1. Numune		2. Numune		3. Numune		Ortalama		Yük % Değişim	Deplasman % Değişim
	Yük (N)	Deplasman (mm)	Yük (N)	Deplasman (mm)	Yük (N)	Deplasman (mm)	Yük (N)	Deplasman (mm)		
Kontrol	15460,94	2,23	16870,31	2,05	16385,94	1,69	16239,06	1,99	0	0
%1 Açık Hava	11726,56	2,05	10795,31	1,63	12417,19	1,71	11646,35	1,79	-28	-10
%1 Etüv	11665,63	1,41	11959,38	1,23	12287,50	1,25	11970,84	1,30	-26	-35
%2 Açık Hava	23626,56	1,99	22375,00	1,67	19429,43	1,51	21810,33	1,72	34	-13
%2 Etüv	19575,00	2,18	19562,50	1,98	20118,75	2,39	19752,08	2,19	22	10
%3 Açık Hava	17903,13	2,00	17554,69	2,04	15278,13	1,81	16911,98	1,95	4	-2
%3 Etüv	12937,93	1,75	16507,81	1,89	15271,88	1,70	14905,87	1,78	-8	-10

Tablo 5.6 incelendiğinde Kontrol numunelerinde ortalama kesme direnci 16239,06 N, ortalama deplasman değeri ise 1,99 mm olarak bulunmuştur. Diğer numuneler sırasıyla %1 açık hava numuneleri eğilme dayanımı 11646,35 N, deplasman miktarı 1,79 mm, %1 etüv numuneleri ortalama kesme direnci 11970,84 N, deplasman miktarı 1,3 mm, %2 açık hava numuneleri ortalama kesme direnci 21810,33 N, deplasman miktarı 1,72 mm, %2 etüv numuneleri ortalama kesme direnci 19752,08 N, deplasman miktarı 2,19 mm, %3 açık hava numuneleri ortalama kesme direnci 16911,98 N, deplasman miktarı 1,95 mm, %3 etüv numuneleri ortalama kesme direnci 14905,87 N, deplasman miktarı 1,78 mm olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde % 28 oranında yük düşüşü olduğu ve % 10 oranında daha az yer değişimi yaptığı, %1 etüv numunelerinde ise % 26 oranında yük düşüşü olduğu ve % 35 oranında daha az yer değişimi yaptığı gözlenmiştir. %2 oranında bakır oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde açık havada kurutulan numunelerin ortalama yük değerlerinde % 34 oranında artış olduğu ve % 13 oranında daha az yer değişimi yaptığı görülmüştür. Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise yük değerinin % 22 oranında artışının yanı sıra ahşabın % 10 oranında daha çok yer değişimi yaptığı görülmüştür. Son olarak %3 oranında bakır oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama yük değerlerinde % 4 oranında artış olduğu, deplasman değerlerinde belirgin bir değişim olmadığı, Etüvde kurutulmuş numunelerde % 8 oranında yük düşüşü ve % 10 oranında daha az

deplasman yaptığı gözlenmiştir. Yük değerleri açısından numuneler arasındaki değişimlerin daha anlaşılabilir olması açısından aşağıda kesme direnci ortalama değerler grafiği verilmiştir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18. Bakır oksit liflere paralel kesme deneyi ortalama yük değerleri grafiği

Sonuç olarak bakır oksitin ahşabın paralel kesme direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde % 1 açık hava ve etüv numunelerinde düşüş olduğu, % 2 açık hava ve etüv numunelerinde artış olduğu, % 3 açık hava ve etüv numunelerinde ise belirgin bir değişimin olmadığı görülmektedir. Öte yandan deplasman değerleri açısından % 2 etüv numuneleri dışında tüm numunelerde %35'lere varan bir gevreklik olduğu anlaşılmaktadır. Öte yandan tüm numune grupları içerisindeki en iyi kesme direncini % 2 açık hava numuneleri sağlamıştır.

5.2. Bor Oksit (B₂O₃) Nano Parçacık Emprenye Edilmiş Numuneler

Yapılan deneysel çalışmalarda; tüm deney numuneleri ilgili standara uygun bir şekilde hazırlanmış ve %1, %2 ve %3 oranında Bor Oksit nano Parçacık emprenye edilmek suretiyle hazırlanmıştır. Farklı oranlarda nano Parçacık emprenye edilerek hazırlanan bu numuneler, ahşabı kurutma sıcaklığının da mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi amacıyla iki farklı kurutma sıcaklığında kurutulmuş istenen nem oranına ulaşması sağlanmıştır. Bu sıcaklıklar 20 °C açık hava şartlarında ve 105 °C etüv sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Tüm numunelerde deneysel nem oranı %15 ±3 olarak alınmıştır. Bor oksit emprenye edilerek hazırlanan deney numuneleri, 3 farklı oranda

nano malzeme emprenyesi, 2 farklı sıcaklıkta kurutma ve 6 farklı deney numunesi grubundan oluşmaktadır. Ayrıca işlem görmüş numunelerin deney sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla her bir deney çeşidinden işlem görmemiş kontrol numunesi grubunda hazırlanmıştır. Çalışmamızda herbir deney grubunda 5 adet numune test edilmiş ancak özellikle ahşabın heterojen, anizotrop bir yapıya sahip olması ve ahşabın mekanik özelliklerini etki eden diğer faktörden (ahşabın alındığı bölge, yaş halkaları, liflerin doğrultusu, yavaş veya hızlı büyüme durumu, numunenin alındığı bölge vb.) dolayı deney sonuçları her grup kendi arasında değerlendirilmek suretiyle standart sapma dışında kalan iki numune dikkate alınmamıştır. Bu nedenle deney sonuçları ortalama değerleri üç numunenin aritmetik ortalaması alınarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak bu bölümde; ilgili standarda uygun hazırlanmış liflere paralel çekme deneyi, liflere dik çekme deneyi, liflere paralel basınç deneyi, liflere dik basınç deneyi üç nokta eğilme deneyi ve paralel kesme deneyleri için , %1, %2 ve %3 oranında bor oksit emprenye edilerek açık havada kurutulmuş deney numuneleri, %1, %2 ve %3 oranında bor oksit emprenye edilerek etüvde kurutulmuş deney numuneleri ve Kontrol numuneleri hazırlanarak adı geçen deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda her deney grubunu temsil eden bir deney numunesi sonuçları alınarak ortak bir karşılaştırma grafiği oluşturulmuş ayrıca ortalama değerler tablosu ve ortalama değerler kontrol numunesi değerleri ile karşılaştırılması amacıyla gerilme veya yük grafiği oluşturulmuştur.

5.2.1. Liflere Paralel Çekme Deneyi

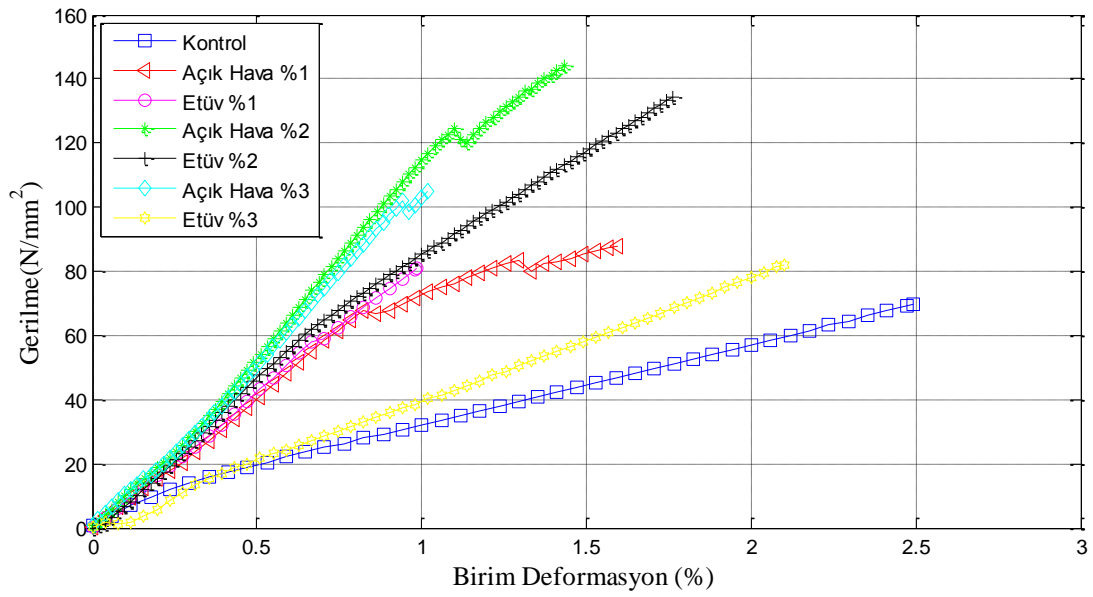
Liflere paralel çekme deneyinde test hızı 1 mm/dk olarak alınmıştır. Hazırlanan test numuneleri aynı şartlarda hazırlanmış ve deney öncesi nem oranları 15 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numuneye çekme deneyi uygulanmıştır (Şekil 5.19).

Çekme testi sonucunda kontrol numuneleri, ağırlıkça %1, %2, %3 oranında bor oksit emdirilmiş ve açık havada kurutulmuş, %1, %2, %3 oranında bor oksit emdirilmiş ve etüvde kurutulmuş toplam 7 numune grubundan elde edilen yük-sehim (N - mm)

değerleri gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülerek herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilerek tüm numune gruplarının yer aldığı bir Gerilme-Birim deformasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 5.20).



Şekil 5.19. Bor oksit nano Parçacık empenye edilmiş paralel çekme deney düzeneği ve numuneleri



Şekil 5.20. Bor oksit liflere paralel çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği

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 5.7).

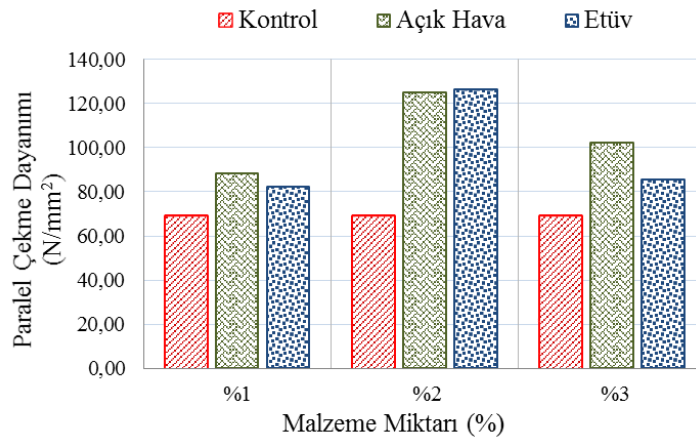
Tablo 5.7. Bor oksit paralel çekme deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu

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	69,25	2,47	0	0
%1 Açık Hava	95,44	2,00	81,97	1,50	88,03	1,60	88,48	1,70	28	-31
%1 Etüv	78,69	1,20	87,91	1,20	80,88	1,00	82,49	1,13	19	-54
%2 Açık Hava	144,19	1,40	117,44	1,30	113,53	1,60	125,05	1,43	81	-42
%2 Etüv	129,19	1,50	115,53	1,40	134,31	1,80	126,34	1,57	82	-36
%3 Açık Hava	95,92	0,90	104,75	1,00	106,16	1,30	102,28	1,07	48	-57
%3 Etüv	82,15	2,10	94,25	3,10	79,84	2,40	85,41	2,53	23	3

Tablo 5.7 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 5.21).



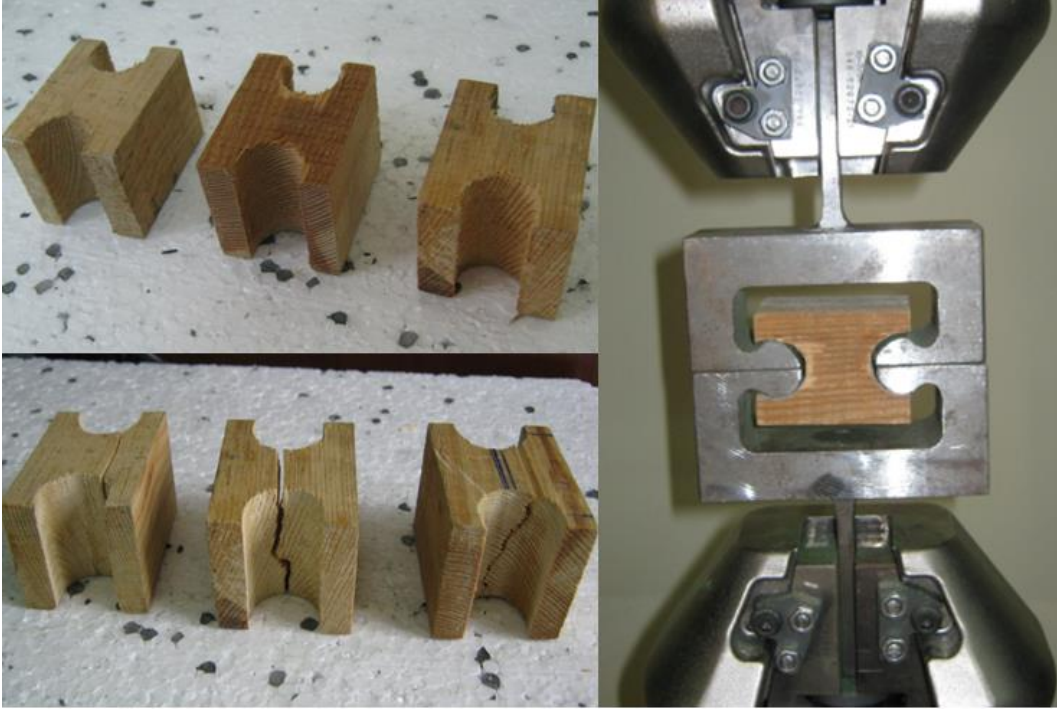
Şekil 5.21. Bor oksit liflere paralel çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

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.

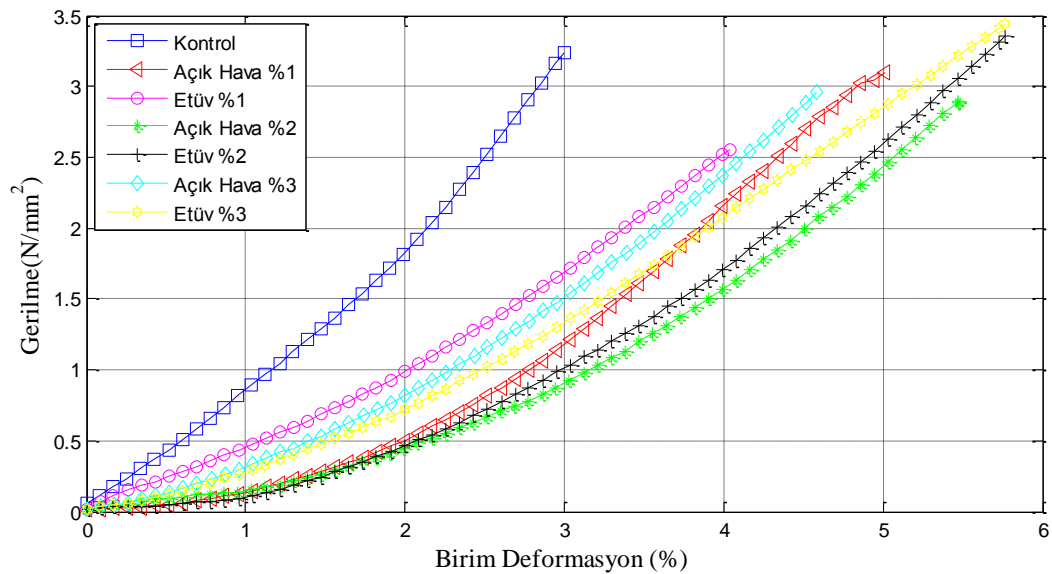
5.2.2. Liflere Dik Çekme Deneyi

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 5.22).

Çekme testi sonucunda; kontrol numuneleri, ağırlıkça %1, %2, %3 oranında bor oksit emdirilmiş ve açık havada kurutulmuş, %1, %2, %3 oranında bor oksit emdirilmiş ve etüvde kurutulmuş toplam 7 numune gurubundan elde edilen yük-sehim (N - mm) değerleri gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülerek herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilerek tüm numune gruplarının yer aldığı bir Gerilme-Birim deformasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 5.23).



Şekil 5.22. Bor oksit nano Parçacık empenye edilmiş dik çekme deney düzeneği ve numuneleri



Şekil 5.23. Bor oksit liflere dik çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği

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 5.8).

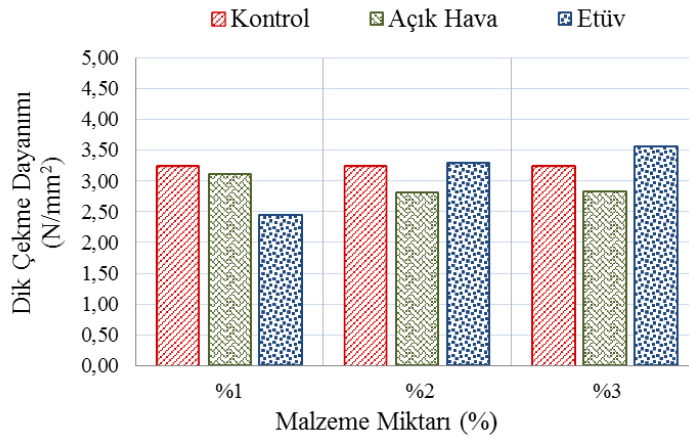
Tablo 5.8. Bor oksit dik çekme deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu

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	3,24	2,97	0	0
%1 Açık Hava	3,10	5,00	3,37	6,40	2,85	5,60	3,11	5,67	-4	91
%1 Etüv	2,88	4,40	1,93	2,70	2,55	4,00	2,45	3,70	-24	25
%2 Açık Hava	2,34	5,10	3,19	4,70	2,90	5,50	2,81	5,10	-13	72
%2 Etüv	3,36	5,80	2,90	5,40	3,61	5,40	3,29	5,53	2	87
%3 Açık Hava	2,46	3,85	2,96	4,58	3,08	5,05	2,83	4,49	-13	51
%3 Etüv	3,03	5,30	4,20	6,30	3,44	5,80	3,56	5,80	10	96

Tablo 5.8 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.

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde gerilmede 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 5.24).

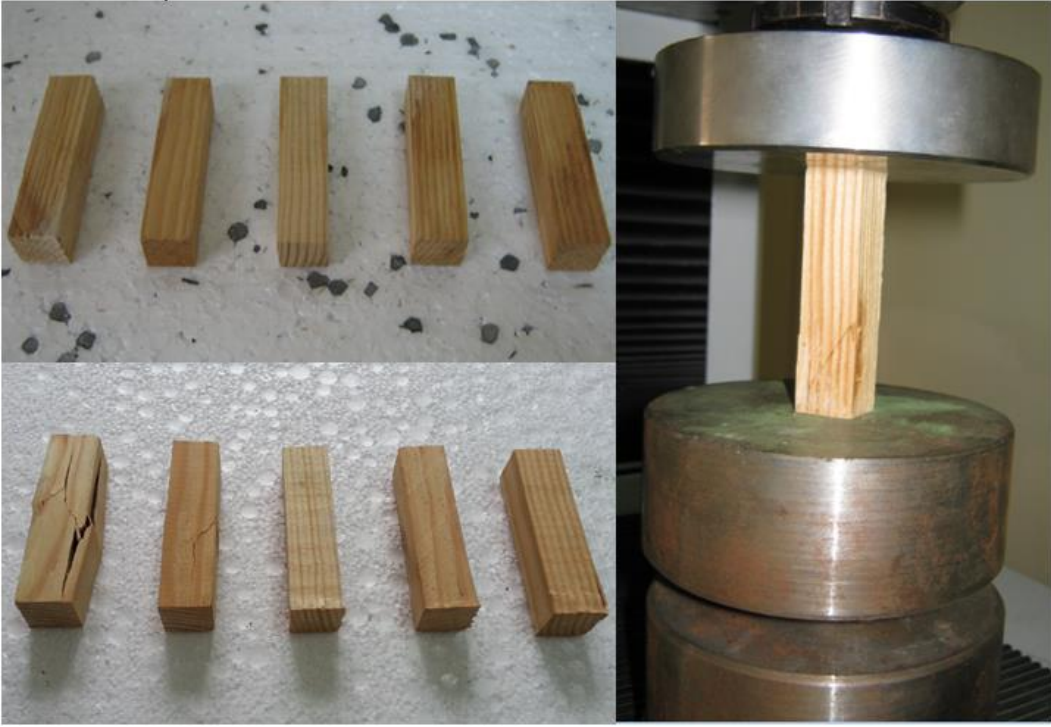


Şekil 5.24. Bor oksit liflere dik çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

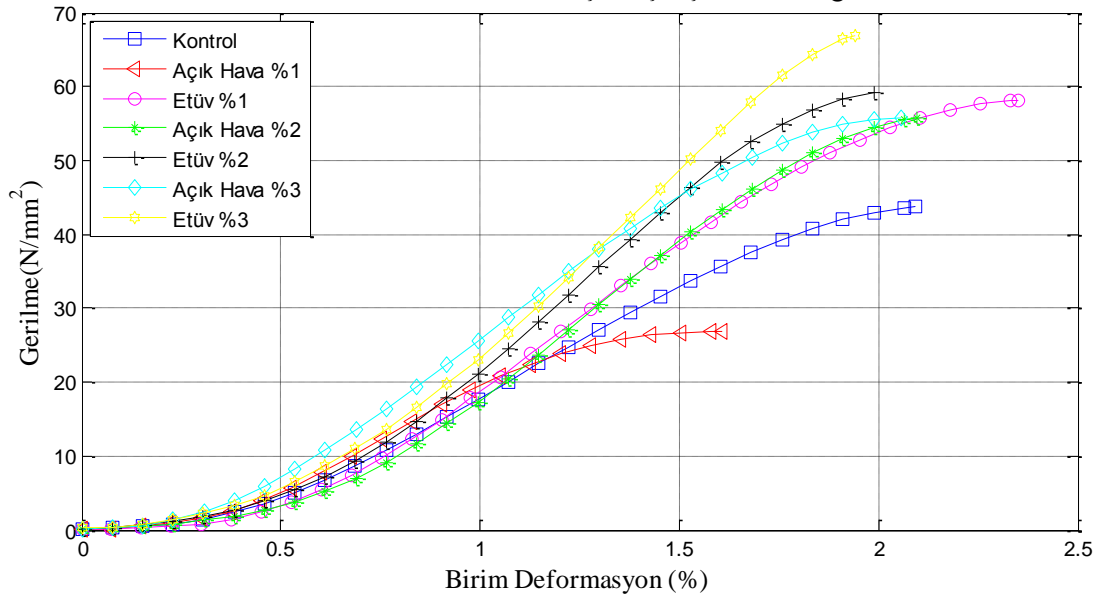
Sonuç olarak bor oksitin ahşabın dik çekme direnci üzerindeki etkisine bakıldığında %3 etüv numuneleri hariç tüm numunelerin dik çekme gerilmesi üzerinde olumsuz etkisinin olduğu ancak ahşabı daha sünek hale getirdiği ve daha yüksek birim deformasyon değerleri elde edildiği tespit edilmiştir. Bor oksit 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.

5.2.3. Liflere Paralel Basınç Deneyi

Liflere paralel basınç deneyinde test hızı 0,3 mm/dk olarak alınmıştır. Hazırlanan test numuneleri aynı şartlarda hazırlanış ve deney öncesi nem oranları 15 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numune paralel basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 5.25).



Şekil 5.25. Bor oksit nano Parçacık empenye edilmiş paralel basınç deney düzeneği ve numuneleri



Şekil 5.26. Bor oksit liflere paralel basınç deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği

Paralel basınç deneyi sonucunda kontrol numuneleri, ağırlıkça %1, %2, %3 oranında bor oksit emdirilmiş ve açık havada kurutulmuş, %1, %2, %3 oranında bor oksit emdirilmiş ve etüvde kurutulmuş toplam 7 numune gurubundan elde edilen yük-sehim (N - mm) değerleri gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülerek her bir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilmiş ve tüm

numune gruplarının yer aldığı bir Gerilme-Birim deformasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 5.26).

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 5.9).

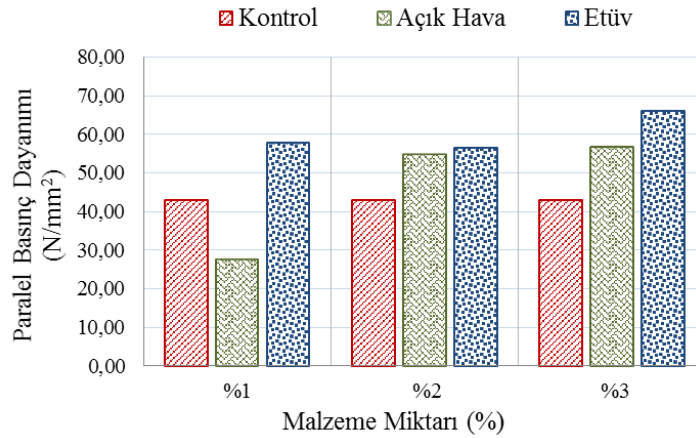
Tablo 5.9. Bor oksit paralel basınç deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu

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	42,86	2,10	0	0
%1 Açık Hava	29,66	1,60	26,93	1,60	26,45	1,70	27,68	1,63	-35	-22
%1 Etüv	59,58	2,50	58,11	2,40	55,60	2,40	57,76	2,43	35	16
%2 Açık Hava	55,81	2,10	52,14	2,20	56,21	2,30	54,72	2,20	28	5
%2 Etüv	59,11	2,00	54,61	2,20	55,76	2,30	56,49	2,17	32	3
%3 Açık Hava	53,82	1,97	55,87	2,07	59,87	1,67	56,52	1,90	32	-9
%3 Etüv	61,35	1,90	66,98	2,00	69,67	1,90	66,00	1,93	54	-8

Tablo 5.9 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.

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde % 35 oranında gerilmede 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 5.27).



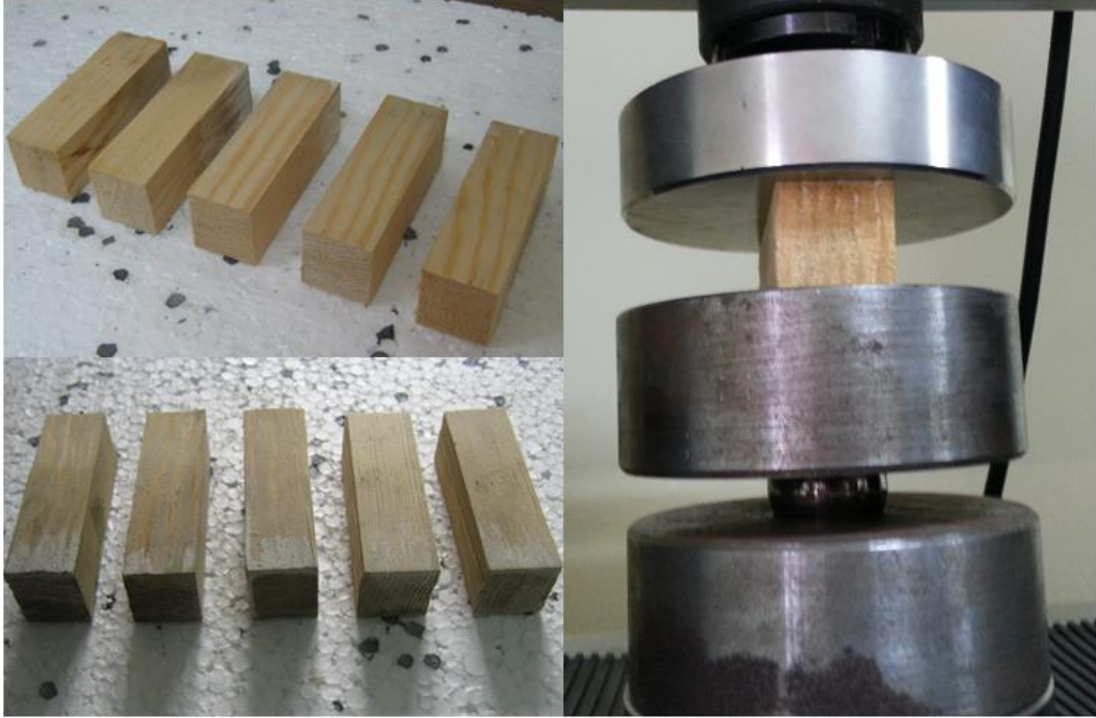
Şekil 5.27. Bor oksit liflere paralel basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

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 gevreklediği %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.

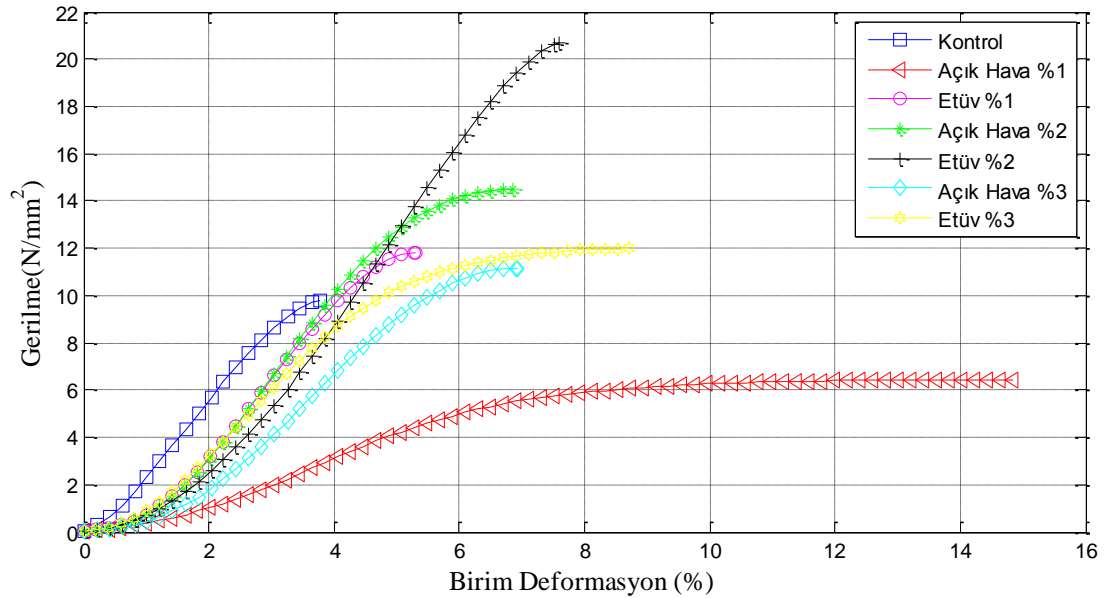
5.2.4. Liflere Dik Basınç Deneyi

Liflere dik basınç deneyinde test hızı 0,305 mm/dk olarak alınmıştır. Hazırlanan test numuneleri aynı şartlarda hazırlanış ve deney öncesi nem oranları 15 ± 3 olmasına

dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numune dik basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 5.28).



Şekil 5.28. Bor oksit nano Parçacık emprenye edilmiş dik basınç deney düzeneği ve numuneleri



Şekil 5.29. Bor oksit liflere dik basınç deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği

Dik basınç deneyi sonucunda; kontrol numuneleri, ağırlıkça %1, %2, %3 oranında bor oksit emdirilmiş ve açık havada kurutulmuş, %1, %2, %3 oranında bor oksit

emdirilmiş ve etüvde kurutulmuş toplam 7 numune gurubundan elde edilen yük-sehim (N - mm) değerleri gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülerek herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilmiş ve tüm numune gruplarının yer aldığı bir Gerilme-Birim deformasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 5.29).

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 5.10).

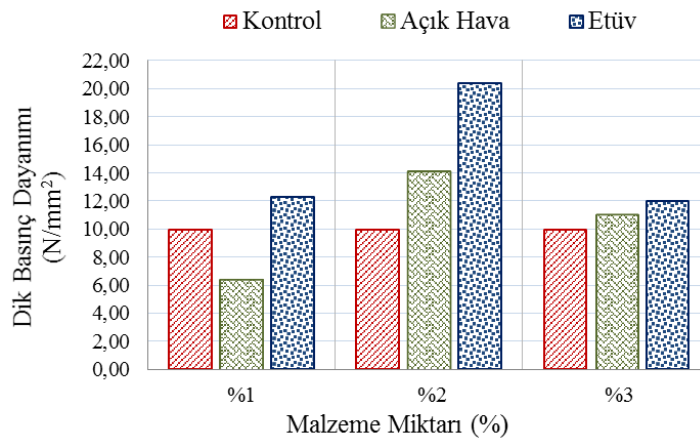
Tablo 5.10. Bor oksit dik basınç deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu

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	9,94	4,47	0	0
%1 Açık Hava	6,40	11,00	6,44	15,00	6,59	8,00	6,48	11,33	-35	154
%1 Etüv	11,98	5,00	13,06	7,00	11,84	5,00	12,29	5,67	24	27
%2 Açık Hava	12,90	6,60	14,94	6,80	14,51	6,90	14,12	6,77	42	51
%2 Etüv	20,66	7,60	22,07	5,50	18,53	6,00	20,42	6,37	105	43
%3 Açık Hava	11,50	7,50	11,17	6,90	10,57	6,10	11,08	6,83	11	53
%3 Etüv	11,98	8,70	14,03	9,60	10,08	10,00	12,03	9,43	21	111

Tablo 5.10 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 5.30).



Şekil 5.30. Bor oksit liflere dik basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak bor oksitin ahşabın dik basınç direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde % 1 açık hava numunelerinde düşüş 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.

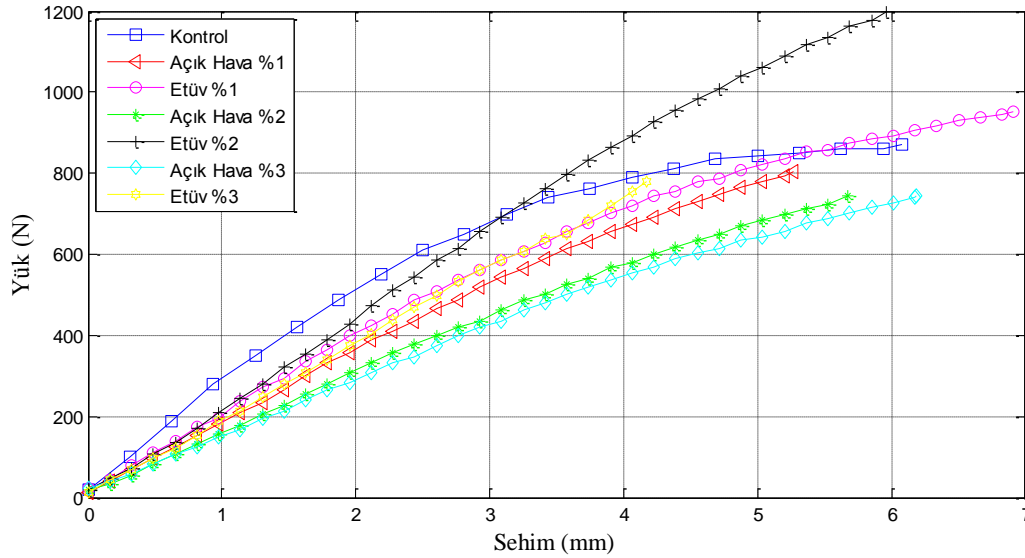
5.2.5. 3 Nokta Eğilme Deneyi

Üç nokta eğilme deneyinde test hızı 2,5 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 3 nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 5.31).



Şekil 5.31. Bor oksit nano Parçacık empenye edilmiş üç nokta eğilme deney düzeneği ve numuneleri

Eğilme deneyi sonucunda; kontrol numuneleri, ağırlıkça %1, %2, %3 oranında bor oksit emdirilmiş ve açık havada kurutulmuş, ve yine aynı oranlarda bor oksit emdirilmiş ve etüvde kurutulmuş toplam 7 numune gurubundan test sonucu elde edilen yük-sehim (N - mm) değerleri alınarak herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilmiş ve tüm numune gruplarının yer aldığı bir yük-sehim grafiği çizilmiştir (Şekil 5.32).



Şekil 5.32. Bor oksit üç nokta eğilme deneyleri yük-sehim grafiği

Ayrıca deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından her numuneye ait standart sapma değerleri içerisinde yer alan 3'er numunenin yük-sehim değerleri, bu numunelere ait ortalama değerler ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranlarının yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 5.11).

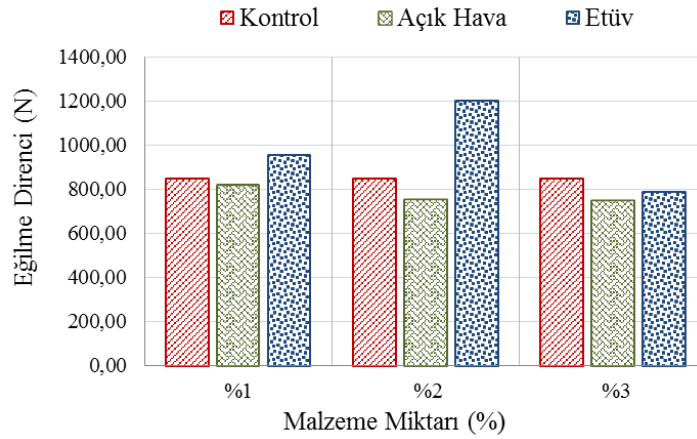
Tablo 5.11. Bor oksit üç nokta eğilme deneyi yük-sehim ve değişim değerleri tablosu

Uygulama Türü	1. Numune		2. Numune		3. Numune		Ortalama		Gerilme % Değişim	Sehim % Değişim
	Yük (N)	Sehim (mm)	Yük (N)	Sehim (mm)	Yük (N)	Sehim (mm)	Yük (N)	Sehim (mm)		
Kontrol	876,56	6,07	871,88	6,08	793,75	6,02	847,40	6,06	0	0
%1 Açık Hava	804,69	5,27	771,88	7,52	864,06	6,28	813,54	6,36	-4	5
%1 Etüv	928,13	7,53	951,56	6,91	979,69	6,67	953,13	7,04	12	16
%2 Açık Hava	814,06	7,09	700,00	6,09	743,75	5,67	752,60	6,28	-11	4
%2 Etüv	1204,69	5,39	1204,69	6,41	1198,44	5,96	1202,61	5,92	42	-2
%3 Açık Hava	710,94	6,47	778,13	4,81	745,31	6,18	744,79	5,82	-12	-4
%3 Etüv	867,19	5,19	780,49	4,18	707,81	3,87	785,16	4,41	-7	-27

Tablo 5.11 incelendiğinde Kontrol numunelerinde ortalama eğilme direnci 847,4 N, ortalama sehim değeri ise 6,06 mm olarak bulunmuştur. Diğer numuneler sırasıyla %1 açık hava numuneleri eğilme dayanımı 813,54 N, sehim miktarı 6,54 mm , %1 Etüv numuneleri ortalama eğilme dayanımı 953,13 N, sehim miktarı 7,04 mm, %2 açık hava numuneleri ortalama eğilme dayanımı 752,60 N, sehim miktarı 6,28 mm, %2 Etüv numuneleri ortalama eğilme dayanımı 1202,61 N, sehim miktarı 5,92 mm, %3 açık hava numuneleri ortalama eğilme dayanımı 744,79 N, sehim miktarı 5,82 mm, %3

Etüv numuneleri ortalama eğilme dayanımı 785,16 N, sehim miktarı 4,41 mm olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde hem yük hem de sehim açısından küçük oranda değişim olduğu, %1 etüv numunelerinde ise % 12 oranında yük artışı ve % 16 oranında daha çok sehim yaptığı gözlenmiştir. %2 oranında bor oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde Açık havada kurutulan numunelerin ortalama yük değerlerinde % 11 oranında düşüş olduğu, sehim açısından belirgin bir değişim olmadığı görülmüştür. Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise yük değerinin % 42 oranında arttığı ancak sehim açısından bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Son olarak %3 oranında bor oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama yük değerlerinde % 12 oranında, sehim değerleri açısından ise %4 oranında düşüş olduğu, Etüvde kurutulmuş numunelerde % 7 oranında ve sehim değerleri açısından % 27 oranında düşüş gözlenmiştir. Yük değerleri açısından numuneler arasındaki değişimlerin daha anlaşılabilir olması açısından eğilme direnci ortalama değerler grafiği çizilmiştir (Şekil 5.33).



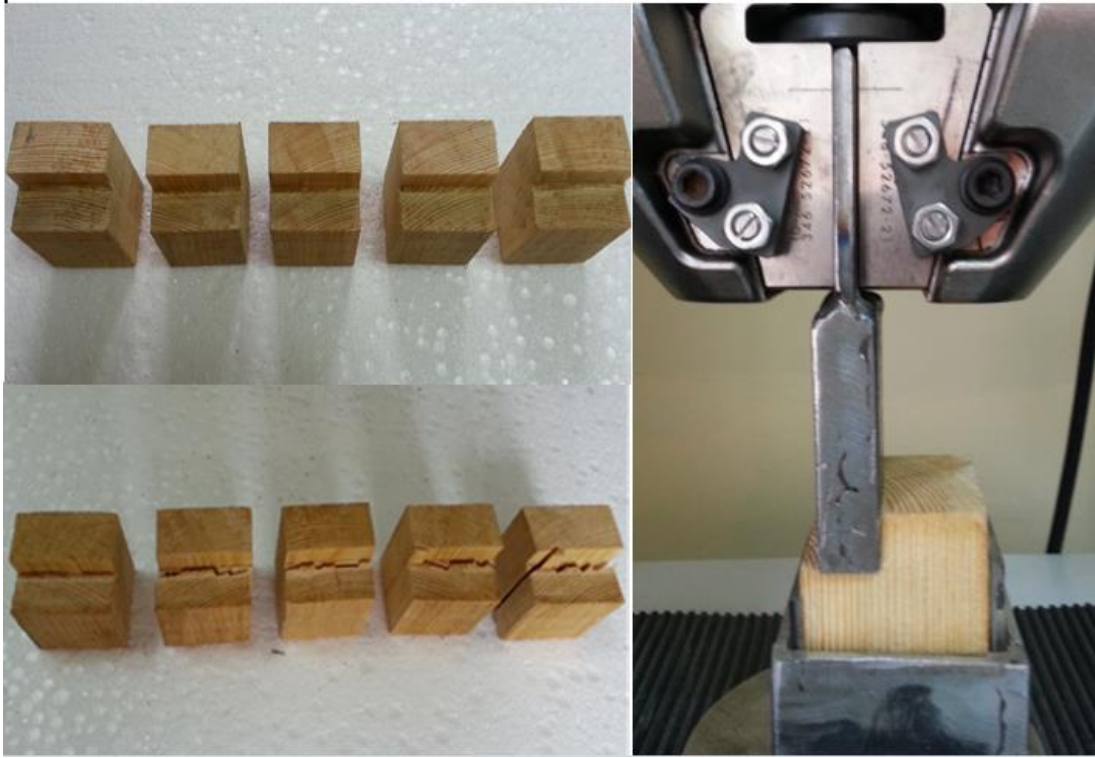
Şekil 5.33. Bor oksit üç nokta eğilme deneyi ortalama yük değerleri grafiği

Sonuç olarak bor oksitin ahşabın eğilme direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde %1 ve %2 etüv numuneleri dışındaki tüm numunelerde düşüş olduğu, öte yandan sehim değerleri açısından %1 etüvde artış, %3 etüvde düşüş diğer numunelerde ise belirgin

bir değişim olmadığı gözlenmiştir. Tüm numune grupları içerisindeki en iyi eğilme direncini ise %42 artış ile %2 etüv numuneleri sağlamıştır.

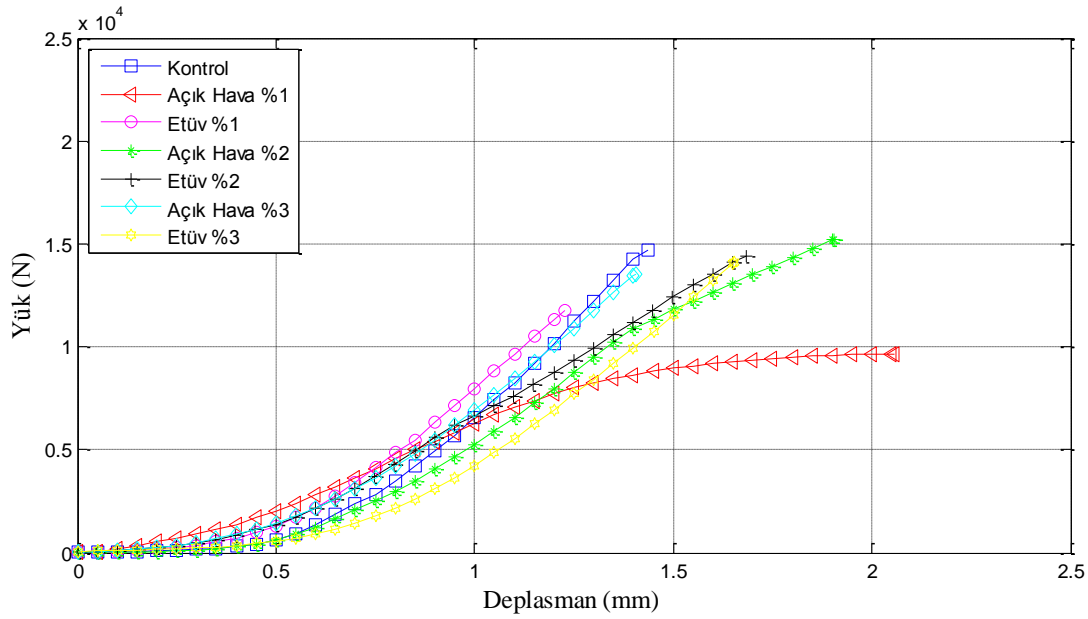
5.2.6. Liflere Parelle Kesme Deneyi

Liflere paralel kesme deneyinde test hızı 0,6 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 liflere paralel kesme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 5.34).



Şekil 5.34. Bor oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel kesme deney düzeneği ve numuneleri

Kesme deneyi sonucunda; kontrol numuneleri, ağırlıkça %1, %2, %3 oranında bor oksit emdirilmiş ve açık havada kurutulmuş, %1, %2, %3 oranında bor oksit emdirilmiş ve etüvde kurutulmuş toplam 7 numune gurubundan elde edilen yük-deplasman (N - mm) değerleri alınarak herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilmiş ve tüm numune gruplarının yer aldığı bir yük-deplasman grafiği çizilmiştir (Şekil 5.35).



Şekil 5.35. Bor oksit liflere paralel kesme deneyleri yük-deplasman grafiği

Ayrıca deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından her numuneye ait standart sapma değerleri içerisinde yer alan 3'er numunenin yük - deplasman değerleri, bu numunelere ait ortalama değerler ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranlarının yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 5.12).

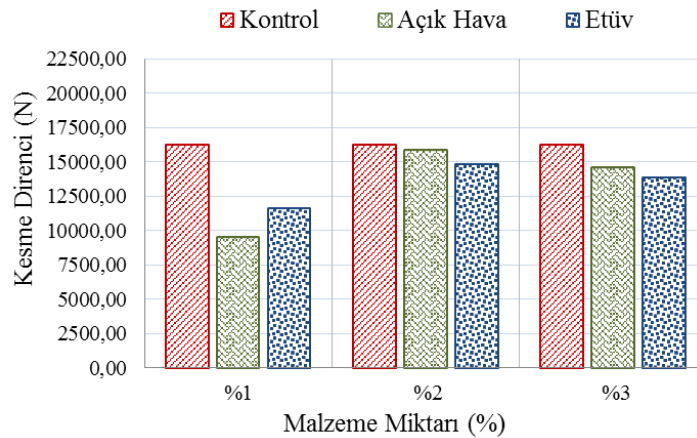
Tablo 5.12. Bor oksit paralel kesme deneyi yük-deplasman ve değişim değerleri tablosu

Uygulama Türü	1. Numune		2. Numune		3. Numune		Ortalama		Yük % Değişim	Deplasman % Değişim
	Yük (N)	Deplasman (mm)	Yük (N)	Deplasman (mm)	Yük (N)	Deplasman (mm)	Yük (N)	Deplasman (mm)		
Kontrol	15460,94	2,23	16870,31	2,05	16385,94	1,69	16239,06	1,99	0	0
%1 Açık Hava	9768,75	2,15	9659,38	2,06	9253,13	2,12	9560,42	2,11	-41	6
%1 Etüv	12006,25	0,96	11793,75	1,23	11131,25	1,18	11643,75	1,12	-28	-44
%2 Açık Hava	15220,62	1,90	13548,44	1,80	18985,94	2,22	15918,33	1,98	-2	-1
%2 Etüv	14392,19	1,68	13337,50	1,46	16881,25	1,80	14870,31	1,65	-8	-17
%3 Açık Hava	16267,19	1,82	13546,88	1,41	13995,31	1,71	14603,13	1,64	-10	-17
%3 Etüv	11865,58	1,81	14106,25	1,65	15653,13	1,72	13874,99	1,73	-15	-13

Tablo 5.12 incelendiğinde Kontrol numunelerinde ortalama kesme direnci 16239,06 N, ortalama deplasman değeri ise 1,99 mm olarak bulunmuştur. Diğer numuneler sırasıyla %1 açık hava numuneleri eğilme dayanımı 9560,42 N, deplasman miktarı 2,11 mm, %1 etüv numuneleri ortalama kesme direnci 11643,75 N, deplasman miktarı 1,12 mm, %2 açık hava numuneleri ortalama kesme direnci 15918,33 N, deplasman

miktarı 1,98 mm, %2 etüv numuneleri ortalama kesme direnci 14870,31 N, deplasman miktarı 1,65 mm, %3 açık hava numuneleri ortalama kesme direnci 14603,13 N, deplasman miktarı 1,64 mm, %3 etüv numuneleri ortalama kesme direnci 13874,99 N, deplasman miktarı 1,73 mm olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde % 41 oranında yük düşüşü olduğu ve % 6 oranında daha fazla yer değişimi yaptığı, %1 etüv numunelerinde ise % 28 oranında yük düşüşü olduğu ve % 44 oranında daha az yer değişimi yaptığı gözlenmiştir. %2 oranında bor oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde açık havada kurutulan numunelerin ortalama yük değerleri ile deplasman değerlerinde bir değişim olmadığı, etüvde kurutulmuş numunelerinde ise yük değerinin % 8 oranında azaldığı ve ahşabın % 17 oranında daha az yer değişimi yaptığı görülmüştür. Son olarak %3 oranında bor oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama yük değerlerinde % 10 oranında düşüş olduğu, deplasman değerlerinin ise %17 oranında düştüğü, etüvde kurutulmuş numunelerde % 15 oranında yük düşüşü ve % 13 oranında daha az deplasman yaptığı gözlenmiştir. Yük değerleri açısından numuneler arasındaki değişimlerin daha anlaşılabilir olması açısından aşağıda kesme direnci ortalama değerler grafiği verilmiştir (Şekil 5.36).



Şekil 5.36. Bor oksit liflere paralel kesme deneyi ortalama yük değerleri grafiği

Sonuç olarak bor oksitin ahşabın paralel kesme direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde, % 2 açık hava numuneleri dışında tüm numunelerde farklı oranlarda

bir düşüş olduğu, ve %1 açık hava numuneleri dışındaki tüm numunelerde de malzemenin deformasyon kabiliyetinin düştüğü görülmektedir. Öte yandan tüm numune grupları içerisindeki en iyi kesme direncini % 2 açık hava numuneleri sağlamıştır.

5.3. Krom Oksit (Cr₂O₃) Nano Parçacık Emprenye Edilmiş Numuneler

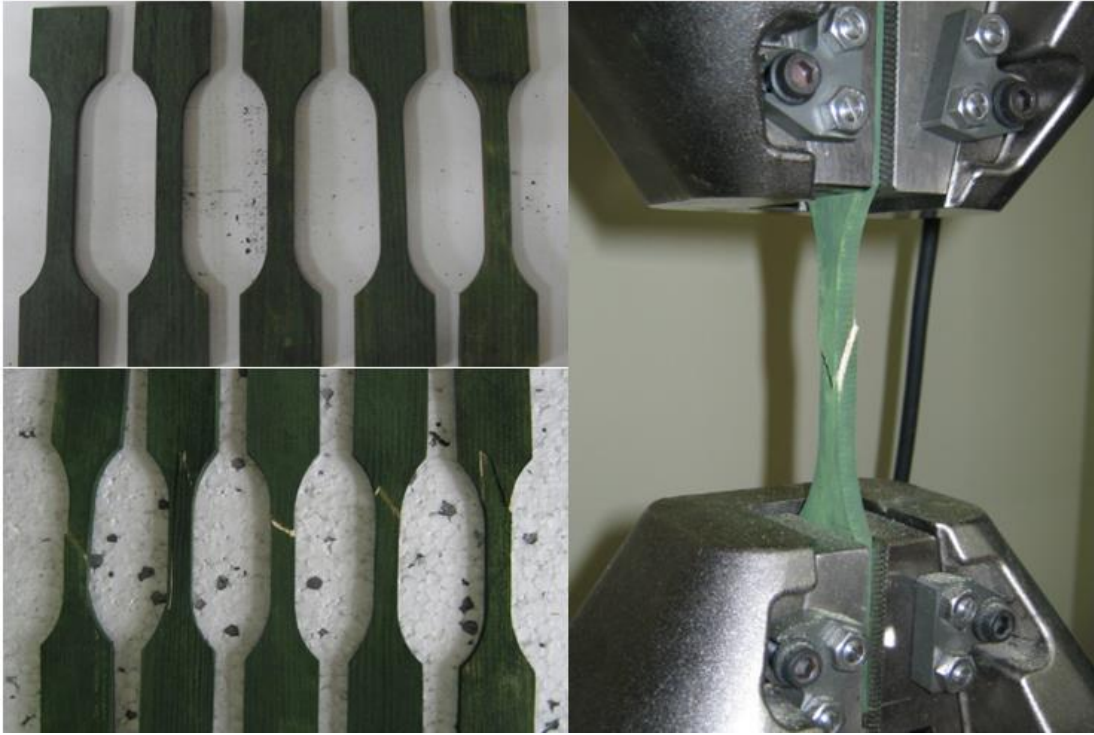
Yapılan deneysel çalışmalarda; tüm deney numuneleri ilgili standara uygun bir şekilde hazırlanmış ve %1, %2 ve %3 oranında Krom Oksit nano Parçacık emprenye edilmek suretiyle hazırlanmıştır. Farklı oranlarda nano Parçacık emprenye edilerek hazırlanan bu numuneler, ahşabı kurutma sıcaklığının da mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi amacıyla iki farklı kurutma sıcaklığında kurutulmuş istenen nem oranına ulaşması sağlanmıştır. Bu sıcaklıklar 20 °C açık hava şartlarında ve 105 °C etüv sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Tüm numunelerde deneysel nem oranı %15 ±3 olarak alınmıştır. Krom oksit eprenye edilerek hazırlanan deney numuneleri, 3 farklı oranda nano malzeme emprenyesi, 2 farklı sıcaklıkta kurutma ve 6 farklı deney numunesi grubundan oluşmaktadır. Ayrıca işlem görmüş numunelerin deney sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla her bir deney çeşidinden işlem görmemiş kontrol numunesi grubunda hazırlanmıştır. Çalışmamızda herbir deney grubunda 5 adet numune test edilmiş ancak özellikle ahşabın heterojen, anizotrop bir yapıya sahip olması ve ahşabın mekanik özelliklerini etki eden diğer faktörden (ahşabın alındığı bölge, yaş halkaları, liflerin doğrultusu, yavaş veya hızlı büyüme durumu, numunenin alındığı bölge vb.) dolayı deney sonuçları her grup kendi arasında değerlendirilmek suretiyle standart sapma dışında kalan iki numune dikkate alınmamıştır. Bu nedenle deney sonuçları ortalama değerleri üç numunenin aritmetik ortalaması alınarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak bu bölümde; ilgili standarda uygun hazırlanmış liflere paralel çekme deneyi, liflere dik çekme deneyi, liflere paralel basınç deneyi, liflere dik basınç deneyi üç nokta eğilme deneyi ve paralel kesme deneyleri için , %1, %2 ve %3 oranında bor oksit emprenye edilerek açık havada kurutulmuş deney numuneleri, %1, %2 ve %3 oranında bor oksit emprenye edilerek etüvde kurutulmuş deney numuneleri ve Kontrol numuneleri hazırlanarak adı geçen deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel

çalışmalarda her deney gurubunu temsil eden bir deney numunesi sonuçları alınarak ortak bir karşılaştırma grafiği oluşturulmuş ayrıca ortalama değerler tablosu ve ortalama değerler kontrol numunesi değerleri ile karşılaştırılması amacıyla gerilme veya yük grafiği oluşturulmuştur.

5.3.1. Liflere Paralel ekme Deneyi

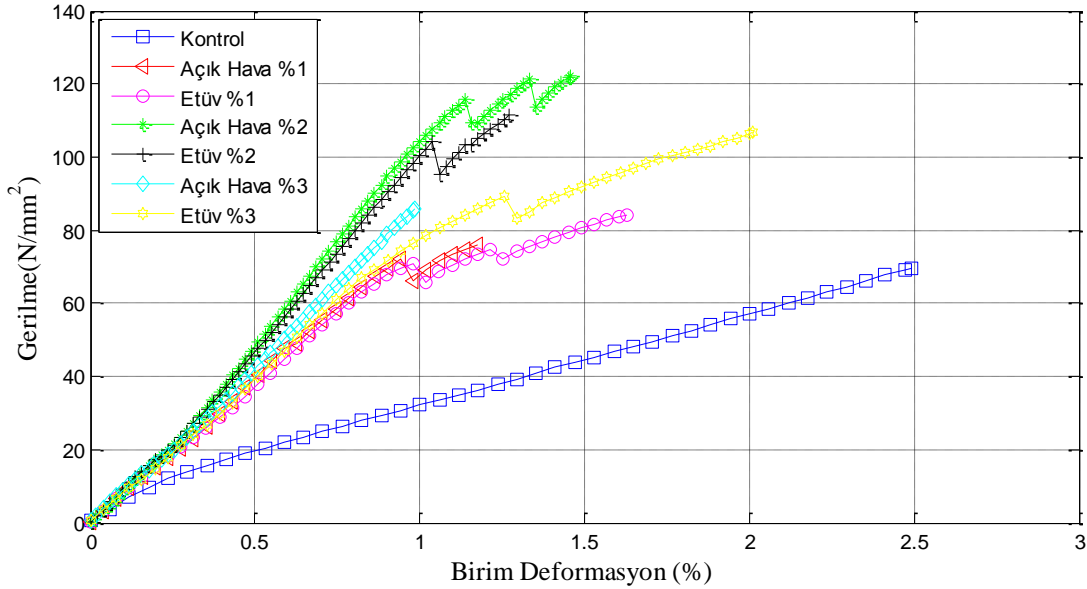
Liflere paralel çekme deneyinde test hızı 1 mm/dk olarak alınmıştır. Hazırlanan test numuneleri aynı şartlarda hazırlanış ve deney öncesi nem oranları 15 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numuneye çekme deneyi uygulanmıştır (şekil 5.37).



şekil 5.37. 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 yük-sehim (N - mm) değerleri gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülerek herbir

grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilerek tüm numune gruplarının yer aldığı bir Gerilme-Birim deformasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 5.38).



Şekil 5.38. Krom oksit liflere paralel çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği

Ayrıca deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve 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 5.13).

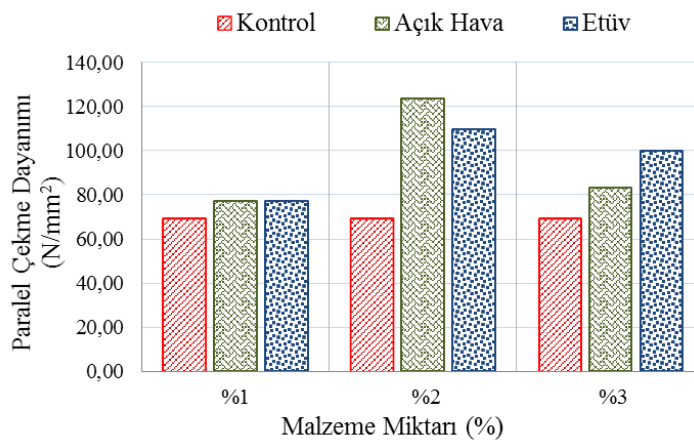
Tablo 5.13. Krom oksit paralel çekme deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu

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 5.13 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 77,13 MPa, yüzde uzaması

1,40, %1 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 77,17 MPa, yüzde uzaması 1,53 , %2 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 123,57 MPa, yüzde uzaması 1,33, %2 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 109,91 MPa, yüzde uzaması 1,17 , %3 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 83,02 MPa, yüzde uzaması 1,1 %3 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 108,19 MPa, yüzde uzaması 1,8 olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde %11 oranında gerilme artışı elde edilmiş öte yandan malzemenin %43 oranında gevrekleştiği 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 kurutulmuş 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 kurutulmuş 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 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 5.39).

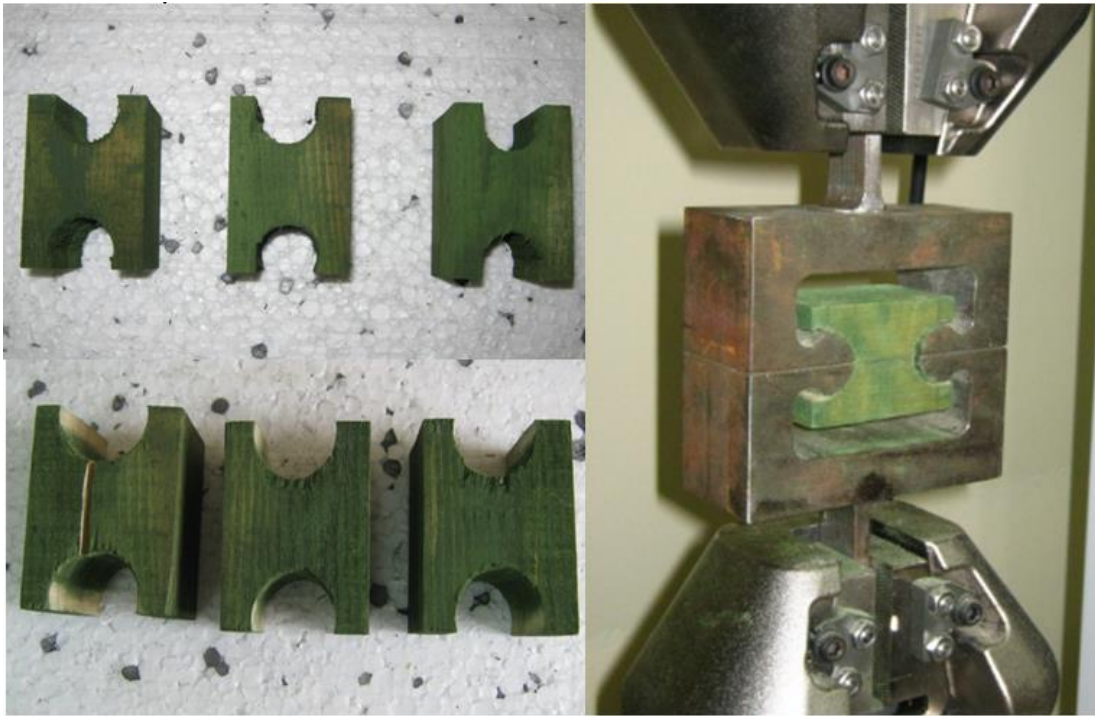


Şekil 5.39. Krom oksit liflere paralel çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

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.

5.3.2. Liflere Dik Çekme Deneyi

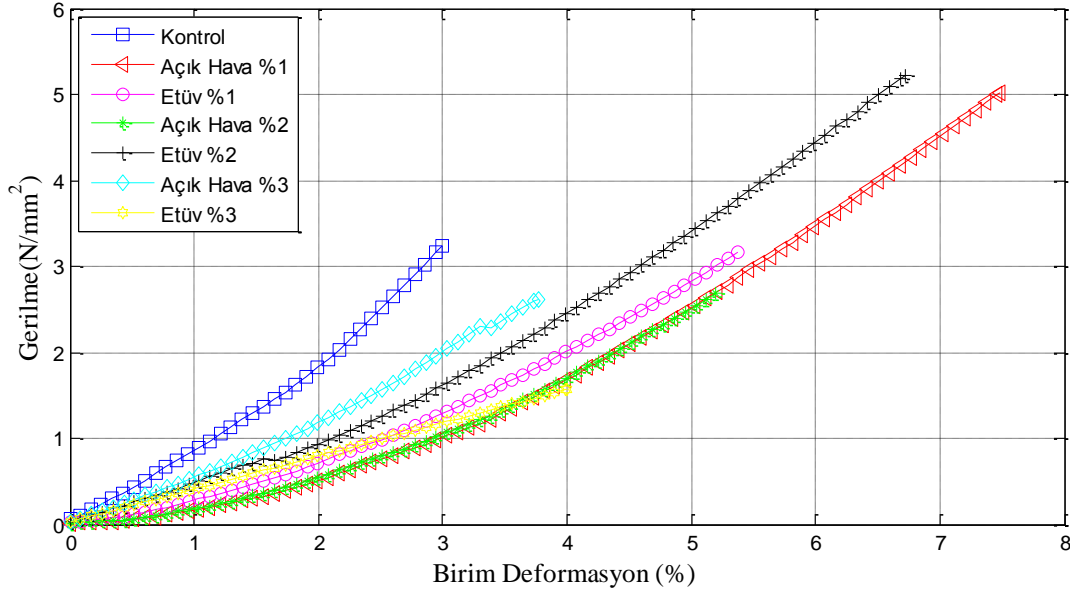
Liflere dik çekme deneyinde test hızı 2,5 mm/dk olarak alınmıştır. Hazırlanan test numuneleri aynı şartlarda hazırlanış ve deney öncesi nem oranlarının 15 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numuneye dik çekme deneyi uygulanmıştır (Şekil 5.40).



Şekil 5.40. Krom oksit nano Parçacık empenye edilmiş dik 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 yük-sehim (N - mm) değerleri gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülerek herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilerek tüm

numune gruplarının yer aldığı bir Gerilme-Birim deformasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 5.41).



Şekil 5.41. Krom oksit liflere dik çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği

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 5.14).

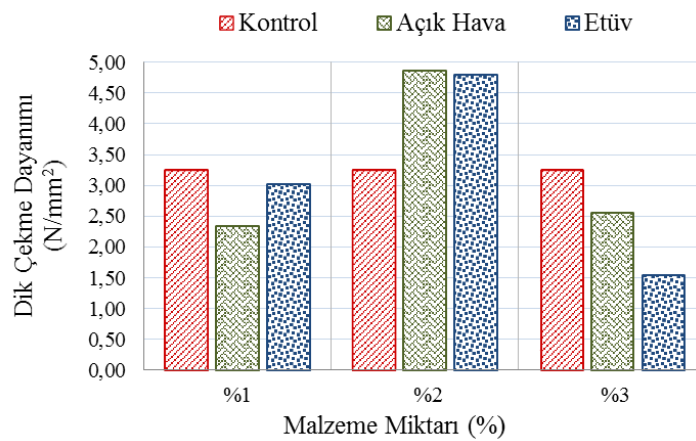
Tablo 5.14. Krom oksit dik çekme deneyi gerilme-birim deformasyon ve değişim değerleri tablosu

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

Tablo 5.14 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 2,34 MPa, yüzde

uzaması 5,33 , %1 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 3,01 MPa, yüzde uzaması 5,60 , %2 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 4,86 MPa, yüzde uzaması 6,63 , %2 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 4,80 MPa, yüzde uzaması yüzde uzaması 6,9 , %3 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 2,55 MPa, yüzde uzaması 3,46 , %3 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 1,54 MPa, yüzde uzaması 3,6 olduğu tespit edilmiştir.

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 5.42).

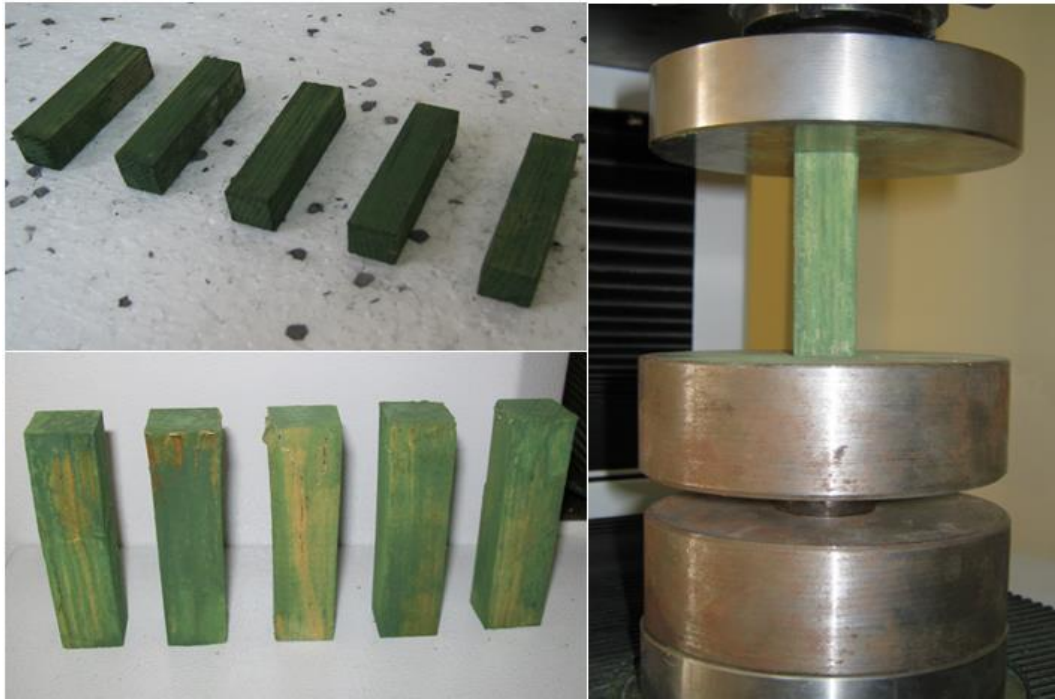


Şekil 5.42. Krom oksit liflere dik çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

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.

5.3.3. Liflere Paralel Basınç Deneyi

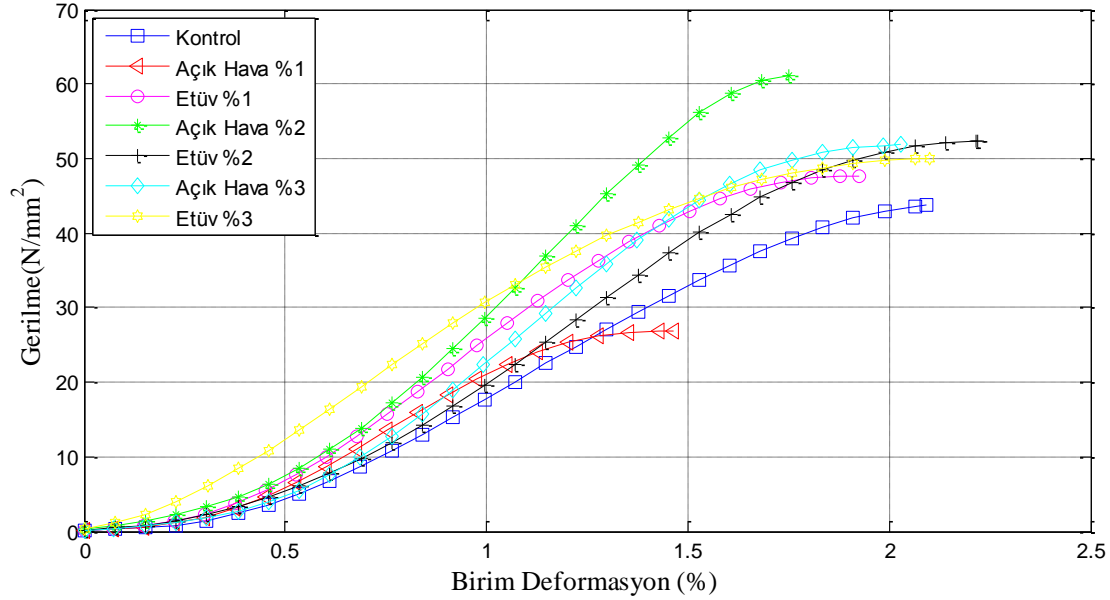
Liflere paralel basınç deneyinde test hızı 0,3 mm/dk olarak alınmıştır. Hazırlanan test numuneleri aynı şartlarda hazırlanmış ve deney öncesi nem oranları $\%15 \pm 3$ olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numune paralel basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 5.43).



Şekil 5.43. Krom oksit nano Parçacık emprenye edilmiş paralel basınç deney düzeneği ve numuneleri

Paralel basınç deneyi 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 yük-sehim (N - mm) değerleri gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülerek

herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilmiş ve tüm numune gruplarının yer aldığı bir Gerilme-Birim deformasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 5.44).



Şekil 5.44. Krom oksit liflere paralel basınç deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği

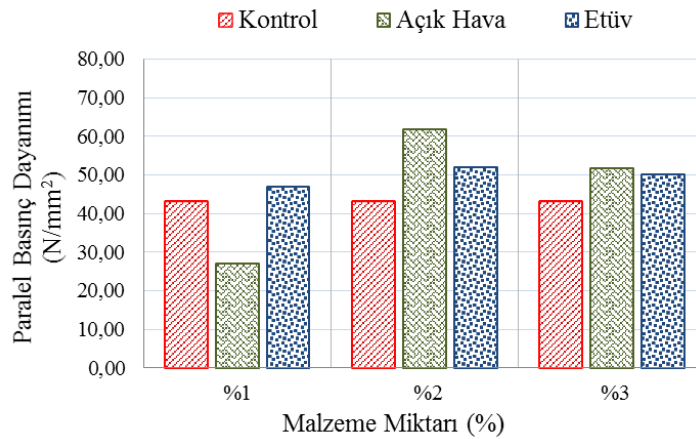
Ayrıca deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından her numuneye ait standart sapma değerleri içerisinde yer alan 3'er numunenin gerilme - birim deformasyon değerleri, bu numunelere ait ortalama değerler ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranlarının yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 5.15).

Tablo 5.15. 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

Tablo 5.15 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 26,96 MPa, yüzde uzaması 1,60 , %1 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 46,88 MPa, yüzde uzaması 1,9 , %2 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 61,79 MPa, yüzde uzaması 2,10 , %2 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 51,91 MPa, yüzde uzaması 2,2 , %3 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 51,72 MPa, yüzde uzaması 1,98 , %3 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 50,06 MPa, yüzde uzaması 2,29 olduğu tespit edilmiştir.

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 empenye edilen numuneler incelendiğinde Açık havada kurutulan 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 empenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan 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.



Şekil 5.45. Krom oksit liflere paralel basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Deney sonuçlarının gerilme değerleri yönünden numuneler arasındaki değişimlerin daha anlaşılabilir olması açısından ortalama değerler grafiği çizilmiştir (Şekil 5.45).

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 içerisindeki en iyi paralel basınç gerilmesi % 2 açık hava numunelerinde elde edilmiştir.

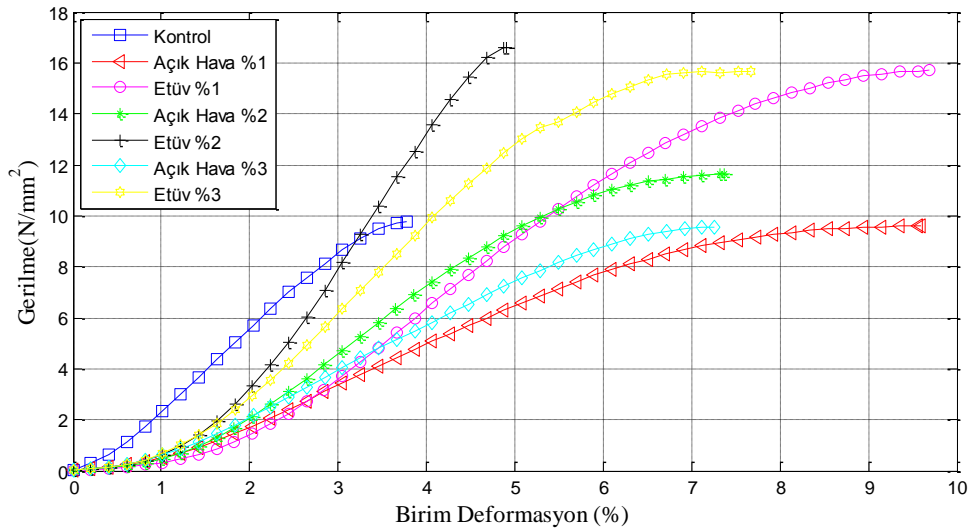
5.3.4. Liflere Dik Basınç Deneyi

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 5.46).



Şekil 5.46. Krom oksit nano Parçacık empenye edilmiş dik basınç deney düzeneği ve numuneleri

Dik basınç deneyi 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 grubundan elde edilen yük-sehim (N - mm) değerleri gerilme-birim deformasyon (MPa - %) değerlerine dönüştürülerek herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilmiş ve tüm numune gruplarının yer aldığı bir Gerilme-Birim deformasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 5.47).



Şekil 5.47. Krom oksit liflere dik basınç deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği

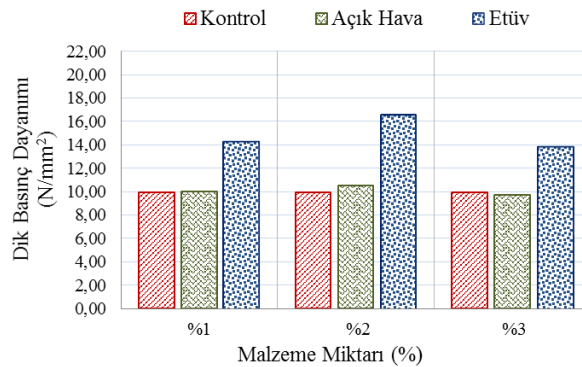
Ayrıca deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından her numuneye ait standart sapma değerleri içerisinde yer alan 3'er numunenin gerilme - birim deformasyon değerleri, bu numunelere ait ortalama değerler ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranlarının yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 5.16).

Tablo 5.16. 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

Tablo 5.16 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 10,01 MPa, yüzde uzaması 8,77 , %1 etüv numuneleri ortalama gerilmesi 14,24 MPa, yüzde uzaması 10,87 , %2 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 10,52 MPa, yüzde uzaması 6,13 , %2 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 16,48 MPa, yüzde uzaması 7,27, %3 açık hava numuneleri ortalama gerilmesi 9,73 MPa, yüzde uzaması 7,41 , %3 Etüv numuneleri ortalama gerilmesi 13,82 MPa, yüzde uzaması 7,47 olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde gerilmeye 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 emprenye 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 emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama gerilmeye 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 5.48).



Şekil 5.48. 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.

5.3.5. 3 Nokta Eğilme Deneyi

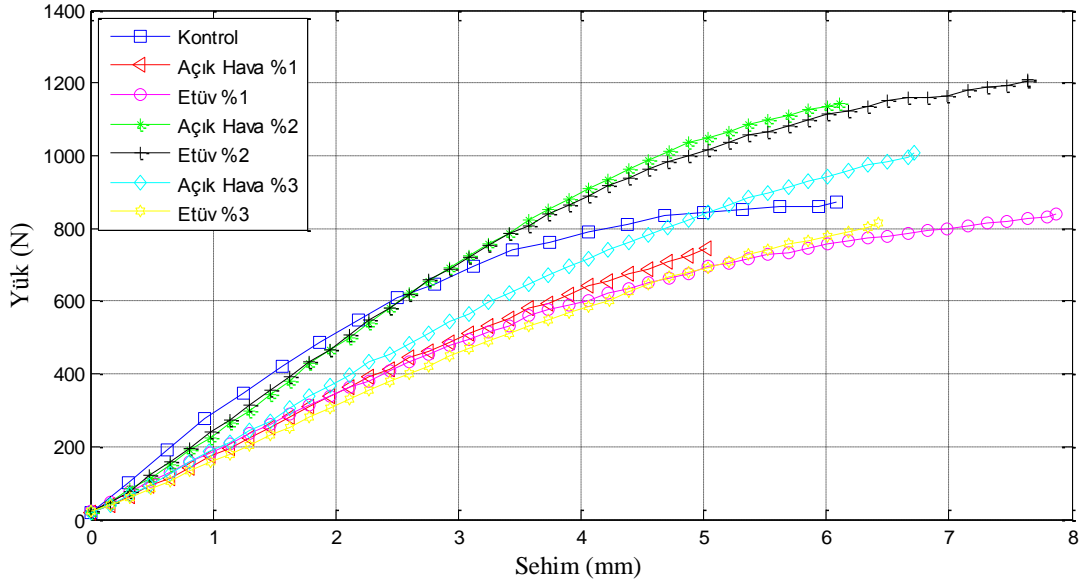
Üç nokta eğilme deneyinde test hızı 2,5 mm/dk olarak alınmıştır. Hazırlanan test numuneleri aynı şartlarda hazırlanmış ve deney öncesi nem oranları 15 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numune 3 nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 5.49).



Şekil 5.49. Krom oksit nano Parçacık empenye edilmiş üç nokta eğilme deney düzeneği ve numuneleri

Eğilme deneyi sonucunda; kontrol numuneleri, ağırlıkça %1, %2, %3 oranında krom oksit emdirilmiş ve açık havada kurutulmuş, ve yine aynı oranlarda krom oksit

emdirilmiş ve etüvde kurutulmuş toplam 7 numune gurubundan test sonucu elde edilen yük-sehim (N - mm) değerleri alınarak herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilmiş ve tüm numune gruplarının yer aldığı bir yük-sehim grafiği çizilmiştir (Şekil 5.50).



Şekil 5.50. Krom oksit üç nokta eğilme deneyleri yük-sehim grafiği

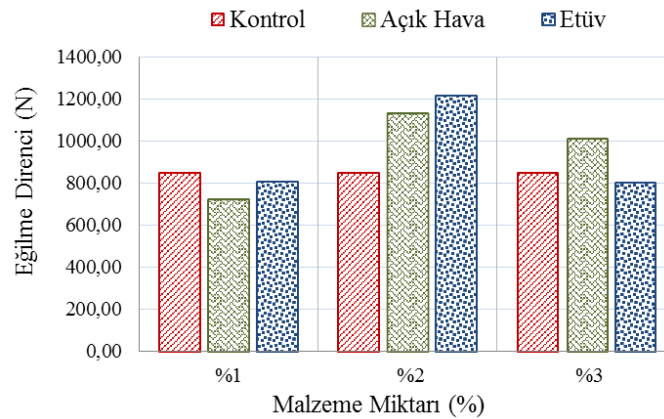
Ayrıca deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından her numuneye ait standart sapma değerleri içerisinde yer alan 3'er numunenin yük-sehim değerleri, bu numunelere ait ortalama değerler ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranlarının yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 5.17).

Tablo 5.17. Krom oksit üç nokta eğilme deneyi yük-sehim ve değişim değerleri tablosu

Uygulama Türü	1. Numune		2. Numune		3. Numune		Ortalama		Gerilme % Değişim	Sehim % Değişim
	Yük (N)	Sehim (mm)	Yük (N)	Sehim (mm)	Yük (N)	Sehim (mm)	Yük (N)	Sehim (mm)		
Kontrol	876,56	6,07	871,88	6,08	793,75	6,02	847,40	6,06	0	0
%1 Açık Hava	709,38	6,44	743,75	5,02	709,38	8,36	720,84	6,61	-15	9
%1 Etüv	870,31	8,72	839,06	7,87	706,25	8,70	805,21	8,43	-5	39
%2 Açık Hava	1034,38	5,15	1142,19	6,11	1215,63	7,23	1130,73	6,16	33	2
%2 Etüv	1207,81	7,64	1337,50	8,21	1103,13	8,23	1216,15	8,03	44	33
%3 Açık Hava	1009,38	6,72	993,75	6,58	1032,81	6,88	1011,98	6,73	19	11
%3 Etüv	748,48	4,84	842,19	5,35	814,06	6,43	801,58	5,54	-5	-9

Tablo 5.17 incelendiğinde Kontrol numunelerinde ortalama eğilme direnci 847,4 N, ortalama sehim değeri ise 6,06 mm olarak bulunmuştur. Diğer numuneler sırasıyla %1 açık hava numuneleri eğilme dayanımı 720,84 N, sehim miktarı 6,61 mm , %1 Etüv numuneleri ortalama eğilme dayanımı 805,21 N, sehim miktarı 8,43 mm, %2 açık hava numuneleri ortalama eğilme dayanımı 1130,73 N, sehim miktarı 6,16 mm, %2 Etüv numuneleri ortalama eğilme dayanımı 1216,15 N, sehim miktarı 8,03 mm, %3 açık hava numuneleri ortalama eğilme dayanımı 1011,98 N, sehim miktarı 6,73 mm, %3 Etüv numuneleri ortalama eğilme dayanımı 801,58 N, sehim miktarı 5,54 mm olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde yükün %15 oranında düştüğü, sehimim %9 oranında arttığı görülmüştür. %1 etüv numunelerinde %5 oranında yük düşüşü ve %39 oranında daha çok sehim yaptığı gözlenmiştir. %2 oranında krom oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde açık havada kurutulan numunelerin ortalama yük değerlerinde %33 oranında arttığı, sehim açısından belirgin bir değişim olmadığı görülmüştür. Etüvde kurutulmuş numunelerinde ise yük değerinin %44 oranında arttığı, sehim miktarının ise %33 oranında arttığı tespit edilmiştir. Son olarak %3 oranında krom oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama yük değerlerinde %19 oranında, sehim değerlerinin ise %11 oranında arttığı, Etüvde kurutulmuş numunelerde %5 oranında düşüş olduğu, sehim değerleri açısından %9 oranında düşüş gözlenmiştir. Yük değerleri açısından numuneler arasındaki değişimlerin daha anlaşılabilir olması açısından eğilme direnci ortalama değerler grafiği çizilmiştir (Şekil 5.51).

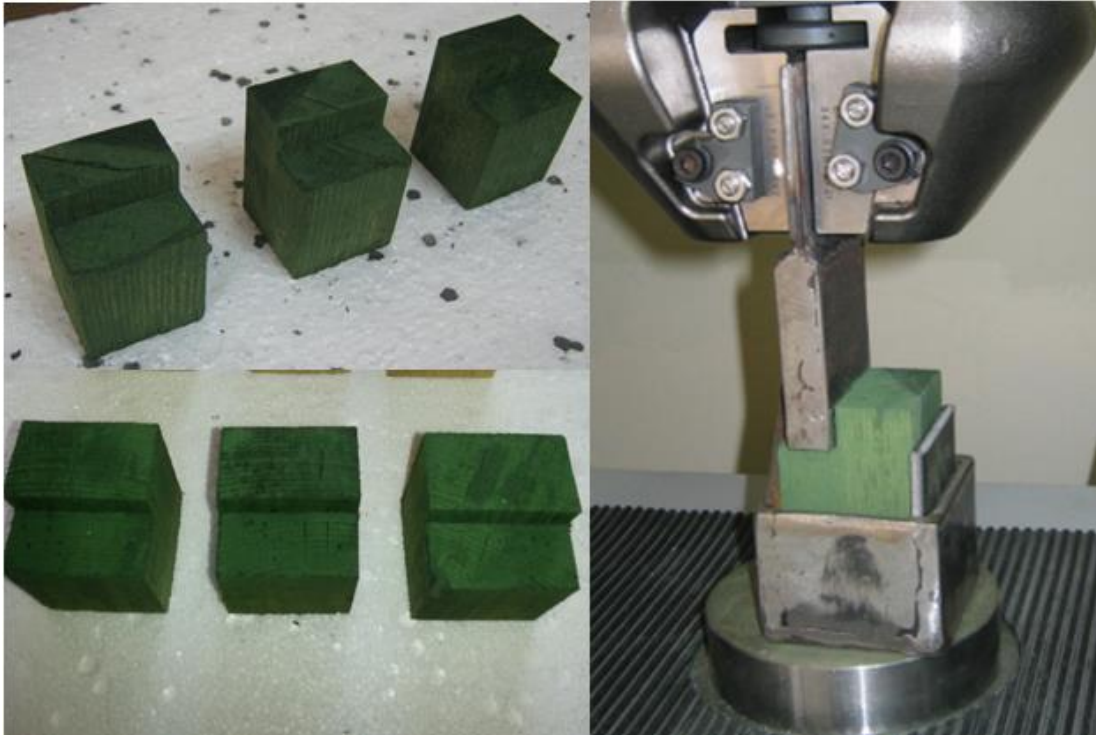


Şekil 5.51. Krom oksit üç nokta eğilme deneyi ortalama yük değerleri grafiği

Sonuç olarak krom oksitin ahşabın eğilme direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde %2 açık hava ve etüv numuneleri ile % 3 açık hava numunelerinde yük artışı, diğer üç numune grubunda düşüş olduğu gözlenmiştir. Sehim değerleri açısından %3 etüv numuneleri dışındaki tüm numunelerde artış olduğu görülmektedir. Tüm numune grupları içerisindeki en iyi eğilme direncini ise %44 artış ile %2 etüv numunelerinden elde edilmiştir.

5.3.6. Liflere Paralel Kesme Deneyi

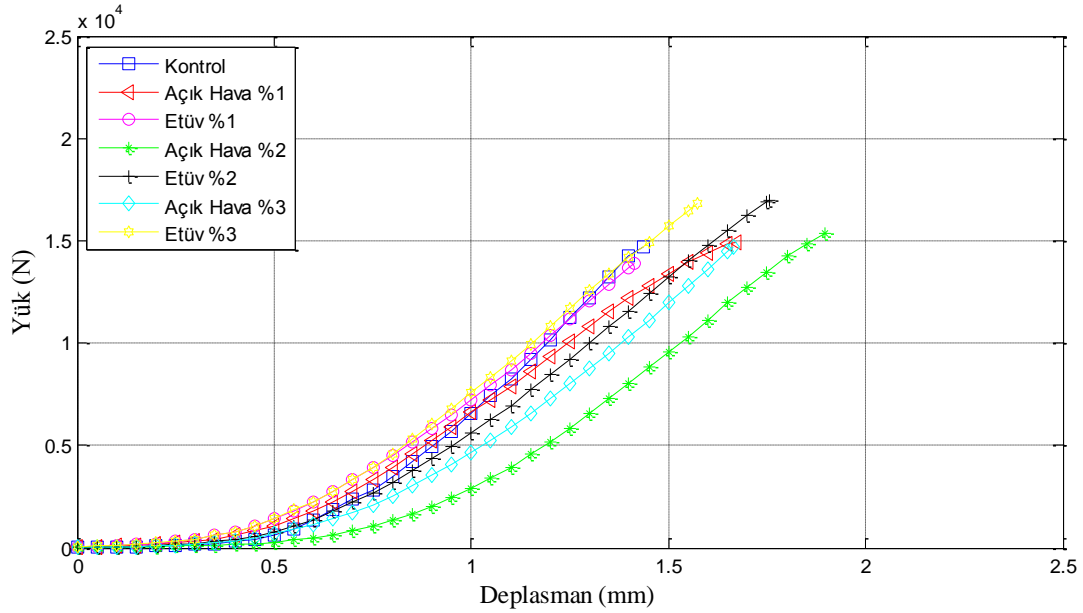
Liflere paralel kesme deneyinde test hızı 0,6 mm/dk olarak alınmıştır. Hazırlanan test numuneleri aynı şartlarda hazırlanış ve deney öncesi nem oranları 15 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir. 7 farklı numune türünden 5'er numune liflere paralel kesme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 5.52).



Şekil 5.52. Krom oksit nano Parçacık empenye edilmiş paralel kesme deney düzeneği ve numuneleri

Kesme deneyi 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 yük-

deplasman (N-mm) değerleri alınarak herbir grubu temsil edebilecek ortalama değerlere yakın bir numune seçilmiş ve tüm numune gruplarının yer aldığı bir yük-deplasman grafiği çizilmiştir (Şekil 5.53).



Şekil 5.53. Krom oksit liflere paralel kesme deneyleri yük-deplasman grafiği

Ayrıca deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından her numuneye ait standart sapma değerleri içerisinde yer alan 3'er numunenin yük - deplasman değerleri, bu numunelere ait ortalama değerler ve bu değerlerin kontrol numunelerine göre değişim oranlarının yer aldığı bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 5.18).

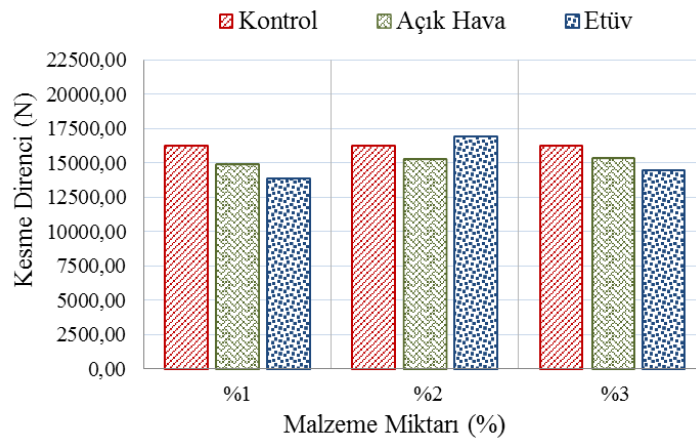
Tablo 5.18. Krom oksit paralel kesme deneyi yük-deplasman ve değişim değerleri tablosu

Uygulama Türü	1. Numune		2. Numune		3. Numune		Ortalama		Yük % Değişim	Deplasman % Değişim
	Yük (N)	Deplasman (mm)	Yük (N)	Deplasman (mm)	Yük (N)	Deplasman (mm)	Yük (N)	Deplasman (mm)		
Kontrol	15460,94	2,23	16870,31	2,05	16385,94	1,69	16239,06	1,99	0	0
%1 Açık Hava	14945,31	1,67	14457,81	1,47	15325,00	1,63	14909,37	1,59	-8	-20
%1 Etüv	14609,38	1,77	13045,31	1,38	13859,38	1,42	13838,02	1,52	-15	-23
%2 Açık Hava	15492,19	2,01	15390,63	1,90	15076,56	1,75	15319,79	1,88	-6	-5
%2 Etüv	16957,81	1,76	16498,44	1,86	17393,75	1,72	16950,00	1,78	4	-11
%3 Açık Hava	17026,56	1,84	14684,38	1,66	14378,13	1,88	15363,02	1,79	-5	-10
%3 Etüv	13089,88	1,54	13548,44	1,66	16815,85	1,57	14484,72	1,59	-11	-20

Tablo 5.18 incelendiğinde Kontrol numunelerinde ortalama kesme direnci 16239,06 N, ortalama deplasman değeri ise 1,99 mm olarak bulunmuştur. Diğer numuneler

sırasıyla %1 açık hava numuneleri eğilme dayanımı 14909,37 N, deplasman miktarı 1,59 mm , %1 etüv numuneleri ortalama kesme direnci 13838,02 N, deplasman miktarı 1,52 mm, %2 açık hava numuneleri ortalama kesme direnci 15319,79 N, deplasman miktarı 1,88 mm, %2 etüv numuneleri ortalama kesme direnci 16950,00 N, deplasman miktarı 1,78 mm, %3 açık hava numuneleri ortalama kesme direnci 15363,02 N, deplasman miktarı 1,79 mm, %3 etüv numuneleri ortalama kesme direnci 14484,72 N, deplasman miktarı 1,59 mm olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bu değerler kontrol numuneleri değerleriyle karşılaştırıldığında %1 açık hava numunelerinde %8 oranında yük düşüşü olduğu ve %20 oranında daha az yer değişimi yaptığı, %1 etüv numunelerinde ise %15 oranında yük düşüşü olduğu ve %23 oranında daha az yer değişimi yaptığı gözlenmiştir. %2 oranında krom oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde açık havada kurutulan numunelerin ortalama yük değerleri ile deplasman değerlerinde %6 oranında düşüş olduğu, etüvde kurutulmuş numunelerinde ise yük değerinin %4 arttığı ve %11 oranında daha az yer değişimi yaptığı görülmüştür. Son olarak %3 oranında krom oksit emprenye edilen numuneler incelendiğinde ise açık havada kurutulan numunelerin ortalama yük değerlerinde %5 oranında düşüş olduğu, deplasman değerlerinin ise %10 oranında düştüğü, etüvde kurutulmuş numunelerde %11 oranında yük düşüşü ve % 20 oranında daha az deplasman yaptığı gözlenmiştir. Yük değerleri açısından numuneler arasındaki değişimlerin daha anlaşılabilir olması açısından aşağıda kesme direnci ortalama değerler grafiği verilmiştir (Şekil 5.54).



Şekil 5.54. Krom oksit liflere paralel kesme deneyi ortalama yük değerleri grafiği

Şekil 5.54'te görüldüğü üzere tüm numunelerde kesme dayanımında belirli oranda düşüş olduğu ancak bu numune grupları içerisindeki en iyi kesme direncini % 2 etüv numuneleri sağlamıştır.

Sonuç olarak tüm deney gruplarında ve tüm malzemelerde nano malzemelerin mekanik dayanım üzerindeki etkisi incelendiğinde, % 2 konsantrasyonlu numuneler dışında tüm numunelerde farklı oranlarda bir yük düşüşü olduğu görülmektedir. Bu durum %1 ve %3 konsantrasyonlu numunelerin IR analizlerinde de görüldüğü üzere nano parçacıkların sert odunsu yapıyı oluşturan ligninlerle reaksiyona girip bu yapıyı indirgemesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca sıcaklıktan dolayı etüv numunelerinde daha fazla etkileşim olduğu ifade edilebilir.

Bu bölümde yapılan deneyler sonucunda; ahşaba emprenye edilmiş bakır, krom ve bor nano parçacıklar ayrı ayrı etkileri irdelendiğine mekanik direnç açısından nano parçacık çeşidinin etkisinin düşük olduğu yani tüm nano malzemelerde aynı deney gurupları içerisinde benzer sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar dikkate alındığında üretilecek nano CCB malzemesinin hali hazırda en yaygın kullanılan malzeme oranlarıyla oluşturulmasına karar verilmiştir. Literatürde yer alan bu oranların kullanılması, bize bu çalışmada oran etkilerinin göz ardı edilmesi konusunda kolaylık sağlayacaktır. Öte yandan tüm deney gruplarında en yüksek dayanım sergileyen numuneler %2 konsantrasyonlu numuneler olduğundan, nano CCB emprenye solüsyonunun da sadece %2 konsantrasyonlu olarak hazırlanmasına karar verilmiştir. Bu nedenle %1 ve %3 oranlarının göz ardı edilecektir.

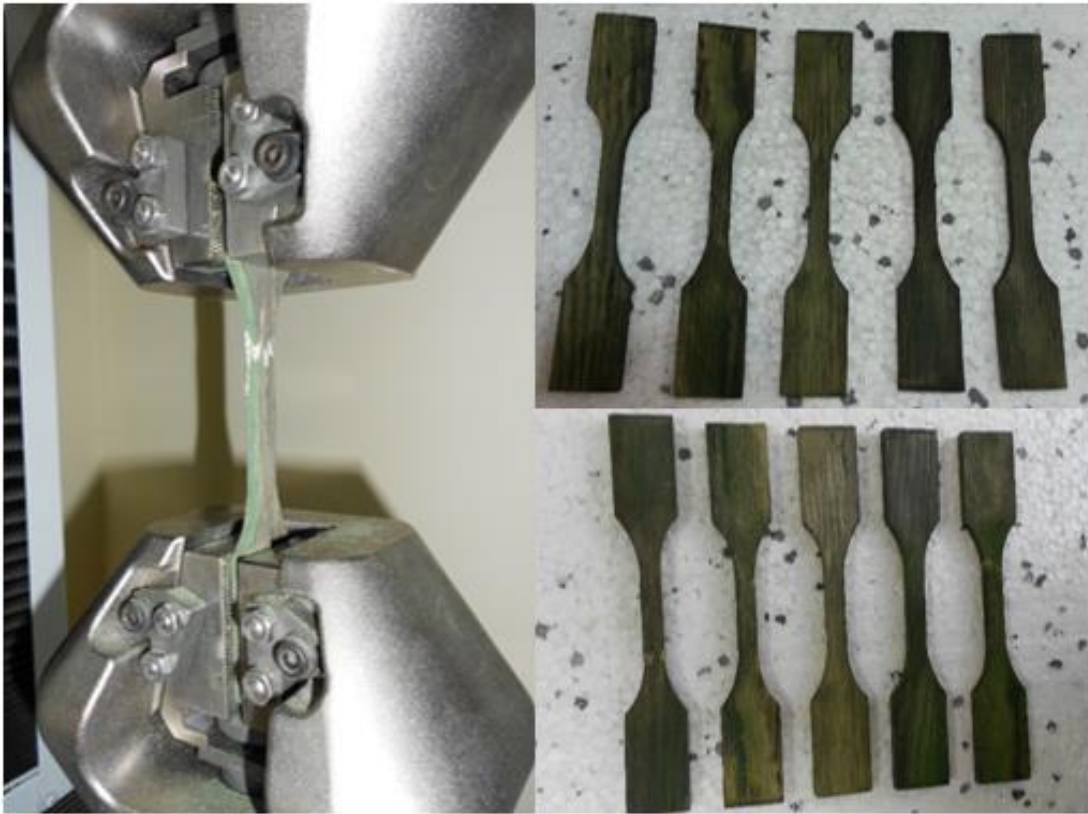
BÖLÜM 6. NANO CCB EMPRENYE EDİLMİŞ NUMUNELERİN MEKANİK DENEY SONUÇLARI

Bir önceki bölümde farklı parametreler ile yapılan deneysel çalışmalar da elde edilen veriler değerlendirilerek en yüksek mekanik dayanım değerlerini veren malzeme türü ve malzeme miktarı belirlenmiştir. Yukarıdaki veriler incelendiğinde mekanik dayanım açısından tüm numunelerde, malzeme miktarı belirgin bir şekilde etki etmiştir. Sonuç olarak %1 oranında nano parçacık emprenye edilen numunelerde genel olarak %20 oranında dayanımın düştüğü, %2 malzeme emprenye edilen numunelerde dayanımın %50 oranında arttığı, %3 oranında solüsyon emprenye edilen numunelerde ise kontrol numunelere göre ancak %20 oranında mekanik dayanımın iyileştiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında ahşaba emprenye edilecek nano CCB malzemesinin %2 oranında hazırlanmasına karar verilmiştir. Ancak bu nano CCB karışımını oluşturacak madde miktarları oranı ise hâlihazırda piyasada kullanılan CCB emprenye tuzlarında kullanılan madde miktarları esas alınmıştır. Çünkü yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen IR sonuçlarına göre emprenye edilen metal oksit nano parçacıklar ahşapla güçlü bir reaksiyona girmediğinden malzeme çeşidi ahşabın mekanik dayanımına sınırlı bir şekilde etki ettiği tespit edilmiştir. Bu sınırlı etkinin nano parçacıkların ahşabın içerisinde homojen dağılımının en iyi olduğu bakır oksit numunelerinde biraz daha yüksek, ahşabın içerisine homojen dağılmayan krom oksit numunelerde düşük olduğu gözlemlenmiştir. Malzemenin ahşabın içerisinde homojen dağılması fiziki şartlara bağlı olup, nano parçacık boyutları, emprenye teknikleri, ahşabın cinsi veya dispersiyon sistemlerinin değişmesi veya geliştirilmesi suretiyle aşılabileceği tahmin edilmektedir. Nano CCB emprenye maddesi, saf su içerisinde ağırlıkça %2 oranında bakır, krom, bor oksit nano parçacık içermektedir. Bu parçacıklarında kendi içerisindeki oranı özellikle ülkemizde ve Avrupa'da en yaygın kullanılan, bakır bileşenleri %36, krom bileşenleri %40 ve bor bileşenleri %24 olan CCB emprenye maddesi kompozisyonları kullanılmıştır (Kartal 1998).

Yukarda belirtilen oranlarda hazırlanan nano CCB emprenye maddesi disperse edildikten sonra ilgili standartlara göre hazırlanan ahşap numunelere emprenye edilmiştir. Emprenye edilen numuneler iki farklı sıcaklıkta kurutulduktan sonra mekanik testlere tabi tutulmuştur. Test sonuçları aşağıda verilmiştir.

6.1. Liflere Paralel Çekme Deneyi

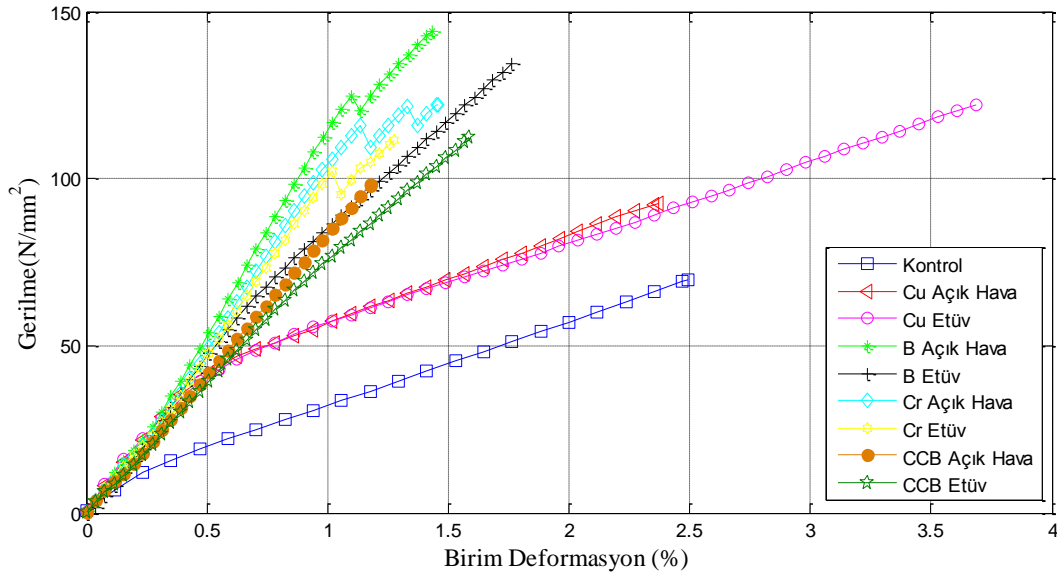
%2 konsantrasyonlu solüsyonda emprenye edilen çekme numuneleri iki farklı sıcaklıkta kurutulmuş 5'er numune çekme testine tabi tutulmuştur. (Şekil 6.1). Deney test hızı diğer çekme testlerinde olduğu gibi hızı 1 mm/dk olarak alınmıştır. Numunelerin deney öncesi nem oranları $\%15 \pm 3$ olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 6.1. CCB nano Parçacık emprenye edilmiş paralel çekme deney düzeneği ve numuneleri

Yapılan liflere paralel çekme testleri sonucunda %2 CCB nano parçacık emprenye edilen numune sonuçları, gerilme-birim deformasyon değerleri açısından diğer aynı oranda malzeme emprenye edilmiş numunelerle kıyaslandığında (Şekil 6.2), CCB

nano parçacık empenye edilen numuneler birim deformasyonu açısından krom ve bor oksitli numunelere, gerilme değerleri açısından ise bakır oksit empenye edilmiş numunelere daha yakın davranış sergilediği ve sayısal değerlerinde bu duruma paralel olduğu tespit edilmiştir. CCB empenyesi, ahşabı daha gevrek fakat daha fazla çekme dayanımına ulaşmasını sağlamıştır.



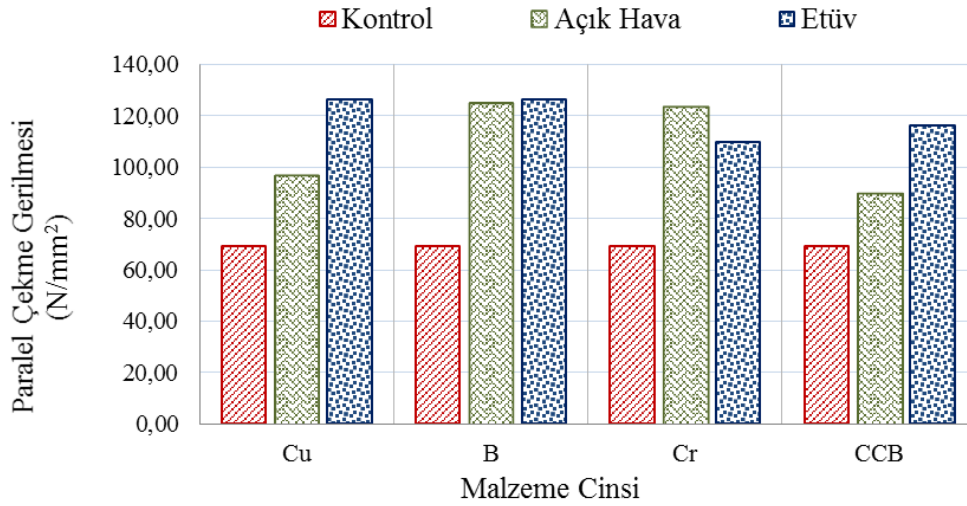
Şekil 6.2. %2 konsantrasyonlu tüm numunelerin liflere paralel çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği

Elde edilen gerilme-birim deformasyon değerleri kontrol numuneleri ile kıyaslandığında etüvde kurutulmuş numuneler %33 oranında daha az birim deformasyonu ve %71 oranında daha yüksek çekme dayanımına ulaşılmıştır. Açık havada kurutulmuş numunelerde ise %54 oranında daha gevrek ve %30 oranında yüksek dayanım elde edilmiştir (Tablo 6.1).

Tablo 6.1. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için 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
Bakır Oksit Etüv	117,94	3,50	138,72	4,00	122,19	3,70	126,28	3,73	82	51
Bakır Oksit Açık Hava	77,72	1,00	103,19	1,10	109,81	1,40	96,91	1,17	40	-53
Bor Oksit Etüv	129,19	1,50	115,53	1,40	134,31	1,80	126,34	1,57	82	-36
Bor Oksit Açık Hava	144,19	1,40	117,44	1,30	113,53	1,60	125,05	1,43	81	-42
Krom Oksit Etüv	106,62	1,00	111,62	1,20	111,50	1,30	109,91	1,17	59	-53
Krom Oksit Açık Hava	111,62	1,10	122,19	1,50	136,91	1,40	123,57	1,33	78	-46
CCB Etüv	112,19	1,59	106,67	1,71	129,72	1,68	116,19	1,66	71	-33
CCB Açık Hava	84,83	1,20	98,12	1,18	87,57	1,03	90,17	1,13	30	-54

Paralel çekme dayanımı açısından kontrol numuneleri ile %2 solüsyon emprenye edilmiş diğer numuneler karşılaştırıldığında tüm numunelerde belirli oranlarda dayanım artışı olduğu görülmektedir. Numuneler kurutma sıcaklıkları açısından kıyaslandığında ise; bakır oksit numunelerde etüvde kurutulan numunelerin daha yüksek dayanım sergilediği, bor oksitli numunelerde kurutma sıcaklıklarının dayanımı etkilemediği, krom oksitli numunelerde ise açık havada kurutulan numuneler daha yüksek dayanım sergilediği görülmüştür (Şekil 6.3). CCB numunelerinde ise bakır oksitli numunelerde olduğu gibi etüvde kurutmanın çekme gerilmesi açısından daha etkili olduğu söylenebilir.

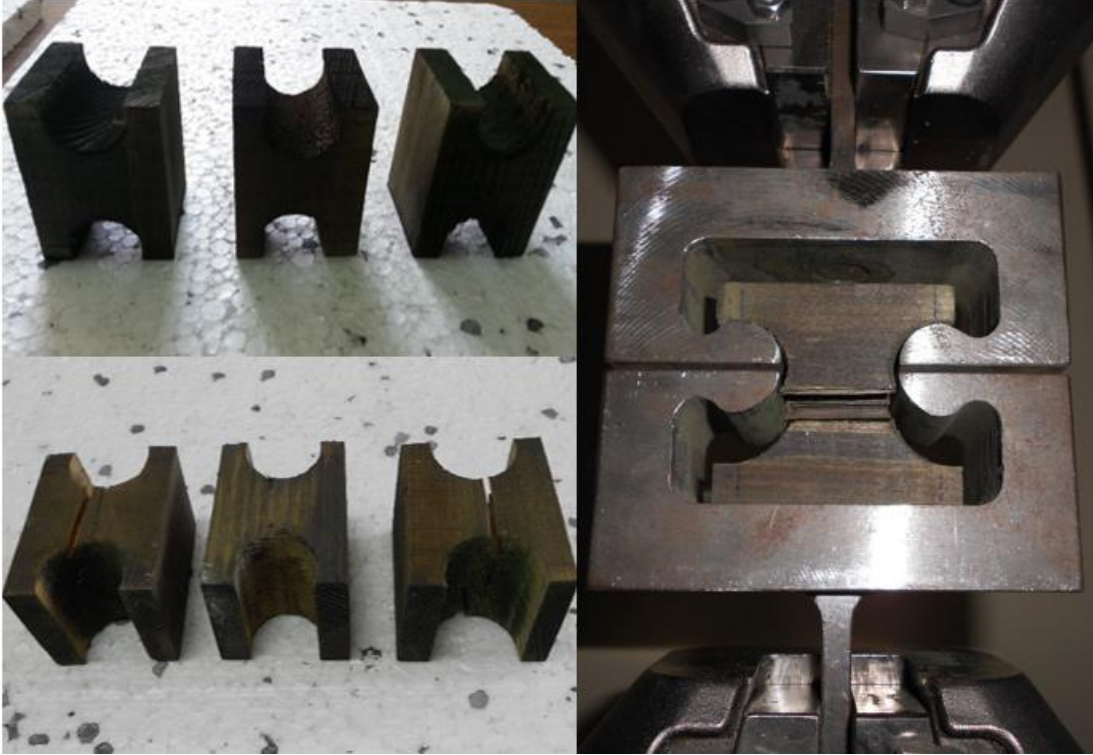


Şekil 6.3. %2 konsantrasyonlu tüm numunelerin liflere paralel çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak nano CCB numune değerleri, hem birim deformasyonları açısından hem de çekme dayanımları açısından diğer numune değerleri arasında veya yakın sonuçlar çıkmıştır. Bu durum ahşaba emprenye edilen söz konusu metal oksitlerin ayrı ayrı veya beraber emprenye edilmesi durumunda ahşap içerisindeki etkileşiminin aynı olduğu, kendi aralarında veya ahşap yapıyla fikstasyon reaksiyonuna girmediğini gösterir. Yapılan IR incelemeleri de bu durumu destekler niteliktedir. Bu nedenle elde edilen sonuçlar sağlıklı ve tutarlı olduğunu ifade edilebilir.

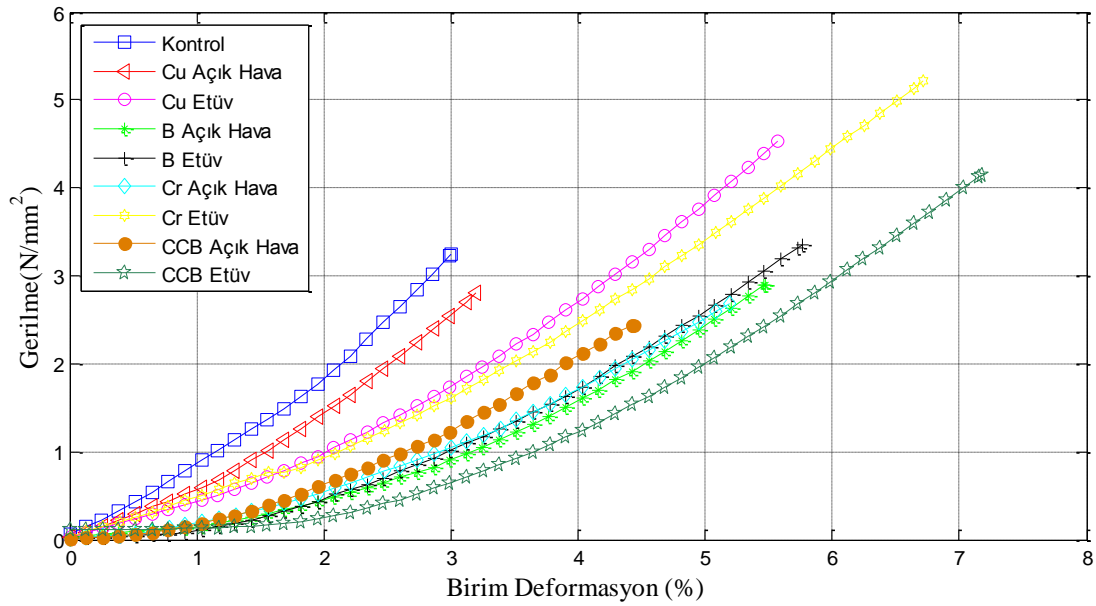
6.2.Liflere Dik Çekme Deneyi

Liflere dik çekme numuneleri iki farklı sıcaklıkta kurutulmuş ve 5'er numune çekme testine tabi tutulmuştur. (Şekil 6.4). Deney test hızı ilgili standartta belirtildiği gibi 2,5 mm/dk olarak alınmıştır. Deney numuneleri aynı şartlarda hazırlanmış ve deney öncesi nem oranlarının $\%15 \pm 3$ olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 6.4. CCB nano Parçacık emprenye edilmiş dik çekme deney düzeneği ve numuneleri

Liflere dik çekme deneyleri sonucunda $\%2$ CCB nano parçacık emprenye edilen numune sonuçları gerilme-birim deformasyon değerleri, diğer aynı oranda malzeme emprenye edilmiş numunelerle karşılaştırılması amacıyla tüm numunelerin liflere dik çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 6.5). CCB nano parçacık emprenye edilen numuneler birim deformasyonu açısından diğer malzemelerle benzer özellik sergilemiş ve malzemenin dik çekme sünekliğini artırmıştır. Gerilme değerleri açısından ise bakır oksit emprenye edilmiş numunelere yakın bir dayanım sergilediği tespit edilmiştir. CCB emprenyesi, ahşabı daha sünek hale getirmiş ve etüvde kurutulmuş numunelerde daha fazla çekme dayanımına ulaşması sağlanmıştır.



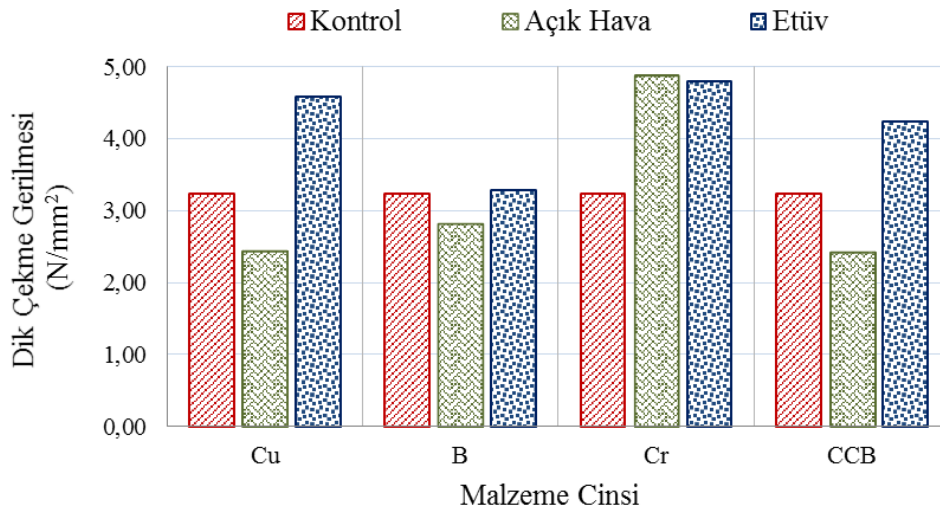
Şekil 6.5. %2 konsantrasyonlu tüm numunelerin liflere dik çekme deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği

Gerilme-birim deformasyon değerleri kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında etüvde kurutulan numunelerde %148 oranında daha fazla birim deformasyonu ve %31 oranında daha yüksek çekme dayanımına ulaşılmıştır. Açık havada kurutulan numunelerde ise %42 oranında daha sünek ancak %25 oranında daha düşük dayanım elde edilmiştir (Tablo 6.2). Bu durum lifler arasında yerleşen taneciklerin yüksek sıcaklıklarda lifler arasında daha güçlü bağ oluşturduğu, açık havada ise daha zayıf etkileşimin olduğu ahşap yapı arasında mekanik çözülmeye neden olduğu, bu nedenle dayanımın düştüğü ifade edilebilir.

Tablo 6.2. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için 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
Bakır Oksit Etüv	5,02	8,10	4,53	5,60	4,20	6,60	4,58	6,77	41	128
Bakır Oksit Açık Hava	2,32	3,80	2,81	3,20	2,15	5,10	2,43	4,03	-25	36
Bor Oksit Etüv	3,36	5,80	2,90	5,40	3,61	5,40	3,29	5,53	2	87
Bor Oksit Açık Hava	2,34	5,10	3,19	4,70	2,90	5,50	2,81	5,10	-13	72
Krom Oksit Etüv	5,37	7,50	5,22	6,70	3,81	6,50	4,80	6,90	48	133
Krom Oksit Açık Hava	5,49	7,60	4,08	4,80	5,02	7,50	4,86	6,63	50	124
CCB Etüv	3,90	6,90	4,14	7,20	4,67	8,00	4,24	7,37	31	148
CCB Açık Hava	2,36	4,50	2,42	3,80	2,44	4,40	2,41	4,23	-25	42

Dik çekme testleri sonucunda kontrol numuneleri ile diğer numuneler karşılaştırıldığında (%2 solüsyon empenye edilmiş numunelere); bakır oksitli numunelerde etüvde kurutmanın olumlu sonuç verdiği, bor oksitli numunelerde dayanımın her iki durumda da çok fazla etkilenmediği, krom oksitli numunelerde her iki sıcaklığında aynı oranda olumlu olduğu tespit edilmiştir. CCB numunelerinde ise bakır oksitli numunelerde olduğu gibi etüvde kurutmanın dik çekme gerilmesi açısından daha olumlu olduğu söylenebilir (Şekil 6.6).

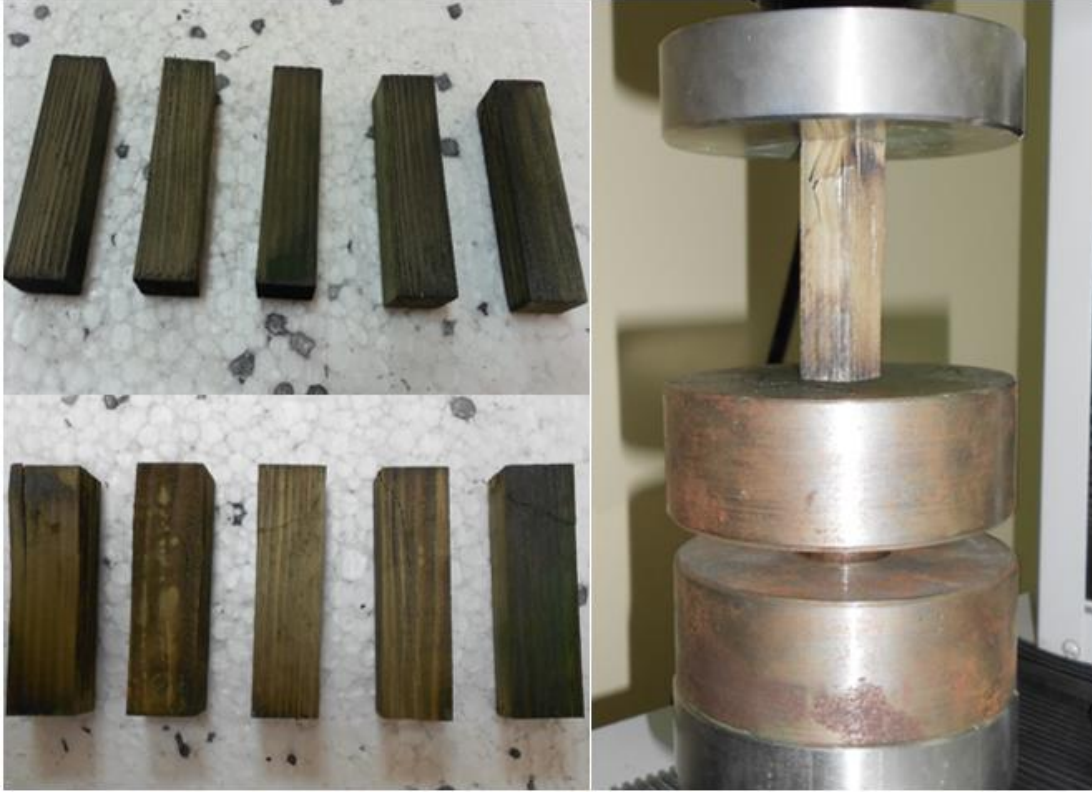


Şekil 6.6. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için liflere dik çekme deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

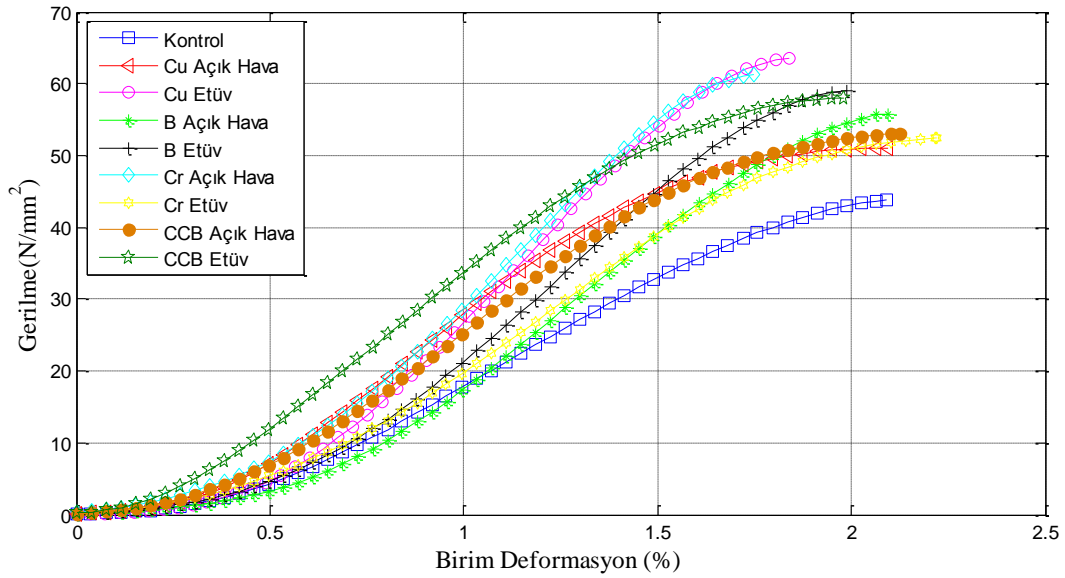
Sonuç olarak dik çekme testi sonucunda; nano CCB numunelerinden, hem birim deformasyonları açısından hem de dik çekme dayanımları açısından diğer numune değerleri arasında sonuçlar elde edilmiştir.

6.3.Liflere Paralel Basınç Deneyi

%2 konsantrasyonlu solüsyonda empenye edilen paralel basınç numuneleri iki farklı sıcaklıkta kurutulmuş ve 5'er numune paralel basınç testine tabi tutulmuştur. (Şekil 6.7). Liflere paralel basınç deneyinde test hızı 0,3 mm/dk olarak alınmıştır. Numunelerin deney öncesi nem oranları %15 ±3 olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 6.7. CCB nano Parçacık empenye edilmiş paralel basınç deney düzeneği ve numuneleri



Şekil 6.8. %2 konsantrasyonlu tüm numunelerin liflere paralel basınç deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği

Yapılan liflere paralel basınç deneyleri sonucunda CCB nano parçacık empenye edilen numunelerin, gerilme-birim deformasyon değerleri açısından diğer aynı oranda malzeme empenye edilmiş numunelerle kıyaslandığında (Şekil 6.8), CCB nano

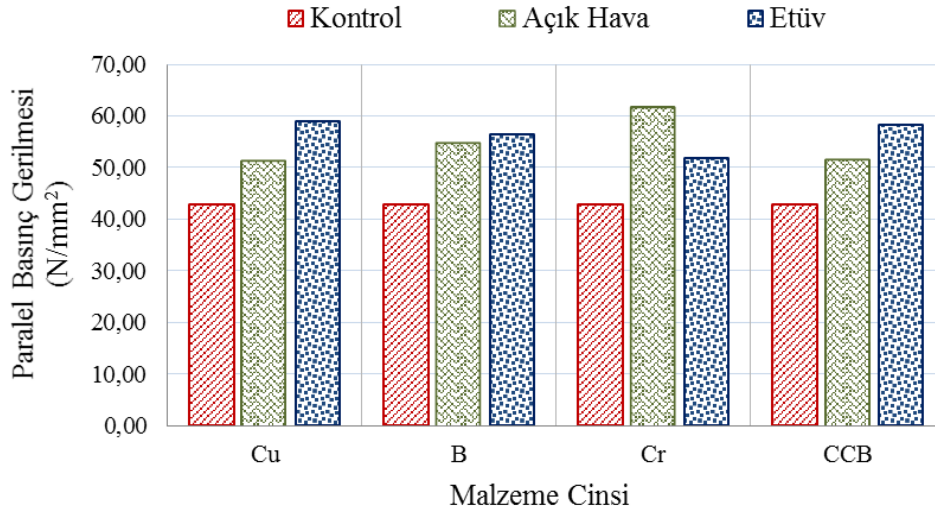
parçacık empenye edilen numuneler hem birim deformasyon hem de gerilme değerleri açısından tüm numunelerle paralel sonuç sergilediği görülmektedir. CCB empenyesi diğer numunelerde olduğu gibi, ahşabın birim deformasyonu değişiminde etkili olmadığı, basınç dayanımını da ~%30 oranında iyileştirdiği ifade edilebilir.

CCB numuneleri için yapılan basınç deneyi sonucunda elde edilen gerilme-birim deformasyon değerleri kontrol numuneleri ile kıyaslandığında etüvde kurutulan numuneler %3 oranında daha az birim deformasyonu ve %36 oranında daha yüksek paralel basınç dayanımına ulaşılmıştır. Açık havada kurutulan numunelerde ise %6 oranında daha gevrek ve %21 oranında yüksek dayanım elde edilmiştir (Tablo 6.3).

Tablo 6.3 %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için 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
Bakır Oksit Etüv	55,76	1,90	63,55	1,90	57,34	2,00	58,88	1,93	37	-8
Bakır Oksit Açık Hava	51,09	1,80	51,89	2,40	51,06	2,10	51,35	2,10	20	0
Bor Oksit Etüv	59,11	2,00	54,61	2,20	55,76	2,30	56,49	2,17	32	3
Bor Oksit Açık Hava	55,81	2,10	52,14	2,20	56,21	2,30	54,72	2,20	28	5
Krom Oksit Etüv	53,89	2,10	52,39	2,30	49,45	2,20	51,91	2,20	21	5
Krom Oksit Açık Hava	63,42	2,50	61,18	1,80	60,77	2,00	61,79	2,10	44	0
CCB Etüv	57,32	2,05	59,51	2,05	58,00	1,99	58,28	2,03	36	-3
CCB Açık Hava	48,31	1,96	53,56	1,86	53,02	2,14	51,63	1,98	21	-6

Paralel basınç dayanımı açısından kontrol numuneleri ile diğer numuneler karşılaştırıldığında tüm numunelerde belirli oranlarda dayanım artışı olduğu görülmektedir. Numuneler kurutma sıcaklıkları açısından kıyaslandığında ise; paralel çekme deney sonuçlarında olduğu gibi bakır oksit numunelerde etüvde kurutulan numunelerin daha yüksek dayanım sergilediği, bor oksitli numunelerde kurutma sıcaklıklarının dayanımı etkilemediği, krom oksitli numunelerde ise açık havada kurutulan numuneler daha yüksek dayanım sergilediği görülmüştür (Şekil 6.9). CCB numunelerinde ise yine bakır oksitli numunelerde olduğu gibi etüvde kurutmanın çekme gerilmesi açısından daha olumlu sonuç verdiği tespit edilmiştir.



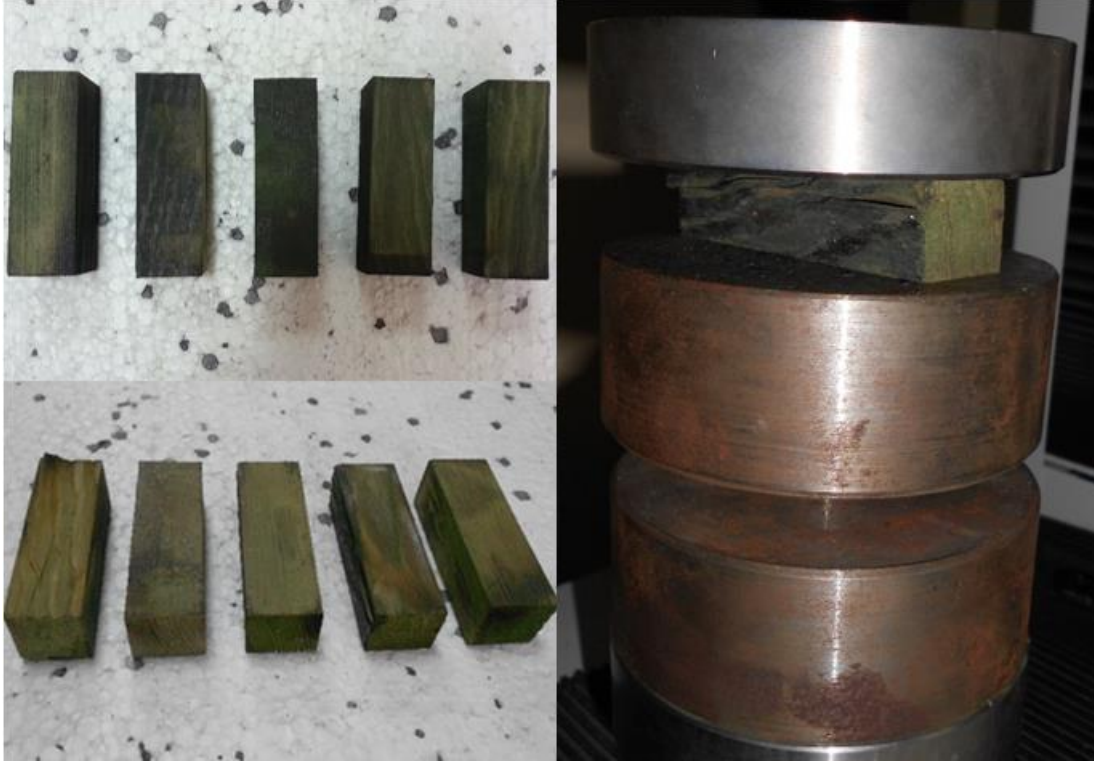
Şekil 6.9. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için liflere paralel basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak nano CCB numune değerleri, hem birim deformasyonları açısından hem de çekme dayanımları açısından diğer numune değerlerine paralel sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum paralel çekme sonuçlarının değerlendirilmesinde de ifade edildiği üzere beklentilerimiz doğrultusundadır.

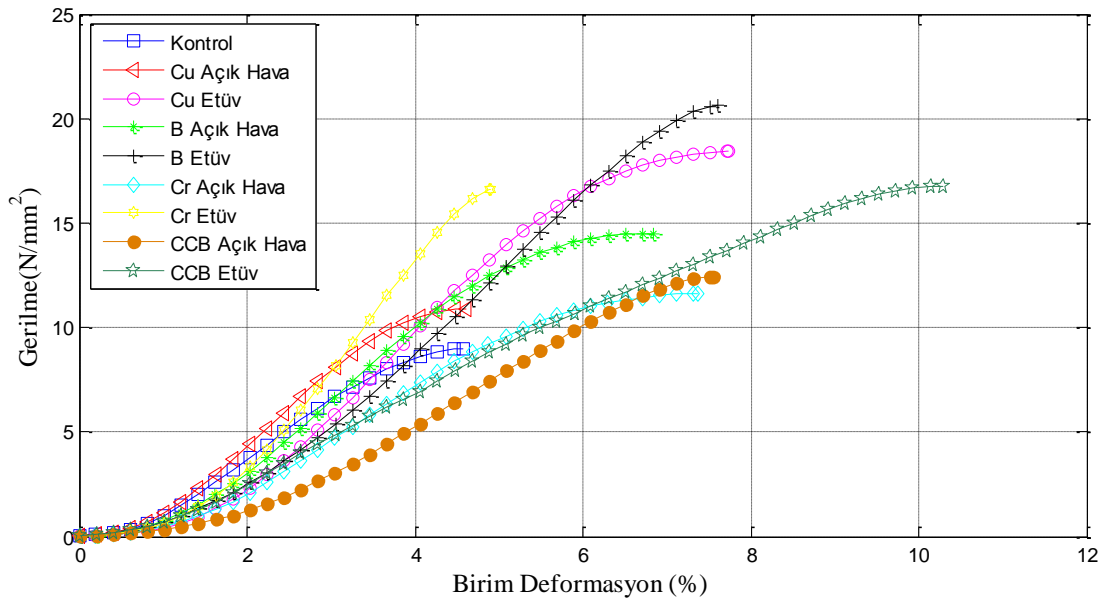
6.4.Liflere Dik Basınç Deneyi

Liflere dik basınç numuneleri iki farklı sıcaklıkta kurutulmuş ve 5'er numune çekme testine tabi tutulmuştur (Şekil 6.10). Deney test hızı ilgili standartta belirtildiği gibi 0,305 mm/dk olarak alınmıştır. Deney numuneleri aynı şartlarda hazırlanış ve deney öncesi nem oranlarının 15 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir.

Liflere dik basınç deneyleri sonucunda CCB nano parçacık emprenye edilen numune sonuçları gerilme-birim deformasyon değerleri, diğer aynı oranda malzeme emprenye edilmiş numunelerle karşılaştırılması amacıyla tüm numunelerin liflere dik basınç gerilme-birim deformasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 6.11). CCB nano parçacık emprenye edilen numuneler birim deformasyonu açısından diğer numunelere göre ahşabı daha sünek hale getirmiş, Gerilme değerleri açısından ise bakır ve krom oksit emprenye edilmiş numunelerle benzer bir dayanım sergilediği tespit edilmiştir. CCB emprenyesi, ahşabı kontrol numunelerine göre daha sünek hale getirmiş ve daha fazla çekme dayanımına ulaşması sağlanmıştır.



Şekil 6.10. CCB nano Parçacık empenye edilmiş dik basınç deney düzeneği ve numuneleri



Şekil 6.11. %2 konsantrasyonlu tüm numunelerin liflere dik basınç deneyleri gerilme-birim deformasyon grafiği

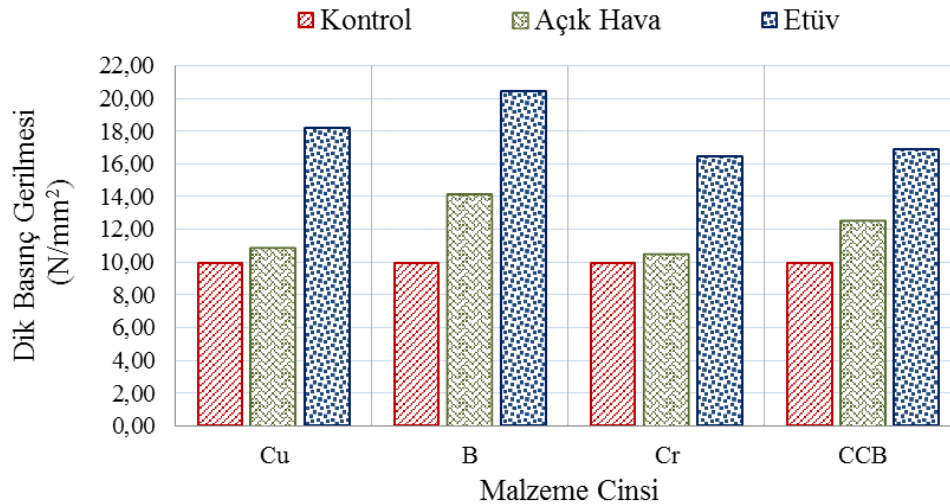
Etüvde kurutulan numunelerde %87 oranında daha fazla birim deformasyonu ve %70 oranında daha yüksek çekme dayanımına ulaşılmıştır. Açık havada kurutulan

numunelerde ise %60 oranında daha sünek ve %27 oranında daha yüksek dayanım elde edilmiştir (Tablo 6.4).

Tablo 6.4. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için 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
Bakır Oksit Etüv	18,47	7,70	17,55	6,60	18,49	6,70	18,17	7,00	83	57
Bakır Oksit Açık Hava	10,96	4,20	10,90	4,60	10,77	4,80	10,88	4,53	9	1
Bor Oksit Etüv	20,66	7,60	22,07	5,50	18,53	6,00	20,42	6,37	105	43
Bor Oksit Açık Hava	12,90	6,60	14,94	6,80	14,51	6,90	14,12	6,77	42	51
Krom Oksit Etüv	16,61	4,90	14,92	8,10	17,92	8,80	16,48	7,27	66	63
Krom Oksit Açık Hava	10,86	5,90	9,05	5,10	11,64	7,40	10,52	6,13	6	37
CCB Etüv	16,56	8,27	17,14	8,06	16,95	8,75	16,88	8,36	70	87
CCB Açık Hava	12,45	7,60	11,66	6,60	13,60	7,30	12,57	7,17	27	60

Dik basınç deneyleri sonucunda kontrol numuneleri ile diğer numuneler karşılaştırıldığında; etüvde kurutulan numunelerde kullanılan tüm emprenye çeşitlerinde daha yüksek düzeyde dik basınç dayanımı elde edilmiştir. Buna karşılık açık havada kurutulan numunelerde elde edilen artış daha sınırlıdır. Hatta bakır ve krom emprenye edilen numunelerdeki artış önemsenmeyecek kadar azdır (Şekil 6.12).



Şekil 6.12. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için liflere dik basınç deneyi ortalama gerilme değerleri grafiği

Sonuç olarak dik basınç deneyleri sonucunda; nano CCB numunelerinden, birim deformasyonları açısından tüm numunelere göre daha sünek ancak dik basınç dayanımları açısından ise diğer numune değerleri arasında sonuçlar elde edilmiştir.

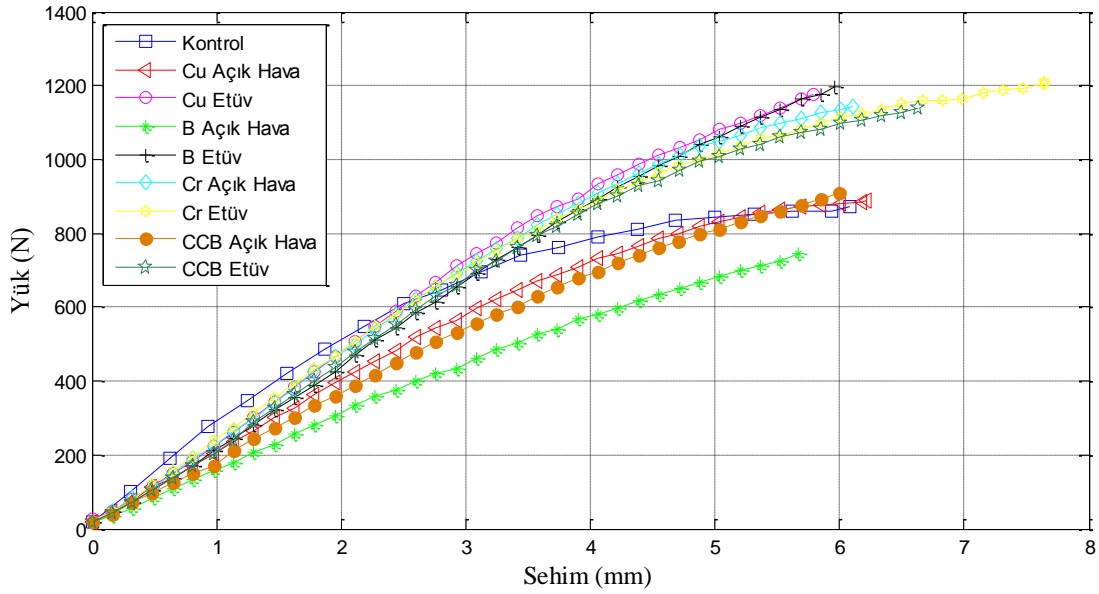
6.5.3 Nokta Eğilme Deneyi

CCB nano parçacık empenye edilen numuneler için eğilme deneyinde test hızı 2,5 mm/dk olarak alınmıştır. Deney numuneleri aynı şartlarda hazırlanış ve deney öncesi nem oranları $\%15 \pm 3$ olmasına dikkat edilmiştir. 2 farklı sıcaklıkta kurutulmuş numune türünden 5'er numune 3 nokta eğilme testine tabi tutulmuştur (Şekil 6.13).



Şekil 6.13. CCB nano Parçacık empenye edilmiş üç nokta eğilme deney düzeneği ve numuneleri

Eğilme deneyinde CCB nano parçacık empenye edilen numune sonuçları gerilme-birim deformasyon değerleri, diğer aynı oranda malzeme empenye edilmiş numunelerle karşılaştırılması amacıyla tüm numunelerin yük-sehim grafiği çizilmiştir (Şekil 6.14). CCB nano parçacık empenye edilen numuneler maksimum yük altında yaptıkları sehim değerleri ile maksimum yük kapasiteleri diğer numunelerle aynı değere sahiptir.



Şekil 6.14. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için üç nokta eğilme deneyleri yük-sehim grafiği

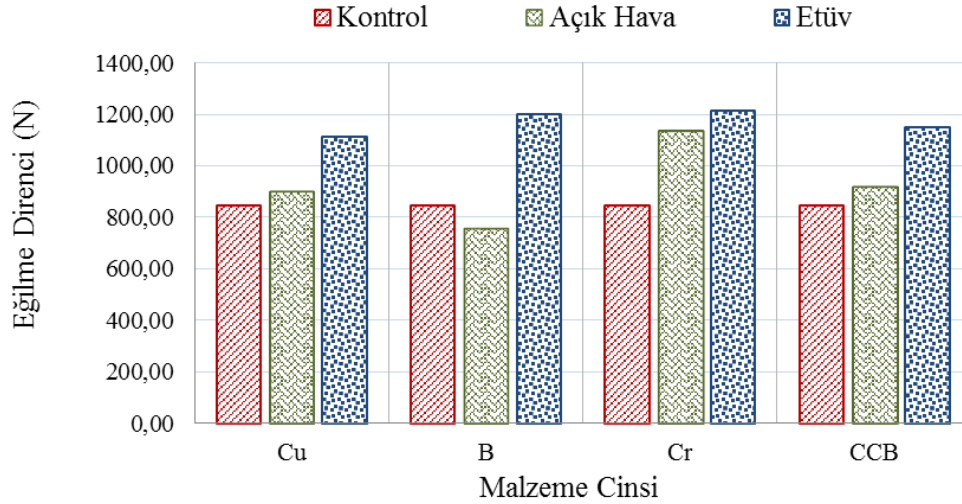
Tablo 6.5 incelendiğinde CCB empenye edilmiş ve etüvde kurutulmuş numunelerde %5 oranında sehim artışı ve %36 oranında daha yüksek eğilme dayanımına ulaşılmıştır. Açık havada kurutulmuş numunelerde ise %8 oranında daha gevrek ve %8 oranında daha yüksek dayanım elde edilmiştir (Tablo 6.5). Elde edilen bu oranlar diğer numune gruplarında elde edilen oranlar arasındadır.

Tablo 6.5. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için üç nokta eğilme deneyi yük-sehim ve değişim değerleri tablosu

Uygulama Türü	1. Numune		2. Numune		3. Numune		Ortalama		Yük % Değişim	Sehim % Değişim
	Yük (N)	Sehim (mm)	Yük (N)	Sehim (mm)	Yük (N)	Sehim (mm)	Yük (N)	Sehim (mm)		
Kontrol	876,56	6,07	871,88	6,08	793,75	6,02	847,40	6,06	0	0
Bakır Oksit Etüv	1090,63	4,74	1075,00	7,13	1175,00	5,79	1113,54	5,89	31	-3
Bakır Oksit Açık Hava	890,63	6,21	981,25	5,17	814,06	6,43	895,31	5,94	6	-2
Bor Oksit Etüv	1204,69	5,39	1204,69	6,41	1198,44	5,96	1202,61	5,92	42	-2
Bor Oksit Açık Hava	814,06	7,09	700,00	6,09	743,75	5,67	752,60	6,28	-11	4
Krom Oksit Etüv	1207,81	7,64	1337,50	8,21	1103,13	8,23	1216,15	8,03	44	33
Krom Oksit Açık Hava	1034,38	5,15	1142,19	6,11	1215,63	7,23	1130,73	6,16	33	2
CCB Etüv	1185,94	6,42	1137,50	6,63	1126,56	6,14	1150,00	6,39	36	5
CCB Açık Hava	907,81	6,00	895,31	5,56	937,50	5,19	913,54	5,58	8	-8

Eğilme dayanımı açısından kontrol numuneleri ile %2 solüsyon empenye edilmiş diğer numuneler karşılaştırıldığında bor oksit empenye edilmiş ve açık havada kurutulmuş numune grubu dışındaki tüm numunelerde belirli oranlarda dayanım artışı olduğu görülmektedir. Numuneler kurutma sıcaklıkları açısından kıyaslandığında; etüvde kurutma hemen hemen tüm numunelerde aynı oranda etkilediği ve sonuçların

birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ancak açık havada kurutulanan numunelerde bor oksitli numunelerin olumsuz, krom oksitli numunelerde olumlu, bakır oksit numunelerinde ise düşük düzeyde olumlu etkilediği tespit edilmiştir (Şekil 6.15). CCB numunelerinde ise hem etüvde hem de açık havada kurutmada bakır oksitli numunelerle eş değerde eğilme direnci olduğu görülmektedir.



Şekil 6.15. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için eğilme deneyi ortalama yük değerleri grafiği

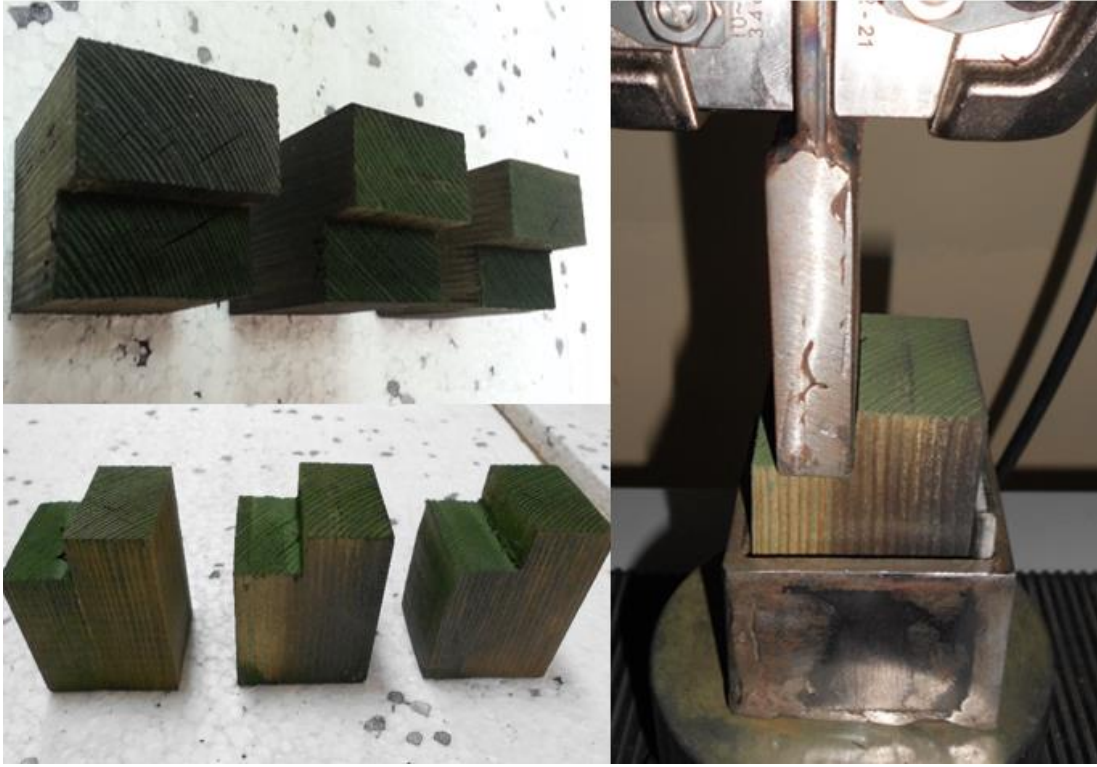
Sonuç olarak eğilme deneyleri sonucunda; nano CCB numunelerinden, sehim değerleri açısından tüm numunelerle yakın sehim değerlerinde olduğu, maksimum eğilme dirençleri açısından ise bakır oksit emprenye edilmiş numunelerle eşdeğer olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

6.6.Liflere Paralel Kesme Deneyi

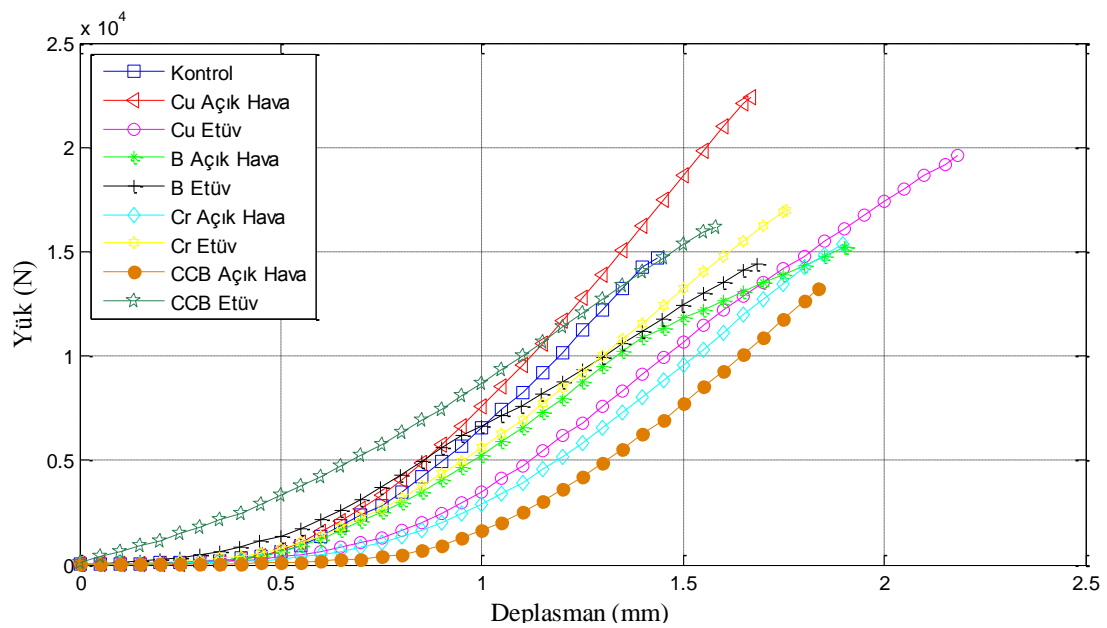
CCB emprenye edilmiş numunelerin liflere paralel kesme deneyinde test hızı ilgili standartta belirtildiği gibi 0,6 mm/dk olarak alınmıştır. Numuneler aynı şartlarda hazırlanış ve deney öncesi nem oranları 15 ± 3 olmasına dikkat edilmiştir. 2 farklı kurutmada 5'er numune teste tabi tutulmuştur (Şekil 6.16).

Liflere paralel kesme deneyleri sonucunda CCB nano parçacık emprenye edilen numune sonuçları gerilme-birim deformasyon değerleri, diğer aynı oranda malzeme emprenye edilmiş numunelerle karşılaştırılması amacıyla tüm numunelerin liflere paralel kesme deneyi yük-deplasman grafiği oluşturulmuştur (Şekil 6.17). CCB nano

parçacık emprenye edilen numuneler hem yaptıkları maksimum deplasman açısından hemde maksimum yük açısından diğer malzemelerle benzer özellik sergilemiştir. Maksimum yük değerleri açısından ise bakır oksit emprenye edilmiş numunelere yakın bir dayanım sergilediği tespit edilmiştir.



Şekil 6.16. CCB nano Parçacık emprenye edilmiş paralel kesme deney düzeneği ve numuneleri



Şekil 6.17. %2 konsantrasyonlu tüm numunelerin liflere paralel kesme deneyleri yük-deplasman grafiği

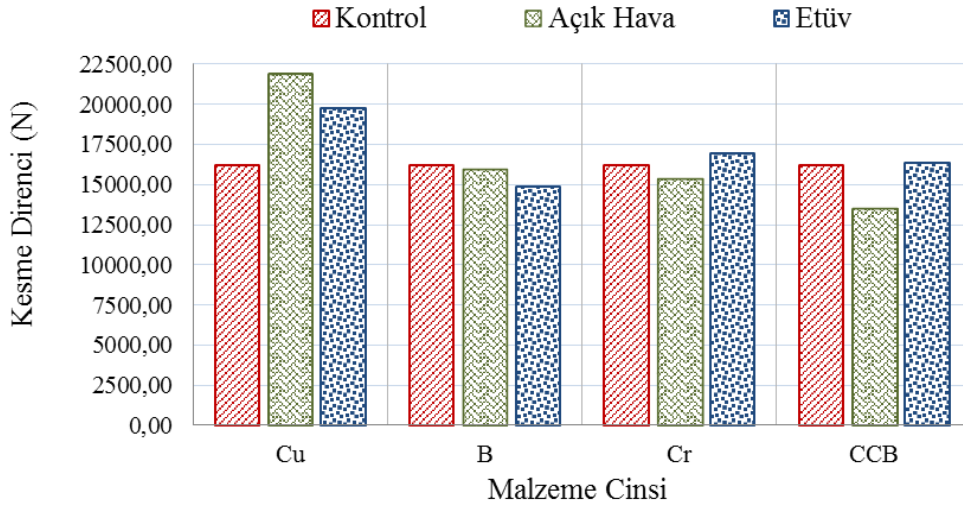
Yük-sehim değerleri kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında etüvde kurutulan numunelerde %19 oranında daha az deformasyon oluşmuş ancak maksimum yükte kayda değer bir değişim olmamıştır. Açık havada kurutulan numunelerde ise %8 oranında daha gevrek ve %17 oranında daha düşük dayanım elde edilmiştir (Tablo 6.6). Bu durum dik çekme numunelerinde olduğu gibi lifler arasına yerleşen taneciklerin yüksek sıcaklıklarda lifler arasında güçlü bağ oluşturduğu, açık havada ise daha zayıf etkileşimin olduğu ahşap yapı arasında mekanik çözülmeye neden olduğu ifade edilebilir.

Tablo 6.6. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için paralel kesme deneyi yük-deplasman ve değişim değerleri tablosu

Uygulama Türü	1. Numune		2. Numune		3. Numune		Ortalama		Yük % Değişim	Deplasman % Değişim
	Yük (N)	Deplasman (mm)	Yük (N)	Deplasman (mm)	Yük (N)	Deplasman (mm)	Yük (N)	Deplasman (mm)		
Kontrol	15460,94	2,23	16870,31	2,05	16385,94	1,69	16239,06	1,99	0	0
Bakır Oksit Etüv	19575,00	2,18	19562,50	1,98	20118,75	2,39	19752,08	2,19	22	10
Bakır Oksit Açık Hava	23626,56	1,99	22375,00	1,67	19429,43	1,51	21810,33	1,72	34	-13
Bor Oksit Etüv	14392,19	1,68	13337,50	1,46	16881,25	1,80	14870,31	1,65	-8	-17
Bor Oksit Açık Hava	15220,62	1,90	13548,44	1,80	18985,94	2,22	15918,33	1,98	-2	-1
Krom Oksit Etüv	16957,81	1,76	16498,44	1,86	17393,75	1,72	16950,00	1,78	4	-11
Krom Oksit Açık Hava	15492,19	2,01	15390,63	1,90	15076,56	1,75	15319,79	1,88	-6	-5
CCB Etüv	15040,63	1,50	17870,31	1,78	16142,19	1,58	16351,04	1,62	1	-19
CCB Açık Hava	12738,08	1,67	14468,49	2,00	13209,38	1,84	13471,98	1,83	-17	-8

Kesme testleri sonucunda kontrol numuneleri ile diğer numuneler karşılaştırıldığında; bakır oksitli numunelerde hem etüvde hem de açık havada kurutmanın olumlu sonuç verdiği, bor ve krom oksitli numunelerde dayanımın her iki durumda da çok fazla etkilenmediği tespit edilmiştir. CCB emprenye edilmiş ve etüvde kurutulmuş numunelerde bor ve krom oksit emprenye edilmiş numuneler gibi kesme dayanımında kayda değer bir değişiklik olmadığı ancak açık havada kurutmanın diğer tüm numune gruplarına göre daha düşük bir kesme direnci oluşturduğu ifade edilebilir (Şekil 6.18).

Liflere paralel kesme testi sonucunda; nano CCB numunelerinden, yaptıkları deplasman açısından diğer numune değerleri arasında sonuç verdiği ancak maksimum yük açısından özellikle açık havada kurutulan numunelerin daha düşük dirence sahip oldukları ifade edilebilir.



Şekil 6.18. %2 konsantrasyonlu tüm numuneler için liflere paralel kesme deneyi ortalama yük değerleri grafiği

Bakır oksit emprenye edilmiş numuneler dışındaki diğer numune gruplarında kesme dayanımının kontrol numunelerine göre daha düşük olması ahşap lifler arasına yerleşen nano taneciklerin lifler arasındaki mevcut bağlardan daha zayıf bağlar oluşturduğu ve lifler arasında bir kayma yüzeyi oluşturduğu şeklinde yorumlanabilir.

BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

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

1) Bakır Oksit Emprenye edilen numunelerde;

- 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 da %57 oranında artış sağlanmıştır.
- Üç nokta eğilme deneyinde tüm numune grupları içerisindeki maksimum yük değeri %2 etüv numunelerinde elde edilmiştir (%31 artış). Bu numunelerde sehim açısından bir değişim gözlenmemiştir.
- Paralel kesme deneyinde en iyi deney sonucu %2 açık hava deney numunelerinden elde edilmiştir (%34 artış). Ancak bu numunelerde %13 oranında deplasman değerleri düşüşü görülmüştür.

2) 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 gevrekleştiği 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.
- Üç nokta eğilme deneyinde tüm numune grupları içerisindeki maksimum yük değeri %2 etüv numunelerinde elde edilmiştir (%42 artış). Bu numunelerde sehim açısından bir değişim gözlenmemiştir.
- Paralel kesme deneyinde kontrol numunelerinden sonra en iyi deney sonucu %2 açık hava deney numunelerinden elde edilmiştir (Kontrol numunelerine göre %2 düşüş). Bu numunelerde deplasman açısından da bir değişim gözlenmemiştir.

3) Krom Oksit Emprenye edilen numunelerde;

- Paralel çekme gerilmesi açısından %2 etüv numunelerinde %78 oranında yüksek gerilme değeri elde edilmiş ancak %46 oranında malzemenin gevrekleştiği 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.
- Üç nokta eğilme deneyinde tüm numune grupları içerisindeki maksimum yük değeri %2 etüv numunelerinde elde edilmiştir (%44 artış). Öte yandan % 33 oranında sehim artışı gözlenmiştir.
- Paralel kesme deneyinde en iyi deney sonuç %2 etüv numunelerinden elde edilmiştir (Kontrol numunelerine göre %4 artış). Ancak bu numunelerde deplasman maksimum değeri % 11 oranında düşmüştür.

4) CCB Emprenye edilen numunelerde;

- % 2 CCB solusyonunda emprenye edilerek paralel çekme testine tabi tutulan numune sonuçları, kontrol numunelerine göre etüvde kurutulanlarda %71, açık havada kurutulanlarda %30 oranında daha yüksek gerilme değeri elde edilmiştir. Bu değerler aynı oranda emprenye edilen diğer numunelerle karşılaştırıldığında açık havada kurutulan numunelere göre en düşük etüvde kurutulan numunelere göre ise bakır ve bor oksitten düşük krom oksitten ise yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Birim deformasyonu açısından ise CCB numuneleri diğer numunelere yakın oranlarda ahşabı gevrek hale getirdiği tespit edilmiştir.
- Dik Çekme gerilmesi değerleri açısından kontrol numuneleriyle kıyaslama yapıldığında, etüvde kurutulan numunelerde %31 oranında iyileşme, etüvde kurutulan numunelerde ise %25 oranında düşüş olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler bakır oksit emprenye edilmiş numune değerleriyle paralellik

sergilemekte, bor oksit numune sonuçlarından daha yüksek krom oksit numune sonuçlarından ise daha düşük oranlarda direnç sergilediği tespit edilmiştir. Birim deformasyon değerleri açısından da benzer durum söz konusudur.

- Paralel basınç deneyinde de hem etüvde hem de açık havada kurutulmuş CCB numuneleri yine bakır oksit emprenye edilmiş numunelerle aynı değerlerde iyileşme sağlamıştır. Kontrol numunelerine göre ise açık havada %21, etüvde %36 oranında daha yüksek dayanım sağlanmış, birim deformasyonda da diğer numune grupları gibi kayda değer bir değişim görülmemiştir.
- Dik basınç gerilmesi açısından CCB numunelerinden kontrol numunelerine göre etüvde %70, açık havada ise %27 daha yüksek değerler elde edilmiştir. Diğer numunelerle karşılaştırıldığında etüvde kurutulan numunelere göre bakır ve bor oksit numunelerden düşük, krom oksit numunelerden ise daha yüksek değerler elde edilmiştir. Açık havada kurutulan numunelere göre ise bor oksit numunelerden düşük bakır ve krom oksit numunelerden daha yüksek dayanım sergilemiştir. Öte yandan birim deformasyon değerleri açısından da tüm numune grupları içerisinde en yüksek birim deformasyon değerleri elde edilmiştir.
- Üç nokta eğilme deneyinde CCB numunelerinden kontrol numunelerine göre etüvde %36, açık havada ise %8 oranında daha yüksek değerler elde edilmiştir. Diğer numune guruplarına göre ise etüvde bakır oksit numunelerinden yüksek, bor ve krom oksit numunelerinden düşük, açık havada kurutulan numunelerde ise bakır ve bor oksit numunelerinden yüksek krom oksit numunelerinden ise düşük gerilme değerleri elde edilmiştir. Birim deformasyonu açısından ise kayda değer bir değişiklik görülmemiştir.
- CCB numuneleri kontrol numunelerine göre paralel kesme deneyinde en düşük dayanıma ulaşmıştır. Etüv numunelerinde bir değişim olmamakla birlikte açık hava numunelerine göre %17 oranında dayanım düşüşü tespit edilmiştir. Diğer numune gruplarıyla karşılaştırıldığında ise açık havada en düşük kesme direnci CCB numunelerde olmasına karşın etüvde kurutulan numunelerde de sadece bor oksit numunelerden daha iyi sonuç elde edildiği görülmektedir. Öte yandan

birim deformasyonu açısından CCB malzemenin daha gevrek hale getirdiği ve bu davranışın diğer numune gruplarıyla paralel olduğu tespit edilmiştir.

7.1. Sonuçlar

Yapılan tüm deneysel çalışmalar dikkate alındığında;

- Nano Parçacıkların dispersiyon çalışmaları gerek alınan zeta ölçümleri gerek numunelerin içyapı görüntüleri gerekse deney sonuçları dikkate alındığında yeterli düzeyde olduğu ifade edilebilir.
- Emprenye edilen nano Parçacıkların ahşabın içyapısında herhangi bir kimyasal reaksiyona girmediği, fiksasyon düzeyinin düşük olduğu, sadece emprenye edilen nano malzemeler ile içyapı arasında dipol-dipol etkileşimi olduğu yapılan IR spektrum analizinde açıkça görülmektedir.
- %2 numune gruplarından alınan içyapı görüntülerine göre bakır ve bor oksit Parçacıkların krom oksit ve CCB malzemesine göre daha homojen yayıldığı, ancak bu yayılımın tüm numunelerde yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Tüm numunelerde malzemenin farklı boyutlarda topaklaştığı görülmektedir. Bu topaklaşma düzeyi ettüvde kurutulan numunelerde açık havada kuruyan numunelere göre daha yüksektir.
- Emprenye sonucunda elde edilen numuneler gözle muayene edildiğinde özellikle bakır oksit ve bor oksit maddelerinin ahşabın derinliklerine kadar nüfuz ettiği ve bu malzemelerin ahşap içerisindeki yayılımı krom oksit nano Parçacıklere göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Krom oksit nano Parçacıklar daha çok ahşabın dış yüzeyini kaplamış içeriye daha az nüfuz etmiştir. CCB numunelerinde de her malzeme kendi karakterini yansıtmıştır.
- Ahşaba emprenye edilen malzeme türlerine göre birbirleriyle karşılaştırıldığında tüm deney çeşidi gruplarında değişim oranlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle üç malzeme çeşidinin ve karışımlarının ahşabın mekanik davranışına etkilerinin benzer olduğu anlaşılmıştır.

- Emprenye edilen malzeme oranları değişimi tüm deney sonuçlarına büyük oranda etkilediği görülmektedir. Emprenye edilen bakır oksit, krom oksit ve bor oksit malzemelerin ahşabın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi; ağırlıkça %1 oranında olumsuz, %2 oranında olumlu, %3 oranında ise %1'e göre olumlu ancak %2'ye göre daha olumsuz olduğu tespit edilmiştir.
- Kurutma sıcaklığının ahşabın mekanik özellikleri açısından tüm numunelerde doğru orantılı bir değişim sergilemediği ancak genel olarak etüvde kurutulan numunelerin mekanik özellikler açısından daha olumlu etkisinin olduğu ifade edilebilir.
- Tüm malzeme çeşitleri, katılım oranları, kurutma sıcaklıkları ve deney çeşitleri göz önünde bulundurulduğunda mekanik dayanım açısından seçilecek optimum nano CCB malzemesinin ağırlıkça %2 oranında emprenye edilmesi ve 105 °C de kurutulması ahşabın mekanik davranışına en olumlu etkinin sağlanacağı sonucuna varılmıştır.
- %2 CCB malzemesi ile yapılan emprenye çalışmalarında tüm deney sonuçlarında olumlu ve diğer numune guruplarına göre ortalama değerler elde edilmiştir. CCB emprenye edilen numuneler genel olarak bakır oksit emprenye edilen numunelere paralel davranışlar sergilediği fakat biraz daha düşük dayanıma ulaştığı tespit edilmiştir.
- Emprenyede kullanılan CCB nano Parçacıklar ahşabın mekanik dayanımı üzerinde %30-%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 CCB emprenye maddesiyle emprenye edilen keresteyle tasarlanacak olan yapıların, daha özgün tasarımlarla, daha büyük açıklıkların, daha küçük boyutlarla çözümlenmesini mümkün kılacaktır.

7.2. Öneriler

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda üretilen nano CCB maddesinin sadece ahşabın mekanik dayanımını artırması piyasada tercih sebebi olmayacaktır. Bu nedenle nano CCB emprenye edilerek üretilen numunelerin fiziksel ve bakteriyolojik testlerinin de yapılması ve olumsuz bir durum ortaya çıkması halinde bu olumsuzluğun giderilmeye çalışılması gerekmektedir.

Üretilen nano CCB maddesi mekanik test sonuçları, literatürde yer alan CCB emprenye maddeleri üzerinde yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Ancak özellikle ahşabın yapısı ve mekanik özellikleri etkileyen birçok faktör vardır. Yapılan karşılaştırmada daha net sonuçların alınabilmesi için aynı ahşap numunelerle aynı şartlarda üretilen numunelere nano CCB ile piyasada farklı ticari isimlerle satılan CCB emprenye maddelerinin emprenye edildiği bir çalışma yapılabilir.

Yapılan tüm bu çalışmaların temel amacı olan ve hâlihazırda yapılan emprenye sonucunda mekanik dayanımı düştüğü kabul edilen ahşapların yeni emprenye malzeme ve teknikleriyle güçlendirilmesi, güçlendirilen bu ahşaplarla yeni yapı tasarımlarının daha az malzemeyle daha özgün yapılabilmesi hem estetik, hem çevre bilinci, hem de sağlık açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle özellikle yapılan bu çalışmalar ışığında gerek 1/1 ölçekli yapı elemanlarının deneysel çalışmaları gerekse bu yapı elemanlarının elde edilen yeni emniyet değerleriyle sonlu elemanlar metoduyla modellenmesi yapılan tüm bu çalışmaların amacına ulaşması açısından oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR:

ACKER, J. V., STEVENS, M., Effect of Various Preservative Treatments On The Mechanical And Physical Properties of Plywood, The International Research Group On Wood Preservation, Section 4, Processes, Paper prepared for the 24th Annual Meeting Orlando, USA, 16-20 May 1993.

AKBULUT H., Nano Malzemelerin Kararlılığı, Sakarya Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Ders Notu, 2006.

AKERHOLM M., HINTERSTOISSER B., AND SALMEN L., Characterization of the crystalline structure of cellulose using static and dynamic FT-IR spectroscopy, Carbohydrate Research Vol.339, p. 569–578, 2004.

AKERHOLM, M., SALMEN, L., Interactions between wood polymers studied by dynamic FT-IR spectroscopy, Polymer, Vol. 42, p. 963-969, 2001.

AKGÜL T., Ahşapların ve Birleşim Noktalarının Fiber Takviyeli Polimerlerle (FRP) Güçlendirilmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, Sakarya, 2007.

ANŞİN, R., ÖZKAN, Z.C., Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunsu Taksonlar, Karadeniz Teknik Üniversitesi Genel Yayın No: 167, Orman Fakültesi Yayın No: 19, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon, 1997.

APAY, A. C., AKGÜL. T., SARIBIYIK, M., SARIBIYIK, A., “Bending Analysis of Timber Connection Strengthen with Glass Fiber Reinforced Plastic” 1st International Symposium on Sustainable Development, 2009, Sarajevo, Bosnia.

AS, N., KOÇ, H., DOĞU, D., ATİK, C., AKSU, B., ERDİNLER, S. Türkiye’de Yetişen Endüstriyel Öneme Sahip Ağaçların Anatomik Fiziksel Mekanik ve Kimyasal Özellikleri, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri: B, Sayı: 1, Cilt: 51, ISSN 0535-8418, Emek Matbaacılık, İstanbul, 2002.

ASLAN, S., Ağaç Zararlıları Koruma Ve Emprenye Teknikleri, KOSGEB Yayınları, Ankara, 1998.

ASTM D 2017-81, Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, USA, 1994.

ASTM-D 1413-07, Standard test method of testing wood preservatives by laboratory soil-block cultures, Annual Book of ASTM Standards, ASTM Standards, West Conshohocken, PA, USA. 2007.

ASTM-D 143-09 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, USA. 2009.

BERKEL, A. HUŞ, S., Türkiye Çam Türlerinden Sarıçam (*Pinus silvestris*) ve Fıstık Çamı (*Pinus pinea*) Gövde Odunu İçerisindeki Ham Terebantın Miktarları ve Yayılışı Hakkında Araştırmalar. I.Ü. Orman Fak. Dergisi Seri A. Cilt: 2, Sayı: 2. p. 3-18, 1952.

BERKEL, A., Ağaç Malzeme Teknolojisi II. Cilt, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 1745, Orman Fakültesi Yayın No: 183, Sermet Matbaası, İstanbul, 1972.

BERKEL, A., BOZKURT, Y., GÖKER, Y., Çam Kerestelerini Mavi Renk Mantarlarına Karşı Korunmasına Ait Bir Deneme. I.Ü. Orm. Fak. Dergisi, Cilt 15, Seri A, Sayı 2, 1965.

BERKEL, A., BOZKURT, Y., GÖKER, Y., Çit Malzemenin Dayanmasını Arttırmak Bakımından Çeşitli Yerli Ağaçlarımızda Pratik Metotlarla Emprenye Araştırması. I.Ü. Orm. Fak. Yayın no: 125, 1968.

BERTOLINI CESTARI, C., CAVALIERI, A., INVERNIZZI, S., MARZI, T., TULLIANI, J.M., A new composite material for the reinforcement of ancient timber joints, Proc. of ICRAACM-2010 3rd International Conference on Recent Advances in Composite Materials, ICRAACM-2010 -, Limoges (France) 13-15 December 2011.

BOZKURT, A.Y., ERDİN, N., Ağaç Teknolojisi, I.Ü. Yayın No: 3998, Orman Fakültesi Yayın No: 445, İstanbul, 1997 .

BOZKURT, Y., GÖKER, Y., ERDİN, N., Emprenye Tekniği, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3779, Orman Fakültesi Yayın No: 425, İstanbul, 1993.

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.

CAO, G., Nanostructures & Nanomaterials, Imperial College Press. London, 2005.

CELLARD, A., ZENATI, R., GARNIER V., FANTOZZI G., BARET G., Optimization of chromium oxide nanopowders dispersion for spray-drying, *Journal of the European Ceramic Society* 27, 1017–1021, 2006.

CESTARI, C. B., INVERNIZZI, S., MARZI, T., TULLIANI, J-M., Nanotechnologies applied to the restoration and maintenance of wooden built heritage, in *Structural analysis of historical construction*, Taylor & Francis, London, 941-947, 2008.

CESTARI, C. B., INVERNIZZI, S., MARZI, T., TULLIANI, J-M., Nanotechnologies/Smart materials in timber constructions belonging to cultural heritage, *Proc. of 11th WCTE World Conference on Timber Engineering*, Riva del Garda (Italy) 20-24 June 2010), IV, 761-762, 2010.

CESTARI, C. B., INVERNIZZI, S., MARZI, T., TULLIANI, J-M., The reinforcement of ancient timber-joints with carbon nano-composites 2012.

CLAUSEN, C. A., KARTAL, S. N., ARANGO, R. A., Frederick Green III, “The role of particle size of particulate nano-zinc oxide wood preservatives on termite mortality and leach resistance” *Nano Express*, 2010.

ÇELEBİ N. “Kolloidler” *Modern Farmasötik Teknoloji Dergisi*, 14, s. 263-275, 2005.

ÇOBANCAOĞLU T., “Türkiye’de ahşap evin bölgelere göre yapısal olarak incelenmesi ve restorasyonlarında yöntem önerileri”, *Doktora tezi, MSU Mimarlık Fakültesi*, 1998.

ELİÇİN, G., Türkiye Sarıçamlarında (*Pinus silvestris L*) Mor-fogenetik Araştırmalar. I.Ü. Orman Fak. Yayın No: 180, 1971.

EL-SAMNY, M.F., *Nanoarchitecture*, University Of Alexandria, Egypt, 2008.

ELVİN, G., “Nanotechnology Applications in Construction,” *Arc-US 2005: America’s Leading Architects Forum*, Miami, Florida, November 17-20, 2005.

ELVİN, G., *Nanotechnology for Green Building*, Green Technology Forum, Indianapolis, USA, 2007.

ERGUN, C., *Malzeme Bilimi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 2012.

ERKOÇ, Ş., *Nanobilim ve Nanoteknoloji*, ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 2007.

ERTEN, A.P., SÖZEN, M.R., Karakavak (*Populus nigra* 56/52) ve Melez kavak (*Populus euroamericana* I.214) Odununun Çeşitli Yöntemlerle Emprenyesi, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi No: 250-251-252 (251), 27-50 s., Ankara, 1995.

FAUCHADOUR D., T. JEANSON, J-N. BOUSSEAU, B. ECHALIER, “Nanoparticles of Cerium Oxide - Application to Coatings Technologies” Paint & Coatings Industry articles, August 2005.

FORSYTH P.G., Effect of Temperature on CCB Fixation. In: Chromium Containing Waterborne Wood Preservatives, Fixation and Environment Issues, Forest Products Society, ISBN 0-935018-59-X, 1993.

GOGOTSI, Y., Nanomaterials Handbook. Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2006.

GÖKER, Y., Çeşitli Metotlarla Emprenye Edilmiş Çit Direklerin Dayanma Süreleri. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No: 338, 1985.

HICKMAN, K., Nanomaterials: It's a Small, Small World, 2002.

ISO 3345-1975 Wood-Determination of ultimate tensile stress parallel to grain, International Organization for Standardization (ISO), 1975.

İLHAN, R., TAŞKIN, O., ERTEN, P., Mavi Renk Oluşumunu Kimyasal Yoldan Önlemeye İlişkin Araştırmalar. Orman Arş. Enst. Tek. Bül. Seri No: 83, 1976.

İLHAN, R., Türkiye'nin Ekonomik Bakımından Önemli Bazı Ağaç Türlerinin Emprenyesine Ait Araştırmalar. Orm. Arş. Ens. Tek. Bült. Serisi No: 56, 1973.

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.

KARTAL, S.N, The Leachability, Biological Resistance, And Mechanical Properties of Wood (*Pinus Sylvestris* L.) Treated With CCA and CCB Preservatives, The International Research Group On Wood Preservation, Section 3, Wood protecting chemicals, Paper prepared for the 30th Annual Meeting Rosenheim, Germany, 6-11 June 1999.

KAYGIN, B., AKGUN, E., “Nano-technological product: An innovative varnish type for wooden surfaces” Scientific Research and Essay Vol. 4 (1), pp. 001-007, January, 2009.

LEYDECKER, S., Nano Materials, Birkhauser Verlag, 2008.

MARTIN A., BUSTAMANTE P., CHUN AH., "Colloids" Physical Pharmacy, Lea & Febiger, Philadelphia, s. 398-422, 1993.

NASH RA," Pharmaceutical Suspensions" (Eds: HA Ueberman, MM. Rieger, G.S Banker), Marcell Dekker, Inc, New York, s.151-199, 1988.

NICHOLAS, D. D., Wood Deterioration and Its Preservation by Preservative Treatments, Syracuse University Press. Vol. 3, USA, 1973.

OMAR F, LAURENT M. TUANA M, Reinforcement of Rigid PVC/Wood-Flour Composites with Multi-Walled Carbon Nanotubes, Journal Of Vinyl & Additive Technology, DOI 10.1002/vnl, p. 60-64, 2008.

ÖKTEM, E., Sarıçam Odununun Özellikleri ve Kullanım Yerleri, Sarıçam El Kitabı Dizisi: 7, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Muhtelif Yayınlar Serisi: 67, Ankara, 2001.

ÖRS, Y., KESKİN, H., Ağaç Malzeme Bilgisi, Gazi Üniversitesi Yayın No: 2000/352, ISBN: 975-6574-01-1, Atlas Yayıncılık, İstanbul, 2001.

ÖZÇİFTÇİ, A, BATAN, F, Bor Yağının Ağaç Malzemenin Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi, Politeknik Dergisi, Cilt 12, Sayı 4, 2009.

PANDEY K. K., A Study of Chemical Structure of Soft and Hardwood and Wood Polymers by FT-IR Spectroscopy, Wiley & Sons, Inc., Journal of Applied Polymer Science, Vol. 71, p. 1969–1975, 1999.

PERKER, S., Nano teknoloji ve Yapı Malzemesi Alanına Etkileri, e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 1A0114, 5, (4), 639-648. 2010.

PERKER, Z.S., Nano teknoloji ve Yapıda Kullanılan Nano malzemeler. 6. Uluslararası Sinan Sempozyumu Bildirisi, Edirne, 2010.

ROSE, M. C., REYES, L., LEÓN, P., Mechanical resistance of Pinus radiata CCA treated and face jointed with PVA adhesive, The International Research Group On Wood Preservation, Section 4, Processes, Paper prepared for the 30th Annual Meeting Rosenheim, Germany, 6 - 11 June 1999.

SCHWANNINGERA, M., RODRIGUES, J.C., PEREIRA, H., HINTERSTOISSER, B., Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose, Vibrational Spectroscopy Vol. 36, p. 23–40, 2004.

SELİK, M., Odun Patolojisi, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3511, Orman Fakültesi Yayın No: 392, İstanbul, 1988.

SHEARD, L., Ahşap Malzemenin Korunmasında Geçerli Uygulama ve Araştırmalar, Ahşap Malzemenin Korunması, MPM Yayınları, 338, 24-33, 1988.

SİVRİKAYA H., SARAÇBAŞI A., Bor Madeninin Ahşap Koruma Endüstrisinde Değerlendirilmesi , II. Uluslararası Bor Sempozyumu, s; 365-372, Eskişehir, Türkiye, 2004.

SONG P-A., YANG H-T., FU S-Y., WU Q., YE J-W., LU F-Z. & JIN Y-M., Effect of Carbon Nanotubes on the Mechanical Properties of Polypropylene /Wood Flour Composites: Reinforcement Mechanism, Journal of Macromolecular Science, Part B, 50:5, 907-921 2011.

SURYANARAYANA, C. & KOCH, C. C., Nanocrystalline materials – Current research and future directions, Hyperfine Interactions, Volume 130, Issue 1-4, pp 5-44, 2000.

ŞİMŞEK O., Yapı Malzemesi, Cilt II, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 2000.

TOKER, R., Batı Karadeniz Sarıçamının Teknik Vasıfları ve Kullanım Yerleri Hakkında Araştırmalar. Orman Araştırma Enstitüsü Yayınları Teknik Bülten Seri No: 10, 1960.

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.

WINANDY, J E., Treatment-Processing Effects Model for WBP-Treated Lumber, USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, International Wood Engineering Conference '96, USA, 1996.

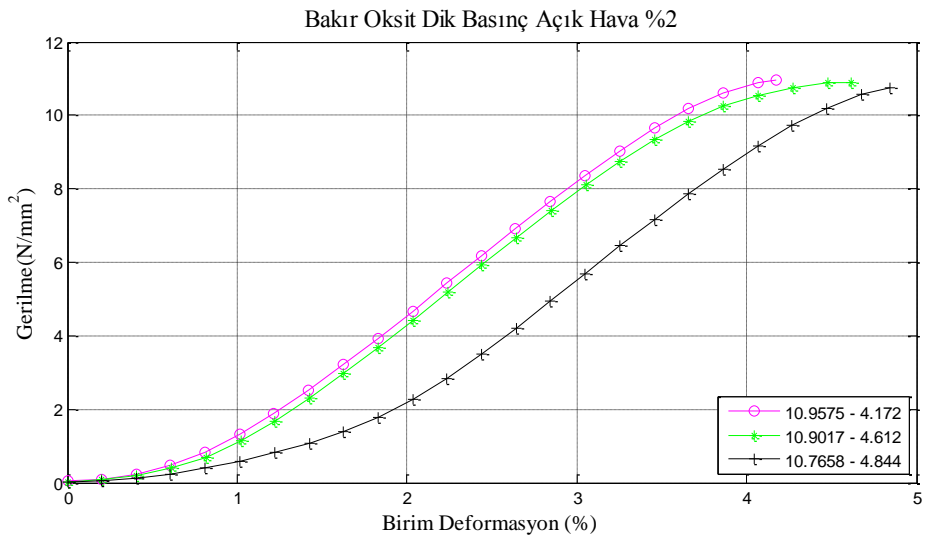
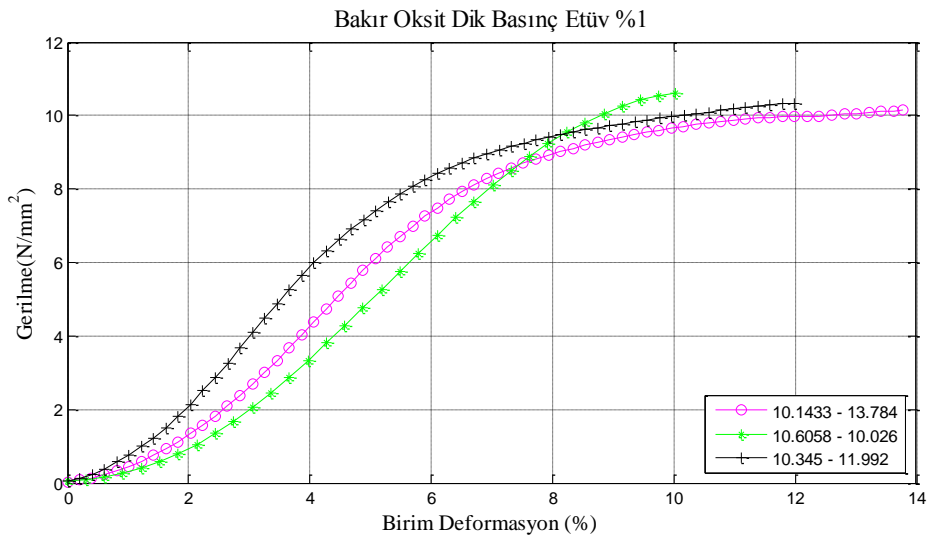
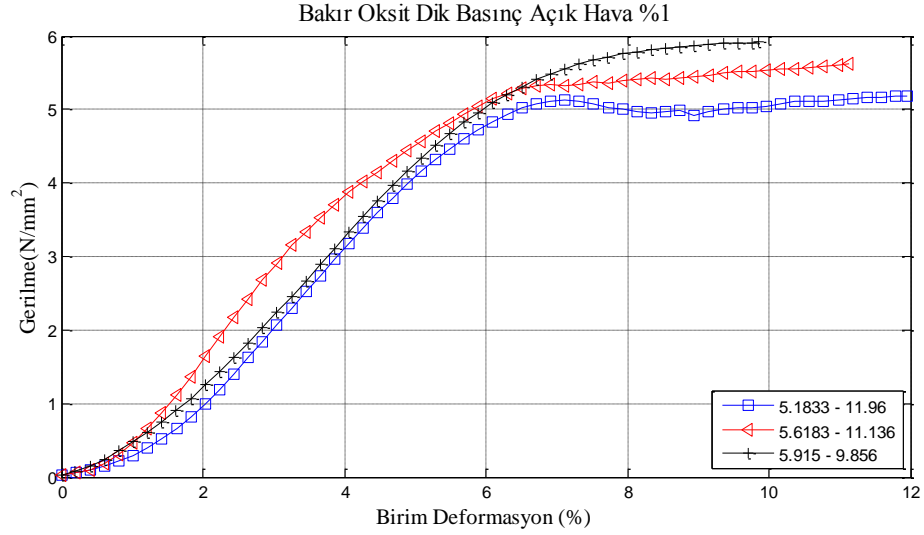
WINANDY, J.E., BOONE, R.S., GJOVIK, L.R., PLANTWGA, P.L., ACA and CCA Preservative Treatment And Redrying Effects on Bending Properties of Douglas-fir. American Wood Preservers' Association (AWPA), Vo1.85, 1- 13, 1989.

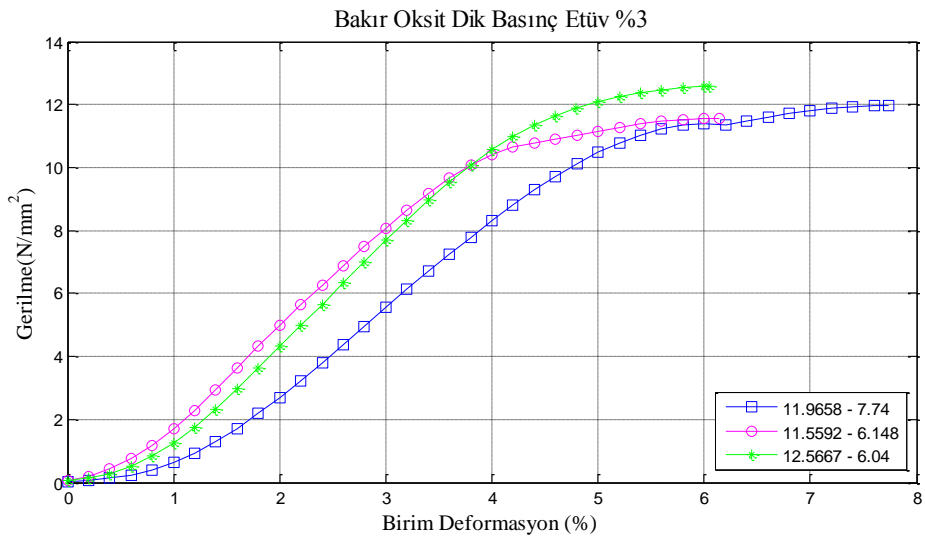
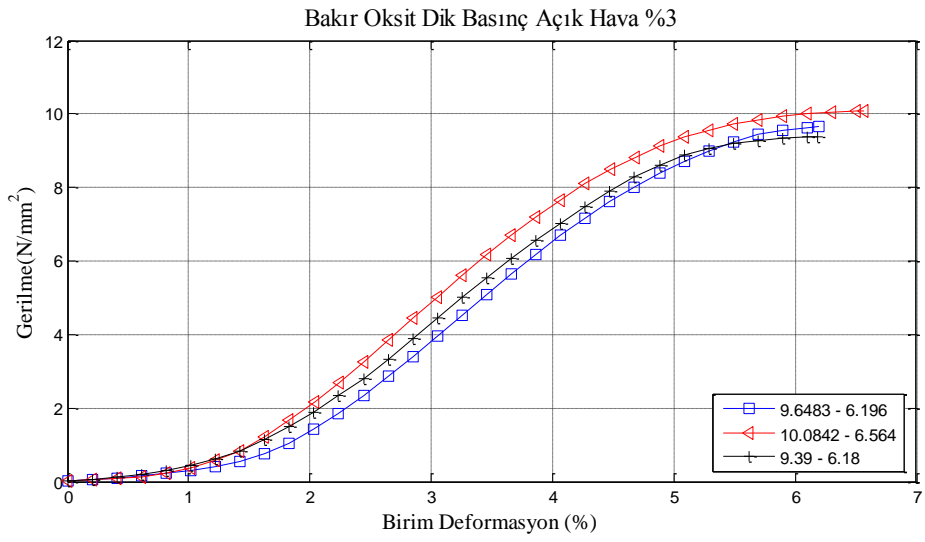
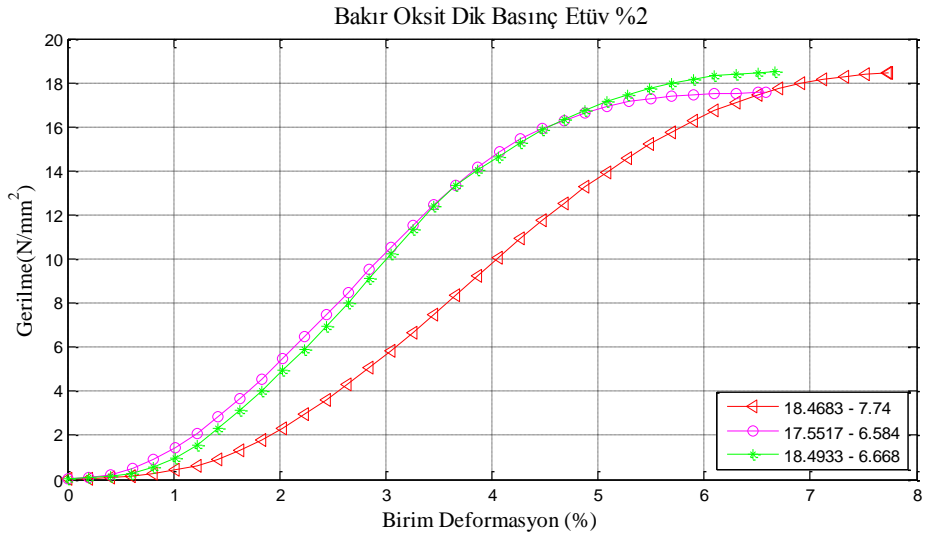
WINANDY, J. E., BOONE, R. S., The Effects of CCA Preservative Treatment and Redrying on The Bending Properties of 2*6 Southern Pine Lumber, Wood and Fiber Science, 20 (3), pp. 350–364, 1988.

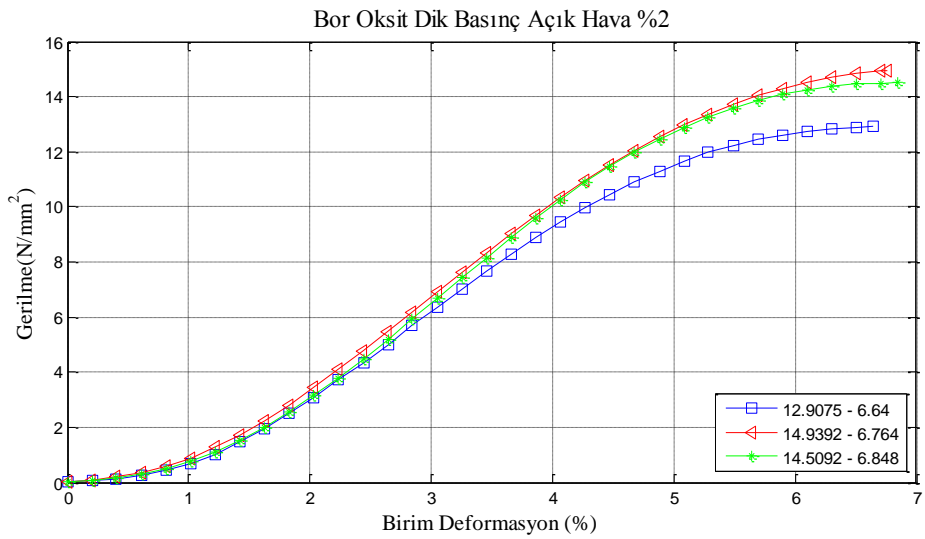
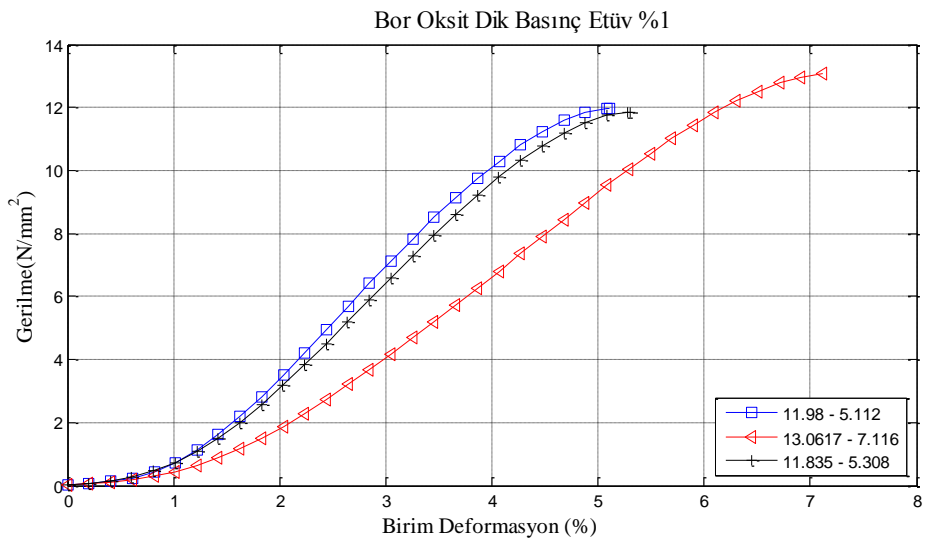
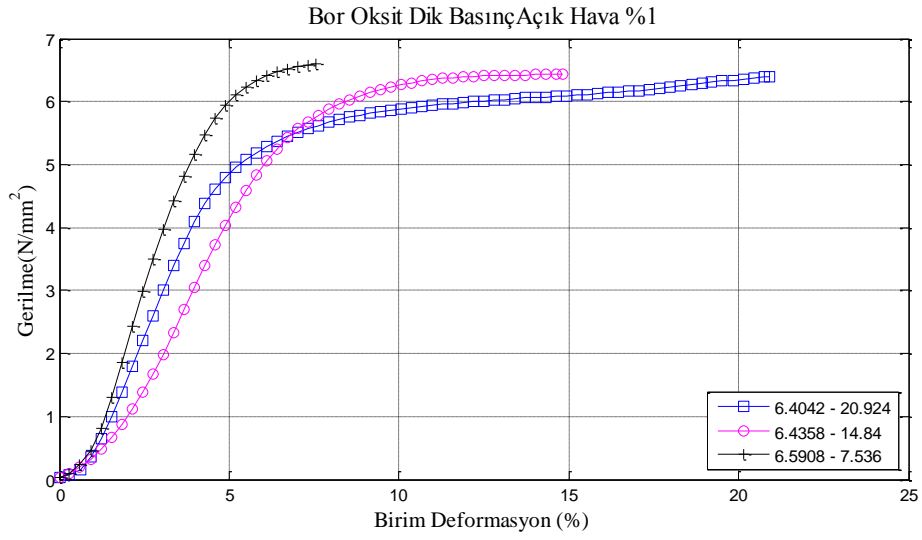
YILDIZ, U. C., TEMİZ, A., GEZER E. D., YILDIZ S., Effects of the wood preservatives on mechanical properties of yellow pine (*Pinus sylvestris* L.) wood, Building and Environment 39, pp; 1071 – 1075, 2004.

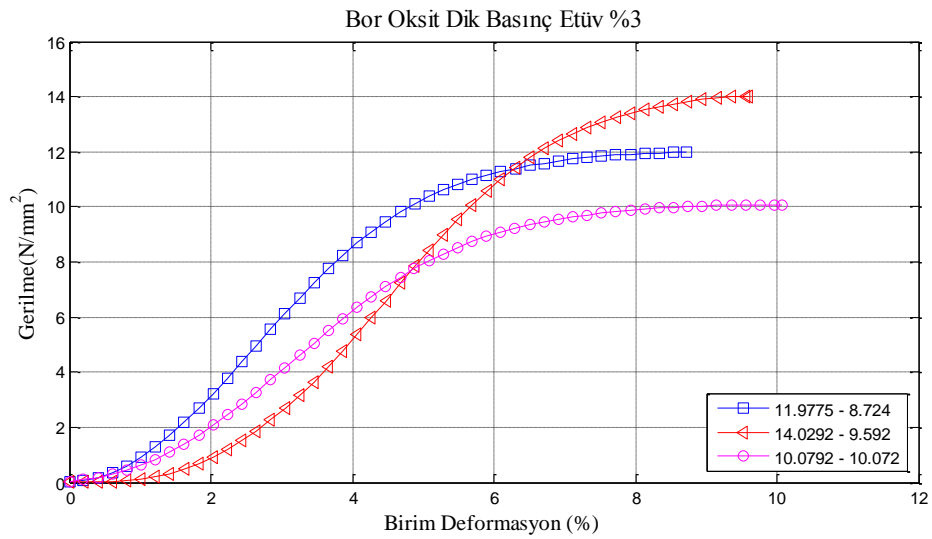
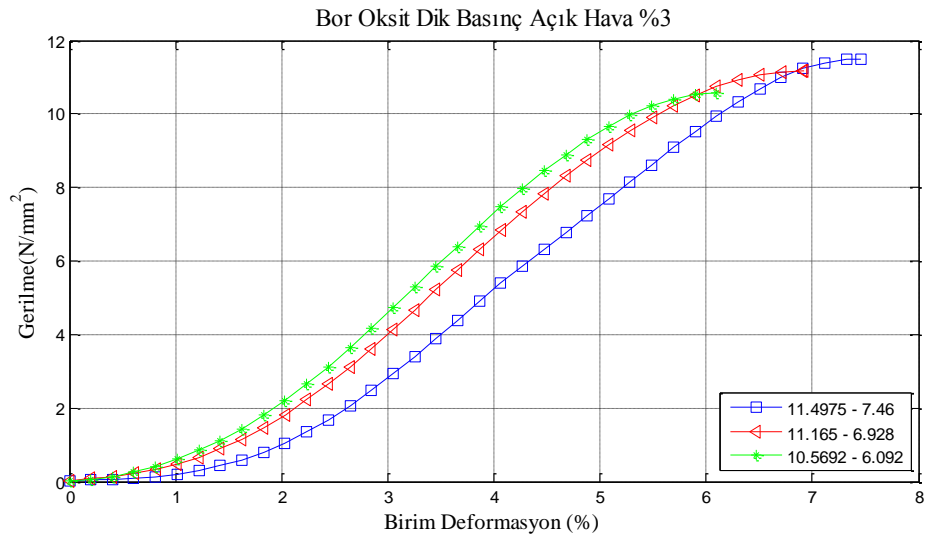
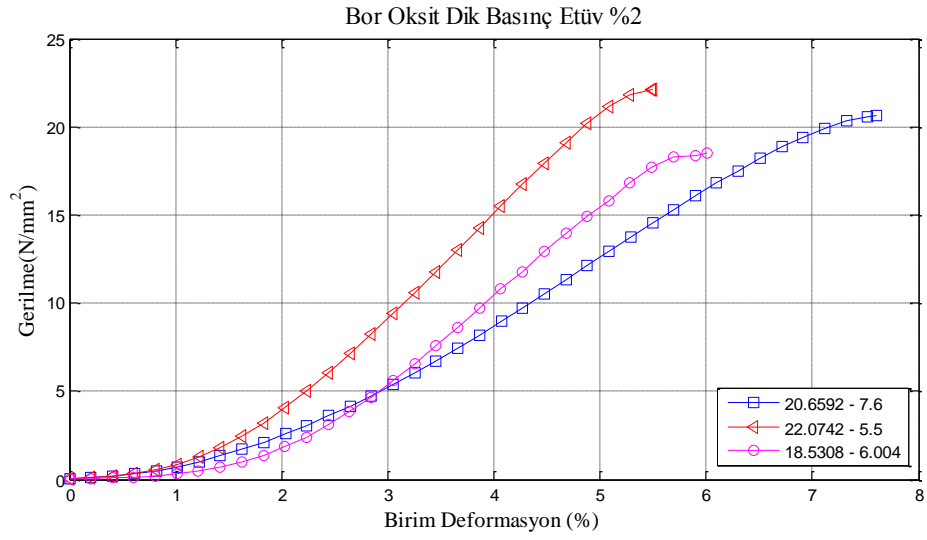
EKLER

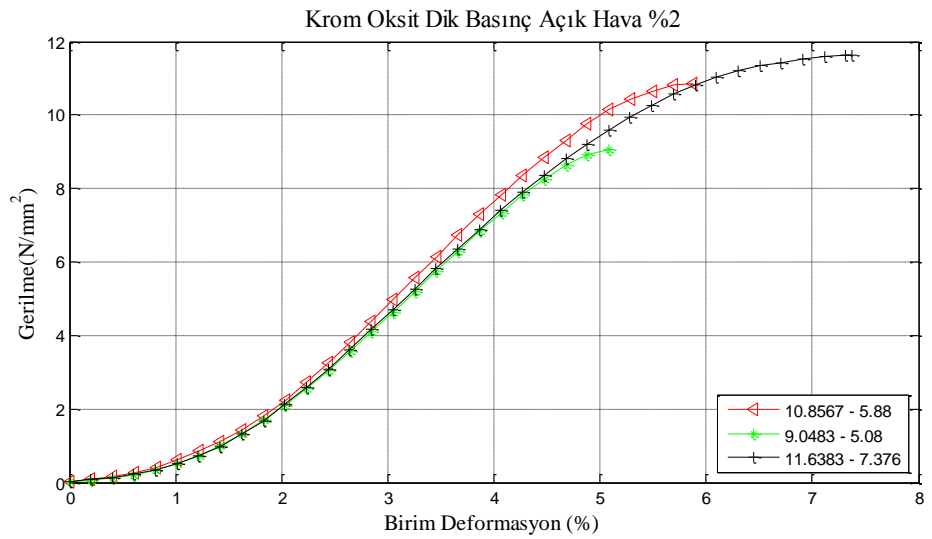
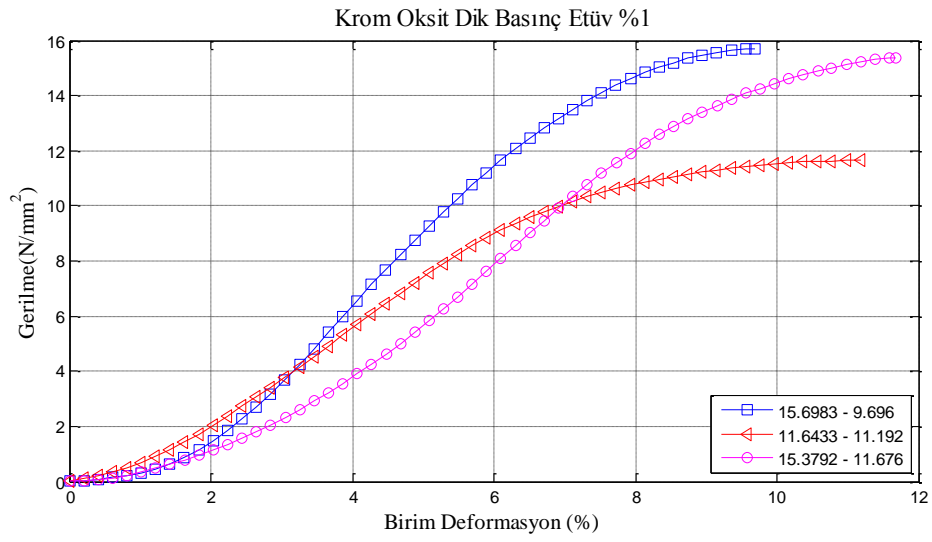
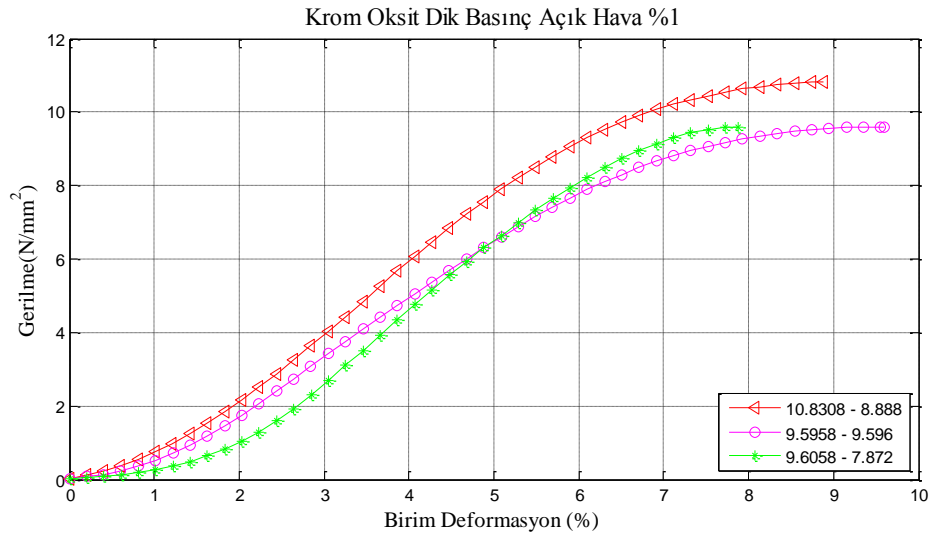
TÜM NUMUNELERE AİT DENEYSEL SONUÇLAR

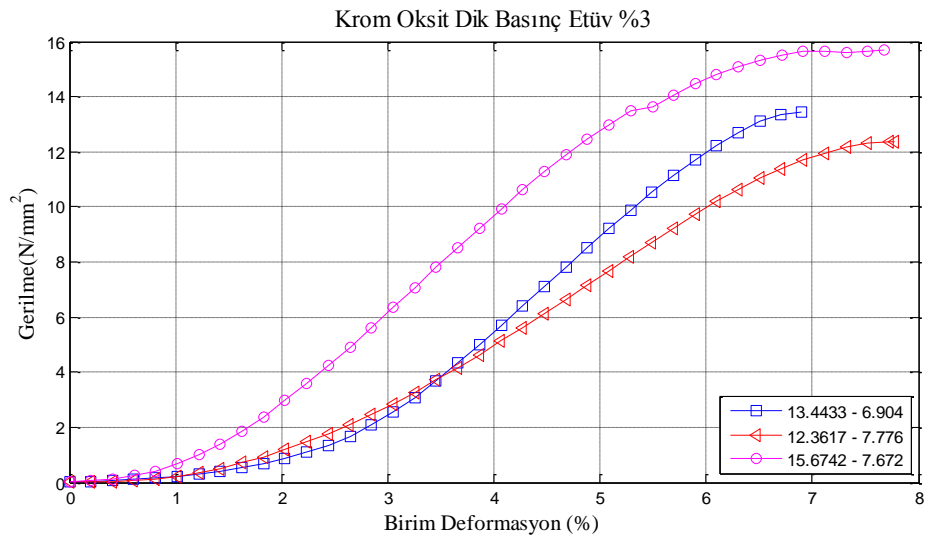
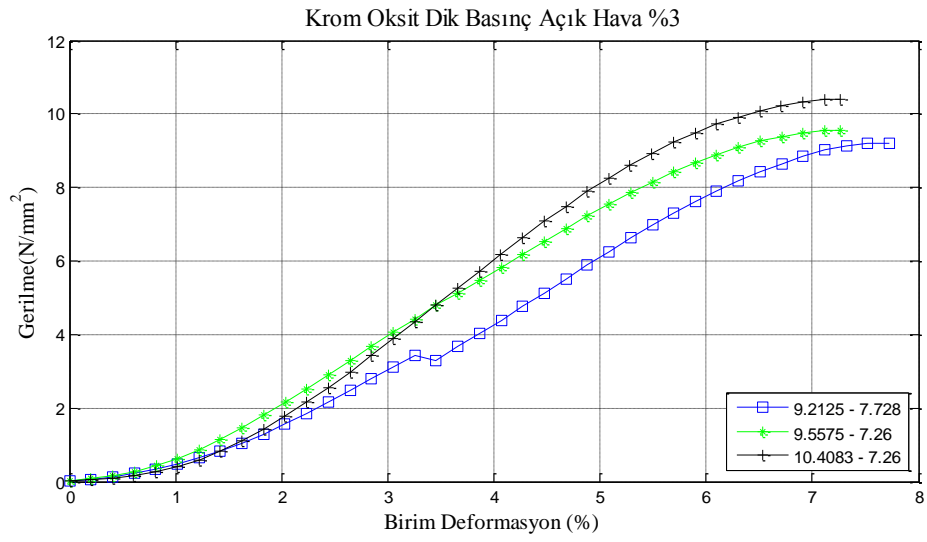
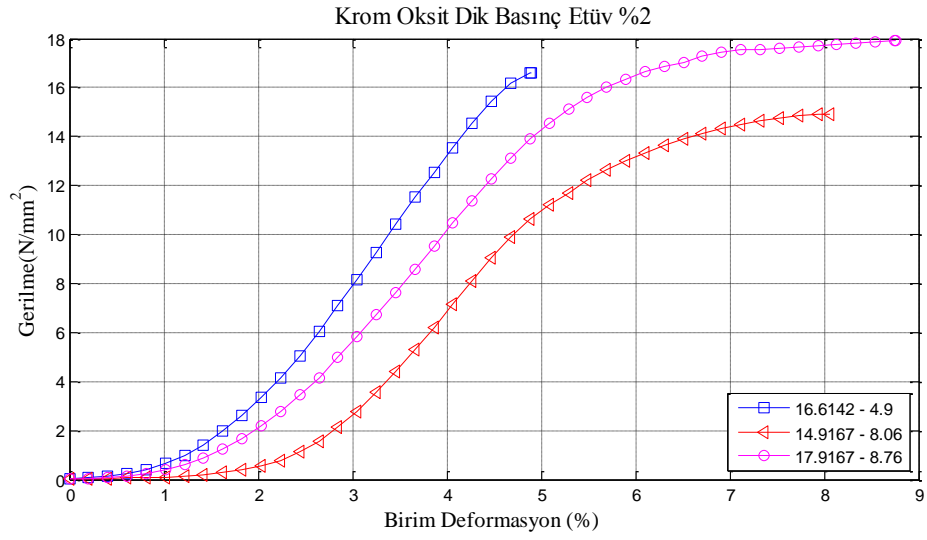


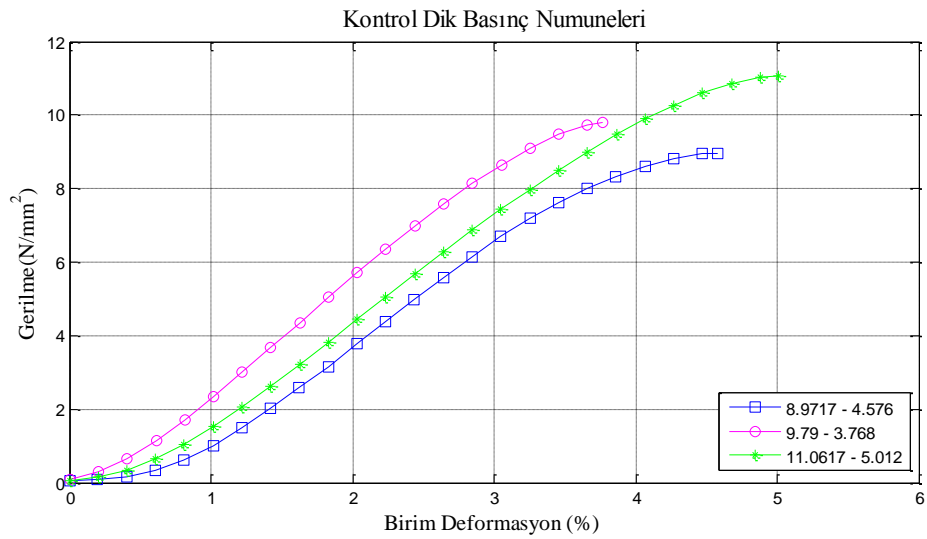
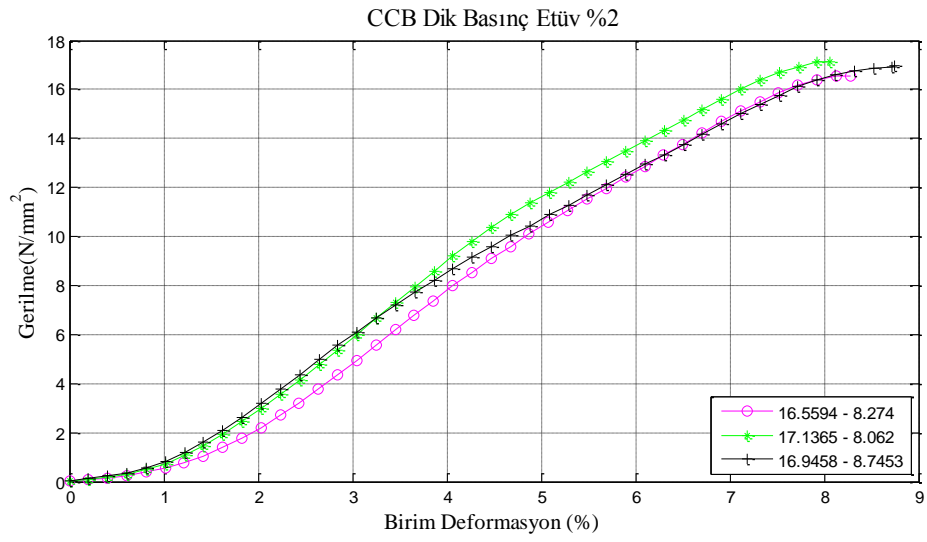
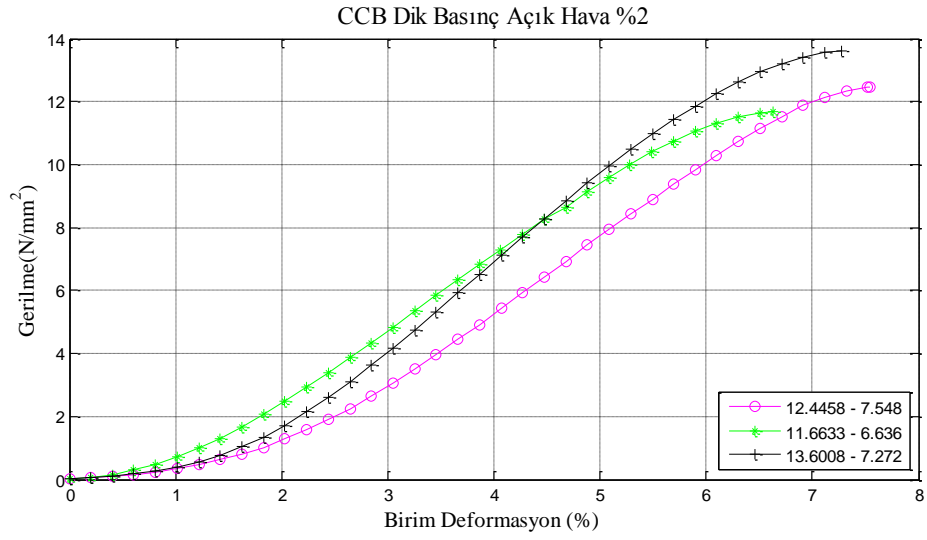




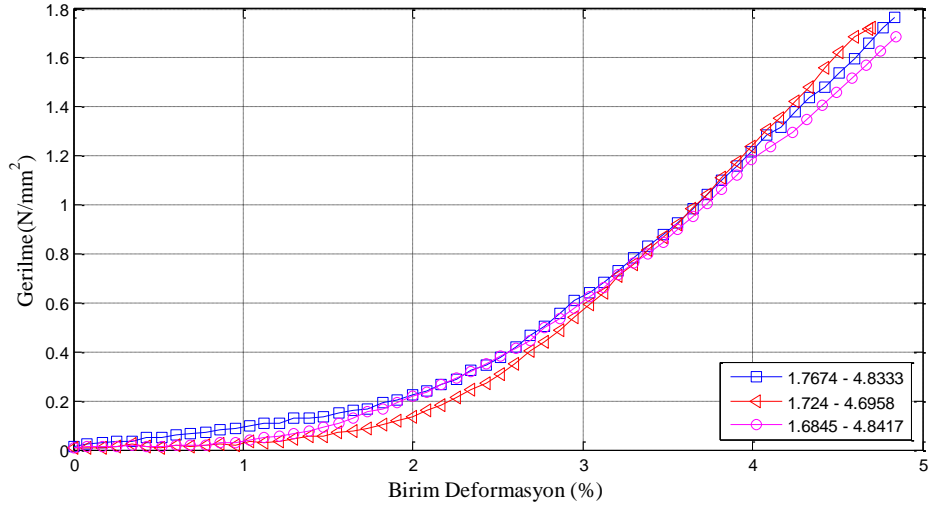




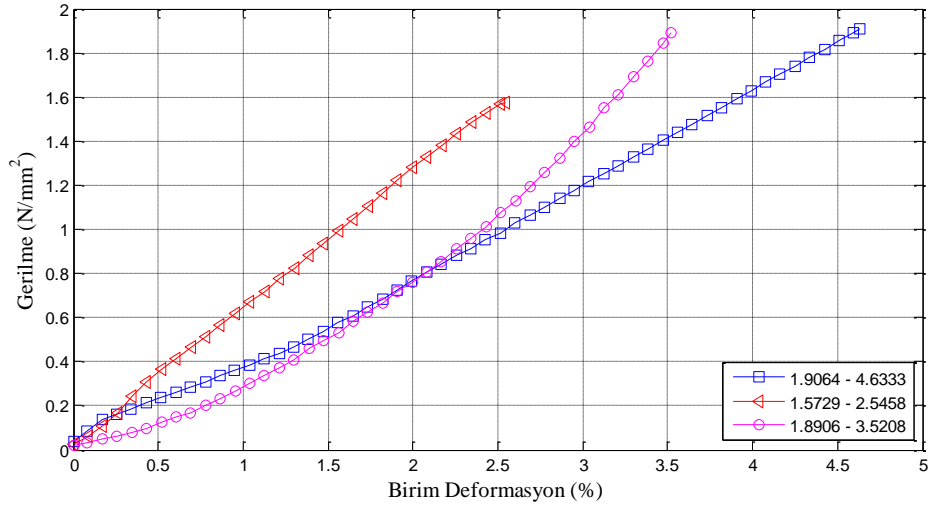




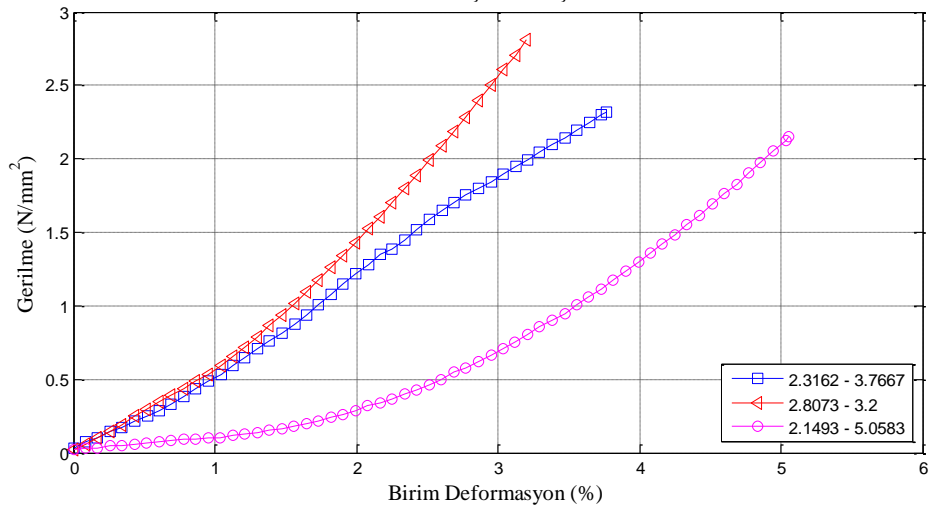
Bakır Oksit Dik Çekme Açık Hava %1

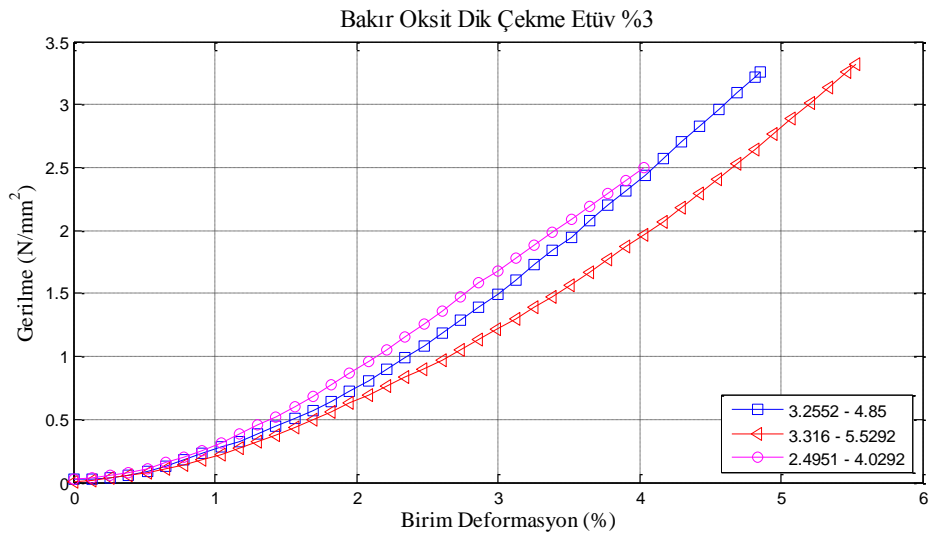
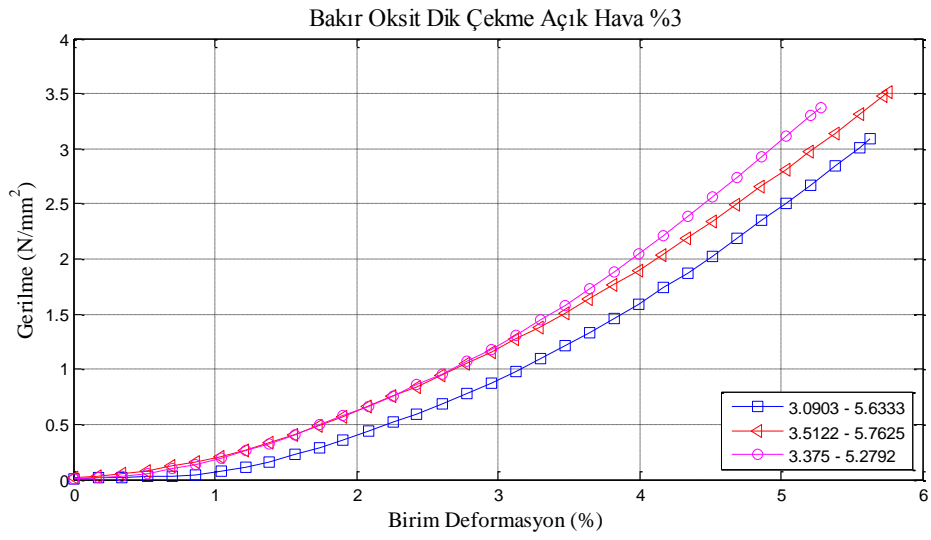
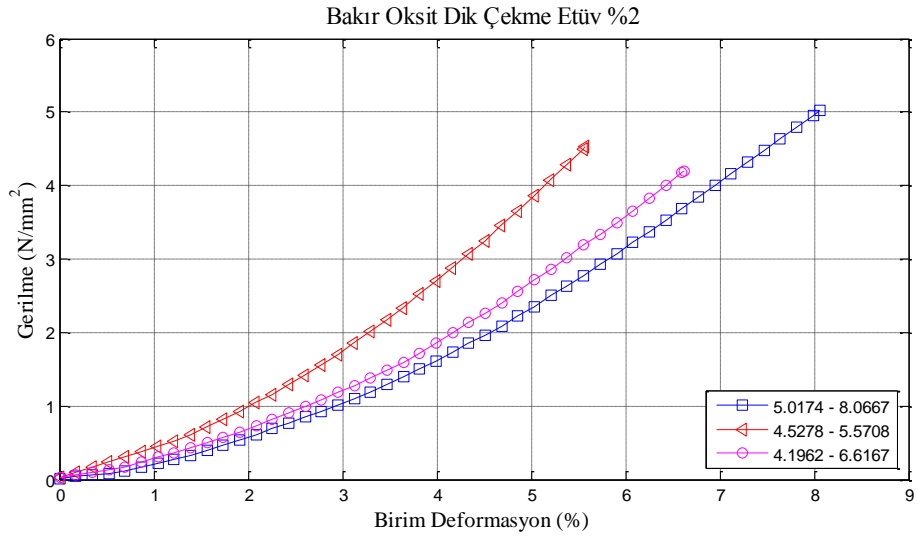


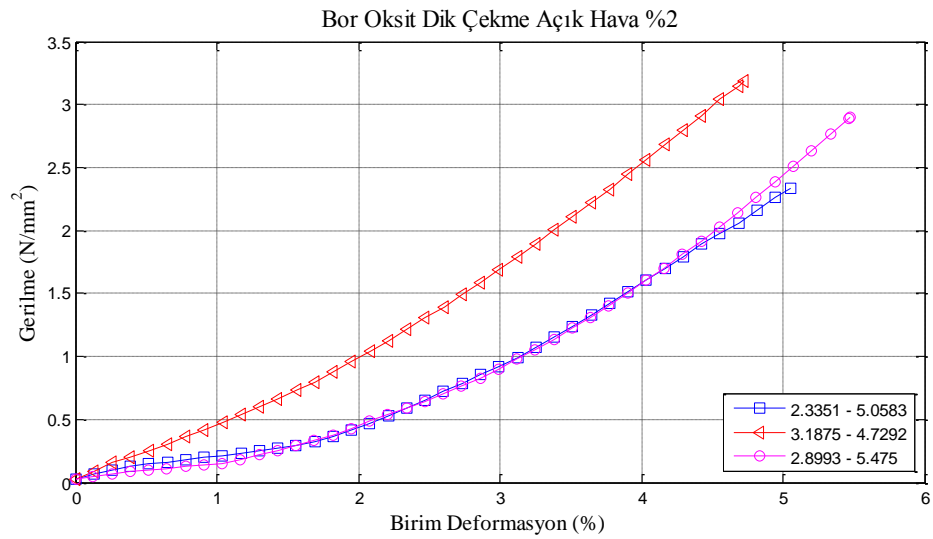
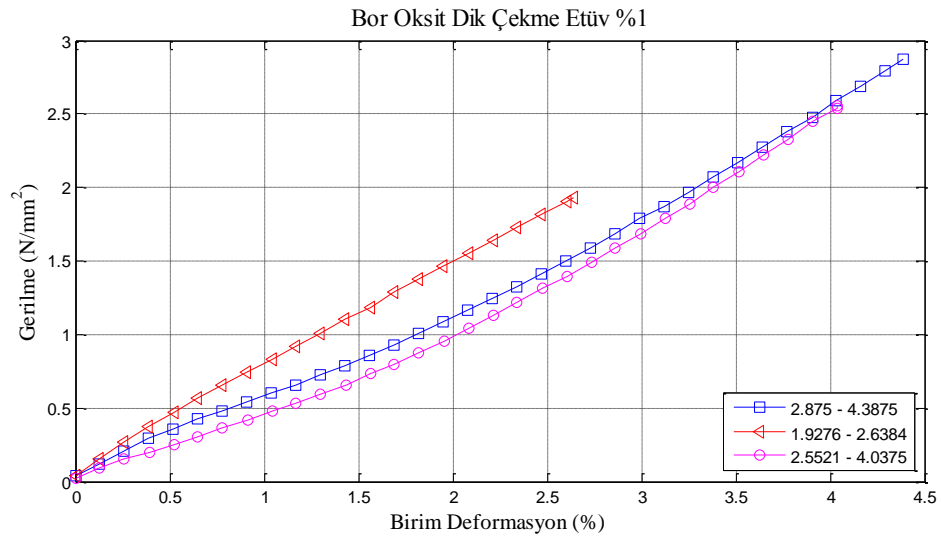
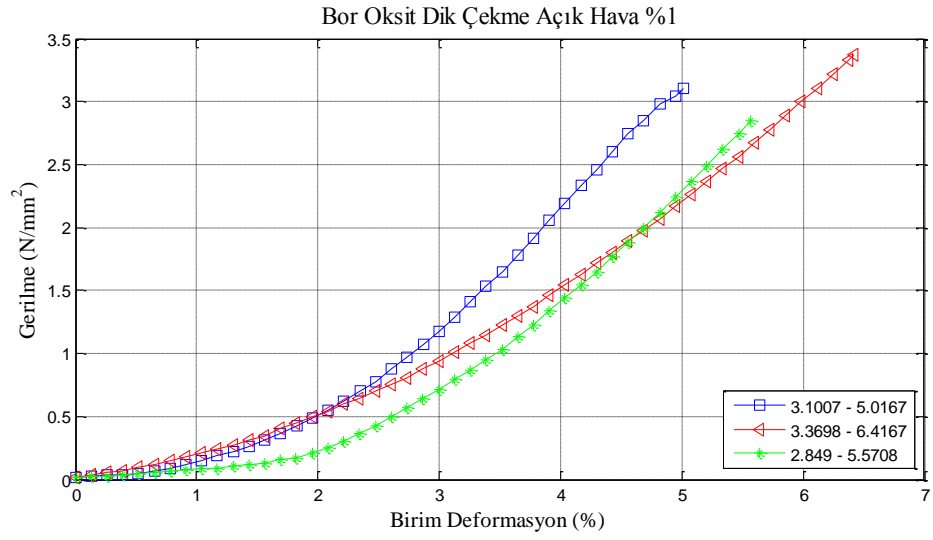
Bakır Oksit Dik Çekme Etüv %1

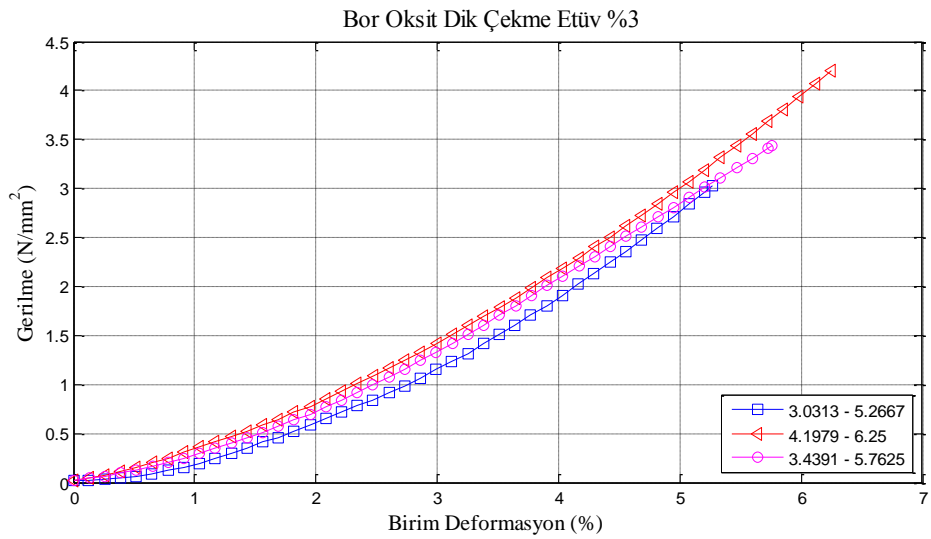
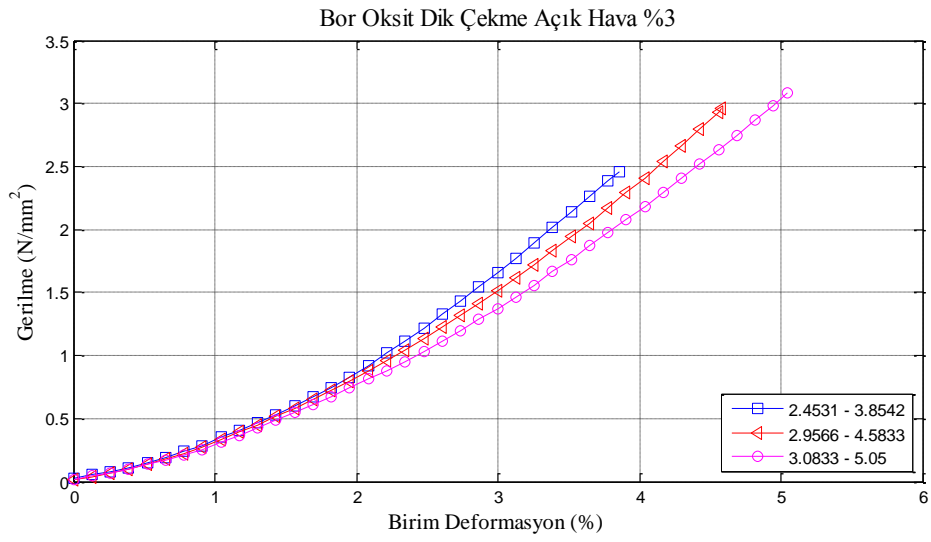
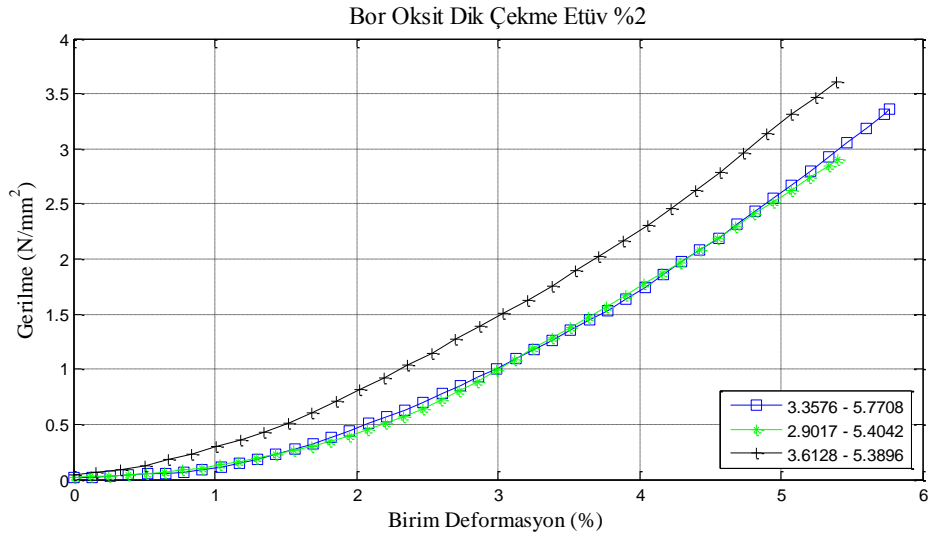


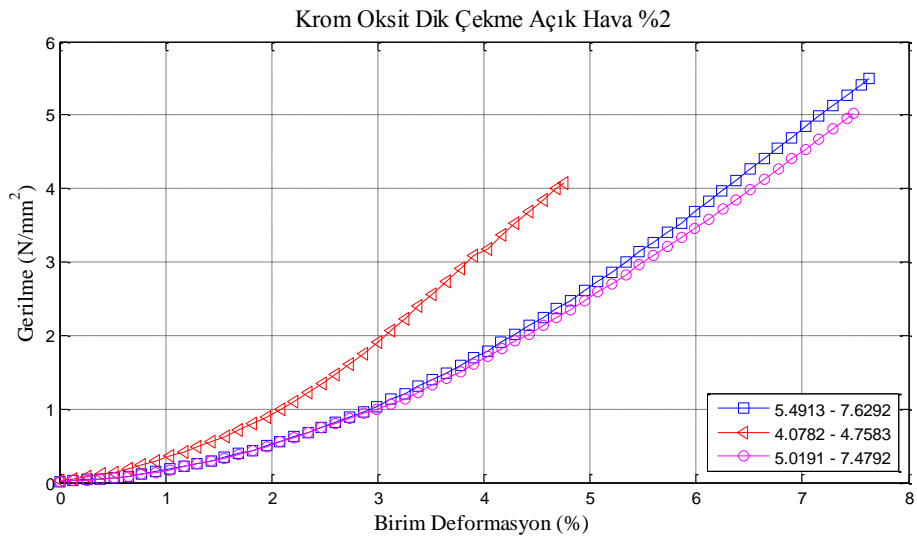
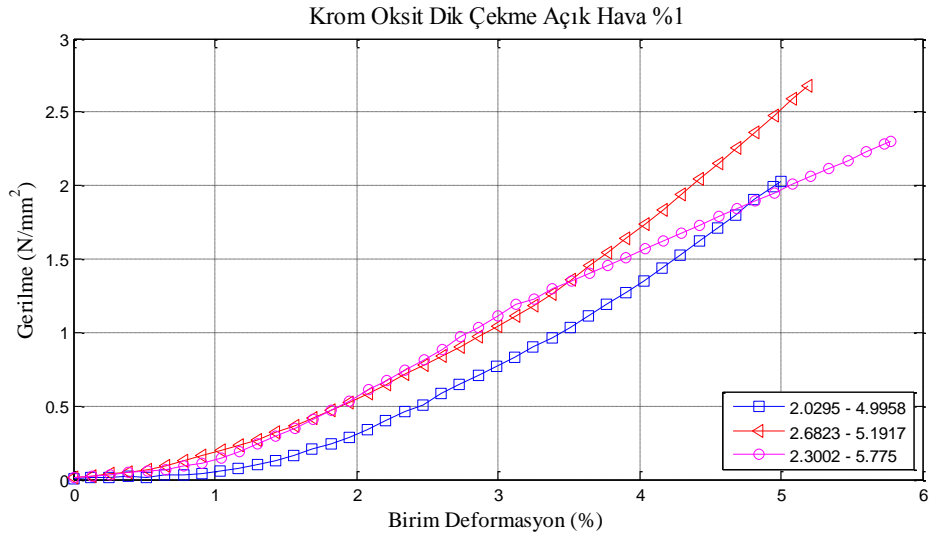
Bakır Oksit Dik Çekme Açık Hava %2

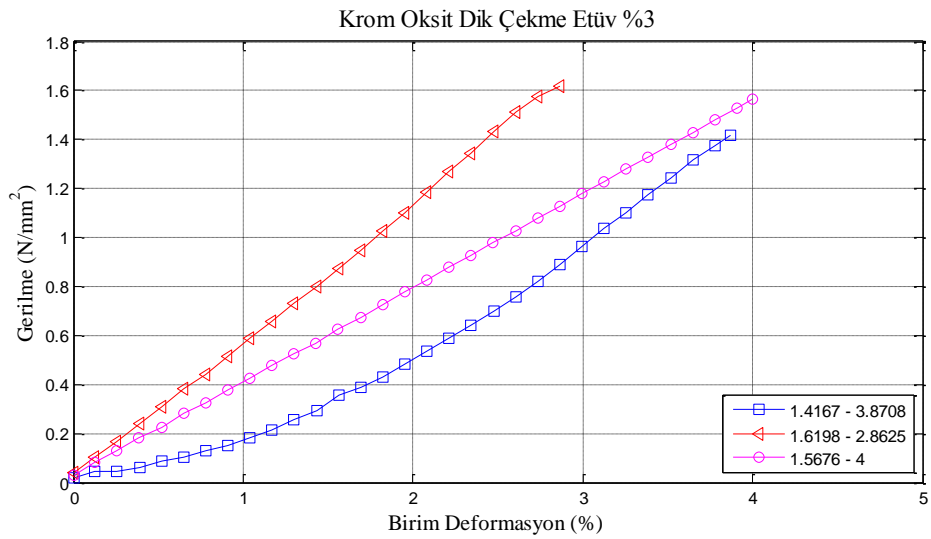
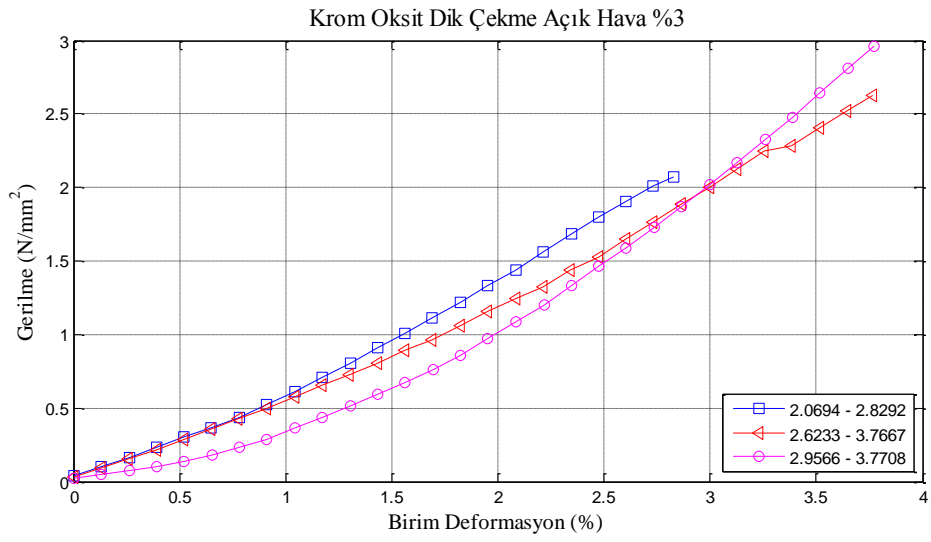
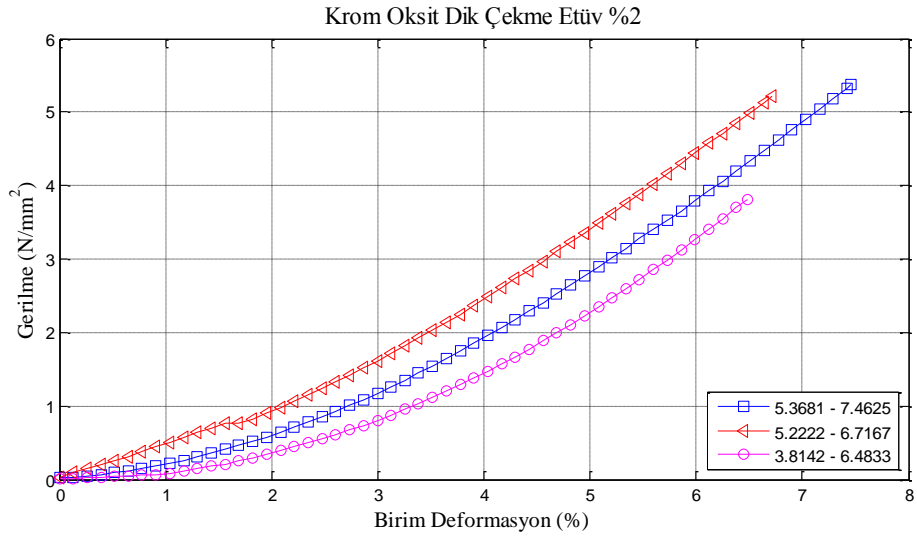


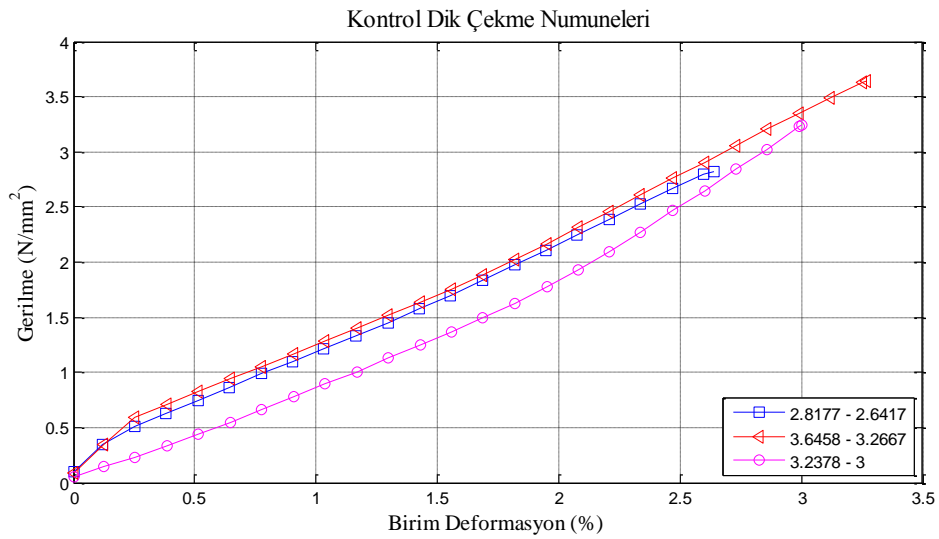
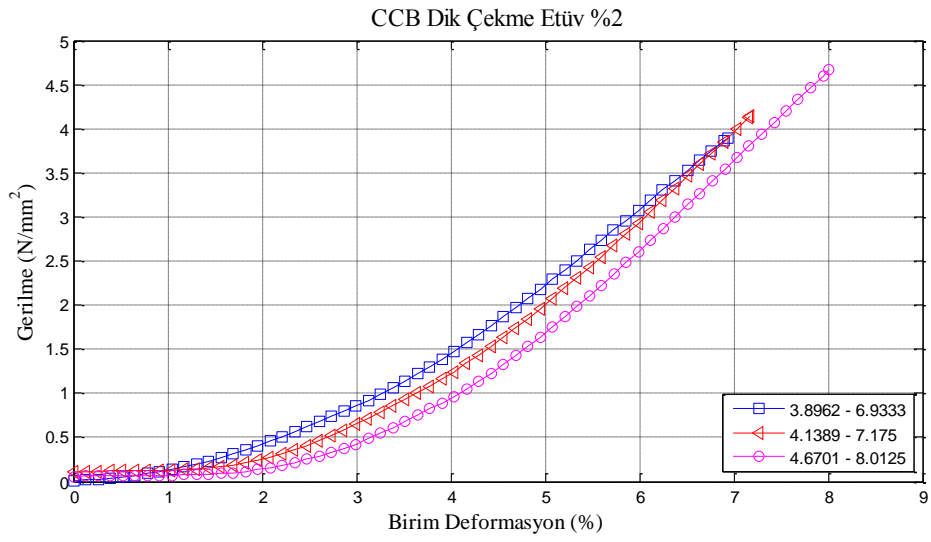
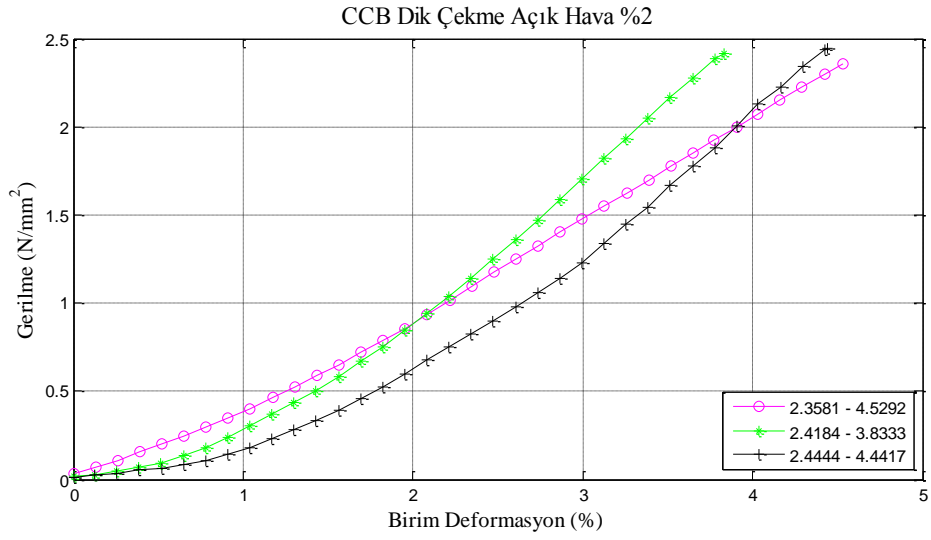




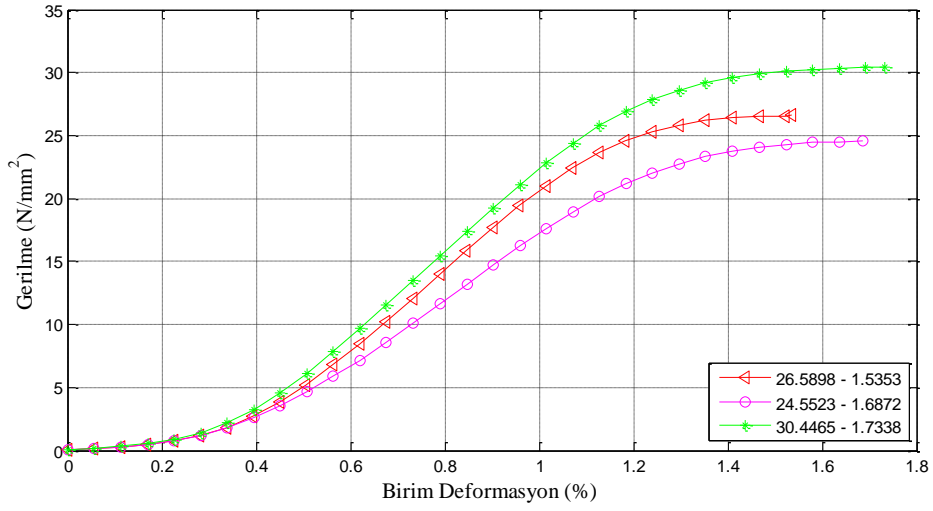




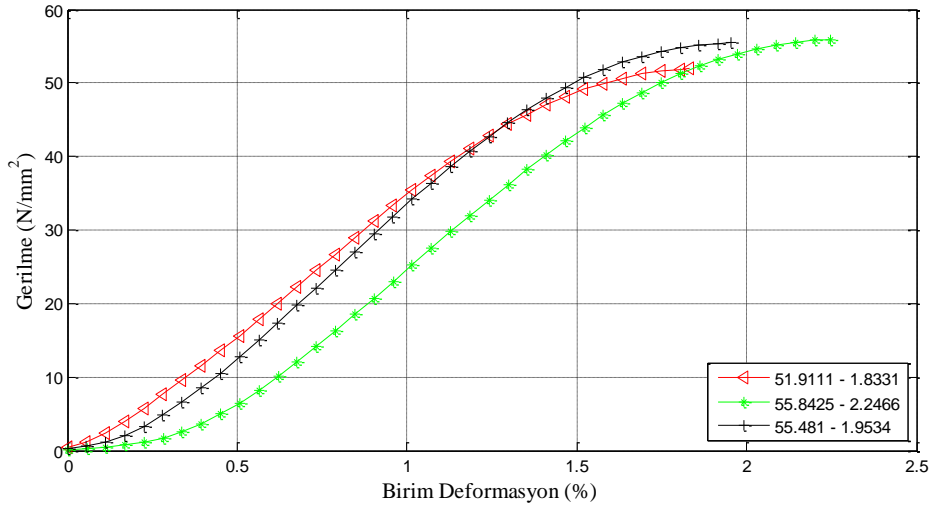




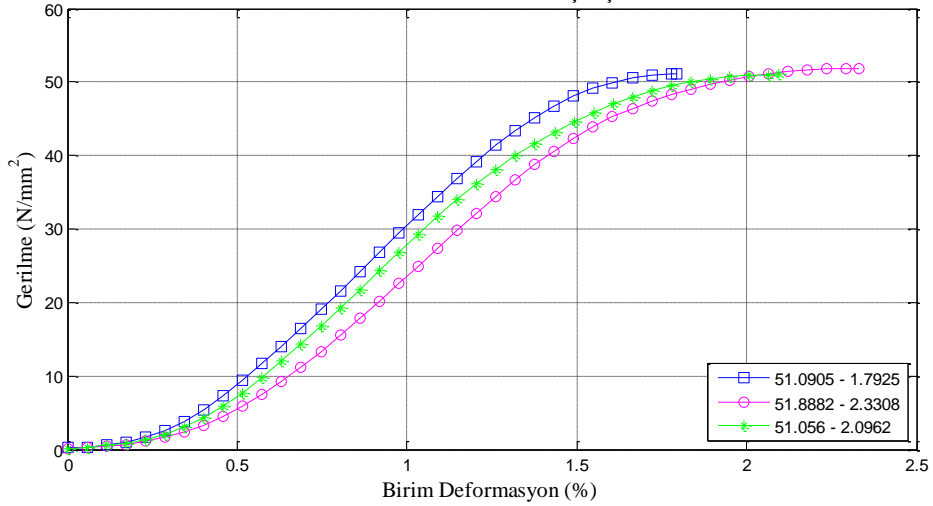
Bakır Oksit Paralel Basınç Açık Hava %1

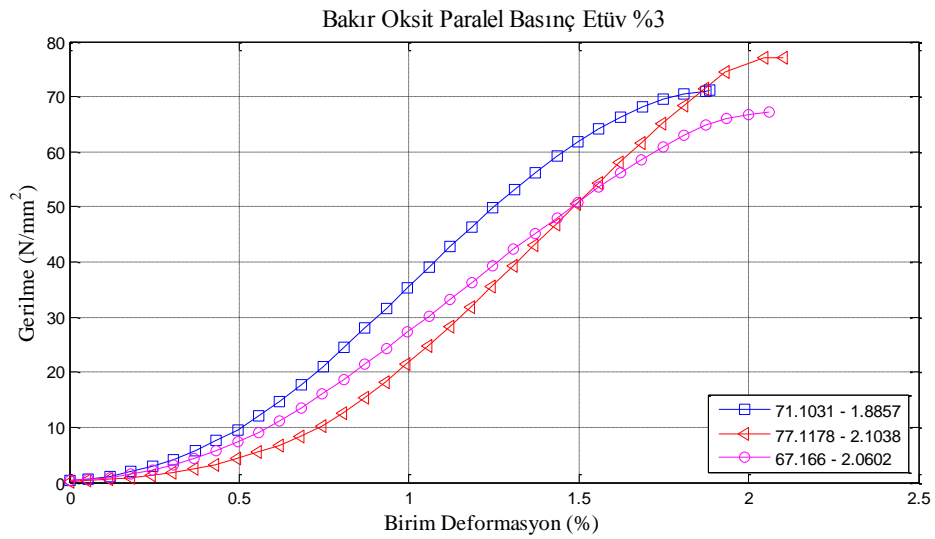
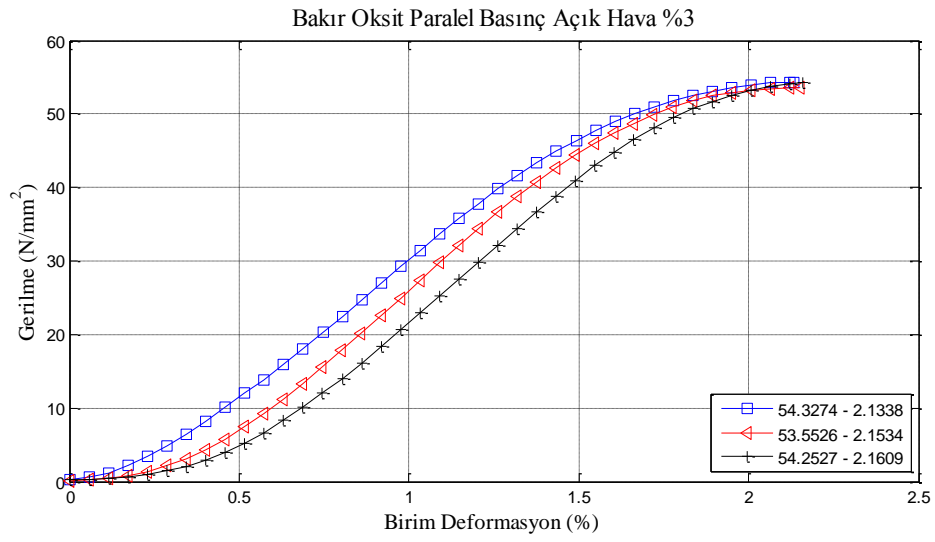
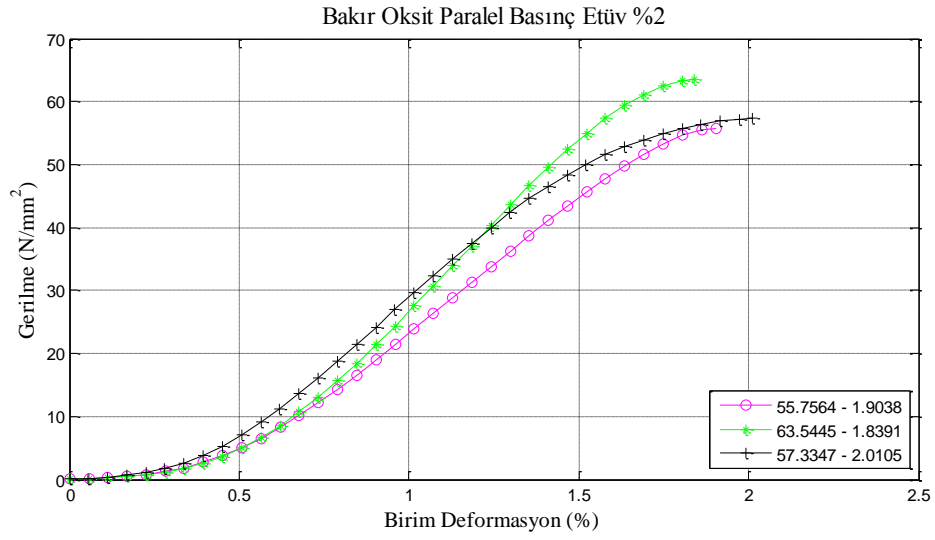


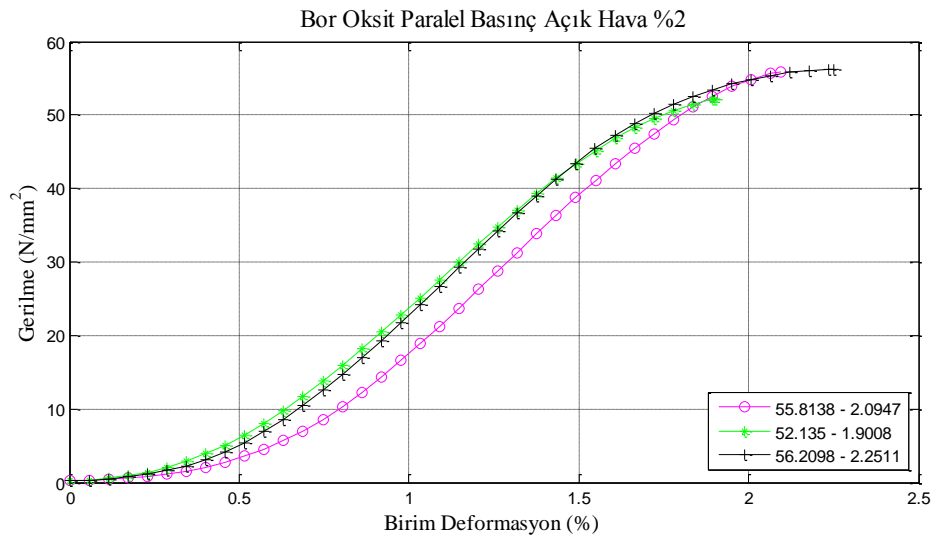
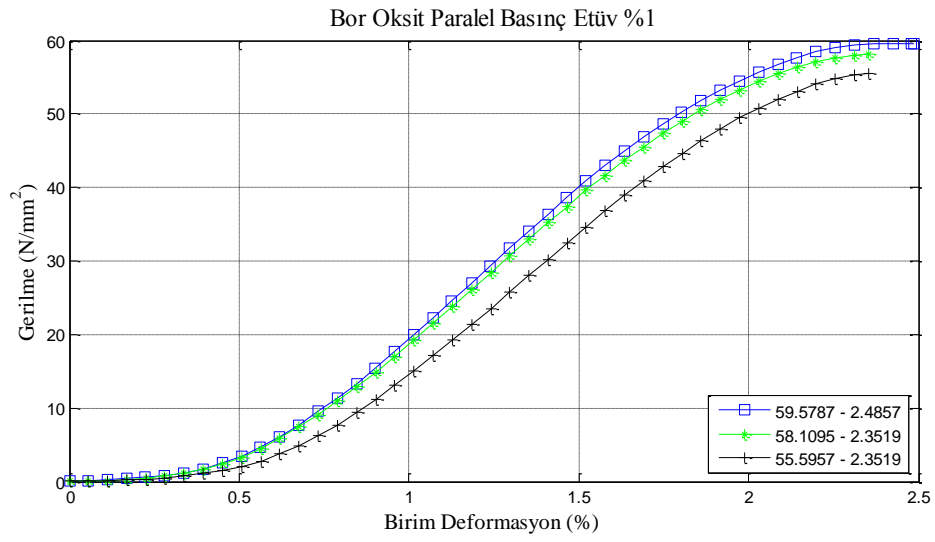
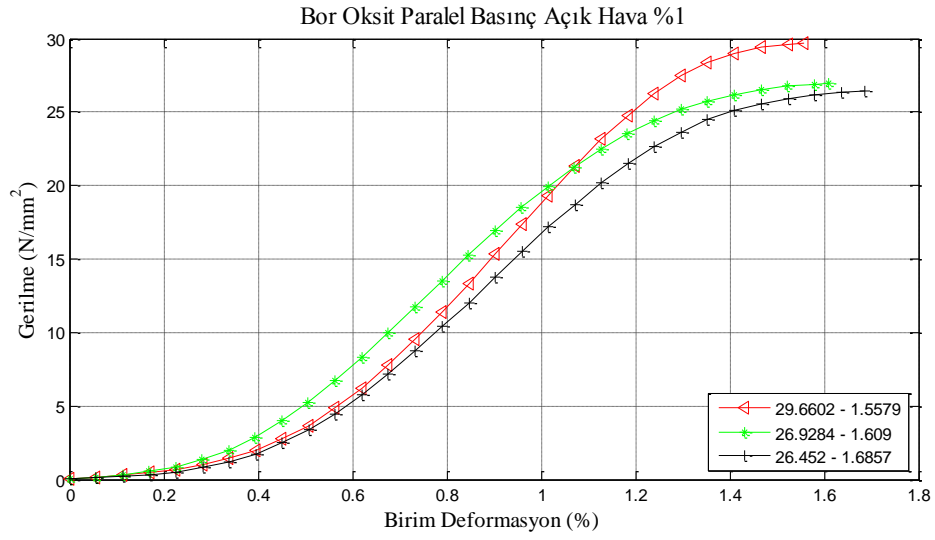
Bakır Oksit Paralel Basınç Ettüv %1

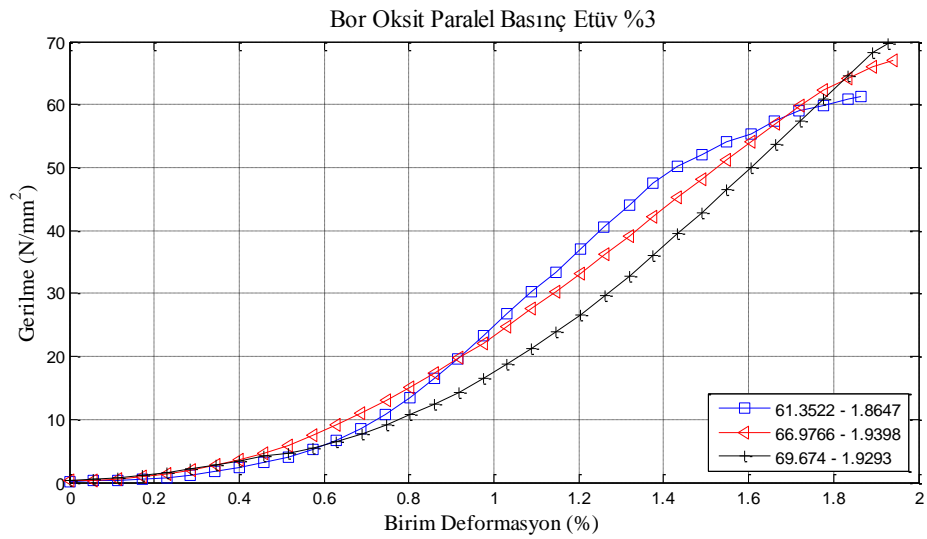
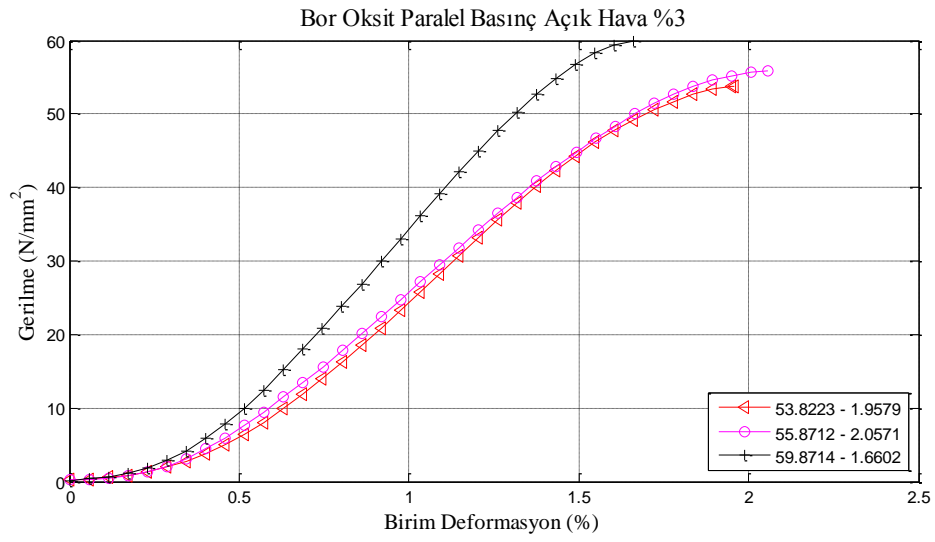
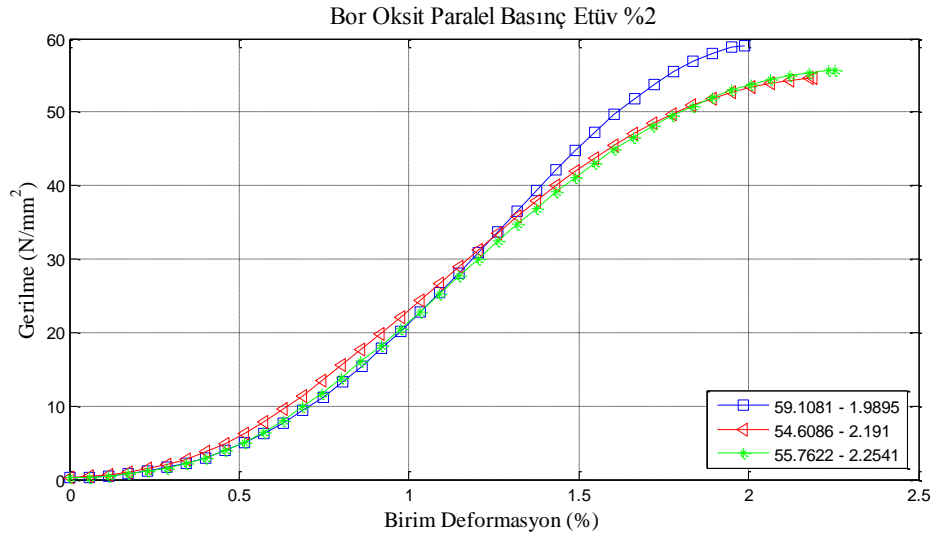


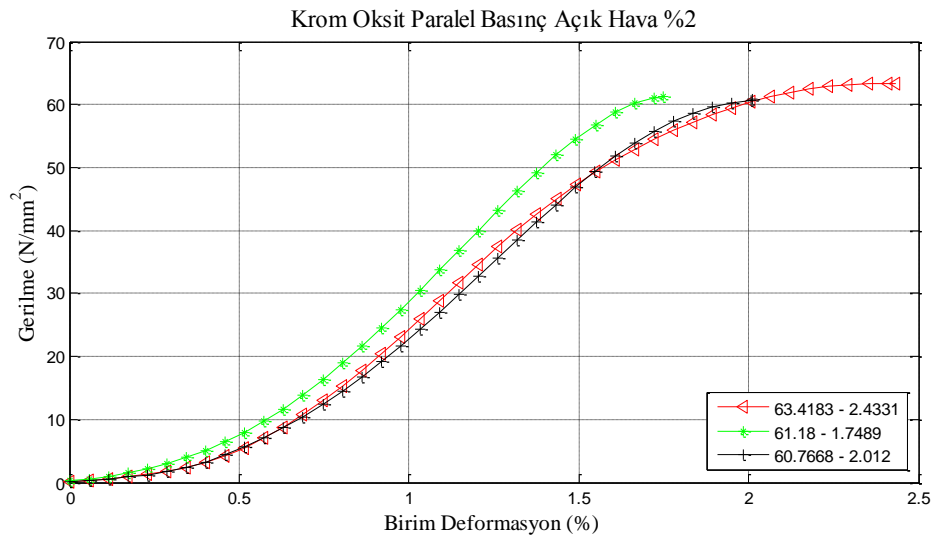
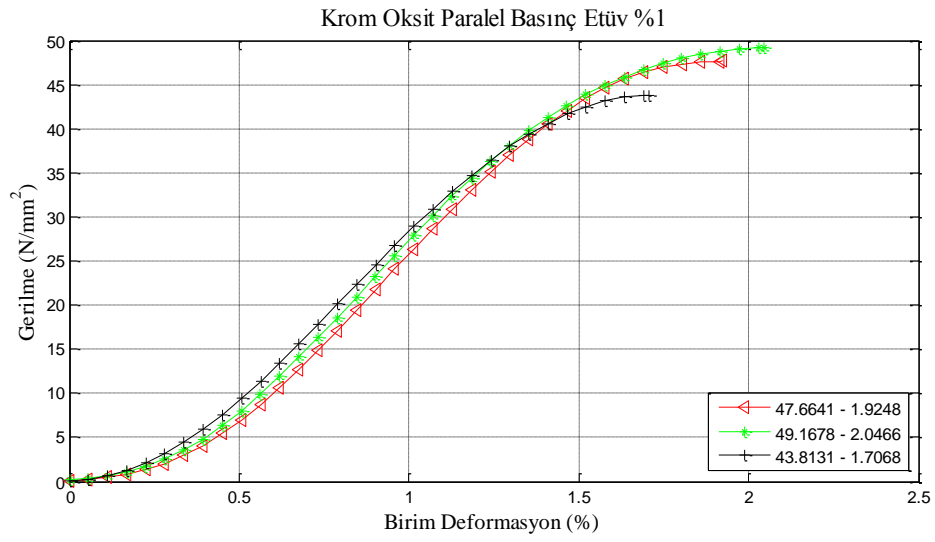
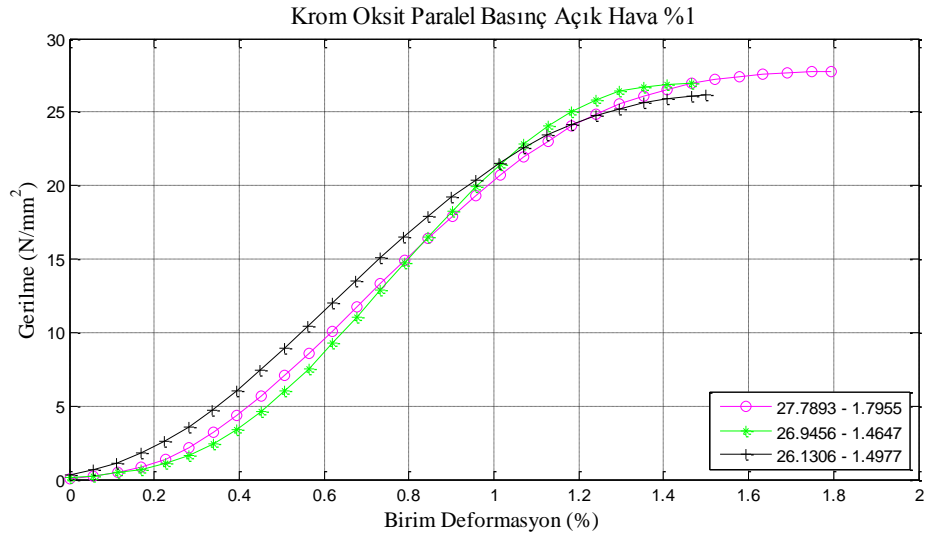
Bakır Oksit Paralel Basınç Açık Hava %2

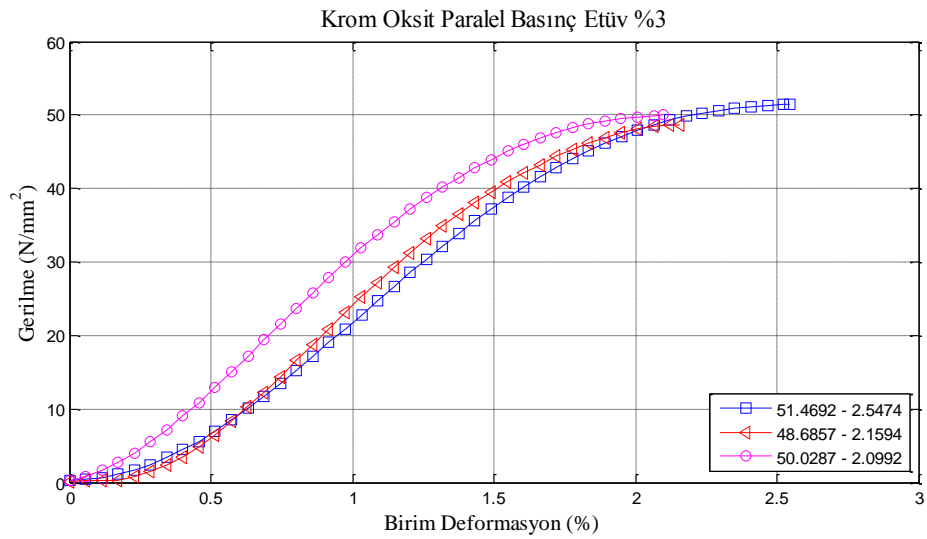
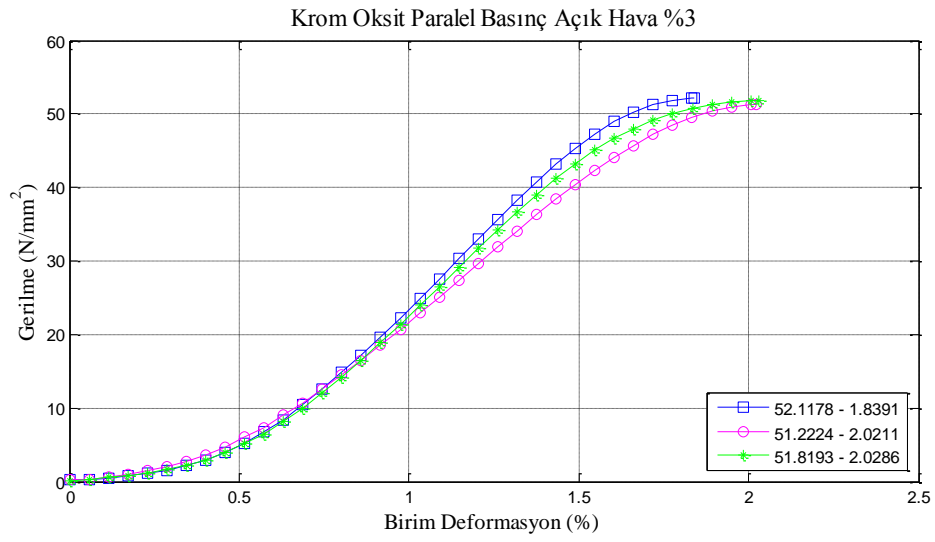
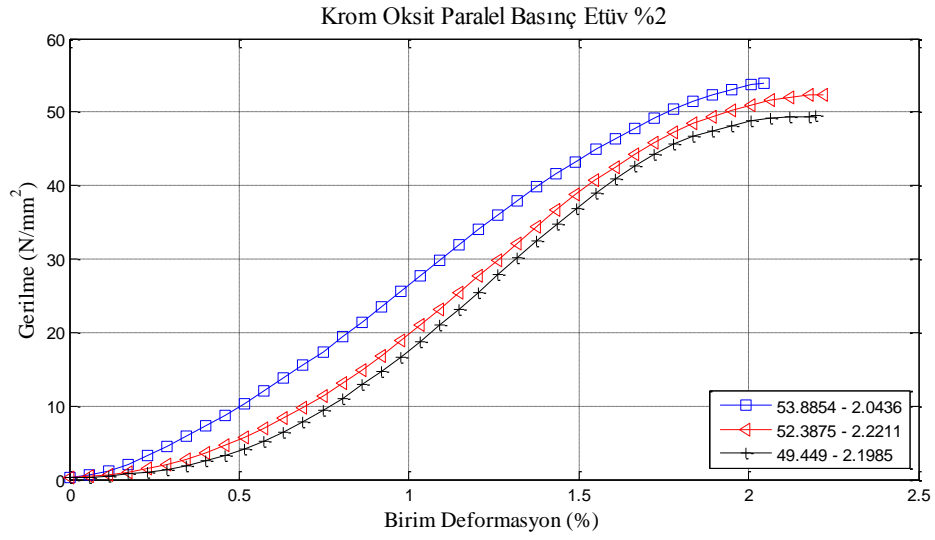


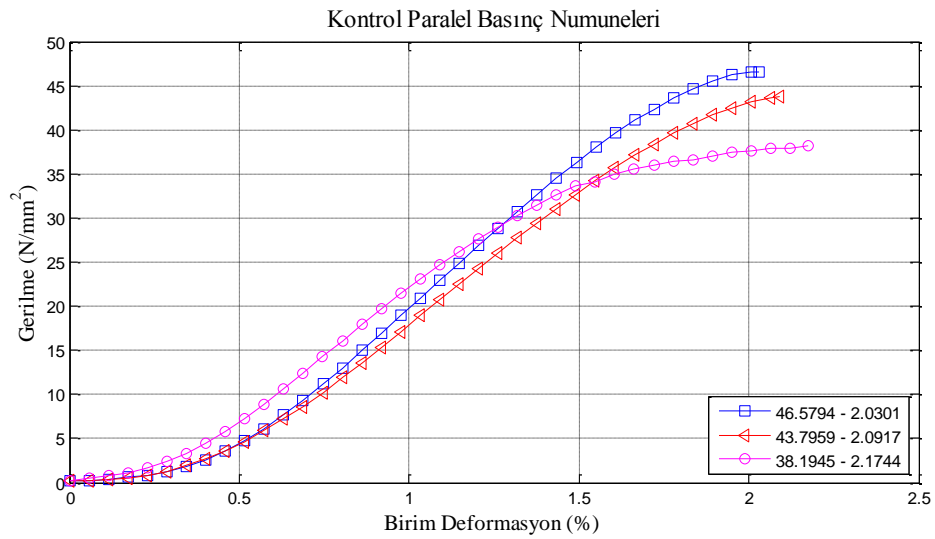
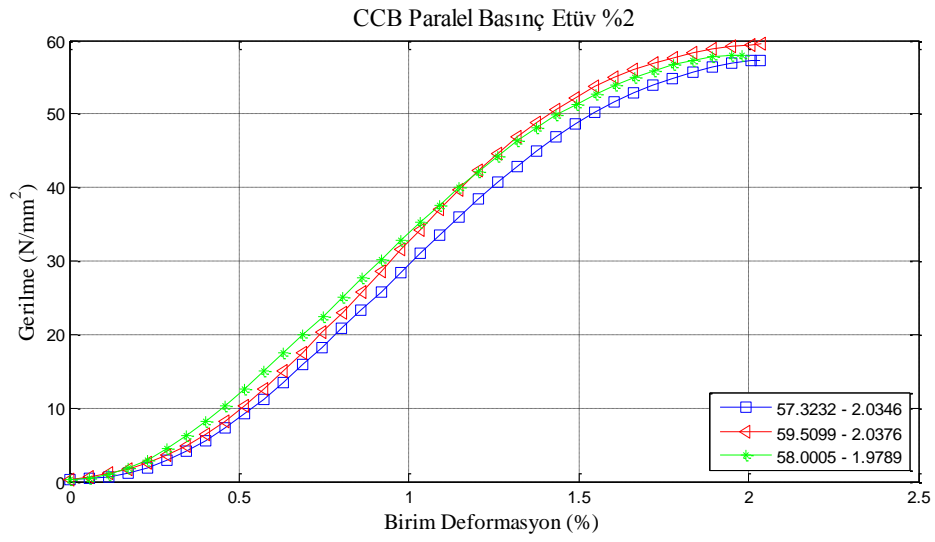
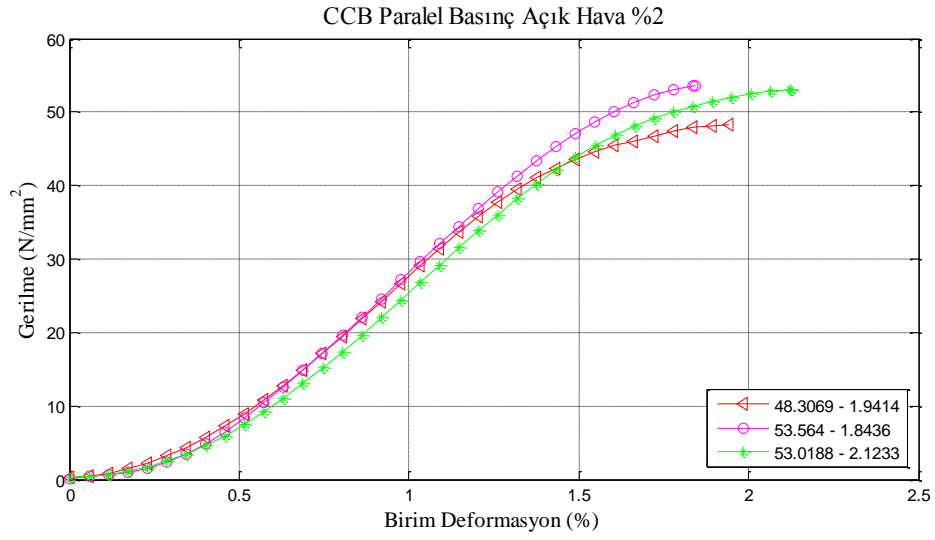


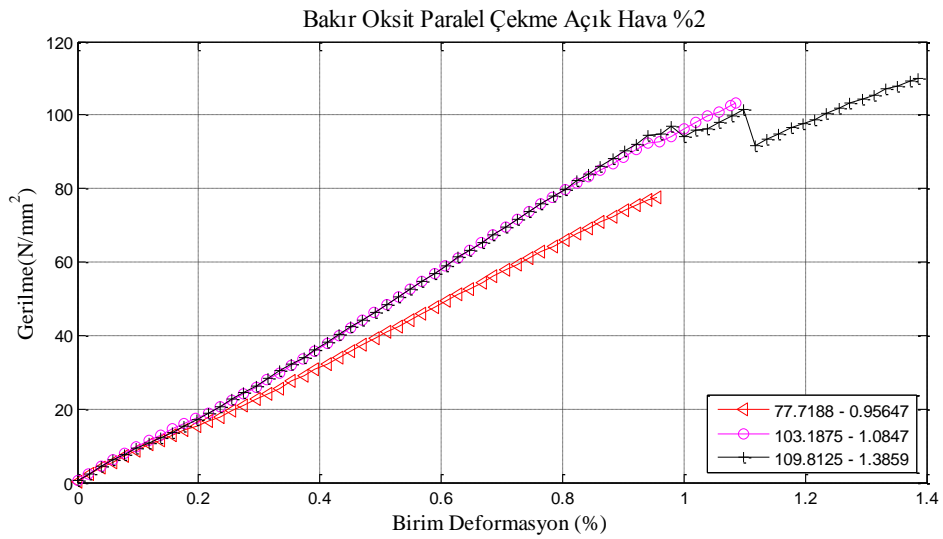
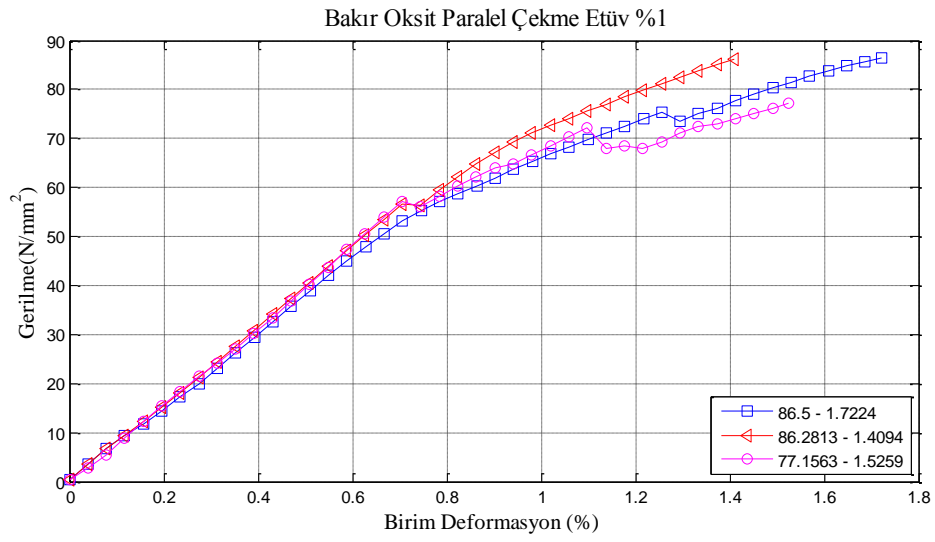
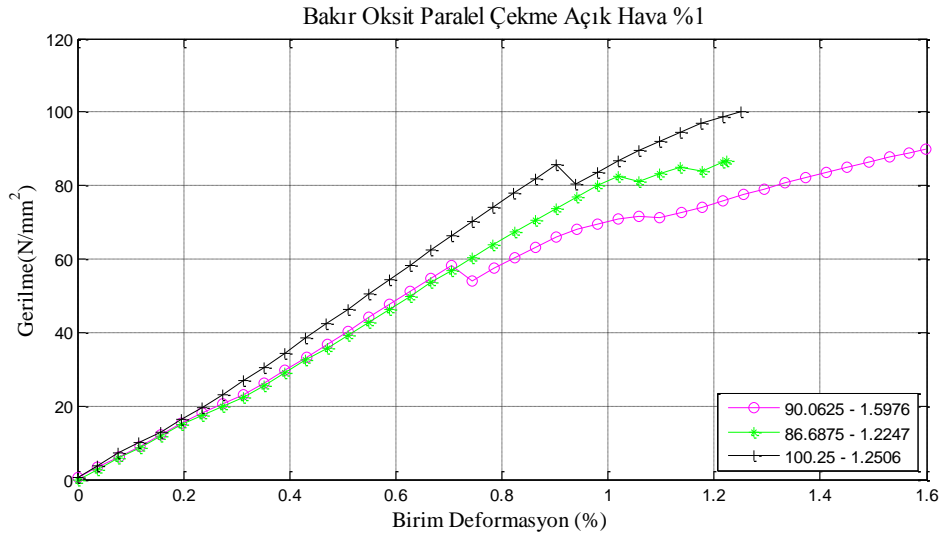


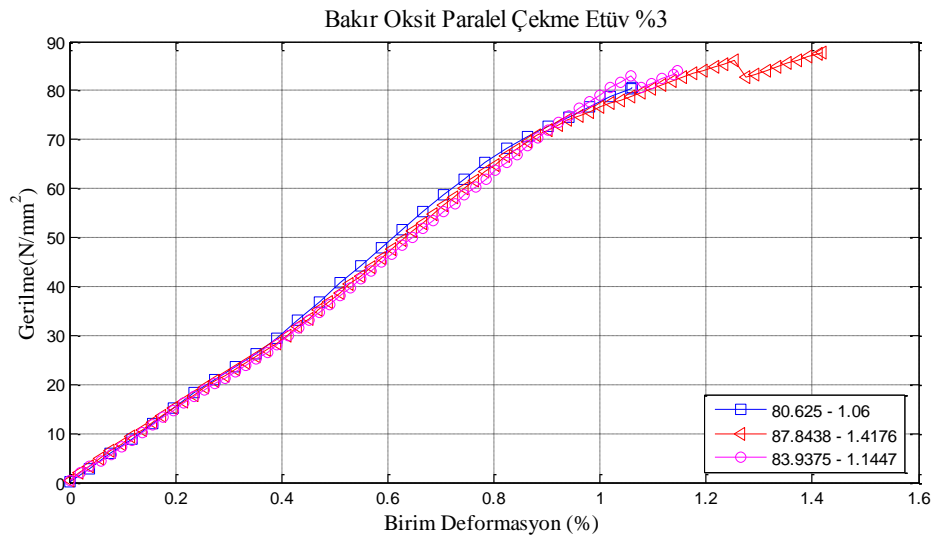
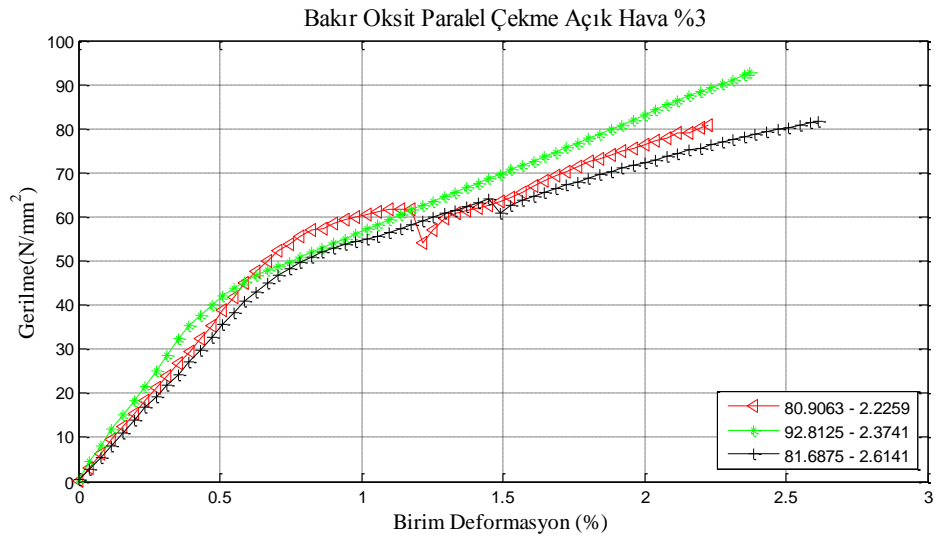
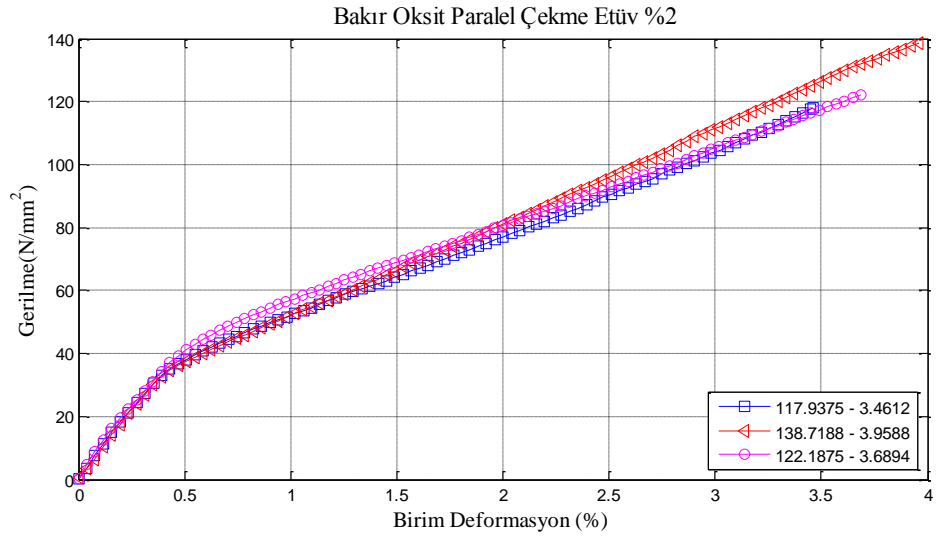


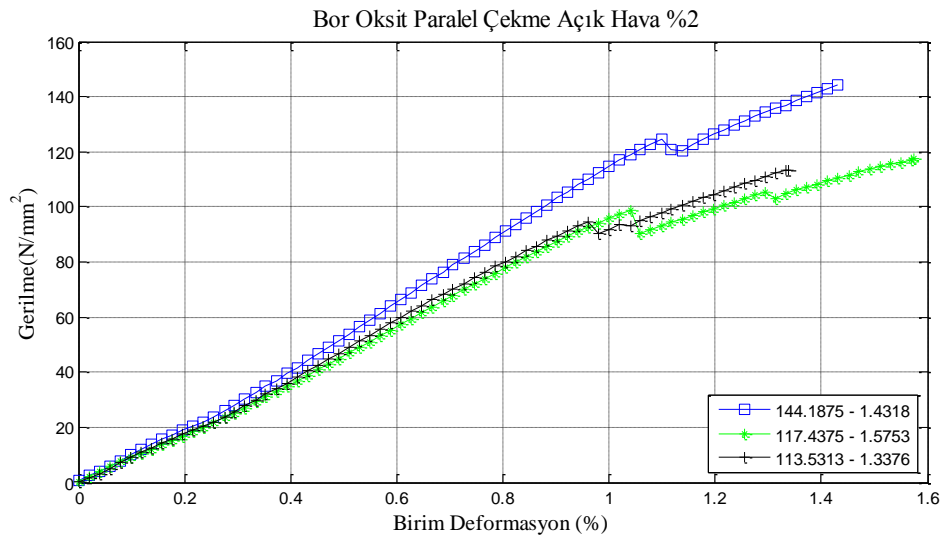
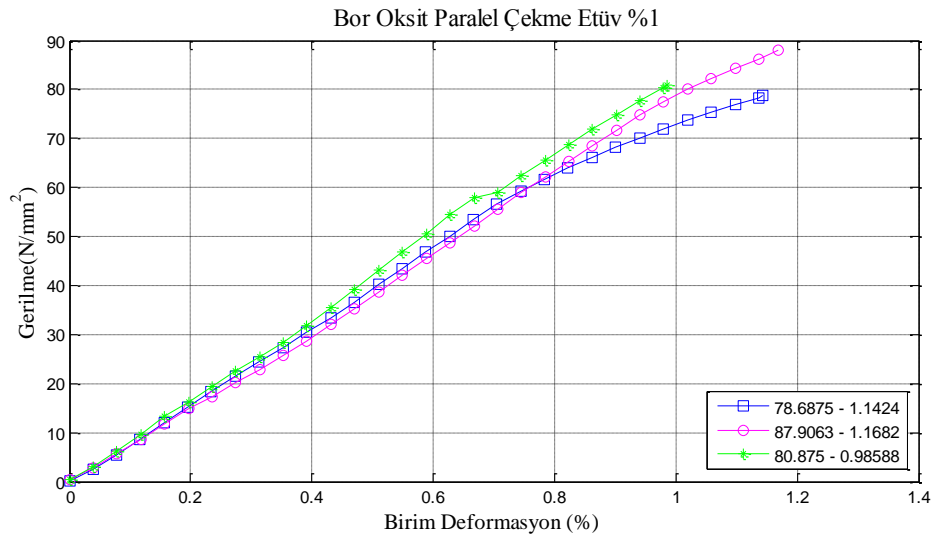
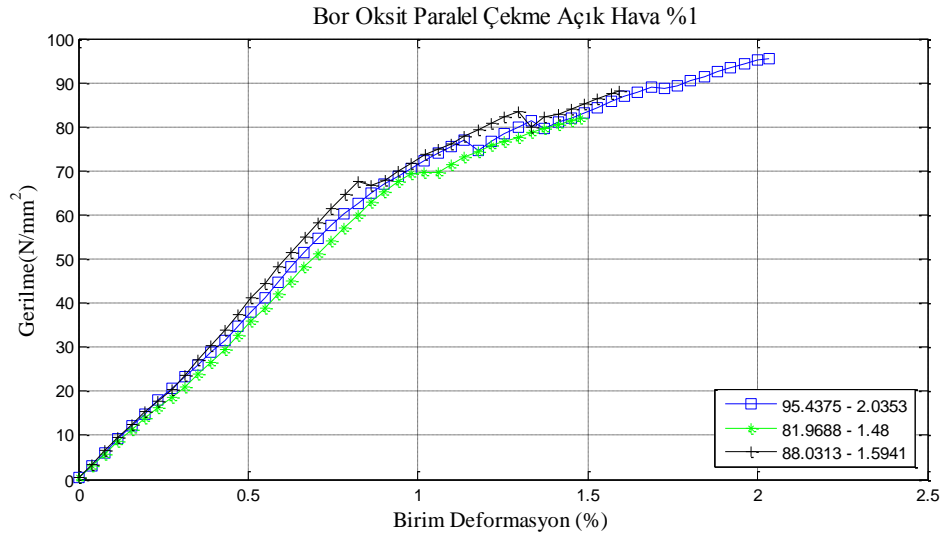


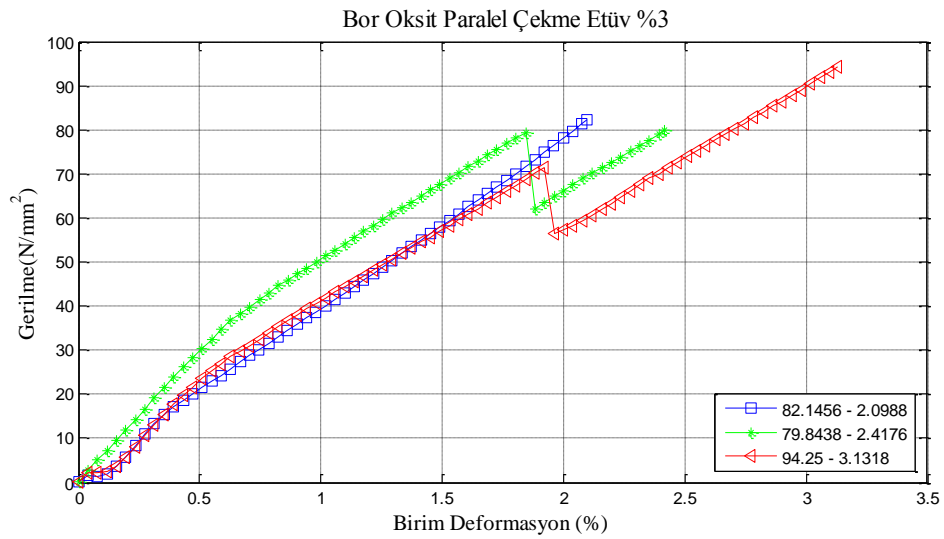
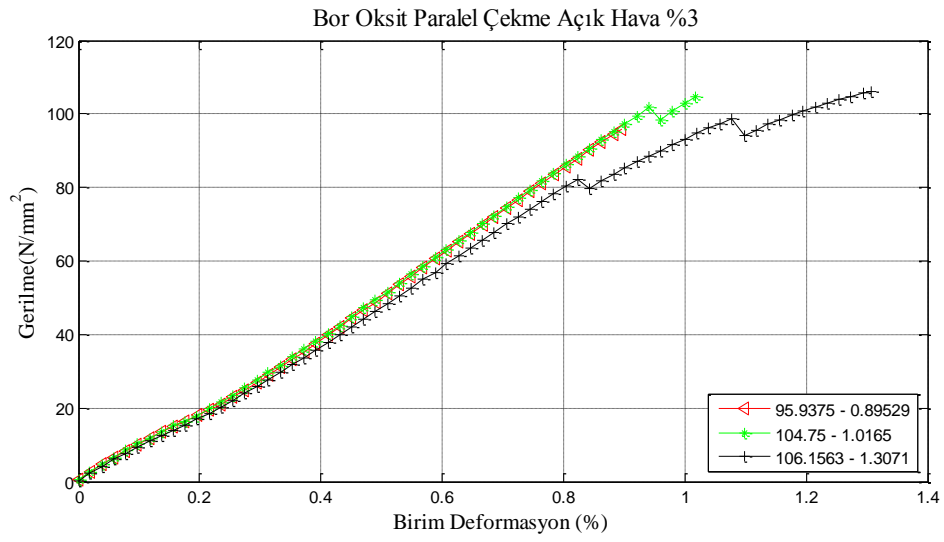
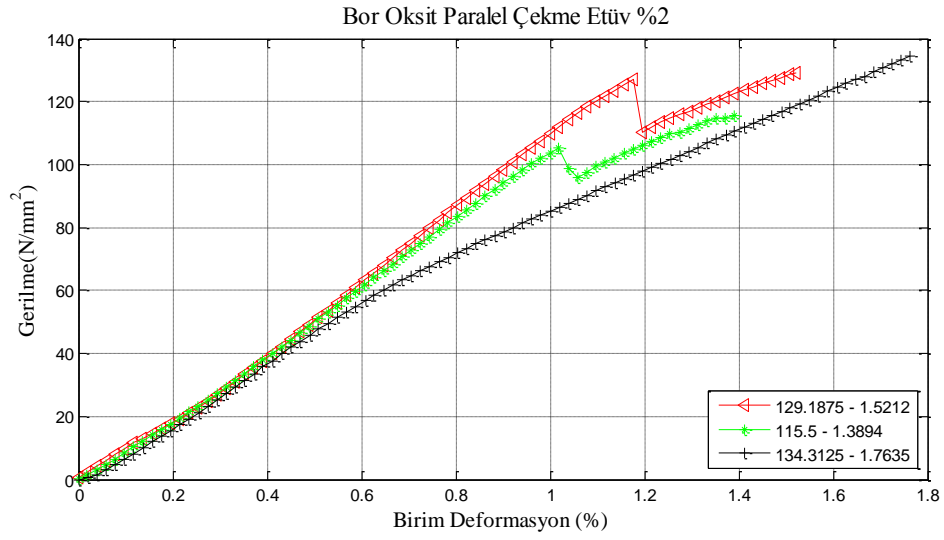




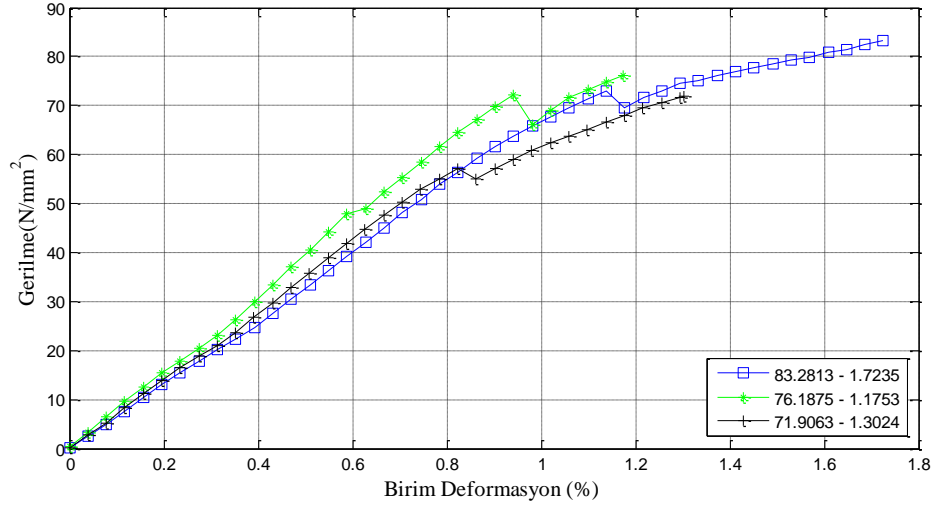




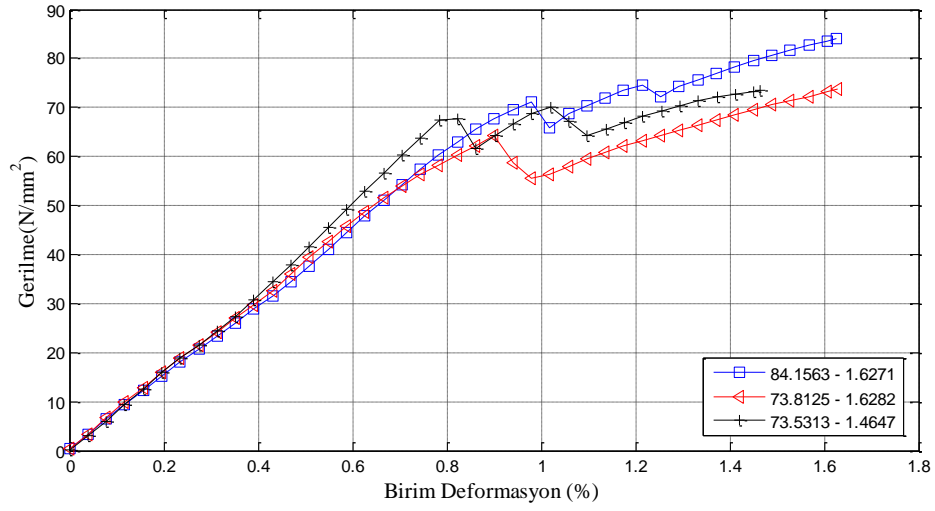




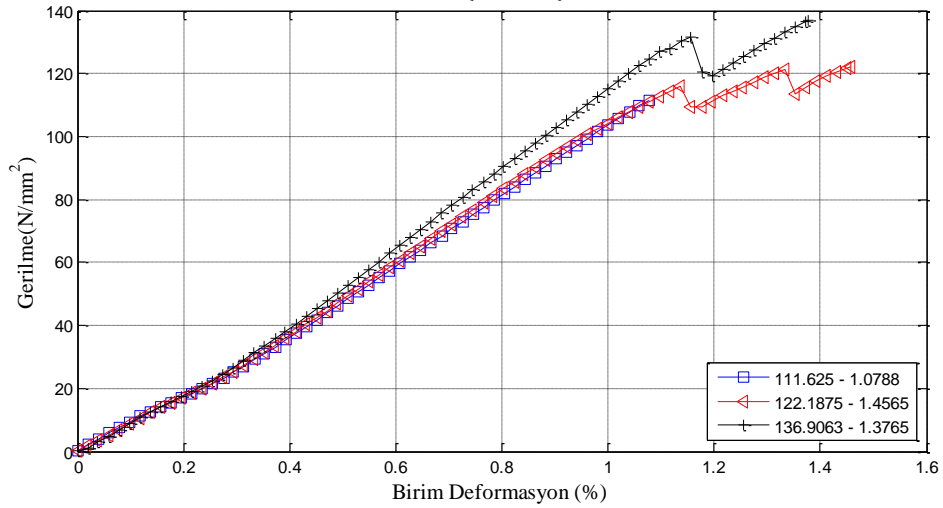
Krom Oksit Paralel Çekme Açık Hava %1

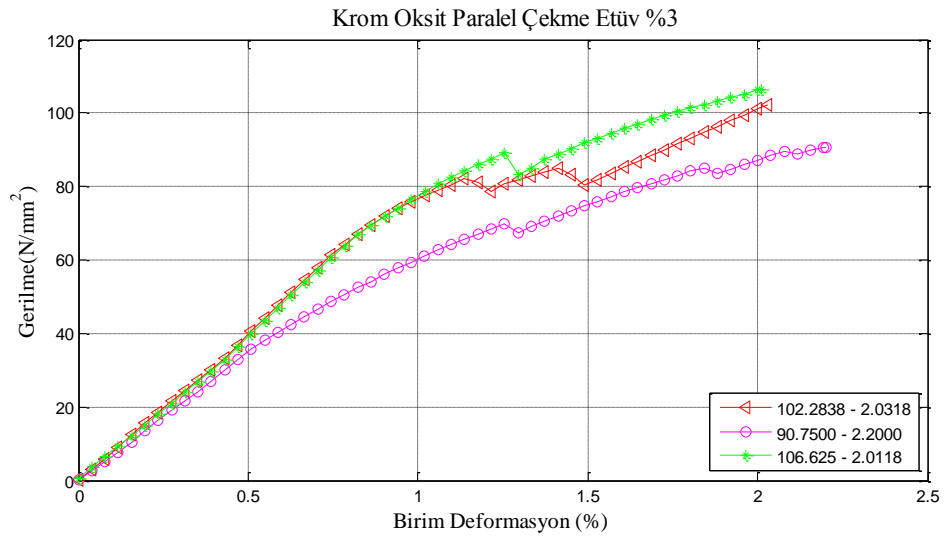
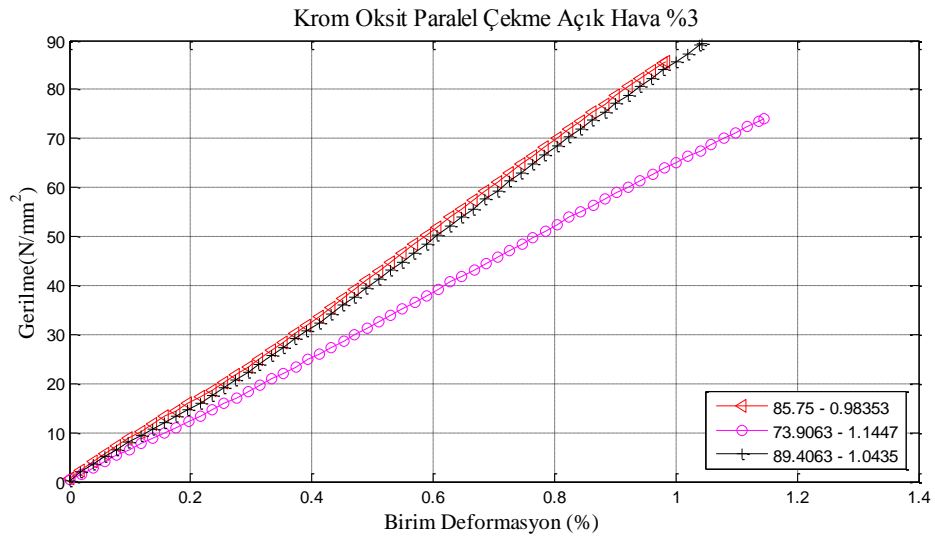
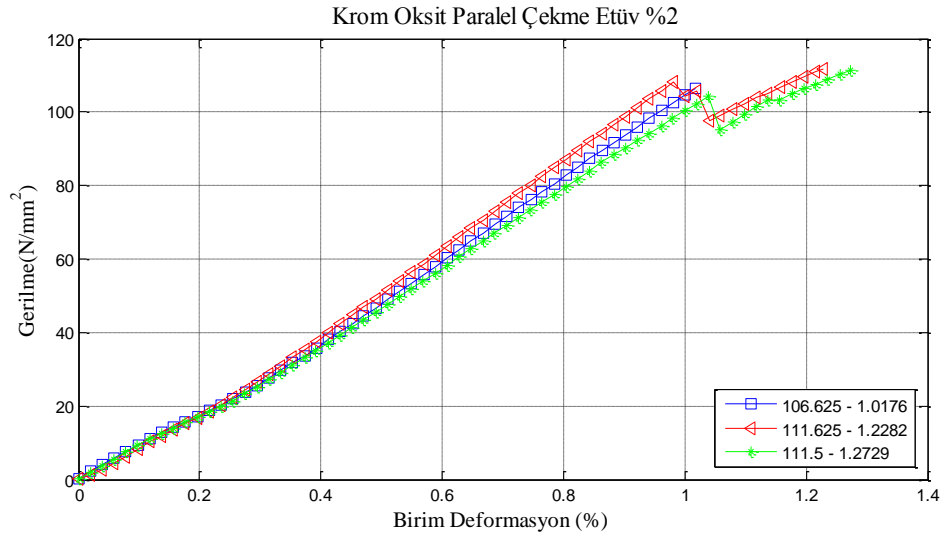


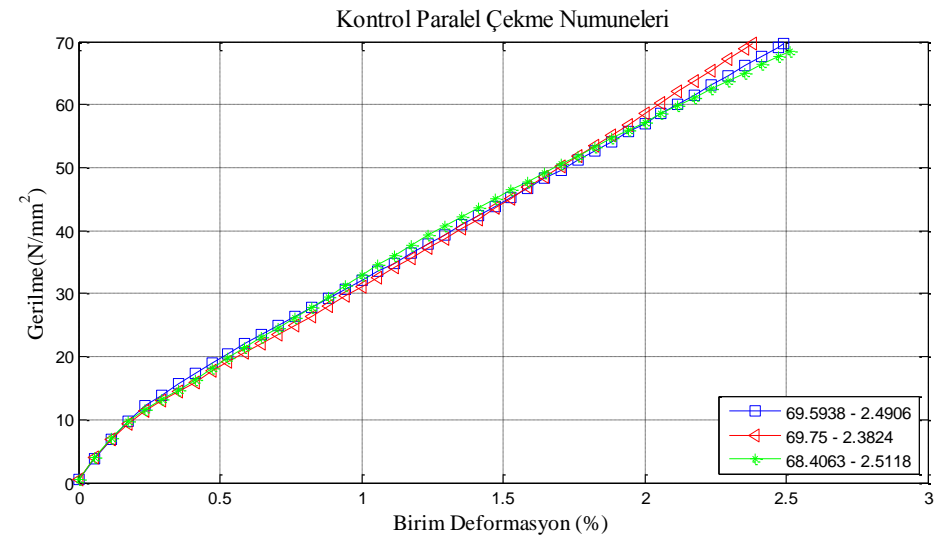
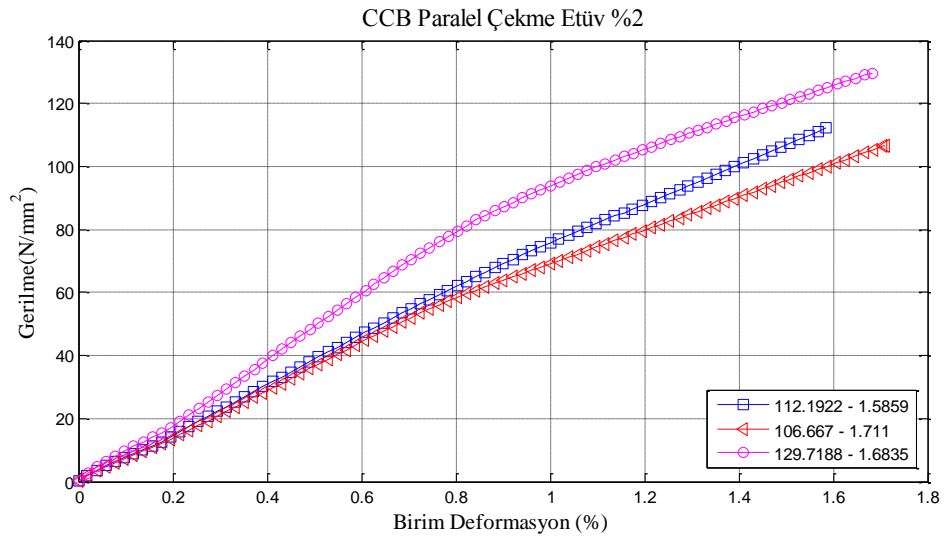
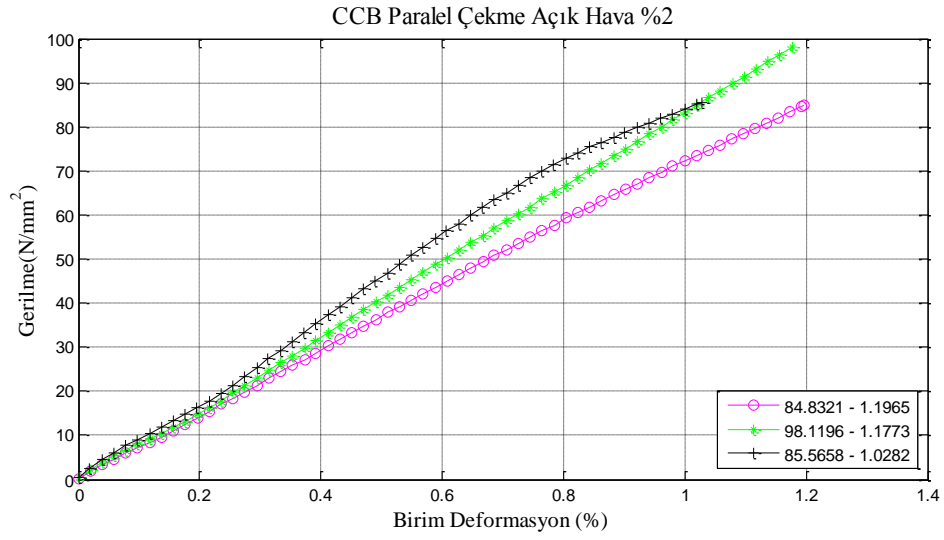
Krom Oksit Paralel Çekme Etüv %1

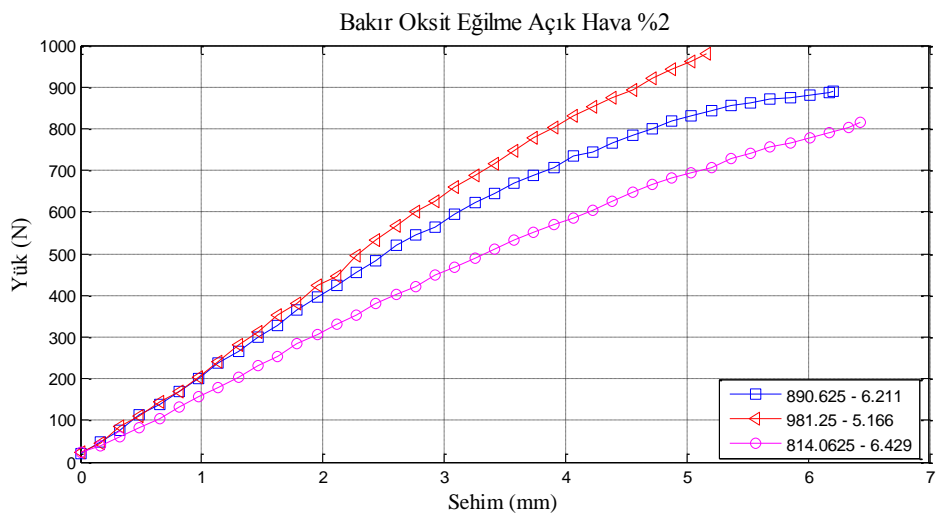
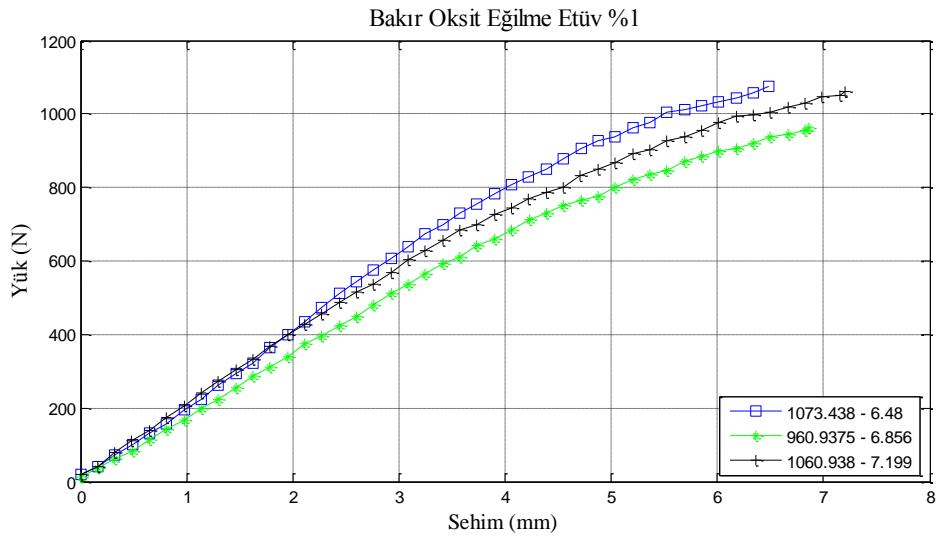
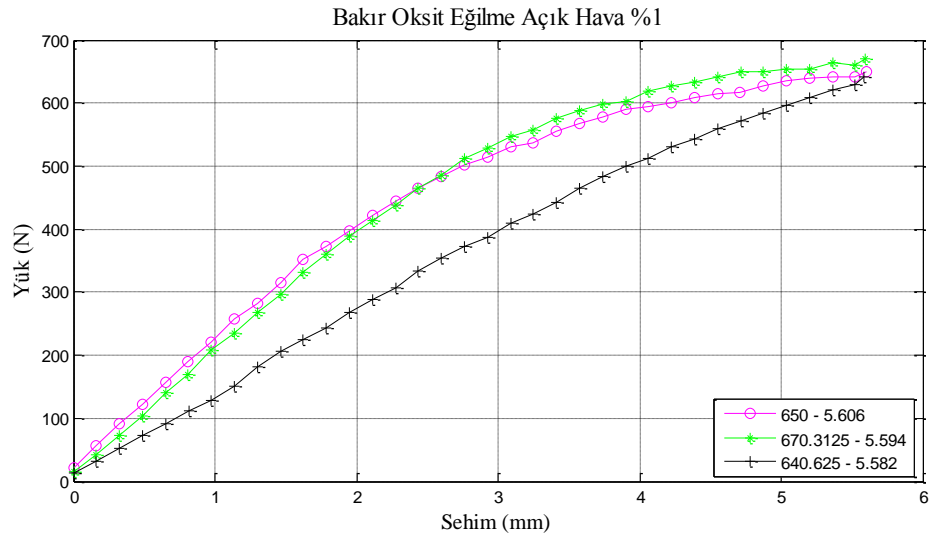


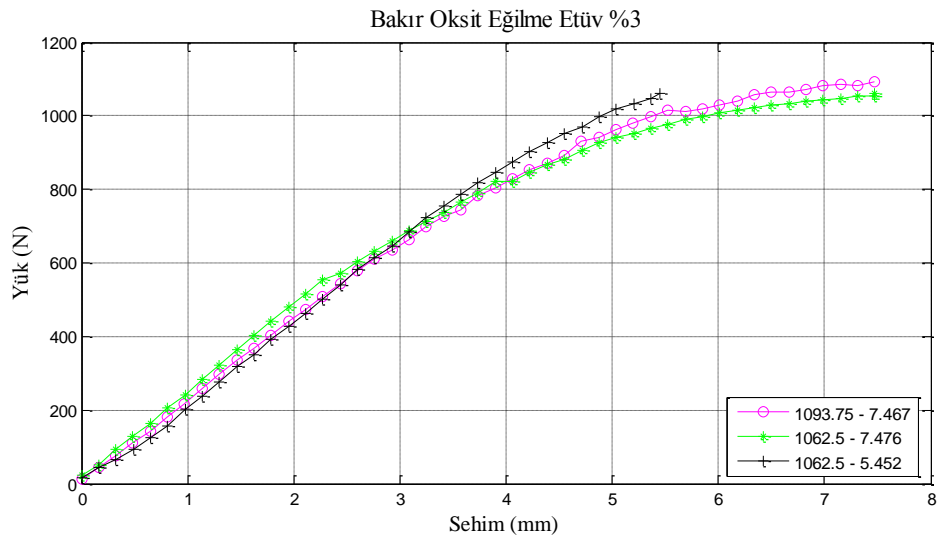
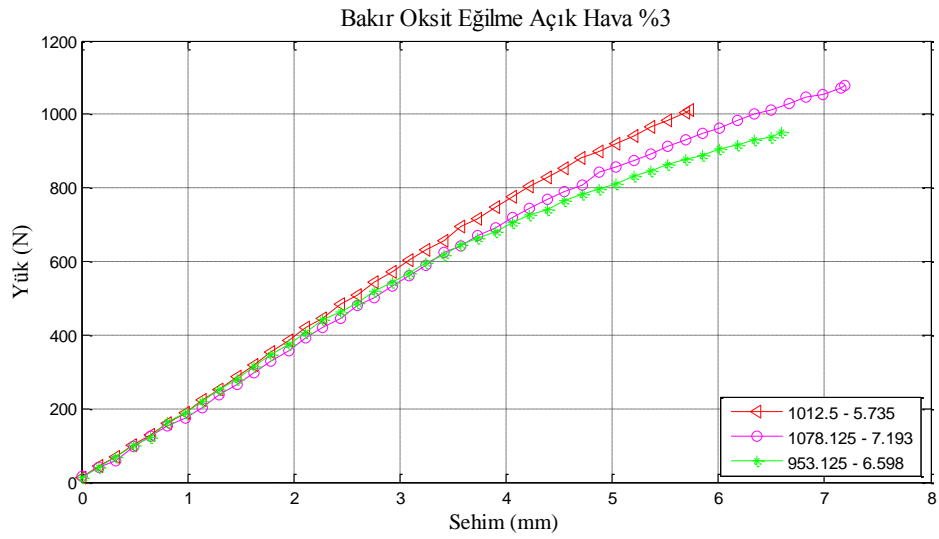
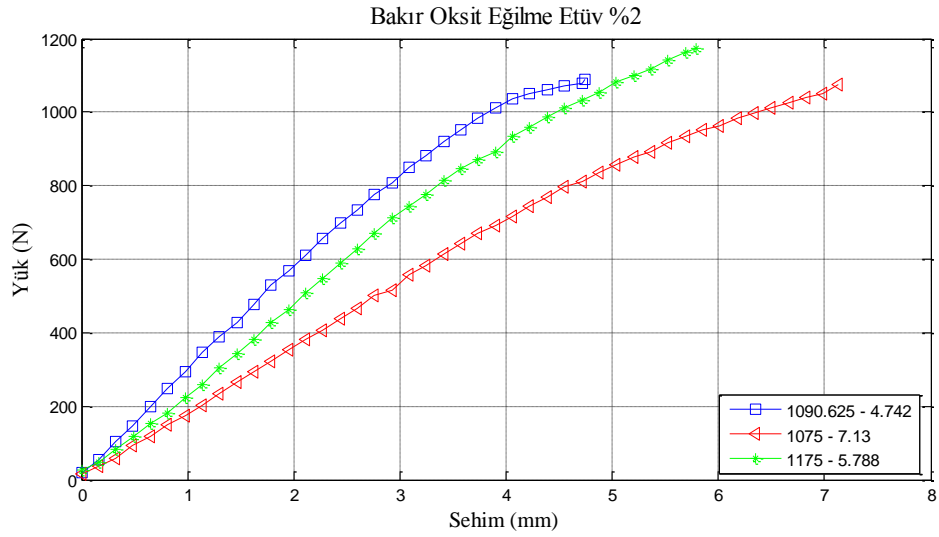
Krom Oksit Paralel Çekme Açık Hava %2

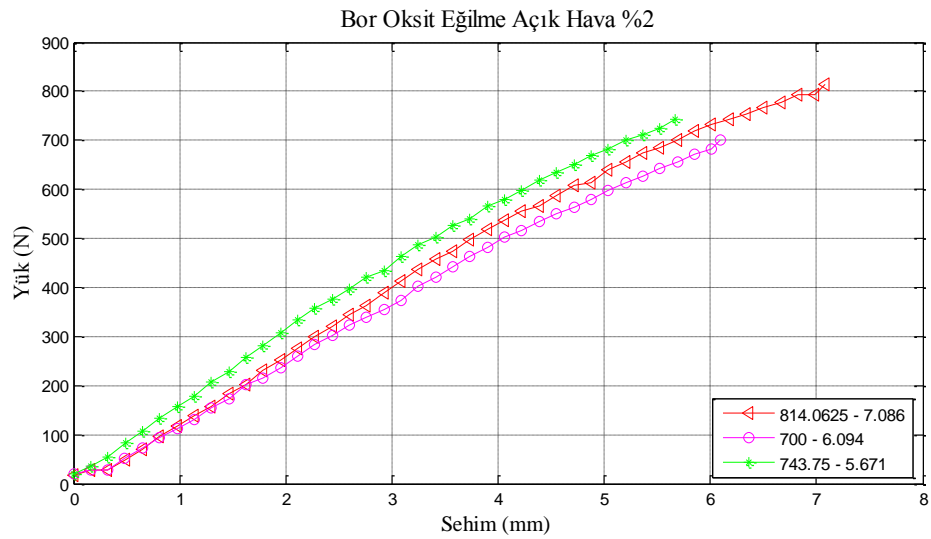
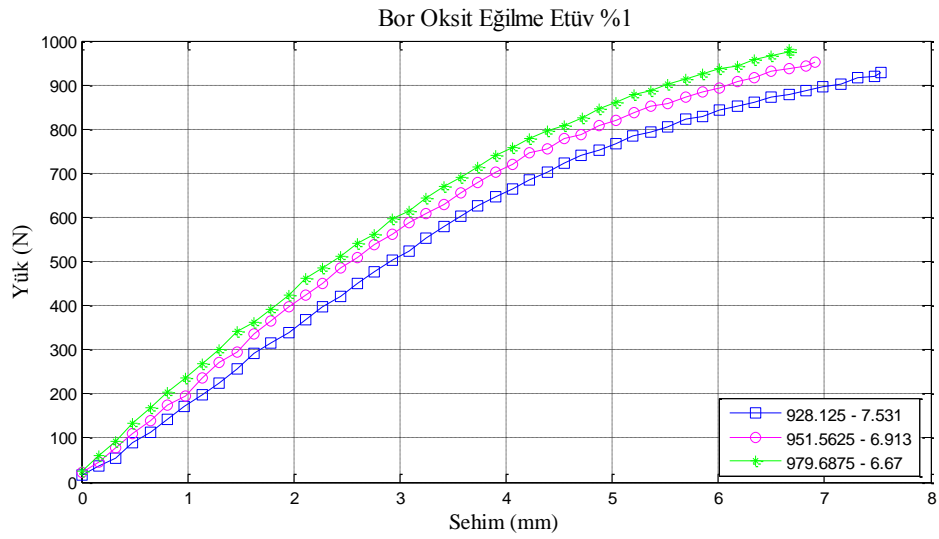
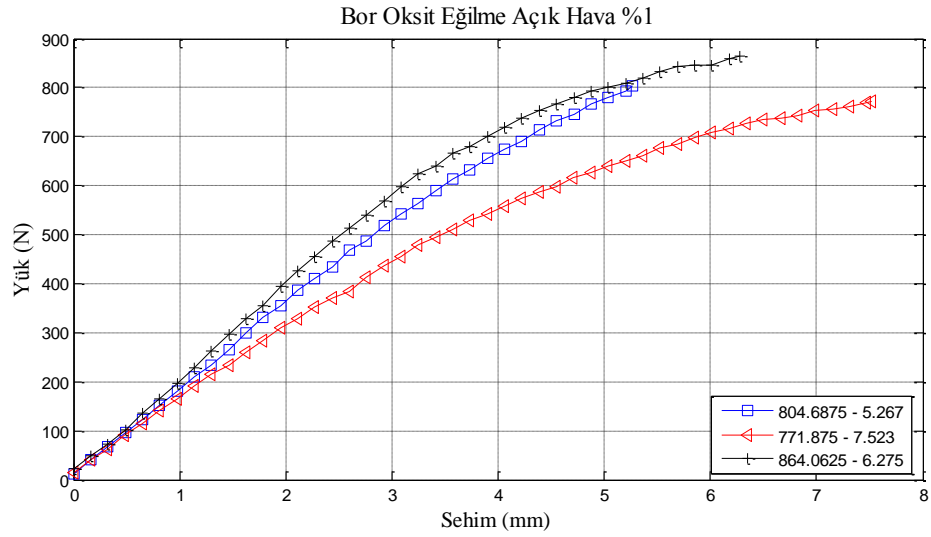


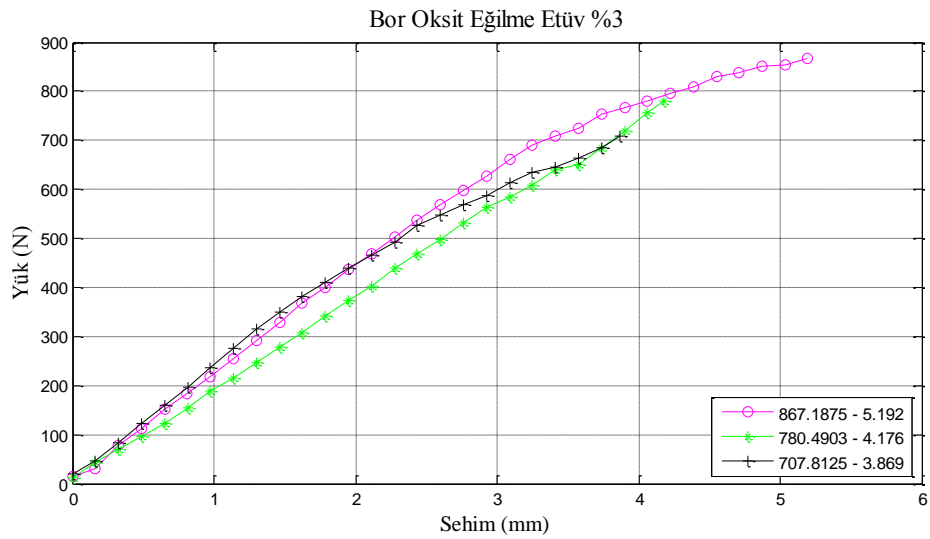
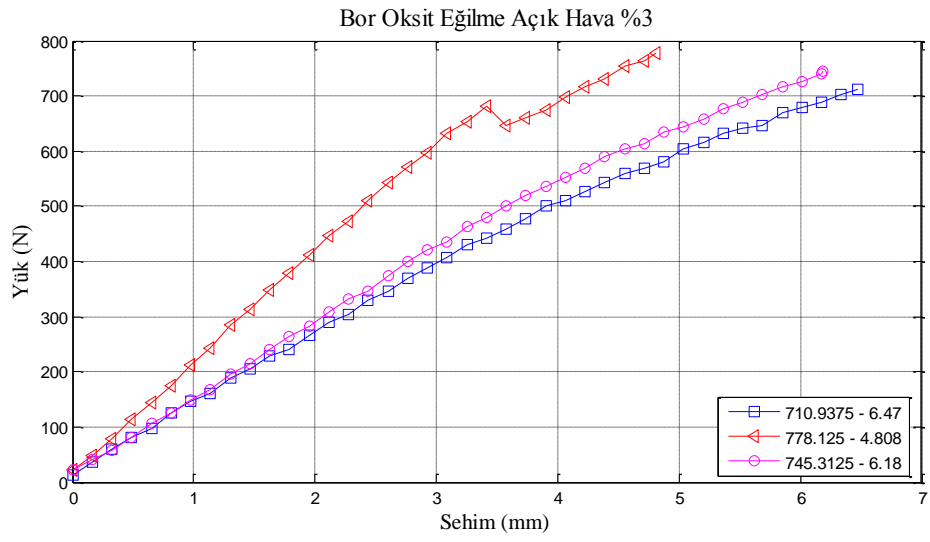
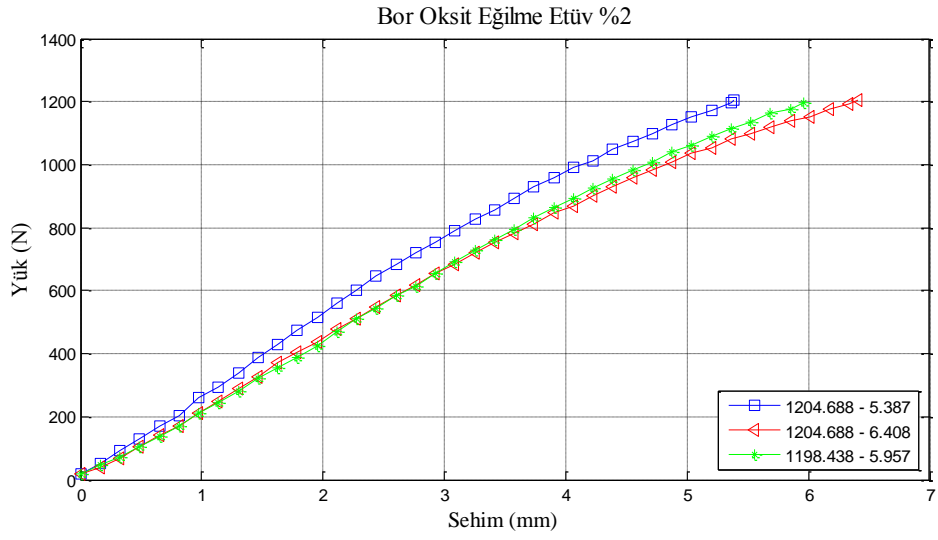


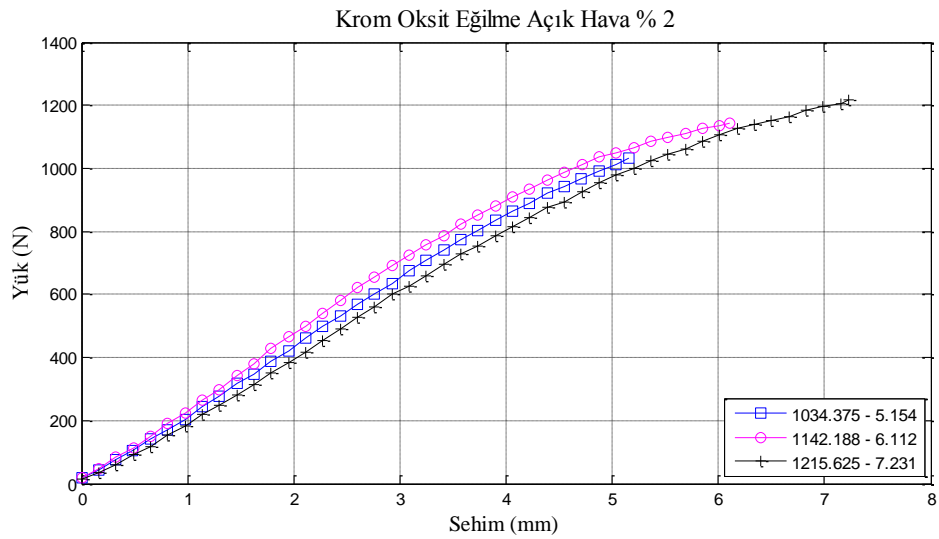
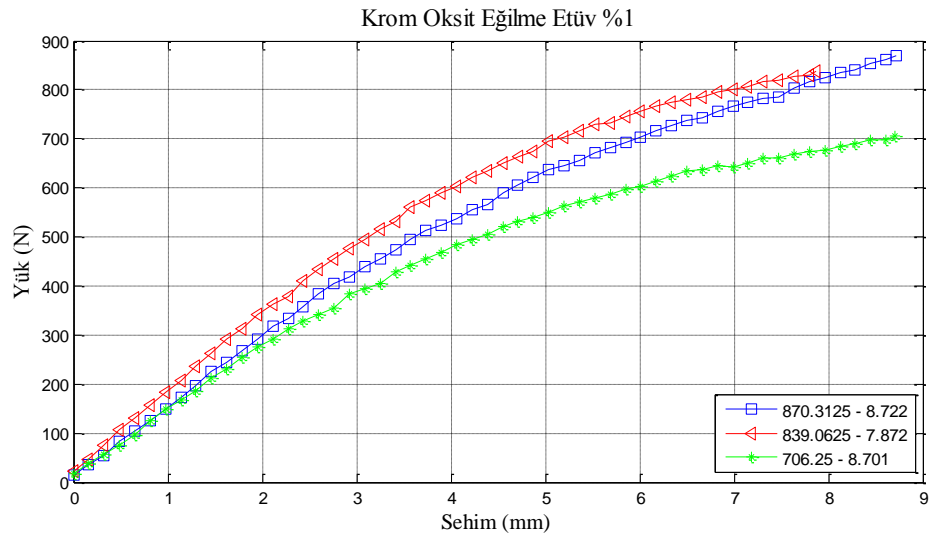
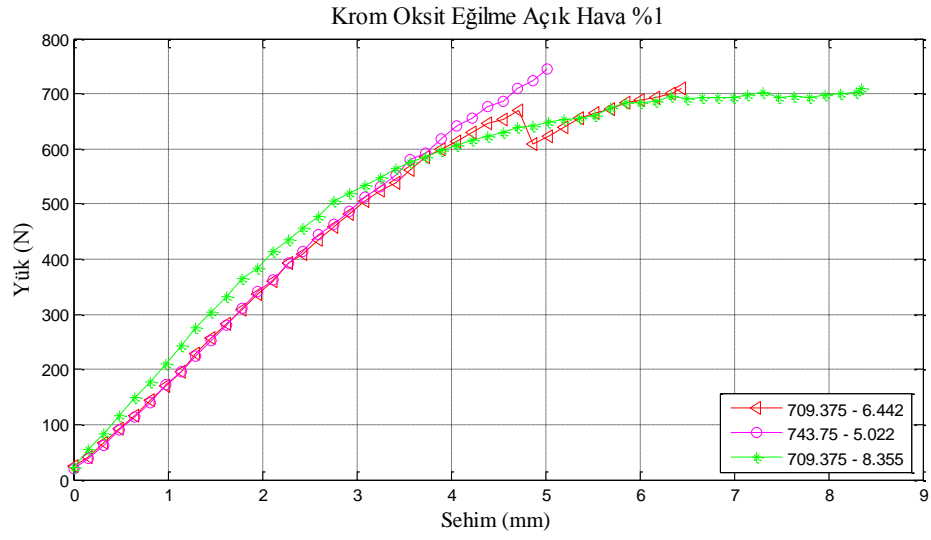


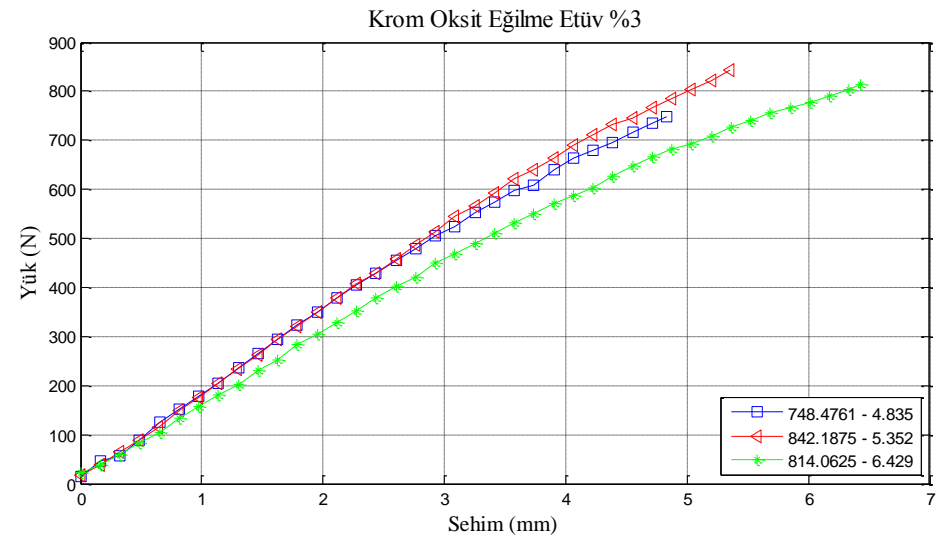
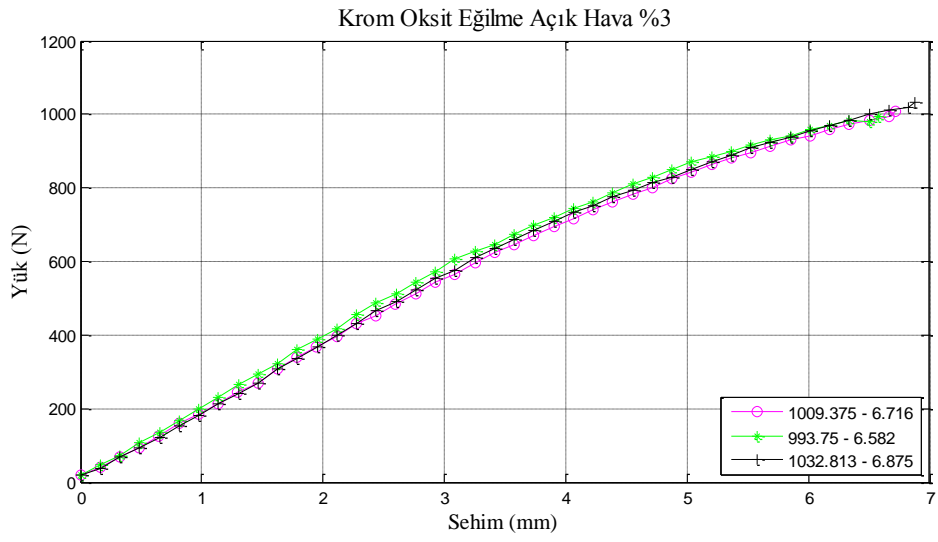
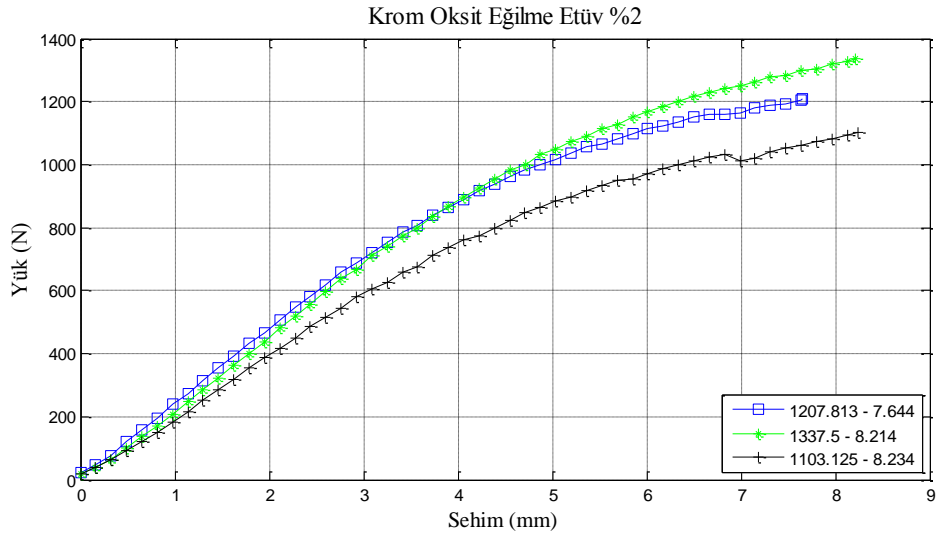


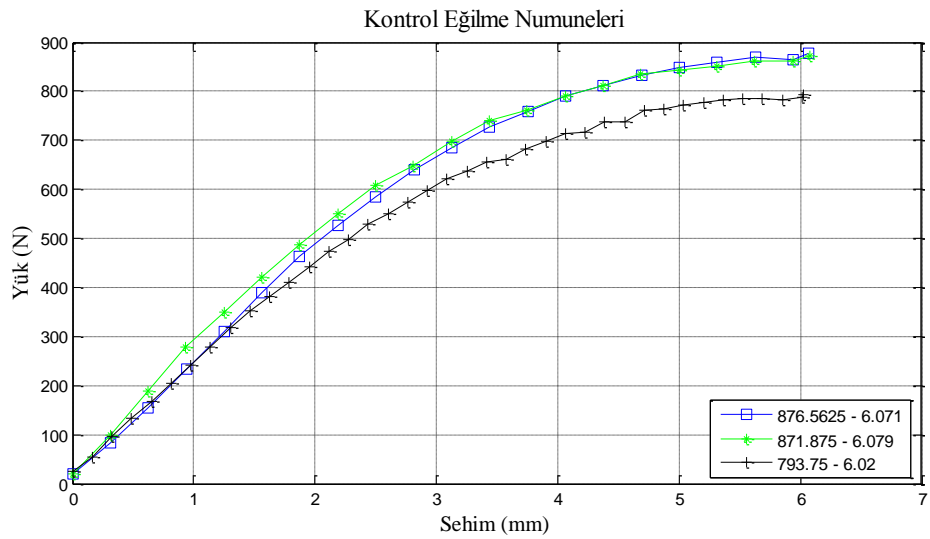
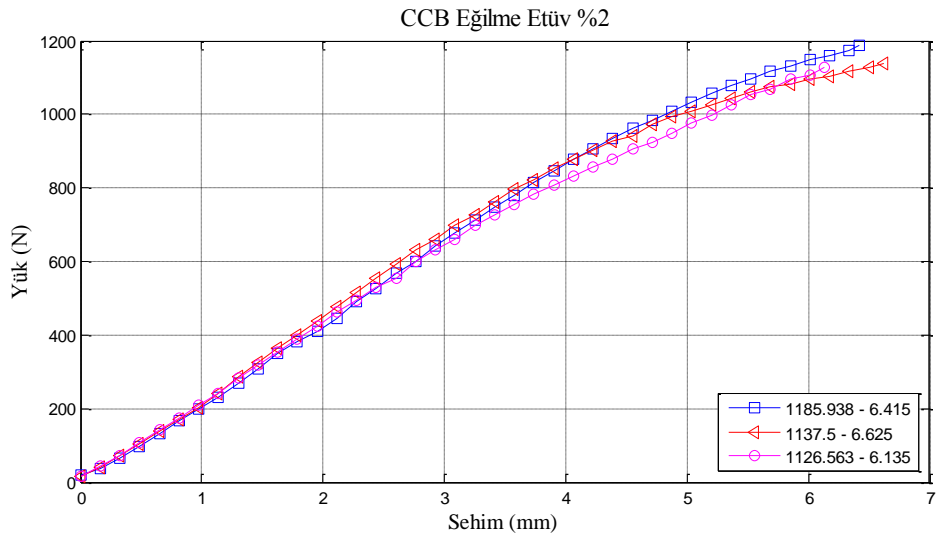
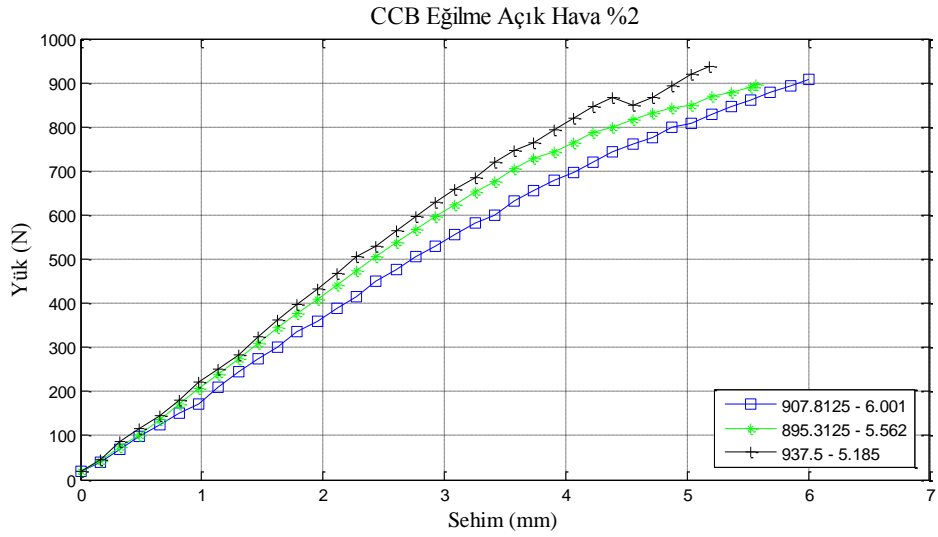


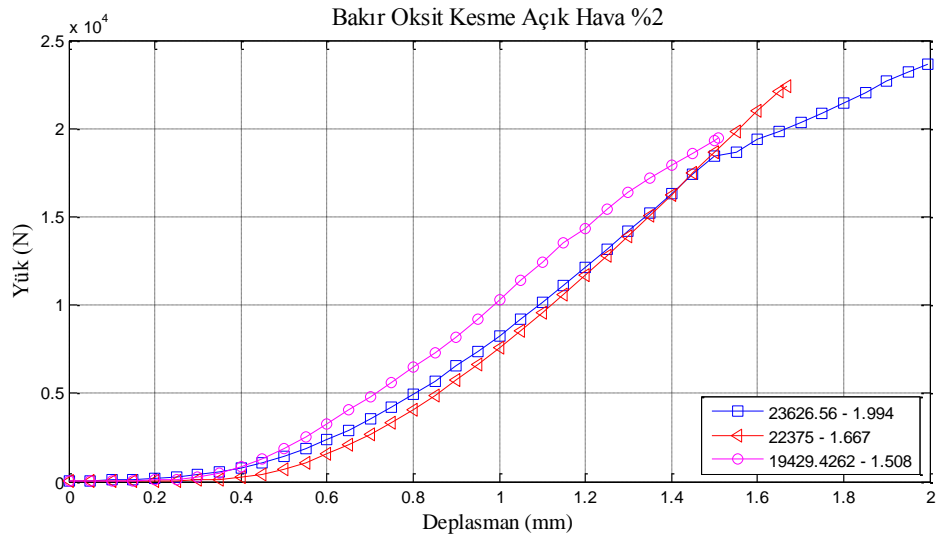
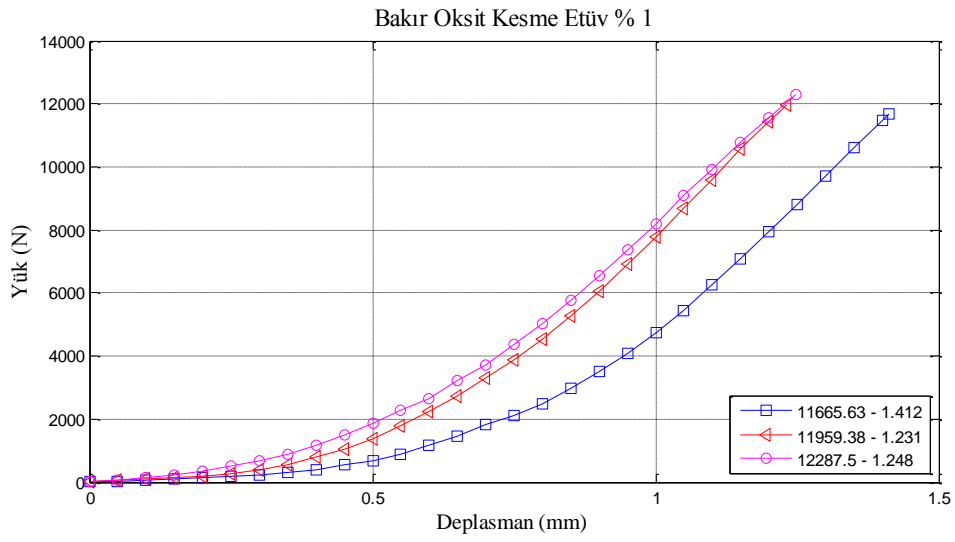
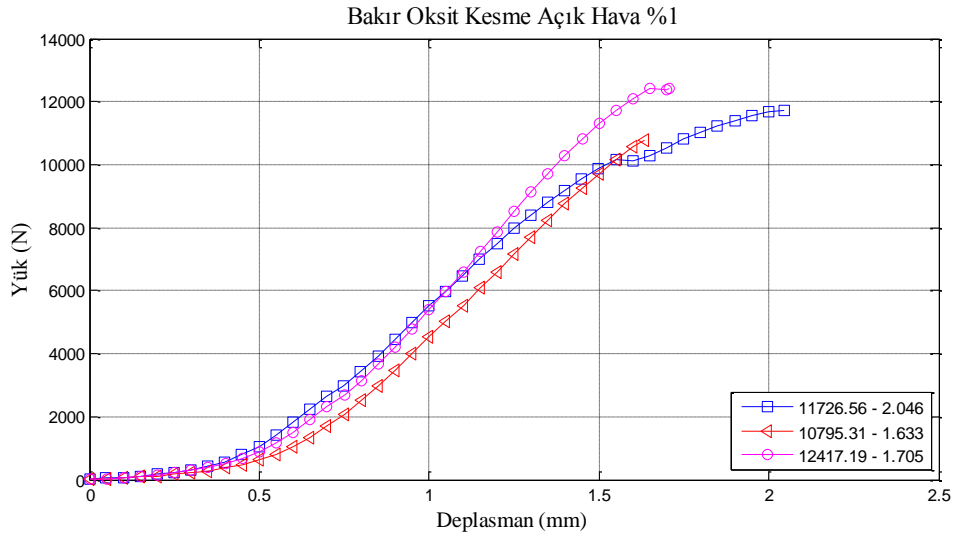


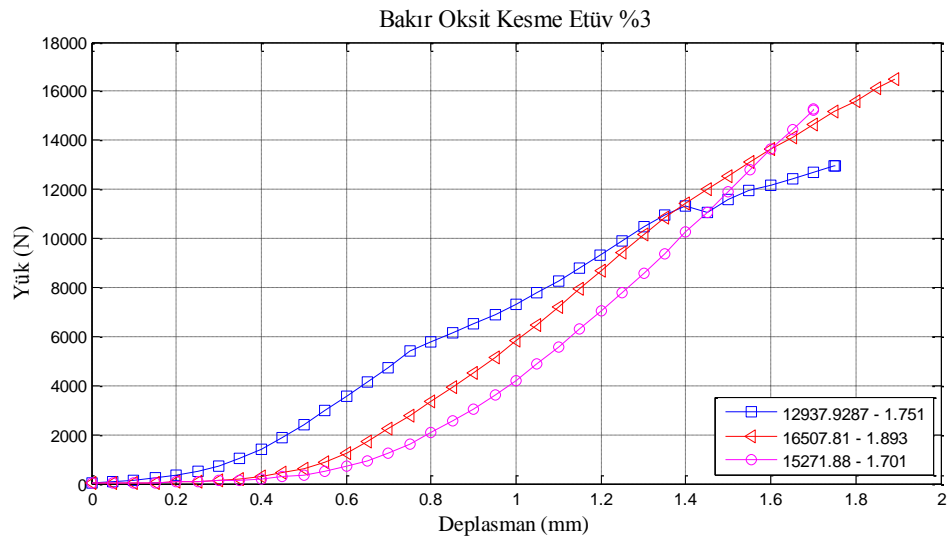
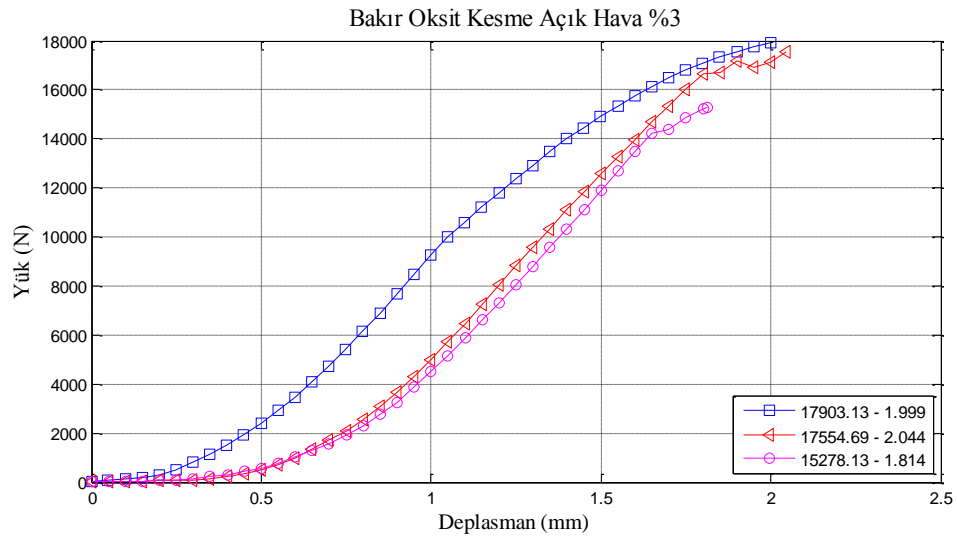
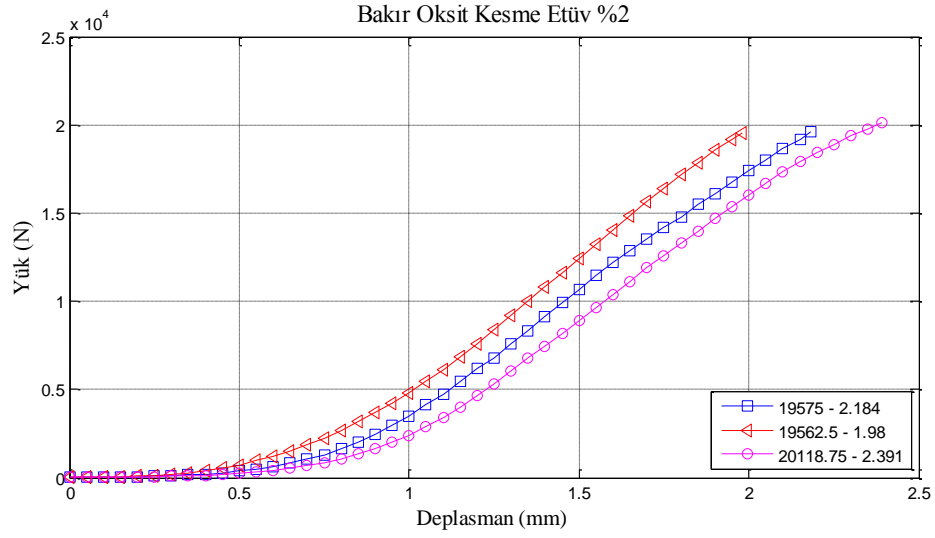


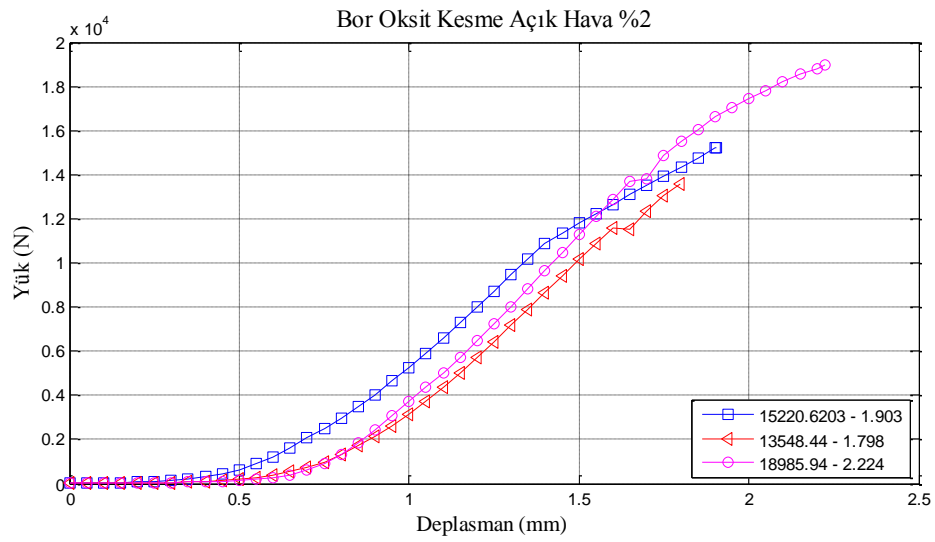
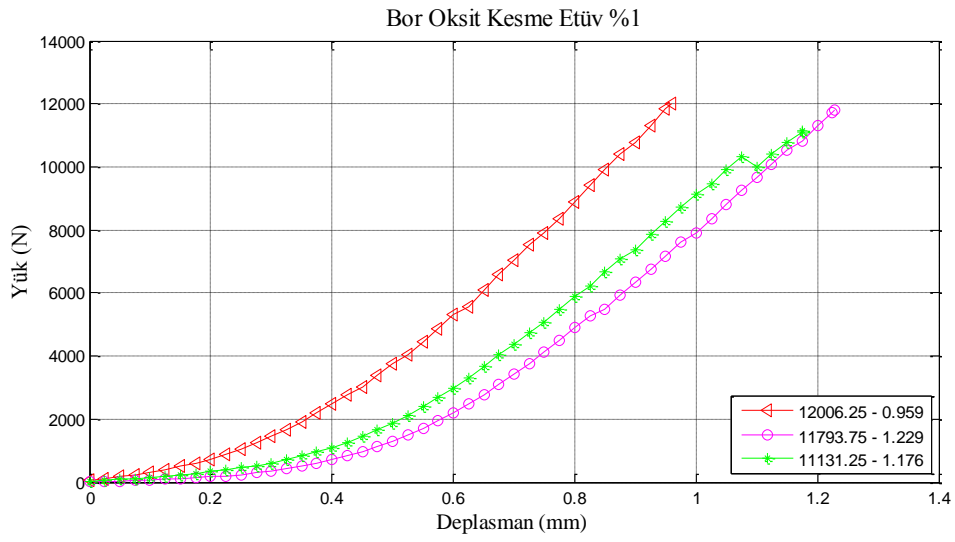
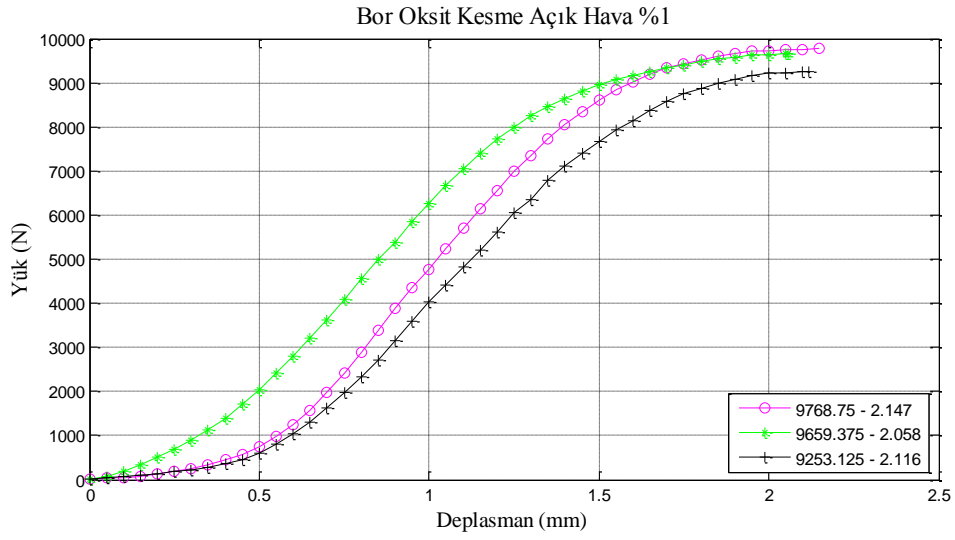


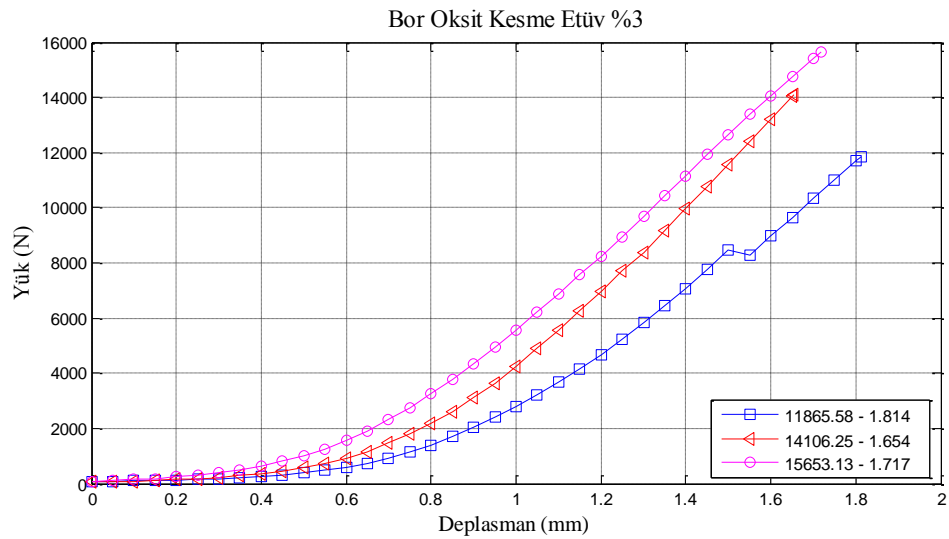
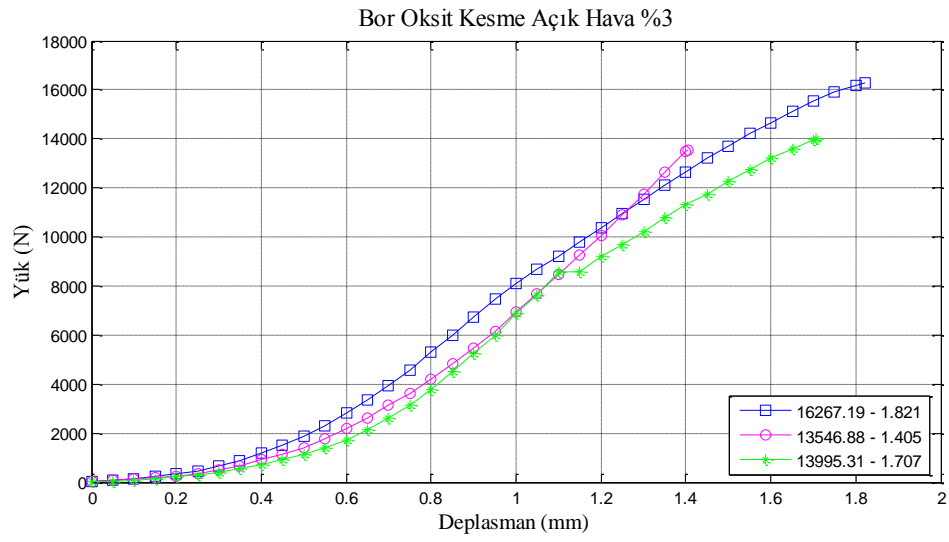
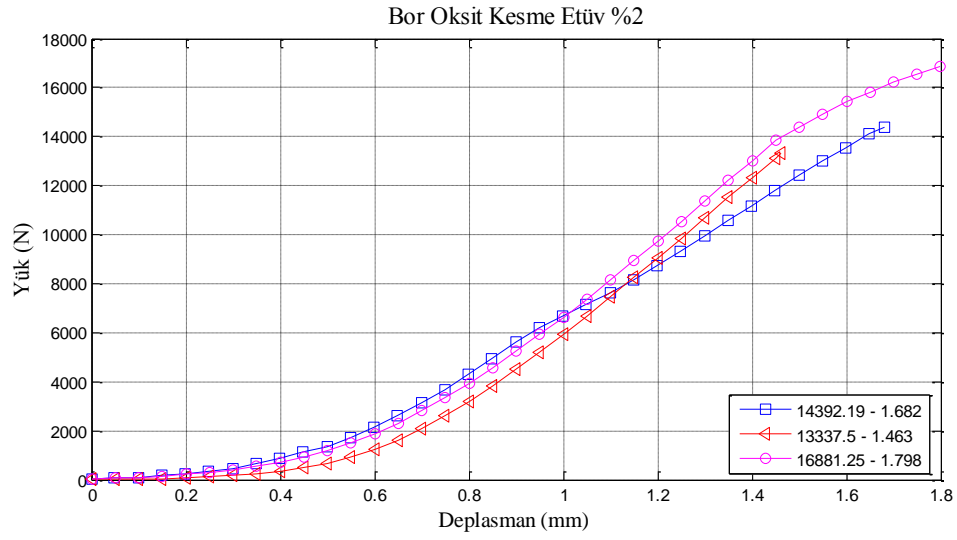


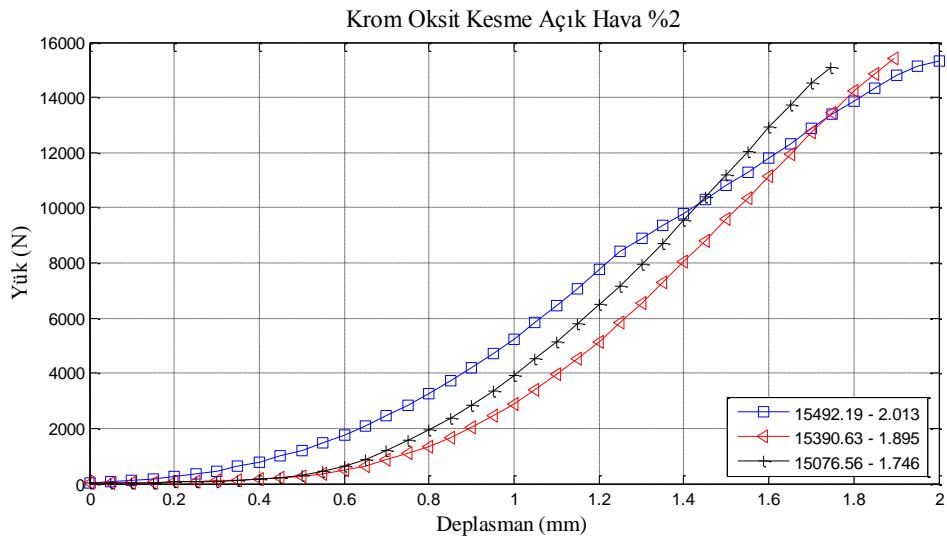
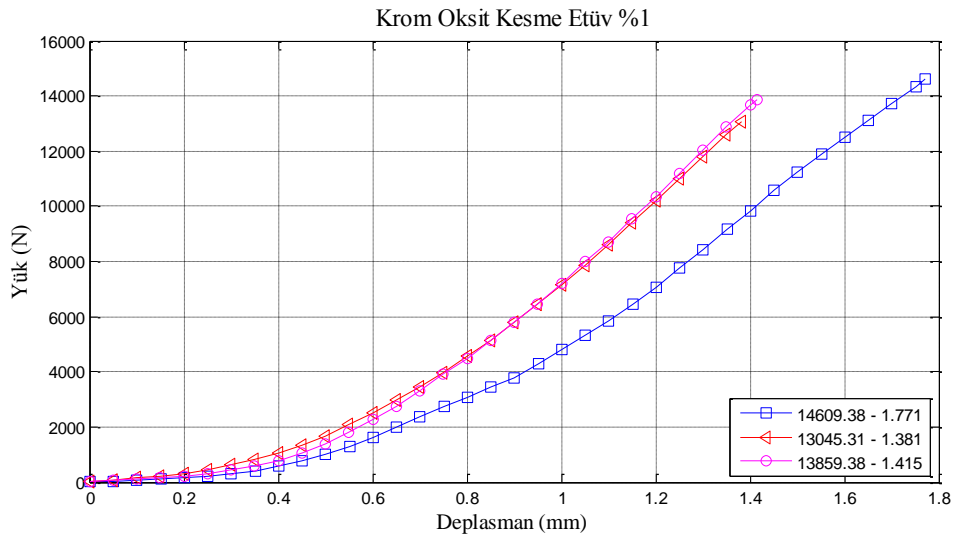
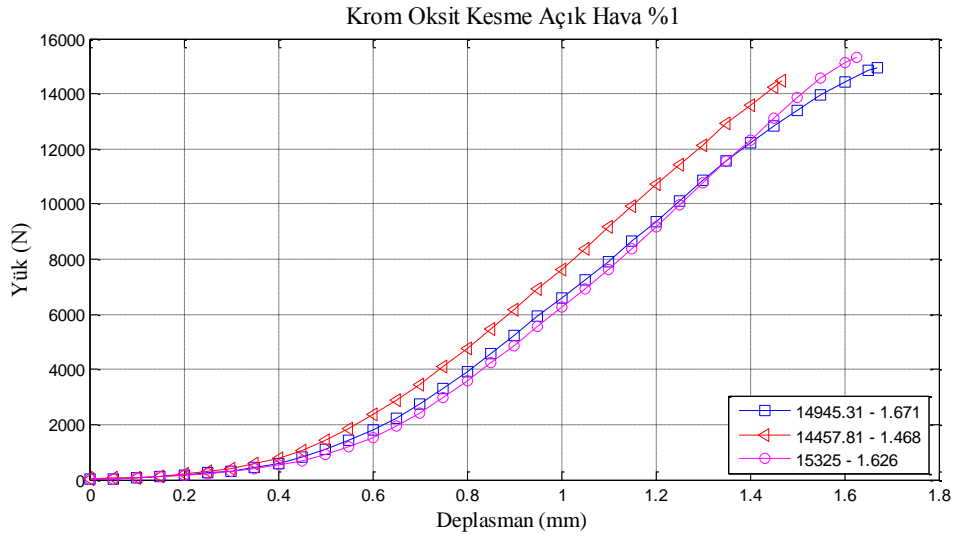


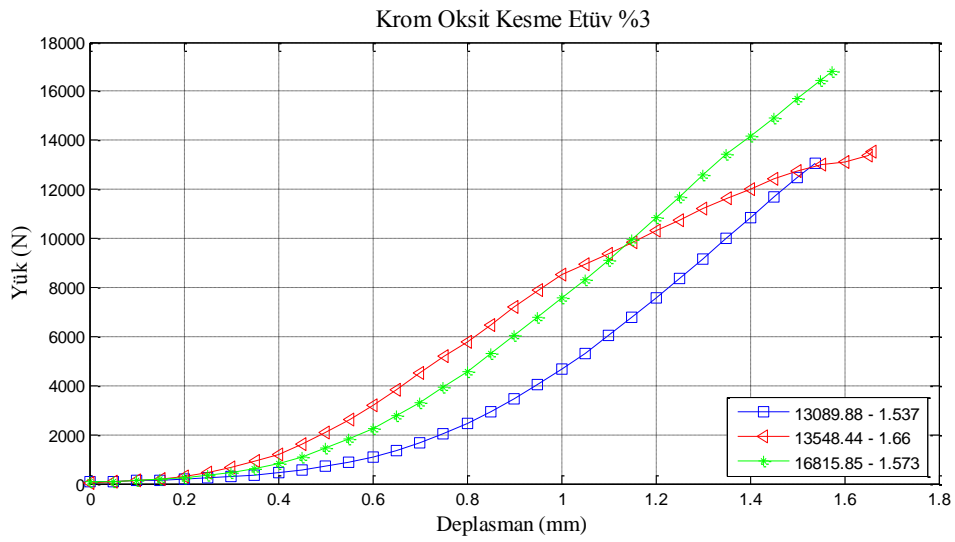
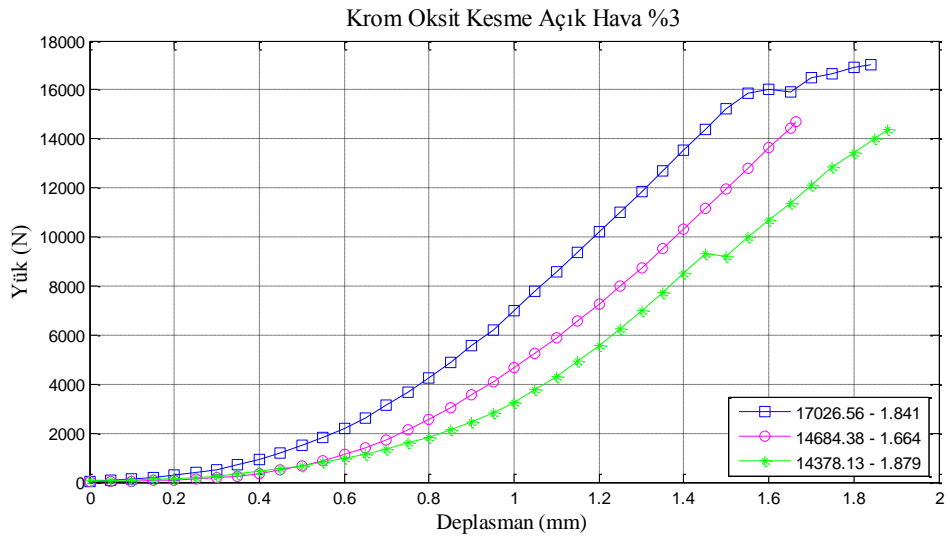
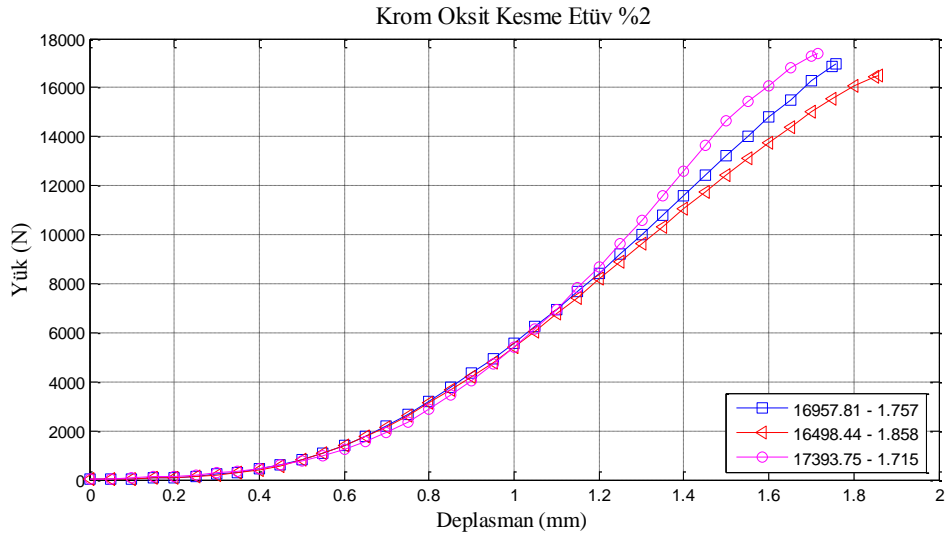


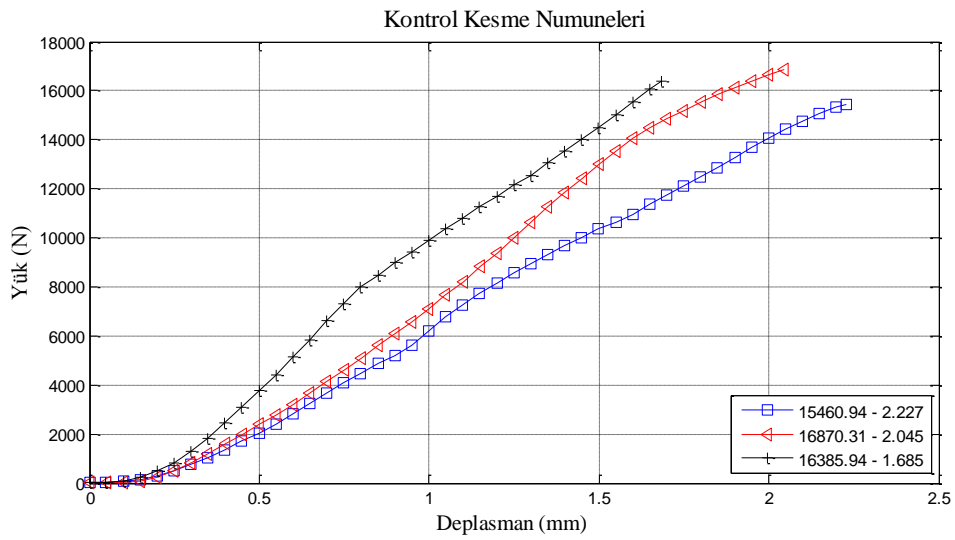
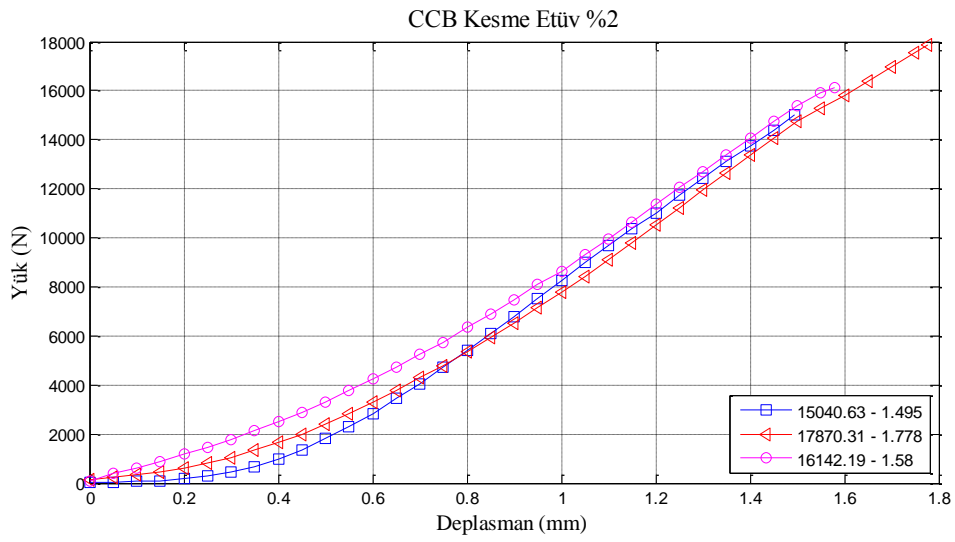
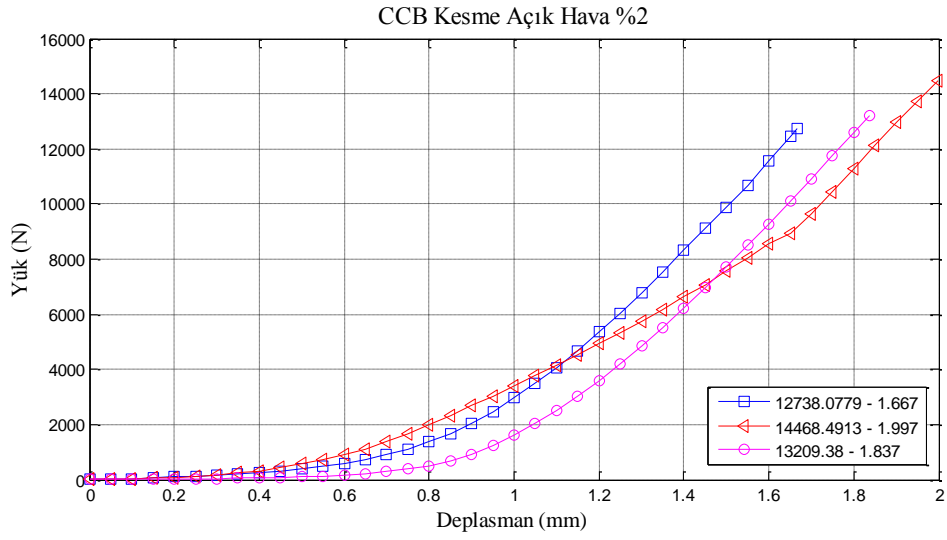












ÖZGEÇMİŞ

Tahir AKGÜL 12.11.1980 de Mardin’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Şanlıurfa’da tamamladı. 1998 yılında Şanlıurfa Teknik Lisesinden mezun oldu. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümünü kazandı. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümünden bölüm birincisi olarak mezun oldu. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2007 yılında, Ahşapların ve Birleşim Noktalarının Fiber Takviyeli Polimerlerle (FRP) Güçlendirilmesi konulu çalışmayı tamamlayarak Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programından mezun oldu. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Bilim Dalı Doktora Programına kayıt yaptırdı. Evli ve bir çocuk babasıdır.

T. AKGÜL	NANO PARTİKÜLLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ AHŞAP YAPI ELEMANLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ	EYLÜL 2013
----------	--	------------