

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ODUNUN KURUTULMASININ DENEYSEL VE
MATEMATİKSEL İNCELENMESİ**

Fatma BAKIR

Tez Yöneticisi:
Doç. Dr. Fethi KAMIŞLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

ELAZIĞ, 2007

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ODUNUN KURUTULMASININ DENEYSEL VE
MATEMATİKSEL İNCELENMESİ**

Fatma BAKIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı/ başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Fethi KAMIŞLI

Üye :

Üye :

Üye :

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih vesayılı kararıyla onaylanmıştır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ODUNUN KURUTULMASININ DENEYSEL VE MATEMATİKSEL OLARAK İNCELENMESİ

Fatma BAKIR

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağaç kullanıldığı birçok alanda geçmişten günümüze önemini hiçbir zaman yitirmemiştir. Ancak farklı etkenlerden dolayı dünya ormanlarının büyük bir kısmı yok olma tehlikesi altındadır. Bu durum ağaç kaynaklarını daha özenli kullanmayı gerektirmekte ve ağaç endüstrisinde yüksek kalitede ürün elde etmeyi daha önemli kılmaktadır. Bu da ancak üretim yapılmadan önce ağacın belli nem değerinin altına kadar kurutulmasıyla mümkündür.

Bu çalışmada ülkemizde ağaç malzeme endüstrisinde yaygın olarak kullanılan çam, kayın, kavak ve ceviz ağaçları laboratuvar ortamında, tepsili kurutucuda sabit hava hızı ve sıcaklıkta kurutuldu. Deneyleri yapmak için her bir ağaç türünde beş numune alındı. Her bir ağaç türünden beş farklı numune için nem kaybının, kuruma hızının, ısı ve kütle aktarım katsayılarının zamanla değişimi incelendi. Nem miktarlarının beklenildiği gibi zamanla azaldığı gözlemlendi. Kurutma hızı, ısı ve kütle taşınım katsayıları da nem miktarına ve dolayısıyla da zamana bağlı olarak azaldıkları gözlemlendi. Taşınım ile olan ısı aktarım katsayısı iki şekilde hesaplandı. Şöyle ki ; ‘verilen ısı nemin buharlaşması için aldığı ısıya eşittir.’ İlkesinden türetilen amprik denklemden ve Heissler grafiği kullanımından iki farklı yöntemle elde edilen ısı taşınım katsayıları birbiriyle kıyaslandı ve birbirleri arasındaki uyumun iyi olduğu gözlemlendi. Kurutma işlemlerinde daha önceden belirlenmiş, optimum hava akım hızı ve sıcaklığı kullanıldı.

Anahtar Kelime : Kurutma, Odun, Isı Transfer Katsayısı

ABSTRACT

MASTER THESIS

THE EXPERIMENTAL AND MATHEMATICAL EXAMINATION OF TIMBER DRYING

Fatma BAKIR

**Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering**

Timber use has never lost its importance from ancient to today. However, the most of world forest has been under the threat of extinguishing for different reasons. This is because the source of wood has to be used in most efficient way and that cause requires to use high quality products in the wood industry. This can be only accomplished by drying timber under the certain moisture value before its use.

In this investigation, the most commonly used trees such as pine, beech, poplar and walnut in the world industry in our country were dried in trays drier at the constant velocity and temperature of air. In order to perform experiments the five samples were taken for each kind of timber. The variation of moisture loss, the rate of drying, heat and mass transfer coefficients with the drying time were examined experimentally. As expected it is observed that the moisture content decreases with increasing the drying time. The rate of drying, the heat and mass transfer coefficients decrease with increasing time and thus decreasing moisture content. The heat transfer coefficients were obtained in two different ways, that is, from the use of empirical equation that is derived from the rule of heat given to sample has to be equal the heat taken by the evaporated moisture and from the use of Heissler diagrams for a slab. The obtained heat transfer coefficients from the two different methods were compared with one another and it was observed that the agreement between two heat transfer coefficients for the same sample is good. The optimum air velocity and of temperature previously determined were used in the drying operations.

Key Words: Drying, Timber, Heat transfer coefficient.

TEŐEKKÖR

Tez Konumun seilmesinde, deneysel alıŐmalarım için gerekli imkânın sağlanmasında ve sonuçların değerlendirilmesinde yardımlarının esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Fethi KAMIŞLI' ya teŐekkÖr ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	X
TABLULARIN LİSTESİ.....	XI
EKTE VERİLEN TABLULARIN LİSTESİ.....	XII
SİMGELERİN LİSTESİ.....	XIII
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
3. ODUNUN KİMYASAL YAPISI	6
3.1. Odunun Asal Bileşikleri.....	6
3.1.1. Selüloz	6
3.1.2. Hemiselüloz	6
3.1.3. Lignin.....	7
3.1.4. Odunun Yan Bileşikleri	7
3.2. Kimyasal Maddelerin Oduna Etkisi.....	9
4. ODUNUN FİZİKSEL YAPISI	11
4.1. Odun-Su ilişkileri.....	11
4.1.1. Odunun Rutubeti.....	12
4.1.2. Odunda Higroskopik Denge	14
4.1.3. Odunun Genişleme ve Daralması (Çalışma)	15
4.2. Odunun Isıl Özellikleri	16
4.2.1. Isıl Genleşme	16
4.2.2. Özgül Isı.....	17
4.2.3. Isı İletkenliği	18
4.2.4. Isı İletme Kabiliyeti	19
4.2.5. Isıl Işıma (Radyasyon).....	19
4.2.6. Isıl Değeri	20
4.3. Odunun Elektriksel Özellikleri	21
4.3.1. Elektriksel direnç	21
4.3.1. Yalıtkanlık Kabiliyeti (Dielektrik sabiti).....	22

4.4. Ses Yayılma Hızı	23
4.4.1. Ses Rezistansı	23
4.4.2. Ses Enerjisi Kaybı.....	23
4.4.3. Ses Absorpsiyonu	24
4.4.4. Ses İzolasyonu	24
5. AĞAÇ MALZEMENİN KURUTULMASI.....	25
5.1. Kurutmayı Etkileyen Faktörler	25
5.1.1. Ağaç Malzeme Özellikleri	25
5.1.2. Kuruma farklılığı	26
5.1.3. Hava özellikleri.....	28
5.1.3.1. Nemlilik	28
5.1.3.2. Sıcaklık	30
5.1.3.3. Hava Hızı	30
6. KURUTMA METODLARI	31
6.1. Teknik Kurutma	31
6.1.1. Sıcak ve Nemli Hava İle Kurutma	31
6.1.1.1. Kereste İstifleme	32
6.1.1.2. Kurutma	33
6.1.1.3. Kurutma Programının Uygulanması	36
6.1.1.4. Kurutma Kusurları	38
6.1.1.5. Kurutma Kontrolleri	41
6.1.1.6. Yüksek Sıcaklıkta Kurutma	42
6.1.2. Kimyasal Kurutma	42
6.1.3. Ozonlu Kurutma	44
6.1.4. Elektrikle Kurutma	44
6.1.4.1. Doğru ve Alternatif Akım İle Kurutma	44
6.1.4.2. Yüksek Frekanslı Akım İle Kurutma.....	45
6.1.5. Enfraruj (Kızılötesi Işınım) Kurutma	46
6.1.6. Organik Maddeler İle Kurutma.....	47
6.1.6.1. Organik Madde Buharı İle Kurutma	47
6.1.6.2. Yağlı Organik Maddeler İçerisine Daldırma	48
6.1.6.3. Organik Çözücülerle Kurutma.....	48

6.1.7. Vakumlu Kurutma	48
6.2. Doğal Kurutma	49
7. BAZI AĞAÇ TÜRLERİNİN ÖZELLİKLERİ	50
7.1. Karaçam (Pinus nigra var. Pallasiana)	50
7.2. Meşe (Quercus sp.)	50
7.3. Doğu Kayını (Gaus Orientalis L.)	51
7.4. Ceviz (Juglans regia L.)	51
7.5. Kavak (Populus sp.)	52
8. KURUTMANIN GENEL PRENSİPLERİ	53
8.1. Nemlilik	53
8.2. Gaz – Sıvı Dengesi	55
8.3. Kuruma Hızları	56
8.3.1. Sabit Hız Periyodu	56
8.3.2. Azalan Hız Periyodu	58
8.4. Kuruma Mekanizmaları	59
8.4.1. Su transfer mekanizması	59
8.4.2. Difüzyon Teorisi	60
8.4.3. Kapiler Teori	60
8.5. Kurutmanın Teknik ve Ekonomik Faydaları	61
9. KURUTUCU ÇEŞİTLERİ VE TASARIMLARI	62
9.1. Kurutucu Seçimi	62
9.2. Kurutucuların Sınıflandırılması	63
9.2.1. Isı Transferi Esasına Dayalı Sınıflandırma	63
9.2.1.1. Direkt Kurutucular	64
9.2.1.2. İndirekt Kurutucular	64
9.2.2. Kurutulacak Maddenin Türünü ve Fiziksel Özelliklerini Esas Alan Sınıflandırma	64
9.3. Kurutucu Tipleri	65
9.3.1. Kesikli Kurutucular	65
9.3.1.1. Tepsili Kurutucular	65
9.3.1.2. Dolduruculu Kurutucular	65
9.3.1.3. Vakumla kurutucular	66

9.3.2. Sürekli kurutucular	66
9.3.2.1. Tünel kurutucular	66
9.3.2.2. Döner Kurutucular	67
9.3.2.3. Davlumbaz Kurutucular	67
9.3.2.4. Püskürtmeli Kurutucular	67
10. DENEYSEL VERİLERİN HESAPLANMASINDA KULLANILAN	
YÖNTEMİN ESASI	69
10.1. Teori	69
11. MATERYAL VE METOD	73
11.1. Materyal	73
11.1.1. Deney Numunelerinin Analize Hazırlanması	74
11.2. Deneyin Yapılışı ve Hesaplamalar	74
12. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	77
SONUÇLAR	98
KAYNAKLAR	99
EKLER	102
ÖZGEÇMİŞ	141

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 1. Ağaç Gövdesinde enine, radyal ve teğet kesit görünüşü.....	11
Şekil 2. Odun – Su İlişkisi	12
Şekil 3. Sert ağaç kerestesinin lif yapısı	26
Şekil 4. Tepsili Kurutucu Sistemi.....	73
Şekil 5. Çam Ağaçlarının % Nem-Zaman Grafiği.....	77
Şekil 6. Çam Ağaçlarının Kuruma Hızı-Zaman Grafiği.....	78
Şekil 7. Çam Ağaçlarının Isı Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği	79
Şekil 8. Çam Ağaçlarının Kütle Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği	80
Şekil 9. Kavak Ağaçlarının % Nem-Zaman Grafiği.....	81
Şekil 10. Kavak Ağaçlarının Kuruma Hızı-Zaman Grafiği.....	82
Şekil 11. Kavak Ağaçlarının Isı Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği	83
Şekil 12. Kavak Ağaçlarının Kütle Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği	83
Şekil 13. Kayın Ağaçlarının % Nem-Zaman Grafiği	84
Şekil 14. Kayın Ağaçlarının Kuruma Hızı-Zaman Grafiği	85
Şekil 15. Kayın Ağaçlarının Isı Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği	86
Şekil 16. Kayın Ağaçlarının Kütle Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği.....	86
Şekil 17. Ceviz Ağaçlarının % Nem-Zaman Grafiği.....	88
Şekil 18. Ceviz Ağaçlarının Kuruma Hızı-Zaman Grafiği.....	88
Şekil 19. Ceviz Ağaçlarının Isı Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği	89
Şekil 20. Ceviz Ağaçlarının Isı Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği	90
Şekil 21. Tüm Ağaçlar İçin % Nem-Zaman Grafiği	91
Şekil 22. Tüm Ağaçlar İçin Kuruma Hızı-Zaman Grafiği.....	92
Şekil 23. Tüm Ağaçlar İçin Isı Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği	93
Şekil 24. Tüm Ağaçlar İçin Kütle Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği	94
Şekil 25. Çam Ağacı İçin Isı Transferi Katsayısı-Zaman Grafiği	95
Şekil 26. Kavak Ağacı İçin Isı Transferi Katsayısı-Zaman Grafiği	96
Şekil 27. Ceviz Ağacı İçin Isı Transferi Katsayısı-Zaman Grafiği	96
Şekil 28. Kayın Ağacı İçin Isı Transferi Katsayısı-Zaman Grafiği.....	97

TABLolarIN LİSTESİ

Tablo 1. İğne yapraklı ağaçlarda ham reçine miktarı (%).....	9
Tablo 2. Türkiye çam türlerinden ham reçine miktarı (%)	9
Tablo 3. Bazı ağaç türlerinin taze haldeki rutubetleri (%)	14
Tablo 4. Bazı Ağaç Türlerindeki Daralma Miktarları.....	17
Tablo 5. Bazı Malzemelerin Isı İletkenlik Katsayıları	18
Tablo 6. Bazı ağaç malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları	19
Tablo 7. Bazı malzemelerin emisyon kabiliyetleri	20
Tablo 8. Bazı ağaç türlerinin tam kuru halde ısı değeri	21
Tablo 9. Bazı yakıtların ısı değeri	21
Tablo 10. Bazı ağaç türleri odunlarında lifler yönünde elektriksel direnç	22
Tablo 11. Ağaç malzeme yoğunluğu ve kalınlığına bağlı olarak önerilen rutubet eğimleri	27
Tablo 12. Sıcaklığa göre doymuş su buharı basıncı	29
Tablo 13. İstif latası kalınlığı (eL) ve genişliği (gL) ile latalar arası açıklıklar (aL), kereste kalınlığının fonksiyonu.....	32
Tablo 14. Bazı ağaç türlerinde kurutma süresi	35
Tablo 15. Toros karaçamı için kurutma programı	37
Tablo 16. Bazı kimyasal maddelerin sağladığı bağlı nem	43
Tablo 17. Kızılötesi ışınların oduna nüfuz derinliği	47

EKTE VERİLEN TABLOLARIN LİSTESİ

Tablo E1.1. Çam (1) Ağacı için Kurutma Verileri	102
Tablo E1.2. Çam (2) Ağacı için Kurutma Verileri	103
Tablo E1.3. Çam (3) Ağacı için Kurutma Verileri	104
Tablo E1.4. Çam (4) Ağacı için Kurutma Verileri	106
Tablo E1.5. Çam (5) Ağacı için Kurutma Verileri	108
Tablo E1.6. Kavak (1) Ağacı için Kurutma Verileri	110
Tablo E1.7. Kavak (2) Ağacı için Kurutma Verileri	112
Tablo E1.8. Kavak (3) Ağacı için Kurutma Verileri	114
Tablo E1.9. Kavak (4) Ağacı için Kurutma Verileri	116
Tablo E1.10. Kavak (5) Ağacı için Kurutma Verileri	118
Tablo E1.11. Kayın (1) Ağacı için Kurutma Verileri	120
Tablo E1.12. Kayın (2) Ağacı için Kurutma Verileri	122
Tablo E1.13. Kayın (3) Ağacı için Kurutma Verileri	124
Tablo E1.14. Kayın (4) Ağacı için Kurutma Verileri	126
Tablo E1.15. Kayın (5) Ağacı için Kurutma Verileri	128
Tablo E1.16. Ceviz (1) Ağacı için Kurutma Verileri.....	130
Tablo E1.17. Ceviz (2) Ağacı için Kurutma Verileri.....	132
Tablo E1.18. Ceviz (3) Ağacı için Kurutma Verileri.....	134
Tablo E1.19. Ceviz (4) Ağacı için Kurutma Verileri.....	136
Tablo E1.20. Ceviz (5) Ağacı için Kurutma Verileri.....	138
EK 2: Çam Ağacına Ait Termal Kondiktivite, Spesifik Isı ve Yoğunluğun Zamanla Değişimi Grafikleri).....	140
EK 3: Levha İçin Heissler Grafiği	140

SİMGELERİN LİSTESİ

i	:	Akım şiddeti
α	:	Ağaca bağlı katsayı
r_b	:	Başlangıç rutubeti
L	:	Buharlaştırma gizli ısı
W_e	:	Denge nem miktarı
t_f	:	Düşen hız aralığı kuruma zamanı
H_s	:	Doygunluk nemi
S_d	:	Dengeleme periyodu süresi
ϵ	:	Dielektirik sabiti
f_d	:	Dengeleme faktörü
E	:	Elastiklik modülü (kg/cm^2)
T_s	:	Havanın yaş hazne sıcaklığı
v_h	:	Hava hızı
T_a	:	Havanın kuru hazne sıcaklığı
A	:	Isı ve kütle transferi için ara yüzey alanı
k_i	:	İstifleme katsayısı
h	:	Isı transferi katsayısı
g_L	:	İstif latası genişliği
e_L	:	İstif latası kalınlığı
k_i	:	İstifleme katsayısı
s_i	:	Isıtma periyodu süresi
e_L	:	İstif latası kalınlığı
g_L	:	İstif latası genişliği
r_i	:	İç kısımların rutubeti
ϕ	:	Bağıl Nem
f_d	:	Bağıl dengeleme faktörü
ϵ	:	Cisim yüzeyinin emisyon kabiliyeti
r_d	:	Denge rutubeti
β	:	Daralma Miktarları
ρ	:	Yoğunluk (g/cm^3)
r	:	Odunun rutubeti

m_o	:	Odunun tam kuru haldeki ağırlığı
m_s	:	Su miktarı
m_r	:	Odunun rutubetli haldeki ağırlığı
α	:	Genişleme Miktarları
α_T	:	Teğetsel Yönde Genişleme
α_r	:	Radyal Yönde Genişleme
α_v	:	Hacimce Genişleme
β_T	:	Teğetsel Yönde Daralma
β_r	:	Radyal Yönde Daralma
β_v	:	Hacimce Daralma
d_t	:	Sıcaklık Artışı
Q	:	Isı miktarı
c	:	Özgül ısı
l	:	Kalınlık
A	:	Yüzey alanı
h	:	Isı iletkenliği katsayısı
d_t	:	İki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı
z	:	Zaman
k_t	:	Isı iletme kabiliyeti
R	:	Elektriksel direnc
v	:	Potansiyel farkı
$W_{//}$:	Ses Rezistansı liflere paralel yönde
W_{\perp}	:	Ses Rezistansı liflere dik yönde
\bar{r}	:	Ortalama rutubet
∇_r	:	Rutubet eğimi
∇_k	:	Kritik rutubet eğimi
r_y	:	Yüzey kısımların rutubeti
r_s	:	Sonuç rutubetin
a_L	:	Latalar arası açıklıklar
e_k	:	Kereste kalınlığı
s_k	:	Kurutma periyodu süresi
$m_r(z)$:	Odunun rutubetli ağırlığı

$m_r(z+\Delta z)$:	Δz zaman sonraki ağırlığı
f_a	: Kuruma süresini etkileyen ağırlık
s_k	: Kurutma periyodu süresi
ξ	: Sayısal bir sabit
$V_{//}$: Ses yayılma hızı liflere paralel yönde
V_{\perp}	: Ses yayılma hızı liflere dik yönde
δ_b	: Mutlak nem
T_y	: Yaş termometre sıcaklığı
T_k	: Kuru termometre sıcaklığı
a_L	: Latalar arası açıklıklar
e_k	: Kereste kalınlığı
S_k	: Kurutma periyodu süresi
H	: Nemlilik
P_t	: Toplam basınç
P_s	: Suyun kısmi hacmi
P_s^o	: Suyun buhar basıncı
K	: Kütle transfer katsayısı
ΔT	: Sıcaklık farkı
G	: Kütlesel hız
D_E	: Eşdeğer çap
D_t	: Sıvının yayınma katsayısı
W_c	: Kritik nem miktarı
t_c	: Sabit hızdaki kuruma aralığı süre
n	: Kuruma hız eğrisinin eğimi
W	: Toplam nem miktarı

1.GİRİŞ

Çağımızın getirdiği teknik yeniliklere ve çok sayıdaki malzemenin rekabetine rağmen ağaç malzeme, sahip olduğu üstün özellikleri ve güzel görüntüsü nedeniyle günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Odun, özgül kütle sine göre direncin yüksek olması, kolay işlenmesi, iyi boya ve cila tutması, ısıyı yalıtması, sesi absorbe etmesi dekoratif özelliği, kullanıldığı yerde bir sıcaklık hissi vermesi gibi özelliklerinden dolayı tercih edilen bir yapı malzemesidir.

Ancak, ağaç malzeme bu özelliklerinin yanı sıra bazı istenmeyen özelliklere de sahiptir. Bunlardan bazıları; doğal halde mantar ve böcekler tarafından kolayca tahrip edilmesi, yangından geniş ölçüde zarar görmesi, higroskopik ve anizotropik yapısı nedeniyle nem alma ve vermesi sonucu liflere paralel, radyal ve yıllık halkalara teğet yönlerde boyutlarını farklı miktarda değiştirmesi şeklinde özetlenebilir.

Eskiden beri ağaç malzemenin arzu edilmeyen söz konusu özelliklerini iyileştirici birçok metot geliştirilerek kullanılmıştır. Ahşap malzemenin yapısını bozmadan arzu edilmeyen özelliklerin iyileştirici teknik işlemlerin en önemlileri kurutma, buharlama, emprenye ve üst yüzey işlemleridir. Bu araştırmada teknik işlemlerden sadece odunun kurutulması üzerinde durulacaktır.

Ağaç malzemenin kurutulması çok eskiden beri biliniyordu. Hesiod yaklaşık olarak 2500 yıl önce, Plinius (kumda kurutma), Vitruvius ve daha başkaları ahşap malzemenin istifi ve kurutulması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Ancak 2000 yıl önce Braunschweig'de Treu tarafından kurutma zamanının mümkün olduğu kadar kısaltma hedefini ön planda tuttuğu ilk kapalı "kurutma ocağını" yapmıştır, Kurutma işlemi ile ilgili ilmi bilgi ve tecrübeler o zamanlar henüz mevcut değildi. Ağaç malzemeler açık havada veya üstü kapalı sundurmalarda kurutulurdu. Tecrübeli sanatkârlar, bu tarz kurutmanın yeterli olmadığına kanaat getirerek imalat sırasında kesilmiş parçalar sehpalarda, tutkal sobasının mümkün olduğu kadar yakınında veya üstünde bir müddet kurumaya bırakırlar. Böylece ahşap malzeme sıcaklığın veya düşük bağıl nemli sıcak havanın termik hareketi neticesinde meydana gelen hafif hava akımı altında "yapay" olarak kurutulmuş olurdu (Lempelius, 1970). Bu usul, ister istemez miktarı az ve kesilmiş parçalar için uygulanırdı. Eskinin imalat kapasitesi küçük ve teslim müddetleri uzun olan ticari imalatları için bu metod yetiyordu.

Bir yandan gittikçe artan ihtiyaç ve diğer yandan yeterince kurutulmamış ağaçtan yapılan mobilyaların sıcak odalarda deforme olmaları “kurutma ocakları (fırınları)”nın yapımına büyük ölçüde yol açtı. Bu ocaklar genellikle yığma duvarlardan yapılmış basit odalardı ve ağaç malzeme, bunların içine elle istif edilirdi. Isıtma ise içinde odun yakılan bir sobanın çıkarttığı ısıyla yapılırdı. Odanın içindeki hava termik akımla hareket ettiğinden istifin büyük aralıklı olması gerekiyordu. Zamanla ihtiyaçlarda göre bu kurutma ocaklarının ısıtma sistemleri değiştirilerek kurutma ocaklarının tabanının ısıtma tertibatı yerleştirilirken vantilatörle sağlanır hava akımını ve sıcaklığın kurutmayı hızlandırdığı tespit edildi (Lempelius, 1970).

I. Dünya savaşından sonra ahşap malzemenin nemi ve havanın bağıl nemi arasında bir dengenin olduğu sonucuna varıldı. Buna göre, kurutma işleminde ahşap malzemenin nemi onun ileride kullanılacağı ortamda alacağı nem miktarına uyacak değere getirilmeli ve bu kurutma işleminin gayesi olmalıdır.

1940 lı yıllardan sonra kamaralarda ahşap malzemenin kurutulmasında elektriksel ısıtmadan faydalanılmış ve ilk denemeler 100 °C'nin üstündeki sıcaklıkta yapılmış, kurutma zamanı, o zamana kadar bilinen sürelerin altına indiği görülmüştür.

Kurutma fırınlarının çoğu yığma duvarlardan meydana geliyordu bu arada uygulama safhasına geçen yüksek sıcaklıkta kurutma tekniği, bu tip fırınlarda arızalar meydana getirdiğinden duvarların ve tavanın yapılış tarzının önemli olduğu ve her inşaat tarzının fırını için uygun olmadığını göstermiştir.

1930 lu yıllarda birkaç Avrupa ülkesinde 100 °C nin üstündeki sıcaklıkta çalışan kurutma fırınları yapıldı. Fakat bu fırınlar çoğu kez başarılı olamadı, çünkü bunlar bir yandan ya kullanma sırasında meydana gelen ısı gerilimine göre yapılmamış veya kullanılan inşaat malzemesi fırının yıpratıcı atmosferine dayanamamıştır. Bu nedenlerle bu tarz yüksek sıcaklık altında kurutma tekniğini mümkün kılmamıştır.

Bilinen bu aksaklıkları giderme çalışmaları doğrultusunda fırınlar çelik ve alüminyum iskeletten yapılmaya başlandı. Çift taraflı kaplanmış ve izolasyonu iyi yapılmış olduğu için, yığma duvarlardan yapılan fırınlarda sıcaklık geriliminin meydana getirdi çatlama sebebiyle oluşan ısı kaybı bu tür fırınlarda pek görülmemiştir (Serbes, 2003).

Günümüzde, fırın içinde hava akımını sağlamak için fırınların iç kısımlarına ve istifin üst ya da yan tarafına monte edilen aksial veya radial vantilatörler

kullanılmaktadır. Hareket halindeki havanın yön değiştirmesinden ve fırın içindeki ısıtıcılarla istif arasından geçerken meydana getirdiği tepkinin vantilasyonu dūřürmesine rağmen aksial vantilatör büyük bir hava kütlesini devredebilmektedir.

Buna karşılık radial vantilatörler çeşitli kalınlıktaki parçalardan ve çeşitli kalınlıklardaki ara ıtılardan meydana gelen istifin arasından geçen havanın hızının sabit tutulmasını sağlamaktadır. Havalandırma ve ısıtma tekniklerinde meydana gelen gelişmeler neticesinde fırınların yapım tekniklerinde de olumlu gelişmeler olmuştur.

İşletmelerin ihtiyaç duyduğu kuru ahşap malzemeye balı olarak dışarıda metalden yapılan ve işletmelere monte edilen seyyar fırınların yanı sıra büyük işletmeler için duvarlardan yapılmış fırınlar kullanılmaktadır. Yapım masrafları bakımından biraz dūřük olan bu fırınlar, metal fırınlarla beraber aynı gelişme içerisinde çeşitli tiplerde inşa edilebilmektedir.

Bir diğer kurutma sistemi ise, İşve’te çok rastlanılan kurutma kanallarıdır. Bu kanallarda istifler raylar üzerinde aynı veya kademeli hız ile boydan boya hareket ederler. Kurutma kanalı çeşitli iklim bölümlerine ayrılmış olup, istifin kanaldan geçiş zaman dolayısıyla kuruma müddeti sabit olduğundan, bu tip tesislerde kurutulacak ahşap malzemenin aynı ya da benzer yapıda olmaları zorunludur.

Kurutma tekniklerinin başlangıcından bu yana bu alanda teknolojik gelişmelere paralel olarak önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Ahřap malzemenin kurutulmasının zorunluluğundan başlayan dūřünce ile bu gün değişik tekniklerin uygulanması ile istenilen amaca en basit ve en ekonomik şekilde nasıl ulaşılacağı araştırılmaktadır.

Biçilmiş ağaç kurutulmasında kurutucu havanın nemi, sıcaklığı ve hızı kurutma prosesinin verimine ve elde edilen ürünün kalitesine etki eden önemli parametrelerdir. Bu çalışmada parametrelerin birbirleriyle ilişkileri göz önüne alınarak dört farklı ağaç türü için kuruma dinamikleri, tünel tipi kurutucu kullanılarak incelendi. Her bir ağaç türü için nem içeriklerinin zamanla değişimi, kurutma hızı, kütle aktarım katsayısı ve ısı iletim katsayısı deneysel veriler ve teorik eşitlikler kullanılarak hesaplandı. am ağacı için iki farklı numunenin ısı iletim katsayıları iki farklı yöntemle hesaplanarak karşılaştırıldı.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Di Blasi (1998), yüksek sıcaklıkta biçilmiş ağaç kurutulmasını çok fazlı nem transferi kabullüyle modelledi. Bu çalışmada entalpi, kütle ve momentum için matematiksel eşitlikler katı, sıvı gaz fazlarda bir boyutlu kararsız durum için yazıldı.

Nispeten yüksek geçirgenliğe sahip yumuşak ağaç tipleri yüksek sıcaklıkta kurutulmasını Nijdam ve arkadaşları (2000) incelenmiş olup, bir boyutlu temel üzerinden modelleme yapılmıştır. Zamana göre modelden tahmin edilen sıcaklık ve ortalama nem içeriği profilleri literatürde mevcut deneysel verilerle uyum içinde olduğu iddia edilmektedir.

Bu araştırmacıların çalışmasında deneysel olarak bulunan ve modelden tahmin edilen tahtaların nem içeriği profilleri arasındaki kıyaslama, kurutma işleminde kurutulacak yüzeye göre büyüme halkalarının yönlenmesinin hesaba katılması ve merkezde var olan yüksek nem içeriğinde su geçirgenliği üzerinde yoğunluk değişiminin etkisinin önemli olduğunu ortaya koymuştur.

Pang ve arkadaşlarına (1994) göre yüksek sıcaklıkta kurutma işlemi yüksek geçirgenlikli yumuşak (*Pinus radiata*) ağaçlar için üç basamakta gerçekleşmektedir. Birinci ve ikinci basamakta tüm serbest suyun buharlaştığı bir buharlaşma düzlemi mevcuttur. Genel olarak sabit hız periyodu olarak bilinen birinci basamakta buharlaşma düzlemi yüzeye yakında kısımda yer alır ve kurutma hızı sabittir. Fakat ikinci basamakta bu düzlem malzemenin içerisine geri çekilir ve kuruma hızı düşer. Buharlaştırıcı yüzey merkezdeki ıslak bölge ve çok fazla kuruyan merkez etrafındaki dış bölge olmak üzere malzemeyi iki kısma ayırır. Kuruyan bölgede nemin bağlı su ve su buharı olarak var olduğu varsayılır. Bağlı su yerel sıcaklıkta su buharı ile yerel termodinamik dengede olacaktır. Bu bölgedeki nem içeriği lif doygunluk nem içeriğinden daha azdır. Islak bölgede ise nem serbest su, su buharı ve bağlı su olarak üç şekilde bulunmaktadır. Bununla beraber sadece bağlı su akımlarının önemli olduğu düşünülmektedir. Islak bölgedeki nem içeriği doymuş hücre duvarındaki (lif doygunluğu) nem içeriğinden daha fazladır. Üçüncü kurutma basamağında buharlaştırıcı yüzey tahtanın ortasına ulaştığı zaman başlar. Bu noktada bağlı su difüzyonu ve su buharı akımı kurutma işlemi kontrol eder. Pang' in matematik modeliyle tahmin edilen değerlerle ve mevcut deneysel veriler arasında önemli bir uyumsuzluk vardır (Pang, 1998). Pang'ın modeli azalmayan doygunluk ile lif

doygunluęu arasında herhangi bir nem tařınmasına izin vermez. Bu kabul, kurutma esnasında azaltılmayan doygunluk neminin lif doygunluk neminin altındaki bir değere dūőeęinden tahta ięerisindeki nem ięerięi profilinde keskin bir sūreksizlięin oluőmasına sebep olur. Bununla beraber deneysel olarak elde edilen nem ięerięi profilinde bōyle bir sūreksizlik gōzlenmemektedir. Bu deneysel gōzlem ise nem tařıma mekanizmasının nem ięerięi aralıęında sūrekli olmasının gerekli olduęunu vurgular.

3. ODUNUN KİMYASAL YAPISI

Odunun bileşimi esas itibariyle C, H ve O'dan oluşmakta, çok az miktarlarda olmak üzere (<%1) N ve kül bulunmaktadır. Odunun yakılması ile ortaya çıkan kül içerisinde Ca, Mg, K, Mn, Na ve SiO₂ vardır. Kuru ağırlığa oranla %0,3 den fazla SiO₂ vardır. Kuru ağırlığa oranla %0,3 den fazla SiO₂ bulunması kesici takımları çabuk koroletirdiğinden odunun işleme özelliğini olumsuz etkiler. Ilıman kuşak ağaçlarında kül miktarı %0,1–0,5 kadar iken tropikal bölge ağaçlarında %2 den fazla olabilmektedir. Kül miktarı genel olarak yapraklı ağaç odunlarında, iğne yapraklı ağaç odunlarından ve öz odunda, diri odundan daha fazladır.

3.1. Odunun Asal Bileşikleri

Odunun esas kimyasal bileşikleri selüloz, hemiselüloz (odun polyosları) ve lignin'dir. Polisakkaritlerden olan selüloz ve hemiselüloz, holoselüloz adını alır. Holoselüloz'un kuru odun ağırlığına iştirak oranı %60–85 kadar olup bunun %40–50 kadarı selüloz, %20–35 kadarı hemiselüloz'dur. Lignin oranı ise %15–25 kadardır. Bunlara ilave olarak odunda gerek hücre çeperine, gerekse hücre lümenine yerleşmiş uçucu yağlar, reçineler, sakız, lâteks, nişasta, alkaloidler ile boyar ve renkli maddeleri ihtiva eden birçok organik ve inorganik maddeler bulunur. Bu yan bileşiklere ekstraktif maddeler denir.

3.1.1. Selüloz

Selüloz uzun zincir molekülü anhidrid glikoz moleküllerinin primer molekül bağları ile birbirine bağlanmasından (C₆H₁₀O₅)_n oluşur.

3.1.2. Hemiselüloz

Odun polyosları adı verilen hemiselüloz hücre çeperinde polisakkaritlerin %35-50'sini ve toplam kuru ağırlığının %20-35'sini teşkil eder. Hemiselülozlar sulandırılmış alkalilerde çözünürler, sulandırılmış asitlerle hemen hidrolize olarak şekerler ve şeker asitlerini oluştururlar. Yapraklı ağaçlarda ksilanlar, iğne yapraklı ağaçlarda galactoglucomannanlar'dan ibarettir. Polimerizasyon derecesi selülozdan düşük olup 70–150 kadardır.

3.1.3. Lignin

Lignin üç boyutlu fenilpropan birimlerinden oluşmuş, yüksek molekül ağırlıklı kompleks bir polimerdir. Hücreler arasına ve hücre çeperi tabakalarına lignin maddesi yerleşmesi ile odunlaşma meydana gelir. Selüloz eğilme ve çekmeye, lignin ise basınca karşı dirençli olup iğne yapraklı ağaçlarda %20, yapraklı ağaçlarda %30 oranında bulunur. Lignin kolaylıkla okside olur, amorf bünyede, hoş kokulu bir madde olup asitlerle hidrolize edilemez.

Mekanik yoldan elde edilen odun hamurundan üretilen gazete kâğıdı fazla lignin içerdiğinde kısa sürede sararır. Lignin yüksek sıcaklıkta yumuşak ve esnek olup soğuyunca tekrar sertleştiğinden aynı zamanda termoplastik bir maddedir.

3.1.4. Odunun Yan Bileşikleri

Hücre çeperinin esas bileşikleri dışında hücre çeperi ya da lümenine yerleşen maddelerdir. Büyük oranda odundan sıcak veya soğuk su, alkol, benzen, aseton veya eter ile çözümlenebildiklerinden bunlara ekstraktif maddeler denir. Ancak bazılarının çözümlenebilmesi çok güç olmaktadır. En önemlileri polifenoller ve reçineler gibi organik bileşiklerdir.

Nişasta ve Yağlar: En önemli depo maddesi nişasta olup, mevcudiyeti iyot ile menekşe rengine boyanmasından anlaşılabilir. Yağlar, yüksek yağ asitleri içeren gliserin esterleridir. Nişasta ve yağ miktarları ağaçta kambiyumdan öze ve tepeden aşağı gidildikçe azalır.

Sepi Maddeleri: Sepi maddeleri hayvansal derileri tabaklamakta kullanılan maddelerdir. Sepi maddelerinin oksidasyon sonucu rengi koyulaşır. Birçok ağaçta kesimden sonra öz odunun koyulaşması (meşe) bundandır. Meşe ve kestanede olduğu gibi ağaç yaşlandıkça sepi maddesi miktarı artar.

Fenollü ve Boyalı Maddeler: Bazı ağaçların öz odunlarında bulunan fenollü maddeler mantarlara karşı koruyucu (zehirli) etki yaparlar. Örneğin, çam öz odunundaki pinosylvin ve bunun monometileleri, abanoz (*Diospyros sp.*), porsuk (*Taxus*), iroko (*Chlorophora exelsa Benth*), limba (*Terminolia superba*), maükore, cherry mahogany, oban mahogany (*Dumoria heckelli*), palisander (*Dalbergia nigra*), Teak (*Tectona grandis*) gibi ağaçların odunlarında alkaloidlerden ibaret zehirli maddeler bulunduğundan işlenmeleri sırasında etrafa yayılan talaş ve odun unlarını işçiler

tarafından alınması ya da açık yara veya çatlaklara nüfuz etmesi alerjik ve sağlığa zararlı etkileri oluşturur. Bu gibi ağaçların işlenmesi sırasında deri ve boğaz tahrişleri, görme ve denge bozuklukları, baş ağrısı, burun kanaması, nefes darlığı gibi arızalar görülür. Bu nedenle işlenmelerinde talaş emici tertibat ve koruyucu iş elbiseleri gereklidir.

Boyalı maddeler özellikle tropik ağaçlarda bulunur ve kumaş ve derilerin boyanmasında kullanılır. Türkiye’de yetişen boyacı sumacı (Rhus cotinus) ve kadıntuzluğu (Berberis vulgaris) sarı boya ihtiva eder. Boyacı sumacıdan fisetin denilen boya çıkarılır. Boyalı maddeler ekstraksiyon ile odundan kolaylıkla ayrılır.

Eterik Yağlar ve Reçine: Reçine iğne yapraklı ağaçların reçine kanallarında bulunur ve odunun su buharı ile destilasyonu sonucu terebentin yağı, tall oil ve koyofan elde edilmesinde kullanılır. Sıvı haldeki reçine içerisinde %32–60 oranında terebentin yağı vardır. Terebentin yağı uçucu olup eterik yağlar içerir.

Reçine kanalları ağaçta yatık ve dik olmak üzere ağ şeklinde irtibatlı bir sistem oluşturur. Ağaç gövdesinde açılan reçine yarığında sızan reçine, kısmen içerisindeki terebentin yağının uçması ve kısmen katı maddelerin kristalleşmesi sonucu koyulaşarak katılaşır. Reçine içerisinde uçucu bir eterik yağ olan terebentin yağı kâfuru, sellüloid, ayakkabı boyası, yağlı boya, vernik, parke cilası, linolyum, suni koku ve güzellik maddeleri ile eczacılıkta merhem, pomat üretiminde kullanılır. Kolofan’dan ise sabun ve sabun tozları, yağlı boya ve vernik üretimi, kâğıt endüstrisi, mühür mumları, şarapnel yapımı, parafin ile birlikte dolgu maddesi, kibrit üretimi, kablo izolasyonu, linolyum, matbaa boyası, makine ve motor yağları üretiminde yararlanılır.

Melez (Larix) gövdesinin en alt kısmından burgu metodu ile elde edilen reçine Venedik reçinesi, göknar (Abies) kabuğundaki reçine ularının delinmesi ile elde edilen ve mikroskopik kesitlerinin tesbitinde kullanılan optik özellikleri iyi olan reçine Kanada balsamı adını alır.

Dikili ağaçların kesiminden sonra odundan ekstraksiyon yolu ile elde edilen reçineye ham reçine denir. Eter ile ekstraksiyonda odundan reçineden başka yağlar da çözülür. Alkol ile ekstaksiyonda ise bunlardan başka az miktarda şeker, lignin ve sepi maddeleri de çözülür. Tam kuru odun ağırlığına oranla hem reçine miktarları iğne yapraklı ağaçlar için Tablo 1’ de, Türkiye çam türleri için Tablo 2’ de verilmiştir.

Tablo 1. İğne yapraklı ağaçlarda ham reçine miktarı (%)

AĞAÇ TÜRÜ	DİRİ ODUN	ÖZ ODUN
Çam	4,0	5,2
Melez	2,5	4,6
Ladin	2,0	1,5
Kök nar	0,6	1,2

Tablo 2. Türkiye çam türlerinden ham reçine miktarı (%)

AĞAÇ TÜRÜ	DİRİ ODUN	ÖZ ODUN
Sarıçam	4,2	9,2
Fıstık çamı	3,5	14,2
Karaçam	3,2	10,8
Kızılçam	2,7	19,0

Mineraller: Odunun yakılmasından sonra geri kalan külün içerisinde; kükürt, fosfor, silisyum, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, mangan ve demir mineralleri bulunur. Odunun tam kuru ağırlığına oranla, ham kül miktarı (1 m³ odunun yakılmasından sonra kalan kül miktarı) yapraklı ağaçlarda iğne yapraklı ağaçlardan daha fazladır. Genel olarak yapraklı ağaç odunları iğne yapraklılardan daha fazla kalsiyum ve fosfor asidi içerir. Ladin ve köknar potasyum bakımından zengindir. Ladin, elma, armut, odununda titan, söğüt ve ladinde çinko ve kurşun, meşede kobalt ve nikel bulunur.

3.2. Kimyasal Maddelerin Oduna Etkisi

Odun düşük sıcaklıklarda ve düşük konsantrasyondaki kimyasal maddelere karşı dayanıklı olduğundan kimyasal madde depo ve tanklarının yapımında kullanılabilir. Düşük konsantrasyondaki asitlere karşı dayanımı bazlara dayanımından daha yüksektir. Bunun nedeni selüloz ve ligninin asitlere dayanıklı, hemiselüloz ve ligninin ise kuvvetli bazlara karşı dayanaksız olmasıdır.

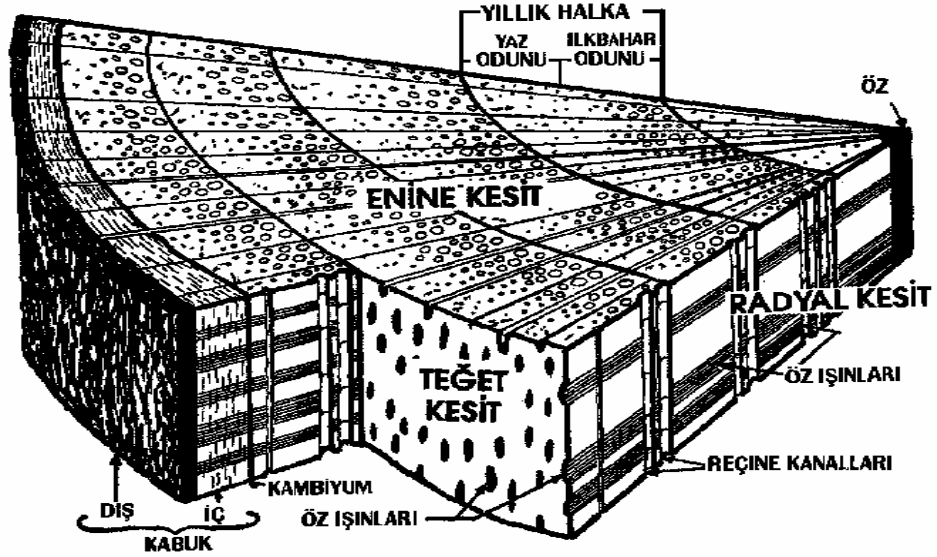
Kimyasal madde çeşidi ve konsantrasyonu, sıcaklık, etki süresi ve ağaç türüne göre değişmek üzere odunun direncini azaltır. HCl, NaOH ile diğer asitlerle bazların

%2 lik çözeltileri oda sıcaklığında odunda önemli bir bozulmaya sebep olmazlar. Ancak konsantrasyonun yüksekliği yanında sıcaklık ile etki süresinin artması halinde bozulma artar. %10 luk konsantrasyonda +50 °C de birçok ağaç türünün direnci %50–75 oranında azalır. Bu bakımdan bazıları daha fazla tahrip edicidir. İğne yapraklı ağaç odunları daha az hemiselüloz ihtiva ettiklerinden kimyasal maddelere yapraklı ağaçlardan daha dayanıklıdır.

4. ODUNUN FİZİKSEL YAPISI

Fizik, cisimlerin yapılarında bir değişiklik yaratmaksızın durumlarını veya hareketlerini değiştiren kanunları inceleyen bilimdir. Fiziksel özellikler ise duyularımızla edindiğimiz, cins ve bileşimlerini etkilemeden cisimlerin durum veya hareketlerini belirlemeye veya değiştirmeye yönelik özelliklerdir.

Ağaç gövdesinde enine, boyuna radyal ve boyuna teğet olmak üzere birbirinden farklı üç kesit vardır. Şekil 1’ de bu kesitler gösterilmiştir.

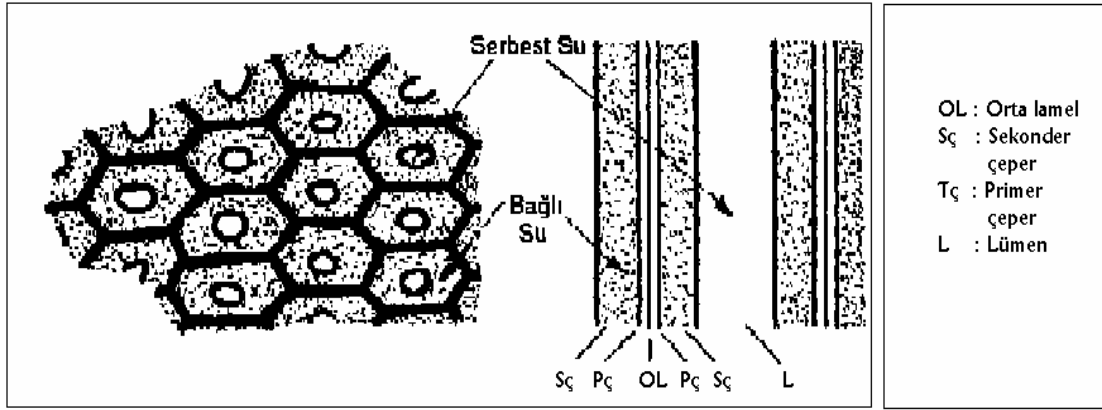


Şekil 1. Ağaç Gövdesinde enine, radyal ve teğet kesit görüntüsü (Örs, 2001).

4.1. Odun-Su ilişkileri

Odun, hücre çeperi içerisindeki misseller ve fibriller arası boşluklar ile hücre boşlukları (lümen) nedeniyle geniş ölçüde gözenekli bir cisimdir. Örneğin tam kuru halde yoğunluğuna (ρ g/cm³) göre hücre çeperi fibrilleri arasındaki iç yüzey alanı $2 \times 10^6 \times \rho$ cm²/ cm³ kadardır. Buna lümenlerdeki iç yüzey alanı dahil değildir. Böylece higroskopik (nem çeker) bir cisim olan odunun nem çekme özelliği iç yüzey alanı ile doğru orantılı olarak artar. Bu nedenle odun kurutma dolabı şartlarında tam kuru hale getirilmedikçe içerisinde su bulunur. Hücre çeperi içerisindeki boşluklarda tutulan suya hücre çeperine bağlı su, lümenlerde tutulan suya ise serbest su denir (Şekil 2).

Uzunca bir zaman su içerisinde bırakılan odun içerisindeki bütün boşluklar su ile dolar. Bu hal odunun suni ve ekstrem bir durumu olup tam “yaş hal” denir. Diğer suni ve ekstrem durum ise bir kurutma dolabında 103 ± 2 °C de ağırlığı değişmez hale gelinceye kadar kurutularak içerisindeki suyun buharlaştırılmasıyla elde edilen tam kuru haldir.



Şekil 2. Odun – su ilişkisi.

4.1.1. Odunun Rutubeti

Odunun rutubeti (r); tam kuru haldeki ağırlığına (m_o) oranla içerisindeki su miktarı (m_s) dir. Buna göre; $r = m_s / m_o$ olup, bu rutubette ağırlığı (m_r) bilindiği takdirde, içerisindeki su miktarı (m_s); $m_s = m_r - m_o$ kadar olacağından rutubet;

$$r = \frac{m_s}{m_o} = \frac{m_r - m_o}{m_o} = \frac{m_r}{m_o} - 1 \quad (1)$$

eşitliğinden hesaplanır. Buna göre rutubeti bilinen odunun rutubetli haldeki ağırlığı (m_r) yardımıyla tam kuru ağırlığı (m_o) ya da tam kuru haldeki ağırlığı bilinen odunun rutubetli haldeki ağırlığı için;

$$r = \frac{m_r - m_o}{m_o} \Rightarrow m_r = m_o(1 + r) \Rightarrow m_o = \frac{m_r}{1 + r} \quad (2)$$

eşitlikleri yazılabilir. Kâğıt endüstrisi gibi alanlarda odunun rutubeti, rutubetli haldeki ağırlığına oranla içerisindeki su miktarı olarak tanımlanır. Böylece rutubetli haldeki

ağırlık içerisinde su miktarı ifade edilerek selüloz verimine esas olacak kuru odun maddesi miktarı kolaylıkla hesaplanır. Bu maksatla tanımlanan rutubet r ile gösterilirse;

$$\bar{r} = \frac{m_s}{m_r} = \frac{m_r - m_o}{m_r} = 1 - \frac{m_o}{m_r} \quad (3)$$

yazılabilir. Buna göre rutubeti (r) bilinen odunun ağırlığında (m_r) tam kuru odun maddesi miktarı (m_o), ya da tam kuru ağırlığı bilinen odunun belirli bir rutubetteki ağırlığı;

$$m_o = m_r(1 - \bar{r}), m_r = \frac{m_o}{1 - \bar{r}} \quad (4)$$

eşitliklerinden hesaplanabilir. 2 ve 4 nolu eşitliklerden;

$$\frac{m_r}{1 + r} = m_r(1 - \bar{r}) \Rightarrow r = \frac{\bar{r}}{1 - \bar{r}}, \bar{r} = \frac{r}{1 + r} \quad (5)$$

bağıntıları yardımı ile her iki tanıma göre ifade edilen rutubet değerleri arasında ilişki kurulabilir.

Yeni kesilmiş bir ağaç odunu içerisindeki boşluklarda besi suyu ile bir miktar gaz vardır. Bu duruma taze hal denmekte olup ağaç türlerine göre taze hal rutubeti %40–120 arasında değişir. Türkiye’de yetişen bazı ağaç türü odunlarının taze haldeki rutubetleri Tablo 3’ de verilmiştir.

Tablo 3: Bazı ağaç türlerinin taze haldeki rutubetleri (%)

AĞAÇ TÜRÜ		RUTUBET (%)	
		Diri Odun	Öz veya Olgun Odun
İğne yapraklı Ağaçlar	Gökmar	165	40
	Ladin	145	35
	Çam	130	50
	Sedir	120	40
Yapraklı Ağaçlar	Kavak	135	80
	Kayın	110	55
	Kestane	90	80
	Meşe	80	65
	Ihlamur	75	80
	Akçaağaç	75	65

4.1.2. Odunda Higroskopik Denge

Odun higroskopik bir madde olup çevresindeki havadan rutubet alır ya da rutubetini havaya verir. Odun ile çevresindeki hava arasındaki bu rutubet alış-verişi, havanın su buharı kısmi basıncı ile odunun su çekme ya da su tutma gücü eşit oluncaya ve hava ile odun arasındaki higroskopik denge oluşuncaya kadar devam eder. Buna göre odunun, çevresindeki havadan su alması (adsorpsiyon) ya da bünyesindeki suyu havaya vermesi (desorpsiyon = kuruma), havanın sıcaklık ve bağıl nemine göre elde edeceği denge rutubetine (r_d) ulaştığında sona erer.

Havanın sıcaklık (t °C) ve bağıl nemine (φ %) göre odunların ulaşacağı denge rutubeti miktarlarını gösteren eğrilerin genel özelliği “ f ” şeklinde olmalarıdır. Desorpsiyon halinde ulaşılan denge rutubeti miktarları [r_d (D)] ile adsorpsiyon halinde ulaşılan denge rutubeti miktarları [r_d (A)] farklıdır. Her iki denge rutubeti arasındaki farka [r_d (D) – r_d (A)] histerez (H) denir.

Histerez, belirli sıcaklık ve bağıl nemdeki ortamda, taze haldeki bir odunun ilk kez kuruması sonunda ulaştığı denge rutubetinin aynı odunun tam kuru halde iken rutubet alması sonucu ulaştığı denge rutubetinden farklı ve daima bir miktar daha yüksek olduğunu gösterir. Bu nedenle ilk desorpsiyon eğrisi tekrar elde edilemeyip denge rutubeti farkı sürekli olarak değişir. Histerez, bağıl nem % 0–85 arasında arttıkça

artar, sıcaklık yükseldikçe azalır. Bu nedenle r_r (A) / r_d (D) oranı doğrusal sınırlar içerisinde değişmez.

Adsorpsiyon (Yüzeyde Tutma); selüloz moleküllerindeki serbest hidroksil (OH⁻) gruplarına su buharındaki hidrojen (H⁺) iyonlarının bağlanarak tüm serbest hidroksil gruplarının tek molekül tabakası kalınlığında doyması (kemosorpsiyon $r = \%0-6$), bundan sonra birden fazla molekül tabakaları halinde birikmesi (BET adsorpsiyonu, $r = \% 6-15$) ve çok katlı molekül tabakalarının kapiler boşluklarda yoğunlaşması (kapiler yoğunlaşma, $r = \% 16-LDN$) aşamalarından oluşur. Desorpsiyon ise havadaki su molekülleri arasındaki kohezyon gücü, odundaki su molekülleri ile selüloz zincir moleküllerindeki hidroksil grupları arasındaki adezyon gücünden büyük iken meydana gelir.

Emprenye edilmiş odunların denge rutubeti miktarları normal odundan farklıdır. Örneğin; tuzlar ile emprenye edilenlerde normal odundan daima yüksek, polietilenglikol gibi maddeler ile emperenye edilenlerde ise bağlı nem $\%80$ 'e kadar normal odundan düşük, $\%80-100$ iken normal odundan yüksek, ancak tuzlar ile emprenye edilenlerden daha düşüktür.

Desorpsiyon halinde denge rutubeti sıcaklık 20 ± 2 °C ve bağlı nem $\% 65 \pm 5$ iken $\%12$ kadar olup odunun bu rutubetine hava kurusu hal denir. Normal sıcaklıktaki kapalı yerlerde odunların kuruma ile elde edilecekleri hava kurusu rutubet miktarları $\%7-15$ arasındadır.

Adsorpsiyon halinde denge rutubeti miktarı odunun kurutma sıcaklığı arttıkça azalmaktadır.

Örneğin; 20 °C, 50 °C ve 100 °C sıcaklıklara $\% 8$ rutubete kadar kurutulmuş odunlar sıcaklık 50 °C ve bağlı nemi $\% 70$ olan ortamda bekletildiğinde adsorpsiyon ile elde edecekleri denge rutubeti miktarları sırasında miktarları sırası ile $\% 12,5$, $\% 10,8$ ve $\% 9,5$ olmaktadır.

4.1.3. Odunun Genişleme ve Daralması (Çalışma)

Odun higroskopik sınırlar olarak bilinen $\%0-28$ rutubet miktarları arasında hücre çeperine bağlı su kayboldukça selüloz zincirleri birbirine yaklaştığından daralır, aksi durumda selüloz zincirleri arasına su doldukça birbirinden uzaklaşarak genişler. Odunda lif doygunluk noktası (LDN) altında bu nitelikten doğan olaylara çalışma denir.

LDN üstünde odunun su alıp vermesi ile boyutları değişmez. Buna göre serbest su alıp vermesi sırasında odun çalışmaz.

Ağaç malzemenin çalışması her yönde aynı olmayıp liflere paralel yönde en az, yıllık halkalara teğet yönde en fazladır. Daralma miktarları β , genişleme miktarları α ile gösterilirse, daralma miktarı için; yıllık halkalara teğet yön ile radyal yön arasında $\beta_T / \beta_r = 1,65$, lifler yönü arasında ise $\beta_T/\beta_L = 23$ genişleme miktarları için ; $\alpha_r/\alpha_T = 0,6$ ilişkisi mevcuttur. Çeşitli yönlerde farklı çalışma ağaç malzemenin sakıncalı özelliklerinden en önemlisi olup iç gerilmeler nedeniyle kullanım yerinde boyutların değişmesi, çarpılma, eğilme, kamburlaşma, çatlama gibi kusurların oluşmasına sebep olmaktadır.

Hacimsel daralma (β_v) ve hacimsel genişleme (α_v) miktarları; yaklaşık olarak üç yöndeki çalışmanın toplamı kadar olup lifler yönündeki çalışma normal odunlarda dikkate alınmayabilir. Buna göre;

$$\begin{aligned}\beta_v &\cong \beta_T + \beta_r + \beta_L \cong \beta_T + \beta_r \\ \alpha_v &\cong \alpha_T + \alpha_r + \alpha_L \cong \alpha_T + \alpha_r\end{aligned}\quad (6)$$

eşitlikleri yazılabilir. Bazı ağaç türlerimizde daralma miktarları Tablo 4 de verilmiştir. Herhangi bir kullanım yeri için β_T / β_r oranını küçük olması istenir. Yaz odununun iştirak oranı arttıkça hacimce çalışma miktarı artar. Ancak, yaz odunda radyal ve teğet yönlerdeki çalışma miktarları arasındaki fark azaldığından çalışma ve eğilmeler daha azdır.

4.2. Odunun Isıl Özellikleri

4.2.1. Isıl Genleşme

Bütün katı cisimlerde olduğu gibi odun, ısı etkisi ile genişir, soğuması halinde büzülür. Higroskopik sınırlar içerisinde odunun ısı etkisi ile su kaybederek daralması ya da soğuma sonucu içerisine su alarak genişlemesi yanında ısı etkisi ile oluşacak genişleme ya da büzülme miktarları ihmal edilebilecek miktarda küçüktür. Ancak, ağaç malzemenin ısı etkisi ile hacmini çok az genişletmesi, yangınlarda yapıların çatlama çökmesini engellendiğinden faydalı bir özelliktir.

Tablo 4. Bazı Ağaç Türlerindeki Daralma Miktarları

AĞAÇ TÜRÜ	$\alpha_w \times 10^6$	
	$\alpha_w \perp$	$\alpha_w //$
Kayın	61,4	2,57
Meşe	54,4	4,92
Akçaağaç	48,4	7,60
Ceviz	48,3	6,55
Ihlamur	44,4	5,46
Karaağaç	44,3	5,65
Mahun	40,4	3,64
Kavak	36,5	3,85
Kestane	32,5	6,49
Gökmar	58,4	3,71
Ladin	34,1	5,41

4.2.2. Özgül Isı

Bir cisme verilen Q ısı miktarı bu cisimde d_t kadar bir sıcaklık artışı meydana getiriyorsa Q / d_t oranına bu cismin ısı sığası denir. Birim kütle başına ısı sığası özgül ısı (c) olup, cismin 1 kilogramının sıcaklığını 1°C değiştirmek için verilmesi veya alınması gereken ısı miktarını ifade eder.

Buna göre; özgül ısı $c = \text{ısı sığası} / \text{kütle} = Q / m \cdot d_t$ (kcal/kg $^{\circ}\text{C}$) olup, kütlesi m olan cismin sıcaklığını d_t kadar arttırmak için verilmesi gereken ısı miktarı $Q = m \cdot c \cdot d_t$ kadardır. Bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları Tablo 5 de verilmiştir. Buna göre odunun özgül ısı yüksek olup aynı miktarda ısı ile demir, taş ve betondan daha az ısınır. Odunun özgül ısı içerisindeki su miktarına göre değişir. Rutubeti r olan odunun özgül ısı (c_r);

$$c_r = \frac{r + 0,324}{1 + r} \quad (7)$$

eşitliğinden hesaplanır.

4.2.3. Isı İletkenliği

İki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı $d_t = t_2 - t_1$, kalınlığı e , yüzey alanı A olan ağaç malzemeden z zamanında geçen ısı miktarı (Q); d_t , T , z ve ağaç malzemenin ısı iletkenliği katsayısı (h) ile doğru orantılı, kalınlık (e) ile ters orantılıdır.

Buna göre; $Q = h [(A.z.d_t)/e]$ yazılabilir.

Bir cismin içindeki boşluk miktarı arttıkça ısı iletkenliği azalır. Bu bakımdan odun iyi bir ısı yalıtkanı olup soğuk hava vagonları, fiçı, yer döşemeleri, ateşte kullanılan aletlerin sapı ve kibrit üretiminde öncelik kazanır.

Ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı; yoğunluğu, rutubeti ve lif yönüne göre değişir. 20 °C sıcaklıkta ve hava kurusu halde (%12) ortalama ısı iletkenlik katsayısı (kcal/m.sa.°C) lifleri paralel yönde (h_L); 0,1908 – 0,2844, radyal yönde (h_R); 0,1044 – 0,1512, yıllık halkalara teğet yönde (h_t); 0,09–0,1404 kadar olup bazı malzemeler ile birlikte Tablo 5’ de verilmiştir (Ersen, 2000).

Tablo 5. Bazı Malzemelerin Isı İletkenlik Katsayıları (Örs, 2001).

MALZEME	h (kcal/m.sa.°C)
Bakır	330
Alüminyum	175
Çelik	50
Delikli Tuğla	0,5
Beton	1,20
Mantar	0,04
Cam	1,0
Buz	2,0
Odun	0,09-0,28
Hava	0,0205
İzocam	0,6

Ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı, radyal yönde teğet yöndekinden %5-10 kadar daha büyük, lifler yönünde ise %6-15 rutubetlerde iken enine yöndekinden 2,25-2,75 katıdır. Bazı ağaç türleri odunları ile odundan üretilmiş bazı kompozit malzemelerinin ısı iletkenlik katsayısı Tablo 6’ da verilmiştir.

Tablo 6 : Bazı ağaç malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları (Örs, 2001)

MALZEME TÜRÜ	k (kcal/m.sa. ⁰ C)	
	k ⊥	k //
Meşe odunu	0,18	0,36
Çam odunu	0,12	0,32
Ladin odunu	0,12	0,22
Kontrplak	0,12	
Longa levha : ρ (kg/m ³)		
Yonga levha : 400	0,12	
Yonga levha : 600	0,17	
Yonga levha : 1000	0,30	
Liflevha : ρ (kg/m ³)		
Liflevha : 300	0,10	
Liflevha : 800	0,23	

4.2.4. Isı İletme Kabiliyeti

Bir cismin ısı iletme kabiliyeti (k_1); özgül ısı (c , kcal / kg ⁰C), yoğunluğu (ρ , kg/m³) ve ısı iletkenlik katsayısı (k , kcal/m.sa. ⁰C) yardımı ile; $k_1 = k / (c \cdot \rho)$ m²/sa eşitliğinden hesaplanır. Ağaç işlerinden en fazla kullanılan ve yoğunlukları 0,45–0,70 g/cm³ arasında olan odunların hava kurusu halde ısı iletme kabiliyetleri (4,0–5,5) x 10⁴ arasında değerler almaktadır.

4.2.5. Isıl Işınımı (Radyasyon)

Bir cisimden ısı yayılması, kondüksiyon (iletim), konveksiyon (ısının madde ile birlikte göç etmesi) ve radyasyon (emisyon) yolu ile meydana gelir. Bu cismin 1m²' sinden 1 saatte ışınma yolu ile verilen ısı miktarı (Q_1) Stefan-Boltzmann kanununa göre;

$$Q_1 = \epsilon \cdot \sigma A \cdot (T/100)^4 \text{ kcal/sa} \quad (8)$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada , ϵ = cisim yüzeyinin emisyon kabiliyeti olup cilalı bir yüzeyde $\epsilon = 0$, siyah yüzde $\epsilon = 1$ dir. Bazı malzemelerin emisyon kabiliyetleri Tablo 7'

da verilmiştir. σ = sayısal bir sabite olup siyah renkli bir madde için $\sigma = 4,96 \text{ kcal/m}^2\text{sa}$ (T)⁴ tür. A = cismin m² olarak yüz ölçümü, T = cisim yüzeyinin mutlak sıcaklığıdır ($T = 273,14+t$). Üzerine gelen ısı ışınlarını absorpsiyon kabiliyeti yüksek olan yüzeylerin emisyon kabiliyeti yüksektir. Cilalı yüzeyler ışınları fazla yansıttığından ısı absorpsiyonu azdır. Buna karşılık siyah renkli yüzeylerin absorpsiyon kabiliyeti yüksektir.

Tablo 7: Bazı malzemelerin emisyon kabiliyetleri (Örs, 2001).

MALZEME	€
Alüminyum	0,05–0,07
Demir	0,79–0,97
Yağlı boya	0,89–0,97
Odun	0,86–0,89
Cam	0,94

4.2.6. Isıl Değeri

Odunun 1 kilogramının yakılması ile elde edilen kalori miktarı olup bazı ağaç türlerinin tam kuru haldeki ısı değerleri Tablo 8’ de verilmiştir. Odunu ısı değeri rutubeti arttıkça azalır. Tam kuru haldeki ısı değeri (Q_o) yardımı ile herhangi bir rutubetteki ısı değeri ;

$$Q_r = \frac{Q_o - 600 \cdot r}{1 + r} \text{ kcal/kg} \quad (9)$$

eşitliğinden hesaplanır. Buna göre tam kuru haldeki ısı değeri $Q_o = 4500 \text{ kcal/kg}$ olan odunun %10 rutubetteki ısı değeri;

$$Q_r = \frac{4500 - 600 \cdot 1}{1 + 1} 1950 \text{ kcal/kg} \quad (10)$$

kadardır. Karşılaştırma bakımından çeşitli yakıt maddelerinin ortalama ısı değerleri Tablo 9’ da verilmiştir.

Tablo 8: Bazı ağaç türlerinin tam kuru halde ısı değeri (Örs, 2001)

AĞAÇ TÜRÜ	Q _o (kcal/kg)
Çam	5066
Kayın	4802
Ladin	4726
Gök nar	4651
Huş	4506
Meşe	4356
Akçağaç	4183
Kavak	4129
Gürgen	4062

Tablo 9. Bazı yakıtların ısı değerleri (Örs, 2001).

YAKIT ÇEŞİDİ	Q (kcal/kg)
Likid gaz	12 000
Fuel oil	10 000
Maden kömürü	7000
Linyit	4200
Hava kurusu odun	3000
Tezek	2300
Elektrik	860 kcal/kW.h

4.3. Odunun Elektriksel Özellikleri

4.3.1. Elektriksel Direnç

Ohm Kanunu'na göre; bir iletkenin uçları arasındaki potansiyel farkı (gerilim) ile iletken üzerinden geçen akım şiddeti arasındaki oran sabit olup, buna iletkenin elektriksel direnci (R) denir. Potansiyel farkı (v) voltmetre, akım şiddeti (i) ampermetre ile ölçülür. Buna göre;

$$R = \frac{\text{Potansiyel farkı}}{\text{Akım şiddeti}} = \frac{v(\text{volt})}{i(\text{amper})} \Omega \quad (11)$$

eşitliği ile belirlenen elektriksel direnç, odunun rutubeti %7 iken çok yüksek olup su miktarı artıkça hızla azalmakta, LDN rutubetinde suyun elektriksel direncine eşit olmaktadır. Diğer taraftan odunun yoğunluğu arttıkça açılıp, ya da hava boşluğu oranı arttıkça artarken, liflere dik yönde, liflere paralel yöndekinin yaklaşık olarak iki katı kadardır. Bazı ağaç türleri odunlarının rutubete göre 26 °C de birbirinden 30 mm açıklıkta ve 9 mm derinliğe çakılmış elektrotlar arasında ölçülen liflere paralel yöndeki elektriksel dirençler Tablo 10’ da verilmiştir.

Tablo 10. Bazı ağaç türleri odunlarında lifler yönünde elektriksel direnç

AĞAÇ TÜRÜ	R (mΩ)					
	7	10	12	15	18	25
Dişbudak	12 000	250	55	8,3	2,0	0,40
Huş	87 000	1290	53	30,2	7,6	0,70
Beyaz meşe	17 400	415	80	12,6	2,7	0,41
Karaceviz	51 900	890	155	22,4	4,9	0,38
Douglas köknarı	22 400	630	120	18,6	4,6	0,46
Köknar	57 600	1120	180	26,9	6,6	0,62
Çam	39 800	1410	300	44,7	9,1	0,69
Ladin	22 400	830	165	25,1	6,3	0,71

Malzemeler elektriksel direnç bakımından, kenar uzunlukları 1 cm olan küp şeklindeki örneklerin elektrik akımına gösterdiği direnci belirtilen öz direnç veya spesifik elektrik direnci ya da öz direncin tersini ifade eden öz iletkenlik veya spesifik elektrik iletkenliği ile karşılaştırılır. Ağaç malzemenin parafin veya sentetik reçinelerle emprenye etme yada tutkallama sonucu spesifik elektrik dirençleri rutubetin fonksiyonu olarak karşılaştırılabilir. Buna göre parafin ile emprenye edilmiş ve tam kuru halde odun iyi bir elektrik izolatörü olup hava kurusu halde iken yarı yalıtkan sayılır.

4.3.1. Yalıtkanlık Kabiliyeti (Dielektrik Sabiti)

Bir cismin yalıtkanlık kabiliyeti, dielektrik sabiti (ϵ) ile ifade edilir. Bunun miktarı, levhaları arasında vakum bulunan bir hava kondansatöründe $\epsilon = 1$ kabul edilerek, levhaları arasına yerleştirilen aynı yüz ölçümü ve kapasitedeki bir

kondansatörün hava kondansatörüne göre kaç kat kalın olduğunu gösterir. Cismin yalıtkanlığı arttıkça ϵ küçülür. Levhaları arasına lifleri levha yüzeyine paralel ve tam kuru haldeki kayın tahtası yerleştirilen kondansatörde $\epsilon = 2,51$ dir. Buna göre tam kuru haldeki kayının elektriği aynı miktarda izole edebilmesi için levhaları arasındaki açıklık hava kondansatöründekinin 2,1 katı olmalıdır.

4.4. Ses Yayılma Hızı

Katı bir cisim içerisinde ses dalgalarının yayılma hızı; $v = E/\delta$ m/n eşitliğinden hesaplanır. Burada E, cismin ölçme yönünde elastiklik modülü (kg/cm^2), ρ , yoğunluğu (kg/dm^3) dür. Ses dalgalarının odun içerisinde yayılma hızı ağaç türü, odunun yapısı (lif yönü, yıllık halka yapısı, boşluk oranı), rutubeti, sıcaklığı, yoğunluğu ve ses dalgalarının frekansına bağlıdır. Homojen yapıdaki cisimler ses dalgaların her yönde eşit olarak yayarlar. Heterojen yapıda ve anizotrop olan odunda ses yayılma hızı liflere paralel ve liflere dik yönlerde farklıdır. Rutubeti %5–7 olan odunda ses yayılma hızı, liflere paralel yönde ($V_{//}$) 3200 – 5200 m/sn, liflere dik yönde (V_{\perp}) ise 900 – 1500 m/sn arasındadır. Buna göre, bu iki yöndeki ses yayılma hızı oranı; $x = V_{//} / V_{\perp} = 1,5-5$ kadardır. Ağaç malzemede homojenlik ve x oranı arttıkça müzik aletleri yapımına elverişliliği artar.

4.4.1. Ses Rezistansı

Bir cismin içerisinde ses dalgalarının yayılmasına karşı gösterilen dirençtir. Ses yayılma hızı malzeme içerisinde yayılma hızını, ses rezistansı ise ses dalgalarının ulaşacağı belirlir. İğne yapraklı ve yapraklı ağaçlar $W_{//} = 2000 - 3000$, $W_{\perp} = 1000-2000$ dyn.sn/cm kadar olup ses dalgaları, liflere paralel yönde daha hızlı yayılırken, liflere dik yönde çok daha uzağa ulaşabilir. Bu değerler mantarda 120, demirde 3900, camda 1500, betonda 8900' dur.

4.4.2. Ses Enerjisi Kaybı

Ağaç malzemede ses enerjisi azalması; içinden geçen ses dalgaların ışıma yolu ile havaya yayılması ve içerisindeki moleküllerle sürtünmesi sonucu moleküler sürtünme olmak üzere iki şekilde olur.

Işıma yolu ile sese enerjisi kaybı ağaç malzemede metallere göre daha büyük akustik bakımdan faydalı ve önemlidir. Işıma ile ses enerjisi kaybına rutubet, odun yapısı, yıllık halka genişliği, yaz odunu iştirak oranı ve elastiklik özelliğinin yeknesaklığı etkilidir. Bu bakımdan en uygun odun rutubeti %5–7’ dir.

4.4.3. Ses Absorpsiyonu

Yapılar içerisinde, tiyatro, konser, sinema ve ders salonlarında ağaç malzemelerin ses dalgalarının düzenleyici, absorbe edici, duvarlarda ses yankılanmasını önleyici etkisi önemlidir. Bu maksatla özellikle tavan ve yer döşemelerinde ağaç malzeme kullanılır. Ağaç malzemenin ses absorpsiyonu; yapısı, yoğunluğu, yüzey düzgünlüğü, rutubeti, kalınlığı, sıcaklığı ile ses frekansına göre değişir. Odun yapısı düzgünleştikçe, yoğunluk, yüzey pürüzlülüğü, rutubet ve sıcaklık arttıkça ses absorpsiyon miktarı artar. Ses kaynağına yöneltilen cismin absorbe ettiği ses enerjisi miktarını cismin yüzeyine çarpan genel enerjisi miktarına oranı ses absorpsiyon değerini belirler.

4.4.4. Ses İzolasyonu

Bir ortamdaki duvar ve tavandan diğer bir ortalama sesin geçmesi sırasında azaltma kabiliyetini belirtir. Bir duvar veya bölmenin izolasyon değeri, birim alanının ağırlığı, kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü arttıkça artar. Ağaç malzemenin izolasyon değeri (i), sesin frekansı yükseldikçe artar. Örneğin kenarları pamuk ile beslenen üç katlı bir kontrplak bölmede $f = 500$ Hz için; $i = 10-20$ desibel, $f = 1000 -2000$ Hz için; $i = 45- 50$ db dir. Beş katlı kontrplak bölmede ise aynı frekanslar için i ; 15-30 db ve $i = 50$ db dir. Aralarına keçe, pamuk veya karton şeritler konan ağaç malzemenin yapılmış bölmelerde ses izolasyonu arttırılabilir.

Ağaç malzemenin elastikliği az olduğundan yapılar içerisinde mekanik etkilerle oluşan gürültüyü iletir. Bu durumda ağaç malzemenin yapılan bölmeler arasına kil, cam yünü, yanmış kok kömürü artıkları veya kum konularak gürültü azaltılabilir. Yer döşemeleri ve parkelerde liflerin balıksırtı veya çapraz oluşturacak şekilde döşeme yapılması gürültüyü azaltıcı etki yapar (Örs ve ark., 2001).

5. AĞAÇ MALZEMENİN KURUTULMASI

Kurutma, ağaç malzemede bulunan ve kullanma amacına uygun olmayan fazla suyun buharlaştırılmasıdır. Kullanma amacına uygun rutubet, kullanım yerinin ortalama sıcaklık ve bağıl nemine göre ağaç malzemenin ulaşılacağı denge rutubetidir. Ağaç malzemenin rutubeti kullanma yerindeki denge rutubetinden farklı iken dengeye ulaşmaya kadar ortam ile rutubet alış verişinde bulunarak boyutlarını değiştirir. Rutubet kaybetme halinde mobilya birleşme yerleri ve çerçeve oluklaşma, döşeme elemanları arasında açılmalar oluşur. Bu gibi olumsuz sonuçların önlenmesi için ağaç malzeme, kullanım yeri şartlarına uygun denge rutubetine kadar kurutulmalıdır. Örneğin, ağaç malzeme rutubeti bahçe mobilyası ve dış cephe doğramalarında %12–15, soba ile ısıtılan ortamda % 10–12, kalorifer ile ısıtılan yerlerde ise % 8–10 olmalıdır.

5.1. Kurutmayı Etkileyen Faktörler

5.1.1. Ağaç Malzeme Özellikleri

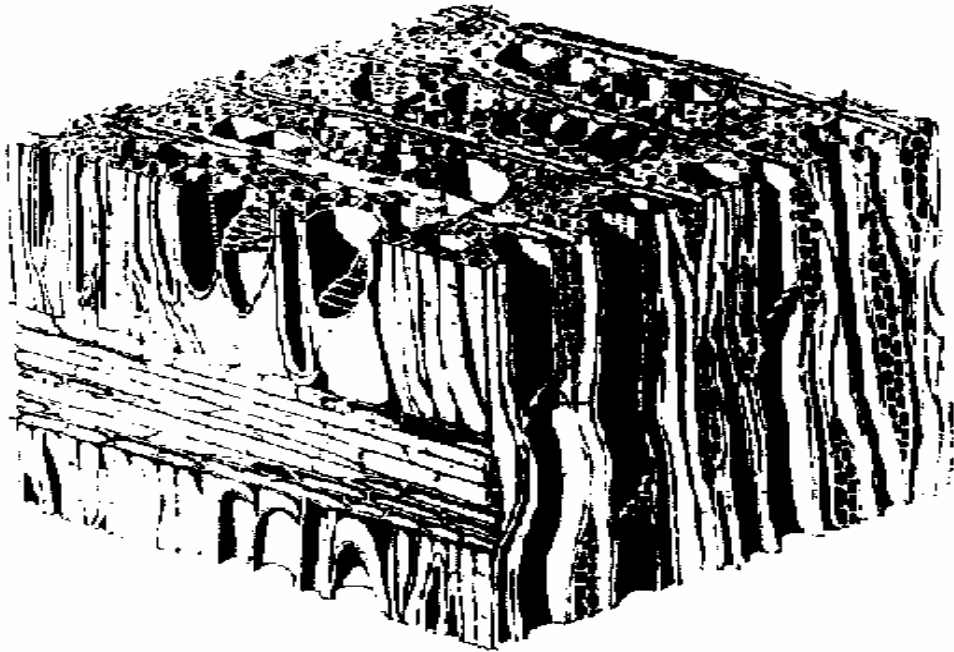
Odun içerisinde tutulan, su yalnız taze halde biçilmiş kerestenin her tarafında aynı miktardadır. Kuruma önce kereste yüzeylerinden başlar ve iç kısımlara doğru yavaş ilerler. Rutubet akışı rutubeti yüksek olan kısımdan daha kuru olan kısımlara doğrudur.

Biri sıcak diğeri soğuk iki levha arasına yerleştirilen ve rutubeti LDN üstünde olan kereste rutubet akışı sıcak levhadan soğuk levhaya doğru olur. Buna göre kuruma sırasında odunda oluşacak sıcaklık eğimi rutubet akışını etkiler.

Odunun yoğunluğunu arttıkça kuruması güçleşir. Öz ışınları teknik bakımdan direnci azaltıcı, radyal yönde yarıma kabiliyetini ve kuruma sırasında çatlamayı arttırıcı etki yapar. Buna karşılık radyal yönde su hareketini arttırdığından, bu yönde kuruma hızı teğet yönden %17–25 daha fazladır. Kuruma sırasında buharlaşma kalınlık yönünde ve geniş yüzeylerde meydana geldiğinden teğet yönde biçilen kereste radyal yönde biçilenden daha çabuk kurur.

Diri odun çoğunlukla iç odundan daha rutubetlidir. Öz odunda lümenlerde tül oluşumu, hücre çeperlerinin öz odun maddeleri ile dolması ve geçit maddeleri ile dolması ve geçit aspirasyonu sıvı akışını engellediğinden iç odun diri odundan daha yavaş kurur (Stanish, 1986).

Lif kıvrıklığı bulunan odunda kuruma sırasında dönüklük, diyagonal liflilik halinde ise yıllık halkalara teğet yüzeylerde halka şeklinde çatlaklar oluşur. Ayrıca budak ve odun kısımları farklı çalıştığından çarpılmalara sebep olduğu gibi, kaynamış budaklar çatlar, ölü budaklar yerinden çıkar. Diğer taraftan ağaç malzeme kalınlığı arttıkça kuruma süresi uzadığı gibi çatlama sakıncası artacağından kalınlık arttıkça kuruma daha özenli yapılmalıdır. Sert ağaçlar için lif ve boşluk yapısı Şekil 3 de gösterilmiştir.



Şekil 3. Sert ağaç kerestesinin lif yapısı (Thunman, 2002).

5.1.2. Kuruma farklılığı

Doygun haldeki bir ağaç malzemenin kurutulması sırasında kuruma hızı, odun rutubetinin fonksiyonu olarak birbirinden farklı üç aşama gösterir. Kurumanın sabit hızda geliştiği birinci aşamada odun yüzeyi su filmi ile kaplı olup odun yüzeyinden buharlaşma serbest su yüzeyinden buharlaşmaya benzer. Bir süre sonra iç kısımlardan yüzeye su akış hızı yavaşladığından su filminin artık yüzeyde tutulamadığı kritik rutubet miktarına ulaşır. Kurumanın bu ilk aşaması ya çok kısa sürer ya da hiç olmayabilir. Kritik noktadan sonra odun yüzeyi gitgide rutubet kaybederek kuruduğundan buharlaşma hızı azalır ve kuruma yavaşlar. Bu aşamada kuruma hızı yüzeysel

buharlaşmaya bağlıdır. Yüzeydeki kısımlar havanın sıcaklık ve bağıl nemine göre belli bir denge rutubetine ulaştığında, henüz rutubetli olan iç kısımlar kurumaya devam eder. Bu noktadan sonra kuruma hızı yüzeysel buharlaşmaya değil, rutubetin iç kısımlardan yüzeylere difüzyonuna bağlıdır. Difüzyonda sürüklenme kuvveti konsantrasyon farkına bağlı olduğundan iç kısımlardaki rutubet konsantrasyonu farkındaki azalma nedeniyle difüzyon hızı yavaşlar. Buna göre üçüncü aşamada kuruma hızı odunun ortalama rutubetine bağlıdır. Bu aşamada odundan uzaklaştırılan su miktarı az olmakla birlikte kuruma zamanı diğer ikinci aşamanın toplamından çok daha uzundur.

Kurutulmakta olan odunun herhangi bir anda ortalama rutubetinin (\bar{r}), o andaki kurutma şartlarında odunun ulaşacağı denge rutubetine (r_d) oranına kuruma eğimi (∇_k) denir. ($\nabla_k = \bar{r}/r_d$). Kuruma eğimi, kıymetli ağaç türlerinin 30 mm den kalın keresteleri için yapraklı ağaçlarda 1,5; iğne yapraklı ağaçlarda 2, özen gerektirmeyen kurutma işleminde ise yapraklı 2–3, iğne yapraklı ağaçlarda 3–4 önerilmektedir. Kuruma eğimi gerekenden büyük iken kuvvetli iç gerilmeler sonucu çatlaklar oluşur, küçük iken ise kuruma süresi ekonomik olmayacak ölçüde uzar.

İç kısımlardan yüzeylere su akışında etkili olan difüzyon hızını belirleyen rutubet farklılığı (rutubet eğimi $=\nabla_r$), yüzey kısımların rutubeti r_y , iç kısımların rutubeti, r_i , ağaç malzeme kalınlığı e için, $\nabla_r = (r_i - r_y)/(e/2)$ eşitliğinden hesaplanır ($r_y = r_d$). Odunda su akışı rutubet eğiminin çok büyük ya da çok küçük olması halinde engellenir, $r_i = r_y = r_d$ iken teorik olarak durur. Kurutulmak istenen sonuç rutubetine (r_s) göre, ağaç malzeme yoğunluğu ve kalınlığına bağlı olarak önerilen rutubet eğilimleri Tablo 11’ de verilmiştir.

Tablo 11. Ağaç malzeme yoğunluğu ve kalınlığına bağlı olarak önerilen rutubet eğilimleri

ρ (g/cm ³)	E_k (mm)	∇_t (%cm)	
		$r_s < \%12$	$r_s > \%12$
$\leq 0,56$	$e \leq 40$	2,5	4,0
	$e > 40$	3,5	6,0
$> 0,56$	$e \leq 40$	2,0	4,0
	$e > 40$	2,5	6,0

5.1.3. Hava özellikleri

5.1.3.1. Nemlilik

Kuru hava ile su buharının karışımından oluşan nemli hava ideal gaz karışımlarının en önemli örneğidir. Nemli hava içerisindeki su buharının konsantrasyon miktarı; kuru havanın birim ağırlığı içerisinde bulunan su buharı kütlesini (m_b) belirtilen özgül nem ($x=m_b/m_h$ kg) nemli hava içerisindeki su buharı kısmi basıncının (P_a), aynı sıcaklığa tekabül eden doymuş su buharı basıncı (P_s) na oranını veren bağıl nem ($\phi = P_a / P_s$) veya nemli havanın birim hacmindeki su buharı miktarını (m_b) gösteren mutlak nem ($\delta_b = m_b / V$ g/ cm³) ile ifade edilir.

Havanın nemi psikrometre ile belirlenir. Psikrometre birisi normal, diğeri ise haznesine muslin (pamuklu tülbent) tampon sarılarak sürekli ıslatılan 2 adet termometreden ibarettir.

Doymamış hava akımı kendinden sıcak su ile karşılaşınca sudan havaya ısı iletimi gerçekleşir ve buharlaşma sonucu su soğur. Hava su buharı ile doyun hale gelinceye kadar buharlaşma ve suyun soğuması devam eder. Hava ve suyun sıcaklıkları eşit olduğunda ısı iletimi sona erer. Fakat hava, su buharı ile doygun hale ulaşınca kadar buharlaşma sürer. Böylece suyun sıcaklığı, hava sıcaklığının altına düşer. Öyle bir noktaya ulaşılır ki bu noktada suyun buharlaşma ile kaybettiği ısı havadan ısı iletimi ile kazandığı ısıya eşit olur. Bu noktadaki sıcaklık yaş termometre sıcaklığı (T_y), havanın sıcaklığı ise kuru termometre sıcaklığıdır (T_k).

Buharlaşma hızı havanın kuruluğu ölçüsünde büyük olur. Hava su buharına doygun iken $T_k = T_y$ olup su buharlaşmaz. Doymamış nemli hava için daima $T_y \leq T_k$ olup havanın kuruluğu psikrometre farkı ($\Delta T = T_k - T_y$) ile belirlenir. Psikrometri farkı havanın kuruluğu ölçüsünde büyük olur.

Suyun doymuş buhar basıncı; yaş termometre sıcaklığında [$P_s (T_y)$] kuru termometre sıcaklığında [$P_s (T_k)$] için bağıl nem; $\phi = [(P_s (T_y))^{-1/2} \Delta T] / [P_s (T_k)]$ eşitliğinden hesaplanır. Sıcaklığa göre düzenlenmiş doymuş su buharı basıncı değerleri Tablo 12' de verilmiştir.

Tablo 12. Sıcaklığa göre doymuş su buharı basıncı (Zırazkiran, 1990).

T (°C)	P _s (mm,Hg)	T (°C)	P _s (mm Hg)	T (C)	P _s (mm Hg)	T (°C)	P _s (mm Hg)
0	4,6	26	25,2	52	102,1	78	327,7
1	4,9	27	26,7	53	107,2	79	341,0
2	5,3	28	28,4	54	112,5	80	355,1
3	5,7	29	30,0	55	118,0	81	369,7
4	6,1	30	31,8	56	123,8	82	384,9
5	6,5	31	33,7	57	129,8	83	400,6
6	4,0	32	35,7	58	136,1	84	416,8
7	7,5	33	37,8	59	142,6	85	433,6
8	8,1	34	39,7	60	149,4	86	450,9
9	8,6	35	42,2	61	156,4	87	468,7
10	9,2	36	44,6	62	163,8	88	487,1
11	9,8	37	47,1	63	171,4	89	506,1
12	10,5	38	49,7	64	179,3	90	525,8
13	11,2	39	52,4	65	187,5	91	546,0
14	12,0	40	55,3	66	196,1	92	567,0
15	12,7	41	58,3	67	205,0	93	588,6
16	13,6	42	61,5	68	214,2	94	610,9
17	14,5	43	64,8	69	223,7	95	633,9
18	15,5	44	68,3	70	233,7	96	657,6
19	16,2	45	71,9	71	243,9	97	682,0
20	17,5	46	75,7	72	254,6	98	707,3
21	18,7	47	79,6	73	265,7	99	733,2
22	19,8	48	83,7	74	277,2	100	760,0
23	21,1	49	88,0	75	289,1	101	787,5
24	22,4	50	92,5	76	301,4	102	815,9
25	23,8	51	97,2	77	314,1	130	845,1

* 1 At (kp/cm²) = 735,5 mm Hg (Teknik atmosfer), 1 At = 760 mm Hg (Fiziksel atmosfer)

Nemli hava içerisindeki buharın kısmi basıncı karışımın sıcaklığına tekabül eden doymuş su buharı basıncının üstünde bir değer alamaz. Kısmi buhar basıncını arttırmak için karışıma daha fazla buhar ilave edilirse yoğunlaşma olur. Nemli hava soğutuldukça doymun hale ulaşmak için daha az su buharı yeterli olduğundan belli bir sıcaklıktan itibaren yine yoğunlaşma başlar. Bu noktadaki sıcaklığa çığ noktası (şebnem noktası) sıcaklığı denir. Bu noktada hava su buharı ile doymun haldedir. ($P_s = P_a$). Buna göre sıcaklığı ve bağıl nemi bilinen nemli havanın şebnem noktası sıcaklığı; $P_a = \phi \cdot P_s$ eşitliğinden kısmi buhar basıncı hesaplanarak, buna eş değer doymuş buhar

basıncına karşılık gelen sıcaklık doymuş buhar basıncı tablosundan alınır (Zırzakıran, 1990).

Hava kurulaştıkça kuruma hızı kurumanın 1. ve 2. aşamalarında artar 3. aşamada ise doğrudan etkili olmaz. Hava ısıtıldıkça bağıl nemi azaldığından ağaç malzeme sıcak havada, aynı bağıl nemdeki soğuk havada daha hızlı kurur. Havanın bağıl nemi arttıkça kuruma süresinin uzamaması için hava hızı arttırılır.

5.1.3.2. Sıcaklık

Hava sıcaklığı kuramının 1. aşamasında kuruma süresini etkilemez, ancak 2. ve 3. aşamalarda sıcaklık arttıkça kuruma süresi kısalır. Ancak yüksek sıcaklık uygulanması halinde renk değişimleri yanında meşe, kayın, ceviz, kavak odunlarında hücre çökmeleri (kollaps), çatlak oluşumu ve reçine sızması gibi kusurlar oluşur. Bu nedenle kurutma sıcaklığı seçiminde ağaç türü, yoğunluk, rutubet ve kalınlık dikkate alınır. Kurutma başlangıcında ağır odunların kalın kerestelerinde düşük (40-50⁰C), yumuşak odun kerestelerinde nispeten daha yüksek (60–70 ⁰C) sıcaklık uygulanır.

5.1.3.3. Hava Hızı

Odunun rutubeti lif doygunluk noktası üstünde iken (1. ve 2. aşama) hava hızı arttırıldıkça kuruma hızlanır. LDN altında ise (3. aşama) kuruma hızı hava hızının arttırılmasından etkilenmez, Kurumanın ilk iki aşamasında sert odunlar için 1–1,5 m/sn, yumuşak odunlar için 1,5–2 m/sn hava hızları önerilir. Kerestelerin homojen kuruması bakımından geniş istiflerde (2m) hava akım yönü otomatik bir düzenle 15 dakikada bir değiştirilir. Ancak hava hızı düşük uygulanan (1 m/sn) dar istiflerde (1m) hava akım yönünü değiştirmenin bu bakımdan yararı olmaz.

6. KURUTMA METODLARI

Ağaç malzeme doğrudan açıkta veya sundurma altında istif edilerek doğal iklim şartları etkisinde kurutulabilir. Bu kurutma şekline doğal kurutma denir. Kurutma şartlarının (sıcaklık, bağıl nem, hava hareketi) isteğe göre ayarlanabildiği, bu maksat için yapılmış kurutma fırınlarında yapılan kurutma ise teknik kurutmadır.

Doğal kurutmada ulaşılan kuruluk ülkemiz şartlarında % 12–17 kadar olup, kuruma süresi 1 cm kalınlık için yaklaşık olarak iğne yapraklı ağaçlarda 1 ay, yapraklı ağaçlarda 2 ay kadardır. Bu sürede ağaç malzeme çevrenin her türlü olumsuz etkilerine (doğal afet, böcek ve mantar zararları) açık olduğu gibi sermaye uzun süre bekletilmek durumundadır (ölü kapital). Bunların dışında depo yerinin fiyatı, düzenlenmesi, bakım ve denetimi, sigorta giderleri maliyeti arttırdığı gibi değer kaybı yanında piyasa isteklerine zamanında cevap verilemez. Teknik kurutmada ise kuruma şartları denetim altında olup ağaç malzeme istenilen rutubete kadar, kısa sürede ve en az kayıpla kurutulabilir.

6.1. Teknik Kurutma

Kurutma şartlarının denetlenebildiği kapalı ortam veya kabinlerden ibaret olan kurutma fırınlarında yapılan kurutmadır. Klasik kurutma fırınlarında sıcak ($T < 100^{\circ}\text{C}$) ve nemli hava ile kuruma sağlanırken yüksek sıcaklıklarda ($T > 100^{\circ}\text{C}$) kızgın buhar ya da nemli hava ile kurutma, kimyasal kurutma, ozonlu kurutma, elektrikli kurutma, yüksek frekanslı akım tekniği ile kurutma, enfraruj (kızıl ötesi ışınlar) kurutma, organik maddeler ile kurutma, vakumlu kurutma gibi özel kurutma metotları mevcuttur.

6.1.1. Sıcak ve Nemli Hava İle Kurutma

Klasik kurutma fırınları kurutma odası ya da kurutma tüneli olmak üzere iki çeşit olup sıcaklık, bağıl nem ve hava hızının ayarlanabildiği kontrol düzenleri bulunur. Isıtma çoğunlukla sıcak su, alçak veya yüksek basınç buharı ya da elektrik ile ısıtılan bataryadan sağlanır. Nemlendirme için fırın içerisine su buharı püskürtülür. Nemlilik taze hava girişi ve nemli hava çıkışı bacaları ile ayarlanır. Havalandırma ise sıcak havanın daha hafif olması prensibine göre çalışan doğal havalandırma yada santrifüj veya pervaneli tipte vantilatörlerle sağlanır. Homojen kuruma sağlanabilmesi için hava

hızı istif yüksekliğince tüm kesitlerde eşit olmalı, istifin üstünde ve altında yararsız hava geçişleri önlenmeli, istifin hava girişi tarafında kereste başları aynı düşey doğrultuda ve fırın duvarında en az 0,6 m – 0,7 m uzakta bulunmalıdır.

6.1.1.1. Kereste İstifleme

Ekonomik ve kusursuz bir kurutma için istifte aynı türden, eşit kalınlıkta ve mümkün olduğunca aynı rutubetteki keresteler bulunmalıdır. Kalınlık ve rutubetleri farklı kerestelerin birlikte istiflenmesi halinde kurutma en kalın ve en rutubetli keresteye göre programlanır.

Keresteler arasında yeterli hava akımı sağlamak ve kuruma sırasında biçim değişmelerini önlemek için istif lataları kullanılır. İstif lataları çam türü ağaçların sağlıklı öz odunlarından hazırlanır ve kereste başlarından 1 cm taşkın ve üst üste aynı düşey doğrultuda yerleştirilir. Aksi halde serbest kalan kereste uçları eğilir ve çatlar. İstif latası kalınlığı (e_L) ve genişliği (g_L) ile latalar arası açıklıklar (a_L), kereste kalınlığının (e_k) fonksiyonu olarak Tablo 13’ de verilmiştir (Uysal, 1993).

Tablo 13. İstif latası kalınlığı (e_L) ve genişliği (g_L) ile latalar arası açıklıklar (a_L), kereste kalınlığının (e_k) fonksiyonu

e_k (mm)	e_L (mm)	g_L (mm)	a_L (cm)
< 30	16	25	40-80
30-60	30	30	60-100
< 60	40	40	80-120

Latalar arası açıklık özenli kurutma halinde küçük tutulur. Çarpılmaya duyarlı sert odunların kurutulmasında latalar en fazla 30 cm aralıklarla yerleştirilir.

Kurutmada uygulanan hava hızı $v_h > 0,5$ m/sn ya da $e_k \leq 40$ mm ise keresteler, aralarında açıklık bırakılmadan, aynı katta yan yana yerleştirilir. Aksi halde aralarında 3–4 cm’lik boşluk bırakılır. Ayrıca keresteler istif genişliği dışına taşmamalı, istif yan yüzleri paralel iki düzlem oluşturmalı, geniş ve ince keresteler öz tarafı yukarı gelecek şekilde dizilmelidir. En uygun istif genişliği 1–1,5 m dir.

Kabin iç hacminin %40 ı istif dışı boş hacim olarak bırakılır. Latalı istiflemede istifteki boşluk oranı; $b = e_{\perp} / (e_L + e_k)$ kadardır. Buna göre fırın kapasitesi n hesabında,

istiflenen kereste hacminin (V_k) fırın iç hacmine (V) oranına istifleme katsayısı (k_i) denir. İstifleme arabalar üzerinde yapıldığı takdirde kullanma hacmi %20 azalır. 15–50 mm kalıktaki kerestelerin arabasız istiflenmesinde $k_i = \% 30\text{--}40$ kadardır.

Örnek:

Boyutları 6 m x 4 m x 2,5 m olan fırına 30 mm kalınlıkta lata kullanarak 40 mm kalınlıktaki kerestelerden ne kadar istiflenebilir?

$$\text{Fırın hacmi} : 6 \times 4 \times 2,5 = 60 \text{ m}^3$$

$$\text{Boş hacim} : 60 \times 0,40 = 24 \text{ m}^3$$

$$\text{İstif hacmi} : 60 - 24 = 36 \text{ m}^3$$

$$\text{İstif boşluğu} : b = 30 / (30 + 40) = \% 42 \Rightarrow 36 \times 0,42 = 15 \text{ m}^3$$

$$\text{Kereste hacmi: } 36 - 15 = 21 \text{ m}^3$$

olup, istifleme arabasız yapıldığı takdirde istifleme katsayısı $k_i = 21/60 = \%35$ dir. Arabalı istifleme halinde; $21 \times 0,2 = 4,2 \text{ m}^3$ daha az olacağından $21 - 4,2 = 16,8 \text{ m}^3$ kereste istiflenebilir.

6.1.1.2. Kurutma

Fırında kurutma işleminde ısıtma, kurutma, dengeleme ve soğutma olmak üzere 4 ayrı periyot vardır. Kerestenin başlangıç rutubetinden sonuç rutubetine kadar çeşitli rutubet basamaklarında fırının kurutma şartları, önceden hazırlanmış olan belirli bir kurutma programına göre ve basit, yarı otomatik veya tam otomatik sistemlerden birisi ile yönetilir.

Basit yönetim sadece psikrometre bulunan fırınlarda sıcaklık, bacaların açılıp kapatılması ve buhar püskürtmenin el ile ayarlandığı, kereste rutubetinin zaman zaman basit olarak ölçüldüğü yönetim şeklidir. Yarı otomatik yönetimde sıcaklık ve bağıl nem kumanda tablosundan el ile ayarlandıktan sonra kurutma işlemi otomatik olarak gerçekleşir. Sıcaklık ve bağıl neme göre oluşan denge rutubeti, rutubet sensörü ile kumanda tablosuna iletilir. Kurutma programına uyan kurutma şartları, kontrol edilerek zamanında değiştirilir. Tam otomatik yönetiminde ise kurutma şartları, ağaç türü, kereste kalınlığı ve sonuç rutubetine göre bilgisayarlı ayar ve kumanda merkezinden otomatik olarak gerçekleştirilir.

a) Isıtma Periyodu

Isıtma periyodunda kereste, kurutma periyodunun birinci basamağında uygulanacak sıcaklıktan 8–10 °C fazla olmak üzere ısıtılır. Kuruma olmaksızın, ısıtma periyodu ön ısıtma, yüzeysel ısıtma ve derin ısıtma olmak üzere 3 kademe uygulanır.

Ön ısıtmada, buhar püskürtülmeksizin kabin sıcaklığı 30 °C ye yükseltilir. Bunun nedeni sıcak buharın henüz soğuk olan kereste yüzeylerinde yoğunlaşarak leke oluşturmasını önlemektir. Yüzeysel ısıtma basamağında sıcaklık 5 °C lik kademeler ile artırılarak kurutma periyodunun ilk basamağında uygulanacak sıcaklığa yükseltilir. Odun rutubeti $r > \%35$ ise bağıl nem $\varphi = \%90$, $r < \%35$ ise $\varphi = \%75$ olarak ayarlanır. Çünkü taze haldeki odun en çok yaş termometre sıcaklığına kadar ısıtılabilirdiği gibi hava nemliliği arttıkça ısı transferi kolaylaşacağından ısıtma süresi kısalmıştır. Derin ısıtmada sıcaklık, kurutma periyodunun ilk basamağında uygulanacak sıcaklıktan 8–10 °C fazla olmak üzere yükseltilir. Bu maksatla gerekli en az süre her cm kereste kalınlığı için 1 saattir. Derin ısıtmada kusur sayılacak renklemeler oluşması halinde bağıl nem $\varphi \leq \%65-70$ olarak uygulanır. Çünkü tanen vb. yan bileşiklerin oksidasyonu sonucu meşe, ceviz ve kızılğaç esmer, ıhlamur ağacı ise lekeli bir hal alır.

b) Kurutma Periyodu

Bu periyoda kereste, ağaç türü ve kalınlığına göre değişen, genellikle odun rutubetini esas alarak hazırlanan kurutma programlarına göre, kurutulmak istenen sonuç rutubetinin %1–3 kadar altında bir rutubete kadar kurutulur. Rutubet esasına göre hazırlanan kurutma programları, kurutulacak ağaç türü, kalınlık ve kurutma kalitesine göre seçilen kuruma eğimi (∇_k) ve odunun ortalama rutubeti (r_d) için; $\nabla_k = r/r_d$ eşitliğinden denge rutubeti (r_d) belirlenir. Bu denge rutubetini sağlayan psikrometre değerleri higroskopik denge eğrilerinden alınır.

Kurutma periyodu kolay kuruyan yumuşak odunlarda 1 kademe, kalın ve güç kuruyan sert odunlarda; birincisi lif doygunluk noktasına kadar, ikincisi LDN dan sonuç rutubetine kadar olmak üzere 2 kademe halinde uygulanır. Birinci kademe tek basamak, ikinci kademe %2-5 arasında değişen rutubet basamaklarına göre yönetilir. Sıcaklık en çok 56°C olmak üzere kademe kademe arttırılır.

Kurutma sırasında sıcaklığın sürekli değiştirilmesi halinde sıcaklık meyli dışarıdan içeriye doğru artacağından, kuruma olumsuz etkileneceği gibi kurutmanın yönetilmesi de güçleşir. Diğerlerine göre daha uygun olan kuru termometrenin sabit

tutulduğu 2. kombinasyonda renk değiştirme eğilimdeki yapraklı ağaçlar ve reçine sızması söz konusu olan iğne yapraklı ağaçlar için lif doygunluk noktasına kadar düşük, LDN den sonuç rutubetine kadar ise olabildiğince yüksek sıcaklık uygulanır.

Kurutma periyodu süresi (S_k); kereste kalınlığı (e_k mm), başlangıç rutubeti (r_b), sonuç rutubeti (r_s), hava hızı (v_h m/sn) olmak üzere;

$$S_k = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{r_b}{r_s} \right) \left(\frac{e_k}{25} \right)^{1,5} \left(\frac{65}{t_k} \right) \left(\frac{1,5}{v_h} \right)^{0,6} \text{ saat} \quad (12)$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada ; α = ağaç türü, kereste kalınlığı ve fırının sağlandığı hava debisine bağlı bir katsayı olup, normal kabin tipi kurutucularda; iğne yapraklı ağaçlar için $\alpha \cdot 10^2 = 4,77$ ($1/\alpha = 21$), yapraklı ağaçlar için 2,65 ($1/\alpha = 38$), güç kuruyan meşe için 1,2 ($1/\alpha = 96$) alınır. Kurutma periyodu süresi başlangıç rutubetinden lif doygunluk noktasına kadar ve LDN dan sonuç rutubetine kadar olmak üzere iki kademedede hesaplanır. Taze halde LDN a kadar kuruma hızı zamanın lineer fonksiyonu olup anında odunun rutubetli ağırlığı $m_r(z)$, Δz zaman sonraki ağırlığı $m_r(z+\Delta z)$ ise kuruma hızı

$U_k = [m_r(z) - m_r(z + \Delta z)] / A \cdot \Delta z$ (kg/m^2 saat) kadardır. Burada A, kuruma yüzeyi olup kereste kalınlığına (e_k m) bağlı olarak $A \cong 2 / e_k$ (m^2/m^3) eşitliğinde hesaplanır.

Bazı ağaç türlerinin $e_k \leq 30$ mm kalınlıktaki kerestelerin % 8 rutubete kadar kurutma süreleri Tablo 14' de verilmiştir.

Tablo 14. Bazı ağaç türlerinde kurutma süresi

AĞAÇ TÜRÜ	S_k	
	$r_b = \text{Taze}$	$r_b = \text{LDN}$
Meşe	3 hafta	8-10 gün
Kayın	2 hafta	6-8 gün
İ.Y.A	3-4 hafta	1-2 gün

c) Dengeleme Periyodu

Kurutma periyodu sonunda odunda rutubet dağılımı homojen olmadığından dengelenmesi gerekir. Bu nedenle keresteler fırında iken dengeleme periyodunda orta

kısımların kurumaya devam etmesi ve yüzey kısımların bir miktar rutubet alması için sıcaklık değiştirilmeksizin bağıl nem yükseltilir.

Dengeleme periyodu uygulanmasında işlem üç aşamada gerçekleştirilir.

1 – Kontrol örneği rutubeti sonuç rutubetinden %2 daha düşük iken işleme başlanır.

2 – Kurutma sıcaklığı sabit tutularak, sonuç rutubetine uygun denge rutubeti sağlanacak şekilde bağıl nem yükseltilir. Örnek olarak kurutma sonunda $T_k = 85 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi = \% 40$ ve $r_s = \% 8$ ise kereste % 6 ya kadar kurutulur. $85 \text{ }^\circ\text{C}$ de % 8 lik r_d için $\varphi = \% 66$ yapılır.

3 – En rutubetli kontrol örneğinin rutubeti istenilen sonuç rutubetine ulaşmaya kadar işleme devam edilir.

Dengeleme periyodu süresi (S_d): kurutma periyodu süresi (S_k) ve kurutmada istenen kalite ve fırın özelliğine bağlı dengeleme faktörü (f_d) için; $S_d = S_k \cdot f_d$ eşitliğinden hesaplanır. Metal fırınlarda $f_d = 0,4$; kâğır fırınlarda hava hızı $v_h \geq 2 \text{ m/sn}$ ise, yumuşak odunlar için küçük olmak üzere $f_d = 0,4 - 0,45$ $v_h < 2 \text{ m/sn}$ ise $f_d = 0,01 - 0,3$ alınır.

d) Soğutma Periyodu

Dengeleme periyodu sonunda kereste fırından hemen çıkartılmamalıdır. Aksi halde, özellikle ince kereste çatlama ve çarpılmalar oluşur. Bu nedenle ısıtmaya son verilerek kapılar açılmadan kurutmanın ilk basamağında uygulanan sıcaklığa kadar vantilatörler çalıştırılır. Daha sonra vantilatörler durdurularak önce rutubetli hava kapakları, sonra temiz hava kapakları, daha sonra azar azar olmak üzere fırın kapısı açılarak kereste fırından çıkarılır. Fırından alınan kereste dam altında ya da kapalı hangarda bekletilmelidir.

6.1.1.3. Kurutma Programının Uygulanması

Önceden lif doygunluk noktasına kadar kurutulmuş 25 mm kalınlıktaki taze haldeki toros karaçamı kerestesinin % 8 rutubete kadar kurutulmasında uygulanan bir kurutma programı Tablo 15 de verilmiştir. Kurutma sırasında yüzey çatlakları oluşmaya başladığı takdirde sıcaklık $5-10 \text{ }^\circ\text{C}$ arttırılıp bağıl nem % 85-90 yapılarak ağaç türü ve kereste kalınlığına göre 0,5-1 saat işlem sürdürülür.

Tablo 15. Toros karaçanı için kurutma programı (Serbes, 2003).

r (%)	t _k (°C)	t _y (°C)	φ (%)	r _d 8%)	∇ _k
TAZE	75	71	84	13,1	-
28	75	69	76	11,0	-
28-26	90	80	67	7,9	3,55
26-24	90	79	64	7,4	3,50
24-22	90	77,5	60	6,9	3,50
22-20	90	76	56	6,3	3,50
20-18	90	74	52	5,7	3,50
18-16	90	72	47	5,2	3,50
16-14	90	69	40,5	4,6	3,50
14-12	90	66	34	4,0	3,50
12-10	90	63	30	3,5	3,50
10-8	90	60	26	3,0	3,33
8-6	90	60	26	3,0	2,70
6-8	90	80	67	7,9	-
r (%)	t _k (°C)	t _y (°C)	φ (%)	Rd 8%)	∇ _k
LDN	45	44	94	21,4	-
26	45	43	89	12,8	-
26-24	65	62,3	87	15,0	1,73
24-22	65	61	83	13,6	1,76
22-20	65	60	78	12,3	1,79
20-18	65	59	75	11,3	1,78
18-16	65	57,5	68	10,0	1,80
16-14	65	56	64	9,0	1,75
14-12	65	53	54	7,5	1,86
12-10	65	51	48	6,7	1,79
10-8	65	47	37	5,4	1,85
8-6	65	43	28	4,3	1,86
6-8	65	57	57	8,0	-

Meşe ve kayın gibi türlerde kurutma sıcaklığı düşük iken küflenmeler oluşabilir. Bu durumda 0,5–1 saat süre ile sıcaklık 65-70 °C yapılarak bağıl nem > %30 iken φ = %95-100, r < % 30 iken φ = %75-80 değerlerine ayarlanır.

6.1.1.4. Kurutma Kusurları

a) Çatlamlar

Kurutmanın 1. aşaması sonunda kritik noktaya ulaşıldığında, iç kısımlardan gelen su yüzeylerden buharlaşan su miktarından daha az olduğundan, yüzeylerde 1 mm derinlikteki kısımlar lif doygunluk noktası altında kuruyup daralmaya başlarken iç kısımlar henüz LDN üstünde olup daralma göstermez. Böylece yüzeyler daralma sonucu çekme gerilmeleri (+), iç kısımlar ise yüzeylerdeki daralma nedeniyle basınç gerilmeleri (-) etkisindedir.

Yüzeylerde buharlaşma hızına bağlı olarak oluşan çekme gerilmeleri odunun liflere dik yöndeki çekme direncini aştığında (özellikle öz ışınlarında) 1 mm derinlikteki kısımlarda yüzey çatlakları oluşur. Yüzey çatlakları rendeleme ile giderilebilir.

Aynı ağaç türünden aynı yönde ve eşit boyutlarda biçilerek elde edilen doygun haldeki ilk odun örneğinden biri iki ucundan çekme zoru, diğeri basınç zoru altında tutularak kurutulduğunda basınç zoru etkisinde bırakılan parça daha fazla daralır. Bu nedenle yüzey çatlaklarının oluşmaya başladığı şartlarda kurutma sürdürülürse bir müddet sonra yüzey çatlakları derinleşir ve iç kısımlar, lif doygunluğu noktası altında kurumaya başladığında basınç zoru altında bulunduğu daralmalar, çekme zoru altındaki yüzeylerden daha fazla olacaktır. Böylece daha çok daralma gösteren iç kısımlarda oluşacak çekme gerilmeleri yüzey kısımlara basınç uygulamaya başlar. Bunun sonucunda başlangıçta oluşan yüzey çatlakları kapanarak görülmez hale gelir. İç kısımlardaki çekme gerilmeleri odunun çekme direncini aştığında iç çatlaklarının oluşmasına sebep olur. Petekleşme denilen bu iç çatlakları ağaç malzemeyi kullanılamaz hale getirir. Bu durum meşe, ceviz, kayın, okaliptus, akasya gibi geniş öz ışınlı ve daralma miktarı fazla olan odunlarda sık görülür. Bu nedenle bu gibi ağaç türlerinin kurutulması sırasında %25–30 rutubete kadar sıcaklık 40-50⁰C, bağıl nem $\phi > \%80$ olarak uygulanmalıdır.

Odunda rutubet akışı lifler yönünde yıllık halkalara teğet ve radyal yönlere göre çok daha kolay olduğundan buharlaşma miktarı enine kesitlerde daha fazladır. Bu nedenle hızlı buharlaşma şartlarında uç çatlakları oluşumu kaçınılmaz bir sonuçtur. Buna karşı enine kesitlerde buharlaşmayı yavaşlatıcı önlemler (mumlu gereçler sürmek vb.) alınmalıdır.

b) Kabuklaşma (Sertleşme)

Yapraklı ağaçların taze haldeki kalın keresteleri ($e_k > 50$ mm) şiddetli kurutma şartlarında yüzey tabakaları hızla kuruyup sertleşir ve henüz yaş olan iç kısımları kabuk şeklinde kuşatır. Bunun sonucu olarak iç kısımlardan yüzeylere su akışı engellenir. Bu gibi kerestelerden alınan çatal örneklerde serbest kalan yüzey tabakaları kısalarak dışa doğru bükülürler. Buna yüzeysel sertleşme denir. Dış sertleşme halinde önlem alınmadığı takdirde iç kısımlarda da sertleşme meydana gelir. Buna hakiki sertleşme denir. Yüzeylerden çok daha fazla çekme gerilmeleri oluşan iç kısımlar kısalma, başlangıçtaki çekme gerilmeleri tersine dönerek basınç etkisinde kalmaya başlayan yüzey tabakalar ise içe doğru bükülme eğilimindedir.

Sertleşmenin ilk belirtileri çok sayıda kılcal yüzey çatlakları oluşmasıdır. Bu durumda havalandırma bacaları kapatılarak buhar püskürtülür. Kabuklaşma tehlikesinin mevcudiyeti çatal örnekler yardımı ile anlaşılır. Güç kuruyan yapraklı ağaçların kalın keresteleri taze halden lif doygunluk noktasına kadar koruyucu kurutma şartları altında ($T_k = 40-50$ °C, $\phi > \%80$) kurutulmalıdır.

c) Kollaps (Hücre çökmeleri)

Kollaps odunun düzensiz ve aşırı daralması sonucu kereste yüzeyinin ondüleli bir görüntü oluşturmasıdır. Özellikle meşe, ceviz, kayın, okaliptus ve bazı kavak kalın kerestelerinin lif doygunluk noktası üstünde kurutulması sırasında oluşur. Bunun nedeni, su ile doygun haldeki hücre çeperlerinin, suyun hızla buharlaşması sonucu, su ile dolu bir lastik hortumdan suyun aniden çekilmesinden oluşan vakum sonucu lastik hortumdaki çekilmeye benzer bir etkiden oluşabildiği gibi hızlı kuruma, sonucu daralan yüzey tabakalarının iç kısımdaki hücelere uyguladığı basınç etkisiyle ezilmesinden ileri gelebilir.

Kollaps, meşe ve kayın gibi odunların doygun halde iken $T_k > 50$ °C sıcaklıkta kurutulması sırasında görülmekle birlikte okaliptus ve kavak odunlarının taze halde iken doğal kurutma ile kurutulmaları sırasında da oluşabilmektedir. Kollaps olmuş keresteler, iç çatlakları oluşmamış ise 70–100 °Cde tam doygun buhar püskürtülerek, ağaç türü, kalınlık, kollapsın miktarı ve uygulanan sıcaklığa göre 4–12 saat bekletilerek kısmen onarılabilir. Bu şartlarda hücre çeperinin yeniden rutubet alarak büyük oranda eski şeklini alması sağlanır. Bu durumda yeniden rutubet alan kereste kurutulurken kollaps tekrar oluşmaktadır.

Kollaps oluşumuna, karşı rutubetli odunlar fırında kurutulmadan önce doğal kurutma ile %20–25 rutubete kadar kurutulmuş olmalı ya da bu rutubete kadar fırında 40-45⁰C gibi düşük sıcaklık uygulanmalıdır. Kurutma işleminden önce odunun amonyum karbonat gibi kimyasal maddelerle emprenye edilmesi halinde hücre çeperinde gaz yerleşeceğinden hızlı buharlaşma engellenerek hücre çökmeleri önlenmektedir. Kollaps, lif doygunluk noktası üstünde iken meydana geldiğinden odunun sadece LDN altında meydana gelen daralma özelliği ile ilişkili değildir.

d) Biçim Değişmeleri

Kurutma sırasında kerestenin çeşitli kesitlerinde meydana gelen rutubet farklılıkları ve odunun üç yönde farklı çalması sebebiyle başlangıçta düzgün olan kenar, yüzey ve profillerde eğilme, burulma, oluklaşma şeklinde farklılaşmalar oluşur. Farklılaşma miktarları ise ağaç türü, biçilme şekli, yıllık halka yapısı, ağaç gövdesi ve enine kesitine göre alındığı yer, ihtiva ettiği doğal kusurlar ve istiflemeye gösterilen özene bağlıdır.

e) Renk Değişmesi ve Reçine Sızması

Kurutma sırasında odunun doğal renginin yüzeysel olarak kısmi lekeler ya da şeritler halinde değişmesi şeklinde olabileceği gibi tüm kesitlerde derinlemesine oluşabilir. Bunun nedeni, yapraklı ağaçlarda $T_k > 60$ °C ve $\phi > \%65$, iğne yapraklı ağaçlarda $T_k \geq 90$ °C iken lignin ve odun polyoslarında meydana gelen kimyasal değişmelerdir. Odunun rutubeti arttıkça renk değişimleri daha belirginleşir. Diğer taraftan bazı odunlarda $T_k > 50$ °C iken fırında kurutma ve doğal kurutma sırasında yanan ve bazı yan bileşiklerin oksidasyonu sonucu renk değişimleri meydana gelir. Ayrıca meşe, kestane, akasya gibi tanence zengin odunlarda metallere temas etmesi halinde renklenmeler görülür. Metal teması sonucu oluşan %10 luk oksalik asit ile giderilebilir. Yeknesak ve yüzeysel oluşan renk değişimleri önemli bulunmazken, lekeler ve şeritler halinde derine giden renk değişimleri önemli kusur sayılır.

Reçinece zengin odunlar $T_k > 60$ °C sıcaklıkta kurutulduğunda reçine kereste yüzeyine sızmakta, sıcaklık yükseldikçe ($T_k > 80$ °C) sızan reçine yüzeyde kahverengi renk almakta, uçucu kısmın (terebentin) ayrılması ile geri kalan kolofan ağaç malzemenin işlenmesini güçleştirmektedir. Reçine sızması istenmeyen hallerde $T_k \leq 60$ °C olarak uygulanmalıdır.

6.1.1.5. Kurutma Kontrolleri

a) Rutubet Kontrolü

Fırındaki kurutma şartları belirli aralıklarla bir el psikrometresi ile kontrol edilerek kurutma programındaki şartlara uygunluğu denetlenir. Fırındaki kurutma şartları odunun ortalama rutubetine göre belirlendiğinden, odunun rutubet kurutmadan önce, kurutma sırasında ve kurutulduktan sonra kontrol edilir.

Kurutmadan önce istifin en rutubetli yerinden 2 adet kereste alınıp iki uçlarında 60–100 cm uzaklıktan 20–30 mm genişlikte kusursuz örnekler alınarak (a,b) rutubetleri kurutma metodu ile belirlenir.

Rutubet kontrol örnek parçaları, rutubetleri belirlenmiş olduğundan tartıldıktan sonra istif uzunluğu ve genişliğince, keresteler arasına yerleştirilip istenilen zamanda tartılarak rutubetleri hesaplanır ($m_o = m_r / (1 + r)$, $r = (m_r - m_o) / m_o$).

Örnek :

Kurutmadan önce rutubeti % 60 ve ağırlığı 4500 olan örneğin 60 saat sonraki ağırlığı 3400 g olduğuna göre bu durumda rutubeti;

$$m_o = m_r / (1 + r) = 4500 / 1,6 = 2810 \text{ g}$$

$$r = (m_r - m_o) / m_o = (3400 - 2810) / 2810 = 0, 21$$

Kurutma sonunda istiften alınan bir keresteden 20-30 mm genişlikte kesilen parçalar kalınlıkça parçalara bölünerek rutubetleri belirleneceği gibi, $r = 2/3 [(r_i (r_d/2)]$ eşitliğinden iç kısımların rutubeti (r_i) hesaplanarak yüzey kısımları ile (r_d) arasındaki fark belirlenir.

b) Gerilme Kontrolü

Kurutma sırasında odunda oluşacak iç gerilmeler (çekme, basınç) kontrol parçasından 20–30 mm genişlikte kesilen parçalarda açılan 3 biçme hattı ile oluşturulan çatal örnekler ile belirlenir.

Gerilmelerin miktarı yanlardaki parçaların dışa ya da içe doğru bükülme miktarları veya ortadaki parçalar ile aralarındaki uzunluk farkından belirlenerek kurutma şartları hakkında karar verilir. Çatallar birbirine paralel konumda iken içlerindeki gerilmeler dengelenir.

6.1.1.6. Yüksek Sıcaklıkta Kurutma

Yüksek sıcaklık ($T_k > 100$ °C) uygulanarak yapılan kurutmada nemli hava ve hava bulunmaksızın kızgın buhar olmak üzere iki farklı metot kullanılır. Bu maksatla kullanılan fırınlar paslanmaz çelikten ve 3-5 m³ gibi küçük kapasiteli olup, nemli hava ile kurutma yapanlarda taze hava girişi ve nemli hava çıkışı bacaları bulunduğu halde, kızgın buhar kullananlar bacasız kabinler şeklindedir. Buhar basıncı değerleri aştığında basınca ayarlı sübaplar açılarak fazla basınç giderilir. Nemli hava kullanılması halinde, ısıtma, kurutma, dengeleme ve soğutma periyotları uygulanır $T_k = 110-120$ °C ve $T_y < 100$ °C olarak ayarlanıp kurutma süresince sabit tutulur. Kereste kalınlığı ve rutubetine göre kurutma süresi 15-45 saat kadar olup önceden hazırlanmış kurutma programları yoktur.

İçerisinde hava bulunmayan kızgın buhar odundaki suyu kısa sürede buharlaştırarak absorbe eder. Bu nedenle doymuşlaşma eğiliminde olup ısıtıldıkça kurutucu özelliğini sürdürür. Kızgın buharla kurutmada denge rutubeti yalnızca buhar sıcaklığına bağlıdır. Buna göre; $T_k > 100$ °C ve $T_y = 100$ °C olduğundan bağıl nem, $\phi = \% 100$ alınır.

Meşe, ceviz, huş gibi taze halde kurutulurken kollaps oluşan yapraklı ağaç keresteleri önceden %25-30 rutubete kadar kurutulmuş olmaları halinde $T_t = 110$ °C ve $T_y = 88$ °C olan nemli havada kurutulabilirler. İçerisinde fazla miktarda reçine bulunan odunların yüzeylerinde reçine kristalleri oluşmakta, kayın gibi içerisnde asetik asit bulunan odunların kurutulması sırasında fırının metal malzemelerin paslanmalar önlenememektedir.

6.1.2. Kimyasal Kurutma

Kuruma sırasında kolaylıkla yüzey çatlakları oluşan meşe, kayın, gürgen gibi türlerin yüzey kısımlarına odunun denge rutubetini yükselten kimyasal maddeler uygulandıktan sonra sıcak ve nemli hava şartlarında kurutulmasıdır.

Odun yüzeyi tuz ile 1-2 mm derinlikte emprenye edildiğinde, buhar basıncı, ortamın buhar basıncının altına düşünceye kadar odun rutubetini ortama vermez. İç kısımlardaki suyun buhar basıncı yüzeydeki tuzlu suyunkinden yüksek olduğundan su iç kısımlardan yüzeylere akar. Böylece iç kısımlar kururken yüzeyler rutubetli kalır. Yüzeylerde toplanan su, kurutma sıcaklığında tuzlu suyun doymuş buhar basıncına

uygun düşen bağıl nem değerine ulaşınca kadar buharlaşır. Böylece düşük bağıl nem şartlarında kurutma halinde bile odun yüzeyinin rutubeti yüksek tutulduğundan çatlak oluşmaksızın kurutma süresi de kısaltılabilir. Bu maksatla kullanılacak kimyasal maddelerin 20 °C de sağladıkları bağıl nem değerleri Tablo 16’ da verilmiştir.

Tablo 16. Bazı kimyasal maddelerin sağladığı bağıl nem (Serbes, 2003).

Kimyasal Madde	φ (%)
Fosfor pentoksit (P ₂ O ₅)	0
Kalsiyum klorür (kuru)	2,5
Kalsiyum klorür (teknik)	32,5
Potasyum nitrat (KNO ₂)	45,0
Sodyum nitrat (NaNO ₂)	66,0
Amonyum nitrat	68,0
Sodyum klorür (NaCl)	78,0
Üre	80,0
Amonyum sülfat	81,0
Potasyum klorür (KCl)	85,0
Çinko Sülfat (ZnSO ₄)	90,0
Su (H ₂ O)	100,0

Kimyasal maddeler, ortamın bağıl nemi, sağladıkları bağıl nem değerinden yüksek iken ortamda rutubet alırken, daha düşük bağıl nem şartlarında ortama rutubetlerini verirler. Buna göre; mutfak tuzu odunun denge rutubetini yükseltirken $\varphi > \% 78$ şartlarında ortamdan rutubet alır. Hızlı kurutmaya imkân sağlayan teknik CaCl₂ ise kullanma yerinde $\varphi > \%32,5$ iken rutubet alacaktır. Odunun denge rutubetini arttıran kimyasal maddelerin kullanma yerindeki bağıl nem şartlarında bünyesi nem çekmemesi gerekir. Aksi halde ağaç malzemedeki mantar zararları yanında tutkallama ve yüzey işlemleri de olumsuz etkilenir. Bu nedenle % 70–80 bağıl nem sağlayan kimyasal maddeler tercih edilir.

Kimyasal maddenin kolay nüfuz etmesi için odunun taze halde ya da rutubetinin çok yüksek olması gerekir. Bu maksatla gerekirse ıslatıldıktan sonra iki yüze kristal haldeki kimyasal madde yayılarak üst üste yığılıp 2–3 gün beklenilir ya da kimyasal

maddenin doygun çözeltilisine birkaç dakika, orta konsantrasyondaki çözeltilisine 1–2 gün süre ile daldırılır. Bu uygulamada kereste yüzeyinin kimyasal maddeyi homojen olarak alması için çözeltiliye bir miktar boraks veya nişasta ilave edilir. Bunların dışında fırça ile sürme veya püskürtme uygulanabilir. Üre ya da tuz kullanıldığında en iyi sonuç kuru halde serpmeye metodundan alınır. Bundan sonra rutubet % 20 ye ulaşınca kadar uygun bir sıcaklık ($T_k \cong 70 \text{ }^\circ\text{C}$) ve bağıl nem ($\varphi = \%75$) şartlarında kısa zamanda ve çatlak oluşmaksızın kurutma yapılabilir.

Kimyasal maddeler ile emprenye edilen, odunun daralma miktarı genellikle azalır. Tuzlar, çivi, vida vb. metal malzeme fırının metal kısımlarını paslandırır. Mutfak tuzuna katılan amonyum fosfat gibi inhibitör maddeler (negatif katalizör) paslanmaz etkisini sınırlandırmakla birlikte ıslak mekân ya da nemli yerlerde kullanılacak ağaç malzeme tuz ile emprenye edilmemelidir. Tuz odunun rengini değiştirmedeği gibi, açık havada koyulaşma eğilimini azaltır. Ancak NaCl gibi elektrolitik maddeler, elektrik direği ve elektrikle temas eden yerlerde sakıncalıdır.

6.1.3. Ozonlu Kurutma

Sıcaklığı $30 \text{ }^\circ\text{C}$ olan kuru havanın, 20 m^3 hava için 1 gr ozon hesabı ile sürekli veya 5 er dakika ara ile 1 m^3 hava için 0,2 gr ozon hesabı ile ozonlu kuru hava normal kuru hava gönderilerek kesintili ozonlanmasındır. Ozon sıcak havada elektrik etkisi oluşturarak su buharını askı halinde kabinde yoğunlaştırdığından kereste yüzeyinde sertleşme kusuru oluşturmadığı gibi, kuvvetli bir oksitleyici madde olduğundan odundaki reçine, sakız vb. depo maddelerinin oksidasyonunun hızlandırarak odunda yapay eskime oluşturur. Isı ekonomisi sağlamakla birlikte ozon, karmaşık ve hacimli donanımlar gerektirmekte ve odunun mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir.

6.1.4. Elektrikle Kurutma

6.1.4.1. Doğru ve Alternatif Akım İle Kurutma

Doğru akım devresince bağlı iki metal levha arasına yerleştirilen doygun haldeki keresteye elektrik akımı verildiğinde (+) kutba bağlı kısımlar ısınırken (–) kutba bağlı kısımlar soğur. Bunun sonucunda odunun rutubeti (–) kutup yüzeylerinde yoğunlaşır.

Böylece (-) kutba bağlı yüzeylerinden serbest su yüzeyindeki gibi hızlı bir buharlaşma olur.

Taze haldeki kereste, elektrotları arasında 1500 volt gerilim bulunan 50 Hz lik bir alternatif akım devresinde iken odundan başlangıçta bir kaç mA lik akım geçtikten sonra akım geçişi durur. Bunun nedeni ilk 5- 6 dakikada kerestede iç kısımlarının 98 °C ye kadar ısınarak suyun buharlaşması ve akım geçmediği zaman rutubetin soğuk olan yüzeylerde yoğunlaşmasıdır. 20 dakika sonra odunun rutubeti % 17 den % 12 ye azalırken 45 mm kalınlıktaki kerestede rutubet dağılımı; %16,6 - %11- %8- %6,6 - %7,8-%11,5 - %15,5 olarak belirlenmiştir. Gerilim arttıkça ulaşılan maksimum akım şiddeti artar ve bunun için gerekli süre kısalır. Odundan akım geçişinin durma sebebi orta kısımda rutubetin minimum seviyede azalarak elektriksel direncin artmış olmasıdır.

Elektrik akımı ile kuruma sağlanamaz. Ancak rutubet kereste yüzeylerinde yoğunlaştırılmış olduğundan suyun buharlaşması kolaylaştırılır.

6.1.4.2. Yüksek Frekanslı Akım ile Kurutma

Yüksek frekanslı akım etkisinde odunun sıcaklığı, frekans ile dakikada 100 °C nin üstüne çıkar. Buna göre; elektriksel güç sabit kaldıkça, yüksek frekanslı akım ile ısıtma süresi kereste kalınlığına bağlı olmadığı gibi orta kısımların sıcaklığı yüzeylerden daha fazla olduğundan, sıcak hava ile ısıtmanın aksine, sıcaklık eğimi rutubet eğimi ile aynı yönlü olur kuruma hızlanır.

Yüksek frekanslı akım ile kurutmada kerestelerin, bir kondansatörün levhaları arasında sabit tutulduğu statik metot ve kurutma tüneline hareket ettirildiği dinamik metot olmak üzere iki genel uygulama vardır. Odundaki su kısa sürede buharlaştırıldığından önceden % 15–20 rutubete kadar kurutulmuş odunların, % 7–8 rutubete kadar kurutulması halinde uygun olmaktadır.

a) Statik Metot

Keresteler kondansatör levhaları arasında sabit tutularak sıcaklığı tüm kesitlere 100 °C nin üstüne çıkarılarak içerisindeki su buharlaştırılır. Bu durumda odunun anatomik yapısı, oluşan buharın kısa zamanda dışarı atılmasına uygun olmalıdır. Meşe ve karaağaç permeabilitesi düşük ağaç türlerinde bu metot uygulanamaz. Ancak, yüksek frekanslı akım ile kereste önce 100 °C nin altında bir sıcaklığa kadar ısıtılarak eğimi

içerden yüzeye doğru oluşturulduktan sonra üzerinden sıcaklığı daha düşük olan nemli hava geçirildiğinde bu sakınca giderilmektedir

b) Dinamik Metot

Statik metodun uygulanmasında karşılaşılan güçlükler odunun lif doygunluk noktası üstünde kurutulması sırasında dielektrik sabiti ve güç faktörünün büyük değişme göstermesinden kaynaklanır. Bu nedenle elektriksel özelliklerin ağaç türü ve rutubete göre düzenlendiği bir tünelde kerestelerin hareket ettirildiği dinamik metot geliştirilmiştir.

Elektrotlardan biri (+) hareketli band olup, üzerine kurutulacak parçalar yerleştirilir. Diğer elektrod (-) birçok sabit parçadan oluşan kondansatörler dizini gibidir. İki elektrod arasındaki mesafeye göre değişen gerilimler odun türü ve rutubeti için ayarlanarak kesintisiz kurutma yapılır. Elektrotları besleyen yüksek frekans cihazındaki osilatör lambasını soğutmak için kullanılan hava, kurutma tüneline gönderilerek elektrod yüzeylerinde su yoğunlaşması önlediği gibi, kuruma hızlandırılır. Örnek olarak; ayakkabı kalıbı ve tüfek dipçığı yapımında kullanılan 10 cm kalınlığındaki kayın ve gürgen malzemeler % 40 rutubetten % 8 e kadar 2 saatte, homojen bir şekilde, kusursuz olarak kurutulmaktadır.

6.1.5. Enfraruj (Kızılötesi Işınım) Kurutma

Enfraruj kaynağı olarak kullanılan neonlu, cıva buharlı, tungsten, kömür flamanlı lambalar ve kurutma amacı ile 1,3 – 1,6 μ dalga boylu ışınım kullanılır. Kızılötesi ışınım etkisindeki malzemenin iç kısımlarını, absorbe edilen enerji kısa sürede ısıtır ve su moleküllerini titreştirerek hareketini kolaylaştırdığı gibi, malzeme içerisinde, içeriden yüzeylere doğru sıcaklık eğimi oluşturarak kurumayı hızlandırır. Ağaç malzeme, rutubeti arttıkça daha çok kızıl ötesi ışınım absorbe eder. Nüfuz derinliği ağaç türüne göre değişir, Tablo 17 oduna nüfuz derinliği sınırlı olduğundan kalınlığı 15 mm kadar olan ağaç malzeme ile mobilya, otomobil endüstrisinde, lake ve vernik katmanların kurutulmasında kullanılır. Ampuller 25 cm aralıklarla ve ışınım ağaç malzeme yüzeyine dik konumda yerleştirildiğinden kereste kurutmada uygulanması sınırlıdır. Bu nedenle günlük hammadde ihtiyacı az olan ve % 10 rutubette ağaç malzeme işleyen atölyeler için önerilir.

Tablo 17. Kızılötesi ışınların oduna nüfuz derinliği.

Ağaç Türü	Nüfuz derinliği (mm)
Melez	5-7
Kök nar	6-7
Ladin	6
Kızılağaç	5-6
Çam	3-4
Kavak	4
Akçaağaç	4
Kayın	3
Meşe	2
Ceviz	0,5

6.1.6. Organik Maddeler ile Kurutma

Ağaç malzeme, kaynama noktası suyunkinden yüksek olan organik madde buharı etkisinde bırakılarak veya kaynamakta olan yağlı organik maddeler içerisine daldırma ile ya da organik çözücü madde etkisinde kurutulur.

6.1.6.1. Organik Madde Buharı ile Kurutma

Bu maksatla kaynama noktası 100 °C den yüksek, odun ve cihazlarda zararlı etki yapmayan ve su ile karışmayan ksilen, toluen gibi aromatik hidrokarbonlar veya etilen per klorür (klorürlü hidrokarbon) kullanılır. Organik madde çeşitli noktalardan otoklav içerisindeki ağaç malzemeye gönderilir. Sıcak buhar soğuk olan kereste yüzeylerinde yoğunlaşır ve açığa çıkan ısı odundaki suyu buharlaştırır. Su ve organik madde buharı ile bir kondansatörde yoğunlaştırılarak ayrılır. Geri kazanılan organik madde sisteme geri gönderilir. Yoğunlaşan su miktarında odun rutubeti kontrol edilir.

Metot, permeabilitesi yüksek ağaç türleri için uygun olup, meşe gibi güç kuruyan türler ile çökme oluşumuna duyarlı türler önceden % 25 rutubete kadar kurutulmuş olmalıdır. İstifte homojen bir kurutma sağlanamadığından kurutma işleminden sonra dengeleme periyodu uygulanır. Odun içerisinde kalan organik madde insan sağlığını olumsuz etkilememelidir.

6.1.6.2. Yağlı Organik Maddeler İçerisine Daldırma

Demiryolu traversleri, telgraf direkleri, iskele ve kopru gibi yerlerde kullanılacak taze haldeki iğne yapraklı ağaç odunları, içerisinde kreozot gibi petrol ürünleri veya yağlı organik maddeler bulunan emprenye kazanına yerleştirildikten sonra sıcaklık azar azar kaynama noktasına kadar yükseltilir. Bu sırada odundan buharlaşan su vakum etkisi ile sistemden dışarı atılarak bir kondansatörde yoğunlaştırır. İşlem süresince aynı sıcaklık ve vakum değeri korunarak odun rutubeti % 30 iken işlem durdurulur.

6.1.6.3. Organik zclerle Kurutma

Kaynama noktası 100  C'nin üstünde veya altında olan organik çözücüler ile kurutmanın amacı, kurutma ile birlikte odunda bulunan reçine ve diğer yağlı maddeleri dışarı atmaktır. Bu maksatla genellikle kaynama noktası 60  C olan teknik aseton kullanılmakta olup, keresteler bir ekstraktör içerisine dikey konumda yerleştirildikten sonra, kaynama noktasına kadar ısıtılan çözücü madde ile 1 gün süre ile ısıtılır. Ekstraktrn altında toplanan ve içerisinde aseton, su, çözünmüş reçine ve yağlar bulunan sıvı karışımının damıtılması sonucu geri kazanılan aseton sisteme geri gönderilir. Odunda kalan çözücü madde artığı 4–6 saat süre ile sıcak hava dolaşımı sağlanarak uzaklaştırılır.

Su ve aseton buharı karışımının bağlı nemi düşük olduğundan, özellikle kolay kuruyan diri odun kısmı taze halde %10 rutubete kadar 30 saatte ve kurutma kusuru oluşmadan kurutulmaktadır.

6.1.7. Vakumlu Kurutma

Keresteden suyun buharlaşması vakum ortamında çok daha hızlı olduğu gibi, buharlaşma düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğinden vakumlu kurutma yüksek sıcaklıklardaki kurutma işlemine eş değerdir. Bu maksatla, kereste bir otoklav içerisine istiflendikten sonra normal atmosfer basıncına ısıtılıp, vakum oluşturma ve ısıtma işlemleri kesintili olarak 10–15 kez sürdürülür. Isıtma ve vakum işlemlerinin kesintili uygulama sebebi vakum ortamında ısı transferinin mümkün olmayışıdır. Vakumlu kurutma küçük istifler halinde hazırlanan iğne yapraklı ağaç keresteleri için uygun olup, kayın gibi yapraklı ağaç odunları önceden %25 rutubete kadar kurutulmuş olmalıdır.

Vakum ve sıcaklık miktarları ağaç türlerine göre ayarlanarak çok düşük rutubetlere kadar (%5–4) kurutma yapılabilir.

6.2. Doğal Kurutma

Doğal kurutma; kerestenin açık hava da, iklim şartlarında denge rutubetine ulaşınca kadar bekletilmesidir. Kurutma şartlarını istif yeri ve iklimi belirlediğinden, sıcaklık ve bağıl nem üzerinde etkili olunamaz. Ancak kerestenin doğrudan güneş ışınları etkisinde kalması ve istif içerisinde nemli hava birikmesi önlenemez. Kereste istifi, yerel rüzgârların oluşturduğu yatay hava akımları ile istif içerisinde sıcaklık farkı ile oluşan dikey hava akımlarının etkisindedir. Kereste istifinin çevresindeki hava, enerjisinin bir kısmını odundaki suyu buharlaştırmada harcadığından soğur, fakat nemliliği artar. Nemliliği artan hava hafiflediğinden yükselme eğilimindedir. Ancak soğumanın ağırlaşmaya etkisi nemlilik artışının hafiflemeye etkisinden çok daha fazla olduğundan nemli ve soğuk hava istifin altında toplanır. Bu nedenle istifin altı iyi havalandırılmaz ise kuruma engelleneceği gibi mantar zararları başlar. Buna göre; kurutma deposu yerinin seçimi, düzenlenmesi ve kerestelerin istiflenmesi doğal kurutmanın başarısında önemli faktörlerdir.

7. BAZI AĞAÇ TÜRLERİNİN ÖZELLİKLERİ

7.1. Karaçam (*Pinus nigra var. Pallasiana*)

Diri odunu çok geniş (yarıçapın yarısı kadar), sarımsı ve kırmızımsı beyaz, öz odunu ise kırmızımsı kahverengidir. Yıllık halka sınırları belirli, düzenli daire şeklinde ve yaz odunu morumsu koyu kahverengidir. Enine kesit mat, teğet kesitte yaz odunu şeritleri sarıçama nazaran daha koyu renktedir.

Tam kuru yoğunluğu $0,52 \text{ g/cm}^3$, hava kurusu yoğunluğu $0,56 \text{ g / cm}^3$ tür. Liflere paralel basınç direnci 479 kg/cm^2 , çekme direnci 1133 kg/cm^2 , liflere dik çekme direnci ise $23,4 \text{ kg / cm}^2$ dir.

Çivi ve vida tutma direnci iyi, işlenmesi kolay olduğundan yapı malzemesi olarak kullanılır.

7.2. Meşe (*Quercus sp.*)

Saplı meşe (Kara meşe) (*Quercus robur L.*) ve sapsız meşe (*Quercus petraea L.*) diri odunlar dar, sarımsı beyaz renkte, öz odunları sarımsı kahve renklidir. Yıllık halka sınırları belirli, ilkbahar odununda büyük traheeler birkaç sıra halinde gözenekli bir halka teşkil ederler. Yaz odunu daha koyu renktedir.

İletim dokuları radyal kesitte ve teğet kesitte çizimler halinde görülür. Enine kesitte merkezden çevreye doğru uzanan öz ışınları, biçilmiş parça yüzeyinde parlak aynalar halinde görülür.

Saplı meşede yaz odunu traheeleri, ilkbahar odunu traheelerini hemen takip ederek çevreye doğru yavaş yavaş küçülür ve radyal yönde uzanan açık renkli alea şeklindeki şerit oldukça dardır. Sapsız meşede ise yaz odunun traheeleri, ilkbahar odunu traheelerini hemen takip etmeyip bir boşluk bulunur. Yaz odunun traheeleri aynı irilikte olup, radyal yönde daha geniş, açık renkli şeritler (alev şekilleri) teşkil eder.

Sapsız meşede kalın öz ışınları arasındaki açıklık saplı meşeye nazara daha fazla, radyal kesitte öz ışını levhaları sapsız meşede mat, saplı meşede ise parlaktır. Sapsız meşenin basınç direnci ve eğilme direnci daha yüksek olup saplı meşeye göre daha kolay işlenir.

Saplı meşenin tam kuru yoğunluğu $0,65 \text{ g/cm}^3$, hava kurusu yoğunluğu $0,69 \text{ g/cm}^3$, liflere paralel basınç direnci 610 kg/cm^2 dir. Sapsız meşenin tam kuru yoğunluğu

0,65 g/cm³, hava kurusu yoğunluğu 0,69 g/cm³, liflere paralel basınç direnci ise 650 kg/cm² dir. Odunu kaba tekstürlüdür.

Masif ve kaplama olarak mobilya, oymacılık, doğrama ve kontrplak üretiminde kullanılır. Ayrıca, tarım aletleri, bira ve viski fiçisi, parke, yapı malzemesi olarak iskele, tavan ve taban kaplama gibi geniş kullanım alanı vardır.

7.3. Doğu Kayını (*Gaus Orientalis* L.)

Olgun odunlu ağaç grubundandır. Odun tabii halde kırmızımsı beyaz, fırınlanmış halde tuğla kırmızısı renktedir. İleri yaşlarda meydana gelen kırmızımsı kahve renkli ve içerisinde daha koyu şeritler bulunan bir öz odun (kırmızı yürek) oluşur. Genellikle 80–100 yaşlarında oluşan bu yalancı öz odunu kusur sayılır. Kırmızı yürek odunun doğal güzelliğini bozar ve emprenye edilemez. Ayrıca, gevrek yapıda olup asitli koku yayar,

Tam kuru yoğunluğu 0,62 g/cm³, hava kurusu yoğunluğu 0,66 g/cm³ tür. Liflere paralel basınç direnci 644 kg/cm², eğilme direnci ise 870 kg/cm² dir.

Mobilya, parke, kaplama, kontrplak ve tornacılıkta kullanılır. Ayrıca, ambalaj, oyuncak, tarım aletleri, demir yolu traversi, fiçi, mutfak aletleri üretimde yararlanılır.

7.4. Ceviz (*Juglans regia* L.)

Diri odunu sarımsı veya kırmızısı kül renginde, öz odunu ise kül rengimsi kahve renklidir. Öz ışınları gözle görünmez. Yıllık halkaları kesin ve belirgin bir şekilde birbirinden ayrılır. İlkbahar ve yaz odunları farklı renkte olmasından dolayı enine kesitte değişik renkte paralel çizgiler görünür. Cevizin köke yakın bölümlerinden çıkarılan kök kaplamalar çok canlı simetrik desenler elde etme imkânı verir. Bu tür kaplamalar özellikle klasik mobilya üretiminde aranır.

Tam kuru yoğunluğu 0,64 g/cm³, hava kurusu yoğunluğu 0,68 g/cm³ tür. Liflere paralel basınç direnci 720 kg/cm², eğilme direnci ise 1470 kg/cm² dir.

Estetik yapısından dolayı ceviz, ideal bir masif mobilya malzemesidir.

7.5. Kavak (*Populus sp.*)

Odunu sarımsı beyaz renktedir. Kahverengimsi ve yeşilimsi öz odunu olanlara da rastlanır. Yıllık halkaları geniş ve belirgindir. Radyal ve teğet kesitte hafif parlak, tekstürü kabadır. Tam kuru yoğunluğu 0,46 g/cm³, hava kurusu yoğunluğu 0,50 g/cm³ tür. Liflere paralel basınç direnci 350 kg/cm² dir.

Ambalaj, kaplama, kontrplak, resim tahtası, plançete, makara ve müzik aletleri yapımında kullanılır.

8. KURUTMANIN GENEL PRENSİPLERİ

Genelde katı bünyesindeki su, ya yüzeyde absorplanmış ya da katı bünyesindeki kapilerde hapsedilmiş olarak bulunur. Absorplanmış ve hapsedilmiş suyun tamamı katının toplam nem içeriğini verir. Katı maddenin bünyesindeki nem, sıcaklığa, nemin ve katının tabiatına bağlı olarak değişir. Buharlaştırma ile uzaklaştırılan su genellikle hava veya sıcak gazlarla taşınır ve bu gazların suyu alma kabiliyeti gazların sıcaklık ve nemliliği ile tayin edilir.

8.1. Nemlilik

Birçok kurutma işleminde buharlaştırılacak olan su, buharlaşan suyu taşıyacak olan gaz da su ve hava karışımıdır. Bu yüzden hava kullanılan kurutucuların dizaynında hava – su sisteminin özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Nemlilik, kuru havanın birim kütlesi başına suyun kütlesi olarak tanımlanır. Bu neme havanın mutlak nemi de denir. Toplam sabit basınçta havanın nemliliği karışımındaki su buharının kısmi basıncına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$H = \frac{18.P_s}{29.(P_t - P_s)} \quad (13)$$

Burada:

H: Nemlilik

P_t: Toplam basınç

P_s: Suyun kısmi basıncı

Nemlilik, gaz fazı mol fraksiyonuna (y) bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$y = \frac{\frac{H}{18}}{\frac{1}{29} + \frac{H}{18}} \quad (14)$$

Aynı sıcaklıkta bir sıvının buharı ile dengede olduğu duruma doymun gaz denir. Doymun gazdaki buharın kısmi basıncı bu sıcaklıktaki sıvının buhar basıncına eşittir. Bu neme doymunluk nemi denir ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$H_s = \frac{18P_s^0}{29(P_t - P_s^0)} \quad (15)$$

Burada

H_s : Doymunluk nemi

P_s^0 : Sıvının buhar basıncı

Mutlak nemliliğin doymunluk nemine oranı % nemlilik olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\%H = 100 \frac{H}{H_s} \quad (16)$$

Buharın kısmi basıncının aynı sıcaklıktaki sıvının buhar basıncına oranı bağıl nemlilik olarak tanımlanır ve genellikle % olarak ifade edilir.

$$H_g = \frac{P_s}{P_s^0} 100 \quad (17)$$

Mutlak nem hangi sıcaklıkta olursa olsun kuru havanın birim kütledeki su buharı olduğuna göre mutlak nem havanın sıcaklık derecesine bağıl değildir. Bu yüzden herhangi bir nemli havanın ısıtılması veya soğutulması mutlak nemi değiştirmez. Buna karşın havanın bağıl nemi havanın sıcaklığına ve basıncına bağıl olarak değişir. Havanın ısıtılmasıyla bağıl nem düzeyi azalır ve soğutulmasıyla yükselir. Havanın bağıl neminin sıfır olması bu havanın hiç su içermediğini yani tam anlamda kuru olduğunu gösterir. Diğer taraftan bağıl nemin %100 olması durumunda havanın su buharı ile doymun olduğunu gösterir.

Nemli havanın soğutulmasıyla su buharının yoğunlaşmaya başladığı ilk sıcaklık çiylenme noktası olarak tanımlanır.

Nemli hava akımının bir su yüzeyi ile temas etmesi esnasında suyun sıcaklığı çiglenme noktası üzerinde ise sıvı yüzeyden havaya buharlaşma meydana gelir. Bu esnada suyun sıcaklığı azalır ve havadan suya ısı transferi olur. Hava ve su arasındaki dengenin oluşmasından sonra suyun ulaştığı sıcaklığa, yaş termometre sıcaklığı denir. Havanın sahip olduğu sıcaklık (kuru termometre sıcaklığı) ve yaş termometre sıcaklığı kullanılarak hava – su sistemi için hazırlanan nem diyagramından havanın farklı sıcaklıktaki mutlak nem, bağıl nem ve diğer özellikleri bulunabilir.

8.2. Gaz – Sıvı Dengesi

Katı maddelerin bünyesindeki nem, nemin ve katının tabiatına bağlı olarak sıcaklıkla sistem üzerinde bir buhar basıncı meydana getirir. Şayet nemli bir katı belirli bir sıcaklık ve nemlilikteki hava ortamına maruz kalırsa, katının yüzeyindeki sıvının kısmi basıncı ile gazın kısmi basıncı eşit oluncaya kadar katı madde ya buharlaşma yolu ile nem kaybeder ya da gazdan nem adsorplar. Havanın sabit sıcaklık ve nemlilikte olmasından dolayı hava akımının özellikleri sabit kalır ve sistemin dengeye erişmesi için yeterli temas süresi oldukça uzun olur. Böyle bir durumda katı madde belirli bir nem değerine ulaşır ve katının hava ile daha fazla temasta kalması durumu değiştirmez. Böylece katıyla gaz arasında bir denge meydana gelir ve bu şartlarda katılardaki nem miktarı denge nemi olarak tanımlanır.

Pek çok katı madde için denge neminin miktarı dengeye yaklaşılma yönüne bağlıdır. Nem içeren bir katı maddenin kurumaya (desorpsiyon) veya kuru bir maddenin su adsorplamaya (sorpsiyon) terk edilmesine göre değişik değerler elde edilir. Kurutma hesaplamaları için genellikle adsorpsiyon değerleri kullanılır. Katı madde denge nemi miktarına erişinceye kadar kuruma devam eder. Diğer taraftan katı madde denge değerinden daha az neme sahipse denge değerine ulaşıncaya kadar nemlenme devam eder. Nemliliği sıfır olan hava için bütün maddelerin denge nemi miktarı sıfırdır. Belirli bir % nemlilik için denge nemi büyük ölçüde katının cinsine bağlı olarak değişir. Nem içeren katılara ait denge değerleri genellikle gazın bağıl nemi ve katının sıvı içeriği (kuru maddenin birim kütledeki suyun kütlesi) arasındaki ilişki ile ifade edilir.

Kum gibi suda çözünmeyen gözeneksiz katılarda havanın bütün sıcaklıkları ve nemlilikleri için denge nemi sifıra yakındır. Diğer taraftan odun, tekstil ve deri gibi organik maddelerde ise denge nemi büyük farklılıklar gösterir.

Doymuş hava ile dengede bulunan katı maddenin sahip olabileceği en düşük su konsantrasyonuna bağlı nem denir. Bağlı nem içeren maddelere higroskopik maddeler adı verilir. Bağlı nem başka şartlar altında da var olabilir. Böyle bir nem katının bünyesindeki küçük kapilerde veya hücre duvarlarında çözelti halinde bulunur.

Bir katı bünyesindeki denge neminden daha fazla miktardaki nem miktarına serbest nem denir. Serbest nem katının bünyesindeki toplam nem ile denge nemi arasındaki farka eşittir.

8.3. Kuruma Hızları

Kuruma esnasında hem katının yüzeyindeki ve hem de katının iç kısımlardaki serbest suyun uzaklaştırılması gerekir. Katı bir maddenin nem içeriğinin zamanla değişiminden belirli bir nem içeriğindeki kuruma hızı eğrisi elde edilir. Kuruma eğrisinin şekli katı maddenin cinsi ve yapısıyla değişir.

Kuruma hızında iki periyot vardır. Birinci basamak sabit hız periyodu, ikincisi azalan hız periyodudur.

8.3.1. Sabit Hız Periyodu

Bu periyotta katı maddenin nem içeriği sabit bir hızda değişir. Katının iç kısımlarındaki suyun hareketi katının yüzeyini su buharı ile doymuş hale getirmek için yeterli derecede hızlıdır. Bu durumda kuruma hızı katı yüzeyine yapılan ısı transferi ile kontrol edilmiş olur.

Böylece kuruma işlemi, katı maddenin yüzeyindeki buharlaşan su buharının sabit bir hava filmi içerisinden geçerek difüzyonla transferi gerçekleşir. Sabit hız periyodunda nemin uzaklaştırılması katının tabiatından bağımsızdır. Katı yüzeyine yapılan ısı transferi sadece konveksiyonla olur ve diğer ısı etkileri ihmal edilirse yüzey sıcaklığı yaş hazne sıcaklığına yaklaşır. Yüzey sıcaklığı sıcak havanın yaş hazne sıcaklığına ulaştıktan sonra kararlı durum şartları oluşarak kuruma hızı sabit kalır.

Sabit hız periyodunda buharlaşma ısısının sıcak bir gazdan sağlanması halinde katı maddeye ısı transferi hızı ile yüzeyden kütle transfer hızı arasındaki dinamik bir denge gerçekleşir ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$\frac{dW}{dt} = \frac{hA\Delta T}{L} = KA(P_s - P_s^0) \quad (18)$$

Burada:

- dW / dt : Suyun buharlaşma hızı
- h : Isı transferi katsayısı
- A : Isı ve kütle transferi için ara yüzey alanı
- ΔT : Sıcaklık farkı
- K : Kütle transfer katsayısı
- L : Buharlaşma gizli ısısı
- P_s : Suyun hava içerisindeki kısmi basıncı
- P_s^0 : Suyun katı yüzeydeki buhar basıncıdır.

Sabit hız periyodunda kuruma hızı genellikle sıcaklık, havanın nemliliği ve akış hızı gibi dış faktörlerden etkilenir. Bu periyotta katı içerisindeki sıvının hareket mekanizması kuruma hızını etkilemez. Hava hızının sabit olması halinde ısı transfer katsayısı ve kütle transfer katsayısı bundan etkilenmez. Bu periyotta kuruma hızına ve hızındaki değişimlerin tesiri ısı transfer katsayısı ve kütle transfer katsayısı değerleri aynı şartlarda düz yüzeyler üzerinde akan havaya ait kütle transferi katsayısı korelasyonlarından hesaplanabilir. Isı transfer katsayısının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılabilir.

$$h = 8,8. G^{0,8} / D_E^{0,2} \quad (19)$$

Burada;

- h : Isı transfer katsayısı ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
- G : Kütlesel akı ($kg/m^2.s$)
- D_E : Eşdeğer çap (m) dır.

8.3.2. Azalan Hız Periyodu

Azalan hız periyodu kritik nem noktasından başlar. Bu noktadan itibaren kuruma olayı azalan kuruma hızı ile devam eder. Başlangıç nemi kritik nemin altında ise bu durumda kuruma işlemi azalan hız periyodu içinde tamamlanır. Azalan hız periyodunda katının iç kısımlarındaki suyun yüzeye hareketi yüzeyden buharlaşan suyun yerini doldurmak için yeterli değildir ve bundan dolayı katı sıvı ara yüzeyi yüzeyden katı içine doğru oluşmaya başlar. Böylece katı parçacıkların sıcaklığı yükselir ve kuruma hızı azalmaya başlar. Isı ve kütle transferinin meydana geldiği toplam alanın azalmasından dolayı kuruma hızında azalma gözlenir. Daha iyi kurutma, katı parçacıkların içerisindeki nemin hareketine bağlı olarak değişir. Azalan hız periyodunun sonunda kuruma hızı denge nemi noktalarında sifıra yaklaşır. Bu periyot sabit hız periyoduna göre daha fazla zaman alır. Fakat bu periyot sonunda katının nem içeriği en düşük seviyeye düşmüş olur. Azalan hız periyodunda katı içi değişkenler kuruma hızını etkileyen faktörlerdir. Bu durumda kuruma hızının matematiksel ifadesi denklemdeki gibidir.

$$\frac{1}{A} \frac{dW}{dt} = -n(W - W_e) \quad (20)$$

Burada :

- W : Toplam nem miktarı
- W_e : Denge nemi
- n : Kuruma hız eğrisinin eğimidir.

Azalan hız periyodunun sona ermesiyle katı yüzeyinin tamamen kurumuş olduğu kabul edilir. Fakat çoğu kez kuruma olayının sona ermeyerek katının iç kısımlarına kaydığı gözlenir. Bu durumda suyun buharlaşması katının iç kısmında gerçekleşir ve buhar yüzeye moleküler difüzyonla transfer olur. Son kuruma hızını buhar difüzyon hızını kontrol eden kuvvetler belirler.

Azalan hız periyodunda kuruma hızının tayin edilmesinde kullanılan metotlar katının gözenekli veya gözeneksiz olmasına göre farklılık gösterir. Gözeneksiz katılarda

yüzey neminin uzaklaşmasından sonra daha ileri derecedeki kuruma katının iç kısımlarındaki nemin katı yüzeyine difüzyonla gerçekleşir. Gözenekli katılarda ise diğer kütle transfer mekanizmaları ortaya çıkar ve hatta buharlaşma katı yüzeyi yerine iç kısımlarda oluşabilir.

8.4. Kuruma Mekanizmaları

Kuruma olayının mekanizması, kuruma ortamı ile nem içeren katılar arasındaki eş zamanlı ısı ve kütle transferi proseslerini içerir. Isı önce gaz fazı yığın akımından konveksiyonla katı yüzeyine ve daha sonra kondüksiyonla katı içerisine transfer olur. Eş zamanlı olarak katı yüzeyindeki gaz fazın yığın akımından buharlaşma yoluyla kütle transferi gerçekleştirilir.

Endüstriyel kurutma cihazları temel olarak uygulanan ısı transfer metoduna göre farklılık gösterir. Bu operasyonlarda ısı konveksiyon, kondüksiyon, radyasyon veya bunların kombinasyonların ile transfer olur. Dielektrik ve mikro dalga ile kurutmalarda ise yüksek frekans sebebiyle ısı önce katının iç kısımlarında oluşur ve daha sonra katının bünyesinde ve yüzeyinde yüksek sıcaklıkların oluşumuna sebep olur. Kurutma esnasında, katı içerisindeki buhar veya sıvı halde yüzey ve yüzeyden de buhar olarak gaz gazı yığın akımına kütle transferi gerçekleşir. Katı içerisindeki sıvının hareketi ise bir konsantrasyon gradyenti meydana getirir. Kurutulacak katılar gözenekli veya gözeneksiz olabildikleri gibi higroskopik veya nonhigroskopik yapıda da olabilirler ve bu yapısal özellikleri proseslerini yönlendiren faktörler belirler. Kuruma esnasında kuruma hızını, ısı ve kütle proseslerini yönlendiren faktörler belirler (Majumdar, 1980).

8.4.1. Su transfer mekanizması

Daha öncede belirtildiği gibi sabit kuruma hız periyodunda katı yüzeyindeki suyun hava akımına buharlaşmasına gaz fazı film transferi katsayısı kontrol etmektedir. Buna karşılık azalan hız periyodunda su buharının katı bünyesinden yüzeye transfer mekanizması daha farklıdır.

8.4.2. Difüzyon Teorisi

Bu teoriye göre katının iç kısmındaki suyun yüzeye hareketi katı içi difüzyonla gerçekleşir. Fick'in 2. Kanununa uyan buhar veya sıvıların transferinde bu tip difüzyon için matematiksel ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial c}{\partial T} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial L^2} \right) \quad (21)$$

Çok uzun kuruma zamanları için eşitlik aşağıdaki şekle indirgenebilir.

$$\frac{W - W_e}{W_c - W_e} > \frac{8}{\pi^2} e^{-\alpha\beta} \quad (22)$$

Denklem diferansiyelinin alınmasıyla (23) nolu denklem elde edilir.

$$\frac{dW}{dt} = -\frac{\pi^2 D}{4L^2} (W - W_e) \quad (23)$$

Denklem integralinin alınmasıyla katı içi difüzyon kontrolü altında kuruma için gerekli zaman bulunabilir:

$$t = \frac{4L^2}{\pi^2 D} \ln \frac{(W_c - W_e)}{(W - W_e)} \quad (24)$$

8.4.3. Kapiler Teori

Gözenekli katıların bünyesindeki sıvının hareket mekanizması eşitliği ile açıklanamaz. Bunun sebebi gözenekli katılarda sıvının katı bünyesindeki homojen bir konsantrasyon gradyentine sahip olmasıdır. Gözenekli katılarda sıvının katı bünyesindeki sıvı önce kapiler hareketle yüzeye ve buradan da gaz fazına transfer olur. Gözenekli katılarda katı içerisindeki sıvının yüzey hareketi, difüzyonla kütle transferinden ziyade kapiler hareketle meydana gelir. Kapiler teoriye göre katı madde

değişik büyüklük ve şekillerde gözenek ve kanallara sahiptir. Bu durumda katı gözeneklerinde sıvı kanallarından hareket ederek yüzeye ulaşır.

8.5. Kurutmanın Teknik ve Ekonomik Faydaları

Ahşap malzemenin kurutulması ile teknik ve ekonomik birçok fayda sağlanmaktadır. Bunlardan en önemlileri şunlardır;

— Kurutma ile ahşap malzemeyi tahrip eden ve renk değişikliği yapan mantarlara karşı dayanıklılık artmaktadır. Mantarlar ve böceklerin bir ahşap malzemeye arız olabilmesi için nem, sıcaklık ve oksijene (havaya) ihtiyaçları vardır. Bu neden bu faktörlerden bir veya bir kaçının kontrol altında tutulması ile ahşap malzemenin bu organizmalar tarafından tahribatı önlenebilmektedir. Su içi inşaatı hariç ahşap malzemenin yaş halde kullanılan bir alanı mevcut değildir.

Genel olarak mantarların en uygun su ihtiyacı %30–60 arasındadır. Minimum sınır %20 dolayında bulunmaktadır. Ancak, gerçek ev çürüklüğü mantarının (*Merilus Lacrimans*) en uygun su ihtiyacı %20 olup, %16,5 neme kadar hayatini muhafaza edebilmektedir. Bu mantar, havadan aldığı ve solunum ile serbest olarak dışarıya verdiği damla halindeki su ile üzerinde yaşadığı ahşap malzemeyi kendisi nemlendirmektedir (Berkel, 1978). O halde ahşap malzemeyi düşük nem derecelerine kadar kurutmak mantar tasallutunu yani çürümeyi önlemek için en iyi tedbirdir. Nitekim eski Mısır mezarlarında çok kuru şartlarda tutulan ahşap malzemeler binlerce yıl enfeksiyona uğramadan günümüze ulaşabilmiştir.

— Ahşap malzemenin çalışması azalır. Böylece çatlama, çarpılma, dönme gibi kusurların oranı düşer.

— Lif doygunluğu nem derecesinden tam kuru hale gidildikçe ahşap malzemenin direnci, sertliği, çivi tutma kabiliyeti, boya tutma özelliği artar.

— Nakliye kolaylaşır ve nakliye masrafları azalır.

— Ahşap malzemenin işlenmesinde, örneğin, rendeleme, frezleme, lamba zıvana açma, delik açma, zımparalama gibi işlemlerde sıhhatli boyutlar ve daha düzgün yüzeyler elde etmek mümkün olur.

— Tutkallama ve yapışma kabiliyeti artar. Dış etkenlere karşı yapılar koruyucu yüzey işlemlerinde başarı oranı artar.

9. KURUTUCU ÇEŞİTLERİ VE TASARIMLARI

9.1. Kurutucu Seçimi

Kurutulacak maddenin türü, fiziksel özellikleri kuruma özellikleri ve işleme şekilleri kurutucu seçimi ve tasarımında göz önünde bulundurulacak önemli faktörlerdir. Kurutucu seçimi yapılırken aşağıdaki hususların belirlenmesi gerekir.

- 1- Kurutulacak maddenin fiziksel özellikleri
 - a- Nemli maddenin fiziksel özellikleri
 - b- Kurutulmuş maddenin fiziksel özellikleri
 - c- Korozyon kapasitesi
 - d- Toksiklik derecesi
 - e- Tanecik büyüklüğü
 - f- Tutuşma özelliği
- 2- Maddenin kuruma özellikleri
 - a- Nem tipi (bağıl nem, serbest nem veya her ikisi)
 - b- Başlangıç nemi
 - c- Ulaşılabilecek son nem
 - d- Kurutma sıcaklığı
 - e- Kuruma Zamanı
- 3- Maddenin kurutucuya /kurutucudan olan akışı
 - a- Saatte işlenecek miktar
 - b- Sürekli ve kesirlikle işlem
 - c- Kurutmadan önceki işlem
 - d- Kurutmadan sonraki işlem
- 4- Ürün kalitesi
 - a- Büzülme
 - b- Kirlenme
 - c- Son nemin homojenliği
 - d- Ürünün bozunması
 - e- Aşırı kuruma

- f- Ürün sıcaklığı
- 5- Geri kazanma problemleri
 - a- Toz geri kazanma
 - b- Çözücü geri kazanma
- 6- İşletme tesisi imkanları
 - a- Havanın sıcaklığı, nemi ve temizliği
 - b- Yakıt ihtiyacı
 - c- Elektrik enerjisi ihtiyacı
 - d- Gürültü, toz ve ısı kayıpları
 - e- Nemli madde besleme kaynağı
 - f- Atık gaz salı verme

9.2. Kurutucuların Sınıflandırılması

Uzun süren çalışmalar sonucunda çok değişik tipte kurutma cihazları geliştirilmiştir. Hatta birbirine çok benzer operasyonlar için, birbirinden oldukça farklı bir kaç cihaz da kullanılabilir. Cihazın yapılarında ki bu çok farklılık çok sayıda sınıflandırmayı ortaya çıkarmıştır. Kurutucuların sınıflandırılması genel olarak kurutulacak malzemeye, kurucu tipine ve kurutma şekline bağlı olarak değişmektedir.

Sınıflandırma aşağıdaki iki esasa göre yapılır:

- a- Isı transferi esasına dayalı sınıflandırma
- b-Kurutulacak katının fiziksel özelliklerini esas alan sınıflandırma

9.2.1. Isı Transferi Esasına Dayalı Sınıflandırma

Bu sınıflandırma da ısının, nemli katıya transfer şekli esas alınır. Isı transferi aşağıdaki üç şekilde gerçekleşir ve kurutucular buna göre adlandırılırlar:

- a- Direkt ısı transferi
- b- İndirekt ısı transferi
- c- İnfrared ve dielektrik enerji

9.2.1.1. Direkt Kurutucular

Bu tip kurutucularda gerekli ısı direkt olarak sıcak bir gazdan (genellikle hava) temin edilir. Böylece kurutulacak madde sıcak gazla temasa getirilerek buharlaşma sağlanır. Direkt kurutucuların genel karakterleri aşağıda verilmiştir.

a- 1000 K'e kadar kurutma işlemi yapılabilir.

b- Kaynama noktası altındaki gaz sıcaklıklarında gazın buhar içeriği kuruma hızı ve katının son nem içeriğini büyük oranda etkiler. Kaynama noktası üzerindeki sıcaklıklarda ise kuruma ve son nem içeriği gazın buhar içeriğinden çok az etkilenir. Böylece sıvısı uzaklaştırılmış kızgın buhar kurutma için daha uygun olur.

c- Düşük sıcaklık kurutma işleminde, atmosfer nemliliğinin aşırı yüksek olması durumunda kurutumda kullanılacak havanın nemi giderilmelidir.

d- Direkt kurutucularda düşük nem içerikli katı madde elde etmek için buharlaştırılan birim miktardaki su başına harcanan enerji miktarı da artar.

e- Giriş gaz sıcaklığının artmasıyla verimi de artar.

f- Büyük boyutlu partiküllerin kurutulmasında çok büyük miktarda gaz akımı kullanılacağından yüksek toz tutma kapasiteli cihazlar gerekir.

9.2.1.2. İndirekt Kurutucular

Bu tip kurutucularda gerekli ısı kurutulacak malzemenin üzerine konulduğu metalden kondüksiyonla transfer olur. İndirekt kurutucular genellikle düşük basınçlarda (vakum) ve inert gaz ortamlarındaki kuruma işlemleri için kullanılır.

Dielektrik enerji kurutucular henüz geniş kullanım alanına sahip değildir. Kurutma için gerekli enerji malzemenin kendi iç potansiyel enerjisinden sağlanır. Genellikle odun, plastik ve seramik gibi malzemelere uygulanır.

9.2.2. Kurutulacak Maddenin Türünü ve Fiziksel Özelliklerini Esas Alan Sınıflandırma

Kurutulacak madde odun ve plastik gibi katı cisim, elbise ve kâğıt gibi esnek bir katı veya granüle madde, ince pasta veya ince bir film halinde olabilir. Katıların bu fiziksel özellikleri kurutucu seçiminde göz önünde bulundurularak sınıflandırma buna göre yapılabilir.

Sıvılarda ve slury (çamur) akışkanların genellikle indirekt- sürekli püskürtmeli ve vakum kurutucular kullanılarak ve büyük hacimli katılar ise direkt – sürekli tepsili ve tünel kurutucular. Sürekli tabakaların kurutulmasında genellikle sürekli silindir tipi kurutucuların kullanılırken, kesikli tabalarda kesikli tepsili kurutucular kullanılır. Ayrıca son yıllarda sürekli ve kesikli tabakaların kurutulmasında infrared kurutucular da kullanılmaktadır.

9.3. Kurutucu Tipleri

Bu bölümde endüstride en çok kullanılan kurutucuları yapısı ve çalışma prensipleri incelenecektir.

9.3.1. Kesikli Kurutucular

9.3.1.1. Tepsili Kurutucular

Bu tip kurutucularda dolaplı, raflı veya bölmeli kurutucular da denilir. Tepsili kurutucular bir kurutma kamarası ile tepsililerin yerleştirildiği raflar veya vagonlardan oluşur. Kurutulacak madde 10–100 mm derinliğindeki metal tepsiler üzerine yayılır.

Tepsili kurutucularda sıcak hava tepsilerin yüzeyine paralel veya üstten bir vantilatör yardımı ile dolaştırılır. Maddeleri düşük sıcaklıklarda kurutmak için elektrik ısıtısı kullanılır. Kurutmadan sonra kapılar açılır ve tepsiler yeni bir tepsi takımı ile değiştirilir. Tepsili konveyörler bu kurutucuların değişik bir tipidir. Bu tip kurutucular, üzerine tepsiler yüklenmiş konveyörlerin kurutucunun içerisine itilmesi esasına dayanır. Bu tip konveyörlerin dışarıda boşaltılıp yüklenmesi uzun zaman alır.

Tanecikli materyallerin kurutulmasında bu materyaller tepsilerin tabanlarında bulunan elekler üzerine yerleştirilir. Bu tip kurutucularda geniş düz kısmı hava ile temas halinde olduğundan ve sıcak hava sıvı geçirgen kısmın içinden geçtiğinden kuruma süresi kısadır.

9.3.1.2. Dolduruculu Kurutucular

Sıcaklıkla bozuna bilen bazı maddeler, örneğin gıda maddeleri ve bazı ilaçlar bu tip kurutucularda kurutulabilir. Kurutulacak madde soğuk hava tarafından dondurulur

ve nemin arttırıldığı bir vakum odasına konulur. Buhar enjektörleri veya mekanik vakum pompaları tarafından pompalanır. Dondurmanın bir diğer yolu da bozulabilir gıda maddelerindeki sıvının vakum altında buharlaştırılarak uzaklaştırılmasıdır. Burada en büyük problem gerekli olan ısıyı sağlamaktır. Süblimleşmenin seviyesi ölçülürken ürünlere zarar verebilen ısının kuru maddenin içerisinde uzaklaştırılması gerekir. Diğer bir metot da tanecikli ürünler için uygun vakum pompasıyla suyu pompalamanın yerine kullanılan hava dolaşımıyla kurutmadır.

9.3.1.3. Vakumla kurutucular

a) Rafli kurutucular

Pek çok durumlarda maddenin, atmosfer basıncı altında suyun buharlaşacağı sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklarda ve kısa zamanda kurutulması istenilebilir. Böyle bir durumda vakum altında çalışan rafli bir kurutucu kullanılır. Atmosfer basıncı altında çalışan rafli kurutucunun sahip olduğu sıcaklıkta bozulması ihtimali olan maddeler için, bu şekildeki kurutucular kullanılır. Bunların başında ilaç hammaddeleri gelir.

b) Silindir Kurutucular

-Akışkan yataklı kurutucular

Bu tip kurutucular ince taneli katılar ve kristallerin kurutulmasında kullanılır. Kurutulacak katılar bir yatak içerisinde sıcak gaz akımı geçirilerek yapılır.

-Sirkülasyonlu Kurutucular

Bu tip kurucular katı taneciklerden oluşmuş bir sabit yataktan sıcak gaz akımının sürekli olarak geçirilmesi esasına dayanır. Katı – gaz temas yüzeyinin yüksek olmasından kuruma hızları oldukça yüksektir. En çok kullanılan bölmeli kurutucu tip sirkülasyonlu dikey konveyör kurutuculardır.

9.3.2. Sürekli kurutucular

9.3.2.1. Tünel kurutucular

Tünel içerisinde her bir tepsi yüzeyinden sıcak gazların geçmesi esasına dayanır. Sıcak hava ters akımlı, paralel veya bunların birleşimi şeklinde kurutucuya beslenebilir.

9.3.2.2. Döner Kurutucular

Bu tür kurucular direkt veya indirekt ısı transferi sağlanarak çalıştırılabilir. Döner kurutucularda genellikle granüller ve kristal katılar kurutulur.

9.3.2.3. Davlumbaz Kurutucular

Genellikle çamur akışkanlar ya da ince katıların süspansiyon ve çözeltileri için kullanılır. Ayrıca ince patates (patates cipsi) üretiminde davlumbaz kurutucular kullanılmaktadır. Tek tip dönmeli ve çift dönmeli gibi davlumbaz kurutucu çeşitleri mevcuttur.

9.3.2.4. Püskürtmeli Kurutucular

Püskürtmeli kurutucuların faydalı yönü sadece çok hızlı (katı maddenin kurutucu içerisinde kalma zamanı 30 saniyeden az olabilir) bir kurutma yapmalarından ibaret olmayıp oldukça düzgün kürelerden ibaret bir ürün verebilmeleridir. Pek çok maddenin kurumasında elde edilen bu küreciklerin içlerinin boş olduğu görülür. Bu durum şu şekilde açıklanabilir:

Oluşan damlacıkların dış yüzü kuruduktan sonra, iç kısmın da kalan nemin dışarıya doğru difüzlenmesinden daha hızlı olan, damlacığa ısı transferi olmaktadır. Bu durum damlacık içerisinde buhar oluşmasına neden olmakta, bu buhar viskoz olan damlacığı bir balon gibi şişirerek ona küre şekli vermekte ve kendisi de küre kabuğunu çatlatarak kaçmaktadır.

Püskürtmeli kurutucuların diğer bir faydalı yönü, sıcak gazları kurutma için kullanabilmeleri ve maddeyi gazların yaş hazne sıcaklığının üzerine ısıtmamalarıdır. Böylece kahve ekstraktının, meyve sularının, sütün ve buna benzer maddelerin, lezzet ve kokularına bir zarar vermeksizin kurutulmalarına imkân verir. Bunun nedeni kurumunun düşük sıcaklıkta meydana gelmesi ve ürünün çok kısa bir zaman kurutucuda kalmasıdır.

Püskürtmeli kurutucular oldukça pahalı cihazlardır ve besin endüstrisi, renk pigmentleri, içecekler, ilaçlar, ısıya hassas maddeler, sentetikler, plastikler, polimer ve reçineler, süt ve yumurta ürünleri, parfümleri ve tatlandırıcılar, sabun ve deterjanlar, seramikler, bitki ve sebze ekstraktları, kan biyokimyasalların vb. üretimde kullanılırlar,

Püskürtmeli kurucularda pek çok çözelti, son ürünü bir katı maddenin özelliklerini muhafaza edecek şekilde kurutabilir.

Bu metot aslında ürünün nem, atmosfer şartlarına, diğer ürünlerle, buharlaşma ya da oksidasyona karşı hassas olduğu yerlerde kullanılır.

10. DENEYSEL VERİLERİN HESAPLANMASINDA KULLANILAN YÖNTEMİN ESASI

10.1. Teori

Eylemsiz nemli katı madde Şekil 4 deki düzenekte, yüzeyine sıcak hava akımı gönderilerek kurutulmuştur. Bu işlemde katı yüzeyden geçen hava akımının sıcaklık ve nemi kurutma işlemi boyunca değişmediğinden ve kuruma için gerekli ısı aktarımı taşınımı olduğundan katı maddenin nem düzeyinin zamanla değişimi aşağıda açıklandığı gibidir. Teorik kurutma işlemi üç basamaktan oluşur.

1. Basamak:

Bu basamakta katı yüzey şartları kurutucu hava şartları ile dengeye gelir. Bu kurutma işlemi dikkate alındığında bu basamak çok kısa bir zaman aralığını kapsar. Ancak bazı durumlarda bu basamakta dikkate alınabilir.

2. Basamak:

Bu basamakda değişmez hızda kurutma aralığı denir. Bu kurutma aralığında katı madde yüzeyi su ile doymuş durumdadır. Çünkü suyun katı yüzeyden buharlaşan hızı suyun katı maddenin içinden yüzeye çıkma hızına eşittir. Kurutma, su buharının katı yüzeyde durgun bir film tabakası içinde geçerek ana hava akımına katılmasıyla olur. Katı yüzeyden hava akımına olan kütle akımı, hava akımından katı yüzeye olan ısı aktarımına bağlıdır. Kütle aktarımı, katı yüzey sıcaklığı sabit kalacak şekilde ısı aktarımı ile dengededir. Bu durumda kütle aktarımı için:

$$-\left(\frac{dw}{dt}\right) = K.A(P_a - P_s) \quad (25)$$

eşitliği yazılabilir. Burada,

- K : Kütle aktarım katsayısı (g/s. cm².atm))
- A : Kurutma yüzeyi alanı (cm²)
- P_s : Yüzey sıcaklığında suyun buhar basıncı (atm)

P_a : Havadaki su buharının kısmi basıncı (atm) 'dır.

(25) eşitliği aşağıdaki gibi de yazılabilir:

$$\left(\frac{dw}{dt} \right)_c = K_g.A.(H_s - H_a) \quad (26)$$

K_g : Kütle aktarım katsayısı [$g / (cm^2 \text{ birim nem miktarı})$]

H_s : Yüzey sıcaklığındaki havanın nem miktarı (g/g kuru hava)

H_a : Havanın nemi (g/g kuru hava) dır.

Kurutulan yüzeye aktarılan ısı miktarı ise;

$$\frac{dQ}{dt} = h.A.(T_a - T_s) \quad (27)$$

denklemleri ile gösterilebilir.. Bu eşitlikte:

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right): \text{Isı aktarımı hızı (W)}$$

h : Isı transfer katsayısı ($W / (m^2 \cdot ^\circ C)$)

A : Isı transfer yüzeyi (m^2)

T_a : Havanın kuru hazne sıcaklığı ($^\circ C$)

T_s : Havanın yaş hazne sıcaklığı (kurutulan yüzey sıcaklığı) ($^\circ C$)' dır.

$$\left(\frac{dw}{dt} \right)_I = - \left(\frac{dQ}{dt} \right) \quad (28)$$

Kütle ısı transfer hızları arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\left(\frac{dw}{dt} \right) = \left(\frac{h.A.(T_s - T_a)}{L} \right) \quad (29)$$

Burada L,Ts sıcaklığında ki suyun buharlaşan entalpisi

$$t_c = \left(\frac{L.p.d.\ln(W_o/W_c)}{h.(T_a - T_s)} \right) \quad (30)$$

Burada :

d : Kurutulan maddenin kalınlığı (m)

p : Kurutulan maddenin yoğunluğu (g/m³)

W_o : Katı maddenin başlangıçtaki nem miktarı (g/g kuru madde)

W_c : Katı maddenin sabit hızda kuruma aralığı sonundaki nem miktarı (g/g kuru madde)

t_c : Sabit hızdaki kuruma aralığı (saat)' dir.

3. Basamak:

Kurutma işlemi ilerledikçe, bir noktadan sonra suyun katı maddenin içinden yüzeye doğru çıkma hızı suyun yüzeyindeki buharlaşma hızının altına düşer. Bu noktada itibaren yüzey kurumaya başlar ve kurutma hızı gittikçe düşer. Bu basamağa düşen hız aralığı da denir. Kuruma işlemi ilerledikçe yüzey sıcaklığı artar ve madde kurudukça bu sıcaklık, havanın kuru hazne sıcaklığına yaklaşır.

Bu basamakta kuruma işlemi için değişik mekanizmalar önerilmişse de bunların en çok bilinenleri:

a) Kılcal akım mekanizması

b) Sıvının yayılma mekanizmasıdır.

Kılcal akım mekanizması için:

$$\left(\frac{dw}{dt} \right)_r = -K.(W - W_e) \quad (31)$$

veya

$$\left(\frac{dw}{dt} \right)_t = - \left(\frac{h.A(T_a - T_s).(W - W_e)}{L(W_c - W_e)} \right) \quad (32)$$

eşitliği yazılabilir. İntegrasyonla (33) eşitliği elde edilebilir.

$$t_r = \left(\frac{L.(W_c - W_e)}{h.A.(T_a - T_s)} \right) \times \ln \left(\frac{(W_c - W_e)}{(W - W_e)} \right) \quad (33)$$

Burada :

- t_f : Düşen hız aralığı kuruma zamanı (saat)
 W_e : Denge nem miktarı (g su / g kuru madde)
 W_c : Kritik nem miktarı (g su / g kurum madde)
 W : t anındaki nem miktarı (g su / g kuru madde) dir.

Sıvının yayılma mekanizması için badece bir yüzeyden kuruyan tabaka şeklindeki katılara ait olmak üzere;

$$\left(\frac{(W - W_e)}{L.(W_c - W_e)} \right) = 4e^{-Dt(0.5d).2} \quad (34)$$

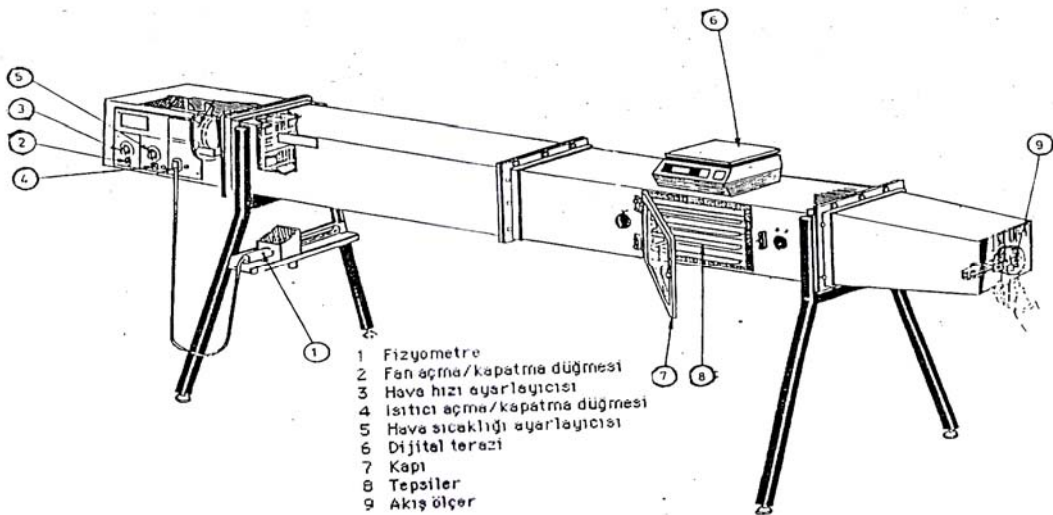
Şeklinde ifade edilir. Burada;

Dt: Sıvının yayılma katsayısı (cm^2/s)'dir.

11. DENEYSSEL YÖNTEM

11.1. Materyal

Deneylerin gerçekleştirildiği düzenek Şekil 4’ de gösterilmiştir. Bu düzenekte kurumadan önce ve kuruduktan sonra kolaylıkla tepsilere yükleme ve boşlatma yapmaya uygun tünel tipi kurutucu kullanıldı. Tünel dikdörtgen şeklinde duvarları izole edilmiş bir fırındır. Tünel içinde tepsilerin yerleştirildiği raflar olduğu gibi boş da olabilmektedir. Bu çalışmada tepsiler kaldırılıp sadece bir tane biçilmiş ağaç parçası dik olarak konulabilecek şekilde bir kafes yerleştirildi. Tepsili kurutucu sisteminde havayı ısıtarak belirli hızda kurutulacak yüzeye gönderecek ekipmanlar mevcuttur. Fan vasıtasıyla hava kurutucunun bir ucundan, ısıtıcıdan geçirilerek kurutma bölgesine verilmektedir. Diğer bir deyişle hava dışarıdan emilmekte ve ısıtılmaları oda içindeki ısıtıcılarla sağlanmaktadır. Burada amaç, kesikli çalışan bir kurutma düzeneğinde ısıya dayanıklı katı maddelerin kuruma eğrilerinin gözlenmesi, hava hızının ve sıcaklığın kurumaya olan etkisinin araştırılmasıdır. Su içeren katı bir maddenin sıcak havayla kurutulması sırasında hava, hem maddenin kuruması için gerekli olan buharlaşma ısını sağlar hem de buharlaşan suyun dışarı atılmasını sağlar.



Şekil 4. Tepsili Kurutucu Sistemi

Bu çalışmada Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği laboratuvarının imkânlarından yararlanıldı. Laboratuvarında mevcut olan tepsili kurutucuda, deneyin amacına uygun olarak kerestelerin yerleştirilmesi için yapılan kafes, tepsilerin yerine kullanıldı. Deneyde yine tepsili kurutucu sisteminin bir parçası olan fizyometre, akış ölçer ve dijital terazi kullanıldı. Kerestelerin merkez sıcaklığını ve yüzey sıcaklığını, laboratuvarın sıcaklığını ve nemini ölçmede de laboratuvarında bulunan dijital cihaz ve ısılıçiftler kullanıldı.

Kuruma dinamiklerini incelediğimiz ağaçlar, ülkemizde doğal yayılış alanları geniş olan ve ağaç işleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılan çam, ceviz, kayın ve kavak ağaçlarıdır. Kurutulan ağaç parçaları Elazığ Organize Sanayi Bölgesindeki yerel parke ve mobilyacıların ağaç malzemelerini temin ettikleri kerestecilerden temin edildi.

11.1.1. Deney Numunelerinin Analize Hazırlanması

Çam, kayın, kavak ve ceviz ağaçları kurutma işleminden önce makine işlemleri ile deney örneği ölçülerine getirildi. Deney örnekleri için tüm ağaçlar için aynı olmak üzere 23,5 x 9 x 2 (cm) ölçüleri esas alındı. Örneklerin kurutma işleminden önceki rutubetleri düşük seviyede olduğundan numuneler 3 saat suda bekletildikten sonra poşetler içerisine konularak buzdolabında yaklaşık 2 °C' de muhafaza edildi. Her bir numune, merkez sıcaklığının ölçülmesinde kullanılacak ısılıçiftin yerleştirilebilmesi için ortasından delindi.

11.2. Deneyin Yapılışı ve Hesaplamalar

Deneyde, tüm numuneler için sabit hava hızı ve sabit sıcaklık seçildi. Tepsili kurutucu hava hızı 1,38 m/sn, kuru hazne sıcaklığı 50 °C olacak şekilde ayarlandı. Kurutmaya hazır ağaç numuneleri buzdolabından çıkarıldıktan bir süre sonra merkez sıcaklığı, yüzey sıcaklığı ve ağırlığı ölçüldü ve hava akımına ağacın geniş iki yüzeyi paralel olacak şekilde konması için hazırlanan kafesin içerisine yerleştirildi. Ağacın merkezine ısılıçift monte edildikten sonra kafes kurutucu tünelin içerisine yerleştirildi. Laboratuvar sıcaklığı ve nemi ile tünelin yaş hazne ve kuru hazne sıcaklıkları birer saat aralıklarla, ağaçtaki ağırlık kaybı ve merkez sıcaklığı ise onar dakika aralıklarla okundu.

Ağacın ağırlığındaki düşüş bittikten sonra tünelden ağaç parçası çıkarıldı ve 105 °C' ye ayarlı etüvde sabit tartıma gelinceye kadar bekletildikten sonra numune tartıldı.

Hesaplamalar

Deneysel verilerden her bir ağaç için % nem, kuruma hızı (dW/dt), ısı transfer katsayısı ve kütle aktarım katsayısı aşağıda verilen ampirik eşitliklerden, ayrıca ısı transfer katsayısı heissler grafiğinden, örnekte açıklandığı şekilde hesaplandı. Veriler tüm ağaç türleri için Ek 1'de tablolar halinde verilmiştir.

Çam (1) Ağacı İçin Örnek Hesaplama:

Ağacın Boyutları: 23,5x9x3 cm

Ağacın Hava Akımına Paralel İki Yüzeyinin Toplam Alanı: 423 cm²

Ağacın Hacmi= 423 cm³

Hava hızı: 1,38 m/sn

Kuru hazne sıcaklığı: 50°C

Yaş hazne sıcaklığı: 28°C

Ağacın Kuru Ağırlığı (W_k): 172,21 g

φ =% 59

Ağacın Yoğunluğu: 172,21/423= 0,407 g/cm³

t= 0 dk iken W₁= 201 g

t= 10 dk iken W₂= 197 g

% Nem = (W₁-W_k)/ W_k

% Nem = (201-172,21)/172,21=0,1672

dW/dt=(W₂-W₁)/600

dW/dt=(197-201)/600 = - 0,0067 g/sn

$L=2435,4$ J/g olarak tablolardan bulundu. (28) nolu eşitlik kullanılarak;

$$dQ/dt = - dW/dt \times L$$

$$dQ/dt = - (-0,0067) \times 2435,4 = 16,236$$

ve h değeri (27) nolu eşitlikten;

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A \cdot (T_a - T_s)$$

$$h = 16,235 / (0,0423 \times (50 - 28)) = 17,45 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ olarak hesaplandı.}$$

$$P_s = 28,349 \quad 28 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ için Tablo 12 den okundu.}$$

$$\% \text{ RH} = P_s \times 100 / P_a \text{ dan}$$

$$P_a = 28,349 / 0,59 = 48,05$$

(25) nolu eşitlik kullanılarak;

$$K = -(dW/dt) / (A \times (P_a - P_s))$$

$$K = -(-0,0067) / (423 \times (48,05 - 28,349)) = 0,00061 \text{ g.sn}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{atm}^{-1}$$

Çam (1) ve Çam (2) Ağaçları İçin Heisler Grafiklerin Okunan h_h İçin Yapılan Hesaplamalar:

Zaho ve Turner in çalışmasından çam ağacı için değerler bulundu (EK 2).

$$k = 0,17 \text{ Wm}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\rho \times c_p = 756780$$

$$(T_m - T_\infty) / (T_i - T_\infty) = (30 - 50) / (28 - 50) = 0,91$$

Ağacın kalınlığı 2cm olduğundan $l = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$ olarak alındı.

$$f = \alpha \cdot x \cdot t / l^2 = (0,17 / 756780) \times ((10 \times 60) / (0,01)^2) = 1,35$$

Ek 3 te verilen heisler grafiği kullanılarak $k/h.l$ değeri 5 olarak okundu

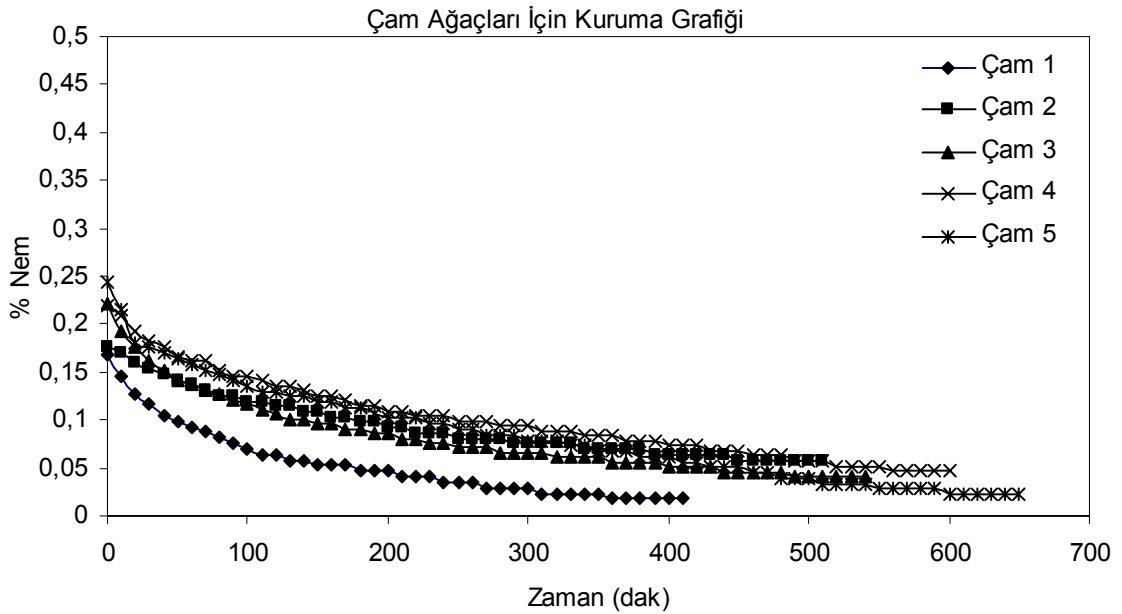
Buradan;

$$h = 0,17 / (0,01 \times 5) = 3,4 \text{ Wm}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \text{ olarak hesaplandı.}$$

12. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çam Ağacı İçin Elde Edilen Sonuçlar

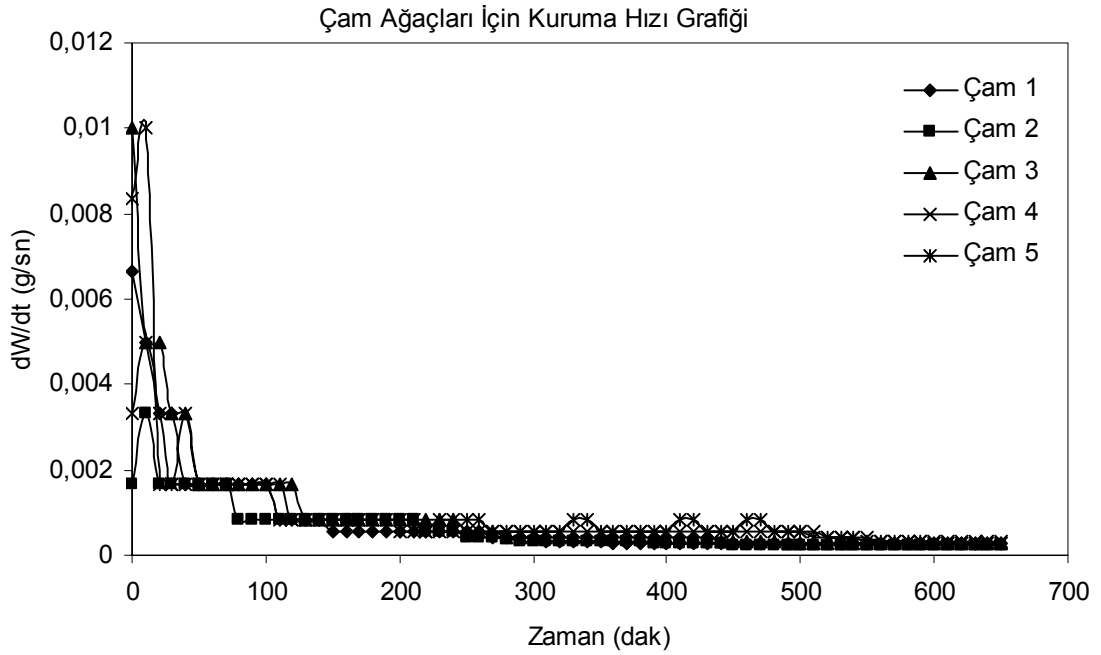
Daha önceki kısımlarda da ifade edildiği gibi çam ağaçlarından elde edilmiş istenilen boyutlarda (2 cm x 23,5 cm x 9 cm) beş adet numune tepsili kurutucuda sabit hava hızı ve sıcaklığında kurutma işlemine tabi tutuldu. Numunelerin geniş yüzeyleri hava akımına paralel olacak şekilde kafese yerleştirildi. Zamana bağlı olarak ağırlık kaybı tepsili kurutucuya monte edilmiş teraziden 10 dakika aralıklarla kaydedildi. Numunelerin % nemlerindeki zamanla değişim Şekil 5’ de görülmektedir.



Şekil 5. Çam Ağaçlarının % Nem-Zaman Grafiği

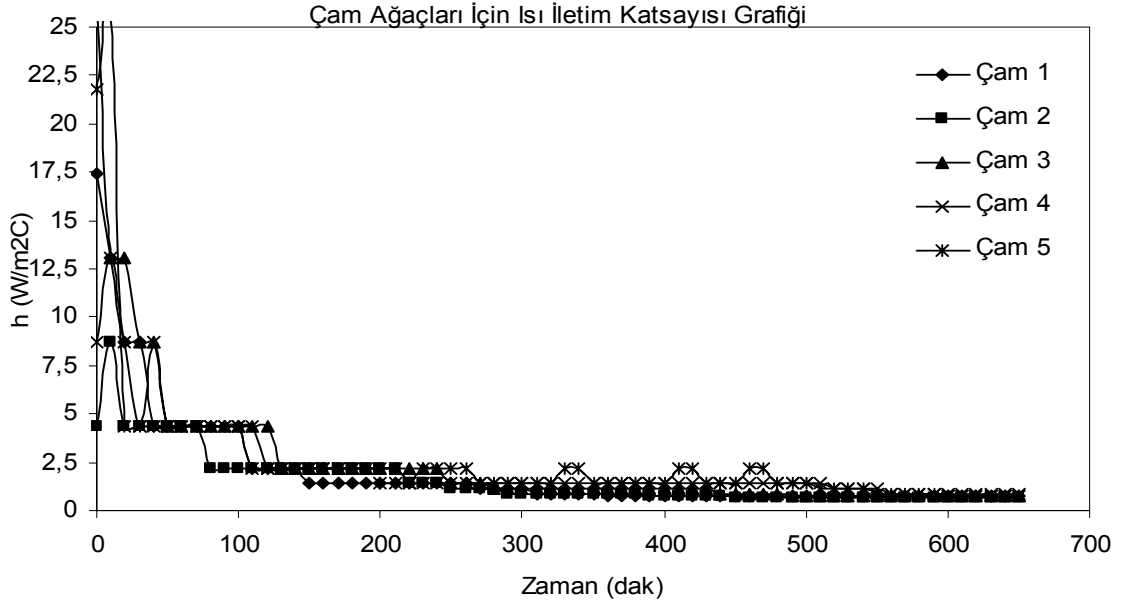
Şekil 5’ de görüldüğü gibi her bir numunenin nemi zamanla azalmaktadır. Numune neminin zamanla azalması beklenen bir durumdur. Ancak buradaki azalma oldukça yavaş olarak gerçekleşmektedir. İlk 200 dakikada bu zaman aralığında nispeten hızlı bir azalma gözlenirken, bu değerden sonraki % nem azalması oldukça düşük seviyede gerçekleşmektedir. Numune nemlerindeki azalma trendi birbirlerine oldukça benzemektedir. Bununla beraber, başlangıç nem miktarına bağlı olarak numunelerin nemlerindeki değişim zamanla azda olsa farklılık arz etmektedir.

Şekil 6’da çam ağaçlarına ait beş farklı numunenin kuruma hızının zamanla değişimi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi hemen hemen tüm numuneler için ilk 50-100 dakika kuruma hızı süratle azalmaktadır. Sonrasında ise ihmal edilebilecek küçük farklılıklar dışında sabit kaldığı gözlenmektedir.



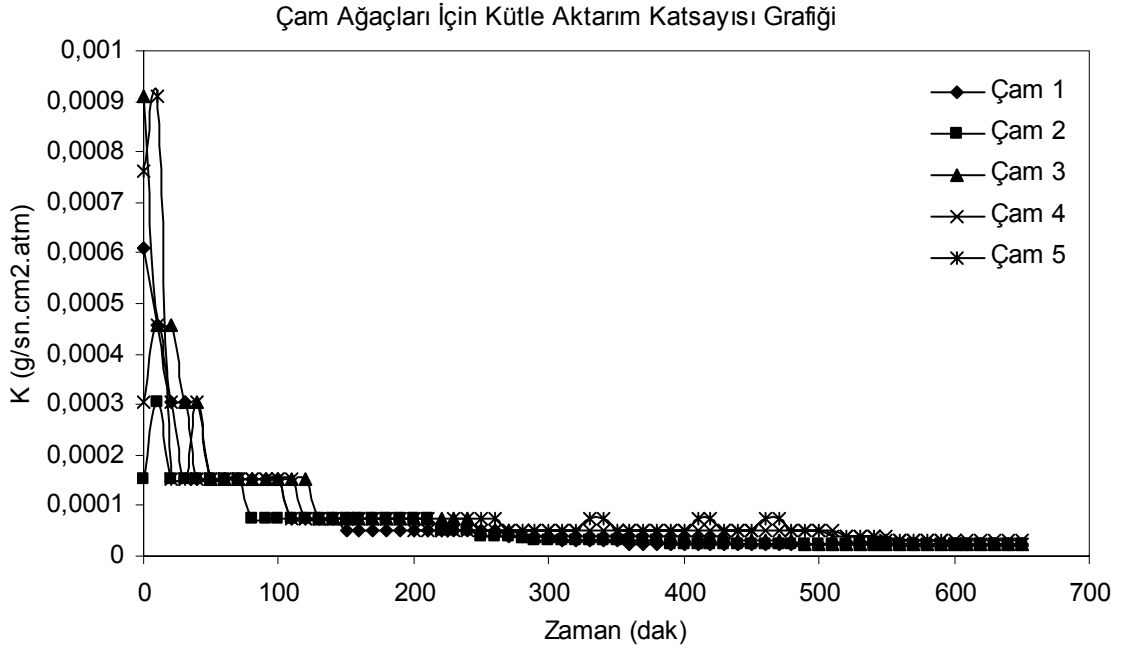
Şekil 6. Çam Ağaçlarının Kuruma Hızı-Zaman Grafiği

Isı transfer katsayısının zamanla değişimi, çam ağaçları için Şekil 7’ de görülmektedir. Daha önce de ifade edildiği gibi ısı transfer katsayısının zamanla değişimindeki trend kuruma hızının zamanla değişimindeki trend ile benzerlik arz etmektedir. Kuruma hızı-zaman grafiğinde gözlemlendiği gibi kurumanın başlangıcında ısı transfer katsayısı hızlı bir şekilde azaldığı halde sonraki zamanlarda hemen hemen sabit kalmaktadır. Çam ağaçları için eğrinin düzleştiği noktalarda ortalama ısı transfer katsayısı 1-2 W/m²C aralığında değişmektedir.



Şekil 7. Çam Ağaçlarının Isı Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği

Çam ağaçları için kütle transfer katsayısı, zamanla Şekil 8’ de görüldüğü gibi değişmektedir. Kütle transfer katsayısının değişimi de yine kuruma hızının değişimiyle paralellik göstermektedir. İlk 50 dakikadan sonra küçük değişimleri ihmal edersek hemen hemen sabit kalmıştır diyebiliriz. Sabit kalma eğiliminde olduğu aralıkta katsayı çam ağaçları için ortalama $5,5 \times 10^{-5}$ - $2,5 \times 10^{-5}$ $\text{g.sn}^{-1}.\text{cm}^{-2}.\text{atm}^{-1}$ değerleri arasında değişim göstermektedir.

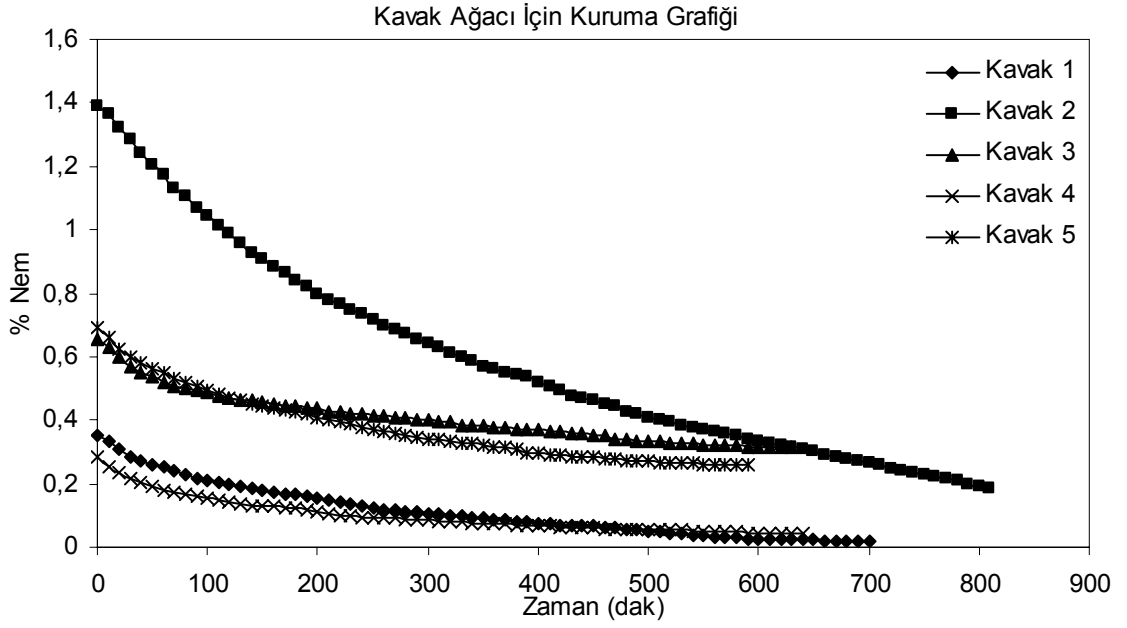


Şekil 8. Çam Ağaçlarının Kütle Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği

Kavak Ağacı İçin Elde Edilen Sonuçlar

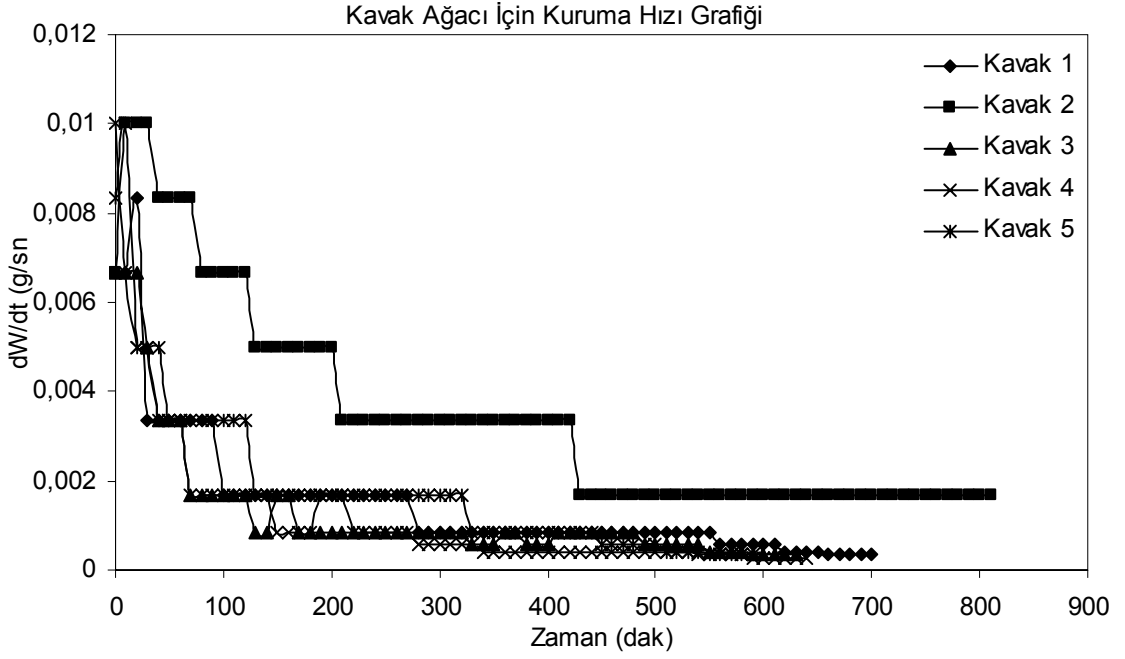
Biçilmiş kavak ağacından elde edilen 2 cm x 23,5 cm x 9 cm boyutlarında 5 numune geniş yüzeyleri hava akımına paralel olacak şekilde kafes içerisine her bir deney için 1 adet olmak üzere yerleştirildi ve bu kafes tepsili kurutucuya monte edilmiş terazinin çengeline asıldı. Tepsili kurutucunun içerisine yerleştirilmiş olan numuneye belirli sıcaklık ve hızdaki hava gönderildi ve numunenin ağırlık kaybı her 10 dakikada bir kaydedildi. Havanın nemi, kuru ve yaş hazne sıcaklıkları da deneyin başlangıcında ve çeşitli zamanlarda kontrol edildi. Her bir numuneye ait % nem miktarı, kuruma hızı, ısı ve kütle transfer katsayıları zamana bağlı olarak hesaplandı.

Şekil 9, çeşitli kavak ağacı numunelerinin nem (%) miktarlarının zamanla değişimini göstermektedir. Beklendiği gibi numunelerin nem miktarları zamanla azalmaktadır. Bu azalma kurumanın başlangıcında hızlı değiştiği halde zamanın ilerlemesiyle azalma hızında yavaşlama gözlenmektedir. Şekilde de görüleceği gibi numunelerin başlangıç nemleri birbirinde farklıdır (1,4g/sn -0,28 g/sn) ve bu neme bağlı olarak nemdeki zamana bağlı değişimde miktar olarak farklılık göstermektedir. Fakat tüm şekillerde trend olarak yaklaşık aynı seyir izlendiği gözlenmektedir.



Şekil 9. Kavak Ağaçlarının % Nem-Zaman Grafiği

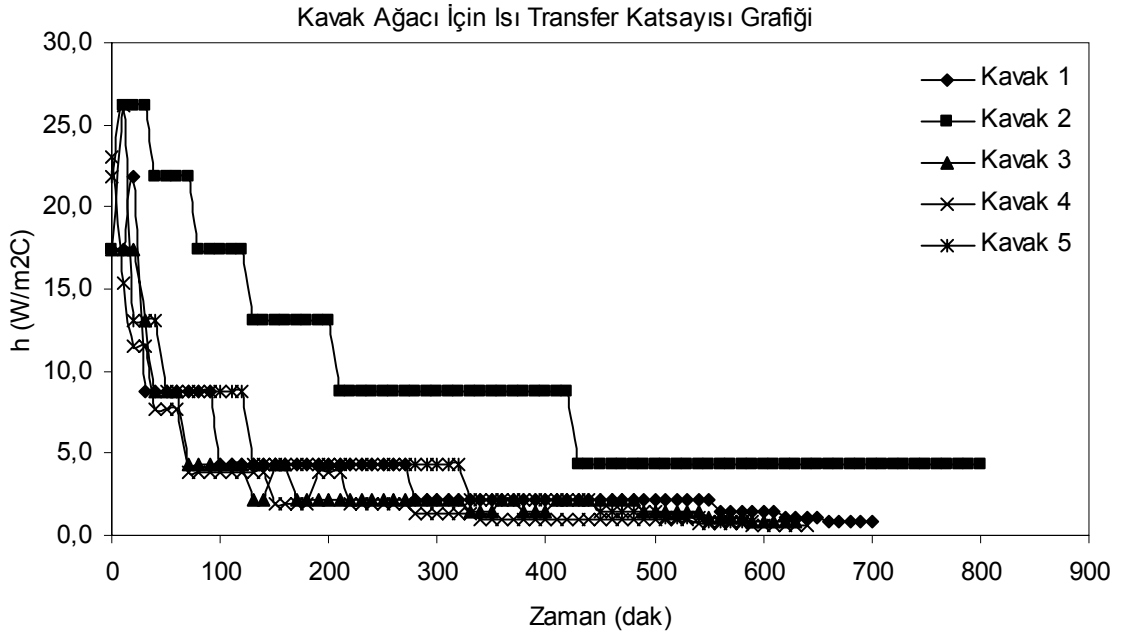
Kavak ağaçları için kuruma hızı-zaman ilişkisi Şekil 10’ da grafiksel olarak gösterilmektedir. Numuneler için kuruma hızları çok kısa bir zaman aralığı için önce artmış sonra azalıp belirli zaman aralıklarında sabit kalmıştır. Bu trend standart kuruma hızları-zaman grafiklerinde de görülebilmektedir. Grafikte tüm kavak ağaçları için, kurumanın ilk zamanları hariç, kuruma hızları çeşitli zaman aralıkları için sabit olarak alınabilir. Numunelerin hemen hepsinde yaklaşık olarak aynı trend gözlenirken, sayısal değer olarak birbirinden belirli oranlarda farklılıklar gözlenmektedir.



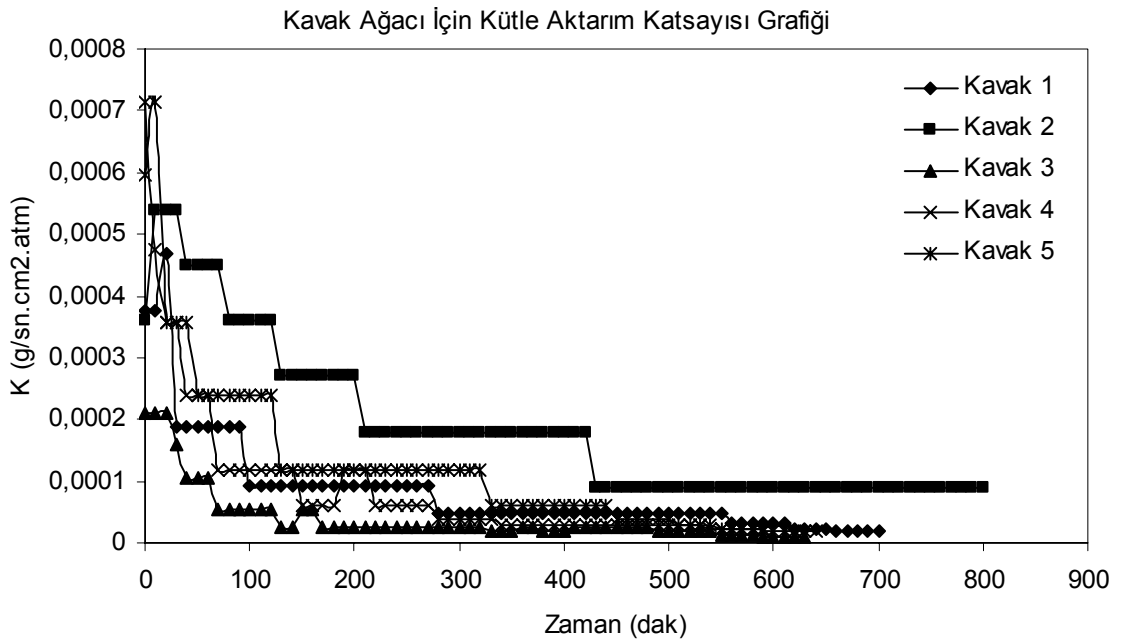
Şekil 10. Kavak Ağaçlarının Kuruma Hızı-Zaman Grafiği

Şekil 11’ de kavak ağaçları için ısı transfer katsayısının zamanla değişimi verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi ısı transfer katsayıları kurumanın ilk zamanlarında hızlı bir şekilde azaldığı halde, zaman ilerledikçe katsayılarıdaki düşme çok az olmakta ve kavak ağacı için ısı transfer katsayıları hemen hemen sabit duruma gelmektedir. Isı transfer katsayılarındaki değişimin büyük oranda numunelerin su içeriğine bağlı olduğu söylenebilir.

Kütle transfer katsayısının zamanla değişimi başlangıç nemleri birbirinden farklı kavak ağacı numuneleri için Şekil 12’ de verilmiştir. Daha öncede ifade edildiği gibi kuruma hızı-zaman grafikleriyle ısı ve kütle transfer katsayısının zamanla değişimini gösteren grafikler birbirine çok benzemektedir. Diğer bir deyişle sayısal değerler farklı olmak koşuluyla tamamen aynı trend gözlenmektedir. Isı transfer katsayılarında olduğu gibi kütle transfer katsayılarında da değişim, numunenin nemine büyük oranda bağlıdır.



Şekil 11. Kavak Ağaçlarının Isı Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği

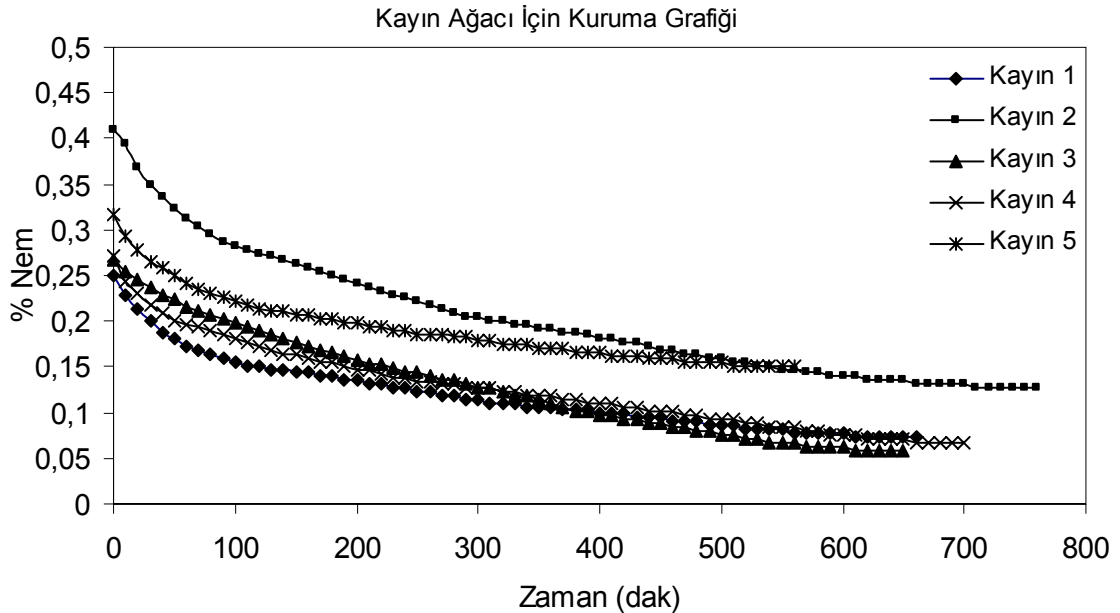


Şekil 12. Kavak Ağaçlarının Kütle Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği

Kayın Ağacı İçin Elde Edilen Sonuçlar

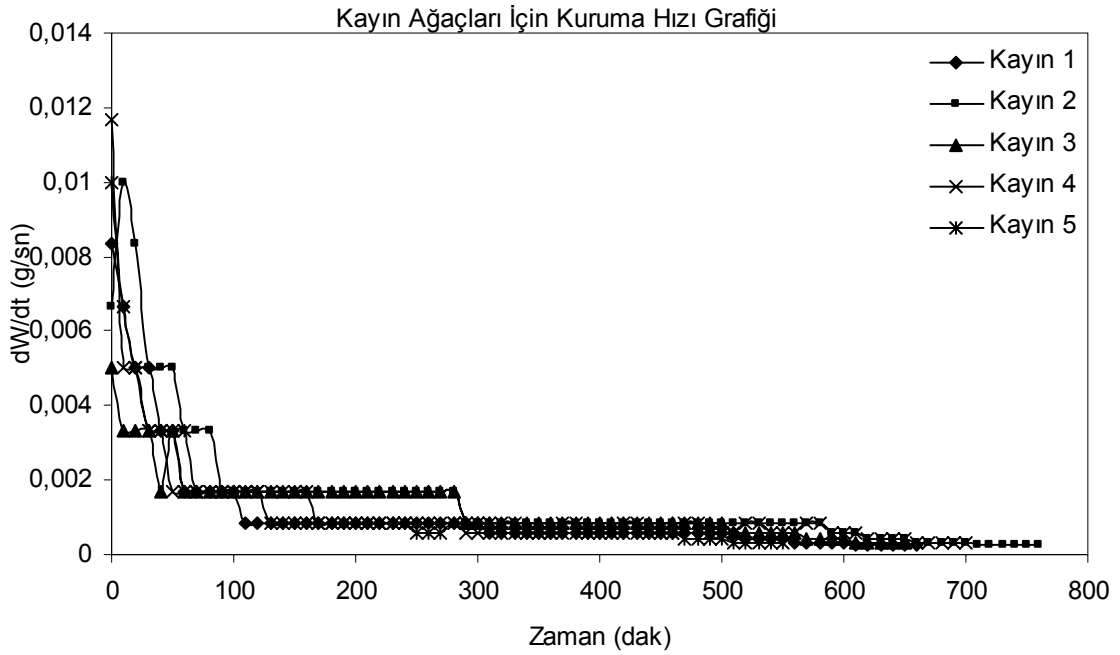
Daha önce bahsedilen ağaç çeşitlerinde olduğu gibi kayın ağacının numuneleri istenilen boyutlarda (2 cm x 23,5 cm x 9cm) hazırlandı. Numunelerin nemlendirilmeleri bu bölümün başında verilen prosedüre göre yapıldı. Deneylerin tekrarlanabilirliğini kontrol etmek için 5 farklı numune ile çalışıldı. Numuneler tek tek kurutma işlemine tabi tutuldu. Numunelerin geniş yüzeyleri hava akımına paralel olacak şekilde kafese yerleştirildi ve kafes tepsili kurutucuya monte edilmiş terazinim çengeline asıldı. İstenilen sıcaklıktaki ve hızdaki hava numunenin bulunduğu ortama gönderildi. Kurutma işlemi sırasında numunenin ağırlık kaybı kurutucu üzerindeki terazide 10 dakikalık aralıkla kaydedildi. Deney esnasında ayrıca yaş ve kuru hazne sıcaklıkları, numunenin merkez sıcaklığı, havanın çizgisel akım hızları belirli zaman aralıklarında kontrol edilerek kaydedildi. Kaydedilen değerleri ekler kısmında tablolar halinde verilmiştir.

Şekil 13 de kayın ağacına ait numunelerin nemlerinin (%) zamanla değişimi verilmiştir. Beklendiği gibi tüm numunelerin nem miktarları zamanla azalmaktadır. Nem miktarlarındaki azalma oranı kurumanın ilk zamanlarında hızlı olurken zaman ilerledikçe bu oran azalmaktadır.



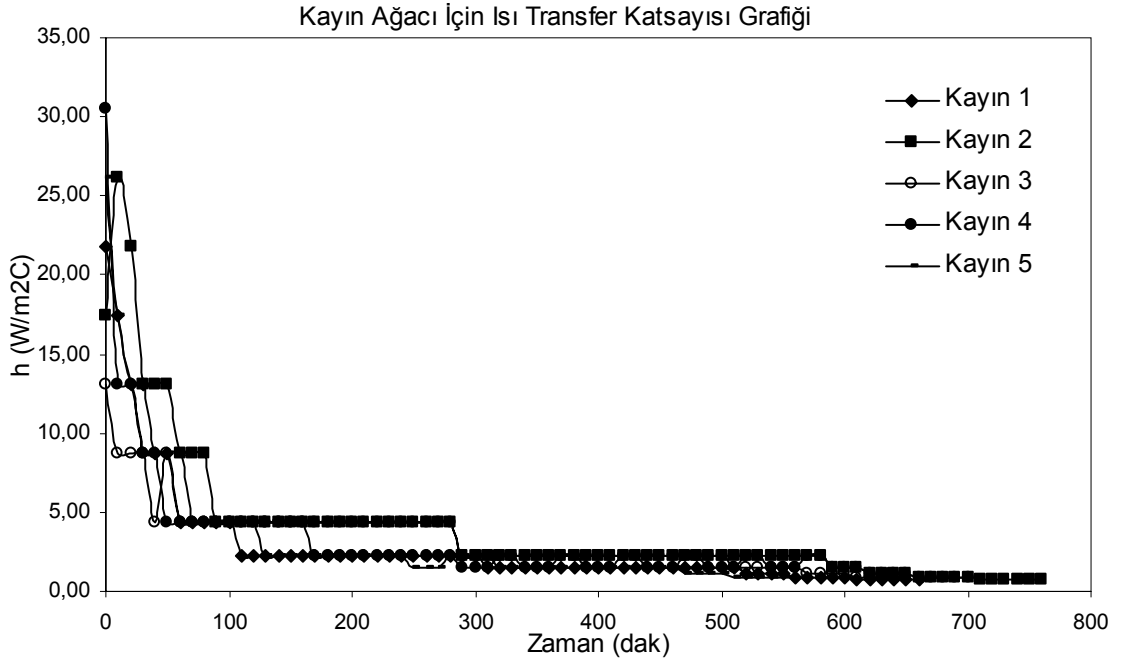
Şekil 13. Kayın Ağaçlarının % Nem-Zaman Grafiği

Sabit hava hızı ve sıcaklığında kayın ağaçlarındaki kuruma hızının zamanla değişimi Şekil 14 de verilmiştir. Görüldüğü gibi kurutmanın ilk 50 dakikasında kuruma hızında hızlı bir düşüş olurken, bundan sonraki zamanlarda kurutma hızı çok az miktarlarda azalmış olsa da genelde sabit olduğu söylenebilir. Özellikle ilk 100 dakikadan sonra kurutma hızı sabittir denilebilir. Çünkü bu değerden sonra kurutma hızındaki zamanla değişim ihmal edilebilecek seviyededir.

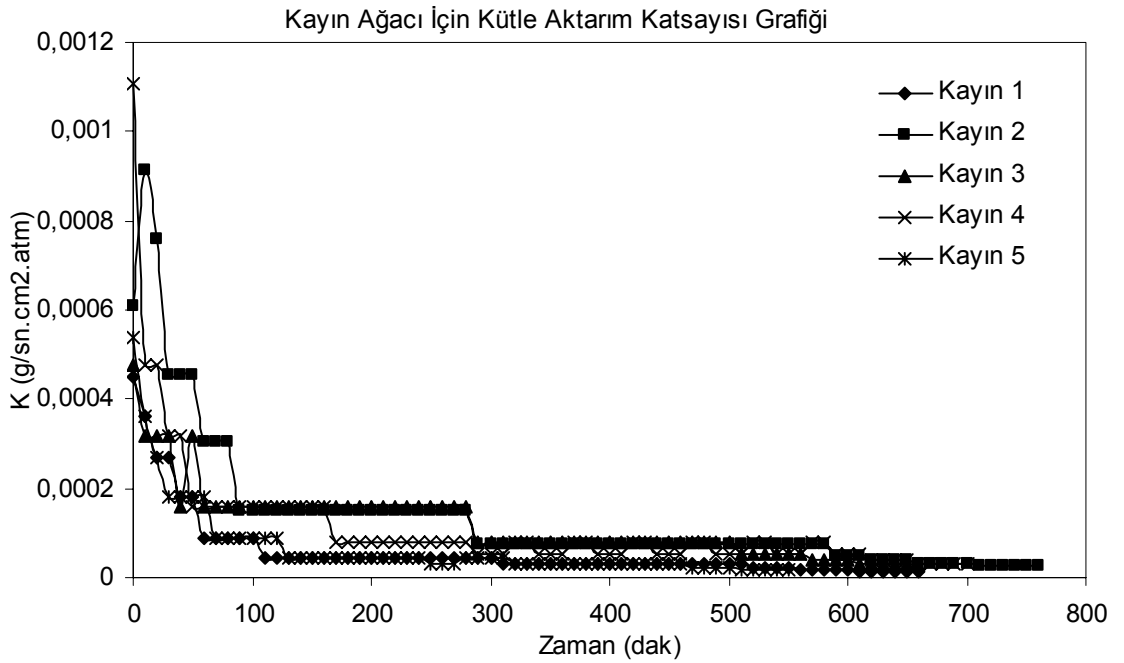


Şekil 14. Kayın Ağaçlarının Kuruma Hızı-Zaman Grafiği

Kayın ağacı için ısı transfer katsayısı- zaman grafiği Şekil 15 te verilmiştir. Isı transferi katsayısı ile zaman arasındaki trend daha önce de ifade edildiği gibi kurutma hızı ile zaman arasındaki trend ile hemen hemen aynıdır. Bu ise ısı transfer katsayısının numunenin nem içeriğine büyük oranda bağlı olduğunu gösterir. Isı transfer katsayısının hesaplandığı formül göz önünde bulundurulduğunda söz konusu iddia daha fazla anlam kazanacaktır. Şekilde görüldüğü gibi kurutmanın ilk 50 dakikasında h değerlerinde hızlı bir düşüş gösterirken bundan sonraki zaman değerlerinde ısı transferi katsayısı değerlerinde ki azalma oldukça azdır. Özellikle ilk 100 dakikadan sonraki kurutma zamanlarındaki h değerlerindeki değişimler ihmal edilebilecek seviyededir. Diğer bir deyişle bu değerden sonraki ısı transfer katsayısı sabit olarak kabul edilebilir.



Şekil 15. Kayın Ağaçlarının Isı Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği



Şekil 16. Kayın Ağaçlarının Kütle Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği

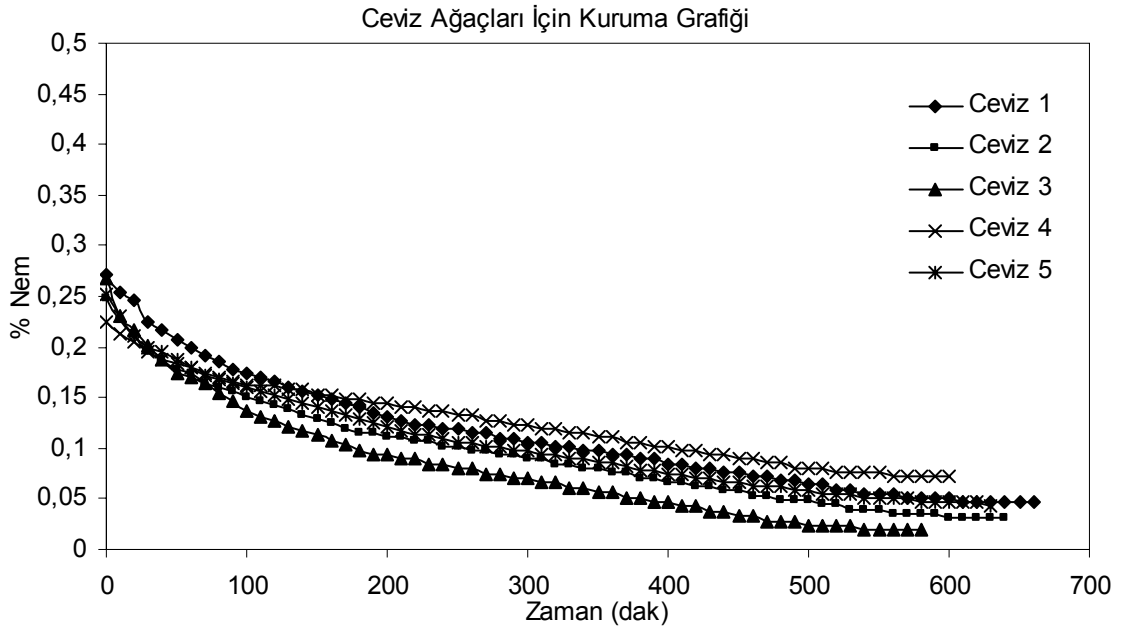
Kütle aktarım katsayısının, kayın ağacı için zamanla değişimi Şekil 16 da gösterilmiştir. Başlangıçtaki hızlı düşüşten sonra sabit denilebilecek kadar az değişim gösteren kütle aktarım katsayısı beş ayrı numunenin ortalamasından kayın ağacı için yaklaşık $5,5 \times 10^{-5}$ olarak alınabilir.

Ceviz Ağacı İçin Elde Edilen Sonuçlar

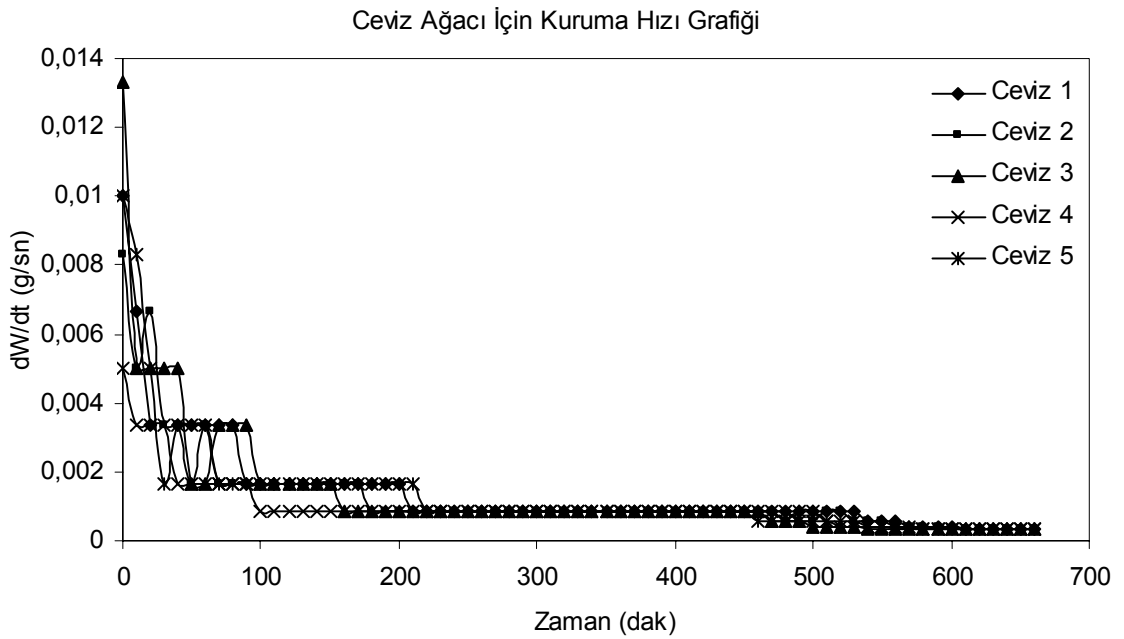
Ceviz ağacından elde edilmiş aynı boyutlarında (2 cm x 23,5 cm x 9 cm 5) ki 5 numune, hızı ve sıcaklığı belirlenmiş hava vasıtasıyla ayrı ayrı kurutuldu. Kurutma işlemi sırasında numunelerin geniş yüzeyleri hava akımına paralel olacak şekilde kafes içerisine yerleştirildi ve bu kafes tepsili kurutucuya monte edilmiş terazinin çengeline asıldı. Kurutma işlemi esnasında numunenin ağırlık kaybı her 10 dakikada bir kaydedildi. Havanın nemi, kuru ve yaş hazne sıcaklıkları da deneyin başlangıcında ve çeşitli zamanlarda kontrol edildi. Her bir numuneye ait % nem miktarı, kuruma hızı, ısı ve kütle transfer katsayıları zamana bağlı olarak hesaplanarak grafiğe geçirildi.

Numunelerin % nem miktarlarındaki zamana bağlı olarak değişim Şekil 17 de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi nem miktarı beklendiği gibi zamanla azalmaktadır. Bu azalma kurumunun ilk zamanlarında hızlı bir şekilde gerçekleşirken ilerleyen dakikalarda yavaşlamaktadır. Nemin zamanla azalma eğrileri yaklaşık aynı trendi gösterdikleri halde sayısal değerleri birbirinden farklıdır.

Ceviz numunelerinin kuruma hızlarının zamanla değişimi Şekil 18 de verilmiştir. 1 nolu numune dışında tüm numunelerde kuruma hızları kurumunun ilk zamanlarında hızlı bir şekilde azalmıştır. 1 nolu numunede kuruma hızı önce artmış sonra hızlı bir şekilde düşmüştür. Bunun anlamı bu numunenin yüzeyinde fazla miktarda serbest su bulunmasıdır. Şekilde görüldüğü gibi ilk 50 dakikada kuruma hızları hızlı bir şekilde azalmıştır. 50 ile 1000 dakika arasında kuruma hızındaki düşme oldukça yavaşlamıştır ve 100 dakikadan sonra kuruma hızındaki azalma oldukça azdır. Dolayısıyla söz konusu değerden sonra kuruma hızındaki düşüş ihmal edilebilecek seviyededir ve sabit olarak alınabilir. Özellikle belirli zaman aralıklarında kuruma hızında her hangi bir değişim söz konusu değildir.

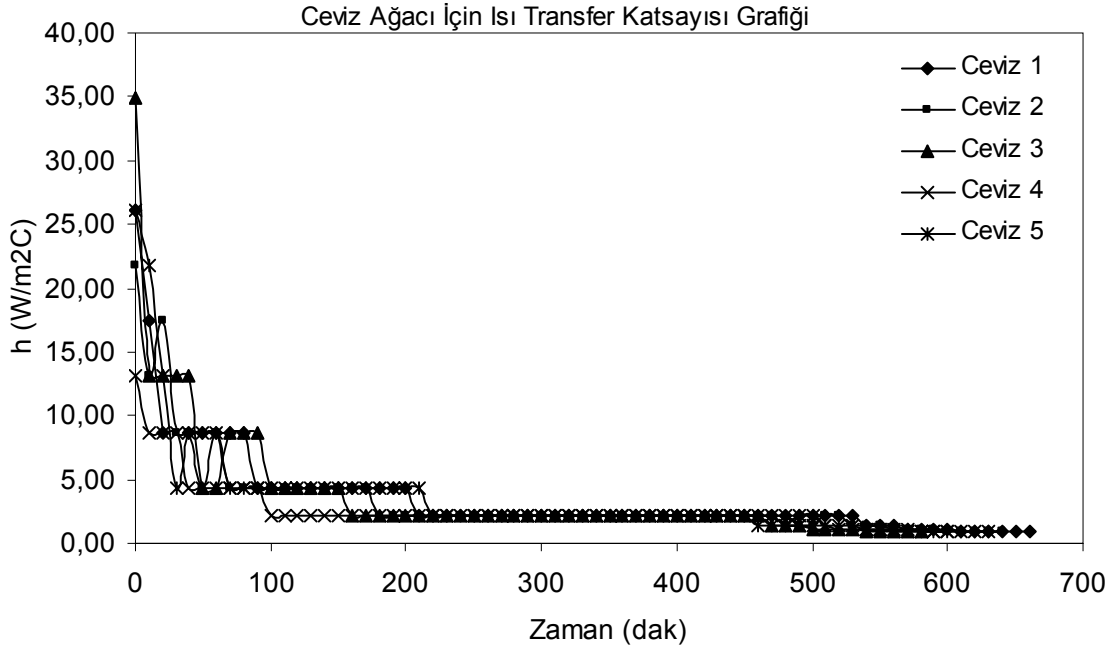


Şekil 17. Ceviz Ağaçlarının % Nem-Zaman Grafiği



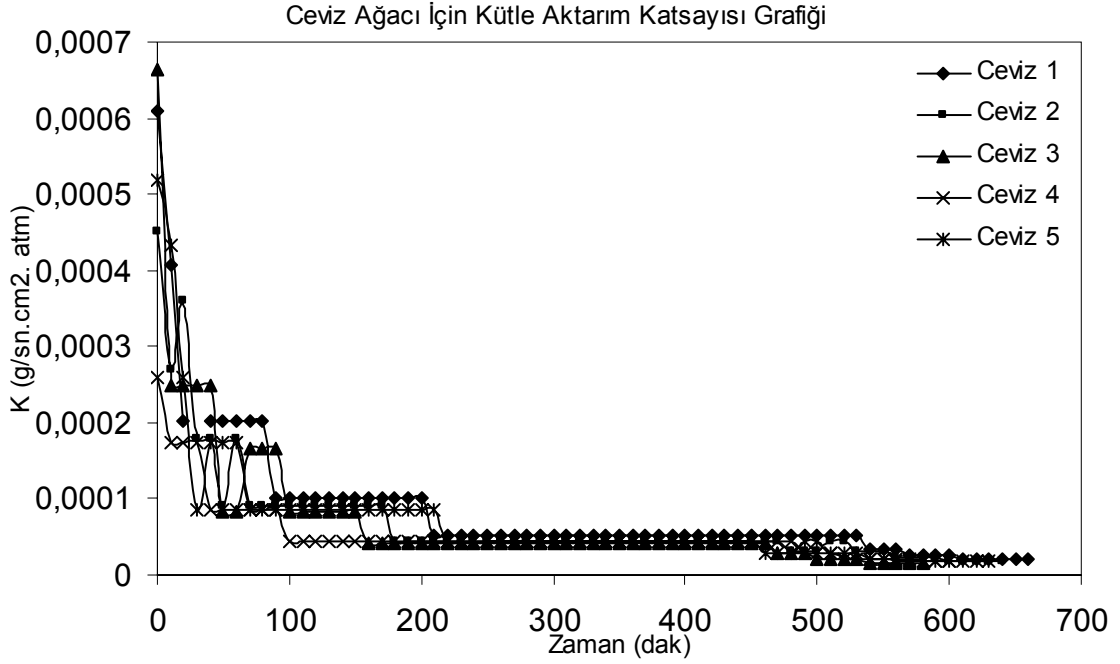
Şekil 18. Ceviz Ağaçlarının Kuruma Hızı-Zaman Grafiği

Diğer ağaç türleri içinde ifade edildiği gibi ısı transferi katsayısının zamanla değişimi ile kuruma hızının zamanla değişimi birbirine benzemektedir. Bu benzerlikleri ısı transferi katsayısının hesaplandığı formülden kaynaklanmaktadır. Eşitlik (29) da görüldüğü gibi kuruma hızının belirli bir katsayıya bölümünden ısı transferi katsayısı elde edilmektedir. Şekil 19, ceviz numunelerinin ısı transfer katsayılarının zamanla değişimlerini göstermektedir. Görüldüğü gibi kurutmanın ilk 50 dakikasında ısı transfer katsayılarında görülen hızlı düşüş ilerleyen dakikalarda yavaşlayarak sabit denebilecek hale gelmektedir. Ceviz ağaçlarında 200 dakika sonunda ısı transfer katsayısı $2,18 \text{ W/m}^2\text{C} - 1,67 \text{ W/m}^2\text{C}$ aralığında bir değer almaktadır.



Şekil 19. Ceviz Ağaçlarının Isı Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği

Şekil 20 de ceviz ağacı için kütle aktarım katsayısının zamanla değişimi 5 farklı numune için verilmiştir. 200. dakika ile 500. dakika arasında katsayı $5 \times 10^{-5} \text{ g.sn}^{-1}.\text{cm}^{-2}.\text{atm}^{-1}$ - $3,5 \times 10^{-5} \text{ g.sn}^{-1}.\text{cm}^{-2}.\text{atm}^{-1}$ değerleri arasında değişmektedir.



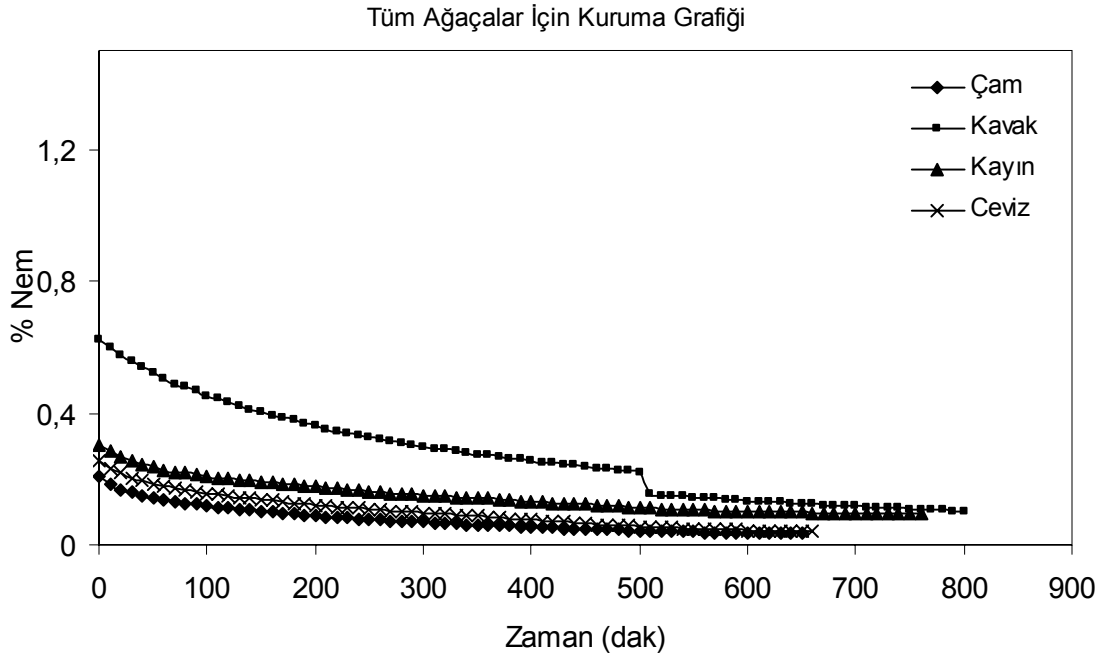
Şekil 20. Ceviz Ağaçlarının Isı Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği

Çam, Kavak, Kayın ve Ceviz Ağaçlarının Kuruma Özelliklerinin Karşılaştırılması

Her bir ağaç türü için 5 farklı numune kurutularak kuruma dinamikleri incelenmiş ve yukarıdaki grafikler de % nemin, kuruma hızının, ısı ve kütle transfer katsayılarının zamanla değişimleri her bir ağaç türü için ayrı ayrı verilmiştir. 5 numune için bulunan değerlerden ağaç türleri için ortalama değerler hesaplandıktan sonra aynı grafikte 4 farklı ağaç türü için gösterilmiştir.

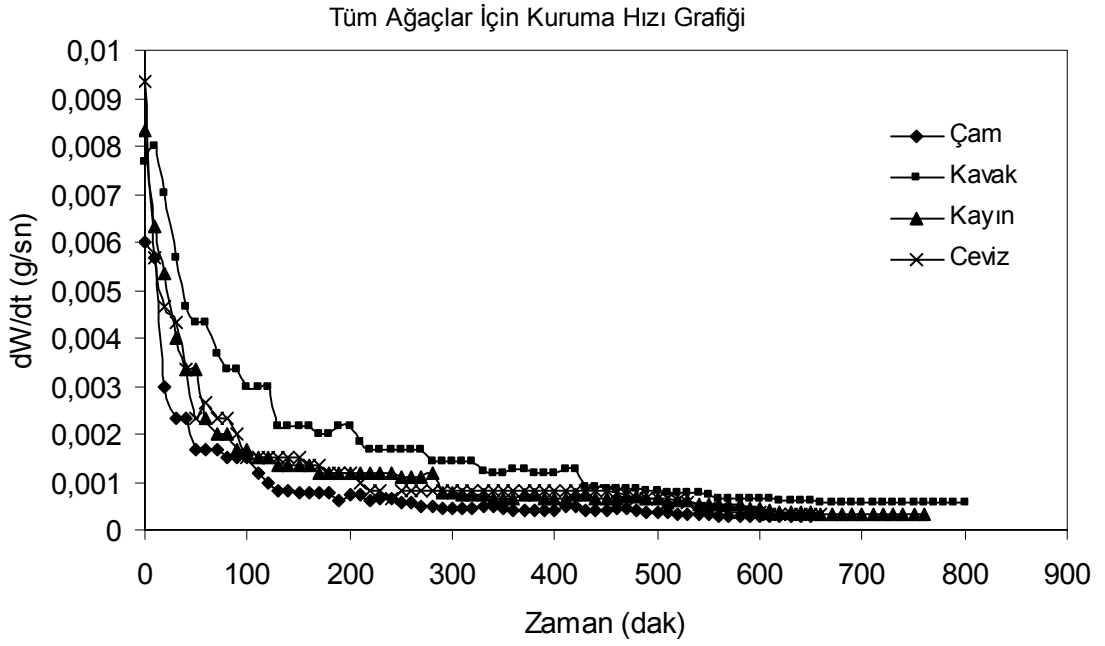
Şekil 21 de kavak, çam, kayın ve ceviz ağaçlarının % nem miktarlarının zamanla değişimi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi kavak ağacının başlangıç nemi en yüksek olup nem miktarı hızlı bir şekilde düşerken diğer numunelere ait nem miktarlarının zamanla değişimi çok yavaş gerçekleşmektedir. Ceviz ile çam numunelerine ait nem noktaları en düşük seviyede olurken kayın ağacına ait numunelerin kavak ile bu iki numunenin arasında yer aldığı görülmektedir. Kavak ağacına ait numunelerin nem miktarın ortalama değerleri diğer numunelere ait nem miktarının ortalama değerleri oldukça yüksektir. Bu ise ağaçların farklı hücrel

yapısından kaynaklanıyor olabilir. Kavak ağacı genelde yumuşak kereste olarak değerlendirilmektedir. Bu yapı ise nemi daha kolay kazanılabileceği ya da kaybedebileceğini göstermektedir. Bu nedenle kavak ağacının başlangıç nemi oldukça yüksek olmasına rağmen kurutma sonundaki nem miktarının diğer numunelerin nem miktarına yaklaştığı gözlenmektedir.



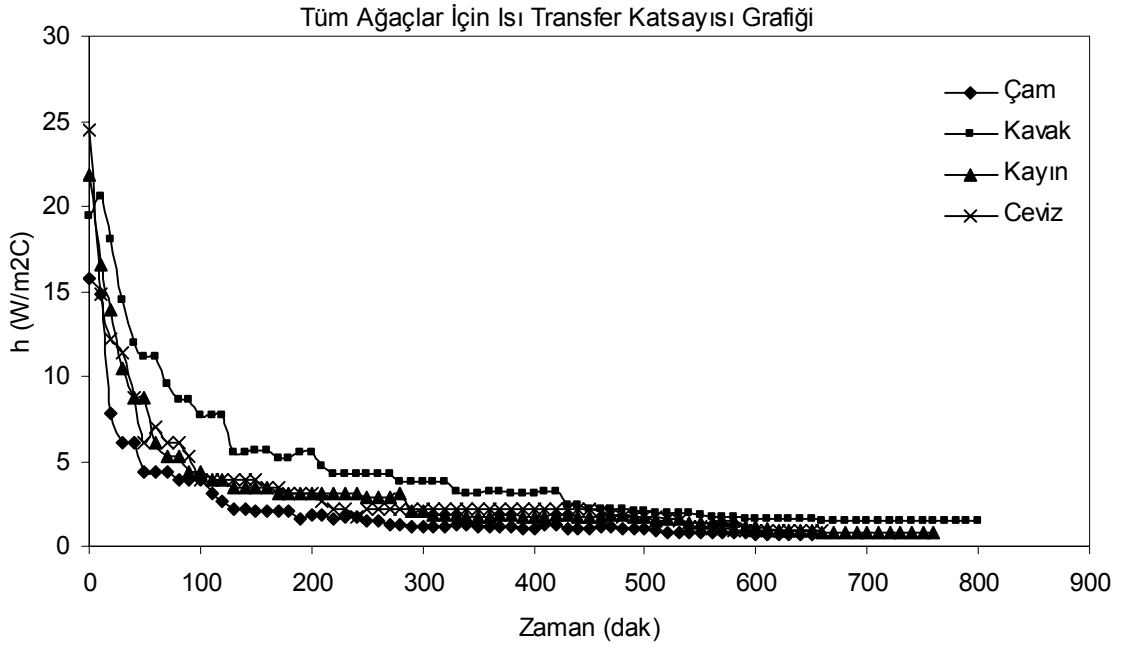
Şekil 21. Tüm Ağaçlar İçin % Nem-Zaman Grafiği

Deneylerde kullanılan tüm numunelerin kuruma hızlarının zamanla değişimi Şekil 22 de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kavak ağacı numunelerinin kuruma hızları diğer numunelere göre başlangıçta yüksek olmasına rağmen, zamanla hızlı bir şekilde azalmakta ve diğer numunelerin seviyesine inmektedir. Bu durum yine kavak ağacının hızlı bir şekilde nem kaybettiğini gösterir. Bu da önceden ifade edildiği gibi ağaç yapısıyla ilgilidir.



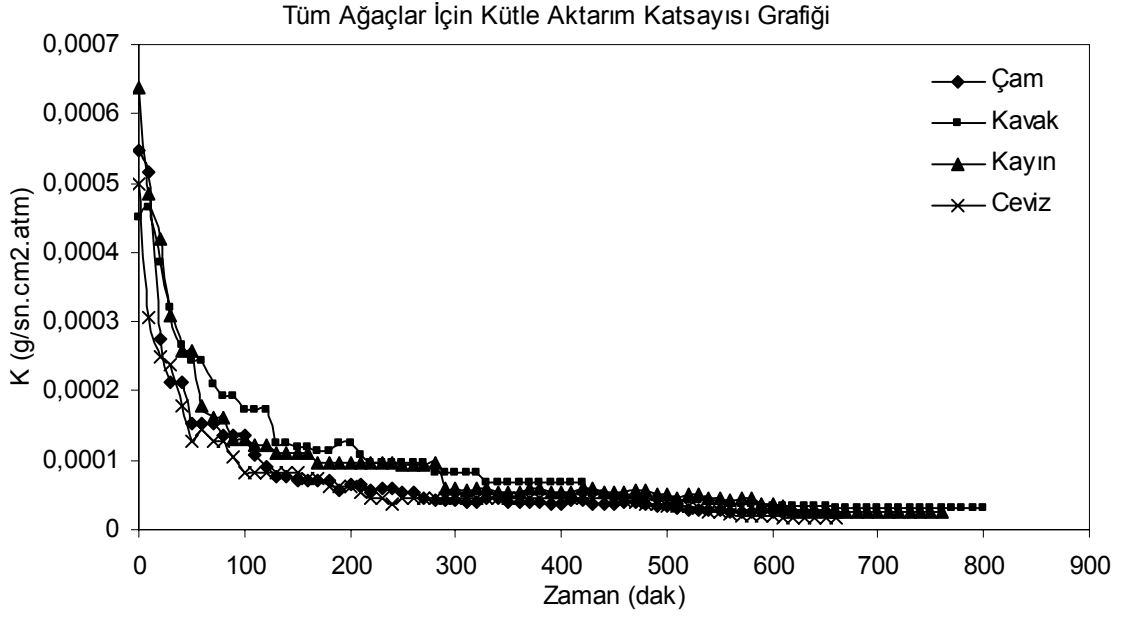
Şekil 22. Tüm Ağaçlar İçin Kuruma Hızı-Zaman Grafiği

Şekil 23 kullanılan ağaç türlerine ait ısı transfer katsayılarının zamanla değişimini göstermektedir. Daha önceden de ifade edildiği gibi kuruma hızları için gözlenen trend ısı transfer katsayıları içinde geçerlidir. Çünkü ısı transfer katsayıları kuruma hızının (dW/dt) belirli bir katsayı ile çarpılmasından elde edilmektedir. Şekil 22 için yapılan açıklama bu şekil için de geçerlidir ve ısı transfer katsayısı nem miktarlarına büyük oranda bağlıdır.



Şekil 23. Tüm Ağaçlar İçin Isı Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği

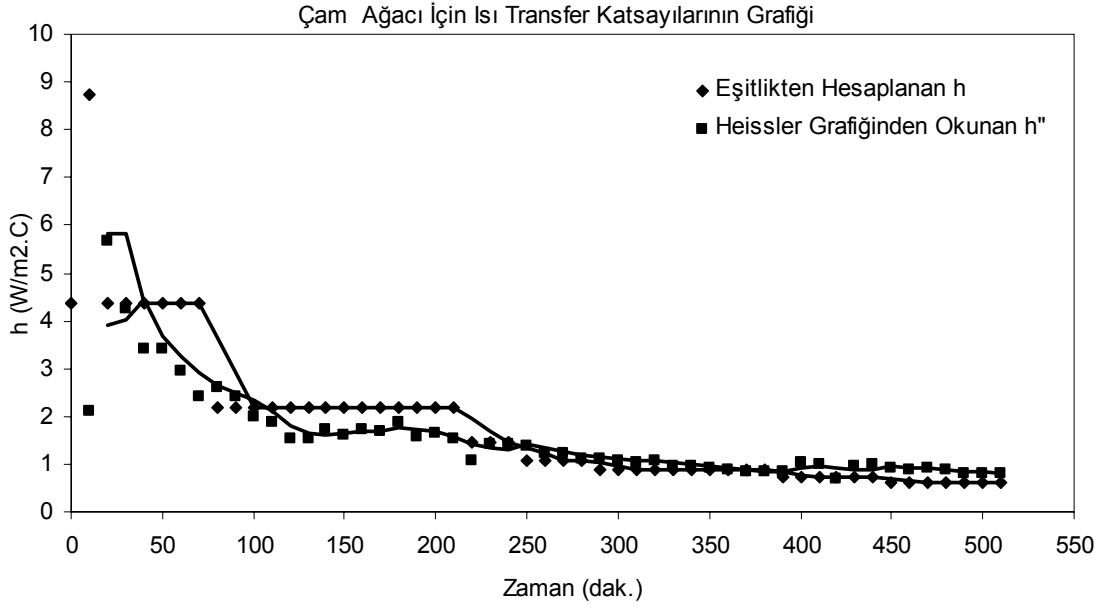
Şekil 24 her bir ağaç türünün ortalama kütle transfer katsayılarının zamanla değişimini göstermektedir. Kütle transfer katsayısı buharlaşan nem miktarına büyük oranda bağlı olduğundan kuruma işleminin ilk zamanlarında en yüksek kütle transfer katsayısı kavak ağacına ait iken kurumanın sonuna doğru tüm ağaç türleri için aynı değere doğru gitmektedirler.



Şekil 24. Tüm Ağaçlar İçin Kütle Transfer Katsayısı-Zaman Grafiği

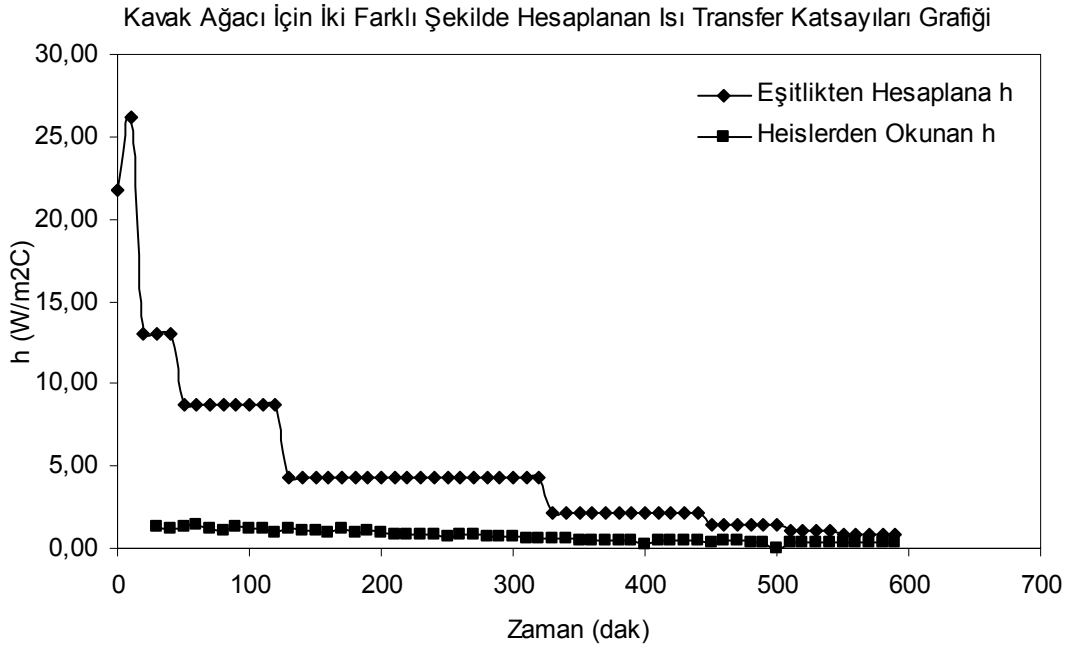
Eşitlikten Hesaplanan Isı Transfer Katsayısı İle Heissler Grafiğinden Okunan Isı Transfer Katsayısının Grafiği

Isı transfer katsayıları daha önceden de bahsedildiği gibi iki farklı yöntemle hesaplanmıştır. Şekil 25 de çam ağacı için ısı transfer katsayısının iki farklı yöntemle hesaplanan değerleri kıyaslanmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi iki farklı yöntemle hesaplanan değerleri arasında özellikle kuruma zamanının ilk 200 dakikasından sonraki değerlerinde oldukça iyi bir uyum gözlenmektedir. Ayrıca 100–200 dakika arasındaki uyumunda iyi olduğu söylenebilir. Kurumanın başlangıcında belirli oranda bir uyumsuzluk gözlenmiş olsa da kurumanın başlangıçta nem miktarlarındaki hızlı düşüş bu uyumsuzluğun sebebi olabilir.

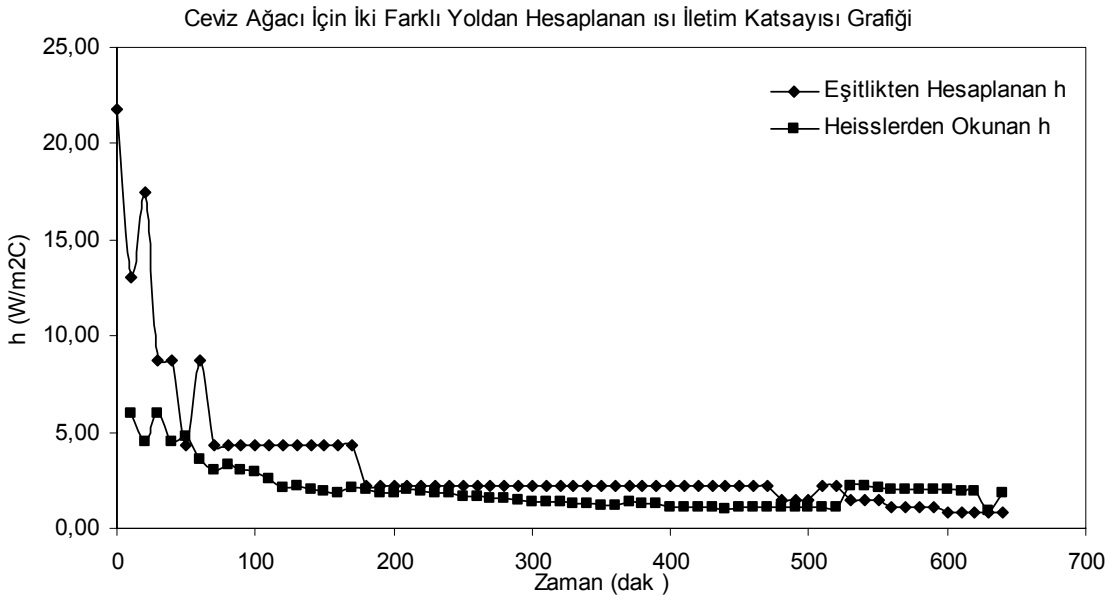


Şekil 25. Çam Ağacı İçin Isı Transferi Katsayısı-Zaman Grafiği

Şekil 26 kavak ağacına ait iki farklı yöntemle hesaplanmış h değerlerinin kıyaslanmasını göstermektedir. Çam için elde edilen uyumluluk kavak ağacı için elde edilmemiştir. Heissler grafikleri yardımıyla elde edilen h değerleri ampirik eşitlik (29) de bulunan değerlerden oldukça düşüktür. Bu uyumsuzluk kurumanın başlangıcında maksimumken kurma süresinin artmasıyla azalmaktadır ve kuruma süresinin sonunda aradaki uyumsuzluk ortadan kalkmaktadır.



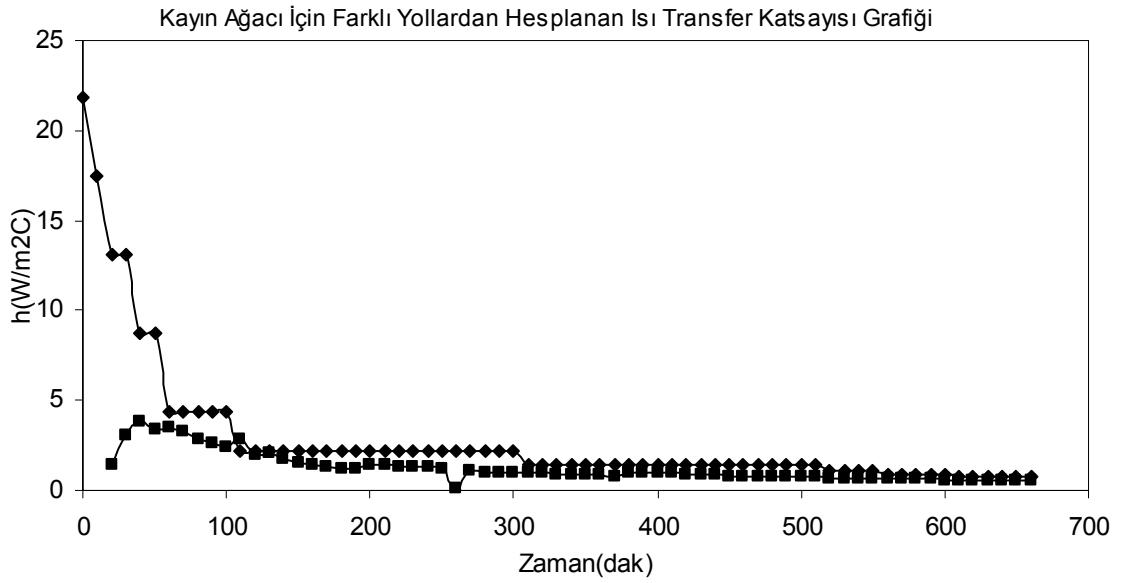
Şekil 26. Kavak Ağacı İçin Isı Transferi Katsayısı-Zaman Grafiği



Şekil 27. Ceviz Ağacı İçin Isı Transferi Katsayısı-Zaman Grafiği

Şekil 27 de ceviz ağacına ait iki farklı yöntemle h değerlerinin kıyaslanması yapılmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi deneğin ilk 50 dakikası göz önüne alırsak, iki farklı yöntemle elde edilmiş h değerleri arasında oldukça iyi bir uyum söz konusudur. Özellikle ilk 180 dakikadan sonra bu uyumun oldukça iyi olduğu söylenebilir.

Şekil 28 de kayın ağacına ait iki farklı yöntemle hesaplanmış h değerlerinin kıyaslanması yapılmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi iki farklı yöntemle hesaplanan h değerleri arasındaki uyumun oldukça iyi olduğu söylenebilir. İlk 50 dakikadan sonra uyumun oldukça iyi olduğu söylenebilir



Şekil 28. Kayın Ağacı İçin Isı Transferi Katsayısı-Zaman Grafiği

SONUÇLAR

Bu çalışmada mobilya ve ahşap yapı endüstrisinde yaygın olarak kullanılan çam, kavak, kayın ve ceviz ağaçlarından elde edilen numunelerin kurutulması deneysel olarak incelendi. Kurutma işlemi tepsili kurutucuda önceden belirlenmiş hava hızı ve sıcaklığında gerçekleştirildi. Her bir ağaç türü için beş numune üzerinden deneyler yapıldı. Bu deneylerdeki yapılan ölçümlerde her bir ağaç türü için % nem miktarını zamanla değişimi, kuruma hızının zamanla değişimi, ısı ve kütle aktarım katsayılarının zamanla ve dolayısıyla da nem miktarına bağlı olarak değişimleri grafiğe geçirildi. Her bir ağaç türünün tüm numunelerinin % de neminin zamanla azaldığı gözlemlendi. Bu azalma kurutmanın ilk zamanlarında hızlı olarak gerçekleşirken, zamanın ilerlemesine bağlı olarak yavaşladığı gözlemlendi. Yine her bir ağaç türü için tüm numunelerin zamana bağlı kuruma hızları grafiğe geçirildi. Bazı numunelerde kuruma hızı önce artıp sonra hızlı bir şekilde azalmasına karşın, numunelerin çoğunda kurutma hızının kurutmanın ilk zamanlarında (ilk 50 dakikada) hızlı bir şekilde azalmaktadır. Deneylerde ayrıca ilk 50 ile 100 dakika arasında kuruma hızında çok yavaş bir düşüş ve 100 dakikadan sonraki zamanlarda da ihmal edilebilecek bir düşüşün olduğu gözlemlendi ve 100 dakikadan sonraki zamanlarda kuruma hızı sabittir sonucu rahatlıkla çıkarılabilir. Ayrıca her bir ağaç türü için tüm numunelerin ısı ve kütle transfer katsayılarının zamanla değişimi incelendi ve ısı transfer katsayılarının zamanla değişimi ile kuruma hızının zamanla değişimi arasında tam bir benzerlik görüldü. Her bir ağaç türünden seçilen numuneler için ısı transfer katsayıları, ayrıca Heissler grafiği kullanılarak bulundu ve iki farklı yöntemle bulunan ısı transfer katsayıları birbirleriyle kıyaslandı. Bu kıyaslama sonucunda iki farklı yöntemle hesaplanan ısı transfer katsayılarının uyum içinde olduğu gözlemlendi. Özellikle 100 dakikadan sonraki kuruma sürecinde ısı transfer katsayıları arasındaki uyumun daha iyi olduğu gözlemlendi. Dört farklı ağaç türü için, alınan beş farklı numuneden elde edilen sonuçların ortalaması alındı ve ortalama verilerden grafikler çizildi. Farklı ağaç türlerinin % Nem-Zaman, Kuruma Hızı-Zaman, Isı Transfer Katsayısı-Zaman ve Kütle Aktarım Katsayısı- Zaman değişimleri aynı grafik üzerinde gösterildi.

KAYNAKLAR

Basilico, C. and Genevoux. J.M. and Martin, M., 1990, High Temperature Drying of Wood Semiindustrial Kiln Experiment , Drying Techno., 8, 751.

Bouguera, A.and Ait-Mokhtar, A. And Amiri, O.and Diop, M. B., 2001, Measurement Of Thermal Conductivity, Thermal Diffusivity and Heat Capacity of Highly Porouos Building Materials Using Transient Plane Source Technique, Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 28, No. 8, pp.n10065-1078.

Brooke, A.S. and Langrish, T.A.G., 1997, The Simulation of Stresses and Strains in the Drying of Pinus Radiata Sapwood: The Efect of Board Geometry, Computers Chem. Engng, Vol:21, No. 11, pp. 1271-1281.

Di Blasi, C.,1998, Multi-phase Moisture Transfer in the High- Temperature Drying of Wood Particles, Chemical Engineering Science, Vol. 53, No.2, pp. 353–366.

DiMattia, D.G. and Amyotte, P.R. and Hamdullahmur, F., 1996, Fluidized Bed Drying of Large Particles, American Society of Agricultural Engineers, Vol. 39 (5), 1745-1750.

Ersen, N., 2000, Ahşap Yapılar Problem ve Çözümleri, İstanbul, 1-7 s.

Harmathy, T.Z., 1969, Simultaneous Moisture and Heat Transfer in Porous Systems with Particular Reference to Drying , I.EC Fundam, 8, 92.

Haung, C.L.D.,1979, Multi-phase Moisture Transfer in Porous Media Subjected to Temperature Gradient, Int. J. Heat and Mass Transfer, 22,1295.

Lempelius, J., 1974, Biçilmiş Ağaçların Kurutulması , Milli eğitim Bakanlığı Mesleki ve Teknik Öğretmen Kitapları , Ankara.

Kakaç, S., 1976, Isı İletimi, Ankara.

Majumdar, Arun., 1980, Advances In Drying, Volume 1, McGraw-Hill International Book Company, McGill University, Montreal.

Majumdar, Arun., 1980, Advances In Drying, Volume 2, McGraw-Hill International Book Company, McGill University, Montreal.

Nasrallah, S.B. and Pere, P., 1988, Detailed Study of a Model of Heat and Mass Transfer During Convective Drying of Porous Media, Int. J. Heat and Mass Transfer, 31,957.

Nijdam, j. And Langrish, T.A.G. and Keey, R.B., 1999, A High Temperature Drying Model for SoftWood Timber, Chemical Engineering Science, 55 (2000), 3585-3598.

Olson, W.,D., 1966, Woods and Woodworking for Industrial Arts, Second Edition, Yeni Delhi, 124-140.

Örs, Y. and Keskin H., 2001, Ağaç Malzeme Bilgisi, İstanbul.

Öz, E.S., 1988, Güneş enerjisiyle Kereste Kurutma, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Pang, S.and Langrish, T.A.G., and Keey, R.B., 1994, Moisture Movement in Softwood Timber at Elevated Temperatures, Drying Technology, 12, 1897.

Pang, S.,1998, Relative Importance of Vapor Diffusion and Convective Flow in Modelling of Softwood Drying, Drying Technology, 16, 271.

Plumb, O.A. and Spolek, A. and Olmstead, B. A., 1985, Heat and Mass Transfer in Wood During Drying, Int. J. Heat and Mass Transfer, 28, 1669.

Reuss, M. and Benkert, S. and Aeberhard, A. and Martina, P. and Raush, G. and Rentzell, B.V. and Sogari, N., 1997, Modelling and Experimental Investigation of A Pilot Plant for Solar Wood Drying, Solar Energy , Vol. 59, Nos.4–6, pp. 259–270.

Selçuk, M.G. ve Süme, V. , 2001, Yapı Malzemesi ve Beton, İstanbul, sf. 259–268.

Serbes, T., 2003, İki Farklı Teknik Kurutma Yöntemi ile Kurutulmuş Ağaç Malzemelerin Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Stanish, M.A. and Schajer, G.S. and Kayihan, F., 1986, A Mathematical Model of Drying for Hygroscopic Porous Media, A.I. Ch. E., J. 32, 1301.

Thunman, H. and Leckner , B., 2002, Thermal conductivity of Wood- Models for Different Stages of Combustion, Biomass and Bioenergy 23 (2002) 47-54.

Turner, I., 1995, A Two-Dimensional Orthotropic Model for Simulating Wood Drying Processes, Avenue of Americas, New York, NY 10010.

Uysal, B., 1993, Ankara ve Çevresinde Mobilya Endüstrisinde Kullanılan Ahşap Malzemenin Kurutulmasında Uygulanan Kurutma Yöntemlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Zhao, H. and Turner, L.W., 1999, The Use of Coupled Computational Model for Studying the MicroWave Heating of Wood, Applied Mathematical Modelling, 24 (2000), 183, 197.

Zırzakıran, M., 1990, Kondenzasyonlu Kereste Kurutma , Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

EKLER

EK 1: Kurutulan Ağaç Parçalarına Ait Bilgiler

Ortam Sıcaklığı (°C):13

Ortam Nemi (% RH): 59

Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 9

Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 9

Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 172,21

Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,407

Tablo E1.1. Çam (1) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	h _{heisler}	K
0	11	201	0,1672	17,45	17,00	0,000608012
10	30	197	0,1439	13,09	3,40	0,000456009
20	37	194	0,1265	8,72	3,40	0,000304006
30	41	192	0,1149	8,72	4,25	0,000304006
40	42	190	0,1033	4,36	3,40	0,000152003
50	43	189	0,0975	4,36	3,40	0,000152003
60	44	188	0,0917	4,36	2,83	0,000152003
70	45	187	0,0859	4,36	2,62	0,000152003
80	45	186	0,0801	4,36	2,50	0,000152003
90	45	185	0,0743	4,36	2,27	0,000152003
100	45	184	0,0684	4,36	2,13	0,000152003
110	46	183	0,0626	2,18	2,07	0,000076002
120	46	183	0,0626	2,18	1,89	0,000076002
130	46	182	0,0568	2,18	1,85	0,000076002
140	45	182	0,0568	2,18	1,42	0,000076002
150	45	181	0,0510	1,45	1,40	0,000050668
160	45	181	0,0510	1,45	1,28	0,000050668
170	45	181	0,0510	1,45	1,21	0,000050668
180	45	180	0,0452	1,45	1,16	0,000050668
190	44	180	0,0452	1,45	1,13	0,000050668
200	43	180	0,0452	1,45	0,81	0,000050668
210	44	179	0,0394	1,45	0,83	0,000050668
220	45	179	0,0394	1,45	0,92	0,000050668
230	45	179	0,0394	1,45	0,85	0,000050668
240	46	178	0,0336	1,45	0,76	0,000050668
250	46	178	0,0336	1,45	0,94	0,000050668
260	47	178	0,0336	1,45	0,94	0,000050668
270	47	177	0,0278	1,09	0,94	0,000038001
280	47	177	0,0278	1,09	0,89	0,000038001
290	47	177	0,0278	1,09	0,85	0,000038001
300	47	177	0,0278	1,09	0,83	0,000038001
310	47	176	0,0220	0,87	0,81	0,000030401
320	47	176	0,0220	0,87	0,81	0,000030401
330	47	176	0,0220	0,87	0,76	0,000030401
340	47	176	0,0220	0,87	0,75	0,000030401
350	47	176	0,0220	0,87	0,74	0,000030401
360	47	175	0,0162	0,73	0,71	0,000025334
370	47	175	0,0162	0,73	0,68	0,000025334
380	46	175	0,0162	0,73	0,61	0,000025334
390	47	175	0,0162	0,73	0,68	0,000025334
400	47	175	0,0162	0,73	0,64	0,000025334
410	46	175	0,0162	0,73	0,49	0,000025334

Ortam Sıcaklığı (°C): 14
Ortam Nemi (% RH): 47
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 11
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 10
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 177,26
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,419

Tablo E1.2. Çam (2) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	h _{heister}	K (g/sn.cm ² .atm)
0	11	209	0,1791	4,36	-	0,000152003
10	30	208	0,1734	8,72	2,13	0,000304006
20	39	206	0,1621	4,36	5,67	0,000152003
30	41	205	0,1565	4,36	4,25	0,000152003
40	42	204	0,1509	4,36	3,40	0,000152003
50	43	203	0,1452	4,36	3,40	0,000152003
60	44	202	0,1396	4,36	2,93	0,000152003
70	44	201	0,1339	4,36	2,43	0,000152003
80	45	200	0,1283	2,18	2,62	7,60015E-05
90	45	200	0,1283	2,18	2,43	7,60015E-05
100	45	199	0,1226	2,18	2,00	7,60015E-05
110	45	199	0,1226	2,18	1,89	7,60015E-05
120	45	198	0,1170	2,18	1,55	7,60015E-05
130	45	198	0,1170	2,18	1,55	7,60015E-05
140	46	197	0,1114	2,18	1,73	7,60015E-05
150	46	197	0,1114	2,18	1,62	7,60015E-05
160	47	196	0,1057	2,18	1,73	7,60015E-05
170	47	196	0,1057	2,18	1,70	7,60015E-05
180	48	195	0,1001	2,18	1,89	7,60015E-05
190	48	195	0,1001	2,18	1,59	7,60015E-05
200	48	194	0,0944	2,18	1,63	7,60015E-05
210	48	194	0,0944	2,18	1,55	7,60015E-05
220	49	193	0,0888	1,45	1,06	5,06677E-05
230	48	193	0,0888	1,45	1,42	5,06677E-05
240	48	193	0,0888	1,45	1,42	5,06677E-05
250	48	192	0,0832	1,09	1,39	3,80008E-05
260	48	192	0,0832	1,09	1,21	3,80008E-05
270	48	192	0,0832	1,09	1,21	3,80008E-05
280	48	192	0,0832	1,09	1,12	3,80008E-05
290	48	191	0,0775	0,87	1,10	3,04006E-05
300	48	191	0,0775	0,87	1,06	3,04006E-05
310	48	191	0,0775	0,87	1,05	3,04006E-05
320	48	191	0,0775	0,87	1,06	3,04006E-05
330	48	191	0,0775	0,87	0,94	3,04006E-05
340	48	190	0,0719	0,87	0,94	3,04006E-05
350	48	190	0,0719	0,87	0,93	3,04006E-05
360	48	190	0,0719	0,87	0,89	3,04006E-05
370	48	190	0,0719	0,87	0,85	3,04006E-05
380	48	190	0,0719	0,87	0,85	3,04006E-05
390	48	189	0,0662	0,73	0,85	2,53338E-05
400	49	189	0,0662	0,73	1,03	2,53338E-05
410	49	189	0,0662	0,73	1,00	2,53338E-05
420	48	189	0,0662	0,73	0,71	2,53338E-05
430	49	189	0,0662	0,73	0,94	2,53338E-05
440	49	189	0,0662	0,73	0,99	2,53338E-05
450	49	188	0,0606	0,62	0,92	2,17147E-05
460	49	188	0,0606	0,62	0,89	2,17147E-05
470	49	188	0,0606	0,62	0,92	2,17147E-05
480	49	188	0,0606	0,62	0,87	2,17147E-05
490	49	188	0,0606	0,62	0,79	2,17147E-05
500	49	188	0,0606	0,62	0,81	2,17147E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 14-15
Ortam Nemi (% RH): 58-60
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 8
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 8
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 198,0
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,468

Tablo E1.3. Çam (3) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	8	242	0,2222	26,17	0,00091202
10	12	236	0,1919	13,09	0,00045601
20	32	233	0,1768	13,09	0,00045601
30	37	230	0,1616	8,72	0,00030401
40	41	228	0,1515	8,72	0,00030401
50	43	226	0,1414	4,36	0,00015200
60	45	225	0,1364	4,36	0,00015200
70	45	224	0,1313	4,36	0,00015200
80	46	223	0,1263	4,36	0,00015200
90	46	222	0,1212	4,36	0,00015200
100	46	221	0,1162	4,36	0,00015200
110	46	220	0,1111	4,36	0,00015200
120	47	219	0,1061	4,36	0,00015200
130	47	218	0,1010	2,18	0,00007600
140	47	218	0,1010	2,18	0,00007600
150	47	217	0,0960	2,18	0,00007600
160	48	217	0,0960	2,18	0,00007600
170	48	216	0,0909	2,18	0,00007600
180	48	216	0,0909	2,18	0,00007600
190	48	215	0,0859	2,18	0,00007600
200	49	215	0,0859	2,18	0,00007600
210	49	214	0,0808	2,18	0,00007600
220	49	214	0,0808	2,18	0,00007600
230	49	213	0,0758	2,18	0,00007600
240	49	213	0,0758	2,18	0,00007600
250	49	212	0,0707	1,45	0,00005067
260	50	212	0,0707	1,45	0,00005067
270	50	212	0,0707	1,45	0,00005067
280	49	211	0,0657	1,09	0,00003800
290	49	211	0,0657	1,09	0,00003800
300	49	211	0,0657	1,09	0,00003800
310	49	211	0,0657	1,09	0,00003800
320	49	210	0,0606	1,09	0,00003800
330	49	210	0,0606	1,09	0,00003800
340	49	210	0,0606	1,09	0,00003800
350	49	210	0,0606	1,09	0,00003800
360	49	209	0,0556	1,09	0,00003800
370	49	209	0,0556	1,09	0,00003800
380	49	209	0,0556	1,09	0,00003800
390	49	209	0,0556	1,09	0,00003800

400	48	208	0,0505	1,09	0,00003800
410	49	208	0,0505	1,09	0,00003800
420	49	208	0,0505	1,09	0,00003800
430	49	208	0,0505	1,09	0,00003800
440	49	207	0,0455	0,87	0,00003040
450	49	207	0,0455	0,87	0,00003040
460	49	207	0,0455	0,87	0,00003040
470	49	207	0,0455	0,87	0,00003040
480	49	207	0,0455	0,87	0,00003040
490	49	206	0,0404	0,73	0,00002533
500	49	206	0,0404	0,73	0,00002533
510	49	206	0,0404	0,73	0,00002533
520	49	206	0,0404	0,73	0,00002533
530	49	206	0,0404	0,73	0,00002533
540	49	206	0,0404	0,73	0,00002533

Ortam Sıcaklığı (°C): 16
Ortam Nemi (% RH): 59
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 11
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 10
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 191,98
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,454

Tablo E1.4. Çam (4) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	10	234	0,2189	8,7234	0,000304
10	28	232	0,2085	13,0851	0,000456
20	37	229	0,1928	8,7234	0,000304
30	41	227	0,1824	4,3617	0,000152
40	43	226	0,1772	8,7234	0,000304
50	44	224	0,1668	4,3617	0,000152
60	45	223	0,1616	4,3617	0,000152
70	45	222	0,1564	4,3617	0,000152
80	46	221	0,1512	4,3617	0,000152
90	46	220	0,1460	4,3617	0,000152
100	45	219	0,1407	4,3617	0,000152
110	45	218	0,1355	4,3617	0,000152
120	46	217	0,1303	2,1809	7,6E-05
130	46	217	0,1303	2,1809	7,6E-05
140	46	216	0,1251	2,1809	7,6E-05
150	46	216	0,1251	2,1809	7,6E-05
160	46	215	0,1199	2,1809	7,6E-05
170	46	215	0,1199	2,1809	7,6E-05
180	47	214	0,1147	2,1809	7,6E-05
190	47	214	0,1147	2,1809	7,6E-05
200	48	213	0,1095	2,1809	7,6E-05
210	48	213	0,1095	2,1809	7,6E-05
220	48	212	0,1043	1,4539	5,067E-05
230	48	212	0,1043	1,4539	5,067E-05
240	47	212	0,1043	1,4539	5,067E-05
250	47	211	0,0991	1,4539	5,067E-05
260	47	211	0,0991	1,4539	5,067E-05
270	47	211	0,0991	1,4539	5,067E-05
280	47	210	0,0939	1,4539	5,067E-05
290	47	210	0,0939	1,4539	5,067E-05
300	47	210	0,0939	1,4539	5,067E-05
310	47	209	0,0887	1,4539	5,067E-05
320	47	209	0,0887	1,4539	5,067E-05
330	47	209	0,0887	1,4539	5,067E-05
340	47	208	0,0834	1,4539	5,067E-05
350	47	208	0,0834	1,4539	5,067E-05
360	47	208	0,0834	1,4539	5,067E-05
370	47	207	0,0782	1,4539	5,067E-05
380	47	207	0,0782	1,4539	5,067E-05
390	47	207	0,0782	1,4539	5,067E-05

400	47	206	0,0730	1,4539	5,067E-05
410	47	206	0,0730	1,4539	5,067E-05
420	47	206	0,0730	1,4539	5,067E-05
430	47	205	0,0678	1,4539	5,067E-05
440	47	205	0,0678	1,4539	5,067E-05
450	47	205	0,0678	1,4539	5,067E-05
460	47	204	0,0626	1,4539	5,067E-05
470	47	204	0,0626	1,4539	5,067E-05
480	48	204	0,0626	1,4539	5,067E-05
490	48	203	0,0574	1,4539	5,067E-05
500	48	203	0,0574	1,4539	5,067E-05
510	48	203	0,0574	1,4539	5,067E-05
520	48	202	0,0522	1,0904	3,8E-05
530	49	202	0,0522	1,0904	3,8E-05
540	48	202	0,0522	1,0904	3,8E-05
550	48	202	0,0522	1,0904	3,8E-05
560	48	201	0,0470	0,8723	3,04E-05
570	48	201	0,0470	0,8723	3,04E-05
580	48	201	0,0470	0,8723	3,04E-05
590	48	201	0,0470	0,8723	3,04E-05
600	48	201	0,0470	0,8723	3,04E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 18
Ortam Nemi (% RH): 59
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 12
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 11
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 176,126
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,416

Tablo E1.5. Çam (5) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	11	219	0,2434	21,81	0,000760
10	36	214	0,2150	26,17	0,000912
20	40	208	0,1810	4,36	0,000152
30	42	207	0,1753	4,36	0,000152
40	44	206	0,1696	4,36	0,000152
50	46	205	0,1639	4,36	0,000152
60	47	204	0,1583	4,36	0,000152
70	47	203	0,1526	4,36	0,000152
80	48	202	0,1469	4,36	0,000152
90	48	201	0,1412	4,36	0,000152
100	48	200	0,1356	4,36	0,000152
110	48	199	0,1299	2,18	7,6002E-05
120	49	199	0,1299	2,18	7,6002E-05
130	48	198	0,1242	2,18	7,6002E-05
140	48	198	0,1242	2,18	7,6002E-05
150	47	197	0,1185	2,18	7,6002E-05
160	47	197	0,1185	2,18	7,6002E-05
170	47	196	0,1128	2,18	7,6002E-05
180	47	196	0,1128	2,18	7,6002E-05
190	47	195	0,1072	4,36	0,000152
200	47	194	0,1015	1,45	5,0668E-05
210	48	194	0,1015	1,45	5,0668E-05
220	48	194	0,1015	1,45	5,0668E-05
230	48	193	0,0958	2,18	7,6002E-05
240	48	193	0,0958	2,18	7,6002E-05
250	48	192	0,0901	2,18	7,6002E-05
260	48	192	0,0901	2,18	7,6002E-05
270	48	191	0,0845	1,45	5,0668E-05
280	48	191	0,0845	1,45	5,0668E-05
290	49	191	0,0845	1,45	5,0668E-05
300	49	190	0,0788	1,45	5,0668E-05
310	49	190	0,0788	1,45	5,0668E-05
320	49	190	0,0788	1,45	5,0668E-05
330	49	189	0,0731	2,18	7,6002E-05
340	49	189	0,0731	2,18	7,6002E-05
350	49	188	0,0674	1,45	5,0668E-05
360	49	188	0,0674	1,45	5,0668E-05
370	49	188	0,0674	1,45	5,0668E-05
380	49	187	0,0617	1,45	5,0668E-05
390	48	187	0,0617	1,45	5,0668E-05
400	48	187	0,0617	1,45	5,0668E-05

410	48	186	0,0561	2,18	7,6002E-05
420	48	186	0,0561	2,18	7,6002E-05
430	47	185	0,0504	1,45	5,0668E-05
440	48	185	0,0504	1,45	5,0668E-05
450	48	185	0,0504	1,45	5,0668E-05
460	47	184	0,0447	2,18	7,6002E-05
470	47	184	0,0447	2,18	7,6002E-05
480	47	183	0,0390	1,45	5,0668E-05
490	47	183	0,0390	1,45	5,0668E-05
500	47	183	0,0390	1,45	5,0668E-05
510	47	182	0,0334	1,09	3,8001E-05
520	47	182	0,0334	1,09	3,8001E-05
530	47	182	0,0334	1,09	3,8001E-05
540	47	182	0,0334	1,09	3,8001E-05
550	47	181	0,0277	0,87	3,0401E-05
560	47	181	0,0277	0,87	3,0401E-05
570	47	181	0,0277	0,87	3,0401E-05
580	47	181	0,0277	0,87	3,0401E-05
590	47	181	0,0277	0,87	3,0401E-05
600	47	180	0,0220	0,73	2,5334E-05
610	47	180	0,0220	0,73	2,5334E-05
620	47	180	0,0220	0,73	2,5334E-05
630	47	180	0,0220	0,73	2,5334E-05
640	47	180	0,0220	0,73	2,5334E-05
650	47	180	0,0220	0,73	2,5334E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 14
Ortam Nemi (% RH): 47
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 10
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 10
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 183,201
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,433

Tablo E1.6. Kavak (1) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	11	248	0,35519	17,45	0,000374685
10	24	244	0,33333	17,45	0,000374685
20	31	240	0,31148	21,81	0,000468356
30	36	235	0,28415	8,72	0,000187342
40	38	233	0,27322	8,72	0,000187342
50	39	231	0,26230	8,72	0,000187342
60	40	229	0,25137	8,72	0,000187342
70	41	227	0,24044	8,72	0,000187342
80	42	225	0,22951	8,72	0,000187342
90	42	223	0,21858	8,72	0,000187342
100	42	221	0,20765	4,36	9,36712E-05
110	42	220	0,20219	4,36	9,36712E-05
120	43	219	0,19672	4,36	9,36712E-05
130	43	218	0,19126	4,36	9,36712E-05
140	43	217	0,18579	4,36	9,36712E-05
150	43	216	0,18033	4,36	9,36712E-05
160	44	215	0,17486	4,36	9,36712E-05
170	44	214	0,16940	4,36	9,36712E-05
180	44	213	0,16393	4,36	9,36712E-05
190	44	212	0,15847	4,36	9,36712E-05
200	44	211	0,15301	4,36	9,36712E-05
210	44	210	0,14754	4,36	9,36712E-05
220	44	209	0,14208	4,36	9,36712E-05
230	45	208	0,13661	4,36	9,36712E-05
240	45	207	0,13115	4,36	9,36712E-05
250	45	206	0,12568	4,36	9,36712E-05
260	45	205	0,12022	4,36	9,36712E-05
270	45	204	0,11475	4,36	9,36712E-05
280	45	203	0,10929	2,18	4,68356E-05
290	45	203	0,10929	2,18	4,68356E-05
300	45	202	0,10383	2,18	4,68356E-05
310	45	202	0,10383	2,18	4,68356E-05
320	45	201	0,09836	2,18	4,68356E-05
330	45	201	0,09836	2,18	4,68356E-05
340	45	200	0,09290	2,18	4,68356E-05
350	45	200	0,09290	2,18	4,68356E-05
360	45	199	0,08743	2,18	4,68356E-05
370	45	199	0,08743	2,18	4,68356E-05
380	45	198	0,08197	2,18	4,68356E-05
390	45	198	0,08197	2,18	4,68356E-05
400	45	197	0,07650	2,18	4,68356E-05

410	45	197	0,07650	2,18	4,68356E-05
420	46	196	0,07104	2,18	4,68356E-05
430	46	196	0,07104	2,18	4,68356E-05
440	45	195	0,06557	2,18	4,68356E-05
450	45	195	0,06557	2,18	4,68356E-05
460	46	194	0,06011	2,18	4,68356E-05
470	46	194	0,06011	2,18	4,68356E-05
480	46	193	0,05464	2,18	4,68356E-05
490	46	193	0,05464	2,18	4,68356E-05
500	46	192	0,04918	2,18	4,68356E-05
510	47	192	0,04918	2,18	4,68356E-05
520	47	191	0,04372	2,18	4,68356E-05
530	47	191	0,04372	2,18	4,68356E-05
540	46	190	0,03825	2,18	4,68356E-05
550	46	190	0,03825	2,18	4,68356E-05
560	46	189	0,03279	1,45	3,12237E-05
570	46	189	0,03279	1,45	3,12237E-05
580	46	189	0,03279	1,45	3,12237E-05
590	46	188	0,02732	1,45	3,12237E-05
600	46	188	0,02732	1,45	3,12237E-05
610	46	188	0,02732	1,45	3,12237E-05
620	46	187	0,02186	1,09	2,34178E-05
630	46	187	0,02186	1,09	2,34178E-05
640	46	187	0,02186	1,09	2,34178E-05
650	46	187	0,02186	1,09	2,34178E-05
660	46	186	0,01639	0,87	1,87342E-05
670	46	186	0,01639	0,87	1,87342E-05
680	46	186	0,01639	0,87	1,87342E-05
690	46	186	0,01639	0,87	1,87342E-05
700	46	186	0,01639	0,87	1,87342E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 14
Ortam Nemi (% RH): 46
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 4
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 3
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 140,578
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,332

Tablo E1.7. Kavak (2) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	3	335	1,39	17,45	0,000359922
10	5	331	1,36	26,17	0,000539883
20	13	325	1,32	26,17	0,000539883
30	18	319	1,28	26,17	0,000539883
40	22	313	1,24	21,81	0,000449902
50	23	308	1,20	21,81	0,000449902
60	25	303	1,16	21,81	0,000449902
70	27	298	1,13	21,81	0,000449902
80	27	293	1,09	17,45	0,000359922
90	28	289	1,06	17,45	0,000359922
100	30	285	1,04	17,45	0,000359922
110	30	281	1,01	17,45	0,000359922
120	33	277	0,98	17,45	0,000359922
130	34	273	0,95	13,09	0,000269941
140	34	270	0,93	13,09	0,000269941
150	35	267	0,91	13,09	0,000269941
160	36	264	0,89	13,09	0,000269941
170	37	261	0,86	13,09	0,000269941
180	37	258	0,84	13,09	0,000269941
190	38	255	0,82	13,09	0,000269941
200	38	252	0,80	13,09	0,000269941
210	38	249	0,78	8,72	0,000179961
220	39	247	0,76	8,72	0,000179961
230	39	245	0,75	8,72	0,000179961
240	39	243	0,74	8,72	0,000179961
250	39	241	0,72	8,72	0,000179961
260	39	239	0,71	8,72	0,000179961
270	40	237	0,69	8,72	0,000179961
280	40	235	0,68	8,72	0,000179961
290	40	233	0,66	8,72	0,000179961
300	40	231	0,65	8,72	0,000179961
310	41	229	0,64	8,72	0,000179961
320	41	227	0,62	8,72	0,000179961
330	41	225	0,61	8,72	0,000179961
340	41	223	0,59	8,72	0,000179961
350	41	221	0,58	8,72	0,000179961
360	41	219	0,56	8,72	0,000179961
370	41	217	0,55	8,72	0,000179961
380	41	215	0,54	8,72	0,000179961
390	41	213	0,52	8,72	0,000179961
400	41	211	0,51	8,72	0,000179961

410	42	209	0,49	8,72	0,000179961
420	42	207	0,48	8,72	0,000179961
430	42	205	0,46	4,36	8,99805E-05
440	42	204	0,46	4,36	8,99805E-05
450	42	203	0,45	4,36	8,99805E-05
460	43	202	0,44	4,36	8,99805E-05
470	43	201	0,44	4,36	8,99805E-05
480	43	200	0,43	4,36	8,99805E-05
490	43	199	0,42	4,36	8,99805E-05
500	43	198	0,41	4,36	8,99805E-05
510	43	197	0,41	4,36	8,99805E-05
520	44	196	0,40	4,36	8,99805E-05
530	44	195	0,39	4,36	8,99805E-05
540	44	194	0,39	4,36	8,99805E-05
550	44	193	0,38	4,36	8,99805E-05
560	44	192	0,37	4,36	8,99805E-05
570	44	191	0,36	4,36	8,99805E-05
580	44	190	0,36	4,36	8,99805E-05
590	44	189	0,35	4,36	8,99805E-05
600	44	188	0,34	4,36	8,99805E-05
610	44	187	0,34	4,36	8,99805E-05
620	43	186	0,33	4,36	8,99805E-05
630	43	185	0,32	4,36	8,99805E-05
640	43	184	0,31	4,36	8,99805E-05
650	44	183	0,31	4,36	8,99805E-05
660	45	182	0,30	4,36	8,99805E-05
670	45	181	0,29	4,36	8,99805E-05
680	45	180	0,29	4,36	8,99805E-05
690	45	179	0,28	4,36	8,99805E-05
700	45	178	0,27	4,36	8,99805E-05
710	45	177	0,26	4,36	8,99805E-05
720	46	176	0,26	4,36	8,99805E-05
730	46	175	0,25	4,36	8,99805E-05
740	46	174	0,24	4,36	8,99805E-05
750	46	173	0,24	4,36	8,99805E-05
760	47	172	0,23	4,36	8,99805E-05
770	47	171	0,22	4,36	8,99805E-05
780	47	170	0,21	4,36	8,99805E-05
790	47	169	0,21	4,36	8,99805E-05
800	47	168	0,20	4,36	8,99805E-05
810	47	167	0,19	4,36	8,99805E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 12
Ortam Nemi (% RH): 50
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 6
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 5
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 160,42
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,379

Tablo E1.8. Kavak (3) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	5	232	0,3144	17,4468	0,000211259
10	24	228	0,2918	17,4468	0,000211259
20	33	224	0,2691	17,4468	0,000211259
30	38	220	0,2465	13,0851	0,000158444
40	40	217	0,2295	8,7234	0,000105629
50	41	215	0,2181	8,7234	0,000105629
60	43	213	0,2068	8,7234	0,000105629
70	44	211	0,1955	4,3617	5,28146E-05
80	46	210	0,1898	4,3617	5,28146E-05
90	45	209	0,1841	4,3617	5,28146E-05
100	46	208	0,1785	4,3617	5,28146E-05
110	46	207	0,1728	4,3617	5,28146E-05
120	46	206	0,1671	4,3617	5,28146E-05
130	46	205	0,1615	2,1809	2,64073E-05
140	46	205	0,1615	2,1809	2,64073E-05
150	46	204	0,1558	4,3617	5,28146E-05
160	46	203	0,1501	4,3617	5,28146E-05
170	46	202	0,1445	2,1809	2,64073E-05
180	46	202	0,1445	2,1809	2,64073E-05
190	46	201	0,1388	2,1809	2,64073E-05
200	46	201	0,1388	2,1809	2,64073E-05
210	46	200	0,1331	2,1809	2,64073E-05
220	46	200	0,1331	2,1809	2,64073E-05
230	46	199	0,1275	2,1809	2,64073E-05
240	47	199	0,1275	2,1809	2,64073E-05
250	47	198	0,1218	2,1809	2,64073E-05
260	47	198	0,1218	2,1809	2,64073E-05
270	47	197	0,1161	2,1809	2,64073E-05
280	47	197	0,1161	2,1809	2,64073E-05
290	47	196	0,1105	2,1809	2,64073E-05
300	47	196	0,1105	2,1809	2,64073E-05
310	47	195	0,1048	2,1809	2,64073E-05
320	47	195	0,1048	2,1809	2,64073E-05
330	47	194	0,0992	1,4539	1,76049E-05
340	47	194	0,0992	1,4539	1,76049E-05
350	47	194	0,0992	1,4539	1,76049E-05
360	47	193	0,0935	2,1809	2,64073E-05
370	47	193	0,0935	2,1809	2,64073E-05
380	48	192	0,0878	1,4539	1,76049E-05
390	48	192	0,0878	1,4539	1,76049E-05
400	48	192	0,0878	1,4539	1,76049E-05

410	48	191	0,0822	2,1809	2,64073E-05
420	48	191	0,0822	2,1809	2,64073E-05
430	48	190	0,0765	2,1809	2,64073E-05
440	48	190	0,0765	2,1809	2,64073E-05
450	48	189	0,0708	2,1809	2,64073E-05
460	48	189	0,0708	2,1809	2,64073E-05
470	48	188	0,0652	2,1809	2,64073E-05
480	48	188	0,0652	2,1809	2,64073E-05
490	48	187	0,0595	1,4539	1,76049E-05
500	49	187	0,0595	1,4539	1,76049E-05
510	49	187	0,0595	1,4539	1,76049E-05
520	49	186	0,0538	1,4539	1,76049E-05
530	49	186	0,0538	1,4539	1,76049E-05
540	49	186	0,0538	1,4539	1,76049E-05
550	49	185	0,0482	1,0904	1,32037E-05
560	49	185	0,0482	1,0904	1,32037E-05
570	49	185	0,0482	1,0904	1,32037E-05
580	49	185	0,0482	1,0904	1,32037E-05
590	49	184	0,0425	0,8723	1,05629E-05
600	49	184	0,0425	0,8723	1,05629E-05
610	49	184	0,0425	0,8723	1,05629E-05
620	48	184	0,0425	0,8723	1,05629E-05
630	48	184	0,0425	0,8723	1,05629E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 14
Ortam Nemi (% RH): 53
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 7
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 6
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 170,42
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,400

Tablo E1.9. Kavak (4) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	8	242	0,2869	23,03	0,000714683
10	27	236	0,2550	15,35	0,000476455
20	34	232	0,2337	11,51	0,000357342
30	36	229	0,2178	11,51	0,000357342
40	39	226	0,2018	7,68	0,000238228
50	40	224	0,1912	7,68	0,000238228
60	41	222	0,1806	7,68	0,000238228
70	43	220	0,1699	3,84	0,000119114
80	44	219	0,1646	3,84	0,000119114
90	45	218	0,1593	3,84	0,000119114
100	45	217	0,1540	3,84	0,000119114
110	45	216	0,1487	3,84	0,000119114
120	46	215	0,1433	3,84	0,000119114
130	46	214	0,1380	3,84	0,000119114
140	46	213	0,1327	3,84	0,000119114
150	46	212	0,1274	1,92	5,95569E-05
160	46	212	0,1274	1,92	5,95569E-05
170	46	211	0,1221	1,92	5,95569E-05
180	46	211	0,1221	1,92	5,95569E-05
190	46	210	0,1168	3,84	0,000119114
200	46	209	0,1114	3,84	0,000119114
210	46	208	0,1061	3,84	0,000119114
220	46	207	0,1008	1,92	5,95569E-05
230	46	207	0,1008	1,92	5,95569E-05
240	47	206	0,0955	1,92	5,95569E-05
250	47	206	0,0955	1,92	5,95569E-05
260	47	205	0,0902	1,92	5,95569E-05
270	47	205	0,0902	1,92	5,95569E-05
280	47	204	0,0848	1,28	3,97046E-05
290	47	204	0,0848	1,28	3,97046E-05
300	47	204	0,0848	1,28	3,97046E-05
310	47	203	0,0795	1,28	3,97046E-05
320	47	203	0,0795	1,28	3,97046E-05
330	47	203	0,0795	1,28	3,97046E-05
340	47	202	0,0742	0,96	2,97785E-05
350	47	202	0,0742	0,96	2,97785E-05
360	47	202	0,0742	0,96	2,97785E-05
370	47	202	0,0742	0,96	2,97785E-05
380	48	201	0,0689	0,96	2,97785E-05
390	48	201	0,0689	0,96	2,97785E-05
400	48	201	0,0689	0,96	2,97785E-05

410	48	201	0,0689	0,96	2,97785E-05
420	48	200	0,0636	0,96	2,97785E-05
430	48	200	0,0636	0,96	2,97785E-05
440	48	200	0,0636	0,96	2,97785E-05
450	48	200	0,0636	0,96	2,97785E-05
460	48	199	0,0583	0,96	2,97785E-05
470	48	199	0,0583	0,96	2,97785E-05
480	48	199	0,0583	0,96	2,97785E-05
490	48	199	0,0583	0,96	2,97785E-05
500	49	198	0,0529	0,96	2,97785E-05
510	49	198	0,0529	0,96	2,97785E-05
520	49	198	0,0529	0,96	2,97785E-05
530	49	198	0,0529	0,96	2,97785E-05
540	49	197	0,0476	0,77	2,38228E-05
550	49	197	0,0476	0,77	2,38228E-05
560	49	197	0,0476	0,77	2,38228E-05
570	49	197	0,0476	0,77	2,38228E-05
580	49	197	0,0476	0,77	2,38228E-05
590	49	196	0,0423	0,64	1,98523E-05
600	49	196	0,0423	0,64	1,98523E-05
610	49	196	0,0423	0,64	1,98523E-05
620	49	196	0,0423	0,64	1,98523E-05
630	49	196	0,0423	0,64	1,98523E-05
640	49	196	0,0423	0,64	1,98523E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 18
Ortam Nemi (% RH): 53
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 5
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 9
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 165,2
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,390

Tablo E1.10. Kavak (5) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	4	253	0,6947	21,81	0,0005956
10	18	248	0,6613	26,17	0,0007147
20	27	242	0,6211	13,09	0,0003573
30	32	239	0,6010	13,09	0,0003573
40	35	236	0,5809	13,09	0,0003573
50	37	233	0,5608	8,72	0,0002382
60	39	231	0,5474	8,72	0,0002382
70	40	229	0,5340	8,72	0,0002382
80	40	227	0,5206	8,72	0,0002382
90	41	225	0,5072	8,72	0,0002382
100	41	223	0,4938	8,72	0,0002382
110	42	221	0,4804	8,72	0,0002382
120	42	219	0,4670	8,72	0,0002382
130	43	217	0,4536	4,36	0,0001191
140	43	216	0,4469	4,36	0,0001191
150	44	215	0,4402	4,36	0,0001191
160	44	214	0,4335	4,36	0,0001191
170	45	213	0,4268	4,36	0,0001191
180	45	212	0,4201	4,36	0,0001191
190	45	211	0,4134	4,36	0,0001191
200	45	210	0,4067	4,36	0,0001191
210	45	209	0,4000	4,36	0,0001191
220	45	208	0,3933	4,36	0,0001191
230	45	207	0,3866	4,36	0,0001191
240	45	206	0,3799	4,36	0,0001191
250	45	205	0,3732	4,36	0,0001191
260	45	204	0,3665	4,36	0,0001191
270	45	203	0,3598	4,36	0,0001191
280	45	202	0,3531	4,36	0,0001191
290	45	201	0,3464	4,36	0,0001191
300	45	200	0,3397	4,36	0,0001191
310	45	199	0,3330	4,36	0,0001191
320	45	198	0,3263	4,36	0,0001191
330	45	197	0,3196	2,18	5,956E-05
340	45	197	0,3196	2,18	5,956E-05
350	45	196	0,3129	2,18	5,956E-05
360	45	196	0,3129	2,18	5,956E-05
370	45	195	0,3062	2,18	5,956E-05
380	45	195	0,3062	2,18	5,956E-05
390	45	194	0,2995	2,18	5,956E-05
400	45	194	0,2995	2,18	5,956E-05

410	45	193	0,2928	2,18	5,956E-05
420	45	193	0,2928	2,18	5,956E-05
430	45	192	0,2861	2,18	5,956E-05
440	45	192	0,2861	2,18	5,956E-05
450	45	191	0,2794	1,45	3,97E-05
460	45	191	0,2794	1,45	3,97E-05
470	45	191	0,2794	1,45	3,97E-05
480	45	190	0,2727	1,45	3,97E-05
490	45	190	0,2727	1,45	3,97E-05
500	45	190	0,2727	1,45	3,97E-05
510	45	189	0,2660	1,09	2,978E-05
520	45	189	0,2660	1,09	2,978E-05
530	45	189	0,2660	1,09	2,978E-05
540	45	189	0,2660	1,09	2,978E-05
550	45	188	0,2593	0,87	2,382E-05
560	45	188	0,2593	0,87	2,382E-05
570	45	188	0,2593	0,87	2,382E-05
580	45	188	0,2593	0,87	2,382E-05
590	45	188	0,2593	8,72	0,0002382

Ortam Sıcaklığı (°C): 15
Ortam Nemi (% RH): 46
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 14
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 15
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 244,035
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,580

Tablo E1.11. Kayın (1) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	16	305	0,2500	21,81	0,000449902
10	27	300	0,2295	17,45	0,000359922
20	34	296	0,2131	13,09	0,000269941
30	37	293	0,2008	13,09	0,000269941
40	40	290	0,1885	8,72	0,000179961
50	42	288	0,1803	8,72	0,000179961
60	43	286	0,1721	4,36	8,99805E-05
70	44	285	0,1680	4,36	8,99805E-05
80	44	284	0,1639	4,36	8,99805E-05
90	44	283	0,1598	4,36	8,99805E-05
100	45	282	0,1557	4,36	8,99805E-05
110	45	281	0,1516	2,18	4,49902E-05
120	44	281	0,1516	2,18	4,49902E-05
130	44	280	0,1475	2,18	4,49902E-05
140	44	280	0,1475	2,18	4,49902E-05
150	44	279	0,1434	2,18	4,49902E-05
160	44	279	0,1434	2,18	4,49902E-05
170	44	278	0,1393	2,18	4,49902E-05
180	44	278	0,1393	2,18	4,49902E-05
190	44	277	0,1352	2,18	4,49902E-05
200	45	277	0,1352	2,18	4,49902E-05
210	45	276	0,1311	2,18	4,49902E-05
220	45	276	0,1311	2,18	4,49902E-05
230	45	275	0,1270	2,18	4,49902E-05
240	45	275	0,1270	2,18	4,49902E-05
250	45	274	0,1230	2,18	4,49902E-05
260	45	274	0,1230	2,18	4,49902E-05
270	46	273	0,1189	2,18	4,49902E-05
280	46	273	0,1189	2,18	4,49902E-05
290	46	272	0,1148	2,18	4,49902E-05
300	46	272	0,1148	2,18	4,49902E-05
310	46	271	0,1107	1,45	2,99935E-05
320	46	271	0,1107	1,45	2,99935E-05
330	46	271	0,1107	1,45	2,99935E-05
340	46	270	0,1066	1,45	2,99935E-05
350	46	270	0,1066	1,45	2,99935E-05
360	46	270	0,1066	1,45	2,99935E-05
370	46	269	0,1025	1,45	2,99935E-05
380	47	269	0,1025	1,45	2,99935E-05
390	47	269	0,1025	1,45	2,99935E-05
400	47	268	0,0984	1,45	2,99935E-05

410	47	268	0,0984	1,45	2,99935E-05
420	47	268	0,0984	1,45	2,99935E-05
430	47	267	0,0943	1,45	2,99935E-05
440	47	267	0,0943	1,45	2,99935E-05
450	47	267	0,0943	1,45	2,99935E-05
460	47	266	0,0902	1,45	2,99935E-05
470	47	266	0,0902	1,45	2,99935E-05
480	47	266	0,0902	1,45	2,99935E-05
490	47	265	0,0861	1,45	2,99935E-05
500	47	265	0,0861	1,45	2,99935E-05
510	47	265	0,0861	1,45	2,99935E-05
520	47	264	0,0820	1,09	2,24951E-05
530	47	264	0,0820	1,09	2,24951E-05
540	47	264	0,0820	1,09	2,24951E-05
550	47	264	0,0820	1,09	2,24951E-05
560	47	263	0,0779	0,87	1,79961E-05
570	47	263	0,0779	0,87	1,79961E-05
580	47	263	0,0779	0,87	1,79961E-05
590	47	263	0,0779	0,87	1,79961E-05
600	47	263	0,0779	0,87	1,79961E-05
610	47	262	0,0738	0,73	1,49967E-05
620	47	262	0,0738	0,73	1,49967E-05
630	47	262	0,0738	0,73	1,49967E-05
640	47	262	0,0738	0,73	1,49967E-05
650	47	262	0,0738	0,73	1,49967E-05
660	47	262	0,0738	0,73	1,49967E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 18
Ortam Nemi (% RH): 59
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 12
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 11
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 244,849
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,579

Tablo E1.12. Kayın (2) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	8	344	0,4098	17,45	0,000608012
10	24	340	0,3934	26,17	0,000912018
20	30	334	0,3689	21,81	0,000760015
30	35	329	0,3484	13,09	0,000456009
40	38	326	0,3361	13,09	0,000456009
50	40	323	0,3238	13,09	0,000456009
60	42	320	0,3115	8,72	0,000304006
70	43	318	0,3033	8,72	0,000304006
80	44	316	0,2951	8,72	0,000304006
90	44	314	0,2869	4,36	0,000152003
100	45	313	0,2828	4,36	0,000152003
110	45	312	0,2787	4,36	0,000152003
120	45	311	0,2746	4,36	0,000152003
130	45	310	0,2705	4,36	0,000152003
140	45	309	0,2664	4,36	0,000152003
150	45	308	0,2623	4,36	0,000152003
160	45	307	0,2582	4,36	0,000152003
170	46	306	0,2541	4,36	0,000152003
180	46	305	0,2500	4,36	0,000152003
190	46	304	0,2459	4,36	0,000152003
200	46	303	0,2418	4,36	0,000152003
210	46	302	0,2377	4,36	0,000152003
220	46	301	0,2336	4,36	0,000152003
230	46	300	0,2295	4,36	0,000152003
240	46	299	0,2254	4,36	0,000152003
250	46	298	0,2213	4,36	0,000152003
260	46	297	0,2172	4,36	0,000152003
270	47	296	0,2131	4,36	0,000152003
280	47	295	0,2090	4,36	0,000152003
290	47	294	0,2049	2,18	7,60015E-05
300	47	294	0,2049	2,18	7,60015E-05
310	47	293	0,2008	2,18	7,60015E-05
320	46	293	0,2008	2,18	7,60015E-05
330	46	292	0,1967	2,18	7,60015E-05
340	46	292	0,1967	2,18	7,60015E-05
350	45	291	0,1926	2,18	7,60015E-05
360	45	291	0,1926	2,18	7,60015E-05
370	45	290	0,1885	2,18	7,60015E-05
380	45	290	0,1885	2,18	7,60015E-05
390	45	289	0,1844	2,18	7,60015E-05
400	45	288	0,1803	2,18	7,60015E-05

410	46	288	0,1803	2,18	7,60015E-05
420	46	287	0,1762	2,18	7,60015E-05
430	46	287	0,1762	2,18	7,60015E-05
440	47	286	0,1721	2,18	7,60015E-05
450	47	285	0,1680	2,18	7,60015E-05
460	47	285	0,1680	2,18	7,60015E-05
470	47	284	0,1639	2,18	7,60015E-05
480	47	284	0,1639	2,18	7,60015E-05
490	47	283	0,1598	2,18	7,60015E-05
500	47	283	0,1598	2,18	7,60015E-05
510	47	282	0,1557	2,18	7,60015E-05
520	47	282	0,1557	2,18	7,60015E-05
530	47	281	0,1516	2,18	7,60015E-05
540	48	281	0,1516	2,18	7,60015E-05
550	47	280	0,1475	2,18	7,60015E-05
560	47	280	0,1475	2,18	7,60015E-05
570	47	279	0,1434	2,18	7,60015E-05
580	47	279	0,1434	2,18	7,60015E-05
590	47	278	0,1393	1,45	5,06677E-05
600	47	278	0,1393	1,45	5,06677E-05
610	47	278	0,1393	1,45	5,06677E-05
620	47	277	0,1352	1,09	3,80008E-05
630	47	277	0,1352	1,09	3,80008E-05
640	46	277	0,1352	1,09	3,80008E-05
650	46	277	0,1352	1,09	3,80008E-05
660	45	276	0,1311	0,87	3,04006E-05
670	45	276	0,1311	0,87	3,04006E-05
680	45	276	0,1311	0,87	3,04006E-05
690	45	276	0,1311	0,87	3,04006E-05
700	45	276	0,1311	0,87	3,04006E-05
710	45	275	0,1270	0,73	2,53338E-05
720	45	275	0,1270	0,73	2,53338E-05
730	45	275	0,1270	0,73	2,53338E-05
740	45	275	0,1270	0,73	2,53338E-05
750	45	275	0,1270	0,73	2,53338E-05
760	45	275	0,1270	0,73	2,53338E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 16
Ortam Nemi (% RH): 60
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 11
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 13
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 210,05
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,497

Tablo E1.13. Kayın (3) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	13	298	0,2669	13,09	0,0004753
10	29	295	0,2542	8,72	0,0003169
20	35	293	0,2457	8,72	0,0003169
30	38	291	0,2372	8,72	0,0003169
40	40	289	0,2287	4,36	0,0001584
50	42	288	0,2244	8,72	0,0003169
60	43	286	0,2159	4,36	0,0001584
70	44	285	0,2117	4,36	0,0001584
80	44	284	0,2074	4,36	0,0001584
90	44	283	0,2032	4,36	0,0001584
100	45	282	0,1989	4,36	0,0001584
110	45	281	0,1947	4,36	0,0001584
120	44	280	0,1904	4,36	0,0001584
130	44	279	0,1862	4,36	0,0001584
140	44	278	0,1819	4,36	0,0001584
150	45	277	0,1777	4,36	0,0001584
160	46	276	0,1734	4,36	0,0001584
170	46	275	0,1692	4,36	0,0001584
180	47	274	0,1649	4,36	0,0001584
190	48	273	0,1607	4,36	0,0001584
200	48	272	0,1564	4,36	0,0001584
210	48	271	0,1522	4,36	0,0001584
220	48	270	0,1479	4,36	0,0001584
230	48	269	0,1436	4,36	0,0001584
240	48	268	0,1394	4,36	0,0001584
250	48	267	0,1351	4,36	0,0001584
260	48	266	0,1309	4,36	0,0001584
270	48	265	0,1266	4,36	0,0001584
280	48	264	0,1224	4,36	0,0001584
290	48	263	0,1181	2,18	7,922E-05
300	48	263	0,1181	2,18	7,922E-05
310	49	262	0,1139	2,18	7,922E-05
320	49	262	0,1139	2,18	7,922E-05
330	49	261	0,1096	2,18	7,922E-05
340	49	261	0,1096	2,18	7,922E-05
350	49	260	0,1054	2,18	7,922E-05
360	49	260	0,1054	2,18	7,922E-05
370	49	259	0,1011	2,18	7,922E-05
380	50	259	0,1011	2,18	7,922E-05
390	50	258	0,0969	2,18	7,922E-05

400	50	258	0,0969	2,18	7,922E-05
410	50	257	0,0926	2,18	7,922E-05
420	50	257	0,0926	2,18	7,922E-05
430	50	256	0,0884	2,18	7,922E-05
440	50	256	0,0884	2,18	7,922E-05
450	50	255	0,0841	2,18	7,922E-05
460	50	255	0,0841	2,18	7,922E-05
470	50	254	0,0799	2,18	7,922E-05
480	50	254	0,0799	2,18	7,922E-05
490	50	253	0,0756	2,18	7,922E-05
500	50	253	0,0756	2,18	7,922E-05
510	50	252	0,0714	1,45	5,281E-05
520	50	252	0,0714	1,45	5,281E-05
530	50	252	0,0714	1,45	5,281E-05
540	50	251	0,0671	1,45	5,281E-05
550	50	251	0,0671	1,45	5,281E-05
560	50	251	0,0671	1,45	5,281E-05
570	50	250	0,0629	1,09	3,961E-05
580	50	250	0,0629	1,09	3,961E-05
590	50	250	0,0629	1,09	3,961E-05
600	50	250	0,0629	1,09	3,961E-05
610	50	249	0,0586	0,87	3,169E-05
620	50	249	0,0586	0,87	3,169E-05
630	50	249	0,0586	0,87	3,169E-05
640	50	249	0,0586	0,87	3,169E-05
650	50	249	0,0586	0,87	3,169E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 15
Ortam Nemi (% RH): 60
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 10
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 10
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 215,87
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,510

Tablo E1.14. Kayın (4) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	10	305	0,2722	30,53	0,001109107
10	24	298	0,2430	13,09	0,000475332
20	32	295	0,2305	13,09	0,000475332
30	36	292	0,2180	8,72	0,000316888
40	39	290	0,2097	8,72	0,000316888
50	40	288	0,2013	4,36	0,000158444
60	41	287	0,1971	4,36	0,000158444
70	42	286	0,1930	4,36	0,000158444
80	42	285	0,1888	4,36	0,000158444
90	43	284	0,1846	4,36	0,000158444
100	43	283	0,1805	4,36	0,000158444
110	44	282	0,1763	4,36	0,000158444
120	44	281	0,1721	4,36	0,000158444
130	44	280	0,1679	4,36	0,000158444
140	45	279	0,1638	4,36	0,000158444
150	45	278	0,1596	4,36	0,000158444
160	45	277	0,1554	4,36	0,000158444
170	46	276	0,1513	2,18	7,92219E-05
180	46	276	0,1513	2,18	7,92219E-05
190	46	275	0,1471	2,18	7,92219E-05
200	46	275	0,1471	2,18	7,92219E-05
210	46	274	0,1429	2,18	7,92219E-05
220	46	274	0,1429	2,18	7,92219E-05
230	46	273	0,1387	2,18	7,92219E-05
240	46	273	0,1387	2,18	7,92219E-05
250	46	272	0,1346	2,18	7,92219E-05
260	46	272	0,1346	2,18	7,92219E-05
270	46	271	0,1304	2,18	7,92219E-05
280	46	271	0,1304	2,18	7,92219E-05
290	46	270	0,1262	1,45	5,28146E-05
300	46	270	0,1262	1,45	5,28146E-05
310	46	270	0,1262	1,45	5,28146E-05
320	46	269	0,1221	2,18	7,92219E-05
330	46	269	0,1221	2,18	7,92219E-05
340	46	268	0,1179	1,45	5,28146E-05
350	46	268	0,1179	1,45	5,28146E-05
360	46	268	0,1179	1,45	5,28146E-05
370	46	267	0,1137	2,18	7,92219E-05
380	46	267	0,1137	2,18	7,92219E-05
390	46	266	0,1095	1,45	5,28146E-05
400	46	266	0,1095	1,45	5,28146E-05

410	47	266	0,1095	1,45	5,28146E-05
420	47	265	0,1054	2,18	7,92219E-05
430	47	265	0,1054	2,18	7,92219E-05
440	47	264	0,1012	1,45	5,28146E-05
450	47	264	0,1012	1,45	5,28146E-05
460	47	264	0,1012	1,45	5,28146E-05
470	47	263	0,0970	2,18	7,92219E-05
480	47	263	0,0970	2,18	7,92219E-05
490	47	262	0,0929	1,45	5,28146E-05
500	48	262	0,0929	1,45	5,28146E-05
510	48	262	0,0929	1,45	5,28146E-05
520	48	261	0,0887	2,18	7,92219E-05
530	49	261	0,0887	2,18	7,92219E-05
540	49	260	0,0845	1,45	5,28146E-05
550	49	260	0,0845	1,45	5,28146E-05
560	49	260	0,0845	1,45	5,28146E-05
570	49	259	0,0803	2,18	7,92219E-05
580	49	259	0,0803	2,18	7,92219E-05
590	49	258	0,0762	1,45	5,28146E-05
600	49	258	0,0762	1,45	5,28146E-05
610	48	258	0,0762	1,45	5,28146E-05
620	48	257	0,0720	1,09	3,9611E-05
630	48	257	0,0720	1,09	3,9611E-05
640	48	257	0,0720	1,09	3,9611E-05
650	48	257	0,0720	1,09	3,9611E-05
660	48	256	0,0678	0,87	3,16888E-05
670	48	256	0,0678	0,87	3,16888E-05
680	48	256	0,0678	0,87	3,16888E-05
690	48	256	0,0678	0,87	3,16888E-05
700	48	256	0,0678	0,87	3,16888E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 14
Ortam Nemi (% RH): 54
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 9
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 9
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 251,25
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,594

Tablo E1.15. Kayın (5) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	9	331	0,3177	26,17	0,000539883
10	27	325	0,2938	17,45	0,000359922
20	33	321	0,2779	13,09	0,000269941
30	37	318	0,2659	8,72	0,000179961
40	40	316	0,2580	8,72	0,000179961
50	42	314	0,2500	8,72	0,000179961
60	43	312	0,2420	8,72	0,000179961
70	44	310	0,2341	4,36	8,99805E-05
80	44	309	0,2301	4,36	8,99805E-05
90	45	308	0,2261	4,36	8,99805E-05
100	46	307	0,2221	4,36	8,99805E-05
110	46	306	0,2182	4,36	8,99805E-05
120	46	305	0,2142	4,36	8,99805E-05
130	47	304	0,2102	2,18	4,49902E-05
140	47	304	0,2102	2,18	4,49902E-05
150	47	303	0,2062	2,18	4,49902E-05
160	46	303	0,2062	2,18	4,49902E-05
170	46	302	0,2022	2,18	4,49902E-05
180	47	302	0,2022	2,18	4,49902E-05
190	47	301	0,1982	2,18	4,49902E-05
200	47	301	0,1982	2,18	4,49902E-05
210	47	300	0,1943	2,18	4,49902E-05
220	47	300	0,1943	2,18	4,49902E-05
230	47	299	0,1903	2,18	4,49902E-05
240	47	299	0,1903	2,18	4,49902E-05
250	47	298	0,1863	1,45	2,99935E-05
260	47	298	0,1863	1,45	2,99935E-05
270	47	298	0,1863	1,45	2,99935E-05
280	47	297	0,1823	2,18	4,49902E-05
290	47	297	0,1823	2,18	4,49902E-05
300	47	296	0,1783	2,18	4,49902E-05
310	47	296	0,1783	2,18	4,49902E-05
320	47	295	0,1744	1,45	2,99935E-05
330	47	295	0,1744	1,45	2,99935E-05
340	47	295	0,1744	1,45	2,99935E-05
350	47	294	0,1704	1,45	2,99935E-05
360	47	294	0,1704	1,45	2,99935E-05
370	47	294	0,1704	1,45	2,99935E-05
380	48	293	0,1664	1,45	2,99935E-05
390	48	293	0,1664	1,45	2,99935E-05

400	48	293	0,1664	1,45	2,99935E-05
410	48	292	0,1624	1,45	2,99935E-05
420	48	292	0,1624	1,45	2,99935E-05
430	48	292	0,1624	1,45	2,99935E-05
440	49	291	0,1584	1,45	2,99935E-05
450	49	291	0,1584	1,45	2,99935E-05
460	49	291	0,1584	1,45	2,99935E-05
470	49	290	0,1545	1,09	2,24951E-05
480	49	290	0,1545	1,09	2,24951E-05
490	49	290	0,1545	1,09	2,24951E-05
500	49	290	0,1545	1,09	2,24951E-05
510	49	289	0,1505	0,87	1,79961E-05
520	49	289	0,1505	0,87	1,79961E-05
530	49	289	0,1505	0,87	1,79961E-05
540	49	289	0,1505	0,87	1,79961E-05
550	49	289	0,1505	0,87	1,79961E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 13
Ortam Nemi (% RH): 47-40
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 13
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 13
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 236
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³) : 0,558

Tablo E1.16. Ceviz (1) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	13	306	0,2966	26,17	0,000608922
10	29	300	0,2712	17,45	0,000405948
20	32	296	0,2542	8,72	0,000202974
30	35	294	0,2458	21,81	0,000507435
40	37	289	0,2246	8,72	0,000202974
50	39	287	0,2161	8,72	0,000202974
60	41	285	0,2076	8,72	0,000202974
70	41	283	0,1992	8,72	0,000202974
80	42	281	0,1907	8,72	0,000202974
90	43	279	0,1822	4,36	0,000101487
100	41	278	0,1780	4,36	0,000101487
110	44	277	0,1737	4,36	0,000101487
120	44	276	0,1695	4,36	0,000101487
130	45	275	0,1653	4,36	0,000101487
140	45	274	0,1610	4,36	0,000101487
150	45	273	0,1568	4,36	0,000101487
160	45	272	0,1525	4,36	0,000101487
170	45	271	0,1483	4,36	0,000101487
180	46	270	0,1441	4,36	0,000101487
190	46	269	0,1398	4,36	0,000101487
200	47	268	0,1356	4,36	0,000101487
210	47	267	0,1314	2,18	5,07435E-05
220	47	267	0,1314	2,18	5,07435E-05
230	47	266	0,1271	2,18	5,07435E-05
240	47	265	0,1229	2,18	5,07435E-05
250	47	264	0,1186	2,18	5,07435E-05
260	47	264	0,1186	2,18	5,07435E-05
270	47	263	0,1144	2,18	5,07435E-05
280	47	263	0,1144	2,18	5,07435E-05
290	47	262	0,1102	2,18	5,07435E-05
300	47	262	0,1102	2,18	5,07435E-05
310	47	261	0,1059	2,18	5,07435E-05
320	47	261	0,1059	2,18	5,07435E-05
330	47	260	0,1017	2,18	5,07435E-05
340	47	260	0,1017	2,18	5,07435E-05
350	48	259	0,0975	2,18	5,07435E-05
360	48	259	0,0975	2,18	5,07435E-05
370	48	258	0,0932	2,18	5,07435E-05
380	48	258	0,0932	2,18	5,07435E-05
390	48	257	0,0890	2,18	5,07435E-05
400	48	257	0,0890	2,18	5,07435E-05

410	48	256	0,0847	2,18	5,07435E-05
420	48	256	0,0847	2,18	5,07435E-05
430	48	255	0,0805	2,18	5,07435E-05
440	48	255	0,0805	2,18	5,07435E-05
450	48	254	0,0763	2,18	5,07435E-05
460	48	254	0,0763	2,18	5,07435E-05
470	48	253	0,0720	2,18	5,07435E-05
480	48	253	0,0720	2,18	5,07435E-05
490	48	252	0,0678	2,18	5,07435E-05
500	48	252	0,0678	2,18	5,07435E-05
510	49	251	0,0636	2,18	5,07435E-05
520	49	251	0,0636	2,18	5,07435E-05
530	49	250	0,0593	2,18	5,07435E-05
540	49	250	0,0593	1,45	3,3829E-05
550	49	249	0,0551	1,45	3,3829E-05
560	49	249	0,0551	1,45	3,3829E-05
570	49	249	0,0551	1,09	2,53717E-05
580	49	248	0,0508	1,09	2,53717E-05
590	49	248	0,0508	1,09	2,53717E-05
600	49	248	0,0508	1,09	2,53717E-05
610	49	248	0,0508	0,87	2,02974E-05
620	49	247	0,0466	0,87	2,02974E-05
630	49	247	0,0466	0,87	2,02974E-05
640	49	247	0,0466	0,87	2,02974E-05
650	49	247	0,0466	0,87	2,02974E-05
660	49	247	0,0466	0,87	2,02974E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 23
Ortam Nemi (% RH): 49-43
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 21
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 22
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 224
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,530

Tablo E1.17. Ceviz (2) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	22	281	0,2489	21,81	0,0004499
10	33	276	0,2267	13,09	0,0002699
20	37	273	0,2133	17,45	0,0003599
30	41	269	0,1956	8,72	0,00018
40	42	267	0,1867	8,72	0,00018
50	43	265	0,1778	4,36	8,998E-05
60	44	264	0,1733	8,72	0,00018
70	44	262	0,1644	4,36	8,998E-05
80	45	261	0,1600	4,36	8,998E-05
90	45	260	0,1556	4,36	8,998E-05
100	45	259	0,1511	4,36	8,998E-05
110	45	258	0,1467	4,36	8,998E-05
120	46	257	0,1422	4,36	8,998E-05
130	46	256	0,1378	4,36	8,998E-05
140	46	255	0,1333	4,36	8,998E-05
150	46	254	0,1289	4,36	8,998E-05
160	46	253	0,1244	4,36	8,998E-05
170	47	252	0,1200	4,36	8,998E-05
180	47	251	0,1156	2,18	4,499E-05
190	47	251	0,1156	2,18	4,499E-05
200	47	250	0,1111	2,18	4,499E-05
210	48	250	0,1111	2,18	4,499E-05
220	48	249	0,1067	2,18	4,499E-05
230	48	249	0,1067	2,18	4,499E-05
240	48	248	0,1022	2,18	4,499E-05
250	48	248	0,1022	2,18	4,499E-05
260	48	247	0,0978	2,18	4,499E-05
270	48	247	0,0978	2,18	4,499E-05
280	48	246	0,0933	2,18	4,499E-05
290	48	246	0,0933	2,18	4,499E-05
300	48	245	0,0889	2,18	4,499E-05
310	48	245	0,0889	2,18	4,499E-05
320	48	244	0,0844	2,18	4,499E-05
330	48	244	0,0844	2,18	4,499E-05
340	48	243	0,0800	2,18	4,499E-05
350	48	243	0,0800	2,18	4,499E-05
360	48	242	0,0756	2,18	4,499E-05
370	49	242	0,0756	2,18	4,499E-05
380	49	241	0,0711	2,18	4,499E-05
390	49	241	0,0711	2,18	4,499E-05
400	48	240	0,0667	2,18	4,499E-05

410	48	240	0,0667	2,18	4,499E-05
420	48	239	0,0622	2,18	4,499E-05
430	48	239	0,0622	2,18	4,499E-05
440	48	238	0,0578	2,18	4,499E-05
450	49	238	0,0578	2,18	4,499E-05
460	49	237	0,0533	2,18	4,499E-05
470	49	237	0,0533	2,18	4,499E-05
480	49	236	0,0489	1,45	2,999E-05
490	49	236	0,0489	1,45	2,999E-05
500	49	236	0,0489	1,45	2,999E-05
510	49	235	0,0444	2,18	4,499E-05
520	49	235	0,0444	2,18	4,499E-05
530	50	234	0,0400	1,45	2,999E-05
540	50	234	0,0400	1,45	2,999E-05
550	50	234	0,0400	1,45	2,999E-05
560	50	233	0,0356	1,09	2,25E-05
570	50	233	0,0356	1,09	2,25E-05
580	50	233	0,0356	1,09	2,25E-05
590	50	233	0,0356	1,09	2,25E-05
600	50	232	0,0311	0,87	1,8E-05
610	50	232	0,0311	0,87	1,8E-05
620	50	232	0,0311	0,87	1,8E-05
630	50	232	0,0311	0,87	1,8E-05
640	50	232	0,0311	0,87	1,8E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 24
Ortam Nemi (% RH): 47-41
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 21
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 23
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 214
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,506

Tablo E1.18. Ceviz (3) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	23	270	0,2676	34,89	0,00066396
10	35	262	0,2300	13,09	0,00024898
20	38	259	0,2160	13,09	0,00024898
30	40	256	0,2019	13,09	0,00024898
40	42	253	0,1878	13,09	0,00024898
50	42	250	0,1737	4,36	8,2994E-05
60	43	249	0,1690	4,36	8,2994E-05
70	44	248	0,1643	8,72	0,00016599
80	44	246	0,1549	8,72	0,00016599
90	45	244	0,1455	8,72	0,00016599
100	45	242	0,1362	4,36	8,2994E-05
110	45	241	0,1315	4,36	8,2994E-05
120	45	240	0,1268	4,36	8,2994E-05
130	45	239	0,1221	4,36	8,2994E-05
140	45	238	0,1174	4,36	8,2994E-05
150	45	237	0,1127	4,36	8,2994E-05
160	45	236	0,1080	2,18	4,1497E-05
170	45	235	0,1033	2,18	4,1497E-05
180	46	234	0,0986	2,18	4,1497E-05
190	46	233	0,0939	2,18	4,1497E-05
200	46	233	0,0939	2,18	4,1497E-05
210	46	232	0,0892	2,18	4,1497E-05
220	47	232	0,0892	2,18	4,1497E-05
230	47	231	0,0845	2,18	4,1497E-05
240	47	231	0,0845	2,18	4,1497E-05
250	47	230	0,0798	2,18	4,1497E-05
260	47	230	0,0798	2,18	4,1497E-05
270	47	229	0,0751	2,18	4,1497E-05
280	47	229	0,0751	2,18	4,1497E-05
290	47	228	0,0704	2,18	4,1497E-05
300	47	228	0,0704	2,18	4,1497E-05
310	47	227	0,0657	2,18	4,1497E-05
320	48	227	0,0657	2,18	4,1497E-05
330	48	226	0,0610	2,18	4,1497E-05
340	48	226	0,0610	2,18	4,1497E-05
350	48	225	0,0563	2,18	4,1497E-05
360	48	225	0,0563	2,18	4,1497E-05
370	48	224	0,0516	2,18	4,1497E-05
380	49	224	0,0516	2,18	4,1497E-05
390	49	223	0,0469	2,18	4,1497E-05

400	49	223	0,0469	2,18	4,1497E-05
410	49	222	0,0423	2,18	4,1497E-05
420	49	222	0,0423	2,18	4,1497E-05
430	49	221	0,0376	2,18	4,1497E-05
440	49	221	0,0376	2,18	4,1497E-05
450	49	220	0,0329	2,18	4,1497E-05
460	49	220	0,0329	2,18	4,1497E-05
470	49	219	0,0282	1,45	2,7665E-05
480	49	219	0,0282	1,45	2,7665E-05
490	49	219	0,0282	1,45	2,7665E-05
500	49	218	0,0235	1,09	2,0749E-05
510	49	218	0,0235	1,09	2,0749E-05
520	49	218	0,0235	1,09	2,0749E-05
530	50	218	0,0235	1,09	2,0749E-05
540	50	217	0,0188	0,87	1,6599E-05
550	50	217	0,0188	0,87	1,6599E-05
560	50	217	0,0188	0,87	1,6599E-05
570	50	217	0,0188	0,87	1,6599E-05
580	50	217	0,0188	0,87	1,6599E-05

Ortam Sıcaklığı (°C): 24
Ortam Nemi (% RH): 45
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 17
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 16
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 224,4
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,530

Tablo E1.19. Ceviz (4) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	16	288	0,2255	13,09	0,000259272
10	27	285	0,2128	8,72	0,000172848
20	35	283	0,2043	8,72	0,000172848
30	39	281	0,1957	8,72	0,000172848
40	41	279	0,1872	4,36	8,64239E-05
50	42	278	0,1830	4,36	8,64239E-05
60	43	277	0,1787	4,36	8,64239E-05
70	44	276	0,1745	4,36	8,64239E-05
80	44	275	0,1702	4,36	8,64239E-05
90	44	274	0,1660	4,36	8,64239E-05
100	45	273	0,1617	2,18	4,3212E-05
110	45	273	0,1617	2,18	4,3212E-05
120	46	273	0,1617	2,18	4,3212E-05
130	46	272	0,1574	2,18	4,3212E-05
140	46	272	0,1574	2,18	4,3212E-05
150	46	271	0,1532	2,18	4,3212E-05
160	46	271	0,1532	2,18	4,3212E-05
170	46	270	0,1489	2,18	4,3212E-05
180	47	270	0,1489	2,18	4,3212E-05
190	46	269	0,1447	2,18	4,3212E-05
200	47	269	0,1447	2,18	4,3212E-05
210	47	268	0,1404	2,18	4,3212E-05
220	47	268	0,1404	2,18	4,3212E-05
230	47	267	0,1362	2,18	4,3212E-05
240	47	267	0,1362	2,18	4,3212E-05
250	47	266	0,1319	2,18	4,3212E-05
260	47	266	0,1319	2,18	4,3212E-05
270	47	265	0,1277	2,18	4,3212E-05
280	47	265	0,1277	2,18	4,3212E-05
290	47	264	0,1234	2,18	4,3212E-05
300	47	264	0,1234	2,18	4,3212E-05
310	47	263	0,1191	2,18	4,3212E-05
320	47	263	0,1191	2,18	4,3212E-05
330	47	262	0,1149	2,18	4,3212E-05
340	48	262	0,1149	2,18	4,3212E-05
350	48	261	0,1106	2,18	4,3212E-05
360	48	261	0,1106	2,18	4,3212E-05
370	48	260	0,1064	2,18	4,3212E-05
380	48	260	0,1064	2,18	4,3212E-05
390	48	259	0,1021	2,18	4,3212E-05

400	48	259	0,1021	2,18	4,3212E-05
410	48	258	0,0979	2,18	4,3212E-05
420	48	258	0,0979	2,18	4,3212E-05
430	48	257	0,0936	2,18	4,3212E-05
440	48	257	0,0936	2,18	4,3212E-05
450	48	256	0,0894	2,18	4,3212E-05
460	49	256	0,0894	2,18	4,3212E-05
470	49	255	0,0851	2,18	4,3212E-05
480	49	255	0,0851	2,18	4,3212E-05
490	49	254	0,0809	1,45	2,8808E-05
500	49	254	0,0809	1,45	2,8808E-05
510	49	254	0,0809	1,45	2,8808E-05
520	49	253	0,0766	1,09	2,1606E-05
530	49	253	0,0766	1,09	2,1606E-05
540	49	253	0,0766	1,09	2,1606E-05
550	49	253	0,0766	1,09	2,1606E-05
560	50	252	0,0723	0,87	1,72848E-05
570	50	252	0,0723	0,87	1,72848E-05
580	50	252	0,0723	0,87	1,72848E-05
590	50	252	0,0723	0,87	1,72848E-05
600	50	252	0,0723	0,87	1,72848E-05

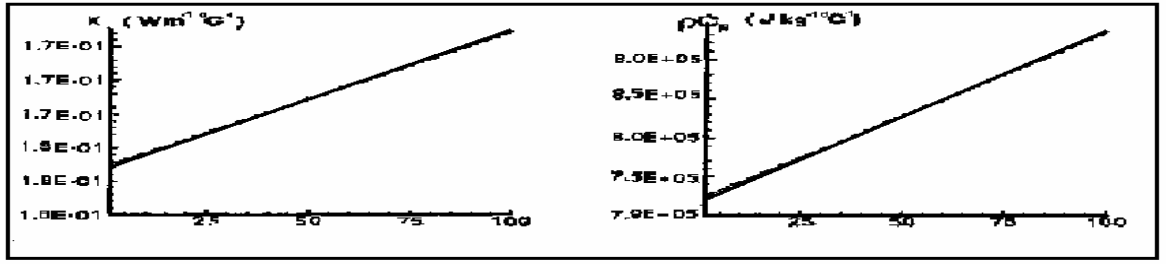
Ortam Sıcaklığı (°C): 24
Ortam Nemi (% RH): 45
Başlangıç Yüzey Sıcaklığı (°C) : 14
Başlangıç Merkez Sıcaklığı (°C): 14
Ağacın Kuru Ağırlığı (g): 256,852
Ağacın Yoğunluğu (g/cm³): 0,607

Tablo E1.20. Ceviz (5) Ağacı için Kurutma Verileri

t (dak)	Tm (°C)	W (g)	% Nem	h (W/m ² K)	K (g/sn.cm ² .atm)
0	14	322	0,2529	26,17	0,000518544
10	29	316	0,2296	21,81	0,00043212
20	37	311	0,2101	13,09	0,000259272
30	40	308	0,1984	4,36	8,64239E-05
40	41	307	0,1946	8,72	0,000172848
50	43	305	0,1868	8,72	0,000172848
60	44	303	0,1790	8,72	0,000172848
70	44	301	0,1712	4,36	8,64239E-05
80	45	300	0,1673	4,36	8,64239E-05
90	45	299	0,1634	4,36	8,64239E-05
100	45	298	0,1595	4,36	8,64239E-05
110	46	297	0,1556	4,36	8,64239E-05
120	46	296	0,1518	4,36	8,64239E-05
130	46	295	0,1479	4,36	8,64239E-05
140	46	294	0,1440	4,36	8,64239E-05
150	46	293	0,1401	4,36	8,64239E-05
160	47	292	0,1362	4,36	8,64239E-05
170	47	291	0,1323	4,36	8,64239E-05
180	47	290	0,1284	4,36	8,64239E-05
190	48	289	0,1245	4,36	8,64239E-05
200	48	288	0,1206	4,36	8,64239E-05
210	48	287	0,1167	4,36	8,64239E-05
220	48	286	0,1128	2,18	4,3212E-05
230	48	286	0,1128	2,18	4,3212E-05
240	48	285	0,1089	4,36	8,64239E-05
250	48	284	0,1051	2,18	4,3212E-05
260	48	284	0,1051	2,18	4,3212E-05
270	48	283	0,1012	2,18	4,3212E-05
280	48	283	0,1012	2,18	4,3212E-05
290	48	282	0,0973	2,18	4,3212E-05
300	48	282	0,0973	2,18	4,3212E-05
310	48	281	0,0934	2,18	4,3212E-05
320	48	281	0,0934	2,18	4,3212E-05
330	49	280	0,0895	2,18	4,3212E-05
340	49	280	0,0895	2,18	4,3212E-05
350	49	279	0,0856	2,18	4,3212E-05
360	49	279	0,0856	2,18	4,3212E-05
370	49	278	0,0817	2,18	4,3212E-05
380	49	277	0,0778	2,18	4,3212E-05
390	49	277	0,0778	2,18	4,3212E-05

400	49	276	0,0739	2,18	4,3212E-05
410	49	276	0,0739	2,18	4,3212E-05
420	49	275	0,0700	2,18	4,3212E-05
430	49	275	0,0700	2,18	4,3212E-05
440	49	274	0,0661	2,18	4,3212E-05
450	49	274	0,0661	2,18	4,3212E-05
460	50	273	0,0623	1,45	2,8808E-05
470	50	273	0,0623	1,45	2,8808E-05
480	50	273	0,0623	1,45	2,8808E-05
490	50	272	0,0584	2,18	4,3212E-05
500	50	272	0,0584	2,18	4,3212E-05
510	50	271	0,0545	1,45	2,8808E-05
520	50	271	0,0545	1,45	2,8808E-05
530	50	271	0,0545	1,45	2,8808E-05
540	50	270	0,0506	1,09	2,1606E-05
550	50	270	0,0506	1,09	2,1606E-05
560	50	270	0,0506	1,09	2,1606E-05
570	50	270	0,0506	1,09	2,1606E-05
580	50	269	0,0467	0,87	1,72848E-05
590	50	269	0,0467	0,87	1,72848E-05
600	50	269	0,0467	0,87	1,72848E-05
610	50	269	0,0467	0,87	1,72848E-05
620	50	269	0,0467	0,87	1,72848E-05
630	50	268	0,0428	0,87	1,72848E-05

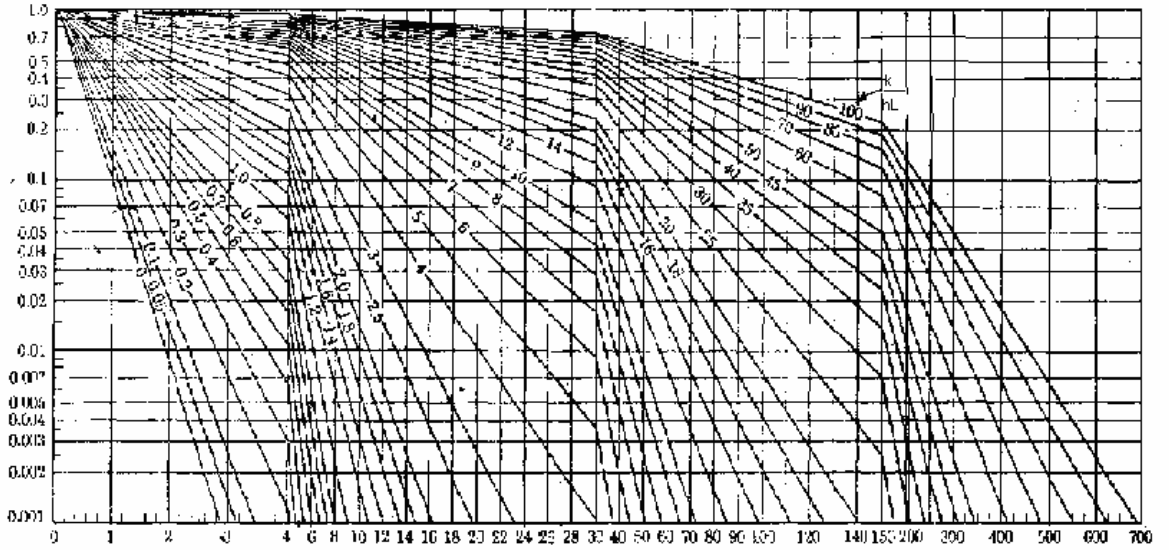
EK 2: Çam Ağacına Ait Termal Kondiktivite , Spesifik Isı ve Yoğunluğun Zamanla Değişimi Grafikleri (Zhao,1999)



EK 3: Levha İçin Heissler Grafiği (Kakaç,1976)

$$\frac{(T_m - T_\infty)}{(T_i - T_\infty)}$$

$$f = \alpha t / l^2$$



ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Elazığ'da doğmuşum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Elazığ' da tamamladıktan sonra 1999–2000 öğretim yılında girdiğim Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nü 2003 yılında bitirdim. 2003 yılında Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümün'de temel İşlemler ve Termodinamik Bilim dalında Yüksek Lisans eğitimime başladım ve 2006 yılında Yüksek Lisans çalışmalarımı tamamladım.

Fatma BAKIR