



**ODUNUN MİKRODALGA ÖN MUAMELE İLE
EMPRENYE EDİLEBİLİRLİĞİNİ YÜKSELTMEK
VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİ BELİRLEMEK**

Barış ÇAYIR

**2021
DOKTORA TEZİ
MOBİLYA VE DEKORASYON EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL**

**ODUNUN MİKRODALGA ÖN MUAMELE İLE EMPRENYE
EDİLEBİLİRLİĞİNİ YÜKSELTMEK VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİ
BELİRLEMEK**

Barış ÇAYIR

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL**

**KARABÜK
Eylül 2021**

Barış ÇAYIR tarafından hazırlanan “ODUNUN MİKRODALGA ÖN MUAMELE İLE EMPRENYE EDİLEBİLİRLİĞİNİ YÜKSELTMEK VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİ BELİRLEMEK” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

.....

Tez Danışmanı, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 06/09/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ (ASÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Hüseyin SİVRİKAYA (BÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Suat ALTUN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üy. Haydar KAYA (KTÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Barış ÇAYIR

ÖZET

Doktora Tezi

ODUNUN MİKRODALGA ÖN MUAMELE İLE EMPRENYE EDİLEBİLİRLİĞİNİ YÜKSELTMEK VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİ BELİRLEMEK

Barış ÇAYIR

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

Eylül 2021, 107 sayfa

Bu çalışmada, ülkemiz yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan ve emprenye edilmesi güç sınıftaki odun türü olan Doğu ladini [*Picea orientalis* (L.) Link.] odununun mikrodalga ön muamele işlemi uygulanarak emprenye edilebilirliğinin artırılması ve bazı teknolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla hazırlanmış ve işlem görmemiş taze haldeki 810 adet deney örnekleri 3 farklı rutubet grubuna ayrılarak (% 55, % 83, % 135) 2,45 GHz frekanstaki 3 farklı mikrodalga gücü (925W, 1295W, 1850W) uygulanmış ve ön muamele işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, mikrodalga güç ile rutubet seviyesi farklılıklarının emprenye edilebilirlik ve bazı teknolojik özellikler üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Mikrodalga ön muamele işleminin emprenye edilebilirlik üzerindeki etkisini belirlemek için Tanalith-E 8000 (% 3) koruyucu maddesi basınç-vakum yöntemi ile

emprenye edilmiş, uygulama sonucundaki retensiyon değerleri belirleyici faktör olarak kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca mikrodalga ön muamele işlemi sonucunda retensiyondaki ve teknolojik özelliklerdeki değişimlerin nedenlerini mikro seviyede analiz edebilmek için SEM görüntüleri alınmıştır. Teknolojik özelliklerin belirlenmesinde, yapı sektöründe önem arz eden direnç özelliklerinden eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve basınç direnci kullanılmıştır.

Deneyle sonuçunda, mikrodalga muamele edilmiş örneklerin kontrol örneklerine oranla düşük rutubet grubunda % 48,5, orta rutubet grubunda % 70,2 ve yüksek rutubet grubunda % 62,2 ortalama retensiyon artışı gerçekleştiği belirlenmiştir. Mekanik özelliklerdeki değişim sonuçlarına göre basınç direncinde % 3,0; eğilme direncinde % 4,7 ve eğilmede elastikiyet modülünde % 6,7 ortalama direnç kayıpları gerçekleşmiştir. Tüm direnç özelliklerinde en fazla kayıplar yüksek rutubet grubunda meydana gelmiştir. Mekanik özelliklerdeki düşüşler literatüre ve mikrodalga maruziyet süresine paralel olarak artış gösterse de, literatürde bildirilen kayıplara göre daha düşük sonuçlanmış, çalışmanın amacına uygun olarak mekanik özelliklerin korunması sağlanmıştır. Aynı rutubet grubuna uygulanan farklı mikrodalga güçlerinin retensiyon artışı ve mekanik özellikler üzerine etkisinin önemsiz olduğu belirlenmiştir. SEM gözlemleri incelendiğinde ise mikrodalga muamele ile odun içinde oluşan ani ve yüksek buhar basıncı etkisiyle geçit aspirasyonu sonucunda kapanmış olan kenarlı geçitlerin genel olarak açıldığı ve kısmen de olsa odun yapısını oluşturan elemanlarda kılcal çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir. Literatürdeki bazı çalışmaların gözlemsel sonuçlarında bildirilen makro boyuttaki çatlaklarla bu çalışmada sonuçlanan mikro çatlaklar kıyaslandığında, odun yapı elemanlarının korunduğu söylenebilir.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde mikrodalga ön muamele ile emprenye edilebilirliğin artışı ve mekanik özelliklerin korunması açısından rutubet gruplarından orta rutubet grubunun en iyi performansı verdiği belirlenmiştir. Ayrıca 1850W gücün kullanımı ile zamandan tasarruf sağlanabileceği yönünde değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Mikrodalga ön-muamele, Doğu ladini, geçit aspirasyonu, emprenye, mekanik özellikler.

Bilim Kodu : 120403

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

INCREASING OF IMPRENGNABILITY ON WOOD BY MICROWAVE PRE-TREATMENT AND DETERMINING ITS TECHNOLOGICAL PROPERTIES

Barış ÇAYIR

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Furniture and Decoration Education

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

September 2021, 107 pages

In this study, it was aimed to increase the impregnability of Oriental spruce [*Picea orientalis* (L.) Link.] wood, which is widely used in the building sector in our country and which is difficult to treat, by microwave pretreatment and to determine some of the technological properties. For this purpose, 810 untreated fresh cut test samples were divided into 3 different moisture groups (55% , 83% , 135%) and pre-treatment was applied to the samples using 3 different microwave power (925W, 1295W, 1850W) at 2.45 GHz frequency. In this way, the effects of microwave power and moisture contents on impregnability and some technological properties were determined.

To determine the effect of microwave pretreatment on impregnability, Tanalith-E 8000 (3%) preservative was impregnated by pressure-vacuum method. The retention values

at the end of the application were used as the determining factor. In addition, SEM observations were used to analyze the causes of changes in retention and technological properties with the effect of microwave pretreatment. In the determination of technological properties; bending strength, modulus of elasticity and compressive strength, which are important mechanical properties in the construction sector, were used.

As a result of the experiments, it was determined that the microwave treated samples had an average retention increase of 48.5% in the low moisture group, 70.2% in the medium moisture group and 62.2% in the high moisture group compared to the control samples. According to the results of the change in mechanical properties, 3.0% in the compression strength; the average strength losses were 4.7% in the bending strength and 6.7% in the modulus of elasticity. Although the decreases in mechanical properties increased in parallel with the literature and microwave exposure time, they resulted in lower losses than those reported in the literature, and the mechanical properties were preserved in accordance with the purpose of the study. It was determined that the effect of different microwave power applied to the same moisture group on the retention increase and mechanical properties were insignificant. According to SEM observations, it was determined that the rapid high vapor pressure created in the wood by microwave treatment opened the bordered pits that were closed due to pit aspiration.

When all the results were evaluated, it was determined that the medium moisture group gave the best performance in terms of increasing the impregnability and preserving the mechanical properties with microwave pretreatment. In addition, it has been evaluated that time savings can be achieved with the use of 1850W power.

Key Word : Microwave pre-treatment, Oriental spruce, pit aspiration, impregnation, mechanical properties.

Science Code : 120403

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tecrübelerini paylaşarak çalışmaya yön veren sayın Prof. Dr. Hüseyin SİVRİKAYA'ya; çalışmamın ilerlemesinde ve istatistiksel olarak değerlendirmesinde önemli katkılar sağlayan sayın Doç. Dr. Suat ALTUN'a; yükseköğrenim hayatımın her aşamasında desteğini hissettiğim kıymetli hocam Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ'ye; enerji hesaplamalarındaki katkılarından dolayı sayın Dr. Öğr. Üyesi Haydar KAYA'ya; desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Sema AYSAL ve Arş. Gör. Kübra GÜNDÜZ'e çok teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan sevgili aileme ve doktora çalışmalarım süresince gösterdiği sabır ve anlayış için eşim Semiha ÇAYIR'a tüm kalbimle şükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışmamın finansal desteğini sağlayan KBÜ-BAP-14/2-DS-043 Nolu projeye katkılarından dolayı KBÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. PROBLEMİN TANIMLANMASI.....	2
1.2. HİPOTEZ.....	3
1.3. ÇALIŞMANIN AMACI.....	3
BÖLÜM 2	5
KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. MİKRODALGA TEKNOLOJİSİ.....	5
2.2. DİELEKTRİK DAVRANIŞ TEORİLERİ.....	7
2.3. ELEKTROMANYETİK ALAN İLE ODUN ARASINDAKİ ETKİLEŞİM...	9
2.4. ODUNUN KUTUPLAŞMASI.....	10
2.5. ODUN BİLEŞENLERİNİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ.....	11
2.5.1. Odunun Dielektrik Özelliklerinde Rutubet Miktarının Etkisi	12
2.5.2. Odunun Dielektrik Özelliklerinde Frekansın Etkisi	13
BÖLÜM 3	15
ODUNUN MİKRODALGA MUAMELESİ	15
3.1. ODUNDA MİKRODALGA ISITMA MEKANİZMASI	16

3.2. MİKRODALGA MUAMELENİN ODUN ANATOMİSİ ÜZERİNE ETKİSİ	19
.....	19
BÖLÜM 4	22
ODUNDA PERMEABİLİTE VE EMPRENYE	22
4.1. İĞNE YAPRAKLI ODUNLARDA SIVI GEÇİRGENLİĞİ VE GEÇİT	
ASPIRASYONU	24
4.2. ODUNUN EMPRENYESİ	27
4.2.1. Basınçlı Emprenye Yöntemleri	27
4.2.1.1. Dolu Hücre Yöntemleri	27
Bethell Yöntemi	28
Burnet Yöntemi	29
4.2.1.2. Boş Hücre Yöntemleri	29
Rueping Yöntemi	30
Lowry Yöntemi	31
4.3. DOĞU LADİNİ [<i>PICEA ORIENTALIS</i> (L.) LINK]	31
4.3.1. Yayılış Alanı	31
4.3.1.2. Makroskopik Özellikleri	32
4.3.1.3. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	33
4.3.1.4. Doğu Ladini Odununun Emprenye Edilebilirliği	34
BÖLÜM 5	35
MALZEME VE YÖNTEM	35
5.1. MALZEME	35
5.1.1. Ağaç Malzeme: Doğu Ladini [<i>Picea Orientalis</i> (L.) Link]	35
5.1.2. Emprenye Maddesi: Tanalith-E 8000	35
5.2. YÖNTEM	36
5.2.1. Örnek Ağaçların Seçilmesi ve Deney Örneklerinin Hazırlanması	36
5.2.2. Mikrodalga Ön Muamele Deneyi	38
5.2.2.1. Mikrodalga Fırın	38
5.2.2.2. Mikrodalga Ön Muamele Programının Belirlenmesi ve Deneyin Yapılışı	39

	<u>Sayfa</u>
5.2.3. Emprenye İşlemi	41
5.2.3.1. Emprenye Tesisi.....	41
5.2.3.2. Emprenye Yapılacak Örneklerin Hazırlanması ve Emprenye Yöntemi.....	41
5.2.4. Mekanik Testler	42
5.2.4.1. Liflere Paralel Basınç Direnci.....	43
5.2.4.2. Eğilme Direnci	44
5.2.4.3. Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	45
5.2.5. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM-Scanning Electron Microscope) 46	
5.2.6. İstatistiksel Değerlendirme	47
BÖLÜM 6	48
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	48
6.1. RUTUBET DEĞİŞİM SONUÇLARI	48
6.2. EMPRENYE SONRASI RETENSİYON SONUÇLARI	51
6.2.1. Kontrol Örneklerine Oranla Retensiyondaki Artış Miktarı	54
6.3. MEKANİK ÖZELLİKLER TEST SONUÇLARI	55
6.3.1. Liflere Paralel Basınç Direnci Deney Sonuçları.....	55
6.3.2. Statik Eğilme Direnci Deney Sonuçları.....	58
6.3.3. Eğilmede Elastikiyet Modülü Deney Sonuçları.....	61
6.4. GÖZLEMSEL SONUÇLAR.....	64
6.4.1. Mikrodalga Muameleden Sonra Kenarlı Geçitlerde Meydana Gelen Değişimler.....	64
6.4.2. Mikrodalga Muameleden Sonra Hücrelerde ve Hücrelerarası Yapılarda Meydana Gelen Değişimler	67
BÖLÜM 7	69
DEĞERLENDİRME.....	69
7.1. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	69
7.1.1. Mikrodalga Ön-Muamele Deneyi Rutubet Değişim Sonuçlarının Değerlendirilmesi	69

	<u>Sayfa</u>
7.1.2. Mikrodalga Ön-Muamele Deneyinde Birim Rutubet Çıkışında Kullanılan Enerjinin Değerlendirilmesi.....	70
7.1.3. Retensiyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi	72
7.1.4. Liflere Paralel Basınç Direnci Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	75
7.1.5. Statik Eğilme Direnci Sonuçlarının Değerlendirilmesi	76
7.1.6. Eğilmede Elastikiyet Modülü Sonuçlarının Değerlendirilmesi	77
7.1.7. Mekanik Test Sonuçlarının Genel Değerlendirmesi.....	79
7.2. GÖZLEMSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	80
BÖÜM 8.....	84
SONUÇ VE ÖNERİLER	84
8.1. SONUÇLAR	84
8.2. ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	88
EK AÇIKLAMALAR A.	96
ÖZGEÇMİŞ	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Su molekülünün elektrik alanındaki rotasyonu.....	17
Şekil 4.1. Normal ve aspirasyona uğramış kenarlı geçit çiftlerinin modeli.....	26
Şekil 5.1. Tomrukta araştırma kapsamına alınan bölgeler.....	36
Şekil 5.2. Örneklerin lif yönleri ve ölçüleri.....	37
Şekil 5.3. 2.45 GHz, 1850W endüstriyel tip mikrodalga fırın.....	39
Şekil 5.4. Emprenye tesisi.....	41
Şekil 5.5. Üniversal test cihazında liflere paralel basınç direnci deneyi.....	43
Şekil 5.6. Üniversal test cihazında liflere paralel basınç direnci deneyi.....	44
Şekil 5.7. Üniversal test cihazında eğilme direnci ve elastikiyet modülü deneyi.....	46
Şekil 5.8. Taramalı elektron mikroskopu (solda) ve yalıtkan kaplama cihazı.....	46
Şekil 6.1. Kontrol ve mikrodalga muamele edilmiş örneklerin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri.....	65
Şekil 6.2. Kontrol ve mikrodalga muamele edilmiş örneklerin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri.....	66
Şekil 6.3. Kontrol ve mikrodalga muamele edilmiş örneklerin enine, teğet ve radyal kesitlerinden alınmış SEM görüntüleri.....	67
Şekil 7.1. Benzer çalışmalarla birlikte SEM’de gözlemlenen kenarlı geçitlere ait modifikasyon görüntüleri.....	81
Şekil 7.2. Benzer bir çalışma ile SEM’de gözlemlenen enine kesitteki özışını çatlakları.....	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 5.1. Doğu ladini fiziksel ve mekanik özellikleri	33
Çizelge 5.2. Tanalith-E 8000 karışım oranları	36
Çizelge 5.3. Örneklerin rutubet ve güç gruplarına göre kodlanması.	38
Çizelge 5.4. Mikrodalga ön muamele programı.....	40
Çizelge 6.1. Mikrodalga ön muamele deneyi “DR” grubu rutubet değişim sonuçları.	48
Çizelge 6.2. Mikrodalga ön muamele deneyi “OR” grubu rutubet değişim sonuçları.	49
Çizelge 6.3. Mikrodalga ön muamele deneyi “YR” grubu rutubet değişim sonuçları.	49
Çizelge 6.4. Rutubet çıkışı sonuçlarına ilişkin gruplar arası Anova sonuçları.	50
Çizelge 6.5. Mikrodalga ön muamele deneyi rutubet çıkışına (%) ilişkin Tamhane (T ₂) testi sonuçları.....	50
Çizelge 6.6. Emprenye sonrası “DR” grubu ortalama retensiyon değerleri.	51
Çizelge 6.7. Emprenye sonrası “OR” grubu ortalama retensiyon değerleri.	52
Çizelge 6.8. Emprenye sonrası “YR” grubu ortalama retensiyon değerleri.	52
Çizelge 6.9. Emprenye sonrası “Kontrol” grubu ortalama retensiyon değerleri.....	53
Çizelge 6.10. Retensiyon sonuçlarına ilişkin gruplar arası Anova sonuçları.....	53
Çizelge 6.11. Retensiyon sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T ₂) testi sonuçları.	54
Çizelge 6.12. Liflere paralel basınç direncine ilişkin ortalama değerler (N/mm ²). ...	56
Çizelge 6.13. Liflere paralel basınç direnci sonuçlarına ilişkin gruplar arası Anova sonuçları.	57
Çizelge 6.14. Liflere paralel basınç direnci sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T ₂) testi sonuçları.....	58
Çizelge 6.15. Eğilme direncine ilişkin ortalama değerler (N/mm ²).....	58
Çizelge 6.16. Eğilme direnci sonuçlarına ilişkin gruplar arası Anova sonuçları.	60
Çizelge 6.17. Eğilme direnci sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T ₂) testi sonuçları.	60
Çizelge 6.18. Eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarına ilişkin ortalama değerler. ...	61
Çizelge 6.19. Eğilme direnci sonuçlarına ilişkin gruplar arası Anova sonuçları.	63

Sayfa

Çizelge 6.20. Eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T ₂) testi sonuçları.	63
Çizelge 7.1. Kontrol örneklerine oranla güç gruplarına ait retensiyon artışı.	72
Çizelge Ek A.1. Mikrodalga ön muamele deneyi rutubet çıkışına (%) ilişkin Tamhane (T ₂) testi sonuçları (tam tablo).....	97
Çizelge Ek A.2. Retensiyon sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T ₂) testi sonuçları (tam tablo).	99
Çizelge Ek A.3.. Liflere paralel basınç direnci sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T ₂) testi sonuçları (tam tablo).	101
Çizelge Ek A.4.. Eğilme direnci sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T ₂) testi sonuçları (tam tablo).	103
Çizelge Ek A.5.. Eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T ₂) testi sonuçları (tam tablo).	105

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

'	: dakika
°	: derece
°C	: santigrat derece
λ	: dalga boyu
\pm	: artı eksi
μm	: mikrometre
cm	: santimetre
g/cm^2	: gram/santimetrekare
g/cm^3	: gram/santimetreküp
Ghz	: Gigahertz
Hz	: Hertz
kg/m^3	: kilogram/metreküp
Mhz	: Megahertz
MJ	: Megajul
m	: metre
mm	: milimetre
N/mm^2	: Newton/milimetrekare
pH	: potansiyel Hidrojen
W	: Watt

KISALTMALAR

CCA	: Chromated Copper Arsenate (kromlu bakır arsenat)
SEM	: Scanning Electron Microscope
UV	: Ultraviyole
TS	: Türk Standardı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Mikrodalga ön muamele işlemi kurutma, geçirgenliği artırma, emprenye edilebilirliği artırma ve fiziksel özellikleri iyileştirme gibi alanlarda son yıllarda yaygın olarak araştırmalara konu olmuştur (Hansson ve Antti, 2003; Machado, 2006; Hansson, 2007; Torgovnikov ve Vinden, 2010; Beikricher vd. 2013; Terziev ve Daniel 2013; Hermoso ve Vega, 2016).

Mikrodalga muamele işlemi, çeşitli odun türlerinin koruyucu madde nüfuzunda iyileştirmeler meydana getirerek geçirgenliği arttıran yenilikçi bir yöntemdir (Samani, 2019). Taze haldeki oduna yoğun mikrodalga gücü uygulandığında hücre duvarlarında buhar basıncı meydana getirir. Yüksek iç basınç altında kalan hücre duvarlarındaki kapalı geçitler ve zayıf özışın hücreleri yırtılarak sıvı ve buhar geçişini kolaylaştıracak yollar oluşturur (Vinden vd. 2003; Torgovnikov ve Vinden 2009; 2010). Xu vd. (2015)'a göre, mikrodalga ön muamele işlemi, odunda mikroskobik çatlaklar meydana getirir ve geçit boşlukların yarıçapını arttıracak tahripler oluşturabilir.

Mikrodalga muamele ile yapılan ön-muamele çalışmalarında rutubet, mikrodalga enerji yoğunluğu ve odun türü gibi faktörlere bağlı olarak mekanik ve fiziksel özelliklerde değişimler olduğu yönündedir (Torgovnikov ve Vinden 2009; 2010, Samani vd. 2019, Hermoso ve Vega 2016). Mekanik özelliklerdeki değişimler de genelde direnç kayıpları olarak ortaya çıkmıştır. Hermoso ve Vega (2016), çalışmalarında; hava kurusu (% 12) ve % 30'un üzerinde rutubetli örnekler üzerine farklı enerjiler uygulayarak mekanik özelliklere etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde % 23-33 aralığında, eğilme direnci değerlerinde ise % 19-34 aralığında azalma olduğunu belirtmişlerdir. Xu vd. (2015) kavak ağacının mikrodalgada ön-işleminin, emprenye miktarı üzerinde olumlu

bir etkiye sahip olan enine geçirgenliğin artmasıyla sonuçlandığını bildirmiştir (Samani, 2019).

1.1. PROBLEMİN TANIMLANMASI

Emprenye edilebilirliği düşük olan ağaç malzeme endüstride ve yapı sektöründe olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Yeteri derecede koruyucu madde nüfuz etmemiş ağaç malzemenin kullanım yerinde ömürleri kısa olmaktadır. Bunun sonucunda önemli derecede yenileme ve bakım maliyetleri doğmaktadır. Doğu ladini [*Picea orientalis* (L.) Link] odunu iç morfolojik özelliklerinden dolayı, kurutma sırasında özellikle kenarlı geçitlerinin kolay aspirasyona uğraması nedeni ile sıvı geçişine önemli ölçüde direnç göstermesi, emprenye sanayiindeki kullanımı için önemli sorunlar oluşturmaktadır (Şahin, 2003). Doğu ladini toprak ve su içerisinde kullanılacağı zaman basınçlı yöntemlerle emprenye edilmelidir. Ancak Doğu ladini odunu güç emprenye edilen bir ağaç türü olduğundan basınçlı yöntemlerle yeterli derecede emprenye edilmesi de zordur (Erten, 1989). Bu sebeple eğer Doğu ladini odunu kullanılacak alanda yüksek oranda koruyucu maddesine ihtiyaç duyuyorsa, emprenye edilmeden önce bir modifikasyon yöntemi kullanılarak iyileştirilmesi gerekmektedir.

Mikrodalga işlemi ile odun geçirgenliğinin artırılması işlemi sonucunda, görünüş kalitesinin ve mekanik özelliklerin minimum düzeyde etkilenmesinin sağlanması, geçirgenliğin artırılması kadar önemlidir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda ahşabın mikro yapısındaki değişikliklerle bağlantılı olarak ahşabın mekanik özelliklerinin azalmasının nedenleri araştırılmıştır. Terziev vd. (2020), mikrodalga uygulamasının ışınlar boyunca ciddi çatlak gelişimine neden olduğunu, Monteri çamı ve Avrupa ladininin yoğunluk ve mekanik özellikleri üzerinde olumsuz sonuçlar doğurduğunu bildirmişlerdir. Weng vd. (2020), Çin köknarının artan geçirgenliğe katkıda bulunan yeni rutubet geçiş yolları oluşturmasına rağmen, yüksek yoğunluklu mikrodalga işleminin ahşabın mikroyapısına ciddi zararlar verdiğini, görünüm kalitesini ve mekanik özelliklerini olumsuz etkileyebilecek makro çatlaklar oluşturduğunu bildirmişlerdir. Terziev vd. (2021), yumuşak ağaçlardaki aspirasyonu uğramış kenarlı geçitlerin, diğer ahşap yapısal unsurları yok etmeden, yani ahşabın

fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etkiler olmaksızın, ahşap geçirgenliğinde önemli bir artışa izin verecek şekilde seçici olarak tahrip edilmesi yönünde araştırma yapmışlardır.

Çalışmalar gösteriyor ki farklı amaçlarla yapılan mikrodalga muamele işlemlerinde, özellikle odun rutubetine göre uygulanacak mikrodalga enerji yoğunluğunun çok iyi tayin edilmesi gerekmektedir. Mikrodalga enerji yoğunluğunun düşük kalması durumunda amaca uygun iyileştirmenin gerçekleşmemesi ya da yüksek yoğunlukta mikrodalga enerji sonucunda mekanik özelliklerde önemli düşüşleri meydana gelebilmektedir. Yapılan çalışmalar odun türü, mikrodalga enerji yoğunluğu, başlangıç rutubeti gibi faktörlerin sonuçlar üzerinde önemli etkisinin olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara göre odun üzerinde mikrodalga muamele teknolojisinde farklı varyasyonlarla daha fazla çalışmaların yapılması gerektiğini ortaya çıkarmaktadır.

1.2. HİPOTEZ

Odun modifikasyon türlerinden mikrodalga ön muamele işlemi uygulanarak güç emprenye edilen ağaç türü sınıfındaki Doğu ladini odununun geçitleri yüksek buhar basıncı ile açılabilir, emprenye maddesinin yerleşeceği mikro alanlar oluşturulabilir ve böylece geçirgenliğinde iyileştirme sağlanarak emprenye edilebilirliği artırılabilir.

Mikrodalga ön muamele işleminde farklı rutubetler üzerinde farklı güç ve enerji yoğunlukları kullanarak retensiyonu artıracak ve mekanik özelliklerdeki kayıpları en aza indirecek optimum mikrodalga muamele programı için uygun veriler oluşturulabilir.

1.3. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmanın amacı literatürdeki çalışmaların sonuçlarını etkileyen varyasyonlar olan mikrodalga enerji yoğunluğu, mikrodalga güç ve başlangıç rutubetinin tek odun türünde emprenye edilebilirlik ve mekanik özellikler üzerine olan etkilerinin boyutlarını ve nedenlerini hem deneysel hem de gözlemsel (taramalı elektron mikroskobu) sonuçlarla değerlendirerek belirlemeye çalışmaktır. Çalışmanın bir diğer

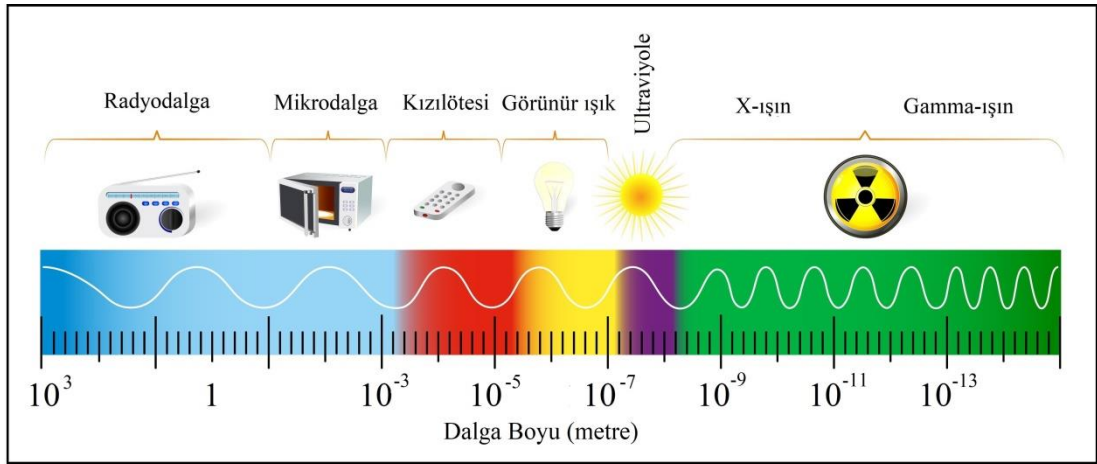
amacı da birim rutubet için mikrodalga muamele işleminde kullanılan enerji hesaplama değerlerini belirleyerek mikrodalga muamele programı hazırlanmasında ileride yapılacak olan çalışmalara yol gösterici olabilmektir.

BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER

2.1. MİKRODALGA TEKNOLOJİSİ

Elektromanyetik yelpaze içinde değişik isimlerle incelenen ışınlar temelde dalgalar halinde yayılan ışınlardır. Elektromanyetik dalganın belli bir süredeki ve belli noktalardaki titreşim sayısına frekans denilmektedir. İki tepe noktası arasındaki uzaklığa ise dalga boyu denilmektedir (Eskibalcı, 2007). Frekans ile dalga boyu arasında ters orantı vardır ve frekans arttıkça, dalga boyu kısalmaktadır. Şekilde gösterildiği gibi kızıl ötesi ışınlar ile radyo dalgaları arasında yer alan dalgalara mikrodalgalar adı verilmektedir (Çelen, 2010) .

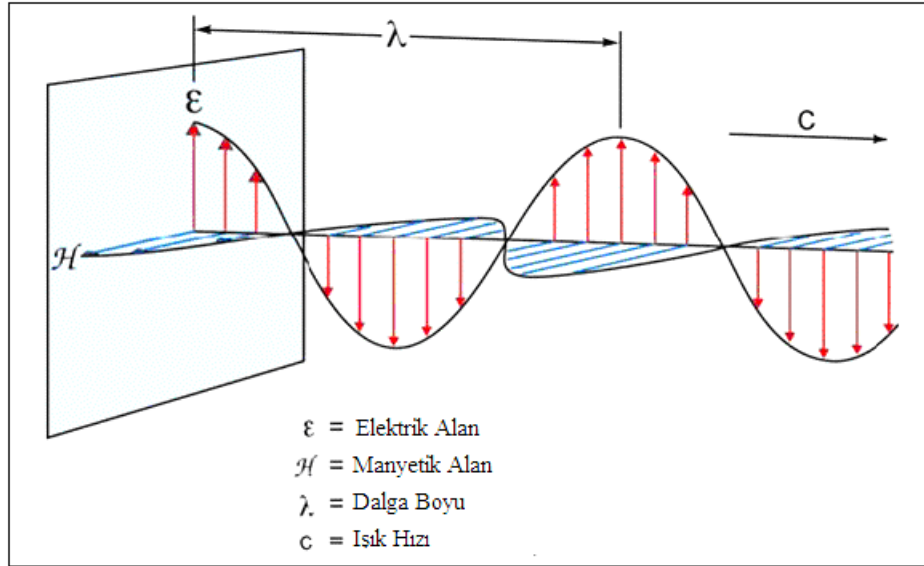


Şekil 2.1. Elektromanyetik dalga spektrumu.

Mikrodalga, saniyede 300 milyon döngüden (300 MHz) saniyede 300 milyar döngüye (300 GHz) kadar değişen, iyonize olmayan ve elektromanyetik dalgalar ile aktarılan radyasyondur. Dalga boyları 1 mm ile 1000 mm arasındadır. Mikrodalgalar, molekül ya da iyonların hareketlenmesine yol açtığı gibi, metalik bir levha gibi basit bir

aynadan yansıtılabilir, bir dielektrik arayüzde kırılabilir ve parabolik reflektörler veya huni antenler ile odaklanabilir (Jones vd. 2002; Haque, 1999; Banik vd. 2003).

Mikrodalgalar, diğer elektromanyetik enerji formlarından (görülebilir, ultraviyole ya da kızılötesi ışınlar gibi) daha uzun dalga boylarına sahiptir. Bir elektromanyetik dalga, dalga boyu (λ), frekans (f) veya enerjisi ile karakterize edilmektedir (Eskibalıcı, 2007). Elektromanyetik dalga birbirine 90 derece açıda elektrik ve manyetik alanların bileşeninden meydana gelmektedir. Dikey yöndeki oklar elektrik alanını ve yönünü, yatay yöndeki oklar manyetik alanını ve yönünü göstermektedir. Elektromanyetik dalga eksen çizgisi üstünde, tek bir yönde ve ışık hızıyla hareket etmektedir (Eskibalıcı, 2007; Şeflek, 2019)

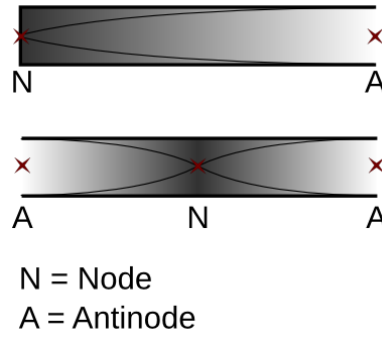


Şekil 2.1. Elektromanyetik alan.

Mikrodalgalar, elektrik ve manyetik alanlarla birlikte bir elektromanyetik enerji biçimidir. Mikrodalga radyasyonu absorbe eden malzemeler dielektrik olarak adlandırılır ve çift kutup içerir. Mikrodalgalar dielektrik malzemelere uygulandığında, uygulanan alanın değişmesi nedeniyle dipoller döner ve hızlanır. Daha sonra sürtünme enerjisiyle birlikte malzeme ısınır (Kingman ve Rowson, 1998).

Tipik bir mikrodalga ısıtma sisteminin iki ana bileşeni vardır; mikrodalga kaynağı ve boşluk. En yaygın kullanılan mikrodalga jeneratörleri magnetronlardır. Günümüzde

915 MHz ve 2.45 GHz' deki magnetronlar, ev tipi mikrodalga fırınlarda kullanıldıkları ve bu nedenle seri üretildikleri için nispeten ucuzdur. Boşluk, mikrodalgaların yönlendirildiği ve metalik duvarlar tarafından etkin bir şekilde yansıtıldığı metal bir kutudur. Ayrıca, dalgalar rezonansa girer ve duran dalgalar oluşturur. Boşluktaki duran dalgaların nodların (düğüm) ve antinodlarının konumu (Şekil 2.3), boşluğun tasarımına yani boyutlarına bağlıdır. Ayrıca, dielektrik özellikler ve yükün konumu, alan dağılımı üzerinde bir miktar etkiye sahiptir (Poonia, 2016).



Şekil 2.1. Dalga sisteminde nod ve antinod (İnternet, 1.).

2.2. DİELEKTRİK DAVRANIŞ TEORİLERİ

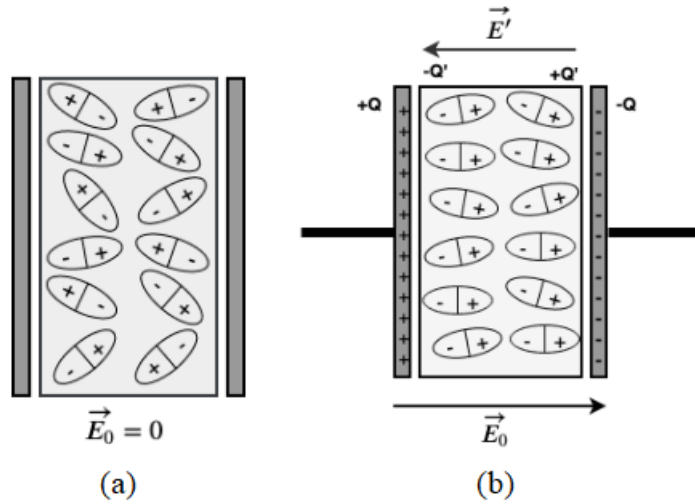
Elektromanyetik teori yönünde maddeler; iletkenler, yarı iletkenler ve yalıtkanlar (dielektrikler) olmak üzere üç sınıfta toplanırlar. Elektriksel malzemelerin bu üç farklı özelliği ise özdirencinin değerine, özdirencinin ısı katsayısının değerine ve elektriksel iletkenliğinin türüne bağlıdır. Bütün maddeler kendilerine özgü atomik yapıya sahiptirler ve elektromanyetik alanın etkisi altında atomik yapılarındaki yüklü parçacıkların hareketleri değişikliğe uğrar (Allahverdiyev, 2000; Şahin, 2002). Bu çalışmada odun, dielektrik bir malzeme olarak ele alınmış ve bu teorilerin aynı şekilde oduna uygulanabileceği kabul edilmiştir.

İletkenlerin atomik yapısında çok sayıda serbest elektron vardır bu nedenle elektriği çok iyi iletirler. İletkenler elektrik akımı içine sokulunca içinde serbest bir yük hareketi meydana gelmekte ve bu nedenle iletkenin bir tarafında pozitif diğer tarafında negatif yükler belirmektedir. Böylece bir iletken, yüksek frekanslı elektromanyetik alan içine

sokulduğu zaman, yüzeyinde bir akım oluşur ve elektromanyetik dalga, pratik olarak iletkenin içine nüfuz edemez (Oktay, 1978; Allahverdiyev, 2000; Şahin, 2002).

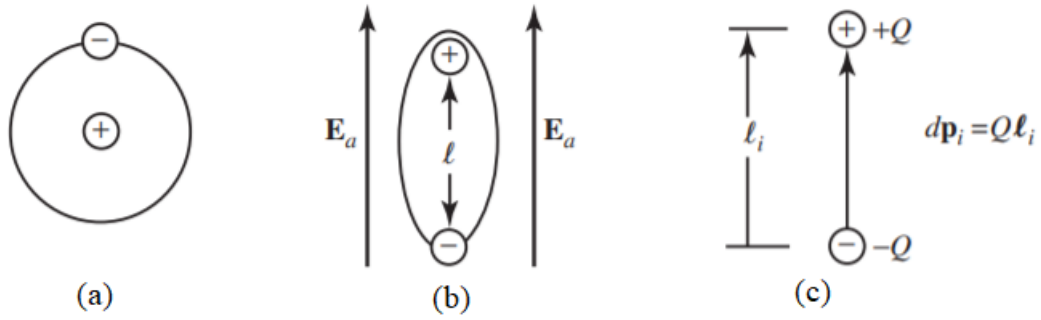
Katı yalıtkanlar ise genellikle çok sayıda ve karmaşık moleküllerden oluşmuştur. Elektriksel anlamda böyle moleküller artı ve eksi yüklerin toplamı olarak düşünülebilir. Dielektrik bir malzeme, elektrik alanına yerleştirildiğinde eksi ve artı yüklerin kısmi bir ayrımı görülür ve bu dielektrik kutuplaşma (polarizasyon) olarak adlandırılır. Bu olay iki şekilde gerçekleşir (Vermaas, 1971; Şahin, 2002).

1. Malzeme eğer polar moleküllerden oluşuyorsa, yani molekülde artı ve eksi yükler farklı pozisyonlarda bulunuyorsa, molekül sabit dipol momentine sahiptir. Dipol karakterinde olan polar moleküller elektrik alanının bulunmaması durumunda ısı hareketlerinden dolayı dielektrik içinde birbirini dengeleyecek şekilde düzensiz rastgele bir dağılışı halindedirler ve toplam dipol moment sıfırdır. Elektrik alanının etkisi altında, uygulanan elektrik alan şiddeti her bir dipol üzerinde bir dönme momentumu oluşturur ve dielektrik içindeki bütün dipoller elektrik alan yönüne göre Şekil 2.3'teki gibi kendilerini yönlendirmeye çalışırlar (Vermaas, 1971; Tinga, 1973; Şahin, 2002).



Şekil 2.2. a) Elektrik alanı yokken rastgele dipol yönelişi b) Sabit bir elektrik alanının etkisinde dipol yönelişi (Potok, 2019).

2. Malzemenin apolar olması durumunda, molekülde yüklerin dağılımı simetriktir. Yani artı ve eksi sabit yüklerin ağırlık merkezleri üst üste çakışık durumdadır. Bu halde molekül normal durumda nötrdür ve sabit dipol momenti sıfırdır. Ancak, elektrik alanı uygulandığında sabit yükler zıt yönlerde doğru çekilirler. Bu yüklerin yer değiştirmesinin bir sonucu olarak iç bağlanma kuvvetlerine karşı bir çalışma meydana gelir. Böylece molekül elektrik alanı etkisiyle dipol hale gelir. Başka bir deyişle, apolar moleküller elektrik alanı içine girdiğinde, pozitif yükler alan yönünde ve negatif yükler ters yönde kayarlar. Böylece ağırlık merkezleri de kaymış olur ve molekül dipol hale gelir (Şekil 2.4). Bu olay kayma kutuplaşmasıdır ve az çok bütün dielektriklerde görülür (Vermaas, 1971; Allahverdiyev, 2000; Şahin, 2002; Balanis, 2012).



Şekil 2.2. Atom modeli. a) Elektrik alan yok b) Elektrik alanının etkisinde c) Eşit büyüklükte iki zıt yük Q arasında bir dipolün oluşumu (Balanis, 2012).

Bir malzeme bir elektrik alanına maruz kaldığında, malzemenin polarizasyon dipolleri, uygulanan elektromanyetik alan ile etkileşir. İster katı, ister sıvı veya gaz olsunlar, dielektrik (yalıtkan) malzemeler uygulanan dış kuvvetlere maruz kaldıklarında, bağlı yüklerinin sınırlayıcı kuvvetlerine karşı kayma ile elde edilen elektrik enerjisini depolama yeteneği sağlar. Bu, bir yayı germeye veya bir ağırlığı kaldırmaya benzer ve potansiyel enerjiyi temsil eder (Balanis, 2012).

2.3. ELEKTROMANYETİK ALAN İLE ODUN ARASINDAKİ ETKİLEŞİM

Manyetik alanın ağaç malzeme üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeydedir, çünkü dielektrik malzemelerde manyetik geçirgenlik boş alan ile karşılaştırılabilir, bu

nedenle pratik amaçlar için dikkate alınmaz. Diğer yandan elektrik alanın ağaç malzeme üzerindeki etkisi çok yüksektir. Böylece, yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar, ağaç malzemedeki yükleri polarize edebilir ve odun içinde elektrik akımlarının oluşmasını sağlayabilir (Torgovnikov, 1993; Şahin, 2002; Dömeny, 2016).

Elektromanyetik alan ve odun arasındaki etkileşim sayesinde odunun önemli özellikleri açıklanabilir. Odunun dielektrik özellikleri, elektromanyetik alanın etkisi altında elektrik alanı ve odun arasındaki etkileşim dolayısıyla oluşan kutuplaşma mekanizmaları sonucu meydana gelir ve bu durumda rutubetli odunun yanında tam kuru odun da polar bir dielektrik olarak ele alınabilir (Vermaas, 1971; Vermaas, 1974; James, 1975; Peyskens, 1984; Torgovnikov, 1993; Şahin, 2002).

2.4. ODUNUN KUTUPLAŞMASI

Tam kuru odun 10^{13} - 10^{15} ohm.m özgül dirence sahip, polar bir dielektrik olarak sınıflandırılır. Odunun rutubet miktarı arttıkça odunun özgül direnci düşer ve iletkenliği yarı iletkenlerinkine yaklaşır. Rutubet miktarı lif doygunluk noktasını (LDN) aştığında, odun iyonik iletkenliğe sahip olur. Rutubetli odun, dipollerden ve iyonlardan oluşmuş bir madde olarak kabul edilir. Bir yüksek frekans elektrik alanında odunun davranışı bu dipoller ve iyonlarla belirlenir (Torgovnikov, 1993; Vermaas, 1971; Şahin, 2002).

Odunun toplam kutuplaşması rutubetli heterojen dielektriklerde meydana gelen 5 tip kutuplaşmayı içermektedir. Bununla beraber, elektrik alan frekansına bağlı olarak genel kutuplaşma işlemi üzerinde her bir tür kutuplaşmanın etkisi farklıdır ve odunun dielektrik özellikleri üzerindeki etkileri de değişir (Torgovnikov, 1993; Vermaas, 1971; Şahin, 2002).

$$P = P_e + P_a + P_d + P_v + P_z \quad (2.1)$$

Burada;

P_e :Elektron kutuplaşması;

P_a :İyon kutuplaşması

P_d :Dipol relaksasyon kutuplaşması

P_v :Kendiliğinden kutuplaşma

P_z :Elektroliz kutuplaşma

Odunun genel kutuplaşması P ; anlık kutuplaşma (P_m) ve relaksasyon kutuplaşması (P_r) olmak üzere iki bileşenin toplamı olarak kabul edilir ve $P = P_m + P_r$ olur. Anlık kutuplaşma elektron ve iyon kutuplaşmalarının toplamıdır. Bu kutuplaşma türleri elektrik alan şiddeti değişimlerini anlık olarak izler. Dipol relaksasyon, iyon relaksasyon ve kendiliğinden kutuplaşma türlerinin toplamı genel kutuplaşmanın relaksasyon bileşenlerini oluşturur (Torgovnikov, 1993; Şahin, 2002).

Odunun genel kutuplaşmasına tüm kutuplaşma türlerinin katılımı aynı değildir. Bu, frekansa bağlı olarak belirli şartlarda bazı tip kutuplaşmaların dikkate alınmamasına neden olur. Bu nedenle yüksek frekans ve mikrodalga frekansla kurutmanın gerçekleştirildiği 105-1010 Hz frekans sınırlarında elektroliz (kendiliğinden) kutuplaşma, elektron ve iyon kutuplaşmanın etkisi önemsizdir (Torgovnikov, 1993; Şahin, 2002).

2.5. ODUN BİLEŞENLERİNİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ

Odun doğal bir kompozit malzeme olmakla birlikte selüloz, hemiselüloz, lignin ve ekstraktların kimyasal kompleksinden oluşur. Selüloz ve hemiselülozlar, odun maddesinin yaklaşık % 70'ini oluşturan ve hücre duvarının dielektrik özelliklerini belirleyen polisakkaritlerdir. Lignin, fenil-propan birimlerine dayanan düzensiz bir şekilde dallanmış kopolimerlerin bir karışımıdır. Bu üç ana bileşenin tümü, dipol polarizasyon süreci ile karakteristik olan polar polimerlerdir. Selüloz polarizasyonu, hidroksil gruplarının (-OH), metilen gruplarının (-CH₂OH) ve glikoz kalıntılarının yer değiştirmesi ve dönmesi ile ilişkilidir. Hemiselüloz polarizasyonu, yumuşak ağaçtaki ana hemiselülozlardan biri olan esas olarak glukomannan olmak üzere selüloza yakındır. Polarizasyonları esas olarak metilen grupları ile ilişkilidir. Xylan hemiselüloz, metilen grupları içermez ve bu nedenle dielektrik özellikleri çok önemli değildir. Lignin, hidroksil ve metilen gruplarının varlığına rağmen ana odun

polisakkaritlerine kıyasla daha düşük dielektrik özelliklere sahiptir (Torgovnikov, 1993). Su molekülleri önemli ölçüde etkilenmesine rağmen, şaşırtıcı olmayan bir şekilde yüksek dielektrik geçirgenlikleri göz önüne alındığında, odundaki diğer polar moleküller (selüloz, hemiselüloz ve lignin) de etkilenebilir (Hansson ve Antti, 2003). Üretilen ısı, etkilenen tip hücrelerine (traheidler, lifler) bağlı olarak farklı şekillerde emilir (Hermoso ve Vega, 2016).

Pratik olarak tüm odun yapılarının dielektrik özellikler üzerindeki etkisini göz önünde almak mümkün değildir. Bu nedenle odunun dielektrik özellikleri teorik olarak incelenirken, basitleştirme yapılarak yalnızca birkaç bileşenin fiziksel bir karışımı olarak ele alınır. Böylece odun bileşeni tabakalarının üniform ve izotropik çok sayıda molekülden oluştuğu ve bunların tüm tabaka boyunca üniform parametrelere farz edilerek analizler gerçekleştirilir (Vermaas, 1971; Vermaas, 1974; Torgovnikov, 1993; Şahin 2002).

Tam kuru odunun hücre çeperi maddesi ve havadan oluştuğu kabul edilir. LDN rutubet miktarının altında rutubete sahip odunda bu karışıma 3. bir bileşen, yani hücre çeperi içinde bulunan bağlı su eklenir. LDN rutubet miktarını aşan rutubet miktarlarında bu karışıma 4. bileşen olarak serbest su eklenir. Negatif sıcaklıklarda serbest su ve bağlı suyun yerini buz alır. Tüm bu bileşenler odunun dielektrik parametrelerini etkiler ve rutubetli odun tüm bu 4 bileşenin ortak bir karışımı kabul edilir. Bu yüzden elementer düzeyde rutubetli odunun fiziksel modeli hücre çeperi maddesi, hava, bağlı su ve serbest suyu içermektedir (Torgovnikov, 1993; Khalid vd. 1999a; Khalid vd. 1999b; Şahin 2002).

2.5.1. Odunun Dielektrik Özelliklerinde Rutubet Miktarının Etkisi

Odunda adsorbsiyon ve kapiler kondenzasyon şeklinde bulunan bağlı su, odun ile etkileşimi sonucunda kendi dielektrik özelliklerini değiştirir ve böylece odunun dielektrik özelliklerinde değişmelere neden olur. Hücre boşluklarını (lümenlerini) dolduran serbest su da ayrıca odun ve elektromanyetik alan arasındaki etkileşimlerin karakterini değiştirir. Bu değişimler özellikle suyun anormal yüksek dielektrik parametrelerine sahip olduğu frekans bölgelerinde, rutubetli odunun dielektrik

özelliklerinde önemli değişime neden olur. Serbest su, odunun dielektrik özelliklerinden çok daha yüksek dielektrik özellik değerine sahiptir. Su, odunda dielektrik özellikler üzerinde en etkili olan ve birçok durumda dielektrik özellikleri belirleyen maddedir (Şahin, 2002).

Odunun dielektrik özellikleri üzerinde rutubet miktarının etkisi bütün frekans sınırlarında oldukça belirgindir. Bunu ifade etmek için olayın temelini oluşturan iki faktörün kombinasyonu dikkate alınır. Odunun rutubet miktarının artışıyla hücre çeperinin ve selülozun polar bileşikleri, yüksek rutubet içeriği sayesinde daha yüksek hareket serbestliği elde ederek belirgin bir şekilde dielektrik özellikler üzerine katkıda bulunurlar. Rutubetlenmenin başlangıç aşamalarında bu iki faktörün birleşimi dielektrik özelliklerde hızlı bir artışa neden olurken, rutubet miktarı LDN'ye yaklaşırken devir serbestliğinin maksimuma ulaşmasından dolayı polar gruplar önemsiz olur. LDN seviyesinden sonra esas rolü serbest suyun dielektrik davranışı ve odun içindeki hacmi belirler. Bu sebeple dielektrik özellikler üzerine rutubet miktarının etkisini 4 rutubet bölgesinde analiz etmek daha faydalı olacaktır. % 0 - 5 (nanomoleküler) rutubet miktarında, % 5 den % 15 - 18'e kadar (adsorbsiyon) rutubet miktarında, % 18'den LDN'ye kadar (kapiler - kondense rutubet) ve LDN'nin üzerindeki (serbest rutubet) rutubet miktarında. Odun ile bu 4 rutubet bölgesi arasındaki etkileşim farklıdır. Odun ve rutubet arasındaki her farklı tip bağ, rutubetli odunun dielektrik özellikleri üzerine kendine has etkiye sahiptir. Kural olarak, yukarıda bahsedilen rutubet bölgesi sınırlarında odunun dielektrik özelliklerinde önemli değişiklikler meydana gelir (Şahin, 2002).

2.5.2. Odunun Dielektrik Özelliklerinde Frekansın Etkisi

Odun farklı moleküllerden oluşan dielektrik bir malzemedir. Elektrik alanının etkisi altında bir dielektrik karışımın frekansla ilgili olarak davranışı, onu oluşturan bileşenlerin dielektrik davranışından büyük ölçüde farklıdır. Bu durumda dielektrik karışımındaki relaksiyon olayı tek bir frekansta gerçekleşmez ve geniş bir dağılım söz konusudur. Bu dağılımın büyüklüğü karışımı oluşturan maddelerin kendi özel yapılarına ve miktarlarına bağlıdır (Torgovnikov, 1993; Khalid vd. 1999b; Şahin, 2002).

Mikrodalga frekanslarda bir maddenin molekülleri ile elektromanyetik alan arasındaki etkileşim karakteri düşük frekanslardakinden daha farklıdır. Çünkü mikrodalga frekanslarda elektrik alan titreşim periyodu moleküllerin relaksasyon süresinden daha yüksektir. Bu yüzden alan şiddeti vektörü ile yer değişim vektörü arasında bir faz farkı meydana gelir. Bu frekansın artışıyla birlikte dielektrik sabitinde azalmaya neden olurken, kayıp tanjantı değerinde artışa neden olur. Bu özellik, yani dielektrik sabitinde azalış ve kayıp faktöründeki artış çeşitli çalışmalarda farklı odun türleri için belirlenmiştir. LDN üzerinde rutubet miktarına sahip odunun dielektrik özelliklerindeki değişimini serbest suyun dielektrik özellikleri ve nisbi hacmi ile belirler. Serbest su molekülleri hücre çeperi maddesi ve bağlı sudan bağımsız olarak mikrodalga alanıyla etkileşim halindedir (James ve Hamill, 1965; Tiuri vd. 1980; Torgovnikov, 1993; Kabir vd. 1997). Düşük frekanslarda rutubet miktarı ile dielektrik parametreler arasında üssel bir (Torgovnikov, 1993; Kabir vd. 1998) ilişkinin bulunduğu, mikrodalga frekanslarda ise 2,3 veya 4 dereceden çok değişkenli eşitliklerin uygun olduğu belirtilmektedir (Peyskens vd. 1984; Jain ve Dubey, 1988; Kabir vd. 1997; Kabir vd. 1998; Şahin, 2002).

Tam kuru odun elektromanyetik alan içinde tipik bir polar dielektrik gibi davranır. Frekansın artışıyla birlikte dielektrik sabiti monoton bir şekilde azalır. Çünkü polar moleküllerin daha az bir kısmı elektrik alan değişimlerini takip etmek için yeterli zamana sahiptir. Rutubetli odunda ise frekansın artışıyla birlikte dielektrik sabiti ve kayıp faktörü azalır. Düşük frekanslarda dielektrik sabitinin ve kayıp faktörünün daha yüksek değerde olması, rutubetli odunun bu frekanslarda yüksek bir iyonik iletkenliğe sahip olmasından kaynaklanır. Rutubetli odunun kayıp tanjantının frekans bağımlılığı ise oldukça karmaşıktır. Frekansın artışıyla iyonik iletkenliğin etkisi azalır ve relaksasyon kayıpları belirgin rol oynamaya başlar. 10^{10} - 10^{11} Hz frekans sınırlarında dielektrik sabiti değerindeki ani azalma serbest suyun dielektrik sabiti değerinin bu frekanslarda aniden düşüşü (60'tan 7,7'ye kadar) ile açıklanır (Torgovnikov, 1993; Şahin, 2002).

BÖLÜM 3

ODUNUN MİKRODALGA MUAMELESİ

Orman endüstrilerindeki bazı olası mikrodalga uygulama alanları olarak; ısıtma, ahşabın termo-mekanik işlemden geçirilmesi, kurutma, nem dengeleme ve biyolojik ahşap koruma için ısı sterilizasyonu işlemleri gösterilebilir. Şimdiye kadar mikrodalga enerjisi, çeşitli ahşap ürünlerin nem içeriğinin kurutulması ve dengelenmesi, CCA koruyucularının hızlı fiksasyonu, formaldehit emisyonlarının azaltılması ve çeşitli kimyasallara karşı ahşap geçirgenliğinin iyileştirilmesi için, deneysel bir temelde de olsa başarıyla kullanılmıştır (Torgovnikov ve Vinden, 1997; Torgovnikov vd. 1999; Muga, 2002).

Odunun mikrodalga ile modifikasyonu sayesinde diri oduna göre öz odunun değişken geçirgenliğinden kaynaklanan bir dizi ağaç işleme problemlerinin üstesinden gelinir. Artan geçirgenlikle birlikte odunun sıvı ve gazlarla işlem görmesi kolaylaşır. Ağaç malzemenin mikrodalga ile muamelesi, aynı zamanda odunun büyüme stresini de azaltarak, kusurların azalmasına neden olabilir (Torgovnikov vd. 1999). Odunun mikrodalga modifikasyonu, yalnızca mevcut süreçleri geliştirme potansiyeline sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda odun için tamamen yeni işleme ve ürün seçeneklerinin geliştirilmesini de mümkün kılabilir. Bunlar arasında; yumuşak ağaçların hızlı koruyucu muamelesi, emprenyesi güç ağaç türlerinin koruyucularla muamelesi, sert ağaç direklerinin koruyucularla muamelesi ve sert ağaçların hızlı kurutulması sayılabilir (Torgovnikov ve Vinden, 2000).

Farklı ahşap yapı elemanlarının mikrodalgayla yok edilmesi, sıvılar ve gazlar için odun geçirgenliğinde artış sağlar. Uygulanan enerjiyi yöneterek, pratik mikrodalga teknolojisi kullanımı için gerekli olan ahşap modifikasyon derecesi ve geçirgenlik artışı üzerinde daha iyi bir kontrol sağlanabilir. Mikrodalga işleminin ahşap yapı

üzerindeki etkilerine ilişkin bilgi, odun teknolojisinde mikrodalga kullanımı için fırsatların değerlendirilmesine olanak tanır (Terziev vd. 2020).

3.1. ODUNDA MİKRODALGA ISITMA MEKANİZMASI

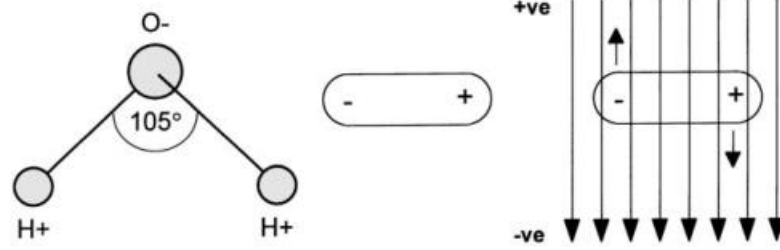
Bir malzemeyi ısıtmak için uygulanabilecek çeşitli yöntemler vardır. Konveksiyonel ısıtmada ısı, dolaşan bir sıvı ile malzeme yüzeyine aktarılır. Radyasyonda ısı, malzeme yüzeyine radyasyonla aktarılır. İletken ısıtmada ısı, başka bir malzeme yüzeyine daha yüksek sıcaklıkta bağlanarak malzeme yüzeyine aktarılır. İç ısıtmada, çevredeki alanın enerji veya ısı transferinde yer aldığı geleneksel ısıtmaya kıyasla sadece malzeme ısıtılacaktır. Malzeme, iç bölgelerde anında ısınır ve ısınmayı konveksiyonel ısıtmaya göre daha hızlı hale getirir (Hansson, 2007).

Frekansa bağlı olarak dielektrik ısıtma, radyo ve mikrodalga frekanslar olmak üzere iki teknolojiye ayrılabilir. 100 MHz altındaki radyo frekansları açık tel devrelerle üretilir ve metal elektrotlar arasına uygulanır. Mikrodalgalar ise dalga kılavuzları adı verilen metalik tüpler aracılığıyla doğrudan vakum tüplerinden malzemelere yayılır ve % 85-94 elektrik verimliliğinde üretilebilir (Resch, 2006; Saitou, 2006; Vikberg vd. 2014; Dömeny, 2016).

Mikrodalgaların operasyonel frekans spektrumu, 1 m ile 1 mm aralığına karşılık gelen dalga boyları ile 300 MHz ile 300 GHz arasında değişmektedir. Mikrodalga ısıtma için en yaygın kullanılan frekanslar 2.45 GHz ve 915 MHz'dir. Daha yüksek frekansın kullanılmasıyla güç penetrasyon derinliği azalmıştır. Örneğin, maksimum su emilimi 10 GHz civarında bulunur, ancak yalnızca yüzey ısıtması seviyesine ulaşılabilir (Resch, 2006; Dömeny, 2016).

Mikrodalga elektrik alanı, su dipollerinin dönmesine ve ahşabın içindeki sıcaklığın yükselmesine neden olur. Belirli bir ortamda üretilen ısı temel olarak üç değişkene bağlıdır; uygulanan alanın yoğunluğu, frekansı ve ortamın dielektrik kayıp faktörü. Mikrodalga ısıtma işleminde, enerji, numunedeki su moleküllerine etkin bir şekilde aktarılır. Mikrodalga radyasyonuna maruz kalan yüzey, mikrodalga enerjisinin çoğunu alır. En büyük ısı transferi ise odun ve hava arasında gerçekleşir. Bu nedenle, en

yüksek sıcaklık yüzeyden birkaç milimetre uzaklıkta meydana gelir (Zielonka ve Gierlik, 1999).



Şekil 3.1. Su molekülünün elektrik alanındaki rotasyonu (Oloyede ve Groombridge, 2000).

Mikrodalga enerjisini etkin bir şekilde kullanmak için, tüm malzeme yığına nüfuz edilmelidir, bu da frekans arttıkça daha ince boyutların kullanımına işaret eder. Diğer bir deyişle, penetrasyon artan dalga boyları ile azalmaktadır. 2450 MHz mikrodalga frekansı, ağaç malzemenin boyutuna karşılık gelen yaklaşık 12cm'lik bir dalga boyu verir (Antti, 1995).

Odun, tam kuru halde yalıtkan bir malzeme olarak kabul edilebilir. Moleküllerinin iki kutuplu bileşenleri elektrostatik olarak mikrodalga elektrik alanına bağlanır ve kendilerini onunla mekanik olarak hizalama eğilimindedir. Ağaç malzeme gibi serbest su içeren malzemeler mikrodalga enerjisini emebilir. Bu duruma polar rotasyon veya sürtünme denir. Sürtünme sadece dielektrik aktif bileşenlere sahip malzemeler için, bu durumda su molekülleri için gözlenir. Su molekülleri, dipolar karaktere sahipken elektriksel olarak nötrdür. Elektrik alanında bu moleküller, polarite değiştiğinde polariteye göre yönlendirilir. Yüksek radyasyon frekanslarında, polaritenin yüksek hızlı dönüşü ve ardından su moleküllerinin oryantasyonu, sürtünme boşlukları ile bir termal enerji yaratır (Antti vd. 2001; Klement ve Trebula, 2004; Hansson ve Antti, 2003; Lundgren, 2007; Poonia, 2016). Hansson (2007) ve James (1975) ayrıca, yaklaşık 12 cm dalga boyuna sahip 2.45 MHz frekansının ısıtma için en yaygın olarak kullanılan frekanslara ait olduğunu doğrulamıştır. Su molekülünün iki pozitif yüklü hidrojen iyonu ile çift negatif yüklü tek oksijen iyonu, elektrik alan yönüyle döner ve

hizalanır. Mikrodalga alanı değiştiğinden, alanın tersine çevrilmesi, moleküllerin 180° yeniden hizalanmasına ve bir titreşim oluşmasına neden olur. Bu nedenle çift kutuplar alan yönünün tersine dönerken yeniden hizalanmaya çalışır ve bu nedenle mikrodalga frekansında sabit bir mekanik salınım durumundadır. Bu işlem kendini ısı olarak gösterir ve odun içindeki sıcaklıkların yükselmesine neden olur. Enerji doğrudan malzemeye aktarılır, su molekülleri tarafından emilir ve ısıya dönüştürülür. Mikrodalga, buharlaşan yüzeye yeterli bir nem akışı sağlama yeteneğine sahip olması nedeniyle sabit kurutma hızının kritik nem içeriğinin ötesine uzatılmasına yardımcı olur (Zielonka ve Gierlik, 1999; Muga, 2002).

Lif doğunluk noktasının üzerinde yüksek nem içeriğine sahip ağaç malzeme, büyük miktarda elektromanyetik enerji emebilir. Sıcaklığı yükseltmek için gereken enerji miktarı, malzemenin özgül ısı kapasitesi değerine göre belirlenir. Düşük değerler, sıcaklığı artırmak için daha az elektromanyetik enerji gerektirir. Ahşabın özgül ısı kapasitesi nem içeriği, kuru yoğunluk ve sıcaklıktan etkilenir. Nem içeriği, kuru yoğunluk ve sıcaklık ne kadar yüksekse, özgül ısı da o kadar yüksek olur (Hansson, 2007).

Mikrodalga enerjisi, numuneyi "toplu ısıtmada" enerji israf edilmediğinden malzemelerin seçici ısıtılmasında son derece etkilidir. Bu, mikrodalga ısıtmanın geleneksel yöntemlere göre (fırınlarda toplu ısıtma) sahip olduğu açık bir avantajdır (Jones vd. 2002). Eğer ağaç malzemenin hacmi ile mikrodalga gücü ve frekansı birbirine uygun ayarlanırsa, mikrodalga enerjisi uygulandığında toplam hacim anında ısınır. Bununla birlikte, mikrodalğanın doğası ve değişken malzeme özellikleri nedeniyle ısıtma hacim boyunca tek tip olmayacaktır. Isı iletimi, eşit olmayan sıcaklık dağılımının dengelenmesine hizmet edecektir. Ahşabın ısıl iletkenliği rutubet içeriği, kuru yoğunluk, sıcaklık ve lif yönüne bağlıdır. Rutubet içeriği, kuru ağırlık yoğunluğu ve sıcaklık ne kadar yüksekse, termal iletkenlik de o kadar yüksek olur. Ayrıca, lif yönündeki iletkenlik diğer yönlere göre daha yüksektir (Hansson, 2007).

Ağaç malzemenin mikrodalga enerji ile ısıtılması sonucunda, difüzyonla tanımlanan moleküler akışın pratik bir uygulaması olan bağlı suyun hareketi meydana gelir. Odun içi rutubetin eşit olmayan bir şekilde dağılmış olması durumunda, suyun hareketi

tetiklenir ve difüzyon sayesinde farklılıkların dengelenmesi sağlanır (Merenda, 2006). Mikrodalga ısıtma sırasında azalan rutubet, ısıtma sırasında odun içindeki suyun hareketinden kaynaklanır. Daha yüksek derecedeki başlangıç rutubeti ile daha fazla difüzyon gerçekleşerek rutubet kaybı artar ve rutubetin azalmasıyla da kademeli olarak azalma eğilimi gösterir. Yüksek rutubetli odun, içerdiği su miktarından dolayı daha fazla mikrodalga enerjisini emebilen su moleküllerine sahip polar parçacıkların sayısını arttırır. Su miktarı sadece ısının gelişmesinde değil, aynı zamanda odun hacmi boyunca ısı transferinde de önemlidir. Kotlik'e (2005) göre, mikrodalga ısıtma sayesinde yükselen su buharı (sıcak suyun normal sudan daha büyük bir hacme sahip olması nedeniyle) iç basınç gradyanı meydana getirerek içerideki suyun yüzeye çıkmasına katkıda bulunur (Gasparik ve Gaff, 2013).

3.2. MİKRODALGA MUAMELENİN ODUN ANATOMİSİ ÜZERİNE ETKİSİ

Odunun mikrodalga muamale ile geçirgenliğinin artırılması için yapılan çalışmalarda anatomik yapıda meydana gelen değişimler genel olarak incelendiğinde geçirgenliğin artması gibi istenilen sonuçlar doğarsa da, mikrodalga yoğunluğunun derecesine bağlı olarak mikro/makro çatlaklar sonucu görünüm kalitesinde ve mekanik özelliklerde azalma gibi istenmeyen sonuçları da olabilmektedir (Hong-Hai vd. 2005; Jiang vd. 2006; Merenda ve Holan, 2008; Torgovnikov ve Vinden, 2009; Vinden vd. 2011; Liu vd. 2019; Terziev vd. 2020; Weng vd. 2020). Uygulanan mikrodalga radyasyonu, odun yapısında hücre duvarlarının tabakalaşmasına ve odun yapısını oluşturan elemanlar arasında ayrışmalara neden olabilecek derecede yüksek basınçlı su buharı oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan su buhar basıncı aynı zamanda sıvı ve gaz geçirgenliğinde olumsuz etkisi olan geçit aspirasyonu ve tül oluşumu gibi önemli sorunlara da çözüm olmaktadır. Mikrodalga muamele uygulamalarında sayılan bu olumlu ve olumsuz sonuçlar dikkate alınarak odunun anatomik yapısına hangi seviyede etki edileceği önceden çok iyi tayin edilmelidir. Yapılan çalışmalarda etki unsuru olarak birim rutubete uygulanacak mikrodalga enerji yoğunluğu en önemli parametre olarak karşımıza çıkmaktadır (Torgovnikov ve Vinden, 2009; Liu vd. 2019; Terziev vd. 2020; Weng vd. 2020).

Weng vd. (2020) mikrodalga işleminin Çin tırpan ağacı (*Cunninghamia lanceolata*) mikro yapısına olan etkilerini araştırdılar. Araştırma sonuçlarında düşük yoğunluklu mikrodalga uygulaması sonrasında ışın paranzim hücreleri ile boyuna traheidler arasındaki orta lamellerin 1 - 25 mikron genişliğinde mikro çatlaklar; yüksek yoğunluklu mikrodalga uygulaması sonrasında ise 100 - 130 mikron genişliğe sahip daha şiddetli makro çatlaklar gözlemlendiğini bildirdiler. Oluşan mikroyapı çatlaklarının yanında aspirasyon sonucu geçit ağzını kapatan torusun mikrodalga yoğunluğuna göre parçalandığı, hatta tamamen düştüğü, geçit zarlarının kaybolduğu ve ışın paranzim hücrelerinin ciddi şekilde hasar gördüğü rapor edilmiştir. Yazarlar bu sonuçların geçirgenlik üzerine olumlu etkileri olduğunu belirtse de, odun yapısında oluşan makro çatlakların görünüm kalitesini ve mekanik özellikleri olumsuz etkileyeceğini bildirdiler.

Terziev vd. (2020) Monteri çamı (*Pinus radiata*) ve Norveç ladini (*Picea abies*) odun örneklerine mikrodalga muamelenin etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Çam örneklerine uygulanan mikrodalga radyasyon sonucunda aspire edilmiş geçitlerin sıvı geçişine izin verecek kadar modifiye edildiğini, hücre duvarının S₂ katmanına doğrudan erişim sağlayan 1 ila 2 mikron aralığında mikro çatlakların oluştuğunu ve ışınları takip eden 1 mikron ila 1 mm arasında değişen çatlakların gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Ladin örneklerinde uygulanan mikrodalga muamele sonrasında ise aspire olmuş geçitlerin açıldığını ancak traheidler arasındaki bileşik orta lamelin önemli ölçüde hasar görerek hücreler arası bağın zayıflamasına neden olduğunu, bunun sonucunda da mekanik özelliklerin düşebileceğini bildirmişlerdir.

Liu vd. (2019) yüksek yoğunluklu mikrodalga ile işlenmiş Karaçam (*Larix dahurica* Turcz.) odununun mikroyapısal özellikleri üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışma sonucunda, mikrodalga muamele ile meydana gelen ani buhar patlamasının etkisi altında geçirgenliğe katkı sağlayacak derecede odun hücre duvarlarında kılcal çatlakların meydana geldiği, traheidler arasındaki bileşik orta lamelde ayrışmalar gözlemlendiği ve daha belirgin olarak özışın hücrelerinin traheidler olan bağlantılarında önemli açıklıkların meydana geldiğini bildirmişlerdir. Yazarlar ayrıca geçit aspirasyona bağlı olarak meydana gelen sıvı geçiş yollarının ani buhar basıncı ile

yırtıldığını ve bu durumun geçirgenlik konusunda önemli katkı sağlayabileceğini gözlemsel deneyler sonucunda rapor etmişlerdir.

Anatomik yapıda meydana gelen değişimler, ağaç malzemeye uygulanan mikrodalga enerji yoğunluğuna bağlı olarak yapı elemanlarının kendi içinde ve elemanlar arası bağlarındaki dayanıklılığa göre aşamalı olarak gerçekleşmektedir. Mikrodalga enerji yoğunluğu arttıkça anatomik yapı üzerinde etki ettiği elemanların sayısı da artmaktadır. Mikrodalga muamele sırasında radyasyon yoğunluğu artışına paralel olarak paranzim hücreleri ilk yok edilenler arasındadır. Daha sonra odun hücre geçit membranlarının hasar görmesi, özışın hücrelerinin ayrışması ve daha ileri aşamada odun ana hücreleri duvarlarında (traheidler, libriform lifleri) yırtılmalar gerçekleşir (Torgovnikov ve Vinden, 2009).

BÖLÜM 4

ODUNDA PERMEABİLİTE VE EMPRENYE

Geçirgenlik, ahşap endüstrisindeki farklı teknik işlemler için özel öneme sahip malzeme özelliğini temsil eder. Geçirgenlik, katı bir ortam boyunca sıvı veya gaz fazlarının akışını belirler. Gözenek boyutu, dağılımı ve daha da önemlisi, gözeneklerin birbirine bağlanma derecesi malzeme geçirgenliğini etkiler. Sadece koruyucu emprenye için değil, aynı zamanda hamurlaştırma ve odun kurutma için de ahşabın gazlara ve sıvılara geçirgenliği endüstriyel ahşap işleme prosedürlerinin tasarımını etkiler. Ayrıca sertlik, UV dengesi, su-buhar iticiliği, boyutsal değişmezlik ve yangına dayanıklılık gibi önemli ahşap özelliklerini geliştirme alanlarında maddelerin uygulanabilmesi için sıvıların ahşap içinde farklı derinlik seviyelerine hareketini sağlar (Lehringer vd. 2009).

Odunun oldukça poröz (boşluklu) bir yapıda olması ona emprenye işleminin gereksinimlerinden olan sıvı/gaz permeabilitesi (geçirgenlik) konusunda önemli bir yetenek katar. Katı ve boşluksuz maddelerin sahip olamadığı bu ayrıcalık sayesinde, odunu koruma amaçlı uygulanan emprenye maddelerinin odun yapısında homojen dağılımla nüfuzu gerçekleştirilerek odun yapısında bağ kurmaları sağlanabilir (Eckelman, 1997; Watanabe vd. 1998; Panigrahi vd. 2018) Ancak odunun gözenekli yapıda olmasıyla geçirgen olması arasında doğrudan bir bağlantı yoktur. Maddeler üzerinde geçirgen ve gözenekli olmak üzere iki terim ayırt edilebilir. Gözeneklilik, bir malzemedeki boş alan oranıyla ilgilidir. Düşük yoğunluklu bir ağaç malzeme, büyük bir boşluk hacmi içerdiğinden gözeneklidir. Geçirgen bir malzeme ise sıvı akışının kolaylığı ile tanımlanır. Hücreler arasında geçirgen bir bağlantı varsa, sıkıştırıldığında sıvı/gaz geçişine izin verebilir ve bu durumda malzeme hem gözenekli hem de geçirgendir. Hücrelerin kapalı olduğu ve sıvı/gaz geçişinin yalnızca hücre duvarlarını yırtarak sağlanabildiği bir malzeme gözeneklidir ancak geçirgen değildir. Aynı

gözeneklilik özelliğine sahip odunlar büyük ölçüde farklı geçirgenliklere sahip olabilir: bazıları nispeten geçirgendir, bazıları oldukça geçirimsizdir (Walker, 2006).

Ağaç malzeme gibi gözenekli ortamlardaki akış birkaç mekanizma tarafından sağlanır. Bu mekanizmalar moleküler difüzyon, kılcal hareket ve konveksiyon veya Darcy akışıdır. Moleküler difüzyon, moleküllerin yüksek yoğunlukta olduğu bir bölgeden düşük yoğunluklu bir bölgeye hareketi ile tanımlanabilir. Kılcal hareket, su ile odun maddesi arasındaki moleküller arası çekim kuvvetlerinin su içindeki moleküller arası kohezif kuvvetlerden daha güçlü olduğunda meydana gelir. Darcy akışı ise, sıvıların odun gibi geçirgen veya gözenekli ortamlar boyunca hareketi ile basınç gradyanı arasında orantılı bir ilişki olarak ifade edilebilir (Hansson, 2007).

Sıvı ve gaz akışı için farklı geçirgenliklerin yanı sıra, odun geçirgenliği türe göre değişir. Yumuşak ağaçlar genellikle sert ağaçlardan daha az geçirgendir. Dahası, odunun yaşı da geçirgenliği etkiler ve öz odun diri odundan daha az geçirgendir. Geçirgenlik aynı zamanda akış yönüne de bağlıdır. Lifler boyunca akış, liflere çapraz akıştan daha büyüktür (Hansson, 2007). Sıvı ve gaz geçirgenliği, ahşabın işlenmesini, koruyucu kimyasallarla emprenye edilmesini ve kereste olarak kullanıma uygun hale getirilmesini büyük ölçüde etkileyen bir özelliğidir. Farklı odun hücreleri birbirine bağlayan açıklıkların boyutu, Poiseuille yasasına göre geçirgenlik derecesini belirler. Poiseuille'in laminer akışkan akışı yasası; akış hızının ve akış geçidi yarıçapının (R) dördüncü kuvveti ile doğru orantılı olduğunu belirtir (Walker, 2006; Panigrahi vd. 2018).

$$\text{Akış oranı} = \frac{\pi(p_1 - p_2)R^4}{8\eta L} \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1, yarıçapın yarıya indirilmesinin, kılcalın enine kesiti yalnızca 4 kat azalmasına rağmen akış hızında 16 katlık bir düşüşe neden olacağını gösterir (Walker, 2006).

4.1. İĞNE YAPRAKLI ODUNLARDA SIVI GEÇİRGENLİĞİ VE GEÇİT ASPIRASYONU

Tipik bir iğne yapraklı ağaç (İYA) türü, yaklaşık % 90 - 94 boyuna traheid, % 5 - 10 özışın hücresi ve % 0,1 - 1 boyuna reçine kanalları içerir. Boyuna paranzim miktarı ise ihmal edilebilir düzeydedir. Traheidlerin uçları kapalıdır ve traheidler ile öz ışın hücreleri arasındaki iletişim, esas olarak kenarlı veya kenarsız geçit çiftleri aracılığı ile sağlanır. Bu geçitlerin çoğu, traheidlerin veya öz ışınların radyal yüzeylerinde bulunmaktadır (Wang ve DeGroot, 1996). İYA'larda kenarlı geçitler, bitişik traheidler arasında birbirine bağlanan yollar olarak işlev görür (Lehringer vd. 2009). Diri odun içerisindeki sıvı akışı için olası bir model, sıvının çoğunun ilk önce reçine kanallarına girmesini ve ardından bitişik ışın paranzimi ağına ve son olarak geçitler yoluyla traheidlere akmasını içerir (Matsumura vd. 1999).

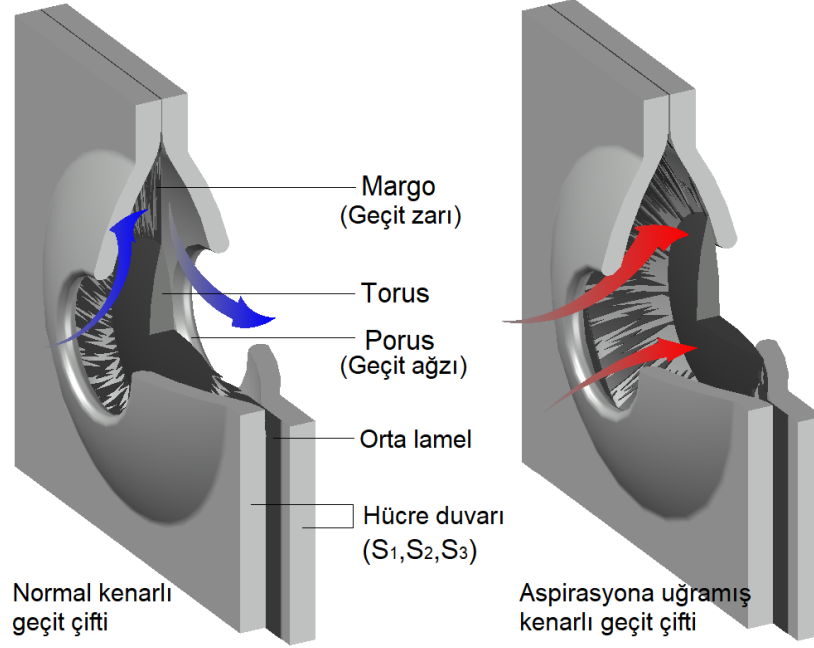
İğne yapraklı ağaçlarda, diri odun içindeki suyun traheid lümen boyunca hareket ettiği, bir traheid lümeninden diğerine geçitler aracılığı ile geçtiği bilinmektedir. Aynı yol, enine bir yüzeyden ahşaba nüfuz ederken koruyucu sıvılar tarafından da kullanılır. Yumuşak ağaçlardaki hem boylamsal hem de teğetsel akış yolları, ağırlıklı olarak kenarlı geçitlerden geçmektedir, kurduğunda ilkbahar odunu kenarlı geçitlerinin yüzey gerilimi kuvvetlerinden dolayı aspirasyon oluşur ve geçirgenlik azalır. Traheidlerdeki geçitlerin açık veya kapalı durumu, iğne yapraklı ağaçların geçirgenliği üzerinde baskın bir etkiye sahiptir. Ladin ağacında, traheidlerdeki kenarlı geçitler çoğunlukla ağaç büyümesi sırasında (öz odun bölgesinde) veya kesildikten sonra ahşabın kurutulması sırasında (diri odun bölgesi) aspire edilir. Bu, traheidler arasındaki basınç farklılıklarının bir sonucu olarak ortaya çıkar. Kenarlı geçitlerde torus her iki taraftan porusu açıp kapayarak geçiş dengesini sağlar. Rutubet yaklaşık % 30' a düştüğünde yani lif doygunluk noktasına yakın bölgede, neredeyse tüm geçitler kapanır. Bu nedenle, ladin odundan elde edilen kurutulmuş malzemeler, kimyasal sıvı koruyucuları için pratik olarak iyi geçirgen değildir. Bu da bozunmayı önlemek için gereken emprenye işlemlerini zorlaştırır (Ellwood, 1957; Hansmann vd. 2002; Panek, 2013).

Geçit gözeneklerinin ortalama çapı, traheid lümenlerinininkinden çok daha küçük olduğu için, ahşabın geçirgenliği büyük ölçüde geçit yapısının boyutuna ve durumuna bağlıdır. Bu nedenle, etkili gözenek boyutu, birim alandaki geçit açıklıklarının sayısı, aspirasyon - deaspirasyon olasılığı, geçit zarlarının kabuklanması ve traheidlerin uzunluğu gibi parametreler, yumuşak ağaç türlerinin geçirgenliği ve tedavi (emprenye) edilebilirliği ile doğrudan ilişkilidir (Wang ve DeGroot, 1996).

Geçitlerde aspirasyon oluştuğunda traheidler arası sıvı akışı engellenmektedir. Ancak, yaz odunu traheidleri kalın çeperli olduklarından buradaki geçitler ilkbahar odunu traheidlerindeki geçitler kadar kolay kapanmamakta ve yaz odunundaki geçitler ilkbahar odunundakilerden daha geçirgen olmaktadır. Diri odundan öz oduna dönüşüm sırasında ekstraktif madde birikmesi ile öz odundaki hücrelerin lümenleri ve geçitleri tıkanarak sıvı madde akışı engellenmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2011). Öz odun ve diri odun geçirgenliği farklılıklarının başlıca nedenleri, aspirasyondaki farklılıklar ve özellikle sıvı akışı durumlarında öz odun olmak üzere ekstraktların miktarı ve karakterinden kaynaklanmaktadır (Flynn, 1995). İYA'larda başka önemli geçiş yolu da öz ışınlarıdır. Öz ışınları basit geçitler yardımı ile radyal yöndeki akışı sağlarlar. Ancak, öz ışını traheidi bulunan ağaç türleri dışındaki türlerde, öz ışınlarından sıvı madde akışı fazla önemli değildir. Bazı iğne yapraklı ağaçlarda bulunan reçine kanalları, reçine ile tıkalı olmadığı sürece emprenye maddesi nüfuzu için yararlı olmakta fakat genellikle reçine ile dolu olduklarından fazla önemli bir rol üstlenmemektedir (Bozkurt ve Erdin, 2011).

Geçitlerde meydana gelen aspirasyon, İYA'ların ortak bir sorunu olup bu alandaki birçok araştırmanın konusu olmuştur (Bolton ve Petty, 1977; Banks, 1981; Lehringer vd. 2009). Bir traheid lümen boşluğundan geçit ağzına (porus) giren akışkan, sırası ile geçit boşluğu ve geçit zarı (margo) açıklıklarından geçerek diğer traheiddeki geçit ağzından hücre lümenine ulaşır (Bozkurt, 1967). Geçit aspirasyonu, canlı ağacın su ileten diri odun geçitlerindeki tıkanmayı önlemek için etkili bir tepkisi olmasına rağmen, ahşabın sıvı maddelerle işlenmesi için istenmeyen bir engel oluşturmaktadır (Lehringer vd. 2009). Olgunlaşmış bir kenarlı geçit çiftinde geçit zarı geçit boşluğunun merkezinde bulunur (Şekil 4.1). Bu şekildeki bir geçit zarının statik konumunun muhafazası çevresindeki su fazının kapilar basıncına bağlıdır. Basınçta oluşan

değişmeler sonucunda, yarı geçirgen olan margonun ortasındaki geçirgen olmayan torus, merkezdeki konumundan kayarak basınç yönündeki geçit ağzına doğru yönelmekte, kısmen veya tamamen geçit ağzını kapatarak geçit aspirasyonu oluşumuna neden olmaktadır (Şahin ve Ay, 1997; Şahin, 2003).



Şekil 4.1. Normal ve aspirasyona uğramış kenarlı geçit çiftlerinin modeli (Şahin Kol ve Çayır, 2021).

Comstock ve Cote'e (1968) göre, geçit aspirasyonunun kontrol edilmesinde üç önemli faktör etkilidir. Bunlardan birincisi, geçit zarının merkezi konumunu değiştirerek aspirasyona sebep olan yüzey gerilim kuvveti, ikincisi, geçit zarının yüzey gerilim kuvvetlerine ters yönde olarak tepki kuvveti oluşturan doğal direnci ve üçüncüsü ise aspirasyon sonrası geçit zarının geçit boşluğunun kenarına olan yapışma direncidir. Birinci faktör, esas olarak sıvının yüzey gerilimine ve geçit açıklığı (porus), geçit boşluğu, torus ve geçit zarının boşluklu ve geçirgen yapısına bağlıdır. Hart ve Thomas'a (1967) göre, geçit aspirasyonu tamamen mevcut yüzey gerilim kuvvetleri ve kapilar basıncın büyüklüğüne bağlıdır. Ancak; Thomas ve Kringstad (1971) ve Banks (1981), yaptıkları çalışmalar sonucunda, aspirasyon oluşumu ile geçirgenliğin azalmasında geçitlerin doğal yapısının ve akışkanın higroskopik özelliklerinin de en az yüzey gerilim kuvvetleri ve kapilar basınç kadar önemli bir rolü olduğunu bildirmişlerdir.

4.2. ODUNUN EMPRENYESİ

Doğal bir hammadde özelliği taşıyan ağaç malzeme, çeşitli yöntemler kullanılarak kimyasal maddelerle koruma altına alınmadan kullanıldığında mantarlar, böcekler ve deniz organizmaları tarafından besin maddesi olarak kullanılıp çürütülmesi doğal bir olay olarak karşımıza çıkar. Bu faktörlerin etkisiyle ağaç malzemenin kullanım değeri azalarak büyük ekonomik kayıpları beraberinde getirmektedir. Bahsedilen bu biyotik faktörlerin yanında dış ortamdan kaynaklanan değişimler ve yangın gibi abiyotik faktörler de ağaç malzemenin kullanımını olumsuz etkilemektedir. Bu sebeplerle ağaç malzeme kullanılacak ortamdaki biyotik ve abiyotik etkenlerin etki derecesine ve kullanılacak süreye göre koruyucu kimyasallarla emprenye edilmesi gerekmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2011).

Emprenye yöntemiyle iyileştirilmesi gereken ağaç malzeme; yaz ve ilkbahar odununun farklılıkları, öz odunu oluşumu, özışınlarının yapısı, traheidler, reçine kanalları, kenarlı geçitler ve hücre duvarlarının yapısı gibi birçok birbiriyle ilişkili faktörden etkilenir (Flynn, 1995).

4.2.1. Basınçlı Emprenye Yöntemleri

Başarılı bir emprenye işlemi, kısa sürede ekonomik yoldan ağaç malzeme içerisine yeterli koruyuculuktaki miktar ve derinlikte olacak şekilde emprenye maddesinin nüfuz ettirilmesi ile gerçekleşir. Bütün bu koşulları sağlayan ve uygulamalarda genel kabul gören yöntem basınçlı emprenye yöntemleridir. Bu yöntemlerin uygulanmasında özel kurulmuş tesislere gerek vardır. Basınç uygulanan yöntemler dolu ve boş hücre yöntemleri olarak ikiye ayrılırlar. Yöntemine göre basınç-vakum; sadece basınç veya sadece vakum uygulamaları kullanılmaktadır (Yıldız, 2011).

4.2.1.1. Dolu Hücre Yöntemleri

Dolu hücre yönteminin asıl amacı, emprenye edilecek malzemeye en yüksek miktarda kimyasal madde nüfuz edilmesini sağlamaktır. Bu sebeple, emprenye maddesinin girişini engelleyen hücrelerdeki havanın mümkün olduğunca çıkarılması

gerekmektedir. Böylece hücre çeperleri ve lümenleri emprenye maddesi ile dolabilmektedir. İşlem sonunda kazandan basınç kaldırıldığında hücrelerde havanın genişlemesiyle emprenye maddesinin geri atılması, bu metotta en az düzeye indirilmektedir. Dolu hücre yöntemlerinden en fazla kullanılanlar Bethell ve Burnet yöntemleridir (Bozkurt ve Erdin, 2011).

Bethell Yöntemi

Bethell yöntemi, dolu hücre yöntem grubu içinde en yaygın kullanılan yöntemdir. Hatta literatürde, dolu hücre yöntemleri yerine Bethell yöntemleri ismi kullanılmaktadır. Dolu hücre yöntemini Breant bulsa da, kreozotun dolu hücre yöntemiyle kullanılmasını ilk defa öneren kişi Franz Moll olmakla birlikte, yöntemi endüstriyel alanlarda uygulayan ve patent sahibi J. Bethell olmuştur (Yıldız, 2011).

Bethell yönteminin bulunduğu tarihten sonra geçen 150 yıldan fazla sürede mühendislik alanında ve teknolojide önemli değişiklikler olmasına rağmen, yöntemin temel prensiplerinde bir değişiklik olmamıştır. Uygulamanın temelinde, odunun hücrelerini (çeper ve boşluklar) tamamen koruyucu kimyasal ile doldurarak maksimum absorpsiyon sağlama esası vardır. Ancak, kullanılan kreozot miktarının çok fazla olması nedeniyle yöntemin ekonomikliği sağlanamayıp, kreozotlu uygulamalarda geniş anlamda yer bulamamıştır. Yine de bu yöntemle muamele edilen rutubeti yüksek yerlerdeki veya deniz suyu içindeki ağaç malzemenin diğer dayanma süresinin yöntemlere nispeten daha uzun olduğu da dikkate alınmalıdır. Bethell yöntemi günümüzde daha çok suda çözünen çeşitli emprenye maddeleriyle kullanılmak suretiyle uygulanmaktadır. Suda çözünen maddeler kullanıldığında hem LDN altına kadar kurutma yeterli olmakta (kreozotta hava kurusu hale getirmek gerekmektedir) hem de çökelen emprenye maddesi hücre boşluklarına dolması yerine sadece hücre çeperinde kalmaktadır. Böylece yeterli, etkin ve ekonomik bir koruma sağlanabilmektedir. Bethell yöntemi Wolmanit-OB, Celcure, Chemonite gibi suda çözünen emprenye tuzları kullanıldığında şu şekilde uygulanmaktadır (Yıldız, 2011);

1. 630 – 710 mmHg'lik ön vakum
2. Vakum sürerken emprenye çözeltisinin kazana sevki,

3. 10-14 atm'lik yüksek basınç uygulaması,
4. 600-685 mmHg'lik son vakum.

Bu şekilde 1 m³ ağaç malzemenin alması gerekli kuru tuz miktarı malzemenin kullanılacağı yere göre 2 - 8 kg arasında değişmektedir. Ülkemizde kurulu bulunan çeşitli emprenye tesislerinde Bethell yöntemi uygulanarak ve çeşitli suda çözünen emprenye maddeleri (Wolmanit-CB, Tanalith E, vb.) kullanılarak tel direk ve yapı kerestesi emprenyesi yapılmaktadır (Yıldız, 2011).

Burnet Yöntemi

Suda çözünen tuzlarla uygulanan bir dolu hücre metodudur. Kullanım alanına göre 1m³ ağaç malzemedede 5,3 - 24 kg kuru tuz absorbe edilecek şekilde metot üzerinde değişiklik yapılabilmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2011).

1. 600 mmHg'lik ön vakum (ağaç türüne göre 30-120 dk.),
2. Emprenye malzemesi kazana doldurulur,
3. 7-8 kp/cm² basınç uygulanır (ağaç türüne göre 60-240 dk.),
4. Emprenye maddesi kazandan geri alınır,
5. 400 mmHg'lik alçak basınçla 5 dk. beklenir ve vakum kaldırılır.

Dolu hücre metodunda fazla kreozot kullanılması ve maliyetinin yüksek olmasından dolayı daha ekonomik koruma sağlayacak yeni metotlar araştırılmış ve boş hücre metotları keşfedilmiştir. Bu metotların amacı, ağaç malzemedede derin bir nüfuz sağlamakla birlikte, kreozot sarfiyatını azaltmak ve masrafları düşük seviyede tutmaktır. Boş hücre metotları endüstriyel maksatlarda suda çözünen tuzlarla nadiren kullanılmakta, genellikle kreozot ile uygulanmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2011).

4.2.1.2. Boş Hücre Yöntemleri

Dolu hücre yöntemlerinde kullanılan kreozot miktarının yüksek olması maliyetleri ve sarfiyatı arttırdığı düşüncesiyle daha ekonomik ve yeteri kadar koruma sağlayacak yöntemlerin araştırılması sonucunda boş hücre yöntemleri bulunmuştur (Bozkurt ve

Erdirin, 2011). Boş hücre yöntemleri endüstriyel anlamda genellikle kreozot ve ağır yağlarda çözülmüş pentaklorfenol ile uygulanmakta, suda çözünen emprenye maddeleriyle kullanımı nadiren olmaktadır. Boş hücre yöntemlerinin en önemlileri Rueping yöntemiyle Lowry yöntemidir. Hem Rueping hem de Lowry yöntemlerindeki uygulama aşamaları, ön vakum işlemi haricinde dolu hücre yöntemine benzemektedir. Boş hücre yöntemlerinde, emprenye maddesi kazana verilmeden önce ve verilmiş sırasında vakum yapılmamaktadır. Ayrıca, boş hücre uygulamasında basınç aşaması sona erdiğinde, odun içinde sıkışmış bulunan hava yardımıyla hücre lümenlerindeki fazla emprenye maddesi dışarı atılmaktadır. Bu sayede hücre lümenleri hemen hemen boş kalmakta, ancak hücre çerperleri tamamen koruyucu madde ile emprenye edilmiş olmaktadır (Yıldız, 2011).

Rueping Yöntemi

Yöntem Max Rueping tarafından geliştirilmiş, ancak patenti 1902 yılında C. Wasserman tarafından alınmıştır. Ağaç malzemenin korunabilmesi için hücre çerperlerinde tutulan kreozotun yeterli derecede koruma sağlayacağı düşüncesiyle hücre lümenlerine kadar emprenye maddesinin nüfuzu gereksiz görülmüş ve bu yöntem geliştirilmiştir. Bu görüş daha sonra mikolojik testlerle laboratuvarlarda da kanıtlanmıştır. Rueping yöntemi “boş hücre yöntemleri” ile adeta özdeşleşmiş olduğundan, literatürde “boş hücre yöntemleri” terimi yerine zaman zaman “Rueping yöntemleri” kullanılmaktadır. Bu yöntemle Bethell yönteminden daha düşük miktarda kreozot kullanımı söz konusu olmaktadır. Uygulama sonuçlarıyla birlikte odun koruma endüstrisinin gelişmesinde önemli rolü olmuştur. Bu nedenle, yönteme ekonomik emprenye yöntemi adı da verilmektedir. Kreozotlu emprenye uygulamalarında en fazla tercih edilen yöntem olarak yıllardan beri kullanılmaktadır (Yıldız, 2011).

Rueping yönteminde;

1. 1,5 – 4 kp/cm² basınç yapılır,
2. 5 dk. sonra kreozot kazana sevk edilir (sıcaklık 105 °C den az olmamalıdır),
3. Kazan basıncı 7-8 kp/cm² seviyesine çıkarılır,

4. 60-180 dk. süreyle (ağaç türüne göre) basınç uygulanır,
5. Emprenye maddesi geri alınır,
6. 10 dk. Süreyle 600 mmHg vakum uygulanır (Bozkurt ve Erdin, 2011).

Lowry Yöntemi

Bu yöntemde kreozot, ön basınç yapılmadan atmosfer basıncında kazana verilmektedir. Diğer aşamalar Reuping yönteminde olduğu gibi gerçekleştirilmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2011).

4.3. DOĞU LADİNİ [*PICEA ORIENTALIS* (L.) LINK]

4.3.1. Yayılış Alanı

Türkiye ormanlarını teşkil eden önemli ağaç türlerinden biri de Doğu ladinidir. Bu tür dünya üzerinde yalnız Kafkasya ile Kuzey Doğu Anadolu'nun önemli bir bölümünde, coğrafi enlemi; 40° 23' - 43° 50', boylamı ise; 37° 40' - 44° 13' olan bir bölgede yayılmıştır. Bu türün Türkiye'deki yayılışı, doğuda Türkiye - Sovyetler Birliği hududundan başlamakta, batıya doğru devam ederek Ordu ili içindeki Melet ırmağında son bulmaktadır. Doğu Ladini bu yayılış alanı içerisinde genellikle kesintisiz devam etmez (yer yer büyük ormanlar teşkil eder). Bazen de küçük meşçereler, grup veya kümeler halinde bulunur. Yayılış alanı içinde dağların denize bakan nemli yamaçlarında 1000 - 1200 m. üzerindeki yüksekliklerde yer almakta ve birçok yerde üst orman sınırına kadar ulaşmakta olan Doğu Ladininin bu yayılış alanından daha batıya geçmesini, kuvvetli bir biyolojik etken olarak, Melet ırmağı yakınındaki sık Kayın meşçereleri önlemektedir (Kayacık, 1960). Aynı şekilde sahile paralel olarak uzanan Kuzey Anadolu dağlarının su ayırım hatlarını aşıp iç kısımlara sokulamamasında özellikle nem faktörünün rolü büyüktür (Kayacık, 1952; Akalp, 1976).

Doğu ladini, *Picea orientalis* Lk. Carr. sistematikte, Gymnospermlerin Conifera sınıfı, Pinecea familyası, *Picea* cinsinin *Eupicea* seksiyonu Asya örneklerine ait bir tür olarak verilmektedir. Doğu Lâdininin sıcaklık isteği az, toprak ve hava rutubeti isteği ise

fazladır. Genel olarak gölgeye dayanıklıdır. İyi yetişme muhitlerinde gölgeye daha çok dayanabilmektedir. Gaz zararlarına karşı duyarlıdır. Sığ bir kök yapısına sahip olması nedeniyle fırtına ve kuraklığa karşı da hassastır. 1000 - 1200 m. nin üzerindeki yüksekliklerde ya saf meşçereler halinde ya da Doğu Kayını, Doğu Karadeniz Göknarı ve Sarıçamla karışık meşçereler kurar. Doğu Ladini meşçereleri kuruluş bakımından bir tekdüzelik göstermez. Özellikle Kayın ve Göknarla karışık olarak bulunan, fazla yaşlı olmayan Lâdin meşçereleri, daha çok kademeli bir kapalılık göstermekte ve seçme orman tipine yaklaşmaktadır. Bu yaklaşıma ormanın sınır bölgelerinde açık olarak görülebilmektedir. Genel olarak; bilhassa karışık Lâdin meşçerelerinin genç ve orta yaşlılarında düşey kapalılık, yaşlı ve çok yaşlı olanlarında ise yatay kapalılık hakimdir (Kayacık, 1952; Akalp, 1976).

4.3.1.2. Makroskopik Özellikleri

Doğu ladini odunu sarımsı beyaz renktedir ve radyal kesitte hafif parlaktır. Diri odun ve öz odun renk bakımından farksız olup gövdenin iç kısmında ölü, diri odun ile aynı renkte ancak su oranı daha az olan olgun odun bulunmaktadır. Yıllık halka sınırları belirgin ve yaz odunundan ilkbahar odununa geçiş tedricidir. Yıllık halka içindeki yaz odunu kırmızımsı sarı renkte ve çok dar olup radyal kesitte birbirine paralel şeritler oluşturmaktadır. Yaz odunu katılım oranı % 6 - 50 arasında değişir ve en çok rastlanan değer % 22'dir. Dar ve seyrek bir şekilde dağılmış boyuna reçine kanalları genellikle yaz odunu içinde açık renkte noktacıklar halinde görülürler. Reçinesi sarı ile kahverengindedir. Çok ince olan özışınları çıplak gözle görülmemekle birlikte tam radyal kesilmiş yüzeylerde mat bantlar halinde fark edilirler. Budaklar çoğunlukla küçük ve oval şekildedir (Berkel, 1970; Bozkurt, 1971; Şahin, 1996;).

İlkbahar ve yaz odunu traheidleri toplamı Doğu ladini odununun % 90'ını oluşturmaktadır. Traheid uzunluğu 1,1-6,3 mm arasında değişir. Yaz odunu traheidlerinin çeperleri kalın ve radyal çapları (27,2 µm) küçüktür. İlkbahar odunu traheidleri (39,4 µm) ise ince çeperli ve geniş lümenlidir. İlkbahar odunu traheidlerinin radyal çeperlerindeki geçitler tek sıralıdır. Ayrıca boyuna traheidlerin iç yüzeylerinde spiral kalınlaşmalar bulunur. Özışınları üniseri ve heterojendir. Reçine kanalı bulunan iğimsi özışınları orta kısımda çok sıralıdır. Özışınlarının kenarlarında alt ve üst

kısımlarda bir veya iki sıra halinde bazen arada olmak üzere özışını traheidleri bulunmaktadır. Özışını traheidlerinin çeperleri ince çoğunlukla dalgalı veya düzgündür. Özışını paranzim hücreleri kalın çeperli olup çok sayıda geçitleri vardır. Özışınlarının genel hacme katılım oranı %8,6 civarındadır. Boyuna paranzim hücreleri yoktur. Boyuna reçine kanalı çapı 63,6 µm olup tek veya gruplar halinde sadece yaz odununda bulunabildikleri gibi ilkbahar odununda da bulunabilirler (Şahin, 1996).

4.3.1.3. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Doğu ladini odununun tam kuru özgül ağırlık değeri ortalama olarak 0,416 g/cm³ ve hava kuru özgül ağırlık değeri 0,451 g/cm³ 'tür. Doğu ladini odununun hava boşluğu oranı % 72,0'dır. Doğu ladini odununun içerisine alabileceği maksimum su miktarı hacim yoğunluk değerine (0,366 g/cm³) göre % 206,2 dir (Akyüz, 1997; Şahin, 2002).

Doğu ladini odununda selüloz miktarı % 56,39; lignin miktarı % 27,5; holoselüloz miktarı % 71,18; kül miktarı % 0,38 ve alkol-benzende çözünen ekstraktif madde miktarı % 1,72'dir. Doğu ladini fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine yapılan bazı çalışmalara ilişkin sonuçlar Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Doğu ladini fiziksel ve mekanik özellikleri (Eraslan, 1947; Keskin, 2003)

<i>Fiziksel ve Mekanik Özellikler</i>		Eraslan (1947)	Keskin (2003)
Hava kuru yoğunluk (g/cm ³)		0,436 (r=% 15)	0,448 (r=% 12)
Daralma Miktarı (%)	β_r	3,8	4,56
	β_t	7,4	8,13
	β_l	0,3	0,23
	β_v	10,2	12,93
Basınç direnci (// N/mm ²)		36,6	40,92
Eğilme direnci (⊥ N/mm ²)		69,0	72,88
Elastiklik modülü (⊥ N/mm ²)		-	10.070,09

4.3.1.4. Doğu Ladini Odununun Emprenye Edilebilirliği

Doğu ladini odunu fazla dayanıklı olmadığından dolayı emprenyesiz olarak kullanılan ağaç malzeme kısa sürede çürüyerek kullanılmaz hale gelebilmektedir. Bu sebeple toprak ve su içerisinde kullanılacağı zaman basınçlı yöntemlerle emprenye edilmelidir. Ancak Doğu ladini odunu güç emprenye edilen bir ağaç türü olduğundan basınçlı yöntemlerle yeterli derecede emprenye edilmesi de zordur. Ladin tel direkleri Bethell (dolu hücre) yöntemi ile emprenye edildiği zaman ortalama 15 mm emprenye nüfuz derinliği ve $6,6 \text{ kg/m}^3$ emprenye maddesi emdirilmiştir. Bu değerler oldukça düşüktür. Ladinin daldırma yöntemi ile emprenye edilmesinde iyi bir sonuç alınması mümkün değildir. Ancak yeni kesilmiş malzemenin basit difüzyon yöntemi ile daha iyi emprenye edilmesi mümkün olabilir. Nitekim yeni kesilmiş ladin çit kazıklarında adı geçen emprenye yöntemi ile % 3'lük Wolmanit - CB 'den $2,6 \text{ kg/m}^3$ emprenye maddesinin emdirilmesi mümkün olmuştur (Erten, 1989).

BÖLÜM 5

MALZEME VE YÖNTEM

5.1. MALZEME

5.1.1. Ağaç Malzeme: Doğu Ladini [*Picea Orientalis* (L.) Link]

Çalışmada kullanılacak ağaç türü olan Doğu ladini'nin ülkemizdeki yayılış alanları incelenmiş ve Artvin bölgesindeki homojen meşçerelerden basit rastlantı örnekleme yöntemine göre ağaçlar seçilmiştir. Ağaçların seçiminde yön, meyil, çap, yükselti, sıklık gibi yetiştirme ortamı özellikleri göz önünde tutulmuştur. Gövde oluşumu bakımından budaklılık, lif düzgünlüğü ve tepe formu gibi unsurlara dikkat edilmiş, gövdelerin fiziksel görünüşünün normal ve çürüksüz olmasına özen gösterilmiştir. Tüm bu özellikler dikkate alınarak seçilen ağaçlardan 38-48 cm gövde çapında 160 cm boyunda 5 adet taze haldeki tomruk araştırma kapsamına alınmıştır.

5.1.2. Emprenye Maddesi: Tanalith-E 8000

Emprenye işleminde kullanılan Tanalith-E maddesi, Hemel tarafından tedarik edilen Arch Timber Protection Ltd. ürünüdür. Tanalith-E mantar, böcek ve termit saldırılarına karşı kullanılan; bitki, hayvan ve insan sağlığına zarar vermeyen yeni nesil ahşap koruyucudur. Açık yeşil renkli ve kokusuz olan madde, 7 pH ve 1,04 g/cm³ yoğunluk değerine sahiptir. Akıcı, tamamen suda çözünebilen, su esaslı, metal kısımlarda korozyona sebep olmayan ve hazır çözelti şeklinde piyasaya sunulan koruyucu emprenye maddesidir. Yaygın olarak çit, parmaklık, bahçe mobilyaları, hayvan barınakları, silolar, çiftlik binaları ve çocuk oyun alanlarında kullanılır. Ahşaba vakum-basınç yöntemi ile uygulanmaktadır. Tanalith-E 8000 emprenye maddesine ait karışım oranları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

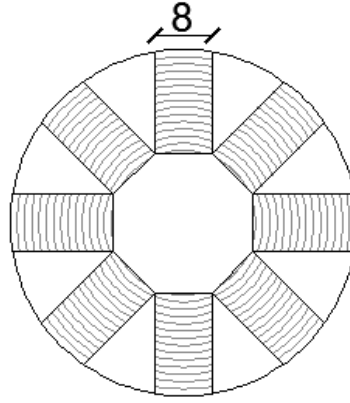
Çizelge 5.1. Tanalith-E 8000 karışım oranları (Hemel, GBF).

2-aminoethanol	25-40%
(Bakır (II) karbonat--bakır(II) hidroksit (1:1))	25-40%
Organik asit	1-5%
Tebuconazole (ISO)	<1%
N,N-Didecyl-N,N-dimethylamm onium Carbonate; and N,Ndidecyl-N,N-dimethylamm onium Bicarbonate	<1%
Propiconazole (ISO)	<1%

5.2. YÖNTEM

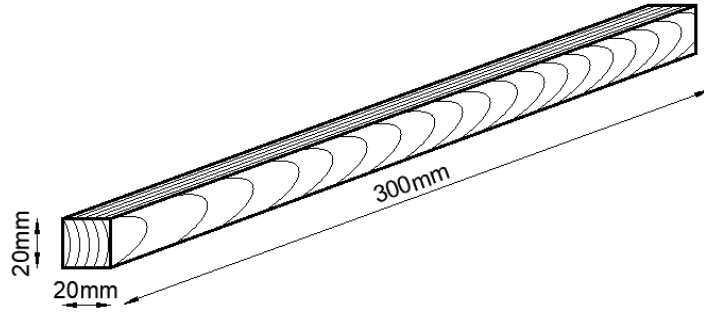
5.2.1. Örnek Ağaçların Seçilmesi ve Deney Örneklerinin Hazırlanması

Tomruklar ilk olarak Şekil 5.1'deki gibi yıllık halkaların yönü dikkate alınarak biçilmiştir. Araştırma kapsamına öz odunu dahil edilmediği için kesim sırasında ayrılmıştır.



Şekil 5.1. Tomrukta araştırma kapsamına alınan bölgeler.

Yıllık halkaların yönü ve diri odun kısmı dikkate alınarak kereste haline getirilen ağaç malzeme Şekil 5.2'deki gibi $20 \times 20 \times 300 \text{ mm}^3$ (R \times T \times L) ölçülerinde yüzeyleri düzgün olarak kesilmiştir. Mevcut kerestelerin kesimi sırasında yaklaşık 1200 adet örnek elde edilmiştir.



Şekil 5.2. Örneklerin lif yönleri ve ölçüleri.

Taze halde kesimi yapılan örnekler 0,001 duyarlıklı 200 gr'lık analitik hassas terazide tartılarak ağırlıkları yüzeylerine yazılmış ve izole edilerek blok halinde istiflenmiştir. Ağırlığı belirlenen örneklerin rutubet miktarlarını (%) hesaplamak için rastgele seçim yöntemiyle bazı örnekler alınıp kurutma fırınında değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Fırın kuru ağırlık değeri belirlendikten sonra Eşitlik 5.1'den yararlanılarak rastgele seçilen örneklerin rutubet miktarı (%) hesaplanmış ve diğer örneklerin rutubet hesabında bu değerler referans olarak kullanılmıştır.

$$\text{Rutubet Miktarı (\%)} = \frac{\text{Yaş ağırlık} - \text{Fırın kuru ağırlık}}{\text{Fırın kuru ağırlık}} \times 100 \quad (5.1)$$

Rutubetleri belirlenmiş örnekler bilgisayar ortamında rutubetlerine göre sıralanmıştır. Araştırmanın varyasyonları olarak belirlenmiş düşük, orta ve yüksek rutubet grupları için kusurlu olanlar kapsam dışı bırakılarak 252'şer adet örnek oluşturulmuştur. Ayrıca 144 adet örnek kontrol grubu için ayrılmıştır. Düşük rutubet grubunun (DR) ortalama rutubeti % 54,7; orta rutubet grubunun (OR) ortalama rutubeti % 83,0 ve yüksek rutubet grubunun (YR) ortalama rutubeti ise % 134,8 olarak hesaplanmıştır. Belirlenen rutubet grupları da uygulanacak mikrodalga güce göre (925, 1295 ve 1850W) 84'er adet örneğe bölünerek araştırma kapsamındaki güç varyasyonları oluşturulmuştur. Mikrodalga güce göre gruplar oluşturulurken mümkün olan en yakın değerlerdeki rutubetlerin dağıtılmasına dikkat edilmiştir.

Araştırma varyasyonlarına uygun olarak ayrılmış örneklerin yüzeylerine Çizelge 5.2'de kodlamalar kayıt edilmiştir.

Çizelge 5.2. Örneklerin rutubet ve güç gruplarına göre kodlanması.

GRUP	GÜÇ	KOD
Düşük Rutubet (DR)	1850W	1-A
	1295W	1-B
	925W	1-C
Orta Rutubet (OR)	1850W	2-A
	1295W	2-B
	925W	2-C
Yüksek Rutubet (YR)	1850W	3-A
	1295W	3-B
	925W	3-C
Kontrol	-	K

5.2.2. Mikrodalga Ön Muamele Deneyi

5.2.2.1. Mikrodalga Fırın

Çalışmada hedeflenen güç seviyelerinde ev tipi mikrodalga fırınların gücü yetersiz kaldığı için, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında (BAP) KBÜ-BAP-14/2-DS-043 nolu proje ile Samsung CM1929 (Seul, Güney Kore) marka-model fırın ithalatla temin edilmiştir. Mikrodalga fırınının başlıca özellikleri; endüstriyel özellikte, 2,45 GHz frekans üreten, 1850W 'lık gücünü; % 10, 20, 50, 70 ve 100 olarak 5 kademede uygulama imkanı veren, dijital süre programlaması yapılabilen, $37 \times 37 \times 19 \text{ cm}^3$ (26 lt.) lik iç ölçüleriyle deney örneklerinin ölçülerine uygun ve nem tahliye fanlıdır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. 2.45 GHz, 1850W endüstriyel tip mikrodalga fırın.

5.2.2.2. Mikrodalga Ön Muamele Programının Belirlenmesi ve Deneyin Yapılışı

Mikrodalga ön muamele programının oluşturulmasında Karabük Üniversitesi BAP kapsamında yapılan çalışmadan faydalanılmıştır. Mikrodalga ön muamele programı belirlenirken bütün rutubet grupları için muamele sonucunda hedef rutubet % 15 olarak düşünülmüştür. Ancak projedeki deneyler sırasında, aynı mikrodalga muamele safhasında deneye giren giriş rutubetleri birbirine çok yakın rutubetlerdeki örneklerin sonuç rutubetleri arasında yaklaşık % 10' luk fark oluşabildiği gözlemlenmiştir. Ağaç malzemenin anatomik yapı farklılıkları gibi etkenlerden dolayı sabit bir rutubete ulaşamayacağı nedeniyle deney sonuçlarını yorumlayabilmek adına her bir rutubet grubu için sabit enerji ile muamele edilmesinin uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Bu sebeple; düşük, orta ve yüksek rutubet gruplarına uygulanacak güç oranında süre değişikliği yapılarak uygulanacak enerji yoğunluğu sabit tutulmuştur.

Mikrodalga fırının iç hacmi, maksimum çalışma gücü ve bu çalışmanın önemli amaçlarından biri olan ani rutubet çıkışının gerçekleşmesi gibi faktörler dikkate alınarak, mikrodalga ön muamele uygulamasının her safhasında 12 adet örnek kullanılmasının ve enerji yoğunluğu hesabının da bu hacme göre yapılmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

Ön denemeler ve deneyler sonucu Çizelge 5.3'teki mikrodalga ön muamele programı oluşturulmuştur.

Çizelge 5.3. Mikrodalga ön muamele programı.

Güç	925W			1295W			1850W		
Rutubet Grubu	DR*	OR*	YR*	DR	OR	YR	DR	OR	YR
Enerji (MJm⁻³)**	1156	1542	2158	1156	1542	2158	1156	1542	2158
Muamele Süresi (sn)	1800	2400	3700	1285	1715	2640	900	1200	1850
Örnek (Adet)	84	84	84	84	84	84	84	84	84

* DR: Düşük rutubet, OR: Orta rutubet, YR: Yüksek rutubet

** Enerji yoğunluğu hesabında her deneyde 12 adet örnek esas alınmış ve hesaplama aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$E = (P \times t) / V \quad (5.2)$$

Bu eşitlikte;

E: Enerji (Wh/m³), mikrodalga muamele safhasında kullanılan enerji yoğunluğu,

P: Güç (Watt), mikrodalga muamele safhasında kullanılan güç değeri,

t: Süre (saat), mikrodalga muamele safhasında kullanılan süre,

V: Örnek hacmi (m³), mikrodalga muamele safhasında kullanılan örnek hacmi ifade etmektedir.

Wh/m³ birimi ile hesaplanan enerji değeri (E), literatürdeki yaygın kullanımı dikkate alınarak Eşitlik 5.3 ve 5.4'ten yararlanılarak MJ/m³ birimine çevrilmiştir.

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ Joule (J)} \quad (5.3)$$

$$1 \text{ J} = 10^{-6} \text{ MJ} \quad (5.4)$$

Ön muamele programındaki rutubet, güç ve süre değişkenlerine uygun olarak her uygulama aşamasında 12 adet örnek mikrodalga ön muamele işlemine maruz bırakılmıştır. Her rutubet grubuna ait güç gruplarında 7 periyot işlem yapılarak toplam 7 × 12 örnek = 84 adet örneğin muamele işlemi tamamlanmıştır. Deneye başlamadan önce her örneğin ağırlığı tekrar ölçülmüş ve örnek üzerine kaydedilmiştir. Uygulama

sırasında fırın içindeki tahliye fanı sayesinde rutubetin birikmediği gözlemlenmiştir. Deneysel safhası bittiğinde ise 10 dk. desikatörde soğutulduktan sonra ağırlık-rutubet değerleri kaydedilmiştir.

5.2.3. Emprenye İşlemi

5.2.3.1. Emprenye Tesisi

Emprenye işleminin yapılması için Dursunbey Belediyesi Emprenye Tesisi kullanılmıştır (Şekil 5.4). Tesis kazanlarının tamamında Tanalith-E8000 koruyucu maddesi kullanılmaktadır ve kazan kapasitesi 6 m^3 'tür. Tanalith-E 8000 için tedarikçi firmanın belirlediği ve hazır halde uygulamaya sunduğu % 3 lük çözelti konsantrasyonunun bu çalışma için de uygun olacağı düşünülmüştür.



Şekil 5.4. Emprenye tesisi (Dursunbey Belediyesi Orm. Ür. A.Ş. emprenye tesisleri).

5.2.3.2. Emprenye Yapılacak Örneklerin Hazırlanması ve Emprenye Yöntemi

Mikrodalga ön muamele deneyleri tamamlanmış örnekler ve kontrol örnekleri $20 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ve % 65 bağıl nem ortamında klimatize edilmiştir. Klimatize edilmiş örneklerin ağırlıkları ölçülmüş (M_{e0}) ve örneklerin üzerine kaydedilmiştir.

Emprenye yöntemi olarak basınç yöntemi kullanılmıştır. Örnekler kazana alınmadan önce plastik kementlerle küp halinde paketlenmiştir. Basınç yöntemine göre örnekler 60 dakika süreyle 4 atmosfer basınç altında çözelti içerisinde bırakılmıştır. Son olarak örneklere vakum uygulanarak ağaç malzeme yüzeyinde kalan emprenye maddeleri geri alınmıştır. Emprenye kazanından alınan örneklerin yüzeyindeki kalıntılar tekrar temizlenerek emprenye sonrası ağırlıkları (M_{es}) tayin edilmiştir. Bu deneyle birlikte örneklerin retensiyon hesaplamaları için veriler tamamlanmıştır.

5.2.3.3. Retensiyon Miktarının Hesaplanması

Örneklerin $M_{eö}$ - M_{es} ağırlıkları ve emprenye öncesi belirlenmiş hacimlerinden yararlanılarak nüfuz eden koruyucu madde tutunma miktarı olan retensiyon (kg/m^3) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$R = [(G \times C) / V] \times 10 \quad (5.5)$$

$$G = M_{es} - M_{eö} \quad (5.6)$$

Bu eşitlikte;

R: Retensiyon (kg/m^3),

C: Çözelti Konsantrasyonu (%),

V : Örnek hacmi (cm^3),

M_{es} : Emprenye sonrası ağırlık (gr),

$M_{eö}$: Emprenye öncesi ağırlık (gr)

değerlerini ifade etmektedir.

5.2.4. Mekanik Testler

Araştırma kapsamında belirlenen liflere paralel basınç direnci, eğilme direnci ve eğilmeye elastikiyet modülü testleri, Karabük Üniversitesi Mekanik Test Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Üniversal test cihazında liflere paralel basınç direnci deneyi.

5.2.4.1. Liflere Paralel Basınç Direnci

Basınç direnci TS 2595 esaslarına göre $20 \times 20 \times 30 \text{ mm}^3$ (R \times T \times L) boyutlarında örnekler kullanılarak tespit edilmiştir. Her bir mikrodalga güç değeri (3) ve her bir rutubet seviyesi (3) için 84 adet olmak üzere $3 \times 3 \times 84 = 756$ adet deney örneği hazırlanmıştır. Deneyler yapılmadan önce tüm örnekler $20 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ve % 65 bağıl nem ortamında klimatize edildikten sonra, $\pm 0.01 \text{ mm}$ hassaslıkla ölçüm yapabilen kumpasla en kesit boyutları ölçülmüş daha sonra lif yönü kuvvet yönüne paralel gelecek şekilde üniversal test makinesine yerleştirilmiştir (Şekil 5.6). Üniversal test mekanizması, ezilmenin yükleme anından itibaren 1 - 2 dakika içinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde çalıştırılmıştır (TS 2595, 1977). Basınç dirençleri (σ_b) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_b = \frac{F}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (5.7)$$

Bu eşitlikte;

σ_b : Basınç direnci (N/mm²),

F: Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N),

A: Örneğin enine kesit alanı (mm^2)
değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 5.6. Üniversal test cihazında liflere paralel basınç direnci deneyi.

5.2.4.2. Eğilme Direnci

Eğilme direnci deneylerinde TS 2474 (TS 2474,1976) esaslarına uyulmuştur. Eğilme direnci deneylerinde her bir varyasyon için 84 adet olmak üzere $20 \times 20 \times 300 \text{ mm}^3$ boyutlarında 756 adet örnek hazırlanmıştır. Eğilme direnci deneylerinde TS 2474 esaslarına uyulmuştur (TS 2474, 1976). Deneyler yapılmadan önce tüm örnekler hava kurusu hale getirilmiş ve $\pm 0,01 \text{ mm}$ duyarlılığa sahip olan dijital bir kumpasla örneklerin radyal yönü genişlik teğet yönü ise yükseklik olarak alınmak suretiyle genişliği ve yüksekliği ölçülmüştür. Örnekler makineye dayanak noktaları arasındaki açıklık kalınlığının 12 katı olarak yerleştirilmiş yük deney örneklerinin radyal yüzüne yani yıllık halkalara teğet yönde ve deney örneğinin tam orta kısmından uygulanmıştır (Şekil 5.6). Daha sonra üniversal test makinesinin yükleme mekanizmasının hızı $1,5 \pm 0,5$ dakikada kırılacak şekilde ayarlanmıştır. Aşağıda verilen eşitlik yardımıyla eğilme direnci hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{3 \cdot F \cdot l_s}{2 \cdot b \cdot h^2} (\text{N/mm}^2) \quad (5.8)$$

Bu eşitlikte;

σ_e : Eğilme direnci (N/mm^2),

F : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N),

ls : Dayanaklar arası açıklık (mm),

b : Örnek genişliği (mm),

h : Örnek yüksekliği (mm)

değerlerini ifade etmektedir.

5.2.4.3. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülünün belirlenmesinde eğilme direnci deney örneklerinden yararlanılmış ve deneyler TS 2478 esaslarına göre yürütülmüştür. Eğilmede elastikiyet modülü aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$E = \frac{F \cdot ls^3}{4 \cdot f \cdot b \cdot h^3} \left(\frac{N}{mm^2} \right) \quad (5.9)$$

Bu eşitlikte;

E : Elastikiyet modülü (N/mm^2),

F : Elastikiyet bölgedeki kuvvet (N),

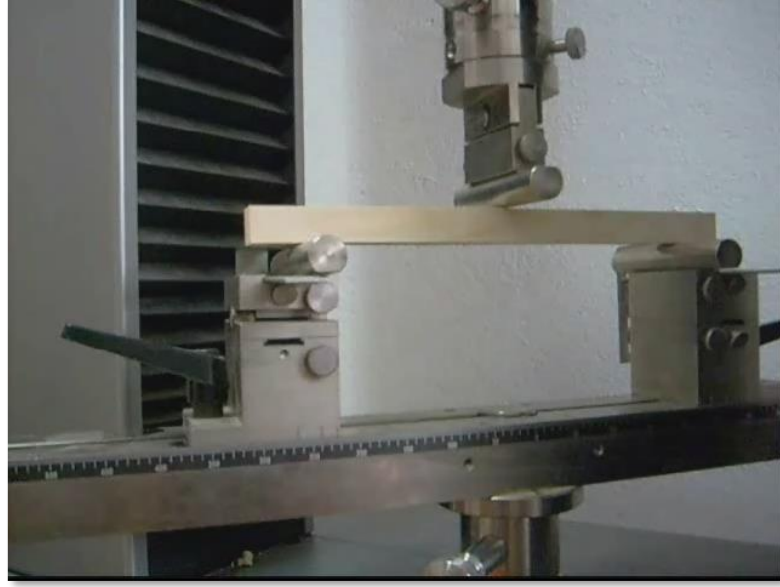
ls : Dayanak açıklığı, (240 mm),

f : Eğilme miktarı (mm),

b : Örnek genişliği (mm),

h : Örnek yüksekliği (mm)

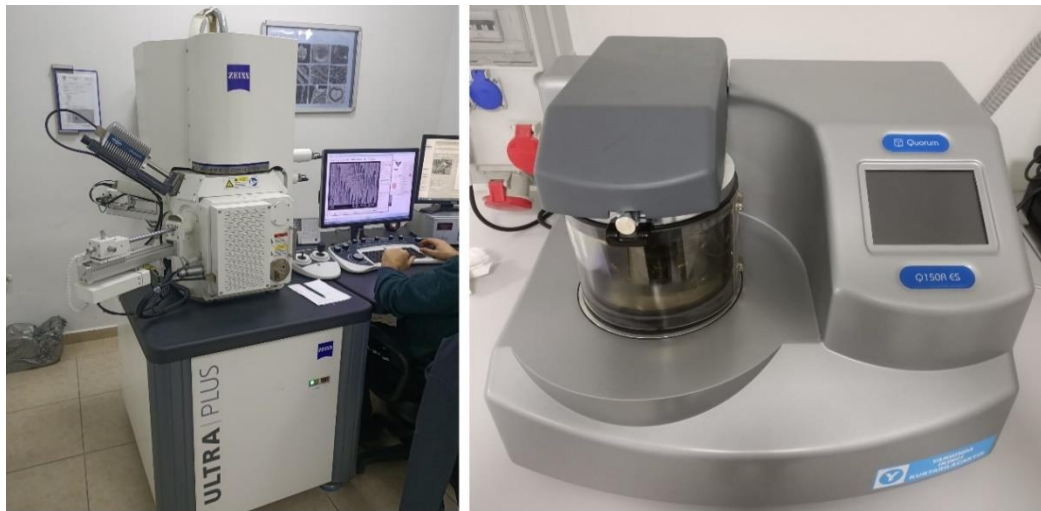
değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 5.7. Üniversal test cihazında eğilme direnci ve elastikiyet modülü deneyi.

5.2.5. Taramalı Elektron Mikroskopi (SEM - Scanning Electron Microscope)

Örnekler üzerinde uygulanan mikrodalga ön-muamele işlemi sonucunda hücre yapısında oluşan mikroskobik düzeydeki değişiklikleri belirleyebilmek amacıyla Karabük Üniversitesi Malzeme Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarında bulunan Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem marka-model taramalı elektron mikroskopundan faydalanılmıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Taramalı elektron mikroskopi (solda) ve yalıtkan kaplama cihazı.

Araştırmadaki kontrol ve rutubet gruplarına ait parametreleri kapsayan 10 adet örnek, yıllık halkaların genişliği ve yönlerine de dikkat edilerek rastgele yöntemle seçilip orta bölgesinden $20 \times 20 \times 30 \text{ mm}^3$ boyutlarında kesilmiştir. Kesit alımında yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek için 6 saat süre ile sıcak su içerisinde bekletilmiştir. Suda bekletilen parçalar Leica SM200R marka-model mikrotom yardımıyla gerekli yönlerde 0,8 mm kalınlıkta kesitler alınarak kodlanmıştır. Kesiti alınmış numuneler yalıtkan malzemelere uygulanan yöntemle Quorum Q150R-ES marka-model kaplama cihazında Altın elementi ile kaplanmış ve elektron mikroskopunda görüntüler elde edilmiştir.

5.2.6. İstatistiksel Değerlendirme

Veriler bir istatistik programı kullanılarak ve % 95 güven düzeyi esas alınarak analiz edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistiklerden ve çoklu karşılaştırma testlerinden faydalanılmıştır. Gruplar arası farklılığın anlam düzeyini belirlemek amacıyla Anova testi; grup içi homojenliği belirlemek için Levene testi uygulanmıştır. Homojenlik test sonucuna göre $P=0,00 < 0,05$ aralığındaki varyanslara uygun istatistik yöntemlerinden olan Tamhane (T_2) çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.

Tamhane (T_2) test sonuçlarına ait tabloların daha anlaşılır olması açısından sadeleştirilmiş tablolar Bölüm 6'da; özgün tablolar ise Ek Açıklamalar bölümünde sunulmuştur.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. RUTUBET DEĞİŞİM SONUÇLARI

Düşük rutubet grubuna ait (DR) mikrodalga ön-muamele deneyinde meydana gelen başlangıç ve sonuç rutubetlerindeki değişim yüzdeleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Mikrodalga ön muamele deneyi “DR” grubu rutubet değişim sonuçları.

Enerji Yoğunluğu (MJ/m ³)	Güç (Watt)	Ort. Başl. Rutubeti (%)	Ort. Sonuç Rutubeti (%)	Ort. Rutubet Değişimi (%)	Std. Sp.
1156	1850	54,8	18,3	36,5	7,1
	1295	54,6	18,4	36,2	6,2
	925	54,7	20,6	34,1	7,0

Çizelge 6.1.’e göre 1156 MJ/m³ enerji ile mikrodalga ön muameleye maruz bırakılmış DR grubuna ait 1850W’lık deneyde % 36,5; 1295W gücündeki deneyde % 36,2 ve 925W gücündeki deneyde ise % 34,1 rutubet çıkışının gerçekleştiği görülmektedir. Buna göre DR grubunda en az rutubet çıkışı 925W güçteki uygulamada olmuştur. 925W’lık uygulamadaki rutubet değişimi 1295W gücündeki uygulamaya göre % 2,1; 1850W gücündeki uygulamaya göre % 2,4 daha düşük olarak sonuçlanmıştır.

Orta rutubet grubuna ait (OR) mikrodalga ön-muamele deneyinde meydana gelen başlangıç ve sonuç rutubetlerindeki değişim yüzdeleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Mikrodalga ön muamele deneyi “OR” grubu rutubet değişim sonuçları.

Enerji Yoğunluğu (MJ/m ³)	Güç (Watt)	Ort. Başl. Rutubeti (%)	Ort. Sonuç Rutubeti (%)	Ort. Rutubet Değişimi (%)	Std. Sp.
1542	1850	83,2	23,2	60,0	9,8
	1295	82,5	23,3	59,1	10,3
	925	83,3	28,5	54,8	9,6

Çizelge 6.2’ye göre 1542 MJ/m³ enerji ile mikrodalga ön muameleye maruz bırakılmış OR grubuna ait 1850W gücündeki deneyde % 60,0; 1295W gücündeki deneyde % 59,1 ve 925W gücündeki deneyde ise % 54,8 rutubet çıkışının gerçekleştiği görülmektedir. Buna göre OR grubunda en az rutubet çıkışı 925W güçteki uygulamada olmuştur. 925W’lık uygulamadaki rutubet değişimi 1295W gücündeki uygulamaya göre % 4,3; 1850W gücündeki uygulamaya göre % 5,2 daha düşük olarak sonuçlanmıştır.

Yüksek rutubet grubuna ait (YR) mikrodalga ön-muamele deneyinde meydana gelen başlangıç ve sonuç rutubetlerindeki değişim yüzdeleri Çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Mikrodalga ön muamele deneyi “YR” grubu rutubet değişim sonuçları.

Enerji Yoğunluğu (MJ/m ³)	Güç (Watt)	Ort. Başl. Rutubeti (%)	Ort. Sonuç Rutubeti (%)	Ort. Rutubet Değişimi (%)	Std. Sp.
2158	1850	133,3	18,3	115,0	20,6
	1295	136,1	19,4	116,7	23,4
	925	135,1	23,9	111,2	23,1

Çizelge 6.3’e göre 2158 MJ/m³ enerji ile mikrodalga ön muameleye maruz bırakılmış YR grubuna ait 1850W gücündeki deneyde % 115,0; 1295W gücündeki deneyde % 116,7 ve 925W gücündeki deneyde ise % 111,2 rutubet kaybı gerçekleşmiştir. Buna göre YR grubunda en az rutubet değişimi 925W güçteki uygulamada olmuştur.

925W'lık uygulamadaki rutubet değişimi 1295W gücündeki uygulamaya göre % 5,5; 1850W gücündeki uygulamaya göre % 3,8 daha düşük olarak sonuçlanmıştır.

Mikrodalga muamele görmüş grupların rutubet çıkış sonuçlarına ait farklılığın anlam düzeyini belirlemek amacıyla yapılan Anova testi sonuçları Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Rutubet çıkışı sonuçlarına ilişkin gruplar arası Anova sonuçları.

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	P değeri ($P \leq 0,05$)
Gruplar arası	843515	8	105439,4	489,053	0,000
Grup içi	162561,8	747	215,599		
Toplam	1006077	755			

Anova testi sonuçlarına göre en az iki grup arasındaki farklılığın $P=0,00 < 0,05$ anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Farklılığın hangi gruplarda önemli olduğunu belirlemek için öncelikle varyansların homojenliğini belirleyen Levene testi uygulanmıştır. Homojenlik test sonucuna göre $P=0,00 < 0,05$ olduğundan varyansların homojen olmadığı belirlenmiş ve bu sonuç dikkate alınarak Tamhane (T_2) çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.5. Mikrodalga ön muamele deneyi rutubet çıkışına (%) ilişkin Tamhane (T_2) testi sonuçları.

Grup	Adet	Homojenlik Grupları*			
		a	b	c	d
DR925	84	34,150			
DR1295	84	36,246			
DR1850	84	36,492			
OR925	84		54,755		
OR1295	84		59,105	59,105	
OR1850	84			59,991	
YR925	84				111,157

YR1850	84	115,019
YR1295	84	116,703
*Ortalama fark 0.05 düzeyinde anlamlıdır.		

Grupların rutubet çıkışı sonuçlarına ait farklılığın anlam düzeyini belirlemek için yapılan % 95 güven aralıklı Tamhane (T_2) çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre; DR ve YR gruplarında uygulanan üç farklı gücün rutubet çıkışı üzerinde etkisinin önemsiz olduğu; OR gruplarında ise 925W ve 1850W güçleri arasındaki farkın anlamlı olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında test sonucuna göre DR grubunun “a” kümesinde, OR grubunun “b-c” kümelerinde ve YR grubunun “d” kümesinde toplandığı belirlenerek üç rutubet grubunun da rutubet çıkış sonuçları arasındaki farkları anlamlı bulunmuştur.

6.2. EMPRENYE SONRASI RETENSİYON SONUÇLARI

Mikrodalga ön-muamele deneyi yapılmış “DR” grubu örneklerinin emprenye edilmesi sonucunda meydana gelen ağırlık değişimleri ve bu verilerle hesaplanan retensiyon değerleri Çizelge 6.6’da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Emprenye sonrası “DR” grubu ortalama retensiyon değerleri.

Grup	$M_{eö}^*$ (gr)	Std. Sp.	M_{es}^* (gr)	Std. Sp	$M_{es}-M_{eö}$ (gr)	Retensiyon (kg/m^3)
DR1850	50,949	3,29	110,613	21,40	59,664	14,92
DR1295	50,978	3,14	111,384	18,60	60,406	15,10
DR925	50,875	3,14	109,911	21,21	59,036	14,76

* $M_{eö}$: Emprenye sonrası ağırlık, M_{es} : Emprenye sonrası ağırlık

1156 MJ/m³ enerji ile mikrodalga ön muameleye maruz bırakılmış DR grubuna ait örneklerin Tanalith-E çözeltisi ile emprenye edildikten sonraki sonuçlara göre 1850W grubunda 14,92 kg/m³; 1295W grubunda 15,10 kg/m³ ve 925W grubunda ise 14,76 kg/m³ retensiyon miktarı hesaplanmıştır.

Mikrodalga ön-muamele deneyi yapılmış “OR” grubu örneklerinin emprenye edilmesi sonucunda meydana gelen ağırlık değişimleri ve bu verilerle hesaplanan retensiyon değerleri Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Emprenye sonrası “OR” grubu ortalama retensiyon değerleri.

Grup	$M_{e\ddot{o}}$ (gr)	Std. Sp.	M_{es} (gr)	Std. Sp	$M_{es}-M_{e\ddot{o}}$ (gr)	Retensiyon (kg/m^3)
OR1850	50,618	3,93	118,199	11,21	67,581	16,90
OR1295	50,955	4,23	119,387	12,32	68,432	17,11
OR925	51,589	3,45	120,793	11,38	69,204	17,30

1542 MJ/m³ enerji ile mikrodalga ön muameleye maruz bırakılmış OR grubuna ait örneklerin Tanalith-E çözeltisi ile emprenye edildikten sonraki sonuçlara göre 1850W grubunda 16,90 kg/m³; 1295W grubunda 17,11 kg/m³ ve 925W grubunda ise 17,30 kg/m³ retensiyon miktarı hesaplanmıştır.

Mikrodalga ön-muamele deneyi yapılmış “YR” grubu örneklerinin emprenye edilmesi sonucunda meydana gelen ağırlık değişimleri ve bu verilerle hesaplanan retensiyon değerleri Çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Emprenye sonrası “YR” grubu ortalama retensiyon değerleri.

Grup	$M_{e\ddot{o}}$ (gr)	Std. Sp.	M_{es} (gr)	Std. Sp	$M_{es}-M_{e\ddot{o}}$ (gr)	Retensiyon (kg/m^3)
YR1850	49,046	3,93	115,400	11,12	66,354	16,59
YR1295	49,161	3,60	113,919	11,57	64,758	16,19
YR925	49,135	3,88	113,681	11,13	64,546	16,14

2158 MJ/m³ enerji ile mikrodalga ön muameleye maruz bırakılmış YR grubuna ait örneklerin Tanalith-E çözeltisi ile emprenye edildikten sonraki sonuçlara göre 1850W

grubunda $16,59 \text{ kg/m}^3$; 1295W grubunda $16,19 \text{ kg/m}^3$ ve 925W grubunda ise $16,14 \text{ kg/m}^3$ retensiyon miktarı hesaplanmıştır.

Mikrodalga ön-muamele deneyi yapılmış “Kontrol” grubu örneklerinin emprenye edilmesi sonucunda meydana gelen ağırlık değişimleri ve bu verilerle hesaplanan retensiyon değerleri Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Emprenye sonrası “Kontrol” grubu ortalama retensiyon değerleri.

Grup	M_{e0} (gr)	Std. Sp.	M_{es} (gr)	Std. Sp	$M_{es}-M_{e0}$ (gr)	Retensiyon (kg/m^3)
Kontrol	47,362	2,70	87,561	17,80	40,199	10,05

Kontrol grubuna ait örneklerin Tanalith-E çözeltisi ile emprenye edildikten sonraki sonuçlara göre ortalama $10,05 \text{ kg/m}^3$ retensiyon miktarı hesaplanmıştır.

Rutubet gruplarında kullanılan mikrodalga güç faktörünün retensiyon üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan Anova testi sonuçları Çizelge 6.10’da verilmiştir.

Çizelge 6.10. Retensiyon sonuçlarına ilişkin gruplar arası Anova sonuçları.

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	P değeri ($P \leq 0,05$)
Gruplar arası	5201,776	9	577,975	38,655	0,000
Grup içi	13486,67	890	14,952		
Toplam	18688,44	899			

Anova testi sonuçlarına göre rutubet gruplarında kullanılan mikrodalga güç faktörünün retensiyon üzerine etkisinin $P=0,00 < 0,05$ anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.10).

Farklılığın hangi gruplarda önemli olduğunu belirlemek için öncelikle varyansların homojenliğini belirleyen Levene testi uygulanmıştır. Homojenlik test sonucuna göre $P=0,00<0,05$ olduğundan varyansların homojen olmadığı belirlenmiş ve bu sonuç dikkate alınarak Tamhane (T_2) çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır (Çizelge 6.11).

Çizelge 6.11. Retensiyon sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T_2) testi sonuçları.

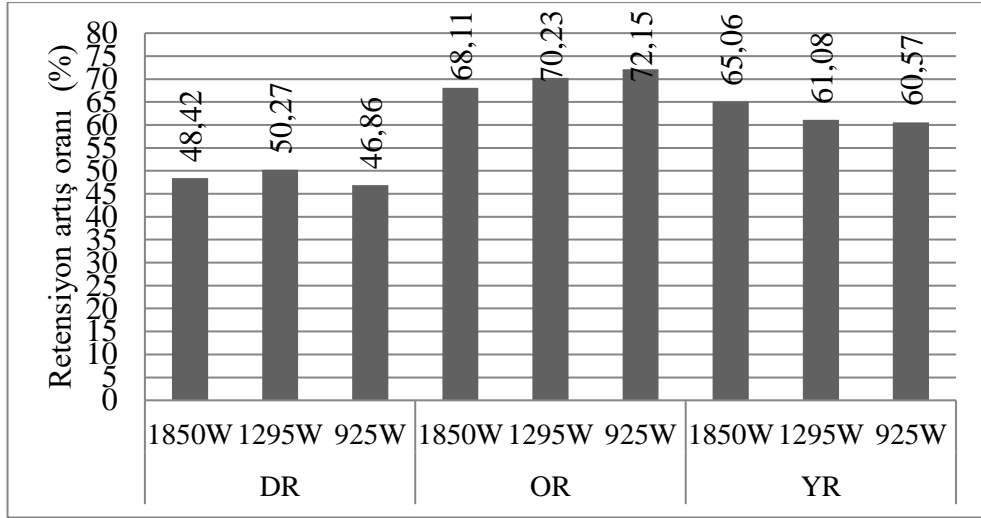
Grup	Adet	Homojenlik Grupları*		
		a	b	c
Kontrol	144	10,050		
DR925	84		14,759	
DR1850	84		14,916	
DR1295	84		15,102	
YR925	84		16,137	16,137
YR1295	84		16,189	16,189
YR1850	84		16,589	16,589
OR1850	84		16,895	16,895
OR1295	84			17,108
OR925	84			17,301

*Ortalama fark 0.05 düzeyinde anlamlıdır.

Retensiyon sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T_2) testi sonuçlarına göre Kontrol grubu ile mikrodalga ön-muamele edilmiş rutubet grupları arasındaki farkın anlamlı olduğu belirlenmiştir. Rutubet grupları içinde uygulanan güç faktörünün retensiyona olan etkisine bakıldığında ise anlamlı bir farklılığın oluşmadığı görülmektedir. Rutubet grupları arasındaki ilişki kümelerine bakıldığında DR grubunun “b” kümesinde, YR grubunun “bc” kümesinde ve OR1295-OR925 gruplarının da “c” kümesinde toplandığı gözlemlenmiştir.

6.2.1. Kontrol Örneklerine Oranla Retensiyondaki Artış Miktarı

Mikrodalga ön muamele uygulanmış ve emprenye edilmiş örnekler için grupların “Kontrol” grubu örneklerine oranla retensiyonda meydana gelen artış Grafik 6.1’deki gibi oluşmuştur.



Grafik 6.1. Kontrol örneklerine oranla retensiyonda meydana gelen artış grafiği (%).

Bu sonuçlara göre rutubet gruplarına bakıldığında, DR grubunda ortalama % 48,52; OR grubunda ortalama % 70,16 ve YR grubunda ortalama % 62,24 oranda Kontrol örneklerine oranla retensiyon miktarında artış meydana geldiği belirlenmiştir. Rutubet gruplarında kontrol örneklerine oranla ortalama retensiyon artışı en yüksek olan OR grubuna göre YR grubunda % 7,92 ve DR grubunda % 23,3 oranda daha düşük retensiyona ulaşıldığı görülmektedir.

Farklı rutubet gruplarında uygulanan aynı güç değerlerine ait grupların retensiyon artış oranlarına bakıldığında ise, 1850W ve 1295W güçte eşit olarak ortalama % 60,53 ve 925W güçte ortalama % 59,86 oranda kontrol örneklerine göre retensiyon artışı ile sonuçlandırıldığı görülmektedir.

6.3. MEKANİK ÖZELLİKLER TEST SONUÇLARI

6.3.1. Liflere Paralel Basınç Direnci Deney Sonuçları

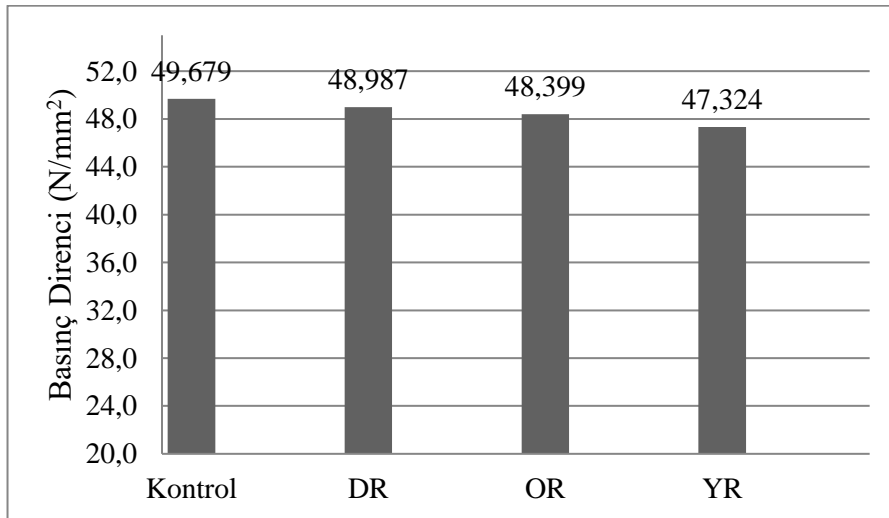
Liflere paralel basınç direnci sonuçlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.12. Liflere paralel basınç direncine ilişkin ortalama değerler (N/mm²).

Gup	Örnek Adet	Ortalama Basınç Direnci (N/mm ²)	Minimum (% 2,5)	Maksimum (% 97,5)	Std. Sapma
DR1850	84	48,845	47,747	49,943	5,120
DR1295	84	49,638	48,515	50,762	5,642
DR925	84	48,477	47,340	49,614	5,547
OR1850	84	48,730	47,607	49,854	5,530
OR1295	84	48,239	47,122	49,356	5,466
OR925	84	48,228	47,069	49,386	5,728
YR1850	84	47,228	46,104	48,351	5,586
YR1295	84	47,041	45,937	48,146	5,357
YR925	84	47,704	46,560	48,848	4,784
Kontrol	144	49,679	48,830	50,527	4,463

Çizelge 6.12'deki sonuçlara göre en yüksek basınç direnci ortalama 49,679 N/mm² ile Kontrol grubunda ve en düşük basınç direnci ortalama 47,041 N/mm² ile YR1295 grubunda gerçekleşmiştir.

Rutubet gruplarının (genel) liflere paralel basınç direnci sonuçlarına ait aritmetik ortalamaları Grafik 6.2'de verilmiştir.



Grafik 6.2. Liflere paralel basınç direncine ilişkin grupları arası ortalama değerler.

Grafik 6.2'deki liflere paralel basınç direnci sonuçlarına ilişkin grupları arası ortalama değerlere bakıldığında Kontrol grubunda 49,68; DR grubunda 48,99; OR grubunda 48,40 ve YR grubunda 47,32 N/mm² basınç direnci değerleri görülmektedir. Mikrodalga muamele görmemiş Kontrol grubunda en yüksek basınç direnci belirlenirken, mikrodalga muamele görmüş gruplarda ise birbirine yakın değerler olmakla beraber, uygulanan mikrodalga enerjisinin artışına paralel olarak basınç direncinde azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Kontrol grubuna oranla mikrodalga muamele görmüş gruplarda meydana gelen bu direnç değişimi DR grubunda (-% 1,41); OR grubunda (-% 2,64) ve YR grubunda (-% 4,98) olarak gerçekleşmiştir.

Liflere paralel basınç direnci sonuçlarına ait gruplar arasındaki farklılığın anlam düzeyini belirlemek amacıyla yapılan Anova testi sonuçları Çizelge 6.13'te verilmiştir.

Çizelge 6.13. Liflere paralel basınç direnci sonuçlarına ilişkin gruplar arası Anova sonuçları.

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Gruplar arası	720,156	9	80,017	2,873	,002
Grup içi	25123,992	890	27,854		
Toplam	25844,148	899			

Anova testi sonuçlarına göre en az iki grup arasındaki farklılığın $P=0,002<0,05$ anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Farklılığın hangi gruplarda önemli olduğunu belirlemek için öncelikle varyansların homojenliğini belirleyen Levene testi uygulanmıştır. Homojenlik test sonucuna göre $P=0,019<0,05$ olduğundan varyansların homojen olmadığı belirlenmiş ve bu sonuç dikkate alınarak Tamhane (T_2) çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır (Çizelge 6.14).

Çizelge 6.14. Liflere paralel basınç direnci sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T₂) testi sonuçları.

Grup	Adet	Homojenlik Grupları*	
		a	b
YR1295	84	47,041	
YR1850	84	47,228	
YR925	84	47,704	47,704
OR925	84	48,228	48,228
OR1295	84	48,239	48,239
DR925	84	48,477	48,477
OR1850	84	48,730	48,730
DR1850	84	48,845	48,845
DR1295	84	49,638	49,638
Kontrol	144		49,679

*Ortalama fark 0.05 düzeyinde anlamlıdır.

Basınç direnci sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane testi sonuçlarına göre “YR1295 ve YR1850” grupları ile Kontrol grubu arasındaki farkın anlamlı olduğu belirlenmiştir. Aynı rutubet grupları içinde uygulanan mikrodalga güç faktörünün basınç direnci üzerine etkisine bakıldığında ise önemli sayılabilecek farklılığın oluşmadığı görülmektedir.

6.3.2. Statik Eğilme Direnci Deney Sonuçları

Emprenyesi tamamlanmış ve hava kurusu rutubete (% 12) getirilmiş örneklerin eğilme direnci deney işlemi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 6.15’te verilmiştir.

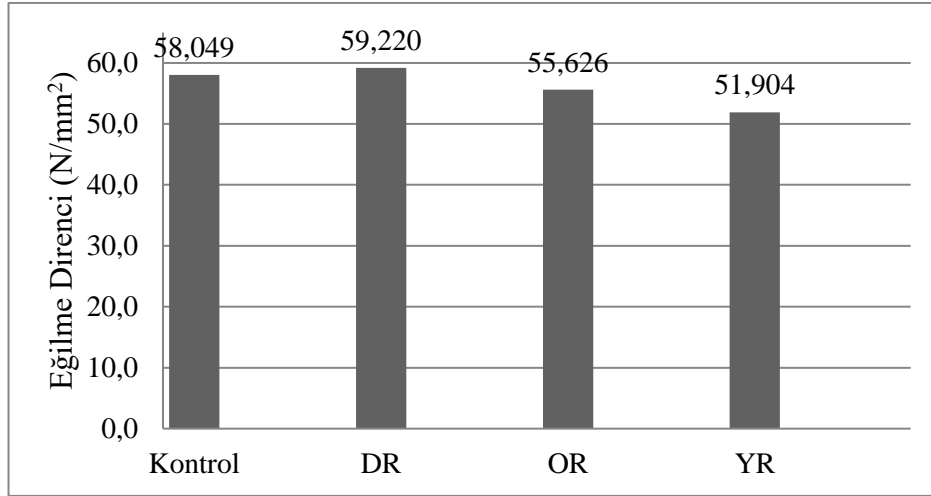
Çizelge 6.15. Eğilme direncine ilişkin ortalama değerler (N/mm²).

Gup	Örnek Adet	Ortalama Eğilme Direnci (N/mm ²)	Minimum (% 2,5)	Maksimum (% 97,5)	Std. Sapma
DR1850	84	59,161	57,357	60,965	9,414
DR1295	84	59,819	57,973	61,665	8,956
DR925	84	58,679	56,811	60,546	9,465

OR1850	84	56,046	54,201	57,892	9,204
OR1295	84	56,326	54,491	58,161	9,364
OR925	84	54,506	52,604	56,409	9,187
YR1850	84	52,273	50,427	54,118	9,878
YR1295	84	50,833	49,019	52,647	8,319
YR925	84	52,607	50,728	54,487	6,123
Kontrol	144	58,049	56,655	59,443	7,087

Çizelge 6.15'deki sonuçlara göre en yüksek eğilme direnci ortalama $59,819 \text{ N/mm}^2$ ile DR1295 grubunda ve en düşük eğilme direnci ortalama $50,833 \text{ N/mm}^2$ ile YR1295 grubunda gerçekleşmiştir.

Rutubet gruplarının (genel) eğilme direnci sonuçlarına ait aritmetik ortalamaları Grafik 6.3'te verilmiştir.



Grafik 6.3. Eğilme direncine ilişkin grupları arası ortalama değerler.

Grafik 6.3'teki eğilme direncine ilişkin grupları arası ortalama değerlere bakıldığında Kontrol grubunda 58,049; DR grubunda 59,220; OR grubunda 55,626 ve YR grubunda $51,904 \text{ N/mm}^2$ eğilme direnci değerleri görülmektedir. Bu sonuçlara göre mikrodalga muamele görmüş gruplarda uygulanan mikrodalga enerjisinin artışına paralel olarak eğilme direncinde DR grubu için bir miktar artış, OR ve YR grupları için düşüş eğiliminin olduğu tespit edilmiştir. Kontrol grubuna oranla mikrodalga muamele

görmüş gruplarda meydana gelen bu direnç değişimi DR grubunda (+% 1,98), OR grubunda (-% 4,36) ve YR grubunda (-% 11,84) olarak gerçekleşmiştir.

Eğilme direnci sonuçlarına ait gruplar arasındaki farklılığın anlam düzeyini belirlemek amacıyla yapılan Anova testi sonuçları Çizelge 6.16’da verilmiştir.

Çizelge 6.16. Eğilme direnci sonuçlarına ilişkin gruplar arası Anova sonuçları.

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	P değeri ($P \leq 0,05$)
Gruplar arası	8012,401	9	890,267	11,843	0,000
Grup içi	67806,605	890	75,174		
Toplam	75819,006	899			

Anova testi sonuçlarına göre en az iki grup arasındaki farklılığın $P=0,00 < 0,05$ anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Farklılığın hangi gruplarda önemli olduğunu belirlemek için öncelikle varyansların homojenliğini belirleyen Levene testi uygulanmıştır. Homojenlik test sonucuna göre $P=0,00 < 0,05$ olduğundan varyansların homojen olmadığı belirlenmiş ve bu sonuç dikkate alınarak Tamhane (T_2) çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır (Çizelge 6.17).

Çizelge 6.17. Eğilme direnci sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T_2) testi sonuçları.

Grup	Adet	Homojenlik Grupları*				
		a	b	c	d	e
YR1295	84	50,833	50,833			
YR1850	84	52,273	52,273	52,273		
YR925	84	52,607	52,607	52,607		
OR925	84	52,607	52,607	52,607	52,607	
OR1850	84		56,046	56,046	56,046	56,046
OR1295	84		56,326	56,326	56,326	56,326
Kontrol	144			58,049	58,049	58,049

DR925	84	58,679	58,679	58,679
DR1850	84	59,161	59,161	59,161
DR1295	84		59,819	59,819

*Ortalama fark 0.05 düzeyinde anlamlıdır.

Eğilme direncine ait gruplar arası Tamhane (T_2) testi sonuçlarına göre YR1295 grubu ile “Kontrol ve DR (tüm güçler)” grupları arasındaki farkın anlamlı; diğer gruplar arası farkların anlamsız olduğu belirlenmiştir. Aynı rutubet grubu içinde mikrodalga güç faktörünün eğilme direnci üzerine etkisine bakıldığında ise anlamlı farkların oluşmadığı görülmektedir. Eğilme direnci kayıplarına ait tüm bu sonuçlar dikkate alındığında, DR grubu ile Kontrol grubunun aynı homojenlik kümesinde toplanarak önemsiz; YR1295 grubunun ise Kontrol grubundan ayrı bir kümede toplanarak önemli derecede direnç kayıplarına sahip olduğu sonucu çıkarılabilir.

6.3.3. Eğilmede Elastikiyet Modülü Deney Sonuçları

Emprenyesi tamamlanmış ve hava kurusu rutubete (% 12) getirilmiş örneklerin Eğilmede Elastikiyet Modülü (EEM) deney işlemi gerçekleştirilmiş ve aşağıdaki gibi sonuçlandırılmıştır.

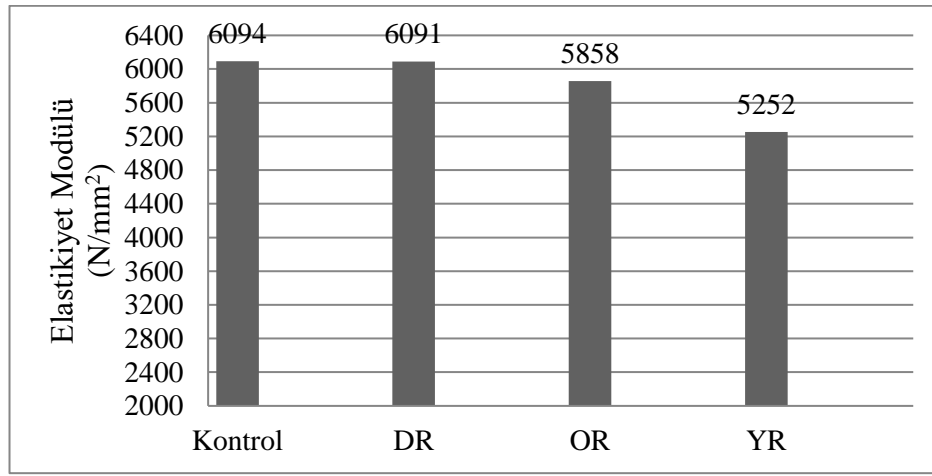
Çizelge 6.18. Eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarına ilişkin ortalama değerler.

Gup	Örnek Adet	Ort. EEM (N/mm ²)	Minimum (% 2,5)	Maksimum (% 97,5)	Std. Sapma
DR1850	84	6150,501	5914,781	6386,180	1124,49
DR1295	84	5998,702	5757,497	6239,860	1226,70
DR925	84	6123,909	5879,839	6367,979	1297,37
OR1850	84	5714,313	5473,131	5955,495	1296,87
OR1295	84	5968,063	5728,287	6207,838	1139,53
OR925	84	5892,654	5644,049	6141,258	1228,99
YR1850	84	5293,065	5051,883	5534,247	1226,59
YR1295	84	5224,655	4987,620	5461,690	1238,94
YR925	84	5239,385	4993,831	5484,939	827,40

Kontrol	144	6094,272	5912,108	6276,435	804,58
---------	-----	----------	----------	----------	--------

Çizelge 6.18'deki sonuçlara göre en yüksek EEM direnci ortalama $6150,481 \text{ N/mm}^2$ ile DR1850 grubunda ve en düşük eğilme direnci ortalama $5224,655 \text{ N/mm}^2$ ile YR1295 grubunda gerçekleşmiştir.

Rutubet gruplarının (genel) eğilmeye elastikiyet modülü sonuçlarına ait aritmetik ortalamaları Grafik 6.4'te verilmiştir.



Grafik 6.4. Eğilmeye Elastikiyet Modülüne ilişkin grupları arası ortalama değerler.

Grafik 6.4'teki EEM ilişkin rutubet grupları arası ortalama değerlere bakıldığında Kontrol grubunda 6094 N/mm^2 ; DR grubunda 6091 N/mm^2 ; OR grubunda 5858 N/mm^2 ve YR grubunda 5252 N/mm^2 EEM değerleri görülmektedir. Bu sonuçlara göre mikrodalga muamele görmüş gruplarda uygulanan mikrodalga enerjisinin artışına paralel olarak basınç direncinde düşüş eğiliminin olduğu tespit edilmiştir. Kontrol grubuna oranla mikrodalga muamele görmüş gruplarda meydana gelen bu direnç değişimi DR grubunda (-% 0,05); OR grubunda (-% 4,02) ve YR grubunda (-% 16,02) olarak gerçekleşmiştir.

Eğilmeye elastikiyet modülü sonuçlarına ait gruplar arasındaki farklılığın anlam düzeyini belirlemek amacıyla yapılan Anova testi sonuçları Çizelge 6.19'da verilmiştir.

Çizelge 6.19. Eğilme direnci sonuçlarına ilişkin gruplar arası Anova sonuçları.

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	P değeri ($P \leq 0,05$)
Gruplar arası	116340219	9	12926691	10,07	0,000
Grup içi	1157848800	890	1283646,12		
Toplam	1274189019	899			

Anova testi sonuçlarına göre en az iki grup arasındaki farklılığın $P=0,00 < 0,05$ anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Farklılığın hangi gruplarda önemli olduğunu belirlemek için öncelikle varyansların homojenliğini belirleyen Levene testi uygulanmıştır. Homojenlik test sonucuna göre $P=0,00 < 0,05$ olduğundan varyansların homojen olmadığı belirlenmiş ve bu sonuç dikkate alınarak Tamhane (T_2) çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır (Çizelge 6.20).

Çizelge 6.20. Eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T_2) testi sonuçları.

Grup	Adet	Homojenlik Grupları*			
		a	b	c	d
YR1295	84	5224,7	5224,7		
YR925	84	5239,4	5239,4		
YR1850	84	5293,1	5293,1	5293,1	
OR1850	84	5714,3	5714,3	5714,3	5714,3
OR925	84		5892,7	5892,7	5892,7
OR1295	84			5968,1	5968,1
DR1295	84			5998,7	5998,7
Kontrol	144			6094,3	6094,3
DR925	84			6123,9	6123,9
DR1850	84			6150,5	6150,5

*Ortalama fark 0.05 düzeyinde anlamlıdır.

EEM'ye ait gruplar arası Tamhane (T_2) testi sonuçlarına göre "YR1295 ve YR925" grupları ile "OR1295, Kontrol ve DR (tüm güçler)" grupları arasındaki farkın anlamlı;

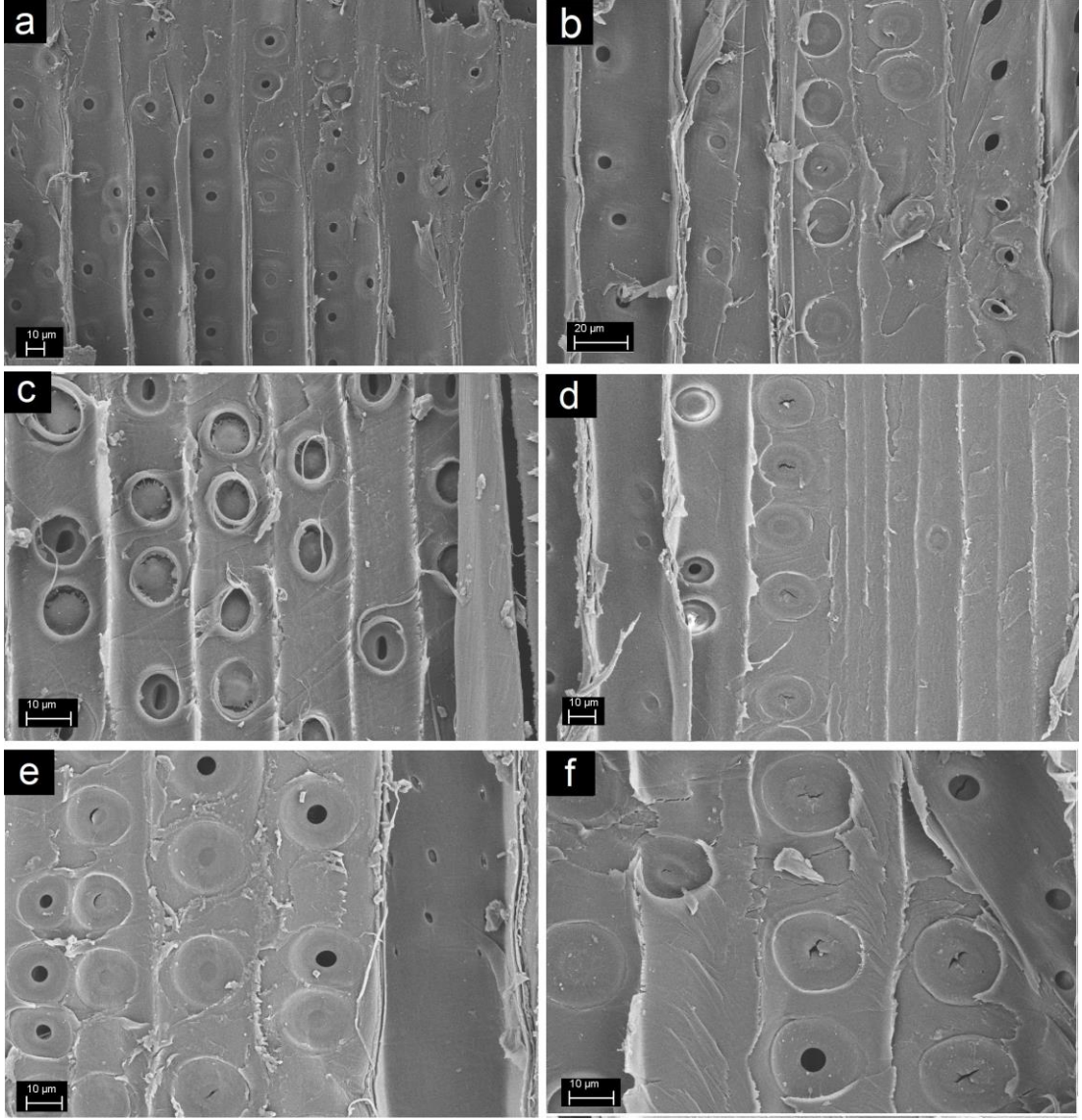
diğer gruplar arası farkların anlamsız olduğu belirlenmiştir. Aynı rutubet grubu içinde mikrodalga güç faktörünün EEM üzerindeki etkisine bakıldığında ise anlamlı farkların oluşmadığı görülmektedir. EEM direnç kayıplarına ait tüm bu sonuçlar dikkate alındığında, DR grubu ile Kontrol grubunun aynı homojenlik kümesinde toplanarak (cd) önemsiz; YR grubundan YR1295 ve YR925 gruplarının ise Kontrol grubundan ayrı bir kümede toplanarak (ab) önemli derecede direnç kayıplarına sahip olduğu sonucu çıkarılabilir.

6.4. GÖZLEMSEL SONUÇLAR

Mikrodalga muamele sonucu odun mikro yapısındaki değişiklikleri gözlemek amacıyla SEM görüntülerinden faydalanılmıştır. SEM gözlemleri odun yapısında meydana gelen değişiklikler hakkında sayısal bilgiler vermese de, deneysel sonuçların nedenleriyle birlikte ilişkilendirilip literatürdeki çalışmalar ışığında yorumlanmasına imkan vermektedir.

6.4.1. Mikrodalga Muameleden Sonra Kenarlı Geçitlerde Meydana Gelen Değişimler

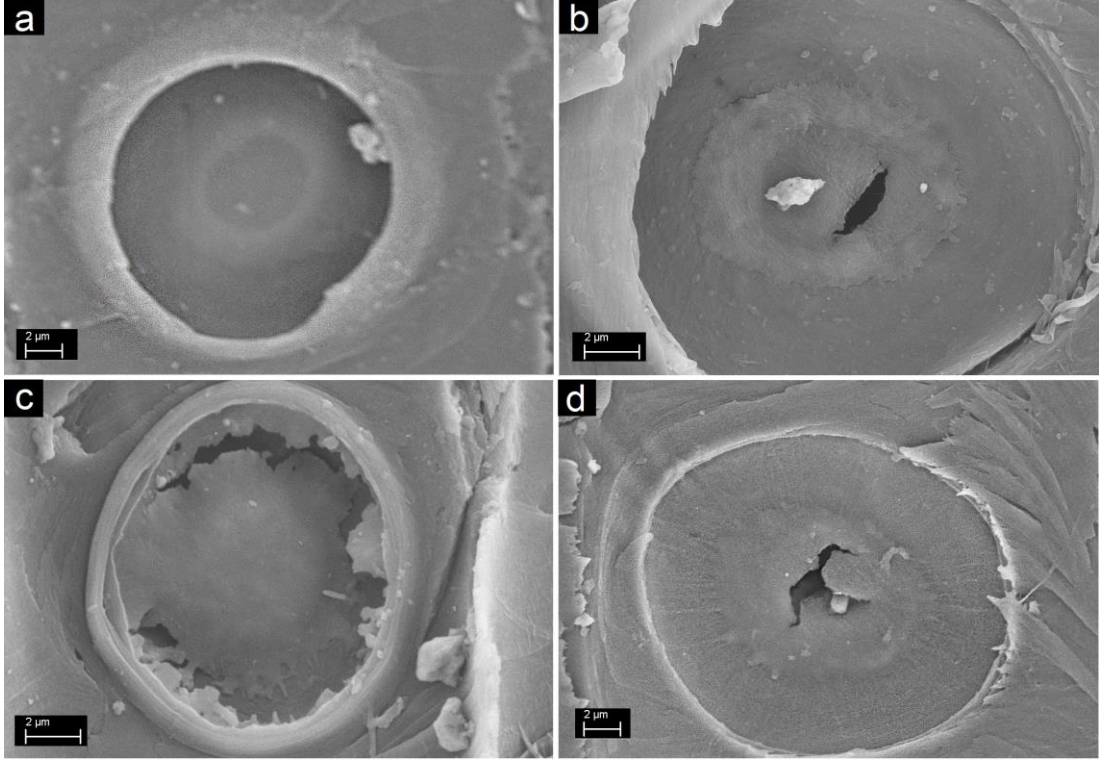
Mikrodalga muamelenin etkisiyle kenarlı geçitlerde meydana gelen değişimleri analiz edebilmek için örneklerin radyal kesitlerinden SEM görüntüleri alınmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Kontrol ve mikrodalga muamele edilmiş örneklerin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) Kontrol örneği ($\times 1000$) b) DR grubu örneği ($\times 1500$) c) OR grubu örneği ($\times 2500$) d) OR grubu örneği ($\times 1500$) e) YR grubu örneği ($\times 2000$) f) YR grubu örneği ($\times 2500$).

Şekil 6.1 (a)'daki kontrol örneğin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntülerine bakıldığında radyal yöndeki sıvı transferinde önemli rolü olan kenarlı geçitlerin birçoğunun aspirasyona uğradığı ve geçit ağzlarının sıvı geçişine izin vermeyecek düzeyde kapandığı görülmektedir. Mikrodalga ile muamele edilmiş örneklerin Şekil 6.1 (b), (c), (d), (e) ve (f)'deki SEM gözlemlerine bakıldığında ise taze haldeki ladin odunun traheidlerinde bulunan yüksek rutubetin mikrodalga muamele ile hızlı bir şekilde buharlaştırılması sonucu oluşan yüksek buhar basıncının

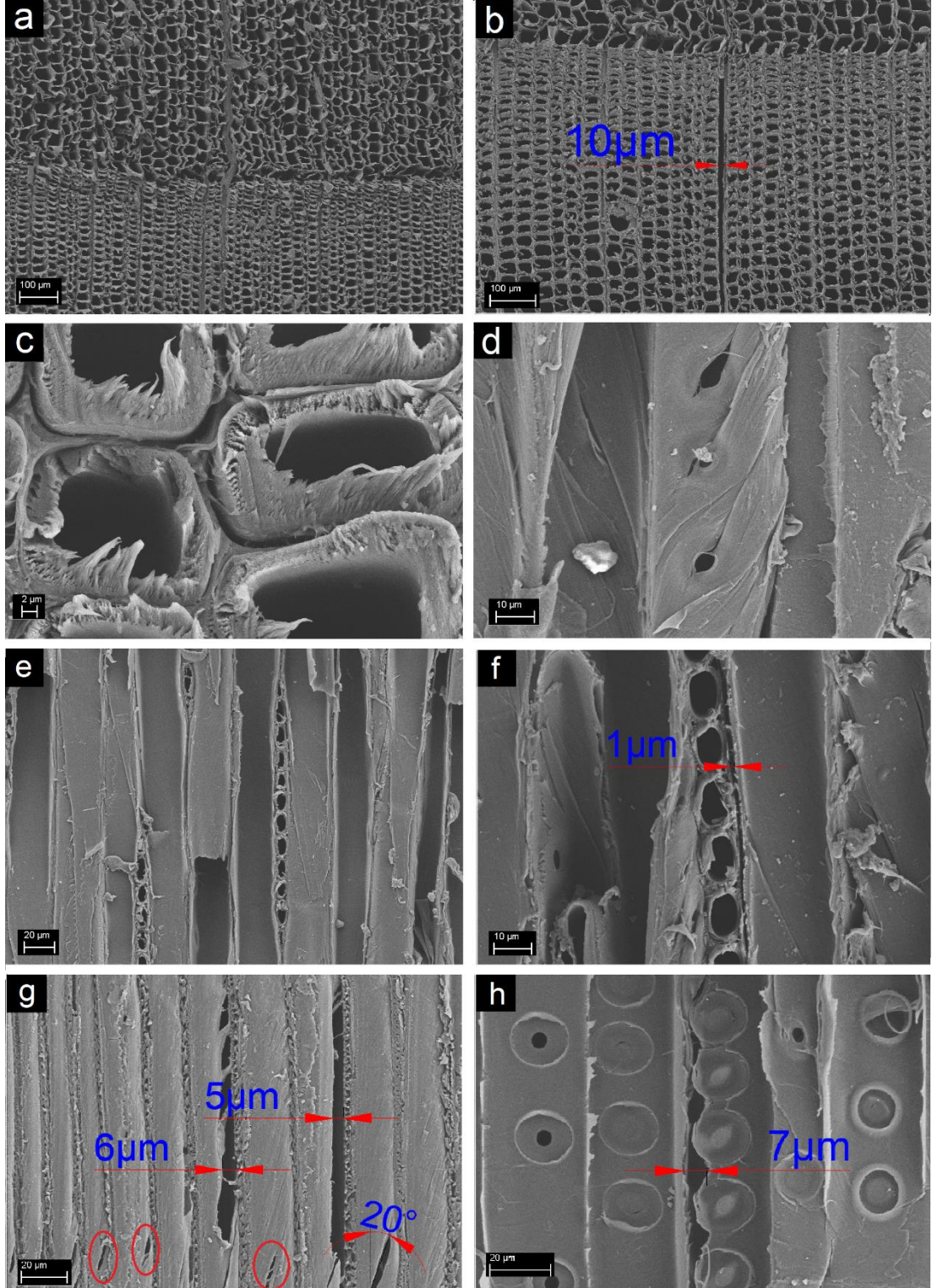
aspire olmuş kenarlı geçitlere kısmen veya tamamen hasar verdiği görülmektedir. Geçitlerdeki hasarları detaylı incelemek için daha yüksek büyütmedeki SEM gözlemleri Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Kontrol ve mikrodalga muamele edilmiş örneklerin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) kontrol örneği ($\times 10k$) b) DR grubu örneği ($\times 15k$) c) OR grubu örneği ($\times 15k$) d) YR grubu örneği ($\times 10k$).

Şekil 6.2 (a)’da kontrol örneğine ait aspire olmuş kenarlı geçit görülmektedir. Burada geçit ağzı (porus) ve torus net bir şekilde görülürken geçit zarı (margo) çok belirgin değildir. Şekil 6.2 (b)’de DR grubu örneği kenarlı geçiti torusunda kısmen yırtılmanın gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 6.2 (c)’de OR grubu örneği kenarlı geçiti margosunda yırtılma olduğu ve sıvı geçişindeki engelin kalktığı görülmektedir. YR grubu örneğine ait kenarlı geçit margo mikrofibrillerinin daha belirgin olduğu Şekil 6.2 (d)’de ise yine muhtemelen buhar basıncı etkisiyle torusun tahrip olduğu gözlemlenmiştir.

6.4.2. Mikrodalga Muameleden Sonra Hücrelerde ve Hücrelerarası Yapılarda Meydana Gelen Değişimler



Şekil 6.3. Kontrol ve mikrodalga muamele edilmiş örneklerin enine, teğet ve radyal kesitlerinden alınmış SEM görüntüleri a) kontrol örneği enine kesit ($\times 250$),

b) mikrodalga muamele örneği enine kesit ($\times 300$), c) mikrodalga muamele örneği enine kesit ($\times 5000$), d) mikrodalga muamele örneği radyal kesit ($\times 2500$), e) kontrol örneği teğet kesit ($\times 1000$), f) mikrodalga muamele örneği teğet kesit ($\times 2500$), g) mikrodalga muamele örneği teğet kesit ($\times 1500$), h) mikrodalga muamele örneği radyal kesit ($\times 2000$).

Şekil 6.3 (a)'daki kontrol örneğine ait SEM görüntülerinde traheidler ile özışın hücreleri arasında bütünlük gözlemlenirken, Şekil 6.3 (b)'de mikrodalga ile muamele edilen örneklerde bu bütünlüğün bozulduğu ve yaklaşık $10 \mu\text{m}$ 'lik bir boşluk olduğu belirlenmiştir. Şekil 6.3 (e)'de, Kontrol örneklerinin teğet kesitinde özışın hücreleri ve uzunlamasına traheidler arasındaki orta lamelin düzgün yapıda olduğu görülürken, Şekil 6.3 (f)'de mikrodalga muameleden sonra orta lamelin yaklaşık $1 \mu\text{m}$ 'lik bir boşlukla ayrıldığı belirlenmiştir. Mikrodalga işlemlerinde, odun içindeki suyun hızlı buharlaşmasıyla oluşan buhar basıncı nedeniyle, ışın paranzim hücreleri ile traheidler arasındaki orta lamelin çatlayarak hücrelerarası mikro çatlakların oluştuğu düşünülmektedir. Şekil 6.3 (g), bazı zayıflamış traheidlere ait hücre katmanlarının yaklaşık $5 - 6 \mu\text{m}$ genişliğinde boyuna yönde yırtıldığını ve bunun yanında S_2 katmanlarının mikrofibril açısına paralel olarak yaklaşık 20° 'lik açıda küçük yırtılmaların da oluştuğunu göstermektedir. Şekil 6.3 (h)'de, birbirine çok yakın olarak sıralanmış ve aspirasyona uğramış kenarlı geçitlerin orta lamelle olan birleşim bölgesindeki yapıda yaklaşık $7 \mu\text{m}$ genişliğinde boyuna yönde yırtılmanın meydana geldiği görülmektedir. Traheid hücresinin lümeninde oluşan yüksek buhar basıncı, aspire olmuş kenarlı geçitten çıkış yolu bulamayıp, sıralanmış geçitlerin orta lamelle olan nispeten daha zayıf birleşim yerinden yeni çıkış yolu açtığı düşünülmektedir.

BÖLÜM 7

DEĞERLENDİRME

7.1. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1.1. Mikrodalga Ön-Muamele Deneyi Rutubet Değişim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Rutubet seviye grupları olan DR, OR ve YR gruplarının başlangıç rutubetlerine göre mikrodalga enerji yoğunluğu belirlenmiş ve uygulanmıştır. Her rutubet grubu için rutubet çıkışı üzerinde mikrodalga güç faktörünün etkisini belirlemek amacıyla üç farklı güç kullanılmış ancak aynı oranda süre değişkeni kullanılarak sabit bir enerji yoğunluğu elde edilmiştir. Rutubet gruplarına uygulanan mikrodalga enerji sonucunda DR grubunda ortalama % 35,6; OR grubunda ortalama % 58,0 ve YR grubunda ortalama % 114,3 rutubet çıkışı gerçekleşmiştir. Rutubet grupları içinde uygulanan üç farklı mikrodalga güce ait sonuçlara bakıldığında ise en az rutubet çıkışının tüm rutubet gruplarında ait 925W güçte gerçekleştiği belirlenmiştir.

Yüksek rutubetli odun, içerdiği su miktarından dolayı daha fazla mikrodalga enerjisini emebilen su moleküllerine sahip polar parçacıkların sayısını artırır. Su miktarı sadece ısıнын gelişmesinde değil, aynı zamanda odun hacmi boyunca ısı transferinde de önemlidir (Gasparik ve Gaff, 2013). Hansson'a (2007) göre mikrodalga muamele ile sıcaklığı yükseltmek için gereken enerji miktarı malzemenin özgül ısı kapasitesi değerine göre belirlenir. Ağaç malzemenin özgül ısı kapasitesi ise nem içeriği, kuru yoğunluk ve sıcaklıktan etkilenir. Nem içeriği, kuru yoğunluk ve sıcaklık ne kadar yüksekse, özgül ısı da o kadar yüksek olur. Bu görüşe göre nem içeriği ve kuru yoğunluk değerleri deneylerde kullanılan aynı rutubet grupları için sabit olduğundan "sıcaklık" değişkeni önem kazanmaktadır. Yine sıcaklık faktörünün önemini vurgulayan Kotlik'e (2005) göre mikrodalga ısıtma sayesinde yükselen su buharı

(sıcak suyun normal sudan daha büyük bir hacme sahip olması nedeniyle) iç basınç gradyanı meydana getirerek içerideki suyun yüzeye çıkmasına katkıda bulunur.

Deney sonuçları incelendiğinde her rutubet grubu içinde eşit enerji yoğunluğu uygulanmasına rağmen “düşük güç-uzun süre” kombinasyonu ile 925W güçteki uygulamalarda % 2,4 - 5,2 aralığında diğer güçlere göre daha az rutubet çıkışı gerçekleştiği görülmektedir. Belirgin olmasa da oluşan farkın nedenini literatürdeki görüşler ışığında açıklamak gerekirse; mikrodalga muamele programındaki 925W uygulamasına kıyasla daha yüksek güçte ancak kısa sürede uygulanan 1850W ve 1295W güçteki mikrodalga enerjisi sayesinde, enerjinin odun içindeki su moleküllerine daha kısa zamanda ulaşması ile dipol momentumu oluşturarak ani yüksek sıcaklığa ulaştığı, bu sıcaklığın da konveksiyonel iletim sayesinde moleküller arasında transferi sağlayarak daha fazla rutubet çıkışına katkıda bulunabileceği düşünülmüştür.

Bu sonuçlar rutubet çıkışı açısından değerlendirilecek olunursa, yüksek rutubet içeriğine sahip ağaç malzemenin içindeki su moleküllerinin ani ısınması için ihtiyaç duyduğu enerjiyi “düşük güç - uzun zaman” kombinasyonu ile zamana yaymakla; zaman, enerji ve dolayısıyla maliyetler açısından kayıplarla sonuçlanacağı dikkate alınmalıdır. Mikrodalga muamele programındaki 1850W ve 1295W güçlerine ait parametreleri uygulayarak daha az zamanda daha iyi rutubet çıkışı gerçekleştirip zamandan ve bir miktar enerjiden tasarruf edilebilir. Bu sonuç çıkarımı sadece rutubet çıkışı açısından böyle değerlendirebilir ancak emprenye edilebilirlik ve mekanik özelliklerdeki değişim bakımından ayrıca değerlendirilmesi gerekmektedir.

7.1.2. Mikrodalga Ön-Muamele Deneyinde Birim Rutubet Çıkışında Kullanılan Enerjinin Değerlendirilmesi

Mikrodalga ön muamele deneylerinde yaş haldeki örnekler uygulanan mikrodalga enerjisinin birim rutubet (%) çıkışındaki kullanımını her grup için farklı sonuçlanmıştır. DR grubuna 1156 MJ/m^3 , OR grubuna 1542 MJ/m^3 ve YR grubuna 2158 MJ/m^3 enerji yoğunluğu uygulanmıştır. Uygulanan bu enerji sonucunda DR grubunda ortalama % 35,6; OR grubunda ortalama % 58,0 ve YR grubunda ortalama % 114,3 rutubet kaybı

meydana gelmiştir. Uygulanan enerji yoğunluğunun rutubet çıkışına bölünerek hesaplanan birim rutubet (%) için DR grubunda $32,46 \text{ MJ/m}^3$, OR grubunda $26,61 \text{ MJ/m}^3$ ve YR grubunda $18,89 \text{ MJ/m}^3$ enerji yoğunluğu kullanıldığı ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçların ileride yapılacak mikrodalga muamele ve mikrodalga kurutma gibi konularda uygulanacak enerji yoğunluğunun tayin edilmesi konusunda faydalı olabileceği düşünülmüştür.

Şahin'e (2002) göre serbest su, odunun dielektrik özelliklerini artırır ve bu artış odundaki mevcut miktarıyla orantılıdır. LDN rutubet miktarının üzerinde serbest su molekülleri hücre çeperi maddesi ve bağlı sudan bağımsız olarak mikrodalga alanıyla etkileşim halindedir. Torgovnikov (1993), taze kesilmiş ağaçtan elde edilen rutubetin özelliklerinin saf suyun özelliklerinden farksız olduğunu belirtmiştir. Bu yüzden LDN üzerinde odunun dielektrik sabiti ve kayıp faktöründeki değişim karakterini esas olarak serbest suyun dielektrik özellikleri ve nispi hacmi belirler.

Birim rutubet çıkışındaki önemli sayılacak farklı enerji yoğunluğu kullanımının sebebi olarak rutubet gruplarının başlangıç rutubetlerinin ve dolayısıyla serbest su miktarlarının farklı olması gösterilebilir. Grupların ortalama deney başlangıç rutubeti incelendiğinde DR grubunda % 55; OR grubunda % 83 ve YR grubunda % 135 olduğu görülmektedir. Çalışmada kullanılan Doğu ladini odununun lif doygunluk noktası (LDN) olan yaklaşık % 34 (Bozkurt ve Erdin, 2011) rutubet seviyesinin üstündeki rutubetlerde hücre lümenlerinde bulunan serbest suyun buharlaşabilmesi için LDN altındaki rutubetlere göre daha az enerjiye ihtiyaç duyabileceği öngörülmektedir. Dolayısıyla %0 - LDN aralığındaki rutubetin toplam rutubete oranla iştiraki bu öngörüye göre enerji kullanımında belirleyici olmaktadır. Gruplara ait örneklerin deneye başlamadan önceki rutubet içeriklerine göre DR grubunun yaklaşık % 61'ini; OR grubunun yaklaşık % 41'ini ve YR grubunun yaklaşık % 25'ini % 0 - LDN iştiraki oluşturmaktadır. Bu iştirak oranları dikkate alınarak, birim rutubet başına enerji tüketiminin de buna paralel olarak farklılık gösterebileceği yönünde yorumlanmıştır.

7.1.3. Retensiyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Emprenye işlemi sonrası retensiyon miktarlarına ilişkin sonuçlara bakıldığında en düşük retensiyon Kontrol grubunda en yüksek retensiyonun ise OR grubunda gerçekleştiği belirlenmiştir. Kontrol grubu referans alınarak mikrodalga ön muamele sonucunda retensiyondaki ortalama artış miktarı DR grubunda %48,5; OR grubunda %70,2 ve YR grubunda %62,2 olarak sonuçlanmıştır. Kontrol örneklerine oranla hesaplanan bu artış miktarı, çalışmanın da temel hedefi olan mikrodalga ön muamele sonrasındaki emprenye edilebilirlikteki artışın göstergesi olarak kabul edilmiştir.

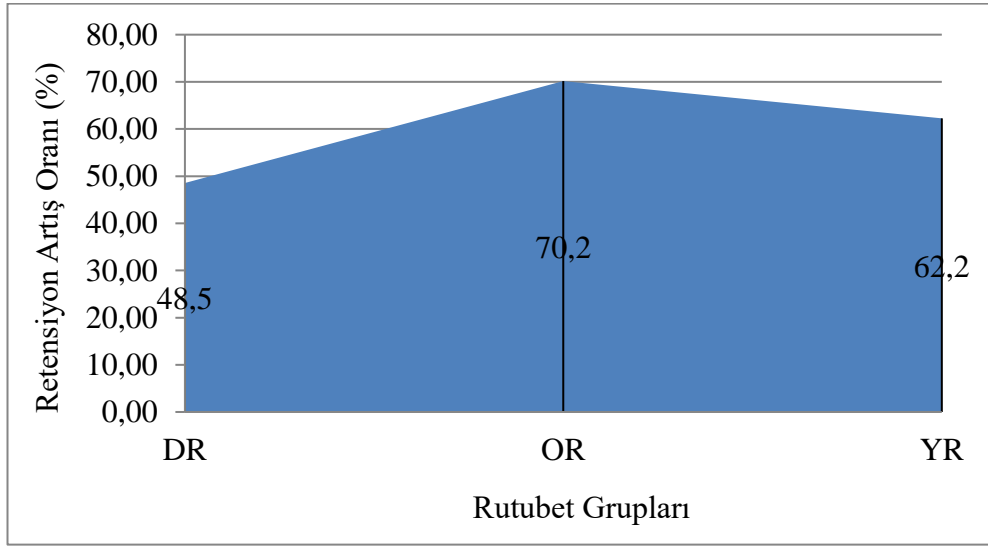
Odunun emprenye edilebilirliği üzerine mikrodalga muamelenin etkisini belirlemek amacıyla yapılan emprenye sonrası elde edilen artış, yapılan çalışmalara ve çalışmanın hipotezine genel anlamda paralel olarak gerçekleşmiştir. Mikrodalga enerjisi uygulayarak ani buhar basıncı oluşturup sıvı alışverişinde etkili olan aspire olmuş geçitlerde yırtılma meydana getirmek suretiyle emprenye edilebilirliği artırmanın ana hedef seçildiği bu çalışmada, rutubet miktarının hangi seviyelere kadar etkili olduğu da üç farklı rutubet grubuyla saptanmaya çalışılmıştır. Rutubet grupların etkisine ek olarak, her bir rutubet grubuna eşit enerji yoğunluğunda mikrodalga muamelesi uygulamak şartıyla mikrodalga gücün etkisini belirlemek için de ayrıca üç farklı güç seviyesi belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda güç gruplarının aynı rutubet grubu içinde emprenye edilebilirliği artırma yönünde anlamlı ve tutarlı bir etkide bulunmadığı sonucuna varılmıştır (Çizelge 7.1).

Çizelge 7.1. Kontrol örneklerine oranla güç gruplarına ait retensiyon artışı.

Güç	Grup	Retensiyon (kg/m ³)	Artış Oranı (%)	Ortalama Artış (%)
1850W	DR	14,916	48,42	60,5
	OR	16,895	68,11	
	YR	16,589	65,06	
1295W	DR	15,102	50,27	60,5
	OR	17,108	70,23	
	YR	16,189	61,08	

	DR	14,759	46,86	
925W	OR	17,301	72,15	59,9
	YR	16,137	60,57	

Diğer yandan, başlangıç rutubet miktarlarına göre belirlenen üç seviyeli rutubet gruplarında, çalışmanın beklentilerine ve literatüre yaklaşık olarak paralellik gösterecek şekilde, rutubet miktarı arttıkça retensiyonda da artış meydana gelmiştir. Ancak bu artış, çalışmanın da belirlemek istediği gibi, bir seviyeden sonra azalma veya durma yönünde eğilim gösterdiği belirlenmiştir (Grafik 7.1).



Grafik 7.1. Kontrol örneklerine oranla rutubet gruplarına ait retensiyon artışı.

İlk rutubet grubu olan DR grubunda % 48,5 retensiyon artışından sonra ikinci seviye rutubet grubu olan OR grubunda bu artış % 70,2'ye çıkmış ancak üçüncü seviye olan YR grubunda ise sınırlı da olsa gerileyerek % 62,2 seviyesine düşmüştür. Odun hücrelerinde ani buhar basıncı oluşturmak için ihtiyaç duyulan buhar basıncını karşılayabilmek adına gerekli olan yüksek rutubet ihtivasi, literatürdeki çalışmalarda da olduğu gibi bu çalışmanın ana prensibini oluşturmaktadır. Ancak, retensiyon artış sonuçları incelendiğinde, rutubet miktarının belli bir seviyeden sonra daha yüksek güçte mikrodalga enerji yoğunluğuna gereksinim duyabileceği ve uygulamadaki enerji yoğunluğunun bu derecedeki yüksek rutubeti ani olarak buharlaştırmada kısmen yetersiz gelmesinden dolayı bu düşüşün meydana geldiği düşünülmektedir.

Odunun geçirgenliğini artırmak amacıyla mikrodalga muamele işlemi yapıldığında en fazla enine (radyal ve teğet) yönde geçirgenlik artışı gerçekleşmektedir. Mikrodalga muamele ile aspire olmuş geçitlerin açılması, geçit ağzı çaplarındaki genişlemeler ve radyal-teğet yöndeki hücrelerde (traheid, özışını) meydana gelen mikro çatlak ve ayrışmalar, enine yöndeki sıvı transferini artırarak geçirgenliğe katkı sağlarlar (Torgovnikov ve Vinden 2009; He vd. 2014; Weng vd. 2020). Bu bilgiler ışığında, mikrodalga muamele işlemi ile emprenye edilebilirlikteki artışın belirlenmesinde enine geçirgenlikteki iyileşmelerin etkili olduğu ortaya çıkmaktadır.

Ağaç malzemenin anatomik yapısından kaynaklanan nedenlerle, iki ucundaki enine kesit alanından belli bir mesafeye kadar boylamasına yönde sıvı madde nüfuzunun (orta bölgeye göre) daha fazla olduğu bilinmektedir. Emprenyesi güç olan odun türlerinde dahi basınç yöntemi ile emprenye yönteminde odunun türüne göre iki uçtan belirli mesafeye kadar ortalamasının oldukça üstünde retensiyon gerçekleşmektedir. Bu sebeple, endüstriyel boyuttaki malzemenin açık olan iki ucundan absorbe edilecek emprenye maddesi ile bu çalışmada kullanılan küçük boyutlu örneklerin uçlarından absorbe edilecek emprenye maddesi kıyaslandığında, küçük örneklerde birim hacme oranla daha yüksek miktarda emprenye maddesi nüfuz edebileceği dikkate alınmalıdır. Örneğin $6 \times 20 \times 300 \text{ cm}^3$ boyutlarındaki kerestenin iki ucundan toplam 15 cm dikkate alındığında bütün hacmin %5'ine karşılık gelirken; küçük boyutlu örnekteki 15 cm uzunluk, toplam hacmin %50'sini kapsamaktadır. Bu bilgilere dayanılarak çalışmada kullanılan kontrol grubu retensiyonun endüstriyel boyutlardaki malzemelere kıyasla daha yüksek sonuçlanabileceği düşünülmektedir. Bu yüzden endüstriyel uygulamalardaki mikrodalga muamele işlemlerinde, araştırmada elde edilen % 42,5 - 70,2 aralığındaki retensiyon artışına kıyasla daha fazla retensiyon artışının gerçekleşebileceği öngörülmektedir. Nitekim He vd. (2014), iki ucu mühürlü ve mühürsüz olan örnekler üzerinde mikrodalga muamelenin su alımı artışı üzerine etkisini belirlemek için kullandıkları uçları mühürsüz gruptaki deneyde, kontrol örneklerine oranla sadece % 5,7 - 10,1 aralığında artış gerçekleştiğini bildirdiler ve bu düşük retensiyonun sebebi olarak da örnek boyutlarının küçük olmasını gösterdiler. Yazarlar ayrıca, aynı deney şartları altında (5 dk. 8 bar basınç) uçları mühürlenmiş örneklerde ise % 30,4 - 126,4 aralığında su alımında artış gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Uçları mühürlü ve mühürsüz örneklerin retensiyon sonuçları arasında

ortaya çıkan bu yüksek farklar, mikrodalga muamele işlemi ile geçirgenliğin artırılması sonucunda gerçekleşen modifikasyonun, boyuna geçirgenlikten daha çok enine geçirgenlik üzerinde etkili olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

7.1.4. Liflere Paralel Basınç Direnci Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Liflere paralel basınç direnci sonuçlarına göre kontrol örneklerine oranla mikrodalga muamele görmüş rutubet gruplarında gerçekleşen basınç direncindeki düşüş miktarı rutubet içeriklerinin artışına paralel olarak gerçekleşmiştir. Sonuçlara göre DR grubunda % 1,4; OR grubunda % 2,6 ve YR grubunda % 5,0 oranlarında direnç kayıpları belirlenmiştir. Mikrodalga muameleye maruz kalma süresinin rutubet miktarına bağlı olarak artmasından dolayı mekanik özelliklerdeki kayıplar da bu artışa paralel olarak gelişmiştir. Basınç direnci sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane testi sonuçlarına göre “YR1295 ve YR1850” grupları ile Kontrol grubu arasındaki farkın anlamlı olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga muamele edilmiş örneklerde meydana gelen basınç direnci kayıpları bu iki grup haricinde önemsiz sayılabilir. Bu sonuçlara göre mikrodalga muamele ile emprenye edilebilirliğin artırılması işleminde, uygulanan muamele programdaki şartların, mekanik özelliklerin korunması da dikkate alındığında yaklaşık olarak uygun değerlerde olduğu söylenebilir.

Aynı rutubet grupları içinde uygulanan farklı güçlerin (925, 1295, 1850W) basınç direnci üzerine etkisinde önemli sayılabilecek farklılığa rastlanmamıştır. Bu sonuca göre mikrodalga muamele programındaki 925W güçteki uygulamaya göre yarı sürede gerçekleşen 1850W güçteki uygulamanın tercih edilmesi, depolama ve yatırım maliyetlerini düşürme açısından katma değer sağlayabilir.

Mikrodalga muamele işleminden sonra mekanik özelliklerdeki meydana gelen kayıplar literatürdeki birçok çalışmada da belirtildiği üzere beklenen ve istenmeyen bir sonuçtur (Machado 2006; Torgovnikov ve Vinden 2009; 2010, Samani vd. 2019; Hermoso ve Vega 2016; Terziev vd. 2020; Weng vd. 2020). Birim rutubete uygulanan enerji yoğunluğuna bağlı olarak değişen direnç kayıpları, bazı mikrodalga modifikasyon uygulamalarında yapı sektörü gibi mukavemet özelliklerinin önemli olduğu alanlarda ağaç malzemeyi kullanılamaz hale getirebilmektedir. Machado

(2006), Meşe (*Quercus pyrenaica*) odun örneklerine 5 ve 10 dakika süre ile mikrodalga enerji yoğunluğu uygulamıştır. Çalışma sonucunda kontrol örneklerine oranla % 10-20 aralığında basınç direnci kayıpları gözlemlenmiştir.

7.1.5. Statik Eğilme Direnci Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Eğilme direnci sonuçlarına göre kontrol örneklerine oranla mikrodalga muamele görmüş rutubet gruplarında gerçekleşen eğilme direncindeki düşüş miktarı rutubet içeriklerinin artışına paralel olarak gerçekleşmiştir. Sonuçlar, kontrol grubuna oranla DR grubunda % 2,0 artış; OR grubunda % 4,4 azalma ve YR grubunda % 11,8 azalma gerçekleşerek eğilme direncinde meydana gelen farkları göstermektedir. Mikrodalga muameleye maruz kalma süresinin rutubet miktarına bağlı olarak artmasından dolayı uygulanan mikrodalga enerji yoğunluğunun da artması sebebiyle eğilme direncindeki kayıplar da bu artışa paralel olarak gelişmiştir. Ancak, DR grubun eğilme direncinin mikrodalga muameleden etkilenmediği hatta önemsiz de olsa % 2 artışla sonuçlandığı görülmektedir. Oluşan %2'lik bir fark ile iyileşmenin gerçekleştiği yönünde değerlendirme yapılamasa da, gruplar arası tolerans olarak değerlendirilip, bu seviyedeki mikrodalga muamelenin eğilme direnci üzerinde etkisinin olmadığı sonucu çıkarılabilir. Diğer rutubet grupları incelendiğinde, OR grubunun ~% 4 oranındaki direnç kaybı kabul edilebilir görünse de YR grubuna ait ~%12'lik kayıp, mukavemet gerektiren alanlardaki kullanımlar için önemli görülebilir.

Eğilme direnci sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane testi sonuçlarına göre “YR1295” grubu ile “Kontrol ve DR (tüm güçler)” grupları arasındaki farkın anlamlı; diğer gruplar arası farkların anlamsız olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, en fazla direnç kaybının gerçekleştiği YR grubuna ait 1295W güçteki uygulamasında diğer gruplardan ayrılarak önemli sayılacak kayıpla sonuçlandığı tespit edilmiştir. YR grubundaki diğer güçler olan 925W ve 1850W deneylerinde birbirine çok yakın sonuçların elde edilmesi, 1295W güçte oluşan farklılığın literatür bilgilerine göre farklı mikrodalga muamele güç kullanımı açısından anlamlı olmadığı kanaatine varılmıştır.

Mikrodalga muamele ile emprenye edilebilirliğin artırılması işleminde, eğilme direncindeki kayıplar genel olarak değerlendirildiğinde, DR ve OR gruplarında uygulanan mikrodalga muamele programdaki şartların, eğilme direncinin önemli olduğu ağaç malzeme kullanım alanları için uygun değerlerde olduğu söylenebilir. Mikrodalga muamele ile emprenye edilebilirlikteki performans ve mekanik özelliklerdeki kayıpların kabul edilebilirliği bakımından değerlendirildiğinde OR grubunda uygulanan mikrodalga muamele programdaki şartların birçok ağaç malzeme kullanım alanı için diğer gruplara göre daha uygun olduğu söylenebilir.

Literatür sonuç ve bildirimlerinde mikrodalga muamelenin eğilme direnci üzerine etkisine bakıldığında genel olarak düşüş gerçekleştiği görülmektedir. Oloyede ve Groombridge (2000), Karayip çamında (*Pinus caribaea*) doğal ve konvensiyonel kurutma yöntemine göre mikrodalga kurutma yönteminin eğilme direnci üzerine etkilerini araştırdılar. Yazarlar doğal ve konvensiyonel kurutmaya oranla yüksek yoğunluktaki mikrodalga muamelede %12 rutubet grubu için ~% 54 - 61 aralığında; %20 rutubet grubu için ~% 59 - 65 aralığında direnç kaybı meydana geldiğini bildirdiler. Hermoso ve Vega (2016), eğilme direnci değerlerinde % 19 - 34 aralığında azalma olduğunu bildirmişlerdir. Ouertani vd. (2018), mikrodalga kurutmanın Banks çamı (*Pinus banksiana*) mekanik özellikleri üzerine etkilerini araştırdılar. Yazarlar, eğilme direnci kayıplarında bu çalışmaya benzer şekilde mikrodalga enerji yoğunluğunun artmasına bağlı olarak düşüşün arttığını ve son seviyede % 28,4 düşüş gerçekleştiğini bildirdiler.

7.1.6. Eğilmede Elastikiyet Modülü Sonuçlarının Değerlendirilmesi

EEM direnci sonuçlarına göre kontrol örneklerine oranla mikrodalga muamele görmüş rutubet gruplarında gerçekleşen direnç kaybı rutubet içeriklerinin artışına paralel olarak gerçekleşmiştir. Sonuçlar, kontrol grubuna oranla DR grubunda % 0,1; OR grubunda % 4,0 ve YR grubunda % 16,0 azalma gerçekleşerek EEM direncinde meydana gelen kayıpları göstermektedir. Mikrodalga muameleye maruz kalma süresinin rutubet miktarına bağlı olarak artmasından dolayı uygulanan mikrodalga enerji yoğunluğunun da artması sebebiyle EEM direncindeki kayıplar da bu artışa ve literatüre paralel olarak gelişmiştir. Ancak diğer direnç özelliklerinde de olduğu gibi

DR grubun eğilme direncinin mikrodalga muameleden etkilenmediği görülmektedir. Diğer rutubet grupları incelendiğinde, OR grubunun % 4 oranındaki direnç kaybı kabul edilebilir görünse de YR grubuna ait %16'lık kayıp, mukavemet gerektiren alanlardaki kullanımlar için önemli görülebilir. YR grubunun EEM direnç kaybı tüm direnç özellikleri arasında en fazla kayıp olarak belirlenmiştir.

Mekanik özelliklerdeki düşüşler literatürdeki çalışmalarda da olduğu gibi mikrodalga muamele süresi ve yoğunluğunun artmasına paralel olarak gerçekleşmiştir. Oloyede ve Groombridge (2000), doğal ve konvensiyonel kurutmaya oranla yüksek yoğunluktaki mikrodalga muamelede %12 rutubet grubu için ~% 62 - 64 aralığında; %20 rutubet grubu için ~% 53 - 68 aralığında düşüş meydana geldiğini bildirdiler. Hermoso ve Vega (2016), eğilmeye elastikiyet modülü değerlerinde % 23 - 33 aralığında azalma olduğunu bildirdiler. Ouertani vd. (2018), mikrodalga kurutmanın Banks çamı (*Pinus banksiana*) mekanik özellikleri üzerine etkilerini araştırdılar ve EEM direnç kayıplarında bu çalışmaya benzer olarak yüksek yoğunluktaki mikrodalga enerji uygulamasında % 17,5 düşüş gerçekleştiğini bildirdiler.

Elastikiyet, katı bir maddede, düşük gerilmelerde meydana gelen deformasyonların yük kaldırıldıktan sonra tekrar elde edilmesi olarak tanımlanır (Göker ve As, 1990). Ağaç malzemenin elastikiyet modülü büyüdükçe, malzemenin sertliği artmakta ve elastiklik derecesi azalmaktadır. Yani birim kuvvet altındaki deformasyon daha az olmakta, fakat elastikiyet sınırına daha erken varılmaktadır (Uluata, 1987). Bu tanımlama ve açıklamalar ışığında, elde edilen EEM bulgularına göre mikrodalga muamele ile ağaç malzemenin daha elastik hale geldiği, kontrol örneklerine göre birim kuvvet altında daha fazla deformasyon (eğilme) yeteneği kazandığı sonucuna varılabilir. Bu durumu EEM hesabındaki formülle açıklamak gerekirse; elastik hale gelen malzemenin aynı kuvvet altındaki bükülme mesafesi “*f*” artacağından ve bu değer formüldeki konumuna göre ters orantı etkisi olacağından dolayı EEM değeri olan “*E*” değeri de azalacaktır.

$$E = \frac{F \cdot l s^3}{4 \cdot f \cdot b \cdot h^3} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

Deney sonuçlarına göre EEM değerlerinde gerçekleşen düşüşün odunun elastik özelliği kazanmasından kaynaklandığı yönündeki görüşü destekler nitelikte araştırmalar yapılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Gasparik ve Barcik (2014), Avrupa kayınının (*Fagus sylvatica* L.) eğilme direnci özellikleri üzerine mikrodalga ısıtma ile plastikleştirilmenin etkisini araştırdılar. Yazarlar kontrol örneklerine göre mikrodalga yöntemde yaklaşık % 27 ila % 47; buharda pişirme yöntemde yaklaşık % 39 ila % 46 daha düşük eğilme direncine ulaştıklarını bildirdiler. Eğilme direncindeki bu düşüşün yanında kontrol örneğinde 20,1 mm, mikrodalga yöntemde (2 dk) 46,2 mm ve buharda pişirme yöntemde (20 dk) 38,7 mm eğilme mesafesi tespit ettiklerini ve mikrodalga ısıtma yöntemi sayesinde buharda pişirme yönteminden bile daha yüksek derecede plastikleşme gerçekleştiğini açıkladılar. Yapılan bu ve benzeri çalışmalar, mikrodalga muamele işleminin basınç ve eğilme direncinde düşüş meydana getirerek istenmeyen sonuçlara sebep olmasının yanında, odunda plastikleştirilmenin istendiği kullanım alanları için avantajlı olabileceğini de göstermektedir.

7.1.7. Mekanik Test Sonuçlarının Genel Değerlendirmesi

Mikrodalga muamele işlemi kullanılarak odun geçirgenliğini artırma sonucunda odunun yapısında meydana gelen anatomik değişiklikler nedeniyle mekanik özelliklerde kayıplar meydana gelebilmektedir. Bu olumsuz sonucun nedenlerini odunun anatomik yapısına bağlı mekanik özellikleri etkileyen sebeplerde aramak gerekecektir. Torgovnikov ve Vinden'a (2009) göre, mikrodalga muamele ile bazı odun yapı elemanlarını kırarak ve çeşitli boyutlarda oyuklar oluşturarak her yönde gözenekliliği ve geçirgenlik artırılabilir. Odunu oluşturan yapı elemanlarının yapısında ve elemanları arası bağlarda meydana gelecek her değişikliğin mekanik özellikleri olumsuz etkilemesi kaçınılmazdır. Mikrodalga muamelenin odun yapısına olan etkileri üzerine son dönemlerde bazı çalışmalar yapılmıştır (He vd. 2014, Weng vd. 2020, Terziev vd. 2020). Çalışma sonuçlarına göre mikrodalga yoğunluğu arttıkça traheid çeperlerinde yırtılmalar; traheidler arası bileşik orta lamelde ayrışmalar; traheid-özünü birleşimlerinde mikro çatlaklar tespit edilmiştir. Çalışmalarda ayrıca mikrodalga yoğunluğunun artışıyla birlikte makro boyutta ayrışmaların olduğu da bildirilmiştir. Oluşan bu mikro-makro çatlaklar, emprenye maddesinin yerleşimi için uygun boşluklar oluşturup retensiyona katkı sağlamalarına rağmen mekanik

özelliklerde de o derecede düşüşe sebep olabilmektedir. Ayrıca meydana gelen çatlak ve oyukların boyutuna bağlı olarak odun yoğunluğunun kaçınılmaz olarak azalmasının da mekanik özellikleri düşürmedeki rolü dikkate alınmalıdır. Bu bulgular gösteriyor ki, emprenye edilebilirliği artırmak amacıyla yapılacak mikrodalga muamelede, retensiyonun artırılma derecesine bağlı olarak direnç özelliklerde düşüş beklenmeli ve bu doğrultuda hesaplamalar yapılmalıdır. Ağaç malzemenin kullanım yerine bağlı olarak, mekanik özellikler ve malzemenin korunma derecesi dikkate alınarak, iki faktör arasında önem katsayısı belirlenip, amaca uygun parametrelerde mikrodalga muamele programının yapılması arz etmektedir.

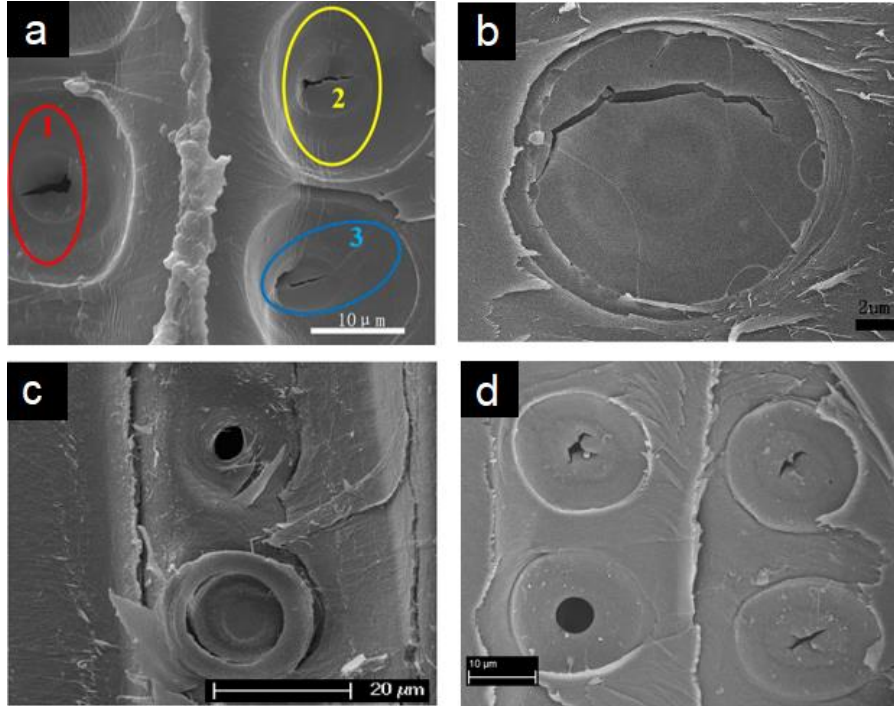
7.2. GÖZLEMSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Geçirgenliği artırma amacıyla odunun mikrodalga ile muamele edilmesi ile birlikte odunun mikro yapısında olumlu ve olumsuz sonuçları beraberinde getiren bazı değişiklerin olması beklenen bir durumdur. Muamele sonucunda odun sıvı geçirgenliğinin artırılmasında iki önemli faktör etkili olmaktadır. Bunlardan birincisi aspirasyona bağlı olarak kapanan kenarlı geçitlerin buhar basıncı etkisiyle yırtılıp açılması (İYA'larda) radyal yöndeki sıvı geçişinin sağlanması; ikincisi ise, odunu oluşturan elementlerin (traheid, öz ışını) kendi içlerinde ve birbirleri arasındaki bağlarda meydana gelen mikro-makro çatlakların oluşmasıyla birlikte sıvı yerleşimine elverişli yeni boşlukların oluşmasıdır. Aspirasyona uğramış traheidlerdeki kenarlı geçitlerin buhar basıncı ile açılması mikrodalga muamele işleminde istenen, hatta seçici olarak istenen bir durumdur. Çünkü muamele işlemi sonucu oluşan mikro çatlakların mekanik özelliklere olan etkisi kabul edilebilir derecede olsa da, yüksek yoğunluklu mikrodalga muamelesiyle birlikte oluşan makro çatlaklar odunun direnç özelliklerini önemli ölçüde düşürmektedir. Terziev vd. 'e (2020) göre yüksek derecede mikrodalga modifikasyonu, ahşabı esas olarak radyal-boylamsal düzlemlerde olmak üzere çok sayıda oyuk içeren oldukça gözenekli bir malzemeye dönüştürerek odunun mevcut hacmini % 10'a kadar artırır ve buna bağlı olarak odun yoğunluğunu azaltır, ahşabın fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde değiştirir. Weng vd. (2020), yüksek yoğunluklu mikrodalga işlemi sonucunda Çin köknarının geçirgenliğinin artmasına katkıda bulunan yeni rutubet geçiş yollarının oluşmasıyla birlikte, ahşabın mikro yapısında ciddi hasarlar meydana geldiğini, ahşabın görünüm kalitesini ve

mekanik özelliklerini olumsuz etkileyebilecek makro çatlaklar gözlemediğini bildirmiştir. Bu nedenlerle güncel bir çalışmada, mikrodalga muamele işleminde traheid geçitlerindeki tıkanmaların (aspirasyon), odunun diğer yapısal unsurlarını tahrip etmeden, yani odunun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etkiler olmaksızın odun geçirgenliğinde önemli bir artışa izin verecek şekilde seçici olarak kırılıp kırılmayacağı sorusuna çözüm aranmıştır (Terziev vd. 2021).

SEM’de gerçekleştirilen mikroskopik gözlemler, aspirasyona uğramış kenarlı geçitlerin yüzdesi ile ilgili herhangi bir sonuç vermese de, mikrodalga ile muamele edilmiş örneklerdeki geçit açıklıklarının genel olarak modifiye edildiği sonucuna varılabilir. SEM görsellerine göre bazı geçitlerin geçit zarındaki mikrofibrillerin yırtılarak modifiye edildiği görünse de genel olarak torusun yırtılarak yeni geçiş yollarının açıldığı söylenebilir.

Şekil 7.1’de bu çalışmaya ve diğer benzer çalışmalara ait (Lui vd. 2019; Terziev vd. 2020; Weng vd. 2020) SEM’de gözlemlenmiş kenarlı geçitlerin modifikasyon görüntülerinden birer örnek verilmiştir.

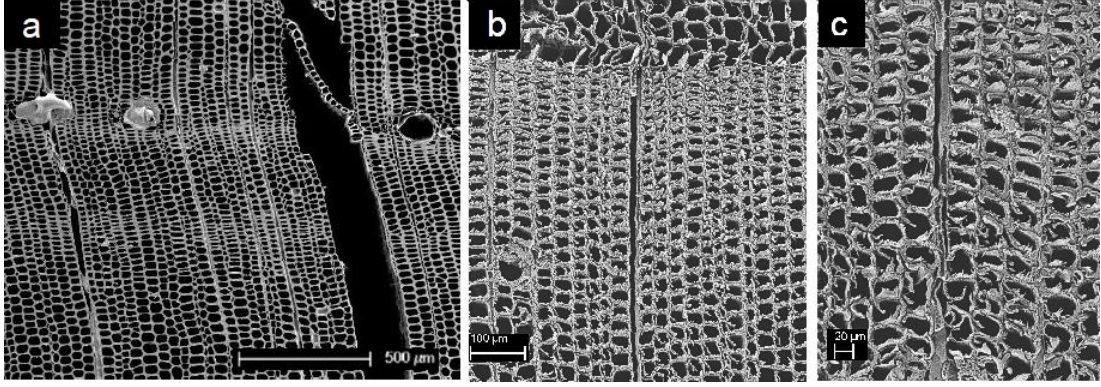


Şekil 7.1. Benzer çalışmalarla birlikte SEM’de gözlemlenen kenarlı geçitlere ait modifikasyon görüntüleri a) Lui vd. (2019), Karaçam b) Weng vd. (2020),

Çin köknarı c) Terziev vd. (2020), Monteri çamı d) YR grubu örneği ($\times 4000$).

Lui vd. (2019) Karaçam odun örnekleri üzerinde yüksek yoğunlukta mikrodalga muamelesi yaptılar ve kapalı geçitlerdeki yırtılmaların odun geçirgenliğindeki artışa katkı sağladığını bildirdiler (Şekil 4.1a). Weng vd. (2020), Çin köknarı üzerinde mikrodalga muamele işlemi yaptılar ve bazı geçitlerde margonun bazı geçitlerde ise torusun hasar görmesiyle geçirgenlikte artış sağlandığını ifade ettiler (Şekil 4.1b). Terziev vd. 2020, Monteri çamı kenarlı geçitlerinin mikrodalga muamele sonucu modifikasyon edildiğini ve bu durumun koruyucuların penetrasyonuna katkı sağlayacağını belirttiler (Şekil 4.1c). Şekil 4.1d'de ve bulgular bölümündeki detaylı SEM görüntülerinde (Şekil 6.1, Şekil 6.2) görüldüğü gibi kenarlı geçitlerdeki modifikasyon, benzer çalışmalara paralel olarak gerçekleşmiştir.

Doğu ladini odununun yaklaşık % 90'ını ilkbahar-yaz traheidleri ve yaklaşık % 8,6' sını özışınları oluşturduklarından dolayı bu mikroyapı elemanlarının kendi içindeki ve aralarındaki bağ yapısı bütünlüğünün, odunun genel direnç özelliklerinde ve odun-su ilişkilerinde önemli rolleri vardır. Bu sebeple SEM görüntüleri yardımıyla mikrodalga muamele öncesi ve sonrasında meydana gelen bu yapılarıdaki değişimlerin belirlenmesi, retensiyondaki artış ve mekanik özelliklerdeki değişim sonuçlarının nedenlerini açıklamada destekleyici olacaktır. Enine kesite ait mikroyapısal incelemelerde boyuna traheidlerle ışın paranzim hücreleri arasındaki bağlantıyı sağlayan ve kendi hücre yapılarına nispeten daha zayıf olan orta lamel bölgesinden yaklaşık 10 μm genişliğinde mikro çatlakların oluştuğu belirlenmiştir. Nadir olarak gözlemlenen ve en fazla 10 μm genişliğinde oluşan bu mikro çatlaklar diğer çalışmalardaki gözlemlere göre daha dar genişlikte gerçekleşmiştir. Weng vd. (2020), düşük yoğunluklu mikrodalga muamele edilmiş örneklerde 1 - 25 μm genişliğinde çatlaklar geliştiğini, mikrodalga yoğunluğunu artırdıktan sonra çatlakların sayısının arttığını ve 100 - 130 μm genişliğine kadar makro çatlakların ortaya çıktığını bildirdiler. Şekil 7.2'de bir diğer çalışmadaki görüntülerle karşılaştırmalı olarak SEM'de gözlemlenen enine kesit özışını çatlakları görüntüleri verilmiştir (Terziev vd. 2020).



Şekil 7.2. Benzer bir çalışma ile SEM’de gözlemlenen enine kesitteki özışını çatlakları
a) Terziev vd. (2020), Moneri çamı b) enine kesit (×300) c) enine kesit (×500).

Terziev vd.’e göre (2020) hücre duvarı yapısındaki en zayıf nokta olmasından dolayı bileşik orta lameller mikrodalga muamele sonucunda daha çabuk hasar görmektedir. Hatta bazı durumlarda (yüksek yoğunluktaki modifikasyonlarda) ışındaki tüm hücreler yıkılıp yok olabilmektedir. Yüksek yoğunluktaki mikrodalga modifikasyon sonucu oluşabilecek çatlaklar, Şekil 7.2 (a)’da görüldüğü gibi makro boyutlara ulaşabilmektedir. Bu durumlarda ağaç malzemenin kullanım alanları oldukça kısıtlanmakta hatta yalıtım malzemesi haline gelebilmektedir. Şekil 7.2 (b) ve (c)’deki bu çalışmaya ait SEM görselleri incelendiğinde, özışınlar boyunca ince mikro çatlakların başlangıç aşamasında meydana geldiği görülmektedir. Ancak mekanik testlerin sonuçlarındaki sınırlı düşüşlerin de desteklediği üzere bu çatlakların ağaç malzemenin kullanımına engel teşkil etmeyeceği söylenebilir.

BÖÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

1. Mikrodalga muamele programına göre uygulanan aynı enerji seviyelerine ait farklı güçlerin rutubet çıkışına olan etkileri arasında anlamlı fark yoktur. Gücün rutubet çıkışına etkisi önemsiz olsa da $925W < 1295W \leq 1850W$ sıralaması yapılabilir.
2. Mikrodalga muamelede %1 rutubet çıkışı için kullanılan enerji, rutubet içeriğine göre değişkenlik gösterir. Rutubet içeriği arttıkça birim rutubet çıkışı için gerekli enerji de azalır.
3. Rutubetli odun üzerinde mikrodalga muamelenin empenye edilebilirliğe katkısı (%70) olumludur. Çalışma kapsamında kullanılan üç seviyeli rutubet için retensiyon artış sıralaması Düşük rutubet < Yüksek rutubet < Orta rutubet olmuştur.
4. Aynı enerji yoğunluklarına ait farklı güç gruplarının aynı rutubet grubu içinde empenye edilebilirliği artırma yönünde anlamlı bir etkisi yoktur.
5. Odunun rutubet içeriğinin artışına bağlı olarak mikrodalga muameleye maruz kalma süresinin artışı, mekanik özelliklerdeki düşüşler üzerinde paralel olarak etki gösterir.
6. Çalışma kapsamında uygulanan mikrodalga muamelenin liflere paralel basınç direnci üzerindeki düşürücü etkisi en fazla %5'tir. Aynı rutubet grupları içinde uygulanan farklı mikrodalga güçlerinin basınç direnci üzerine etkisi yoktur

7. Mikrodalga muamelenin eğilme direnci üzerindeki düşürücü etkisi sadece yüksek rutubet grubunda (%11,8) belirginlik gösterir.
8. Mikrodalga muamelenin eğilmedeki elastikiyet modülü üzerindeki düşürücü etkisi sadece yüksek rutubet grubunda (%16) belirginlik gösterir. Mikrodalga muamelenin bu etkisi odunda plastikleştirmeye katkı sağlar.
9. Mikrodalga muamele işleminin, iğne yapraklı ağaç odunlarında kuruma sırasında meydana gelen geçit aspirasyonuna bağlı olarak kapanan geçit yollarını açtığı SEM gözlemlerinde belirgindir.
10. Mikrodalga muamele işlemi, odun yapı elemanlarından traheidlerin orta lamellerinde ve traheidlerle özışınları arasındaki bağlarda kılcal (1-10 mikron) ayrışmalara neden olabilir. Mikrodalga enerji yoğunluğuna bağlı olarak gelişen bu ayrışmalar retensiyon artışına olumlu, mekanik özelliklere olumsuz etki yapar.
11. SEM gözlemlerine göre odun mikro yapısında mikrodalga muameleden ilk ve en çok etkilenen alanlar paranşim hücreleri ve traheidlerin orta lamelleridir.

8.2. ÖNERİLER

Temel amacı mikrodalga ön muamele ile odunun emprenye edilebilirliğinin artırılması olan bu çalışmada elde edilen bulguların amaç doğrultusunda ve genel olarak literatüre paralel gerçekleştiği ifade edilebilir. Mikrodalga ön muamele işleminin özellikle İYA odunlarında kuruma sırasında meydana gelen geçit aspirasyonu üzerindeki etkisi hem retensiyon artışında hem de SEM gözlemlerinde belirlenmiştir. Bu sonuca göre geçit aspirasyonu sebebiyle güç emprenye edilen ağaç türlerinin modifikasyonlarında mikrodalga muamele işlemi uygun bir seçenek olabilir.

Mikrodalga muamele programında kullanılan enerji yoğunluğu ve enerji yoğunluğunu etkileyen faktörler, istenilen modifikasyonun ana karakterini belirleyecektir. Odunun başlangıç rutubeti, enerji yoğunluğunu tayin etmede en önemli faktör olarak karşımıza

çıkılmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan üç farklı rutubet seviyesinden (%55, 83, 135) en fazla retensiyon artışı % 83 rutubet grubunda meydana gelmiştir. 1542 MJ/m^3 enerji yoğunluğu kullanılan bu rutubet seviyesinde kullanılan üç farklı mikrodalga gücün retensiyon üzerinde etkisi ise önemsiz çıkmıştır. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde mikrodalga muamelede retensiyon artışı açısından başlangıç rutubeti $\% 80 \pm 5$; mikrodalga enerji yoğunluğu $1550 \pm 100 \text{ MJ/m}^3$ ve mikrodalga gücü ise zaman tasarrufu bakımından yüksek seviye kullanılabilir.

Başlangıç rutubetten hedeflenen sonuç rutubete göre uygulanacak mikrodalga enerji yoğunluğunu tayin etmede faydalı olacağı düşünülerek birim rutubet çıkışında gerekli enerji yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre %55 rutubet grubunda $32,46 \text{ MJ/m}^3$, %83 rutubet grubunda $26,61 \text{ MJ/m}^3$ ve %135 rutubet grubunda $18,89 \text{ MJ/m}^3$ enerji yoğunluğu kullanıldığı belirlenmiştir. Rutubet seviyesine göre farklılık gösterebilen bu enerji kullanım değerleri kullanılarak yapılacak çalışmalarda kullanılacak rutubet seviyesine göre optimum mikrodalga muamele programı hesaplamada yardımcı olabilir.

Mikrodalga muamele işleminin odunun mekanik özellikleri üzerine etkisine bakıldığında mikrodalgaya maruz kalma süresine göre test edilen dirençlerde azalma olduğu belirlenmiştir. İlk iki rutubet grubundaki azalmalar telafi edilebilir aralıkta olsa da yüksek rutubet grubundaki azalmalar kullanım yerine göre önemli görülebilir düzeyde sonuçlanmıştır. Retensiyon artışı, mekanik özelliklerdeki azalma ve enerji ekonomisi açısından değerlendirilecek olunursa $\% 80 \pm 5$ rutubetin üstündeki seviyeler mikrodalga muamele için uygun olmadığı sonucuna varılabilir. Kurutma amacından ziyade modifikasyon amacı taşıyan işlemler için yüksek başlangıç rutubeti birçok açıdan olumsuz sonuçlar doğurabilir. Önerilen $\% 80 \pm 5$ rutubetten daha düşük rutubetlerle de çalışmalar yapılabilir. Ancak retensiyondaki artışı sağlamak için birim rutubete göre daha yüksek enerji uygulamak gerekeceğinden, mekanik özelliklerde meydana gelebilecek düşüşler dikkate alınmalıdır. Çünkü bu çalışmanın ve yapılan diğer çalışmaların sonuçlarına göre düşük başlangıç rutubetlerine uygulanan yüksek enerji yoğunlukları (nispeten) her ne kadar retensiyonda artış sağlasa da, aynı düzeyde hatta daha trajik olarak düşüşlere sebep olabilmektedir. Zira bu yöntem

kullanıldığında, retensiyon artışına katkı sağlayacak geçit yollarının açılmasının yanında, mikro-makro çatlamalar sayesinde retensiyonun artacağı dikkate alınmalıdır. Oluřacak bu çatlamalar, mekanik özelliklerde dūřuře neden olduğu gibi aynı zamanda gereksiz kimyasal kullanımına da neden olabilmektedir. Odunun hūcre çeperlerinden daha çok oluşan çatlaklara dolacak olan koruyucu kimyasalın zamanla daha kolay dışarı çıkabileceği ihtimali dūřūnūlmelidir.

KAYNAKLAR

- Akalp, T., “Türkiyedeki Doğu ladini (*Picea orientalis* Lk. Carr) ormanlarında hasılat araştırmaları”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A, 25(1), 9-53 (1976).
- Allahverdiyev, Z., “Elektronik malzemeleri”, Karadeniz Teknik Üniversitesi Genel Yayın No: 198, *Mühendislik Mimarlık Fakültesi*, Yayın No:58, Trabzon (2000).
- Antti, A.L., “Microwave drying of pine and spruce”, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 53: 333–338 (1995).
- Antti, A. L., Jonsson, A. and Nilsson, M., “The effect of drying method on mechanical properties of wood: comparisons between conventional kiln and microwave-dried Scots pine”, *Third European Cost E15 Workshop on Wood Drying*, Helsinki, Finland, pp. 1–9 (2001).
- Balanis, C.A., “Advanced engineering electromagnetics, 2nd ed.”, *John Wiley & Sons*, USA, 41-55 (2012).
- Banik, S., Bandyopadhyay, S. and Ganguly, S., “Bioeffects of microwave - a brief review” *Bioresource Technology*, 87, 155–159 (2003)
- Banks, W.B., “Addressing the problem of non-steady state liquid flow in wood”, *Wood Sci. Technol.*, 15, 171–177 (1981).
- Beikricher, W., Lux, C. and Flach, M., “Mechanical properties of *Picea abies* after vacuum and atmospheric microwave drying”, *Pro Lingo*, 9(4), 642-649 (2013).
- Berkel, A., “Ağaç malzeme teknolojisi 1. cilt”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, Yayın No: 147, İstanbul (1970).
- Bolton, A.J. and Petty, J.A., “Variation of susceptibility to aspiration of bordered pits in conifer wood”, *Journal of Experimental Botany*, 28(105) 935-941 (1977).
- Bozkurt, A.Y., “İğne yapraklı odunların anatomik yapısı”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 17(1), 118-135 (1967).
- Bozkurt, A.Y., “Doğu ladini (*Picea orientalis* Link. et Carr.) ve Toros karaçamı [*Pinus nigra* var. *Caramanica* (Loud) Rehd.] dan birer ağaçta lif morfolojisi üzerine denemeler”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri: A, 21, 70-91 (1971).

Bozkurt, A.Y., ve Erdin, N., “Ağaç teknolojisi”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, İ.Ü. Yayınları 5029, Orman Fakültesi Yayınları 445, İstanbul, (2011).

Comstock, G.L. and Cote, W.A., “Factors affecting permeability and pit aspiration in coniferous sapwood” *Wood Science and Technology*, 2, 279–291 (1968).

Çelen, S., “Mikrodalga ve vakum kurutucuda bazı gıda ürünlerinin kurutulması ve modellenmesi”, Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 8-13 (2010)

Dömeny, J., “Microwave modification of wood”, Ph. D. Thesis, *Mendel University in Brno Department of Wood Science*, Czech Republic, Brno, 5-16, 20-21 (2016).

Eckelman, C.A., “Seasoning of wood”, *Forestry & Natural Resources*, Product code: FNR-155-W, 1-18 (1997).

Eraslan, İ., “Doğu ladini (*Picea orientalis* Link. ve Carr.) nin teknik vasıfları ve kullanma yerleri hakkında araştırmalar”, *Çankaya Yayınevi*, Ankara (1947).

Ellwood, E., “Wood technologist”, Forest Products Laboratory, Richmond, California. online:https://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/4869/Perm_Wood_ocr.pdf (1957).

Erten, A.P., “Doğu ladini”, El Kitabı Dizisi:5, Bölüm 14, *Ormanlık Araştırma Enstitüsü Yayınları*, Muh. Yay. Serisi: 58, Editör: Erkuloğlu, Ö.S., Ankara, 251-253 (1989).

Eskibalıcı, M. F., “Cevher hazırlama ve zenginleştirmede mikrodalga enerjisinin kullanılabilirliğinin araştırılması”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-6 (2007).

Flynn, K.A., “A review of the permeability, fluid flow, and anatomy of Spruce (*Picea spp.*)”, *Wood and Fiber Science*, 27(3), 278-284 (1995).

Gasparik, M. And Barcik, S., “Effect of plasticizing by microwave heating on bending characteristics of Beech wood”, *BioResources*, 9(3), 4808-4820 (2014).

Gasparik, M. and Gaff M., Changes in temperature and moisture content in Beech wood plasticized by microwave heating”, *BioResources*, 8(3), 3372-3384 (2013).

Göker, Y. ve As, N., “Dallı Servi (*Cupressus sempervirens* var. *horizontalis* M.) odununda eğilmeye elastiklik modülü”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A, 40(1), 28-39 (1990).

Hansmann, C., Gindl, W., Wimmer, R. and Teischinger A., “Permeability of wood – a review” *Wood Research*, 47(4), 1-16. (2002).

Hansson, L. and Antti, A.L., “The effect of microwave drying on Norway spruce woods strength: a comparison with conventional drying”, *Journal of Materials*

Processing Technology, 141(1), 41-50 (2003).

Hansson L., "Microwave treatment of wood", Ph. D. Thesis, *Luleå University of Technology Division of Wood Physics*, Sweden, (2007).

Haque, K.E., "Microwave energy for mineral treatment processes - a brief review" *Int. J. Miner. Process.*, 57, 1-24 (1999).

Hart, C.A. and Thomas R.J., "Mechanism of bordered pit aspiration as caused by capillarity", *Forest Products Journal*, 17(11), 61-68 (1986).

He, S., Lin, L., Fu, F., Zhou, Y. and Fan, M., "Microwave treatment for enhancing the liquid permeability of Chinese fir", *BioResources* 9(2), 1924-1938 (2014).

He, X., Xiong, X., Xie, J., Li, Y., Wei, Y., Quan, P., Mou, Q. and Li, X., "Effect of microwave pretreatment on permeability and drying properties of wood", *BioResources*, 12(2), 3850-3863 (2017).

Hermoso, E. and Vega, A., "Effect of microwave treatment on the impregnability mechanical properties of *Eucalyptus globulus* wood", *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 18(1), 55-64 (2016).

Hemel Güvenlik Bilgi Formu (GBF), Kısım I, Tanalith E 8000, Hemel Emprenye Sanayi ve Tic.A.Ş., GBF No: 4850, sf. 2-3.

Hong-Hai, L., Qing-Wen, W., Lin, Y., Tao, J. and Yin-Chun, C., "Modification of larch wood by intensive microwave irradiation", *Journal of Forestry Research* 16(3), 237-240 (2005).

İnternet, 1., "Dalga sisteminde nod ve antinod", [https://en.wikibooks.org/wiki/A-level_Physics_\(Advancing_Physics\)/Standing_Waves](https://en.wikibooks.org/wiki/A-level_Physics_(Advancing_Physics)/Standing_Waves)

Jain, V.K. and Dubey, Y.M., "Dielectric constant of some Indian timbers in axial direction at microwave frequencies", *J. Ind. Acad. Wood Sci.*, 19(2), 25-36 (1988).

James, W.L. and Hamill, D.W., "Dielectric properties of Douglas-fir measured at microwave frequencies", *Forest Products Journal*, 15(2), 51-56 (1965).

James, W.L., "Dielectric properties of wood and hardboard: Variation with temperature, frequency, moisture content, and grain orientation", *Forest Service Research Paper*, University of Madison, Wisconsin, USA, 32 p (1975).

Jiang, T., Zhou, Z. F. and Wang, Q. W., "Effects of intensive microwave irradiation on the permeability of larch wood", *Scientia Silvae Sinicae*, 42(11), 87-92 (2006).

Jones, D.A., Lelyveld, T.P., Mavrofidis, S.D., Kingman, S.W. and Miles, N.J., "Microwave heating applications in environmental engineering - a review", *Resources, Conservation and Recycling*, 34, 75-90 (2002).

Kabir, M.F., Khalid, K.B., Daud, W.M. and Aziz S.H.A., “Dielectric properties of rubber wood at microwave frequencies measured with an open-ended coaxial line”, *Wood and Fiber Science*, 29(4): 319-324 (1997).

Kabir, M.F., Daud, W.M., Khalid, K. and Sidek, H.A.A., “Dielectric and ultrasonic properties of rubber wood. Effect of moisture content grain direction and frequency”, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 56, 223–227 (1998).

Kayacık, H., “Doğu ladininin Türkiye’deki coğrafi yayılışı, silvikültür esasları ve tabii sınırlarının genişletilmesi imkanlarının araştırılması”, *Orman Genel Müdürlüğü*, Ankara, 122 s. (1952).

Kayacık, H., “Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Carr.)’ın coğrafi yayılışı”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 10(2), 25-32 (1960).

Keskin, H., “Lamine edilmiş Doğu ladini (*Picea orientalis* Lipsky) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri: A, 1, 139-151 (2003).

Khalid, K.B., Kabir, M.F., Daud, W.M. and Sidek, H.A.A., “Multi-component mixture modeling for the dielectric properties of rubber wood at microwave frequencies”, *Holzforshung*, 53(6), 662-668 (1999a).

Khalid, K.B, Shari, M.H., Keong, N.K. and Fuad, S.A., “Microwave dielectric properties of wooden cross-arms”, *Subsurface Sensors and Applications*, Denver, Colorado, July, Proc. SPIE 3752, 147-156 (1999b).

Kingman, S.W. and Rowson, N.A., “Microwave treatment of minerals – a review”, *Minerals Engineering*, Vol. 11, No. 11, pp. 1081-1087 (1998).

Klement, I. and Trebula, P., “Dielectric drying: Special drying methods”, *Stolarsky magazin*, 5(4), Banska Bystrica, Slovakia, 6-7 (2004).

Kotlik, P., “The use of microwave energy for drying walls and destruction of living organisms in building materials” *Materiály pro stavbu*, 2(1): 24-26 (2005).

Lehringer, C., Richter, K., Schwarze, F.W.M.R. and Militz, H., “A review on promising approaches for liquid permeability improvement in softwoods”, *Wood and Fiber Science*, 41(4), 373-385 (2009).

Liu, M., Li, C. and Wang., Q., “Microstructural characteristics of Larch wood treated by high-intensity microwave”, *BioResources*, 14(1), 1174-1184. (2019).

Lundgren, N., “Microwave sensor for scanning sawn timber”, Ph. D. Thesis, *Luleå University of Technology, Division of Wood Technology*, Vol. 9. (2007).

Machado, J. S., “Effect of microwave treatment on oak compression strength”, *Silva Lusitana*, 14(1), 51-58 (2006).

- Matsumura, J., Booker, R.E., Ridoutt, B.G. et al., “Impregnation of radiata pine wood by vacuum treatment II: effect of pre-steaming on wood structure and resin content”, *J Wood Sci* 45, 456–462 (1999).
- Merenda, L. “Utilization variants of multifunctional experimental autoclave”, MSc Thesis, *Mendel University*, Brno, Czech Republic, 94 pp. (2006).
- Merenda, L. and Holan, J., “The permeability of microwave treated wood for distilled water”, *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendel. Brun.*, 56(1), 137-142 (2008).
- Muga, M.O., “Mechanical properties of wood following microwave and resin modification”, MSc Thesis, *Wood Science in the Institute of Land and Food Resources University of Melbourne*, Australia (2002).
- Okday A., “Besin maddelerinin hazırlanmasında elektromagnetik enerjinin kullanılması”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 36 (3), 3-15 (1978).
- Oloyede, A. and Groombridge, P., “The influence of microwave heating on the mechanical properties of wood”, *Journal of Materials Processing Technology*, 100, 67-73 (2000).
- Ouertani, S., Koubaa, A., Azzouz, S. et al., “Microwave drying kinetics of jack pine wood: determination of phytosanitary efficacy, energy consumption, and mechanical properties”, *Eur. J. Wood Prod.*, 76, 1101–1111 (2018).
- Panek, M., Reinprecht, L. and Mamonova, M., “Trichoderma viride for improving Spruce wood impregnability”, *BioResources*, 8(2), 1731-1746 (2013).
- Panigrahi, S., Kumar, S., Panda, S. and Borkataki, S., “Effect of permeability on primary processing of wood”, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4), 2593-2598 (2018).
- Peyskens, E., de Pourcq, M., Stevens, M. et al., “Dielectric properties of softwood species at microwave frequencies”, *Wood Sci. Technol.*, 18, 267–280 (1984).
- Potok, O., “Polietilen oksit ince filmlerinin dielektrik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 9-10 (2019).
- Poonia, P.K., “Study of microwave application for preservative treatment improvement in wood”, Ph. D. Thesis, *Forest Research Institute Forest Products Division*, Dehradun, India, 18-22 (2016).
- Resch, H., “High-frequency electric current for drying of wood – historical perspectives”, *Maderas. Ciencia y tecnología*, 8(2): 67-82 (2006).
- Saitou, K., Microwave sintering of iron, cobalt, nickel, copper and stainless steel powders”, *Scripta Materialia*, 54(5), 875-879 (2006).

Samani, A., Ganguly, S., Kanyal, R. and Tripathi, S., “Effect of microwave pretreatment on preservative retention and treatability of *Melia composita* wood”, *Journal of Forest Science*, 65(10), 391-396 (2019).

Şahin, H., “Doğu ladini [*Picea orientalis* (L.) Link.] odununun iç morfolojik özellikleri ve bazı organik çözücülerin geçit aspirasyonu üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, (1996).

Şahin, H. and Ay, N., “The aspiration of bordered pits in conifer wood”, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 3(2), 383-388 (1997).

Şahin, H., “Mikrodalga frekanslarda doğal ve emprenye edilmiş odun türlerinin dielektrik özellikleri”, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, (2002).

Şahin, H., “Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) link.) odununda bazı organik çözücülerin geçit aspirasyonu üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 1-2, 52-62 (2003).

Şahin Kol, H. and Çayır, B., “Increasing the impregnability of Oriental spruce wood via microwave pretreatment”, *BioResources*, 16(2), 2513-2523 (2021).

Şeflek, C., “Bolkardağ altın-gümüş cevherinin öğütme ve siyanür liçine mikrodalga ön işleminin etkisinin araştırılması” Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 47-50 (2019).

Terziev, N. and Daniel, G., “Application of high frequency treatments for improved permeability of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) wood”, in: Wood: The Best Material for Mankind, J. Kúdela and M. Babiak (eds.) *Arbora Publishers*, Slovakia, pp. 43-48 (2013).

Terziev, N., Daniel, G., Torgovnikov, G. and Vinden, P., “Effect of microwave treatment on the wood structure of Norway spruce and radiata pine”, *BioResources*, 15(3), 5616-5626 (2020).

Terziev, N., Daniel, G. and Torgovnikov, G., “Theoretical determination of pit membrane natural frequency for destruction by resonance effect,” *BioResources*, 16(2), 2683-2695 (2021).

Thomas, R.J. and Kringstad, K.P., “The role of hydrogen in pit aspiration”, *Holzforschung*, 25 (5), 143-149 (1971).

Tinga, W.R. and Nelson, S.O., “Dielectric properties of Materials for microwave processing-tabulated”, *Journal of Microwave Power*, 8 (1), 23-65 (1973).

Tiuri, M., Jokela, K. and Heikkilä, S., “Microwave instrument for accurate moisture and density measurement of timber”, *Journal of Microwave Power*, 15(4), 251-254 (1980).

Torgovnikov, G.I., “Dielectric properties of wood and wood-based materials”, *Springer-Verlag*, Berlin, 1-17, 20-32, 77-110 (1993).

Torgovnikov, G. and Vinden, P., “Some aspects of microwave power application in the forest industry”, *World congress on microwave processing*, 5-9 January, Lake Buena Vista, USA (1997).

Torgovnikov, G., Vinden, P. Mapanda, E. and Cobham, P., “The application of Microwaves for preservative treatment of wooden posts”, *International conference on microwave and high frequency heating*, 14-17 September, Valencia, Spain (1999).

Torgovnikov, G. and Vinden, P., “Microwave modification of wood properties”, *In International Research Group on wood Preservation*, in press. Melbourne, (2000).

Torgovnikov, G. and Vinden, P., “High-intensity microwave wood modification for increasing permeability”, *Forest Products Journal*, 59(4), 84-92 (2009).

Torgovnikov, G. and Vinden, P., “Microwave wood modification technology and its applications”, *Forest Products Journal*, 60(2), 173-182 (2010).

TS 2474: “Odunda statik eğilme dayanımının tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (1976).

TS 2478: “Odunda statik eğilmede elastiklik modülünün tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (1978).

TS 2595, “Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımının tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (1977).

Uluata, A.R., “Ağaç malzemenin mekanik özelliklerine etki eden faktörler”, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 18, Sayı 1-4, 113-124 (1987).

Vermaas, H.F., “The dielectric properties of wood”, Ph. D. Thesis, *University of Stellenbosch*, Stellenbosch, South Africa (1971).

Vermaas, H.F., “Dielectric properties of *Pinus pinaster* as a function of its alcohol-benzene-soluble content”, *Wood Science*, 6(4): 363-367 (1974).

Vikberg, T., Sandberg, D., Elustondo, D., “High frequency heating in solid wood modification”, *In: The seventh European Conference on Wood Modification (ECWM7)*, March 10-11, Lisbon, 113–114 (2014).

Vinden, P., Romero, J. and Torgovnikov, G., “A method for increasing the permeability of wood”, U.S. Patent No. 20030189039 (2003).

Vinden, P., Torgovnikov, G. and Hann, J., “Microwave modification of Radiata pine railway sleepers for preservative treatment”, *European Journal of Wood and Wood Products*, 69(2), 271-279 (2011).

Walker J. C. F., “Primary Wood Processing - Principles and Practice 2nd ed.”, *Springer*, Netherlands, ?-?, ?-? (2006).

Wang, J.Z. and DeGroot, R., “Treatability and durability of heartwood”, *National conference on wood transportation structures*, 23-25 October, Madison, WI (1996).

Watanabe, U., Imamura, Y. and Iida, I., “Liquid penetration of precompressed wood VI: Anatomical characterization of pit fractures”, *J Wood Sci*, 44, 158-162 (1998).

Weng, X., Zhou, Y., Fu, Z., Gao, X., Zhou, F. and Fu, F., “Effects of microwave treatment on microstructure of Chinese fir”, *Forests*, 11,772 (2020).

Xu, K., Wang, Y., Lv, J., Li, X. and Wu, Y., “The effect of microwave pretreatment on the impregnation of poplar wood”, *BioResources*, 10(1), 282-289 (2015).

Yıldız, Ü.C., “Dış Mekanda Ahşap Kullanımı Ders Notları”, *KTÜ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü*, Trabzon, 82-91 (2011).

<https://avesis.ktu.edu.tr/resume/downloadfile/yildiz?key=ed6de8f7-3f79-4089-9d56-41522a5cd7ce>

Zielonka, P. and Gierlik, E., “Temperature distribution during conventional and microwave wood heating”, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 57: 247–249 (1999).

EK AÇIKLAMALAR A.

TAMHANE TESTİ SONUÇLARI (TAM TABLO)

Çizelge Ek A.1. Mikrodalga ön muamele deneyi rutubet çıkışına (%) ilişkin Tamhane (T2) testi sonuçları (tam tablo).

		Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Sig.	95% Güven aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
DR-1295W	DR-1850W	-,2467	1,012	1,000	-3,528	3,035
	DR-925W	2,0957	1,024	0,789	-1,228	5,419
	OR-1295W	-22,8595*	1,297	0,000	-27,080	-18,639
	OR-1850W	-23,7454*	1,261	0,000	-27,847	-19,644
	OR-925W	-18,5089*	1,268	0,000	-22,640	-14,378
	YR-1295W	-80,4570*	2,589	0,000	-88,952	-71,962
	YR-1850W	-78,7736*	2,336	0,000	-86,442	-71,106
	YR-925W	-74,9111*	2,635	0,000	-83,577	-66,246
DR-1850W	DR-1295W	,2467	1,012	1,000	-3,035	3,528
	DR-925W	2,3424	1,075	0,675	-1,144	5,829
	OR-1295W	-22,6128*	1,337	0,000	-26,959	-18,266
	OR-1850W	-23,4987*	1,302	0,000	-27,730	-19,267
	OR-925W	-18,2622*	1,310	0,000	-22,522	-14,002
	YR-1295W	-80,2103*	2,609	0,000	-88,766	-71,655
	YR-1850W	-78,5269*	2,359	0,000	-86,262	-70,792
	YR-925W	-74,6644*	2,655	0,000	-83,389	-65,940
DR-925W	DR-1295W	-2,0957	1,024	0,789	-5,419	1,228
	DR-1850W	-2,3424	1,075	0,675	-5,829	1,144
	OR-1295W	-24,9552*	1,347	0,000	-29,332	-20,579
	OR-1850W	-25,8411*	1,312	0,000	-30,104	-21,578
	OR-925W	-20,6046*	1,319	0,000	-24,895	-16,314
	YR-1295W	-82,5528*	2,614	0,000	-91,122	-73,983
	YR-1850W	-80,8694*	2,364	0,000	-88,620	-73,119
	YR-925W	-77,0068*	2,660	0,000	-85,745	-68,269
OR-1295W	DR-1295W	22,8595*	1,297	0,000	18,639	27,080
	DR-1850W	22,6128*	1,337	0,000	18,266	26,959
	DR-925W	24,9552*	1,347	0,000	20,579	29,332
	OR-1850W	-,8859	1,534	1,000	-5,862	4,090
	OR-925W	4,3506	1,540	0,175	-0,648	9,349
	YR-1295W	-57,5975*	2,732	0,000	-66,521	-48,674
	YR-1850W	-55,9142*	2,495	0,000	-64,057	-47,772
	YR-925W	-52,0516*	2,776	0,000	-61,135	-42,968
OR-1850W	DR-1295W	23,7454*	1,261	0,000	19,644	27,847
	DR-1850W	23,4987*	1,302	0,000	19,267	27,730
	DR-925W	25,8411*	1,312	0,000	21,578	30,104
	OR-1295W	,8859	1,534	1,000	-4,090	5,862
	OR-925W	5,2365*	1,510	0,024	0,335	10,138
	YR-1295W	-56,7117*	2,715	0,000	-65,584	-47,839

	YR-1850W	-55,0283*	2,476	0,000	-63,114	-46,942
	YR-925W	-51,1657*	2,759	0,000	-60,199	-42,132
OR-925W	DR-1295W	18,5089*	1,268	0,000	14,378	22,640
	DR-1850W	18,2622*	1,310	0,000	14,002	22,522
	DR-925W	20,6046*	1,319	0,000	16,314	24,895
	OR-1295W	-4,3506	1,540	0,175	-9,349	0,648
	OR-1850W	-5,2365*	1,510	0,024	-10,138	-0,335
	YR-1295W	-61,9481*	2,719	0,000	-70,831	-53,065
	YR-1850W	-60,2647*	2,480	0,000	-68,363	-52,166
	YR-925W	-56,4022*	2,763	0,000	-65,447	-47,358
	YR-1295W	DR-1295W	80,4570*	2,589	0,000	71,962
DR-1850W		80,2103*	2,609	0,000	71,655	88,766
DR-925W		82,5528*	2,614	0,000	73,983	91,122
OR-1295W		57,5975*	2,732	0,000	48,674	66,521
OR-1850W		56,7117*	2,715	0,000	47,839	65,584
OR-925W		61,9481*	2,719	0,000	53,065	70,831
YR-1850W		1,6834	3,353	1,000	-9,191	12,558
YR-925W		5,5459	3,567	0,991	-6,026	17,118
YR-1850W	DR-1295W	78,7736*	2,336	0,000	71,106	86,442
	DR-1850W	78,5269*	2,359	0,000	70,792	86,262
	DR-925W	80,8694*	2,364	0,000	73,119	88,620
	OR-1295W	55,9142*	2,495	0,000	47,772	64,057
	OR-1850W	55,0283*	2,476	0,000	46,942	63,114
	OR-925W	60,2647*	2,480	0,000	52,166	68,363
	YR-1295W	-1,6834	3,353	1,000	-12,558	9,191
	YR-925W	3,8625	3,389	1,000	-7,137	14,862
YR-925W	DR-1295W	74,9111*	2,635	0,000	66,246	83,577
	DR-1850W	74,6644*	2,655	0,000	65,940	83,389
	DR-925W	77,0068*	2,660	0,000	68,269	85,745
	OR-1295W	52,0516*	2,776	0,000	42,968	61,135
	OR-1850W	51,1657*	2,759	0,000	42,132	60,199
	OR-925W	56,4022*	2,763	0,000	47,358	65,447
	YR-1295W	-5,5459	3,567	0,991	-17,118	6,026
	YR-1850W	-3,8625	3,389	1,000	-14,862	7,137

Çizelge Ek A.2. Retensiyon sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T₂) testi sonuçları (tam tablo).

		Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Sig.	95% Güven aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
DR-1295W	DR-1850W	,185561	0,752	1,000	-2,303	2,675
	DR-925W	,342597	0,776	1,000	-2,229	2,914
	Kontrol	5,051790*	0,637	0,000	2,944	7,160
	OR-1295W	-2,006619*	0,600	0,046	-4,000	-0,014
	OR-1850W	-1,793588	0,594	0,127	-3,767	0,180
	OR-925W	-2,199321*	0,603	0,017	-4,202	-0,197
	YR-1295W	-1,087748	0,584	0,951	-3,031	0,856
	YR-1850W	-1,486788	0,596	0,466	-3,469	0,495
	YR-925W	-1,034868	0,585	0,976	-2,982	0,912
DR-1850W	DR-1295W	-,185561	0,752	1,000	-2,675	2,303
	DR-925W	,157036	0,802	1,000	-2,497	2,811
	Kontrol	4,866229*	0,668	0,000	2,656	7,077
	OR-1295W	-2,192180*	0,632	0,031	-4,293	-0,091
	OR-1850W	-1,979149	0,626	0,084	-4,062	0,104
	OR-925W	-2,384881*	0,635	0,011	-4,495	-0,275
	YR-1295W	-1,273309	0,617	0,849	-3,328	0,781
	YR-1850W	-1,672349	0,629	0,327	-3,763	0,418
	YR-925W	-1,220429	0,618	0,903	-3,278	0,837
DR-925W	DR-1295W	-,342597	0,776	1,000	-2,914	2,229
	DR-1850W	-,157036	0,802	1,000	-2,811	2,497
	Kontrol	4,709193*	0,695	0,000	2,404	7,015
	OR-1295W	-2,349216*	0,661	0,024	-4,551	-0,148
	OR-1850W	-2,136185	0,655	0,063	-4,320	0,048
	OR-925W	-2,541917*	0,664	0,009	-4,752	-0,332
	YR-1295W	-1,430345	0,647	0,733	-3,588	0,727
	YR-1850W	-1,829385	0,658	0,246	-4,021	0,362
	YR-925W	-1,377465	0,648	0,804	-3,538	0,783
Kontrol	DR-1295W	-5,051790*	0,637	0,000	-7,160	-2,944
	DR-1850W	-4,866229*	0,668	0,000	-7,077	-2,656
	DR-925W	-4,709193*	0,695	0,000	-7,015	-2,404
	OR-1295W	-7,058409*	0,490	0,000	-8,672	-5,445
	OR-1850W	-6,845378*	0,482	0,000	-8,434	-5,257
	OR-925W	-7,251110*	0,493	0,000	-8,877	-5,625
	YR-1295W	-6,139538*	0,470	0,000	-7,689	-4,590
	YR-1850W	-6,538578*	0,485	0,000	-8,138	-4,939
	YR-925W	-6,086658*	0,472	0,000	-7,641	-4,532
OR-1295W	DR-1295W	2,006619*	0,600	0,046	0,014	4,000
	DR-1850W	2,192180*	0,632	0,031	0,091	4,293
	DR-925W	2,349216*	0,661	0,024	0,148	4,551
	Kontrol	7,058409*	0,490	0,000	5,445	8,672
	OR-1850W	,213031	0,432	1,000	-1,217	1,643
	OR-925W	-,192701	0,444	1,000	-1,664	1,278

	YR-1295W	,918872	0,419	0,741	-0,467	2,305
	YR-1850W	,519831	0,435	1,000	-0,922	1,961
	YR-925W	,971751	0,420	0,632	-0,419	2,363
OR-1850W	DR-1295W	1,793588	0,594	0,127	-0,180	3,767
	DR-1850W	1,979149	0,626	0,084	-0,104	4,062
	DR-925W	2,136185	0,655	0,063	-0,048	4,320
	Kontrol	6,845378*	0,482	0,000	5,257	8,434
	OR-1295W	-,213031	0,432	1,000	-1,643	1,217
	OR-925W	-,405732	0,436	1,000	-1,849	1,038
	YR-1295W	,705840	0,410	0,983	-0,650	2,062
	YR-1850W	,306800	0,427	1,000	-1,106	1,720
	YR-925W	,758720	0,411	0,955	-0,603	2,121
	OR-925W	DR-1295W	2,199321*	0,603	0,017	0,197
DR-1850W		2,384881*	0,635	0,011	0,275	4,495
DR-925W		2,541917*	0,664	0,009	0,332	4,752
Kontrol		7,251110*	0,493	0,000	5,625	8,877
OR-1295W		,192701	0,444	1,000	-1,278	1,664
OR-1850W		,405732	0,436	1,000	-1,038	1,849
YR-1295W		1,111573	0,423	0,345	-0,289	2,512
YR-1850W		,712532	0,439	0,994	-0,743	2,168
YR-925W		1,164452	0,424	0,262	-0,241	2,570
YR-1295W	DR-1295W	1,087748	0,584	0,951	-0,856	3,031
	DR-1850W	1,273309	0,617	0,849	-0,781	3,328
	DR-925W	1,430345	0,647	0,733	-0,727	3,588
	Kontrol	6,139538*	0,470	0,000	4,590	7,689
	OR-1295W	-,918872	0,419	0,741	-2,305	0,467
	OR-1850W	-,705840	0,410	0,983	-2,062	0,650
	OR-925W	-1,111573	0,423	0,345	-2,512	0,289
	YR-1850W	-,399040	0,414	1,000	-1,768	0,970
	YR-925W	,052880	0,397	1,000	-1,263	1,368
YR-1850W	DR-1295W	1,486788	0,596	0,466	-0,495	3,469
	DR-1850W	1,672349	0,629	0,327	-0,418	3,763
	DR-925W	1,829385	0,658	0,246	-0,362	4,021
	Kontrol	6,538578*	0,485	0,000	4,939	8,138
	OR-1295W	-,519831	0,435	1,000	-1,961	0,922
	OR-1850W	-,306800	0,427	1,000	-1,720	1,106
	OR-925W	-,712532	0,439	0,994	-2,168	0,743
	YR-1295W	,399040	0,414	1,000	-0,970	1,768
	YR-925W	,451920	0,415	1,000	-0,922	1,826
YR-925W	DR-1295W	1,034868	0,585	0,976	-0,912	2,982
	DR-1850W	1,220429	0,618	0,903	-0,837	3,278
	DR-925W	1,377465	0,648	0,804	-0,783	3,538
	Kontrol	6,086658*	0,472	0,000	4,532	7,641
	OR-1295W	-,971751	0,420	0,632	-2,363	0,419
	OR-1850W	-,758720	0,411	0,955	-2,121	0,603
	OR-925W	-1,164452	0,424	0,262	-2,570	0,241
	YR-1295W	-,052880	0,397	1,000	-1,368	1,263
	YR-1850W	-,451920	0,415	1,000	-1,826	0,922

Çizelge Ek A.3.. Liflere paralel basınç direnci sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T₂) testi sonuçları (tam tablo).

		Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Sig.	95% Güven aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
DR-1295W	DR-1850W	,79329	0,818	1,000	-1,915	3,501
	DR-925W	1,16125	0,863	1,000	-1,697	4,020
	Kontrol	-,04042	0,713	1,000	-2,407	2,327
	OR-1295W	1,39882	0,850	0,992	-1,414	4,212
	OR-1850W	,90800	0,857	1,000	-1,929	3,745
	OR-925W	1,41074	0,886	0,996	-1,524	4,345
	YR-1295W	2,59676	0,837	0,096	-0,174	5,368
	YR-1850W	2,41071	0,861	0,227	-0,440	5,262
	YR-925W	1,93445	0,808	0,556	-0,744	4,613
DR-1850W	DR-1295W	-,79329	0,818	1,000	-3,501	1,915
	DR-925W	,36796	0,816	1,000	-2,333	3,069
	Kontrol	-,83371	0,654	1,000	-3,001	1,333
	OR-1295W	,60553	0,801	1,000	-2,046	3,257
	OR-1850W	,11471	0,809	1,000	-2,563	2,792
	OR-925W	,61744	0,839	1,000	-2,164	3,399
	YR-1295W	1,80347	0,788	0,653	-0,803	4,410
	YR-1850W	1,61741	0,813	0,893	-1,075	4,310
	YR-925W	1,14116	0,757	0,998	-1,366	3,648
DR-925W	DR-1295W	-1,16125	0,863	1,000	-4,020	1,697
	DR-1850W	-,36796	0,816	1,000	-3,069	2,333
	Kontrol	-1,20167	0,710	0,988	-3,561	1,157
	OR-1295W	,23757	0,847	1,000	-2,568	3,043
	OR-1850W	-,25325	0,855	1,000	-3,084	2,577
	OR-925W	,24949	0,884	1,000	-2,679	3,177
	YR-1295W	1,43551	0,835	0,984	-1,328	4,199
	YR-1850W	1,24946	0,859	0,999	-1,595	4,094
	YR-925W	,77321	0,806	1,000	-1,898	3,444
Kontrol	DR-1295W	,04042	0,713	1,000	-2,327	2,407
	DR-1850W	,83371	0,654	1,000	-1,333	3,001
	DR-925W	1,20167	0,710	0,988	-1,157	3,561
	OR-1295W	1,43924	0,694	0,838	-0,862	3,740
	OR-1850W	,94842	0,703	1,000	-1,383	3,280
	OR-925W	1,45116	0,737	0,906	-1,002	3,905
	YR-1295W	2,63718*	0,678	0,007	0,390	4,885
	YR-1850W	2,45113*	0,708	0,031	0,102	4,800
	YR-925W	1,97488	0,642	0,106	-0,155	4,104
OR-1295W	DR-1295W	-1,39882	0,850	0,992	-4,212	1,414
	DR-1850W	-,60553	0,801	1,000	-3,257	2,046
	DR-925W	-,23757	0,847	1,000	-3,043	2,568
	Kontrol	-1,43924	0,694	0,838	-3,740	0,862
	OR-1850W	-,49082	0,841	1,000	-3,275	2,293
	OR-925W	,01192	0,870	1,000	-2,872	2,895

	YR-1295W	1,19794	0,821	0,999	-1,518	3,914
	YR-1850W	1,01189	0,845	1,000	-1,786	3,810
	YR-925W	,53564	0,792	1,000	-2,086	3,157
OR-1850W	DR-1295W	-,90800	0,857	1,000	-3,745	1,929
	DR-1850W	-,11471	0,809	1,000	-2,792	2,563
	DR-925W	,25325	0,855	1,000	-2,577	3,084
	Kontrol	-,94842	0,703	1,000	-3,280	1,383
	OR-1295W	,49082	0,841	1,000	-2,293	3,275
	OR-925W	,50274	0,878	1,000	-2,404	3,410
	YR-1295W	1,68876	0,828	0,862	-1,053	4,430
	YR-1850W	1,50271	0,853	0,976	-1,320	4,325
	YR-925W	1,02645	0,799	1,000	-1,621	3,674
	OR-925W	DR-1295W	-1,41074	0,886	0,996	-4,345
DR-1850W		-,61744	0,839	1,000	-3,399	2,164
DR-925W		-,24949	0,884	1,000	-3,177	2,679
Kontrol		-1,45116	0,737	0,906	-3,905	1,002
OR-1295W		-,01192	0,870	1,000	-2,895	2,872
OR-1850W		-,50274	0,878	1,000	-3,410	2,404
YR-1295W		1,18602	0,858	1,000	-1,657	4,029
YR-1850W		,99997	0,882	1,000	-1,921	3,921
YR-925W		,52372	0,830	1,000	-2,229	3,277
YR-1295W	DR-1295W	-2,59676	0,837	0,096	-5,368	0,174
	DR-1850W	-1,80347	0,788	0,653	-4,410	0,803
	DR-925W	-1,43551	0,835	0,984	-4,199	1,328
	Kontrol	-2,63718*	0,678	0,007	-4,885	-0,390
	OR-1295W	-1,19794	0,821	0,999	-3,914	1,518
	OR-1850W	-1,68876	0,828	0,862	-4,430	1,053
	OR-925W	-1,18602	0,858	1,000	-4,029	1,657
	YR-1850W	-,18605	0,833	1,000	-2,942	2,570
	YR-925W	-,66230	0,778	1,000	-3,238	1,913
YR-1850W	DR-1295W	-2,41071	0,861	0,227	-5,262	0,440
	DR-1850W	-1,61741	0,813	0,893	-4,310	1,075
	DR-925W	-1,24946	0,859	0,999	-4,094	1,595
	Kontrol	-2,45113*	0,708	0,031	-4,800	-0,102
	OR-1295W	-1,01189	0,845	1,000	-3,810	1,786
	OR-1850W	-1,50271	0,853	0,976	-4,325	1,320
	OR-925W	-,99997	0,882	1,000	-3,921	1,921
	YR-1295W	,18605	0,833	1,000	-2,570	2,942
	YR-925W	-,47625	0,804	1,000	-3,139	2,187
YR-925W	DR-1295W	-1,93445	0,808	0,556	-4,613	0,744
	DR-1850W	-1,14116	0,757	0,998	-3,648	1,366
	DR-925W	-,77321	0,806	1,000	-3,444	1,898
	Kontrol	-1,97488	0,642	0,106	-4,104	0,155
	OR-1295W	-,53564	0,792	1,000	-3,157	2,086
	OR-1850W	-1,02645	0,799	1,000	-3,674	1,621
	OR-925W	-,52372	0,830	1,000	-3,277	2,229
	YR-1295W	,66230	0,778	1,000	-1,913	3,238
	YR-1850W	,47625	0,804	1,000	-2,187	3,139

Çizelge Ek A.4.. Eğilme direnci sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T₂) testi sonuçları (tam tablo).

		Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Sig.	95% Güven aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
DR-1295W	DR-1850W	,65794	1,393	1,000	-3,951	5,267
	DR-925W	1,14038	1,422	1,000	-3,570	5,851
	Kontrol	1,76960	1,132	0,997	-1,988	5,527
	OR-1295W	3,49324	1,401	0,461	-1,145	8,132
	OR-1850W	3,77271	1,393	0,286	-0,839	8,384
	OR-925W	5,31268*	1,414	0,011	0,629	9,996
	YR-1295W	8,98622*	1,315	0,000	4,632	13,340
	YR-1850W	7,54624*	1,446	0,000	2,757	12,335
	YR-925W	7,21162*	1,184	0,000	3,284	11,139
DR-1850W	DR-1295W	-,65794	1,393	1,000	-5,267	3,951
	DR-925W	,48245	1,441	1,000	-4,286	5,251
	Kontrol	1,11166	1,155	1,000	-2,720	4,943
	OR-1295W	2,83531	1,420	0,887	-1,862	7,533
	OR-1850W	3,11477	1,412	0,730	-1,556	7,786
	OR-925W	4,65475	1,432	0,061	-0,087	9,397
	YR-1295W	8,32828*	1,335	0,000	3,911	12,746
	YR-1850W	6,88830*	1,464	0,000	2,042	11,735
	YR-925W	6,55368*	1,205	0,000	2,556	10,552
DR-925W	DR-1295W	-1,14038	1,422	1,000	-5,851	3,570
	DR-1850W	-,48245	1,441	1,000	-5,251	4,286
	Kontrol	,62921	1,190	1,000	-3,328	4,587
	OR-1295W	2,35286	1,449	0,994	-2,444	7,150
	OR-1850W	2,63232	1,441	0,961	-2,139	7,403
	OR-925W	4,17230	1,461	0,197	-0,668	9,013
	YR-1295W	7,84583*	1,366	0,000	3,322	12,370
	YR-1850W	6,40585*	1,492	0,001	1,464	11,348
	YR-925W	6,07124*	1,240	0,000	1,953	10,189
Kontrol	DR-1295W	-1,76960	1,132	0,997	-5,527	1,988
	DR-1850W	-1,11166	1,155	1,000	-4,943	2,720
	DR-925W	-,62921	1,190	1,000	-4,587	3,328
	OR-1295W	1,72365	1,165	0,999	-2,145	5,592
	OR-1850W	2,00311	1,155	0,982	-1,833	5,839
	OR-925W	3,54309	1,180	0,135	-0,383	7,469
	YR-1295W	7,21662*	1,060	0,000	3,705	10,729
	YR-1850W	5,77664*	1,219	0,000	1,724	9,829
	YR-925W	5,44202*	0,891	0,000	2,497	8,387
OR-1295W	DR-1295W	-3,49324	1,401	0,461	-8,132	1,145
	DR-1850W	-2,83531	1,420	0,887	-7,533	1,862
	DR-925W	-2,35286	1,449	0,994	-7,150	2,444
	Kontrol	-1,72365	1,165	0,999	-5,592	2,145
	OR-1850W	,27946	1,420	1,000	-4,421	4,980
	OR-925W	1,81944	1,440	1,000	-2,951	6,590

	YR-1295W	5,49297*	1,344	0,003	1,044	9,942
	YR-1850W	4,05299	1,472	0,256	-0,821	8,927
	YR-925W	3,71837	1,215	0,112	-0,315	7,752
OR-1850W	DR-1295W	-3,77271	1,393	0,286	-8,384	0,839
	DR-1850W	-3,11477	1,412	0,730	-7,786	1,556
	DR-925W	-2,63232	1,441	0,961	-7,403	2,139
	Kontrol	-2,00311	1,155	0,982	-5,839	1,833
	OR-1295W	-,27946	1,420	1,000	-4,980	4,421
	OR-925W	1,53998	1,432	1,000	-3,205	6,285
	YR-1295W	5,21351*	1,335	0,006	0,793	9,634
	YR-1850W	3,77353	1,464	0,388	-1,075	8,622
	YR-925W	3,43891	1,206	0,201	-0,563	7,441
OR-925W	DR-1295W	-5,31268*	1,414	0,011	-9,996	-0,629
	DR-1850W	-4,65475	1,432	0,061	-9,397	0,087
	DR-925W	-4,17230	1,461	0,197	-9,013	0,668
	Kontrol	-3,54309	1,180	0,135	-7,469	0,383
	OR-1295W	-1,81944	1,440	1,000	-6,590	2,951
	OR-1850W	-1,53998	1,432	1,000	-6,285	3,205
	YR-1295W	3,67353	1,357	0,288	-0,823	8,170
	YR-1850W	2,23355	1,484	0,998	-2,683	7,150
	YR-925W	1,89894	1,230	0,998	-2,188	5,986
YR-1295W	DR-1295W	-8,98622*	1,315	0,000	-13,340	-4,632
	DR-1850W	-8,32828*	1,335	0,000	-12,746	-3,911
	DR-925W	-7,84583*	1,366	0,000	-12,370	-3,322
	Kontrol	-7,21662*	1,060	0,000	-10,729	-3,705
	OR-1295W	-5,49297*	1,344	0,003	-9,942	-1,044
	OR-1850W	-5,21351*	1,335	0,006	-9,634	-0,793
	OR-925W	-3,67353	1,357	0,288	-8,170	0,823
	YR-1850W	-1,43998	1,391	1,000	-6,047	3,167
	YR-925W	-1,77460	1,115	0,996	-5,470	1,921
YR-1850W	DR-1295W	-7,54624*	1,446	0,000	-12,335	-2,757
	DR-1850W	-6,88830*	1,464	0,000	-11,735	-2,042
	DR-925W	-6,40585*	1,492	0,001	-11,348	-1,464
	Kontrol	-5,77664*	1,219	0,000	-9,829	-1,724
	OR-1295W	-4,05299	1,472	0,256	-8,927	0,821
	OR-1850W	-3,77353	1,464	0,388	-8,622	1,075
	OR-925W	-2,23355	1,484	0,998	-7,150	2,683
	YR-1295W	1,43998	1,391	1,000	-3,167	6,047
	YR-925W	-,33462	1,267	1,000	-4,543	3,874
YR-925W	DR-1295W	-7,21162*	1,184	0,000	-11,139	-3,284
	DR-1850W	-6,55368*	1,205	0,000	-10,552	-2,556
	DR-925W	-6,07124*	1,240	0,000	-10,189	-1,953
	Kontrol	-5,44202*	0,891	0,000	-8,387	-2,497
	OR-1295W	-3,71837	1,215	0,112	-7,752	0,315
	OR-1850W	-3,43891	1,206	0,201	-7,441	0,563
	OR-925W	-1,89894	1,230	0,998	-5,986	2,188
	YR-1295W	1,77460	1,115	0,996	-1,921	5,470
	YR-1850W	,33462	1,267	1,000	-3,874	4,543

Çizelge Ek A.5.. Eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarına ait gruplar arası Tamhane (T₂) testi sonuçları (tam tablo).

		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence	
					Lower	Upper
DR-1295W	DR-1850W	-151,80209	178,6	1,000	-743,1	439,5
	DR-925W	-125,23057	194,9	1,000	-770,7	520,2
	Kontrol	-95,59321	148,5	1,000	-590,1	398,9
	OR-1295W	30,61591	181,1	1,000	-569,0	630,2
	OR-1850W	284,36553	193,6	0,999	-356,7	925,4
	OR-925W	106,02485	191,3	1,000	-527,6	739,6
	YR-1295W	774,02347*	187,5	0,003	153,5	1394,5
	YR-1850W	705,61365*	188,2	0,011	82,7	1328,5
	YR-925W	759,29310*	161,4	0,000	223,7	1294,9
DR-1850W	DR-1295W	151,80209	178,6	1,000	-439,5	743,1
	DR-925W	26,57153	185,7	1,000	-588,6	641,7
	Kontrol	56,20888	136,2	1,000	-396,2	508,6
	OR-1295W	182,41800	171,2	1,000	-384,1	748,9
	OR-1850W	436,16762	184,4	0,581	-174,4	1046,7
	OR-925W	257,82694	181,9	1,000	-344,9	860,5
	YR-1295W	925,82556*	177,9	0,000	337,1	1514,5
	YR-1850W	857,41574*	178,6	0,000	266,1	1448,7
	YR-925W	911,09520*	150,2	0,000	413,5	1408,7
DR-925W	DR-1295W	125,23057	194,9	1,000	-520,2	770,7
	DR-1850W	-26,57153	185,7	1,000	-641,7	588,6
	Kontrol	29,63736	156,9	1,000	-493,8	553,0
	OR-1295W	155,84648	188,1	1,000	-467,2	778,9
	OR-1850W	409,59609	200,2	0,857	-253,2	1072,4
	OR-925W	231,25541	197,9	1,000	-424,4	886,9
	YR-1295W	899,25404*	194,2	0,000	256,2	1542,3
	YR-1850W	830,84421*	194,9	0,002	185,4	1476,2
	YR-925W	884,52367*	169,2	0,000	322,4	1446,7
Kontrol	DR-1295W	95,59321	148,5	1,000	-398,9	590,1
	DR-1850W	-56,20888	136,2	1,000	-508,6	396,2
	DR-925W	-29,63736	156,9	1,000	-553,0	493,8
	OR-1295W	126,20912	139,4	1,000	-337,4	589,9
	OR-1850W	379,95874	155,3	0,513	-137,8	897,7
	OR-925W	201,61805	152,4	1,000	-306,9	710,1
	YR-1295W	869,61668*	147,6	0,000	378,5	1360,7
	YR-1850W	801,20685*	148,5	0,000	306,8	1295,6
	YR-925W	854,88631*	112,7	0,000	481,7	1228,1
OR-1295W	DR-1295W	-30,61591	181,1	1,000	-630,2	569,0
	DR-1850W	-182,41800	171,2	1,000	-748,9	384,1
	DR-925W	-155,84648	188,1	1,000	-778,9	467,2
	Kontrol	-126,20912	139,4	1,000	-589,9	337,4
	OR-1850W	253,74962	186,8	1,000	-364,8	872,3
	OR-925W	75,40893	184,3	1,000	-535,4	686,2
	YR-1295W	743,40756*	180,4	0,003	146,4	1340,4

	YR-1850W	674,99773 [*]	181,1	0,012	75,4	1274,6
	YR-925W	728,67719 [*]	153,1	0,000	221,0	1236,4
OR-1850W	DR-1295W	-284,36553	193,6	0,999	-925,4	356,7
	DR-1850W	-436,16762	184,4	0,581	-1046,7	174,4
	DR-925W	-409,59609	200,2	0,857	-1072,4	253,2
	Kontrol	-379,95874	155,3	0,513	-897,7	137,8
	OR-1295W	-253,74962	186,8	1,000	-872,3	364,8
	OR-925W	-178,34068	196,6	1,000	-829,7	473,0
	YR-1295W	489,65794	192,9	0,421	-149,0	1128,3
	YR-1850W	421,24812	193,6	0,757	-219,8	1062,3
	YR-925W	474,92758	167,7	0,213	-82,1	1031,9
		DR-1295W	-106,02485	191,3	1,000	-739,6
OR-925W	DR-1850W	-257,82694	181,9	1,000	-860,5	344,9
	DR-925W	-231,25541	197,9	1,000	-886,9	424,4
	Kontrol	-201,61805	152,4	1,000	-710,1	306,9
	OR-1295W	-75,40893	184,3	1,000	-686,2	535,4
	OR-1850W	178,34068	196,6	1,000	-473,0	829,7
	YR-1295W	667,99863 [*]	190,6	0,026	36,8	1299,2
	YR-1850W	599,58880	191,3	0,088	-34,0	1233,2
	YR-925W	653,26826 [*]	165,0	0,005	104,9	1201,7
		DR-1295W	-774,02347 [*]	187,5	0,003	-1394,5
YR-1295W	DR-1850W	-925,82556 [*]	177,9	0,000	-1514,5	-337,1
	DR-925W	-899,25404 [*]	194,2	0,000	-1542,3	-256,2
	Kontrol	-869,61668 [*]	147,6	0,000	-1360,7	-378,5
	OR-1295W	-743,40756 [*]	180,4	0,003	-1340,4	-146,4
	OR-1850W	-489,65794	192,9	0,421	-1128,3	149,0
	OR-925W	-667,99863 [*]	190,6	0,026	-1299,2	-36,8
	YR-1850W	-68,40982	187,5	1,000	-688,9	552,0
	YR-925W	-14,73037	160,6	1,000	-547,4	517,9
		DR-1295W	-705,61365 [*]	188,2	0,011	-1328,5
YR-1850W	DR-1850W	-857,41574 [*]	178,6	0,000	-1448,7	-266,1
	DR-925W	-830,84421 [*]	194,9	0,002	-1476,2	-185,4
	Kontrol	-801,20685 [*]	148,5	0,000	-1295,6	-306,8
	OR-1295W	-674,99773 [*]	181,1	0,012	-1274,6	-75,4
	OR-1850W	-421,24812	193,6	0,757	-1062,3	219,8
	OR-925W	-599,58880	191,3	0,088	-1233,2	34,0
	YR-1295W	68,40982	187,5	1,000	-552,0	688,9
	YR-925W	53,67946	161,4	1,000	-481,9	589,3
		DR-1295W	-759,29310 [*]	161,4	0,000	-1294,9
YR-925W	DR-1850W	-911,09520 [*]	150,2	0,000	-1408,7	-413,5
	DR-925W	-884,52367 [*]	169,2	0,000	-1446,7	-322,4
	Kontrol	-854,88631 [*]	112,7	0,000	-1228,1	-481,7
	OR-1295W	-728,67719 [*]	153,1	0,000	-1236,4	-221,0
	OR-1850W	-474,92758	167,7	0,213	-1031,9	82,1
	OR-925W	-653,26826 [*]	165,0	0,005	-1201,7	-104,9
	YR-1295W	14,73037	160,6	1,000	-517,9	547,4
	YR-1850W	-53,67946	161,4	1,000	-589,3	481,9

ÖZGEÇMİŞ

Barış ÇAYIR, 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümünde lisans eğitimine başlayıp 2007 yılında Fakülte üçüncüsü derecesiyle mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlayıp yatay geçişle Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünden 2010 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı doktora programını kazandı.

Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi ve Uludağ Üniversitesi İnegöl Meslek Yüksekokulu Mobilya ve Dekorasyon Programında Öğretim Görevlisi olarak görev yapmıştır.