

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞAÇ İŞLERİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI

İNFRARED + MİKRODALGA İLE KURUTULAN
AHŞAP PALET ÜRETİMİNDE KULLANILAN BAZI
AĞAÇ TÜRLERİNİN MEKANİK VE FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

BURÇİN SALTİK

EYLÜL 2023
MUĞLA

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞAÇ İŞLERİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI

İNFRARED + MİKRODALGA İLE KURUTULAN
AHŞAP PALET ÜRETİMİNDE KULLANILAN BAZI
AĞAÇ TÜRLERİNİN MEKANİK VE FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

BURÇİN SALTİK

EYLÜL 2023

MUĞLA

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

BURÇİN SALTİK tarafından hazırlanan **İNFRARED + MİKRODALGA İLE KURUTULAN AHŞAP PALET ÜRETİMİNDE KULLANILAN BAZI AĞAÇ TÜRLERİNİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI** başlıklı tezinin, 12/09/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Prof. Dr. Cevdet SÖĞÜTLÜ (Jüri Başkanı)

İmza:

Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı,
Gazi Üniversitesi, Ankara

Doç. Dr. Mehmet YENİOCAK (Danışman)

İmza:

Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Prof. Dr. Yusuf Ziya ERDİL (Üye)

İmza:

Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Doç. Dr. Harun DİLER (Üye)

İmza:

Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve
Malzeme Teknolojileri Bölümü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya

Dr. Öğr. Üyesi Tolga KUŞKUN (Üye)

İmza:

Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Doç. Dr. Mehmet YENİOCAK

İmza:

Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Savunma Tarihi: 12/09/2023

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini, akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Burçin SALTİK

12/09/2023

ÖZET

İNFRARED + MİKRODALGA İLE KURUTULAN AHŞAP PALET ÜRETİMİNDE KULLANILAN BAZI AĞAÇ TÜRLERİNİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Burçin SALTİK

Doktora Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet YENİOCAK

Eylül 2023, 133 sayfa

Ahşap palet endüstrisinde kullanılan paletlerin, 25 Mayıs 2019 tarih ve 30784 sayılı ISPM 15 yönetmeliğinin 01 Ocak 2020 tarihinden itibaren yürürlüğe girmesi ile, ısıtma işleminden geçirilmesi zorunlu hale getirilmiştir. Ahşap paletlerin kurutulmasında klasik kurutma fırınları kullanılmaktadır. Üreticiler klasik kurutma fırınlarında işlem sürelerinin çok uzun olmasından dolayı bitmiş üründe ciddi anlamda kapasite düşüşü yaşamaktadırlar. Bu ciddi düşüş ihracat yapan ve ahşap palet kullanan tüm sektörleri de etkilemekte ve ihracatta önemli ölçüde ISPM 15 damgalı ahşap palet talebi yaşanmaktadır.

Bir diğer problem ise; palet endüstrisinde kullanılan klasik kurutma fırınlarında istenilen rutubet derecesi olan %20'nin altına inilmekteki sıkıntılardır. %20'nin üzerindeki rutubet derecelerinde mantar ve küf oluşmakta ve bu da palet üzerindeki diğer malzemelere sirayet etmektedir.

Yukarıda belirtilen problemlerin çözümü için, bu çalışmada ana amaç; infrared (kızılötesi) + mikrodalga sistemi ile yapılan ahşap kurutmanın uygunluğunu ve verimliliğini araştırmaktır. Buna bağlı olarak da alt amaçlar ise; ahşap numuneleri farklı infrared ve mikrodalga kombinasyonlarda test ederek optimum kurutma yaklaşımını ortaya çıkarmak, çıkan sonuçları değerlendirip, analiz ederek, diğer kurutma sistemleri ile karşılaştırmak, infrared + mikrodalga ile ahşap kurutma fırını prototip tasarımı yapmak, infrared + mikrodalga ile kurutmanın verimini ve etkinliğini analiz etmek ve diğer kurutma sistemi ile karşılaştırma yapmaktır.

Bu çalışmanın nihai hedefi; laboratuvar ortamında ahşap malzeme testleri/analizleri yapmak ve çıkan sonuçlar ışığında infrared + mikrodalga teknolojilerini beraber kullanacak bir prototip kurutma fırını tasarlamaktır. Tasarlanan bu prototipin de ileride üretililecek bir fırına örnek olmasıdır.

Bu çalışmanın hipotezi; infrared + mikrodalga ile ahşap palet kurutmada kusur artışı olmadan klasik kurutma metoduna göre daha yüksek verim elde etmektir.

Bu çalışmanın kapsamı; küçük ölçekli ahşap numunelerinin kurutulacağı infrared + mikrodalga kurutma düzeneğinin kurulması, infrared + mikrodalga ahşap kurutma fırınının tasarlanması, palet endüstrisinde yaygın olarak kullanılan iki ağaç türünün kurutulmasında önerilen metodun etkinliğinin araştırılmasıdır.

Bu çalışmada yöntem olarak; ahşap palet endüstrisinde kullanılan ortalama %60 rutubet değerine sahip Kızılçam (*Pinus brutia*) ve Doğu Ladini (*Picea orientalis*) odunlarından elde edilen numuneler kullanılmıştır. Örnekler 3 farklı kurutma metodu ile kullanılarak değişken süre ve şartlarda kurutulmuştur. Bunlar; etüv ile 24 saat, mikrodalga kurutma metodu ile 5-10-15 dakika, infrared (kızılötesi) + mikrodalga kurutma metodu ile 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga, 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga metodudur. Kuruma sürelerinde enerji tüketim miktarları belirlenmiştir. Kurutulan ahşap numunelerin parlaklık, renk, eğilme, eğilmede elastikiyet ve vida tutma dayanımları test edilmiş, ve kuruma bağlı değişimler ATR-FT-IR ve SEM analizleri ile incelenmiştir.

Yapılan testlerin sonuçlarına göre; infrared + mikrodalga teknolojisi ile kurutmanın, etüv ile kurutmaya göre daha az enerji (%93) tükettiği ve daha kısa (15 dakika) sürdüğü hesaplanmıştır. Kurutma metoduna bağlı olarak parlaklık ve renk değişimlerinin gerçekleştiği belirlenmiştir. Mekanik test sonuçlarına göre; etüv ile kurutulan ahşap numunelerin genel olarak diğer kurutma metotlarına göre daha yüksek dayanım gösterdiği tespit edilmiştir. ATR-FT-IR analiz sonucuna göre; fonksiyonel gruplar arasında bağ oluşmadığı ve lignin, hemiselüloz ve selüloz değerlerinde düşüş olduğu tespit edilmiştir. SEM analiz sonucuna göre, infrared + mikrodalga kurutmanın hücre yapısına herhangi olumsuz bir etkisi olduğu konusunda kesin bir kanıya varılamamıştır.

Hâlihazırda, infrared + mikrodalga metodu ile kurutma yapabilen bir kurutma fırını bulunmamaktadır. Tez kapsamında tasarlanan prototip çalışmasının ve yapılan test ve analizlerde elde edilen sonuçların, özellikle ahşap palet sektöründe kullanılmak üzere üretilecek bir kurutma fırınına ışık tutacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: İnfrared, Mikrodalga, Ahşap Kurutma, Ahşap Malzeme

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF SOME WOOD SPECIES USED IN THE PRODUCTION OF INFRARED + MICROWAVE DRIED WOODEN PALLETS

Burcin SALTİK

Doctor of Philosophy (PhD)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Wood Products Industrial Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet YENIOCAK

September 2023, 133 pages

Heat treatment of pallets used in the wooden pallet industry has become mandatory with the ISPM 15 regulation dated 25 May 2019 and numbered 30784 coming into force as of 01 January 2020. Classical drying ovens are used to dry wooden pallets. Manufacturers experience a serious decrease in the capacity of the finished product due to the very long processing times in classical drying ovens. This serious decline affects all sectors that export and use wooden pallets, and there is a significant demand for ISPM 15 stamped wooden pallets in exports.

Another problem is the difficulty in getting the desired humidity level below 20% in the classical drying ovens used in the pallet industry. At humidity levels above 20%, fungus and mould form and this spreads to other materials on the pallet.

In order to solve the above-mentioned problems, the main purpose of this study is to investigate the suitability and efficiency of wood drying with infrared + microwave system. Accordingly, the sub-goals are to reveal the optimum drying approach by testing wooden samples in different infrared and microwave combinations, to evaluate and analyse the results and compare them with other drying systems, to design a wood drying oven prototype with infrared + microwave, to analyse the efficiency and effectiveness of infrared + microwave drying and to compare with other drying system.

The ultimate goal of this study; the aim is to carry out wood material tests/analysis in a laboratory environment and, in the light of the results, to design a prototype drying oven that will use infrared + microwave technologies together. This designed prototype is an example of a furnace that can be produced in the future.

The hypothesis of this study; the aim of drying wooden pallets with infrared + microwave is to achieve higher efficiency than the classical drying method without any defects.

The scope of this study; is to establish an infrared + microwave drying device in which small-scale wood samples will be dried, to design an infrared + microwave wood drying oven, and to investigate the effectiveness of the proposed method in drying two types of wood commonly used in the pallet industry.

As a method in this study, samples obtained from Red Pine (*Pinus brutia*) and Oriental Spruce (*Picea orientalis*) wood, which have an average moisture content of 60% and are used in the wood pallet industry, were used. The samples were dried under varying times and conditions using 3 different drying methods. These; 24 hours with the oven drying method, 5-10-15 minutes with the microwave drying method, 30 seconds infrared + 5 minutes microwave, 1 minute infrared + 5 minutes microwave, 30 seconds infrared + 10 minutes microwave methods. Energy consumption amounts during drying periods were determined. The gloss, colour, bending, bending elasticity and screw retention strength of the dried wood samples were tested and the changes due to drying were examined by ATR-FT-IR and SEM analyses.

According to the results of the tests, it has been calculated that drying with infrared + microwave technology consumes less energy (93%) and takes less time (15 minutes) than oven drying. It was determined that brightness and colour changes occurred depending on the drying method. According to mechanical test results, it has been determined that wood samples dried with the oven generally show higher strength than other drying methods. According to the ATR-FT-IR analysis result; it was determined that no bonds were formed between functional groups and there was a decrease in lignin, hemicellulose and cellulose values. According to the SEM analysis results, no definitive conclusion could be reached that infrared + microwave drying has any negative effect on the cell structure.

Currently, there is no drying oven that can dry with the infrared + microwave method. It is thought that the prototype study designed within the scope of the thesis and the results obtained from the tests and analysis will shed light on a drying oven to be produced especially for use in the wooden pallet industry.

Keywords: Infrared, Microwave, Wood Drying, Wood Material



Sevgili eşime ve oğluma...

ÖNSÖZ

Çalışmalarım ve tezin tüm aşamalarında göstermiş olduğu kolaylıklar, destekler ve bilimsel bir çalışmanın gerekliliklerini gösterdiği için danışman hocam Doç. Dr. Mehmet YENİOCAK' a şükranlarını sunarım.

Tezin ana hatlarının belirlenmesinde ve tezin tüm aşamalarında değerli katkılarını esirgemeyen, yol gösteren başta değerli hocam Prof. Dr. Yusuf Ziya ERDİL olmak üzere, Prof. Dr. Cevdet SÖĞÜTLÜ, Doç. Dr. Harun DİLER ve diğer tüm tez komitesi üyesi hocalarıma minnetlerimi sunarım.

Testlerin yapılması ve sonuçlarında katkı sunan, yorumları ile fikir veren, Prof. Dr. Ertan ÖZEN, Doç. Dr. Erkan AVCI ve Öğretim Üyesi Dr. Tolga KUŞKUN' a teşekkürlerimi sunarım.

Ahşap malzemenin tedarikinde desteklerini esirgemeyen Altınok Tarım ve Orman Ürünleri Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Testlerin yapılmasında test cihazları ve diğer konularda desteklerini esirgemeyen RND Araştırma Geliştirme Tasarım Makine San. Tic. Ltd. Şti. firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmamın tüm aşamalarında sabırla beni destekleyen sevgili eşim İpek SALTİK' a minnettar olduğumu da belirtmek isterim.

Bu tez çalışması kapsamında yapılanlar, 28.05.2021 tarih ve 008905 no.lu patent başvurusu ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımlanması.....	1
1.2. Amaç.....	5
1.3. Hedef	5
1.4. Hipotez	6
1.5. Kapsam.....	7
1.6. Yöntem	7
2. GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR.....	10
2.1. Ahşap Paletler.....	10
2.1.1. Tanımı.....	10
2.1.2. Tarihcesi ve Bugünkü Durumu	11
2.1.3. Dünyada ve Türkiye'deki Üretim, Tüketim ve Dış Ticareti	12
2.1.4. Palet Çeşitleri.....	17
2.1.4.1. Kirişli paletler.....	18
2.1.4.2. Blok paletler.....	19
2.1.4.3. Euro paletler.....	21
2.2. Kurutma.....	23
2.2.1. Türleri	23
2.2.1.1. Doğal kurutma	23
2.2.1.2. Teknik kurutma	24
2.3. Isıl İşlem Uygulaması.....	30
2.3.1. Isıl İşlem Standartı.....	32
2.3.2. Isıl İşlem Uygulama Methodları.....	35
2.3.2.1. Isıl işlem fırını ile ısıtma uygulaması (HT).....	35
2.3.2.2. Dielektrik ısıtma yöntemi ile ısıtma uygulaması (DH)	36

2.3.2.3. Methyl bromide ile fümigasyon uygulaması (MB)	36
2.3.2.4. Sulphuryl flüoride ile fümigasyon uygulaması (SF)	36
2.3.3. Türkiye'deki Isıl İşlem Uygulamaları	36
2.4. Literatürdeki Önceki Çalışmalar	38
3. MATERİYAL VE METOT	41
3.1. Materyal	41
3.1.1. Ağaç malzeme: Kızılçam (<i>Pinus brutia</i>) ve Doğu Ladini (<i>Picea orientalis</i>).....	41
3.1.2. Malzemenin hazırlanması.....	42
3.2. Metot	43
3.2.1. Kurutma yöntemleri.....	43
3.2.2. Deneylerin yapılışı.....	46
3.2.2.1. Rutubet ve yoğunluk testleri.....	47
3.2.2.2. Enerji sarfiyatının ölçülmesi.....	48
3.2.2.3. Renk değişimi ölçümleri.....	49
3.2.2.4. Parlaklık ölçümleri.....	50
3.2.2.5. Liflere dik eğilme direnci testi.....	51
3.2.2.6. Eğilmede elastikiyet modülü testi.....	53
3.2.2.7. Liflere dik ve paralel basınç direnci testleri.....	54
3.2.2.8. Radyal ve teğet yönde vida tutma mukavemeti testleri.....	56
3.2.2.9. ATR–FT-IR analizi.....	57
3.2.2.10. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) analizi.....	57
3.3. İstatistiksel Değerlendirme.....	58
4. TESTLER VE BULGULAR	59
4.1. Rutubet ve Yoğunluk Testleri Bulguları.....	59
4.2. Enerji Sarfiyatı Bulguları	66
4.3. Renk Değişimi Testi Bulguları.....	67
4.4. Parlaklık Testi Bulguları	70
4.5. Liflere Dik Eğilme Direnci Testi Bulguları	72
4.6. Eğilmede Elastikiyet Modülü Testi Bulguları	77
4.7. Liflere Dik ve Paralel Basınç Direnci Testleri Bulguları.....	82
4.8. Radyal ve Teğet Yönde Vida Tutma Mukavemeti Testleri Bulguları	92
4.9. ATR–FT-IR Analizi Bulguları.....	102

4.10. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizi Bulguları	109
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	112
5.1. Rutubet ve Yoğunluk Testleri Sonuçları.....	114
5.2. Enerji Sarfıyatı Sonuçları.....	115
5.3. Renk Değişimi Testi Sonuçları	115
5.4. Parlaklık Testi Sonuçları.....	116
5.5. Liflere Dik Eğilme Direnci Testi Sonuçları.....	116
5.6. Eğilmede Elastikiyet Testi Sonuçları.....	117
5.7. Liflere Dik ve Paralel Basınç Direnci Testleri Sonuçları.....	117
5.8. Radyal ve Teğet Yönde Vida Tutma Mukavemeti Testleri Sonuçları.....	118
5.9. ATR–FT-IR Analizi Sonuçları.....	119
5.10. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizi Sonuçları.....	119
KAYNAKLAR.....	121
EKLER.....	125
Ek A. Kızılçam Odun Örneklerinin Kurutma Öncesi Rutubet Dereceleri.....	125
Ek B. Doğu Ladini Odun Örneklerinin Kurutma Öncesi Rutubet Dereceleri.....	127
Ek C. Test Örnekleri Markalamaları ve İlgili Testler.....	129
ÖZGEÇMİŞ.....	131

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ülke dağılımlarına göre ahşap ihracat tablosu.....	12
Çizelge 2.2. Ülke dağılımlarına göre ahşap palet ithalat dağılımları.....	13
Çizelge 2.4. Türkiye ahşap palet ihracatı.....	14
Çizelge 2.5. Türkiye ahşap palet ithalatı.....	15
Çizelge 2.6. Türkiye'nin ülkeler itibariyle ahşap palet ihracatı.....	16
Çizelge 2.7. Türkiye'nin ülkeler itibariyle ahşap palet ithalatı.....	17
Çizelge 4.1. Farklı kurutma metodu ve süresine göre kızılçam ve doğu ladini odun örneklerin rutubet değerlerine ilişkin çoklu varyans analizi	64
Çizelge 4.2. Kurutma metoduna göre rutubet değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları	65
Çizelge 4.3. Kurutma süresine göre rutubet değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları	65
Çizelge 4.4. Farklı kurutma metodu ve kurutma süresine göre iki farklı ağaç türünün liflere dik eğilme direncine etkisine ait varyans analizi sonuçları	74
Çizelge 4.5. Kurutma metoduna göre eğilme direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları	75
Çizelge 4.6. Kurutma süresine göre eğilme direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları	76
Çizelge 4.7. Farklı kurutma metodu ve kurutma süresine göre iki farklı ağaç türünün elastikiyet modülüne ait varyans analizi sonuçları.....	79
Çizelge 4.8. Kurutma metoduna göre elastikiyet modülü değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları	80
Çizelge 4.9. Kurutma süresine göre elastikiyet modülü değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları	81
Çizelge 4.10. Farklı kurutma metodu ve kurutma süresine göre iki farklı ağaç türünün liflere dik basınç direncine etkisine ait varyans analizi sonuçları	84
Çizelge 4.11. Kurutma metoduna göre liflere dik basınç direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları	85
Çizelge 4.12. Kurutma süresine göre liflere dik basınç direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları	86

Çizelge 4.13. Farklı kurutma metodu ve kurutma süresine göre iki farklı ağaç türünün liflere paralel basınç direncine etkisine ait varyans analizi sonuçları	89
Çizelge 4.14. Kurutma metoduna göre liflere paralel yönde basınç değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları.....	90
Çizelge 4.15. Kurutma süresine göre liflere paralel yönde basınç değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları.....	91
Çizelge 4.16. Farklı kurutma metodu ve kurutma süresine göre iki farklı ağaç türünün radyal yönde vida tutma mukavemetine etkisine ait varyans analizi sonuçları	94
Çizelge 4.17. Kurutma metoduna göre radyal yönde vida tutma mukavemeti değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları.....	95
Çizelge 4.18. Kurutma süresine göre radyal yönde vida tutma mukavemeti değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları.....	96
Çizelge 4.19. Farklı kurutma metodu ve kurutma süresine göre iki farklı ağaç türünün teğet yönde vida tutma mukavemetine etkisine ait varyans analizi sonuçları	99
Çizelge 4.20. Kurutma metoduna göre teğet yönde vida tutma mukavemeti değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları.....	100
Çizelge 4.21. Kurutma süresine göre teğet yönde vida tutma mukavemeti değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Euro-palet.....	2
Şekil 1.2. Prototip ön görünüşü.....	8
Şekil 1.3. Prototip perspektif görünüşü.....	9
Şekil 2.1. Ahşap paletler.....	11
Şekil 2.2. Ahşap palet ihracat dağılımı.....	12
Şekil 2.3. Ahşap palet ithalat dağılımı.....	13
Şekil 2.4. Ahşap palet dış ticaret seyri.....	14
Şekil 2.5. Tek taraflı ahşap palet.....	18
Şekil 2.6. Çift taraflı ahşap palet.....	18
Şekil 2.7. Kirişli ahşap palet.....	19
Şekil 2.8. Blok paletler.....	19
Şekil 2.9. Ahşap palet çeşitleri 1.....	20
Şekil 2.10. Ahşap palet çeşitleri 2.....	21
Şekil 2.11. Euro-palet ölçü ve ağırlıkları.....	22
Şekil 2.12. Klasik kurutma fırını.....	25
Şekil 2.13. Işık tayfı.....	26
Şekil 2.14. Klasik kurutmada malzemenin davranışı.....	27
Şekil 2.15. Mikrodalga kurutmada malzemenin davranışı.....	27
Şekil 2.16. Mikrodalga sistemi.....	29
Şekil 2.17. İnfrared sistemi.....	30
Şekil 2.18. Ahşap palet.....	31
Şekil 2.19. Ahşap sandık.....	31
Şekil 2.20. Ahşap kutu.....	32
Şekil 2.21. Ahşap bobin.....	32
Şekil 2.22. Avrupa Paletçiler Derneği euro-palet uygulama örneği	33
Şekil 2.23. Diğer ülkelerde yapılan örnekler.....	33
Şekil 2.24. ISPM 15 izlenebilirlik işareti örnekleri.....	34
Şekil 2.25. Isıl işlem fırını	35

Şekil 2.26. Türkiye’de yapılan ISPM 15 izlenirlik işareti açıklaması.....	37
Şekil 2.27. Birinci el palet üzerine yapılan ISPM 15 izlenirlik işareti örneği.....	38
Şekil 2.28. İkinci el palet üzerine yapılmış ISPM 15 izlenirlik işareti örneği.....	39
Şekil 2.29. Çeşitli infrared + mikrodalga kombinasyon tekniği kullanım koşullarında ve çeşitli ısıtma türlerinde ısıtma sürelerinin konvansiyonel ısıtmaya göre oranları.(H: halojen lamba gücü (%), M: Mikrodalga gücü (%), t: süre (dk), T: sıcaklık (oC) (Banı, 2014)	38
Şekil 3.1. Testlerde kullanılan iki ağaç türüne ait ahşap örnekler	42
Şekil 3.2. Gruplar - kurutma metodu – kurutma süreleri.....	43
Şekil 3.3. Etüv görselleri.....	44
Şekil 3.4. Mikrodalga kurutma cihazı görselleri.....	44
Şekil 3.5. Mikrodalga ve infrared + mikrodalga kurutma metotları için gruplar – kurutma metodu – kurutma süreleri	45
Şekil 3.6. İnfrared + mikrodalga kurutma test düzeneği görselleri.....	45
Şekil 3.7. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri deney deseni.....	46
Şekil 3.8. Hassas terazi.....	48
Şekil 3.9. Dijital kumpas.....	48
Şekil 3.10. İnfrared sıcaklık ölçer.....	48
Şekil 3.11. Enerji sarfiyat ölçer.....	49
Şekil 3.12. Renk ölçer.....	49
Şekil 3.13. CIELAB–76 renk sistemi.....	50
Şekil 3.14. Parlaklık ölçer.....	51
Şekil 3.15. Üniversal test cihazı	51
Şekil 3.16. Eğilme direnci deney düzeneği	51
Şekil 3.17. Elastikiyet modülü test cihazı.....	54
Şekil 3.18. Basınç direnci testi.....	54
Şekil 3.19. Liflere dik veya paralel basınç testi numune örneği (ölçüler mm).....	55
Şekil 3.20. Vida testi cihazı ve yöntemi resimleri.....	56
Şekil 3.21. Deney numunelerinde kullanılan vida.....	56
Şekil 3.22. ATR-FT-IR analiz cihazı.....	57
Şekil 3.23. SEM analiz cihazı.....	58
Şekil 4.1. Kızılçam ve doğu ladini odun örneklerinin kurutma sonrası ölçülen sıcaklık ve rutubet değerleri	59
Şekil 4.2. Kızılçam odun örnekleri ağırlık ölçüm değerleri	60
Şekil 4.3. Doğu ladini odun örnekleri ağırlık ölçüm değerleri	61

Şekil 4.4. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri yoğunluk değerleri	62
Şekil 4.5. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri rutubet değerleri	63
Şekil 4.6. Etüv ve mikrodalga kurutma enerji sarfıyatı karşılaştırma tablosu	67
Şekil 4.7. Kızılçam odunu numuneleri renk ölçüm değerleri.....	67
Şekil 4.8. Doğu ladini odunu numuneleri renk ölçüm değerleri.....	68
Şekil 4.9. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri renk ölçüm değerleri ikili karşılaştırması.....	69
Şekil 4.10. Kızılçam odunu numuneleri parlaklık değerleri ölçümü	70
Şekil 4.11. Kızılçam odunu numuneleri parlaklık değerleri karşılaştırması	71
Şekil 4.12. Doğu ladini odunu numuneleri parlaklık değerleri ölçümü.....	71
Şekil 4.13. Doğu ladini odunu numuneleri parlaklık değerleri karşılaştırması	72
Şekil 4.14. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri liflere dik eğilme direnci ölçüm değerleri.....	73
Şekil 4.15. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri liflere dik eğilme direnci ikili karşılaştırması	73
Şekil 4.16. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri elastikiyet modülü ölçüm değerleri	78
Şekil 4.17. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri elastikiyet modülü ikili karşılaştırması	78
Şekil 4.18. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri liflere dik basınç direnci ölçüm değerleri	83
Şekil 4.19. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri liflere dik basınç direnci ikili karşılaştırması	83
Şekil 4.20. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri liflere paralel basınç direnci ölçüm değerleri.....	88
Şekil 4.21. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri liflere paralel basınç direnci ikili karşılaştırması	88
Şekil 4.22. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri radyal yönde vida tutma mukavemeti ölçüm değerleri.....	93
Şekil 4.23. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri radyal yönde vida tutma mukavemeti ikili karşılaştırması	93
Şekil 4.24. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri teğet yönde vida tutma mukavemeti ölçüm değerleri.....	98
Şekil 4.25. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri teğet yönde vida tutma mukavemeti ikili karşılaştırması	98
Şekil 4.26. Kızılçam odunu etüv ve mikrodalga ile kurutma grubu ATR-FT-IR spektrum grafikleri.....	103

Şekil 4.27. Kızılçam odunu etüv ve infrared + mikrodalga ile kurutma grubu ATR-FT-IR spektrum grafikleri.....	104
Şekil 4.28. Doğu ladini odunu etüv ve mikrodalga ile kurutma grubu ATR-FT-IR spektrum grafikleri.....	106
Şekil 4.29. Doğu ladini odunu etüv ve infrared + mikrodalga ile kurutma grubu ATR-FT-IR spektrum grafikleri.....	107
Şekil 4.30. Etüv ile kurutulmuş odun numunelerin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) Kızılçam odunu ($\times 1000$) b) Doğu ladini odunu ($\times 1000$).....	109
Şekil 4.31. Etüv ile kurutulmuş odun numunelerin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) Kızılçam odunu ($\times 2000$) b) Doğu ladini odunu ($\times 2000$).....	110
Şekil 4.32. Mikrodalga ile kurutulmuş odun numunelerin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) Kızılçam odunu ($\times 1000$) b) Doğu ladini odunu ($\times 1000$).....	110
Şekil 4.33. Mikrodalga ile kurutulmuş odun numunelerin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) Kızılçam odunu ($\times 2000$) b) Doğu ladini odunu ($\times 2000$).....	111
Şekil 4.34. İnfrared + mikrodalga ile kurutulmuş odun numunelerin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) Kızılçam odunu ($\times 1000$) b) Doğu ladini odunu ($\times 1000$).....	111
Şekil 4.35. İnfrared + mikrodalga ile kurutulmuş odun numunelerin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) Kızılçam odunu ($\times 2000$) b) Doğu ladini odunu ($\times 2000$).....	112

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ISPM	Bitki Sağlığı Önlemleri için Uluslararası Standartlar
EPAL	Avrupa Paletçiler Derneği
AB	Avrupa Birliği
IPPC	Uluslararası Bitki Koruma Konvansiyonu
MD	Mikrodalga
IR	İnfrared (Kızılötesi)
TOBB	Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
GTIP	Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu
FAO	Dünya Gıda ve Tarım Örgütü
BM	Birleşmiş Milletler
HT	Isıl İşlem Fırını ile Isıl İşlem Uygulaması
DH	Dielektrik Isıtma Yöntemi ile Isıl İşlem Uygulaması
MB	Methyl Bromide ile Fümigasyon Uygulaması
SF	Sulphuryl Flüoride ile Fümigasyon Uygulaması
KW	Kilowatt
GU	Gloss Unit (Parlaklık Değeri)
MW	Medium Wave (Orta Dalga)
K.K.T.C.	Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti

1.GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımlanması

Dünya’da ve Türkiye’de lojistik maliyetler ve depolama gibi konular firmalar açısından son derece önemli bir hale gelmiştir. Endüstriyel toplumun artan ihtiyaçları, ürünlerin etkin bir şekilde taşınması, istiflenmesi ve muhafazasına yönelik gereksinimi de arttırmaktadır. Taşıma ve istifleme faaliyetleri, küreselleşen dünyada firmalar arası rekabette anahtar öneme sahip faktörler arasında yer almaktadır.

Lojistik maliyetler içerisinde taşımacılık ve depolama harcamaları önde gelen maliyet kalemlerini oluşturmaktadır. Malların taşınması ve istiflenmesinde kullanılan sistem ve ekipmanlara olan talep de bu paralelde gün geçtikçe artmaktadır. Üzerinde malzemelerin sevk edildiği paletler, modern lojistik yönetiminin malzeme sevkiyatındaki vazgeçilmez gereçlerdendir.

Dünya’da kullanılan en eski ambalajlarından olan ahşap paletler, sertlik ve dayanıklılık özelliklerinden dolayı ağır kırılğan yüklerin, havalandırma özelliğinden dolayı da taze sebze ve meyvelerin ambalajlanmasında yaygın olarak kullanılır. Malların depolanmasını, taşınmasını ve nakliyesini kolaylaştıran paletlerin, malzeme taşımacılık ekipmanları sektöründeki önemi giderek artmaktadır. Çevre dostu olması bakımından ahşap paletler, özellikle gelişmiş ülke sanayilerinde ayrı bir öneme sahiptir.

Ahşap paletlerde, Avrupa ülkeleri zamanla standardizasyona giderek, ölçü, kalite, malzeme cinsi ve nem oranı, kullanılan çivi vb. özelliklerini saptamışlar ve bu standartlara uygun paletler Euro-palet olarak anılmaya başlanmıştır. Euro-palet ile ilgili standart numarası UIC 435-2V’dir. Amerika, Kanada ve Meksika’da palet standartları ise Avrupa standartlarından farklıdır. Bu ülkelerde paletlerin CFR 319-40 standardına uygun olması istenmektedir. Avrupa ve Amerikan standartları arasındaki

en büyük fark paletlerin ölçüsüdür. Euro-palet ölçüleri 80×120 cm iken, Amerikan standardında ölçü 100×120 cm'dir. Standart dışı palet ile Euro-paletin boyut, kalınlık ve ortalama ömür süreleri açısından değerlendirildiğinde, Euro-paletin maliyeti, standart dışı paletlere göre çok daha düşüktür.



Şekil 1.1. Euro-palet

AB ülkeleri, özellikle Doğu Avrupa Ülkeleri'nin Euro-palet üretimine geçmesi ve standarda aykırı paletleri Euro-palet olarak piyasaya sürmesi üzerine Avrupa Paletçiler Derneği'ni (EPAL) kurmuşlardır. EPAL, Euro-palet standardına uygun paletlere EPAL damgası vurulması için palet üreticilerine yetki veren ve bu yetkinin doğru kullanımını denetleyen özel statüde bir kuruluştur. Avusturya, Fransa, İsveç, İngiltere, Almanya, Slovakya, Slovenya, Polonya, İtalya gibi dış ticaretimizin önemli düzeyde olduğu ülkeler EPAL üyesidir. UIC 435-2 normuna uygun olarak üretilmesi gereken Euro-palet, dayanıklılığı nedeniyle uzun yıllar kullanılabilen ve yıprandığında da tamir edilebilen bir malzeme taşıma materyalidir. Maliyetleri azaltması ve doğa dostu bir ürün olması dolayısıyla da giderek daha fazla tercih edilmektedir. Avrupa Birliği (AB) ülkeleri maliyet, çevre koruması vb. unsurları dikkate alarak aynı paletleri defalarca kullanmak üzere Avrupa Palet Havuzu' nu oluşturmuşlardır. Kullanılan paletler ikinci el fiyatında palet havuzuna satılmakta, burada tamir, bakım ve ısıtım işlem uygulaması yapıldıktan sonra da ihtiyacı olanlara tekrar satılmaktadır. Türkiye'de, bu amaçla palet havuzu kurma çalışmaları devam etmektedir.

Ahşap paletlerin hammaddesi yenilenebilir bir kaynak olan ağaç malzeme, zararlı organizmalar için barınak ve besin kaynağı olabilmektedir. Zararlı organizmaların yaşam koşullarının ortadan kaldırılması için ağaç malzemenin mutlak suretle kullanım alanına uygun oranlarda kurutulması gerekmektedir. Kullanım yerindeki kuruluk derecesine uygun olmayan ağaç malzeme, rutubet almak veya vermek suretiyle boyutlarını değiştirmektedir. Böylece, ahşap ürünlerde arzu edilmeyen deformasyon ve kusurlar ortaya çıkmaktadır. Kurutulan ağaç malzemenin birçok özelliğinin iyileştiği bilinmektedir. Örneğin, iyice kurutulmuş ağaç malzeme kuruluk derecesi muhafaza edilirse çürümez, az çalışır, işlenirken daha düzgün yüzeyler verir. Yapışma kabiliyeti, direnci, sertliği gibi özellikleri iyileşir (Ahşap Palet Sektör Raporu, 2004).

Ayrıca, ahşap paletler başta olmak üzere, ahşap malzemeden imal edilen ambalajlar, ülkeler hatta kıtalar arası dolaşımda beraberlerinde çeşitli organizmaları taşıyabilmektedirler. Bu organizmalar gittikleri ülkelerin bitki örtüsüne ciddi boyutlarda zarar verebilecek potansiyele sahiptirler.

Bu konuda ülkemizin de üyesi olduğu Uluslararası Bitki Koruma Konvansiyonu (IPPC), ISPM (Bitki Sağlığı Önlemleri için Uluslararası Standartlar) adını taşıyan standartları belirleyerek, zararlılar ile mücadeleyi dünya geneline yaymak için gerekli tedbirlerin alınması amaçlanmıştır. Bu çerçevede, uluslararası ticarete kullanılan ve ahşap ambalaj malzemelerinde (ahşap paletler dahil) bulunan zararlıların bir ülkeden başka bir ülkeye taşınarak yayılmasını önlemek üzere, ahşap ambalaj üretiminde kullanılan ürünlerin, bitki sağlığı önlemleri için ISPM 15 adlı bir standart kabul edilmiştir.

ISPM 15 standardına göre ahşap ambalaj malzemesinin ısıl işleminden geçirilmiş olması ve ahşabın öz ısısının ısıl işlem fırını ile uygulamada; minimum 56 °C'ye ulaşması ve otuz dakika boyunca 56 °C'de bekletilmesi, dielektrik (mikrodalga) yöntemi ile uygulamada; en az bir dakika 60 °C'de bekletilmesi demektir. Bu ısı değerleri ahşap ambalaj malzemesi içerisindeki zararlı organizma ve böcek larvalarının öldürülebileceği değerdir.

Ayrıca ahşap paletlerin ISPM 15 standardı kapsamında etiketlenebilmeleri için ya ısıtılma işleminden geçirilmesi ya da zehirli gazlarla (metil bromid) muamele edilerek zararlılardan arındırılması istenmektedir. Fakat zehirli gazların kullanımı çevresel problemler oluşturduğundan Türkiye’de kullanımı yasaklanmıştır.

Ülkemizde, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından 25 Mayıs 2019 tarih ve 30784 sayılı ISPM 15 ahşap ambalajlama ile ilgili yeni yönetmelik Resmi Gazete’de yayımlanmış ve 01 Ocak 2020 tarihi itibarıyla yürürlüğe girmiştir. Ülkemizde ilgili bakanlıkça ruhsatlandırılmış 1.300’e yakın ahşap palet üreticisi firma vardır. Fakat bu firmaların ancak %20’si ISPM 15 yeterliliği alabilmiş ve birçoğunun yeni çıkan ISPM 15 kriterlerini sağlayamadığı için ruhsatları sonlandırılmıştır. Bu durum ihracatta ihtiyaç olunan palet talebinin karşılanamayıp, paletin ithalat yoluyla karşılanmasını ortaya çıkarmıştır.

Ayrıca yeni yönetmelikle birlikte ISPM 15 standardına uygun palet üretiminde istenen koşulların tam anlamıyla sağlanmaması durumunda, yapılan sevkiyatlar ithalatçı ülkeler tarafından kabul edilmemekte ve hatta bazı durumlarda paletler taşıdıkları ürünlerle birlikte karantinaya alınıp geldiği ülkeye iade edilerek, cezai işlemler uygulanabilmektedir. Bu durum ihracatçıları ve ülkemizdeki palet üreticilerini zor duruma düşürmektedir.

ISPM 15 yeterliliği alan ahşap palet üreticileri de kullanmakta oldukları mevcut kurutma sistemlerinde yeni gelen yönetmeliğe göre, kurutma ve ısıtılma işlemlerinde dar boğaz yaşamakta, istenilen kapasitelere çıkamamakta ve maddi kayıplar yaşamaktadır. Ayrıca paletlerin üretiminde kullanılan kalın takozlar 12 saatlik kurutma süresinde dahi istenilen değerlerde kurutulamadığından %20’nin üzerinde rutubet barındırmaya devam etmektedir. Bu rutubet değerleri ağaç malzemeyi tahrip edecek organizmalar için uygun yaşam koşullarını oluşturduğundan ilerleyen süreçte mantar tahribatı, renk değişikliği ve taşındığı ürüne zarar verme problemleri beraberinde getirdiği için ihracatta problem yaratmaktadır.

Bununla beraber uzun süren kurutma sürelerinden dolayı artan enerji maliyetleri de firmalarının giderlerini arttırmakta ve rekabet gücünü düşürmektedir.

Özetle temel problemler; yeni gelen yönetmeliğe göre ruhsat alamama, %20 rutubet derecesi altına inilememesi, uzun süren kurutma süresinden dolayı artan enerji maliyetleri ve tüm bu sebeplerden dolayı ihracata uygun palet bulunamaması olarak ifade edilebilir.

Tüm bu problemler ışığında alternatif bir sisteme ihtiyaç olduğu anlaşılmış ve yeni bir sistem olan infrared + mikrodalga ısıtma işlem ve kurutma sisteminin ve bunu destekleyici ahşap malzeme testleri ve analizlerinin yapılması gerekliliği olmuştur.

1.2 Amaç

Çalışmanın ana amacı; infrared + mikrodalga sistemi ile yapılan ahşap kurutmanın uygunluğunu ve verimliliğini araştırmaktır.

Buna bağlı olarak da alt amaçlar ise:

- Ahşap numuneleri farklı infrared ve mikrodalga kombinasyonlarda test ederek optimum kurutma yaklaşımını ortaya çıkarmak,
- Çıkan sonuçları değerlendirip, analiz etmek ve diğer kurutma sistemleri ile karşılaştırmak,
- İnfrared + mikrodalga ile ahşap kurutma fırını prototip tasarımı yapmak,
- İnfrared + mikrodalga ile kurutmanın verimini ve etkinliğini analiz etmek,
- Diğer kurutma sistemi ile karşılaştırmaktır.

1.3. Hedef

Bu çalışmanın nihai hedefi; ahşap deney numunelerinin, etüv, mikrodalga ve infrared + mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutulması, çıkan sonuçların karşılaştırılması ve değerlendirilmesi sonucunda, yeni bir sistem olan infrared + mikrodalga kurutma yapabilen bir prototip fırın tasarlanmasıdır. Tasarlanan infrared + mikrodalga teknolojisi kullanılacak prototip fırında, ahşap paletler öncelikle kısa süreli bir

infrared etkisine tabi tutularak kurutmanın hızlanması hedeflenmekte ardından mikrodalga safhasına geçilmesi planlanmaktadır. Kurutma fırınında infrared kullanımı ahşap kurutmada ilk defa kullanılacak bir yenilik olacaktır. İnfrared + mikrodalga kullanımıyla, klasik kurutma metoduna kıyasla, daha hızlı kurutma (zaman tasarrufu), verimlilik artışı, enerji tasarrufu, daha kaliteli ürün çıktısı, dielektrik ısıtma yöntemi ile ısıtma işlem yapılabilmesi ve ISPM 15 damgalama sürecinin de makine üzerinde yapılması gibi birçok avantaj sunması hedeflenmektedir. Ayrıca, prototip fırın, mevcut şartlarda yerli ve uluslararası sektörde muadili olmayan bir tünel tipi kurutma ve ısıtma fırını olacaktır.

1.4. Hipotez

İnfrared + mikrodalga ile yapılan ahşap kurutma, klasik kurutmadan daha etkin ve verimli bir yöntem olabilir ve buna uygun bir kurutma fırını tasarlanabilir.

Buna ilaveten; klasik kurutmaya kıyasla daha kısa kurutma süresi ile, istenilen rutubet değerlerine ulaşılması, dielektrik ısıtma yöntemi ile ısıtma işlem gerçekleştirilmesi, klasik kurutmaya kıyasla ahşapta kurutma kusurlarının (çatlama, renk değişimi, reçine sızması vb.) yanı sıra, fiziksel ve mekanik özelliklerde beklenenden az düşüş olması, sonuçta en az aynı ve/veya daha iyi kalitede palet çıktısı elde edilmesi, düşük karbon ayak izi ve enerji tasarrufu sağlanması, konveyör bant üzerinde işlem yapılması, tünel tipi olması, kesintisiz üretim olmasından dolayı verimliliğin artırılması ve yer kazancı sağlanabilir.

Özetle; infrared + mikrodalga ile ahşap palet kurutmada kusur artışı olmadan klasik kurutma metoduna göre daha yüksek verim elde edilmektedir.

1.5. Kapsam

Bu çalışmanın kapsamı;

- Küçük ölçekli ahşap numunelerinin kurutulacağı infrared + mikrodalga kurutma düzeneğinin kurulması,
- İnfrared + mikrodalga ahşap kurutma fırınının tasarlanması,
- Palet endüstrisinde yaygın olarak kullanılan iki ağaç türünün kurutulmasında önerilen metodun etkinliğinin araştırılmasıdır.

1.6. Yöntem

Tez çalışmasında kullanılan yöntem;

- Malzeme seçimlerinin yapılması,
- Ön testlerin yapılması,
- Kurutma sisteminin teorik olarak tasarımı,
- Numunelerin hazırlanması ve test düzeneklerinin kurulması,
- Testlerin ve analizlerin yapılması şeklindedir.

Tasarlanan prototip fırının iş akışındaki yöntem ise; işlem görecektir paletler konveyör başında istiflenecektir ve konveyörün giriş bölümüne manuel olarak yüklenecektir. Opsiyonel olarak yükleme robot tarafından da yapılabilecektir. Palet yükleme, konveyörün tasarlanış tipine göre, tek veya çok adetli, yatay veya dik şekilde yapılacaktır. Hareketli konveyörden geçen paletler, hava bıçağı/bıçaklarından geçerken toz ve talaştan temizlenecektir. Paletin tünel tipi konveyöre giriş sıcaklığı ve rutubet derecesi ölçülecektir. Paletler IR (infrared) modüllerinden geçecek ve ön kurutmaya tabii olacaktır. Bu işlem sırasında ahşap malzemenin gözenekleri açılmış olacak ve MD (mikrodalga) kurutma ve ısıtma işleminin daha verimli bir şekilde uygulanması da sağlanmış olacaktır. Ön kurutulması yapılmış ve gözenekleri açılmış bir şekilde mikrodalga modüllerine giren paletler, kısa sürede kriterlere uygun ısı ve

rutubet değerlerine getirilecek ve yine ISPM 15'te belirtilen süre kadar mikrodalga işlemine tabi tutulacaktır. Çıkış bölümüne ulaşan işlem görmüş paletler, hava bıçakları önünden geçerken ön soğutulmaları yapılacaktır. Kontrol edilen ve rutubet ölçümü yapılan paletler damgalanacaktır. Alınan paletler ortam ısısına gelmesi için (iklimlendirme) raflara istiflenecek ve karantina odasına taşınarak işlem tamamlanacaktır.

Tasarlanan fırın ayrıca, modüler olacak ve kapasitesi müşteri ihtiyacına göre arttırılabilir olacaktır. Kurutma fırını üzerinden elde edilecek ortam parametreleri (sıcaklık, rutubet, zaman vb.) makine üzerinde bir data kaydedici de toplanacaktır. Bu veriler ISPM 15 standardında belirtilen kayıt tutma süresi göz önünde bulundurularak saklanacaktır.



Şekil 1.2. Prototip ön görünüşü



Şekil 1.3. Prototip perspektif görünüşü

Yukarıda belirtilen prototip fırının tasarımı, İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren RND Araştırma Geliştirme Tasarım Makine San. Tic. Ltd. Şti. tarafından yapılmış ve 2021/008905 tarih ve numaralı patent başvurusu da yapılmıştır.

2. GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR

2.1. Ahşap Paletler

2.1.1. Tanımı

Günümüzde lojistik maliyetler firmalar için gün geçtikçe daha önemli olmaya başlamıştır. Lojistik maliyetler içerisinde taşımacılık ve depolama maliyetleri, önde gelen maliyet kalemlerini oluşturmaktadır. Bu nedenle, taşımacılık ve depolama faaliyetlerinin zamanında, en etkin ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Masif ahşap sektör raporu, 2021).

Lojistik sistemi içerisinde, taşıma, depolama ve sevk esnasında ürünlerin zarar görmesini engellemek ve yer değiştirmelerini kolaylaştırmak amacıyla, ürünlerin altına koyulan ahşap sisteme palet denilmektedir. Paletler doğru zamanda, doğru yerde, doğru malzemenin doğru miktarda ve doğru maliyetle hazır olması için kullanılan ekipmanlardır. Taşıma zincirinin hemen her aşamasında kullanılırlar. Paletler taşıma yapmazlar, taşıma için araç olarak kullanılırlar. Taşımak için hazırlanan yükler, palet ile bir araya getirilir ve bu sayede yükler taşımaya hazır hale gelmektedir.

Yapılarına ve türlerine göre çeşitlilik gösteren paletler genel olarak ahşap, çelik ve plastikten yapılır. Ahşap paletler, tekrar onarılabildiği için ve çevre dostu olduğunda daha kullanışlı ve uzun ömürlüdür.

İçinde malzemelerin sevk edildiği paletler, modern lojistik yönetiminin malzeme sevkiyatındaki vazgeçilmez gereçlerdendir. Özellikle, geniş çapta lojistik ağı bulunan firmalar paletli taşımacılığa büyük yatırımlar yapmaktadır. Her türlü sanayide kullanılan paletler, tüm taşıma çeşitlerinde kolaylıkla kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Ahşap paletler

2.1.2. Tarihçesi ve bugünkü durumu

Paletler, 1930’lu yıllardan itibaren malzeme taşımacılık ekipmanları sanayinin temel taşlarından biri olmuştur. Ahşap, paletli malzeme taşımacılığının başlangıcından itibaren palet sanayinin temel hammaddesidir. Özellikle, ahşap paletler, zaman içerisinde, yumuşak ve sert ağaçtan mamul üreticilerinin yoğun rekabetine konu olan ve hızlı büyüme trendi gösteren bir iş kolu haline gelmiştir. II. Dünya Savaşı sonrasındaki hızlı sanayileşme döneminde ise, çok fazla miktarda yük taşımaya karşı dayanıklılığı ve sertliği nedeniyle, kaynaklı çelikten mamul metal paletler de kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, metal paletlerin üretim maliyetinin yüksek olması ve ekstra taşımacılık maliyetlerini beraberinde getirmesi dolayısıyla başka arayışlara girilmesiyle birlikte, 1960’lı yılların sonlarında plastik paletlerin de üretimini başlanmıştır (Masif ahşap sektör raporu, 2021).

Şu an günümüzde metal/plastik /ahşap olarak her üç palet çeşidi de kullanılmaktadır. Çevre dostu olması, plastik malzemeye göre daha çok yük taşınması, metal malzemeye göre de daha hesaplı olmasından dolayı ahşap paletler günümüzde en çok kullanılan palet çeşididir.

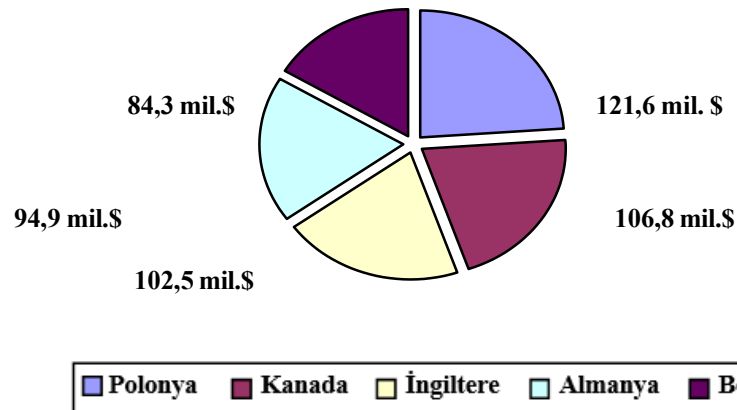
2.1.3. Dünya’da ve Türkiye’deki üretim, tüketim ve dış ticareti

Ahşap ambalajda 2021 ihracatının adet olarak kıtalara dağılımına bakıldığında; toplam ihracat miktarında Asya Kıtası’nın %63, Serbest Bölgeler’ in %22, Avrupa Kıtası’nın %14 ve Kuzey Amerika’nın %1’lik bir paya sahip oldukları görülmektedir.

Ülkeler bazında 2021 yılında yayınlanan sektör raporunda ahşap palet ihracatında ise, ilk 5 ülke sırasıyla Polonya, Kanada, İngiltere, Almanya ve Belçika’dır. Polonya, toplam ahşap palet ihracatının %10,6’sını gerçekleştirmekte olup, en fazla ihracat yaptığı ülkeler Almanya, İtalya, Danimarka, İsveç ve Hollanda’dır. En büyük ahşap palet tedarikçisi ikinci ülke olan ve dünya ihracatından %9,3’lük bir pay alan Kanada’nın ihracatındaki ilk 5 ülke ise, ABD, İngiltere, İtalya, Singapur ve Hollanda’dır (Masif ahşap sektör raporu, 2021).

Çizelge 2.1. Ülke dağılımlarına göre ahşap ihracat tablosu

Ülkeler	Değer (ABD doları)	Toplamdaki payı (%)
Polonya	121.638.000	10,6
Kanada	106.791.760	9,3
İngiltere	102.502.544	8,9
Almanya	94.876.032	8,2
Belçika	84.325.752	7,3

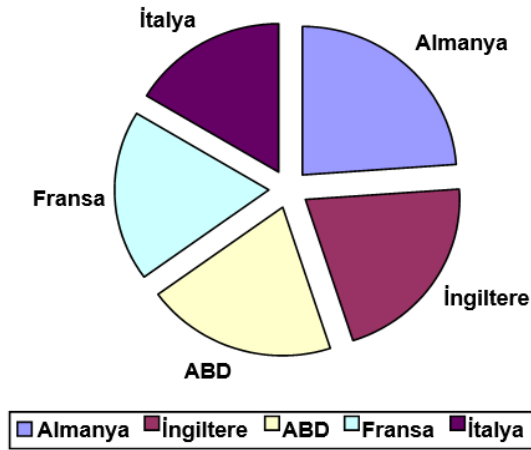


Şekil 2.2. Ahşap palet ihracat dağılımı

Dünya ahşap palet ithalatında ilk 5 sırayı, Almanya, İngiltere, ABD, Fransa ve İtalya paylaşmaktadır. Toplam ithalatın %15'ini gerçekleştiren Almanya'nın ahşap palet tedarik ettiği ülkelerin başında Polonya, Çek Cumhuriyeti ve Hollanda gelmektedir. Ahşap palet ithalatında ikinci sırada yer alan İngiltere'nin toplam ithalat içindeki payı ise, %12 olup, en fazla ithalat yaptığı ülkeler Fransa, İrlanda ve Almanya'dır (Masif ahşap sektör raporu, 2021).

Çizelge 2.2. Ülke dağılımlarına göre ahşap palet ithalat dağılımları

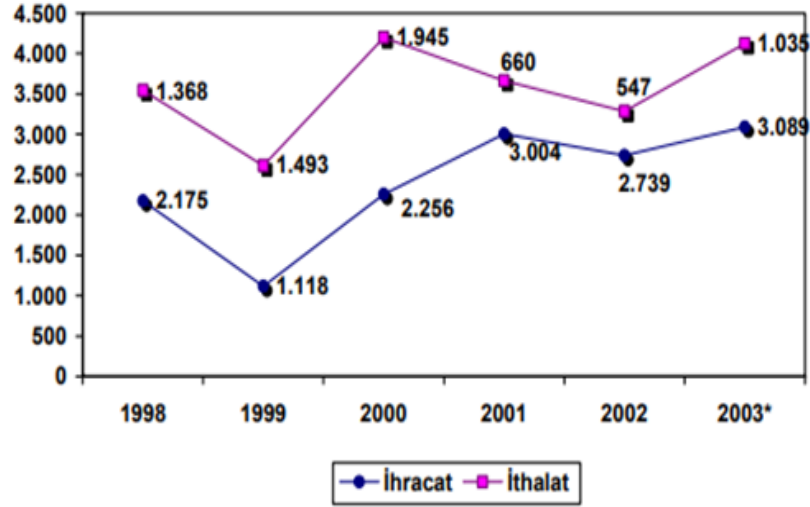
Ülkeler	Değer (ABD doları)	Toplamdaki payı (%)
Almanya	170.078.848	15,3
İngiltere	129.389.912	11,6
ABD	120.729.576	10,9
Fransa	97.750.960	8,8
İtalya	86.837.880	7,8



Şekil 2.3. Ahşap palet ithalat dağılımı

Türkiye’de ise, TOBB sanayi veri tabanına göre paletler, palet sandıklar ve tahtadan diğer yük tablaları üretiminde, illere göre üretim kapasitesinde ilk üçte yer alan iller Ankara, Manisa ve İzmir illeridir.

Palet üretimi, gelen talepler oranında giderek büyüyen bir sektördür. Sektör ihracat eğilimi göstermektedir. Özellikle sıfır üretim ahşap paletler ihracatta kullanılmaktadır. İkinci el paletlerin yurt içinde dolaşımında kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 2.4. Ahşap palet dış ticaret seyri

Devlet İstatistik Enstitüsü'nden alınan verilere göre Türkiye'nin ihracat ve ithalat rakamları aşağıdaki çizelge 2.4 ve 2.5'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.4. Türkiye ahşap palet ihracatı

Yıllar	Düz paletler, palet kaldırıcılar (G.T.İ.P.: 4415.20.20)	Diğer paletler (G.T.İ.P.: 4415.20.90)	Toplam (ABD doları)
1998	89.019	2.085.992	2.175.011
1999	251.35	866.47	1.117.820
2000	423.316	1.832.346	2.255.662
2001	699.822	2.304.152	3.003.974
2002	1.505.872	1.233.318	2.739.190
2003*	981.077	2.107.647	3.088.724

(*) Ocak-Ekim

Çizelge 2.5. Türkiye ahşap palet ithalatı

Yıllar	Düz paletler, palet kaldırımlar (G.T.İ.P.: 4415.20.20)	Diğer paletler (G.T.İ.P.: 4415.20.90)	Toplam (ABD doları)
1998	286.858	1.081.612	1.368.470
1999	201.931	1.291.195	1.493.126
2000	276.271	1.668.289	1.944.560
2001	142.822	517.004	659.826
2002	305.482	241.686	547.168
2003*	248.179	787.059	1.035.238

(*) Ocak-Ekim

Türkiye'nin 2020 yılı ve 2021 yılı ilk 10 ayında ahşap palet ihraç ve ithal ettiği ülkeler aşağıdaki tablolarda yer almaktadır. Buna göre 2021 yılında en fazla ihracat; Almanya, Bursa Serbest Bölgesi, Ege Serbest Bölgesi, İsrail ve K.K.T.C.'ye yapılmıştır. İhracat istatistikleri değerlendirilirken ahşap paletlerin bir kısmının geçici çıkış kapsamında yurt dışı edildiği ve daha sonra tekrar geri getirildiği de dikkate alınmalıdır. Özellikle kaliteli ahşap palet kullanan firmalar, ihraç ettikleri eşyayla birlikte giden paletleri tekrar kullanmak üzere geri getirmektedir. 2021 yılının ilk 10 ayında en fazla ahşap palet ithalatının yapıldığı ilk 5 ülke ise; Almanya, İtalya, İngiltere, Malezya ve Fransa'dır. Ahşap palet ithalat istatistikleri değerlendirilirken de bu ürünlerin geçici ithalat rejimi kapsamında yurda girişinin yapılmış olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Masif ahşap sektör raporu, 2021).

Türkiye'nin 2020 ve 2021 Ekim dönemine ait ahşap palet ihracat yaptığı ülkeler ve değerleri çizelge 2.6'da, ithalat yaptığı ülkelere çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.6. Türkiye'nin ülkeler itibariyle

Ülkeler	Adet	Değer (ABD doları)	Adet	Değer (ABD doları)
Almanya	111.622	548.481	105.008	992.396
Bursa S.B.1	5.589	60.503	30.996	315.886
Ege S.B.1	44.242	138.329	67.769	279.178
İsrail	119.224	382.662	46.466	272.496
K.K.T.C.	56.83	103.349	42.208	167.108
Mersin S.B.1	33.655	122.725	26.8	144.185
İtalya	34.314	162.071	18.072	130.938
Adana S.B.1	4.835	10.554	21.78	104.135
Ürdün	63.37	95.954	33.211	88.479
İsveç	5.345	30.411	12.453	79.227
Fransa	6.366	68.457	3.215	63.412
Antalya S.B.1	2.184	21.282	5.16	57.081
Yunanistan	28.45	72.687	15.672	46.574
İran	231	2.499	769	41.699
Gürcistan	76	380	2.112	24.225
Hollanda	2.1	20.778	2.576	22.545
Belçika	4.053	22.644	3.911	20.348
Romanya	981	7.261	975	18.798
Azerbaycan	302	16.456	907	15.32
Polonya	2.63	8.654	1.923	14.659
Macaristan	11.264	56.54	2.338	14.598
Afganistan	-	-	524	14.537
Türkmenistan	3.243	16.424	1.632	13.03
Kayseri S.B.1	100	158	4.915	12.626
A.B.D.	5.543	22.064	1.01	12.086
İstanbul Deri S.B.1	2.128	6.187	6.95	11.647
İngiltere	22.735	258.552	1.804	10.882
Danimarka	464	4.726	1.658	10.224
Toplam	926.579	2.739.190	475.536	3.088.724

Çizelge 2.7. Türkiye'nin ülkeler itibariyle ahşap palet ithalatı

Ülkeler	Adet	Değer (ABD doları)	Adet	Değer (ABD doları)
Almanya	36.413	172.099	20.488	243.833
İtalya	5.523	73.127	8.901	170.512
İngiltere	1.101	8.032	9.159	160.976
Malezya	-	-	3	144
Fransa	5.265	91.892	2.365	57.4
Belçika	1.967	26.318	1.945	48.874
Çin	-	-	7.414	47.025
İsveç	1.823	14.986	7.726	42.977
Avusturya	1.359	26.278	6.13	29.024
K.K.T.C.	97.332	32.489	7.185	18.846
İspanya	1.707	3.713	1.754	13.925
Portekiz	23.559	6.913	456	13.574
Hollanda	398	3.79	1.322	11.704
Toplam	239.166	547.168	81.288	1.035.238

2.1.4. Palet çeşitleri

Paletler, malların/malzemelerin uygun miktar ve doğru zamanda doğru yere ve uygun maliyetlerle taşınmasında kullanılan ekipmanların başında gelmektedir. Büyük miktarlarda yük taşımak suretiyle yükleme ve boşaltma zamanlarından ve işçilik maliyetlerinden tasarruf edilmesini sağlayan paletler, aynı zamanda da istifleme için uygun bir platform teşkil etmektedir. Her palette, bir üst kademe ve bir alt kademe bulunmaktadır. Kirişler, iki kademeyi birbirinden ayırmaktadır ve kaldırıcı kamyonun çatallarının girişi için açıklık sağlamaktadır. Palet boyutları belirtilirken ilk olarak uzunluk, ikinci olarak da genişlik belirtilmektedir. Örneğin; 1000×1200 mm paletler, temel olarak iki taraflı, dört taraflı, tek yüzlü veya çift yüzlü

olarak imal edilebilmektedir. Tek yüzlü paletlerin sadece üst kademesi, çift yüzlü paletlerin ise hem üst hem de alt kademeleri bulunmaktadır (Özek, 2016).

İki taraflı paletler, çatalların her iki taraftan ve zıt yönlerden girişine imkan tanımaktadır.



Şekil 2.5. Tek taraflı ahşap palet

Çift taraflı paletlerde, kaldırıcı kamyon çatallarının her yönden giriş yapabilmesi mümkündür.



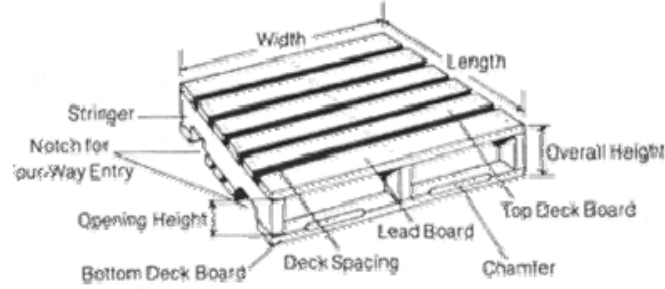
Şekil 2.6. Çift taraflı ahşap palet

Paletler tasarım olarak ikiye ayrılmaktadır. Bunlar kirişli ve blok paletlerdir.

2.1.4.1. Kirişli paletler

Kirişli paletler Amerika'da yaygın olarak kullanılan kirişli paletler, en fazla 48×40 inç boyutlarında tercih edilmektedir. Bu paletlerin imalatında birim yükü destekleyen kirişler kullanılmaktadır. Kirişler, üst ve alt kademe levhaları arasında kalan tahta levhalardır. Dört taraflı girişi mümkün kılmak için kirişlere çentik açılması

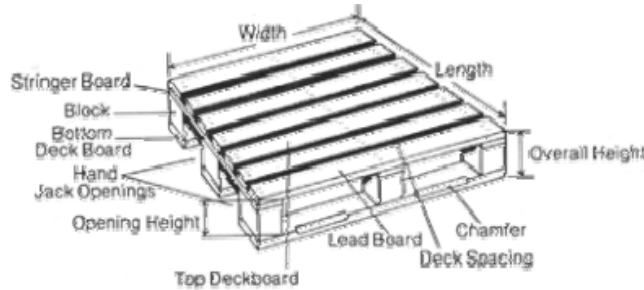
durumunda “dört-terafli kirişli palet”, kirişlere çentik açılmaması halinde ise “iki-terafli kirişli palet” adını almaktadır. Palet krikosunun (kaldırıcısının) tekerleklerinin girebilmesi amacıyla, alt kademedeki tahta levhalara yiv açılabilmektedir (Özek, 2016).



Şekil 2.7. Kirişli ahşap palet

2.1.4.2. Blok paletler

Blok paletler, dört-terafli girişi olan blok paletlerin imalatında, birim yükün taşınmasına dayanak oluşturan tahta bloklardan yararlanılmaktadır. Genellikle alt kademe levhaları desteklemek üzere 4 ila 12 blok kullanılmaktadır. Bloklar ve kademe levhaları arasında ince kirişler vardır. Blok paletler, alt kademe levhaları olmaksızın da imal edilebilmektedir. Blok paletin uzunluğu kiriş levhasının uzunluğu, genişliği ise kademe levhalarının uzunluğu ile belirlenmektedir (Özek, 2016).



Şekil 2.8. Blok paletler

Width: Genişlik

Length: Uzunluk

Stringer: Kiriş

Stringer board: Kiriş levhası

Overall height: Bütün yükseklik

Opening height: Açma yüksekliği

Lead board: Ön levha

Top deckboard: Alt kademe levhası

Notch: Çentik

Bottom deckboard: Üst kademe levhası

Four-way Entry: Dört taraflı giriş

Chamfer: Yiv, oluk

Deck spacing: Kademeler arası mesafe

Gerek kirişli gerekse blok paletler, müşterilerin istekleri ve ihtiyaçları doğrultusunda, çok değişik biçim ve boyutlarda tasarlanabilmektedir.



İki taraflı, çift kademeli, düz, ters çevrilemeyen, kirişli



İki taraflı, tek kademeli, düz, ters çevrilemeyen, kirişli



Dört taraflı, çift kademeli, düz, ters çevrilemeyen, kirişli



İki taraflı, tek kademeli, tek kanatlı, kirişli

Şekil 2.9. Ahşap palet çeşitleri 1



İki taraflı, çift kademeli, tek kanatlı, ters çevrilemeyen, kirişli



İki taraflı, çift kademeli, çift kanatlı, ter çevrilebilen, kirişli



Dört taraflı, çift kademeli, düz, ters çevrilemeyen, blok

Şekil 2.10. Ahşap palet çeşitleri 2

2.1.4.3. Euro paletler

Avrupa Birliği tarafından belirlenen ve belirtilen standartlar dahilinde üretilen, bu noktada da uygun bulunduğu için ihracat yaparken sıkça kullanılan söz konusu paletler, ihracat ya da ithalat sırasında değiş tokuşa uygun paletler olarak da bilinir. Standartlardan taviz verilmeden üretilen, buna göre de belgelendirilen ve kullanılan söz konusu paletler neredeyse tüm ihracat firmaları ve üreticileri için en kritik araç gereçler arasında yer almaktadır.

Tüm dünyada geçerliliği olan, son derece kullanışlı ve önemli paletler olarak da nitelendirilebilen Euro-palet seçenekleri, çeşitli özellikleri ve nitelikleri ile dikkat çekmektedir. Her yönden standartlara bağlı olan, belirlenmiş standartlara göre üretilen ve bu doğrultuda satışa sunulan Euro-paletler en çok da standart ölçüleri ile dikkat çekerler. Çünkü bu paletler uluslararası alanda değiş tokuşa olanaklı oldukları ve ölçüler konusunda da birebir uyumlu olarak üretilmelerinin zorunlu olmasından dolayı tercih edilirler.

Aşağıdaki tabloda tüm Euro-paletlerin ölçü ve ağırlık bilgileri verilmiştir. Piyasada en çok kullanılan palet EURO 1'dir. Uluslararası Demiryolları Birliği tarafından

onaylanan, DIN 15146 tarifinde de belirtilen Euro palet ölçüleri 80×120 cm olduğundan dolayı dünyanın her yanında aynı ölçünün geçerli olduğu söylenebilir. Bununla beraber genel üretim ile genel kabul şartları için de UIC 435-2 talimatnamesine dikkat edilmektedir.

Euro-palet ölçü ve ağırlıklarını içeren bilgiler aşağıda şekil 2.11’de verilmiştir.

Euro Palet Çeşitleri	Ölçüler (Genişlik x Uzunluk)		Ağırlık (kg)	Hacim (m3)
	Metrik (mm)	İnch (in)		
EUR, EUR 1	800 mm × 1200 mm × 144 mm	31.50 in × 47.24 in	25 kg (+/-) 2 kg	0,14
EUR2	1200 mm × 1000 mm × 144 mm	47.24 in × 39.37 in	30 kg (+/-) 3 kg	0,17
EUR3	1000 mm × 1200 mm × 144 mm	39.37 in × 47.24 in	30 kg (+/-) 3 kg	0,17
EUR6	800 mm × 600 mm × 144 mm	31.50 in × 23.62 in	9,5 kg (+/-) 1 kg	0,07
	600 mm × 400 mm	23.62 in × 15.75 in		
	400 mm × 300 mm	15.75 in × 11.81 in		

Şekil 2.11. Euro palet ölçü ve ağırlıkları

Euro-paletlerin üretilibilmeleri için üretici firmaların yetkili olması gerekir. Yani her isteyen firma bu paletleri üretemez, öncelikli olarak yetkilendirilme prosedürünün aşılması gerekir. Bununla beraber paletlerin kalite kontrolleri de uluslararası gözetim şirketleri tarafından sağlanır ve denetlemeler bu şekilde noktanır.

2.2. Kurutma

2.2.1. Kurutma türleri

2.2.1.1. Doğal kurutma

Ahşabın açık havada, doğal şartlar altında kurutulmasına doğal kurutma denir. Bu yöntem çok eskiden beri uygulanan bir yöntemdir. Biçilmiş ve taze halde bulunan kerestenin ağaç cinsine ve özelliklerine göre istiflenerek kereste depolarında, açıkta veya özel şekilde yapılmış sundurmalar altında çevredeki atmosferik ortamın sıcaklığının, bağıl neminin ve hareketinin altına bırakılmasıdır. Atmosferik ortamın kurutucu etkisi çeşitli hava hareketlerine bağlı bulunmakta ve dolayısıyla kurutma faktörlerinin ve erişilecek son denge rutubetinin kontrolü mümkün olmamakta ve kuruma çok uzun süre devam etmektedir. Bu uzun kuruma süresine rağmen ahşabın rutubetini istenilen seviyeye indirmek mümkün olmamakta ve %14-15 ile sınırlı kalmaktadır. Ancak bazı ekipman ve istif düzenlemeleri ile bu süre belirli bir oranda kısalabilmektedir.

Her ne kadar sakıncalar çok gibi görünmekte ise de biçme işlemlerinde hemen sonra kerestenin istife alınması ve doğal su alışverişinin başlaması nedeniyle doğal kurutmadan kaçınılmaz (Burdurlu, 1995).

Doğal kurutma özel istifli ve hızlandırılmış olarak ikiye ayrılır.

Doğal Kurutma

Özel İstifli

- Blok istifli
- Sandık istifli
- Makaslama istifli
- Üçgen istifli
- Travers istifli
- Kule istifli

Hızlandırılmış

- Bacalı istifleme ile
- Salıncak ile
- Santrifüj ile
- Vantilatörler ile

2.2.1.2. Teknik kurutma

Teknik kurutma, ağaç malzemede kullanış yerlerinde istenilen ve doğal kurutma ile erişilmeyen rutubet derecesine yani higroskopik denge rutubetine kadar kurutma yapmaktır. Böylece ağaç malzemeden yapılan eşyanın çalışmasından doğan sakıncalar asgari düzeye indirilebilmektedir.

Teknik kurutmada, kurutma süresi doğal kurutmaya nazaran çok kısa olduğundan işletme sermayesinin uzun süre pasif halde bekletilmesi gerekmez.

Teknik kurutmada, ağaç malzemenin mantar ve böceklerin saldırısına uğraması söz konusu olmadığı gibi, çatlama ve deformasyon gibi diğer kurutma kusurları asgari düzeye indirilmektedir. Kurutma sırasında ahşapta ölçülen rutubet miktarı doğal kurutmada %15 iken, teknik kurutmada %2'ye kadar düşmektedir.

Diğer taraftan teknik kurutma, ağaç malzemenin higroskopik özelliklerini iyileştirme ve boyutlarını stabilize etme bakımından doğal kurutmaya nazaran daha etkili bulunmaktadır (Burdurlu, 1995).

Teknik kurutma geleneksel ve özel yöntemler olarak ikiye ayrılır.

Teknik Kurutma

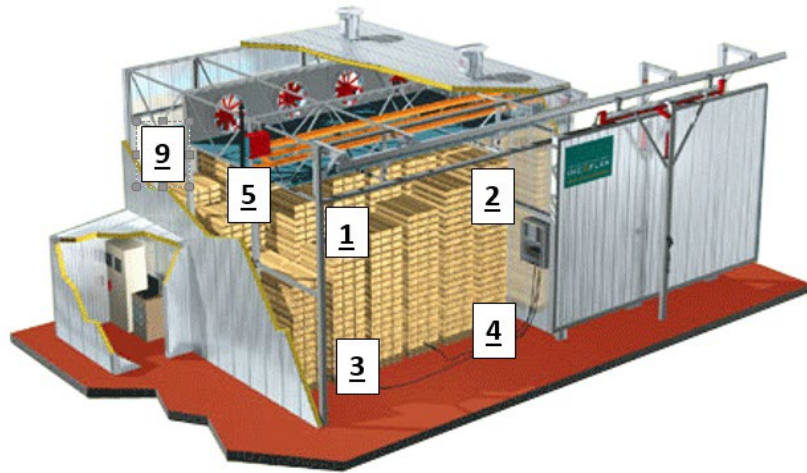
Geleneksel Yöntemler

- Klasik kurutma
- Alçak sıcaklıkta kurutma
- Yüksek sıcaklıkta kurutma
- Yüksek hava hızlı kurutma

Özel Yöntemler

- Kondenzasyonlu kurutma
- Vakumlu kurutma
- Yüksek Frekans ile kurutma
- İnfrared (kızılötesi) kurutma
- Solvent kurutma
- Yağ içinde kaynatma
- Kimyasal kurutma

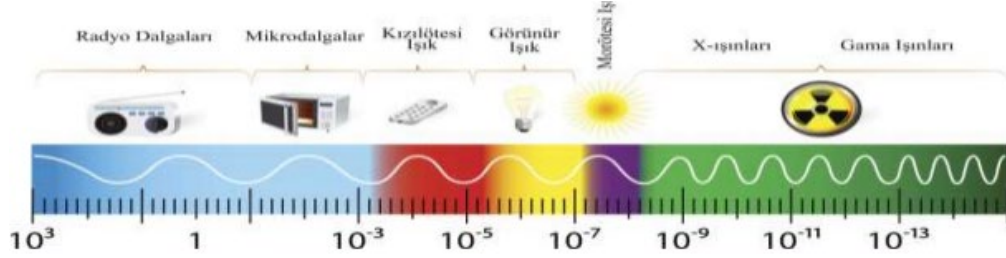
Şekil 2.12’de klasik kurutma metoduna göre kurutma fırını gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Klasik kurutma fırını

Teknik kurutmanın özel yöntemler içerisinde bulunan mikrodalga ile kurutmaya dair genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

Mikro kelimesi yabancı kökenli kelimelerle dilimize geçmiş olup, “çok küçük” anlamında kullanılır. Mikrodalga dalga boyu nispeten kısa olan elektromanyetik dalgalardır. Elektromanyetik dalgaların sınıflandırılmasında belirli bir frekans grubu mikrodalga bandını oluşturmaktadır.



Şekil 2.13. Işık tayfı

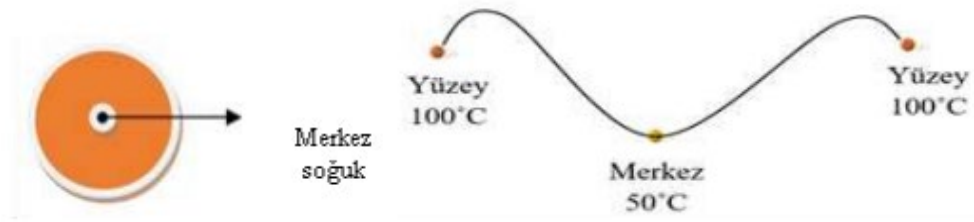
Son kabullere göre 300 MHz (1m) ile 300 GHz (1mm) arası mikrodalga bandı olarak kabul edilmiştir. Frekans sınırları kullanma yeri teknik gelişmelere göre belirlenmektedir. Nitekim 1946 yılında yapılan sınıflandırmada o zamanki tekniğe göre mikrodalga bandı olarak kullanılan frekanslar 200 ile 33.000 MHz arasındı. Frekans büyüdükçe kullanılacak işaretlerin üretilmesi ve yararlanacak devrelerin yapımı güçleşmektedir.

Genel olarak mikrodalganın kullanımına bakacak olursak; 1945 yılında bir kadar magnetronları imalatçısı tesadüfen mikrodalgaların ısı üretebileceğini bulmuştur. Bu sonuç hızlı bir şekilde fırın tasarımında kullanılmış ve öncelikle yiyecek ve her türlü malzemenin ısıtılması veya pişirilmesinde uygulanmıştır.

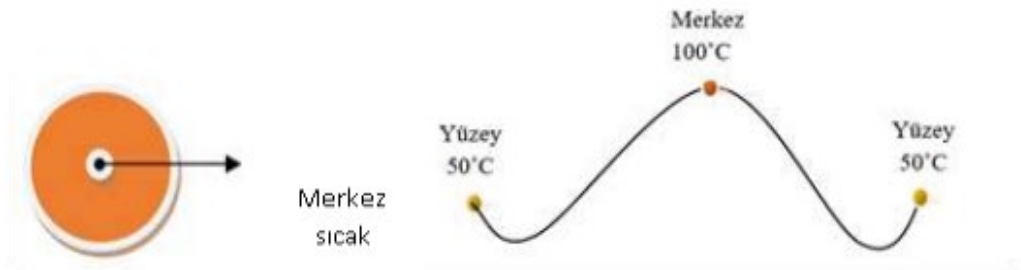
70'li yılların başından itibaren mikrodalga fırınlar artan bir oranda konut mutfaklarında da kullanılmaya başlanmıştır. Bugün yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl 10 milyondan fazla fırın satılmaktadır.

Mutfak fırınlarından başlayan mikrodalga enerjisi, bugün pişirme, yiyeceklerin ağartılması, kimyasal reaksiyonlar, sertleştirme, ısıtma ve kurutma gibi birçok endüstriyel alanda başarı ile kullanılmaktadır. Bunun nedeni mikrodalga tekniğinin diğer kurutma tekniklerine kıyasla bazı üstünlüklerinin olmasıdır (Burdurlu, 1995).

Mikrodalgalar elektronik devrelerde elektronların hızlandırılmaları ile elde edilir. Mikrodalgalar temas ettiği madde ile etkileşime girerler. Mikrodalgaların maddelerle etkileşimi maddenin türüne bağlı olarak üç şekilde gerçekleşir: Yansıtma, soğurma ve geçirme. Malzeme elektriksel iletkense mikrodalgalar yansır ve malzeme ısınmaz. Yüksek yalıtkanlarda mikrodalgalar soğurulmadan geçer ve malzeme yine ısınmaz. Mikrodalgalar daha çok su içeren maddeler tarafından emilmektedirler. Su molekülleri ileri geri hareketlerle saniyede yaklaşık olarak 5 milyon kez titreşirler. Bu titreşim hareketleri sırasında sürtünme meydana gelmektedir (Metaxas ve Meredith, 1982). Kısacası mikrodalgaya konulan malzeme dönme hareketiyle ve bu hareket sonucu sürtünmesiyle ısınır. Daha çok su molekülleri içeren malzemeler daha çabuk ısınır. Mevcutta kullanılan kurutma sistemleri ile yapılan kurutmada ısısın dışarıdan içeriye doğru taşınması mantığı ile yapılmaktadır. Kullanılan mikrodalga teknolojisi ile kurutmada ise, ağaç malzeme içerisinde bulunan su molekülleri mikrodalga etkisiyle harekete geçerek titreşmekte ve moleküller arası sürtünme ile malzemenin merkezi ısınarak suyun buharlaşma yoluyla dışarı atılması hızlanmaktadır.



Şekil 2.14. Klasik kurutmada malzemenin davranışı



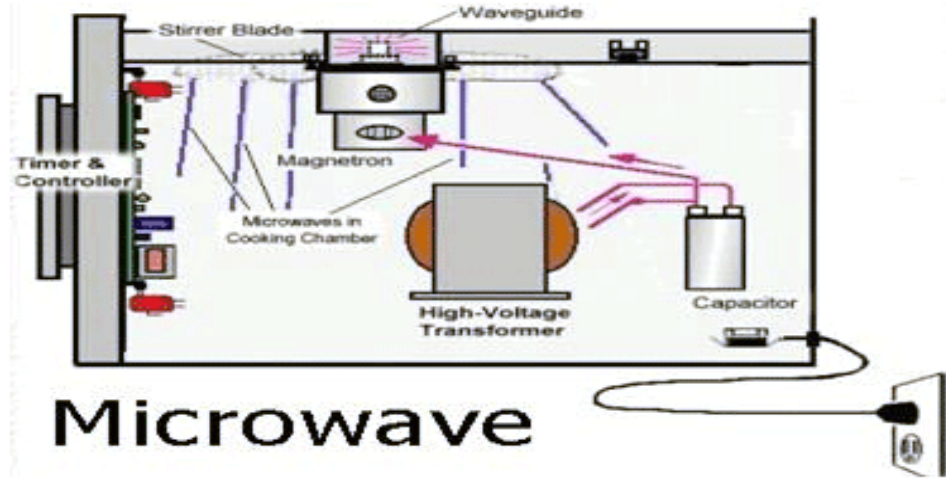
Şekil 2.15. Mikrodalga kurutmada malzemenin davranışı

Mikrodalga teknolojisi ahşabı kurutmak için kullanılan yaygın bir yöntem değildir, ancak geleneksel kurutma yöntemleri gibi diğer kurutma yöntemlerine göre kesinlikle daha verimli olduğu bildirilmiştir. Hansson tarafından 2007 yılında testlere göre, ahşabın eğilme mukavemeti, sertliği ve rengi, geleneksel hava sirkülasyonu yöntemiyle hiçbir fark göstermezken, nem içeriği daha düşük seviyelerde ise, mikrodalga kurutma sırasında ahşabın sertliği daha da artmıştır. Diğer yöntemlere kıyasla, enerji maliyeti %75 daha az olmakla beraber verimlilik %80 daha fazladır (Demirekler vd., 2004).

Mevcutta en çok tercih edilen teknik kurutma tekniği hava akışı ile kurutmadır. Bu kurutma tekniğinde, suyun buharlaşması ahşabın yüzeyinden içeri doğru sıcaklık iletimine bağlıdır. Ancak mikrodalga teknolojisi tam tersi çalışarak ahşabın çatlamasını ve büzülmesini önler ve nem noktasını ayarlar ve bu şekilde, malzemenin dış yapısında herhangi bir değişikliğe neden olmamaktadır (Banı, 2014). Günümüzde mikrodalga teknolojisi ile kurutma birçok sektörde kullanılmaktadır. Özellikle meyve ve sebze kurutmada kullanımı ile ilgili birçok çalışma mevcuttur, ayrıca endüstriyel olarak kurutma fırınları üretilmekte ve kullanılmaktadır. Örneğin; Ispanak yaprakları, Elma (Anşin ve Özkan, 1993), asma yaprakları (Alibaş, 2012) ile ilgili yapılan çalışmalarda mikrodalga'nın kurutmada zaman ve enerjiden tasarruf edildiği, kullanım kolaylığı sağladığı gibi avantajlarından bahsedilmiştir.

Dielektrik ısıtma yöntemi ile ısıtma işlem uygulaması (DH) ise, kalınlığı 20 cm'yi geçmeyen ahşap ambalaj malzemelerinin, dielektrik ısıtma yöntemiyle (örneğin mikrodalga), en az bir dakika süresince, yüzey sıcaklığı dahil, asgari 60 °C'lik bir sıcaklık elde etmek üzere ısıtılmasını kapsamaktadır (Henin vd., 2008).

Genel olarak mikrodalga çalışma sistemi ile ilgili bilgiler şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Mikrodalga sistemi

Teknik kurutma içerisinde bulunan bir diğer yöntem infrared ile kurutma hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir.

İnfrared (kızılötesi) ışıınım, dalga boyu görünür ışıktan uzun ve mikrodalgalardan daha kısa olan elektromanyetik ışıındır. Teknolojide kabul edilen ismi olan infrared Latince' de kırmızı altı anlamına gelir.

İnfrared ışıınlarının diğer ışıınlardan farkı ısıyı diğerlerinden daha fazla taşıyabilmesidir. İnfrared'in en büyük özelliği havayı ısıtmadan yani havayı aracı olarak kullanmadan doğrudan ürünü ısıtmasıdır. İnfrared ışıın enerji kaynağı birincil enerji kaynağı durumundadır ve doğrudan ışıın tarafından görülen yüzeylere ısı transferi olduğundan, diğer ısıtma sistemlerine göre, infrared ışıını ile yapılan kurutmaya ekonomik üstünlük kazandırmaktadır. Diğer avantajları ise kurutma süresinin kısılması, yüksek enerji verimliliğine sahip olması, kurutma sırasında ürün sıcaklığının düzgün dağılması, işlem parametrelerinin kolay kontrol edilebilir olması ve yer tasarrufu sağlaması şeklinde sıralanabilir (Özkoç, 2009).

İnfrared kurutmada; kurutma için gerekli ısı infrared enerjisinden elde edilir. İnfrared ışıınları katı materyal üzerine düşürüldükten sonra oluşan ısı kondüksiyonla katı materyal içerisinde iletilir ve bu esnada eş zamanlı kurutma olayı gerçekleşir. Kuruma mekanizması genellikle radyant ısıtıcıdan katıya radyasyonla ısı transferi, katı içerisinde kondüksiyonla ısı transferi ve katıdan dış ortama nem transferi basamaklarını içerir. İzotermal kuruma şartlarında, kütle transferi katı materyalin iç

kısımlarındaki nemin yüzeye ve buradan da dış ortama taşınımı şeklinde gerçekleşir. Katı bünyesindeki nem taşınımı katı içi difüzyonla gerçekleşir (Akosman, 2003). İnfrared' in gıda sektöründe yaygın olarak kurutma ve pişirme amaçlı kullanımı ve verimliliği bildirilmiştir (Banı, 2014). Altun ve Eroğlu tarafından 2017'de yapılan bir çalışmada, infrared ısıtma kaynağı kullanılarak sapsız meşe kerestesinin kurutma denemelerinde, standart kurutmada istenilen kalite yeterliliklerini sağladığı bildirilmiştir.

İnfrared sisteminin ahşap kurutmada kullanımı ile ilgili bilgi yok denecek kadar azdır. Bu konu ile ilgili olarak üretilmiş bir makine de bulunmamaktadır.

Şekil 2.17'de infrared sisteminin çalışması ile ilgili görsel verilmiştir.



Şekil 2.17. İnfrared sistemi

2.3. Isıl İşlem Uygulaması

Günümüzde uluslararası ihracat ve ithalat işlemlerinin artması ve bu işlemler sırasında zararlı organizmaların taşınma ve yayılmaları, birçok ülkenin ormanları ve bitkisel faunası için ölümcül tahribatlar yaratan bir durumu ortaya çıkarmıştır.

Bu durumun her geçen gün artması, farklı ülkelerde görülmesi, bununla birlikte zararlı organizmalar ile tamamı veya bazı bölgeleri bulaşık olmayan ülkelerin bu

durumu azaltmak ya da bu durumdan korunmak istemesi amacıyla FAO (Dünya Gıda ve Tarım Örgütü) kapsamında bazı kurallar ve normlar üzerinde çalışılmış ve adı IPPC (Uluslararası Bitki Sağlığı Konvansiyonu) olarak adlandırılan bir normlar bütünü oluşturulmuştur. Uluslararası anlamda bitki sağlığına bağlı düzenlemeler BM bünyesinde 1946 yılında kurulan FAO tarafından yapılmaktadır.

FAO tarafından bitkisel materyallerin ithalat ve ihracatının sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla kısa adı IPPC olan bir sözleşme hazırlanmıştır. Ülkemiz de FAO tarafından hazırlanan IPPC sözleşmesini 29 Temmuz 1988 yılında imzalayarak taraf olmuştur.

Isıl işlem uygulamasında amaç zararlı organizmaların ihracatta kullanılan ahşap ambalaj malzemeler ile taşınması ve yayılmasını engellemektir. Bu konuda ülkelerin bitki koruma alanında, bilgi ve deneyimlerini artırarak, zararlı organizmaların ülkeler arası taşınmasını ve yayılmasını önlemek, bitki sağlığı konusunda önlemler alarak, uluslararası ticarete engelleri ortadan kaldırmak, geri bildirim ve iadeleri azaltmak, Uluslararası Bitki Sağlığı Önlemlerini (ISPM) düzenleyerek farklı standartlar hazırlamak hedefleridir.

Isıl işlem uygulaması; 6 mm'den kalın ahşaptan yapılmış palet, sandık, kasa, kutu, istif tahtası, kablo makarası ve bobin makaraları içindir.



Şekil 2.18. Ahşap palet



Şekil 2.19. Ahşap sandık



Şekil 2.20. Ahşap kutu



Şekil 2.21. Ahşap bobin

2.3.1. Isıl işlem standardı

Ülkemizin de üyesi bulunduğu IPPC (Uluslararası Bitki Koruma Konvansiyonu) Genel Kurulu'nun 2002 yılında kabul ettiği, uluslararası ticarete ahşap ambalaj malzemeleri kullanımını düzenleyen standarttır.

Uluslararası Bitki Sağlığı Konvansiyonu IPPC'nin hazırlamış olduğu bitki sağlığı ile alakalı toplam 43 adet ISPM standardı bulunmaktadır. Bu standartlardan ISPM 15 standardı uluslararası ticarete ahşap ambalaj malzemelerinin kullanımı ile alakalıdır.

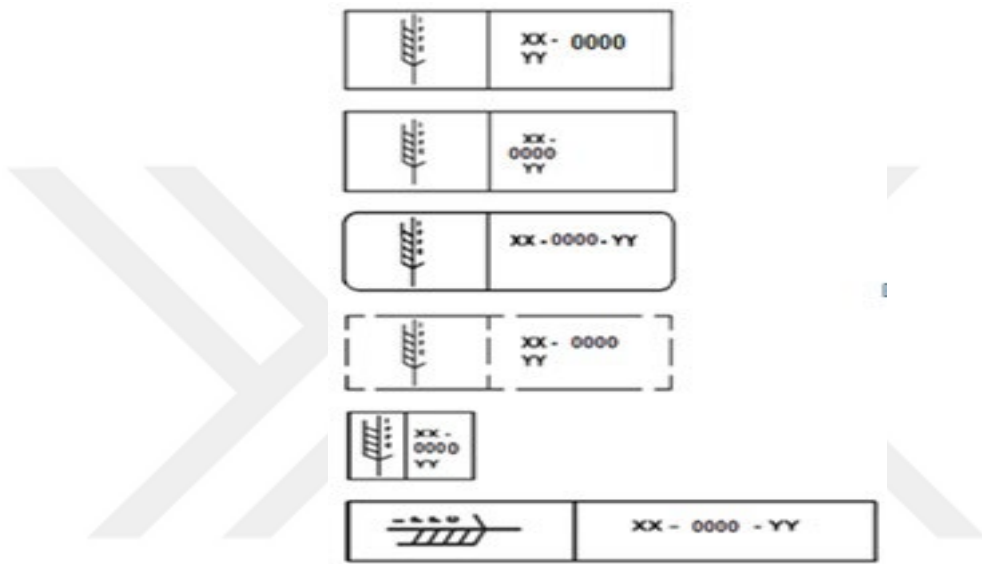
ISPM 15; genel olarak ülkeler arasında yapılan ticarete ürün ve beraberinde taşınmakta olan palet, sandık, kutu kereste sandık vb. malzemelerin ısıtım işlem uygulaması ile, zararlı organizmalar ile bulaşmasının ortadan kaldırılmasına yönelik standarttır.

ISPM 15 IPPC tarafından hazırlanan uluslararası bir standart olup, ülkemiz bu standardı 2002 yılında kabul etmiştir. ISPM 15 standardını ülkemiz gibi dünya üzerinde yaklaşık 80 ülke farklı tarihlerde kabul etmiştir.

ISPM-15 standardını kabul eden ülkeler, uluslararası ticarete ahşap ambalaj malzemeleri kullanımını uluslararası standarda bağlı kalmak koşulu ile, kendine ait bir mevzuat kapsamında uygulamaktadır. Uluslararası Bitki Koruma Sözleşmesi'ne taraf olan üye ülkeler, ihracat yolu ile ülkelere gelen ahşap ambalaj malzemelerini ISPM 15 uluslararası standardına uygun olarak ısıtım işleme tabi tutulmasını istemektedirler.

irsaliyelerinde bu bilgilerin açıklama olarak yazılması gerekmektedir. Aksi takdirde satış işlemi yapılamamakta ve eksik olması veya yanlış yapılması durumunda ise, yeni yönetmeliğe göre para cezası uygulanmaktadır.

İkinci el tabir edilen ikinci kez kullanılacak paletlerde ise; eski ısıt işlem işareti kazınmalı, ısıt işlem uygulaması yapmaya izin belgeli firmanın işaret numarası ile ISPM 15 ve izlenebilirlik işareti ile işaretlenmeli ve ondan sonra satışı yapılmalı ve kullanılmaya başlanması gerekmektedir.



Şekil 2.24. ISPM 15 izlenebilirlik işareti örnekleri

ISPM 15 işareti;

- Okunabilir boyutta olmalı,
- Kalıcı ve taşınmaz olmalı,
- Elle çizilmiş olmamalı,
- Turuncu ve kırmızı renkte olmamalı,
- Paletin en az zıt iki yüzüne gözle görünüyör yerde olmalı,
- Demonte olan ahşap malzemelerin her bir parçasına yapılmalı,
- İçerisinde yanda gösterilen sembol veya bilgilerin haricinde başka bir bilgi olmamalıdır.

2.3.2. Isıl işlem uygulama metodu

ISPM 15 için uygulanan dört metot bulunmaktadır. Bunlar fümigasyon ve ısıtma işlemi olarak adlandırılmaktadır. Bunlar;

- Isıl işlem fırını ile ısıtma uygulaması **HT**
- Dielektrik ısıtma yöntemi ile ısıtma uygulaması **DH**
- Methyl bromide ile fümigasyon uygulaması **MB**
- Sulphuryl flüoride ile fümigasyon uygulaması **SF**

2.3.2.1. Isıl işlem fırını ile ısıtma uygulaması (HT)

Ahşap ambalaj malzemelerinin, ısıtma fırını ile en az otuz dakika süresince, ahşap kalınlığı orta noktası sıcaklığı dahil, asgari 56 °C'lik bir sıcaklık elde etmek üzere uygulama yapılmasıdır.



Şekil 2.25. Isıl işlem fırını

2.3.2.2. Dielektrik ısıtma yöntemi ile ısıtma işlem uygulaması (DH)

Kalınlığı 20 cm'yi geçmeyen ahşap ambalaj malzemelerinin, dielektrik ısıtma yöntemiyle (örneğin mikrodalga), en az bir dakika süresince, yüzey sıcaklığı dahil, asgari 60 °C'lik bir sıcaklık elde etmek üzere uygulama yapılmasıdır.

2.3.2.3. Methyl bromide ile fümigasyon uygulaması (MB)

Kalınlığı 20 cm'yi geçmeyen ahşap ambalaj malzemelerinin, Methyl Bromide gaz uygulamasına tabi tutulmasıdır. Uygulama sırasında ahşap malzemenin sıcaklığı 10 derecenin altına düşmeyecek ve uygulama süresi 24 saat olacaktır. 24 saat sonunda uygulama gözlemlenecektir.

Bu uygulamanın Türkiye'de kullanımı yasaktır. İthalat ve gelen ürünün ihracatı haricinde kullanılmamaktadır.

2.3.2.4. Sulphuryl flüoride ile fümigasyon uygulaması (SF)

Bu uygulama henüz çok yeni bir uygulamadır. ISPM 15 standardı da bulunmamaktadır.

2.3.3. Türkiye'deki ısıtma işlem uygulamaları

Ahşap ambalaj malzemeleri ile ilgili ilk yönetmelik 2004 yılında yayımlanmış ve bugüne kadar 5 kez değişmiştir.

4/5/2004 tarih ve 25452 sayılı "[Bitki Sağlığı Önlemlerine Yönelik Ahşap Ambalaj Malzemelerinin İşaretlenmesi Hakkında Yönetmelik](#)" (yürürlükten kaldırılmıştır).

21/6/2006 tarih ve 26205 sayılı "[Bitki Sağlığı Önlemlerine Yönelik Ahşap Ambalaj Malzemelerinin İşaretlenmesi Hakkında Yönetmelik](#)"(yürürlükten kaldırılmıştır).

12/5/2010 tarih ve 27579 sayılı "[Bitki Sağlığı Önlemlerine Yönelik Ahşap Ambalaj Malzemelerinin İşaretlenmesine Dair Yönetmelik](#)"(yürürlükten kaldırılmıştır).

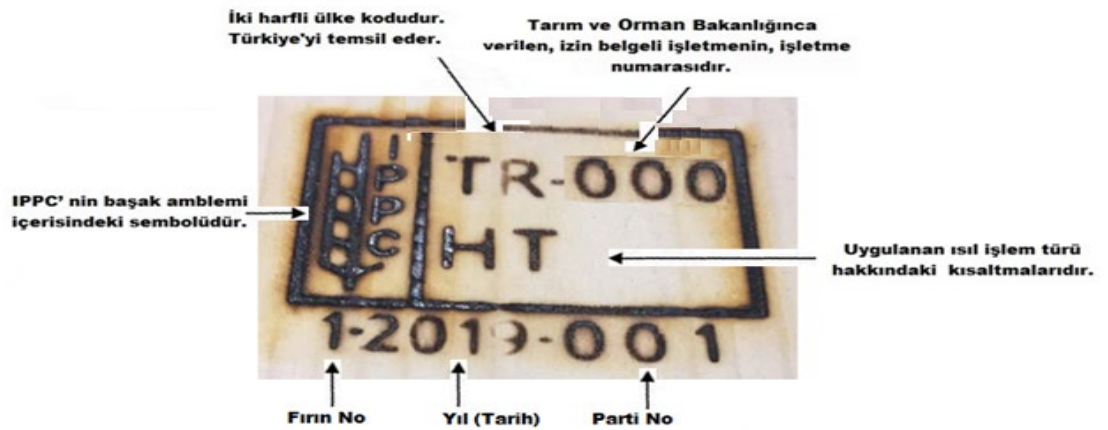
4.12.2011 tarih ve 28132 sayılı “[Ahşap Ambalaj Malzemelerinin Isıl İşleme Tabi Tutulması ve İşaretlenmesine Dair Yönetmelik](#)”(yürürlükten kaldırılmıştır).

31/12/2019 tarihine kadar yürürlükte olan 27/05/2015 tarih ve 29368 sayılı “Ahşap Ambalaj Malzemelerinin Isıl İşleme Tabi Tutulması ve İşaretlenmesine Dair Yönetmelik” kaldırılarak 25 Mayıs 2019 tarih ve 30784 sayı ile yayınlamış ve 1 Ocak 2020 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

01 Ocak 2020 tarihinden itibaren, ihracatta kullanılacak ahşap ambalaj malzemeleri, izin belgeli işletmede ısıtılma işlemi tabi tutulup, ISPM 15 ve izlenebilirlik işareti ile işaretlenip, satışa sunulduktan sonra son kullanıcı olan ihracatçıya ulaşıncaya kadar izlenebilmektedir.

Ayrıca 01 Ocak 2020 tarihinden sonra izin belgeli işletmede, ısıtılma işlemi görmüş, üzerinde ISPM 15 ve izlenebilirlik işareti olan ahşap ambalaj malzemelerinin satışı yapılabilecek ve bu ürünler ihracatçılar tarafından kullanılabilir.

Bununla ilgili örnekler şekil 2.26, 2.27 ve 2.28’de verilmiştir.



Şekil 2.26. Türkiye’de yapılan ISPM 15 izlenebilirlik işareti açıklaması



Şekil 2.27. Birinci el palet üzerine yapılan ISPM 15 izlenirlik işareti örneği



Şekil 2.28. İkinci el palet üzerine yapılmış ISPM 15 izlenirlik işareti örneği

2.4. Literatürdeki Önceki Çalışmalar

Literatürde, mikrodalga ile kurutma ve ısıtma işlemi ile ilgili gıda, bitki, tekstil malzemeleri, toprak ve diğer biyolojik malzemelerle ilgili çalışmalar yürütüldüğü ve olumlu sonuçlar alındığı bildirilmiştir (Mujumdar, 1995). Schiffmann ve Mujumdar (1987), Metaxas (1991) yaptıkları çalışmalarda, mikrodalga teknolojisi ve klasik kurutma arasında kurutma prosesi ve ekonomik hususlar gibi konular değerlendirilmiş ve mikrodalganın üstünlükleri raporlanmıştır.

Özellikle gıda sektöründe kurutma, pişirme ve kavurmada infrared ile mikrodalga kombinasyonu kullanımı ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Çalışmalarda infrared ile mikrodalga kombinasyonunun ne kadar etkili olduğu ortaya konulmuş ve elde edilen verim, kurutma kalitesi ve klasik metotlar ile kıyaslamalar şekil 2.29’da verilmiştir.

Yapılan işlem	Gıda çeşidi	İnfrared ısıtım + mikrodalga kombinasyonu ile ısıtma	Konvansiyonel ısıtma	Konvansiyonel ısıtmaya göre azalan süre (%)
Pişirme	Bisküvi	H: %80 M: %20 t: 5,5	T: 205 t: 11	50%
	Kek	H: %70 M: %30 t: 5	T: 175 t: 24	79%
	Hamburger ekmeği	H: %50 M: %50 t: 5	T: 200 t: 13	%61,5
	Glutensiz kek	H: %60 M: %40 t: 7	T: 175 t: 30	77%
Kurutma	Ekmek içi	H: %30 M: %70 t: 1,75	T: 75 t: 126	%98,6
	Havuç	H: %50 M: %50 t: 2,6	T: 60 t: 128	98%
Kavurma	Fındık	H: %10 M: %90 t: 2,5	T: 150 t: 20	88%

Şekil 2.29. Çeşitli infrared + mikrodalga kombinasyon tekniği kullanım koşullarında ve çeşitli ısıtma türlerinde ısıtma sürelerinin konvansiyonel ısıtmaya göre oranları (H: halojen lamba gücü (%), M: Mikrodalga gücü (%), t: süre (dk), T: sıcaklık (oC) (Banı, 2014).

Ağaç malzeme kurutma sektöründe ise; günümüzde infrared + mikrodalga kombinasyonu ile kurutma yapabilen bir fırın mevcut değildir. Ahşabın infrared teknolojisi ile kurutulması konusunda Türkiye ve Dünya’da çok az sayıda kaynak vardır. Mikrodalga metodu ile kurutulması da yaygın değildir ama bununla ilgili olarak bulunan yayınların en önemlilerine aşağıda değinilmiştir.

Hansson tarafından 2007’de yayınlanan doktora tezinde; mikrodalga kurutma yöntemi kullanılarak ahşabın eğilme mukavemeti, sertlik ve renk değişimi gibi

özelliklerini incelenmiştir. Mekanik testler kapsamında yapılan ahşabın eğilme mukavemeti sonuçları karşılaştırıldığında, önemli bir fark göstermediği belirtilmiştir. Ayrıca geliştirilen çoklu fizik sonlu elemanlar modeli kullanılarak, ısıtma sırasında odun ve mikrodalgalar arasındaki etkileşimi anlamak için de kullanmıştır (Hansson, 2007).

Terziev, Daniel, Torgovnikov ve Vinden (2020) tarafından yapılan bir başka çalışmada; mikrodalga teknolojisi ile ladin ve çam ağacı odun numuneleri mikrodalga teknolojisi ile kurutulmuş ve çıkan sonuçlara göre, mikrodalga ile kurutmanın odun numunelerinde hücreler arası sıvı ve gaz geçirgenliğini arttırdığı ve mekanik değerlerde de düşüşe yol açtığı belirtilmiştir.

Mikrodalga ile kurutma işleminden sonra mekanik özelliklerde meydana gelen düşüşler, literatürdeki diğer çalışmalarda da belirtilmiş ve istenmeyen bir sonuç olarak da bildirilmiştir (Machado, 2006., Torgovnikov ve Vinden, 2009., Samani, vd., 2019., Hermoso ve Vega, 2016., Terziev, vd., 2021., Weng, vd., 2021).

Çayır (2021) tarafından yayınlanan doktora tezinde ise; mikrodalga muamele ile odun içinde oluşan ani ve yüksek buhar basıncı etkisiyle geçit aspirasyonu sonucunda kapanmış olan kenarlı geçitlerin genel olarak açıldığı ve kısmen de olsa odun yapısını oluşturan elemanlarda kılcal çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir. ‘Literatürdeki bazı çalışmaların gözlemsel sonuçlarında bildirilen makro boyuttaki çatlaklar ile bu çalışmada sonuçlanan mikro çatlaklar kıyaslandığında, odun yapı elemanlarının korunduğu söylenebilir’ denilmiştir.

Yapılan bilimsel çalışmalar ağaç malzemedeki, çeşitli larvaların ve böceklerin yok edilmesi için yapılan ısıtma işleminin de olumlu sonuç verdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar ışığında; ahşap ambalaj endüstrisinde, IPPC üyesi ülkeler tarafından tüm ağaç malzeme zararlılarının yok edilmesi için mikrodalga teknolojisi kullanılarak ısıtma işlemi yapılması onaylanmış ve ISPM 15 standardına eklenmiştir (Henin, 2008).

3. MATERİYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışmada, ortalama %60 rutubetli olarak temin edilmiş olan ve ahşap palet sektöründe yaygın olarak kullanılan kızılçam (*Pinus brutia*) ve doğu ladini (*Picea orientalis*) odunları kullanılmıştır. Odunlar, Ege Bölgesi'nde palet üretimi yapan ve ormandan yeni kesilmiş tomruk işleyerek üretim sürecine başlayan bir palet firmasından temin edilmiştir.

Malzeme seçiminde; sağlam, doğal renkli ve kusursuz olması, liflerinin birbirine paralel, lif kıvrıklığı olmayan, böcek ve mantar zararlarına uğramamış olması gibi etmenler göz önünde bulundurulmuştur. Deney örnekleri TS 2470 esaslarına uygun olarak hazırlanmıştır.

3.1.1. Ağaç malzeme: Kızılçam (*Pinus brutia*) ve Doğu Ladini (*Picea orientalis*)

Kızılçam (*Pinus brutia*), Türkiye'de Batı Anadolu ve Akdeniz bölgesi başta olmak üzere geniş bir yayılış alanı gösteren ağaç türlerimizden biridir. Bu tür, ülkemizde 3.2 milyon hektar alanda normal, 2.6 milyon hektar alanda da bozuk olmak üzere toplamda yaklaşık 5.8 milyon hektar alanda yayılış göstermektedir (OGM, 2012). Bu yayılışından dolayı palet endüstrisinde en çok kullanılan ağaç türlerinden bir tanesidir.

Kuzey yarım kürenin ılıman ve soğuk bölgelerinde yayılan ladinlerin çoğu Doğu Asya'da (Çin ve Japonya) olmak üzere, Kuzey Amerika, Kuzey ve Orta Asya ile Avrupa'da 40 kadar türü, çeşitli formları mevcuttur (Kayacık, 1967). Pinaceae familyası üyesi olan *Picea* cinsinin ülkemizdeki tek türü *Picea Orientalis*' tir. Gövde

düzgün, ağaç boyu 40-50 m, çap ise 1,5-2,0 m'ye kadar çıkabilmektedir. 14 Kullanılabilir gövde uzunluğu 20 m'ye kadardır (Erdin ve Bozkurt, 2013).

Doğu ladininin yayılışı yereldir. Türkiye'nin kuzeydoğusundan Karadeniz'e dökülen Melet suyundan başlar ve doğuya doğru ülkemiz sınırlarını aşarak büyük ve küçük Kafkas Dağları'na kadar uzanır (Demirci, 1991; Kayacık, 1952). İlk yaşlarda büyümesi çok yavaştır. Ancak 8-10 yaşlarından sonra büyüme hızlanmakta, uzun yıllar sürmektedir. Kök sistemi genelde sıgıdır, ancak fiziksel özellikleri iyi olan topraklarda kuvvetli yan kökler ve derine inebilen ana kök sistemi oluşturabilmektedir. Doğu Ladini rutubeti seven bir türdür. Yıllık yağış ve rutubetin yüksek olduğu bölgede dağların Karadeniz etkisindeki ve nispi nemi yüksek kuzeybatı ve kuzey yamaçlarında daha iyi gelişmektedir (Anşın ve Özkan, 1993).

3.1.2. Malzemenin hazırlanması

Ortalaması %60 rutubet derecesine sahip kızılçam (*Pinus brutia*) ve doğu ladini (*Picea orientalis*) odunundan, çalışmada kullanmak üzere 75×5×150 mm, 20×20×360 mm ve 20×20×30 mm ölçülerinde 10'ar adet örnek hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler 5'erli gruplar halinde markalanmıştır. 75×5×150 mm ölçüsündeki örnekler renk değişimi ve parlaklık testlerinde, 20×20×360 mm ölçüsündeki örnekler liflere dik eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve radyal ve teğet yönde vida tutma mukavemet testlerinde, 20×20×30 mm ölçüsündeki numuneler ise, rutubet ve yoğunluk testleri ve liflere dik ve paralel basınç testlerinde kullanılmıştır. Bu konu ile ilgili detaylı tablolar ekler kısmında verilmiştir.



Şekil 3.1. Testlerde kullanılan iki ağaç türüne ait ahşap örnekler

3.2. Metot

3.2.1. Kurutma yöntemleri

Kurutma işlemleri Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Kurutma yöntemi olarak üç ayrı metot kullanılmıştır. 1. Grup örneklerin kurutulmasında etüv, 2. Grup örneklerin kurutulmasında mikrodalga kurutma metodu ve 3. Grup örneklerin kurutulmasında ise, infrared + mikrodalga kurutma metodu kullanılmıştır.

Gruplar	Kurutma metodu	Kurutma süresi
1. Grup	Etüv	24 saat
2. Grup	Mikrodalga	5 dakika
		10 dakika
		15 dakika
3. Grup	IR + MD	IR 30 saniye + MD 5 dakika
		IR 1 dakika + MD 5 dakika
		IR 30 saniye + MD 10 dakika

Şekil 3.2. Gruplar - kurutma metodu – kurutma süreleri

Birinci grupta yer alan numuneler TERMAL marka etüvde $103 \pm 2^\circ\text{C}$ de kurutulmuştur. Kurutma süresi 24 saat olarak uygulanmıştır.



Şekil 3.3. Etüv görselleri

İkinci grupta yer alan numuneler BOSCH marka sanayi tipi mikrodalga fırınında 900 Watt gücünde üç aşamada kurutma yapılmıştır. Birinci alt grup 5 dakika, ikinci alt grup 10 dakika ve üçüncü alt grup da 15 dakika kurutmaya tabi tutulmuştur.



Şekil 3.4. Mikrodalga kurutma cihazı görselleri

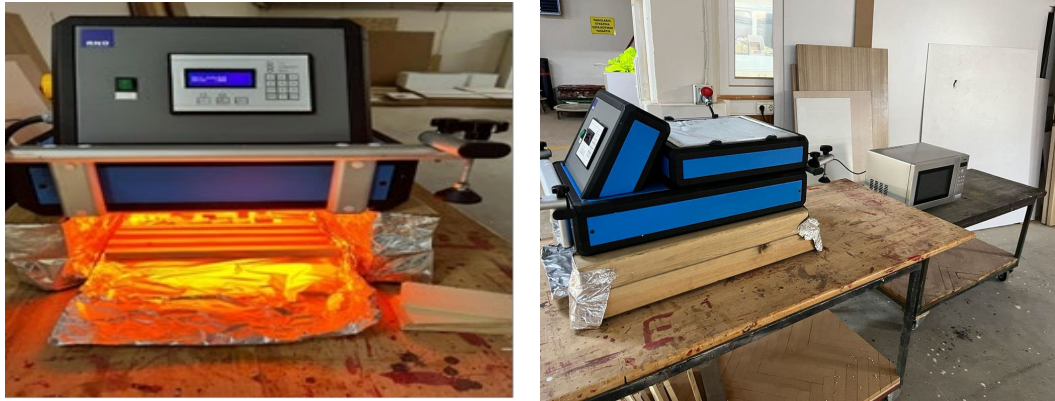
Üçüncü grup da kendi içerisinde 3 alt grupta kurutulmuştur. IR cihazı olarak 80 cm uzunluk ve 50 cm genişlik ölçülerinde TEK-İZ marka sanayi tipi infrared cihazı, ve test düzeneğini tamamlamak için de BOSCH marka sanayi tip mikrodalga cihazından yararlanılmıştır. IR modülünde MW (orta dalga) IR ampuller kullanılmış, filament uzunlukları 420 mm ve güçleri de 2.5 KW/adettir. Modülde toplam 7 adet IR ampul bulunmaktadır.

Birinci alt grup, infrared makinesinde 30 saniye + 5 dakika mikrodalga makinesinde kurutulmuş, ikinci alt grup, infrared makinesinde 1 dakika + 5 dakika mikrodalga makinesinde kurutulmuş ve üçüncü son alt grup ise, infrared makinesinde 30 saniye

+ 10 dakika mikrodalga makinesinde kurutulmuştur. İkinci alt grupta uygulanan 1 dakika infrared ile kurutma süresi sonunda, örneklerde yanma meydana gelmiştir.

Gruplar	Alt gruplar	Kurutma metodu	Kurutma süresi
2. Grup	1. Alt grup	Mikrodalga	5 dakika
	2. Alt grup		10 dakika
	3. Alt grup		15 dakika
3. Grup	1. Alt grup	IR + MD	30 saniye IR + 5 dakika MD
	2. Alt grup		1 dakika IR + 5 dakika MD
	3. Alt grup		30 saniye IR + 10 dakika MD

Şekil 3.5. Mikrodalga ve infrared + mikrodalga kurutma metotları için gruplar – kurutma metodu – kurutma süreleri



Şekil 3.6. İnfrared + mikrodalga kurutma test düzeneği görselleri

Kurutma işlemi sırasında etüv ve mikrodalga ile harcanan enerji sarfiyatı hesaplanmış ve kurutma işlemi tamamlanan tüm gruplara yapılan testler aşağıda belirtilmiştir.

3.2.2. Deneylerin yapılışı

Şekil 3.7’de verilen kurutma deseni tablosunda iki ağaç türü x 7 kurutma türü x 10 örnek olmak üzere toplam 140 numune üzerinde deney yapılmıştır.

Ağaç Türü	Kurutma metodu	Kurutma frekansı	Örnek kesitleri	Deneyler	Tekerrür
Kızılcam (<i>Pinus brutia</i>) Doğu ladini (<i>Picea orientalis</i>)	Etüv	103 °C±2	20 x 20 x 360 mm 75 x 5 x 150 mm 20 x 20 x 30 mm	Rutubet ve yoğunluk testi	10 adet
	Mikrodalga kurutma	5 dakika - 900W		Enerji sarfiyatı ölçümü	
		10 dakika - 900W		Renk değişimi testi	
		15 dakika - 900W		Parlaklık testi	
	İnfrared + Mikrodalga kurutma	30 sn IR + 5 dk MD 1 dk IR + 5 dk MD 30 sn IR + 10 dk MD		Liflere dik eğilme direnci testi	
				Eğilmede elastikiyet modülü testi	
				Liflere dik ve paralel basınç direnci testi	
				Radyal ve teğet yönde vida tutma mukavemeti testi	
				ATR-FT-IR analizi	
				SEM (Taramalı elektron mikroskopu) analizi	

Şekil 3.7. Kızılcım ve doğu ladini odun numuneleri deney deseni

3.2.2.1. Rutubet ve yoğunluk testleri

Kurutmaya tabi tutulan ve her fırından alındığında yine aynı yöntemle tartılan, ağırlığı, hacmi ve yoğunluğu hesaplanan ahşap numunelerin, aşağıdaki rutubet belirleme formülüne göre de rutubet tayinleri hesaplanmıştır. Ağırlık ve hacim hesaplamalarında şekil 3.8 ve 3.9’da verilen hassas terazi ve dijital kumpas kullanılmıştır.

Rutubet tayinleri (U) hesaplaması için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$U = \frac{(G_u - G_d)}{G_d} \times 100 \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

G_u = kurutma öncesi yaş ağırlık (g)

G_d = kurutma sonrası kuru ağırlık (g) değerlerini ifade etmektedir.

Yoğunluk (D) hesaplaması için de aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$D = \frac{m}{v} \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

m = kütle (g)

v = hacim (cm³) değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 3.8. Hassas terazi



Şekil 3.9. Dijital kumpas

Her üç kurutma metodu için kurutma sonrasında sıcaklık ölçümlerinde ise, şekil 3.10’da gösterilen TESTO marka infrared sıcaklık ölçer kullanılmıştır.



Şekil 3.10. İnfrared sıcaklık ölçer

3.2.2.2. Enerji sarfiyatının ölçülmesi

Şekil 3.11’de gösterilen WELLHISE marka enerji sarfiyatı ölçüm cihazı ile optimum bir fiyat ve performans oranı hesaplanmıştır. Ölçüm cihazı 0,1 Kilowatt hassasiyette olup her iki kurutmada priz ve cihaz arasına bağlanarak enerji sarfiyatı belirlenmiştir.



Şekil 3.11. Enerji sarfiyat ölçer

3.2.2.3. Renk değişimi ölçümleri

Kurutma kalitesi kriteri olan renk değişim değerleri, kurutma öncesi ve kurutma sonrası şekil 3.12’de gösterilen portatif bir renk okuyucu (KONICA MINOLTA CR–10) cihazı ile belirlenmiş ve renklerin sınıflandırılmasında ISO 2470 ve 7724-3 (CIELAB–76; Commission international de l’éclairage) standardı esas alınarak yapılmıştır.



Şekil 3.12. Renk ölçer

Kurutma sonrası meydana gelen renk değişiklikleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır.

$$\Delta L^* = L^* f - L^* i$$

$$\Delta a^* = a^* f - a^* i$$

$$\Delta b^* = b^* f - b^* i$$

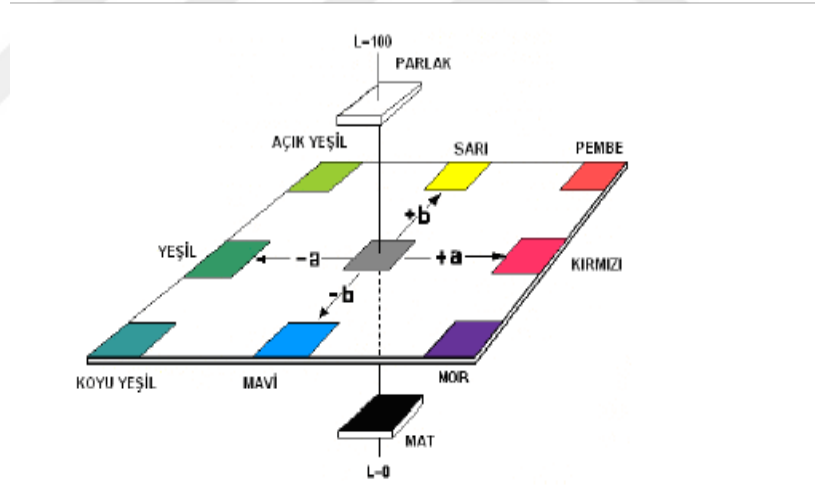
$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte;

ΔL^* , Δa^* ve Δb^* , değerleri renklerin ilk hali (i) ile son hali (f) arasında oluşan değişiklikleri göstermektedir.

ΔE^* , renklerin L, a, ve b yönlerinde meydana gelen toplam renk değişikliklerini göstermektedir.

En yüksek değer en yüksek renk değişimini göstermektedir.



Şekil 3.13. CIELAB-76 Renk sistemi

3.2.2.4. Parlaklık ölçümleri

Parlaklık ölçümleri, şekil 3.14'de gösterilen GARDNER marka parlaklık ölçer (glossmeter) ile ölçülmüştür. Parlaklık ölçer cihazı içerisinde, sahip olduğu ışık kaynağından çıkan aydınlatma, yüzeyden belirli bir açı ile (20, 60 ve 85 derece)

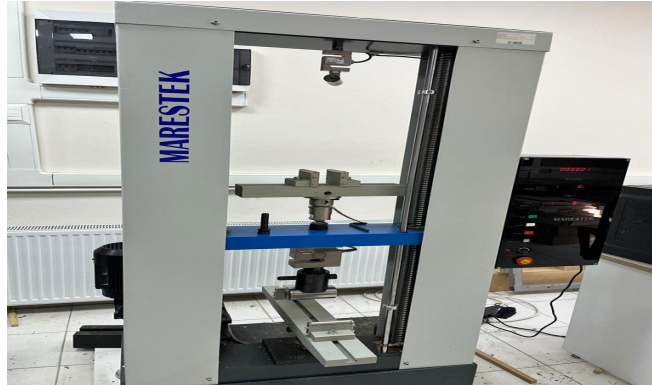
yansımakta ve cihazın diğer tarafındaki sensörlere ulaşmaktadır. Bu sırada, yüzeyde yansıyan ışığın miktarının cihaz kaynağından gelen ışığın miktarına olan oranı ölçülmektedir. Sonuçta çıkan sayısal değerler bir parlaklık birimi olan parlaklık derecesi (GU) değerine çevrilmiştir.



Şekil 3.14. Parlaklık ölçer

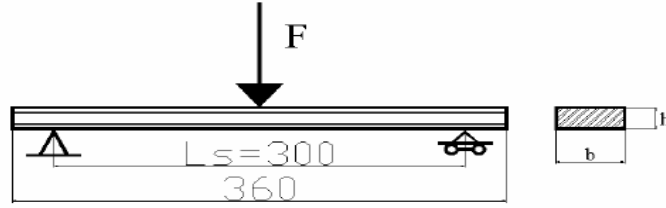
3.2.2.5. Liflere dik eğilme direnci testi

Kurutulan örneklerin mekanik dirençlerinin belirlenmesi amacıyla; TS ISO 13061-3’ de belirtilen esaslara göre liflere dik eğilme direnci testleri yapılmıştır. Şekil 3.15’de gösterilen MARESTEK marka universal test cihazının yükleme mekanizması, kırılmanın yükleme anından itibaren 1-2 dakika içinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde 5 mm/dk deney hızında ayarlanmıştır. Örneklerin kırılma anındaki kuvveti (Fmax) kg biriminden cihazın kadrından okunmuş ve bilgisayara kayıt edilmiştir. Daha sonra Newton (N) birimine çevrilmiştir.



Şekil 3.15. Üniversal test cihazı

Deney örnekleri 360×20×20 mm ölçülerinde olmak üzere 10'ar adet hazırlanmıştır. Mesnetler arası mesafe 300 mm olarak ayarlandıktan sonra, 3 nokta eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.16. Eğilme direnci deneyi düzeneği

Kırılma anındaki maksimum kuvvet (F_{max}) için eğilme direnci (σ_e) aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{3}{2} \times \frac{F \times L_s}{b \times h^2} \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte;

L_s = dayanaklar arası açıklık (mm),

b = örnek genişliği (mm),

h = örnek yüksekliği (mm) değerlerini ifade etmektedir.

Hesaplanan eğilme direnci sonuçlarının TS ISO 13061-3' de belirtilen %12 rutubet derecesine göre ayarlanması gerekmektedir. Bunun için de aşağıdaki formül ile hesaplama yapılmıştır.

$$\sigma_{b12} = \sigma_e [1 + \alpha (W - 12)] \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte;

σ_e = eğilme direnci,

α = rutubet miktarı için düzeltme faktörü,

W = hesaplanan rutubet miktarını ifade etmektedir.

3.2.2.6. Eğilmede elastikiyet modülü testi

Elastikiyet modülünün (E) belirlenmesinde ise, TS ISO 13061-3’de belirtilen esaslara göre aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$E = \frac{F \times Ls^3}{4 \times b \times h^3 \times f} \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte;

F = elastikiyet bölgedeki kuvvet (N),

Ls = dayanak açıklığı (mm),

f = eğilme miktarı (mm),

b = örnek genişliği (mm),

h = örnek yüksekliği (mm) değerlerini ifade etmektedir.

Hesaplanan eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarının TS ISO 13061-3’ de belirtilen %12 rutubet derecesine göre ayarlanması gerekmektedir. Bunun için de aşağıdaki formül ile hesaplama yapılmıştır.

$$E12 = \frac{E}{1 - \alpha (W - 12)} \quad (3.7)$$

Bu eşitlikte;

E = elastikiyet modülü (N/mm²),

α = rutubet miktarı için düzeltme faktörü,

W = hesaplanan rutubet miktarının ifade etmektedir.



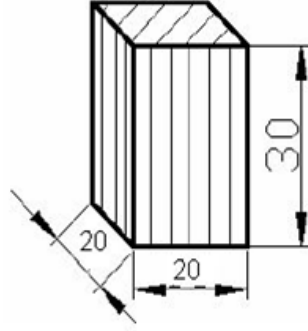
Şekil 3.17. Elastikiyet modülü test cihazı

3.2.2.7. Liflere dik ve paralel basınç direnci testleri

Basınç direnci testi, TS ISO 13061-17’de belirtilen esaslara göre 20×20×30 mm boyutlarında örnekler kullanılarak tespit edilmiştir. Şekil 3.18’de gösterilen MARESTEK marka universal test mekanizması, ezilmenin yükleme anından itibaren 1-2 dakika içinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde çalıştırılmıştır.



Şekil 3.18. Basınç direnci testi



Şekil 3.19. Liflere veya paralel basınç testi numune örneği (ölçüler mm)

Deneylerde ezilme anındaki kuvvet (F_{maxb}) ve örnek enine kesit alanı (A_b) için basınç direnci (σ_b) aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

$$\sigma_b = \frac{F}{A} \quad (3.8)$$

Bu eşitlikte;

F = kırılma anındaki maksimum kuvvet (N),

A = örneğin enine kesit alanı (mm^2) değerlerini ifade etmektedir.

Hesaplanan basınç direnci sonuçlarının TS ISO 13061-17’de belirtilen %12 rutubet derecesine göre ayarlanması gerekmektedir. Bunun için de aşağıdaki formül ile hesaplama yapılmıştır.

$$\sigma_{12} = \sigma_b [1 + \alpha (W - 12)] \quad (3.9)$$

Bu eşitlikte;

σ_b = basınç direnci (N/mm^2),

α = rutubet miktarı için düzeltme faktörü (0,05),

W = hesaplanan rutubet miktarının ifade etmektedir.

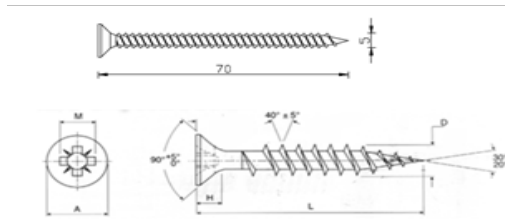
3.2.2.8. Radyal ve teğet yönde vida tutma mukavemeti testleri

Vida tutma mukavemeti testi, TS EN 320’de belirtilen esaslara göre 2 mm/dk. çekme hızı ile 5.000 Newton olacak şekilde şekil 3.20’de gösterilen MARESTEK marka universal test cihazında özel test düzeneği ile yapılmıştır.



Şekil 3.20. Vida tutma mukavemeti testleri

Şekil 3.21’de gösterilen testte kullanılan vida, test standartlarına uygun olarak, uzunluğu 70 mm, baş çapı 5 mm, kök çapı 3 mm, diş adımı 2.2 mm olan yıldız başlı vida kullanılmıştır.



Şekil 3.21. Test numunelerinde kullanılan vida görseli

Vidanın çıkma anında ölçülen maksimum kuvvet (F_{max}) ve vidanın girdiği örnek parçanın kalınlığı (t) olmak üzere vida tutma direnci (f) aşağıdaki formülден hesaplanmıştır.

$$f = \frac{F_{max}}{t} \quad (3.10)$$

3.2.2.9. ATR-FT-IR analizi

Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopi (FT-IR) cihazı ile test ve kontrol örneklerinin kurutma öncesinde ve sonrasında kimyasal analiz ölçümleri alınmıştır. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Kimya Bölümü laboratuvarında bulunan, şekil 3.22’de gösterilen THERMO marka cihaza uygun olarak, ATR aparatı kullanılarak ve örneklerde herhangi bir bozulmaya neden olmadan yüzeyden katı ölçüm yapılmıştır. Her örneğin spektrası 4 cm⁻¹ çözünürlükte ve uygun tarama aralığında alınmıştır. Örneklerin 5 farklı noktasından spektrum ölçümü alınacak ve her varyasyon için, cihazın programında spektrumların ortalaması hesaplanarak tek bir spektrum elde edilmiştir. Kurutma öncesinde ve sonrasında elde edilen iki spektrumun farkından faydalananarak odun yüzeyindeki kimyasal değişim incelenmiştir.

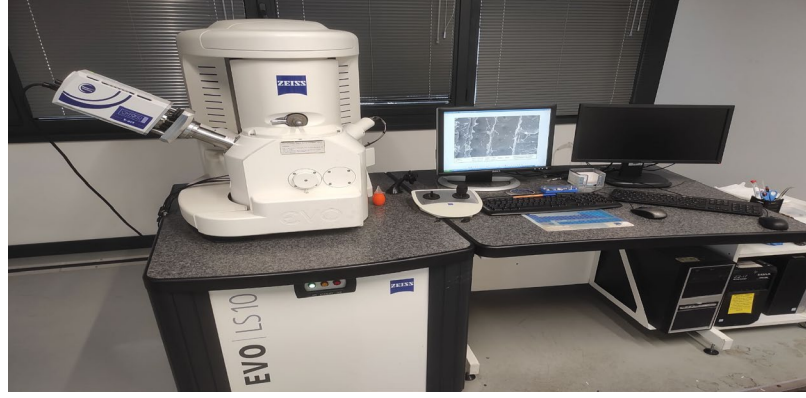


Şekil 3.22. ATR-FT-IR analiz cihazı

3.2.2.10. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) analizi

Hücre yapısında oluşan mikroskobik düzeydeki değişiklikleri belirleyebilmek amacıyla Karadeniz Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı’nda bulunan, şekil 3.23’de gösterilen ZEISS marka, EVO LS10 model taramalı elektron mikroskobundan yararlanılmıştır.

10×10×5 mm ölçülerinde hazırlanan kesiti alınmış numuneler, yalıtkan malzemelere uygulanan yöntemle altın elementi ile kaplanmış ve elektron mikroskopunda görüntüler elde edilmiştir.



Şekil 3.23. SEM analiz cihazı

3.3. İstatistiksel Değerlendirme

Çalışma kapsamında elde edilen tüm veriler; istatistiksel olarak ve %95 güven düzeyi esas alınarak analiz edilmiş ve faktörler arasındaki istatistiksel farklılık varyans analizi ile ortaya konulmuştur.

Elde edilen farklılıkların hangi faktörler arasında olduğunu belirlemek üzere de Duncan Testi uygulanmıştır.

4. TESTLER VE BULGULAR

4.1. Rutubet ve Yoğunluk Testleri Bulguları

Kızılçam ve doğu ladini odun numunelerin kurutma sonrası ölçülen sıcaklık ve çıkış rutubet dereceleri şekil 4.1’de verilmiştir.

Kurutma metodu	Kurutma süresi	Ölçülen sıcaklık (°C)	Çıkış rutubet oranı (%)
Etüv	24 saat	103	4
Mikrodalga	5 dakika	49	24
	10 dakika	94	12
	15 dakika	107	4
IR + MD	1 dk infrared ve 5 dakika MD	166 IR / 110 MD	14
	30 saniye infrared ve 5 dakika MD	144 IR / 95 MD	20
	30 saniye infrared ve 10 dakika MD	146 IR / 119 MD	6

Şekil 4.1. Kızılçam ve doğu ladini odun örneklerinin kurutma sonrası ölçülen sıcaklık ve rutubet değerleri

Kurutma sonrası ahşap deney numunelerinde ölçülen rutubet değerlerine bakıldığında; etüv ile 24 saat kurutma sonucunda %4 rutubet derecesine ulaşılmıştır. Mikrodalga ile kurutmada; 5 dakika kurutma sonucunda %24, 10 dakika kurutma

sonucunda %12 ve 15 dakika kurutma sonucunda da %4 rutubet derecesine ulaşılmıştır. İnfrared + mikrodalga kurutmada ise; 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga kurutma sonucunda %20, 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga kurutma sonucunda %14 ve 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga kurutma sonucunda da %6 rutubet derecesine ulaşılmıştır.

Ahşap numunelerin ayrıca ölçülen ağırlıkları, şekil 4.2 ve 4.3’de kurutma öncesi ve kurutma sonrası yaş ağırlık olarak verilmiştir.

Kurutma metodu	Süre	Çıkış rutubet oranı (%)	Kurutma öncesi (g)	Kurutma sonrası (g)
Etüv	24 saat	4	98,70	72,30
Mikrodalga	5 dk.	24	98,96	95,56
	10 dk.	12	98,28	77,14
	15 dk.	4	97,14	72,72
IR + MD	IR 1 dk. / MD 5 dk.	20	97,56	92,04
	IR 30 s / MD 5 dk.	14	97,04	78,90
	IR 30 s / MD 10 dk.	6	98,12	73,48

Şekil 4.2. Kızılçam odun örnekleri ağırlık ölçüm değerleri

Kurutma metodu	Süre	Çıkış rutubet oranı (%)	Kurutma öncesi (g)	Kurutma sonrası (g)
Etüv	24 saat	4	58,52	48,30
Mikrodalga	5 dk.	24	58,42	57,06
	10 dk.	12	57,36	53,90
	15 dk.	4	57,56	49,05
IR + MD	IR 1 dk. / MD 5 dk.	20	57,12	55,56
	IR 30 s / MD 5 dk.	14	59,06	54,58
	IR 30 s / MD 10 dk.	6	57,20	50,01

Şekil 4.3. Doğu ladini odun örnekleri ağırlık ölçüm değerleri

Kurutmaya bağlı olarak, en çok ağırlık kaybının sırasıyla, hem kızılçam odunu (72,30 g) hem de doğu ladini odunu (48,30 g) için etüv ile kurutma, 15 dakika mikrodalga ile kurutma (72,72 g – 49,05 g) ve 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga (73,48 g – 50,01 g) ile kurutma metodu ile kurutulan numunelerde olduğu anlaşılmıştır.

Kızılçam ve doğu ladini odun numunelerin hesaplanan ağırlık değerlerine göre yoğunluk bulguları şekil 4.4’te verilmiştir.

Kurutma metodu	Kurutma süresi	Çıkış rutubet oranı (%)	Kızılçam (gr/cm ³)	Doğu ladini (gr/cm ³)
Etüv	24 Saat	4	0,54	0,37
Mikrodalga	5 dk.	24	0,67	0,40
Mikrodalga	10 dk.	12	0,63	0,39
Mikrodalga	15 dk.	4	0,55	0,38
IR + MD	IR 30 s + MD 5 dk.	20	0,65	0,39
IR + MD	IR 1 dk. + MD 5 dk.	14	0,63	0,39
IR + MD	IR 30 s + MD 10 dk.	6	0,56	0,38

Şekil 4.4. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri yoğunluk değerleri

Kurutma sonrası ağırlık kaybı ile doğru orantılı olarak, yoğunluk değerlerinde düşüş olduğu görülmüştür.

Kızılçam odun numuneleri için hesaplanan yoğunluk değeri; etüv ile 24 saat kurutmadan sonra 0,54 g/cm³, mikrodalga 5 dakika ile kurutmadan sonra 0,67 g/cm³, 10 dakika kurutmadan sonra 0,63 g/cm³, 15 dakika kurutmadan sonra da 0,55 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. İnfrared + mikrodalga ile kurutmadan sonra ise; 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga kurutmadan sonra 0,65 g/cm³, 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga kurutmadan sonra 0,63 g/cm³, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga kurutmadan sonra da 0,56 g/cm³ olarak hesaplanmıştır.

Doğu ladini odun numuneleri için hesaplanan yoğunluk değeri; etüv ile 24 saat kurutmadan sonra 0,37 g/cm³, mikrodalga ile 5 dakika kurutmadan sonra 0,40 g/cm³, 10 dakika kurutmadan sonra 0,39 g/cm³, 15 dakika kurutmadan sonra 0,38 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. İnfrared + mikrodalga ile kurutmadan sonra ise; 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga kurutmadan sonra 0,39 g/cm³, 1 dakika infrared + 5

1 dakika mikrodalga kurutmadan sonra 0,39 g/cm³, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga kurutmadan sonra da 0,38 g/cm³ olarak hesaplanmıştır.

Bu bölüm için son olarak, kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri için hesaplanan rutubet değeri ölçümleri şekil 4.5’te verilmiştir.

Ağaç türü	Kurutma metodu	Kurutma süresi	Kızılçam	Standart sapma (%)
Kızılçam	Etüv	24 saat	4,35	3,17
	Mikrodalga	5 dakika	23,72	2,78
		10 dakika	12,41	2,90
		15 dakika	4,41	5,50
	IR + Mikrodalga	1 dakika - 5 dakika	14,14	4,11
		30 saniye - 5 dakika	20,44	5,23
		30 saniye - 10 dakika	6,16	5,19
Doğu ladini	Etüv	24 saat	4,36	1,66
	Mikrodalga	5 dakika	23,76	0,25
		10 dakika	12,42	0,96
		15 dakika	4,45	1,29
	IR + Mikrodalga	1 dakika - 5 dakika	14,15	0,77
		30 saniye - 5 dakika	20,21	3,73
		30 saniye - 10 dakika	6,30	2,61

Şekil 4.5. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri rutubet değerleri

Kurutma sonrası odun numunelerinin rutubet değerleri sonuçları incelendiğinde, kızılçam odun numunelerinin doğu ladini odun numunelerine göre daha düşük rutubet değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Kızılçam ve doğu ladini odun numunelerinin rutubet değerlerinin yüzdesel olarak dağılımı sırasıyla; etüvde %4,35-%4,36, 15 dakika mikrodalga ile kurutulan numunelerde %4,41-%4,45 ve 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutulan numunelerde de %6,16-%6,30 olduğu anlaşılmıştır.

Ağaç türü, kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörleri ile bu faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimleri için yapılan çoklu varyans analiz sonuçları çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı kurutma metodu ve kurutma süresine göre iki farklı ağaç türünün rutubet değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F hesap	Önem düzeyi (P)
Faktör A	211,482	1	213,643	11,475	0,001
Faktör B	152,215	2	76,107	10,698	0,001
Faktör C	885,286	6	147,547	8,838	0,001
A*B	33,988	2	16,994	0,859	0,428
A*C	77,570	6	12,928	0,676	0,659
B*C	189,260	3	63,086	3,387	0,032
A*B*C	1,441	1	1,441	0,076	0,653
Hata	1532,610	77	18,618		
Toplam	26546,349	100			

Faktör A: Ağaç türü (kızılçam, doğu ladini), Faktör B: Kurutma metodu (etüv, mikrodalga, infrared + mikrodalga), Faktör C: Kurutma süresi (24 saat, 5 dk., 10 dk., 15 dk., 30 s + 5dk., 1 dk + 5 dk., 30 s + 10dk.)

Varyans analizleri sonuçlarına göre; ağaç türü, kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörlerinin ve ikili etkileşimlerinin, rutubet değerleri üzerindeki etkileri $P < 0,05$ hata payı ile istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Çizelge 4.1’de hesaplanan F değerleri incelendiğinde, ağaç türü ana faktörünün rutubet değerlerine etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir. Ana faktörlerin ve ikili etkileşimlerin belirgin etkilerinin görülmesi açısından ana faktörlere ve eş zamanlı etkilere ilişkin Duncan karşılaştırma testleri yapılmıştır.

Kurutma metoduna göre rutubet değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kurutma metoduna göre rutubet değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma metodu	Ortalama (%)	Homojenlik grubu
Etüv	9,47	A*
Mikrodalga	13,27	B
IR + Mikrodalga	13,53	C

Duncan: 0,050 *En düşük rutubet değeri

Kurutma metodu rutubet değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan testi sonuçlarına göre; etüvde kurutulan numunelerin diğer kurutma metotlarına göre rutubet değerinin daha düşük çıktığı gözlenmiştir.

Homojenlik gruplarına göre; infrared + mikrodalga ile kurutma %13,53 değeri ile C grubu, mikrodalga ile kurutma %13,27 değeri ile B grubu ve etüv ise %9,47 değeri ile A grubu olarak, en düşük rutubet değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kurutma süresine göre rutubet değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kurutma süresine göre rutubet değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma süresi	Ortalama (%)	Homojenlik grubu
Etüv 24 saat	5,68	A*
MD 15 dakika	5,98	A
IR 30 saniye + MD 10 dakika	7,87	A

Duncan: 0,050 *En düşük rutubet değeri

Çizelge 4.3. (devam)

Kurutma süresi	Ortalama (%)	Homojenlik grubu
MD 10 dakika	13,01	B
IR 1 dakika + MD 5 dakika	14,14	B
IR 30 saniye + MD 5 dakika	20,49	C
MD 5 dakika	21,33	C

Duncan: 0,050 *En düşük rutubet değeri

Kurutma süresi rutubet değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçlarına göre; etüv 24 saat kurutulan numunelerin diğer kurutma sürelerine göre rutubet değerinin daha düşük çıktığı gözlenmiştir.

Homojenlik gruplarına göre; sırası ile %21,33 ve %20,49 değerleri ile 5 dakika mikrodalga ile kurutma ve 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutma C grubu, sırası ile %14,14 ve %13,01 değerleri ile 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutma ve 10 dakika mikrodalga ile kurutma B grubu, yine sırası ile %7,87, %5,98, %5,68 değerleri ile 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutma, 15 dakika mikrodalga ile kurutma ve etüv ile kurutma A grubu, ilaveten etüv ile kurutmanın da en düşük rutubet değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

4.2. Enerji Sarfıyatı Bulguları

Etüv ve mikrodalga ile kurutma enerji sarfıyatı ölçümleri sonucu ortaya çıkan toplam tüketim miktarları şekil 4.6'da verilmiştir.

Kurutma metodu	Kurutma süresi	Toplam tüketim (Kilowatt)	Çıkış rutubet oranları (%)
Etüv	24 saat	5.131	4
Mikrodalga	5 dakika	0.093	24
	10 dakika	0.237	12
	15 dakika	0.348	4

Şekil 4.6. Etüv ve mikrodalga kurutma enerji sarfiyatı karşılaştırma tablosu

Her iki yöntem içinde kurutma düzeneğine eşit sayıda parça yerleştirilmiştir. Çizelge 5.10’da verilen tüketim değerlerine göre en yüksek tüketim değerinin 5,131 KW (Kilowatt) ile etüv ile kurutmada, en düşük değer ise 0,093 KW ile 5 dakika mikrodalga ile kurutmada elde edildiği gözlenmiştir.

Etüv ile kurutmanın çıkış rutubet derecesi aynı olan 15 dakika mikrodalga kurutmaya göre %93 oranında daha fazla enerji tüketimi yaptığı görülmüştür.

4.3. Renk Değişimi Testi Bulguları

Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri için kurutma öncesi ve sonrası renk değişimleri aşağıdaki şekil 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.

Kurutma metodu	Süre	Kurutma öncesi			Kurutma sonrası			
		L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Etüv	24 saat	72,4	7,1	26,5	1,5	1,4	0,9	2,2
Mikrodalga	5 dk.	74,3	8,7	23,1	3,4	0,2	2,5	4,2
Mikrodalga	10 dk.	74,8	7,7	24,1	3,9	0,8	1,5	4,3
Mikrodalga	15 dk.	74,2	8,1	24,7	3,3	0,4	0,9	3,4

ΔL^* , Δa^* ve Δb^* , değerleri renklerin ilk hali (i) ile son hali (f), ΔE^* , renklerin L, a ve b yönlerinde meydana gelen toplam renk değişiklikleri

Şekil 4.7. Kızılçam odunu numuneleri renk ölçüm değerleri

Kurutma metodu	Süre	Kurutma öncesi			Kurutma sonrası			
		L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
IR+ MD	IR 30 s + MD 5 dk.	66,3	9,0	25,5	4,6	0,5	0,1	4,6
IR + MD	IR 1 dk. + MD 5 dk.	67,9	9,2	24,1	3,0	0,7	1,5	3,4
IR + MD	IR 30 s + MD 10 dk.	62,9	7,1	23,2	8,0	1,4	2,4	8,5

ΔL^* , Δa^* ve Δb^* , değerleri renklerin ilk hali (i) ile son hali (f), ΔE^* , renklerin L, a ve b yönlerinde meydana gelen toplam renk değişiklikleri

Şekil 4.7. (devam)

Şekil 4.7’de verilen kızılçam odunu renk değişim tablosuna göre; en çok renk değişiminin 8,5 değeri ile 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutulan numunelerde olduğu anlaşılmıştır. İkinci en büyük renk değişimin de 4,6 değeri ile 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutulan numunelerde olduğu görülmüştür. En az renk değişimi ise, 2,2 değeri ile etüv ile kurutulan numunelerde meydana gelmiştir.

Kurutma metodu	Süre	Kurutma öncesi			Kurutma sonrası			
		L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Etüv	24 saat	84,0	2,1	20,7	0,2	0,3	1,9	1,9
Mikrodalga	5 dk.	84,1	3,5	20,9	0,1	1,7	2,1	2,7
Mikrodalga	10 dk.	83,7	2,8	18,8	0,5	1,0	0,1	1,2
Mikrodalga	15 dk.	84,3	2,9	19,1	0,1	1,1	0,3	1,1

ΔL^* , Δa^* ve Δb^* , değerleri renklerin ilk hali (i) ile son hali (f), ΔE^* , renklerin L, a ve b yönlerinde meydana gelen toplam renk değişiklikleri

Şekil 4.8. Doğu ladini odunu numuneleri renk ölçüm değerleri

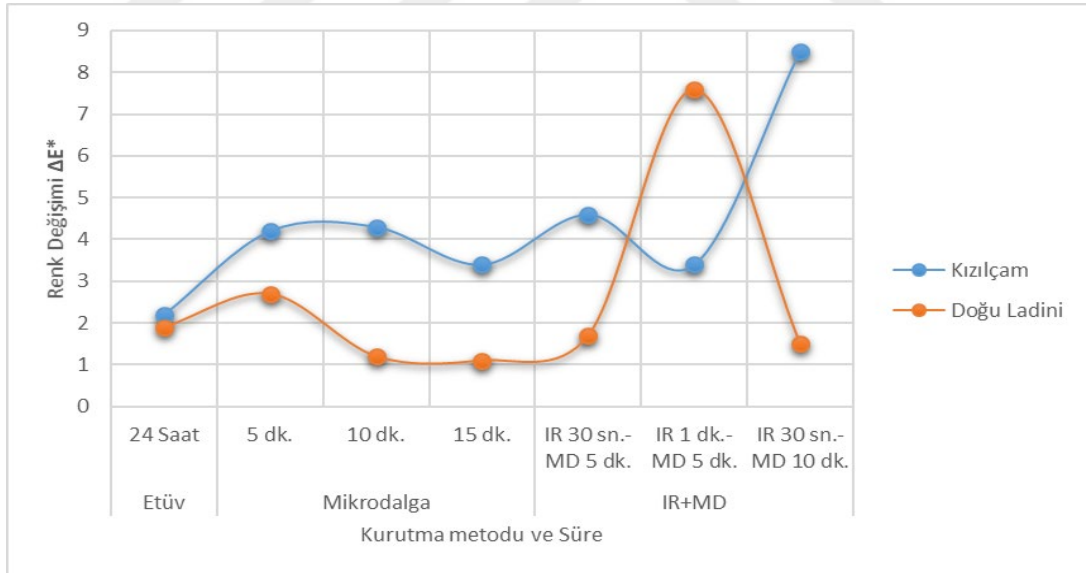
Kurutma metodu	Süre	Kurutma öncesi			Kurutma sonrası			
		L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
IR + MD	IR 30 s - MD 5 dk.	82,9	2,7	19,4	1,3	0,9	0,6	1,7
IR + MD	IR 1 dk. - MD 5 dk.	80,5	5,6	24,3	3,7	3,8	5,5	7,6
IR + MD	IR 30 s - MD 10 dk.	84,0	2,4	20,2	0,2	0,6	1,4	1,5

ΔL^* , Δa^* ve Δb^* , değerleri renklerin ilk hali (i) ile son hali (f), ΔE^* , renklerin L, a ve b yönlerinde meydana gelen toplam renk değişiklikleri

Şekil 4.8. (devam)

Doğu ladini odunu için şekil 4.8’de verilen renk değişim değerlerine bakıldığında; 7,6 değeri ile en çok renk değişimin 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutulan numunelerde meydana geldiği görülmüştür. En düşük renk değişiminin ise, 1,1 değeri ile 15 dakika mikrodalga ile kurutulan numunelerde olduğu görülmüştür.

Her iki ağaç türüne göre ikili karşılaştırması şekil 4.9’de verilmiştir.



Şekil 4.9. Kızılcām ve doğu ladini odun numuneleri renk ölçüm değerleri ikili karşılaştırması

Çizelgeye bakıldığında; etüvde kurutulan numunelerin renk değişimi değerlerinin birbirine yakın olduğu, diğer kurutma yöntemleri için ise farklılık gösterdiği

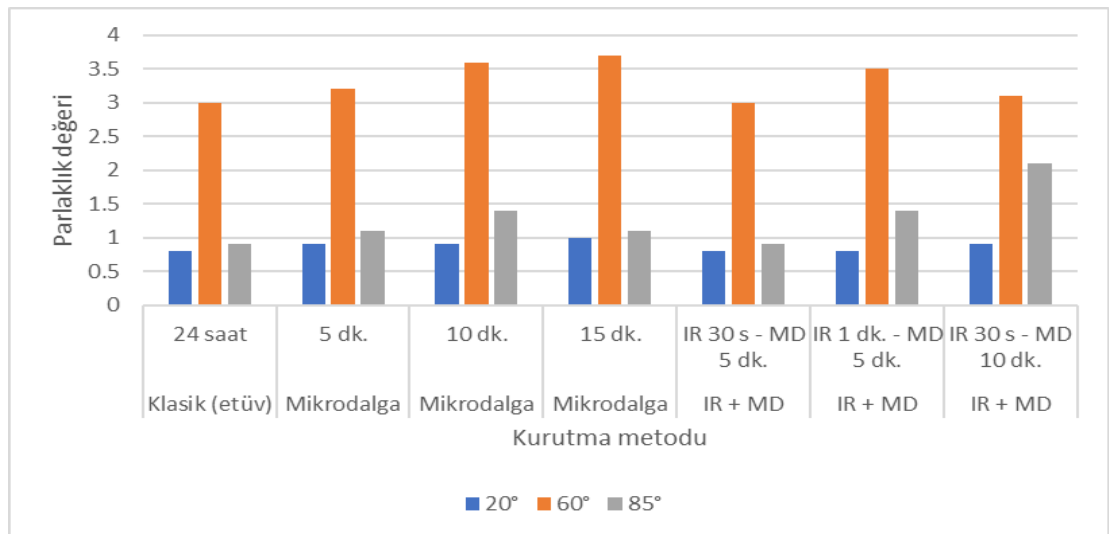
görülmüştür. En büyük renk değişimi farkının ise 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutulan numunelerde olduğu tespit edilmiştir.

4.4. Parlaklık Testi Bulguları

Kızılçam odunu numuneleri için, kurutma metodu, zaman ve 20°- 60°- 85° derece açılara göre ölçüm değerleri şekil 4.10'da ve ikili karşılaştırması da şekil 4.11'de verilmiştir.

Kurutma metodu	Zaman	20°	60°	85°
Etüv	24 saat	0,8	3,0	0,9
Mikrodalga	5 dk.	0,9	3,2	1,1
	10 dk.	0,9	3,6	1,4
	15 dk.	1,0	3,7	1,1
IR + MD	IR 30 s - MD 5 dk.	0,8	3,0	0,9
	IR 1 dk. - MD 5 dk.	0,8	3,5	1,4
	IR 30 s - MD 10 dk.	0,9	3,1	2,1

Şekil 4.10. Kızılçam odunu numuneleri parlaklık değerleri ölçümü



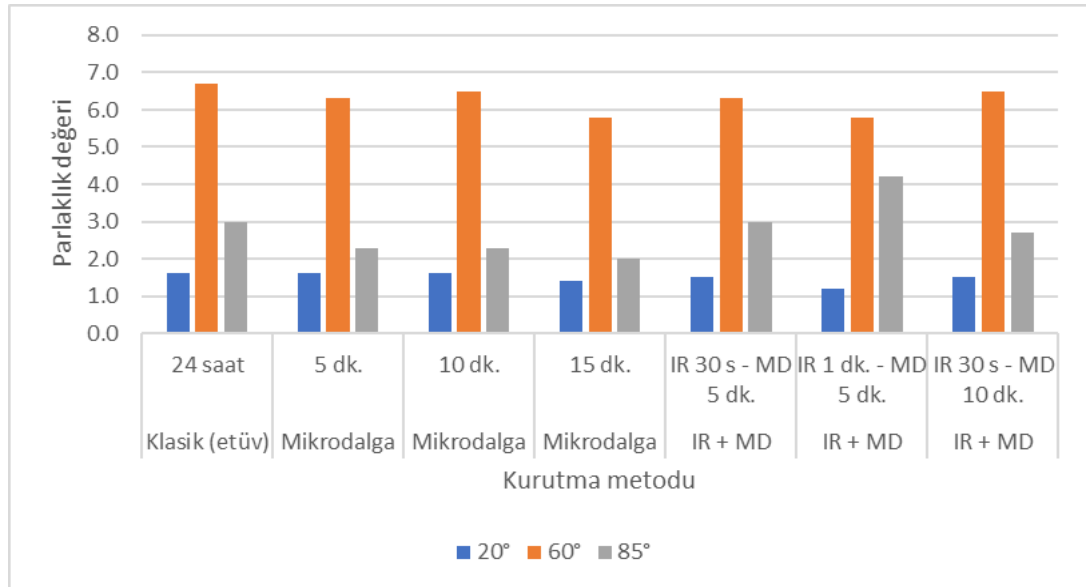
Şekil 4.11. Kızılçam odunu numuneleri parlaklık değerleri karşılaştırması

Kızılçam odun numuneleri için çizelgelere bakıldığında; parlaklık değerlerinin birbirine yakın olduğu, 20 derece ve 60 derece açılara göre sırasıyla 1,1 ve 3,7 ile 15 dakika mikrodalga ile kurutulan numunelerin en yüksek değeri verdiği görülmüştür. 85 derece açıya göre parlaklık ölçümünde ise 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutulan numunelerin en yüksek değeri verdiği görülmüştür.

Doğu ladini odunu numuneleri için de ölçüm değerleri şekil 4.12’de ve ikili karşılaştırması da şekil 4.13’de verilmiştir.

Kurutma metodu	Zaman	20°	60°	85°
Etüv	24 saat	1,6	6,7	3,0
Mikrodalga	5 dk.	1,6	6,3	2,3
	10 dk.	1,6	6,5	2,3
	15 dk.	1,4	5,8	2,0
	IR 30 s - MD 5 dk.	1,5	6,3	3,0
IR + MD	IR 1 dk. - MD 5 dk.	1,2	5,8	4,2
	IR 30 s - MD 10 dk.	1,5	6,5	2,7

Şekil 4.12. Doğu Ladini odunu numuneleri parlaklık değerleri ölçümü



Şekil 4.13. Doğu Ladini odunu numuneleri parlaklık değerleri karşılaştırması

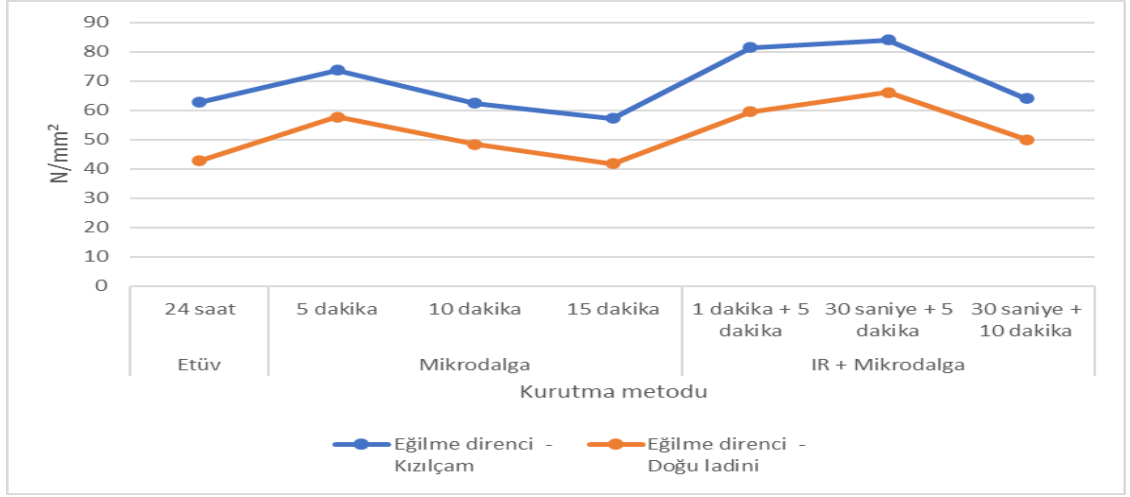
Doğu ladini odun numuneleri parlaklık değerleri için çizelgelere bakıldığında; değerlerin yine birbirine yakın olduğu, 20 derece için 10 dakika mikrodalga ile kurutulan numunelerin en yüksek değeri verdiği, 60 derece için klasik kurutma ile kurutulan numunelerin en yüksek değeri verdiği ve 85 derece için de 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutulan numunelerin en yüksek değeri verdiği görülmüştür.

4.5. Liflere Dik Eğilme Direnci Testi Bulguları

Kızılçam ve doğu ladini odun numunelerine ait liflere dik eğilme direnci sonuçları şekil 4.14’de ve ikili karşılaştırması da şekil 4.15’de verilmiştir.

Ağaç türü	Kurutma metodu	Kurutma süresi	Eğilme direnci (N/mm ²)	Standard sapma (%)
Kızılçam	Etüv	24 saat	62,78	2,70
	Mikrodalga	5 dakika	73,67	3,81
		10 dakika	62,42	2,24
		15 dakika	57,24	4,08
	IR + Mikrodalga	1 dakika + 5 dakika	81,51	3,03
		30 saniye + 5 dakika	84,10	3,68
		30 saniye + 10 dakika	64,09	3,19
Doğu ladini	Etüv	24 saat	52,78	3,03
	Mikrodalga	5 dakika	57,82	2,37
		10 dakika	48,34	2,23
		15 dakika	41,77	2,87
	IR + Mikrodalga	1 dakika + 5 dakika	59,48	2,74
		30 saniye + 5 dakika	66,09	1,59
		30 saniye + 10 dakika	50,03	3,51

Şekil 4.14. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri liflere dik eğilme direnci değerleri



Şekil 4.15. Kızılcām ve doğu ladini odun numuneleri liflere dik eğilme direnci ikili karşılaştırması

Kurutma testleri sonrası odun örneklerinin liflere dik eğilme direnci değerleri incelendiğinde, kızılçam (84,10 N/mm²) odununun, doğu ladini (66,09 N/mm²) odununa göre daha yüksek eğilme direnci değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

İnfrared 30 saniye + mikrodalga 5 dakika ile kurutulan örneklerin, diğer kurutma metotları ile kurutulan örneklerle kıyasla, daha yüksek liflere dik eğilme direncine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörleri ile bu faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimleri için yapılan çoklu varyans analiz sonuçları çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı kurutma metodu ve kurutma süresine göre iki farklı ağaç türünün liflere dik eğilme direncine etkisine ait varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F hesap	Önem düzeyi (P)
A	4,160,036	1	4,160,036	118,910	0,001
B	512,826	2	256,413	7,329	0,001
C	2,553,096	6	425,516	12,163	0,001
A*B	874,524	2	437,262	12,499	0,012
A*C	589,761	6	98,294	2,810	0,016
B*C	1,224,775	3	408,258	11,670	0,012
A*B*C	31,221	1	31,221	0,892	0,348
Hata	2,693,823	77	34,985		
Total	412,575,220	100			

Faktör A: Ağaç türü (kızılçam, doğu ladini), Faktör B: Kurutma metodu (etüv, mikrodalga, infrared + mikrodalga), Faktör C: Kurutma süresi (24 saat, 5 dk., 10 dk., 15 dk., 30s-5dk., 1 dk-5 dk., 30 s - 10dk.)

Varyans analizleri sonuçlarına göre; ağaç türü, kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörlerinin ve ikili etkileşimlerinin, liflere dik eğilme direnci değerleri üzerindeki etkileri $P < 0,05$ hata payı ile istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Çizelge 4.4’de hesaplanan F değerleri incelendiğinde, ağaç türü ana faktörünün liflere dik eğilme direncine etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir. Ana faktörlerin ve ikili etkileşimlerin belirgin etkilerinin görülmesi açısından ana faktörlere ve eş zamanlı etkilere ilişkin Duncan karşılaştırma testleri yapılmıştır.

Kurutma metoduna göre liflere dik yönde eğilme direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kurutma metoduna göre liflere dik eğilme direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma metodu	Ortalama (N/mm ²)	Homojenlik grubu
IR + Mikrodalga	69,55	A*
Etüv	58,80	B
Mikrodalga	56,57	B

Duncan: 0,050 *En yüksek eğilme direnci

Çizelge 4.5’de görüldüğü üzere; en yüksek liflere dik eğilme direnci 69,55 N/mm² ile IR + Mikrodalga ile kurutulan numunelerde elde edilmiş olup, en düşük liflere dik eğilme direnci 56,57 N/mm² ile mikrodalga ile kurutulan numunelerde elde edilmiştir. Liflere dik eğilme direnci kurutma metodu ana faktörü karşılaştırma sonuçlarına göre, etüv kurutma metodundan elde edilen veriler, mikrodalga kurutma metodundan elde edilen verilere göre %23 daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Kurutma süresine göre liflere dik yönde eğilme direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Kurutma süresine göre liflere dik eğilme direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma süresi	Ortalama (N/mm ²)	Homojenlik grubu
IR 30 saniye + MD 5 dakika	75,10	A*
IR 1 dakika + MD 5 dakika	70,49	A
MD 5 dakika	63,92	B
MD 10 dakika	56,55	C
IR 30 saniye + MD 10 dakika	56,52	C
Etüv 24 saat	55,09	C
MD 15 dakika	52,36	C

Duncan: 0,050 *En yüksek eğilme direnci

Çizelge 4.6’da görüldüğü üzere; en yüksek liflere dik eğilme direnci 75,10 N/mm² ile IR 30 saniye + MD 5 dakika ile kurutulan numunelerde elde edilmiş olup, en düşük elastikiyet modülü 52,36 N/mm² ile MD 15 dakika ile kurutulan numunelerde elde edilmiştir. Liflere dik eğilme direnci kurutma süresi ana faktörü karşılaştırma sonuçlarına göre, IR 30 saniye + MD 5 dakika ile kurutma süresinden elde edilen veriler, MD 15 dakika kurutma süresinden elde edilen verilere göre %43 daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Homojenlik gruplarına göre ise; sırası ile mikrodalga ile 15 dk kurutma 52,36 N/mm², etüv ile 24 saat kurutma 55,09 N/mm², infrared 30 saniye + mikrodalga ile 10 dakika kurutma 56,52 N/mm² ve mikrodalga ile 10 dakika kurutma 56,55 N/mm² değerleri ile C grubu, mikrodalga ile 5 dakika kurutma 63,92 N/mm² değeri ile B grubu, infrared 1 dakika + mikrodalga ile 5 dakika ile kurutma 70,49 N/mm² değeri ile A grubu ve son olarak da, 75,10 N/mm² değeri ile infrared 30 saniye + mikrodalga 5 dakika ile kurutma A grubu olduğu ve en yüksek liflere dik eğilme direncine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak şekil 4.14’deki liflere dik yönde eğilme direnci değerlerine göre; kızılçam odununun, doğu ladini odununa göre daha yüksek eğilme direnci değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Kurutmaya bağlı olarak liflere dik eğilme direncinin azaldığı tespit edilmiştir.

Kızılçam odunu örnekleri liflere dik eğilme direnci değerlerine bakıldığında; mikrodalga kurutma metodunda 10 dakika ile kurutmanın, 5 dakika ile kurutmaya göre %18, 15 dakika ile kurutmanın ise 10 dakika kurutmaya göre %9 düşük olduğu görülmüştür.

İnfrared + mikrodalga kurutma metoduna göre ise; 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmaya göre %3, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 1 dakika infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmaya göre liflere dik eğilme direncinde %27 düşük olduğu görülmüştür.

Doğu ladini odunu örnekleri liflere dik eğilme direnci değerlerine bakıldığında; mikrodalga kurutma metodunda 10 dakika ile kurutmanın, 5 dakika kurutmaya göre

%20, 15 dakika ile kurutmanın ise 10 dakika kurutmaya göre liflere dik eğilme direncinde %16 düşük olduğu görülmüştür.

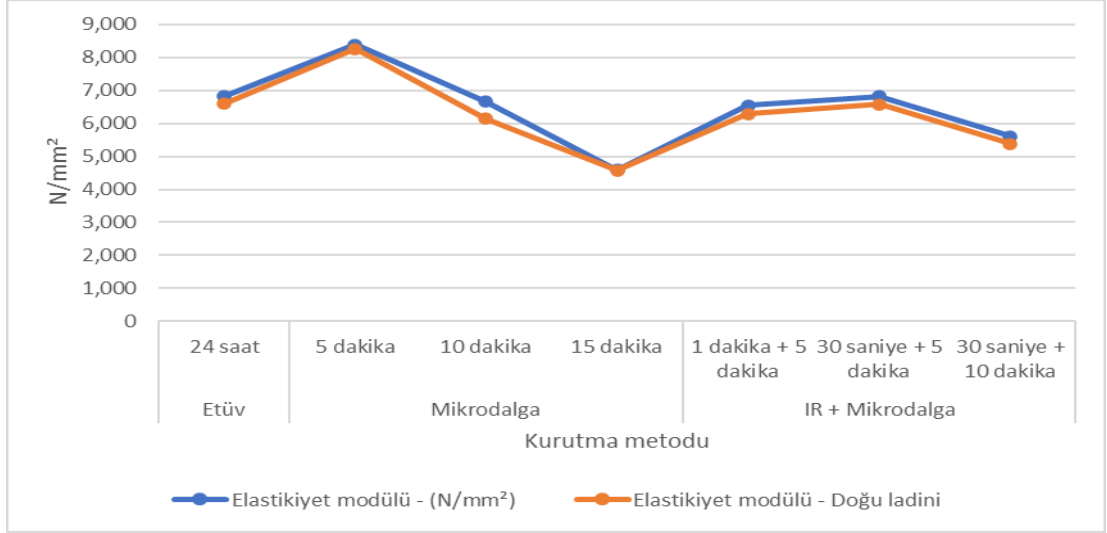
İnfrared + mikrodalga kurutma metoduna göre ise; 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmaya göre %11, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 1 dakika infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutma göre liflere dik eğilme direncinde %19 düşük olduğu görülmüştür.

4.6. Eğilmede Elastikiyet Modülü Testi Bulguları

Kızılçam ve doğu ladini odun numunelerine ait elastikiyet modülü sonuçları şekil 4.16’da ve ikili karşılaştırması da şekil 4.17’de verilmiştir.

Ağaç türü	Kurutma metodu	Kurutma süresi	Elastikiyet modülü (N/mm ²)	Standart sapma (%)
Kızılçam	Etüv	24 saat	6.820	2,86
	Mikrodalga	5 dakika	8.385	3,76
		10 dakika	6.664	2,41
		15 dakika	4.589	3,54
	IR + Mikrodalga	1 dakika + 5 dakika	6.548	3,96
		30 saniye + 5 dakika	6.830	3,85
		30 saniye + 10 dakika	5.604	3,57
Doğu ladini	Etüv	24 saat	6.594	3,98
	Mikrodalga	5 dakika	8.269	2,41
		10 dakika	6.141	2,82
		15 dakika	4.573	2,87
	IR + Mikrodalga	1 dakika + 5 dakika	6.287	3,32
		30 saniye + 5 dakika	6.580	3,83
		30 saniye + 10 dakika	5.376	3,54

Şekil 4.16. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri elastikiyet modülü ölçüm değerleri



Şekil 4.17. Kızılcām ve doğu ladini odun numuneleri elastikiyet modülü ikili karşılaştırması

Kurutma testleri sonrası odun numuneleri elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde; kızılcām (8.385 N/mm^2) odununun, doğu ladini (8.269 N/mm^2) odununa göre daha yüksek elastikiyet modülü değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Mikrodalga 5 dakika ile kurutulan örneklerin, diğer kurutma metotları ile kurutulan örneklere kıyasla daha yüksek elastikiyet modülü değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörleri ile bu faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimleri için yapılan çoklu varyans analiz sonuçları çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Farklı kurutma metodu ve kurutma süresine göre iki farklı ağaç türünün elastikiyet modülüne ait varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F hesap	Önem düzeyi (P)
A	872438,518	1	775438,508	3,193	0,001
B	2799673,521	2	942836,768	4,028	0,001
C	3249078,617	6	495513,106	1,980	0,001
A*B	284583,214	2	151181,607	0,569	0,589
A*C	734841,719	6	139155,120	0,561	0,854
B*C	365854,944	3	124518,315	0,506	0,529
A*B*C	23668,226	1	12768,226	0,055	0,725
Hata	181222109,945	77	211209,220		
Toplam	647242484,04	100			

Faktör A: Ağaç türü (kızılçam, doğu ladini), Faktör B: Kurutma metodu (etüv, mikrodalga, infrared + mikrodalga),.. Faktör C: Kurutma süresi (24 saat, 5 dk., 10 dk., 15 dk., 30 s - 5 dk., 1 dk - 5 dk., 30 s - 10 dk.)

Varyans analizleri sonuçlarına göre; ağaç türü, kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörlerinin ve ikili etkileşimlerinin, elastikiyet modülü değerleri üzerindeki etkileri $P < 0,05$ hata payı ile istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Çizelge 4.7’de hesaplanan F değerleri incelendiğinde, kurutma metodu ana faktörünün elastikiyet modülü etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir. Ana faktörlerin ve ikili etkileşimlerin belirgin etkilerinin görülmesi açısından ana faktörlere ve eş zamanlı etkilere ilişkin Duncan karşılaştırma testleri yapılmıştır.

Kurutma metoduna göre elastikiyet modülü değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kurutma metoduna göre elastikiyet modülü değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma metodu	Ortalama (N/mm ²)	Homojenlik grubu
Mikrodalga	7.246	A*
Etüv	6.807	B
IR + Mikrodalga	6.436	B

Duncan: 0,050 *En yüksek eğilme direnci

Çizelge 4.8’de görüldüğü üzere; en yüksek elastikiyet modülü 7.246 N/mm² ile mikrodalga ile kurutulan numunelerde elde edilmiş olup, en düşük elastikiyet modülü 6,436 N/mm² ile IR + Mikrodalga ile kurutulan numunelerde elde edilmiştir. Elastikiyet modülü kurutma metodu ana faktörü karşılaştırma sonuçlarına göre, mikrodalga ile kurutmada elde edilen veriler, IR + mikrodalga kurutma metodundan elde edilen verilere göre %13 daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Kurutma süresine göre elastikiyet modülü değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.9’de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kurutma süresine göre elastikiyet modülü değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma süresi	Ortalama (%)	Homojenlik grubu
MD 5 dakika	8.327	A*
Etüv 24 saat	6.772	B
IR 30 saniye + MD 5 dakika	6.705	B
IR 1 dakika + MD 5 dakika	6.418	B
MD 10 dakika	6.403	B
IR 30 saniye + MD 10 dakika	5.49	C
MD 15 dakika	4.581	D

Duncan: 0,050 *En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 4.9’da görüldüğü üzere; en yüksek elastikiyet modülü 8.327 N/mm^2 ile MD 5 dakika ile kurutulan numunelerde elde edilmiş olup, en düşük elastikiyet modülü 4.581 N/mm^2 ile MD 15 dakika ile kurutulan numunelerde elde edilmiştir. Elastikiyet modülü kurutma süresi ana faktörü karşılaştırma sonuçlarına göre, MD 5 dakika ile kurutma süresinden elde edilen veriler, MD 15 dakika kurutma süresinden elde edilen verilere göre %82 daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Homojenlik gruplarına göre ise; MD ile 15 dk kurutma 4.581 N/mm^2 değeri ile D grubu, IR 30 saniye + MD 10 dakika ile kurutma 5.490 N/mm^2 değeri ile C grubu, sırası ile 6.403 N/mm^2 değeri ile MD 10 dakika, 6.418 N/mm^2 değeri ile IR 1 dakika + MD 5 dakika, 6.705 N/mm^2 değeri ile IR 30 saniye + MD 5 dakika, 6.772 N/mm^2 değeri ile etüv ile 24 saat kurutmanın B grubu olduğu ve 8.327 N/mm^2 değeri ile MD 5 dakika ile kurutmanın da, A grubu olarak en yüksek elastikiyet modülü değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak şekil 4.16’daki elastikiyet modülü değerlerine göre; kızılçam odun numunelerin, doğu ladini odun numunelerine göre daha yüksek elastikiyet modülü değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Kurutmaya bağlı olarak elastikiyet modülü değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Kızılçam odunu örnekleri elastikiyet modülü değerlerine bakıldığında; mikrodalga kurutma metodunda 10 dakika ile kurutmanın, 5 dakika kurutmaya göre %26, 15 dakika ile kurutmanın ise 10 dakika kurutmaya göre %45 düşüş olduğu görülmüştür.

İnfrared + mikrodalga kurutma metoduna göre elastikiyet modülü değerlerinde ise; 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutma göre %4, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmanın ise, 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutma göre %17 düşüş gösterdiği görülmüştür.

Doğu ladini odunu örnekleri elastikiyet modülü değerlerine bakıldığında; mikrodalga kurutma metodunda 10 dakika ile kurutmanın, 5 dakika kurutmaya göre %35, 15 dakika ile kurutmanın ise 10 dakika kurutmaya göre %34 düşüş gösterdiği görülmüştür.

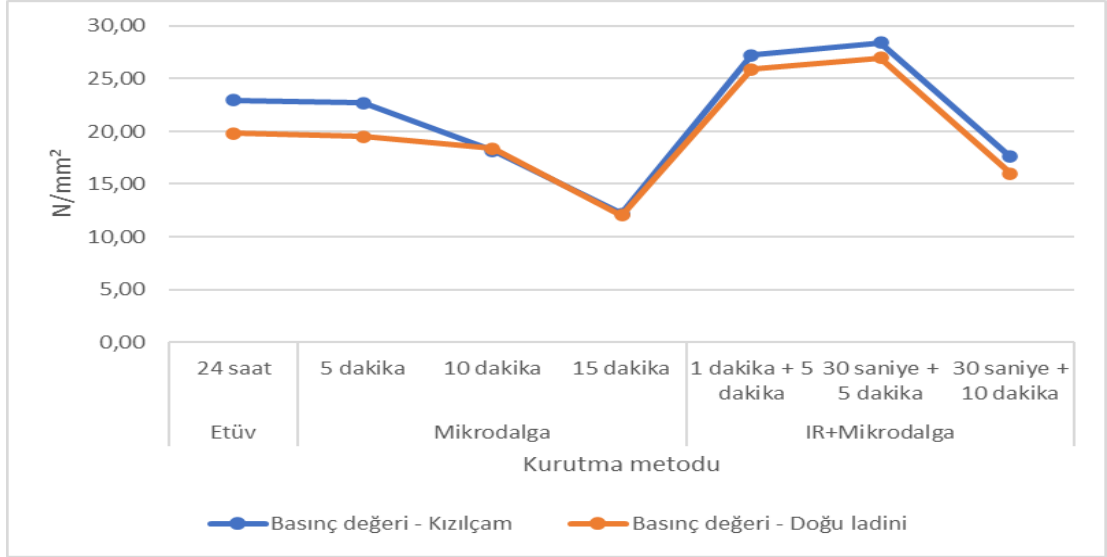
İnfrared + mikrodalga kurutma metoduna göre elastikiyet modülü değerlerinde ise; 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmaya göre %5, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmanın ise, 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmaya göre %17 düşüş gösterdiği görülmüştür.

4.7. Liflere Dik ve Paralel Basınç Direnci Testleri Bulguları

Kızılçam ve doğu ladini odun numunelerine ait liflere dik basınç direnci sonuçları şekil 4.18’de ve ikili karşılaştırması da şekil 4.19’da verilmiştir.

Ağaç türü	Kurutma metodu	Kurutma süresi	Basınç değeri (N/mm ²)	Standart sapma (%)
Kızılçam	Etüv	24 saat	22,97	1,72
	Mikrodalga	5 dakika	22,68	0,39
		10 dakika	18,15	1,50
		15 dakika	12,18	0,76
	IR + Mikrodalga	1 dakika + 5 dakika	27,23	1,69
		30 saniye + 5 dakika	28,44	1,54
		30 saniye + 10 dakika	17,62	1,26
Doğu ladini	Etüv	24 saat	19,82	1,59
	Mikrodalga	5 dakika	19,49	0,78
		10 dakika	18,39	1,23
		15 dakika	12,01	1,18
	IR + Mikrodalga	1 dakika + 5 dakika	25,89	1,55
		30 saniye + 5 dakika	26,99	0,79
		30 saniye + 10 dakika	15,99	0,77

Şekil 4.18. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri liflere dik basınç direnci ölçüm değerleri



Şekil 4.19. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri liflere dik basınç direnci ikili karşılaştırması

Kurutma testleri sonrası odun numuneleri liflere dik basınç direnci ölçüm değerleri incelendiğinde; kızılçam (28,44 N/mm²) odun numunelerin, doğu ladini (26,99 N/mm²) odun numunelerine göre daha yüksek basınç direnci değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

İnfrared 30 saniye + mikrodalga 5 dakika ile kurutulan numunelerin, diğer kurutma metotları ile kurutulan numunelere kıyasla daha yüksek liflere dik basınç direncine sahip olduğu belirlenmiştir.

Kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörleri ile bu faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimleri için yapılan çoklu varyans analiz sonuçları çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Farklı kurutma metodu ve kurutma süresine göre iki farklı ağaç türünün liflere dik basınç direncine etkisine ait varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F hesap	Önem düzeyi (P)
A	57,828	1	57,828	31,046	0,001
B	497,764	2	248,882	133,616	0,001
C	964,842	6	160,807	86,332	0,001
A*B	23,006	2	11,503	6,176	0,008
A*C	21,809	6	3,635	1,951	0,083
B*C	650,208	3	216,736	116,358	0,010
A*B*C	2,815	1	2,815	1,511	0,223
Hata	143,425	77	1,863		
Toplam	44728,659	100			

Faktör A: Ağaç türü (kızılçam, doğu ladini), Faktör B: Kurutma metodu (etüv, mikrodalga, infrared + mikrodalga), Faktör C: Kurutma süresi (24 saat, 5 dk., 10 dk., 15 dk., 30 s + 5 dk, 1 dk + 5 dk., 30 s + 10 dk.)

Varyans analizleri sonuçlarına göre; ağaç türü, kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörlerinin ve ikili etkileşimlerinin, liflere dik basınç direnci değerleri üzerindeki etkileri $P < 0,05$ hata payı ile istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Çizelge 4.10’da hesaplanan F değerleri incelendiğinde, kurutma metodu ana faktörünün liflere dik basınç direncine etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir. Ana faktörlerin ve ikili etkileşimlerin belirgin etkilerinin görülmesi açısından ana faktörlere ve eş zamanlı etkilere ilişkin Duncan karşılaştırma testleri yapılmıştır.

Kurutma metoduna göre liflere dik basınç direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Kurutma metoduna göre liflere dik basınç direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma metodu	Ortalama (N/mm ²)	Homojenlik grubu
IR + Mikrodalga	25,62	A*
Etüv	19,86	B
Mikrodalga	14,59	C

Duncan: 0,050 *En yüksek basınç direnci

Çizelge 4.11’de görüldüğü üzere; en yüksek liflere dik basınç direnci 25,62 N/mm² ile IR + Mikrodalga ile kurutulan numunelerde elde edilmiş olup, en düşük liflere dik basınç direnci 14,59 N/mm² ile mikrodalga ile kurutulan numunelerde elde edilmiştir. Liflere dik basınç direnci kurutma metodu ana faktörü karşılaştırma sonuçlarına göre, IR + Mikrodalga kurutma metodundan elde edilen veriler, mikrodalga kurutma metodundan elde edilen verilere göre %76 daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Kurutma süresine göre liflere dik basınç direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Kurutma süresine göre liflere dik basınç direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma süresi	Ortalama (N/mm ²)	Homojenlik grubu
IR 30 saniye + MD 5 dakika	28,71	A*
IR 1 dakika + MD 5 dakika	26,56	B
MD 5 dakika	20,72	C
Etüv 24 saat	20,53	C
IR 30 saniye + MD 10 dakika	16,77	D
MD 10 dakika	12,59	E
MD 15 dakika	10,62	F

Duncan: 0,050 *En yüksek basınç direnci

Çizelge 4.12’de görüldüğü üzere; en yüksek liflere dik basınç direnci 28,71 N/mm² ile IR 30 saniye + MD 5 dakika ile kurutulan numunelerde elde edilmiş olup, en düşük liflere dik basınç direnci 10,62 N/mm² ile MD 15 dakika ile kurutulan numunelerde elde edilmiştir. Liflere dik basınç direnci kurutma süresi ana faktörü karşılaştırma sonuçlarına göre, IR 30 saniye + MD 5 dakika ile kurutma süresinden elde edilen veriler, MD 15 dakika kurutma süresinden elde edilen verilere göre %170 daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Homojenlik gruplarına göre ise; mikrodalga ile 15 dk. kurutma 10,62 N/mm² değeri ile F grubu, mikrodalga ile 10 dk. kurutma 12,59 N/mm² değeri ile E grubu, IR 30 saniye + MD 10 dakika ile kurutma 16,77 N/mm² değeri ile D grubu, sırası ile etüv ile 24 saat kurutma 20,53 N/mm² değeri ve mikrodalga 5 dakika ile kurutma 20,72 N/mm² değerleri ile C grubu, IR 1 dakika + MD 5 dakika ile kurutma 26,56 N/mm² değeri ile B grubu ve IR 30 saniye + MD 5 dakika ile kurutma da 28,71 N/mm² değeri ile A grubu olarak en yüksek liflere dik basınç değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak şekil 4.18’deki liflere dik basınç direnci değerlerine göre; kızılçam odununun, doğu ladini odununa göre daha yüksek basınç direncine sahip olduğu görülmüştür.

Kurutmaya bağlı olarak liflere dik basınç direnci değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Kızılçam odunu numuneleri liflere dik basınç direnci değerlerine bakıldığında; mikrodalga ile kurutma metodunda, 10 dakika ile kurutmanın, 5 dakika kurutmaya göre %60, 15 dakika ile kurutmanın ise 10 dakika kurutmaya göre %54 azalma olduğu görülmüştür.

İnfrared + mikrodalga kurutma metoduna göre liflere dik basınç direnci değerlerinde ise; 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutma göre %12, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 1 dakika infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutma göre %55 düşüş olduğu görülmüştür.

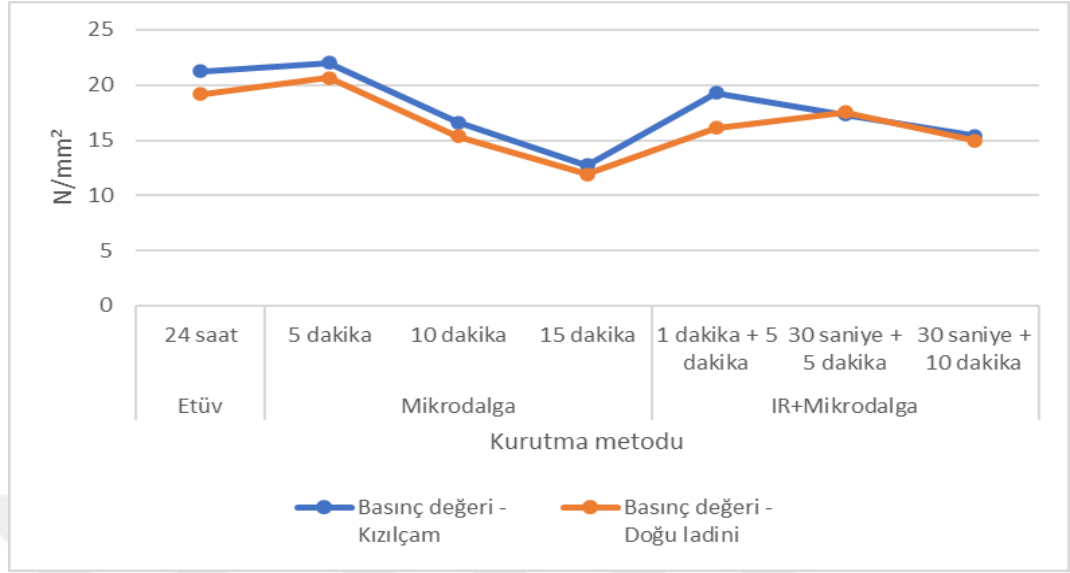
Doğu ladini odunu örnekleri liflere dik basınç direnci değerlerine bakıldığında; mikrodalga ile kurutma metodunda 10 dakika ile kurutmanın, 5 dakika kurutmaya göre %88, 15 dakika ile kurutmanın ise 10 dakika kurutmaya göre %15 düşüş olduğu görülmüştür.

İnfrared + mikrodalga kurutma metoduna göre liflere dik basınç direnci değerlerinde ise; 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutma göre %4, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 1 dakika infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutma göre %62 düşüş olduğu görülmüştür.

Liflere paralel olarak yapılan, kızılçam ve doğu ladini odun numunelerine ait basınç direnci sonuçları şekil 4.20’de ve ikili karşılaştırması da şekil 4.21’de verilmiştir.

Ağaç türü	Kurutma metodu	Kurutma süresi	Basınç değeri (N/mm ²)	Standard sapma (%)
Kızılçam	Etüv	24 saat	21,25	0,50
	Mikrodalga	5 dakika	21,99	2,40
		10 dakika	16,59	0,36
		15 dakika	12,73	0,41
	IR + Mikrodalga	1 dakika + 5 dakika	17,30	2,11
		30 saniye + 5 dakika	19,26	0,10
		30 saniye + 10 dakika	15,42	0,42
Doğu ladini	Etüv	24 saat	19,18	0,34
	Mikrodalga	5 dakika	20,64	0,49
		10 dakika	15,33	0,47
		15 dakika	11,94	0,76
	IR + Mikrodalga	1 dakika + 5 dakika	16,12	0,35
		30 saniye + 5 dakika	17,20	0,25
		30 saniye + 10 dakika	14,97	0,12

Şekil 4.20. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri liflere paralel basınç direnci ölçüm değerleri



Şekil 4.21. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri liflere paralel basınç direnci ikili karşılaştırması

Kurutma testleri sonrası odun numuneleri liflere paralel yönde basınç direnci değerleri incelendiğinde; kızılçam (21,99 N/mm²) odun numunelerinin, doğu ladini (20,64 N/mm²) odun numunelerine göre daha yüksek basınç direnci değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Mikrodalga 5 dakika ile kurutulan örneklerin, diğer kurutma metotları ile kurutulan örneklere kıyasla daha yüksek liflere paralel yönde basınç direncine sahip olduğu belirlenmiştir.

Kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörleri ile bu faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimleri için yapılan çoklu varyans analiz sonuçları çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Farklı kurutma metodu ve kurutma süresine göre iki farklı ağaç türünün liflere paralel basınç direncine etkisine ait varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F hesap	Önem düzeyi (P)
A	132,846	1	132,846	75,208	0,001
B	70,931	2	35,466	20,245	0,001
C	75,485	6	12,581	7,122	0,001
A*B	6,171	2	3,085	1,747	0,181
A*C	75,485	6	12,581	7,122	0,255
B*C	130,402	3	43,467	24,608	0,015
A*B*C	0,570	1	0,570	0,322	0,572
Hata	136,013	77	1,766		
Toplam	8370,762	100			

Faktör A: Ağaç türü (kızılçam, doğu ladini), Faktör B: Kurutma metodu (etüv, mikrodalga, infrared + mikrodalga),.. Faktör C: Kurutma süresi (24 saat, 5 dk., 10 dk., 15 dk., 30 s + 5 dk., 1 dk. + 5 dk., 30 s + 10 dk.)

Varyans analizleri sonuçlarına göre; ağaç türü, kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörlerinin ve ikili etkileşimlerinin, liflere paralel basınç direnci değerleri üzerindeki etkileri $P < 0,05$ hata payı ile istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Çizelge 4.13’de hesaplanan F değerleri incelendiğinde, ağaç türü ana faktörünün liflere paralel basınç direncine etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir. Ana faktörlerin ve ikili etkileşimlerin belirgin etkilerinin görülmesi açısından ana faktörlere ve eş zamanlı etkilere ilişkin Duncan karşılaştırma testleri yapılmıştır.

Kurutma metoduna göre liflere paralel yönde basınç direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Kurutma metoduna göre liflere paralel yönde basınç değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma metodu	Ortalama (N/mm ²)	Homojenlik grubu
Mikrodalga	17,46	A*
Etüv	16,54	B
IR + Mikrodalga	14,91	C

Duncan: 0,050 *En yüksek basınç direnci

Çizelge 4.14’de görüldüğü üzere; en yüksek liflere paralel basınç direnci 17,46 N/mm² ile mikrodalga ile kurutulan numunelerde elde edilmiş olup, en düşük liflere paralel basınç direnci 14,91 N/mm² ile IR + Mikrodalga ile kurutulan numunelerde elde edilmiştir. Liflere paralel basınç kurutma metodu ana faktörü karşılaştırma sonuçlarına göre, mikrodalga kurutma metodundan elde edilen veriler, IR + Mikrodalga kurutma metodundan elde edilen verilere göre %17 daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Kurutma süresine göre liflere paralel yönde basınç direnci değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Kurutma süresine göre liflere paralel yönde basınç değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma süresi	Ortalama (N/mm ²)	Homojenlik grubu
MD 5 dakika	25,05	A*
IR 30 saniye + MD 5 dakika	19,52	B
MD 10 dakika	18,23	C
Etüv 24 saat	17,71	DC
IR 1 dakika + MD 5 dakika	17,19	DC
MD 15 dakika	15,31	E
IR 30 saniye + MD 10 dakika	15,18	E

Duncan: 0,050 *En yüksek basınç değeri

Çizelge 4.15’de görüldüğü üzere; en yüksek liflere paralel basınç $25,05 \text{ N/mm}^2$ ile MD 5 dakika ile kurutulan numunelerde elde edilmiş olup, en düşük liflere paralel basınç değeri $15,18 \text{ N/mm}^2$ ile IR 30 saniye + MD 10 dakika ile kurutulan numunelerde elde edilmiştir. Liflere paralel basınç direnci kurutma süresi ana faktörü karşılaştırma sonuçlarına göre, MD 15 dakika ile kurutma süresinden elde edilen veriler, IR 30 saniye + MD 10 dakika kurutma süresinden elde edilen verilere göre %65 daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Homojenlik gruplarına göre ise; $15,18 \text{ N/mm}^2$ değeri ile IR 30 saniye + MD ile 10 dakika kurutma E grubu, mikrodalga ile 15 dakika kurutma $15,31 \text{ N/mm}^2$ değeri ile yine E grubu, sırası ile $17,19 \text{ N/mm}^2$ değeri ile IR 1 dakika + MD ile 5 dakika kurutma ve $17,71 \text{ N/mm}^2$ değeri ile etüv ile 24 saat kurutma DC grupları, $18,23 \text{ N/mm}^2$ değeri ile mikrodalga ile 10 dk kurutma C grubu, $19,52 \text{ N/mm}^2$ değeri IR 30 saniye + MD ile 5 dakika kurutma B grubu ve son olarak $25,05 \text{ N/mm}^2$ değeri ile de mikrodalga 5 dakika ile kurutma A grubu olarak en yüksek liflere paralel basınç değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak şekil 4.20’deki liflere paralel yönde basınç direnci değerlerine göre; kızılçam odununun, doğu ladini odununa göre daha yüksek basınç direnci değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Kurutmaya bağlı olarak liflere paralel basınç direnci değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Kızılçam odunu örnekleri liflere paralel basınç direnci değerlerine bakıldığında; mikrodalga kurutma metodunda 10 dakika ile kurutmanın, 5 dakika kurutmaya göre %28, 15 dakika ile kurutmanın ise 10 dakika kurutmaya göre %30 düşüş olduğu görülmüştür.

İnfrared + mikrodalga kurutma metoduna göre liflere paralel basınç direnci değerlerinde ise; 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmaya göre %11, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 1 dakika infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmaya göre %12 düşüş olduğu görülmüştür.

Doğu ladini odunu örnekleri liflere paralel basınç direnci değerlerine bakıldığında; mikrodalga kurutma metodunda 10 dakika ile kurutmanın, 5 dakika kurutmaya göre

%25, 15 dakika kurutmanın ise 10 dakika kurutmaya göre %28 azalma olduğu görülmüştür.

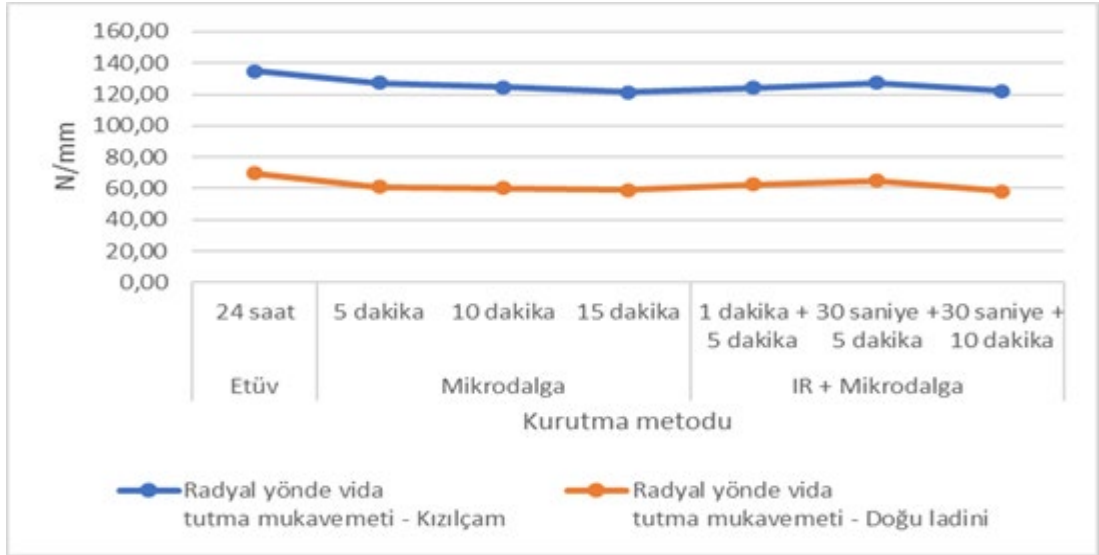
İnfrared + mikrodalga kurutma metoduna göre liflere paralel basınç direnci değerlerinde ise; 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 30 saniye infrared + 5 dakika ile mikrodalga kurutmaya göre %7, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 1 dakika infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmaya göre %8 düşüş olduğu görülmüştür.

4.8. Radyal ve Teğet Yönde Vida Tutma Mukavemeti Testleri Bulguları

Kızılçam ve doğu ladini odun numunelerine ait radyal yönde vida tutma mukavemeti sonuçları şekil 4.22’de ve ikili karşılaştırması da şekil 4.23’de verilmiştir.

Ağaç türü	Kurutma metodu	Kurutma süresi	Radyal yönde vida tutma mukavemeti (N/mm)	Standart sapma (%)
Kızılçam	Etüv	24 saat	134,78	3,39
		5 dakika	127,30	0,31
	Mikrodalga	10 dakika	124,58	0,88
		15 dakika	121,53	0,80
	IR + Mikrodalga	1 dakika + 5 dakika	124,19	3,49
		30 saniye + 5 dakika	127,45	0,81
		30 saniye + 10 dakika	122,29	1,08
	Doğu ladini	24 saat	69,63	0,78
		5 dakika	61,12	2,42
Doğu ladini	Mikrodalga	10 dakika	60,33	3,03
		15 dakika	59,06	1,61
	IR + Mikrodalga	1 dakika + 5 dakika	62,69	1,88
		30 saniye + 5 dakika	64,94	3,95
		30 saniye + 10 dakika	58,19	0,52

Şekil 4.22. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri radyal yönde vida tutma mukavemeti ölçüm değerleri



Şekil 4.23. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri radyal yönde vida tutma mukavemeti ikili karşılaştırması

Kurutma testleri sonrası odun numuneleri radyal yönde vida tutma mukavemet değerleri incelendiğinde; kızılçam (134,78 N/mm) odun numunelerinin, doğu ladini (69,63 N/mm) odun numunelerine göre daha yüksek vida tutma mukavemeti değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Etüv ile kurutulan örneklerin, diğer kurutma metotları ile kurutulan örneklere kıyasla daha yüksek vida tutma mukavemeti değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörleri ile bu faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimleri için yapılan çoklu varyans analiz sonuçları çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Farklı kurutma metodu ve kurutma süresine göre iki farklı ağaç türünün radyal yönde vida tutma mukavemetine etkisine ait varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F hesap	Önem düzeyi (P)
A	68273,542	1	68273,542	400,085	0,001
B	41654,290	2	20827,145	226,064	0,001
C	254,744	6	42,457,333	0,373	0,001
A*B	7457,481	2	3728,741	20,236	0,010
A*C	3656,584	6	609,431	3,307	0,006
B*C	56,190	3	18,730	0,102	0,959
A*B*C	0,844	1	0,844	0,005	0,946
Hata	14187,939	77	184,259		
Toplam	959826,093	100			

Faktör A: Ağaç türü (kızılçam, doğu ladini), Faktör B: Kurutma metodu (etüv, mikrodalga, infrared + mikrodalga),.. Faktör C: Kurutma süresi (24 saat, 5 dk., 10 dk., 15 dk., 30 s + 5 dk., 1 dk. + 5 dk., 30 s + 10 dk.)

Varyans analizleri sonuçlarına göre, ağaç türü, kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörlerinin ve ikili etkileşimlerinin, radyal yönde vida tutma mukavemeti değerleri üzerindeki etkileri $P < 0,05$ hata payı ile istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Çizelge 4.16’da hesaplanan F değerleri incelendiğinde, ağaç türü ana faktörünün radyal yönde vida tutma mukavemeti etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir. Ana faktörlerin ve ikili etkileşimlerin belirgin etkilerinin görülmesi açısından ana faktörlere ve eş zamanlı etkilere ilişkin Duncan karşılaştırma testleri yapılmıştır.

Kurutma metoduna göre radyal yönde vida tutma mukavemeti değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Kurutma metoduna göre radyal yönde vida tutma mukavemeti değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma metodu	Ortalama (N/mm)	Homojenlik grubu
Etüv	102,21	A*
IR + Mikrodalga	93,29	BC
Mikrodalga	92,32	BC

Duncan: 0,050 *En yüksek vida tutma mukavemet değeri

Çizelge 4.17’de görüldüğü üzere; en yüksek radyal yönde vida tutuma mukavemeti 102,21 N/mm ile etüv ile kurutulan numunelerde elde edilmiş olup, en düşük radyal yönde vida tutuma mukavemeti 92,32 N/mm ile mikrodalga ile kurutulan numunelerde elde edilmiştir. Radyal yönde vida tutuma mukavemeti kurutma metodu ana faktörü karşılaştırma sonuçlarına göre, etüv kurutma metodundan elde edilen veriler, mikrodalga kurutma metodundan elde edilen verilere göre %11 daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Kurutma süresine göre radyal yönde vida tutma mukavemeti değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Kurutma süresine göre radyal yönde vida tutma mukavemeti değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma süresi	Ortalama (N/mm)	Homojenlik grubu
Etüv 24 saat	102,15	A*
IR 30 saniye + MD 5 dakika	96,20	B
MD 5 dakika	94,21	B
IR 1 dakika + MD 5 dakika	93,44	B
MD 10 dakika	92,45	B
MD 15 dakika	90,29	B
IR 30 saniye + MD 10 dakika	90,24	B

Duncan: 0,050 *En yüksek vida tutma mukavemet değeri

Çizelge 4.18’de görüldüğü üzere; en yüksek radyal yönde vida tutma mukavemeti 102,15 N/mm ile etüv 24 saat ile kurutulan numunelerde elde edilmiş olup, en düşük elastikiyet modülü 90,24 N/mm ile IR 30 saniye + MD 10 dakika ile kurutulan numunelerde elde edilmiştir. Radyal vida tutma mukavemeti kurutma süresi ana faktörü karşılaştırma sonuçlarına göre, etüv 24 saat ile kurutma süresinden elde edilen veriler, IR 30 saniye + MD 10 dakika kurutma süresinden elde edilen verilere göre %13 daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Homojenlik gruplarına göre ise; tüm kurutma sürelerinin sırası ile 90,24 N/mm, 90,29 N/mm, 92,45 N/mm, 93,44 N/mm, 94,21 N/mm, 96,20 N/mm değerleri ile B grubu olduğu sadece etüvle 24 saat ile kurutmanın 102,15 N/mm değeri ile A grubu olduğu ve onun da en yüksek radyal yönde vida mukavemet değerine sahip olduğu anlaşılmıştır.

Sonuç olarak şekil 4.22’deki radyal yönde vida tutma mukavemeti değerlerine bakıldığında; kızılçam odununun doğu ladini odununa göre daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Kurutmaya bağlı olarak radyal yönde vida tutma mukavemet değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Kızılçam odunu numuneleri radyal yönde vida tutma mukavemet değerlerine bakıldığında; mikrodalga kurutma metodunda 5 dakika ile kurutmanın, 10 dakika kurutmaya göre %2, 10 dakika ile kurutmanın ise 15 dakika kurutmaya göre mukavemet değerlerinde %3 düşüş olduğu görülmüştür.

İnfrared + mikrodalga kurutma metoduna göre radyal yönde vida tutma mukavemet değerlerinde ise; 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutma göre %3, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmanın ise 1 dakika infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmaya göre mukavemet değerlerinde %2 düşüş olduğu görülmüştür.

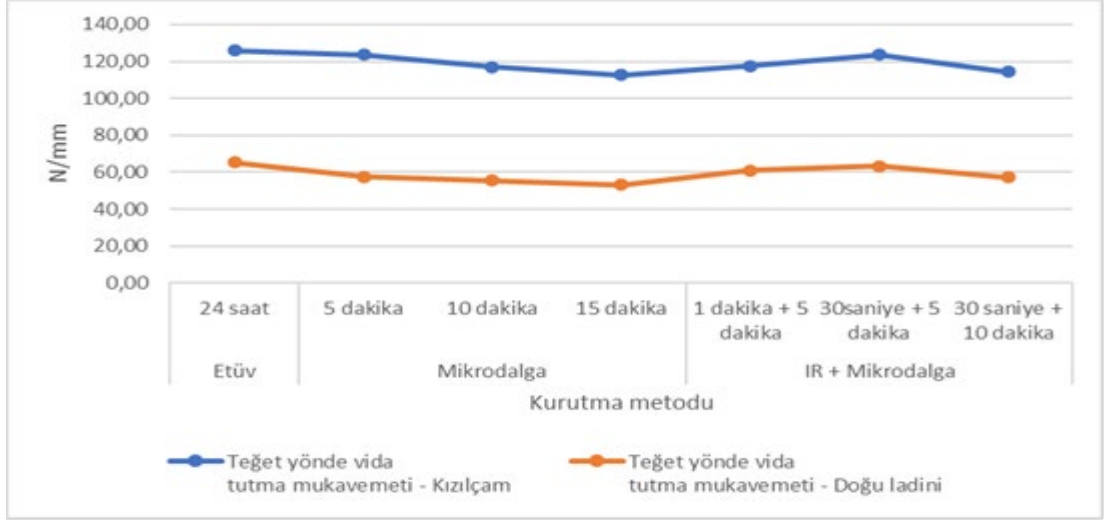
Doğu ladini odunu numunelerinin radyal yönde vida tutma mukavemet değerlerine bakıldığında; mikrodalga kurutma metodunda 5 dakika ile kurutmanın, 10 dakika kurutmaya göre %1, 10 dakika ile kurutmanın ise 15 dakika kurutmaya göre mukavemet değerlerinde %2 düşüş olduğu görülmüştür.

İnfrared + mikrodalga kurutma metoduna göre radyal yönde vida tutma mukavemet değerlerinde ise; 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmaya göre %4, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmanın ise 1 dakika infrared + 10 dakika mikrodalga kurutmaya göre mukavemet değerlerinde %8 düşüş olduğu görülmüştür.

Teğet yönde yapılan, kızılçam ve doğu ladini odun numunelerine ait vida tutma mukavemeti sonuçları şekil 4.24’de ve ikili karşılaştırması da şekil 4.25’de verilmiştir.

Ağaç türü	Kurutma metodu	Kurutma süresi	Teğet yönde vida tutma mukavemeti (N/mm)	Standard sapma (%)
Kızılçam	Etüv	24 saat	125,96	1,10
	Mikrodalga	5 dakika	123,58	1,47
		10 dakika	117,06	1,44
		15 dakika	112,68	1,34
	IR + Mikrodalga	1 dakika + 5 dakika	117,63	4,94
		30 saniye + 5 dakika	123,51	3,29
		30 saniye + 10 dakika	114,46	1,60
Doğu ladini	Etüv	24 saat	65,14	2,56
	Mikrodalga	5 dakika	57,39	2,38
		10 dakika	55,43	4,10
		15 dakika	53,15	4,77
	IR + Mikrodalga	1 dakika + 5 dakika	60,92	3,66
		30 saniye + 5 dakika	63,37	4,30
		30 saniye + 10 dakika	57,09	5,15

Şekil 4.24. Kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri teğet yönde vida tutma mukavemeti ölçüm değerleri



Şekil 4.25. Kızılcām ve doğu ladini odun numuneleri teğet yönde vida tutma mukavemeti ikili karşılaştırması

Kurutma testleri sonrası odun numuneleri teğet yönde vida tutma mukavemet değerleri incelendiğinde; kızılcām (125,96 N/mm) odun numunelerin, doğu ladini (65,14 N/mm) odun numunelerine göre daha yüksek vida tutma mukavemet değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Etüv ile kurutulan örneklerin, diğer kurutma metotları ile kurutulan örneklere kıyasla daha yüksek teğet yönde vida tutma mukavemet değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörleri ile bu faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimleri için yapılan çoklu varyans analiz sonuçları çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Farklı kurutma metodu ve kurutma süresine göre iki farklı ağaç türünün teğet yönde vida tutma mukavemetine etkisine ait varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F hesap	Önem düzeyi (P)
A	60248,181	1	60248,181	392,848	0,001
B	55,610	2	27,805	0,171	0,001
C	488,513	6	122,128	0,796	0,001
A*B	6335,946	2	3167,973	19,535	0,010
A*C	133,553	4	33,388	0,218	0,928
B*C	90,547	3	30,182	0,186	0,906
A*B*C	2,586	1	2,586	0,16	0,900
Hata	12486,866	77	162,167		
Toplam	865482,874	100			

Faktör A: Ağaç türü (kızılçam, doğu ladini), Faktör B: Kurutma metodu (etüv, mikrodalga, infrared + mikrodalga), Faktör C: Kurutma süresi (24 saat, 5 dk., 10 dk., 15 dk., 30 s - 5dk., 1 dk. + 5 dk., 30 s + 10 dk.)

Varyans analizleri sonuçlarına göre, ağaç türü, kurutma metodu ve kurutma süresi ana faktörlerinin ve ikili etkileşimlerinin, teğet yönde vida mukavemeti değerleri üzerindeki etkileri $P < 0,05$ hata payı ile istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Çizelge 4.19’da hesaplanan F değerleri incelendiğinde, ağaç türü ana faktörünün teğet yönde vida tutma mukavemeti etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir. Ana faktörlerin ve ikili etkileşimlerin belirgin etkilerinin görülmesi açısından ana faktörlere ve eş zamanlı etkilere ilişkin Duncan karşılaştırma testleri yapılmıştır.

Kurutma metoduna göre teğet yönde vida tutma mukavemeti değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Kurutma metoduna göre teğet yönde vida tutma mukavemeti değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma metodu	Ortalama (N/mm)	Homojenlik grubu
Etüv	95,55	A*
IR + Mikrodalga	89,50	B
Mikrodalga	87,05	B

Duncan: 0,050 *En yüksek vida tutma mukavemet değeri

Çizelge 4.20’de görüldüğü üzere; en yüksek teğet yönde vida tutuma mukavemeti 95,55 N/mm ile etüv ile kurutulan numunelerde elde edilmiş olup, en düşük teğet yönde vida tutuma mukavemeti 87,05 N/mm ile mikrodalga ile kurutulan numunelerde elde edilmiştir. Teğet yönde vida tutuma mukavemeti kurutma metodu ana faktörü karşılaştırma sonuçlarına göre, etüv kurutma metodundan elde edilen veriler, mikrodalga kurutma metodundan elde edilen verilere göre %10 daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Kurutma süresine göre teğet yönde vida tutma mukavemeti değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma Duncan Testi sonuçları çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Kurutma süresine göre teğet yönde vida tutma mukavemeti değerleri ile ilgili ikili karşılaştırma testi sonuçları

Kurutma süresi	Ortalama (N/mm)	Homojenlik grubu
Etüv 24 saat	95,55	A*
IR 30 saniye + MD 5 dakika	93,44	B
MD 5 dakika	90,49	B
IR 1 dakika + MD 5 dakika	89,27	B
MD 10 dakika	86,24	B
IR 30 saniye + MD 10 dakika	85,78	B
MD 15 dakika	84,41	B

Duncan: 0,050 *En yüksek vida tutma mukavemet değeri

Çizelge 4.21’de görüldüğü üzere; en yüksek teğet yönde vida tutma mukavemeti 95,55 N/mm ile etüv 24 saat ile kurutulan numunelerde elde edilmiş olup, en düşük teğet yönde vida tutma mukavemeti 84,41 N/mm ile MD 15 dakika ile kurutulan numunelerde elde edilmiştir. Teğet yönde vida tutma mukavemet kurutma süresi ana faktörü karşılaştırma sonuçlarına göre, etüv 24 saat ile kurutma süresinden elde edilen veriler, MD 15 dakika kurutma süresinden elde edilen verilere göre %13 daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Homojenlik gruplarına göre ise; tüm kurutma sürelerinin, 84,41 N/mm, 85,78 N/mm, 86,24 N/mm, 89,27 N/mm, 90,49 N/mm, 93,44 N/mm, 95,55 N/mm mukavemet değerleri ile B grubu olduğu sadece etüvle 24 saat ile kurutmanın 95,55 N/mm mukavemet değeri ile A grubu olduğu ve onun da en yüksek teğet yönde vida mukavemet değerine sahip olduğu anlaşılmıştır.

Sonuç olarak şekil 4.24’deki teğet yönde vida tutma mukavemeti değerlerine bakıldığında; kızılçam odununun doğu ladini odununa göre daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Kurutmaya bağlı olarak vida tutma mukavemet değerlerinin teğet yönde de azaldığı tespit edilmiştir.

Kızılçam odunu örnekleri teğet yönde vida tutma mukavemet değerlerine bakıldığında; mikrodalga kurutma metodunda 5 dakika ile kurutmanın, 10 dakika kurutmaya göre %6, 10 dakika ile kurutmanın ise 15 dakika kurutmaya göre mukavemet değerlerinde %4 düşük olduğu görülmüştür.

İnfrared + mikrodalga kurutma metoduna göre teğet yönde vida tutma mukavemet değerlerinde ise; 1 dakika infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmanın, 30 saniye infrared + 5 dakika mikrodalga ile kurutmaya göre %5, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmanın ise, 1 dakika infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutmaya göre mukavemet değerlerinde %3 düşüş olduğu görülmüştür.

Doğu ladini odunu örnekleri teğet yönde vida tutma mukavemet değerlerine bakıldığında; mikrodalga kurutma metodunda 5 dakika ile kurutmanın, 10 dakika kurutmaya göre %4, 10 dakika ile kurutmanın ise 15 dakika kurutmaya göre mukavemet değerlerinde %4 düşük olduğu görülmüştür.

bağlı absorpsiyon piki 2023 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir. 1636 cm⁻¹ bandında gözlenen pik C-O grubundan kaynaklanmaktadır. 1508 cm⁻¹ bandında gözlenen pik ligninin C-H deformasyonundan kaynaklanmaktadır. 1422 cm⁻¹ bandında gözlenen pik selülozdaki C-H titreşiminden kaynaklanmaktadır. 1262 cm⁻¹ bandında gözlenen pik lignindeki guasil grubundan kaynaklanmaktadır.

15 dakika mikrodalga ile kurutulan kızılçam odunu numunesi incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3293 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2925 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2159 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir.

5 dakika mikrodalga ile kurutulan kızılçam odunu numunesi incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3332 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2159 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2029 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir. 1658-1509 cm⁻¹ bandında gözlenen pikler aromatik yapıdaki C=C bağlarını göstermektedir. 1029 cm⁻¹ bandında gözlenen pik π bağlı karbonlara bağlı hidrojenler (=C-H) nedeniyle gözlenmiştir.

Etüv ile kurutulan kızılçam odunu numunesi incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3337 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2158 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2023 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir. 1656-1508 cm⁻¹ bandında gözlenen pikler aromatik yapıdaki C=C bağlarını göstermektedir. 1028 cm⁻¹ bandında gözlenen pik π bağlı karbonlara bağlı hidrojenler (=C-H) nedeniyle gözlenmiştir.

10 dakika mikrodalga ile kurutulan kızılçam odunu numunesi incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 2925 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2856 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2534 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir.

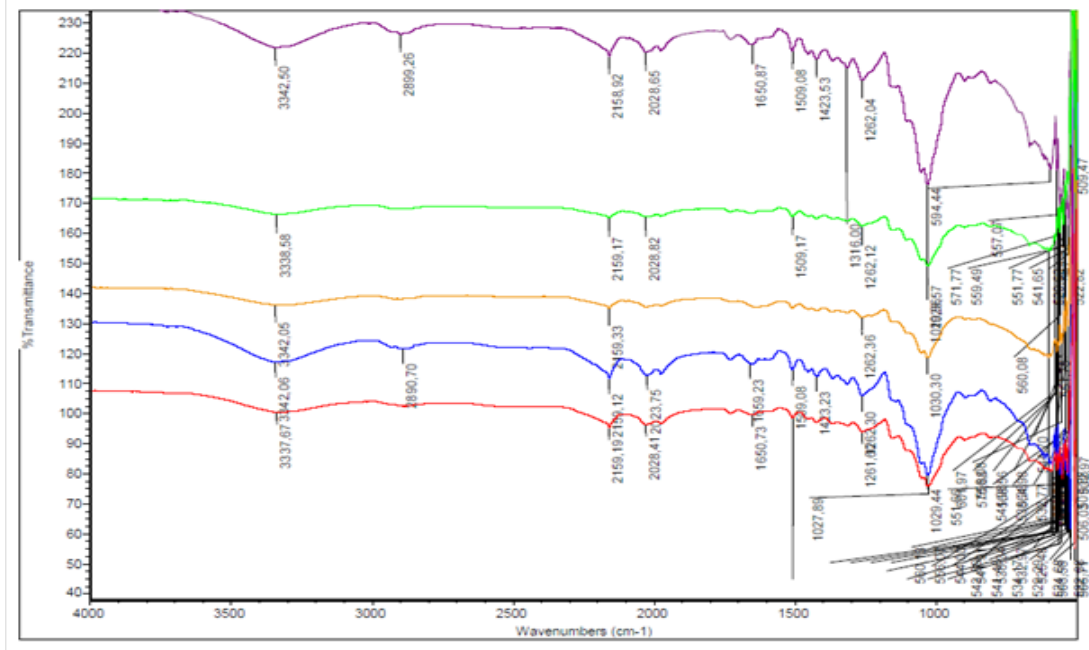
Etüv, infrared + mikrodalga ile kurutulan kızılçam ahşap numunelerin ATR-FT-IR spektrum grafikleri şekil 4.27’de verilmiştir.

IR 30 saniye + MD 10 dakika mikrodalga ile kurutulan kızılçam odunu numunesi incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3341 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2854 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2159 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir.

IR 1 dakika + MD 5 dakika ile kurutulan kızılçam odunu numunesi incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3338 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2901 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2159 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir.

Etüv ile kurutulan kızılçam odunu numunesi incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3337 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2159 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2029 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir. 1656-1509 cm⁻¹ bandında gözlenen pikler aromatik yapıdaki C=C bağlarını göstermektedir. 1029 cm⁻¹ bandında gözlenen pik π bağlı karbonlara bağlı hidrojenler (=C-H) nedeniyle gözlenmiştir.

Etüv ve mikrodalga ile kurutulan doğu ladini ahşap numuneleri grubuna ait ATR-FT-IR spektrum grafikleri şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28. Doğu ladini etüv ve mikrodalga ile kurutma grubu ATR-FT-IR spektrum grafikleri

(Mor: 10 dk. mikrodalga ile kurutulan, Açık yeşil: 15 dk. mikrodalga ile kurutulan, Turuncu: Doğu ladini odunu, Lacivert: 5 dk. mikrodalga ile kurutulan, Kırmızı: Etüv ile kurutulan)

Şekil 4.28’de verilen 10 dakika mikrodalga ile kurutulan doğu ladini odunu numunesi incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3342 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2899 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2158 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir.

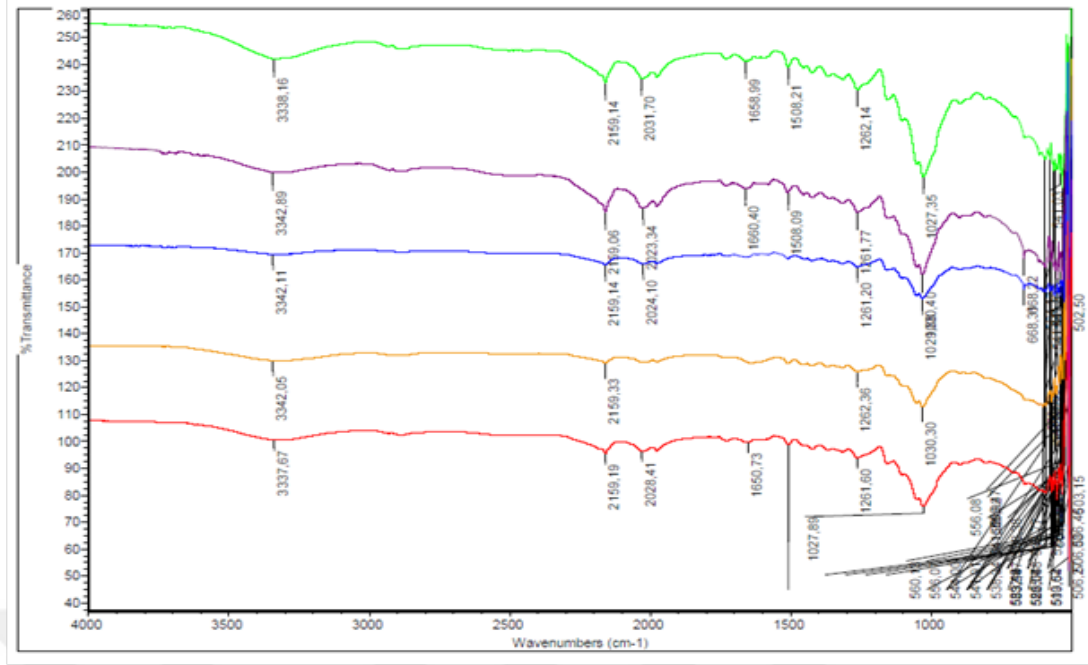
15 dakika mikrodalga ile kurutulan doğu ladini odunu numunesi incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3338 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2159 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2028 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir.

Doğu ladini odununun spektrumu incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3342 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2159 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 1977 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir. 1262 cm⁻¹ bandında gözlenen pik C-O grubundan kaynaklanmaktadır. 1030 cm⁻¹ bandında gözlenen pik ligninin C-H deformasyonundan kaynaklanmaktadır.

5 dakika mikrodalga ile kurutulan doğu ladini odunu numunesi incelendiğinde, hidrojene bağlı OH gerilme piki 3342 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2890 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2159 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir. 2023-1659 cm⁻¹ bandında gözlenen pikler aromatik yapıdaki C=C bağlarını göstermektedir. 1423 cm⁻¹ bandında gözlenen pik π bağlı karbonlara bağlı hidrojenler (=C-H) nedeniyle gözlenmiştir.

Etüv ile kurutulan doğu ladini odunu numunesi incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3337 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2159 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2028 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir. 1650-1261 cm⁻¹ bandında gözlenen pikler aromatik yapıdaki C=C bağlarını göstermektedir.

Etüv ve infrared + mikrodalga ile kurutulan doğu ladini ahşap numuneleri grubuna ait ATR-FT-IR spektrum grafikleri şekil 4.29’da verilmiştir.



Şekil 4.29. Doğu ladini etüv ve infrared + mikrodalga ile kurutma grubu ATR-FT-IR spektrum grafikleri

(Açık Yeşil: IR 30 s + MD 5 dk. mikrodalga ile kurutulan, Mor: UR 30 s + MD 10 dk. mikrodalga ile kurutulan, Lacivert: UR 1 dk. + MD 5 dk. mikrodalga ile kurutulan, Turuncu: Doğu ladini odunu Kırmızı: Etüv ile kurutulan)

Şekil 4.29’da verilen IR 30 saniye + MD 5 dakika ile kurutulan doğu ladini odunu numunesi spektrumu incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3338 cm⁻¹, CH gerilme piki 2159 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2031 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir. 1658-1508 cm⁻¹ bandında gözlenen pikler aromatik yapıdaki C=C bağlarını göstermektedir. 1027 cm⁻¹ bandında gözlenen pik π bağlı karbonlara bağlı hidrojenler (=C-H) nedeniyle gözlenmiştir.

IR 30 saniye + MD 10 dakika ile kurutulan doğu ladini odunu numunesi incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3342 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2159 cm⁻¹ ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2023 cm⁻¹ bandında gözlenmiştir.

IR 1 dakika + MD 5 dakika ile kurutulan doğu ladini odunu numunesi incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3342 cm⁻¹, -CH gerilme piki 2159

cm-1 ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2024 cm-1 bandında gözlenmiştir.

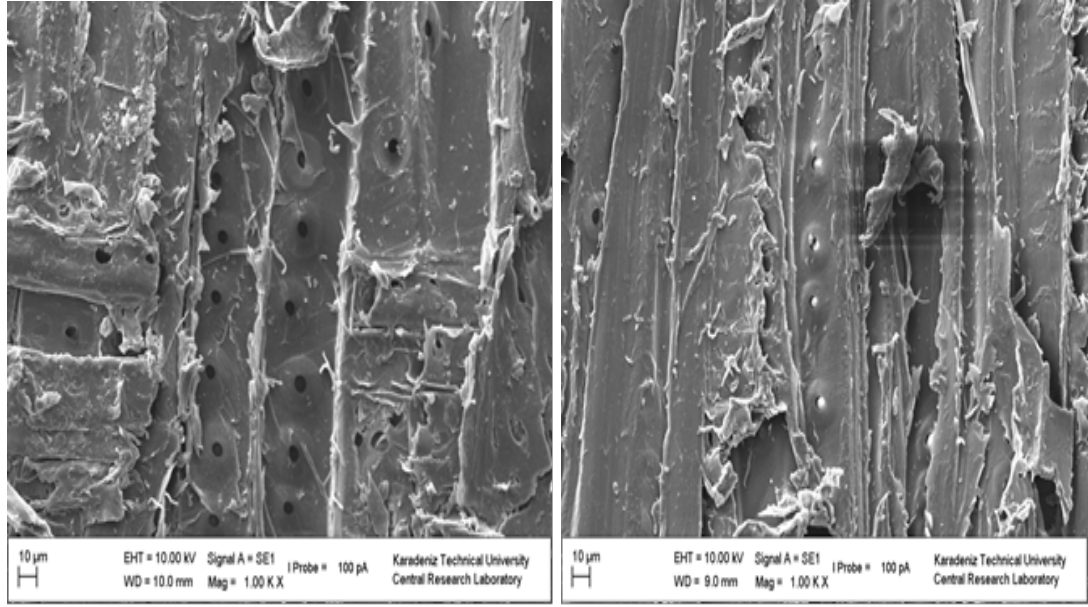
Doğu ladini odununun spektrumu incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3342 cm-1, -CH gerilme piki 2159 cm-1 ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 1262 cm-1 bandında gözlenmiştir. 1030 cm-1 bandında gözlenen pik C-O grubundan kaynaklanmaktadır.

Etüv ile kurutulan doğu ladini odunu numunesi incelendiğinde; hidrojene bağlı OH gerilme piki 3337 cm-1, -CH gerilme piki 2159 cm-1 ve C=O karbonil grubuna bağlı absorpsiyon piki 2028 cm-1 bandında gözlenmiştir. 1650-1261 cm-1 bandında gözlenen pikler aromatik yapıdaki C=C bağlarını göstermektedir.

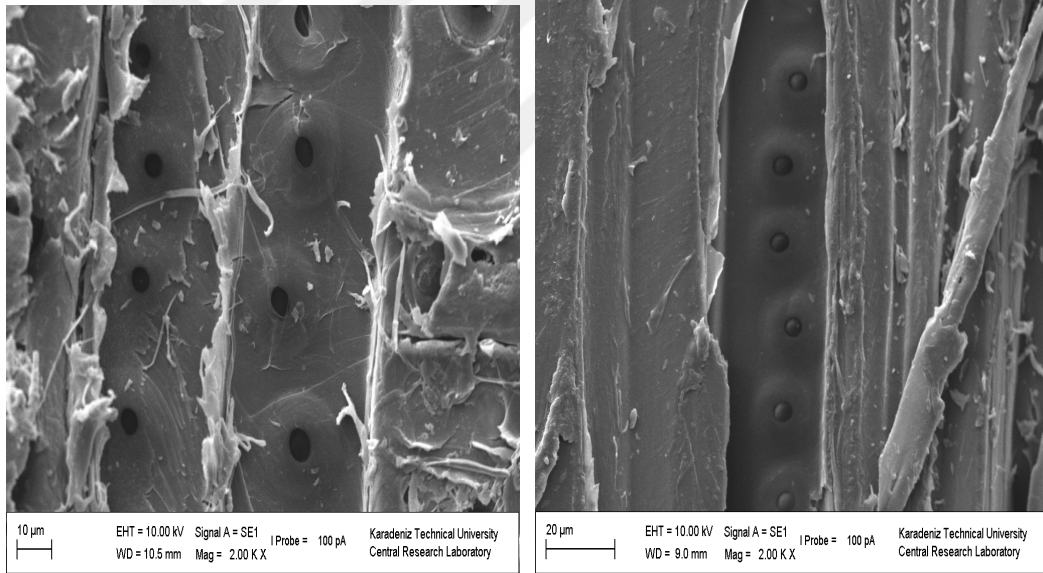
Sonuç olarak ATR-FT-IR spektrum grafiklerine bakıldığında; lignin, hemiselüloz ve selüloz değerlerinde düşüş olduğu ve bununda mekanik değerlerdeki düşüşe sebep olduğu düşünölmektedir.

4.10. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizi Bulguları

Uygulanan kurutma metotlarının kenarlı geçitlerde meydana getirdiği değişimleri analiz edebilmek için, kızılçam ve doğu ladini odun numunelerinin radyal kesitlerinden SEM görüntüleri alınmıştır. Etüv ile kurutulan numunelerin ×1000 görüntüleri şekil 4.30'da ve ×2000 görüntüleri de şekil 4.31'de verilmiştir. Mikrodalga ile kurutulan numunelerin ×1000 görüntüleri şekil 4.32'de ve ×2000 görüntüleri de şekil 4.33'de verilmiştir. İnfrared + mikrodalga ile kurutulan numunelerin ×1000 görüntüleri şekil 4.34'de ve ×2000 görüntüleri de şekil 4.35'de verilmiştir.



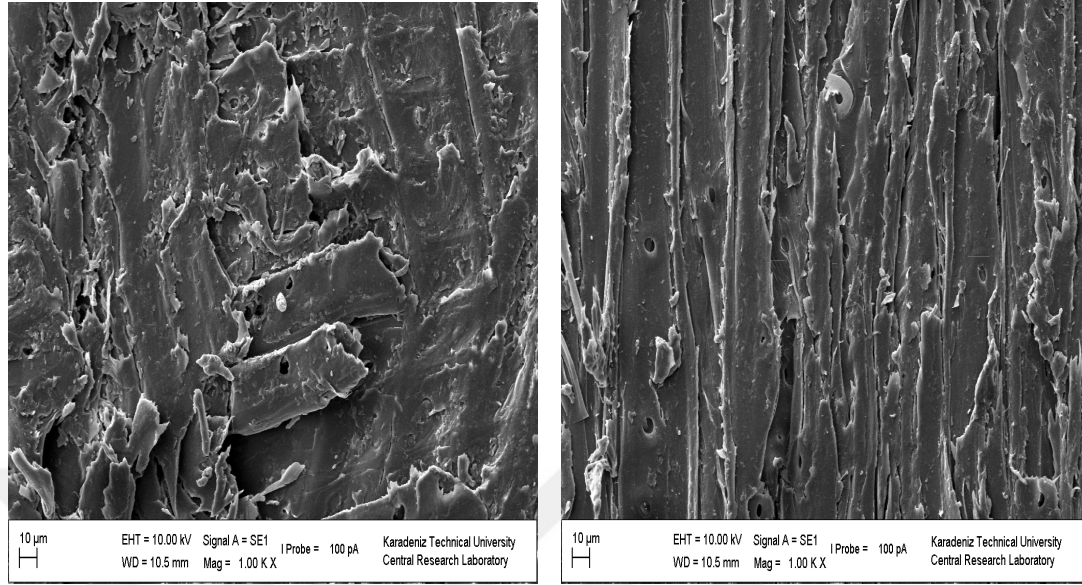
Şekil 4.30. Etüv ile kurutulan odun numunelerinin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) Kızılçam odunu ($\times 1000$) b) Doğu ladini odunu ($\times 1000$)



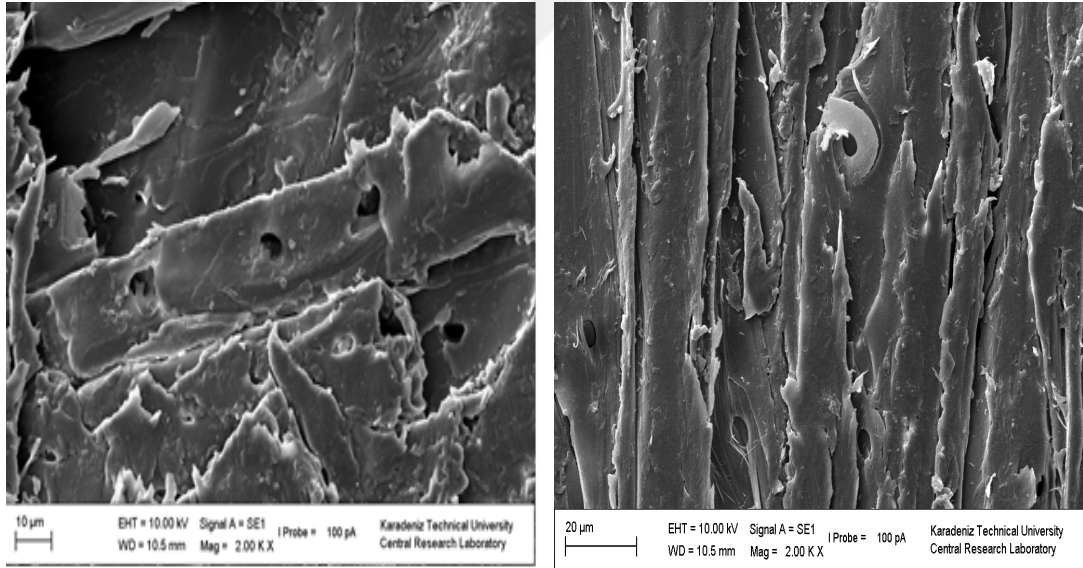
Şekil 4.31. Etüv ile kurutulan odun numunelerinin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) Kızılçam odunu ($\times 2000$) b) Doğu ladini odunu ($\times 2000$)

Etüv ile kurutulan odun numunelerinin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntülerine bakıldığında, radyal yöndeki sıvı transferinde önemli rolü olan

kenarlı geçitlerin bazılarının aspirasyona uğradığı ve geçit ağızlarının sıvı geçişine izin vermeyecek düzeyde kapandığı görülmektedir.



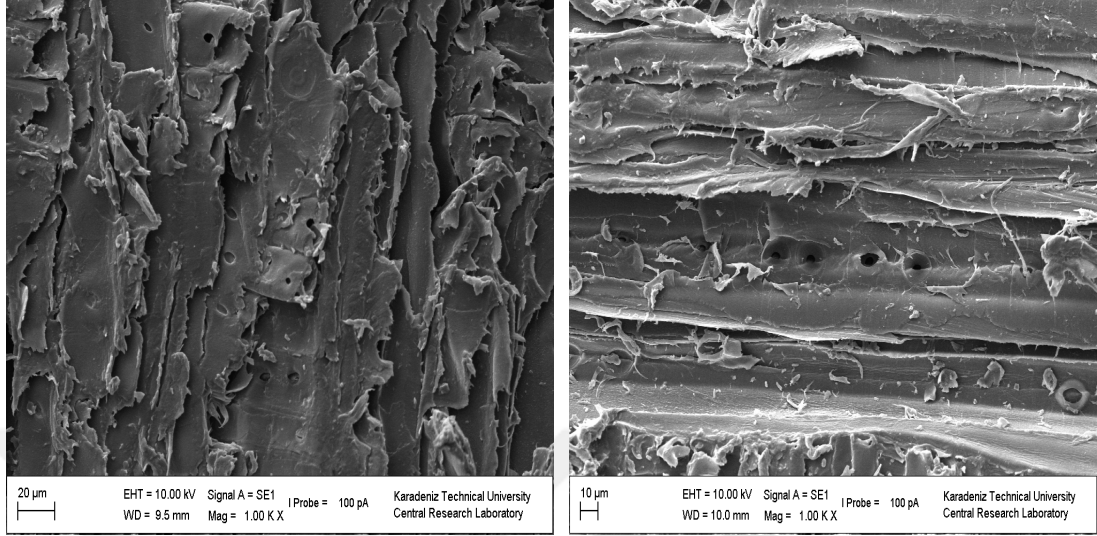
Şekil 4.32. Mikrodalga ile kurutulan odun numunelerinin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) Kızılçam odunu ($\times 1000$) b) Doğu ladini odunu ($\times 1000$)



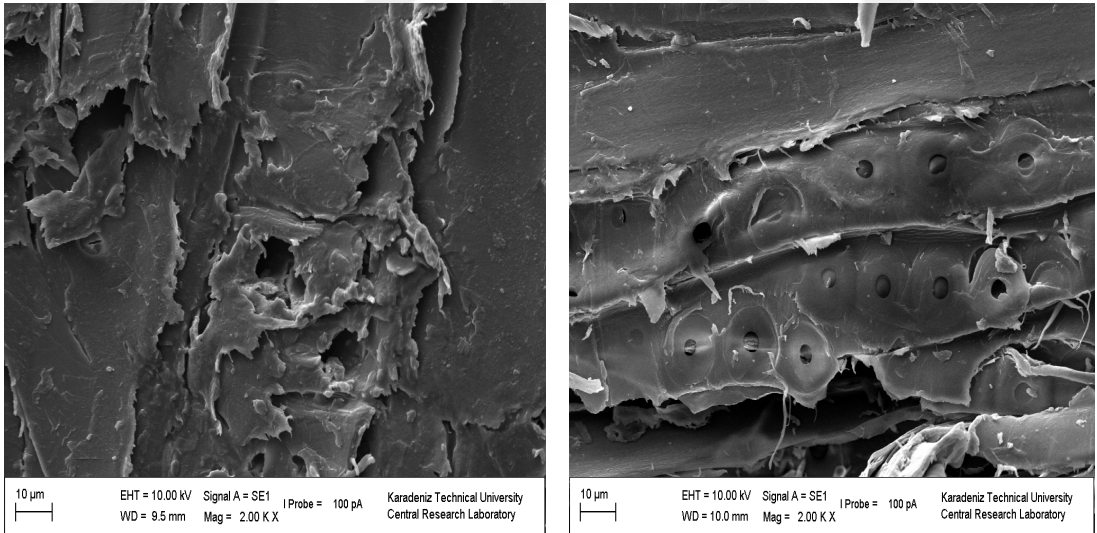
Şekil 4.33. Mikrodalga ile kurutulan odun numunelerinin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) Kızılçam odunu ($\times 2000$) b) Doğu ladini odunu ($\times 2000$)

Mikrodalga kurutma metodu ile kurutulan odun numunelerinin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntülerine bakıldığında, radyal yöndeki sıvı

transferinde önemli rolü olan kenarlı geçitlerin bazılarının ani buhar çıkışından kaynaklanan aspirasyona uğradığı ve geçit ağzlarında genişleme ve şekil bozukluğu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.34. İnfrared + mikrodalga kurutma ile kurutulan odunu numunelerinin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) Kızılçam odunu (×1000) b) Doğuladını odunu (×1000)



Şekil 4.35. İnfrared + mikrodalga kurutma ile kurutulan odun numunelerinin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntüleri. a) Kızılçam odunu (×2000) b) Doğuladını odunu (×2000)

İnfrared + mikrodalga kurutma ile kurutulan odun numunelerinin radyal kesitinden alınmış kenarlı geçitlerin SEM görüntülerine bakıldığında da radyal yöndeki sıvı transferinde önemli rolü olan kenarlı geçitlerin bazılarının ani buhar çıkışından kaynaklanan aspirasyona uğradığı ve geçit ağızlarında genişleme ve şekil bozukluğu olduğu görülmüştür.

Genel olarak SEM görüntülerine bağlı olarak mikrodalga ve infrared + mikrodalga ile kurutmanın hücre yapısında herhangi olumsuz bir etkisine ilişkin kesin bir kanıya varılamamıştı.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kurutma, odun içerisinde serbest ve bağlı halde bulunan, genellikle kullanım alanlarına göre uygun olmayan suyun (rutubetin) dışarıya atılma işlemidir. Odunda kullanılacağı yere göre bulunması gereken kuruluk derecesi çok önemlidir (Altınok vd., 2009).

Kullanım yerindeki rutubet derecesine uygun olmayan ahşap, rutubet almak veya vermek suretiyle boyutlarını değiştirmektedir. Böylece, ahşap ürünlerde istenmeyen deformasyon ve kusurlar ortaya çıkmaktadır. Kurutulan odunun birçok özelliğinin iyileştiği bilinmektedir. Örneğin; iyice kurutulmuş odunda rutubet derecesi muhafaza edilirse çürümez, az çalışır ve işlenirken daha düzgün yüzeyler vermektedir. Yapışma kabiliyeti, direnci, sertliği gibi özellikleri de artmaktadır (Kantay, 1993).

Bu çalışmada; 01 Ocak 2020 tarihinde ahşap paletler için, Türkiye’de yürürlüğe giren ISPM 15 yönetmeliğinde belirtilen ısıtma ve kurutma işlemlerinde yaşanan problemler üzerine, Türkiye’de ahşap palet üretiminde en çok kullanılan kızılçam ve doğu ladini odun numuneleri kullanılarak, laboratuvar ortamında ahşap numune testleri/analizleri yapılmış ve bu testler sonucunda, infrared + mikrodalga ile kurutma yapan prototip bir kurutma fırını tasarlanmıştır. Yapılan testlerinin ve analizlerin sonuçlarının ve tasarlanan prototip kurutma fırınının ileride üretilecek olan bir kurutma fırını için örnek olması amaçlanmıştır.

Araştırma kapsamında ahşap numune olarak, kızılçam (*Pinus brutia*) ve doğu ladini (*Picea orientalis*) odun numuneleri kullanılmıştır. Deney numunelerinin tümü için, rutubet testi, renk değişimi testi, parlaklık testi, liflere dik eğilme direnci testi, eğilmede elastikiyet modülü testi, liflere dik ve paralel basınç direnci testi, radyal ve teğet yönde vida tutma mukavemeti testi, ATR-FT-IR analizi ve SEM (taramalı

elektron mikroskobu) analizi yapılmıştır. Ayrıca enerji sarfıyatı ölçülmüş ve etüv ile karşılaştırılmıştır.

5.1. Rutubet ve Yoğunluk Testleri Sonuçları

Rutubet ve yoğunluk testleri sonuçlarına göre; etüv ile kurutulan kızılçam ve doğu ladini odun numunelerinde en fazla ağırlık kaybının meydana geldiği, en az ağırlık kaybının da mikrodalga 5 dakika ile ve infrared 30 saniye + mikrodalga 5 dakika ile kurutulan numunelerde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Kurutmaya bağlı olarak bu değerler beklenen sonuçlardır.

Ayrıca, etüvle 24 saatte kurutulan numunelerin ağırlıklarının, 15 dakika mikrodalga ile kurutulan ahşap numunelerin ağırlık değerlerine geldiği görülmüş, bu da kurutma süresinin göz ardı edilemez bir şekilde kısaldığının göstergesidir.

Yoğunluk değerlerine bakıldığında; kurutma ile doğru orantılı olarak yoğunluğun azaldığı görülmüştür. Etüv ve mikrodalga 15 dakika ile kurutulan numunelerin yoğunluk değerlerinin birbirine yakın çıktığı görülmüştür. Bu sonuç kurutma süresinin kısaldığının bir başka göstergesidir.

Kurutma sonrası hesaplanan rutubet derecelerine bakıldığında ise; en yüksek değerlerin hem kızılçam hem de doğu ladini odun numunelerinde, mikrodalga 5 dakika kurutma ile ve infrared 30 saniye + mikrodalga 5 dakika ile kurutulan numunelerde olduğu tespit edilmiştir. En düşük değerlerin ise kurutmaya bağlı olarak, etüv, mikrodalga 15 dakika ile kurutma ve 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutulan numunelerde olduğu görülmüştür.

Bir diğer çıkan sonuç ise, kurutma etkisinin mikrodalga ile kurutma sırasında olduğu anlaşılmıştır. İnfrared ile kurutmanın yüzeysel olarak kaldığı görülmüştür. Ağırlık ve yoğunluk değerlerindeki düşüşler, rutubet derecelerindeki düşüşlere paralel olarak mikrodalga ile kurutma işlemlerinden sonra olmuştur.

Klasik kurutma, etüv ve diğer kurutma metotları ile ilgili benzer sonuçlar, Altınok ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan araştırmada da incelenmiş ve kurutmaya bağlı olarak rutubet ve ağırlığın azaldığı belirtilmiştir.

5.2. Enerji Sarfiyatı Sonuçları

Enerji sarfiyatı sonuçlarına göre; mikrodalga ile 5-10-15 dakika ile kurutmanın, etüv ile kurutmaya göre ortalama %93 oranında daha az enerji tüketimi yaptığı görülmüştür. Etüv ile kurutmada istenilen %4 rutubet miktarına ininceye kadar 24 saat geçtiği, ve uzun kurutma süresinin enerji tüketimini arttırdığı görülmüştür. Mikrodalga ile kurutmada ise, 900 W gücünde ve 15 dakika içerisinde hem kızılçam hem de doğu ladini odun numunelerinde istenilen %4' lük rutubet derecesine inildiği ve bununla kullanılan süre ile doğru orantılı olarak %93 oranında enerji tüketimini azalttığı görülmüştür.

Bu konuda literatürde, Korkmaz (2018) tarafından yayınlanan yüksek lisans tezinde; klasik kurutma yöntemi ile kurutmanın, güneş enerjili sistem ile kurutmaya göre %50 oranında daha maliyetli olduğunu belirtmiştir.

5.3. Renk Değişimi Testi Sonuçları

Renk değişimi testi sonuçlarına göre; en çok renk değişiminin hem kızılçam hem de doğu ladini odun numuneleri için infrared kullanılan kurutma metotlarında olduğu görülmüştür. Bunun sebebini, infrared ile kurutmanın yüzeysel olmasından ve 30 saniye üzeri infrared ile kurutma sonucunda ahşap numunelerde yanma meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır.

15 dakika mikrodalga ile kurutulan numunelerde en az renk değişiminin olduğu, etüvle kurutulan numunelerde ise diğer kurutma sürelerine göre en uzun kurutma süresine sahip olmasına rağmen renk değişiminin çok fazla olmadığı görüşmüştür.

Hansson (2007) tarafından doktora tez kapsamında yapılan çalışmada; mikrodalga ile kurutmanın daha kısa sürede kurutma işlemi gerçekleştirdiği için, renk değişiminin kurutma süresinin azalmasına bağlı olarak azaldığını belirtmiştir.

5.4. Parlaklık Testi Sonuçları

Parlaklık testi sonuçlarına göre; mikrodalga ile 15 dakika kurutulan kızılçam ve doğu ladini odun numunelerinde 20 ve 60 derecelik açılarda en yüksek değerlerin olduğu, 85 derecelik açıda ise infrared 30 saniye + mikrodalga 10 dakika ile kurutulan numunelerin en yüksek parlaklık değerini verdiği görülmüştür. Etüv ile kurutulan numunelerin ise, hem kızılçam hem de doğu ladini odun numunelerinde genel olarak en düşük değerleri verdiği görülmüştür.

Bu konuda yine Hansson (2007) tarafından yapılan çalışma sonucunda; klasik kurutma ile kurutulan numunelerin, uzun kurutma süresinden dolayı parlaklık değerleri düşük çıkmıştır.

5.5. Liflere Dik Eğilme Direnci Testi Sonuçları

Liflere dik eğilme direnci sonuçlarına göre; infrared 30 saniye + mikrodalga 5 dakika ile kurutulan kızılçam ve doğu ladini numunelerin en yüksek eğilme direncine sahip olduğu, kurutmaya bağlı olarak liflere dik eğilme direnci değerlerinin tüm kurutma metotlarında düştüğü tespit edilmiştir. Mikrodalga kurutmada ahşap numunelerin mikrodalgaya maruz kalma süresinin eğilme direncinde düşürücü bir etki yaptığı gözlemlenmiştir.

Kurutmaya bağlı olarak, rutubet değerlerinde ve yoğunluk oranında düşüş olmasına rağmen eğilme direnci değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.

Bu konuda Çayır (2021) tarafından yılında doktora tezi kapsamında yapılan çalışmada; “Odunun rutubet içeriğinin artışına bağlı olarak mikrodalga muameleye maruz kalma süresinin artışı, mekanik özelliklerdeki düşüşler üzerinde paralel olarak

etki göstermektedir” denilmektedir. Bu da belirtilen kurutma metodu ve süresine ilişkin düşünün sebebi olarak açıklanabilir.

Ayrıca çıkan sonuçların değerlendirilmesi konusunda; White tarafından 2008 yılında yapılan araştırmada ahşap paletlerde kullanılan malzemelerin ortalama eğilme direnci değerleri belirtilmiştir. Yapılan testlerden çıkan sonuçlara göre; mikrodalga 15 dakika kurutma ile ve 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutma değerleri bu ortalamanın üzerindedir.

5.6. Elastikiyet Modülü Testi Sonuçları

Elastikiyet modülü testi sonuçlarına göre; Mikrodalga 5 dakika ile kurutulan kızılçam ve doğu ladini odun numunelerinin en yüksek değerleri verdiği görülmüştür.

Kurutmaya bağlı olarak eğilme direnci değerlerinde olduğu gibi, elastikiyet modülü değerlerinin de mikrodalga ve infrared + mikrodalga kurutma metotlarında düştüğü görülmüştür.

Bu konuda literatürde eğilme direnci değerlerinde olduğu gibi, White (2008) tarafından yapılan araştırmada ahşap paletlerde kullanılan malzemelerin ortalama elastikiyet modülü değerleri de belirtilmiştir. Yapılan testlerden çıkan sonuçlara göre; mikrodalga 15 dakika kurutma ile, 30 saniye infrared + 10 dakika mikrodalga ile kurutma değerleri yine bu ortalamanın üzerindedir.

5.7. Liflere Dik ve Paralel Basınç Testleri Sonuçları

Liflere dik ve paralel basınç testleri sonuçlarına göre; kurutmaya bağlı olarak liflere dik ve paralel basınç değerlerinin hem kızılçam hem de doğu ladini odun numunelerinde düştüğü tespit edilmiştir. Liflere dik basınç testinde, infrared 30 saniye + mikrodalga 5 dakika ile kurutulan numunelerde, liflere paralel basınç

testinde ise, mikrodalga 5 dakika ile kurutulan numunelerde en yüksek basınç değeri olduğu tespit edilmiştir.

Liflere dik eğilme direnci sonuçlarında olduğu gibi, mikrodalga kurutmada ahşap numunelerin mikrodalgaya maruz kalma süresinin basınç direncinde de düşürücü bir etki yaptığı gözlemlenmiştir.

Kurutmaya bağlı olarak rutubet ve yoğunluk değerinde düşüş olsa da, yapılan ATR-FT-IR analizi sonuçlarında, kimyasal değerlerde düşüş olduğu tespit edilmiş ve bu düşüşün mekanik testlerin sonucunda çıkan değerlerdeki düşüşe etki ettiği düşünülmektedir.

Terziev, Daniel, Torgovnikov ve Vinden (2020) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise; mikrodalga kurutmanın, yapılan testlerin sonucu olarak mekanik değerlerde düşüşe yol açtığı belirtilmiştir.

Meydana gelen düşüşün ahşap paletlerin dayanımı ve kullanımına olan etkisi üzerine ise, karşılaştırma yapılabilecek bir kaynak bulunamadığı için herhangi bir yorum yapılamamaktadır.

5.8. Radyal ve Teğet Yönde Vida Tutma Mukavemeti Testleri Sonuçları

Radyal ve teğet yönde vida tutma mukavemeti testleri sonuçlarına göre; kurutmaya bağlı olarak, radyal ve teğet yönde vida tutma mukavemetinin hem kızılcam hem de doğu ladini odun numunelerinde düştüğü tespit edilmiştir. Etüv ile kurutulan numunelerde en yüksek mukavemet değeri olduğu ve diğer kurutma metotlarında vida tutma mukavemetinin kurutma süresine göre düştüğü gözlemlenmiştir.

Mukavemet değerlerindeki düşüşün sebebini diğer mekanik testlerin sonuçlarında olduğu gibi, kurutmaya bağlı olarak rutubet ve yoğunluk değerinde düşüş olmasına rağmen, mikrodalga kurutmaya maruz kalınan kurutma süresi ile doğru orantılı olduğu söylenebilir. Ayrıca yapılan ATR-FT-IR analizi sonuçlarına göre, kimyasal

değerlerdeki düşüşün de vida mukavemet değerindeki bu düşüşe sebep olduğu söylenebilir.

Mikrodalga kurutma işleminden sonra mekanik özelliklerde meydana gelen düşüşler, literatürdeki diğer çalışmalarda da belirtildiği üzere beklenen ve istenmeyen bir sonuçtur (Machado, 2006., Torgovnikov ve Vinden, 2009., Samani vd., 2019., Hermoso ve Vega, 2016., Terziev vd., 2021., Weng vd., 2021).

Meydana gelen düşüşün ahşap paletlerin dayanımı ve kullanımına olan etkisi üzerine ise, karşılaştırma yapılabilecek bir kaynak bulunamadığı için herhangi bir yorum yapılamamaktadır.

5.9. ATR – FT-IR Analiz Sonuçları

ATR-FT-IR analizi sonuçlarına göre; lignin, hemiselüloz ve selüloz değerlerinde düşüş olduğu ve bununla mekanik testlerin değerlerindeki düşüşe sebep olduğu söylenebilir.

Terziev, Daniel, Torgovnikov ve Vinden (2020) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise; mikrodalga teknolojisi ile ladin ve çam ağacı odun numuneleri mikrodalga teknolojisi ile kurutulmuş ve çıkan sonuçlara göre, mikrodalga ile kurutmanın odun numunelerinde kimyasal değerlerde düşüşe yol açtığı, hücreler arası sıvı ve gaz geçirgenliğini arttırdığı ve mekanik değerlerde de düşüşe yol açtığı belirtilmiştir.

5.10. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analiz Sonuçları

Taramalı elektron mikroskopu analizi sonuçlarına göre; etüv ile kurutulan kızılçam ve doğu ladini odun numunelerinde sıvı transferinde önemli rolü olan kenarlı geçitlerin bazılarının aspirasyona uğradığı ve geçit ağzlarının kapandığı, mikrodalga ve infrared + mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan numunelerde

ise, ani buhar çıkışından kaynaklanan geçiş ağızlarında genişleme ve şekil bozukluğu olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde Çayır (2021) tarafından yapılan çalışmada; “mikrodalga muamele işleminin, iğne yapraklı ağaç odunlarında kuruma sırasında meydana gelen geçit aspirasyonuna bağlı olarak kapanan geçit yollarını açtığı SEM gözlemlerinde belirgindir” denilmiştir.

Sonuç olarak; SEM görüntülerine bağlı olarak mikrodalga ve infrared + mikrodalga kurutmanın hücre yapısında herhangi olumsuz bir etkisine ilişkin kesin bir kanıya varılamamıştır.

Bu tez çalışmasında yapılan testlerde ortaya çıkan sonuçların ve tasarlanan prototip çalışmasının, ahşap palet endüstrisi için infrared + mikrodalga kurutma metoduna göre üretilcek bir kurutma fırınına ışık tutacağı ve yol göstereceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. *Ahşap palet sektör raporu*, (2004) İstanbul Ticaret Odası, Dış Ticaret Şubesi.
2. Akosman, C. (2003) *Küp şekerin infrared enerjisi ile kurutulması*, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15:4, 561-568.
3. Alibaş, İ. (2012) *Asma yaprağının (Vitis vinifera L.) mikrodalga enerjisiyle kurutulması ve bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi*, Tarım Bilimleri Dergisi, 18: 43-53.
4. Altınok, M., Küreli, İ., Serbest, T. (2009) *Vakumlu ve klasik kurutma yöntemlerinin ahşap malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi*, Politeknik Dergisi, 12(4): 271-278.
5. Altun, S., Eroğlu, M.A. (2017) *Vacuum drying of sessile oak (Quercus petraea) with alternative heating methods*, Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 17 (2): 343-353.
6. Özek, E. (2016) *Ambalaj sektörü ve TRB1 raporu*.
7. Anşin, R., Özkan, Z. C. (1993) *Tohumlu bitkiler (Spermatophyta) odunsu taksonlar*, 2. baskı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Yayın No: 167/19, Trabzon.
8. Banı, A. (2014) *Kızılcağın infrared ısı ile kurutulmasında kütle transfer katsayılarının ve vitamin kayıplarının incelenmesi*, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
9. Çayır, B. (2017) *Odunun mikrodalga ön muamele ile emprenye edilebilirliği yükseltmek ve teknolojik özelliklerini belirlemek*, Karabük Üniversitesi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
10. Burdurlu, E. (1995) *Kereste endüstrisi ve kurutma*, Bizim Büro Yayınevi, 289s, Ankara.
11. Çağlar, A., Toğrul, İ., Toğrul, H. (2009) *Moisture and thermal diffusivity of seedless grape under infrared drying, food and bioproduct processing*, 87, 292-300.
12. Demirci, A. (1991) *Doğu ladini (Picea orientalis L.), Doğu Kayını (Fagus orientalis L.) Karışık meşcerelerinin gençleştirilmesi*, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
13. Demirekler, P., Sumnu, G., Sahin, S. (2004) *Optimization of bread baking in halogen lampmicrowave combination oven by response surface methodology*, Eur Food Res Technol, 219, 341-347.

14. Efe, H., Kasal, A. (2007) *Çeşitli masif ve kompozit ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi*, Gazi Üniversitesi, Politeknik Dergisi, 10(3), 303-311.
15. Erdin, N., Bozkurt, A.Y. (2013) *Odun Anatomisi*, 1. Baskı, Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
16. Hansson, L. (2007) *Microwave treatment of wood*. Luleå University of Technology Division of Wood Physics Skellefteå Sweden, Doctoral Thesis, Sweden
17. Henin, J.M., Charron, S., Luypaert, P.J., Jourez, B., Hébert, J. (2008) *Strategy to control the effectiveness of microwave treatment of wood in the framework of the implementation of ISPM 15*, Forest Prod, J.58(12):75-81.
18. ISO 2470. (2008) *Measurement of diffuse blue reflectance factor - Part 2: Outdoor Daylight Conditions (D65 Brightness)*, Ankara.
19. Kantay, R. (1993) *Kereste kurutma ve buharlama*. Ormancılık Eğitim ve Kültür Vakfı, Yayın No:6, İstanbul.
20. Kayacık, H. (1952) *Doğu ladininin Türkiye' deki coğrafi yayılışı, selvi kültürel esasları ve tabii sınırlarının genişletilmesi imkanlarının araştırılması*, İstanbul Orman Fakültesi Yayını No : 103/20, 122 s.
21. Kayacık, H. (1967) *Orman ve park ağaçlarının özel sistematiği*, I. Cilt, Gymnospermae (Açık Tohumlar), İ.Ü. Yayınlarından No: 2642, Orman Fakültesi No:281, Başak Matbaası, İstanbul.
22. Keskin, S.O., Ozturk, S., Sahin, S., Köksel, H., Sumnu, G. (2005) *Halogen lamp- microwave combination baking of cookies*, Euro Food Res Technol, 220, 546-551.
23. Korkmaz, H. (2018) *Güneş enerjili kereste kurutma sistemleri üzerine incelemeler*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
24. Kitiş, Y., Çavuşoğlu, O. (2016) *Elektromanyetik ışınlarla yabancı ot kontrolü*, (Vol. 3, pp. 29–36). Vol. 3, pp. 29–36. Meyve Bilimi, İstanbul.
25. Metaxas, A.C. (1991) *Microwave heating*. Power Eng. J., 5, 237-247. DOI:10.1049/pe:19910047.
26. Metaxas, A.C., Meredith, R.J. (1982) *Industrial microwave heating*, Architech House, London.
27. Mujumdar, A.S. (1995) *Hand book of industrial drying*, 2nd Ed. New York,
28. Özertan, G., Çoşkun, A. (2021) *Masif ahşap sektör raporu*. (2021) Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
29. Özkoç, S. Ö. (2010) *Kızılötesi ve kızılötesi kombinasyon ısıtma teknolojilerinin gıda işleme uygulamalarında kullanımı*, Derleme.
30. Polatoğlu, B. A., Beşe, V. (2012) *Konvektif, mikrodalga ve güneşte kurutma prosesleri ile kızılcık (Cornus mas L.) meyvesinin kuruma kinetiğinin*

incelenmesi ve matematiksel modellenmesi, Onuncu Ulusal Kimya Mühendisliği kongresi, 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul.

31. Pozar, D.M. (2012) *Microwave engineering*. 4th Edition. Hamilton Printing, Wiley Inc. 732 pp, ABD.
32. OGM, (2012) *Türkiye orman varlığı. Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı Yayınları*, Orman Genel Müdürlüğü Yayınevi, Ankara.
33. Özkoç, S. Ö. (2009) *Kızılötesi ve kızılötesi kombinasyon ısıtma teknolojilerinin gıda işleme uygulamalarında kullanımı*, Derleme.
34. Schiffmann, R.F. (1987) *Microwave and dielectric drying*, In: AS Mujumdar (Ed.): *Handbook of Industrial Drying*, Marcel Dekker, New York.
35. Sharma, G.P., Verma, R.C., Pathare, P.B. (2005) *Mathematical modeling of infrared radiation thin-layer drying of onion slices*, Journal of Food Engineering, 71, 282-286.
36. Sumnu, G., Sevimli, M.K., Sahin, S. (2005) *Optimization of halogen lamp-microwave combination baking of cakes*, Euro Food Res Technol, 221, 61-68.
37. Şahin, N. (2007) *Kırmızıbiber, elma ve pırasanın kurutulmasında infrared tekniğinin kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.
38. Tarhan, S., Ergüneş, G., Güneş, M. ve Mutlu, A. (2009) *Farklı kurutma koşullarının Amasya elmasının kuruma süresi ve kalitesi üzerine etkileri*, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi. 2(2): 1-6.
39. Terziev, N., Daniel, G. (2013) *Application of high frequency treatments for improved permeability of Norway spruce (Picea abies Karst.) wood*, in: Wood: The Best Material for Mankind, J. Kúdela and M. Babiak (eds.) Arbora Publishers, Slovakia, pp. 43-48.
40. Terziev, N., Daniel, G., Torgovnikov, G., Vinden, P. (2020) *Effect of microwave treatment on the wood structure of Norway spruce and radiata pine*, Bio Resources, 15(3), 5616-5626.
41. Terziev, N., Daniel, G. Torgovnikov, G. (2021) *Theoretical determination of pit membrane natural frequency for destruction by resonance effect*, Bio Resources, 16(2), 2683-2695.
42. Thomas, R.J., Kringstad, K.P. (1971) *The role of hydrogen in pit aspiration*, Holzforschung, 25 (5), 143-149.
43. Tinga, W.R., Nelson, S.O. (1973), *Dielectric properties of materials for microwave processing tabulated*, Journal of Microwave Power, 8 (1), 23-65.
44. Tiuri, M., Jokela, K., Heikkilä, S. (1980) *Microwave instrument for accurate moisture and density measurement of timber*, Journal of Microwave Power, 15(4), 251-254.
45. Torgovnikov, G.I. (1993) *Dielectric properties of wood and wood based materials*, Springer-Verlag, Berlin, 1-17, 20-32, 77-110.

46. Torgovnikov, G., Vinden, P. (1993) *Some aspects of microwave power application in the forest industry*, World congress on microwave processing, 5-9 January, Lake Buena Vista, USA.
47. Torgovnikov, G., Vinden, P., Mapanda, E., Cobham, P. (1999) *The application of Microwaves for preservative treatment of wooden posts*, International Conference on Microwave and High Frequency Heating, 14-17 September, Valencia, Spain.
48. Torgovnikov, G., Vinden, P. (2000) *Microwave modification of wood properties*, In International Research Group on Wood Preservation, in Press. Melbourne.
49. Torgovnikov, G., Vinden, P. (2009) *High intensity microwave wood modification for increasing permeability*, Forest Products Journal, 59(4), 84-92.
50. Torgovnikov, G., Vinden, P. (2010) *Microwave wood modification technology and its applications*, Forest Products Journal, 60(2), 173-182.
51. White, B.S. (2008) *Measurement of wood pallet performance subjected to uniform loading in racked, fork tine, and floor stacked support conditions*, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Master of Science. USA
52. TS ISO 3129. (2021) *Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için numune alma metotları ve genel özellikler*, TSE, Ankara.
53. TS ISO 13061-3. (2021) *Odunun statik eğilme dayanımının tayini*, TSE, Ankara.
54. TS EN 320. (1999) *Odun lifi ve yonga levhaları vida tutma mukavemetinin tayini*, TSE, Ankara.
55. TS EN 323. (1993) *Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini*, TSE, Ankara.
56. TS ISO 13061-17. (2019) *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Küçük kusursuz odun numuneleri için deney yöntemleri – Bölüm 17: Liflere paralel basınç altında nihai gerilimin belirlenmesi*, TSE, Ankara.

EKLER

Ek A. Kızılçam Odun Örneklerinin Kurutma Öncesi Rutubet Dereceleri

Kızılçam örnek numaraları	Giriş rutubet oranları (%)	Ortalama (%) 60,43
Ç111	62	
Ç112	63	
Ç113	59	
Ç114	61	
Ç115	57	
Ç121	63	
Ç122	64	
Ç123	58	
Ç124	57	
Ç125	59	
Ç211	61	
Ç212	61	
Ç213	62	
Ç214	58	
Ç215	58	
Ç221	57	
Ç222	64	
Ç223	59	
Ç224	58	
Ç225	62	

Ek A. (devam)

Kızılçam örnek numaraları	Giriş rutubet oranları (%)	Ortalama (%) 60,43
Ç231	59	
Ç232	59	
Ç233	61	
Ç234	61	
Ç235	60	
Ç311	62	
Ç312	62	
Ç313	61	
Ç314	63	
Ç315	59	
Ç321	61	
Ç322	63	
Ç323	60	
Ç324	62	
Ç325	59	
Ç331	60	
Ç332	60	
Ç333	62	
Ç334	63	
Ç335	61	

Ek B. Doğu Ladini Odun Örneklerinin Kurutma Öncesi Rutubet Dereceleri

Doğu ladini örnek numaraları	Giriş rutubet oranları (%)	
L111	62	
L112	63	
L113	59	
L114	61	
L115	57	
L121	63	
L122	64	
L123	58	
L124	57	
L125	59	
L211	60	
L212	60	
L213	62	
L214	58	
L215	58	
L221	57	
L222	64	
L223	59	
L224	58	
L225	62	

**Ortalama (%)
60,48**

Ek B. (devam)

Doğu ladini örnek numaraları	Giriş rutubet oranları (%)	Ortalama (%) 60,48
L231	60	
L232	60	
L233	61	
L234	59	
L235	60	
L311	62	
L312	62	
L313	61	
L314	63	
L315	58	
L321	60	
L322	62	
L323	62	
L324	59	
L325	58	
L331	63	
L332	60	
L333	61	
L334	62	
L335	59	

Ek C. Test Örnekleri Markalamaları ve İlgili Testler

Kızılçam / Doğuladını örnek numaraları	Numune ölçüleri ve uygulanan testler		
Ç111 / L111	75×5×150 mm Renk değişimi ve parlaklık testleri	20×20×360 mm Liflere dik eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve radyal ve teğet yönde vida tutma mukavemet testleri	20×20×30 mm Rutubet ve yoğunluk testleri, liflere dik ve paralel basınç testleri
Ç112 / L112			
Ç113 / L113			
Ç114 / L114			
Ç115 / L115			
Ç121 / L121			
Ç122 / L122			
Ç123 / L123			
Ç124 / L124			
Ç125 / L125			
Ç211 / L211			
Ç212 / L212			
Ç213 / L213			
Ç214 / L214			
Ç215 / L215			
Ç221 / L221			
Ç222 / L222			
Ç223 / L223			
Ç224 / L224			
Ç225 / L225			

Ek C. (devam)

Kızılçam / Doğuladını örnek numaraları	Numune ölçüleri ve uygulanan testler		
Ç231 / L231	75×5×150 mm Renk değişimi ve parlaklık testleri	20×20×360 mm Liflere dik eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve radyal ve teğet yönde vida tutma mukavemet testleri	20×20×30 mm Rutubet ölçümleri, liflere dik ve paralel basınç testleri
Ç232 / L232			
Ç233 / L233			
Ç234 / L234			
Ç235 / L235			
Ç311 / L311			
Ç312 / L312			
Ç313 / L313			
Ç314 / L314			
Ç315 / L315			
Ç321 / L321			
Ç322 / L322			
Ç323 / L323			
Ç324 / L324			
Ç325 / L325			
Ç331 / L331			
Ç332 / L332			
Ç333 / L333			
Ç334 / L334			
Ç335 / L335			

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad Soyadı : B** S**
Uyruk : T.*
Doğum Yeri ve Tarihi: 1*/0*/19**
Medeni Hali : E**
Telefon : 0090**
E-posta : *@yahoo.com

Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	Ted Ankara Koleji	1997
Lisans	Hacettepe Üniversitesi	2001
Yüksek Lisans	Hacettepe Üniversitesi	2013

İş Tecrübesi

Yıl	Yer	Pozisyon/görev
2022 -	Kelebek Furniture UK	Genel Müdür
2022	Richmond Upon Thames College UK	Lecturer
2022	East Sussex College	Lecturer
2016 -	Siba Trade TR & UK	Kurucu – Genel Müdür
2018 - 2022	İzmir Ekonomi Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

Dil (İngilizce)	Başlangıç	Orta	İleri
Yazma			X
Konuşma			X
Anlama			X
Okuma			X

Bilgisayar Bilgisi:

- Autocad 2D – 3D, Office, CNC, CRM

Sertifika Bilgileri:

- 2022 Safeguarding in the FE - Education and Training Foundation
- 2022 Preventing - Education and Training Foundation
- 2021 Isıl İşlem Operatörlüğü – T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı
- 2005 Ekonomiye Okuma - Uluslararası Rotary Klübü
- 2000 CNC - Gazi Üniversitesi – Ankara Büyükşehir Belediyesi
- 2000 Autocad 2D – 3D – Master Bilgisayar

Kurs Bilgileri:

- 2013/2014 Satış Teknikleri ve Esneklik – Yüksek Akademi
- 2008/2009 İtalyanca Dil Eğitimi – İtalyan Kültür

Ödüller:

- Türkiye Liseler Arası Voleybol Şampiyonası - Türkiye 2.liği (1995)
- Türkiye Yaş Grupları Satranç Şampiyonası – Türkiye 10.luğu (1992)

Yayınlar:

- Saltık, B. (2013) *Ofis mobilyasında kullanılan bağlantı sistemlerinin araştırılması*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Saltık, B., Kiliç, Y., Elibol, G.C., Usta, İ. (2013) *Office furniture manufacturers connection system preferences*, 2nd National Wood Congress Poster Presentation, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Saltık, B., Kiliç, Y., Elibol, G.C., Usta, İ. (2015) *Office furniture manufacturers connection system preferences*, XXVII. The International Conference Research for Furniture Industry, Gazi Üniversitesi, Ankara
- Saltık, B. (2019) *Ofis Mobilyasında kullanılan bağlantı sistemlerinin ergonomiye etkisi*, 25. Ulusal Ergonomi Kongresi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.

- Saltık, B., Yeniocak, M., (2022) *Determination of some mechanical properties of wood materials dry with microwave technology*, 8th International Black Sea Coastline Countries Scientific Research Conference.
- Turan, M., Yeniocak, M., Saltık, B., Göktaş, O., Alma, M.H. (2022) *An ecological protection for wood material by hydrolyzed feather keratin*, Drewno, Vol. 65, No. 209, DOI: 10.12841/wood.1644-3985.397.10

Dernekler & Kulüpler:

- TED Ankara Koleji Mezunlar Derneği
- Türkiye Orman Mühendisleri Odası
- Ağaç İşleri Endüstri Mühendisleri Derneği

Hobiler:

- Voleybol oynamak, satranç oynamak, film seyretmek, seyahat etmek, müzik dinlemek
- Ahşap yakma sanatı