

**LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN FARKLI RUTUBET ŞARTLARINDA
ISI İLETKENLİK VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Fatih ARSLAN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Haziran 2015

Fatih ARSLAN tarafından hazırlanan " LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN FARKLI RUTUBET ŞARTLARINDA ISI İLETKENLİK VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

.....

Tez Danışmanı Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 16/06/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ (KBÜ)

.....

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

.....

Üye : Doç. Dr. M. Hakan AKYILDIZ (KÜ)

.....

...../...../ 2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN FARKLI RUTUBET ŞARTLARINDA ISI İLETKENLİK VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Fatih ARSLAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

Mayıs 2015, 119 sayfa

Bu çalışmada Sarıçam (*Pinus Sylvestris*) ve Doğu Kayını (*Fagus Orientalis*) odun türlerinden Fenol Formaldehit (FF), Melamin Üre Formaldehit (MUF) ve Üre Formaldehit (ÜF) tutkalları ile üretilen Lamine Ağaç Malzemelerin (LVL) rutubet miktarlarına göre dielektrik özellikleri ve ısı iletkenliği incelenmiştir. Çalışmada lamine ağaç malzemelerin dielektrik özellikleri ve ısı iletkenliği üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet miktarının etkisi incelenmiştir.

Dielektrik özellikler (dielektrik sabiti, kayıp faktörü, kayıp tanjantı) A.Von-Hippel Dalga Kılavuzu Yöntemi kullanılarak 9.8 GHz mikrodalga frekansında belirlenmiştir. Isı iletkenliği katsayılarının belirlenmesinde QTM-500 ısı iletkenlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümler oda sıcaklığında (20-24°C) gerçekleştirilmiştir. LVL'lerin dielektrik özellikleri ve ısı iletkenliği katsayıları tutkal hattına dik olan yüzeyden belirlenmiştir.

Sonuç olarak, lamine ağaç malzemelerin kayın odunun çam odununa göre dielektrik sabiti değerlerinin ve ısı iletkenlik katsayılarını yüksek olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti değerinin ve ısı iletkenlik katsayısının tutkal türüne göre değiştiği ve ÜF ile üretilmiş lamine ağaç malzemelerin en düşük değerlere, FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ise en yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti değerinin ve ısı iletkenlik katsayısının rutubet miktarına göre değiştiği; 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nem şartında en düşük, 20 °C sıcaklık ve % 93 bağıl nem şartında en yüksek değerler belirlenmiştir. Bunun yanında lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin odun türüne, tutkal türüne ve rutubet miktarına göre dielektrik sabiti ve ısı iletkenlik katsayısı ile aynı etki gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Lamine ağaç malzeme, tutkallar, ısı iletkenlik katsayısı, dielektrik sabiti, kayıp faktörü, kayıp tanjantı

Bilim Kodu : 1204.5.001

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

MEASUREMENTS OF DIELECTRIC AND THERMAL PROPERTIES OF LAMINATED VENEER LUMBER WITH DIFFERENT MOISTURE CONTENT

Fatih ARSLAN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Forest Industry Engineering

Thesis Advisor/Advisors:

Assoc. Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

May 2015, 119 pages

In this study, it was investigated that dielectric and thermal conductivity properties of Scotch pine and oriental beech woods laminated with melamine urea formaldehyde, urea formaldehyde and phenol formaldehyde according to climate conditions. In study, it was investigated that the effect of wood type, adhesive type and climate conditions on dielectric and thermal conductivity properties of the laminated wood material.

Dielectric properties (dielectricity constant, dielectric dissipation factor, dielectric tangent) were detected using A. Von-Hippel waveguide method at 9.8 gigahertz microwave frequency. QTM-500 thermal conductivity meter. Device were use of thermal conductivity coefficients for determine. Measurements were performed in

20-24 °C. Dielectric properties and thermal conductivity coefficient of LVL samples was determined from perpendicular section to glued surfaces.

As a result, LVL material prepared with beech wood has higher dielectric constant and thermal conductivity coefficient values than LVL prepared with scotch pine. Also, it was determined the value of the dielectric constant and thermal conductivity coefficient of LVL material may change according to adhesive type. The lowest values obtained from LVL material glued with UF adhesive and the highest values obtained from LVL material glued with FF adhesive. In addition, it was determined the value of the dielectric constant and thermal conductivity coefficient of LVL material may change climate condition. The lowest values obtained at 20 °C temperature and 65% relative humidity. The highest values obtained at 20 °C temperature and 93% relative humidity. Also, it was determined that the values of dielectric dissipation factor and dielectric tangent of laminated wood material may change according to wood type, adhesive type and climate condition parallel to dielectric constant and thermal conductivity coefficient.

Key Words : Laminated veneer lumber, adhesives, thermal conductivity coefficient, dielectric constant, dielectric dissipation factor, dielectric tangent.

Science Code : 1204.5.001

“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.”

Fatih ARSLAN

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren Sayın Hocam Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma esnasında bilimsel bilgilerini paylaşan Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ 'ye ve Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi M. Hakan AKYILDIZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Yapılan deneysel çalışmalar esnasında yapmış olduğu yardımlardan dolayı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Haydar KAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı finansal olarak destekleyen KBÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne (KBÜ-BAP-14/1-YL-010) teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde çok büyük emeğe sahip olan her durumda desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
BÖLÜM 1	1
GENEL BİLGİLER	1
1.1. GİRİŞ	1
1.2. LAMİNASYON TEKNİĞİ.....	5
1.2.1. Laminasyon Sisteminin Faydaları	7
1.2.2. Laminasyon Sisteminin Sakıncaları.....	8
1.2.3. Lamine Uygulamasında Ağaç Malzeme Seçimi	9
1.2.4. Laminasyonda Katların Düzenlenmesi.....	10
1.2.5. Laminasyonda Asgari Üretim Şartları	11
1.2.6. Lamine Ağaç Malzemelerin Bazı Kullanım Yerleri.....	12
1.3. AHSAP MALZEME ISI MÜNASEBETLERİ	13
1.3.1. Isı Yayılımı.....	13
1.3.1.1. Isı	13
1.3.1.2. Sıcaklık	13
1.3.1.3. Sistem	13
1.3.1.4. Süreklilik Eşitliği	14
1.3.1.5. Termik Durum Eşitliği.....	14
1.3.1.6. Sistemin iç Enerjisi	14

Sayfa

1.3.1.7. Özgül Isı	14
1.3.2. Ağaç Malzemenin Isı iletme Kabiliyeti.....	15
1.3.2.1. Ağaç Malzemede Isı iletme Katsayısının Bulunması.....	15
1.3.2.2. Özgül Ağırlık ile ilgili Olarak Tam Kuru Olanda Isı iletimindeki Değişmeler	16
1.3.2.3. Lif Yönü ile ilgili Olarak Ağaç Malzemede Isı iletme Kabiliyeti	17
1.4. MİKRODALGA FREKANSLARDA AĞAÇ MALZEMENİN DİELEKTRİK DAVRANIŞI.....	17
1.4.1. Dielektrik Parametreler.....	18
1.4.2. Ağaç Malzemenin Kutuplanması	18
1.4.3. Dielektrik Bakış Açısından Ağaç Malzemenin Yapısı.....	20
1.4.3.1. Hücre Çeperinin Dielektrik Özellikleri	20
1.4.3.2. Hava, Serbest Su ve Bağlı Suyun Dielektrik Özellikleri.....	23
1.4.4. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerinde Etkili Olan Faktörler	24
1.4.4.1. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Frekansın Etkisi.....	24
1.4.4.2. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Sıcaklığın Etkisi	24
1.4.4.3. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Rutubet Miktarının Etkisi	25
1.4.4.4. Ağaç Malzeme Lif Yönünün Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisi	26
BÖLÜM 2	28
MATERYAL VE METOD	28
2.1. MATERYAL.....	28
2.1.1. Ağaç Malzeme	28
2.1.1.1. Sarıçam (<i>Pinus sylvestris</i>)	28
2.1.1.2. Doğu Kayını (<i>Fagus orientalis L.</i>)	30
2.1.2. Laminasyonda Kullanılan Tutkallar	32
2.1.2.1. Üre Formaldehit Tutkalı	32
2.1.2.2. Fenol Formaldehit Tutkalı	33
2.1.2.3. Melamin Üre Formaldehit Tutkalı.....	34
2.2. YÖNTEM	35
2.2.1. Lamine Ağaç Malzemelerin Üretimi	35

	<u>Sayfa</u>
2.2.2. Lamine Katların Düzenlenmesi ve Presleme İşlemi	36
2.2.3. Test Örneklerinin Hazırlanması.....	36
2.2.4 Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi	38
2.2.5. Dielektrik Özelliklerin Belirlenmesi.....	39
2.2.5.1. Ölçüm Frekansları	39
2.2.5.2. Sıcaklık	40
2.2.5.3. Dielektrik Özellikleri Ölçüm Yöntemi ve Deneş Düzenegi.....	40
2.2.6. Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi.....	43
2.2.7. Denge Rutubet Miktarının Belirlenmesi	43
2.2.8. İstatistik Yöntemler	44
BÖLÜM 3	45
BULGULAR.....	45
3.1. Lamine Ağağ Malzemelerin Isı İletkenliği Değerlerine Ait Bulgular	45
3.1.1. Çam Lamine Ağağ Malzemelerin Isı İletkenliği Değerleri.....	48
3.1.2. Kayın Lamine Ağağ Malzemelerin Isı İletkenliği Değerleri	51
3.2. Lamine Ağağ Malzemelerin Dielektrik Özelliklerine Ait Bulgular.....	55
3.2.1. Dielektrik Sabiti.....	55
3.2.1.1. Çam Lamine Ağağ Malzemelerin Dielektrik Sabiti Değerleri	57
3.2.2. Kayın Lamine Ağağ Malzemelerin Dielektrik Sabiti Değerleri.....	61
3.3.1. Kayıp Faktörü	64
3.3.1.1. Çam Lamine Ağağ Malzemelerin Kayıp Faktörü Değerleri.....	66
3.3.2.1. Kayın Lamine Ağağ Malzemelerin Kayıp Faktörü Değerleri	70
3.3.1. Kayıp Tanjantı	73
3.3.1.1. Çam Lamine Ağağ Malzemelerin Kayıp Tanjantı Değerleri.....	76
3.3.2.1. Kayın Lamine Ağağ Malzemelerin Kayıp Tanjantı Değerleri	79
BÖLÜM 4	83
İRDELEME	83
4.1. Lamine Ağağ Malzemelerin Isı İletkenliği Değerlerinin İrdelenmesi	83
4.1.1. Çam Lamine Ağağ Malzemelerinin Isı iletkenliği Değerleri	83
4.1.2.Kayın Lamine Ağağ Malzemelerinin Isı İletkenliği Değerleri	85

Sayfa

4.2. Lamine Ağaç Malzemelerin Dielektrik Sabiti Değerlerinin İrdelenmesi	87
4.2.1.Çam Lamine Ağaç Malzemelerinin Dielektrik Sabiti Değerleri	87
4.2.2.Kayın Lamine Ağaç Malzemelerinin Dielektrik Sabiti Değerleri	89
4.3. Lamine Ağaç Malzemelerin Kayıp Faktörü Değerlerinin İrdelenmesi	91
4.3.1.Çam Lamine Ağaç Malzemelerinin Kayıp Faktörü Değerleri	92
4.3.2.Kayın Lamine Ağaç Malzemelerinin Kayıp Faktörü Değerleri	94
4.4. Lamine Ağaç Malzemelerin Kayıp Tanjantı Değerlerinin İrdelenmesi	96
4.4.1.Çam Lamine Ağaç Malzemelerinin Kayıp Tanjantı Değerleri	96
4.4.2.Kayın Lamine Ağaç Malzemelerinin Kayıp Tanjantı Değerleri	98
BÖLÜM 5	100
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	100
5.1.SONUÇLAR.....	100
5.2. ÖNERİLER.....	113
KAYNAKLAR.....	114
ÖZGEÇMİŞ.....	119

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1. 1. Lamine ağaç malzemenin genel görünüşü.....	7
Şekil 1.2. Laminasyonda katların düzenlenmesi.....	11
Şekil 1.3. LVL'nin I-kirişlerin kenar malzemesi olarak kullanılması.	12
Şekil 1.4. Dipollerin elektrik alan şiddetine göre yönlenmesi.	19
Şekil 1. 5. Selülozun formülü: A β -D glukoz ünitesi; B sellobioz.	22
Şekil 1.6. Selülozun moleküler bağları üzerine rutubet miktarının etkisi.....	26
Şekil 2.1. Lamine ağaç malzemelerin elektrik alan şiddetine ve ısı iletkenliğine göre pozisyonu.....	38
Şekil 2. 2. QTM-500 cihazı ile ısı iletkenlik katsayısı deneyi.	39
Şekil 2. 3. Dielektrik özellikleri ölçmede kullanılan deney düzeneği.....	40
Şekil 3. 1. FF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.....	50
Şekil 3.2. MUF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.....	50
Şekil 3. 3. ÜF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.....	51
Şekil 3. 4. FF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.....	53
Şekil 3. 5. MUF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.....	54
Şekil 3. 6. ÜF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.....	54
Şekil 3. 7. FF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.....	60
Şekil 3. 8. MUF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	60
Şekil 3. 9. ÜF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.....	60

Şekil 3. 10.	FF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	63
Şekil 3. 11.	MUF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	63
Şekil 3. 12.	ÜF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	64
Şekil 3. 13.	FF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	69
Şekil 3. 14.	MUF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	69
Şekil 3. 15.	ÜF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	69
Şekil 3. 16.	FF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	72
Şekil 3. 17.	MUF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	72
Şekil 3. 18.	ÜF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	73
Şekil 3. 19.	FF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	78
Şekil 3. 20.	MUF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	79
Şekil 3. 21.	ÜF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	79
Şekil 3. 22.	FF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	81
Şekil 3. 23.	MUF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	82
Şekil 3. 24.	ÜF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.	82
Şekil 4. 1.	Çam lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik değerinin rutubet miktarına göre değişimi... ..	84

Sayfa

Şekil 4. 2.	Kayın lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik değerinin rutubet miktarına göre değişimi.....	86
Şekil 4. 3.	Çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti değerinin rutubet miktarına göre değişimi.....	88
Şekil 4. 4.	Kayın lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti değerinin rutubet miktarına göre değişimi.....	90
Şekil 4. 5.	Çam lamine ağaç malzemenin kayıp faktörünün rutubet miktarına göre değişimi.	92
Şekil 4. 6.	Kayın lamine ağaç malzemenin kayıp faktörünün rutubet miktarına göre değişimi.	94
Şekil 4. 7.	Çam lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantının rutubet miktarına göre değişimi.	97
Şekil 4. 8.	Kayın lamine ağaç malzemenin kayıp tanjant değerinin rutubet miktarına göre değişimi.....	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.2. Mikrodalga frekanslarda suyun dielektrik özellikleri (Torgovnikov, 1993).	23
Çizelge 1.3. Deney örneklerinin bekletildiği bağıl nem ve sıcaklık şartları.	37
Çizelge 3.1. Lamine ağaç malzemelerin odun türüne, tutkal türüne ve rutubet miktarlarına göre yoğunluk, rutubet ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri.	45
Çizelge 3.2. Lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği değerleri üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.	46
Çizelge 3.3. Lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenliği üzerine rutubet miktarlarının etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.	47
Çizelge 3.4. Lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenliği üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.	47
Çizelge 3.5. Çam lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği değerleri üzerine rutubet şartları ve tutkal türünün etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları.	48
Çizelge 3.6. Çam lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği üzerine etkisi araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları. ..	49
Çizelge 3.7. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre ısı iletkenlik katsayısı (λ) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\lambda=a+br$].	49
Çizelge 3.8. Kayın lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği değerleri üzerine rutubet miktarlarının ve tutkal türünün etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.	51

Sayfa

Çizelge 3.9. Kayın lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği üzerine etkisi araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları. ..	52
Çizelge 3.10. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre ısı iletkenlik katsayısı (λ) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\lambda=a+br$].	53
Çizelge.3.11. Lamine ağaç malzemelerin odun türüne, tutkal türüne ve rutubet miktarlarına göre yoğunluk, rutubet ve dielektrik sabiti değerleri.....	55
Çizelge 3.12. Lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.	56
Çizelge 3.13. Lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti üzerine rutubet miktarlarının etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.	56
Çizelge 3.14. Lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.....	57
Çizelge 3.15. Çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti değerleri üzerine rutubet miktarlarının ve tutkal türlerinin etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları	58
Çizelge 3.16. Çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti üzerine etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları.	58
Çizelge 3.17. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre dielektrik sabiti (ϵ) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon = a+br$].	59
Çizelge 3.18. Kayın lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti değerleri üzerine rutubet miktarlarının ve tutkal türünün etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.	61
Çizelge 3.19. Kayın lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları. ..	62

Sayfa

Çizelge 3.20. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre dielektrik sabiti (ϵ) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon = a+b.r$].	63
Çizelge.3.21. Lamine ağaç malzemelerin odun türüne, tutkal türüne ve rutubet miktarlarına göre yoğunluk, rutubet ve kayıp faktör değerleri.	64
Çizelge 3.22. Lamine ağaç malzemenin kayıp faktör değerleri üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.	65
Çizelge 3.23. Lamine ağaç malzemelerin kayıp faktör üzerine rutubet miktarlarının etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.....	65
Çizelge 3.24. Lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.....	66
Çizelge 3.25. Çam lamine ağaç malzemenin kayıp faktör değerleri üzerine rutubet miktarlarının ve tutkal türlerinin etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları	67
Çizelge 3.26. Çam lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü üzerine tüm faktörlerin etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları.	67
Çizelge 3.27. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre kayıp faktörü (ϵ^1) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon^1 = a+b.r$].....	68
Çizelge 3.28. Kayın lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü değerleri üzerine rutubet miktarlarının ve tutkal türünün etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.	70
Çizelge 3.29. Kayın lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü üzerine tüm faktörlerin etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları.	70
Çizelge 3.30. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre kayıp faktörü (ϵ^1) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon^1 = a+b.r$].....	71

Sayfa

- Çizelge.3.31. Lamine ağaç malzemelerin odun türüne, tutkal türüne ve rutubet miktarlarına göre yoğunluk rutubet ve kayıp tanjant değerleri..... 74
- Çizelge 3.32. Lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı değerleri üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları. 74
- Çizelge 3.33. Lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı üzerine rutubet miktarlarının etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları..... 75
- Çizelge 3.34. Lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları..... 75
- Çizelge 3.35. Çam lamine ağaç malzemenin kayıp tanjant değerleri üzerine rutubet miktarlarının tutkal türlerinin etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları. 76
- Çizelge 3.36. Çam lamine ağaç malzemenin kayıp tanjant üzerine tüm faktörlerin etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları. 77
- Çizelge 3.37. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre kayıp tanjantı ($\tan \delta$) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\tan \delta = a+b_1r$]. 77
- Çizelge 3.38. Kayın lamine ağaç malzemenin kayıp tanjant değerleri üzerine rutubet miktarlarının ve tutkal türünün etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları. 79
- Çizelge 3.39. Kayın lamine ağaç malzemenin kayıp tanjant üzerine tüm faktörlerin etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları. 80
- Çizelge 3.40. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre kayıp tanjantı ($\tan \delta$) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\tan \delta = a+b_1r$]. 81

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

δr	: Hava kurusu yoğunluk
M_r	: Hava kurusu ağırlık
V_r	: Hava kurusu hacim
r	: Rutubet miktarı
M_r	: % r rutubetteki ağırlık
M_o	: Tam kuru ağırlık
d_{1min}	: Sonu kısa devre edilmiş boruda gerilim minimumu
d_{2min}	: Malzeme varken ölçülen gerilim minimumu (hat sonu kısa devre iken)
t	: Malzemenin kalınlığı
β	: İçi hava dolu borunun faz sabiti
β_d	: Malzeme varken faz sabiti
λ_c	: Kesim dalga boyu
λ_0	: Boşlukta ilerleyen dalganın dalga boyu
λ_b	: Boru içinde ilerleyen dalganın dalga boyu
S	: Duran dalga oranı
W	: Watt
mK	: Metre Kelvin

KISALTMALAR

ÜF	: Urea Formaldehyde (Üre Formaldehit)
MUF	: Melamine Urea Formaldehyde (Melamin Üre Formaldehit)
FF	: Phenol Formaldehyde (Fenol Formaldehit)
LVL	: Laminated Veneer Lumber (Lamine Ağaç Malzeme)

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

1.1. GİRİŞ

Lamine ağaç malzemeler genelde yapısal ya da yapısal olmayan konstrüksiyon amaçları ile kullanılmakta ve mobilya endüstrisinde ve yapı sektöründe vazgeçilmez malzemeler olarak karşımıza çıkmaktadır. İnce lamine ağaç malzemeler mikrodalga frekanslarda sıcak preslenerek kavisli lamine mobilya elemanları üretiminde kullanılmaktadır. Lamine ağaç malzemelerin yapıda kolon ve kiriş olarak kullanımı yaygındır. Ayrıca çatıların kaplanmasında, kapı ve pencere çerçevelerinin üretiminde, kamyon, gemi ve vagon döşemelerinde, onarım ve restorasyon çalışmalarında da değerlendirilmektedir.

Mikrodalga enerjisi kullanılan işlemlerde materyallerin dielektrik özellikleriyle ilgili verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda, odun ve odun kökenli malzemelerin ısıtılması, kurutulması, tutkallaması ve ürün kalitesinin geliştirilmesi işlemlerinde mikrodalga teknolojisinin kullanımında önemli artış görülmüştür. Ayrıca odun ve odun kökenli malzemelerin yoğunluklarının, rutubetlerinin ve kusurlarının, üretim hatlarında malzemeye zarar vermeden teşhisinde de mikrodalgalar yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda söz konusu malzemelerin mikrodalga frekanslardaki dielektrik özelliklerinin bilinmesi anlam kazanmaktadır (Şahin, 2002).

Mikrodalga teknolojisinin kullanıldığı üretim hatlarında ilgilenilen malzemenin dielektrik özelliklerinin bilinmesi ile hızlı bir şekilde kalite belirleyebilmektedir. Elde edilen ürünün rutubeti, yoğunluğu, kalitesi hakkında bilgilere hızlı bir şekilde ulaşılmaktadır. Ayrıca odun kökenli malzemelerin rutubetlerini belirlemede kullanılan mikrodalga frekanslarda çalışan cihazların tasarımında doğru sonuçlara

ulaşabilmek için ilgilenilen malzemenin dielektrik özellikleri ile ilgili veriler kullanılmaktadır (Şahin and Ay, 2004).

Ağaç malzemeye zarar vermeden test edilmesini sağlayan yeni bir yöntem olarak mikrodalga yöntemi, yoğunluk ve rutubet miktarının (Schajer and Orhan 2006, Vallejos and Grote 2009) belirlenmesinde artan bir şekilde kullanılmakta ve yöntemin iyileştirilmesine yönelik araştırmalar yoğun ilgi görmektedir (Leicester ve Seath 1996,A-Maattarneh et al. 2004). Malzemedan geçen mikrodalga radyasyonun zayıflama ölçümleri, odun yapısına zarar vermeden odun özelliklerini belirleyen test metotlarının temel prensibini oluşturmaktadır. Ağaç malzemenin kalitesinin, rutubetinin vb. belirlenmesinde kullanılan mikrodalga sensörlerin çalışma prensibi bu zayıflama miktarına, yani malzemenin dielektrik özelliklerine dayanmaktadır (Lundgren 2007). Bu tip sensörler endüstride materyal kalite kontrolünde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Schajer and Orhan 2005, Lundgren 2007).

Bir malzemenin ısı iletkenliği katsayısının bilinmesi, ısıya maruz kaldığında malzemedeki ısı transferini tahmin etmede önemli rol oynar. Odun kompozit malzemelerin, gerek üretimleri sırasında sıcak presleme esnasında ve gerekse yapılarda ısı yalıtımları bakımından performanslarının değerlendirilmesi açısından, ısı iletkenlik katsayılarının bilinmesi önem arz etmektedir. Malzemedeki ısı transferinin bilinmesi bu proseslerin güvenilir bir şekilde yürütülebilmesi veya prosesler esnasında karşılaşılan problemlerin çözümünde rehber ve anahtar verileri oluşturması açısından anlamlıdır (Zhou et al, 2013).

Dünyada orman kaynaklarının her geçen gün azalması ve maliyetlerin artması nedeniyle orman ürünlerinin değeri de artmaktadır. Orman ürünlerine olan talebin karşılanabilmesinde kesilen ağaçların en verimli şekilde kullanılması önemli bir etkidir. Lamine ağaç malzeme yapı sektöründe ticari olarak kullanılan en eski ahşap malzemedir. Ahşabın yapılarda taşıyıcı malzeme olarak kullanılması 19. yy başlarıdır. Endüstri devriminden sonra malzeme teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak mimari anlayış belirli ölçüde özgürlük kazanmıştır. Gelişen ekonominin ve tekniklerin etkisiyle doğal ahşap yeniden yorumlanarak, ahşaptan kompozit malzemeler elde edilmeye başlanmış, kullanım alanı genişlemiş ve

esneklik kazanmıştır. II. Dünya savaşı ve onu izleyen yıllarda sanayi kollarında geliştirilmiş olan tutkal çeşitleri ile birlikte “tutkallı lamine konstrüksiyonlar” ortaya çıkmış ve bu da mimaride ahşap kullanımına farklı boyutlar getirmiştir (Kurt, 2006).

Son yıllarda, lamine teknolojisindeki gelişmeler lamine ağaç malzeme ile kereste malzeme karşılaştırıldığında, lamine ağaç malzeme, keresteden daha geniş ebatlarda ve daha kusursuz malzeme olarak ön plana çıkmaktadır. Büyük boyutlu taşıyıcı elemanların üretiminde, tek parça masif ağaç malzeme kullanılması imkânları sınırlıdır (Bozkurt ve Göker, 1987; Peterson et al, 1981). Çünkü ağaç malzemede bulunan budak, çürük, çatlak, lif kıvrıklığı (spiral liflilik) vb. kusurların tamamen giderilmesi mümkün görülmemektedir. Kavisli elemanların üretiminde masif ağaç malzemenin tek parça olarak kullanılması fire oranını artırdığından ekonomik değildir. Ayrıca, eğri forma göre kesilen ağaç malzemede diyagonal liflilik oluşacağından direncini olumsuz etkiler. Bu maksatla ağaç malzemenin kusurlarından arındırılması ve eğri formlu imalatlarda diyagonal liflilik oluşmaması için laminasyon tekniği kullanılmaktadır (Ulupınar vd. 1999).

Laminasyonda; farklı ağaç türü, değişken kat sayısı, farklı boyut, şekil ve kat kalınlıkları uygulanabilmektedir. Lamine ağaç malzemeler kullanılan kat kalınlıklarına göre farklı adlandırılmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan büyük boyutlu lamine masif ağaç malzeme (kiriş, kolon vb.) üretiminde 25,4 – 50,8 mm kalınlıklarda malzeme kullanılmakta ve tutkallı kiriş Glued Laminated Timber: GLULAM adı verilmektedir. Mobilya üretiminde kullanılan küçük boyutlu masif lamine elemanların üretiminde ise maksimum 3,2 mm katman kalınlığında ağaç kaplama kullanılmakta ve bu gibi lamine malzemeler Laminated Veneer Lumber: LVL ya da Microlam olarak adlandırılmaktadır (Steven and Turner, 2007).

Lamine ağaç malzemenin bir diğer önemli avantajı ise, çok çeşitli kesitlerde kullanılabilmesidir. Lif yönü, tutkal tipi, ağacın yoğunluğu ve lamine kalınlığı gibi üretim parametreleri ve hammaddelerin çeşitliliği, lamine oluşturulmasında ve son ürünün kalitesinde önemli bir rol oynar (Kurt, 2006).

Lamine ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerinin çalışılmasının önemini şu şekilde açıklayabiliriz. Birincisi, lamine ağaç malzemeler yapılar için artık vazgeçilmez malzemelerdir. Ayrıca, mikrodalgalar lamine ağaç malzemelerin üretimleri aşamalarında da kullanılmaktadır. Bu malzemelerin dielektrik özellikleri, gerek yapılarda kullanımları, gerekse üretimleri esnasında kalınlığın, rutubet miktarının, yoğunluk değerlerinin, yüzey pürüzlülüğünün kontrolü gibi kalite kontrol işlemlerinde veya karşılaşılan problemlerin çözümünde rehber ve anahtar verileri oluşturmaktadır (Şahin, 2002).

Masif ağaç malzemenin dielektrik özellikleri birçok çalışmaya konu olmuştur. Ancak lamine ağaç malzeme onu oluşturan ana ağaç malzemenin özelliklerinden farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Çünkü lamine ağaç malzemelerin üretimlerinde arzulanan sonuç özelliklerine göre farklı ağaç türleri ve tutkallar kullanılmaktadır (Şahin Kol and Altun, 2009). Tüm bu değişkenler kompozit ürünün özelliklerini onu oluşturan bireylerin kendilerine has özelliklerinden farklı kılmaktadır. Tüm bu faktörler dikkate alındığında, lamine ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerini kapsayan verilerin ağaç türü, tutkal vb. faktörler açısından değerlendirildiği çalışmaların önemi ortaya çıkmaktadır. Kompozit bir malzemede dielektrik özellikler, malzemeyi oluşturan bireysel bileşenlerin dielektrik özellikleri ve onların kompozitin birim hacmindeki nispi miktarlarından etkilenmektedir. Ayrıca malzeme ile olan etkileşimi de dielektrik özellikleri etkilemektedir (Şahin, 2002).

Bu çalışmada Kayın (*Fagus Orientalis*) ve Sarıçam (*Pinus Sylvestris*) odun türlerinden üre formaldehit, fenol formaldehit ve melamin üre formaldehit tutkalları kullanılarak üretilmiş lamine ağaç malzemelerin 9.8 GHz ISM (Industrial Scientific Medical) frekansındaki dielektrik özellikleri belirlenmiştir. Bu frekansın seçilmesinin nedeni oduna dayalı ürünlerin mikrodalga işlemlerinde ve ayrıca cihazların tasarımında kullanılmasına izin verilen ve en yaygın olarak kullanılan frekanslardan biri olmasıdır.

Bir diğer amaç ise farklı tutkallar kullanılarak yapıştırılmış lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesidir. Lamine ağaç malzemelerin hem sıcak presleme esnasında hem de yapılarda ısı yalıtımları bakımından

performanslarının değerlendirilmesi açısından ısı iletkenlik değerlerinin bilinmesi önemlidir.

Ağaç malzemenin dielektrik özellikleri ve ısı iletkenliği, odun türü, lif yönü, rutubet ve yoğunluk gibi faktörlerden etkilenmektedir. Masif ağaç malzemelerin dielektrik ve ısı iletkenliklerinin bu faktörlere göre değişimleri yoğun Şekilde çalışmalara konu olmuştur (şahin Kol, 2009; şahin and Ay, 2004). Ayrıca, odun kompozit malzemelerin dielektrik özellikleri ve ısı iletkenlik katsayılarıyla ilgili sınırlı sayıda çalışmalar da bulunmaktadır (Gören, 2013; şahin Kol ve Altun, 2009; Zhou vd., 2013; Wee vd, 2009; Nornikman vd, 2009). Zhou et al (2013) ve Nornikman vd (2009) orta yoğunlukta lif levhaların dielektrik ve ısı iletkenliği özelliklerini incelemişlerdir. Wee et al(2009) fenol formaldehit ve üre formaldehitte üretilmiş odun kompozitlerinin dielektrik özelliklerini incelemişlerdir. Gören (2013), lamine ağaç malzemelerin hava kurusu haldeki dielektrik özelliklerini incelemiştir. şahin Kol ve Altun (2009) farklı emprenye maddeleriyle emprenye edilmiş lamine ağaç malzemelerin hava kurusu haldeki ısı iletkenlik katsayılarını incelemiştir. Bu çalışmalarda odun kompozit malzemelerinin dielektrik özelliklerin masif ağaç malzemedan farklı olduğu ve kompozit ağaç malzemelerin tutkal türüne göre de özelliklerinin farklılık gösterdiği belirtilmektedir. Ancak lamine ağaç malzemelerin değişik rutubet miktarlarında dielektrik ve ısı iletkenlik özellikleriyle ilgili çalışmalara tarafımızdan rastlanamamıştır.

1.2. LAMİNASYON TEKNİğİ

Laminasyon tekniği dünyada ilk olarak 1893 yılında İsviçre’de kilise direklerinde uygulanmıştır. Daha sonra ABD’de Forest Product Laboratory (F.P.L) tarafından inşaat sektöründe denenmiştir. Takip eden yıllarda Avrupa’da lise inşaatlarında, spor salonlarında, yüzme havuzlarında, fabrika binalarında, hangarlarda ve çiftliklerde ahır yapımında kullanılmıştır. Lamine elemanlarla yapılan kemerli taşıyıcılarda 150 m’yi aşan, düz taşıyıcı elemanlarda 40 m’deki açıklıklar başarı ile uygulanabilmektedir. Günümüzde yapılan uygulamalarda büyük toplantı salonları ve spor salonlarında 250 m’e kadar açıklık geçme olanağı elde edilmiştir (Okçu, 2006).

Laminasyon teknikleri II. Dünya savaşı sırasında sentetik tutkalların geliştirilmesiyle yüksek direnç gerektiren köprü, kule ve liman inşaatı yapımında uygulama alanı bulmuş ve bu alanda hızlı bir gelişme göstermiştir. Polimer tutkalların kullanılması ile dış hava miktarlarına dayanıklı ve yüksek dirençli lamine masif ağaç malzeme üretmek mümkün olmuştur.

Küçük boyutlu laminasyon uygulamaları ilk olarak kontrplak üretiminde uygulanmıştır. Daha sonra spor malzemeleri (tenis raketi, golf sopası, kayak takımı) üretiminde kullanılmıştır. Kuzey Avrupa ülkelerinde 1960'lı yılların sonlarına doğru mobilya üretimine başlanmış, 1975'ten sonra özellikle form mobilya üretiminde yoğun şekilde uygulanmıştır (Ulupınar, 1998).

Ağaç işleri endüstrisinde gitgide daha yaygın kullanım alanı bulan lamine masif ağaç malzeme; TS EN 386'a göre; odun laminelerinin liflere paralel yönde birbirine yapıştırılmasıyla elde edilen yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır (TS EN 386, 2006).

Kontrplak ve kontratabla gibi tabakalı ağaç malzemeler lifleri birbirine dik olacak şekilde yapıştırılarak üretilen malzemelerdir. Ancak bu tip malzemelerin eğme veya bükme mobilyalarda kullanılması zordur. Bu tür kullanım yeri için lifleri birbirine paralel olacak şekilde üst üste preslenen tabakalı malzemeler uygundur (Çolakoğlu, 2001).

Ahşap lamine elemanlar iki veya daha fazla katın tutkallanarak ve katların lif yönleri birbirine paralel ya da dik gelecek şekilde birleştirilmesi ile elde edilir. Lif yönlerinin paralel gelecek şekilde düzenlenmesi daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğer, üretilen ahşap lamine eleman kavisli ise katların lif yönlerinin paralel olarak uygulanması zorunluluğu vardır (Şenay, 1996).

Laminasyonda; farklı ağaç türü, değişken kat sayısı, farklı boyut, şekil ve kat kalınlıkları uygulanabilmektedir. Lamine ağaç malzemeler kullanılan kat kalınlıklarına göre farklı adlandırılmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan büyük boyutlu lamine masif ağaç malzeme (kiriş, kolon vb.) üretiminde 25,4 – 50,8 mm

kalınlıklarda malzeme kullanılmakta ve tutkallı kiriş Glued Laminated Timber: GLULAM adı verilmektedir. Mobilya üretiminde kullanılan küçük boyutlu masif lamine elemanların üretiminde ise maksimum 3,2 mm katman kalınlığında ağaç kaplama kullanılmakta ve bu gibi lamine malzemeler Laminated Veneer Lumber: LVL ya da Microlam olarak adlandırılmaktadır (Steven and Turner, 1974). Şekil 1.1'te lamine ağaç malzemelerin genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 1. 1. Lamine ağaç malzemenin genel görünüşü.

1.2.1. Laminasyon Sisteminin Faydaları

Laminasyon sisteminin faydaları Şenay (1996) göre aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Gerek mimaride gerekse iç dekorasyonda istenilen stilde ve sınırsız formlarda çalışma olanağı sağlanmaktadır.
- 2) Elemanın yapısal bütünlüğünü bozmadan daha az dirençli laminasyonlar için düşük dirençli ağaç malzeme kullanımına imkân sağlamaktadır.
- 3) İnce parçalar halinde biçilen ağaç malzeme imalata girmeden önce doğal yöntemlerle kolay ve ekonomik olarak kurutulabilmektedir. Oysa büyük

boyutlu ağaç malzeme doğal olarak kısa sürede kurutulamamakta ve ek bir kurutma maliyeti getirmektedir.

- 4) Yapısal elemanların tasarımında yüke bağlı olarak kesit alanında farklı kesitlerde çalışma imkânı sağlar. Örneğin; kavisli elemanlarda yükün geldiği yerde (kritik kesitte) daha büyük boyut uygulanabilmektedir.
- 5) Aynı ahşap lamine eleman üzerindeki lamine katlarda farklı kalınlık ve renkte ağaç malzemenin kullanılmasına imkân sağladığından daha fazla estetik oluşum meydana getirmek mümkündür.
- 6) En ve boy birleştirme yöntemlerinin uygulanması ile çok küçük boyutlardaki (min. 20 cm) ağaç malzeme kullanımına imkân sağladığından fire oranı azalmaktadır. Ayrıca ağaç malzeme bünyesindeki kusurlarından (budak, çatlak, lif kıvrıklığı, reaksiyon odunu, çürüklük) arındırılarak kullanılmasına imkân sağlamaktadır.
- 7) Masif ahşaptan üretilecek elemanların boyutları sınırlıdır. Oysa laminasyon sistemi ile daha büyük boyutlu ürünler elde etmek mümkündür
- 8) Lamine edilmiş ağaç malzeme aynı cins ağaç malzemeye göre daha az çalışmaktadır. Buna neden olarak laminasyon da ağaç malzemenin katları arasında uygulanan tutkalin su itici özelliği gösterilebilir. Bunun sonucu olarak lamine edilmiş ağaç malzeme aynı cins masif ağaç malzemeye nazaran boyutsal bakımdan daha stabildir.

1.2.2. Laminasyon Sisteminin Sakıncaları

Laminasyon sisteminin sakıncaları Şenay (1996) göre aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Ahşabın tutkallanmaya hazırlanması ve tutkallaması son ürün üzerinde ek bir işçilik maliyeti getirmektedir. Fakat aynı boyutlardaki mono blok bir malzemeye göre bu kabul edilebilir bir durumdur.

- 2) Büyük boyutlu kavisli taşıyıcı elemanların nakliyesi sırasında büyük güçlüklerle karşılaşmaktadır
- 3) Laminasyon imalatı için fabrika binasının özel planda yapılması, özel ekipmanlar gerektirmesi ve kalifiye işçiye olan ihtiyacın fazla olması da dezavantaj olmaktadır.
- 4) Lamine edilecek ağaç malzemenin belirli sonuç rutubete kadar kurutulması gerektiğinden kuruma tesisi ve ek bir işçilik maliyeti gerekmektedir.
- 5) Lamine ürünün direnci, en boy birleştirmede ve yapıştırımda kullanılan tutkalın kalitesine de bağlıdır. Yüksek dayanımlı tutkalların fiyatlarının fazla olması da ek bir maliyet getirmektedir.
- 6) Yüksek kaliteli lamine elemanın üretilmesi imalatın bütün aşamalarında yapılan operasyonların özenle ve dikkatli bir şekilde yapılmasıyla mümkün olmaktadır.

1.2.3. Lamine Uygulamasında Ağaç Malzeme Seçimi

Lamine taşıyıcı elemanlarda yüksek mekanik direnç aranılan bir özelliktir. Ahşap lamine elemanın direnci büyük oranda masif ahşap ya da kaplamaların elde edildiği odunun özelliklerine bağlıdır (Kurt, 2006).

Bünyesinde değişik kusurlar (lif kıvrıklığı, çatlak, budak, kurt yeniği, mantar, vb.) içeren odundan elde edilen masif ahşap ve kaplamalardan üretilen ahşap lamine elemanın direnç özelliklerine kusurun derecesine göre az ya da çok azalma olmaktadır. Bunu önlemek için kusurlarından temizlenmiş ağaç malzemenin kullanılması tavsiye edilmektedir (Çolakoğlu, 2001).

Bükülebilme özelliği özellikle kavisli elemanlarda aranan bir özelliktir. Genel olarak ağaç türlerinin bükülme özellikleri farklı olup, sert odunlu yapraklı ağaçlar iğne

yapraklılara göre daha iyi bükülebilme özelliğine sahiptir. Çünkü iğne yapraklı ağaçların yaz odunu halkalarında mekanik özellikler ani bir şekilde değişmekte, bundan dolayı, özgül ağırlığın fazla oluşu bükme için sorun teşkil etmektedir (Berkel, 1963). Ayrıca, yapraklı ağaçlar iğne yapraklı ağaçlara göre daha az lignin ihtiva etmekte, lignin yapısı iğne yapraklı ağaç ligninine göre daha termo – plastik özellik göstermektedir (Çolakoğlu, 2001).

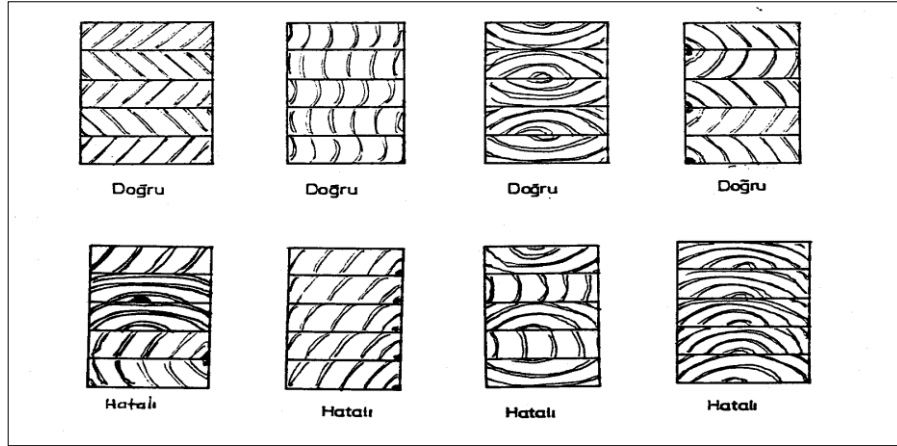
Yapıştırılan ağaç malzemelerdeki rutubet farkları % 5'i aşmamalıdır. Eğer yapıştırılmış tabakalar arasında fazla rutubet farkı varsa tutkallama ve kullanım yeri rutubetinin değişmesi ile eşit olmayan rutubet azalmaları ortaya çıkmakta, bu nedenle oluşan gerilmeler liflere dik yöndeki çekme direncini aştığında çatlamlar meydana gelmektedir (Kurtoğlu, 1979).

Üretimin aksamaması ve alış maliyetinin düşük olması bakımından seçilecek ağaç türü kolayca ve bol miktarda temin edilebilir olması gerekmektedir.

1.2.4. Laminasyonda Katların Düzenlenmesi

Lamine edilmiş elemanın boyutlarında şekilsel bozuklukların meydana gelmemesi için lamine katların düzenlenmesinde, yıllık halkaların konumuna dikkat edilmelidir. Bunun sebebi ağaç malzemenin yıllık halkalara teğet ve radyal yönlerde farklı çalışmasıdır. Çeşitli ağaç türlerinde teğet yöndeki çalışma yüzdesi tam yaş halden tam kuru hale gelinceye kadar % 3,5 – 15 arasında bulunmaktadır. Radyal yönde ise % 2,4 – 11 arasında ve boyuna yönde de % 0,1 – 0,9 arasında bulunmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1987).

Ağaç malzemenin bünyesinde bulunan suyun kurutma anında ortama verilmesi veya bulunduğu ortamdaki havadan bünyesine rutubet alması ile boyutsal şekil değişimine uğrayacak bu da lamine edilmiş ağaç malzemedeki iç gerilmelere neden olacaktır. Eğer lamine katların düzenlenmesinde bu iç gerilmeleri dengeleyecek şekilde kat düzenlenmesi yapılmaz ise bitmiş üründe düzeltilmesi imkânsız olan şekil bozulmaları ve çatlamlar meydana gelecektir (Çolakoğlu, 2001). Laminasyonda katların yıllık halka durumuna göre düzenlenmesi Şekil 1.2'de gösterilmiştir (Köse, 2008).



Şekil 1.2. Laminasyonda katların düzenlenmesi.

1.2.5. Laminasyonda Asgari Üretim Şartları

TS EN 386'ya göre, lamine elemanların üretildiği ortamın sıcaklığı en az 15° C ve bağıl nemi ise % 40 – 75 arasında olmalıdır (TS EN 386, 2006).

En ve boy birleştirme uygulanmış parçaların ek yerleri, birbirlerini takip eden katlarda üst üste gelmemeli ve mümkün olduğunca şaşırtmalı olarak düzenlenmelidir (Kurt. 2006).

Yapıştırıcı üreticisinin tavsiyelerine uygun olarak, yapıştırıcı dengeli ve yeterli miktarda sürülmelidir. Bu miktar kullanılan yapıştırıcının özelliklerine göre 180 – 350 g/m² arasında değişmektedir. Sıkıştırma üniform ve emniyetli olarak yayacak şekilde yapışma hattı üzerinde uygulanmalıdır. Pres basıncı, kullanılan yapıştırıcı ve ağaç türüne göre 0,6 – 1,2 N/mm² arasında değişmektedir (TS EN 386, 2006).

Odunda, irsel ve çevresel etkenlerin neden olduğu lif kıvrıklığı, lamine ağaç malzemenin direnç değerini önemli ölçüde azaltır. Basınç yüküne maruz kalan kolonlarda, lif açısının uygulanan kuvvet yönünden sapma derecesi arttıkça direnci azalmaktadır. Lif açısının 45o lik açıya kadar artması ile eğilme direncinde kuvvetli bir düşüş görülmektedir (Berkel, 1970).

Taze kesilmiş ağaç sıcak ve rutubetli ortamda kaldığında ve tomruktan elde edilen keresteler arasında lata konulmadan istif edildiğinde, diri odun kısmında odunun derinliklerine nüfuz eden mavileşme meydana gelmektedir. Mavileşme, şok direncini % 25'e varan oranda azaltmakta, diğer mekanik özelliklerde ise önemli bir değişmeye neden olmamaktadır (Köse, 2008).

1.2.6. Lamine Ağaç Malzemelerin Bazı Kullanım Yerleri

Uygulama alanları kıtalar ve ülkelere göre değişmektedir. LVL'ler genelde yapısal ya da yapısal olmayan konstrüksiyon amaçları ile kullanılmaktadır. Ancak Türkiye'de bu tür kullanım alanı şimdilik yaygın değildir. Kuzey Amerika'da en genel uygulaması prefabrik I-kirişlerin kenar malzemesi olarak değerlendirilmesidir (Şekil 1.3). Bir kısmı da bina konstrüksiyonlarında direk olarak kullanılmaktadır. Çok az kısmı da yapı iskelesi kalası ve değişik formlarda beton kalıbı olarak üretilmektedir. Ayrıca bir fabrikada lamine kâğıtlarla kaplanmış şekliyle Clear Lam ticari adıyla üretilmektedir (Çolakoğlu, 2001).



Şekil 1.3. LVL'nin I-kirişlerin kenar malzemesi olarak kullanılması.

Avrupa'da LVL'nin direk ve kiriş olarak kullanımı yaygındır. Finlandiya da geniş I-kirişleri de üretilmektedir. Almanya'da çok büyük mühendislik malzemeleri olarak yapılarda kullanılmaktadır. Ayrıca aynı ülkede onarım ve yenileme çalışmalarında da

değerlendirilmektedir. Orta Avrupa’da özellikle İsviçre’de çatıların kaplanması kullanılırken, Fransa’da ise kapı çerçevelerinde değerlendirilmektedir. ABD ve Avrupa’da bazı köprülerde LVL plakalarında kullanılmaktadır. Üretilen LVL’nin az bir kısmı da mobilya endüstrisi ile kapı ve pencere çerçevelerinin üretiminde değerlendirilmektedir. Kamyon, gemi ve vagon döşemeleri içinde kullanılmaktadır (www.lesliestructuralsales.com, 2008).

1.3. AHSAP MALZEME ISI MÜNASEBETLERİ

1.3.1. Isı Yayılmı

1.3.1.1. Isı

Hareket özelliğine sahip bir enerji türü olup depolanabilir. Sıcaklığı yüksek bir ortamdan sıcaklığı düşük olan bir ortama doğru hareket eder. Sistem sınırından içeri giren ısı, bundan sonra iç enerji olarak kabul edilir. Sistemi terk eden iç enerji ise ısı olarak göz önünde bulundurulur.

1.3.1.2. Sıcaklık

Depolanamayan transfer edilemeyen ve termometre ile ölçülen durum büyüklüğüdür. Sıcaklık farkı, ifade ettiği birimden etkilenmeksizin hep “grd” ile gösterilir.

1.3.1.3. Sistem

Bir sınırla çevresinden ayrılmış ortamdır. Sistem sınırı sabit ve hareketli olabilir. Çevresiyle madde alış verisinde bulunan açık, çevresiyle madde alış verisi bulunmayan sistem kapalı sistemdir.

- 1) Stasyonery akışı: Zaman faktörü kütle akısını ve durum büyüklüğünü etkilemez. Kütle olarak sürekli meydana geldiği akışkanın bir kesitteki hızı zamanla değişmez. Bu yerel büyüklüklerin değişmediği akış olarak da ifade edilir.

- 2) Enstasyoner akış: Sistemin herhangi bir kesitindeki durum büyüklükleri zamana bağlı olarak değişirler. Bunun sonucu olarak sistemin herhangi bir kesitinden geçen akışkan (akışkan debisi) zamanın fonksiyonu olarak değişir.

1.3.1.4. Süreklilik Eşitliği

Akış debisi, hızı ve bu hızın geçerli olduğu akış kesiti ile, bu kesitteki akışkan yoğunluğu arasındaki bağıntıdır.

1.3.1.5. Termik Durum Eşitliği

Bir ortamda sıcaklığı birbirinden farklı cisimler bulunuyorsa yeterli bir zaman aralığı sonunda, meydana gelen ısı alışverişi ile cisimlerin sıcaklıkları aynı olur. Termik dengeyi ifade etmek için kullanılan termik durum eşitliği, termodinamik koordinatlar olarak isimlendirilen; özgül hacim (v), sıcaklık(\pm) ve basınç (p) arasında değişmeyen bir bağıntı verir.

1.3.1.6. Sistemin iç Enerjisi

Sistem sınırları içerisinde depolanan enerjidir. Teknikte $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki iç enerjinin 0 olduğu kabul edilir. Sistem sınırında sistemi terk eden enerjinin işareti (-), sisteme giren enerjinin işareti (+) olur.

1.3.1.7. Özgül Isı

Akışkanın bir kg' ını 1°C ısıtmak için sarf edilen ısıya akışkanın özgül ısısı denir. İki çeşit özgül ısı vardır.

- 1) Sabit hacimdeki özgül ısı (c_v) : $1\text{ }^{\circ}\text{C}'$ lik ısıtma işlemi sırasında akışkanın hacmi sabit tutularak sarf edilen ısı miktarıdır.
- 2) Sabit basınçtaki özgül ısı (c_p) : Sabit basınç altında 1°C ısıtılan sistemin $1\text{ kg}'$ ına verilecek ısı miktarıdır.

1.3.2. Ağaç Malzemenin Isı İletme Kabiliyeti

Bir sisteme lokal olarak herhangi bir ısı tatbik edildiğinde cismin o kısmındaki moleküllerde titreşim enerjisi yükselir. Bu moleküller civarındaki moleküllere çarparak yeni kazanılan enerjiyi çarptığı moleküllere iletir. Bu komşu moleküllerde daha sonra kazandıkları enerjinin bir kısmını daha uzaktaki moleküllere iletirler. Şayet yukarıda belirtilen ısı kuvveti daha sonra kesilir ve dışarıya herhangi bir ısı kaybına müsaade edilmezse sonunda sistem daha yüksek ve yeknesak seviyede daimi bir sıcaklık durumunu elde edecektir. Aynı sisteme yeknesak bir hız ile ısı verilmesine devam edilir ve hiç bir ısı kaybına müsaade edilmezse bir sıcaklık akışı teşekkül eder (Bozkurt, 1971).

Diğer taraftan devamlı olarak tatbik edilen bu ısının bir kısmı kaybolursa zamanla öyle bir duruma ulaşır ki bu durumda kazanılan ısı kaybedilen ısıya eşit olup, bu hale devamlı (Steady state) adı verilmektedir.

İki yüzey arasındaki sıcaklık farkı $dt = t_2 - t_1$, kalınlığı e , yüzey alanı A olan ağaç malzemenin z zamanında geçen ısı miktarı (Q); dt , A , z ve ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı (λ) ile doğru orantılı, kalınlık (e) ile ters orantılıdır. Buna göre; $Q = \lambda [(A.z.dt)/e]$ yazılabilir. Buradan malzemenin ısı iletkenliği katsayısı için;

$$\lambda = \frac{Q.e}{A.z.d_t} = (\text{Kcal/mh}^\circ\text{C}) \quad (1.1)$$

eşitliği elde edilir. Bir cismin içindeki boşluk miktarı arttıkça ısı iletkenliği azalır. Bu bakımdan odun iyi bir ısı yalıtkanıdır (Örs ve Keskin, 2001).

Yukarıdaki eşitlikte görüldüğü üzere ısı iletme katsayısı, aralarında 1 cm açıklık bulunan karşılıklı paralel iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı 1 °C olan 1 cm³ lük bir materyalden bir saniyede geçen ısı miktarıdır.

1.3.2.1. Ağaç Malzemede Isı İletme Katsayısının Bulunması

Denemeler göstermiştir ki ağaç malzemede ısı iletme katsayısı sabit değildir. Çünkü hücre yapısı yeknesak bulunmaktadır. Hatta aynı ağaç türünde dahi odunu teşkil eden hücrelerin büyüklükleri ve zar kalınlıkları değişiklik göstermektedir. Bundan dolayı her birim hacmindeki hücre çeperi maddesi miktarı farklıdır. Bununla beraber odunu teşkil eden hücrelerin pek çoğu bir istikamette dizilmiş olup bu husus ısı iletimi bakımından çok önemli bulunmaktadır. Odunda ısı faaliyeti üzerine hava su ve yabancı madde miktarı tesir etmektedir. Ağaç malzemede bulunan kusurlarda ısı iletimi üzerinde menfi tesir etmektedir.

1.3.2.2. Özgül Ağırlık ile ilgili Olarak Tam Kuru Odunda Isı iletimindeki Değişmeler

Çeşitli ağaç türleri odunlarında yapılan araştırmalara göre, ısı iletim katsayıları tam kuru özgül ağırlık ile ilgili olarak değişme gösterdiği ve aradaki münasebetin hemen hemen 45° derecelik bir açı ile seyreden bir doğruya paralel olduğu anlaşılmıştır. Buna göre amprik bir formül olarak tam kuru özgül ağırlık ile ısı iletme katsayısı arasındaki ilişki;

$$K = 0.1724.g + 0.00203 \text{ olarak bulunmuştur.} \quad (1.2a)$$

Burada (K) ısı iletme katsayısını, (g) ise ağaç malzemede tam kuru özgül ağırlığı ifade etmektedir. Eşitlik analiz edilecek olursa özgül ağırlığın sıfır olması halinde bu katsayı 0.0203 olmaktadır ki buda havanın ısı iletme katsayısından başka bir şey değildir. Bu itibarla ağaç malzeme içerisindeki hava boşluğu hava hacminin de ısı iletme katsayısının bulunmasında yardımcı olmaktadır. Odun içerisindeki hava boşluğu hacim yüzdesi

$$P = 100 \left(1 - \frac{\rho}{1.5} \right) \quad \frac{P}{100} = 1 - 0.667 \rho \text{ dir.} \quad (1.2b)$$

Burada (P) ağaç malzemedeki hava boşluğuna (ρ) tam kuru özgül ağırlığını ifade etmekte, (1.5) değeri ise hücre çeperinin özgül ağırlığı bulunmaktadır. Yukarıdaki

formülün sol tarafına 0.0203(1-0.667), sağ tarafına da 0.0203 P/100 değeri ilave edilecek olursa eşitlik bozulmayacağına göre;

$$K= 0.1859 + 0.000203P \text{ elde edilecektir.} \quad (1.2c)$$

1.3.2.3. Lif Yönü ile ilgili Olarak Ağaç Malzemede Isı İletme Kabiliyeti

Bu hususta henüz geniş bilgi olmamasına rağmen elde edilen bilgilere göre ısı iletme katsayısı radyal yönde, teğet yöndekinden takriben % 5-10 daha büyüktür, teğet yönde odunda ısı iletme kabiliyeti radyal yöndekinden biraz daha azdır. Liflere paralel yönde ısı iletme kabiliyeti, liflere dik yöndekinden 2.25 ile 2.75 defa daha büyüktür. Özellikle liflere dik yönde odun maddesi iyi bir izolatördür. Liflere dik yönde ısı iletimi hava dolu lümenlerin azlığı nedeni ve kesilmeler dolayısıyla ısı akısına fazla miktarda karşı koyma mevcuttur. Odunun ısıya karşı yalıtkan özellikleri çok fayda sağlar (Bozkurt, 1971).

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki liflere paralel yönde ısı iletme katsayısı ısı geçişinin çok farklı olması sebebi ile büyük farklılıklar göstermektedir. Odunda ve odundan yapılan materyalden ısı geçişinde lif yönünün etkisi su şekilde izah edilebilir. Esasen iki sınır hali mevcuttur.

- 1) Liflerin ısı akış yönüne paralel sıralanışı: Bu durumda maksimum ısı köprüleri meydana gelir.
- 2) Liflerin ısı akış yönüne dik sıralanışı: Bu durumda minimum ısı köprüleri meydana gelir.

1.4. MİKRODALGA FREKANSLARDA AĞAÇ MALZEMENİN DİELEKTRİK DAVRANIŞI

Ağaç malzeme heterojen bir materyaldir ve dielektrik davranışını açıklamak için selüloz, hemiselüloz, lignin ve diğer kimyasal yapı elemanlarından bağlı su ve serbest sudan oluşan bir madde olarak modellendirmek mümkündür (Şahin, 2002).

Böylece ağaç malzeme çok sayıda, karmaşık ve elektriksel anlamda simetrik olmayan moleküllerden oluşmuştur. Elektriksel anlamda böyle moleküller pozitif ve negatif yüklerin toplamı olarak tanımlanabilir. Bir yüksek frekans elektrik alanında ağaç malzemenin davranışı dipoller ve iyonlarla belirlenir (Torgovnikov, 1993).

1.4.1. Dielektrik Parametreler

Bir malzemenin dielektrik özellikleri, kompleks dielektrik sabiti ile tanımlanır.

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1.1)$$

veya

$$\varepsilon = \varepsilon' (1 - j \tan \delta) \quad (1.2)$$

yazılır.

$$\tan \delta = \varepsilon'' / \varepsilon' \quad (1.3)$$

ise yalıtkanın kayıp açısı olarak tanımlanır.

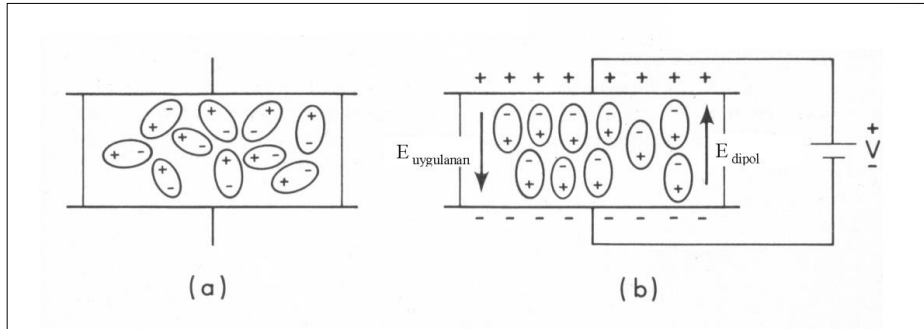
Burada, gerçel kısım ε' , dielektrik sabiti olup elektrik alanı şeklinde bir malzemede depolanabilen enerjinin miktarını doğrudan belirtirken, sanal kısım ε'' kayıp faktörü olarak adlandırılır ve malzeme içinde ısı şeklinde yayılan enerjinin ölçüsüdür. Böylece dielektrik sabiti belirli bir elektrik şiddeti ile bir dielektrikte oluşturulan elektrik yer değişimin veya elektrik alanı şeklinde malzemede depolanabilen enerji miktarının ölçüsüdür. Kayıp faktörü ise malzeme içinde ısı şeklinde yayılan enerjinin ölçüsüdür. Dielektrikteki enerji kaybı oranı ayrıca kayıp tanjantı ile de ifade edilir ve elektrik şiddeti E ve E nin oluşturduğu elektrik yer değişim Edipol arasındaki faz farkı (δ) dır. (Şahin, 2002; James et al. 1975).

1.4.2. Ağaç Malzemenin Kutuplanması

Tüm dielektrik olaylar uygulanan elektrik alanının etkisi altında bir malzemede meydana gelen polarizasyon ya da kutuplaşma mekanizması ile ifade edilir. Dielektrik bir malzeme elektrik alanına yerleştirildiğinde eksi ve artı yüklerin kısmi

bir ayrımı görülür ve bu dielektrik kutuplaşma (polarizasyon) olarak adlandırılır (Vermaas, 1971).

Böylece elektrik alanı uygulandığında, bir malzeme içinde zaten var olan rastgele yönelmiş dipoller ve elektrik alanı etkisiyle oluşan dipoller elektrik alanı yönüne zıt yönde olmak üzere kendilerini düzene sokarlar. Elektrik alanının pozitif yönden negatif yöne doğru yöneldiği kabul edildiğinden, malzemedeki dipoller uygulanan elektrik alanına zıt yönde yönelmeye zorlanır. Bu durumda, dipol moleküllerinin pozitif kısmı alan yönünde ve negatif kısmı alana zıt yönde olmak üzere yeniden düzene girer. Böylece yalıtkanın artı elektroda dokunan yüzünde eksi, eksi elektroda toplanan yüzünde artı yükler toplanır (Şekil 1.4). Bu şekilde, kutuplaşmış bir dielektrikte dış alana ters yönde ve onu zayıflatan bir iç alan Edipol oluşur. Bu zayıflamanın derecesi dielektriğin türüne bağlıdır yani onun dielektrik sabiti ϵ' katsayısı ile ilişkilidir (Şahin, 2002).



Şekil 1.4. Dipollerin elektrik alan şiddetine göre yönelmesi.

a)Elektrik alanı yokken bir dielektrik kondansatörde rastgele dipol yönelişi, b)Sabit bir elektrik alanının, Euygulanan etkisi altında dipollerin yer değişimi (Tinga and Nelson, 1973).

Ağaç malzemenin toplam kutuplanması rutubetli heterojen dielektriklerde meydana gelen Elektron kutuplaşması, İyon (atom) kutuplaşması, Dipol Relaksasyon kutuplaşması, Kendiliğinden (ara yüzey) kutuplaşma, Elektroliz kutuplaşma olmak üzere 5 tip kutuplanmayı içermektedir. Bununla beraber, elektrik alan frekansına bağlı olarak genel kutuplaşma işlemi üzerinde her bir tür kutuplaşmanın etkisi

farklıdır ve ağaç malzemenin dielektrik özellikleri üzerindeki etkileri de değişir (Vermaas, 1971; Torgovnikov, 1993). Bu frekansa bağlı olarak belirli şartlarda bazı tip kutuplaşmaların dikkate alınmamasına neden olur. Bu nedenle yüksek frekans ve mikrodalga frekansla kurutmanın gerçekleştirildiği $10^5 - 10^{10}$ Hz frekans sınırlarında elektroliz (kendiliğinden) kutuplaşma (zaman sabiti $10^{-4} - 10^2$) ve elektron ve iyon kutuplaşmanın ($10^{-12} - 10^{-16}$) etkisi önemsizdir. Dipol relaksasyon ve iyon relaksasyon kutuplaşması ağaç malzemenin kutuplaşmasında ana rolü oynar (Torgovnikov, 1993).

1.4.3. Dielektrik Bakış Açısından Ağaç Malzemenin Yapısı

Rutubetli ağaç malzemenin dielektrik özellikleri üzerinde etkili olan faktörler, hücre ve yapısı, tam kuru odun maddesinin kimyasal bileşimi ve rutubetli ağaç malzemedeki su miktarıdır (Şahin, 2002; Torgovnikov, 1993). Tam kuru ağaç malzemenin hücre çeperi maddesi ve havadan oluştuğu kabul edilir. LDN rutubet miktarının altında rutubete sahip ağaç malzemedeki bu karışıma 3. bir bileşen, yani hücre çeperi içerisinde tutulan bağlı su, eklenir. LDN rutubet miktarını aşan rutubet miktarlarında bu karışıma 4. bir bileşen olarak serbest su eklenir. Negatif sıcaklıklarda serbest su ve bağlı suyun yerini buz alır (Şahin, 2002).

1.4.3.1. Hücre Çeperinin Dielektrik Özellikleri

Norimoto (1976)'ya göre, ilkbahar ve yaz odunu traheidlerin hücre çeperlerinin dielektrik sabiti birbirinden farklıdır. Ancak özünü hücre çeperlerinin dielektrik sabiti traheidlerin dielektrik sabitinden % 4 - 12 daha düşüktür. Ayrıca liflere paralel yöndeki hücre çeperi maddesinin dielektrik sabiti liflere dik yöndekinden % 2 - 5 daha yüksektir.

Odun yapısı bir ağaçtan diğerine değişim göstermekle birlikte hücre çeperi maddesinin dielektrik özelliklerinin ağaç türünden bağımsız olduğu kabul edilir (Şahin, 2002). Çizelge 1.1'de mikrodalga frekanslarda hücre çeperinin dielektrik özelliklerinin sıcaklığa göre değişimi verilmektedir.

Çizelge 1.1. Mikrodalga frekanslarında hücre çeperinin dielektrik özellikleri.

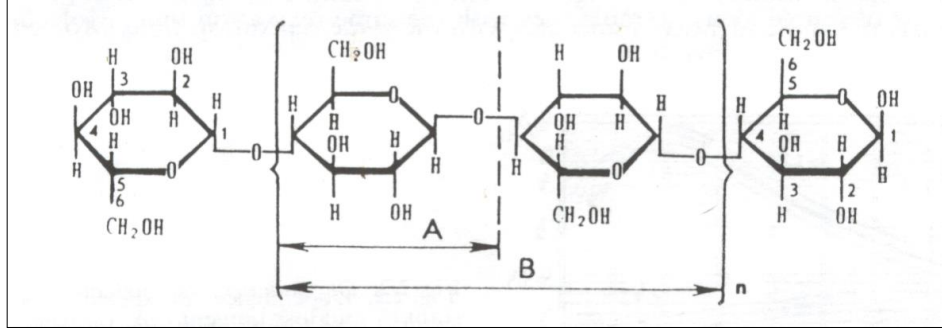
Hücre Çeperinin Dielektrik Özellikleri												
F (Hz)	Sıcaklık (°C)											
	-40		-20		20		40		60		100	
	ϵ_{\perp}'	$\tan\delta_{\perp}$	ϵ_{\perp}'	$\tan\delta_{\perp}$	ϵ_{\perp}'	$\tan\delta_{\perp}$	ϵ_{\perp}'	$\tan\delta_{\perp}$	ϵ_{\perp}'	$\tan\delta_{\perp}$	ϵ_{\perp}'	$\tan\delta_{\perp}$
10^9	3.3	0.028	3.4	0.030	3.5	0.049	3.6	0.053	3.7	0.057	3.8	0.065
10^{10}	3.1	-	3.2	-	3.3	0.043	3.4	0.048	3.5	0.053	3.6	0.064

Selüloz, hemiselülozlar ve lignin hücre çeperi maddesinin dielektrik özelliklerini belirleyen polar polimerlerdir. Bunların odunun dielektrik özellikleri üzerindeki etkileri kendilerine has özelliklerine ve odundaki miktarlarına bağlıdır (Şahin, 2002; Torgovnikov, 1993; Norimoto, 1976; Norimoto and Yamada, 1972). Bir seri polar gruba sahip yüksek moleküler ağırlıklı bu maddeler elektrik alanının etkisi altında dipol relaksasyon kutuplaşmasına maruz kalırlar. Bu tip kutuplaşma makro moleküllerin hareketsiz kısımlarına bağlı polar grupların yer değişiminden kaynaklanır (Şahin, 2002).

Selüloz hücre çeperinin büyük bir kısmını oluşturduğundan (% 40 – 50), hücre çeperinin dielektrik özelliklerini büyük ölçüde selülozun dielektrik özellikleri belirler. Selüloz uzun zincir molekülü, anhidrid glikoz moleküllerinin boyuna primer molekül bağları ile birbirine bağlanmasından $(C_6H_{10}O_5)_n$ oluşur. Polimerizasyon denilen bu olayda (n) selüloz zincirindeki anhidrid glikoz birimlerinin sayısını (polimerizasyon derecesi) gösterir. Bir selüloz zincir molekülünde bulunan anhidrid glikoz birimlerinin sayısı değişik olup 5000 - 30000 arasındadır (Şekil 1.2). Selüloz β -D-glukozidik bağlarını içerir ve selülozun dielektrik özelliklerini β -D-glukozun özellikleri belirler. Selülozdaki her bir glukoz ünitesi 3 hidroksil grubu içerir (Şahin, 2002).

Mikrofibriller selüloz zincir moleküllerinin yan yana gelmesi ile oluşmuştur. Mikrofibriller içerisindeki selüloz zincir molekülleri her yerde birbirine paralel değildir. Birbirine paralel olarak uzandıkları bölgelerde selüloz kristalitleri meydana gelmekte ve bu kısımlara kristal bölge denmektedir. Kristal bölgeler arasında selüloz

zincir molekülleri kısmen paralel veya düzensiz bir hal almaktadır. Bu kısımlara ise amorf bölge denir (Berkel, 1970; Hafızoğlu, 1982).



Şekil 1. 5. Selülozun formülü: A β -D glukoz ünitesi; B sellobioz.

Selülozun dielektrik özellikleri, kristal ve amorf bölgelerin oranlarına bağlıdır. Kristalite derecesinin artışıyla dielektrik sabiti azalır. Bir elektrik alanının etkisi altında selülozun kutuplaşma işlemine amorf bölgedeki selüloz moleküllerindeki hidroksil grupları (-OH) ve metilol gruplarının (-CH₂OH) yöneysel kutuplaşması katkıda bulunur yani selülozun kutuplaşmasından bu gruplar sorumludur. Bu işlem dipol relaksasyon kutuplaşmasının etkisinden kaynaklanır (Şahin, 2002).

Odun hücre çeperinin % 20 – 35'ini hemiselülozlar oluşturur. Hemiselülozların ana türlerinden biri olan glukomannanın dielektrik özellikleri selülozun dielektrik özelliklerine yakındır. Bu hem glukomanan hem de selülozdaki metilol gruplarının olmasına bağlanır. Ksilan metilol grubu içermez ve bu nedenle dielektrik özellikleri düşüktür (Norimoto, 1976; Norimoto and Yamada, 1972).

Odun hücre çeperinde lignin oranı % 15 – 25 kadardır. Lignin üç boyutlu fenilpropan birimlerinden oluşmuş, yüksek molekül ağırlıklı karmaşık bir polimerdir. Ligninin dielektrik özellikleri selüloz ve mannanın dielektrik özelliklerine kıyasla oldukça küçüktür. Ligninde -OH ve -CH₂OH olmak üzere iki grubun dipol hareketi dielektrik kaybına neden olmaktadır (Torgovnikov, 1993; Norimoto and Yamada, 1972).

Hücre çeperinde ayrıca inorganik bileşiklerde bulunmaktadır. Ancak odun içinde çok az miktarda buldukları için (yaklaşık % 0,3) bu maddelerin odunun dielektrik parametreleri üzerindeki etkisi çok küçüktür (Torgovnikov, 1993; Vermaas, 1974).

1.4.3.2. Hava, Serbest Su ve Bağlı Suyun Dielektrik Özellikleri

Hava mükemmel bir dielektriktir ve kayıp tanjantı sıfıra eşittir. Normal şartlar altında havanın dielektrik sabiti 1'e eşittir ve frekanstan bağımsız olduğu kabul edilir (Torgovnikov, 1993; Şahin, 2002).

Suyun dielektrik özellikleri frekans ve sıcaklıkla birlikte büyük ölçüde değişir. Mikrodalga frekanslarında suyun dielektrik özellikleri Çizelge 1.2'de verilmektedir

Odunun dielektrik özellikleri üzerinde bu maddelerin kendi dielektrik parametrelerinin etkisi, her bileşenin kendine has özellikleri, nispi miktarları ve karşılıklı etkileşimlerinin büyüklüğü ile belirlenir (Şahin, 2002).

Çizelge 1.2. Mikrodalga frekanslarda suyun dielektrik özellikleri (Torgovnikov, 1993).

Suyun Dielektrik Özellikleri									
Frekans (Hz)		Sıcaklık (°C)							
		-30	-20	-10	0	20-25	40-45	65	85
10 ⁹	ε'	-	-	-	86	77	71	64	57
	tanδ	-	-	-	0.102	0.06	0.034	0.025	0.019
2.4x10 ⁹	ε'	49	69	79	82	77	71	64	57
	tanδ	0.92	0.62	0.40	0.25	0.13	0.09	0.06	0.04
5.8x10 ⁹	ε'	21	37	54	65	68	66	62	55
	tanδ	1.62	1.2	0.80	0.59	0.31	0.22	0.17	0.13
10 ¹⁰	ε'	10.6	17.6	29	38	55	59	59	54
	tanδ	2.03	1.75	1.33	1.03	0.54	0.40	0.32	0.26
3x10 ¹⁰	ε'	6.1	7.0	8.9	12.3	23.2	35.6	-	-
	tanδ	1.2	1.66	1.89	1.84	1.37	0.94	-	-
10 ¹¹	ε'	5.55	5.64	5.82	6.16	7.5	10.1	-	-
	tanδ	0.41	0.63	0.90	1.19	1.61	1.7	-	-

1.4.4. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerinde Etkili Olan Faktörler

1.4.4.1. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Frekansın Etkisi

Bir elektrik alanının uygulanmasından sonra moleküllerin alanı takip etmesi için gereken süre relaksasyon süresi olarak tanımlanır (Şahin, 2002).

Mikrodalga frekanslarda bir maddenin molekülleri ile elektromanyetik alan arasındaki etkileşim karakteri düşük frekanslardakinden daha farklıdır ve 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 (Şahin, 2002).

1.4.4.2. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklık odunun dielektrik özelliklerini oldukça büyük oranda etkiler. Çünkü sıcaklıktaki artışla birlikte relaksasyon süresi azalır. Sıcaklıkla birlikte dielektrik sabitindeki artış, oduna bağlı bulunan dipol gruplarının yani amorf bölgedeki metilol gruplarının varlığından kaynaklanır (Yokoyama and Norimoto, 1996). Odunun kutuplanabilirliği sıcaklığın artışıyla sürekli bir şekilde artar (James, 1975). Sıcaklık yükseldikçe maddenin iyonları arasındaki bağlar zayıflar ve iyonlar kolay yer değiştirir. Böylece sıcaklığın etkisiyle dipoller enerji kazanırlar ve böylece yeniden yönelmelerine katkıda bulunulur ve sonuçta dielektrik sabiti artar. Ayrıca frekansla birlikte güçlü bir ilişki içindedirler (James, 1977).

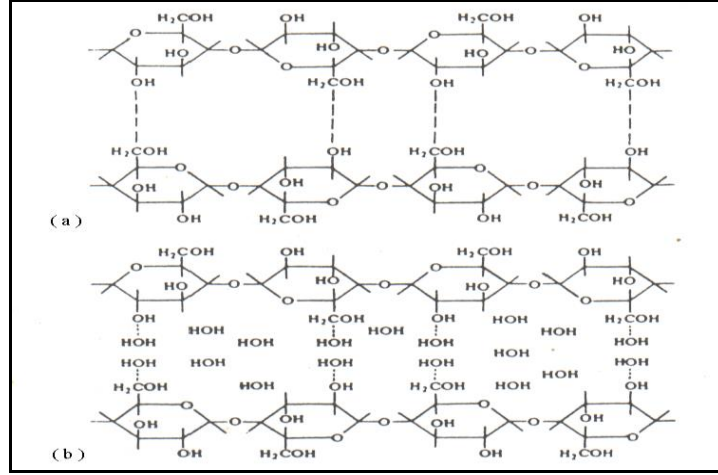
Mikrodalga frekanslarda (1 - 18 GHz), tam kuru odunun dielektrik sabiti ve kayıp faktörü sıcaklıkla lineer bir şekilde artar (Kabir et al, 2001). Mikrodalga frekanslarda sıcaklığın artışıyla birlikte rutubetli odunun dielektrik sabitinin arttığı ve bunun rutubet miktarı arttıkça daha belirginleştiği belirlenmiştir. Rutubetli odunun kayıp faktörü ve kayıp tanjantının sıcaklık bağımlılığı ise komplike bir durum gösterir. Kayıp faktörü ve kayıp tanjantı ise sıcaklığın artışıyla düşük rutubet miktarlarında artış göstermekte ancak daha sonra birden azalmaktadır (Tinga, 1969).

1.4.4.3. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Rutubet Miktarının Etkisi

Rutubet, ağaç malzemedede 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 2 faktörün kombinasyonu dikkate alınır. Bir yandan odunun rutubet miktarının artışıyla odun içindeki su miktarı artar ve su odun maddesinden yüksek dielektrik özelliğine sahip olduğundan dolayısıyla dielektrik özellikler artar. Diğer yandan, su miktarının artışıyla hücre çeperinin ve selülozun polar bileşikleri daha yüksek rutubet miktarında daha yüksek hareket serbestliği elde ederler. Rutubetlendirme işlemi, selülozun molekülleri arasına su moleküllerinin penetrasyonuna neden olur ve böylece enine bağların zayıflamasına yol açar (Şekil 1.5). Bu durum dipollerin hareket yeteneğinin artışına neden olur (Şahin, 2002). Rutubetlenmenin başlangıç aşamalarında bu iki faktörün kombinasyonu dielektrik özelliklerde hızlı bir artışa neden olurken, LDN'a yaklaşırken polar grupların önemi artık kalmaz çünkü onların devir serbestliği maksimuma ulaşır. LDN'dan sonra esas rolü serbest suyun dielektrik davranışı ve odun içindeki hacmi belirler (Şahin, 2002).

LDN üzerinde odunun dielektrik sabiti ve kayıp faktöründeki değişim karakterini esas olarak serbest suyun dielektrik özellikleri ve nisbi hacmi belirler. Rutubet miktarının artışıyla odun içindeki su miktarı artar ve bu da yüksek dielektrik davranışa yol açar (Şahin, 2002).



Şekil 1.6. Selülozun moleküler bağları üzerine rutubet miktarının etkisi.

a) İkincil kuvvetlerle bağlı selüloz makromolekülleri, b) Su molekülleri tarafından zincirler arası bağların kırılması (Torgovnikov, 1993).

1.4.4.4. Ağaç Malzeme Lif Yönünün Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisi

Tam kuru ve rutubetli odunun liflere paralel yöndeki dielektrik özellikleri liflere dik yöndekinden genellikle daha büyüktür. Teğet ve radyal yön arasındaki fark ise daha az belirgin olup odun türüne, rutubet miktarına göre değişmektedir. Ayrıca frekans arttıkça aradaki fark azalmaktadır (Şahin, 2002).

Liflere paralel yönde dielektrik özelliklerin daha yüksek olması Norimoto ve Yamada (1971) tarafından dipolun bitişik kesime geçiş olasılığının, elektrik alanı liflere paralel yönde olması durumunda dik yönlerle kıyasla daha büyük olması ve liflere paralel yönde bitişik kesimler arasındaki potansiyel bariyerlerin yüksekliğinin dik yönlerdekinden daha büyük olması ile açıklanır. Norimoto ve Yamada (1972), ayrıca dielektrik heterojenliğe kimyasal bileşiklerinin dielektrik özelliklerin neden olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmaya göre, odunun dielektrik özelliklerinin liflere paralel yönde büyük ölçüde selüloz ve mannanın dielektrik özellikleri ve enine yöndeki dielektrik özelliklerinin ise önemli ölçüde ligninin dielektrik özelliklerinin etkilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca selülozun hidroksil grupları liflere paralel yönde daha yüksek devir serbestliğine sahiptir (Kabir et al. 1998).

Norimoto et al. (1978), ayrıca bu üç yöndeki farklılığın yaz odunu yüzdesi, hücre çeperi alanının hücre alanına oranı ve hücre düzenine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Teğet yönle kıyaslandığında radyal yönde dielektrik parametrelerin daha büyük olması radyal yönde uzanmış özışınları ile açıklanmıştır ve özışınlarının etkisinin hacimleriyle orantılı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca odun örneğinde yaz odunu oranı arttıkça dielektrik özellikler yükselir ki bu odun yoğunluğundaki artışa bağlıdır (Norimoto et al. 1978). Odunun yoğunluğunun artışıyla birlikte polar grupların sayısı artacağından doğrudan dielektrik özelliklerde artış gözlenir (Şahin, 2002).

BÖLÜM 2

MATERYAL VE METOD

2.1. MATERYAL

2.1.1. Ağaç Malzeme

Bu çalışmada ülkemizde ağaç işleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Doğu Kayını [*Fagus orientalis* Lipsky] ve Sarıçam [*Pinus sylvestris*] deneme materyali olarak kullanılmıştır. Aşağıda çalışmaya konu olan odun türleri hakkında genel bilgiler verilmektedir.

2.1.1.1. Sarıçam (*Pinus sylvestris*)

Mevcut çam türleri içerisinde en geniş coğrafi yayılımı olan Sarıçam, Avrupa ve Asya'da yaklaşık 3700 km eninde ve 14700 km uzunluğunda çok geniş bir yayılım alanına sahiptir. Sarıçam, 20-40 m arasında boy yapmakta, ülkemizde saf ve karışık olarak bir milyon hektara yakın bir saha üzerinde yayılmıştır. Kuzey Doğu Anadolu, Ardahan, Oltu, Posof, Sarıkamış dolaylarında çoğunlukla saf, Yalnız çam Dağları'nda saf veya Ladin ve Gökmar gibi diğer ağaç taksonları ile karışık olarak geniş ormanlar kurar. Karadeniz Bölgesi'nde Of, Sürmene, Artvin, Rize, Gümüşhane, Giresun, Amasya, Sinop ve Abant çevresinde geniş bir yayılım gösteren Sarıçam Türkiye toplam orman alanının % 5,5'ini oluşturmaktadır (Yaltırık, 1994).

Makroskobik Özellikler

Yetiştirme muhiti sarıçam odununun özellikleri üzerine çok etkilidir. Yüksek rakımlarda yıllık halkalar dar, deniz seviyesine yakın yerlerde geniştir. Dağlık bölgelerde yetişen üstün özellikli odunlarda koyu renkli bir öz odunu vardır. Alçak

yerlerde yetişen üstün özellikli odunlarda da koyu renkli öz odunu oluşur. Kötü yetiştirme koşullarında öz odunu oluşmaz. Boyuna reçine kanalları enine, radyal ve teğet kesit düzlemlerinde çıplak gözle rahatlıkla görülür (Merev, 2003).

Mikroskopik Özellikler

İlkbahar odunu traheitlerinin radyal çeperlerindeki kenarlı geçitler çoğunlukla üniseridir. Yaz odunu traheitlerinin teğet çeperlerinde de nadiren küçük çaplı kenarlı geçitlere rastlanabilir. Özışınları üniseri ve heterojendir. Özışını yüksekliği 15 hücreyi geçmez. Enine traheidler, özışını paranzim hücrelerine göre daha bol miktarda olup, çeperleri belirgin testere dişi gibi kalınlaşma içerir. Enine traheidler bol miktarda küçük kenarlı geçitler içermektedir. Boyuna traheitlerle özışını paranzim hücrelerinin karşılaşma yerlerinde pencere şeklinde geçitler vardır. Reçine kanalları normal boyuna ve enine kanallardır. Boyuna kanallar genellikle yaz odunu sonunda yer alır. Kanalların epitel hücreleri ince çeperlidir. Boyutları 100-150 mikrondur. Enine reçine kanalları öz ışınları mültiresidir (Merev, 2003).

Traheidlerin oduna katılım oranı % 93,1'dir. traheidlerin uzunluğu 1.8 - 4.5 mm ve teğet çapları 10- 50 µm'dur. Özışınları heterojen ve üniseridir. Enine reçine kanallarının bulunduğu özışınları mültiresidir. Özışınları genellikle 1-12 bazen 15 den fazla hücrelidir. Karşılaşma yeri geçitleri 1-2 adet pencere tipindedir. Boyuna reçine kanalları tek tek ve çoğunlukla yaz odunu içinde ve çapları 100-150 µm olup epitel hücreleri ince çeperlidir(Bozkurt ve Erdin, 1989).

Sarıçam odununda selüloz miktarı % 40-57, lignin miktarı % 25-29, pentozan miktarı % 8-11 ve alkol benzende çözünen ekstraktif madde miktarı % 3.4'dür (Bozkurt ve Erdin, 1989).

Bazı Teknolojik Özellikleri

Sarıçam odunu kolay kurutulur, çatlamaya ve dönüklüğe eğilimi azdır. İyi işlenebilme ve yapışma özelliğine sahiptir. Yüzey işlemlerinde, reçine sızıntısı nedeniyle güçlük meydana gelir. Öz odunu oldukça dayanıklı, diri odunu mantar ve böceklere karşı hassas, odunun rutubeti % 25'ten fazla olduğu hallerde, 20-25 C

sıcaklıklarda mavi renk oluşumu görülür. Öz odun orta derecede güç, diri odun kolay empenye edilmektedir. Binalarda iç ve dış maksatlarda, empenye edildiğinde toprak ve su tahkimatında, maden direği, tel direği ve travers olarak, kaplama levha ile kâğıt endüstrisinde ve mobilya yapımında kullanılmaktadır (Bozkurt vd., 2000).

Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Sarıçam odununun tam kuru yoğunluk değeri 0.496 g/cm³ ve hava kurusu yoğunluk 0.526 g/cm³ 'tür. Sarıçam odununda hava boşluğu oranı (porozite) %68.6'dır. Sarıçam odununun içerisine alabileceği en yüksek su miktarı hacim yoğunluk değerine (0.426 g/cm³) göre % 170.6'dır (Toker ,1960).

Gümüşhane, Torul bölgesinden alınan sarıçam odununun basınç direnci, 427 kp/cm², eğilme direnci, 636.79 kp/cm², eğilmede elastikiyet modülü, 76.69 kp/cm² ,dinamik eğilme direnci, 0.736 kpm/ cm², makaslama direnci, 46.78 kp/cm² olarak belirtilmiştir (Ay vd., 1998).

2.1.1.2. Doğu Kayını (*Fagus orientalis L.*)

Avrupa kayınına göre daha yerel bir coğrafi yayılımı vardır. Kafkasya, Kuzey İran, Türkiye ve Kuzey Doğu Avrupa' da yayılır. Türkiye' de asıl yayılımını ve en iyi gelişimini Karadeniz sahillerinde yapmaktadır. Doğu'da Türk-Rus sınırından başlayarak tüm Karadeniz sahilleri boyunca batıya doğru Demirköy, Kırklareli bir başka deyişle, Istranca dağlarına kadar uzanır. Doğu kayını 30-40 m.'ye kadar boylanabilen bir metrenin üzerinde çap yapabilen dolgun ve düzgün gövdeli birinci sınıf orman ağacıdır. Açık kül renginde kabuk ince ve kül rengindedir. Yaprakları elips ve ters biçiminde sivri ya da kısa uçludur (Anşin ve Özkan,1993).

Makroskobik Özellikler

Odun tabii halde kırmızımsı beyaz, fırınlanmış halde tuğla kırmızısı renktedir. İleri yaşlarda Meydana gelen kırmızımsı kahverengi ve içerisinde daha koyu şeritler bulunan bir öz odun (kırmızı yürek) oluşur. Genellikle 80-100 yaşlarında oluşan bu

yalancı öz odunu kusur sayılır. Kırmızı yürek odunun doğal güzelliğini bozar ve emprenye edilemez. Ayrıca gevrek yapılı olup asitli koku yayar (Örs ve Keskin,2001).

Mikroskopik Özellikler

Dağınık küçük traheeli yapraklı ağaç grubundandır. Trahee çevresindeki paranzim hücrelerinde tül oluşmaktadır. Besi suyu iletme görevi yapan boyuna yönde vasküler traheidler bulunur. Kalın ve yüksek öz ısınları radyal kesitte parlak öz ısını levhaları oluşturur. Her üç kesitte de öz ısınları açık olarak görülür (Örs ve Keskin,2001).

Enine kesiti genellikle tek renklidir. 80-100 yasından sonra kırmızı kahverengi bir öz odunu oluşur. Yaslı ağaçlarda öz çürümüş durumdadır. Yıl halkaları enine kesitte oldukça belirgindir. Sonbahar halkası ilkbahar halkasına göre daha koyuca renktedir. Teğet kesitte ince parlak çizgiler, radyal kesitte sivri uçlu iğler şeklinde sıralanmıştır (Şanıvar, 1977).

Bazı Teknolojik Özellikleri

Doğu kayını düzgün yapılıdır ve az çalışır. Fırınılandıktan sonra bu çalışma daha da azalır. Nemli ortamda kolay çürür ve kuru ortamda oldukça dayanıklıdır. Buharlanınca bu direncinden biraz kaybeder. Orta sertlikte bir ağaçtır. Kolay islenir. Buharla bükme işlemine elverişlidir. Kırılma direnci az fakat aşınma direnci fazladır. Genç iken kolay yarılr ve kalite yüksektir. Rendelenen yüzey parlak ve pürüzsüzdür. Yaslı ağaçlarda yüzey daha pürüzlüdür. Ülkemizde mobilya yapımında kullanım alanı en geniş ağaçtır. Her çeşit masif mobilya isinde, iç doğramalarda, merdiven basamak ve korkuluklarında, parke döşemelerinde, dilme ve soyma kaplama olarak, yonga levha (Sunta) yapımında, araba ve ambalaj sanayinde, kalıp islerinde, oturma mobilyası, bükme sandalye, alet sapı, is tezgâhı, okul sırası yapımında, torna islerinde çok kullanılır. Kimyasal boylarla, değişik renklere boyanmaya elverişlidir. Her çeşit cila ve vernik işlemi başarı ile uygulanabilir.

Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Doğu Kayınının tam kuru yoğunluk değeri ortalama olarak 0.610- 0.630 g/cm³ ve hava kurusu yoğunluk ise 0.660 g/cm³' dür. Doğu Kayını odununun hacim yoğunluk değeri 0.448 g/cm³ ' dür (Bozkurt ve Erdin, 1989; Yadigaroglu, 1997) .

Liflere paralel basınç direnci, 644 kg/cm², eğilme direnci, 870 kg/cm², makaslama direnci, 150 kg/cm², dinamik eğilme direnci 1.0 kg/ cm², yarıma direnci 8.6 kg/ cm² 'dir (Örs ve Keskin, 2001).

2.1.2. Laminasyonda Kullanılan Tutkallar

Bu çalışmada, lamine ağaç malzemelerin üretiminde Üre Formaldehit (UF), Melamin Üre Formaldehit (MUF), Fenol Formaldehit (FF) tutkalları kullanılmıştır. Tutkallar Polisan şirketinden temin edilmiş olup genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

2.1.2.1. Üre Formaldehit Tutkalı

Üre formaldehit reçineleri, dünyada ağaç malzemenin yapıştırılmasında en yaygın olarak kullanılan yapıştırıcılardır. Amino grubu reçinelerinden olan ÜF, termosetting bir polimer olup üre ile formaldehitin kondenzasyon sonucu meydana gelmektedir. Formaldehit/Üre mol oranı 1,1:1 den 2,0:1'e kadar değişmektedir.

Asidik ortamda sertleşen bir tutkaldır. Reaktif yapısı nedeniyle ÜF reçineleri, en hızlı sertleşen tutkallar arasında yer almaktadır. Serbest formaldehitin varlığı sertleşme reaksiyonunun gerçekleşmesi için gereklidir. Ancak presleme esnasında ve sonrasında formaldehit ayrışmasına neden olmaktadır.

ÜF reçineleri normalde sıvı halde satılırlar, toz haldeki sertleştiricinin ilave edilmesiyle sıvı tutkalın sertleşmesi sağlanır. Tutkalın sertleşmesi reçine ve sertleştirici karıştırıldığında başlar. Sertleşme reaksiyonunun hızı ısı ile artar. Normal oda sıcaklığında tutkalın sertleşmesi için birkaç saat gerekirken, 80° C'de birkaç dakika ve 125° C'de 1 dakikadan daha az bir zaman gerekmektedir (Dunky, 1998).

Çalışmada Polisan şirketi tarafından Poliüre 7455 olarak isimlendirilen ÜF tutkalı kullanılmıştır ve kullanılan tutkalın teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir

Görünüş	: Yarı saydam
Katı madde miktarı (ağırlıkça)	: % 55,00
Viskozite	: 150 cps (20° C)
pH	: 8,60 (20° C)
Yoğunluk	: 1.224 g/cm ³ (20° C)
Jel zamanı	: 23 sn. (100° C)
Akma zamanı (20° C, DINCIP4, SN)	: 35

2.1.2.2. Fenol Formaldehit Tutkalı

Endüstriyel olarak fenol ve formaldehitin bir katalizör varlığında reaksiyonu ile üretilmektedir. FF reçineleri genel olarak, kullanılan katalizörün türü ve tepkimeye giren maddelerin mol oranlarına göre novalak ve resol adı verilen iki gruba ayrılır. Bu iki reçine türü, sahip oldukları özellikler ve uygulamaları bakımından birbirlerinden oldukça farklıdır (Schmidt, 1998).

Novalaklar formaldehitin aşırı miktarda fenol ile asidik koşullar altında (pH: 1–6) reaksiyonu ile elde edilmektedir. Tipik fenol/formaldehit oranları yaklaşık olarak 1:0,70- 0,85'tir. En yaygın kullanılan endüstriyel katalizörler; okzalik, hidroklorik, sülfürik, fosforik ve tolüen sülfonik asitlerdir. Bu tür reçineler yapılarında reaktif metilol grubu içermediklerinden sertleştirici kullanılmadan sertleşmezler. Reaksiyonu tamamlamak için çapraz bağlı novalak reçinesine formaldehit ilave edilir (Sellers et al, 1988).

Resol tipi fenol formaldehit reçineleri ise alkali koşullar altında elde edilmektedir. Odun kompozit ürünler üretiminde resol tipi fenol formaldehit reçineleri kullanılmaktadır (Scoville, 2001). Kontrplak, OSB (Oriented Strandboard), yonga levha ve LVL (Laminated Veneer Lumber) gibi odun kompozitlerinin üretiminde bu reçinelerden yararlanılmaktadır. Odunun yapılandırılmasında kullanılan resol tip reçine için formaldehit/fenol mol oranı 1.6/1.0–2.5/1.0 arasındadır. Formaldehitin fazla

olması; sertleşmiş durumda rutubete karşı mükemmel bir direnç, düşük tutuşma kabiliyeti ve yüksek çekme direnci sağlamaktadır (Baldwin, 1995).

Depolama süresi birkaç saatten birkaç aya kadar olabilir. Düşük sıcaklıklarda depolanması tavsiye edilir. pH derecesinin değişmemesi gerekir. Fenolik tutkallar üre tutkallarından daha yavaş sertleşirler. Katalizörler presleme süresini kısaltır. Tutkal sertleştikten sonra ısı ve kimyasal maddelere karşı direnç kazanır. Güçlü ve suya karşı dayanıklı yapışmalar sağlamaktadır. FF tutkalı ağacın rengini koyulaştırır, çok derine nüfuz eder ve kokusu uzun süre çıkmaz. Bu nedenle, tutkallama yapılan hacimde çok iyi havalandırma yapılmalı, eller sabunla yıkanmalı, koruyucu elbiseler giyilmeli ve fenol reçinesi teneffüs edilmemelidir (Bozkurt ve Göker, 1985).

Çalışmada Polisan şirketi tarafından Polifen 47 olarak isimlendirilen FF tutkalı kullanılmıştır ve kullanılan tutkalın teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir

Görünüş	: Kırmızı
Katı madde miktarı (ağırlıkça)	: % 47,00
Viskozite	: 300 cps (20° C)
pH	: 10,5 (20° C)
Yoğunluk	: 1,205 g/cm ³ (20° C)
Jel zamanı	: 16 dak.(105° C)
Su Toleransı-K (20° C)	: Sonsuz
Akma zamanı (20° C, DINCIP4, SN)	: 60

2.1.2.3. Melamin Üre Formaldehit Tutkalı

Melamin-üre formaldehit reçinesi, sıcak pres tutkallarının özel bir grubudur. Kuru toz halindeki üre ve melamin reçinelerinin karışımıyla veya iki ayrı reçinenin solüsyon halindeki karışımıyla üretilmektedir. Su ve dış hava miktarlarına ve rutubetli iç mekân miktarlarına karşı dirençli bir tutkaldır (Pizzi, 1994). MUF reçineleri daha çok dış ve iç ortamlardaki rutubetli yerlerde değerlendirilecek odun levhalarının üretiminde, düşük ve yüksek basınçlı kâğıt laminatların hazırlanmasında ve yapıştırılmasında kullanılmaktadır. Üre formaldehit reçinesine göre en önemli

üstünlüğü suya karşı çok daha dirençli olmasıdır. Melamin formaldehit tutkalı oldukça pahalıdır. Bundan dolayı üre ilavesi ile elde edilen MUF reçinelerinin fiyatları düşürülmüş bulunmaktadır. Yaygın kullanımı ve ekonomik önemine rağmen, ÜF tutkalına göre, bu yapıştırıcıya literatür de daha az yer ayrılmıştır (Çolakoğlu vd. 2002).

Çalışmada Polisan şirketi tarafından MUF P 43 olarak isimlendirilen Melamin Üre Formaldehit tutkalı kullanılmış ve kullanılan tutkalın teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir

Görünüş	: Beyaz
Katı madde miktarı (ağırlıkça)	: % 55,00
Viskozite	: 160 cps (20° C)
pH	: 8,80 (20° C)
Yoğunluk	: 1,235 g/cm ³ (20° C)
Jel zamanı	: 80 saniye
Akma zamanı (20° C, DINCIP4,SN)	: 30

2.2. YÖNTEM

2.2.1. Lamine Ağaç Malzemelerin Üretimi

Yapılan çalışmada lamine ağaç malzemelerin üretilmesinde Doğu Kayını ve Sarıçam kullanılmıştır.

Denemelerde kullanılan ağaç malzeme Şekerpınar / Gebze bölgesinden piyasadan “Rastgele seçim (*Randomly selected*)” yöntemi ile 2.5mm×140mm×1000mm boyutlarında radyal yönde biçilmiş papel kaplama olarak temin edilmiştir. Papellerin budaksız, ardaksız, büyüme kusurları bulunmayan, sağlam, düzgün lifli olmasına özen gösterilmiştir.

Fırın kurusu kaplamalar Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü atölyesine getirilmiştir. Her grubun eşit özelliklere sahip olabildiğini temin etmek amacıyla, her bir papelden çalışmada kullanılacak her bir

tutkal türüne göre lamine ağaç malzeme üretimi gerçekleştirilebilecek şekilde 3 farklı grupta yapılmıştır.

Daha sonra her bir grup kaplamalar $20 \pm 2^\circ \text{C}$ sıcaklık ve $\% 65 \pm 3$ bağıl nem şartlarında rutubet dolabında denge rutubetine ulaşıncaya kadar bekletilmişlerdir.

2.2.2. Lamine Katların Düzenlenmesi ve Presleme İşlemi

Laminasyon işlemi TS EN 386 ve TS 3891'de belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Hava kurusu haldeki 2,5 mm kalınlığındaki kaplamalardan, 9.8 GHz ölçümleri kullanılacak lamine ağaç malzemenin üretimi için, 4 kat olacak şekilde $10,02 \times 140 \times 1000$ mm boyutlarında; ısı iletkenliği ölçümlerinde kullanılacak ağaç malzemenin üretimi için 2,5 mm kalınlığındaki kaplamalardan 8 kat olacak şekilde $20 \times 140 \times 1000$ mm boyutlarında 3 farklı tutkal kullanılarak lamine ağaç malzemeler üretilmiştir.

Laminasyon işleminin gerçekleştirilmesinde tutkal üreticisi firmanın önerileri dikkate alınmıştır. Katların tutkallanmasında, tutkal çözeltisi yapıştırma yüzeylerinden yalnız bir tanesine fırça ile $180-200 \text{ g/m}^2$ hesabıyla sürülmüştür. Tutkal çözeltisinin başlangıçtaki ağırlığı ile tutkallama işleminden sonraki ağırlığı tartılmış ve kullanılan tutkal miktarı fırçada kalan miktar hesaba katılarak tutkallanan toplam yüzeye bölünmüştür. Yapıştırma işleminde; pres süresi; 9.8 GHz ölçümleri için hazırlanan 4 katlı laminasyon örnekleri için 15 dakika, ısı iletkenliği ölçümleri için hazırlanan 8 katlı laminasyon örnekleri için 30 dakika, pres basıncı; 110 bar ve pres sıcaklığı ise 120°C 'dir.

2.2.3. Test Örneklerinin Hazırlanması

Presleme işleminden sonra her bir gruba ait LVL parçaları, dielektrik ölçümler için $10,02 \times 140 \times 350$ mm boyutlarında; ısı iletkenliği için $20 \times 140 \times 350$ mm boyutlarında kesilerek, Tablo 1'de belirtilen bağıl nem ve sıcaklık şartlarında dengeye ulaşıncaya kadar rutubet dolabında bekletilmiştir.

Farklı sıcaklık ve bağıl nem şartlarında bekletilen parçaların ağırlığı sürekli kontrol edilerek denge rutubet miktarına ulaşmış parçalar seçilmiş ve bu parçalardan tam ölçülerdeki test örneklerinin kesim işlemi gerçekleştirilmiştir.

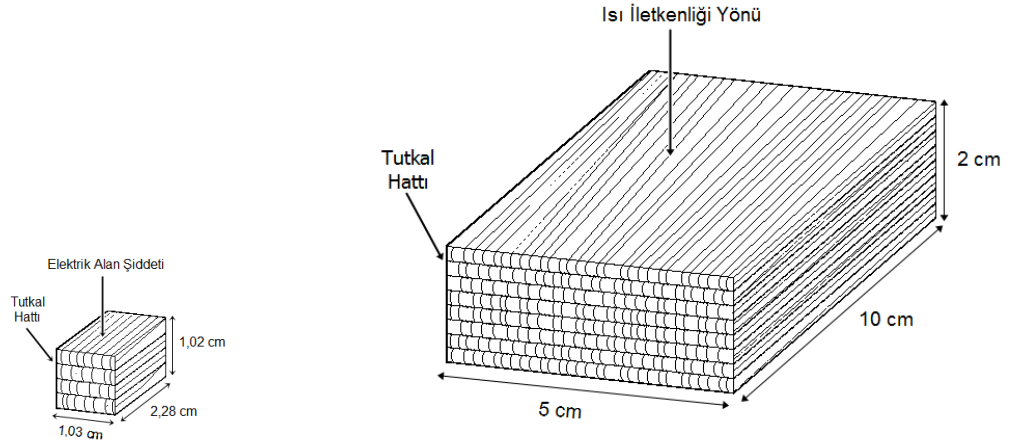
Çizelge 1.3. Deney örneklerinin bekletildiği bağıl nem ve sıcaklık şartları.

Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
20±2	65±2
20±2	77±2
20±2	93±2

Denge rutubetine ulaşmış her üç tutkal türüne ait lamine ağaç malzeme parçalarından kesin ölçülerde örnek kesimleri gerçekleştirilmiştir. Böylece; dielektrik ölçümlerinde kullanmak üzere 10.02×140×350 mm boyutlarındaki lamine ağaç malzeme parçalarından her bir grup için 2.28×1.02×1.03 cm boyutlarında 30'ar adet örnek kesilmiştir. Böylece iki ağaç türü, üç tutkal türü 3 rutubet şartı ve her gruptan 20 adet örnek olmak üzere toplam (2×3×3×20= 360) örnek kesilmiştir.

Isı iletkenliği ölçümlerinde kullanmak üzere 20×140×350 mm boyutlardaki lamine ağaç malzeme parçalarından her bir grup için 20×50×100 mm boyutlarında 20'şer adet kesin ölçülerdeki örnekler elde edilmiştir. Böylece iki ağaç türü, üç tutkal türü 3 farklı rutubet şartı ve her gruptan 20 adet örnek olmak üzere toplam (2×3×3×20= 360) örnek kesilmiştir.

Radyal yönde hazırlanmış lamine ağaç malzeme örneklerinin dielektrik ölçümlerinin elektrik alan şiddeti, tutkal hattına dik olacak şekilde gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Dielektrik ölçümlerde ve ısı iletkenliğinde kullanılan örneklerin elektrik alan yönüne ve ısı iletim yönüne göre pozisyonları Şekil 2.1 ve 2.2'de verilmiştir.



a) 9.8 GHz Dielektrik Örneği

b) Isı İletkenliği Örneği

Şekil 2.1. Lamine ağaç malzemelerin elektrik alan şiddetine ve ısı iletkenliğine göre pozisyonu.

Tam ölçülerdeki örnek kesimini takiben, her bir grup örnek, homojen denge rutubetine sahip olmaları amacıyla ölçüm anına kadar tekrar her grup için daha önceden bekletilen bağıl nem ve sıcaklık şartlarında bekletilmişlerdir.

2.2.4 Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi

Çam ve Kayın olmak üzere iki ağaç malzemeden, Fenol Formaldehit, Melamin-Üre Formaldehit ve Üre Formaldehit tutkalları kullanılarak üretilen lamine ağaç malzeme parçaları, tekrar kendi aralarında gruplandırılarak Çizelge 1.3' de belirtilen farklı sıcaklık ve bağıl nem şartlarında bekletilmişlerdir. Daha sonra ayrı rutubet şartlarında bekletilen bu parçalardan denge rutubetine ulaşmış olanlardan 20 mm kalınlık, 50 mm genişlik ve 100 mm boyundaki örnekler kesilmiştir (ASTM C 177/C 518). Böylece, 2 ağaç türü, 3 tutkal türü ve 3 rutubet şartı ve her gruptan 20 adet örnek olmak üzere (2x3x4x30) toplam 360 adet örnek hazırlanmıştır. Ölçümlerden hemen önce örneklerin ölçüm anındaki yoğunluk ve rutubetlerinin belirlenebilmesi amacıyla tüm örneklerin ağırlıkları tartılmış ve 3 boyutu ölçülmüştür.

Isı iletkenliği deneyleri, ASTM C1113-99 hot-wire metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Isı iletkenliği ölçümlerinde Quick Thermal Conductivity -500 ısı iletkenliği test makinesinde PD-11 sensör probu kullanılmıştır. Isı iletkenliği deneylerinde kullanılan QTM-500 cihazı şekil 2.2 verilmektedir. Tüm deneylerden önce kalibrasyon ölçümleri yapılmıştır. Her bir örneğin bir dakika süreyle otomatik olarak bir yüzeyindeki ölçümleri yapılmıştır (Kyoto,2004). Daha sonra örnekler ters çevrilerek diğer taraftan işlem yeniden gerçekleştirilmiş ve deney örneğinin ısı iletkenlik katsayısı bu iki ölçümün ortalaması olarak W/mK cinsinden kaydedilmiştir.



şekil 2. 2. QTM-500 cihazı ile ısı iletkenlik katsayısı deneyi.

2.2.5. Dielektrik Özelliklerin Belirlenmesi

2.2.5.1. Ölçüm Frekansları

Elektromanyetik dalgaların gittikçe yaygın kullanılmaları karşısında, frekans karışıklığını önlemek için ISM adı verilen belirli frekanslar endüstriyel, bilimsel, tıbbi uygulamalar için kullanılmak üzere ayrılmıştır (Oktay, 1978; Barnes et al, 1976). Günümüzde 0,9 - 18 GHz arasındaki frekanslar odun endüstrisinden yaygın

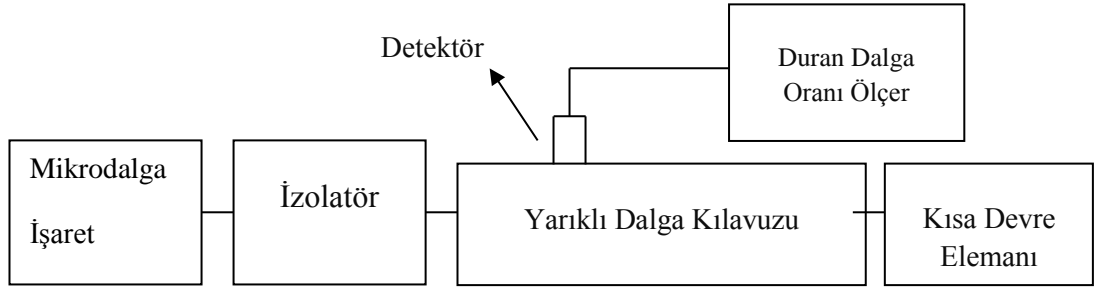
kullanılan frekanslardır (Thostenson and Chou, 1999). Bu çalışmada odun türlerinin dielektrik özellikleri 9.8 GHz ISM frekansında incelenmiştir.

2.2.5.2. Sıcaklık

Tüm dielektrik ölçümler 20 - 24° C oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

2.2.5.3. Dielektrik Özellikleri Ölçüm Yöntemi ve Deney Düzenegi

Bu çalışmada, 2 farklı ağaç türü ve 3 farklı tutkal kullanılarak üretilen lamine ağaç malzeme test örneklerinin 9.8 GHz frekansındaki dielektrik özellikleri (dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı) A.Von HIPPEL Dalga Kılavuzu Yöntemi (Chatterjee, 1988) kullanılarak belirlenmiştir. Deney düzenegi Şekil 2.3' de verilmektedir (Şahin, 2002).



Şekil 2. 3. Dielektrik özellikleri ölçmede kullanılan deney düzenegi.

Dielektrik sabiti bir yarık dalga kılavuzu ve duran dalga oranı ölçer yardımıyla ölçülmüştür. 9.8 GHz frekansı için X-bandında 8-12 GHz'de çalışan bir işaret kaynağı kullanılmıştır. İzolatör yansıyan dalganın işaret kaynağına zarar vermesini önlemek amacıyla kullanılmıştır.

Bu yöntemde dikdörtgen kesitli dalga kılavuzu içerisine test örneği yerleştirilmektedir. Bu nedenle örneklerin boyutları dalga kılavuzunun enine kesitine uygun olacak şekilde dikdörtgen kesitli olup, ölçüm elektrik alan şiddeti lamine ağaç malzemelerde tutkal hattına dik yönde olacak şekilde hazırlanmıştır. Dalga kılavuzunun enine kesit boyutları 2.28×1.02 cm'dir. Kalınlık olan üçüncü boyut

frekanstaki çeyrek boru dalga boyuna uygun olup 1.03 cm'dir. Bu boyutlarda ve yukarda anlatıldığı şekilde hazırlanan örneklerin ölçümler öncesi kalınlıkları (t) ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Ayrıca örneklerin ölçüm anındaki rutubet ve yoğunluklarının belirlenebilmesi amacıyla, ölçümlerden hemen önce tüm örneklerin ağırlıkları tartılmış ve üç boyutu kaydedilmiştir.

Bu dikdörtgen kesitli örnekler kısa devre tablasının temas ettiği yer olan dalga kılavuzunun uç kısmına yerleştirilir (Şahin, 2002). İlk aşamada hat sonu kısa devre iken, dalga kılavuzunun üst kısmındaki prob hareket ettirilerek gerilimin minimum olduğu değer kaydedilmiştir. İkinci aşamada, örnek dalga kılavuzuna yerleştirilmiş ve bu durumda da gerilimin minimum olduğu değer belirlenmiş ve duran dalga oranı ölçülmüştür. Sonra dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörü ve dielektrik kayıp tanjantı aşağıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır (Chatterjee, 1988).

$$Z_d \tan [\beta_d d_{1min}] = -Z_0 \tan [\beta_d d_{2min}] \quad (2.3)$$

Buradan,

$$\beta \tan [\beta_d t] = \beta_d \tan [\beta (\Delta + t)] \quad (2.4)$$

elde edilir.

$$\Delta = d_{1min} - d_{2min} \quad (2.5)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_b} \quad (2.6)$$

$$\beta_d = \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon' - (\lambda_0/\lambda_c)^2} \quad (2.7)$$

Baskın modda çalışıldığı için $\lambda_c = 2a$ dır. (9.8 GHz için $a=2.286$ cm) olduğundan (Olm et al, 2000) denklemden dielektrik sabiti,

$$\varepsilon' = \left(\frac{\beta_d \lambda_0}{2\pi} \right)^2 + \left(\frac{\lambda_0}{2a} \right)^2 \quad (2.8)$$

Kayıp tanjantı,

$$\tan \delta = \frac{4 \left[\frac{\varepsilon' - (\lambda_0/2a)^2}{\varepsilon'} \right] \operatorname{Cosec} \left[\frac{4\pi}{\lambda_b} (\Delta + t) \right]}{\frac{4\pi t}{\lambda_0} [\varepsilon' - (\lambda_0/2a)^2] \operatorname{Cosec} \frac{4\pi t}{\lambda_0} - 1} \quad (2.9)$$

Kayıp faktörü,

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \tan \delta \quad (2.10)$$

formülleriyle hesaplanmıştır.

Burada;

$d_{1\min}$: Sonu kısa devre edilmiş boruda gerilim minimumu

$d_{2\min}$: Malzeme varken ölçülen gerilim minimumu (hat sonu kısa devre iken)

t : Malzemenin kalınlığı

β : İçi hava dolu borunun faz sabiti

β_d : Malzeme varken faz sabiti

λ_c : Kesim dalga boyu

λ_0 : Boşlukta ilerleyen dalganın dalga boyu

λ_b : Boru içinde ilerleyen dalganın dalga boyu

S : Duran dalga oranı

Bu metod düşük kayıplı dielektrik materyaller için uygulanır. (Kuroda and Tsutsumi, 1981) denklemi yeniden düzenlenerek:

$$\beta_d t = \frac{\beta t}{\tan[\beta(\Delta + t)]} \tan(\beta_d t) \quad (2.11)$$

$$\frac{\beta t}{\tan [\beta (\Delta + t)]} = A \quad (2.12)$$

tanımını yapılarak, bu durumda,

$$\beta_d t = A \tan (\beta_d t) \quad (2.13)$$

denklemi elde edilmiştir. Bu denklemden β_d ' nin analitik yoldan hesabı zor olduğundan β_d belirlendikten sonra örneklerin dielektrik parametreleri (ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$), sayısal çözümleme yöntemlerinden yararlanılarak MATLAB programı kullanılarak hesaplanmıştır (Şahin, 2002).

2.2.6. Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi

Yoğunluk değerleri TS 2472 esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Her grup için gerçekleştirilen ölçümlerden hemen önce test örneklerinin ağırlıkları (M_r) hassas terazi ile ± 0.001 gr duyarlılıkta tartılmış ve boyutları mikrometre ve kumpas yardımıyla ± 0.001 mm duyarlılıkta ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Yoğunluk aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\delta_r = \frac{M_r}{V_r} \quad (2.14)$$

Burada;

δ_r	: Hava kurusu yoğunluk	(g/cm ³)
M_r	: Hava kurusu ağırlık	(g)
V_r	: Hava kurusu hacim	(cm ³)

2.2.7. Denge Rutubet Miktarının Belirlenmesi

Rutubet değerleri TS 2471 esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümden hemen önce test örneklerinin ağırlıkları (M_r) hassas terazi ile ± 0.001 g duyarlılıkta tartılmış ve boyutları mikrometre ve kumpas yardımıyla ± 0.001 mm duyarlılıkta ölçülmüştür.

Daha sonra dielektrik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümleri takiben test örnekleri $103 \pm 2^\circ \text{C}$ de değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulmuş ve desikatörde soğutulmuştur. Daha sonra örneklerin ağırlıkları $\pm 0.001 \text{ g}$ ve boyutları $\pm 0.001 \text{ mm}$ duyarlılıkta ölçülmüştür. Rutubet aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$r = \frac{M_r - M_o}{M_o} \times 100 \quad (2.15)$$

Burada;

- r : Rutubet miktarı (%)
Mr : % r rutubetteki ağırlık (g)
Mo : Tam kuru ağırlık (g)

2.2.8. İstatistik Yöntemler

Lamine ağaç malzemelerin farklı rutubet şartlarındaki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı ve ısı iletkenlik katsayıları Exel ve SPSS programları kullanılarak irdelenmiştir. Dielektrik parametreler ve ısı iletkenliği üzerine odun türü, tutkal türü ve farklı rutubet miktarlarının etkileri varyans analizi kullanılarak SPSS programında incelenmiştir.

BÖLÜM 3

BULGULAR

3.1. Lamine Ağaç Malzemelerin Isı İletkenliği Değerlerine Ait Bulgular

Çam ve Kayın odunlarından Üre Formaldehit (ÜF), Melamin Üre Formaldehit (MUF) ve Fenol Formaldehit (FF) tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklık ve 3 farklı bağıl nem ortamında belirlenen yoğunluk, rutubet ve ısı iletkenlik verilerinin aritmetik ortalama, standart sapma, max. ve min. değerleri Çizelge 3.1.'te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Lamine ağaç malzemelerin odun türüne, tutkal türüne ve rutubet miktarlarına göre yoğunluk, rutubet ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri.

zOdun	Tutkal	Rutubet Şartı		Rutubet (%)		Yoğunluk (g/cm ³)		Isı İletkenliği (W/mK)			
		Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	x	s	x	s	x	s	max.	min.
ÇAM	FF	20	65	11.6	0.374	0.608	0.010	0.1476	0.0062	0.1507	0.1453
			77	12.7	0.422	0.608	0.009	0.1517	0.0028	0.1572	0.1455
			93	16.7	0.613	0.613	0.009	0.1633	0.0022	0.1685	0.1596
	MUF	20	65	11.2	0.236	0.602	0.009	0.1436	0.0010	0.1451	0.1418
			77	12.2	0.290	0.603	0.011	0.1485	0.0016	0.1509	0.1463
			93	15.5	0.450	0.606	0.009	0.1596	0.0015	0.1622	0.1575
	ÜF	20	65	11.0	0.1651	0.576	0.007	0.1383	0.0005	0.1392	0.1373
			77	11.9	0.301	0.576	0.011	0.1446	0.0012	0.1463	0.1426
			93	14.9	0.281	0.580	0.006	0.1561	0.0012	0.1575	0.1539
KAYIN	FF	20	65	11.0	0.142	0.768	0.007	0.1719	0.0016	0.1746	0.1684
			77	12.5	0.152	0.773	0.008	0.1780	0.0013	0.1808	0.1760
			93	17.4	0.299	0.783	0.009	0.1893	0.0025	0.1951	0.1859
	MUF	20	65	10.8	0.177	0.768	0.006	0.1667	0.0015	0.1697	0.1634
			77	11.8	0.139	0.773	0.007	0.1723	0.0014	0.1758	0.1696
			93	15.8	0.309	0.771	0.009	0.1821	0.0024	0.1875	0.1787
	ÜF	20	65	10.7	0.153	0.766	0.005	0.1607	0.0009	0.1620	0.1590
			77	12.0	0.167	0.768	0.004	0.1703	0.0008	0.1717	0.1691
			93	15.5	0.119	0.777	0.004	0.1821	0.0013	0.1852	0.1807

x: 20 örneğin aritmetik ortalaması, s: standart sapma

Lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenlik değerleri üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet miktarının etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği değerleri üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynaklar	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F- Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	0.077 ^a	17	0.005	1675.794	0.000
Sabit Terim	9.518	1	9.518	3534888.490	0.000
A: Odun	0.054	1	0.054	19949.578	0.000
B: Tutkal Türü	0.004	2	0.002	773.628	0.000
C: Rutubet Şartı	0.018	2	0.009	3423.286	0.000
Etkileşim AB	0.000	2	4.302E-5	15.978	0.000
Etkileşim AC	0.000	2	3.466E-5	12.873	0.000
Etkileşim BC	0.000	4	4.684E-5	17.396	0.000
Etkileşim ABC	0.000	4	1.198E-5	4.449	0.002
Hata	0.001	342	2.693E-6		
Toplam	9.596	360			
Düzeltilmiş Toplam	0.078	359			

Yapılan çoğul varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.2), ısı iletkenliği üzerine odun türünün, rutubet miktarlarının, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı üzerine rutubet miktarının etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3.3' te verilmiştir.

Duncan karşılaştırma sonuçlarına göre (Çizelge 3.3), 20 °C sıcaklıkta bağıl nemin artmasıyla lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin arttığı ve en düşük ısı iletkenliği değerlerin 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl nemde bekletilen örneklerde, en yüksek ısı iletkenliği değerlerin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemde bekletilen

örneklerde elde edildiği ve bütün rutubet şartı grupları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. Lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenliği üzerine rutubet miktarlarının etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.

Rutubet Şartı		Örnek sayısı (adet)	Alt gruplar		
Sıcaklık(°C)	Bağıl Nem (%)		1	2	3
20	65	120	0.1548		
20	77	120		0.1609	
20	93	120			0.1721

Lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3.4' te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenliği üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.

TUTKAL	Örnek Sayısı	Alt gruplar		
		1	2	3
ÜF	120	0.1587		
MUF	120		0.1621	
FF	120			0.1670

Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.4.) tutkal türünün ısı iletkenliği üzerine etkisinin önemli olduğu ve her üç tutkal türü arasında da istatistiksel olarak farklar bulunduğu belirlenmiştir. En yüksek ısı iletkenliği değeri FF örneklerinde, en düşük ısı iletkenliği değeri ise ÜF örneklerinde olduğu belirlenmiştir. Ağaç türünün ısı iletkenliği üzerine etkisi incelendiğinde odun türünün etkisi önemli olduğu ve çam lamine ağaç malzemelerin kayın lamine ağaç malzemedeki düşük ısı iletkenliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle odun türleri farklı olarak ele alınmıştır.

3.1.1. Çam Lamine Ağaç Malzemelerin Isı İletkenliği Değerleri

Çam lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenlik değerleri üzerine, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi sonuçları Çizelge 3.5’ de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Çam lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği değerleri üzerine rutubet şartları ve tutkal türünün etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları.

ODUN	Varyans Kaynaklar	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F- Hesap	Önem Düzeyi
ÇAM	Düzeltilmiş Model	0.010 ^a	8	0.001	479.916	0.000
	Sabit Terim	4.071	1	4.071	1498612.921	0.000
	Rutubet Şartı	0.009	2	0.004	1573.869	0.000
	Tutkal Türü	0.002	2	0.001	339.947	0.000
	Rutubet Şartı * Tutkal Türü	3.177E-5	4	7.944E-6	2.924	0.023
	Hata	0.000	171	2.716E-6		
	Toplam	4.082	180			
	Düzeltilmiş Toplam	0.011	179			

Varyans analizi sonuçlarına göre, (Çizelge 3.5) çam odununun ısı iletkenliği katsayısı üzerine rutubet miktarlarının, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Çam lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği katsayısı değeri üzerine tüm faktörlerin varyans etkilerinin birlikte karşılaştırıldığı Duncan testi sonuçları Çizelge 3.6’ de verilmiştir.

Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.6.) çam lamine ağaç malzemedeki en yüksek ısı iletkenliği değerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki FF örneklerinde, en düşük ısı iletkenliği değerin ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki ÜF örneklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Böylece rutubet miktarı arttıkça tutkal türlerine göre ısı iletkenlik değerleri arasındaki farkın daha belirginleştiği gözlenmiştir.

Çizelge 3.6. Çam lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği üzerine etkisi araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları.

TUTKAL	Rutubet şartı		Örnek Sayısı (Adet)	Alt Gruplar								
	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)		1	2	3	4	5	6	7	8	
ÜF	20	65	20	0.1384								
MUF	20	65	20		0.1436							
ÜF	20	77	20			0.1446						
FF	20	65	20				0.1476					
MUF	20	77	20				0.1485					
FF	20	77	20					0.1517				
ÜF	20	93	20						0.1561			
MUF	20	93	20							0.1596		
FF	20	93	20								0.1633	

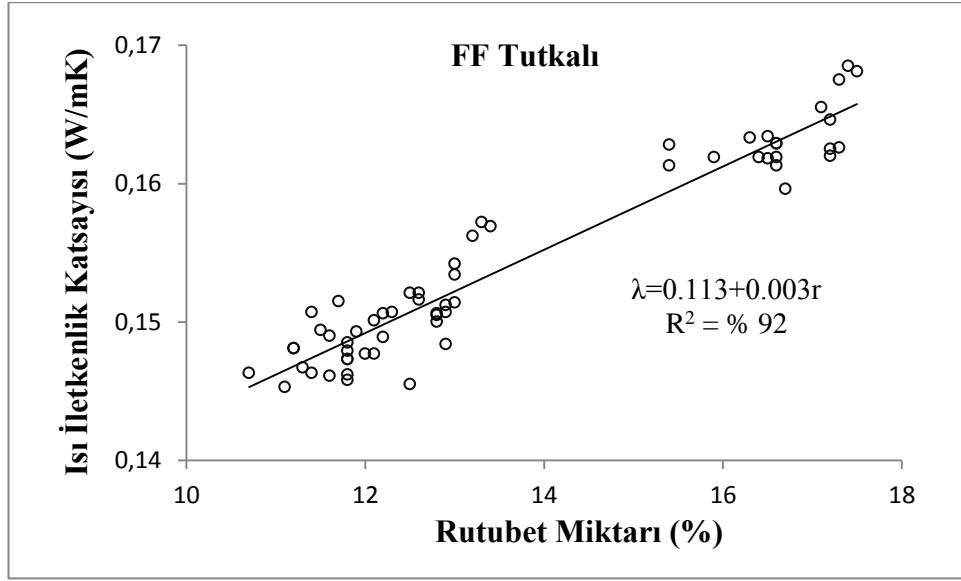
Lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenliği değeri üzerine rutubet miktarının etkisinin, rutubet süreklilik arz ettiği için, tutkal türlerinin her birinde ayrıca irdelenmesinin yararlı olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla ısı iletkenliği değeri ile rutubet miktarı arasındaki ilişki FF, MUF, ÜF tutkal türlerinin her biri için rutubet miktarı (r) ile ısı iletkenlik katsayısı (λ) arasındaki ilişkiyi en iyi ifade edebilen eşitliği belirleyebilmek için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş ve ısı iletkenlik katsayısı ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi tüm tutkal türlerinde en iyi ifade eden eşitliği $\lambda=a+br$ eşitliğinin olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3.7 de çalışmaya konu olan tutkal türleri için elde edilen regresyon analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.7. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre ısı iletkenlik katsayısı (λ) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\lambda=a+br$].

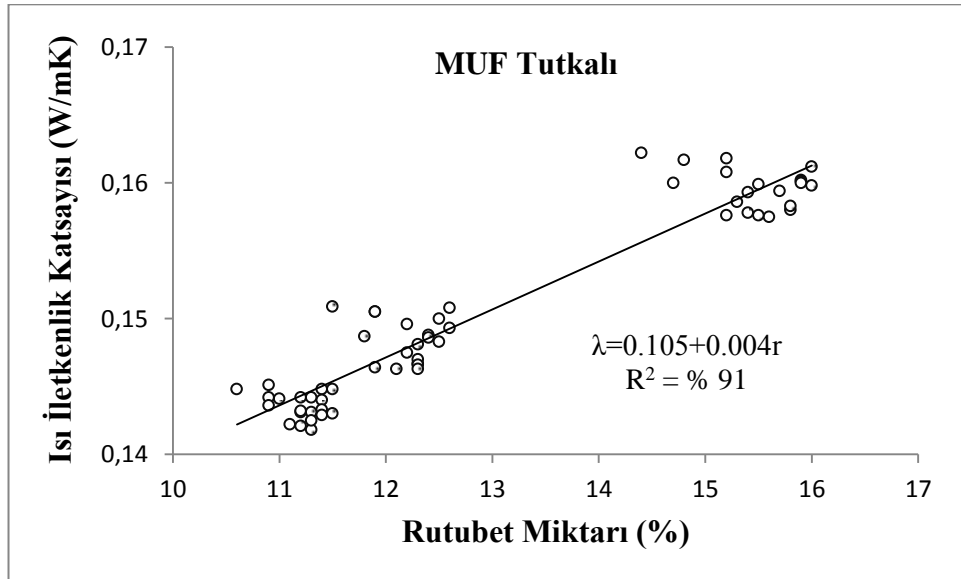
Odun	Tutkal	R ²	F Hesap	df1	df2	Önem Düzeyi	Denklem Katsayısı	
							a	b
Çam	FF	0.92	664.825	1	58	0.000	0.113	0.003
	MUF	0.91	579.136	1	58	0.000	0.105	0.004
	ÜF	0.83	831.643	1	58	0.000	0.091	0.004

Bu eşitlikler yardımıyla % 9 – 18 arasındaki herhangi bir rutubet derecesinde çalışmaya konu olan çam lamine ağaç malzemenin tutkal türüne göre ısı iletkenlik katsayı değeri belirlenebilir. Isı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon katsayıları (R²) tutkal türleri FF 0.92, MUF 0.91, ÜF

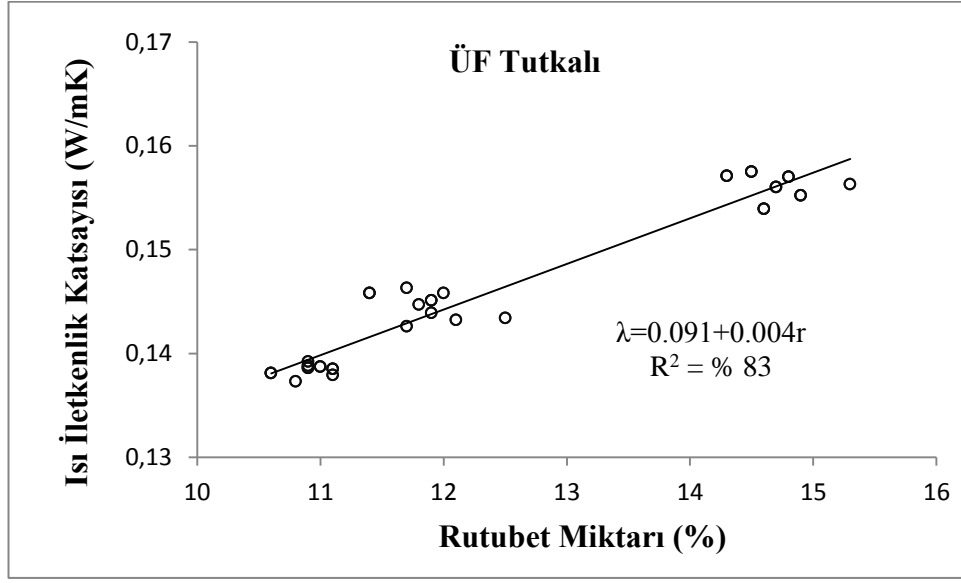
0.83 değerindedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre, tüm tutkal türlerinde ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasında 0.001 anlam düzeyinde güçlü pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Regresyon eşitliklerinin hesaplanmasıyla elde edilen değerler deneysel verilerin ortalamaları ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 3.1. FF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3.2. MUF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 3. ÜF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.

3.1.2. Kayın Lamine Ağaç Malzemelerin Isı İletkenliği Değerleri

Kayın lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenlik değerleri üzerine, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.8' de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Kayın lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği değerleri üzerine rutubet miktarlarının ve tutkal türünün etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

ODUN	Varyans Kaynaklar	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F- Hesap	Önem Düzeyi
KAYIN	Düzeltilmiş Model	0.013 ^b	8	0.002	588.407	0.000
	Sabit Terim	5.501	1	5.501	2061199.615	0.000
	Rutubet Şartı	0.010	2	0.005	1864.863	0.000
	Tutkal Türü	0.002	2	0.001	450.638	0.000
	Rutubet Şartı * Tutkal Türü	0.000	4	5.088E-5	19.063	0.000
	Hata	0.000	171	2.669E-6		
	Toplam	5.514	180			
Düzeltilmiş Toplam	0.013	179				

Varyans analizi sonuçlarına göre, (Çizelge 3.8) kayın odununun ısı iletkenliği katsayısı üzerine rutubet miktarlarının, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Kayın lamine ağaç malzemede tüm faktörlerin birlikte karşılaştırıldığı Duncan testi sonuçları Çizelge 3.9’ de verilmiştir.

Çizelge 3.9. Kayın lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği üzerine etkisi araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları.

Tutkal	Rutubet Şartı		Örnek Sayısı (Adet)	Alt Gruplar							
	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)		1	2	3	4	5	6	7	
ÜF	20	65	20	0.1607							
MUF	20	65	20		0.1667						
ÜF	20	65	20			0.1703					
FF	20	77	20				0.1719				
MUF	20	77	20				0.1723				
FF	20	77	20					0.1780			
ÜF	20	93	20						0.1821		
MUF	20	93	20						0.1821		
FF	20	93	20							0.1893	

Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.9.) kayın lamine ağaç malzemede en yüksek ısı iletkenliği değerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemde bekletilen FF örneklerinde, en düşük ısı iletkenliği değerinin ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemde bekletilen ÜF örneklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca rutubet arttıkça tutkal türleri arasındaki sıralamanın değişmediği ancak daha belirgin hale geldiği belirlenmiştir.

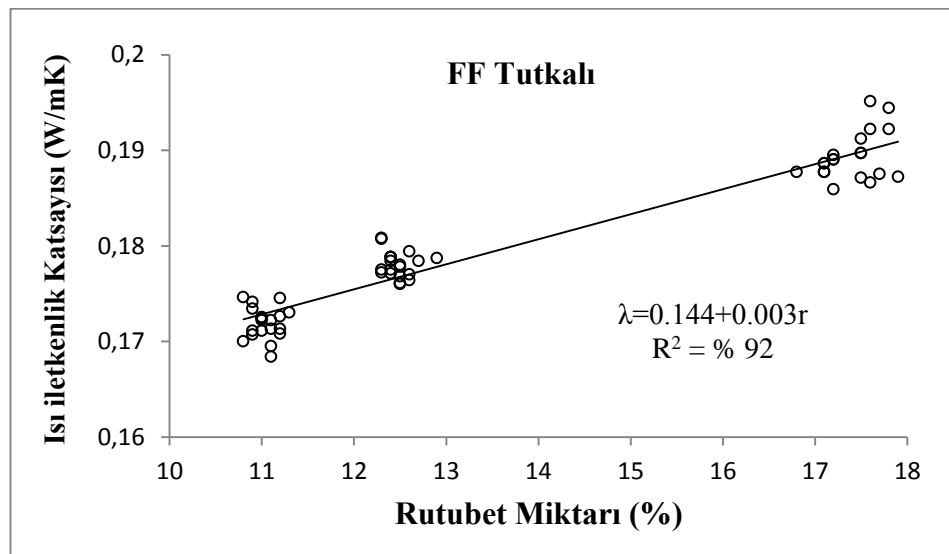
Lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenliği üzerine rutubet miktarının etkisinin, rutubet süreklilik arz ettiği için, tutkal türlerinin her birinde ayrıca irdelenmesinin yararlı olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla ısı iletkenliği değeri ile rutubet miktarı arasındaki ilişki FF, MUF, ÜF tutkal türlerinin her biri için rutubet miktarı (r) ile ısı iletkenlik katsayısı (λ) arasındaki ilişkiyi en iyi ifade edebilen eşitliği belirleyebilmek için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş ve ısı iletkenlik katsayısı ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi tüm tutkal türlerinde en iyi ifade eden eşitliği $\lambda=a+br$ eşitliğinin olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3.10 de çalışmaya konu olan tutkal türleri için elde edilen regresyon analizi sonuçları verilmiştir.

Aşağıdaki eşitlikler yardımıyla % 9 – 18 arasındaki herhangi bir rutubet derecesinde çalışmaya konu olan kayın lamine ağaç malzemenin tutkal türüne göre ısı iletkenlik katsayı değeri belirlenebilir. Isı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon katsayıları (R^2) tutkal türleri içinde FF 0.92, MUF 0.91, ÜF 0.95 değerindedir.

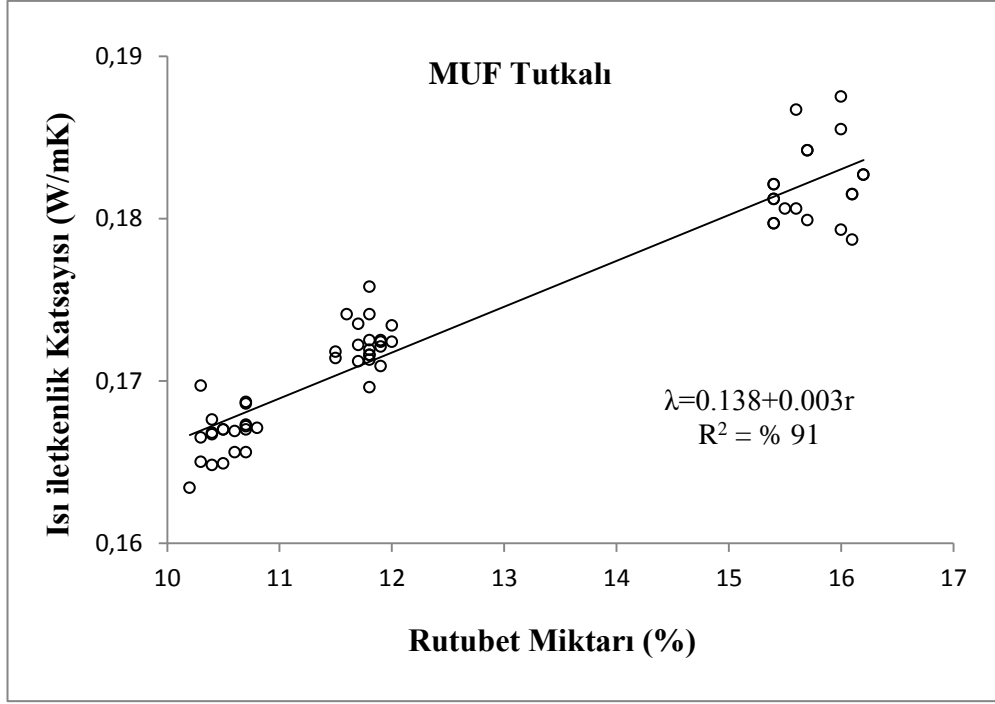
Çizelge 3.10. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre ısı iletkenlik katsayısı (λ) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\lambda=a+br$].

Odun	Tutkal	R^2	F Hesap	df1	df2	Önem Düzeyi	Denklem Katsayısı	
							a	b
Kayın	FF	0.92	704.540	1	58	0.000	0.144	0.003
	MUF	0.91	596.013	1	58	0.000	0.138	0.003
	ÜF	0.95	1021.084	1	58	0.000	0.117	0.004

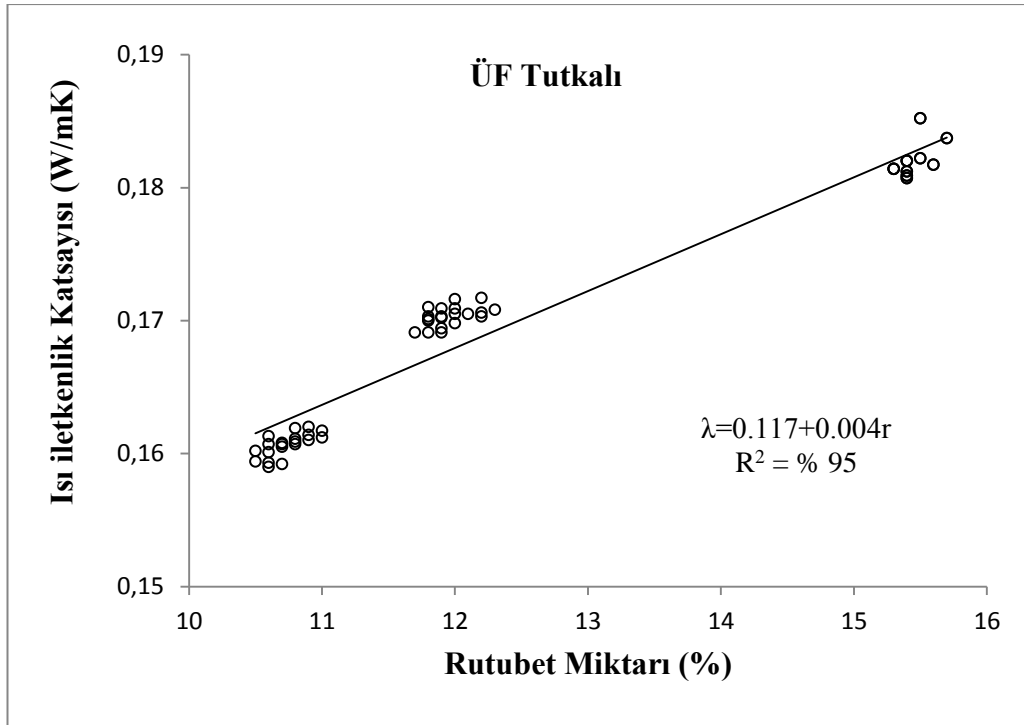
Regresyon analizi sonuçlarına göre, tüm tutkal türlerinde ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasında 0.001 anlam düzeyinde güçlü pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Regresyon eşitliklerinin hesaplanmasıyla elde edilen değerler deneysel verilerin ortalamaları ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 3. 4. FF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 5. MUF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 6. ÜF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.

3.2. Lamine Ağaç Malzemelerin Dielektrik Özelliklerine Ait Bulgular

3.2.1. Dielektrik Sabiti

Çizelge.3.11. Lamine ağaç malzemelerin odun türüne, tutkal türüne ve rutubet miktarlarına göre yoğunluk, rutubet ve dielektrik sabiti değerleri.

Odun	Tutkal	Rutubet Şartı		Rutubet (%)		Yoğunluk (g/cm ³)		Dielektrik Sabiti			
		Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	x	s	x	s	x	s	Max.	Min.
ÇAM	FF	20	65	10.13	0.63	0.594	0.017	2.1999	0.0853	2.3928	2.1046
			77	11.66	0.64	0.582	0.026	2.5360	0.1550	2.8385	2.3581
			93	15.76	0.48	0.614	0.012	2.9828	0.0638	3.0439	2.8873
	MUF	20	65	10.15	0.48	0.584	0.016	2.1802	0.0577	2.2674	2.1021
			77	11.44	0.36	0.578	0.014	2.5132	0.0675	2.6572	2.3289
			93	14.12	0.32	0.610	0.017	2.8725	0.1249	3.0425	2.6149
	ÜF	20	65	10.51	0.74	0.576	0.017	2.1703	0.0797	2.4409	2.0845
			77	11.79	0.51	0.580	0.012	2.3554	0.0687	2.3958	2.0845
			93	13.71	1.01	0.587	0.016	2.5666	0.0978	2.7019	2.4321
KAYIN	FF	20	65	9.83	0.53	0.745	0.009	2.9971	0.0539	3.0935	2.8873
			77	12.00	0.27	0.749	0.013	3.2701	0.0438	3.3787	3.2057
			93	17.64	0.46	0.753	0.017	3.7862	0.0857	3.9595	3.6744
	MUF	20	65	10.27	0.70	0.772	0.015	2.9001	0.1719	3.0421	2.5745
			77	11.89	0.42	0.792	0.015	3.1096	0.1117	3.2700	2.9380
			93	15.94	0.24	0.786	0.008	3.4748	0.0795	3.6100	3.2714
	ÜF	20	65	9.84	0.58	0.755	0.011	2.8887	0.1514	3.0421	2.6600
			77	11.83	0.25	0.761	0.009	3.2398	0.0467	3.3169	3.1490
			93	15.45	0.41	0.765	0.016	3.6092	0.0933	3.7949	3.4409

x: 30 örneğin aritmetik ortalaması, s: standart sapma

Çam ve Kayın odunlarından ÜF, MUF ve FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklık ve 3 farklı bağıl nem ortamında belirlenen yoğunluk, rutubet ve dielektrik sabiti verilerinin aritmetik ortalama, standart sapma, max. ve min. değerleri Çizelge 3.11.'te verilmiştir.

Dielektrik sabiti üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet şartı ve bu faktörlerin etkileşimlerinin genel olarak etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 3.12' te verilmiştir.

Çizelge 3.12. Lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynaklar	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	82.924 ^a	17	4.878	505.093	0.000
Sabit Terim	2964.400	1	2964.400	306956.811	0.000
Odun	52.883	1	52.883	5475.863	0.000
Tutkal Türü	1.619	2	0.810	83.856	0.000
Rutubet Şartı	26.265	2	13.132	1359.814	0.000
Odun * Tutkal Türü	0.887	2	0.443	45.911	0.000
Odun * Rutubet Şartı	0.111	2	0.056	5.766	0.003
Tutkal Türü * Rutubet Şartı	0.618	4	0.155	16.003	0.000
Odun * Tutkal Türü * Rutubet Şartı	0.541	4	0.135	14.007	0.000
Hata	3.303	342	0.010		
Toplam	3050.627	360			
Düzeltilmiş Toplam	86.227	359			

Yapılan çoğul varyans analizi sonuçlarına göre Çizelge 3.12, dielektrik sabiti üzerine rutubet şartı, tutkal türü ve odun türünün, bu faktörlerin etkileşiminin etkisinin 0.005 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.13. Lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti üzerine rutubet miktarlarının etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.

Rutubet Şartı		Örnek sayısı (adet)	Alt Gruplar		
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)		1	2	3
20	65	120	2.5561		
20	77	120		2.8374	
20	93	120			3.2153

Lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti üzerine rutubet miktarının etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3.13' te verilmiştir.

Duncan karşılaştırma sonuçlarına göre (Çizelge 3.13), 20 °C sıcaklıkta bağıl nemin artmasıyla lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti arttığı ve en düşük dielektrik sabiti değerlerin 20 °C sıcaklık % 42 bağıl nemde ölçülen örneklerde, en yüksek dielektrik sabiti değerlerinin 20 °C sıcaklıkta % 93 bağıl nemde ölçülen örneklerde

elde edildiği bütün rutubet şartı grupları arasında farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

Lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3.14’ te verilmiştir.

Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.14) tutkal türünün dielektrik sabiti üzerine etkisinin önemli olduğu ve her üç tutkal türü arasında da istatistiksel olarak farklar bulunduğu belirlenmiştir. En yüksek dielektrik sabiti değerinin FF örneklerinde, en düşük dielektrik sabiti değerinin ise ÜF örneklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Ağaç türünün dielektrik sabiti üzerine etkisi incelendiğinde odun türünün etkisi önemli olduğu ve çam lamine ağaç malzemelerin kayın lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabitinden düşük olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle odun türleri farklı olarak ele alınmıştır.

Çizelge 3.14. Lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.

Tutkal	Örnek sayısı (adet)	Alt gruplar		
		1	2	3
ÜF	120	2.8050		
MUF	120		2.8417	
FF	120			2.9620

3.2.1. Çam Lamine Ağaç Malzemelerin Dielektrik Sabiti Değerleri

Çam lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti değerleri üzerine, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 3.15’ de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.15), çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti üzerine rutubet miktarlarının, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin etkisi 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir

Çizelge 3.15. Çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti değerleri üzerine rutubet miktarlarının ve tutkal türlerinin etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları

ODUN	Varyans Kaynaklar	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F- Hesap	Önem Düzeyi
ÇAM	Düzeltilmiş Model	13.959 ^a	8	1.745	197.551	0.000
	Sabit Terim	1112.706	1	1112.706	125978.725	0.000
	Rutubet Şartı	11.703	2	5.851	662.476	0.000
	Tutkal Türü	1.432	2	0.711	80.547	0.000
	Rutubet Şartı * Tutkal Türü	0.833	4	0.208	23.591	0.000
	Hata	1.510	171	0.009		
	Toplam	1128.175	180			
	Düzeltilmiş Toplam	15.469	179			

Çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti değeri üzerine tüm faktörlerin etkisinin karşılaştırıldığı Duncan testi sonuçları Çizelge 3.16' de verilmiştir.

Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.16), çam lamine ağaç malzemenin en yüksek dielektrik sabiti değerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemde bekletilen FF örneklerinde, en düşük dielektrik sabiti değerinin ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemde bekletilen ÜF örneklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca rutubet arttıkça tutkal türleri arasındaki sıralamanın değişmediği belirlenmiştir.

Çizelge 3.16. Çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti üzerine etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları.

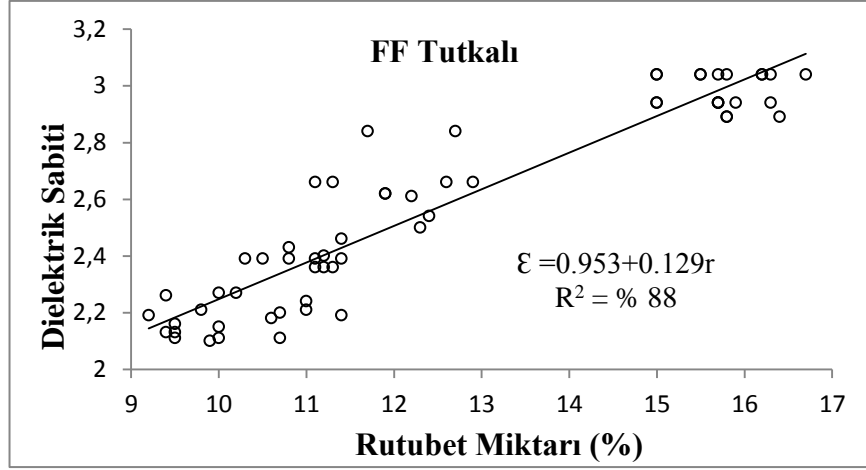
TUTKAL	Rutubet şartı		Örnek Sayısı (Adet)	Alt Gruplar					
	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)		1	2	3	4	5	6
ÜF	20	65	20	2.1662					
MUF	20	65	20	2.1802					
FF	20	65	20	2.1999					
ÜF	20	77	20		2.3728				
MUF	20	77	20			2.5132			
FF	20	77	20			2.5360	2.5360		
ÜF	20	93	20				2.5736		
MUF	20	93	20					2.8725	
FF	20	93	20						2.9828

Lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti üzerine rutubet miktarının etkisinin, rutubet süreklilik arz ettiği için, tutkal türlerinin her birinde ayrıca irdelenmesinin yararlı olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki ilişki FF, MUF, ÜF tutkal türlerinin her biri için rutubet miktarı (r) ile dielektrik sabiti (E) arasındaki ilişkiyi en iyi ifade edebilen eşitliği belirleyebilmek için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş ve dielektrik sabiti ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi tüm tutkal türlerinde en iyi ifade eden eşitliği $E = a+b.r$ eşitliğinin olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3.17 de çalışmaya konu olan tutkal türleri için elde edilen regresyon analizi sonuçları verilmiştir.

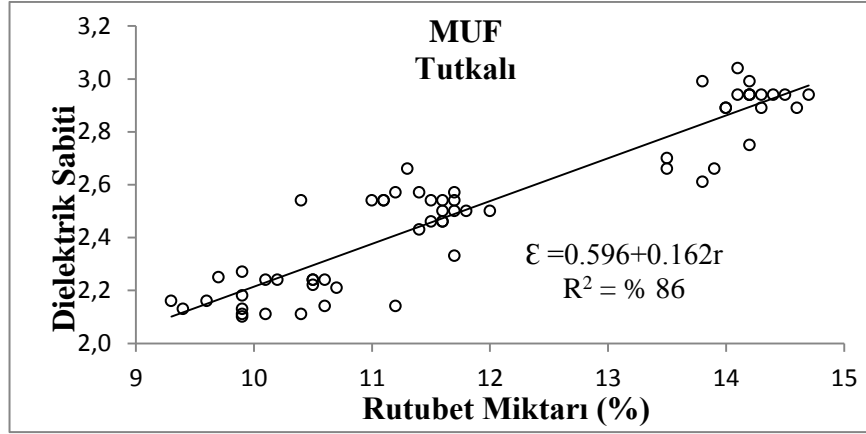
Çizelge 3.17. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre dielektrik sabiti (E) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$E = a+b.r$].

Odun	Tutkal	R ²	F Hesap	df1	df2	Önem Düzeyi	Denklem Katsayısı	
							a	b
Çam	FF	0.88	424.113	1	58	0.000	0.953	0.129
	MUF	0.86	368.834	1	58	0.000	0.596	0.162
	ÜF	0.84	303.568	1	58	0.000	1.056	0.109

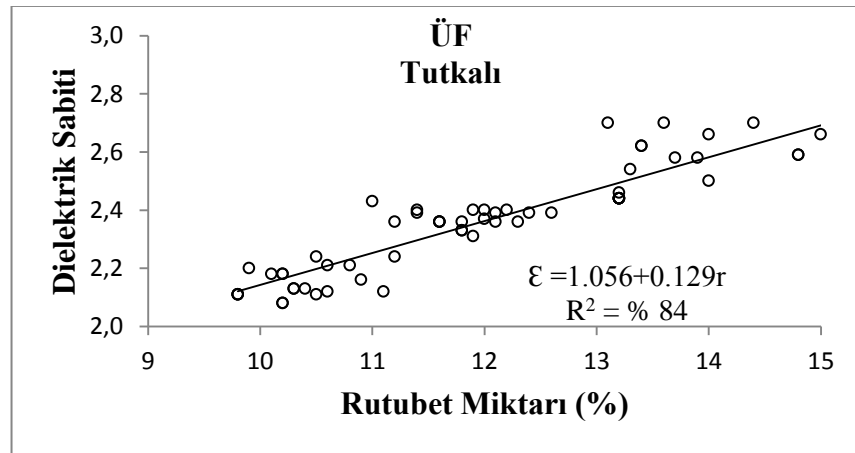
Bu eşitlikler yardımıyla % 9 – 18 arasındaki herhangi bir rutubet derecesinde çalışmaya konu olan çam lamine ağaç malzemenin tutkal türüne göre dielektrik sabiti belirlenebilir. Dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon katsayıları (R²) FF tutkalı için 0.88, MUF tutkalı için 0.86 ve ÜF tutkalı için 0.84 değerindedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre, tüm tutkal türlerinde dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasında 0.001 anlam düzeyinde güçlü pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Regresyon eşitliklerinin hesaplanmasıyla elde edilen değerler deneysel verilerin ortalamaları ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 3. 7. FF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 8. MUF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 9. ÜF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.

3.2.2. Kayın Lamine Ağaç Malzemelerin Dielektrik Sabiti Değerleri

Kayın lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti değerleri üzerine, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.18’ de verilmiştir.

Çizelge 3.18. Kayın lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti değerleri üzerine rutubet miktarlarının ve tutkal türünün etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

ODUN	Varyans Kaynaklar	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F- Hesap	Önem Düzeyi
KAYIN	Düzeltilmiş Model	16.082 ^b	8	2.010	191.781	0.000
	Sabit Terim	1904.577	1	1904.577	181694.895	0.000
	Rutubet Şartı	14.673	2	7.337	669.907	0.000
	Tutkal Türü	1.083	2	0.542	51.676	0.000
	Rutubet Şartı * Tutkal Türü	0.326	4	0.081	7.770	0.000
	Hata	1.792	171	0.010		
	Toplam	1922.452	180			
	Düzeltilmiş Toplam	17.875	179			

Varyans analizi sonuçlarına göre, (Çizelge 3.18) kayın odununun dielektrik sabiti üzerine rutubet miktarlarının, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin etkisi 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Kayın lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti değeri üzerine tüm faktörlerin etkisinin birlikte karşılaştırıldığı Duncan testi sonuçları Çizelge 3.19’ de verilmiştir.

Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.19), kayın lamine ağaç en yüksek dielektrik sabiti değerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemde bekletilen FF örneklerinde, en düşük dielektrik sabiti değerin ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemde bekletilen ÜF örneklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca rutubet gruplarında genel olarak küçükten büyüğe doğru ÜF, MUF, FF sıralaması geçerli olduğu ve rutubet arttıkça tutkal türleri arasındaki farkların daha belirginleştiği belirlenmiştir.

Çizelge 3.19. Kayın lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları.

Tutkal	Rutubet Şartı		Örnek Sayısı (Adet)	Alt Gruplar	1	2	3	4	5	6	7
	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)									
ÜF	20	65	20	2.8887							
MUF	20	65	20	2.9002							
FF	20	65	20		2.9971						
MUF	20	77	20			3.1096					
ÜF	20	77	20				3.2398				
FF	20	77	20				3.2701				
MUF	20	93	20					3.4748			
ÜF	20	93	20						3.6092		
FF	20	93	20							3.7862	

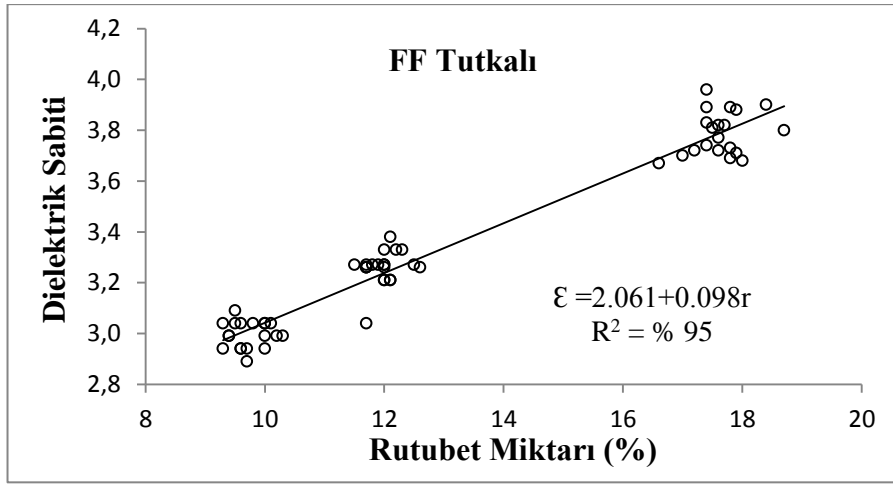
Lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti üzerine rutubet miktarının etkisinin, rutubet süreklilik arz ettiği için, tutkal türlerinin her birinde ayrıca irdelenmesinin yararlı olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki ilişki FF, MUF, ÜF tutkal türlerinin her biri için rutubet miktarı (r) ile dielektrik sabiti (E) arasındaki ilişkiyi en iyi ifade edebilen eşitliği belirleyebilmek için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş ve dielektrik sabiti ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi tüm tutkal türlerinde en iyi ifade eden eşitliği $E = a+b.r$ eşitliğinin olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3.20 de çalışmaya konu olan tutkal türleri için elde edilen regresyon analizi sonuçları verilmiştir.

Aşağıdaki eşitlikler yardımıyla % 9 – 18 arasındaki herhangi bir rutubet derecesinde çalışmaya konu olan kayın lamine ağaç malzemenin tutkal türüne göre dielektrik sabiti belirlenebilir. Dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon katsayıları (R^2) FF tutkalı için 0.95, MUF tutkalı için 0.81, ÜF tutkalı için 0.90 değerindedir.

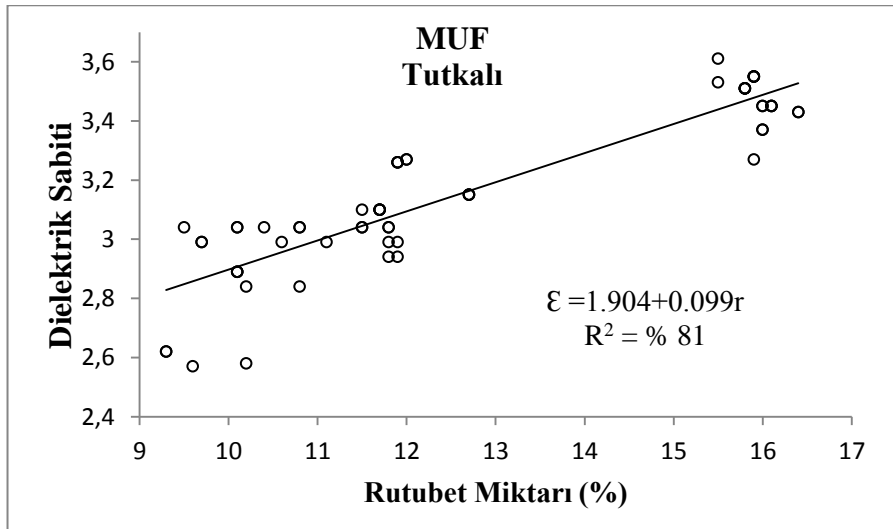
Regresyon analizi sonuçlarına göre, tüm tutkal türlerinde dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasında 0.001 anlam düzeyinde güçlü pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Regresyon eşitliklerinin hesaplanmasıyla elde edilen değerler deneysel verilerin ortalamaları ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.20. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre dielektrik sabiti (ϵ) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon = a+b.r$].

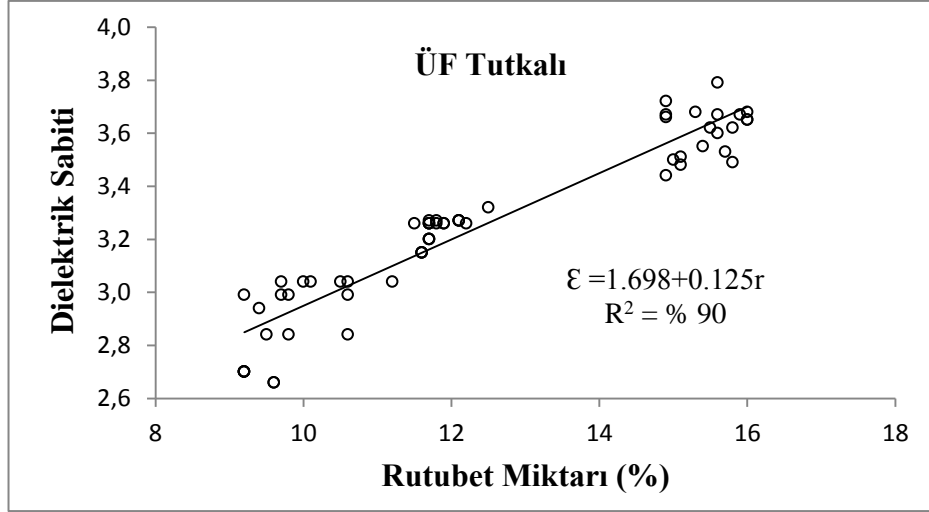
Odun	Tutkal	R^2	F Hesap	df1	df2	Önem Düzeyi	Denklem Katsayısı	
							a	b
Kayın	FF	0.95	1194.382	1	58	0.000	2.061	0.098
	MUF	0.81	243.753	1	58	0.000	1.904	0.099
	ÜF	0.90	503.969	1	58	0.000	1.698	0.125



Şekil 3. 10. FF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 11. MUF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 12. ÜF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.

3.3.1. Kayıp Faktörü

Çizelge.3.21. Lamine ağaç malzemelerin odun türüne, tutkal türüne ve rutubet miktarlarına göre yoğunluk, rutubet ve kayıp faktör değerleri.

Odun	Tutkal	Rutubet Şartı		Rutubet (%)		Yoğunluk (g/cm ³)		Kayıp Faktörü			
		Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	x	s	x	s	x	S	Max.	Min.
ÇAM	FF	20	65	10.13	0.63	0.594	0.017	0.1852	0.0190	0.2434	0.1588
			77	11.66	0.64	0.582	0.026	0.2834	0.0509	0.3505	0.2166
			93	15.76	0.48	0.614	0.012	0.4373	0.0664	0.5437	0.3516
	MUF	20	65	10.15	0.48	0.584	0.016	0.1738	0.0136	0.2065	0.1534
			77	11.44	0.36	0.578	0.014	0.2688	0.0239	0.3159	0.2267
			93	14.12	0.32	0.610	0.017	0.4300	0.0544	0.5154	0.3470
	ÜF	20	65	10.51	0.74	0.576	0.017	0.1784	0.0449	0.3618	0.1534
			77	11.79	0.51	0.580	0.012	0.2465	0.0330	0.2913	0.1534
			93	13.71	1.01	0.587	0.016	0.3927	0.0487	0.4636	0.2963
KAYIN	FF	20	65	9.83	0.53	0.745	0.009	0.3409	0.0080	0.3517	0.3240
			77	12.00	0.27	0.749	0.013	0.4040	0.0295	0.4672	0.3666
			93	17.64	0.46	0.753	0.017	0.6580	0.0472	0.7566	0.5844
	MUF	20	65	10.27	0.70	0.772	0.015	0.3277	0.0374	0.3810	0.2587
			77	11.89	0.42	0.792	0.015	0.4004	0.0231	0.4440	0.3610
			93	15.94	0.24	0.786	0.008	0.6351	0.0688	0.7530	0.5366
	ÜF	20	65	9.84	0.58	0.755	0.011	0.3216	0.0265	0.3498	0.2800
			77	11.83	0.25	0.761	0.009	0.3705	0.0081	0.3862	0.3592
			93	15.45	0.41	0.765	0.016	0.6533	0.0400	0.7251	0.5649

x: 20 örneğin aritmetik ortalama, s: standart sapma

Çam ve kayın odunlarından ÜF, MUF ve FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklık ve 3 farklı bağıl nem ortamında belirlenen yoğunluk, rutubet ve kayıp faktör verilerinin aritmetik ortalama, standart sapma, max. ve min. değerleri Çizelge 3.21.'te verilmiştir.

Kayıp faktörü üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet şartı ve bu faktörlerin etkileşimlerinin genel olarak etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi sonuçları Çizelge 3.22' te verilmiştir.

Çizelge 3.22. Lamine ağaç malzemenin kayıp faktör değerleri üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynaklar	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F- Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	7.829 ^a	17	0.461	288.400	0.000
Sabit Terim	49.987	1	49.987	31340.044	0.000
A: Odun	2.552	1	2.552	1598.409	0.000
B: Tutkal Türü	0.035	2	0.018	11.111	0.000
C:Rutubet Şartı	5.041	2	2.521	1578.467	0.000
Etkileşim AB	0.003	2	0.001	0.827	0.438
Etkileşim AC	0.174	2	0.087	54.510	0.000
Etkileşim BC	0.008	4	0.002	1.245	0.292
Etkileşim ABC	0.015	4	0.004	2.397	0.000
Hata	0.546	342	0.002		
Toplam	58.362	360			
Düzeltilmiş Toplam	8.375	359			

Lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü üzerine rutubet miktarının etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3.31' te verilmiştir.

Çizelge 3.23. Lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü üzerine rutubet miktarlarının etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.

Rutubet Şartı		Örnek sayısı (adet)	Alt Gruplar		
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)		1	2	3
20	65	120	0.2546		
20	77	120		0.3289	
20	93	120			0.5344

Duncan karşılaştırma sonuçlarına göre (Çizelge 3.23) 20 °C sıcaklıkta bağıl nemin artmasıyla lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü değerinin arttığı ve en düşük kayıp faktörü değerlerin 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemde bekletilen örneklerde, en yüksek kayıp faktörü değerlerinin 20 °C sıcaklıkta % 93 bağıl nemde bekletilen örneklerde elde edildiği bütün rutubet şartı grupları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

Lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3.24’ te verilmiştir.

Çizelge 3.24. Lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.

Tutkal	Örnek sayısı (adet)	Alt gruplar		
		1	2	3
ÜF	120	0.3605		
MUF	120		0.3726	
FF	120			0.3848

Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.24.) tutkal türünün kayıp faktörü üzerine etkisinin önemli olduğu ve her üç tutkal türü arasında da istatistiksel olarak farklar bulunduğu belirlenmiştir. En yüksek kayıp faktörü değerinin FF örneklerinde, en düşük kayıp faktörü değerinin ise ÜF örneklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Ağaç türünün kayıp faktörü üzerine etkisi incelendiğinde odun türünün etkili olduğu ve çam lamine ağaç malzemenin kayın lamine ağaç malzemedeki düşük kayıp faktörü değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle odun türleri ayrı ele alınmıştır.

3.3.1.1. Çam Lamine Ağaç Malzemelerin Kayıp Faktörü Değerleri

Çam lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü değerleri üzerine, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 3.25’ de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre, (Çizelge 3.25) çam odununun kayıp faktörü üzerine rutubet miktarlarının, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin etkisi 0.05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.25. Çam lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü değerleri üzerine rutubet miktarlarının ve tutkal türlerinin etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

ODUN	Varyans Kaynaklar	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F- Hesap	Önem Düzeyi
ÇAM	Düzeltilmiş Model	1.823 ^a	8	0.228	123.931	0.000
	Sabit Terim	14.974	1	14.974	8143.992	0.000
	Rutubet Şartı	1.785	2	0.892	485.368	0.000
	Tutkal Türü	0.027	2	0.013	7.222	0.001
	Rutubet Şartı * Tutkal Türü	0.012	4	0.003	1.566	0.186
	Hata	0.314	171	0.002		
	Toplam	17.112	180			
	Düzeltilmiş Toplam	2.137	179			

Çam lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü değeri üzerine tüm faktörlerin etkisinin araştırıldığı varyans kaynaklarının karşılaştırıldığı Duncan testi sonuçları Çizelge 3.26' de verilmiştir.

Çizelge 3.26. Çam lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü üzerine tüm faktörlerin etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları.

Tutkal	Rutubet Şartı		Örnek Sayısı (Adet)	Alt Gruplar				
	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)		1	2	3	4	5
MUF	20	65	20	0.1738				
ÜF	20	65	20	0.1772				
FF	20	65	20	0.1852				
ÜF	20	77	20		0.2536			
MUF	20	77	20		0.2688	0.2688		
FF	20	77	20			0.2834		
ÜF	20	93	20				0.3977	
MUF	20	93	20					0.4300
FF	20	93	20					0.4373

Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.26.), çam lamine ağaç malzemenin en yüksek kayıp faktörü değerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemde bekletilen FF örneklerinde, en düşük kayıp faktörü değerinin ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemde

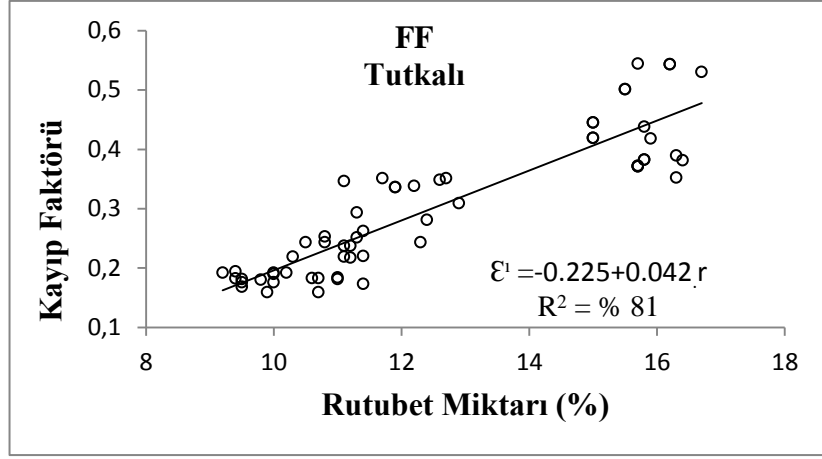
bekletilen MUF örneklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca tüm rutubet gruplarında küçükten büyüğe doğru MUF, ÜF, FF sıralamasının geçerli olduğu ve rutubet miktarı arttıkça tutkal türleri arasındaki farkın azaldığı belirlenmiştir.

Lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü üzerine rutubet miktarının etkisinin, rutubet süreklilik arz ettiği için, tutkal türlerinin her birinde ayrıca irdelenmesinin yararlı olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki ilişki FF, MUF, ÜF tutkal türlerinin her biri için rutubet miktarı (r) ile kayıp faktörü (\mathcal{E}^1) arasındaki ilişkiyi en iyi ifade edebilen eşitliği belirleyebilmek için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş ve kayıp faktörü ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi tüm tutkal türlerinde en iyi ifade eden eşitliği $\mathcal{E}^1 = a+b.r$ eşitliğinin olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3.27 de çalışmaya konu olan tutkal türleri için elde edilen regresyon analizi sonuçları verilmiştir.

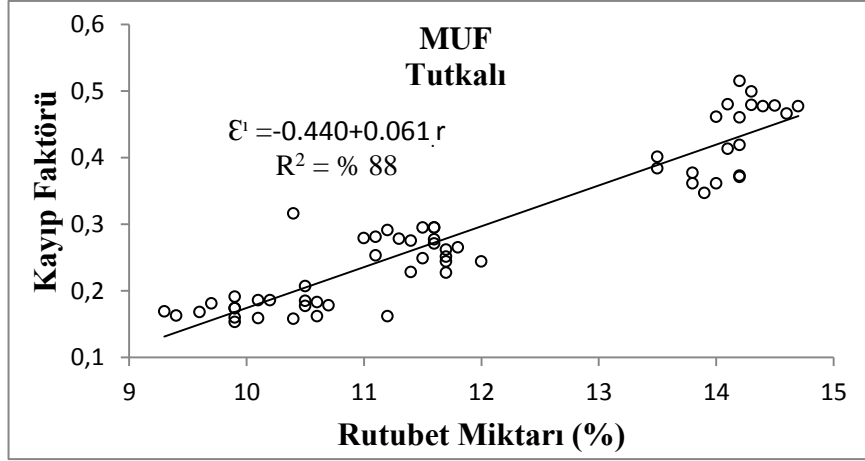
Bu eşitlikler yardımıyla % 9 – 18 arasındaki herhangi bir rutubet derecesinde çalışmaya konu olan çam lamine ağaç malzemenin tutkal türüne göre kayıp faktörü belirlenebilir. Kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon katsayıları (R^2) FF tutkalı için 0.81, MUF tutkalı için 0.88 ve ÜF tutkalı için 0.89 değerindedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre, tüm tutkal türlerinde kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasında 0.001 anlam düzeyinde güçlü pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Regresyon eşitliklerinin hesaplanmasıyla elde edilen değerler deneysel verilerin ortalamaları ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.27. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre kayıp faktörü (\mathcal{E}^1) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\mathcal{E}^1 = a+b.r$].

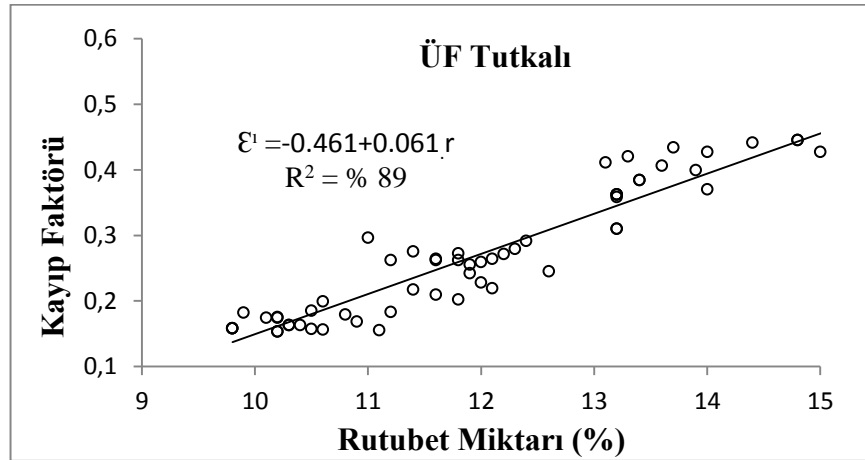
Odun	Tutkal	R^2	F Hesap	df1	df2	Önem Düzeyi	Denklem Katsayısı	
							a	b
Çam	FF	0.81	246.004	1	58	0.000	-0.225	0.042
	MUF	0.88	420.554	1	58	0.000	-0.440	0.061
	ÜF	0.89	466.168	1	58	0.000	-0.461	0.061



Şekil 3. 13. FF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 14. MUF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 15. ÜF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.

3.3.2.1. Kayın Lamine Ağaç Malzemelerin Kayıp Faktörü Değerleri

Kayın lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü değerleri üzerine, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.28’ de verilmiştir.

Çizelge 3.28. Kayın lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü değerleri üzerine rutubet miktarlarının ve tutkal türünün etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

ODUN	Varyans Kaynaklar	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F- Hesap	Önem Düzeyi
KAYIN	Düzeltilmiş Model	3.454 ^b	8	0.432	318.607	0.000
	Sabit Terim	37.565	1	37.565	27724.303	0.000
	Rutubet Şartı	3.430	2	1.715	1265.825	0.000
	Tutkal Türü	0.012	2	0.006	4.268	0.016
	Rutubet Şartı * Tutkal Türü	0.012	4	0.003	2.167	0.075
	Hata	0.232	171	0.001		
	Toplam	41.250	180			
	Düzeltilmiş Toplam	3.685	179			

Varyans analizi sonuçlarına göre, (Çizelge 3.28) kayın odununun kayıp faktörü üzerine rutubet miktarlarının, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin etkisi 0.05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Kayın lamine ağaç malzemenin kayıp faktör değeri üzerine tüm faktörlerin etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan testi sonuçları Çizelge 3.29’ de verilmiştir.

Çizelge 3.29. Kayın lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü üzerine tüm faktörlerin etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları.

Tutkal	Rutubet Şartı		Örnek Sayısı (Adet)	Alt Gruplar			
	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)		1	2	3	4
ÜF	20	65	20	0.3216			
MUF	20	65	20	0.3277			
FF	20	65	20	0.3409			
ÜF	20	77	20		0.3705		
MUF	20	77	20			0.4004	
FF	20	77	20			0.4040	
MUF	20	93	20				0.6351
ÜF	20	93	20				0.6533
FF	20	93	20				0.6580

Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.29.), kayın lamine ağaç malzemenin en yüksek kayıp faktörü değerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemde bekletilen FF örneklerinde, en düşük kayıp faktörü değerinin ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemde bekletilen ÜF örneklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca tüm rutubet gruplarında küçükten büyüğe doğru ÜF, MUF, FF sıralamasının geçerli olduğu ve rutubet miktarı arttıkça tutkal türleri arasındaki farkın arttığı belirlenmiştir. Ancak yüksek rutubet şartlarında da ÜF, MUF ile FF arasındaki istatistiksel farkın azaldığı belirlenmiştir.

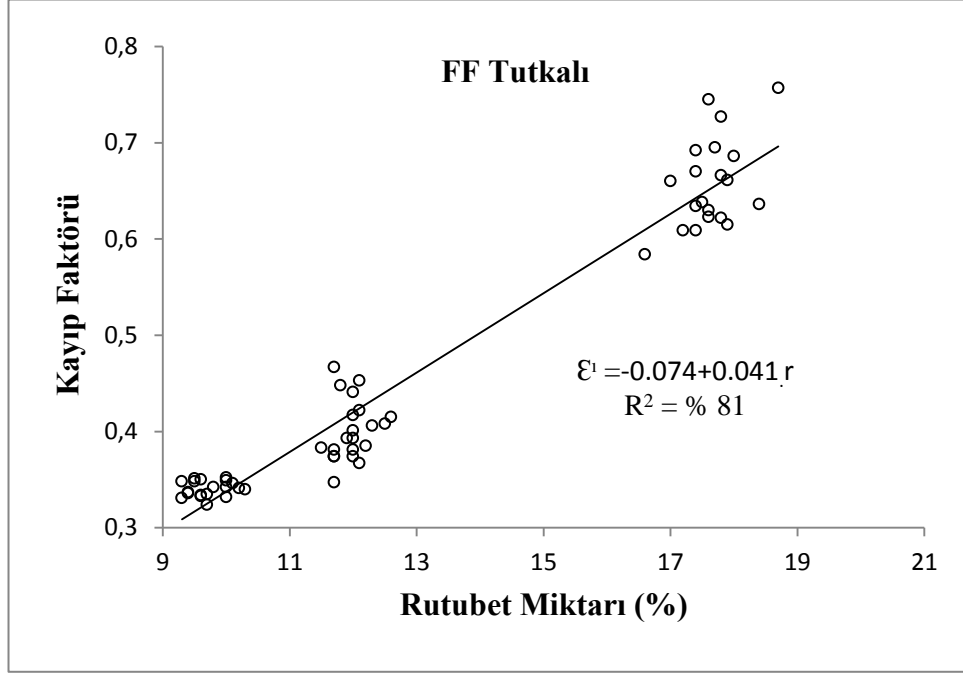
Lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü üzerine rutubet miktarının etkisinin, rutubet süreklilik arz ettiği için, tutkal türlerinin her birinde ayrıca irdelenmesinin yararlı olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki ilişki FF, MUF, ÜF tutkal türlerinin her biri için rutubet miktarı (r) ile kayıp faktörü (\mathcal{E}^1) arasındaki ilişkiyi en iyi ifade edebilen eşitliği belirleyebilmek için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş, kayıp faktörü ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi tüm tutkal türlerinde en iyi ifade eden eşitliği $\mathcal{E}^1 = a+b.r$ eşitliğinin olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3.30 de çalışmaya konu olan tutkal türleri için elde edilen regresyon analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.30. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre kayıp faktörü (\mathcal{E}^1) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\mathcal{E}^1 = a+b.r$].

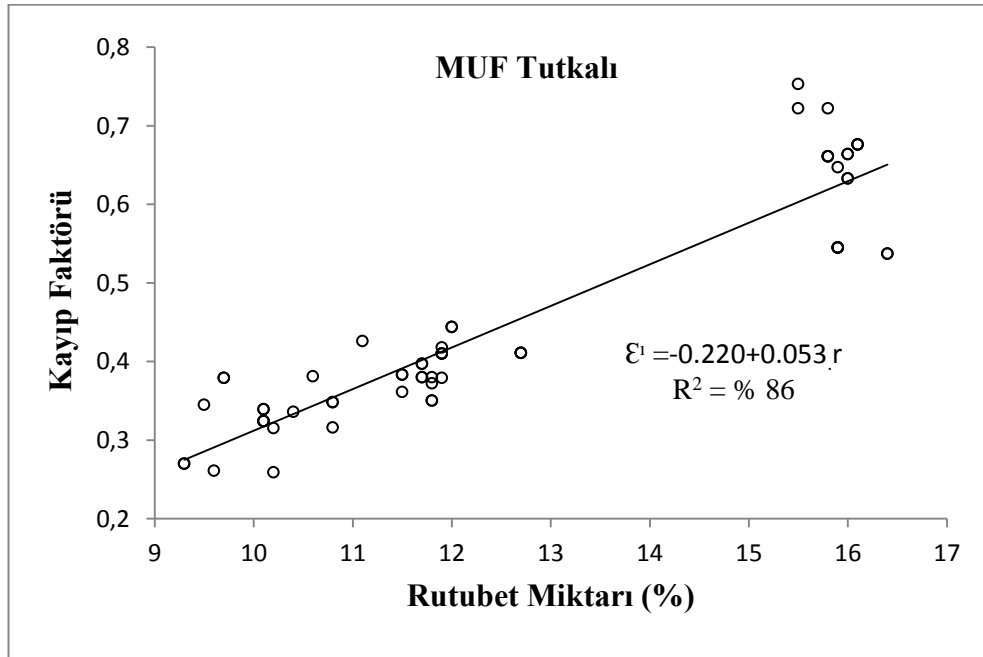
Odun	Tutkal	R ²	F Hesap	df1	df2	Önem Düzeyi	Denklem Katsayısı	
							a	b
Kayın	FF	0.94	969.870	1	58	0.000	-0.074	0.041
	MUF	0.86	359.796	1	58	0.000	-0.220	0.053
	ÜF	0.91	580.586	1	58	0.000	-0.295	0.060

Bu eşitlikler yardımıyla % 9 – 18 arasındaki herhangi bir rutubet derecesinde çalışmaya konu olan kayın lamine ağaç malzemenin tutkal türüne göre kayıp faktörü belirlenebilir. Kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon katsayıları (R²) FF tutkalı için 0.95, MUF tutkalı için 0.86 ve ÜF tutkalı için 0.91 değerindedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre, tüm tutkal türlerinde kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasında 0.001 anlam düzeyinde güçlü pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Regresyon eşitliklerinin hesaplanmasıyla elde edilen

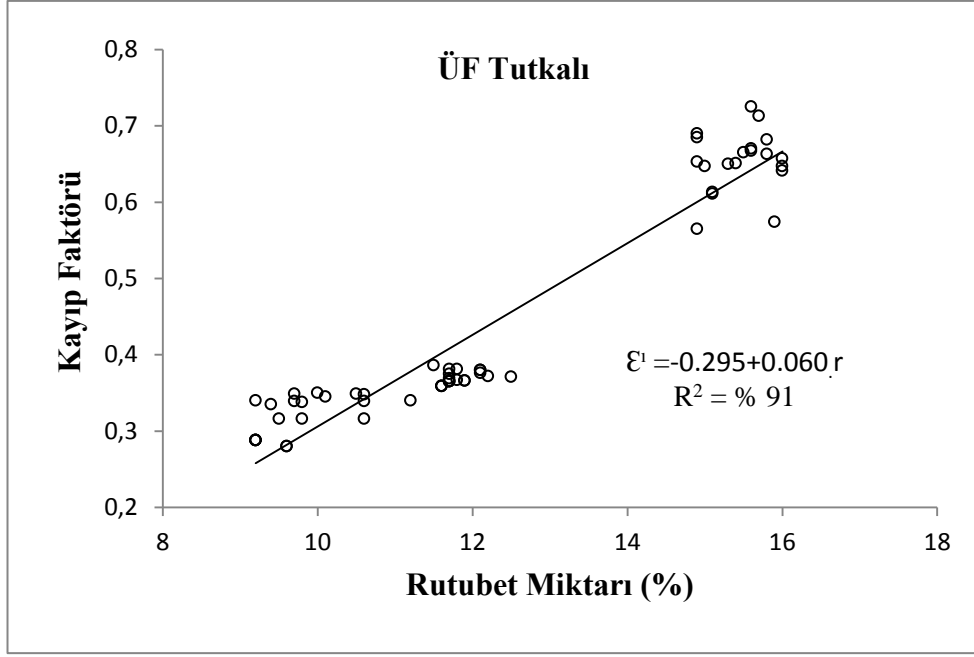
değerler deneysel verilerin ortalamaları ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 3. 16. FF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 17. MUF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 18. ÜF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.

3.3.1. Kayıp Tanjantı

Çam ve kayın odunlarından ÜF, MUF ve FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklık ve 3 farklı bağıl nem ortamında belirlenen yoğunluk, rutubet ve kayıp tanjant verilerinin aritmetik ortalama, standart sapma, max. ve min. değerleri Çizelge 3.31.'te verilmiştir.

Kayıp tanjantı üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet şartı ve bu faktörlerin etkileşimlerinin genel olarak etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi sonuçları Çizelge 3.32' te verilmiştir.

Yapılan çoğul varyans analizi sonuçlarına göre, (Çizelge 3.32) kayıp tanjantı üzerine rutubet şartı, tutkal türü, odun türünün ve bu faktörlerin etkileşiminin etkisi 0.005 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca odun türünün etkisi olduğundan odun türleri ayrı ele alınmıştır.

Çizelge.3.31. Lamine ağaç malzemelerin odun türüne, tutkal türüne ve rutubet miktarlarına göre yoğunluk rutubet ve kayıp tanjantı değerleri.

Odun	Tutkal	Rutubet Şartı		Rutubet (%)		Yoğunluk (g/cm ²)		Kayıp Tanjantı			
		Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	x	s	x	s	x	s	max.	min.
ÇAM	FF	20	65	10.13	0.63	0.594	0.017	0.0842	0.0058	0.1017	0.0754
			77	11.66	0.64	0.582	0.026	0.1111	0.0142	0.1309	0.0904
			93	15.76	0.48	0.614	0.012	0.1463	0.0198	0.1197	0.1197
	MUF	20	65	10.15	0.48	0.584	0.016	0.0796	0.0045	0.0923	0.0721
			77	11.44	0.36	0.578	0.014	0.1069	0.0090	0.1246	0.0940
			93	14.12	0.32	0.610	0.017	0.1495	0.0162	0.1754	0.1250
	ÜF	20	65	10.51	0.74	0.576	0.017	0.0817	0.0162	0.1482	0.0733
			77	11.79	0.51	0.580	0.012	0.1045	0.0127	0.1217	0.0736
			93	13.71	1.01	0.587	0.016	0.1527	0.0152	0.1745	0.1218
KAYIN	FF	20	65	9.83	0.53	0.745	0.009	0.1138	0.0009	0.1156	0.1124
			77	12.00	0.27	0.749	0.013	0.1236	0.0094	0.1432	0.1144
			93	17.64	0.46	0.753	0.017	0.1778	0.0183	0.2150	0.1564
	MUF	20	65	10.27	0.70	0.772	0.015	0.1122	0.0079	0.1280	0.1004
			77	11.89	0.42	0.792	0.015	0.1288	0.0063	0.1426	0.1170
			93	15.94	0.24	0.786	0.008	0.1830	0.0204	0.2090	0.1530
	ÜF	20	65	9.84	0.58	0.755	0.011	0.1113	0.0033	0.1150	0.1060
			77	11.83	0.25	0.761	0.009	0.1200	0.0097	0.1380	0.1121
			93	15.45	0.41	0.765	0.016	0.1811	0.0122	0.2021	0.1544

x: 30 örneğin aritmetik ortalama, s: standart sapma

Çizelge 3.32. Lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı değerleri üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynaklar	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F- Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	0.363 ^a	17	0.021	135.379	0.000
Sabit Terim	5.717	1	5.717	36209.287	0.000
A: Odun	0.061	1	0.061	389.307	0.000
B: Tutkal Türü	0.000	2	6.684E-5	0.423	0.655
C: Rutubet Şartı	0.296	2	0.148	936.313	0.000
Etkileşim AB	0.000	2	0.000	1.460	0.234
Etkileşim AC	0.004	2	0.002	12.823	0.000
Etkileşim BC	0.001	4	0.000	2.223	0.066
Etkileşim ABC	0.000	4	4.752E-5	0.301	0.877
Hata	0.054	342	0.000		
Toplam	6.134	360			
Düzeltilmiş Toplam	0.417	359			

Lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı üzerine rutubet miktarının etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3.33' te verilmiştir.

Çizelge 3.33. Lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı üzerine rutubet miktarlarının etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.

Rutubet Şartı		Örnek Sayısı	Alt gruplar		
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)		1	2	3
20	65	120	0.0971		
20	77	120		0.1158	
20	93	120			0.1651

Duncan karşılaştırma sonuçlarına göre (Çizelge 3.33) 20 °C sıcaklıkta bağıl nemin artmasıyla lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı değerinin arttığı ve en düşük kayıp tanjantı değerlerin 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemde bekletilen örneklerde, en yüksek kayıp tanjantı değerlerinin 20 °C sıcaklıkta % 93 bağıl nemde bekletilen örneklerde elde edildiği bütün rutubet grupları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

Lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3.34’ ta verilmiştir.

Çizelge 3.34. Lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.

Tutkal Türü	Örnek sayısı (adet)	Alt gruplar		
		1	2	3
ÜF	120	0.1252		
FF	120		0.1261	
MUF	120			0.1267

Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.34.) tutkal türünün kayıp tanjantı üzerine etkisinin önemli olduğu ve her üç tutkal türü arasında da istatistiksel olarak farklar bulunduğu belirlenmiştir. En yüksek kayıp tanjant değerinin MUF örneklerinde, en düşük kayıp tanjant değerinin ise ÜF örneklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Ancak tutkallar türleri arasında istatistiksel fark olmadığı belirlenmiştir.

3.3.1.1. Çam Lamine Ağaç Malzemelerin Kayıp Tanjantı Değerleri

Çam lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı değerleri üzerine, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi sonuçları Çizelge 3.35' de verilmiştir.

Çizelge 3.35. Çam lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı değerleri üzerine rutubet miktarlarının tutkal türlerinin etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

ODUN	Varyans Kaynaklar	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F- Hesap	Önem Düzeyi
ÇAM	Düzeltilmiş Model	0.141 ^a	8	0.018	151.469	0.000
	Sabit Terim	2.296	1	2.296	26229.183	0.000
	Rutubet Şartı	0.140	2	0.070	601.664	0.000
	Tutkal Türü	0.000	2	5.181E-5	1.850	0.160
	Rutubet Şartı * Tutkal Türü	0.001	4	0.000	1.181	0.321
	Hata	0.031	171	0.000		
	Toplam	2.469	180			
	Düzeltilmiş Toplam	0.172	179			

Varyans analizi sonuçlarına göre, (Çizelge 3.35) çam odununun kayıp tanjantı üzerine rutubet miktarlarının, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin etkisi 0.05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir

Çam lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı değeri üzerine tüm faktörlerin etkisinin araştırıldığı varyans kaynaklarının karşılaştırıldığı Duncan testi sonuçları Çizelge 3.36' de verilmiştir.

Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.36.), çam lamine ağaç malzemenin en yüksek kayıp tanjantı değerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemde bekletilen FF örneklerinde, en düşük kayıp tanjant değerinin ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemde bekletilen ÜF örneklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca tüm rutubet gruplarında küçükten büyüğe doğru ÜF, MUF, FF sıralamasının geçerli olduğu ve rutubet miktarı arttıkça tutkal türleri arasındaki farkın arttığı belirlenmiştir. Ancak yüksek rutubet değerinde MUF tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemenin kayıp tanjant değeri FF tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı değerinden yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.36. Çam lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı üzerine tüm faktörlerin etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları.

Tutkal	Rutubet Şartı		Örnek Sayısı (Adet)	Alt Gruplar		
	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)		1	2	3
MUF	20	65	40	0.0796		
ÜF	20	65	40	0.0813		
FF	20	65	40	0.0642		
ÜF	20	77	40		0.1069	
MUF	20	77	40		0.1069	
FF	20	77	40		0.1111	
FF	20	93	40			0.1463
MUF	20	93	40			0.1495
ÜF	20	93	40			0.1543

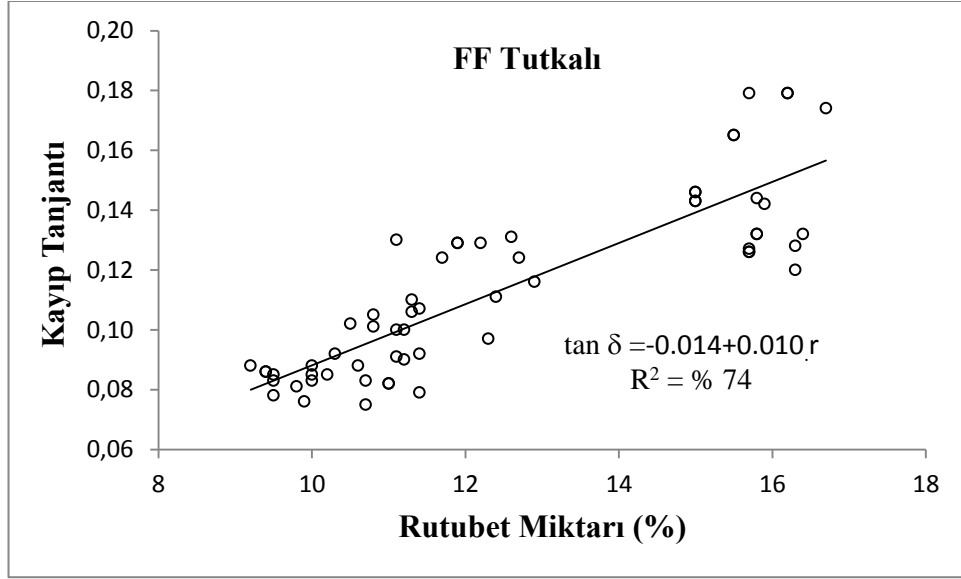
Lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı üzerine rutubet miktarının etkisinin, rutubet süreklilik arz ettiği için, tutkal türlerinin her birinde ayrıca irdelenmesinin yararlı olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki ilişki FF, MUF, ÜF tutkal türlerinin her biri için rutubet miktarı (r) ile kayıp tanjantı (tan δ) arasındaki ilişkiyi en iyi ifade edebilen eşitliği belirleyebilmek için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş ve kayıp tanjantı ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi tüm tutkal türlerinde en iyi ifade eden eşitliği $\tan \delta = a+b.r$ eşitliğinin olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3.37 de çalışmaya konu olan tutkal türleri için elde edilen regresyon analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.37. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre kayıp tanjantı (tan δ) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\tan \delta = a+b.r$].

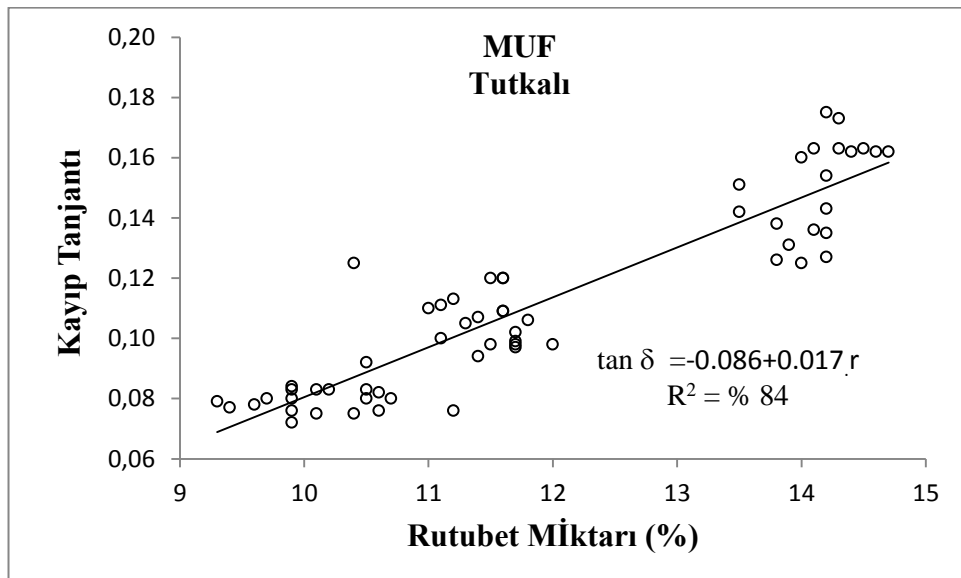
Odun	Tutkal	R ²	F Hesap	df1	df2	Önem Düzeyi	Denklem Katsayısı	
							a	b
Çam	FF	0.74	166.024	1	58	0.000	-0.014	0.010
	MUF	0.84	310.851	1	58	0.000	-0.086	0.017
	ÜF	0.88	414.099	1	58	0.000	-0.130	0.020

Bu eşitlikler yardımıyla % 9 – 18 arasındaki herhangi bir rutubet derecesinde çalışmaya konu olan çam lamine ağaç malzemenin tutkal türüne göre kayıp tanjantı belirlenebilir. Kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden

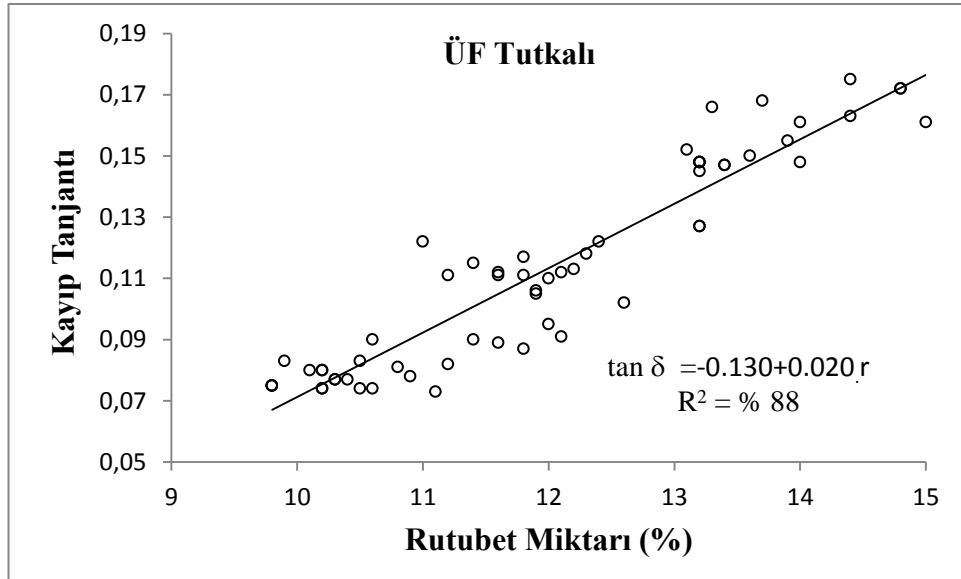
regresyon katsayıları (R^2) FF tutkalı için 0.77, MUF tutkalı için 0.89 ve ÜF tutkalı için 0.93 değerindedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre, tüm tutkal türlerinde kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasında 0.001 anlam düzeyinde güçlü pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Regresyon eşitliklerinin hesaplanmasıyla elde edilen değerler deneysel verilerin ortalamaları ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 3. 19. FF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 20. MUF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 21. ÜF tutkalı ile üretilen çam lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.

3.3.2.1. Kayın Lamine Ağaç Malzemelerin Kayıp Tanjantı Değerleri

Kayın lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjant değerleri üzerine odun türü, tutkal türü ve rutubet miktarlarının etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.38’ de verilmiştir.

Çizelge 3.38. Kayın lamine ağaç malzemenin kayıp tanjant değerleri üzerine rutubet miktarlarının ve tutkal türünün etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

ODUN	Varyans Kaynaklar	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F- Hesap	Önem Düzeyi
KAYIN	Düzeltilmiş Model	0.161 ^b	8	0.020	151.469	0.000
	Sabit Terim	3.482	1	3.482	26229.183	0.000
	Rutubet Şartı	0.160	2	0.080	601.664	0.000
	Tutkal Türü	0.000	2	0.000	1.850	0.160
	Rutubet Şartı * Tutkal Türü	0.001	4	0.000	1.181	0.321
	Hata	0.023	171	0.000		
	Toplam	3.665	180			
	Düzeltilmiş Toplam	0.184	179			

Varyans analizi sonuçlarına göre, (Çizelge 3.38) kayın odununun kayıp tanjant üzerine rutubet miktarlarının, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin etkisi 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Kayın lamine ağaç malzemenin kayıp tanjant değeri üzerine tüm faktörlerin etkisini araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan testi sonuçları Çizelge 3.39’ de verilmiştir.

Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.39.), kayın lamine ağaç malzemenin en yüksek kayıp tanjant değerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemde bekletilen FF örneklerinde, en düşük kayıp tanjant değerinin ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemde bekletilen MUF örneklerinde bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca tüm rutubet gruplarında küçükten büyüğe doğru ÜF, MUF, FF sıralamasının geçerli olduğu ve rutubet miktarı arttıkça tutkal türleri arasındaki farkın belirgin arttığı belirlenmiştir.

Çizelge 3.39. Kayın lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı üzerine tüm faktörlerin etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma sonuçları.

Tutkal	Rutubet Şartı		Örnek Sayısı (Adet)	Alt Gruplar				
	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)		1	2	3	4	5
ÜF	20	65	40	0.1113				
MUF	20	65	40	0.1122				
FF	20	65	40	0.1138	0.1138			
ÜF	20	77	40		0.1201	0.1201		
FF	20	77	40			0.1236	0.1236	
MUF	20	77	40				0.1288	
FF	20	93	40					0.1778
ÜF	20	93	40					0.1812
MUF	20	93	40					0.1830

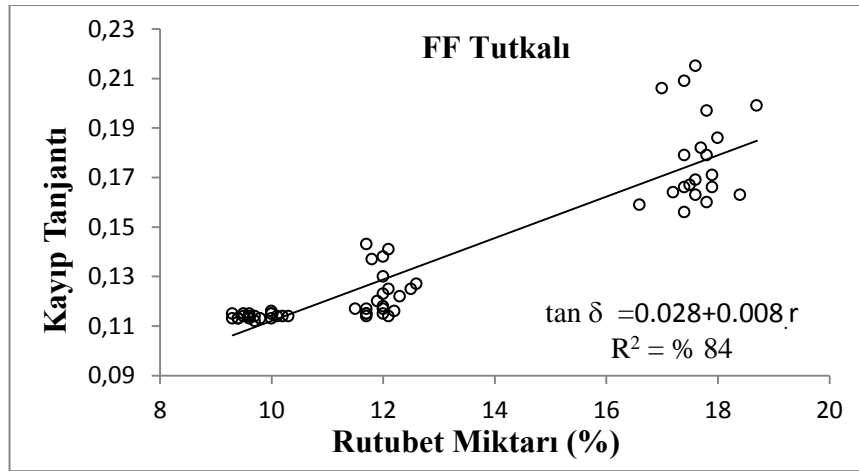
Lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı üzerine rutubet miktarının etkisinin, rutubet süreklilik arz ettiği için, tutkal türlerinin her birinde ayrıca irdelenmesinin yararlı olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki ilişki FF, MUF, ÜF tutkal türlerinin her biri için rutubet miktarı (r) ile kayıp tanjantı ($\tan \delta$) arasındaki ilişkiyi en iyi ifade edebilen eşitliği belirleyebilmek için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş ve kayıp tanjantı ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi

tüm tutkal türlerinde en iyi ifade eden eşitliği $\tan \delta = a+b.r$ eşitliğinin olduğu belirlenmiştir. Çizelge 3.40 de çalışmaya konu olan tutkal türleri için elde edilen regresyon analizi sonuçları verilmiştir.

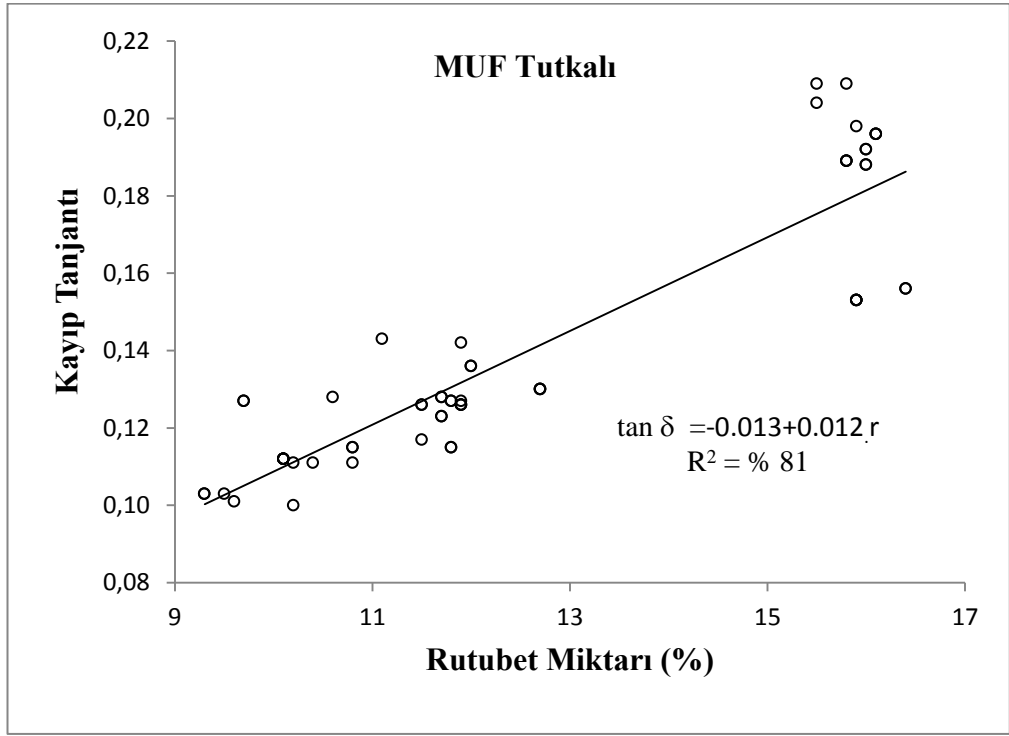
Çizelge 3.40. 20 °C sıcaklıkta % 9 – 18 rutubet miktarı sınırlarında tutkal türlerine göre kayıp tanjantı ($\tan \delta$) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\tan \delta = a+b_1.r$].

Odun	Tutkal	R ²	F Hesap	df1	df2	Önem Düzeyi	Denklem Katsayısı	
							a	b
Kayın	FF	0.84	293.190	1	58	0.000	0.028	0.008
	MUF	0.81	249.819	1	58	0.000	-0.013	0.012
	ÜF	0.85	334.371	1	58	0.000	-0.019	0.013

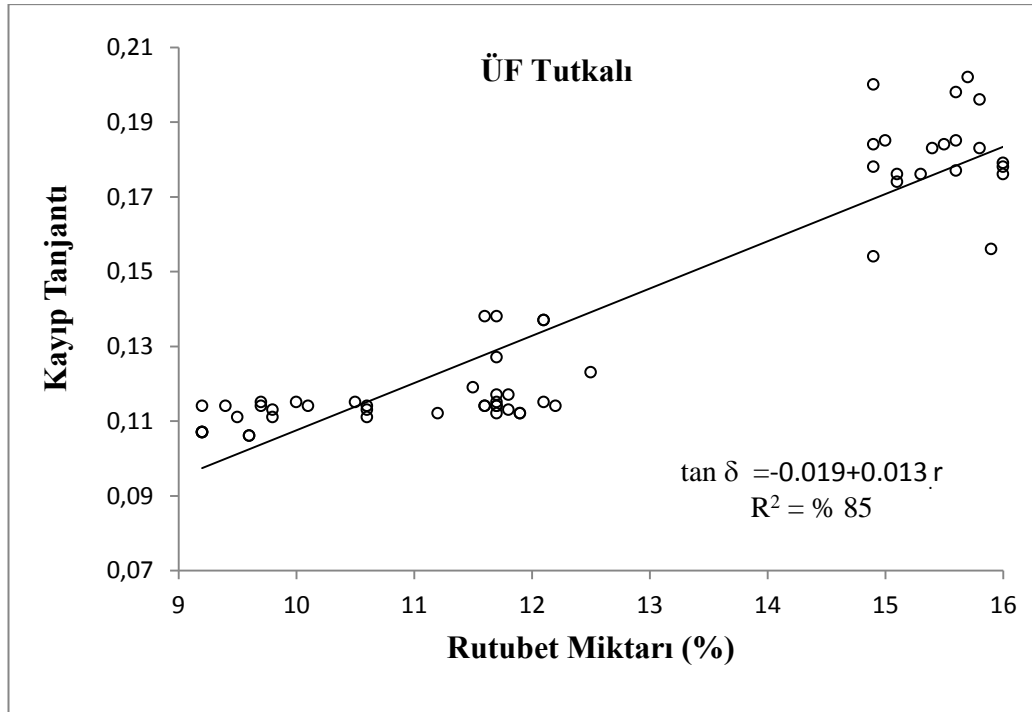
Bu eşitlikler yardımıyla % 9 – 18 arasındaki herhangi bir rutubet derecesinde çalışmaya konu olan kayın lamine ağaç malzemenin tutkal türüne göre kayıp tanjantı belirlenebilir. Kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon katsayıları (R²) FF tutkalı için 0.84, MUF tutkalı için 0.81 ve ÜF tutkalı için 0.85 değerindedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre, tüm tutkal türlerinde kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasında 0.001 anlam düzeyinde güçlü pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Regresyon eşitliklerinin hesaplanmasıyla elde edilen değerler deneysel verilerin ortalamaları ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 3. 22. FF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 23. MUF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi.



Şekil 3. 24. ÜF tutkalı ile üretilen kayın lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki regresyon ilişkisi

BÖLÜM 4

İRDELEME

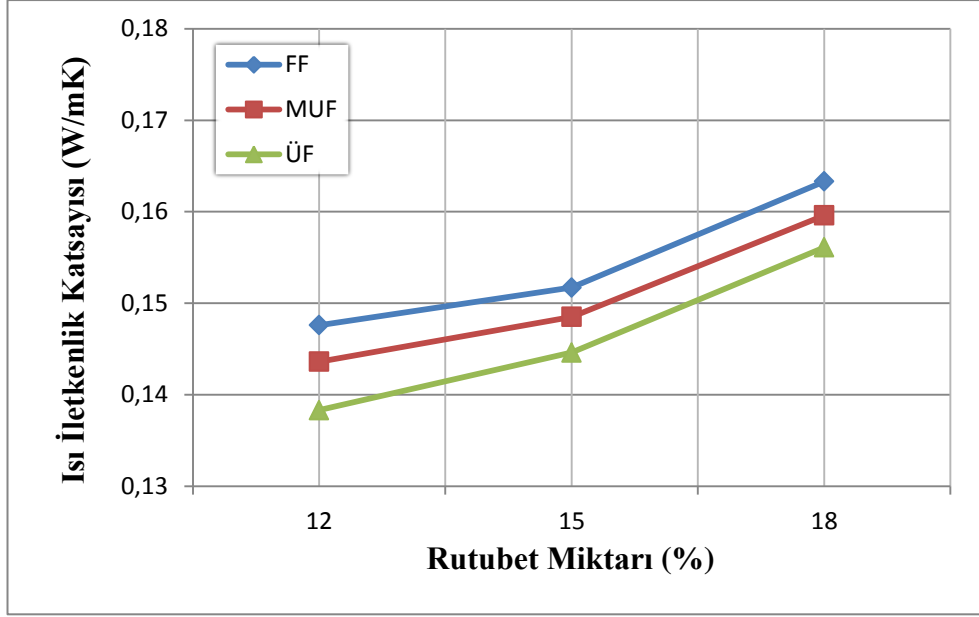
4.1. Lamine Ağaç Malzemelerin Isı İletkenliği Değerlerinin İrdelenmesi

ÜF, MUF ve FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerinin 20 °C sıcaklıkta 3 farklı bağıl nem şartlarındaki ısı iletkenlik değerleri üzerine odun türünün, rutubet miktarının ve tutkal türünün etkileri incelenmiştir (Çizelge 3.2). İstatistiksel olarak her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklıkta 3 farklı bağıl nem şartlarında ısı iletkenlik değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4). Ağaç malzeme arasında istatistiksel fark olduğundan dolayı gruplar ayrı ele alınmıştır. Ayrıca kayın lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği katsayısı çam lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği katsayısından yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.1.1. Çam Lamine Ağaç Malzemelerinin Isı iletkenliği Değerleri

ÜF, MUF, FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklıkta bağıl nemin artmasıyla rutubet değerlerinin arttığı, genel olarak oldukça benzer olmakla birlikte ÜF tutkalıyla üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarlarının düşük ve FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarları en yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. (Çizelge 3.1). Ayrıca ÜF, MUF, FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları incelendiğinde, rutubet miktarının artmasıyla genel olarak yoğunluklarının arttığı belirlenmiştir. Tutkal türüne göre lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları karşılaştırıldığında tüm rutubet gruplarında ÜF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları daha düşük olduğu FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları ise en yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.

FF, MUF ve ÜF tutkalları ile üretilen çam lamine ağaç malzemelerinin rutubet miktarına göre ısı iletkenlik değerleri regresyon analizi Şekil 4.1 de verilmiştir.



Şekil 4. 1. Çam lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik değerinin rutubet miktarına göre değişimi.

Çam lamine ağaç malzemelerinin ısı iletkenlik değerleri üzerine tutkal türünün etkisi incelendiğinde (Şekil 4.1); tutkal türünün ısı iletkenlik değerini etkilediği (Çizelge 3.5) ve istatistiksel olarak her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.6). En yüksek ısı iletkenliği değerleri FF örneklerinde, en düşük ısı iletkenliği değerleri ÜF örneklerinde belirlenmiştir ve bu etkinin tutkal bazında tüm rutubet gruplarında olduğu belirlenmiştir.

Çam lamine ağaç malzemelerinin ısı iletkenliği üzerine rutubet miktarının etkisi incelendiğinde (Şekil 4.1); rutubet miktarının ısı iletkenlik değerini etkilediği (Çizelge 3.5) ve rutubet miktarının artmasıyla ısı iletkenlik katsayısının arttığı istatistiksel olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.6). En yüksek ısı iletkenlik değerlerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki örneklerde, en düşük ısı iletkenlik değerlerinin 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki örneklerde belirlenmiştir.

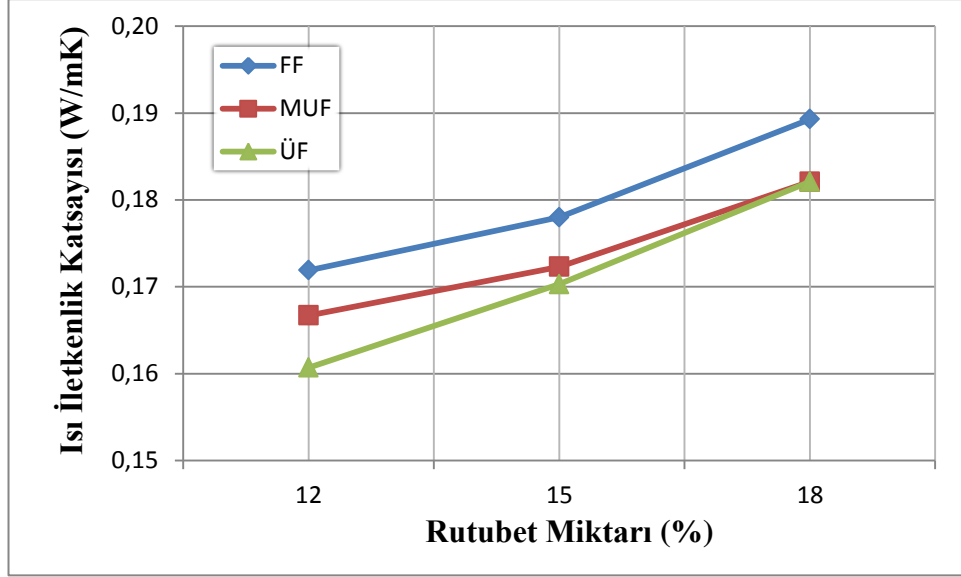
Çam lamine ağaç malzemenin 20 °C sıcaklıkta farklı bağıl nem miktarlarının ve tutkal türünün etkileşiminin ısı iletkenlik değerini etkilediği (Çizelge 3.5) ve örnekler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. En yüksek ısı iletkenliği değeri 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki FF örneklerinde, en düşük ısı iletkenliği değeri ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki ÜF örneklerinde belirlenmiştir.

FF, MUF ve ÜF tutkallarıyla üretilen çam lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden ortalama sonuçları Şekil 4.1’de verilmiştir. Ortalama sonuçlarına göre her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemede ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasında güçlü lineer bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Rutubet miktarı arttıkça ısı iletkenliği değeri artış göstermektedir. Ayrıca tutkal türlerinin de ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki R^2 değerlerine dikkat edildiğinde ÜF (R^2 =% 83) tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerde ilişkinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buradan hareketle aşağıdaki ilişkiler kullanılarak lamine ağaç malzemelerin herhangi bir rutubetteki ısı iletkenliği değeri ya da ısı iletkenliği bilinen lamine ağaç malzemenin rutubeti hesaplanabilir.

4.1.2.Kayın Lamine Ağaç Malzemelerinin Isı İletkenliği Değerleri

ÜF, MUF, FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklıkta bağıl nemin artmasıyla rutubet değerlerinin arttığı, genel olarak oldukça benzer olmakla birlikte ÜF tutkalıyla üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarlarının düşük ve FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarları en yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. (Çizelge 3.1). Ayrıca FF, MUF, ÜF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları incelendiğinde, rutubet miktarının artmasıyla genel olarak yoğunluklarının arttığı belirlenmiştir. Tutkal türüne göre lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları karşılaştırıldığında genel olarak tüm rutubet gruplarında ÜF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları daha düşük olduğu FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları ise en yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.

FF, MUF ve ÜF tutkalları ile üretilen kayın lamine ağaç malzemelerinin rutubet miktarlarına göre ısı iletkenlik değerleri Şekil 4.2 de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 4. 2. Kayın lamine ağaç malzemenin ısı iletkenlik değerinin rutubet miktarına göre değişimi.

Kayın lamine ağaç malzemelerinin ısı iletkenlik değerleri üzerine tutkal türünün etkisi incelendiğinde (Şekil 4.2); tutkal türünün ısı iletkenlik değerini etkilediği (Çizelge 3.8) ve istatistiksel olarak her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.9). En yüksek ısı iletkenliği değerleri FF örneklerinde, en düşük ısı iletkenliği değerleri ÜF örneklerinde belirlenmiştir.

Kayın lamine ağaç malzemelerinin ısı iletkenliği üzerine rutubet miktarının etkisi incelendiğinde (Şekil 4.2); rutubet miktarının ısı iletkenlik değerini etkilediği (Çizelge 3.8) ve istatistiksel olarak 20 °C sabit sıcaklıkta 3 farklı bağıl nem şartında dengeye gelen grupların ısı iletkenlik değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.9). Rutubet miktarı artarken ısı iletkenlik katsayısının da arttığı belirlenmiştir. En yüksek ısı iletkenlik değerlerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki örneklerde, en düşük ısı iletkenlik değerlerinin 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki örneklerde belirlenmiştir.

FF, MUF ve ÜF tutkallarıyla üretilen kayın lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı ve rutubet miktarı ortalama sonuçları Şekil 4.2' de verilmiştir. Ortalama sonuçlarına göre her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemedeki ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasında güçlü lineer bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Rutubet miktarı arttıkça ısı iletkenliği değerinde artış göstermektedir. Ayrıca tutkal türlerinin de ısı iletkenlik katsayısı ile rutubet miktarı arasındaki R^2 değerine dikkat edildiğinde MUF ($R^2 = \% 91$) tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerde ilişkinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buradan hareketle aşağıdaki ilişkiler kullanılarak lamine ağaç malzemelerin herhangi bir rutubetteki ısı iletkenliği değeri ya da ısı iletkenliği bilinen lamine ağaç malzemenin rutubeti hesaplanabilir.

4.2. Lamine Ağaç Malzemelerin Dielektrik Sabiti Değerlerinin İrdelenmesi

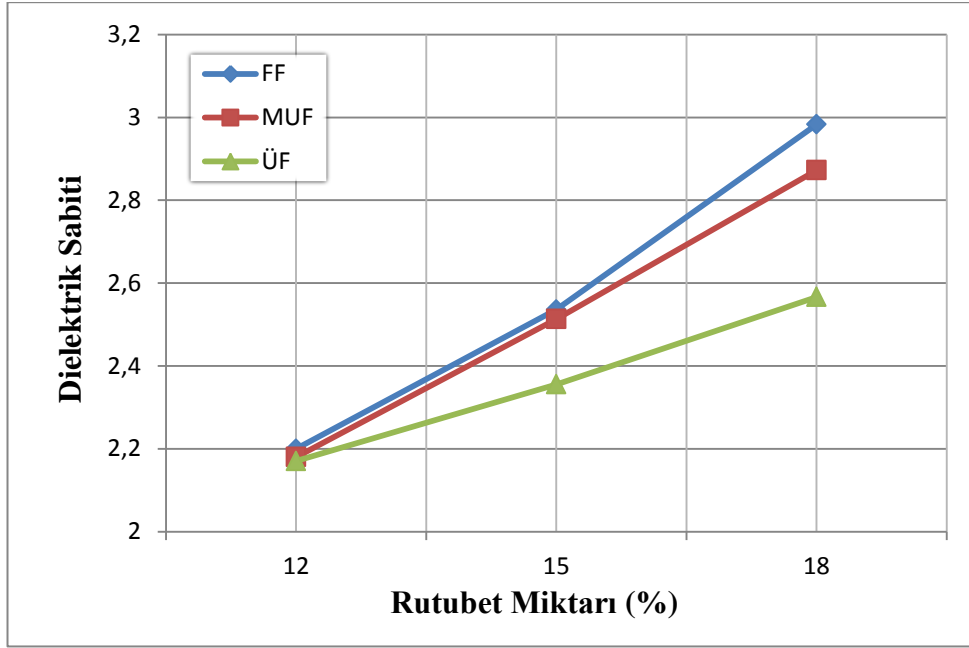
ÜF, MUF ve FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerinin 20 °C sıcaklıkta 3 farklı bağıl nem şartlarındaki dielektrik sabiti üzerine odun türünün, rutubet miktarının ve tutkal türünün etkileri incelenmiştir (Çizelge 3.12). İstatistiksel olarak her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklıkta 3 farklı bağıl nem şartlarında dielektrik sabiti birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.13 ve Çizelge 3.14). Ağaç malzeme arasında istatistiksel fark olduğundan dolayı gruplar ayrı ele alınmıştır. Ayrıca kayın lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabitinden yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.2.1.Çam Lamine Ağaç Malzemelerinin Dielektrik Sabiti Değerleri

ÜF, MUF, FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklıkta bağıl nemin artmasıyla rutubet değerlerinin arttığı, genel olarak oldukça benzer olmakla birlikte ÜF tutkalıyla üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarlarının düşük ve FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarları en yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. (Çizelge 3.11). Ayrıca ÜF, MUF, FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları incelendiğinde, rutubet miktarının artmasıyla genel olarak yoğunluklarının arttığı belirlenmiştir. Tutkal türüne göre lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları karşılaştırıldığında tüm rutubet gruplarında ÜF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları daha düşük olduğu FF ile

üretile lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları ise en yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.

FF, MUF ve ÜF tutkalları ile üretile Çam lamine ağaç malzemelerinin rutubet miktarlarındaki dielektrik sabiti değerleri Şekil 4.3 de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 4. 3. Çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti değerinin rutubet miktarına göre değişimi.

Çam lamine ağaç malzemelerinin dielektrik sabiti değerleri üzerine tutkal türünün etkisi incelendiğinde (Şekil 4.3); tutkal türünün dielektrik sabiti değerini etkilediği (Çizelge 3.15) ve istatistiksel olarak her üç tutkal türü ile üretile lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.16). %12 rutubet miktarına dielektrik sabiti değerleri üç tutkal türünde benzerlik gösterirken, en düşük dielektrik sabiti değerleri ÜF örneklerinde belirlenmiştir. Ancak %12 den sonra aradaki farkın belirginleştiği FF lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliğinde artış gözlenmiş ve sıralamanın büyükten küçüğe doğru FF, MUF ve ÜF olduğu belirlenmiştir.

Çam lamine ağaç malzemelerinin dielektrik sabiti değerleri üzerine rutubet miktarının etkisi incelendiğinde (Şekil 4.3); rutubet miktarının ısı iletkenlik değerini

etkilediği (Çizelge 3.15) ve istatistiksel olarak 20 °C sabit sıcaklıkta 3 farklı bağıl nem şartında dengeye gelen grupların dielektrik sabiti değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.16). En yüksek dielektrik sabiti değerlerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki örneklerde, en düşük dielektrik sabiti değerlerinin 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki örneklerde belirlenmiştir.

Çam lamine ağaç malzemenin 20 °C sıcaklıkta farklı bağıl nem miktarlarının ve tutkal türünün dielektrik sabiti değerini etkilediği (Çizelge 3.15) ve örnekler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. En yüksek dielektrik sabiti değeri 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki FF örneklerinde, en düşük dielektrik sabiti değeri ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki ÜF örneklerinde belirlenmiştir.

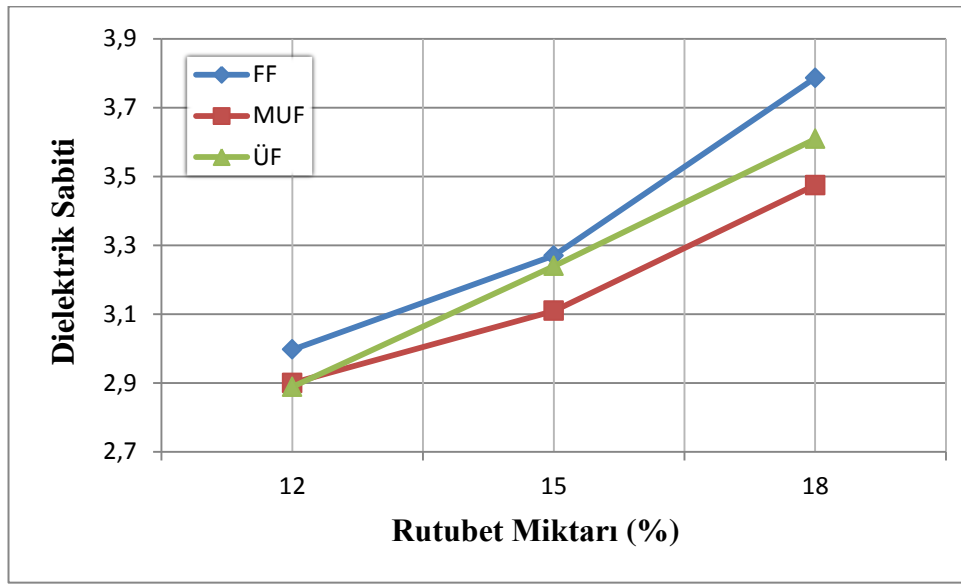
FF, MUF ve ÜF tutkallarıyla üretilen çam lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden ortalama sonuçları Şekil 4.3'de verilmiştir. ortalama sonuçlarına göre her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemede dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasında güçlü lineer bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Rutubet miktarı arttıka dielektrik sabiti değeri artış göstermektedir. Ayrıca tutkal türlerinin de dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki R^2 değerlerine dikkat edildiğinde FF ($R^2=$ % 84) tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerde ilişkinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buradan hareketle aşağıdaki ilişkiler kullanılarak lamine ağaç malzemelerin herhangi bir rutubetteki dielektrik sabiti ya da dielektrik sabiti bilinen lamine ağaç malzemenin rutubeti hesaplanabilir.

4.2.2.Kayın Lamine Ağaç Malzemelerinin Dielektrik Sabiti Değerleri

ÜF, MUF, FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklıkta bağıl nemin artmasıyla rutubet değerlerinin arttığı, genel olarak oldukça benzer olmakla birlikte ÜF tutkalıyla üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarlarının düşük ve FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarları en yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. (Çizelge 3.11). Ayrıca ÜF, MUF, FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları incelendiğinde, rutubet miktarının

artmasıyla genel olarak yoğunluklarının arttığı belirlenmiştir. Tutkal türüne göre lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları karşılaştırıldığında tüm rutubet gruplarında ÜF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları daha düşük olduğu FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları ise en yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.

FF, MUF ve ÜF tutkalları ile üretilen kayın lamine ağaç malzemelerinin rutubet miktarlarına göre dielektrik sabiti değerleri Şekil 4.4 de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 4.4. Kayın lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti değerinin rutubet miktarına göre değişimi.

Kayın lamine ağaç malzemelerinin dielektrik sabiti değerleri üzerine tutkal türünün etkisi incelendiğinde (Şekil 4.4); tutkal türünün dielektrik sabiti değerini etkilediği (Çizelge 3.18) ve istatistiksel olarak her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.19). En yüksek dielektrik sabiti değerleri FF örneklerinde, en düşük dielektrik sabiti değerleri ÜF örneklerinde belirlenmiştir.

Kayın lamine ağaç malzemelerinin dielektrik sabiti üzerine rutubet miktarının etkisi incelendiğinde (Şekil 4.4); rutubet miktarının dielektrik sabiti değerini etkilediği (Çizelge 3.18) ve istatistiksel olarak 20 °C sabit sıcaklıkta 3 farklı bağıl nem şartında

dengeye gelen grupların dielektrik sabiti değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.19). En yüksek dielektrik sabiti değerlerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki örneklerde, en düşük dielektrik sabiti değerlerinin 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki örneklerde belirlenmiştir.

Kayın lamine ağaç malzemenin 20 °C sıcaklıkta farklı bağıl nem miktarlarının ve tutkal türünün dielektrik sabit değerini etkilediği (Çizelge 3.18) ve örnekler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. En yüksek dielektrik sabiti değeri 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki FF örneklerinde, en düşük dielektrik sabiti değeri ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki ÜF örneklerinde belirlenmiştir. Ancak % 93 bağıl nemde MUF tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ÜF tutkalından daha düşük değer verdiği belirlenmiştir.

FF, MUF ve ÜF tutkallarıyla üretilen kayın lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti ve rutubet miktarı ortalama sonuçları Şekil 4.4' de verilmiştir. Ortalama sonuçlarına göre her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemede dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasında güçlü lineer bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Rutubet miktarı arttıkça dielektrik sabiti değerinde artış göstermektedir. Ayrıca tutkal türlerinin de dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki R^2 değerine dikkat edildiğinde MUF ($R^2 = \% 81$) tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerde ilişkinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buradan hareketle aşağıdaki ilişkiler kullanılarak lamine ağaç malzemelerin herhangi bir rutubetteki dielektrik sabiti ya da dielektrik sabiti bilinen lamine ağaç malzemenin rutubeti hesaplanabilir.

4.3. Lamine Ağaç Malzemelerin Kayıp Faktör Değerlerinin İrdelenmesi

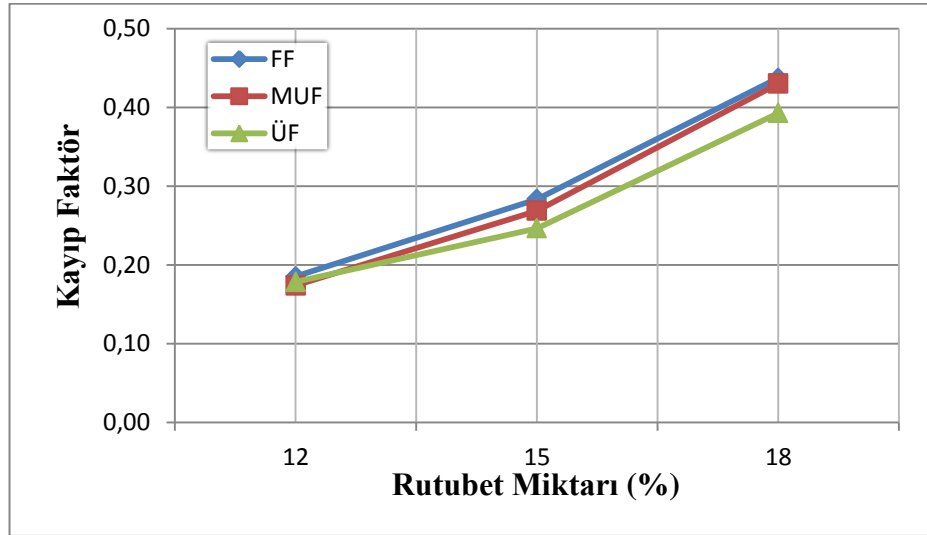
ÜF, MUF ve FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerinin 20 °C sıcaklıkta 3 farklı bağıl nem şartlarındaki kayıp faktörü üzerine odun türünün, rutubet miktarının ve tutkal türünün etkileri incelenmiştir (Çizelge 3.21). İstatistiksel olarak her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklıkta 3 farklı bağıl nem şartlarında kayıp faktörü birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.23 ve Çizelge 3.24). Ağaç malzeme arasında istatistiksel fark olduğundan dolayı gruplar

ayrı ele alınmıştır. Ayrıca kayın lamine ağaç malzemenin kayıp faktörü çam lamine ağaç malzemenin kayıp faktöründen yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.3.1.Çam Lamine Ağaç Malzemelerinin Kayıp Faktörü Değerleri

ÜF, MUF, FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklıkta bağıl nemin artmasıyla rutubet değerlerinin arttığı, genel olarak oldukça benzer olmakla birlikte ÜF tutkalıyla üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarlarının düşük ve FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarları en yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. (Çizelge 3.21). Ayrıca ÜF, MUF, FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları incelendiğinde, rutubet miktarının artmasıyla genel olarak yoğunluklarının arttığı belirlenmiştir. Tutkal türüne göre lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları karşılaştırıldığında tüm rutubet gruplarında ÜF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları daha düşük olduğu FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları ise en yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.

FF, MUF ve ÜF tutkalları ile üretilen çam lamine ağaç malzemelerinin rutubet miktarlarına göre kayıp faktörü Şekil 4.5 de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 4. 5. Çam lamine ağaç malzemenin kayıp faktörünün rutubet miktarına göre değişimi.

Çam lamine ağaç malzemelerinin kayıp faktör değerleri üzerine tutkal türünün etkisi incelendiğinde (Şekil 4.5), tutkal türünün kayıp faktör değerini etkilediği (Çizelge 3.25) ve istatistiksel olarak her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.26). En yüksek kayıp faktör değerleri FF örneklerinde, en düşük kayıp faktör değerleri ÜF örneklerinde belirlenmiştir.

Çam lamine ağaç malzemelerinin kayıp faktör değerleri üzerine rutubet miktarının etkisi incelendiğinde (Şekil 4.5); rutubet miktarının kayıp faktör değerini etkilediği (Çizelge 3.25) ve istatistiksel olarak 20 °C sabit sıcaklıkta 3 farklı bağıl nem şartında dengeye gelen grupların kayıp faktör değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.26). En yüksek kayıp faktör değerlerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki örneklerde, en düşük kayıp faktör değerlerinin 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki örneklerde belirlenmiştir.

Çam lamine ağaç malzemenin 20 °C sabit sıcaklıkta farklı bağıl nem miktarlarının ve tutkal türünün kayıp faktör değerini etkilediği (Çizelge 3.25) ve örnekler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. En yüksek kayıp faktör değeri 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki FF örneklerinde, en düşük dielektrik sabiti değeri ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki MUF örneklerinde belirlenmiştir. Ayrıca %12 bağıl nem şartında her üç tutkal türü arasında istatistiksel fark olmasa da % 12 bağıl nem şartından sonraki guruplarda MUF tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ÜF tutkalından yüksek değerler verdiği FF tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ise en yüksek değerler verdiği belirlenmiştir.

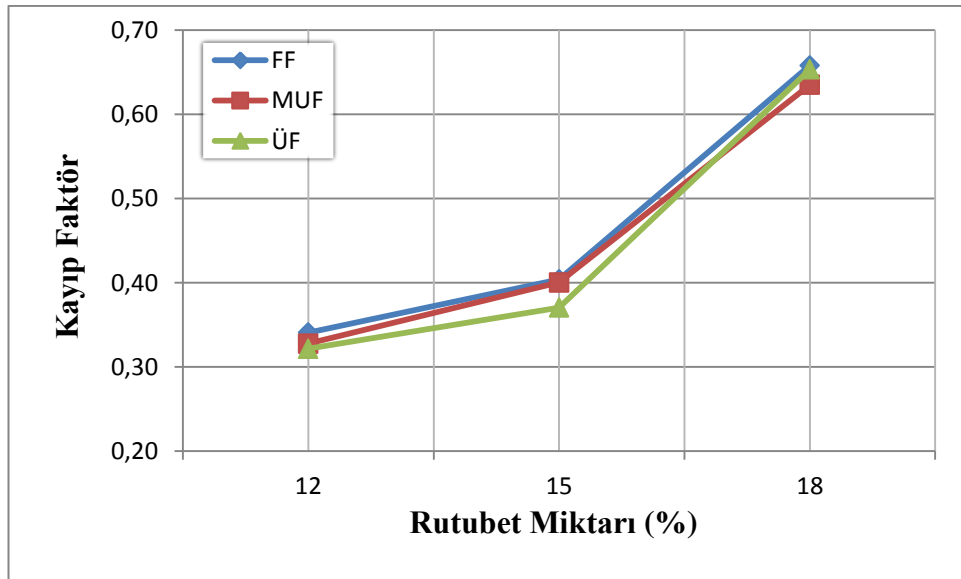
FF, MUF ve ÜF tutkallarıyla üretilen çam lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden ortalama sonuçları Şekil 4.5'de verilmiştir. ortalama sonuçlarına göre her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemedeki kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasında güçlü lineer bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Rutubet miktarı arttıkça kayıp faktörü artış göstermektedir. Ayrıca tutkal türlerinin de kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki R^2 değerlerine dikkat edildiğinde FF ($R^2=0.81$) tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerde ilişkinin düşük olduğu belirlenmiştir. Buradan hareketle aşağıdaki ilişkiler kullanılarak lamine

ağaç malzemelerin herhangi bir rutubetteki kayıp faktörü ya da kayıp faktörü bilinen lamine ağaç malzemenin rutubeti hesaplanabilir.

4.3.2.Kayın Lamine Ağaç Malzemelerinin Kayıp Faktör Değerleri

ÜF, MUF, FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklıkta bağlı nemin artmasıyla rutubet değerlerinin arttığı, genel olarak oldukça benzer olmakla birlikte ÜF tutkalıyla üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarlarının düşük ve FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarları en yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. (Çizelge 3.21). Ayrıca ÜF, MUF, FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları incelendiğinde, rutubet miktarının artmasıyla genel olarak yoğunluklarının arttığı belirlenmiştir. Tutkal türüne göre lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları karşılaştırıldığında tüm rutubet gruplarında ÜF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları daha düşük olduğu FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları ise en yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.

FF, MUF ve ÜF tutkalları ile üretilen kayın lamine ağaç malzemelerinin rutubet miktarlarına göre kayıp faktörü Şekil 4.6 de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 4. 6. Kayın lamine ağaç malzemenin kayıp faktörünün rutubet miktarına göre değişimi.

Kayın lamine ağaç malzemelerinin kayıp faktör değerleri üzerine tutkal türünün etkisi incelendiğinde (Şekil 4.6); tutkal türünün kayıp faktör değerini etkilediği (Çizelge 3.28) ve istatistiksel olarak her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemelerin kayıp faktör değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.29). En yüksek kayıp faktör değerleri FF örneklerinde, en düşük kayıp faktör değerleri ÜF örneklerinde belirlenmiştir.

Kayın lamine ağaç malzemelerinin kayıp faktör üzerine rutubet miktarının etkisi incelendiğinde (Şekil 4.6); rutubet miktarının kayıp faktör değerini etkilediği (Çizelge 3.28) ve istatistiksel olarak 20 °C sabit sıcaklıkta 3 farklı bağıl nem şartında dengeye gelen grupların kayıp faktör değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.29). En yüksek kayıp faktör değerlerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki örneklerde, en düşük kayıp faktör değerlerinin 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki örneklerde belirlenmiştir.

Kayın lamine ağaç malzemenin 20 °C sabit sıcaklıkta farklı bağıl nem miktarlarının ve tutkal türünün kayıp faktör değerini etkilediği (Çizelge 3.28) ve örnekler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. En yüksek kayıp faktör değeri 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki FF örneklerinde, en düşük kayıp faktör değeri ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki ÜF örneklerinde belirlenmiştir. Ancak % 93 bağıl nem şartında MUF tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ÜF tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerden daha düşük değer verdiği belirlenmiştir.

FF, MUF ve ÜF tutkallarıyla üretilen kayın lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü ve rutubet miktarı ortalama sonuçları Şekil 4.6' de verilmiştir. Ortalama sonuçlarına göre her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemedeki kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasında güçlü lineer bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Rutubet miktarı arttıkça kayıp faktörü artış göstermektedir. Ayrıca tutkal türlerinin de kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki R^2 değerine dikkat edildiğinde MUF ($R^2 = \% 86$) tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerde ilişkinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buradan hareketle aşağıdaki ilişkiler kullanılarak lamine ağaç malzemelerin herhangi

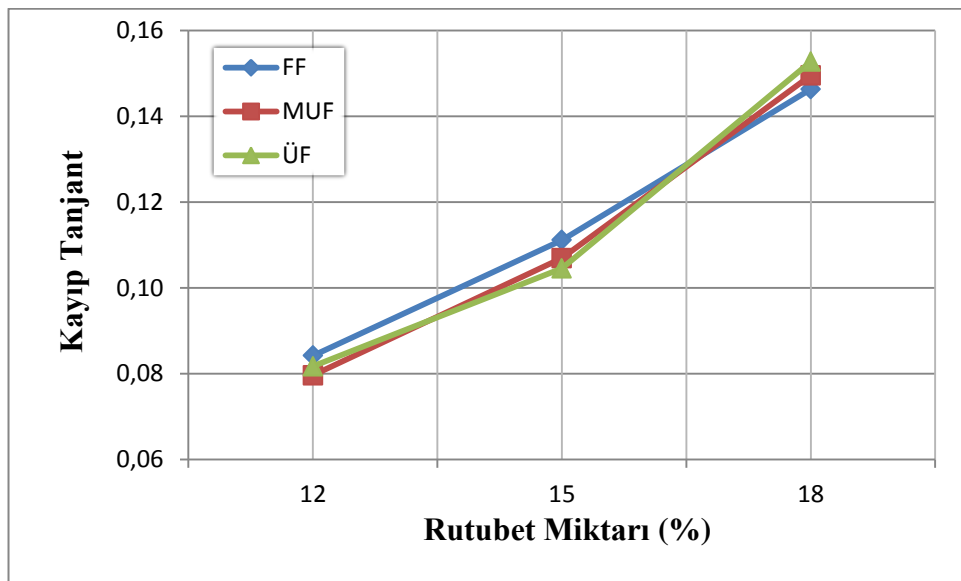
bir rutubetteki kayıp faktörü ya da kayıp faktörü bilinen lamine ağaç malzemenin rutubeti hesaplanabilir.

4.4. Lamine Ağaç Malzemelerin Kayıp Tanjant Değerlerinin İrdelenmesi

4.4.1.Çam Lamine Ağaç Malzemelerinin Kayıp Tanjant Değerleri

ÜF, MUF, FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 20 °C sıcaklıkta bağıl nemin artmasıyla rutubet değerlerinin arttığı, genel olarak oldukça benzer olmakla birlikte ÜF tutkalıyla üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarlarının düşük ve FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarları en yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. (Çizelge 3.31). Ayrıca ÜF, MUF, FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları incelendiğinde, rutubet miktarının artmasıyla genel olarak yoğunluklarının arttığı belirlenmiştir. Tutkal türüne göre lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları karşılaştırıldığında tüm rutubet gruplarında ÜF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları daha düşük olduğu FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin yoğunlukları ise en yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.

FF, MUF ve ÜF tutkalları ile üretilen Çam lamine ağaç malzemelerinin rutubet miktarlarına göre kayıp tanjantı Şekil 4.7 de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 4. 7. Çam lamine ağaç malzemenin kayıp tanjantının rutubet miktarına göre değişimi.

Çam lamine ağaç malzemelerinin kayıp tanjant değerleri üzerine tutkal türünün etkisi incelendiğinde (Şekil 4.7); tutkal türünün kayıp tanjant değerini etkilediği (Çizelge 3.35) ve istatistiksel olarak her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjant değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.33). En yüksek kayıp tanjant değerleri ÜF örneklerinde, en düşük kayıp tanjant değerleri MUF örneklerinde belirlenmiştir.

Çam lamine ağaç malzemelerinin kayıp tanjant değerleri üzerine rutubet miktarının etkisi incelendiğinde (Şekil 4.13); rutubet miktarının kayıp tanjant değerini etkilediği (Çizelge 3.32) ve istatistiksel olarak 20 °C sabit sıcaklıkta 3 farklı bağıl nem şartında dengeye gelen grupların kayıp tanjant değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.33). En yüksek kayıp tanjant değerlerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki örneklerde, en düşük kayıp tanjant değerlerinin 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki örneklerde belirlenmiştir.

Çam lamine ağaç malzemenin 20 °C sabit sıcaklıkta farklı bağıl nem miktarlarının ve tutkal türünün kayıp tanjant değerini etkilediği (Çizelge 3.47) ve örnekler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. En yüksek kayıp tanjant değeri 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki ÜF örneklerinde, en düşük dielektrik sabiti değeri ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki ÜF örneklerinde belirlenmiştir. Ancak rutubet miktarı arttıkça kayıp tanjant değerinin arttığı ve her bağıl nem şartında ise tutkal grupları arasında birbirine yakın değerler verdiği belirlenmiştir.

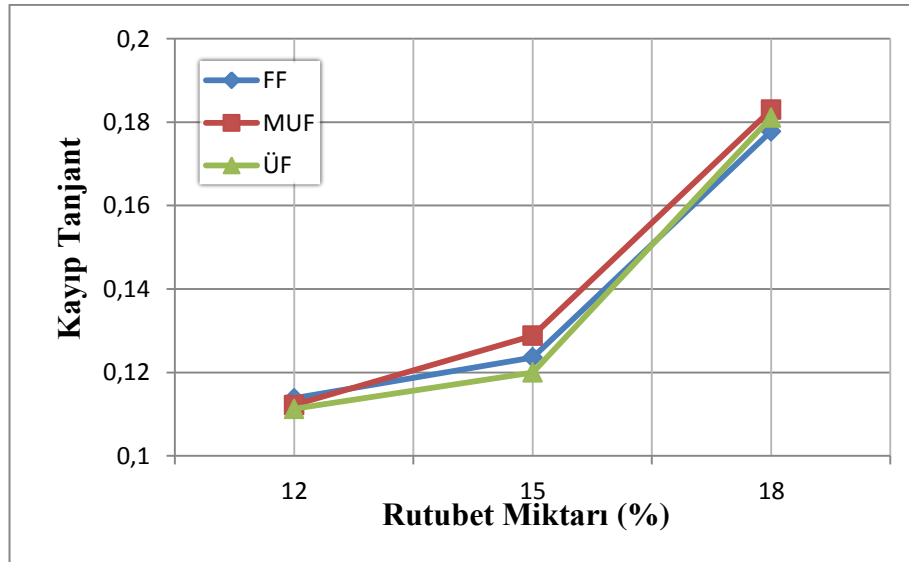
FF, MUF ve ÜF tutkallarıyla üretilen çam lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden ortalama sonuçları Şekil 4.7'de verilmiştir. Ortalama sonuçlarına göre her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemede kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasında güçlü lineer bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Rutubet miktarı arttıkça kayıp tanjantı artış göstermektedir. Ayrıca tutkal türlerinin de kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki R^2 değerlerine dikkat edildiğinde FF ($R^2 = \% 74$) tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerde ilişkinin

daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buradan hareketle aşağıdaki ilişkiler kullanılarak lamine ağağ malzemelerin herhangi bir rutubetteki kayıp tanjantı ya da kayıp tanjantı bilinen lamine ağağ malzemenin rutubeti hesaplanabilir.

4.2.2.Kayın Lamine Ağağ Malzemelerinin Kayıp Tanjant Değerleri

ÜF, MUF, FF tutkalları ile üretilen lamine ağağ malzemelerin 20 °C sıcaklıkta bağıl nemin artmasıyla rutubet değerlerinin arttığı, genel olarak oldukça benzer olmakla birlikte ÜF tutkalıyla üretilen lamine ağağ malzemelerin denge rutubet miktarlarının düşük ve FF ile üretilen lamine ağağ malzemelerin denge rutubet miktarları en yüksek değerler verdiği belirlenmiştir (Çizelge 3.31). Ayrıca ÜF, MUF, FF ile üretilen lamine ağağ malzemelerin yoğunlukları incelendiğinde, rutubet miktarının artmasıyla genel olarak yoğunluklarının arttığı belirlenmiştir. Tutkal türüne göre lamine ağağ malzemelerin yoğunlukları karşılaştırıldığında tüm rutubet gruplarında ÜF ile üretilen lamine ağağ malzemelerin yoğunlukları daha düşük olduğu FF ile üretilen lamine ağağ malzemelerin yoğunlukları ise en yüksek değerlerde olduğu belirlemiştir.

FF, MUF ve ÜF tutkalları ile üretilen kayın lamine ağağ malzemelerinin rutubet miktarlarına göre kayıp tanjantı Şekil 4.8 de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 4. 8. Kayın lamine ağağ malzemenin kayıp tanjant değerinin rutubet miktarına göre değişimi.

Kayın lamine ağaç malzemelerinin kayıp tanjant değerleri üzerine tutkal türünün etkisi incelendiğinde (Şekil 4.8); tutkal türünün kayıp tanjant değerini etkilediği (Çizelge 3.38) ve istatistiksel olarak her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjant değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.39). En yüksek kayıp tanjant değerleri MUF örneklerinde, en düşük kayıp tanjant değerleri ÜF örneklerinde belirlenmiştir.

Kayın lamine ağaç malzemelerinin kayıp tanjant üzerine rutubet miktarının etkisi incelendiğinde (Şekil 4.8), rutubet miktarının kayıp tanjant değerini etkilediği (Çizelge 3.38) ve istatistiksel olarak 20 °C sabit sıcaklıkta 4 farklı bağıl nem şartında dengeye gelen grupların kayıp tanjant değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.39). En yüksek kayıp tanjant değerlerinin 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki örneklerde, en düşük kayıp tanjant değerlerinin 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki örneklerde belirlenmiştir.

Kayın lamine ağaç malzemenin 20 °C sabit sıcaklıkta farklı bağıl nem miktarlarının ve tutkal türünün kayıp tanjant değerini etkilediği (Çizelge 3.38) ve örnekler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. En yüksek kayıp tanjant değeri 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemdeki MUF örneklerinde, en düşük kayıp tanjant değeri ise 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nemdeki ÜF örneklerinde belirlenmiştir. Ayrıca bağıl nem arttıkça kayıp tanjant değerinin arttığı ve her bağıl nem şartlarında tutkal türleri arasındaki farkın az olduğu belirlenmiştir.

FF, MUF ve ÜF tutkallarıyla üretilen kayın lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden ortalama sonuçları Şekil 4.8'de verilmiştir. Ortalama sonuçlarına göre her üç tutkal türü ile üretilen lamine ağaç malzemedeki kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasında güçlü lineer bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Rutubet miktarı arttıkça kayıp tanjantı artış göstermektedir. Ayrıca tutkal türlerinin de kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki R^2 değerlerine dikkat edildiğinde MUF ($R^2=0.81$) tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerde ilişkinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buradan hareketle aşağıdaki ilişkiler kullanılarak lamine ağaç malzemelerin herhangi bir rutubetteki kayıp tanjantı ya da kayıp tanjantı bilinen lamine ağaç malzemenin rutubeti hesaplanabilir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1.SONUÇLAR

Bu çalışmada Sarıçam ve Doğu Kayınından elde edilen lamine ağaç malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı, dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine rutubet miktarının ve tutkal türünün etkisi incelenmiştir. Çalışmada aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Kayından üretilen lamine ağaç malzemenin çamdan üretilen lamine ağaç malzemededen daha yüksek ısı iletkenlik değerine sahip olduğu belirlenmiştir.
2. Kayın ve çam lamine ağaç malzemenin ısı iletkenliği üzerine tutkal türünün ve rutubet miktarlarının iki lamine ağaç malzeme üzerinde etkili olduğu belirlenmiş; kayın ve çam odun türünden üretilen lamine ağaç malzemedede de en düşük ısı iletkenlik değerleri ÜF örneklerinde, en yüksek ısı iletkenlik değerleri ise FF örneklerinde belirlenmiştir.
3. Kayın ve çam lamine ağaç malzemenin rutubet miktarı ve tutkal türü birlikte incelendiğinde ısı iletkenliği değeri üzerine etkili olduğu; her iki odun türünde de en düşük ısı iletkenliği değeri 20 °C sıcaklıkta % 65 bağıl nemde ÜF örneklerinde, en yüksek ısı iletkenliği değeri ise 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemde FF örneklerinde belirlenmiştir.
4. Kayından üretilen lamine ağaç malzemenin çamdan üretilen lamine ağaç malzemededen daha yüksek dielektrik sabitine sahip olduğu belirlenmiştir.

5. Kayın ve çam lamine ağaç malzemenin dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün ve rutubet miktarlarının iki lamine ağaç malzeme üzerinde etkili olduğu belirlenmiş; iki odun türünde de en düşük dielektrik sabiti ÜF örneklerinde, en yüksek dielektrik sabiti ise FF örneklerinde belirlenmiştir. 20 °C sabit sıcaklıkta üç farklı bağıl nem ortamında en düşük dielektrik sabiti 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nem şartında, en yüksek dielektrik sabiti 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nem şartında belirlenmiştir.
6. Kayın ve çam lamine ağaç malzemenin rutubet şartı ve tutkal türü birlikte incelendiğinde dielektrik sabiti üzerine etkili olduğu; her iki odun türünde de en düşük dielektrik sabiti 20 °C sıcaklıkta % 65 bağıl nemde ÜF örneklerinde, en yüksek dielektrik sabiti ise 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemde FF örneklerinde belirlenmiştir.
7. Kayından üretilen lamine ağaç malzemenin çamdan üretilen lamine ağaç malzemedan daha yüksek kayıp faktör değerine e sahip olduğu belirlenmiştir. Kayın ve çam lamine ağaç malzemenin kayıp faktör üzerine tutkal türünün ve rutubet miktarlarının kayın ve çam lamine ağaç malzeme üzerinde etkili olduğu belirlenmiş; iki odun türünde de en düşük kayıp faktör ÜF örneklerinde, en yüksek kayıp faktör ise FF örneklerinde belirlenmiştir. 20 °C sabit sıcaklıkta üç farklı bağıl nem ortamında en düşük kayıp faktör 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nem şartında, en yüksek kayıp faktör 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nem şartında belirlenmiştir.
8. Kayın ve çam lamine ağaç malzemenin rutubet şartı ve tutkal türü birlikte incelendiğinde kayıp faktör üzerine etkili olduğu; her iki odun türünden üretilen lamine ağaç malzemedan de en düşük kayıp faktör 20 °C sıcaklıkta % 65 bağıl nemde ÜF örneklerinde, en yüksek kayıp faktör ise 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemde FF örneklerinde belirlenmiştir.
9. Kayından üretilen lamine ağaç malzemenin çamdan üretilen lamine ağaç malzemedan daha yüksek kayıp tanjant değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Odun türleri arasında istatistiksel fark olduğundan dolayı gruplar ayrı ele alınmıştır. Kayın ve çam lamine ağaç malzemenin kayıp tanjant üzerine tutkal

türünün ve rutubet miktarlarının kayın ve çam lamine ağaç malzeme üzerinde etkili olduğu belirlenmiş; iki odun türünde de en düşük kayıp tanjant ÜF örneklerinde, en yüksek kayıp tanjant ise FF örneklerinde belirlenmiştir. 20 °C sabit sıcaklıkta üç farklı bağıl nem ortamında en düşük kayıp tanjant 20 °C sıcaklık % 65 bağıl nem şartında, en yüksek kayıp tanjant 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nem şartında belirlenmiştir.

10. Kayın ve çam lamine ağaç malzemenin rutubet şartı ve tutkal türü birlikte incelendiğinde kayıp tanjant üzerine etkili olduğu; her iki odun türünden üretilen lamine ağaç malzemedede de en düşük kayıp tanjant 20 °C sıcaklıkta % 65 bağıl nemde ÜF örneklerinde, en yüksek kayıp tanjant ise 20 °C sıcaklık % 93 bağıl nemde FF örneklerinde belirlenmiştir.

5.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada endüstride yaygın olarak kullanılan tutkallar kullanılarak üretilen lamine ağaç malzemelerin rutubet miktarlarına göre ısı iletkenlik ve dielektrik özellikleri karşılaştırılmıştır. Odun türlerinin ısı iletkenlik ve dielektrik özellikler arasındaki farklılıklar odun türlerinin spesifik özelliklerine bağlı olduğu sonucuna varılmış olmakla birlikte rutubet miktarının ve tutkal türünün de etkili olduğu incelenmiştir.

Isı iletkenlik katsayısı sonuçlarına göre, Sarıçam odunlarının genel olarak ısı iletkenlik katsayısı değerleri kayın odunundan düşüktür. Bu sarıçam odununun daha yalıtkan bir malzeme olduğunu gösterir. Ağaç malzemenin yalıtkan olmasını istediğimiz durumlarda sarıçam odunu, ağaç malzemenin iletken olmasını istediğimiz durumlarda kayın odunu önerilebilir. Lamine elde etmede kullanılan tutkal türü olarak, iletken bir malzemeye ihtiyacımız varsa FF tutkalı tercih edilebilir. Yalıtkan bir malzemeye ihtiyacımız varsa ÜF tutkalı tercih edilebilir.

KAYNAKLAR

Ay, N, Sahin, H, Tiras, H. (1998) “Ökseotu (*Viscum album L.*)’nun Sarıçam (*Pinus sylvestris L*) Odununun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi.” *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi*, Bildiri Kitabı, s 531-537. (1998) .

ASTM C 177/C 518, Methods of Measuring Thermal Conductivity, *Absolute and Reference Method*.

Baldwin, R. F., “Plywood and Veneer – Based Products: Manufacturing Practices”, *Miller Freeman Books*, San Francisco, California, USA, 1-388 (1995).

Becerem, R. Mimaride Ahsap, *Güney Marmara Mimarlık Dergisi*, Bursa Mimarlar Odası Yayınları, Bursa. (2000).

Barnes, D., Admiraal, L., Pike, R. L. and Mathur, V. N. P., “Continuous system for the drying of lumber with microwave energy”, *Forest Products Journal*, 26 (5): 31-42 (1976). .

Berkel, A., “Ağaç Malzeme Teknolojisi, I. Cilt”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, Yayın No: 147, İstanbul, 174-190 (1970). .

Bozkurt, Y. ve Göker, Y., “Yonga Levha Endustrisi”, *Dumlupınar Üniversitesi Orman Fakültesi*, Yayın No: 3311, Kütahya, 1-263 (1985).

Bozkurt, Y.,”Ağaç Teknolojisi” *İ. Ü. Orman Fakültesi yayını*, Yayın No: 3403, İstanbul . (1986).

Bozkurt, Y. ve Göker Y., “Ağaç Malzemenin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını*, Yayın No :3445/388, İstanbul, 307-315 (1987). .

Bozkurt, Y. ve Erdin, N., “Ticarette Önemli Yabancı Ağaçlar”, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları*, Yayın No: 4, İstanbul, 153-155 (1989). .

Bozkurt, A.Y., Göker, Y., Erdin, N., “Odun Anatomisi”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, İ.Ü. Rektörlüğü Yayın No:4263, O.F. Yayın No: 466, ISBN 975-404-592-5. (2000).

Chatterjee, R., “Advanced Microwave Engineering Special Advanced Topics”, *Ellis Horwood Limited*, England, 493-495 (1988).

Çolakoğlu, G., “Tabakalı Ağaç Malzeme Ders Notları” *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi*, Trabzon, 176-186 (2001). .

Çolakoğlu, G., Aydın, İ., Nemli, G. ve Çolak, S., “Ahşap sanayinde melamin formaldehit (MF) ve melamin/üre formaldehit (MUF) yapıştırıcılarının kullanımı”, *Mobilya Dekorasyon*, 47: 130-138 (2002). .

Dilik, T., “Lamine Ağaç Malzemedden Pencere Profili Üretimi ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi,” Doktora Tezi, *İ.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul. (1997).

Erdin, N., “Ağaç malzeme kullanımı ve çevreye etkisi”, İnterteks İnfaat 2003 Fuarı, *Ahsap Seminerleri*, İstanbul. (2003).

Dunky, M., “Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 18: 95-107 (1998).

Godman J. Load and resistance factor design for engineered wood construction. Structural wood composites new technologies for expanding market. Proceedings 47359. Madison, WI : Forest Products Research Society, (1988).

Hafizoğlu, H., “Orman Ürünleri Kimyası Ders Notları, Cilt 1”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No: 52, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi*, Trabzon, 22-29 (1982). .

İnternet: Lesliestructuralsales, “Wood I-Joist, LVL”, www.lesliestructuralsales.com (2008).

James, W. L., “Dielectric properties of wood and hardboard: variation with temperature”, Frequency, Moisture Content, and Grain Orientation, *USDA Forest Service Research Paper*, FPL 245: 1-32 (1975). .

James, W. L., “Dielectric behavior of douglas-fir at various combinations of temperature frequency, and moisture content”, *Forest Products Journal*, 27 (6): 44-48 (1977). .

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). .

Keskin, H., “Lamine masif ağaç malzemelerin teknolojik özellikleri ve ağaç işleri endüstrisinde kullanım imkanları” Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-5 (2001). .

Köse, L., “Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilen lamine ağaç malzemelerin yanma mukavemetinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 7-10 (2008). .

Kurt. Ş., “Emprenye edilmiş lamine ağaç malzemelerin (lv1) deniz ortamında bazı teknolojik özelliklerinin değişimi”, Doktora Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bartın, 1-10 (2006). .

Kurtoğlu, A., “Yapıştırılmış tabakalı ağaç malzemede rutubet değişimi nedeniyle gerilmelerin oluşumu”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 29 (2): 72-88 (1979). .

KYOTO Electronics, Thermal Conductivity Meters Kem Kyoto *ElectroniManufacturing Co.*, LTD., Tokyo, 1990.

KYOTO Electronics, Thermal Conductivity Meter QTM-500, Instruction Manual Kem Kyoto-*Electronics Manufacturing Co.* LTD, Tokyo, 1991.

Leicester, R.H., Craig, A. S., Microwave scanners in stress grading operations, *25th Forest Products Research Conference, CSIRO Division of Forestry and Forest Products*, Clayton, Victoria, Australia, 1996

Malkoçoğlu, A. K., “Doğu kayını (fagus orientalis l.) odununun teknolojik özellikleri”, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 1-136 (1994). .

Merev, N., Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı. *KTÜ Orman Fak.* Genel Yayın No:210, Fakülte Yayın No:32, ISBN- 975-6983-30-2, Trabzon. (2003).

Moody, R. C. and Hernandez, R. (1997) ., “Glue laminated timber. Engineered wood products: a guide for specifiers, designers, and users.” *Daniel St. Madison*, WI: PFS Research Foundation.

Norimoto, M. and Yamada, T., “The dielectric properties of wood v, on the dielectric anisotropy of wood”, *Wood Research*, 51: 12-32 (1971). .

Norimoto, M. and Yamada, T., “The dielectric properties of wood v₁, on the dielectric properties of the chemical constituents of wood and the dielectric anisotropy of wood”, *Wood Research*, 52: 30-43 (1972) .

Norimoto, M., “Dielectric properties of wood”, *Wood Research*, 59 (60): 106-151 (1976). .

Norimoto, M., Hayashi, S. and Yamada, T., “Anisotropy of dielectric constant in coniferous wood”, *Holzforschung*, 32 (5): 167-172 (1978). .

Okçu, O., “Emprenye edilmiş lamine ağaç malzemenin yapışma ve yanma özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-10 (2006). .

- Olmi, R., Bini, M., Ignesti, A. and Riminesi C., “Dielectric properties of wood from 2 to 3 GHz”, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 35 (3): 135-143 (2000). .
- Örs, Y. ve Keskin, H., “Ağaç Malzeme Bilgisi”, *Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul, 87-102 (2001) .
- Rickter, H.G. and Schwab, E. Holzarten für den Fensterbau Glas und Rahmen. *Holz als Roh-und Werkstoff*. vol. 7. pp. 586–98. (1992).
- Schajer, G.S., Orhan, F.B., Measurement of wood grain angle, moisture content and density using microwaves, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 64 (2006): 483-490.
- Schmidt, R. G., “Aspects of wood adhesion: applications of ¹³C CP/MAS NMR and fracture testing”, Ph. D. Thesis, *Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University*, Blacksburg, Virginia, 3-10 (1998). .
- Sellers, T., McSween, J. R. and Nearn, W. T., “Gluing of eastern hardwoods: a review”, *USDA, Forest Service, Southern Forest Experiment Station*, General Technical Report, SO-71, New Orleans, Louisiana, 3-5 (1988). .
- Stevens, W. C. and Turner, N., “Wood Bending Handbook”, *Fox Chapel Publishing*, Petersburg, 1-109 (2007). .
- Şahin, H., “Mikrodalga frekanslarda doğal ve empenye edilmiş odun türlerinin dielektrik özellikleri”, doktora tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 1-59 (2002).
- Şahin, H. and Ay. N., “Dielectric properties of hardwood species at microwave frequencies”, *J Wood Sci*, 50 : 375-380 (2004). .
- Şahin Kol, H. and Altun S., “Effect of some chemicals on thermal conductivity of impregnated laminated veneer lumbars bonded with poly(vinyl acetate) and melamine-formaldehyde adhesives”, *Drying Technology*, 27: 1010-1016 (2009).
- Şenay, A., “Lamine edilmiş Doğu Kayınının (fagus orientalis lipsky.) teknolojik özellikleri”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16-77 (1996)
- Thostenson, E. T. and Chou, T. W., “Microwave processing: fundamentals and applications”, *Composites*, Part A (30) : 1055-1071 (1999). .
- Tinga, W. R., “Dielectric properties of douglas fir at 2.45 GHz”, *Journal of Microwave Power*, 4 (3): 160-164 (1969). .
- Tinga, W. R, and Nelson, S. O., “Dielectric properties of materials for microwave processing-tabulated”, *Journal of Microwave Power*, 8 (1): 23-65 (1973). .

Toker, R. Batı Karadeniz Sarıçamının Teknik Vasıfları ve Kullanma Yerleri Hakkında Araştırmalar, **Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları**, Teknik Bülten Serisi No;10, Ankara, (1960).

Torgovnikov, G. I., “Dielectric Properties of Wood and Wood-Based Materials”, **Springer-Verlag**, Berlin, 1-115 (1993). .

TS EN 386, “Yapıştırılmış lamine kereste – performans özellikleri ve asgari imalat şartları”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2006). .

Ulupınar, M., Şenay, A., ve Güray, A., “Lamine edilmiş kavak (*populus euramericana*)’ın eğilme direnci ve elastikiyet modülü tayini”, **I. Uluslar Arası Mobilya Kongresi ve Sergisi**, İstanbul, 511-524 (1999). .

Ulupınar, M., “Lamine edilmiş melez kavak (*populus euramericana*)’ın teknolojik özelliklerinin tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, **Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 13-87 (1998). .

Üretici firma. (1999) Polisan Dilovası-Gebze, Kocaeli.

Vallejos, C., Grote, W., wood Moisture Content Measurement at 2,45 GHz, **International Microave and Optoelectronics Conference (IMOC 2009)**: 221-225.

Vermaas, H. F., “The Dielectric Properties of Wood, Thesis Presented for the Degree of Doctor of Science in Wood Science, **University of Stellenbosch**, South Africa, 1-52 (1971). .

Vermaas, H. F., Pound, J. and Borgin, K. B., “The loss tangent of wood and its importance in dielectric heating”, **South African Forestry Journal**, 89: 5-8 (1974). .

Wimmer, R., Klausler, O. and Niemz, P., “Water sorption mechanisms of commercial wood adhesive films”, **Wood Science and Technology**, 47 (2): 1-13 (2013).

Yaltrık, F. ve Efe, A. **Dendroloji Ders Kitabı**, “Gymnospermae-Angiospermae”, İ.Ü. Yayın No:3836, Fak. Yayın No:431, ISBN 975-404-363-9, İstanbul, (1994).

Yokoyama, M. and Norimoto, M., “Contour diagrams of dielectric loss for absolutely dried spruce wood”, **Wood Research**, 83: 37-39 (1996). .

Youngquit, J. A., Laufenberg, T. L. and Bryant, B. S., “End Jointing of Laminated Veneer Lumber for Structural”. **Use, Forest Products Journal**, Vol. 34, No: 11-12, USA, (1984).

ÖZGEÇMİŞ

Fatih ARSLAN 1991’da Sinop’un Ayancık ilçesi Uzunçam köyünde doğdu. İlköğretimini Kocaeli’nin Gebze ilçesinde Ziya Gökalp İlk Öğretim Okulunda tamamladıktan sonra lise öğretiminin Ziya Gökalp Lisesi’nde bitirdi. 2009 yılında Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Mobilya ve Dekorasyon Öğretmenliği bölümünü kazandı. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans programına öğrenimini kazandı. Halen aynı programda eğitimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Hürriyet Mahallesi
Yaşar Doğu Caddesi, No.36
Gebze / KOCAELİ

Tel: (539) 248 5055