

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK SICAKLIKLAR ALTINDA SARIÇAM KERESTESİNİN
KURUTULMASININ İNCELENMESİ**

Volkan ASLAN

Danışman: Doç. Dr. Ali BOLATTÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2011**

TEZ ONAYI

Volkan ASLAN tarafından hazırlanan “**Yüksek Sıcaklıklar Altında Sarıçam Kerestesinin Kurutulmasının İncelenmesi**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr. Ali BOLATTÜRK

Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Prof.Dr. Ali Kemal YAKUT

Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Yrd.Doç.Dr. Ramazan SELVER

Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç.Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN
Enstitü Müdürü V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kurutmanın Tanımı, Önemi ve Yöntemleri.....	1
1.2. Kurutucuların Sınıflandırılması ve Seçimi.....	2
1.2.1. Kurutucu seçimi.....	7
1.3. Kurutmayı Etkileyen Faktörler.....	10
1.3.1. Hava özellikleri.....	10
1.3.1.1. Havanın sıcaklığı.....	10
1.3.1.2. Havanın nemliliği.....	11
1.3.1.3. Hava hareketi.....	13
1.3.2. Ağaç malzeme özellikleri.....	13
1.3.2.1. Ağaç malzemenin yapısı.....	14
1.3.2.2. Özgül ağırlık	15
1.3.2.3. Ağaç malzemenin rutubeti	15
1.3.2.4. Ağaç malzemenin kurutma süresi	19
1.3.2.5. Kurutmada ağaç malzemedede ortaya çıkan problemler.....	19
1.3.2.6. Sarıçam odunun özellikleri	21
1.4. Ağaç Malzeme Kurutma Yöntemleri	21
1.4.1. Doğal kurutma	22
1.4.2. Teknik kurutma	23
1.4.2.1. Klasik kurutma	24
1.4.2.2. Yüksek sıcaklıklarda kurutma	25
1.4.2.3. Vakumlu kurutma	25

1.4.2.4. Kondenzasyonlu kurutma	26
1.4.3. Güneş enerjili kurutma	27
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	28
3. MATERYAL VE YÖNTEM	43
3.1. Materyal.....	43
3.1.1. Kurutma fırının yapısı.....	44
3.1.2. Sıcaklık ayar ve kontrol sistemi.....	45
3.1.3. Basınç ayar ve kontrol sistemi	46
3.1.4. Ağaç malzeme (kereste).....	47
3.1.5. Deney verilerinin alınması	49
3.1.6. Deneilerin yapılışı.....	51
3.2. Yöntem.....	54
3.2.1. Ağaç malzemenin neminin bulunması.....	54
3.2.2. Özgül ağırlık değişimi	55
3.2.3. Eğilme deneyi.....	56
3.2.4. Grafikselle değerlendirme	56
3.2.5. Termodinamik analiz	57
3.2.5.1. Kurutmanın temel mekanizması.....	58
3.2.5.2. Kütle analizi.....	59
3.2.5.3. Enerji analizi.....	61
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	63
4.1. Yüksek Sıcaklıklarda Basınçlı Kurutma (YSBK) İşlemi.....	63
5. SONUÇ	71
6. KAYNAKLAR	73
EKLER.....	78
ÖZGEÇMİŞ	80

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEK SICAKLIKLAR ALTINDA SARIÇAM KERESTESİNİN KURUTULMASININ İNCELENMESİ

Volkan ASLAN

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç.Dr. Ali BOLATTÜRK

Bu tezde, sarıçam kerestesinin 105, 120, 135 °C deney sıcaklıklarında ve farklı basınçlarda kurutulması için 10 bar basınca kadar dayanabilen kurutucu tasarımı yapılarak imal edilmiştir.

Sarıçam kereste deney numunelerinin kurutma öncesi ve sonrası özgül ağırlık değerleri ve eğilme dirençleri tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda kurutulan kereste numunelerinden elde edilen kuruma süreleri, özgül ağırlıkları ve eğilme dirençleri, klasik kurutma sonucu elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Sarıçam kerestelerinin 105, 120, 135 °C deney sıcaklıklarında ortalama kuruma süreleri sırasıyla 14.5, 11 ve 10 saat, ortalama eğilme dirençleri sırasıyla 9.888, 10.714 ve 11.720 N/mm² olarak belirlenmiştir. Klasik kurutmada kurutma süresi 24 saat, eğilme direnci 9.145 N/mm² olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak, yüksek sıcaklıklarda basıncın etkisiyle kuruma süresinin klasik kurutmaya göre önemli derecede azaldığı ve eğilme direncinin sıcaklığın artışı ile arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, kereste, yüksek sıcaklık

2011, 80 sayfa

ABSTRACT

M.Sc Thesis

INVESTIGATION OF SCOTS PINE TIMBER DRY UNDER THE HIGH TEMPERATURES

Volkan ASLAN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali BOLATTÜRK

In this thesis, a drier which endures up to 10 bar has been designed and manufactured for the purpose of drying the scotch pine timber in 105, 120, 135 C° experimental temperatures and under different pressures.

Pre and post drying specific weight and bending strength values of Scotch pine timber test samples have been determined. Drying times, specific weights and bending strengthes which have been gotten from timber samples that have been dried in high temperatures have been compared with values that have been gotten from conventional drying. In the test temperatures of 105, 120, 135 C°, the average drying times of Scotch pine timbers have been noted as 14.5, 11 and 10 hours, and the average bending strengthes as 9.888, 10.714 and 11.720 N/mm², respectively. In the conventional drying, the drying time has been found as 24 hours, and the bending strength as 9.145 N/mm².

Consequently, it has been fixed that drying time diminished significantly in comparison with conventional drying, and bending strength rose as the temperature increased.

Key Words: Drying, timber, high temperature

2011, 80 pages

TEŐEKKÖR

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimin boyunca, benden bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, çalışmaların tamamlanabilmesi için her türlü şartı sağlayan ve bana her zaman her türlü desteği sunan çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Ali BOLATTÖRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, her zaman her koşulda yanımda olan annem Ümmühan ASLAN ve babam Ahmet ASLAN ve biricik sevdiğim Gizem ASLAN' a teşekkür ederim.

Volkan ASLAN
ISPARTA, 2011

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	14. Uluslararası Kurutma Sempozyum ’undaki bildirilerin konuları.....	2
Şekil 1.2.	Kurutma sistem ve tesislerinin sınıflandırılması.....	3
Şekil 1.3.	Kereste kurutma işlemi yapılan kurutma odası	5
Şekil 1.4.	Isı pompalı kurutma sistemi.....	6
Şekil 1.5.	Kurutucu seçimi için işlem adımları	9
Şekil 1.6.	Ağaç malzemenin makroskopik yapısı	14
Şekil 1.7.	Ağaç malzeme doğal kurutma yöntemleri.....	22
Şekil 1.8.	Isı transfer şekline göre kereste teknik kurutma yöntemleri.....	23
Şekil 2.1.	Mümkün olan maksimum bağıl nemde dış basınç ve sıcaklığın etkisi.....	29
Şekil 2.2.	Kurutma süresi boyunca nem içeriği değişimleri.....	32
Şekil 2.3.	Ekserji veriminin kurutma süresine göre değişimi.....	34
Şekil 2.4.	I/D işleminin aşamalarının şematik gösterimi (a) I/D işlemi öncesi, (b) inkübasyon boyunca, (c) basıncın boşaltılması süresince, (d) I/D işlemi sonrası sıvı doygunluğu.....	36
Şekil 2.5.	Kurutma esnasında (a) kerestenin merkez sıcaklığı değişimi, (b) kerestenin ortalama nem değişimi.....	37
Şekil 2.6.	Örnek kereste, yalıtılmış kabin ve termokupllar.....	38
Şekil 2.7.	Zamana bağlı sıcaklık ve nem içeriği grafiği.....	38
Şekil 2.8.	Kurutma hızlarında, gerilmelerde ve nem içeriklerindeki karşılaştırmalar.....	39
Şekil 2.9.	Deneyde kullanılan yüksek sıcaklıkların zamanla ilişkisi.....	40
Şekil 3.1.	Deney düzeneğinin şematik gösterimi	43
Şekil 3.2.	Kurutma fırının şekli.....	44
Şekil 3.3.	Kurutma fırının iç bölümündeki kafesin şematik gösterimi.....	45
Şekil 3.4.	Sıcaklık – basınç gösterge ve ayar paneli.....	46
Şekil 3.5.	Ağaç nem ölçer.....	47
Şekil 3.6.	Kereste numunesine volt ve nem problemlerinin bağlantısının şematik gösterimi	49

Şekil 3.7.	Deney verilerinin data logger cihaz ve bilgisayar ekranında gözlemlenmesi.....	50
Şekil 3.8.	Deney düzeneğinden bir görüntü.....	51
Şekil 3.9.	Kurutma deneyi iş akış şeması.....	54
Şekil 3.10.	Sarıçam ağaç cinsinin nem içeriği-volt grafiği.....	55
Şekil 3.11.	Eğilme direnci testi için numune kerestenin boyutları.....	56
Şekil 3.12.	Kurutma fırında kütle ve enerji denklemlerinde kullanılan bazı sembollerin gösterimi.....	57
Şekil 4.1.	YSBK işleminde sarıçam keresteleri ile yapılan deneylerin farklı çalışma sıcaklıklarının zamana göre değişimi.....	65
Şekil 4.2.	YSBK işleminde sarıçam keresteleri ile yapılan deneylerde basıncın zamana göre değişimi.....	66
Şekil 4.3.	YSBK işleminde sarıçam keresteleri ile yapılan deneylerde basıncın sıcaklığa göre değişimi.....	67
Şekil 4.4.	YSBK işleminde sarıçam keresteleri ile yapılan deneylerde kereste nem içeriğinin kuruma süresine göre değişimi.....	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Kurutucunun ön seçiminde göz önüne alınması gereken önemli etkenler	8
Çizelge 1.2.	Bazı ağaçların tam kuru özgül kütleleri.....	16
Çizelge 1.3.	Bazı ağaç türlerinin taze haldeki rutubetleri.....	17
Çizelge 1.4.	Kullanım yerlerine göre ağaç malzemedeki bulunması gerekli rutubet miktarları.....	18
Çizelge 1.5.	Sarıçam odununun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	21
Çizelge 2.1.	Ong tarafından yapılan çalışmada, dört farklı kurutma çeşidi için belirlenen ağaç cinsleri, kuruma süreleri, başlangıç ve sonuç nemleri.....	31
Çizelge 2.2.	Serbes (2003)'in iki farklı kurutma tekniği ile yaptığı çalışmanın sonucu.....	35
Çizelge 2.3.	Farklı sürelerdeki ısı işlemini takiben Rowan (<i>Sorbus aucuparia</i> L.) odununun mekanik özelliklerinin azalma yüzdesi.....	42
Çizelge 3.1.	Kurutma sisteminin basınç bölümünü oluşturan malzemeler.....	48
Çizelge 3.2.	Data logger cihazının tanıtımı.....	50
Çizelge 3.3.	Keresteler için deneyler yapılırken kullanılan değerler.....	53
Çizelge 4.1.	Üç farklı deneye ait çalışma sıcaklıkları ve sarıçam numunesine ait özellikler.....	63
Çizelge 4.2.	Üç farklı kurutma sıcaklığında yapılan deneylere ait çalışma sıcaklıkları ve geçen süre ile ilgili veriler.....	64
Çizelge 4.3.	Sarıçam örneklerin klasik ve YSBK fırınında kurutma öncesi ve sonrası özgül ağırlık değişimleri.....	69
Çizelge 4.4.	Çam örneklerin klasik ve YSBK fırınında kurutma öncesi ve sonrası eğilme direnci değişimleri.....	69
Çizelge 4.5.	Çam deney örneklerinin klasik ve YSBK fırınında kuruma süreleri.....	70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_k	Kerestenin yüzey alanı (m^2)
b	Eğilme direncine tabi tutulan numune genişliği (mm)
C_{p_h}	Havanın özgül ısısı (kJ/kgK)
C_{p_k}	Kerestenin özgül ısısı (kJ/kgK)
E_g	Giren enerji (kJ)
$E_ç$	Çıkan enerji (kJ)
ΔE_{sistem}	Sistemde enerji değişimi (kJ)
F	Yüzey alanı (m^2)
F_{max}	Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)
h	Eğilme direncine tabi tutulan numune kalınlığı (mm)
$h_ç$	Çıkan nemli havanın entalpisi (kJ/kg)
h_{db}	Doymuş buhar entalpisi (kJ/kg)
h_d	Kütle transfer katsayısı (kg/m^2s)
h_{ds}	Doymuş sıvı entalpisi (kJ/kg)
h_{fg}	Suyun buharlaşma gizli ısısı (J/kg)
k	Isı iletim katsayısı
L_s	Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)
m_b	Buharın kütlesi, (kg su buharı)
$m_ç$	Çıkan nemli havanın ağırlığı (kg)
$m_{çkh}$	Çıkan kuru havanın ağırlığı (kg)
$m_{çsb}$	Çıkan kuru hava içindeki su buharının ağırlığı (kg)
m_g	Giren nemli havanın ağırlığı (kg)
m_h	Kuru havanın kütlesi (kg kuru hava)
m_k	Kurutulacak kerestenin ağırlığı (kg)
m_{kk}	Kurutulacak kerestenin tam kuru ağırlığı (kg)
m_o	Ağaç malzemenin kütlesi (kg)
m_r	Ağaç malzemenin rutubet kütlesi (kg)
m_s	Ağaç malzemedeki suyun kütlesi (kg)
Δm_{KH}	Kontrol hacminde değişim
P_b	Kısmi basınç (bar)

P_{bd}	Doyma basıncı (bar)
$P_{doym°C}$	Her işlem sıcaklığı için doyma basıncı (bar)
$P_{H_2O,Y}$	Katı yüzeydeki su buharı kısmi basıncı (bar)
$P_{H_2O,H}$	Hava içindeki su buharı kısmi basıncı (bar)
P_{Pre}	Presostat ayar basıncı (bar)
P_{ort}	Ortam basıncı (bar)
P_t	Toplam basınç (bar)
Q_{FI}	Fırının iç havasının ısıtılması için gerekli enerji (kJ)
Q_{IK}	Toplam ısı kaybı (kJ)
Q_K	Toplam kerestenin kullandığı ısı enerjisi (kJ)
ρ_b	Mutlak nem (gr/ cm ³)
ρ_{bd}	Doyuran nem miktarı (gr/ cm ³)
ρ_h	Havanın yoğunluğu (gr/ cm ³)
r	Ağaç malzeme nem miktarı (%)
R_{H_2O}	Su buharının gaz sabiti
T	Sıcaklık (K)
$T_{ç}$	Havanın fırından çıkış sıcaklığı (K)
t_k	Kurutma sıcaklığı (K)
T_{ks}	Fırının çalışma sıcaklığı (K)
T_o	Çevre sıcaklığı (K)
V	Nemli havanın hacmi (cm ³)
V_d	Hacim yoğunluk değeri
V_f	Fırının iç hacmi (cm ³)
V_o	Ağaç malzemenin hacmi (cm ³)
V_r	Ağaç malzemenin rutubet hacmi (cm ³)
W_g	Sisteme verilen iş (kJ)
W_{Ist}	Isıtıcıların teorik kullandığı enerji (kJ)
ω	Özgül nem (kg su buharı / kg kuru hava)
ω_k	Kereste yüzeyinde oluşan özgül nem (kg su/ kg kuru hava)
ω_h	Kurutulacak havanın özgül nemi (kg su/ kg kuru hava)
$\omega_{fç}$	Havanın fırından çıktığı andaki özgül nemi (kg su/ kg kuru hava)

β_v	Hacim daralma yüzdesi (%)
φ	Bağıl nem (%)
δ_o	Ağaç malzeme özgül kütlesi (gr/ cm ³)
\dot{Q}	Isı aktarım hızı (W)
\dot{m}	Sabit kurutma hızı (kg/s)
ADN	Ağaç denge nemi
LDN	Lif doygunluğu nemi
YSBK	Yüksek sıcaklıklarda basınçlı kurutma
$\sum_{\xi} mh_{\xi}$	Çıkan kütle enerjisi toplamı (kJ)

1.GİRİŞ

1.1. Kurutmanın Tanımı, Önemi ve Yöntemleri

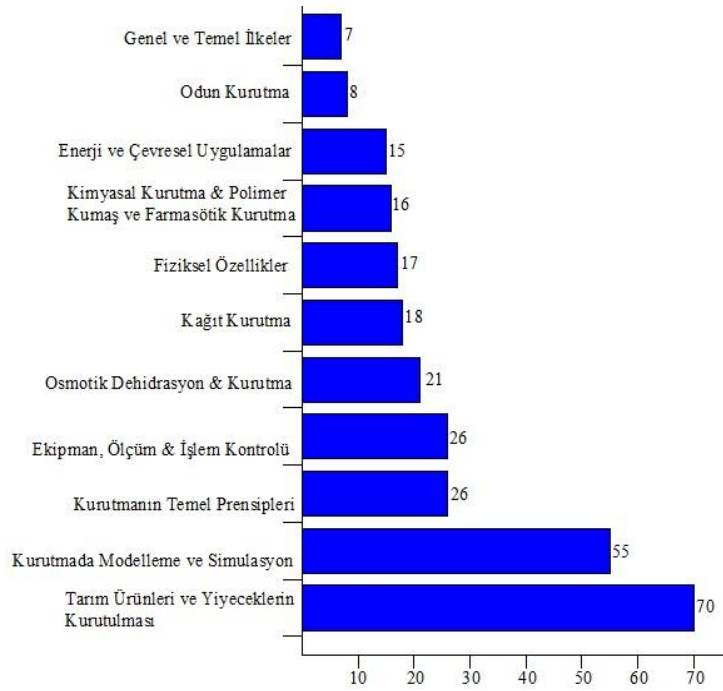
Kurutma işleminin tarihi 17.yy'ın başlarına kadar dayanmaktadır. O zamandan günümüze birçok ürün ve malzemeye kurutma işlemi uygulanmıştır. İlk zamanlar çok basit ve profesyonel olmayan sistemlerle uygulamalara başlanılmasına rağmen bugünkü aşamaya kadar çok ilerleme gösterilmiştir. Kurutma işleminin genel olarak; tarım ürünleri, odun, sebze-meyve, balık-deniz ürünleri, bitkisel ilaç, çay, patates, farmakolojik ürünler, nanoboyuttaki ürünler, seramik, biyoyakıt, kağıt hamuru-kağıt, tekstil ürünleri, mineral işleme ve kömür olmak üzere geniş bir uygulama alanı vardır.

Kurutma, genel olarak kurutulacak malzeme içerisindeki fazla sıvının malzemeden uzaklaştırılması olayıdır. Kurutma işlemi tarım ürünlerinin ve gıda maddelerinin depolama sürelerinin uzatılmasında, orman ürünlerinde kalite, işlenebilme vb. özelliklerin iyileştirilmesinde, tekstil ürünlerinde alınan flotte miktarının aza indirilmesinde, kimyasal ürünlerin neme karşı korunmasında kullanılır.

İdeal kurutmada en önemli faktörler; enerji tasarrufu, optimum kalite ve zamandır. Kurutmada, kurutma havasının hızındaki artış ya da kullanılan sıcaklıktaki yükseklik sarfedilen enerji miktarının artmasına neden olur. Malzeme içerisindeki fazla nemin dışarıya atılması için gerekli enerjinin kısa sürede kurutma sistemine verilmesi ise kurutmayı hızlandırır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, kurutma yapmadan önce hangi faktörün daha önemli olduğunu belirlemektir. Son zamanlarda yukarıda saydığımız önemli faktörlerin yanı sıra çevre kirliliği, verimlilik ve güvenlik şartları da önem kazanmıştır.

Kurutma çalışmaları eskilere dayansa da ciddi çalışmalar son 25-30 sene içerisinde yapılmaya başlanmıştır. Amerika'da kurutma için ayrılan sermaye harcamaları yıllık 800 milyon \$ civarında olduğu saptanmıştır. Ayrıca Amerika, Fransa, Kanada ve İngiltere'nin %10-15'inde, Danimarka'nın ve Almanya'nın %20-25'inde yapılan

endüstriyel kurutma işlemleri için ulusal enerji tüketim çalışmaları yayınlanmıştır (Mujumdar, 2006). Amerika’da 1990-1999 yılları arasında kurutucular (teçhizat) ya da kurutma (işlem) ile ilgili yıllık yaklaşık olarak 240 patent yayınlanmıştır. Avrupa Patent Ofis’inde bu sayı yıllık başına yaklaşık olarak 80 olmaktadır (Mujumdar, 2004). Uzakdoğu da Çin ve Japonya kurutma ile ilgi çalışmalarını 20.yüzyılın sonuna doğru hızla ilerletmiştir. 1978’den sonra Çin’de araştırmacılar ekonomide kurutmanın hızla büyümesiyle birlikte kurutmanın teorisi ve tasarımında, kurutma teçhizatlarının imalatı vb. kurutma uygulamalarında gelişim göstermiştir (Pan and Wang, 1998). Yaklaşık 30 senedir düzenlenen Uluslararası Kurutma Sempozyumu (IDS) kurutma ile ilgili ülkelerin ve katılımcıların gerçekleştirdiği çalışmalar hakkında bilgi vermektedir. Şekil 1.1’de 14. Uluslararası Kurutma Sempozyumu’na katılan katılımcıların sundukları bildiri konularının dağılımı verilmiştir.

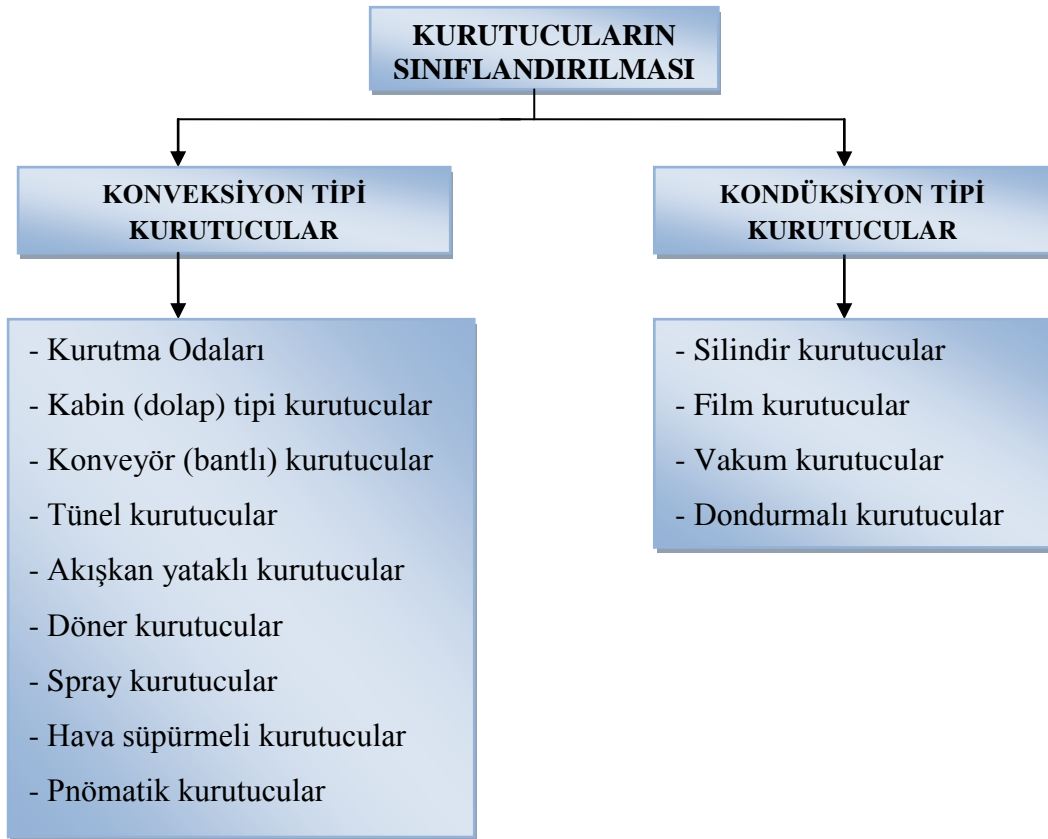


Şekil 1.1. 14. Uluslararası Kurutma Sempozyumu’ndaki bildirilerin konuları (Silva, 2004)

1.2. Kurutucuların Sınıflandırılması ve Seçimi

Günümüz endüstrisinde kurutma işleminin çok çeşitli olması nedeniyle kurutucular çeşitlilik kazanmıştır. 400’ün üzerinde kurutucunun kaydı olmasına rağmen

bunlardan 100'ün üzerinde farklı tip kurutucu aktif olarak kullanılmaktadır (Mujumdar, 2006). Bu kurutucular; kurutulacak maddenin yapısı, boyutu ve şekli, miktarı, besleme ve ısıtma şekli, çalışma şekli (kesikli veya sürekli), kuruma süresi vb. gibi çok sayıda etken göz önüne alınarak geliştirilmiştir. Bu nedenle, kurutucular için kesin bir sınıflandırma yapmak oldukça güçtür. Ancak kurutucular, bazı kıstaslar temel alınarak çeşitli gruplara ayrılmıştır. En ayrıntılı sınıflandırmalardan biri Kröll(1978) tarafından yapılmıştır. Kurutucuları Şekil 1.2'de gösterildiği gibi genel olarak konveksiyon ve kondüksiyon tipi olarak ayırmak mümkündür (Ceylan, 2002).



Şekil 1.2. Kurutma sistem ve tesislerinin sınıflandırılması (Ceylan, 2002)

Bu iki grubun haricinde, kurutma işlemi sırasında herhangi bir gazın kullanılmadığı kurutucular bulunmaktadır. Bunların en bilinenleri, mikrodalga ve infrared tipi kurutuculardır. Bu kurutucuların çalışması, elektromanyetik ve infrared ışınları vasıtasıyla kurutma prensibine dayanmaktadır. Bu kurutucular genelde tekstil, film

ve bazı boya maddelerinin kurutulmasında kullanılmaktadırlar (Menon and Mujumdar, 1987).

a. Kurutma odaları

Kurutmanın en basit metodu, kurutulacak malzemeyi içerisinde sıcak hava dolaştırılan bir oda veya kapalı bölme içerisine koymaktır. Bu metot; tuğla, bina inşaat malzemeleri, ahşap levhalar, keresteler, sentetik elyaf levhalar, dökümhane toprağı vb. geniş hacimlere sahip malzemelerin kurutulması için özellikle uygundur. Kurutulacak malzeme, kurutma odasına simetrik olarak düzgün bir şekilde yerleştirilir, bu sayede her bir parçanın kurutucu akışkan ile maksimum yüzeyde maksimum alanda temas etmesi sağlanmış olur. Malzemeyi tekerlekli sehpa üzerinde istiflemek de mümkündür. Sıcak hava, bu havayı nemli malzeme üzerine eşit miktarlarda dağıtacak şekilde üfleyici çıkış ağızları olan kanallar vasıtasıyla bina içerisinde dolaştırılır. Maksimum ısı verimi sağlamak için odayı dolaşımından sonra sıcak hava alınır, nemi bir miktar giderilir, ısıtılır ve odaya geri gönderilerek yeniden kullanılır. Bir miktar nemli havanın dışarı kaçması ve yerine yeni taze hava girmesine izin verilerek nem kontrolü sağlanır. Verimli bir kurutma yapmak için tüm malzemenin eşit miktarda hava ve sıcaklığa maruz bırakılması gereklidir (EİE/UETM, 1997) .

Kurutma odaları kereste kurutmada tercih edilen bir sistemdir. Keresteler Şekil 1.3'de gösterildiği gibi istifleme ve simetrik diziliş yapılarak kurutma işlemine hazırlanır. Isıtma sistemi katı yakıtlı (kömür, talaş, tahta parçası) olduğundan, işletme maliyeti çok düşüktür. Kazanın çalışma prensibinde buhar olmadığından kullanımında herhangi bir tehlike söz konusu değildir.

b. Vakum kurutucular

Bu kurutucuların en büyük avantajı, vakum nedeniyle suyun kaynama noktasının çok düşük değerlere indirilebilmesidir. Bu nedenle, vakumla kurutmada yüksek miktarda buharlaşma düşük bir sıcaklıkta gerçekleştirilebilmektedir. Bir başka avantajlı yönü

ise, yüksek sıcaklıkların zarar verebileceği malzemelerin, malzemenin içerisinden yüzeyine nem taşınmasının zorluğu nedeniyle kurutulmasında güçlükle karşılaşılan malzemelerin kurutulmasının bu tür kurutucularda mümkün olmasıdır. Kurutmanın içerisinde gerçekleştiği hacim çeperlerinin ve tasarımının, vakum sağlayıcı boruların dış basınçlara dayanabilecek özellikle imal edilmesi, gerekli vakumu sağlamak için güçlü bir vakum pompası olması, uzaklaştırılan nemin yoğunlaştırılması için bir yoğunlaştırıcı sistem bulunması gibi faktörler sonucu bu tür kurutucular oldukça pahalıdırlar. Sürekli işletimde malzemenin kurutucuya beslenmesi ve kurutucudan alınması sırasında kurutucu içerisindeki vakumun kaçmasını önlemek için çok iyi conta vb. sızıntı önleyici malzeme gerektirmesinden dolayı, vakum kurutucuların çoğunluğu kesikli tip kurutma şeklinde işletilmektedirler (EİE/UEM, 1997).

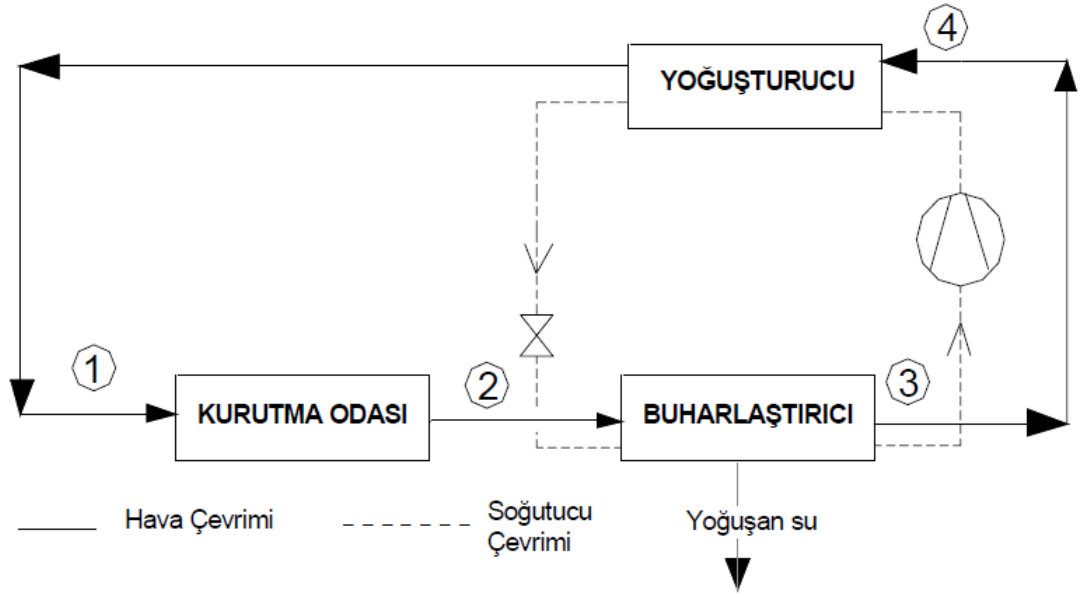


Şekil 1.3. Kereste kurutma işlemi yapılan kurutma odası

c. Isı pompalı kurutucular

Şekil 1.4’de sistematik diyagramda soğutma sisteminin değişimi kurutma kabini ile birlikte gösterilmiştir. Kurutma havası boydan boya kurutma odasından geçer (“1” noktası) ve kurutulacak ürün içinde bulunan nemi buharlaştırarak bünyesine alır. Nem yüklü hava “2” noktasından doğrudan buharlaştırıcıya geçer. Nem alma işlemi

boyunca hava “1” noktasından “2” noktasına gelirken hissedilir bir şekilde çığ noktasına kadar soğur. Soğutmanın çığlenme noktası sıcaklığı altında devam etmesi durumunda havadaki nem yoğuşur. Buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan buharlaşırken havadan buharlaşma gizli ısını çeker. Çekilen bu gizli ısı tekrar soğutucu akışkanla yoğunlaştırıcıya gider. Soğutma sırasında havadan çekilen ısı, yoğunlaştırıcıdan (“4-1” noktası) kurutma havasına hissedilir ısı olarak verilir (Ceylan, 2007).



Şekil 1.4. Isı pompalı kurutma sistemi (Ceylan, 2007)

d. Tünel kurutucular

Bu tip kurutucular mekanik havalandırmalı olup, nemli haldeki kereste istifli tünelde havanın çok nemli ve daha soğuk olduğu kısımdan girer ve arabalar üzerinde ilerledikçe daha sıcak ve kuru bölgelerden geçerek diğer kısımdan kurumuş olarak çıkar. Böylece kereste istifleri kurutma şartları olarak belirlenen hava akımına ters yönde hareket ettirilmektedir. Havalandırma donatılarının tek yada çok vantilatörlü olmasına göre iki ayrı tipte yapılmaktadır. Tünel kurutucularının yanı sıra, kurutma sırasında odun istiflerinin hareket ettirilmeksizin, havanın bağıl nem ve sıcaklığının kuruma başlangıcından sonuna kadar zamana bağlı olarak değiştirildiği doğal

havalandırılmalı ve mekanik havalandırılmalı olmak üzere iki çeşit olan kompartman kurutucularda bulunmaktadır (Örs, 1986).

e. Özel tasarımlı kurutucular

Kurutucu maddenin formuna göre özel tasarlanmış kurutucular kullanılmaktadır. Örneğin, yüksek sıcaklıklarda kereste kurutma işlemi için beton ve tuğla ile yapılan kurutma fırınları yüksek sıcaklık ve bağıl nem değerini koruyamazlar. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kurutma için çelik konstrüksiyonlu özel fırınlar dizayn edilmiştir (Örs, 1986).

1.2.4. Kurutucu seçimi

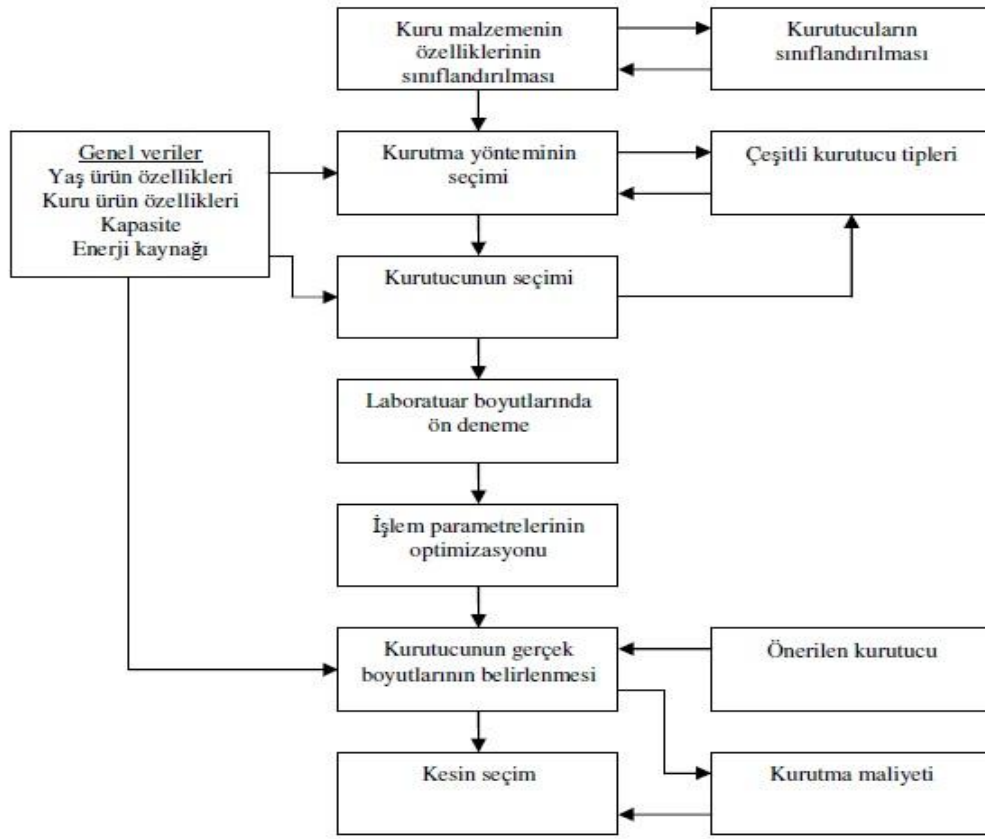
Kurutma prosesinin verimli çalışması ve başarısı, hem ürün kalitesi hem de işletmenin karlılığı bakımından uygun bir kurutucunun seçilmesine bağlıdır. Her çeşit kurutulacak ürün için, çok amaçlı bir kurutucu tipinin olmaması nedeni ile ilk adım olarak kurutma yöntemi ve kurutucunun doğru seçimi büyük önem taşımaktadır (Aktaş, 2007).

Kurutucu tipi belirlenirken, ilk düşünülmesi gereken konulardan birisi, kurutulacak maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleridir. Kurutulacak maddenin gaz olması durumunda, ancak adsorpsiyon veya absorpsiyon kolonları şeklindeki kurutucular kullanılabilir. Bir sıvının kurutulması söz konusu ise, yine çok sınırlı sayıda kurutucu kullanılabilir (William - Gardner, 1971). Kurutulacak maddenin bir katı olması durumunda, çok sayıda seçenek söz konusu olmaktadır. Bu durumda, bir ön seçim için dikkate alınması gereken faktörler Çizelge 1.1’de özetlenmiştir (Kalafatoğlu vd., 1993; McKetta, 1983).

İdeal bir kurutma yapmak için kurutucu seçmek çok önem arz etmektedir. Kurutucu seçiminde birçok etkenin göz önünde bulundurulması gereklidir. Kurutulacak malzemenin özellikleri, ısıtıcı tipi, enerji kaynağı, kurutma havası ile malzeme arasındaki hidrodinamik koşullar özellikle ele alınmalıdır.

Çizelge 1.1. Kurutucunun ön seçiminde göz önüne alınması gereken önemli etkenler
(Kalafatoğlu vd., 1993)

Göz önüne Alınan Etkenler	Özellik
1. Kurutulacak Maddenin Özellikleri	a) Islak maddenin fiziksel özellikleri b) Kurutulmuş maddenin fiziksel özellikleri c) Korozif özellikleri d) Yanabilirliği e) Tanecik boyutu f) Aşındırma özelliği
2. Kurutulacak Maddenin Kuruma Özellikleri	a) Nemin türü (serbest, bağlı veya her ikisi) b) Başlangıçtaki nem miktarı c) Son nem miktarı d) En yüksek kuruma sıcaklığı e) Farklı kurutucularda olası kuruma süreleri
3. Maddenin Kurutucuya Beslenme ve Kurutucuda Akma Şekli	a) Bir saatte işlenecek miktar b) Operasyonun sürekli/kesikli olması c) Kurutma öncesi işlem(ler) d) Kurutmadan sonraki işlem(ler)
4. Ürün Kalitesi	a) Büzüşme b) Kirlenme c) Kurutmadan sonra kalan nemin dağılımı d) Ürünün bozulması e) Aşırı kuruma f) Ufalanma durumu g) Ürün sıcaklığı h) Dökme yoğunluğu
5. Geri Kazanma/Kayıp Sorunu	a) Tozu geri kazanma/kaybetme b) Çözücüyü geri kazanma/kaybetme
6. Mevcut Altyapı Olanakları	a) Yer b) Havanın sıcaklığı, nemi ve temizliği c) Kullanılabilir yakıtlar d) Kullanılabilir elektrik e) Ses, sarsıntı ve toz sınırlamaları ve ısı kayıpları f) Nemli maddenin kaynağı g) Atık gaz çıkışı
7. Kurutucunun Maliyeti	a) Sabit sermaye yatırımı b) İşletme giderleri



Şekil 1.5. Kurutucu seçimi için işlem adımları (Lee, 1986; Yağcıoğlu, 1999)

Seçim sırasında teknolojik ihtiyaçlar, ekonomik çalışma ve elde edilen kuru ürünün kalitesi de önemli kriterler olarak ele alınmalıdır. Kurutucu seçimi sırasında dikkate alınacak unsurlar ve etkileşimleri Şekil 1.5’de verilmiştir (Lee, 1986; Yağcıoğlu, 1999).

Kurutucu seçiminde ilk hareket noktası; malzemenin özelliklerinin belirlenmesidir. Kurutulacak malzemenin statik ve kinematik kuruma özellikleri ve kurumuş üründen beklenen şekil ve dış görünüm özellikleri öncelikle belirlenmelidir. Malzemenin statik ve kinematik kuruma özellikleri, soğurma ve yüze çekme (adsorpsiyon), eş sıcaklıkları ile kritik nem, denge nemi, kurutma sıcaklığı, kuruma hızı gibi parametrelerin belirlenmesi için bilinmesi gereken önemli unsurlardır (Aktaş, 2007). Kurutma yöntemleri ve kurutucular seçimli olarak belirlendikten sonra kesin seçim için aşağıda verilen unsurlar dikkate alınmalıdır (Günerkan, 2005).

1. Yıllık kurutulacak ürün miktarı,
2. Tesisin kuruluş maliyeti,
3. Tesisin işletme masrafları,
4. İşlem sırasında malzemeden verilecek fire miktarı,
5. Emniyetli çalışma,
6. Kurumuş ürünün kalitesinin uygunluğu,
7. Kurumuş ürünün dış görünüşünün isteğe uygunluğu,
8. Kurutucunun çeşitli kapasitelerde çalıştırılabilme esnekliği,
9. Çevre kirliliğine etkisinin olup olmadığı,
10. Çalışma sırasında etkin kontrollerin yapılmasına olanak vermesi,
11. Tamir ve bakım kolaylığı,
12. Kurutucunun görüntüsü.

1.3. Kurutmayı Etkileyen Faktörler

1.3.1. Hava özellikleri

1.3.1.1. Havanın sıcaklığı

Kurutma prosesinde sıcaklık önemli bir rol oynamaktadır. Sıcaklığın artışı veya azalması ile havanın bağıl nemi ve basıncı değişik göstermektedir. Hava sıcaklığının yükselmesiyle birlikte, havanın içerisinde su buharı tutma özelliği veya başka bir deyişle içerisine alabileceği su buharı miktarı artış göstermektedir.

Kurutmada sıcaklığın yükseltilmesi ile ağaç malzeme içerisinde ısı transfer hızları artmakta ve bunun sonucunda yüksek buharlaşma hızları meydana gelmektedir. Bu durum ise ağaç malzeme içerisindeki nemin daha kolay ve hızlı bir şekilde yüzeye çıkmasını sağlayarak kurutma süresini azaltmaktadır.

Teknik kurutmada sıcaklık, kurutma kalitesini önemli derecede etkilemektedir. Yüksek sıcaklık uygulamaları sonucunda ağaç malzemede hücre çökmeleri (kollaps),

çatlama, renk değişmeleri ve reçine sızması gibi kurutma kusurları meydana gelmektedir.

Ağaç malzemenin kurutulmasında yalnız kurutulan malzemenin çevresindeki havanın sıcaklığı değil aynı zamanda kerestenin yüzeyindeki sıcaklık da önemlidir. Yüzey sıcaklığı hava sıcaklığından farklı olabilir. Çünkü ağaç malzeme hava dolaşımından başka aynı zamanda radyasyon ile de ısı almaktadır (Kantay, 1993).

1.3.1.2. Havanın nemliliği

Havanın nemliliği 3 şekilde ifade edilmektedir. Bunlar; özgül nem, mutlak nem ve bağlı nem ifadeleridir.

a. Özgül nem

Kuru havanın birim ağırlığı içerisinde bulunan su buharı kütlesini belirtir. Buna göre kuru havanın kütlesi 1 kg olup devamlı sabit kalmakta ve yalnızca içerisindeki su buharı miktarı değişmektedir. Kuru havanın kütlesi (m_b) buharın kütlesi (m_h), özgül nem (ω) ile gösterilirse (Örs, 1986);

$$\omega = m_b / m_h \text{ (kg su buharı / kg kuru hava)} \quad (1.1)$$

b. Mutlak nem

Nemli hava içerisindeki su buharı miktarının (m_b) nemli havanın hacmine (V) oranına mutlak nem denir.

$$\rho_b = m_b / V \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (1.2)$$

Havanın su buharı ile doymuş hale geldiği zaman çiğlenme noktasına ulaşmaktadır. Çiğlenme noktası aşıldığında havadan bir miktar su ayrılmaktadır. Bu olaya yoğuşma

adı verilmektedir. Çiğlenme doymun havanın soğuma suretiyle meydana gelmektedir (Brown, 1965).

c. Bağıl nem

Kurutma işleminde bağıl nem önem arz etmektedir. Bağıl nem (φ), birim hacimde gerçekte mevcut olan su buharı miktarının (veya mutlak nem miktarı= ρ_b) aynı sıcaklıkta içerisinde alabileceği mümkün olan en yüksek su buharı miktarına (veya doyuran nem miktarı= ρ_{bd}) oranıdır. Diğer bir ifadeyle bağıl nem, nemli hava içerisindeki su buharı kısmi basıncının (P_b), aynı sıcaklığa tekabül eden doyma basıncına (P_{bd})oranı ile ifade edilmektedir (Burdurlu, 1995).

$$\varphi = \frac{P_b}{P_{bd}} 100 (\%) \quad (1.3)$$

Havanın yukarıda belirtilen özelliklerinden aşağıdaki şekilde faydalanılabilir (Kantay, 1993).

1. Ağaç malzeme sıcak havada aynı bağıl nem yüzdesine ait soğuk havadan daha hızlı kurumaktadır. Çünkü sıcaklık artışı ile havanın içerisinde alabileceği su miktarı artmaktadır.

2. Havanın bağıl nemi %10 olduğu takdirde kuru, %65 olduğu takdirde orta derecede nemli olarak ifade edilmektedir. Kuru havada ağaç malzeme çok hızlı kurumakta, buna karşılık nemli havada daha yavaş kurumaktadır. Kuru havanın kurutma etkisi yüksek, nemli havanın ise düşüktür.

3. Belli miktarda hava ısıtıldığında bağıl nemi azalmaktadır. Hava soğutulurken bağıl nemi %100'e kadar çıkartılabilir. Daha fazla soğutma halinde ise, içerisinde alabileceğinden fazla olan su miktarı zerrecikler halinde yoğunlaşır.

1.3.1.3. Hava hareketi

Üniform bir hava hareketi kurutulacak olan kerestenin kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Kurutma sırasında gerekli ısının oduna iletilmesi ve havanın odundan absorbe ettiği nemin dışarıya atılması bakımından hava dolaşımını sağlanması zorunludur (Vermaas, 1992).

Hava hareketinin iki önemli görevi vardır (Kantay, 1993):

1. Hava ısı taşıyıcı olarak, ısıyı kurutulan ağaç malzemeye iletmektedir. Böylece, malzemenin ve malzeme içerisindeki suyun ısınmasını sağlayarak iç tabakalardan yüzeylere doğru olan su hareketini hızlandırmaktadır.
2. Hava nem taşıyıcı olarak, kurutulan ağaç malzemedeki dışarıya çıkan ve buharlaşarak kerestenin yüzeyinde biriken nemi alıp uzaklaştırır ve bunun yerine nem alma özelliği yüksek bir havanın gelmesini sağlar.

Hava hareket hızının artması ile ısının yayılması, ağaç malzemenin yüzeylerinde biriken su buharının taşınması ve yerine su buharı alma yeteneği yüksek olan havanın getirilmesi hızlanarak kereste içerisindeki suyun buharlaşma hızı artmaktadır. Böylece kurutma işlemi hızlanmakta ve kurutma süresi azalmaktadır. Böylece kereste yüzeyindeki buharlaşma hızı artmakta ve dış kısımlar iç kısımdaki bölgelere göre daha hızlı kurumaktadır. Hava hareket hızının düşük olması halinde ise, kerestenin yüzeyinde toplanan su buharı keresteden zamanında uzaklaştırılmamaktadır. Böylece iç tabakalardan dış tabakalara doğru olan su hareketi engellenmektedir. Bu durumda kereste yüzeyinde ıslaklık meydana gelmekte ve bu durum kurutma süresini uzatmaktadır (Fessel, 1965).

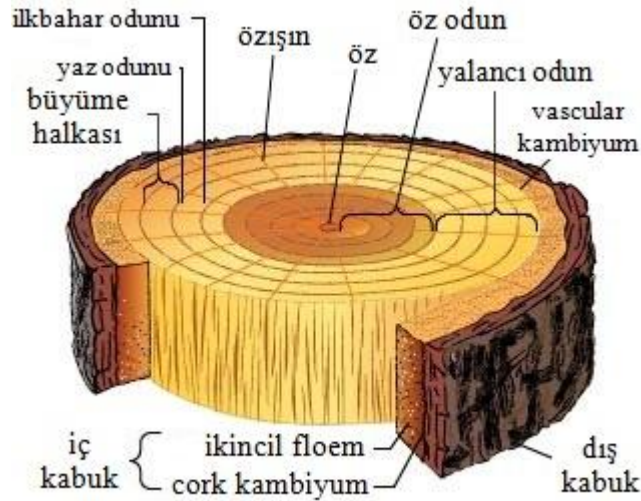
1.3.2. Ağaç malzeme özellikleri

Ağaç malzeme kurutulmadan önce ağacın yapısı, kesim yapıldığı bölge, odun-su ilişkileri vs. iyi bilinmelidir. Bunların yanı sıra ağaç malzemenin kuruması sırasında

hava ile gösterdiği ilişki, nem durumları ve bazı fiziksel özellikleri kurutma işleminin kalitesini, süresini ve gidişatının etkileyen önemli etkenlerdir.

1.3.2.1. Ağaç malzemenin yapısı

Ağaç malzeme makroskopik olarak incelendiğinde iç içe dizilmiş senelik halkalar ağacın değişik doğa koşullarında büyümesinden ileri gelmektedir, bir senelik halka içerisinde ilkbahar odunu ve yaz odunu mevcuttur. Şekil 1.6’da ağacın makroskopik yapısı verilmiştir (Berkel, 1970). Ağacın büyümesi iç kabuk altındaki kambiyum tabakasına bağlıdır. Kambiyum devamlı olarak hücre yapma niteliğine sahiptir. Kabuk bütün gövde ve dalları sarmakta, odun içerisindeki suyun buharlaşmasını azaltarak kurumayı yavaşlatmaktadır. Ayrıca kuruma sırasında kabuğun yer yer dökülmesi ile ağaç malzemenin çeşitli kısımlarda farklı kuruma meydana gelmekte, bu kabuk parçaları istifler arasındaki boşlukları kapatarak hava akımını engellemektedir. Bu durum yanları alınmamış kabuklu kerestelerin kurutma süresini yanları alınmış kerestelere göre uzatmaktadır (Kantay, 1978).



Şekil 1.6. Ağaç malzemenin makroskopik yapısı (Merriam-Webster Inc., 2006)

1.3.2.2. Özgül ağırlık

Ağaç malzemenin özgül kütlesi (δ_0) numunenin kütlesinin (m_0) hacmine (V_0) bölünmesiyle bulunur.

$$\delta_0 = \frac{m_0}{V_0} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (1.4)$$

Eğer özgül kütle neme göre hesaplanacaksa;

$$\delta_0 = \frac{m_r}{V_r} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (1.5)$$

şeklinde eşitlikler düzenlenir.

Çoğunlukla odunun teknolojik özellikleri hakkında fikir veren özgül ağırlık kurutma bakımından da son derece önemlidir. Özgül ağırlık bir ağaç türü kerestesinin kolay veya güç kuruduğu hakkında fikir vermektedir. Genellikle özgül ağırlığın artması ile ağaç malzemenin kurutulması güçleşmektedir. Kalın çeperli ve dar lümenli ağır odunlar, ince çeperli ve geniş lümenli hafif odunlara nazaran su hareketine karşı daha büyük bir direnç göstermektedir. Böylece sık yapılı ağır odunların kurutma süresi uzundur. Kurutma kusuru meydana gelme tehlikesi fazladır. Bu nedenle ağır ve sert ağaçların kurutulmasında daha koruyucu bir kurutma programı uygulanması gerekmektedir (Ünsal, 1994). Bazı ağaçların özgül kütleleri Çizelge 1.2'de verilmiştir.

1.3.2.3. Ağaç malzemenin nemi

Nem, kuru ağırlığına göre odundaki su kütlesinin miktarıdır. Ağaç malzemedeki nem miktarı (r) odundaki suyun kütlesinin (m_s) odunun kütlesine (m_0) bölünmesiyle bulunur yani;

$$r = \frac{m_s}{m_0} \quad (1.6)$$

Bunların dışında ağaç malzemesi ile alakalı; taze hal nemi, lif doygunluğu nem hali ve ağaç denge nem hali olmak üzere önemli nem halleri vardır.

Çizelge 1.2. Bazı ağaçların tam kuru özgül kütleleri (Erden, 1997)

Ağaç Cinsi	Tam Kuru Özgül Kütlesi (gr/cm ³)	Ağaç Cinsi	Tam Kuru Özgül Kütlesi (gr/cm ³)
Akçaağaç	0.59	Kayın	0.69
Akasya	0.73	Kestane	0.48
Abanoz	1.15	Kızılağaç	0.51
Ceviz	0.64	Kiraz	0.57
Çam	0.49	Kök nar	0.40
Çınar	0.53	Ladin	0.43
Dişbudak	0.65	Meşe	0.71
Karaağaç	0.64	Sedir	0.48
Kavak	0.44	Söğüt	0.52

a. Taze hal nemi

Canlı ve kesimden hemen sonra ağaç malzemedeki bulunan nem miktarına “taze hal nemi” denir. Taze hal nemi ağaç türlerine, bulunduğu bölgenin coğrafi konumuna, mevsimlere, aynı ağaç türünde ağaçtan ağaca ve hatta ağacın gövdesinin içine göre farklılık gösterebilir ve taze hal nemi %40-120 arasında değişir (Öz, 1988; Örs ve Keskin, 2001). Türkiye’de yetişen bazı ağaç türü odunlarının taze haldeki nemleri Çizelge 1.3’de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Bazı ağaç türlerinin taze haldeki nemleri (%) (Berkel, 1970)

Ağaç Türü		Nemlilik Grubu	Nem (%)	
			Diri Odun	Öz veya Olgun Odun
İğne Yapraklı Ağaçlar	Gök nar	Orta Nemli	165	40
	Ladin		145	35
	Çam		130	50
Yapraklı Ağaçlar	Kavak	Çok Yaş	165	40
	Kayın	Yaş	145	35
	Meşe	Yaş	130	50
	Kestane	Çok Yaş	90	80
	Ihlamur	Yaş	75	80

b. Lif doygunluğu nemi (LDN)

Ağaç malzemedeki serbest suyun hiç bulunmadığı ama bağıl suyun en fazla miktarda bulunduğu nem miktarına (LDN) denir. Kurutması yapılacak ağaçların lif doygunluğu nem oranlarının bilinmesi çok önemlidir. Kurutma kusurlarının büyük bir kısmı bu suyun atılmasında ortaya çıkmaktadır (Zırzakıran, 1990). LDN ortalama olarak %28 kabul edilmektedir. Bu değer %20 ile %40 arasında değişmektedir (Berkel, 1970).

Ağaç malzemenin LDN yüzdesi, hacim daralma yüzdesi (β_v)'nin hacim yoğunluk (V_d) değerine bölünmesiyle hesaplanabilir;

$$LDN = \beta_v / V_d (\%) \quad (1.7)$$

c. Ağaç denge nemi (ADN)

Higroskopik bir yapısı olan ağaç malzemesini özellikleri, içindeki nem miktarına göre değişir. Ağaç malzemenin çevre sıcaklığı ve nemine göre neminin değişmesine denge nemi denir. Ağaç malzeme kullanılacağı yerdeki havanın sıcaklık ve nemi ile denge sağlayacak şekilde kurutulması gerekir. Kullanım yerlerine göre ağaç malzemenin istediği denge nem oranları Çizelge 1.4’de verilmiştir. Kullanılacağı yere göre çizelgede verilen nem değerleri sağlanmazsa ağaç malzeme boyutlarında genişleme, daralma meydana gelir ki; buna ağacın çalışması denir. Ağaç malzemesinin çalışması sonucunda çatlama, çarpılma, eğilme, çekme vb. kusurlar oluşmaktadır (Erden, 1997).

Çizelge 1.4. Kullanım yerlerine göre ağaç malzemedeki bulunması gerekli nem miktarları (Erden, 1997)

Sıra No	Kullanım Yeri	Nem Miktarı (%)
1	Kreozat ile empenye edilecek telefon, telgraf, elektrik direkleri ve traversler	25
2	Karkas yapılarında ve açıkta kullanılacak ağaç malzeme	16-22
3	Fıçı tahtaları	17-20
4	Taşıtlar, uçaklar, gemi güverteleri	15-16
5	Spor aletleri, açıkta kullanılan aletler, bahçe mobilyası	12-16
6	Dış pencere ve kapılar	12-15
7	Soba ile ısınan yerler için mobilya	10-12
8	Kaloriferle devamlı ısıtılan yerler için mobilya	6-10
9	Parke	6-8
10	Radyo televizyon yapımı	6-8
11	Kaplama, kontraplak	6-8
12	Yonga levha	7-8
13	Lif levha	5-7

1.3.2.4. Ağaç malzemenin kurutma süresi

Ağaç malzemenin kurutma süresi, tam olarak hesaplanamayan birçok faktöre bağlıdır. Bunları aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür:

- a) Ağaç malzemenin türüne göre yoğunluğu değişmektedir. Yoğunluk arttıkça kuruma güçleşmekte ve kurutma süresi uzamaktadır.
- b) Ağaç malzemenin başlangıç nemi ne kadar yüksek, sonuç nemi ne kadar düşükse kurutma süresi o kadar uzun olmaktadır.
- c) Ağaç malzemenin kalınlık artışı ile birlikte kurutma süresi de doğru orantılı olarak artmaktadır.
- d) Kurutma havası sıcaklığındaki artış ile birlikte ağaç malzemenin iç kısımlarından dışarıya doğru olan su akışı arttığından kurutma süresi de kısalmaktadır.
- e) Kurutma havasının hızı arttıkça doğru orantılı olarak kuruma hızı artar ve ters orantılı olarak kurutma süresi kısalmaktadır.
- f) Ağaç malzemenin biçiliş yönünün çalışma miktarı üzerine etkisi olduğu bilinmektedir. Ayrıca kurutma hızı üzerine etkisi vardır. Teğet biçilmiş kereste radyal biçilmiş keresteye göre daha hızlı kurumaktadır.
- g) Kurutma fırınları 24 saat çalıştırılmadığı takdirde kurutma süresi uzamaktadır. Kurutma süresinin tespitinde kesintiler dikkate alınmaktadır. Bunun için günde 24 saat çalışmaya göre bulunan sürenin belli katsayılarla çarpılması gerekmektedir.
- h) Kurutma fırınının yapısı, fanların yeri, ısıtma şekli, nemlendirme düzeneği ve havalandırma gibi teknik donanımın kurutma süresi üzerine dolaylı olarak etkisi bulunmaktadır.
- i) Uygulanan kurutma yöntemi kurutma süresini doğrudan etkilemektedir. Nem yoğunlaştırma ile kurutmada süre çok uzun, vakumlu kurutmada ise kısadır (Kantay, 1993).

1.3.2.5. Kurutmada ağaç malzemede ortaya çıkan problemler

Ağaç malzemesinin kurutulması sırasında belirli nedenlerden dolayı meydana gelen ve ağacın kalitesini düşüren sertleşme, çatlaklar, biçim değişimleri, hücre çökmesi

(collapse), renk değişmeleri ve reçine sızması gibi oluşumlara kurutma kusurları adı verilmektedir. Bazı kurutma kusurları ve nedenleri aşağıda açıklamak mümkündür:

1- Çok hızlı kuruma sonucu, dış yüzeyde buruşma ya da bal peteği görüntüsü oluşur. Kerestenin dış yüzeylerinde oluşan bu küçük çatlaklar kümesi bahsi edilen isimlerle adlandırılır. Kurutma sonrası bu çatlaklar göz ile izlenebilir. Yarıma ya da çatlama ve içe doğru çökme de (collapse veya hücre çökmesi) hızlı kuruma sonucu oluşabilecek diğer kurutma kusurlarıdır (Ceylan, 2007).

2- Çok yavaş kuruma sonucu, yüzeyde lekelenme, küf oluşması, çürüme, eğrilik ve çarpıklık meydana gelebilir (Ceylan, 2007). Kurutma sırasında kerestenin çeşitli kesitlerinde meydana gelen nem farklılıkları ve odunun üç yönde farklı çalışması sebebiyle başlangıçta düzgün olan kenar, yüzey ve profillerde eğilme, kılıcına eğilme, burulma, oluklaşma, mainleşme şeklinde farklılaşmalar oluşur (Örs ve Keskin, 2001).

3- Yanlış istifleme sonucu çarpılma, özellikle eğilme, düzensiz kuruma meydana gelebilir. İşletme ile ilgili hatalar sonucu, keresteler çok yaş kalabilir ya da çok kuruyabilir. Ayrıca yüzey gerilmeleri artabilir. Bunların dışındaki kurutma kusurlarını budakların düşmesi, ortadan ikiye çatlama olarak sıralamak mümkündür (Ceylan, 2007).

4- Kurutma sırasında odunun doğal renginin değişmesi şeklinde ortaya çıkan renk değişmeleri yüzeysel olarak kısmi lekeler ya da şeritler halinde olabildiği gibi tüm kesitlerde derinlemesine meydana gelebilir. Bunun nedenini yüksek sıcaklık ve bağıl nem şartlarındaki odunda, içerisinde bulunan lignin ve hemiselülozlarda meydana gelen bazı kimyasal değişmelerdir (Örs, 1986). Reçinece zengin odunlar $t_k > 60^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kurutulduğunda reçine kereste yüzeyine sızmakta, sıcaklık yükseldikçe sızan reçine yüzeyde kahverengi renk almakta, uçucu kısmın (terebentin) ayrılması ile geri kalan kolofan ağaç malzemenin işlemini güçleştirmektedir (Örs ve Keskin, 2001).

1.3.2.6. Sarıçam odunun özellikleri

Batı Karadeniz bölgesinin Bolu yöresi genellikle yetişmiş sarıçam ormanları ile kaplıdır. Bununla beraber sarıçam ormanları karışık olarak bütün Anadolu'nun kuzey kesimini kaplamıştır. Dünya' da çok geniş bir yayılma alanı vardır. Bütün Avrupa ve Asya'nın kuzeyinde sarıçam ormanları bulunmaktadır. Dağlarda en çok orman hududuna kadar çıkarlar. Yalancı odunu geniş, sarımsı veya kırmızımsı beyaz renktedir. Göbek odunu daha koyu renkte olup kırmızımsı kahverengidir. Yıllık yas halkaları belirgindir. Parlak, bol reçineli, oldukça hafif ve yumuşak bir ağaçtır. Kolay islenir, kolay yarılr, çatlar, gevrekler, fazla budaklıdır. Mavi renklenme çok görülürse de bu hal sarıçamın direncini hiç azaltmaz. Boyanmasında hiçbir sakınca yoktur (Gökdemir ve Yıldız, 2001). Sarıçam odununa ait fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 1.5'de verilmiştir.

Çizelge 1.5. Sarıçam odunun fiziksel ve mekanik özellikleri (Abis, 2001)

Fiziksel Özellikler		Mekanik Özellikler	
Tam kuru yoğunluk	0.496 gr/cm ³	Basınç direnci	55 N/mm ²
Hava kurusu yoğunluk	0.526 gr/cm ³	Eğilme direnci	100 N/mm ²
Hacim ağırlık değeri	0.426 gr/cm ³	Elastikiyet modülü	12000 N/mm ²
Radyal daralma	% 4.3	Çekme direnci	104 N/mm ²
Teğet daralma	% 8.3	Makaslama direnci	10 N/mm ²
Hacmen daralma	% 12.7	Dinamik eğilme	0.4 kN/cm

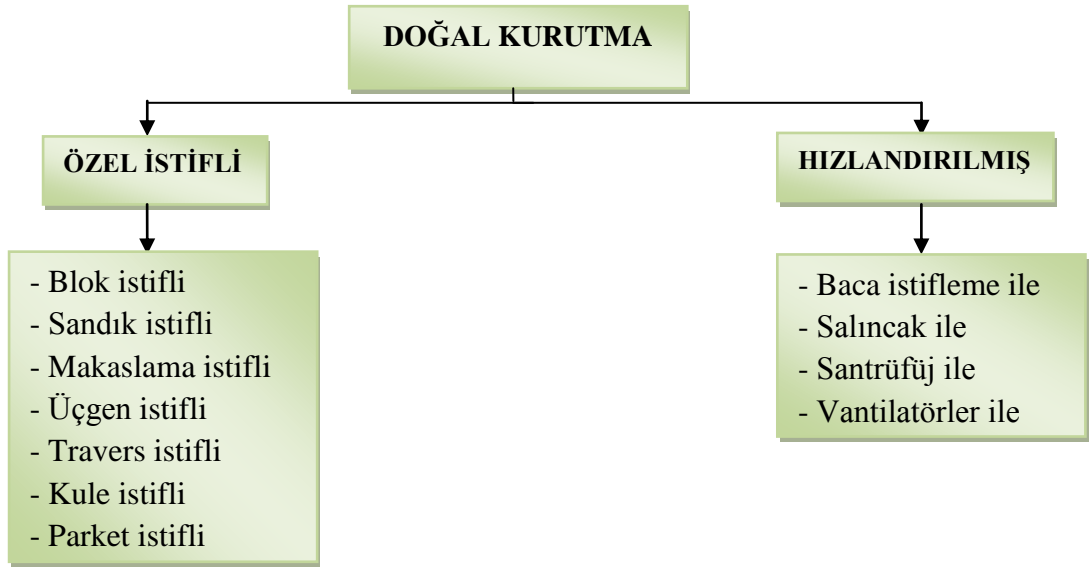
1.4. Ağaç Malzeme Kurutma Yöntemleri

Ağaç malzeme, insanoğlunun başlangıcından itibaren insan yaşamında önemli yer tutmuştur. Ağaç malzemenin kurutulması, kurutmanın tarihçesinin başlangıcında yer almaktadır. Ağaç malzemenin kurutulması başka bir deyişle ağaçtaki nem oranının istenilen seviyeye düşürülmesi ile kurutulacak ağaçların hacimlerinin veya

ağırlıklarının düşürülmesi, taşıma, istifleme, işleme (kesme, delme, vb.) ve kullanma kolaylığı, cilalama ve tutkallama, nemden muhafaza edilmesi ve kalitenin iyileştirilmesi gibi teknik ve ekonomik faydalar sağlamaktadır. Kurutma yöntemlerini doğal ve teknik kurutma üzere iki grupta toplamak mümkündür.

1.4.1. Doğal kurutma

Kerestenin açık hava iklim şartlarında denge nemine ulaşmaya kadar bekletilmesidir. 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. Şekil 1.7’de gösterildiği üzere doğal kurutmayı da sınıflandırmak mümkündür.



Şekil 1.7. Ağaç malzeme doğal kurutma yöntemleri (Erden, 1997)

Doğal kurutma süresince ağaç malzeme çevrenin her türlü olumsuz etkilerine (doğal afet, böcek ve mantar zararları) maruz kalabilir. Ayrıca depo yerinin fiyatı, düzenlenmesi, bakım ve denetimi ve sigorta giderleri maliyeti arttırabilir (Örs ve Keskin, 2001). Bunların yanı sıra çok farklı olan ve kontrol edilemeyen hava şartları nedeniyle kuruma kontrolü sağlanamamaktadır ve çeşitli kurutma kusurları oluşma ihtimali yüksektir. Bunlar arasında büyük nem meyli (düşüşü) sebebi ile oluşan

sertleşmeyi, yüzey ve iç çatlaklarını ve çarpılmayı saymak mümkündür (Ceylan, 2007).

1.4.2. Teknik kurutma

Ağaç malzemenin (kereste) teknik kurutulması ısı transferi şekli, kurutucu madde şekli , kurutucu maddenin sıcaklığı ve basıncı gibi belirli kriterlere göre yapılabilir (Campean, 2010). Isı transfer şekline (kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon) göre kereste kurutma metotları aşağıda verilen Şekil 1.8’de gösterildiği gibi olabilir.



Şekil 1.8. Isı transfer şekline göre kereste teknik kurutma yöntemleri (Campean, 2010).

Yukarıda değişik şekilde sınıflandırılması yapılan teknik kurutma işlemleri, kurutulacak ürün neminin kuruma son değerlerine belli bir süreçte kontrollü olarak indirgenmesi için yapılan işlemler olarak tanımlanır. Kuruma işlemine dış müdahale yapılarak belli bir süreçte ürünün kuruma son değerlerine kontrollü olarak gelmesini sağlayan ve değişik birimlerden oluşan (ısıtma, soğutma, nem alma gibi) sistemlerin bütününe kurutma sistemleri denir ve kurutma sistemleri, kurutma işleminde uygulanan yönteme göre adlandırılır (Ceylan, 2007). Kerestenin kurutulmasında en çok uygulanan teknik yöntemler aşığıda sırası ile sunulmuştur.

1.4.2.1. Klasik kurutma

Bu yöntemde kurutma işlemi, ağaç malzeme nemi 100 °C'nin altındaki sıcaklıklarda bulunan hava-su buharı karışımı yardımı ile yüzeylerden buharlaştırılarak gerçekleştirilmektedir. Ağaç malzemenin kurutulmasında eskiden itibaren ve halen en çok uygulanması nedeniyle bu yönteme klasik kurutma adı verilmiştir (Kantay, 1993).

Klasik kurutma yönteminde fırının çevresinden sıcaklığı düşük taze hava alınmakta ve yine aynı çevreye nemli ve sıcak hava verilmektedir. Hava alışverişı fırın tavanın müsait bir bölümünde bulunan bacalar vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Bacalardan giren taze hava vantilatör yardımıyla içeriye alınmakta, ısıtıcılardan ve kereste istif katları arasından geçerek ısınmakta aynı zamanda da nemlenmektedir. Nem miktarı istenilen oranı aştığı zaman bacalar açılarak dışarıya atılmaktadır. Hareketli olan hava geçiş sırasında ağaç malzemeyi ısıtmakta ve nemini almaktadır (Brown, 1965).

Taze hava her zaman fırın içerisindeki havadan daha kurudur. Her ağaç türünün her kalınlıktaki kerestesi istenilen başlangıç neminden istenilen sonuç nemine kadar istenilen şiddette kurutulabilmektedir. Taze ve nemli havanın daima değişmesi nedeniyle enerji sarfiyatı yükselmektedir (Aytekin, 1997).

1.4.2.2. Yüksek sıcaklıklarda kurutma

Kurutma sırasında kuru termometre sıcaklığı 100°C'nin üstünde olan nemli hava kullanabildiği gibi, hava bulunmaksızın kızgın buharda kullanılabilir (Örs, 1986). Yüksek sıcaklıkta kurutma yönteminde kurutma ortamı olarak; kuru termometre sıcaklığı 100 °C-130 °C ve yaş termometre sıcaklığı 100 °C (97 °C-100 °C) olan saf kızgın buhar veya kuru termometre sıcaklığı 100°C-130 °C ve yaş termometre sıcaklığı 75 °C-95 °C olan kızgın hava ve buhar karışımı sağlanmaktadır (Kantay, 1993). Bu maksatla kullanılan fırınlar paslanmaz çelikten ve 3-5 m² 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 belirli değerleri aştığında basınca ayarlı subaplar açılarak fazla basınç giderilir (Örs ve Keskin, 2001).

Yüksek sıcaklıklarda kurutma metodu iğne yapraklı ağaç odunları için uygun olup, istiftteki keresteler arasındaki nem farkı en çok %20 kadar olmak üzere ve %8'den düşük sonuç nemi için su buharı permeabilitesi yüksek odunlarda kullanılmaktadır (Örs ve Keskin, 2001). Yüksek sıcaklık etkisi ile oluşan renk değişmesi ve reçine sızması gibi kusurlarda göz önünde bulundurulması gereken bir husus olup, meşe, ceviz, kayın gibi iğne yapraklı ağaç keresteleri başta olmak üzere yüksek sıcaklık işleminin tabii tutulmadan önce %25-30 neme kadar kurutulmuş olmaları önerilmektedir (Örs, 1986).

1.4.2.3. Vakumlu kurutma

Bu kurutma sisteminde ağaç malzemenin bulunduğu ortamdaki basınç düşürülmesi ile odun dokuları içerisindeki suyun yüzeye doğru hareketi ve yüzeyde buharlaştırılması bu sistemin temelini oluşturmaktadır. Yüzeydeki suyu buharlaştırmak için malzemenin ısıtılması gerekir. Kerestenin ısıtılmasında, kerestenin sıcak levhalar arasına yerleştirilmesi ve hava-su buharı karışımının ısıtıcı yüzeylerle kereste arasına zorlamalı konveksiyonla dolaştırılması uygulanmaktadır (Burdurlu, 1995). Isıtma ve vakum işlemlerinin kesintili uygulanma sebebi vakum

ortamında ısı transferinin mümkün olmayışından kaynaklanmaktadır. Bu kurutma tekniği iğne yapraklı ağaç keresteleri için uygun olup, kayın gibi yapraklı ağaç odunları %25 neme kadar kurutulmuş olmalıdır. Vakum ve sıcaklık miktarları ağaç türlerine göre ayarlanarak çok düşük nemlere kadar (%2-4) kurutma yapılabilir (Örs ve Keskin, 2001).

Vakumlu kurutmadaki kurutma süresi, klasik kurutmadakine göre oldukça kısadır. Bu kısalma klasik kurutmanın 1/3-1/7'si arasındadır (Örs, 1986).

1.4.2.4. Kondenzasyonlu kurutma

Kondenzasyonlu kurutmada prensip olarak hava-su buharı karışımı dışarı ile hava alışverişi olmadan kapalı bir dolanım sevk edilmektedir. Su buharının yoğunlaştırması ısı pompası ilkesi ile çalışan kondenzasyon cihazı yardımı ile gerçekleştirilmektedir (Kantay, 1985; Ceylan, 2002).

Çalışma prensibi olarak; istiflenmiş kerestelerin arasından geçen nemli ve sıcak hava, kondenzasyon cihazından önce evaporatörü üzerinden (soğuk yüzeyli) geçerek çiy noktası altına kadar soğutulmaktadır. Nemli havanın içerisinde bulunan su buharı soğuk yüzeyli bölgelerden geçerken yoğunlaşarak sıvıya dönüşmekte ve fırından dışarı atılmaktadır. Böylece, odunda bulunan nem miktarının tespiti yapılabilmektedir. Evaporatörden geçerek soğumuş ve kurumuş (nemi azalmış) olan hava kondenser (sıcak yüzeyli) üzerine gönderilerek tekrar ısıtılmakta, daha sonra istiflenmiş keresteler üzerinden geçerek sirkülasyonunu devam ettirmektedir. Hava su buharı karışımının dolanımı cihaz ve fırın içerisindeki vantilatörler tarafından sağlanmaktadır (Kantay, 1993).

Bu tip kurutma fırınlarında nemli havanın bacadan dışarı atılmadan önce neminin yoğunlaştırılarak sıvı hale dönüşmesinden dolayı, sistem içerisinde ısı kaybı çok az olur. Böylelikle kondenzasyonlu kurutma fırınlar, geleneksel fırınla göre daha verimli kullanılır(Ceylan, 2002).

1.4.3. Güneş enerjili kurutma

Günümüz teknolojisinde enerji ihtiyacı olan sistemlere, yenilenebilir enerji kaynaklarının uyarlanması sayesinde önemli tasarruflar yapılmaktadır. Kereste kurutma işlemi yapılan kurutma sistemlerine yenilenebilir enerji kaynaklarının uyarlanması ile gerekli enerji miktarının sorunsuzca elde edilmesi ve maliyet tasarrufuna gidilmesi düşünülmektedir. Kereste kurutmada en çok kullanılan yenilenebilir enerji çeşidi güneş enerjili sistemlerdir. Bu kurutma çeşidinde sera tipi ve kolektörlü olmak üzere iki çeşit güneş fırını kullanılmaktadır.

Sıklıkla güneş enerjili fırınların işletme sıcaklığı pahalı özel güneş kolektörleri kullanılmadıkça 55 °C' dir. Güneş enerjili fırınların avantajı nispeten küçük, basit ve pahalı olmayan fırınlar olmasıdır ve bu teknoloji küçük boyuttaki işletmeler için elverişlidir. Güneş enerjili fırınlar direkt güneş enerjisini toplayarak (seralar) ya da indirekt güneş enerjisini toplayarak işletilebilir. Kurutma odaları kolektörler ile yalıtılabilir (Turner, 2000).

Güneş enerjili kurutma doğal kurutmaya göre çok daha hızlı, klasik kurutmaya göre ise daha yavaştır. Klasik kurutmaya göre düşünülebilecek bu dezavantaj, harcanılacak enerjinin maliyeti ve işletme masrafları dikkate alındığında, olumsuz bir faktör olarak görülmeyebilir (Üçüncü, 1993).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kereste kurutma eskilere dayansa da ciddi çalışmalar 20. yüzyılda gerçekleşmiştir. Özellikle Amerika, Kanada, Almanya, İngiltere, Uzakdoğu'da Çin ve Japonya ülkelerinde birçok deneysel çalışma yapılmıştır ve halende bu çalışmalar giderek artış göstermektedir. Türkiye'de ise kereste kurutma konusu son 15-20 yıl içinde ilgi görmüştür.

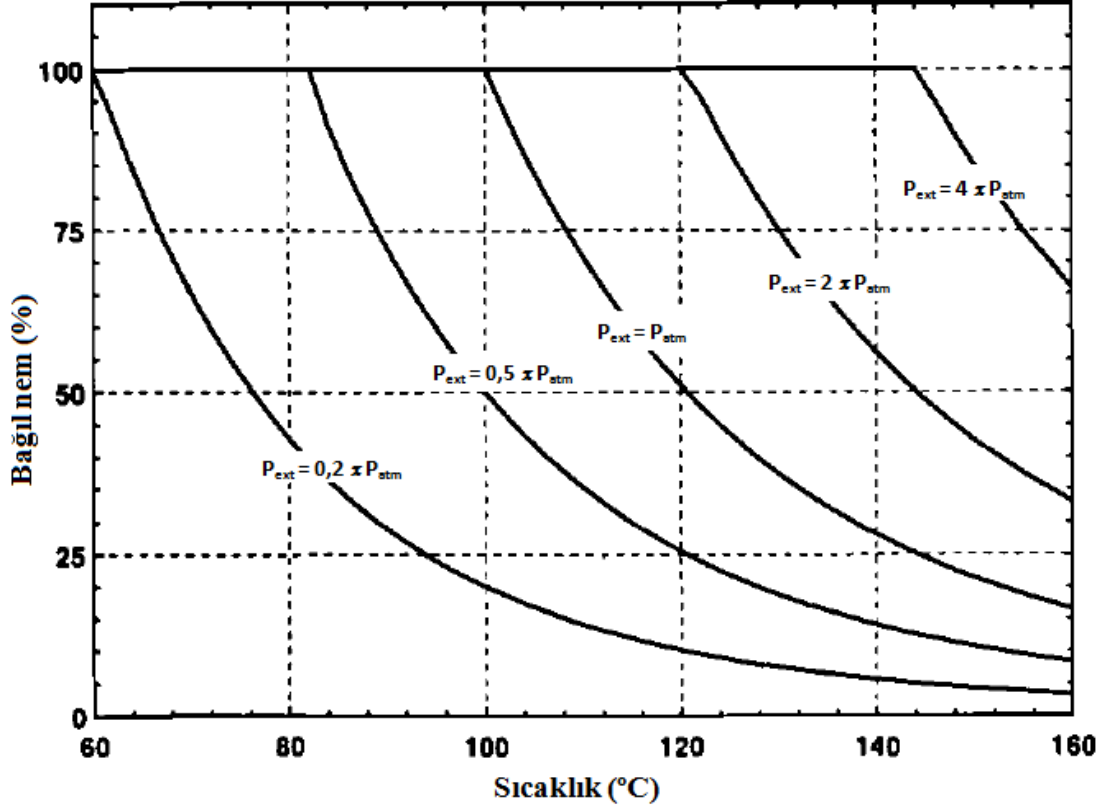
Kantay (1978) “ Türkiye'nin önemli bazı orman ağaç türleri kerestelerinin teknik kurutma özellikle üzerine araştırmalar” isimli doktora tezinde ülkemizde yetişen bazı ağaç türlerini kurutma prosesi bakımından incelemiş ve kurutmayı etkileyen faktörler ile ilgili önemli bilgiler vermiştir. Tez çalışmasında belirtilen kereste çeşitleri iki ayrı kurutma fırınında kurutma deneyleri yapmış, kurutma programları ve kurutma işlemi sırasında dikkat edilmesi gerekli hususlar ortaya koymuştur.

Boone (1984) 12 ağaç türü üzerine yüksek sıcaklıkta kurutma yaparak kerestelerin fırında kalma süresini azaltmaya yönelik 5 ayrı kurutma programı üzerinde çalışmıştır. Çok az kollaps ve eğilme gibi kurutma kusurları gözlemlenmesine rağmen kısa sürede sonuç nemine ulaşan programlar yapmıştır. Ancak her çeşit ağaç türü için hazırlanan programların yeniden düzenlenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Örs (1986) “Kurutma ve Buharlama Tekniği” isimli kitabında odun-su ilişkilerini, ağaç malzeme kurutma metotlarını, kurutma sonunda oluşabilecek kurutma kusurlarını, ağaç malzemeler için yüksek sıcaklıklarda kurutmanın hangi koşullarda gerçekleştirilebileceğini, kullanılan sistemlerin enerji bilançolarını ve buharlamayı açıklamıştır.

Resch vd. (1988) odun kurutmada yüksek sıcaklık ve yüksek nem içeriğinde deneysel veri bulunamadığını söylemişlerdir. Asıl neden olarak, kurutma işlemleri için tasarlanmış ve uygun olan ekipmanların yokluğundan kaynaklı olduğunu belirtmişlerdir. Şekil 2.1'de verilen grafikte, sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonu olarak hava için mümkün olan maksimum bağıl nem miktarını grafiksel olarak

açıklanmıştır. Bu grafiksel veriden malzemenin maksimum denge nem içeriğini tahmin etmek mümkündür.



Şekil 2.1. Mümkün olan maksimum bağıl nemde dış basınç ve sıcaklığın etkisi (Lide, 1993)

Zırzakıran (1990) yapmış olduğu tez çalışmasında, doğal kurutma ve kondenzasyonlu kurutma yöntemleriyle gürgen (0.15 m³) ile çam (0.17 m³) cinsi kerestelerin kurutulması üzerine yaptığı deneylerin sonuçlarını sunmuştur. Gürgen cinsi kerestelerin neminin temmuz ayında doğal kurutmayla 12 günde % 15'e, kondenzasyon metoduyla 8 günde % 11.5'e düştüğünü; çam cinsi kerestelerin ise aynı ayda yapılan deneylerde neminin doğal kurutma yöntemi ile 10 günde %8'e, kondenzasyonlu kurutmada 8 günde %8'e indiğini tespit etmiştir. Sonuçta; kereste kurutulmasında doğal kurutmanın ekonomik olması avantajının yanı sıra bazı olumsuzlukları beraberinde getirdiğini ortaya koymuştur. Malzemenin dış şartlardan etkilenmesi, kurutmanın kontrol edilemeyeşi ve kurutma süresinin çok uzaması bu

dezavantajlardandır. Kondenzasyonlu kurutma yönteminin doğal yöntemle göre daha tercih edilebilir olduğunu yaptığı deneylerle ortaya koymuştur.

Kantay (1993) “Kereste Kurutma ve Buharlama” isimli kitabında ağaç malzeme kurutma ve buharlama ile ilgili temel bilgileri, kurutma işleminin ağaç malzemenin kullanım alanlarındaki önemini, uygulamada yaygın olarak kullanılan kereste kurutma yöntemlerini açıklamıştır.

Rosen (1995) odun kurutmadaki temel amaç kurutulmuş ürünlerin kalitesinden ödün vermeden kurutma sürelerini azaltmak olduğunu ifade etmiştir. Bunu gerçekleştirebilmek için büzülme, ağaç özelliklerinin değişkenlikleri (farklı cinsler arasında ve aynı cins için) ve yeni aletlerin dizaynını içeren endüstriyel kurutucuların imkânlarından dolayı ısı ve kütle transferi, gerilim ve gerilme gibi uzmanlık alanları bilinmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Langrish (1999) çalışmasında Pang’ın (1994) deneysel olarak elde ettiği verileri kullanarak, karakteristik kurutma eğrisi kavramının radiata çamı kerestesi için uygulanabilirliğini inceleyen teorik bir çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda, kurutma eğrisi kavramının kereste içerisindeki genel olarak görülen psikrometrik fark üzerinde uygulanabilir olduğu görülmüştür.

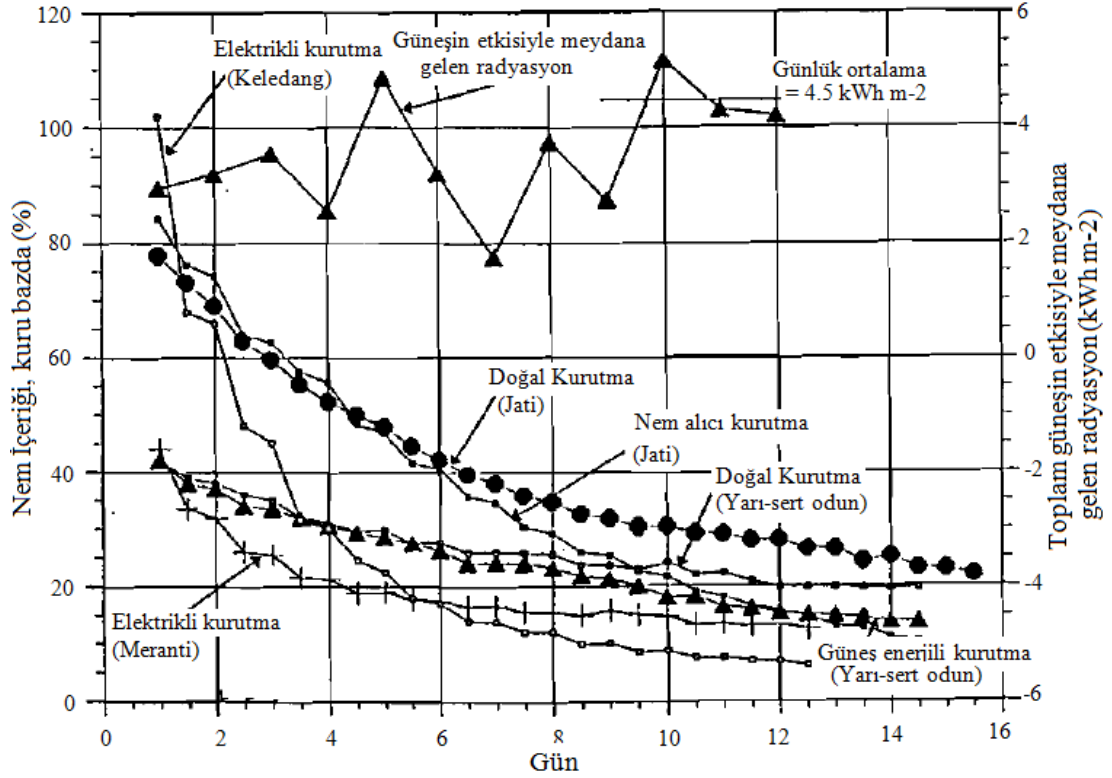
Ong (1999) kesilmiş kereste kalaslarının sıcak hava ile kurutulmasında elektrik rezistanslı kurutucu, güneş enerjili kurutucu ve nem alıcı kurutucu olmak üzere üç farklı kurutucunun performansını incelemiştir. Elektrikli kurutucu ile kurutma yapılan kurutma odasında sert odun (Meranti Pipit) ve yumuşak odun (Keledang) olmak üzere iki çeşit odun üzerinde çalışma yapılmıştır. Fırın deney süresi boyunca 50°C sabit tutulmuş ve saat 08:00’den 16:00’ya kadar çalıştırılmıştır. Meranti Pipit için 9 gün sonra sıcaklık 55°C’ye çıkarılmıştır. Güneş enerjili kurutucuda 1066 mm uzunluğunda, 152 mm genişliğinde, 25 mm kalınlığında keresteler düzgün bir şekilde aralarından hava akımı sağlanacak şekilde istiflenmiştir. Kurutma odasının yan kısmına kurutma hızlarını karşılaştırmak amaçlı doğal kurutma yapılacak şekilde bir takım kereste istiflenmiştir. Malezya’ya özgü yarı sert odun kullanılmıştır. Her sabah

saat 09:00'da güneş enerjili kurutucuda ve kontrol grubundaki keresteler tartılmıştır ve daha sonra akşam saat 17:00'da hava sirkülasyonu durdurulmuştur. Güneş enerjili kurutucudaki kerestelerin nem yüzdesi %13'e düşürüldüğünde deney sonlandırılmıştır. Nem alıcı kurutucu 1.35 m (yükseklik) x 1.5 m (genişlik) x 1.02 m (derinlik) ölçülerinde imal edilmiştir. Kurutma sisteminde 0.64 kw özelliğinde kompresör, 0.18kw gücünde fan ve sıcak hava elde etmek için 3 kw gücünde elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. Kurutma kabini içinde sıcaklık 50°C ve bağıl nem %45 olacak şekilde ayarlanmıştır. Jati olarak bilinen odun çeşitleri kurutulmuş ve karşılaştırma amaçlı aynı cins odunlar doğal kurutmaya da maruz bırakılmışlardır. Çizelge 2.1'de dört çeşit kurutma şeklinde kullanılan ağaç cinsleri, kurutma süreleri, başlangıç ve bitiş nem yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Ong tarafından yapılan çalışmada, dört farklı kurutma çeşidi için belirlenen ağaç cinsleri, kuruma süreleri, başlangıç ve sonuç nemleri (Ong, 1999)

Kurutma tipi	Ağaç Cinsi	Başlangıç Nemi (%)	Sonuç Nemi (%)	Kurutma Süresi (gün)
Elektrikli kurutma	Meranti	44	15	8
	Keledang	102	15	6
Güneş enerjili kurutma	Yarı-sert (Malezya cinsi)	42	15	12
Nem alıcı kurutma	Jati	84	15	12
Doğal Kurutma	Yarı-sert (Malezya cinsi)	42	20	15
	Jati	84	23	15

Kurutma çeşitlerinin nem içeriği - süre ile ilgili grafikleri Şekil 2.4'de verilmiştir. Bu çalışma göstermiştir ki elektrikli kurutma ile en hızlı kurutma süresi ve en düşük nem içeriği elde edilmiştir. Elektrikli kurutmayı nem giderici kurutma izlemiştir. Güneş enerjili kurutmada düşük nem içeriği elde edilmesine rağmen doğal kurutma göre kurutma zamanları arasındaki fark fazla değildir.

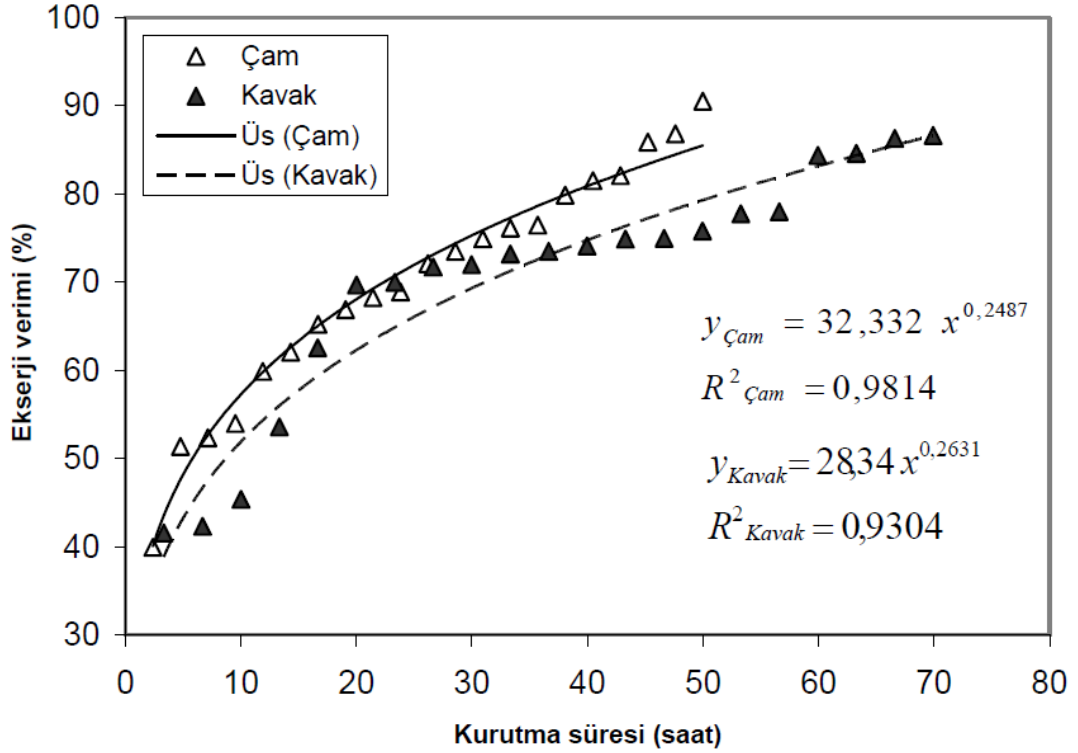


Şekil 2.2. Kurutma süresi boyunca nem içeriği değişimleri (Ong, 1999)

Perree vd. (2000) kuru termometre sıcaklığı 30°C ile 150°C arasında değişebilen ve 3 bar basınca kadar dayanabilen çok geniş bir aralıktaki kurutma şartlarında işlem yapabilmek için yeni bir fırın geliştirmişlerdir. Fırına bağlı çeşitli sensörler vardır ve bu fırın yüksek sıcaklık, doymuş buhar ve yükseltilmiş basınç gibi zor şartlarda başarılı kullanıma sahiptir. Bu fırın aynı zamanda vakum kurutma içinde kullanabilmektedir. Kurutma süresince hava ve su sıcaklıklarıyla kerestelerin farklı yerlerinden sıcaklık değerleri alınmıştır. Sıcaklık aşamalarına 0.2°C aralıkta değişebilen, programlanabilir bir kontrol cihazı ile müdahale edilmiştir. Ürünlerin kuruma süresi boyunca ocak içerisinde basınç ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ön testler neticesinde bu cihazın büyük bir potansiyele sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu cihaz, yeniliğe açık kurutma programları ve odunun viskoelastik ve mekanik absorbe etme davranışının karakterizasyonu ve taşınım özelliklerinin geliştirilmesine ışık tutmaktadır.

Ünsal (2002) tarafından yapılan orjinal çalışmada, konvansiyonel kurutma fırınlarında fırın boyutlarının ve hava hareket hızının kurutma süresi ve kalitesi üzerine etkilerini incelemiştir. Denek olarak kullanılan 50 mm kalınlığındaki çam ve meşe keresteleri yapılan deneylerde, diğer faktörler sabit tutularak, % 40 başlangıç neminden % 8 sonuç nemine kadar, hava hareket hızının 2,5 m/s'den 1,5 m/s'ye düşürülmesiyle kurutulmuş, esas kurutma süresini yaklaşık %7 uzadığı belirlenmiştir. Aynı zamanda kurutma kalitesinde büyük değişiklikler olmadığı tespit edilmiştir. Yine diğer faktörler sabit tutularak sadece fırın boyutlarındaki değişim incelendiğinde, fırın derinliğinin (hava sirkülasyonu yönünde) 9 m den 12 m ye, yüksekliğin 3.3 m den 4.2 m çıkarılmasıyla esas kurutma süresinin %11 uzadığı fakat kurutma kalitesinde kayda değer bir değişimin yaşanmadığı sonucuna varılmıştır.

Ceylan (2007) doktora tez çalışmasında, tasarımı ve imalatı yapılan ısı pompası sistemi destekli endüstriyel bir kurutucuda kerestenin kurutulmasını deneysel olarak analiz etmiştir. Kurutma işleminde kereste türü olarak kavak ve çam keresteleri seçilmiştir. Kavak ve çam keresteleri sırasıyla 1.28 kg su/ kg kuru madde, 0.60 kg su/ kg kuru madde nem miktarlarından 0.15 kg su/kg kuru madde nem miktarına kadar 24 saat çalışma prensibine göre çalışan kurutucuda kurutulmuştur. Kerestelerdeki ağırlık değişimi kurutma esnasında takip edilmiş ve istenilen ağırlığa gelindiğinde kurutma işlemi sonlandırılmıştır. 40°C kuru termometre sıcaklığında, 0.8 m/s hava hızında başlangıç nem miktarı 1.28 kg su/ kg kuru madde olan kavak keresteleri 0.15 kg su/kg kuru maddeye kadar 70 saatte, başlangıç nem miktarı 0.60 kg su/ kg kuru madde olan çam keresteleri ise aynı nem miktarına kadar 50 saatte kurutulmuştur. Bilgisayarda toplanan tüm ölçüm sonuçları enerji, ekserji ve kurutma süresinin analizinde kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda tüm kurutucunun ısıtma tesir katsayısı ortalama 1.86, özgül nem alma oranı ise çam keresteleri için 0.188 kg/kWh, kavak keresteleri için ise 0.243 kg/kWh olarak bulunmuştur. Elde edilen deneysel ve teorik çalışma sonucu elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen kurutma süresine bağlı olarak ekserji kaybının değişimi Şekil 2.3' de gösterilmiştir.



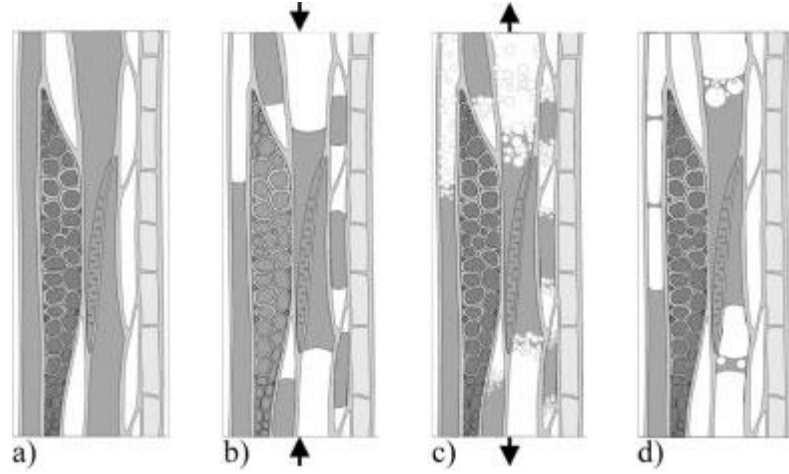
Şekil 2.3. Ekserji veriminin kurutma süresine göre değişimi (Ceylan, 2007)

Serbes (2003) yapmış olduğu çalışmada ağaç kurutma yöntemlerinden klasik kurutma ile periyodik vakumlu kurutma metoduyla çalışan fırınları inceleyerek karşılaştırma yapmıştır. Kayın ve çam cinsi keresteleri kurutarak yaptığı deneylerinde bu iki yöntemle kurutulan kerestelerin özgül ağırlıklarını ve eğilme dirençlerini incelemiştir. Deneylerini alüminyumdan yapılmış klasik kurutma fırınında yapmıştır. Elde ettiği sonuçlar Çizelge 2.2’de gösterilmektedir. Kerestelerin deneye başlamadan önceki değerlerini ve kurutma sonucu elde edilen değerlerini vermiştir. Buna göre ağaç türü bakımından, çamın kayına göre daha çabuk kuruduğu, kurutma yöntemi bakımından ise vakumlu yöntemin klasik yöntemle göre daha hızlı kuruttuğu gözlemlenmiştir. Eğilme direnci incelendiğinde vakumlu kurutma yöntemiyle kurutulan malzemenin klasik yöntemle kurutulana göre daha mukavemetli olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 2.2. Serbes (2003)'in iki farklı kurutma tekniği ile yaptığı çalışmanın sonucu

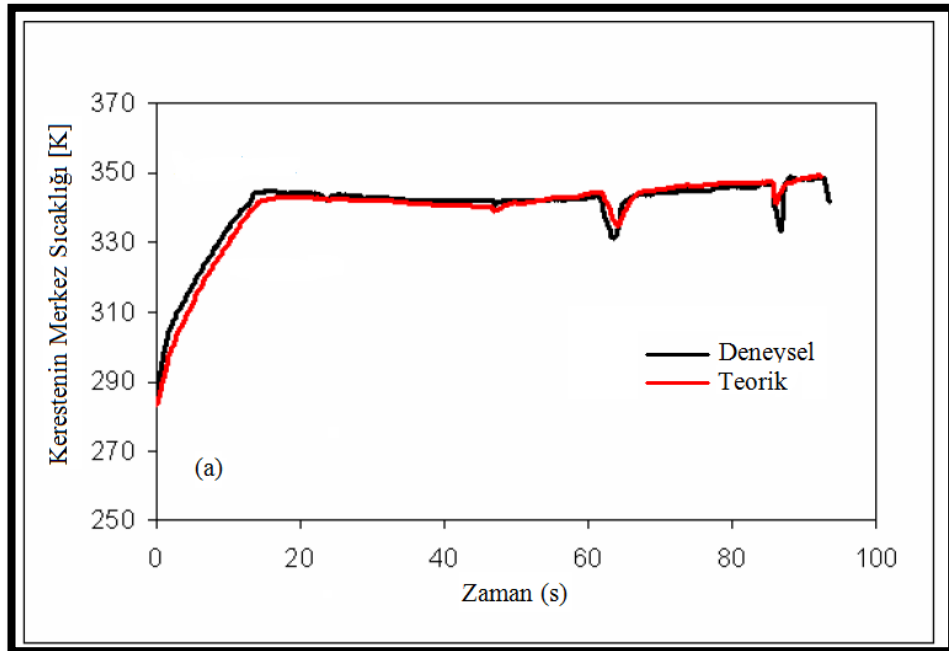
	Ağaç Türü	Doğu Kayını	Sarı Çam
Başlangıç Değerleri	Kurutmaya başlamadan önce ağacın nemi (%)	40	40
	Kurutma sonrası ağaç nemi (%)	9	9
	Kurutma öncesi kalınlık (mm)	35	35
Klasik Kurutma	Kurutma Sıcaklığı (°C)	60-45	60-50
	%9 Nemde Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	0.68	0.50
	Eğilme Dirençleri (N/mm ²)	12.789	9.287
	Kuruma süresi (gün)	18	10
Vakumlu Kurutma	Kurutma Sıcaklığı (°C)	50	40
	Vakum Basıncı (mmBar)	550	450
	%9 Nemde Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	0.78	0.55
	Eğilme Dirençleri (N/mm ²)	16.222	13.587
	Kuruma süresi (gün)	7	4

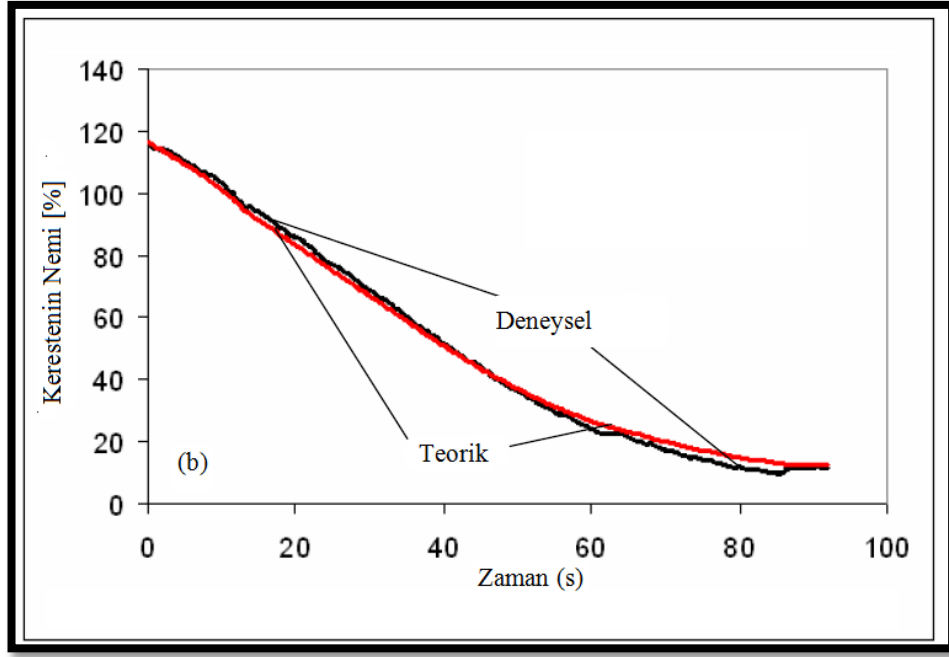
Stahl ve Bentz (2004) kurutma süresini kısaltmak ve daha düşük oranda nem artışı elde edebilmek, dolayısıyla enerji tüketimini ve maliyetini düşürmeyi amaçlamıştır. Bunun için I/D işlemi (incubation-decompression process) denilen, mekanik (basıncılı hava) ve termal işlemleri birleştiren bir yöntem geliştirerek geleneksel kurutma tekniğine alternatif bir kurutma tekniği getirmişlerdir. Deneyleri 3 m uzunluğunda, 35 cm çapında ve 10 MPa basınçta kayın, meşe, ladin ve çam örnekleri üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Basınç işlemi sonrası odun yapısındaki değişimler incelenmiş ve fotoğraflarla dokümanite edilmiştir. Bunun yanı sıra geçirgenlikteki değişimler ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Şekil 2.4'de I/D işleminin aşamaları şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.4. I/D işleminin aşamalarının şematik gösterimi (a) I/D işlemi öncesi, (b) inkübasyon boyunca, (c) basıncın boşaltılması süresince, (d) I/D işlemi sonrası sıvı doygunluğu (Stahl and Bentz, 2004)

Berberovic (2007) yapmış olduğu master çalışmasında kütle ve ısı transferi denklemlerini kullanarak klasik kurutma fırınları için bir matematiksel model meydana getirmiştir.





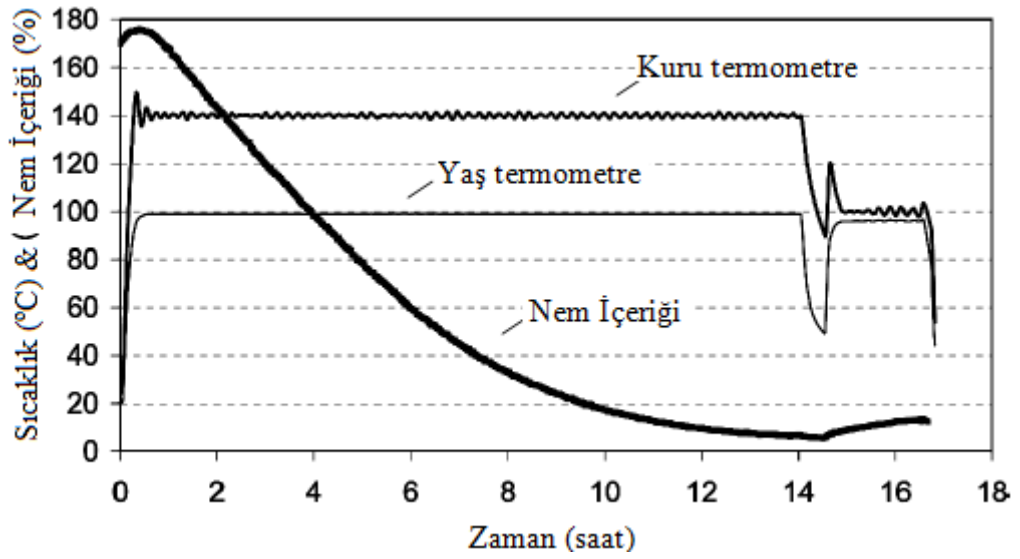
Şekil 2.5. Kurutma esnasında (a) kerestenin merkez sıcaklığı değişimi, (b) kerestenin ortalama nem değişimi (Berberoviç, 2007)

Klasik kurutma fırınında, atmosfer basıncı altında 500 adet kısa boylu keresteyi kullanarak deneysel çalışma yapmıştır. Elde edilmiş olan deneysel ve teorik verilerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Teorik ve deneysel sonuçlarından bir tanesi Şekil 2.5'de grafikte görülmektedir.

Haque (2007) radiata çamı kerestesi için belirli yüksek sıcaklık değerlerinde ve kızgın buharla kurutma şartlarında ısı ve kütle transfer katsayılarını belirlemek amaçlı çalışma yapmıştır. Deneyler Şekil 2.6'da gösterilen yalıtılmış bir kabin içerisinde gerçekleştirilmiştir. T tipi termokupl kullanılmış ve termokuplların geçtiği deliklerde sızdırmazlık sağlanmıştır. Deneyler sonucunda Şekil 2.7'de gösterilen zaman- sıcaklık&nem grafiği elde edilmiştir. Kurutma şartları olarak kuru termometre ve yaş termometre sıcaklıkları sırasıyla 140 ve 99°C ve hava hızı 1 m/s alınmıştır. Başlangıç nemi %170 olarak tespit edilmiş ve yaklaşık 14.5 saat sonunda % 6 nem yüzdesine indirilmiştir. Ardından 0.5 saat soğutma ve 2 saat buharlama neticesinde nem yüzdesi %12 'ye yükselmiştir.



Şekil 2.6. Örnek kereste, yalıtılmış kabin ve termokupllar (Haque, 2007)



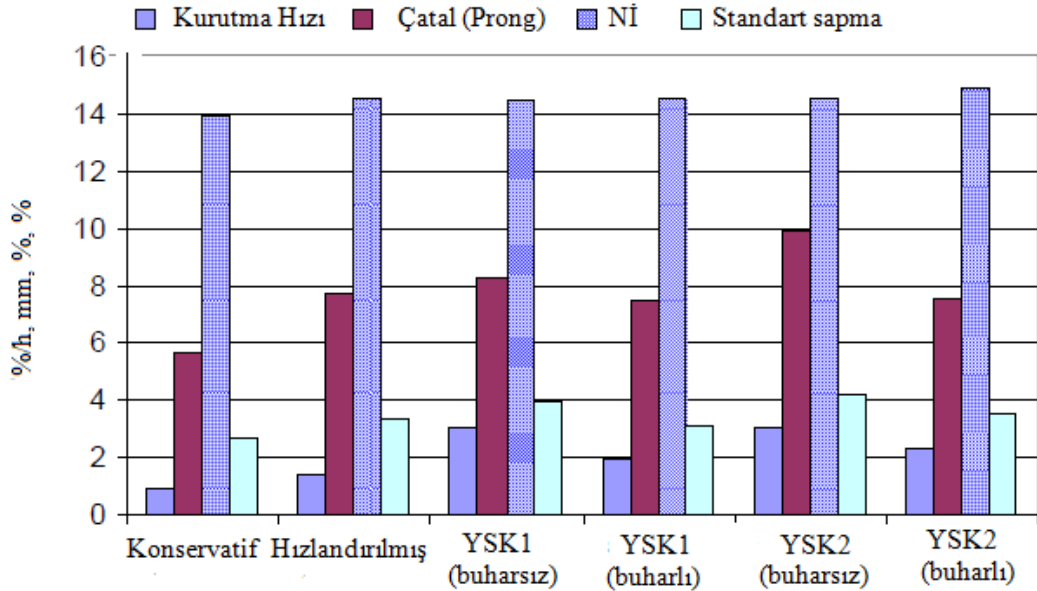
Şekil 2.7. Zamana bağlı sıcaklık ve nem içeriği grafiği (1 m/s hızda, kuru termometre sıcaklığı 140 °C, yaş termometre sıcaklığı 99 °C, atmosfer basıncında) (Haque, 2007)

Cai ve Oliveira (2008) 5x10x244 cm boyutlarında ladin ve çam keresteleri için yüksek sıcaklıkta kurutma (YSK) işleminin etkisini incelemiştir. Kuru termometre sıcaklıkları 60°C - 110°C arasında değişen, Kontrol 1 (korunumlu), Kontrol 2 (hızlandırılmış), YSK1 (104 °C) ve YSK2 (110 °C) olmak üzere 4 farklı aşama için değerlendirme yapılmıştır. YSK1 ve YSK2 programlarının her birine buharsız ve

buharlı nemlendirme olmak üzere iki işlem daha uygulanmıştır. Kuru kereste için kuruma değerleri, iç gerilmeler, eğilme dayanımı, çarpılma, elastiklik modülü belirlenmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

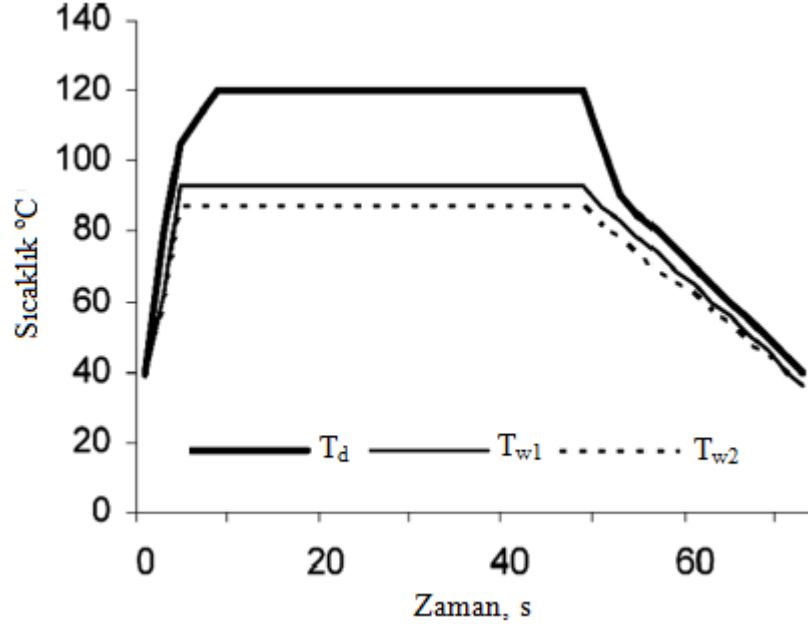
- 1- Yüksek sıcaklı kurutmadaki (YSK1 ve YSK2 programları) kurutma hızları konservatif programdaki kurutma hızlarına göre 2.2 ile 3.5 kez daha hızlıdır.
- 2- Buharlı YSK1 ve YSK2 işlemlerinde gözlemlenen iç gerilmeler, konservatif programda gözlemlenenlere göre büyük ancak hızlandırılmış programdakilere göre küçüktür (Kontrol 2 program). Buharlı YSK1 ve YSK2 programları arasında son nem içeriğinin standart sapmaları konservatif programlardaki değerlerden daha yüksek bulunmasına rağmen hızlandırılmış programdaki gözlemlenen değerlere göre elde edilen fark kayda değer bulunmamıştır.
- 3- Çarpılma genel olarak, buharsız YSK2'nin dışında diğer YSK programlarında azaldığı gözlemlenmiştir.
- 4- YSK1 ve YSK2 programlarında elastisite modülü ve eğilme dayanımı değerlerinde önemli bir azalma olmamıştır.

Kullanılan altı programda çam ve ladin kerestesi için ortalama kurutma hızları, iç gerilmeler ve nem içeriği (Nİ) dağılımı Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Kurutma hızlarında, gerilmelerde ve nem içeriklerindeki karşılaştırmalar (Cai ve Oliveira, 2008)

Möttönen ve Kärki (2008) çalışmalarında yüksek sıcaklıkta huş (*Betula pendula*) kerestesinin kurutulması esnasında psikrometrik fark, kereste kalınlığı ve başlangıç nem oranı gibi durumların kereste rengine etkisini incelemeyi amaçlamıştır. 25 mm x 125 mm ve 50 mm x 125 mm ölçülerinde keresteler yüksek sıcaklık kurutma deneyleri için seçilmiştir. Numunelerin uzunluğu 1500 mm olarak belirlenmiştir. Biçilmiş kerestelerin bir kısmı, beş gün 15°C'lik suda ıslatma işlemine tabi tutulmuştur. Buradaki amaç, ağacı kurutmadan önceki odunun nem oranını dengelemek ve başlangıç nem içeriğinin kurutma üzerine etkisini incelemektir. Ortalama nem içeriği işlem görmüş ve görmemiş malzemelerde sırasıyla %46.3 ve %57.6 olarak alınmıştır. Yüksek sıcaklıkta kurutma 120°C'de gerçekleşmiştir (Şekil 2.9.). Kurutma süresi, en kalın olan keresteye (50 mm) göre belirlenmiştir. Klasik yüksek sıcaklıklarda kurutmanın aksine, kurutma işlemleri havalandırma kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak, psikrometrik farktaki artışın kereste renginin canlılığını artırdığı ve kerestedeki kırmızılık ve sarılığın da azalttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda kereste yüzeyi ile iç kısımdaki renk farkının arttığı görülmüştür.



Şekil 2.9. Deneyde kullanılan yüksek sıcaklıkların zamanla ilişkisi (T_d: Kuru termometre sıcaklığı, T_{w1}: Düşük kurutma enerjisinde yaş termometre sıcaklığı, T_{w2}: Yüksek kurutma enerjisinde yaş termometre sıcaklığı) (Möttönen and Kärki, 2008)

Korkut ve Budakçı (2009) yaptıkları deneysel çalışmada , ısıtıl işlemin odun işlemlerine olan etkisini anlamak amacıyla, Rowan (*Sorbus aucuparia L.*) odunun mekanik özelliklerinde ısıtıl işlemin etkisini araştırmışlardır. Numuneler, 2 -10 saat zaman dilimleri arasında değişen, 120, 150 ve 180 °C sıcaklık seviyelerine maruz bırakılmışlardır. Isıtıl işlem uygulanmış örneklerin basma direnci, elastiklik modülü, eğilme direnci, janka sertliği, çarpmada eğilme direnci, liflere dik çekme direnci, liflere paralel çekme direnci, kesme direnci, yarıma direnci içeren mekanik özellikleri belirlenmiştir. Numuneler, 10 saat 180°C 'ye maruz bırakılmış ve çarpmada eğilme direnci, liflere dik çekme direnci ve yarıma direnci mekanik özelliklerinin maksimum azalma değerleri sırasıyla %34.12, 28.40 ve 26.37 olarak bulunmuştur. Sonuçlar, işlenmiş örneklerin kontrol örneklerden daha düşük mekanik özellikleri sahip olduğunu göstermiştir. Kontrol örneklerin ve 10 saat müddetle 180 C'de işlenmiş örneklerin mekanik özelliklerinin arasındaki istatistiksel önemli farklılık $P=0.05$ olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, örneklerin direnç değerleri sıcaklık ve zamanın artmasıyla azalmıştır. En küçük azalma, 2 saat 120 °C sıcaklık işleminde olduğu belirlenmiştir. Sonuçlara göre en iyi ısıtıl işlem uygulamasının 120°C ve 2 saatlik işlemlerde olduğu belirlenmiştir. Çizelge 2.3.'de her bir işlem ve ölçüm parametresi için kontrol ile ilgili değerlerin yüzde azalması gösterilmiştir.

Yapılan araştırmalarda, kereste kurutma üzerine yapılan çalışmaların çoğunun klasik yöntemle atmosferik şartlarda olduğu gözlemlenmiştir. Ancak kerestenin atmosferik basıncın üstünde yüksek sıcaklıklarda kurutulması ile ilgili çalışmaya fazla rastlanamamıştır. Günümüzde enerjinin büyük önem kazanmasıyla birlikte yapılan kurutma çalışmalarında kurutma süresinin de önemi artmıştır. Kurutma işlemlerinde süreyi kısaltmanın en önemli yolu kurutma sıcaklığını arttırmaktır. Bu araştırmada özel tasarlanmış bir kurutma fırını ile kademeli ısıtma yaparak yüksek sıcaklıklarda çam kerestesi kurutulmuştur.

Çizelge 2.3. Farklı sürelerdeki ısıt işlemini takiben Rowan (*Sorbus aucuparia* L.) odununun mekanik özelliklerinin azalma yüzdesi.

Isıl İşlem (%)	Zaman (%)	Basma Direnci (%)	Eğilme Direnci (%)	Elastiklik Modülü (%)	Janka Sertliği		
					Enine Kesit (%)	Radyal (%)	Teğetsel (%)
120°C	2s	10.82	5.29	6.14	1.98	4.06	0.79
	6s	11.84	6.49	7.55	2.76	5.87	0.80
	10s	13.32	7.55	8.33	3.28	7.63	1.18
150°C	2s	15.06	8.65	8.80	4.84	8.06	4.80
	6s	16.01	9.01	9.39	7.69	11.03	4.90
	10s	17.97	11.20	9.78	9.42	11.48	5.68
180°C	2s	19.00	12.19	11.39	10.27	12.63	6.75
	6s	21.12	13.21	12.93	10.89	15.52	6.98
	10s	24.33	13.42	19.91	12.83	15.89	11.39
Isıl İşlem (%)	Zaman (%)	Çarpmada eğilme direnci (%)	Liflere dik çekme direnci (%)	Liflere paralel çekme direnci (%)	Kesme direnci (%)	Yarılma direnci (%)	
120°C	2s	2.39	6.63	3.90	0.94	3.79	
	6s	10.60	8.73	6.29	1.73	16.41	
	10s	13.91	12.58	10.64	1.91	19.63	
150°C	2s	14.83	13.17	12.96	3.07	21.36	
	6s	16.33	13.65	13.47	4.62	22.79	
	10s	18.38	13.73	16.89	4.66	24.11	
180°C	2s	21.93	14.80	21.02	4.85	24.75	
	6s	32.25	16.76	22.93	5.64	25.96	
	10s	34.12	21.67	28.40	5.92	26.37	

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

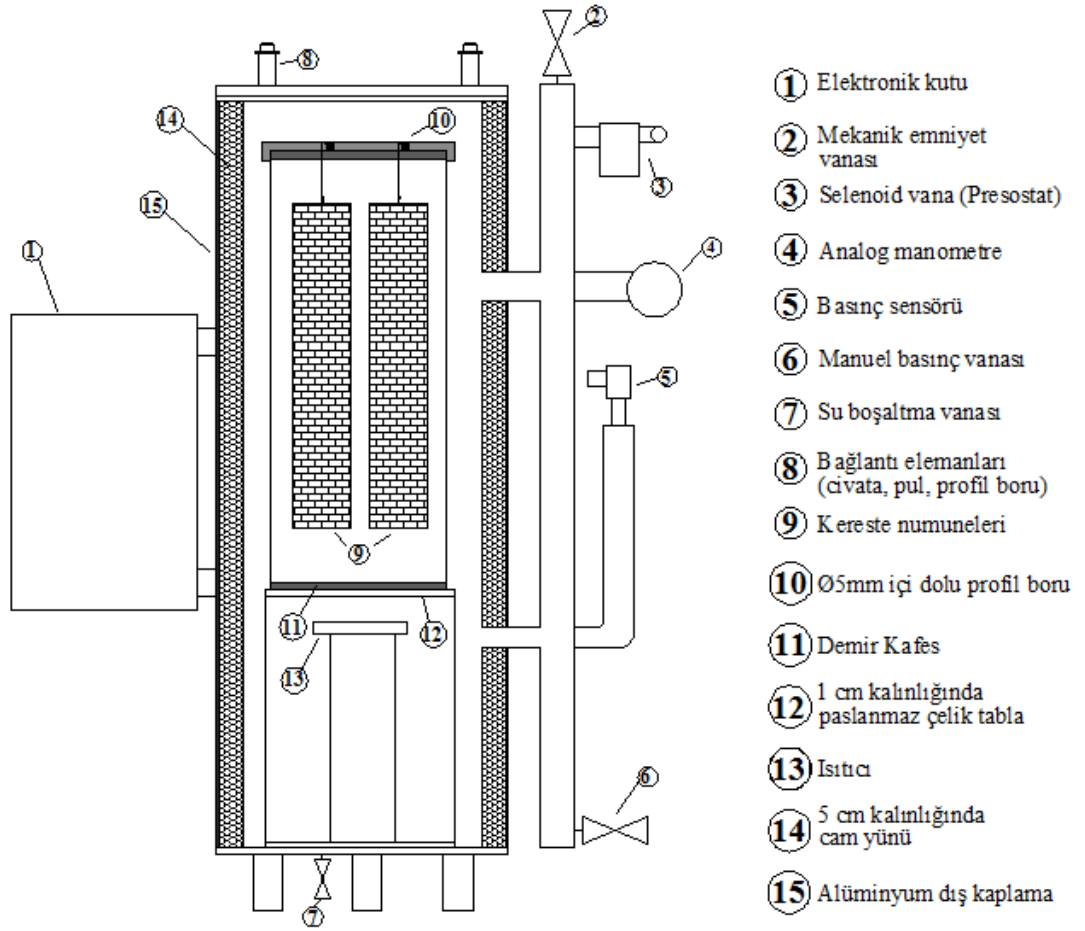
Bu çalışmada; yüksek sıcaklara dayanabilen, veri toplama ünitesi ile desteklenmesi yapılarak çam cinsi ağaç kerestelerinin kuruma sürelerini kısaltmak amacıyla atmosfer basıncı üstünde ve yüksek sıcaklıklarda kurutulması amaçlanmıştır. Deneylede elde edilen veriler data logger veri alma ve depolama ünitesi yardımı ile kayıt altına almıştır. Genel olarak deneysel çalışmamız kurutma işleminin gerçekleştiği kurutma fırını, verilerin depolandığı ve kaydedildiği veri toplama ünitesi (data logger) ve bir bilgisayar takımından oluşmaktadır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

3.1.1. Kurutma fırınının yapısı

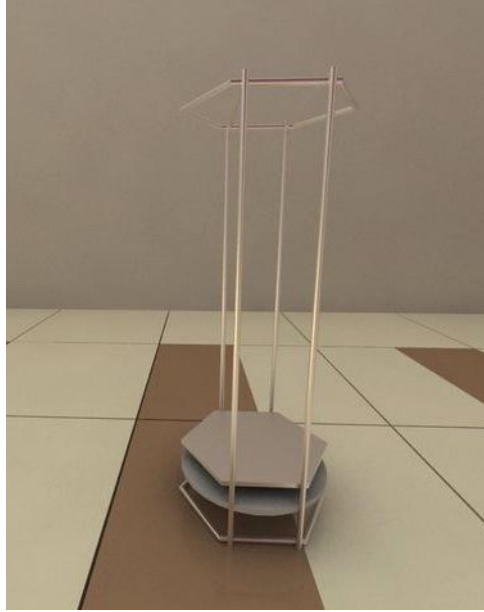
Bu çalışmanın deney kısmını oluşturan kurutma fırını dış çapı 27 cm çapında, 60 cm uzunluğunda olup yaklaşık 0.13 m³ lük hacme sahiptir (Şekil 3.2.). Kurutma fırınının gövde bölümünün iç kısmı paslanmaz çelik, dış kısmı alüminyum kaplamadan imal edilmiştir. Kurutma fırını 5 cm'lik cam yünü ile izole edilmiştir.



Şekil 3.2. Kurutma fırınının şekli

Kerestelerin fırın içerisinde asılı kalmasını sağlayan gövdenin iç kısmında bir kafes bulunmaktadır. Bu kafesin alt kısmında ortamdaki havayı ısıtan bir rezistans ve rezistansın 3-4 cm üst kısmında kerestelerin direk radyasyona maruz kalmasını engelleyen çelik bir tabla bulunmaktadır. Rezistans ve tabla, kafes üzerinde aşağı-yukarı doğru hareket edebilmektedir. Kurutma fırınının iç kısmındaki kafes Şekil

3.3'de şematik olarak verilmiştir. Kereste numunelerini fırın içerisindeki kafesin içinde asılı tutmak için paslanmaz çelikten yapılmış 1 cm çapında silindirik metal çubuklar kullanılmıştır. Deney düzeneği, sıcaklık ayar ve kontrol sistemi, basınç ayar ve kontrol sistemi, kereste numunelerinin hazırlanması ve deney verilerinin alınması bölümlerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.3. Kurutma fırını iç bölümündeki kafesin şematik gösterimi

3.1.2. Sıcaklık ayar ve kontrol sistemi

Kurutma fırınında, çalış-dur prensibine göre çalışan 500 W'lık rezistans (dirençli ısıtma cihazı) kullanılmıştır. Fırının içerisindeki havanın ısıtılması bu rezistans tarafından sağlanmıştır. İstenilen sıcaklık değerleri, Şekil 3.4'de gösterilen sıcaklık-basınç gösterge ve ayar panelinden ayarlanmaktadır.

Ortam sıcaklığı istenilen sıcaklık değerine geldiğinde, ısı kontrol bölümüne haber gönderen, rezistansın sabit güçte çalışmasını sağlayan gövdenin iç kısmına PT 100 sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Sıcaklık-basınç gösterge ve ayar paneli

3.1.3. Basınç ayar ve kontrol sistemi

Sistem içerisinde kullanılan akışkanın (havanın) basıncını sabit tutmağa yarayan elektrikli presostat (selenoid vana) kullanılmıştır. Kullanılan presostat 10 bara dayanıklıdır. Sistem için maksimum presostat ayar basıncı her sıcaklık için;

$$P_{Pre} = P_{doy^{\circ}C} - P_{ort} \quad (3.1)$$

denkleminde hesaplanmıştır. Bu formülde;

P_{Pre} : Presostat ayar basıncı

$P_{doy^{\circ}C}$: Her işlem sıcaklığı için doyma basıncı

P_{ort} : Ortam basıncı

olarak ifade edilmiştir.

Sistemde 0-40 bar basınç sensörü kurutma fırınının yanında bulunan tahliye borusunun üstünde yer almaktadır. Kumanda panelinde basınç kontrol cihazı bu sensörden aldığı bilgi ile yine kurutma fırının yanında bulunan tahliye borusunun üstündeki basınç tahliye selenoidini kontrol ederek, sistemin basıncını istenilen değerde tutacak şekilde ayarlanmıştır. Aynı zamanda kurutucu içindeki basıncın,

dijital kontrolün yanında gözle takip edilmesi için analog manometre kullanılmıştır. Analog manometre, presostatın alt kısmında bulunan tahliye borusunun üzerine monte edilmiştir. Tahliye borusunun üzerinde ve en alt kısımda içerideki basıncı dışarı çıkarmak için elle kontrol edilebilen basınç tahliye vanası bulunmaktadır. Kereste içerisindeki nem buharlaştıktan sonra yoğunlaşarak su haline gelebilmektedir. Bundan dolayı, fırının içerisinde alt kısımda biriken suyun tahliyesini yapması için fırının alt bölümüne su tahliye vanası koyulmuştur. Kurutma sisteminin basınç bölümünü oluşturan malzemelerin markaları ve özellikleri hakkında bilgiler Çizelge 3.1’de sunulmuştur.






3.1.4. Ağaç Malzeme (Kereste)

Deney numuneleri olarak, ülkemizde özellikle Karadeniz Bölgesi’nde bol miktarda yetişen ve ağaç işleri endüstrisinde yaygın kullanılan sarıçam (*pinus sylvestris l.*) kullanılmıştır. Çam ağacının işlenmesiyle elde edilen kereste numuneleri Ankara Siteler sanayisinden temin edilmiştir. Deney örnekleri için 25x75x300 mm, eğilme direnci deneyi için 15x50x300 mm ölçüleri esas alınmıştır. Kerestenin manüel olarak nemini ölçmek için ise TESTO 606-1 (Şekil 3.5.) ağaç nem ölçer kullanılmıştır. Bu cihaz % ± 1 hassasiyete sahiptir ve ölçüm aralığı % 0-50 ‘dir. Deney örneklerimizin ortalama nemi %35 olarak belirlenmiştir.

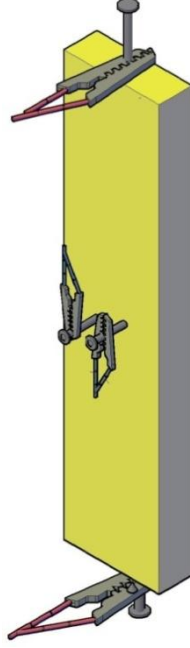


Şekil 3.5. Ağaç nem ölçer

Çizelge 3.1. Kurutma sisteminin basınç bölümünü oluşturan malzemeler

CİHAZ	MARKA	ÖZELLİK
Presostat (Selenoid vana)	 <p>Ceme 9912</p>	<p>AC 230V, 13 VA 50 Hz, TF 180 °C</p> <ul style="list-style-type: none"> •Bronz paslanmaz çelik gövde
Basınç sensörü	 <p>Keller PA-21Y</p>	<p>0...10 bar basınç transmitter 4...20mA çıkış sinyali ± 0,25 % hassasiyet</p>
Analog manometre	 <p>Pakkens</p>	<p>0...10 bar hassas ölçüm Ø 40 mm Hassasiyet sınıfı : KL 2.5 – 1.6TF 180 °C TSE 837 uygunluk</p>
Küresel vana	 <p>Duyar</p>	<p>Paslanmaz çelik (dişli) Ø 63 mm -29+230°C</p>
Emniyet vanası	 <p>Duyar</p>	<p>Giriş/Çıkış: 1/2 ” Basınç ayar aralığı:2-12 bar Max. akışkan sıc. : 200 °C</p>

Kereste numunelerimize volt problemleri Şekil 3.6’de gösterildiği gibi kerestenin üst bölgelerine çakılmış çivilerle tutturulmuştur. Aynı şekilde kerestenin fırına koyulmadan önce, sonra ve işlem sırasındaki nemini takip etmek için nem problemleri kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Kereste numunesine volt ve nem problemlerinin bağlantısının şematik gösterimi


Higroskopik bir malzeme olan kerestenin nemini muhafaza etmek oldukça güçtür. Kerestelerdeki nemin deney şartlarında istenilen yüzdenin altına düşmesi deney düzenini bozmaktadır. Bundan dolayı, kerestelerin hızlı nem kaybını önlemek için, kerestelerimiz soğutucu kapalı bir dolapta muhafaza edilmiştir.

3.1.5. Deney verilerinin alınması

Sıcaklık ve basınç ayarlamaları ve kontrolleri, kereste numunelerine bağlı olan voltaj problemlerindeki gerilimlerin elektronik bir devrede işlenerek data logger cihazına gönderilmesi, deney düzeneğinin yan kısmına monte edilmiş elektronik kutu içerisinde elektronik bağlantılar tarafından sağlanmıştır. Kereste numunelerinin

içerisindeki gerilimlerin dijital olarak gösterilmesi HIOKI 8420-51 data logger cihazı tarafından sağlanmıştır. Data logger (Çizelge 3.2.); 8 kanallı, ayarlanabilir kayıt aralığı, bilgisayara bağlanabilme ve dijital I/O ünitesine sahip bir cihazdır. Deney süresi ve aynı zamanda kerestenin gerilimine ait datalar hem cihazın kendi ekranından gözlemlenmekte hem de bilgisayar ekranından gözlemlenebilmektedir.

Çizelge 3.2. Data logger cihazının tanıtımı

CİHAZ	MARKA	ÖZELLİK
Data logger	 HIOKI 8420-51	<ul style="list-style-type: none">• Dalga formu, curser, otomatik set up, kayıt, nümerik hesaplama• Ayarlanabilir kayıt aralığı• Isı, voltaj, nem, pulses, rotations kayıttı

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi, veriler hem data logger cihaz üzerinde hem de bilgisayar ekranında gözlemlenebilmektedir.



Şekil 3.7. Deney verilerinin data logger cihaz ve bilgisayar ekranında gözlemlenmesi

3.1.6. DeneYlerin Yapılışı

Bu çalışmada farklı basınçlarda ve sıcaklıklarda çalışabilen, voltaj kayıt cihazına (data logger) bağlantısı yapılabİlen deneysel bir kurutma fırını tasarlanarak imal edilmiştir. Kurutulacak çam keresteleri orta nemli şekilde temin edilmiş ve istenilen nem düzeyini korunması amacıyla naylonla üzerleri kapatılarak – 15°C’de çalışan dondurucuya konulmuştur.

DeneYler homojen bir sıcaklığa sahip olan deney laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8.). DeneY numuneleri, kurutma fırınına konulmadan önce hassas terazide ağırlıkları, kumpas ile uzunluk, genişlik ve kalınlıkları ölçülmüştür. Manuel nemölçer ile belirli noktalardan ölçümler alınarak ortalama nem %35 olarak belirlenmiştir. Bu veriler, EK-1 ve EK-2’de verilen formlara kaydedilmiştir. Kurutma fırını 50 °C’ye kadar ısıtıldıktan sonra keresteler kafes içinde asılı duracak şekilde bir tel yardımıyla 1 cm’lik profil borulara bağlanarak fırın içine yerleştirilmiştir. Bu profil borular kafesin üstün oturtulacak şekilde imal edilmiştir. DeneY numuneleri en fazla 3 adet olmak üzere 0,13 m³’lük fırına dik olacak şekilde kafes üstüne asıldıktan sonra vanalar kapatılmıştır. Fırın kapağı cıvata içine geçirilmiş somun ve pullar yardımıyla sızdırma yapılmayacak şekilde sıkıca sıkılarak kapak kapatılmıştır.



Şekil 3.8. DeneY düzeneğinden bir görüntü

Farklı çalışma sıcaklıklarında ve basınçlarda sarıçam kerestesinin kurutulması için farklı deneyler yapılmıştır. Keresteler istenilen kuruluğa geldiğinde ısıtıcı kapatılmış ve soğutma evresi başlamıştır. Cihaz belirli sıcaklığa geldiğinde numuneler fırından çıkartılarak deney sonlandırılmıştır. Sarıçam numuneleri için deneyler, çalışma sıcaklığı ve basıncı olmak üzere iki farklı çalışma şartı için yapılmıştır.

- **Kurutma fırının çalışma sıcaklığı:** Kurutma fırınında kurutma sıcaklıkları, 105°C, 125°C ve 135°C olmak üzere üç ayrı sıcaklıkta deney yapılmıştır ve her deneyde kademeli olarak ısıtma yapılmıştır. Fırın içerisindeki sıcaklık elektronik kutu içerisindeki ısı kontrol ünitesi ile istenilen sıcaklıklarda tutulmuştur. Isı kontrol ünitesi sıcaklık sensörü ve sıcaklık kontrol rölesinden meydana gelmektedir.
- **Kurutma fırının çalışma basıncı:** Basınç değeri deney sıcaklığının doyma basıncına göre ayarlanmıştır. Kurutma fırınında 105°C, 125°C ve 135°C deneyleri için çalışma basınçları sırasıyla 0.3 bar, 1.1 bar ve 1.7 bar alınarak kurutma deneyleri yapılmıştır.

Kurutma işlemleri ısıtma ve soğutma devresi olmak üzere iki farklı periyotta gerçekleşmiştir.

- **Isıtma periyodu:** Cihazın çalışmaya başlamasıyla birlikte Data Logger cihazı da çalıştırılmıştır. EK-1'de verilen deney raporuna her 30 dakikada bir sıcaklık ve basınç değerleri yazılmıştır. Deney numunesi ve deneyle ilgili bilinmesi gereken bilgiler EK-2'de verilen rapora kaydedilmiştir. Kurutma işlemi sırasında, fırın içerisindeki ortam basıncı ayarlanan gösterge basınç değerini geçtiğinde basınç sensörü uyarılmasıyla birlikte presostat açılarak ortam basıncı istenilen değerde tutulmuştur. Kurutma işleminin sonlarına doğru basınç değerleri kademeli olarak her 15 dakikada bir 0.2 bar düşürülmüştür. Ortalama nemi yaklaşık % 35 olarak alınan sarıçam deney numuneleri % 11-12 nem aralığına geldiğinde cihaz durdurulmuş ve vanalar açılmıştır. Soğuma periyodunda %1-2 nem değeri daha azalarak %10 sonuç nem değeri elde edilmektedir.

Deneyleerde kullanılan sarıçam kerestenin özellikleri ve uygulanan deneysel çalışma şartları Çizelge 3.3’te verilmiştir.

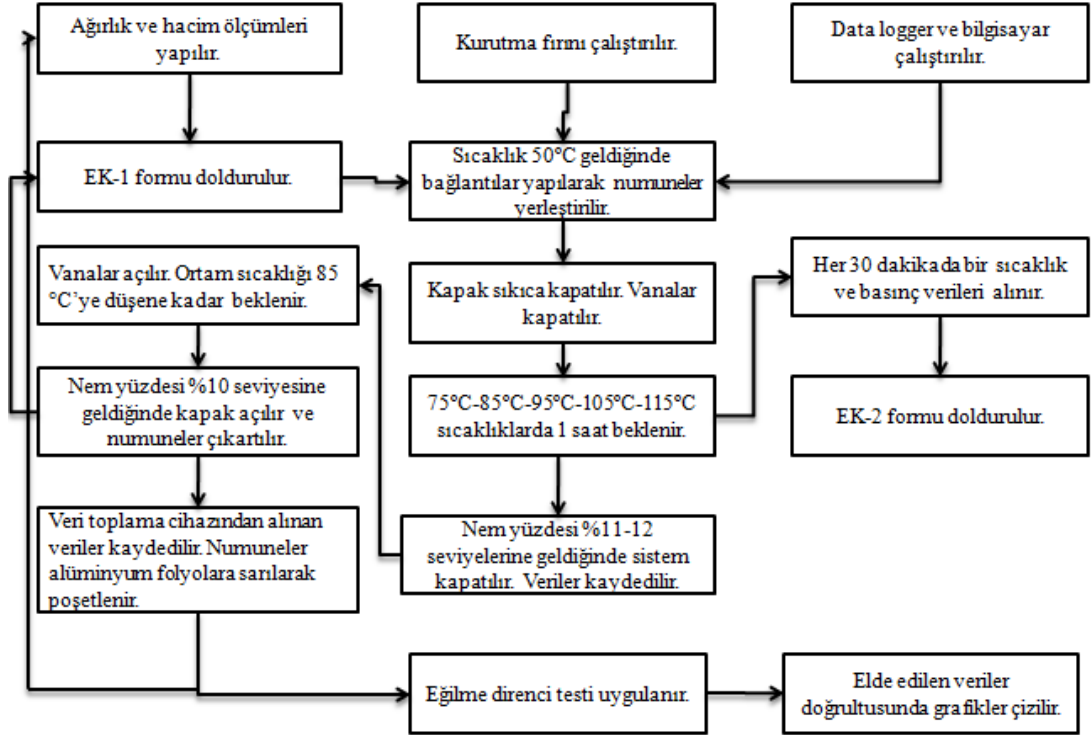
Çizelge 3.3. Keresteler için deneyler yapılırken kullanılan değerler

AÇIKLAMA		Fırının Çalışma Sıcaklığı ve Basıncı		
		1.Deney	2.Deney	3.Deney
Isıtma	Kurutma sıcaklığı [°C]	105	125	135
	Presostat basıncı [bar]	0.3	1.1	1.7
Soğuma	Fırın içi son sıcaklık [°C]	85		
	Çalışma basıncı [bar]	Atmosfer basıncı (vanalar ve kapak açık)		
Kereste (işlem öncesi)	Boyutları [mm]	25 x75 x 300 (3 adet)		
	Hacmi [m ³]	0.0016		
	Çam ağırlığı [kg]	0.92		

•**Soğuma periyodu:** Kurutulmuş kereste numunelerinin fırın içerisindeki yüksek sıcaklıklardan hemen dışarıya çıkarılması sakıncalı olduğundan, fırın içerisindeki sıcaklık 85°C’ye düşene kadar kurutulmuş kerestelere fırın içerisinde bekletilmiştir. Bekletme sırasında % 1-2 arasında nemin azaldığı gözlemlenmiş ve sonuç nemi % 10 olarak kaydedilmiştir.

Soğuma işlemi bitirilmesiyle birlikte data logger cihazındaki veriler bilgisayara kaydedilmiştir. Keresteler fırından çıkarıldıktan sonra dış ortamdan kaynaklanan olumsuz durumlara maruz kalmaması için alüminyum folyo ile sarılmış ve poşetlenmiştir. Kerestelerin soğuması gerçekleştikten sonra ağırlıkları hassas

terazide, boyutları kumpas ölçü aleti ile ölçülmüştür. En son işlem olarak kerestelere eğilme direnci testi uygulanarak elde edilen veriler kaydedilmiştir. Kurutma deneylerine ait iş akış şeması Şekil 3.9’da verilmiştir.



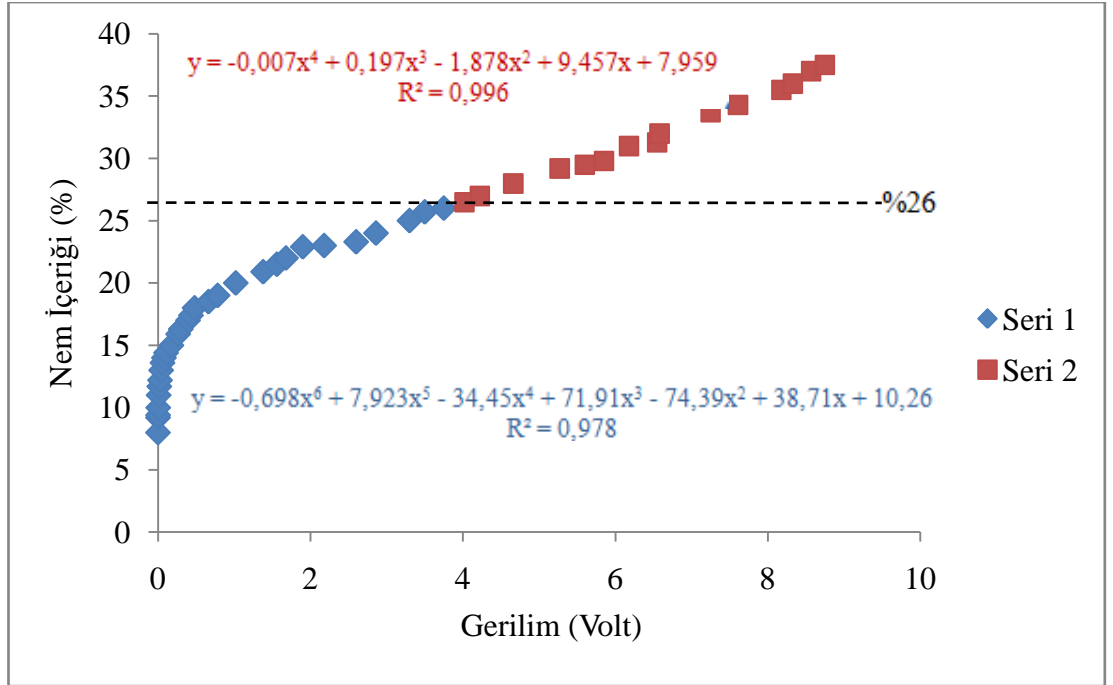
Şekil 3.9. Kurutma deneyi iş akış şeması

3.2. Yöntem

3.2.1. Ağaç malzemesinin neminin bulunması

Ağaç malzeme içerisindeki nem yüzdesini bulmak için birçok yöntem mevcuttur. Ancak kurutma uygulamalarında kurutma yöntemiyle ve elektrik nemölçerlerle tayini yapılmaktadır. Elektrikli nemölçerler odunun elektriksel özelliklerinden yararlanarak imal edilmektedir. Elektrikli nemölçerlerin bir kısmını oluşturan direnç tipi nemölçerler doğru akım kullanırlar. Direnç tipi nemölçerlerin elektrik devresindeki direnç elemanların elektrotlar teşkil etmekte ve bunlar oduna batırılmakta veya çakılmaktadır (Kantay, 1986).

Bu çalışmada, sarıçam keresteleri kurutulmadan önce %8 – 40 nem içeriği aralığında her %1'lik kademede önce Testo nemölçer ile nem içerikleri saptanmış, daha sonra aynı yerlerden multimetre (avometre) ile gerilim değerleri ölçülmüştür. Elde edilen nem içerikleri ve bu değerlere karşılık gelen gerilim değerleri kullanılarak grafikler çizdirilmiş ve denklemler elde edilmiştir. Ağacın anatomik yapısından dolayı, yaş halden lif doygunluğu nemine kadar (%35-26) seri 1 denklemi, lif doygunluğu neminden kurutmanın son aşamasına kadar için (%26-10) seri 2 denklemi kullanılmıştır (Şekil 3.10.).



Şekil 3.10. Sarıçam ağacı cinsinin nem içeriği-volt grafiği

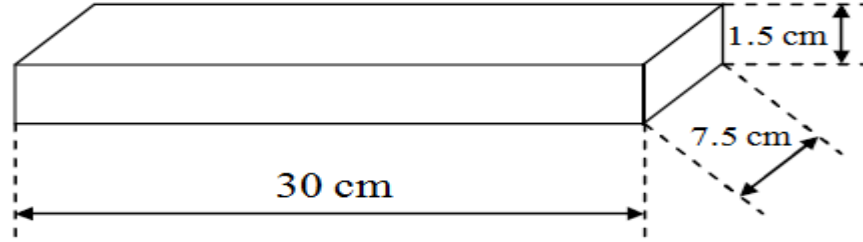
3.2.2. Özgül ağırlık değişimi

Kurutma öncesi ve sonrası özgül ağırlığını tespit etmek amacıyla, deney numunelerinin ağırlıkları TS 2471 ve TS 2472' de belirtilen esaslara uygun olarak hassas terazi ile tartılıp, kurutma öncesi ve sonrası nem miktarı ve hacim ağırlık değerleri tespit edilmiştir. Deney numunelerinin hacim değerlerini bulmak için kullandığımız kalınlık, genişlik ve boy ölçülerinin belirlenmesinde kumpas ölçü aleti kullanılmıştır.

Hassas tartı ile tartılarak belirlenen ağırlık sonuçları 1.4' de verilen formülde yerine konarak (özgül ağırlık) hesaplanmıştır (Serbes, 2003).

3.2.3. Eğilme deneyi

Kurutulmuş sarıçam deney örnekleri eğilme testi için 15 x 50 x 300mm ölçülerine getirilmiştir (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Eğilme direnci testi için numune kerestenin boyutları

Deney örneklerine TS EN 310 standardına uygun olarak, universal test cihazında 1000 kgf'lik kuvvetle ve 1.2 N/sn yükselen hızla yükleme yapılarak eğilme deneyi uygulanmıştır. Kuvvet numunelerin orta noktasına gelecek şekilde ayarlanmıştır. Sonuç olarak, eğilme direnci aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{3 F_{\max} L_s}{2 b h^2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.2)$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$L_s = 270 \text{ mm}$$

$$h = 15 \text{ mm olarak alınmıştır.}$$

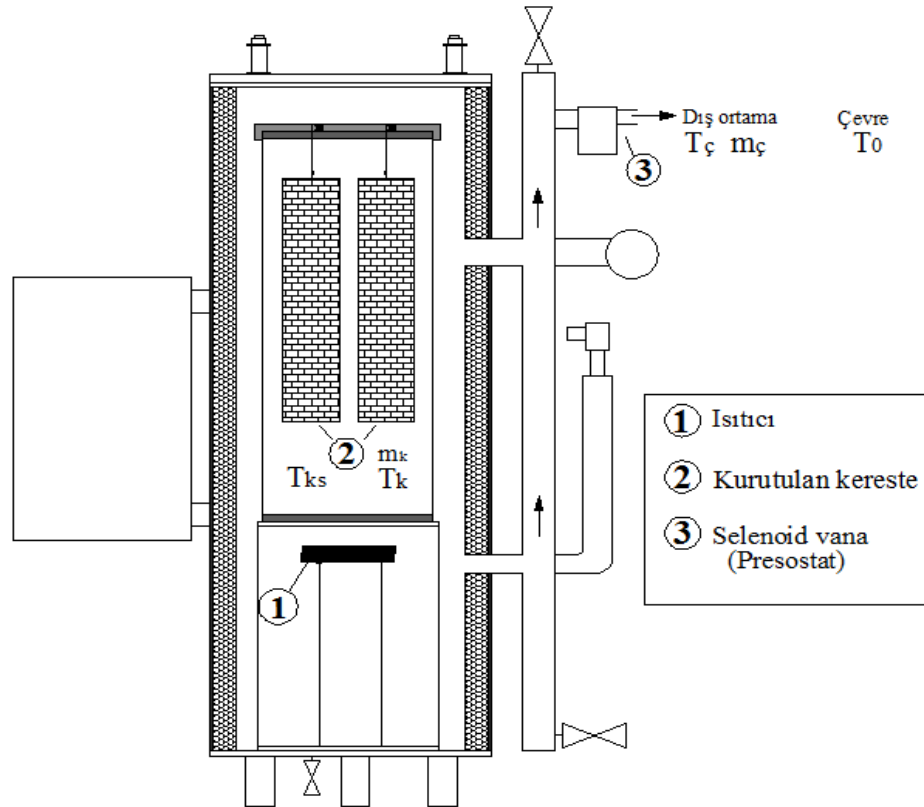
3.2.4. Grafikselleştirme

Yapılan çalışmada; kuruma süresi- nem içeriği ilişkisi, fırın sıcaklığı – fırın içi basıncı ilişkisi, kuruma süresi – fırın sıcaklığı ilişkisi, kuruma süresi – fırın içi basıncı ilişkileri ele alınmıştır. Kereste gerilimi ve kerestenin nemi arasında

kalibrasyon yapılarak, data logger veri toplam cihazıyla kaydedilen gerilim değerleri elde edilen matematiksel formüllerle nem yüzdelere çevrilmiştir. Kereste numunelerin kurutma öncesi ve sonrası özgül ağırlıkları ve eğilme dirençleri hesaplanarak elde edilen bilgiler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

3.2.5. Termodinamik analiz

Mühendislik açısından önemli birçok uygulamada, kontrol hacmi içinde zamanla değişiklik olur. Bu tür sistemlere zamanla değişen açık sistemler veya geçici akışlı açık sistemler adı verilmektedir. Zamanla değişen bir açık sistemi incelerken, hem kontrol hacmi içindeki kütle ve enerji değişimlerini hem de sınırlarındaki enerji etkileşimlerini dikkate almak gerekir (Çengel ve Boles, 2008). Kurutma sisteminin kütle ve enerji analizinde kullanılan semboller Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Kurutma fırında kütle ve enerji denklemlerinde kullanılan bazı sembollerin gösterimi

3.2.5.1. Kurutmanın temel mekanizması

Kurutma işleminde, kurutulacak madde üzerine ısı enerjisi aktarılarak suyun (ya da organik çözücünün) buharlaşması için gerekli buharlaşma gizli ısısı sağlanır. Bu ısı aktarımı sonucu buharlaşan su, madde yüzeyinden kurutucu hava içine difüzenerek uzaklaşır. Böylece ısı aktarımı suyun maddeden buharlaşarak uzaklaşması şeklinde bir kütle aktarımına neden olur. Kurutulacak maddenin içerdiği nem, maddenin yüzeyi üzerinde bir film katmanı olarak kabul edilirse, bu filmin buharlaşma hızı ile ısı aktarım hızı arasında ilişki;

$$\frac{dW}{dt} = \frac{\dot{Q}}{h_{fg}} \quad (3.3)$$

denklemleri ile açıklanabilir. Burada, dW/dt buharlaşma hızı (kg/s), \dot{Q} ısı aktarım hızı (W), h_{fg} suyun buharlaşma gizli ısısı (J/kg) olmaktadır.

Kereste sıcaklığı ile kurutucu havanın sıcaklığı arasındaki fark ne kadar fazla olursa ısı aktarım hızı (\dot{Q}) da o kadar fazla olur. Kereste özgül nem içeriği (ω_k) ile havanın özgül nem içeriği (ω_h) arasındaki fark arttıkça kütle aktarım hızı da artar. Bu durumda kütle aktarım hızı ne arasındaki ilişki;

$$\frac{dW}{dt} = h_d A_k (\omega_k - \omega_h) \quad (3.4)$$

ifadesiyle belirlenebilir. Burada, h_d kütle transfer katsayısı (kg/m²s), A_k kerestenin yüzey alanı (m²), ω_k kereste yüzeyindeki su filminin oluşturduğu özgül nem (kg su/kg kuru hava), ω_h kurutulacak havanın özgül nemi (kg su/kg kuru hava) olmaktadır.

Havanın özgül nemi;

$$\omega_h = \frac{0.622 \phi P_{bd}}{P_t - \phi P_{bd}} \quad (3.5)$$

şeklinde olup burada, φ bağıl nem, P_t toplam basınç, $P_{b,d}$ doyma basıncını ifade etmektedir.

Kurutma hızı, birim zamanda birim yüzeyden katıyı terk eden su miktarı olarak belirlenir. Kuruma hızını teorik yoldan tespit etmek oldukça güçtür. Bu büyüklük, en sağlıklı şekilde deneysel yoldan belirlenir. Deneysel sırasında madde nemi, zaman zaman numune alınarak veya katıdaki serbest nem üzerinden diyagramlara taşınırsa kuruma eğrileri elde edilir. Higroskopik maddelerin kurutulması sabit hızda, kurutma hızının birinci düşüşü ve ikinci düşüşü olmak üzere üç aşamada gerçekleşir.

Sabit hızda kurutma periyodu sırasında katı veya katı taneciklerine ait yüzey ıslaktır. Su, katı yüzeyini uçma veya buharlaşma yoluyla terk eder. Bu esnada kapiler etkiyle katıya olan ısı transferi konveksiyon yoluyla olup, kondüksiyon ve radyasyon ihmal edilebilir. Bu sürekli kurutucular için geçerlidir. Bu periyottaki sabit kuruma hızı dW / dt denklem 3.4 ile hesaplandığı gibi;

$$\dot{m} = \frac{d\dot{W}}{dt} = \frac{h_d}{R_{H_2O} T_H} (P_{H_2O,Y} - P_{H_2O,H}) \quad (3.6)$$

eşitliği yazılabilir. Burada, \dot{m} sabit kuruma hızını, T_H havanın mutlak sıcaklığı, R_{H_2O} su buharının gaz sabiti, $P_{H_2O,Y}$ ve $P_{H_2O,H}$ katı yüzeydeki ve hava içindeki su buharı kısmi basınçlarıdır.

Azalan kuruma hızı periyodunda suyun uçması yüzeyden çekilerek maddenin iç kısımlarına doğru ilerler. Su katı madde içerisinde buharlaşır, buharlar katı maddeyi geçerek yüzeye gelir ve hava akımına karışır. Bu periyotta uzaklaştırılan nemin miktarı az olmakta, dolayısıyla kuruma uzun sürmektedir. Bu periyot, tüm kuruma zamanının önemli bir kısmını almaktadır.

3.2.5.2. Kütle analizi

Kerestenin kütlesi, tam kuru haldeki kereste ağırlığı ile içerdiği su ağırlığının toplamı olarak tanımlanır.

$$m_k = m_{kk} + m_s \quad (3.7)$$

Burada, m_k kurutulacak kerestenin ağırlığı, m_{kk} kurutulacak kerestenin tam kuru ağırlığı, m_s Ağaç malzemedeki suyun kütlesini ifade etmektedir. Bir kontrol hacmine veya kontrol hacminden Δt zaman aralığında olan kütle geçişi, aynı zaman aralığında kontrol hacmindeki toplam kütledeki değişime eşittir (Çengel ve Boles, 2008).

$$m_g = m_\zeta + \Delta m_{KH} \quad (3.8)$$

Bu denklemde, m_g giren nemli havanın ağırlığı, m_ζ çıkan nemli havanın ağırlığı, Δm_{KH} kontrol hacminde değişim anlamına gelmektedir. Fırın içerisine kurutma sırasında giren kütle olmadığından $m_g=0$ olur. Böylece;

$$m_\zeta = \Delta m_{KH} \quad (3.9)$$

şeklinde olur.

Kurutma fırınından çıkan nemli havanın kütlesi, çıkan kuru hava ağırlığı ($m_{\zeta kh}$) ve çıkan kuru hava içindeki su buharının ağırlığı ($m_{\zeta sb}$) toplamına eşittir.

$$m_\zeta = m_{\zeta kh} + m_{\zeta sb} \quad (3.10)$$

Fırın içi basıncı, ayarlanan gösterge basıncının üstüne çıktığında selenoid vana (presostat) açılır ve kurutma havası dışarı çıkarken keresteden buharlaşan suyu da taşır. Bu durumda çıkan su buharı kütlesi, kurutulan keresteden buharlaşan suyun ağırlığına eşit olur.

$$m_{\zeta sb} = m_s \quad (3.11)$$

3.2.5.3. Enerji analizi

Zamanla değişen açık sistemde kontrol hacminin enerjisi zamanla değişir. Kontrol hacminin enerjisinin ne kadar değiştiiği, akışın olduğu süre içinde sistem sınırlarından ısı ve iş geçişine, ayrıca kütleyle birlikte kontrol hacminden içeriye ve dışarıya taşınan enerjiye bağlıdır (Çengel ve Boles, 2008). Enerjinin korunumu ilkesini genel olarak aşığıdaki gibi ifade edilir.

$$E_g - E_ç = \Delta E_{sistem} \quad (3.12)$$

Burada, E_g ve $E_ç$ sırasıyla giren ve çıkan enerji, ΔE_{sistem} ise enerji değişimini ifade etmektedir. Kurutma prosesimizde kinetik ve potansiyel enerji değişimleri yoktur. Yapılan çalışmada giren iş olarak elektrik enerjisi kullanılmış, giren ısı ve kütle ile giren enerji olmadığından sıfır olarak tanımlanmıştır. Aynı şekilde sistemden çıkan enerji olarak ısı ve kütle enerjisi vardır. Sistemin iyi izole edildiği ve çıkan kütle kinetik ve potansiyel enerjilerinin ihmalıyla sistemdeki enerji bilançosunu;

$$W_g - \sum_{ç} m h_ç = (m_2 u_2 - m_1 u_1)_{sistem} \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edebiliriz. Bu eşitlikte, W_g sisteme verilen iş, $\sum_{ç} m h_ç$ çıkan kütle enerjisi anlamına gelmektedir. Kurutma havası nemli olduğundan çıkan havanın entalpisi şöyledir (Çengel ve Boles, 2008):

$$h_ç = C_{p_h} T_ç + \omega_{f_ç} h_{db} \quad (3.14)$$

Burada, $h_ç$ çıkan nemli havanın entalpisi, $T_ç$ havanın fırından çıkış sıcaklığı, C_{p_h} havanın özgül ısısı, $\omega_{f_ç}$ havanın fırından çıktığı andaki özgül nemi, h_{db} doymuş buhar entalpisini ifade etmektedir. Kurutma işleminde kullanılan ısıtıcıların görevi kerestenin içindeki suyu buharlaştırmaktır.

- **Isıtıcılar:** Kurutma fırını 500W gücünde elektrikli rezistansla ısıtılmıştır. Δt zaman aralığında yapılan elektrik iş;

$$W_{Ist} = W_g = V_I I_I \Delta t \quad (3.15)$$

eşitliğinde yazılabilir. Yukarıdaki eşitlikte, W_{Ist} ısıtıcıların teorik kullandığı enerji, V_I gerilim (volt), I_I akım (amper) anlamlarını ifade etmektedirler. Kereste içerisindeki suyun ısıtılması için ısı enerjisi ve kerestenin ısıtılması (Çengel ve Boles, 2008),

$$Q_K = m_k C_{p_k} (T_{ks} - T_0) + m_s h_{fg} \quad (3.16)$$

ifadesiyle belirlenebilir. Bu eşitlikte, Q_K toplam kerestenin kullandığı ısı enerjisi, C_{p_k} kerestenin özgül ısısı, T_{ks} fırının çalışma sıcaklığı, T_0 çevre sıcaklığı anlamını ifade etmektedir. Kurutma sistemi ilk çalıştırıldığında kurutma fırını içerisindeki havanın ısıtılması için gerekli ısı enerjisi (Çengel ve Boles, 2008),

$$Q_{FI} = \rho_h V_f C_{p_h} (T_{ks} - T_0) \quad (3.17)$$

Kurutma fırını izolasyonundan kaynaklı ısı kaybı (Incropera and DeWitt, 2004),

$$Q_{IK} = Fk(T_{ks} - T_0) \quad (3.18)$$

şeklinde formüle edilmekte olup, sistem iyi izole edildiğinden bu ısı kaybı göz ardı edilmiştir. (3.17) ve (3.18) eşitliklerinde, Q_{FI} fırının iç havasının ısıtılması için gerekli enerji, V_f fırının iç hacmi, ρ_h havanın yoğunluğu, Q_{IK} toplam ısı kaybı, k ısı iletim katsayısı, F yüzey alanı anlamına gelmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; basınca dayanıklı şekilde bir kurutma fırını tasarlanarak imal edilmiştir. Kurutma sıcaklıkları 105°C – 125°C – 135°C olan sıcaklıklarda ve yüksek sıcaklıklarla meydana gelen basınçlarda deneyler yapılmıştır. Yüksek sıcaklıklarla birlikte oluşan basıncın kuruma süresine etkisi gözlemlenmiştir. Kurutma fırınının farklı çalışma şartlarında çalıştırılmasıyla elde edilen bulgular ve analizle bu kısımda sunulmuştur.

4.1. Yüksek Sıcaklıklarda Basıncı Kurutma (YSBK) İşlemi

Sarıçam numuneleri; kurutma sıcaklıkları 105°C – 125°C – 135°C olan deneylerde kurutulmuştur. Sarıçam numunesi ve deney sıcaklıklarına ait bilgiler Çizelge 4.1.' de verilmiştir. Bütün kurutma deneylerinde kullanılan numune cinsi ve ebatları, fırın ilk sıcaklığı ve çevre şartları aynı alınmıştır.

Çizelge 4.1. Üç farklı deneye ait çalışma sıcaklıkları ve sarıçam numunesine ait özellikler

Ağaç Türü	Deney No	Boyutlar (mm)	Kerestenin İlk Sıcaklığı (°C)	Çalışma Sıcaklık Aralığı (°C)
Sarıçam	YSBK (105°C)	25x75x300	20	50-105
Sarıçam	YSBK (125°C)	25x75x300	20	50-125
Sarıçam	YSBK (135°C)	25x75x300	20	50-135

Üç farklı yüksek sıcaklıkta yapılan kurutuma deneylerinde fırın ilk sıcaklığı 50°C olarak alınmıştır. Bu deneylere ait çalışma sıcaklıkları ve geçen süreler ile ilgili veriler Çizelge 4.2.' de verilmiştir. Nemli kerestelerin hızlı bir şekilde yüksek sıcaklıklara çıkartılması ile kerestelerin dış yüzeyi hızlı bir şekilde kurur. Böylece, kerestenin iç kısımlardaki su kuruyan dış bölgelere hızlı bir şekilde ilerlemektedir.

Bu durum kerestede iç gerilmeler, çarpılmalar ve sertleşmelere neden olabileceği düşünüldüğünden belirli bir sıcaklıktan sonra kurutma sıcaklığına kadar her 10°C’de bir saat kurutulmuştur. Fırın içersinde her 10°C’lik artış, rezistansın gücünden kaynaklı olarak, 15 dakikalık bir zamana karşılık gelmiştir.

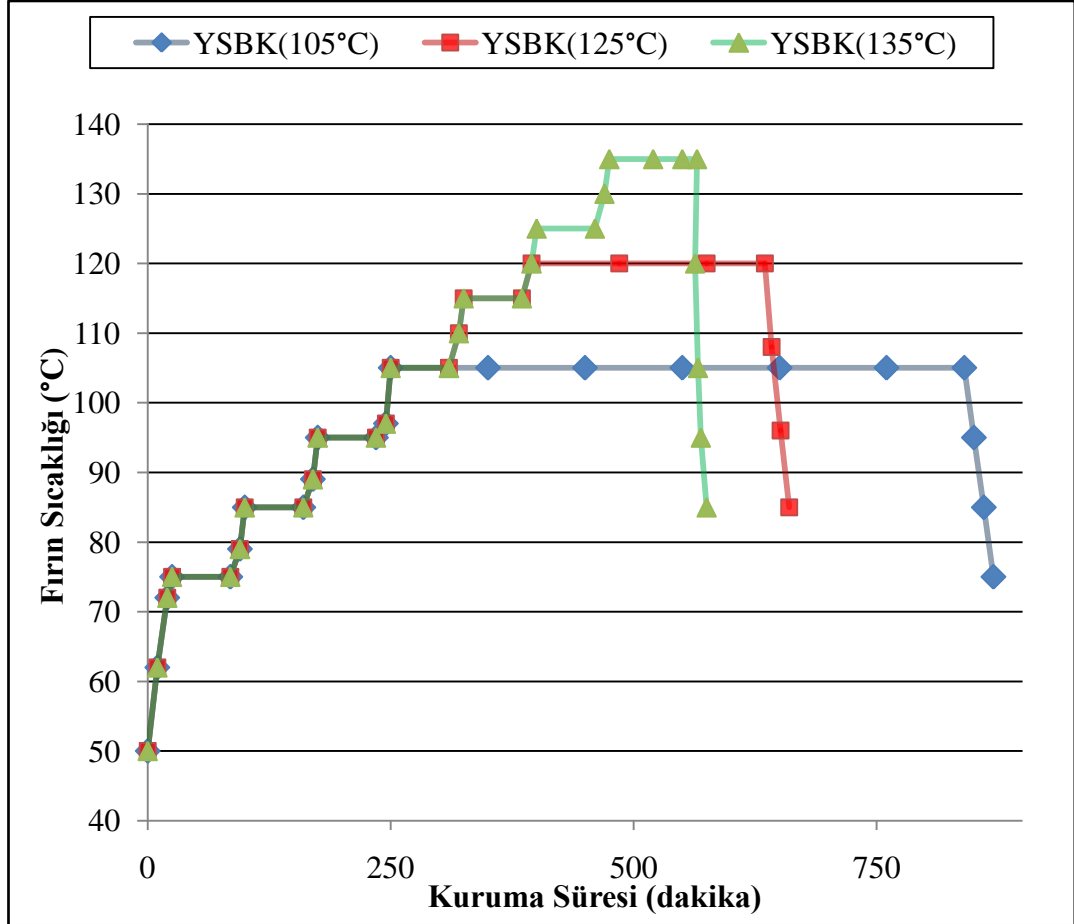
Çizelge 4.2. Üç farklı kurutma sıcaklığında yapılan deneylere ait çalışma sıcaklıkları ve geçen süre ile ilgili veriler

Çalışma Sıcaklıkları	Kurutma Sıcaklıkları ve Zaman		
	1.Deneyde geçen zaman (dak.) (105°C)	2.Deneyde geçen zaman (dak.) (125°C)	3.Deneyde geçen zaman (dak.) (135°C)
50°C -75°C	0-25	0-25	0-25
75°C	25-85	25-85	25-85
75°C -85°C	85-100	85-100	85-100
85°C	100-160	100-160	100-160
85°C -95°C	160-175	160-175	160-175
95°C	175-235	175-235	175-235
95°C -105°C	235-250	235-250	235-250
105°C	250-870	250-310	250-310
105°C -115°C		310-325	310-325
115°C		325-385	325-385
115°C -125°C		385-400	385-400
125°C		400-660	400-460
125°C -135°C			460-475
135°C			475-600

Deneyler neticesinde fırın sıcaklığı, fırın içi basınç, kerestenin nem içeriği ve kuruma süresi deney parametreleri arasında veriler alınmıştır ve bunlar grafiksel olarak gösterilmiştir.

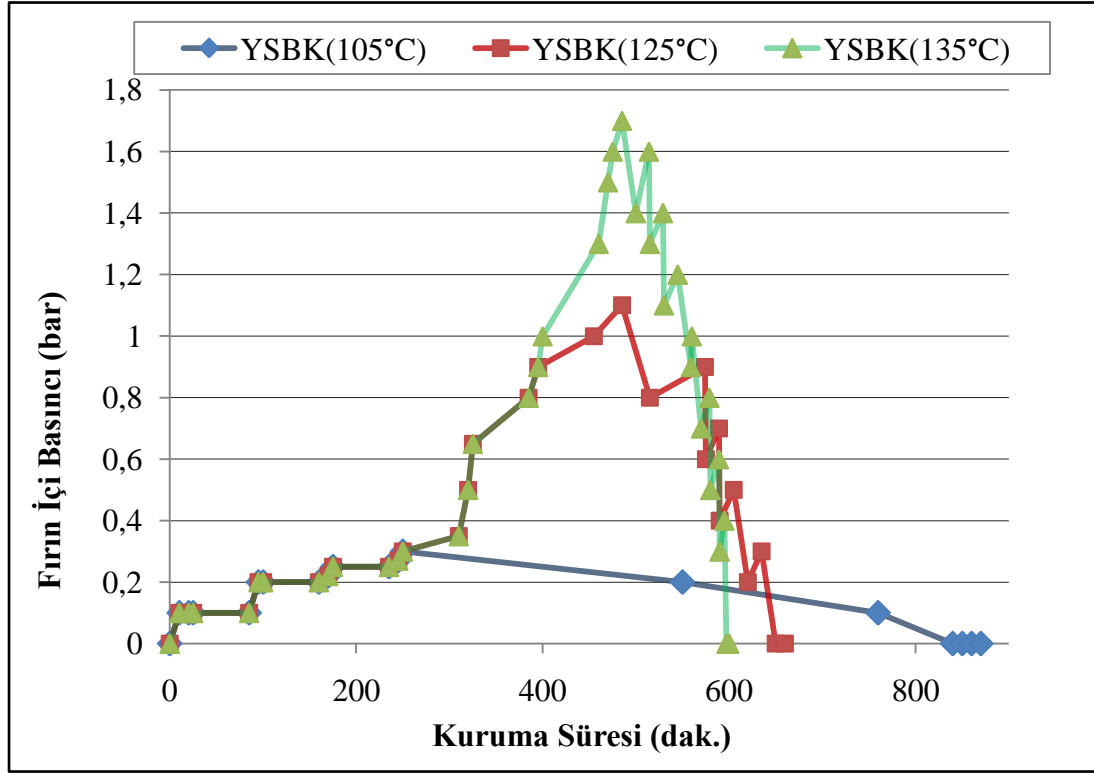
Çizelge 4.2.’den anlaşılacağı üzere 75°C sıcaklıktan sonra her 10°C artışla birlikte sıcaklık bir saat sabit şekilde tutulmuştur. Bu şekilde deney numunesinin yüksek sıcaklıklara hazır hale gelmesi sağlanmıştır. Isıtıcı deney süresi boyunca açık tutulmuştur. Fırın içi sıcaklık değeri ayarlanan sıcaklık değerini geçtiğinde ısı kontrol ünitesine haber gönderilir ve ısı kontrol ünitesi rezistansın çalışmasını durdurur. Isı

kayıplarından kaynaklı sıcaklık düşüşü başladığında rezistans yeniden çalışır ve fırın sıcaklığı istenilen sıcaklığa gelene kadar fırın içini ısıtır. Bu nedenden dolayı, fırın sıcaklığı istenilen sıcaklık değerinde sabit tutulmuştur. Fırın sıcaklığı ile kuruma süresi arasındaki ilişki Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. YSBK işleminde sarıçam keresteleri ile yapılan deneylerin farklı çalışma sıcaklıklarının zamana göre değişimi

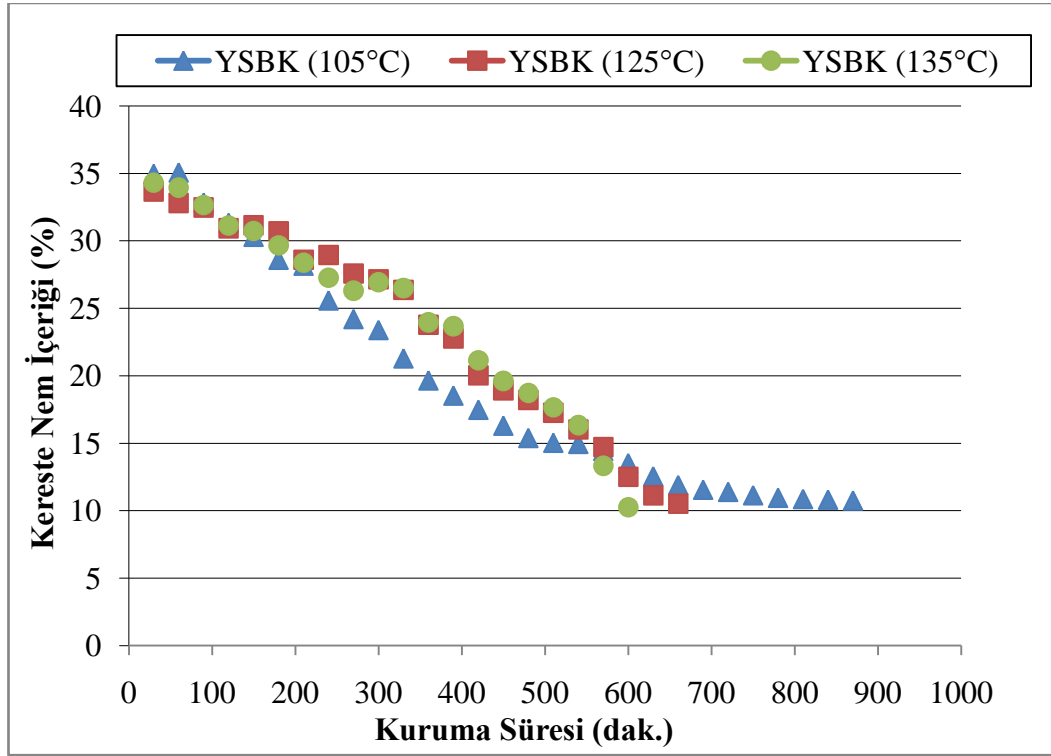
Şekil 4.2.’de üç farklı kurutma sıcaklığında yapılan deneylere ait basıncın zamana göre değişimi gösterilmektedir. Yüksek basınç altında keresteler daha kısa sürede kurutulmuştur. Fırın içi en yüksek basınç 135°C’de olmaktadır. Bundan dolayı kerestenin kuruma süresi, kurutma sıcaklığı 135°C’de yapılan deneylerde daha kısa sürmüştür.



Şekil 4.2. YSBK işleminde sarıçam keresteleri ile yapılan deneylerde basıncın zamana göre değişimi

Sıcaklığın artışı ile kurutma fırını içerisindeki havanın ısınması, aynı zamanda kereste numunesinin içeriğinde bulunan nem zerreciklerinin buharlaşması ile ortam basıncı artış göstermektedir (Şekil 4.3). Deneylerde, fırın içi basınç değeri gösterge basınç değerini geçtiğinde içerideki nemli hava tahliye edilmekte ve ayarlanmış basınç değeri 0.1 bar aşağıya düşmektedir. Bu işlem kurutma işleminin sonuna kadar bu şekilde tekrarlanmıştır. Yüksek sıcaklıklarda oluşan basınç, kereste nem içeriği değerini etkilediği gözlemlenmiştir. Bundan dolayı, kurutma işleminin bitimine doğru kereste nem içeriğinin kontrolünü sağlamak amacıyla presostat basınç değeri 15 dakikada bir 0.3 bar kademeli olarak düşürülmüştür. Bu düşüşler esnasında basınç yüksek sıcaklıklardan dolayı kurutma sıcaklığı 125°C olan deneylerde 0.1 bar, kurutma sıcaklığı 135°C olan deneylerde 0.2 bar olarak yeniden yükselmiştir.

Özgül ağırlık (yoğunluk), odunun geç yada çabuk kuruduğu hakkında bilgi vermesi bakımından son derece önemlidir. Ağırlık için hassas terazi, hacim için kumpas ölçü aleti kullanılarak bulunan özgül ağırlıklar, kurutma öncesi ve sonrası için tespit edilmiştir. Üç farklı kurutma sıcaklığı ile yapılan yüksek sıcaklıklarda basınçlı kurutma ve 70°C kurutma sıcaklığı uygulanarak yapılan klasik kurutma tekniği ile kurutulan deney numunelerinden elde edilen özgül ağırlık değerleri Çizelge 4.3.' de verilmiştir. Buradan işlem görmemiş sarıçam malzemesinin özgül ağırlığının en yüksek olduğu, kurutma sıcaklığı 135°C'de yapılan deneylerde sarıçam kerestelerinin özgül ağırlık değerlerinin en düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni, yüksek sıcaklıklar sonucu odun bileşenlerinde meydana gelen kayıplardır. Çalışmalar sonucunda, yüksek sıcaklıklarda kurutulan sarıçam numunelerin özgül ağırlıkların birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.4. YSBK işleminde sarıçam keresteleri ile yapılan deneylerde kereste nem içeriğinin kuruma süresine göre değişimi

Kereste numuneleri TSE standartlarına göre eğilme direnci testi uygulanmış ve (3.2.) denkleminde göre hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 4.4.'de iki farklı kurutma tekniği ile kurutulmuş sarıçam kerestesi numunelerinin eğilme dirençleri görülmektedir.

Çizelge 4.3. Sarıçam örneklerin klasik ve YSBK fırınında kurutma öncesi ve sonrası özgül ağırlık değişimleri (gr/cm³)

Açıklama	İşlemsiz	Klasik Kurutma Yöntemi	YSBK Yöntemi		
			1.Deney (105°C)	2.Deney (125°C)	3.Deney (135°C)
Nem değerleri (%)	35	10	10	10	10
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	0.82	0.52	0.50	0.49	0.48

Çizelge 4.4. Çam örneklerin klasik ve YSBK fırınında kurutma öncesi ve sonrası eğilme direnci değişimleri (N/mm²)

Açıklama	İşlemsiz	Klasik Kurutma Yöntemi	YSBK Yöntemi		
			1.Deney (105°C)	2.Deney (125°C)	3.Deney (135°C)
Nem değerleri (%)	35	10	10	10	10
Eğilme direnci σ_e (N/mm ²)	6.533	9.145	9.888	10.714	11.720

135°C sıcaklıkta 1.7 bar presostat ayar basıncında yapılan deneyler sonucunda kurutulan sarıçam numunelerin eğilme dirençlerinin, 125°C sıcaklıkta 1.1 bar ve 105°C sıcaklıkta 0.3 bar presostat ayar basıncında yapılan deneyler sonucu kurutulan sarıçam numunelerin eğilme dirençlerine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 125°C ve 105°C kurutma sıcaklıklarında yapılan deneylerde elde edilen eğilme direnci değerlerinde, 135°C kurutma sıcaklığında yapılan deneyler sonucu hesaplanan eğilme direnci değerine göre sırasıyla %8.58 ve %15.63 azalma olduğu tespit edilmiştir.

Yüksek sıcaklıklarda eğilme artışının nedeni, hemiselülozlarda meydana gelen azalma selülozun kristal yapısının oransal olarak artmasına bu da doğal olarak eğilme direnci ve elastikiyet modülü (young modülü) nün artmasına neden olacaktır (Gardner et al, 1993).

Ağaç kurutma yöntemlerinde kurutma süresinin tayin edilmesinde kalınlık çok önemli bir rol oynamaktadır. Kalınlık ölçüsünde yapılan ufak bir değişme, kurutma süresini önemli bir biçimde değiştirebilmektedir. Bu çalışmada, klasik kurutma yöntemi ve yüksek sıcaklıklarda basınçlı kurutma (YSBK) yöntemi ile kurutulan sarıçam deneklerinin kuruma süreleri Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Çam deney örneklerinin klasik ve YSBK fırınında kuruma süreleri

Kurutma Yöntemi	Klasik Kurutma	YSBK		
		1.Deney (105°C)	2.Deney (125°C)	3.Deney (135°C)
Ağaç Cinsi	Sarıçam	Sarıçam		
Başlangıç nemi (%)	35	35		
Sonuç nemi (%)	10	10		
Kuruma süresi (dak.) (saat)	1440 24	870 14.5	660 11	600 10

Kurutma öncesi iki yöntem için çam denekleri nemleri % 35, kalınlıkları 25mm olarak belirlenmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere, yüksek sıcaklıklarda basınçlı kurutma (YSBK) yönteminde kurutulan malzemelerin klasik kurutmaya göre daha çabuk kurutulduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, yüksek sıcaklıklar sonucu oluşan basıncın etkisiyle kereste içerisindeki suyun basınç etkisi olmadan yapılan kurutma işlemine göre daha hızlı keresteyi terk etmesidir.

5. SONUÇ

Günümüz endüstrisinde kurutma işlemine verilen değer gün geçtikçe artmaktadır. Her mühendislik çalışmasında olduğu gibi, kurutma işlemlerinde de enerji sarfiyatı, kalite ve zaman önem arz etmektedir. Ağaç kurutma sanayisinde yapılan çalışmaların bir kısmı da kurutma süresini azaltma yönünde olmaktadır.

Yüksek sıcaklıklarda basınçlı kurutma (YSBK) yöntemi ile 105°C - 125°C ve 135 °C kurutma sıcaklıklarında ve bu sıcaklıklara göre belirlenen basınçlar altında sarıçam kerestelerinde kurutma işlemi yapılmıştır. Bu çalışmalarda hedeflenen amaç, kaliteyi istenilen değerlerde tutarak kurutma süresini azaltmak amaçlanmıştır. Çıkan sonuçlar klasik kurutma yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada, özgül ağırlık değişimleri, eğilme dirençleri ve kuruma süreleri ele alınmıştır.

Özgül ağırlık belirlemede çam kerestesi numuneleri, kurutma fırınlarında kurutma işlemi yapılmadan önce kumpas ölçüm aleti ile hacim, hassas terazi ile tartım sonucu ağırlıkları hesaplanmıştır. Klasik kurutma yöntemi ile kurutulan deney örneklerinin ortalama özgül ağırlıkları 0.52 g/cm³ gelirken, yüksek sıcaklıklarda basınçlı kurutma (YBSK) fırınında kurutulan numunelerin özgül ağırlıkları 105°C deney sıcaklığında 0.50 g/cm³, 125°C deney sıcaklığında 0.49 g/cm³, 135°C deney sıcaklığında 0.48 g/cm³ olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Kurutma işlemine girmeyen numunelerin özgül ağırlıkları ortalama 0.82 g/cm³ olarak belirlenerek, kurutulmuş numunelere göre özgül ağırlığı daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Başlangıçta aynı nem miktarının olmasına rağmen iki kurutma metodu (klasik kurutma – YSBK) arasındaki özgül farkın nedeni, kurutma sırasında yüksek sıcaklıklarda basınçlı kurutma (YBSK) işleminde kullanılan yüksek sıcaklıklardan dolayı olma ihtimalidir. Ağacın yoğunluğu ne kadar düşük olursa kuruma kolaylaşır ve kurutma kusurları azalır.

Mekanik özelliklerden biri olan eğilme direnci testi uygulanması sonucunda eğilme dirençleri, kurutma öncesi hazırlanan numunelerde ortalamalarda 6.533 N/mm², klasik kurutma yönteminde eğilme direnci 9.145 N/mm² olarak elde edilirken,

yüksek sıcaklıklarda basınçlı kurutma (YBSK) işleminde 105°C için 9.888 N/mm², 125°C için 10.714 N/mm², 135°C için 11.720 N/mm² olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4., Şekil 4.6.). Bu durumda, kurutma sonrası YSBK işlemlerinde sıcaklık arttıkça hemiselülozlarda meydana gelen azalma sonucu eğilme direncinin yükseldiği gözlemlenmiştir.

Kuruma sürelerini tayin etmek için aynı ebatlarda numuneler kullanılmıştır. Kurutma sonucunda 25 mm kalınlıktaki malzemeler klasik kurutmada 1440 dakika (24 saat), yüksek sıcaklıklarda basınçlı kurutma (YBSK) işleminde 105 °C’de 870 dakika (14.5 saat), 125 °C’de 660 dakika (11 saat), 135 °C’de 600 dakika (10 saat), olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmalar neticesinde yüksek sıcaklıklarda ve basınç altında kuruma süresi azalmıştır. Günümüzde enerjinin önemli olması sebebiyle, YSBK işlemindeki kurutma süresinin klasik kurutma yöntemine göre önemli derecede azalması sistemin kayda değer en önemli avantajıdır. Ancak yüksek sıcaklık ve basınçtan dolayı kerestelerde reçine akması, çatlamlar, renk değişimleri görülmüştür. Renk değişimleri oluşan malzemelerdeki kusurları talaş kaldırma yöntemleriyle giderilebilir. Reçine akmasını önlemek mümkün olamayacağından kurutulacak malzemelerin reçineden yoksun olmasına özen gösterilmelidir. Bu şartlar çerçevesinde kurutma süresini azaltması sebebiyle yeni kurutma fırınların tasarımına ve imalatına ışık tutabilecek bir çalışma olmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Abis, 2001. İ.Ü. Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Ağaç Malzeme Teknolojisi Bilgi Sistemi (ABİS 2001). İnternet Sitesi: http://www.orman.istanbul.edu.tr/abis/liste/Pinus_sylvestris.htm. Erişim Tarihi: 20.05.2011
- Aktaş, M., 2007. Isı Pompası Destekli Fındık Kurutma Fırınının Tasarımı, İmalatı ve Deneysel İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 116s, Ankara.
- Aytekin, A., 1997. Kereste Kurutma Fırınları İçin Kurutma Programlarının Bilgisayarla Hazırlanması. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s, Trabzon.
- Berberovic, A., 2007. Numerical Simulation of Wood Drying, Oregon State University, M.S. Thesis, pp. 143, Corvallis, OR, USA.
- Berkel, A., 1970. Ağaç Malzeme Teknolojisi. Kutumuş Matbaası, İ.Ü. Orman Fak., Yay., No. 147, İstanbul.
- Boone, R.S., 1984. High-Temperature Kiln-Drying Of 4/4 Lumber From 12 Hardwood Species. www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1984/boone84a.pdf. Erişim Tarihi: 27/05/2010.
- Brown. H.W., 1965. An Introduction to The Seasoning of Timber. Pergamon Press Ltd., Vol.1., 122p. Oxford.
- Burdurlu, E., 1995. Kereste Endüstrisi ve Kurutma. Hacettepe Üniversitesi Mesleki Teknoloji Yüksekokulu Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği, Bizim Büro Basımevi. Ankara.
- Cai, L., Oliveria, L. C., 2008. Impact of high-temperature schedules on drying of spruce and pine. *Drying Technology*, 26 (9), 1160-1164.
- Campean, M., 2010. Timber Drying Methods – Passing Through History Into The Future. 11th International IUFRO Wood Drying Conference, Recent Advances in The Field of Wood Drying, Skellefteå, Sweden, 1-16.
- Ceylan, İ., 2002. Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Kurutma Havası Neminin Kontrolü. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 142s, Karabük.
- Ceylan, İ., 2007. Programlanabilir (Plc) Isı Pompalı Kurutucunun Tasarımı, İmalatı ve Kereste Kurutma İşleminde Deneysel İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 128s, Ankara.

- Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2008. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Çeviri Editörü Ali Pınarbaşı, İzmir Güven Kitabevi, 5. baskı, 946s., İzmir.
- EİE/UETM, 1997. Sanayide Enerji Yönetimi Esasları. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi. Cilt 4, 17s. Ankara.
- Erden, O., 1997. Jeotermal Enerji İle Kereste Kurutma. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 131s, Ankara.
- Fessel, F., 1965. Trocknung in Dampf-Luft Gemischen. Holztaocknung, Holzwirtschaftliches Jahrbuch Nr: 15.
- Gardner, D.J., Gunnells, D.W., Wolcott, M.P., Amos, L., 1993. Changes in wood polymers during the pressing of wood composites (513-518). Cellulosics: Chemical, Biochemical and Material Aspects. 576p, London.
- Gökdemir, A., Yıldız, K., 2001. Farklı Kerestelerle Pva Tutkalı İle Yapılan Birleştirmelerde Basınç Altında Çekme Deneyi Üzerine Bir Çalışma. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(1), 51-61.
- Günerkan, H., 2005. Endüstriyel Kurutma Sistemleri. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, 36(13), 1-10.
- Haque, M.N., 2007. Analysis of heat mass transfer during high-temperature drying of pinus radiata. Drying Technology, 25(2), 379-389.
- Incropera, F.P., DeWitt, D.P., 2004. Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Çeviri Editörü Taner Derbentli, Literatür Yayıncılık, 3. baskı, 960s., İstanbul.
- Kalafatoğlu, E., Örs, N., Tolun, R., Ekinci, E., 1993. Boraks Pentahidrat Kurutma ve Toz Tutma Birimlerinin İyileştirilmesi Ön Çalışması. TÜBÜTAK, MAM, Kim.Müh. Böl. Rap. No. 247, Gebze.
- Kantay, R., 1978. Türkiye'nin Önemli Bazı Orman Ağaç Türleri Kerestelerinin Teknik Kurutma Özellikleri Üzerine Araştırmalar, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İ.Ü. Yayın No: 269. İstanbul.
- Kantay, R., 1985. Ağaç Kurutma Fırınlarından Isı Tüketiminin Azaltılmasına Yönelik Yeni Gelişmeler. Isı Bilimi ve Tekniği 5. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, Cilt 1, İstanbul, 8-10.
- Kantay, R., 1986. Ağaç malzemenin rutubeti ve ölçülmesi. Journal of the Faculty of Forestry, 36 (2), 58-74.
- Kantay, R., 1993. Kereste Kurutma ve Buharlama. Ormancılık Eğitim ve Kültür Vakfı Yayını No: 6. İstanbul.

- Korkut, S., Budakçı, M., 2009. Effect of high-temperature treatment on the mechanical properties of rowan (*sorbus aucuparia* l.) wood. *Drying Technology*, 27 (11), 1240-1247.
- Kröll, K., 1978. *Trockner und Trocknungsverfahren*. 128p, Springer - Verlag, Berlin.
- Langrish, T. A. G., 1999. An assessment of the use of characteristic drying curves for the high-temperature drying of softwood timber. *Drying Technology*, 17 (4), 991-998.
- Lee, D., A., 1986. Aspects of New Dryer Selection, *Drying* 86, Edited by Mujumdar A., S., Vol:2, 625-636.
- Lide, D. R., 1993. *Handbook of Chemistry and Physics*, 74th Edition, CRC Press.
- McKetta, J. J., 1983. *Encyclopedia of Chemical Process and Design: Volume 17 - Drying: Solids To Electrostatic Hazards*. Crc Press, 488p, New York.
- Menon, A.S. Mujumdar, A.S., 1987. Drying of solids: principles, classification and selection of dryers, *A Handbook of Industrial Drying*, A.S. Mujumdar (Ed.), Marcel Dekker Inc., pp. 3-46, New York.
- Merriam-Webster Inc., 2006. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/647253/wood/26156/Variation-of-structure-and-defects>. Erişim Tarihi: 20.05.2011.
- Möttönen, V., Kärki, T., 2008. Color changes of birch wood during high-temperature drying. *Drying Technology*, 26(9), 1125-1128.
- Mujumdar, A.S., 2004. Research and Development in Drying: Recent Trends and Future Prospects. *Drying Technology*, 22 (1), 1-26.
- Mujumdar, A.S., 2006. *Handbook of Industrial Drying*. FL : CRC/Taylor & Francis, Boca Raton.
- Ong, K. S., 1999. Comparison of timber drying using solar energy, electrical heating and dehumidifier. *Drying Technology*, 17 (4), 999-1009.
- Örs, Y., 1986. *Kurutma ve Buharlama Tekniği*. Karadeniz Üniversitesi Teksirleri Serisi No:15, 197s. Trabzon.
- Örs, Y., Keskin, H., 2001. *Ağaç Malzeme Bilgisi*. T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı KOSGEB, 183s. Ankara.
- Öz, E.S., 1988. *Güneş Enerjisiyle Kereste Kurutma*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 138s, Ankara.

- Pan, Y.K., Wang, X.Z., 1998. Modern Drying Technology, Chemical Industry Press, Beijing.
- Pang, S., 1994, High-Temperature Drying of Pinus radiata Boards in a Batch Kiln. University of Canterbury, Christchurch, Ph.D. Thesis, New Zealand.
- Perree, P., Thiercelin, F., Aguiar, O., 2000. Prototype high temperature / high pressure kiln for the evaluation of wood drying schedules. Drying Technology, 18 (8), 1849-1863.
- Resch, H., Hoag, M.L., Rosen, H. N., 1998. Desorption of yellow-poplar in superheated steam. Forest Product Journal, 38 (3), 13-18.
- Rosen, H., 1995. Drying of wood and wood products. in Handbook of industrial drying, edited by A. Mujumdar, Marcel Dekker. New York.
- Serbes, T., 2003. İki Farklı Teknik Kurutma Yöntemi İle Kurutulmuş Ağaç Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 51s, Ankara.
- Silva, M.A., 2004. 14th International Drying Symposium (IDS 2004) Conference Report. <http://www.feq.unicamp.br/~ids2004/index.php>. Erişim Tarihi: 21.01.2010.
- Stahl, M., Bentz, M., 2004. High-Pressure Treatment of Wood – Combination of Mechanical and Thermal Drying in the “I/D Process”. Chemical Engineering & Technology, 27 (11), 1216 – 1221.
- Turner, T., 2000. Drying Methods. University of Vermont Extension Manuscript Review by Tery Turner Lecturer. The United States.
- Üçüncü, K., 1993. Antalya İli İçin Bir Güneş Fırını Tasarımı Ve Kurutma Faktörlerinin İncelenmesi. 2. Ulusal Orman Ürünleri Endüstri Kongresi Bildiri Metinleri, Trabzon, 26-34.
- Ünsal, Ö., 1994. Ceviz Kerestesinin Teknik Kurutma Özellikleri Üzerine Araştırmalar. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, İstanbul.
- Ünsal, Ö., 2002. Teknik Kurutma Fırın Boyutlarının Ve Hava Hareket Hızının Kurutma Kalitesi ve Süresi Üzerine Etkisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 2 (1), 101-111.
- Vermaas, H.F., 1989. Developments in Wood Drying Theory and Practice Since Seattle. Holzforschung und Holzverwertung, 5 (1992), 76-81.
- Williams-Gardner, A. 1971. Industrial Drying. Chemical and Process Engineering Series, I.L. Hepner (series ed.), Leonard Hill, London.

Yağcıoğlu A., 1999. Tarım Ürünlerini Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Yayınları No:536. İzmir.

Zırzakıran, M., 1990. Kondenzasyonlu Kereste Kurutma. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72s, Ankara.

EK-1

ÇAM KERESTESİNİN BASINÇ ALTINDA KURUTULMASI DENEY SICAKLIK RAPORU (Örnek-105°C)

Numunenin;

Numara: 1S Cinsi: Sarıçam Boyutları (mm): 25x75x300

DeneY Sıcaklığı (°C): 105

Presostat Ayar Basıncı (bar): 0.3
(Yerel basınç:0.8693bar)

DeneY Yapılırken;

Süre (dak.)	Sıcaklık (°C)	Basınç (bar)	Süre (dak.)	Sıcaklık (°C)	Basınç (bar)
10:50	50	0	01:20	75	0
11:00	62	0.1			
11:10	72	0.1			
11:15	75	0.1			
12:15	75	0.1			
12:25	79	0.2			
12:30	85	0.2			
13:30	85	0.2			
13:40	89	0.25			
13:45	95	0.25			
14:45	95	0.25			
14:55	97	0.27			
15:00	105	0.3			
20:00	105	0.2			
23:30	105	0.1			
00:50	105	0			
01:00	95	0			
01:10	85	0			

SONUÇ:

Hazırlayan: VOLKAN ASLAN

ÇAM KERESTESİNİN BASINÇ ALTINDA KURUTULMASI DENEY RAPORU (Ör:105°C)

Numunenin;

Numarası: 1S Cinsi: Sarıçam Boyutları (mm): 25x75x300

Deney Öncesi Numunenin;

Nem Yüzdesi (%): 35 Ağırlığı (gr):467.12 Hacmi (cm³):540 Özgül ağırlığı (gr/cm³): 0.86

Deney Sonrası Numunenin;

Nem Yüzdesi (%): 10 Ağırlığı (kg): 256.83 Hacmi (m³): 516.44 Özgül ağırlığı (gr/cm³): 0.50

Deney Sıcaklığı (°C): 105

Presostat Ayar Basıncı (bar): 0.3

Deney Yapılırken;

Saat	Nem Yüzdesi (%)	Gerilim değeri (V)	Tarih
10:50	35	8,380	23.04.2011
12:50	31	6,330	23.04.2011
14:50	25	4,230	23.04.2011
16:50	19	0,730	23.04.2011
00:50	11,5	0,029	24.04.2011
01:20	10	0,015	24.04.2011

Deney Sonrası Gözle Görülebilir Kurutma Kusurları Var mı?	<input checked="" type="checkbox"/> EVET	<input type="checkbox"/> HAYIR
	<input checked="" type="checkbox"/> Çatlama <input checked="" type="checkbox"/> Renk değişmesi <input checked="" type="checkbox"/> Reçine akması <input type="checkbox"/> Yüzey Çatlaklığı <input type="checkbox"/> Diğer (.....)	<input type="checkbox"/>

SONUÇ: 105°C kurutma sıcaklığında, 0.3 presostat ayar basıncında yapılan deney toplam 14.5 saat sürmüştür.

Hazırlayan: VOLKAN ASLAN

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Volkan ASLAN

Doğum Yeri ve Yılı: ANKARA / 1983

Medeni Hali: Bekâr

Yabancı Dili: İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Gazi Çiftliği Lisesi 1997-2001,

Lisans: Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh.-Mim Fak., Makine Mühendisliği Bölümü, 2002-2006.

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Araştırma Görevlisi: Bozok Üniversitesi, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği A.B.D. 2009 – Devam Ediyor.