

# AĞAÇ MALZEMENİN KURUTULMASI

Prof. Dr. A. Yılmaz BOZKURT<sup>1</sup>  
Prof. Dr. Ramazan KANTAYI

## Kısa Özet

Bu yazıda ağaç malzemenin kurutulması genel hatları ile kısaca özetlenmiştir. Bu amaçla önce kurutmanın tarifi yapılmış, amaçları ve faydaları belirtilmiş, sonra kurutmada geçen önemli kavramlar özellikle istifleme kuralları ve kurutma süresini etkileyen faktörler üzerinde durulmuştur. Doğal kurutma ve pratikte uygulanan teknik kurutma metodları genel esasları ve iyi ve iyi olmayan yanları ile tanıtılmıştır. Başka bir yazıda kurutmanın kontrolü ve yönetilmesi, kurutma programlarının hazırlanması ile ilgili temel bilgiler verilecektir.

## 1. GİRİŞ

Kurutma ağaç malzeme içerisinde bulunan ve kullanım amacı için uygun olmayan suyun atılması işlemidir. İdeal kurutmanın amacı, ağaç malzemeyi en ekonomik şekilde, en kısa sürede ve en az kusurla kullanım yeri için uygun olan rutubet derecesine kadar kurutmaktır.

Ağaç malzeme doğal ve teknik olmak üzere iki şekilde kurutulmaktadır. Bunlardan teknik kurutma daha uygun olup, bütün gelişmiş ülkelerde doğal kurutmaya tercih edilmektedir.

Teknik kurutma ile arzu edilen sonuç rutubetine kadar ulaşılabilir. Doğal kurutmada ulaşılabilen sonuç rutubeti ülkemiz şartlarında genellikle %15-12 kadardır.

Teknik kurutma her zaman doğal kurutmadan daha ucuzdur. Çünkü depo yerinin temin edilmesi, düzenlenmesi, etrafının çevrilmesi, bakım ve kontrolü ve sigortası doğal kurutmanın giderlerini arttırmaktadır. Uzun süre açıkta bekletme sonucu ortaya çıkan değer kaybı yüksektir. Ayrıca doğal kurutmada piyasa isteklerine zamanında cevap vermek mümkün değildir.

Uygun sonuç rutubeti sağlamak suretiyle malzemenin kalitesi yükselir. Gerilmeler ortadan kalkar, çalışması minimuma iner ve böylece boyut stabilitesi sağlanır. Yapışma kabiliyeti artar, yüzey işlemlerinde başarı oranı yükselir.

1) İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü.

## 2. KURUTMADA ÖNEMLİ BAZI KAVRAMLAR

### 2.1. Sıcaklık

Ağaç malzemenin kurutulmasında sadece hava sıcaklığı değil malzeme yüzeyinde hakim olan sıcaklık da önemlidir. Bu yüzey sıcaklığı hava sıcaklığından farklıdır. Çünkü hava sirkülasyonundan başka ısıma yolu ile de ısı almaktadır.

Direkt gelen güneş ışınlarına maruz kalan malzeme yüzeyinin fazla ısınması ile çok şiddetli kurutma şartları ortaya çıkmaktadır. Böylece kurutma kusurları meydana gelmektedir.

Kurutma fırınlarında sıcaklık kuru termometre ile ölçülmektedir.

### 2.2. Mutlak Nem

Mutlak nem  $1 \text{ m}^3$  havada ne kadar subuharı olduğunu ifade etmektedir. Belli bir sıcaklıkta ve belli bir hacimde sadece belli bir miktarda subuharı bulunabilir. Bu haldeki hava-buhar karışımına doymuş rutubetli hava denir. Doymuş rutubetli hava daha yüksek sıcaklıklarda içerisine subuharı alabilir. Eğer sözkonusu olan hacimde olması lazım gelen en yüksek miktardan daha az subuharı bulunuyorsa, hava-buhar karışımı doymun değildir veya aşırı ısıtılmış demektir.

Havanın mutlak nem miktarı (mevcut subuharı miktarı) ısınma veya soğuma ile değişmektedir.

Hava subuharı ile doymuş hale geldiği zaman yoğunlaşma (çiğlenme) noktasına ulaşmaktadır. Yoğunlaşma noktası aşıldığında havadan bir miktar su ayrılmaktadır. Bu olaya yoğunlaşma adı verilmektedir.

Hava yoğunlaşma noktasına ulaştığı zaman (veya bağıl nemi % 100 olduğu zaman) belli miktarda neme sahiptir. Sıcaklığa bağlı olarak değişen bu nem miktarları Tablo-1'de verilmiştir.

**Tablo 1:** Yoğunlaşma (çiğlenme) noktasında sıcaklığa bağlı olarak  $1 \text{ m}^3$  havada bulunan nem miktarları ( $\text{g}/\text{m}^3$ ).

Sıcaklık °C	Nem $\text{g}/\text{m}^3$	Sıcaklık °C	Nem $\text{g}/\text{m}^3$	Sıcaklık °C	Nem $\text{g}/\text{m}^3$	Sıcaklık °C	Nem $\text{g}/\text{m}^3$
-20	0,90	6	7,27	26	25,20	55	104,30
-15	1,40	8	8,28	28	28,30	60	130,10
-10	2,17	10	9,41	30	30,39	65	187,50
-8	2,74	12	10,68	32	35,66	70	197,00
-6	3,17	14	12,09	34	39,90	75	241,00
-4	3,66	16	13,65	36	44,50	80	293,00
-2	4,22	18	15,40	38	49,70	85	352,00
0	4,85	20	17,31	40	51,12	90	423,00
2	5,57	22	19,82	45	65,00	95	504,00
4	6,37	24	22,30	50	82,98	100	597,00

### 2.3. Bağıl Nem

Kurutma işleminde mutlak nem değil havanın rutubet alma kabiliyeti, yani bağıl nem önemlidir.

Bağıl nem ( $\phi$ ), birim hacimde gerçekte mevcut olan subuharı miktarının (veya mutlak nem miktarı) aynı sıcaklıkta içerisine alabileceği mümkün olan en yüksek subuharı miktarına (veya doyuran nem miktarı) oranıdır. Aşağıda konu ile ilgili iki örnek verilmiştir.

**Örnek 1:**  $1 \text{ m}^3$  hava tamamen doymun halde  $50^\circ\text{C}$  de en çok 82,98 gr su alabilmektedir (Tablo-1) Eğer bu havada 51,12 gr su mevcut ise, bağılnem  $(51,12/82,98) 100 = \% 61$  dir. Bu hava-buhar karışımı  $40^\circ\text{C}$ 'ye kadar soğutulursa doymun hale gelmektedir (Tablo-1).

**Örnek 2:**  $30^\circ\text{C}$  sıcaklıkta mevcut subuharı miktarı  $15,2 \text{ gr}/\text{m}^3$  dür. Bu sıcaklıktaki max. subuharı miktarı (doyuran nem miktarı)  $30,4 \text{ gr}/\text{m}^3$  dür (Tablo-1). Bu değerler yardımı ile bağılnem  $(15,2/30,4) 100 = \% 50$  olarak bulunmaktadır.

Havanın yukarıda belirtilen özelliklerinden aşağıdaki şekilde faydalanılabilir.

1. Ağaç malzeme aynı bağılnem yüzdesine sahip sıcak havada soğuk havadan daha hızlı kurumaktadır. Çünkü sıcaklık yükselmesi ile havanın içerisine alabileceği su miktarı artmaktadır.

2. Havanın bağılnemi % 10 olduğu taktirde kuru, % 65 olduğu taktirde orta derecede rutubetli, % 90 olduğu taktirde ise çok rutubetli olarak ifade edilmektedir. Bağıl nem yüzdeleri yardımı ile havanın ne derecede rutubet alabileceği hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Kuru havada ağaç malzeme çok hızlı kurumakta, buna karşılık rutubetli havada ise yavaş kurumaktadır. Kuru havanın kurutucu etkisi yüksek, rutubetli havanın ise düşüktür.

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

### 2.4. Psikrometre

Psikometre adı verilen alet bağıl nem ve sıcaklık yardımı ile kurutma fırını içerisindeki kurutma şartlarını tespit etmeye yarar. Bu alet iki termometreden oluşmaktadır. Bunlar kuru ve yaş termometre olup, kuru termometre fırındaki havanın normal (kuru) sıcaklığını göstermektedir. Yaş termometre ise, havanın nemine bağlı olarak ıslak yüzeylerden buharlaşma derecesini ifade eden bir sıcaklığı göstermektedir.

Yaş termometrenin cıva haznesi devamlı rutubetlenecek şekilde bir fitil ile örtülmüştür. Cıva haznesinin üstündeki bu fitilden suyun buharlaşması ile ısı kaybı meydana gelerek sıcaklık derecesinde bir azalma olmaktadır. Termometre civarındaki hava çok kuru olduğu zaman fazla miktarda nem alabilmekte ve dolayısıyla yaş termometrede fazla miktarda soğuma olmaktadır. Termometrenin çevresindeki hava çok rutubetli olduğu zaman hava fazla miktarda rutubet alamadığı için yaş termometre soğuma az olmaktadır. Böylece fırında mevcut bağıl neme göre fitilden çevresindeki havaya az veya çok miktarda su buharlaşmakta ve bu suretle yaş termometre az veya çok soğumaktadır.

Kuru ve yaş termometre arasındaki farka psikometrik fark adı verilmektedir. Psikrometrik fark ( $T_k - T_y = \Delta T$ ) bağıl nemin ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Psikrometrik fark büyük ise fırındaki hava kuru ve bağıl nem düşüktür. Psikrometrik fark küçük ise fırındaki hava rutubetli ve bağılnem yüksektir.

Eğer psikrometrik fark  $0^\circ\text{C}$  ise, yani kuru ve yaş termometre sıcaklık dereceleri arasında fark yoksa bu durum aşağıdaki şekillerde yorumlanabilir.



1. Hava ısı taşıyıcı olarak, ısıyı kurutulan ağaç malzeme içerisindeki suyun ısınmasını sağlayarak iç tabakalardan yüzeylere doğru olan su hareketini hızlandırmaktadır.

2. Hava rutubet taşıyıcı olarak, kurutulan ağaç malzemenin yüzeylerine çıkan nemi alıp uzaklaştırmakta ve yüzeylere nem alma kabiliyeti olan havanın gelmesini sağlamaktadır.

Yeknesak ve hızlı bir kurutma fırın içerisinde bulunan istifin çevresinde ve istif katları arasında optimal ve eşit dağılıştta bir hava akışının sağlanması ile gerçekleşmektedir.

Kurutma fırınlarında vantilatörler yardımı ile istenilen hızda ve yeknesak dağılıştta hava akımı sağlamak mümkündür. Hava hareket hızının yükseltilmesi ile çatlama ve sertleşme gibi kurutma kusurlarının oluşma tehlikesi artmaktadır. Bu bakımdan, bir hava kütesinin bir saniyede metre cinsinden aldığı yol (metre/saniye) olarak ifade edilen hava akım hızının belli sınırlar içerisinde olması gerekmektedir.

Hava hareket hızı ağaç türü, kereste kalınlığı ve kereste rutubetine bağlı olarak değişmekte ve 2-4 m/san. arasında bulunmaktadır. Etkili bir hava hareketi için hızın en az 1.3 m/san. olması gerekmektedir. (JANIK, 1960, FESSEL 1965).

### 2.7. Rutubet Meyli (Rutubet düşüşü)

Dikili ağaçlarda özodun ile diri odun arasında rutubet farkı olmakla beraber özellikle diri odunda rutubetin dağılışı yeknesaktır.

Biçilmiş ağaç malzemede özellikle doğal kurutmada iç ve dış tabakalar arasında rutubet farkları görülmektedir.

Kurutma sırasında ağaç malzemenin önce dış kısımları kurumaktadır. Böylece iç kısımlardan dış kısımlara doğru bir rutubet düşüşü (rutubet meyli) meydana gelmektedir. Bu meyil kurutmanın iyi yönetilmesi halinde uygun şekilde olabilir. Güç kuruyan ağaçlarda iç ve dış tabakalar arasındaki rutubet farkı lif doyunluğu rutubet derecesinin üstünde %15'i, altında ise %5'i geçmemelidir (KOLLMANN, 1955).

### 2.8. Kurutma Meyli

Kurutmanın herhangi bir aşamasında ağaç malzemede bulunan ortalama rutubetin ( $U_m$ ), o anda kurutma fırının sıcaklık ve bağılnemine bağlı olarak oluşan nemine ( $U_{gl}$ ) oranı kurutma meyli olarak ifade edilmektedir. Bu oran odunda higroskopik bölgede yani lif doyunluğu rutubet derecesinin altındaki rutubet bölgesinde geçerlidir (KEYLWERTH, 1950).

Kurutma meyli aynı zamanda kurutmanın şiddetini ifade etmektedir ve boyutsuz bir değerdir. Kurutma meyli değeri yardımı ile dengi nemi de bulunmaktadır.

$$\text{Kurutma meyli } TG = U_m/U_{gl}$$

## 3. KURUTMANIN TEMEL ESASLARI

### 3.1. Sınıflandırma ve İstifleme

Kalitatif bakımdan kusursuz bir kurutma yapabilmek için aşağıdaki esasların gerçekleştirilmesine çalışılmalıdır.

Aynı partide aynı ağaç türünün aynı kalınlık, aynı kalite ve yaklaşık olarak aynı rutubetteki keresteleri aynı sonuç rutubetine kadar kurutulmalıdır. Fakat pratikte her zaman bu şartların sağlanması mümkün olmamaktadır.

Karışık ağaç türü ve kalınlıklar söz konusu olduğu takdirde kurutma en ağır, en rutubetli, en kalın ağaç türünün şartlarına göre yapılmalıdır. Örneğin meşe ve kayın birarada kurutulmak zorunda kalırsa kurutma ağır olan ve güç kuruyan meşeye göre yapılmalıdır.

İyi bir kurutma için diğer şartlardan birisi de istifin kusursuz olarak yapılmasıdır.

Teknik kurutmada istifler fırın ölçülerine uygun olmalıdır. İstifler fırın içerisine forkliftler veya dekol sistemleri yardımı ile yerleştirilmektedir.

Gerek doğal kurutmada gerekse teknik kurutmada en uygun istif şekli latalı sandık şeklindeki istif şeklidir. İstif latalarının kalınlığı ağaç türü ve kereste kalınlığına bağlıdır. Her istif katına konan istif lataları arasındaki açıklık ise kereste kalınlığına göre değişmektedir (Tablo-3). Ekonomik bakımdan düşünüldüğünde en çok üretilen kalınlıktaki keresteye uygun dikdörtgen kesilli bir ve en fazla iki boyutta lata kullanılması yeterlidir.

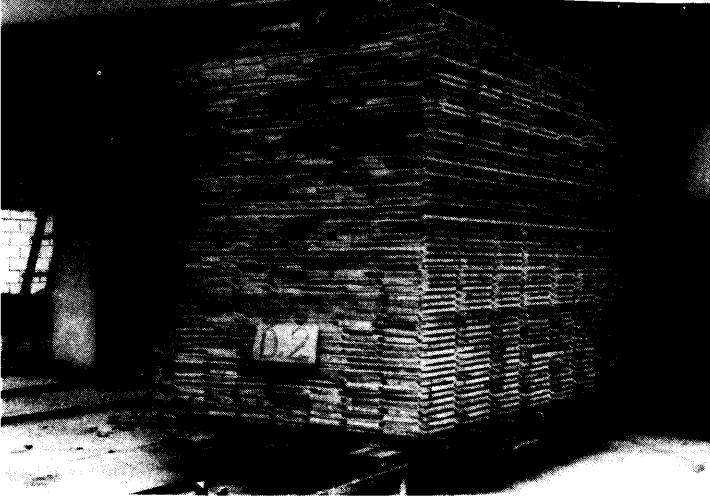
**Tablo 3 :** Kereste kalınlığına bağlı olarak istif latalarının kalınlıkları ve aralarındaki açıklıklar (LEMPÉLIUS, 1961).

Kereste kalınlığı (mm)	Çıta kalınlığı (mm)	Çıta genişliği (mm)	Çıtalar arasındaki açıklık (cm)
0 - 30	16	25	40 - 80
30 - 60	25	25	60 - 100
60 dan büyük	40	40	80 - 120

Teknik kurutmada kalın çıta kullanıldığında kurutma fırının kapasitesinin düşeceği daima gözönünde bulundurulmalıdır.

### İstifleme Kuralları

1. Aynı partide kurutulacak istiflerin yapılmasında aynı kalınlıkta latalar kullanılmalıdır.
2. İstif lataları üst üste aynı hizada konmalıdır (Resim-1).
3. İstif enine kesitinde latalar ya silme veya bir miktar dışarıya doğru çıkıntılı olarak yerleştirilmelidir.
4. Latalar istif genişliğine eşit uzunlukta olmalıdır.
5. Teknik kurutmada 40 mm kalınlığa kadar olan kerestenin istiflenmesinde parçalar arasında açıklık bırakılmamalıdır. Daha kalın kerestenin istiflenmesinde ise parçalar arasında parça kalınlığının %40'ı kadar aralık bırakılmalıdır.
6. Hiçbir parça istif genişliğinin dışına taşmamalı ve istif yan yüzeyleri birbirine paralel iki düzlem teşkil etmelidir.
7. Özellikle üst istif katlarındaki parçaların çarpılmasını önlemek için istifler üstten bastırılmalıdır (Resim-1)
8. İstif katları arasındaki ve istif çevresinde yeterli ve yeknesak bir hava hareketi sağlamak için istif içerisinde, önünde, arkasında, üstünde ve altındaki boşluklar doldurulmalı ve istif fırın ölçülerine uygun hale getirilmelidir. Aksi halde hava, direncin düşük olduğu bu boşluklara kaçmaktadır. Böylece kurutma ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir.



Resim 1 : Kurallara uygun şekilde yapılmış bir kereste istifi.

### 3.2. Kurutma Süresi

Kurutma süresi hiçbir zaman tam olarak hesaplanamayan birçok faktöre bağlıdır. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

**1. Ağaç türü (yoğunluk) :** Genel olarak yoğunluğu düşük olanlar yüksek olanlardan daha çabuk kurutulabilir.

**2. Kereste Rutubeti :** Başlangıç rutubeti ne kadar yüksek ve sonuç rutubeti ne kadar düşük ise kurutma süresi o kadar uzun olmaktadır. Kurutma hızı lif doygunluğunun üstünde yüksek, altında düşüktür.

**3. Kereste Kalınlığı :** Kalınlık artışı ile kurutma süresi doğru orantılı olarak uzamaktadır.

**4. Kurutma Sıcaklığı :** Sıcaklık artışı iç kısımlardan yüzeylere su akışını arttırmakta ve hızlandırmaktadır. Böylece daha hızlı bir kuruma gerçekleşmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda yapraklı ve tropik ağaçlardan daha yüksek sıcaklıklar uygulanabilmektedir.

**5. Kurutma Meyli :** Düşük kurutma meyli kurutmayı yavaşlatmakta yüksek kurutma meyli ise hızlandırmaktadır.

**6. Hava Hareket Hızı :** Hava hareket hızı arttıkça kuruma hızı artar. Fakat yüksek hava hızında kurutma kusurlarının oluşması tehlikesi vardır. Düşük hava hızında ise yüzeylerdeki subuharı uzaklaştırılmadığından kuruma yavaşlamaktadır.

**7. Kesintiler (Ara vermeler) :** Esasında kurutma fırınları 24 saat çalıştırılmalıdır. Kurutmaya ara verilirse kurutma süresi uzamaktadır. Kurutma süresinin tayininde kesintiler dikkate alınmalıdır. Bunun için günde 24 saat çalışmaya göre bulunan sürenin belli katsayılarla çarpılması gerekmektedir. Saatteki sıcaklık azalması 1°C olan iyi yalıtılmış bir fırında (vantilatörlerin sürekli çalışması şartı ile) fırının günlük 24 saat çalışması halinde bu katsayı 1.00 ise 16 saat çalışması halinde 1.17, 12 saat çalışması halinde 1.26, 10 saat çalışması halinde 1.31, 8 saat çalışması halinde de 1.35 olarak alınabilir (ANNIES, 1982).

**8. Ağaç Malzemenin Boyu ve Şekli :** Kerestenin uzun veya kısa oluşu, kenarlı veya kenarsız bulunuşu kurutma süresini etkilemektedir.

**9. Kurutma Fırının Yapısı :** Kurutma fırının yapı tarzı, vantilatörlerin yeri, ısıtma şekli, rutubetlendirme düzeni ve havalandırma gibi teknik donanımın kurutma süresi üzerine dolayla olarak etkisi bulunmaktadır.

Kurutma süresi, ısıtma, kurutma, denkleştirme ve soğutma sürelerinin toplamından ibarettir. Isıtma ve soğutma süresi yaklaşık olarak aynıdır. Esas kurutma süresi ile denkleştirme süresi arzu edilen kurutma kalitesine ve kurutma şiddetine bağlı olarak değişmektedir.

## 4. KURUTMA METODLARI

Kurutma metodlarını doğal ve teknik kurutma olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür.

### 4.1. Doğal Kurutma

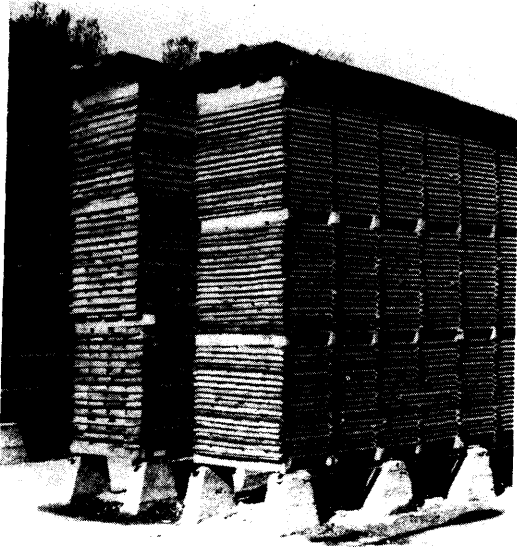
Doğal kurutmada kereste, uygun bir yerde seçilmiş ve düzenlenmiş depolarda tekniğine uygun olarak yapılmış istiflerde açıkta veya sundurmalar altında kurutulmaktadır. Bu metotta hiçbir zaman kontrol edilemeyen sıcaklık, bağlanma ve hava hareketinin etkisi altında gerçekleşmektedir. Isıtma doğrudan veya dolaylı olarak gelen güneş ışınlarının etkisi ile olmakta hava ve sıcaklığa bağlı olarak her zaman az veya çok rutubet alma kabiliyetine sahip bulunmaktadır. Sıcak hava soğuk havadan daha çok rutubet alabilmektedir. Doğal kurutma ile ağaç malzemenin rutubeti en fazla %12-15'e kadar düşürülebilmektedir.

Çok farklı olan ve kontrol edilemeyen hava şartları dolayısıyla kuruma çok gayri muntazamdır ve her zaman çeşitli kurutma kusurlarının oluşma tehlikesi bulunmaktadır. Bunlar arasında büyük rutubet meyli (düşüşü) sebebi ile oluşan sertleşmeyi, yüzey ve iç çatlaklarını, çarpılmayı saymak mümkündür. Ayrıca mantar ve böceklerde arız olabilir. Bu nedenlerle %8'e kadar yükselen bir değer düşmesinin ortaya çıkabileceği belirtilmektedir (ANNIES, 1982).

Doğal kurutmanın diğer bir sakıncası da kurutma süresinin 2 ay ile 2 yıl gibi uzun olmasıdır. Kurutma süresi havanın yerel sıcaklık ve bağıl nemine, ortalama rüzgar hızına ve kurutmaya başlama mevsimine bağlı olarak değişmektedir.

Depo yerinin seçilmesi ve düzenlenmesi ile ilgili olarak aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

1. Depo çevresinde rüzgarı engelleyen tesisler ve rüzgar perdeleri bulunmamalıdır.
2. Depo yeri zemini sağlam olmalıdır. Depo alanından iyi bir şekilde faydalanmalıdır.
3. Depo yeri bitki ve su birikintilerinden arındırılmalıdır.
4. Beton ayaklar ile bunların üzerine konan kirişlerden ibaret olan istif altlıkları zemin ile istif arasında uygun şekilde ve yeterli yükseklikte (40-60 cm) bir boşluk sağlamalıdır.
5. İstif boyutları hem devrilme tehlikesi bakımından hem taşıma bakımından uygun olmalıdır. MÜLLER (1949)'e göre istif genişliği 4 m'yi, istif yüksekliği genişliğin 3 katını geçmemelidir.
6. Kurutmada rüzgardan en iyi şekilde faydalanmak için istifler rüzgar yönünde dik yapılmalıdır.
7. Fakat çok güç kuruyan ve çatlama ve çarpılma tehlikesine karşı hassas olan ağaçlar rüzgarın doğrudan etkisi altında bırakılmamalıdır. Bunlar kolay kuruyan ağaçların arkasına (rüzgar gölgesine) istif edilmelidir. Örneğin rüzgar tarafına ladin, sonra kayın daha sonra meşe istif edilmelidir.
8. Açıkta yapılan doğal kurutmada istiflerin üstü yanlara ve ön tarafa yeterli saçak (çıkıntı) yapacak şekilde bir dam ile örtülmelidir.



Resim 2 : Açık bir depoda uygun altlıklar üzerine tekniğine uygun yapılmış kereste istifleri

9. Açıkta yapılan istiflere, yanlardan ve başlardan girebilecek yağmur sularının kolayca akıp gitmesi için %2-3 kadar bir meyil verilmelidir.

Resim-2'de tekniğine uygun olarak yapılmış bir istif görülmektedir.

#### 4.2. Klasik Kurutma

Bu metotta kurutma, ağaç malzeme rutubeti 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda bulunan hava-suharı karışımı yardımı ile yüzeylerden buharlaştırılarak gerçekleştirilmektedir. Ağaç malzemenin kurutulmasında eskiden beri ve halen en çok uygulanması nedeniyle bu metoda klasik kurutma metodu adı verilmiştir.

Klasik kurutma metodunda fırının çevresinden sıcaklığı düşük taze hava alınmakta ve gene aynı çevreye rutubetli ve sıcak hava verilmektedir. Hava alış-verişi fırın tavanında bulunan klapeli bacalar vasıtası ile gerçekleşmektedir. Bacalardan giren taze hava vantilatörler yardımı ile içeriye alınmakta ve ısıtıcılardan ve kereste istif katları arasından geçerek hem ısınmakta hem de rutubetlenmektedir. Rutubet miktarı istenilen oranı aştığı zaman bacalar açılarak dışarı atılmaktadır.

Sıcaklık ve bağıl nem gibi kurutma şartları elle, yarı otomatik veya tam otomatik olarak yönetilmektedir. Yönetimde optimal kurutma şartlarının gerçekleştirilmesine çalışılmaktadır. Kurutma fırınının havası fazla kuruduğu zaman kurutma kusurları oluşma tehlikesine karşı buhar püskürtmek suretiyle rutubetlendirilmektedir. Rutubetlendirme işleminde ya doğrudan doğruya buhar veya sıcak su püskürtülmelidir. Kesinlikle soğuk su püskürtülmemelidir.

Kargir veya metal olarak yapılan kurutma fırınlarında sıcaklık 90-95 °C'ye kadar çıkarılabilir. Bu nedenle fırınlar hem ısı yalıtımı bakımından iyi hem de sağlam yapılmalıdır. Bu fırınlarda ısıtma düşük basınçlı buhar, sıcak su, kızgın su, madeni yağ ve elektrik enerjisi ile yapılmaktadır. 1980'li yılların başından beri pratikte güneş enerjisi takviyeli fırınlar da kullanılmaktadır (Int. Holzm 1979).

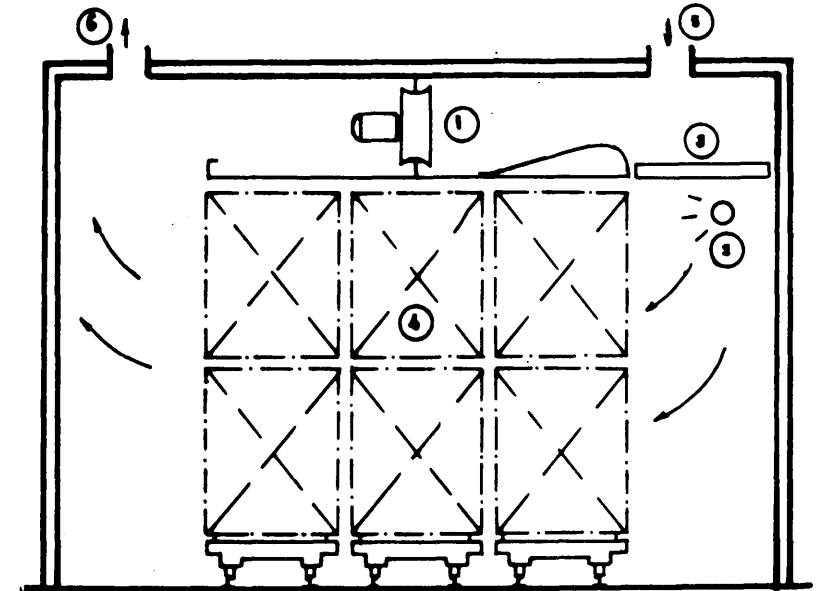
**Metodun İyi Yanları:** Her ağaç türünün her kalınlıktaki kerestesi istenilen başlangıç rutubetinden istenilen sonuç rutubetine kadar istenilen şiddette kurutulabilmektedir. Kereste fabrikalarında bulunan fırınlarda fabrika artıkları termik tenejri üretiminde değerlendirilebilmektedir.

**Metodun İyi Olmayan Yanları:** Taze ve rutubetli (atık) havanın daima değişmesi nedeniyle enerji sarfiyatı yükselmektedir. Fakat artıkların yakılarak değerlendirildiği fabrikalarda bu sakınca kısmen önlenmiş olmaktadır. Koruyucu kurutma şartları uygulandığı takdirde kurutma süresi uzamaktadır.

#### 4.3. Kondensasyonla Kurutma

Klasik kurutma ile arasındaki fark fırın içerisindeki havanın bir dolanımına tabi tutulması ve dışarıya atılmamasıdır. Bu dolanımda hava kondensasyon cihazından geçmektedir. Bu metotta en önemli olay 54°C'ye kadar çıkan düşük kurutma sıcaklıklarının uygulanması ve enerji kaynağı olarak elektrik kullanmasıdır.

**Metodun Prensibi :** Kereste istif katları arasından geçen rutubetli ve sıcak hava kondensasyon cihazının evvela evaporatörü üzerinden (soğuk yüzeyli) geçerek çığlenme noktası altına kadar soğumaktadır. Soğuk yüzeylerde havanın rutubeti yoğunlaşarak su haline (kondensat) gelmekte ve fırından atılmaktadır. Böylece odunda bulunan rutubet görülebilir hale gelmekte ve miktarı tespit edilebilmektedir.



Resim 3 : Bir klasik kurutma fırını şeması

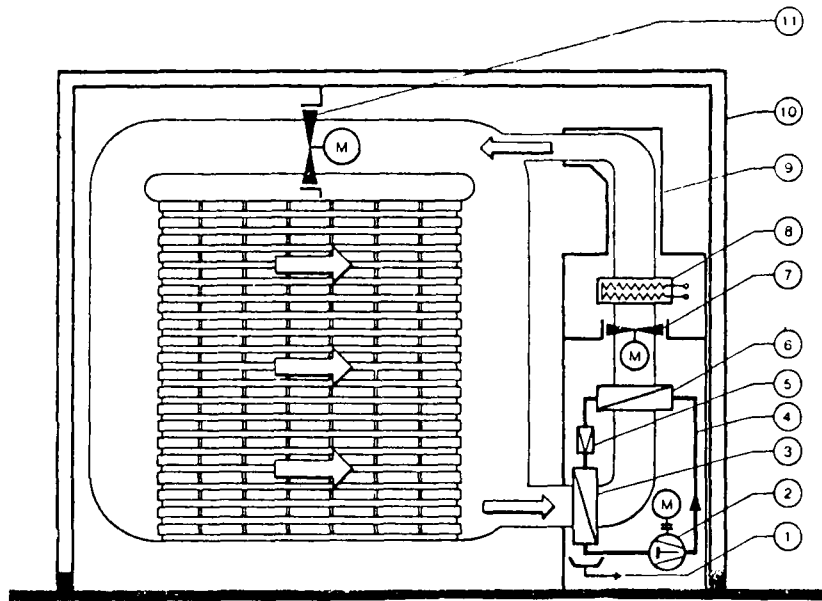
Evaporatörden geçerek soğumuş ve kurumuş olan hava kondensatör (sıcak yüzeyli) üzerine itilerek tekrar ısınmakta ve kereste istifi içerisinde geçerek dolanımı sürdürmektedir. Hava-subuharı karışımının dolanımı cihaz içerisinde ve fırın içerisinde yerleştirilen vantilatörlerle gerçekleştirilmektedir (Resim-4).

Kondensasyon cihazında evaporatör ve kondansatör ısı değiştirgeci olarak görev yapmakta olup, bu ikisi arasında kolay yoğuşan ve buharlaşan bir gaz kompresör ve genişletme ventili yardımı ile dolanmaktadır. Sıcak ve rutubetli hava evaporatörden geçerken evaporatör içerisindeki gazın buharlaşmasını sağlayan ısıyı bırakmaktadır. Buharlaşan gaz kompresör tarafından emilerek sıkıştırılmaktadır. Basınç yükselmesi ile sıcaklık artmaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınçtaki gaz kompresörden kondensatöre itilmektedir. Böylece ısınmın geri kazanılması sağlanmaktadır (Resim-4).

Kondensasyonla kurutmada püskürtme yolu ile havanın rutubetlendirilmesi söz konusu değildir. Çünkü higrostat yardımı ile havanın rutubeti (bağıl nemi) tam olarak ayarlanabilmektedir. Kurutmada uygulanan sıcaklık düşük olduğu için havanın rutubet ihtiyacı çok azdır. Buna rağmen emniyet için birçok üretici firma tesise püskürtme tertibatı ilave etmektedir.

Havanın ısıtılması için kompresörün yanında 20 °C'ye kadar ısıtılabilen ilave bir ısıtıcı tesis edilmektedir. Isı pompası çalışmaya başladığında ilave ısıtıcı ısıtmayı sağlar ve hızlandırır. İlave ısıtıcı çoğunlukla sıcak su, kızgın su, düşük basınçlı buhar, elektrik, madeni yağ ile çalışmaktadır.

**Metodun İyi Yanları:** Çok güç ve yavaş kuruyan yapraklı ağaçların kalınkeresteleri yumuşak kurutma şartları altında koruyucu bir şekilde kurutulabilmektedir. Yalnız elektrik enerjisi bul-



Resim 4 : Bir kondensasyonla kurutma fırını şeması

nan küçük işletmelerde uygulanabilir. Isının geri kazanılması suretiyle enerjinin ekonomik kullanılmasi mümkündür.

**Metodun İyi Olmayan Yanları:** Esasen kurutma süresi uzundur. % 15 rutubet derecesinin altına inilecek olursa süre daha da uzamaktadır. Isıtımda elektrik kullanıldığı için elektrik enerjisinin pahalı olduğu ülkelerde kurutma giderleri artmaktadır.

Sonuç rutubeti dağılımı geniş sınırlar arasında değiştiği için kurutma kalitesi düşüktür.

İğne yapraklı ve yumuşak yapraklı ağaçlarda kurutma ekonomik olmamaktadır.

#### 4.4. Yüksek Sıcaklıkta Kurutma

Bu metotta kurutma ortamı olarak saf veya hava katılımı olan kızgın buhar kullanılmaktadır. Ağaç malzeme içerisindeki su, sıcaklığı 100 °C'nin üzerinde bulunan bu ortamda buharlaşmak suretiyle ayrılmaktadır. Rutubet hareketi yüksek buhar difüzyonu ile gerçekleşmektedir. Buharlaşma önce kerestenin yüzeylerinden başlamaktadır. Kaynama noktası aşıldıktan sonra kerestenin iç kısımlarında bulunan rutubet de buharlaşmakta ve basınç yaparak dışarıya doğru hareket etmektedir. Esasen difüzyon direnci kaynama noktası geçildikten sonra daha küçüldüğü için kuruma olayı hızlanmaktadır. Böylece toplam kurutma süresi kısalmaktadır.

Doymuş kızgın buhar ortamında sıcaklığa bağlı olarak belirli bir denge rutubeti oluşmaktadır. Bu nedenle kuruma hızı kurutma sıcaklığına bağlı bulunmaktadır. Kurutmanın yönetimi sadece kurutma sıcaklığının ayar ve kontrolü ile yapılmaktadır. Çünkü yaş termometre daima 100 °C'dir ve kerestenin sıcaklığına eşittir.

Yüksek sıcaklıkta kurutma metodunda kurutma ortamı olarak kuru termometre sıcaklığı 100-130 °C ve yaş termometre sıcaklığı 100 °C (98 ... 100 °C) olan saf kızgın buhar veya kuru termometre sıcaklığı 100-130 °C ve yaş termometre sıcaklığı 75-95 °C olan kızgın hava-buhar karışımı sağlanmaktadır.

Saf kızgın buhar ortamında hava karışımı ortama göre daha koruyucu ve daha yavaş bir kurutma gerçekleşmektedir.

Yüksek sıcaklıkta kurutma metodu ayrıca şu özelliklere sahiptir:

1. Bu metod buhar kaçırmayan iyi yalıtılmış metal fırınlarda uygulanmaktadır.
2. Yüksek ısı ihtiyacı nedeniyle büyük boyutlu ısıtıcılar ve yüksek verimli vantilatörler kullanılmaktadır.
3. Bu metotta dışarıdan taze hava alınmasına ihtiyaç yoktur. Çünkü sadece buhar kullanılmaktadır. Rutubetli havayı atmak için yalnız rutubetli hava bacalarının yapılması yeterlidir.
4. Bu metod iğne yapraklı ağaçların, kavak, huş, ihlamur gibi yapraklı ağaçların, Wawa, abachi, samba gibi tropik ağaçların kurutulmasında uygulanmaktadır. Ağır yapraklı ağaçlarda hemen hemen daima sertleşme, çatlama, kollaps, renk koyulaşması ve şekil değişmesi gibi kurutma kusurları ortaya çıkmaktadır.
5. Yüksek basınçlı buhar kazanları kullanılması nedeniyle bu metodun uygulandığı tesisler için ruhsat alınması gerekmektedir.

#### 4.5. Vakumlu Kurutma

Metod basıncın azalması ile suyun kaynama sıcaklığının düşmesi esasına dayandırılmaktadır. Isıtılmış ağaç malzemenin bulunduğu ortamda vakum sağlandığı zaman, içerisindeki suyun buhar basıncı çevresindeki havanın basıncından çok daha yüksektir. Böylece odundaki su çok çabuk bu-

harlaşmakta ve odun içerisindeki buhar basıncı ile çevresindeki havanın buhar basıncı arasında bir denge oluşturmak için yüzeylere doğru hızlı bir şekilde hareket etmektedir.

Bu metodla kurutmanın gerçekleştirilebilmesi için belli miktarlarda alçak basınç (vakum) uygulamalarına gerek vardır. Genellikle kaba vakum denen sınırlar içerisinde kalınmaktadır. Bu sınırlar 55 °C'ye tekabül eden 157 mbar ile 45 °C'ye tekabül eden 96 mbar arasında bulunmaktadır.

Vakum metodunda diğer bir husus ağaç malzemenin ısıtılmasıdır. Isıtma iki şekilde yapılmakta ve fırınlar ısıtma şekline göre imal edilmektedir. Bunlar ağaç malzemenin sıcak plakalara temas ettirilerek ısıtıldığı fırınlar ile sıcak hava dolanımı ile ısıtıldığı fırınlardır.

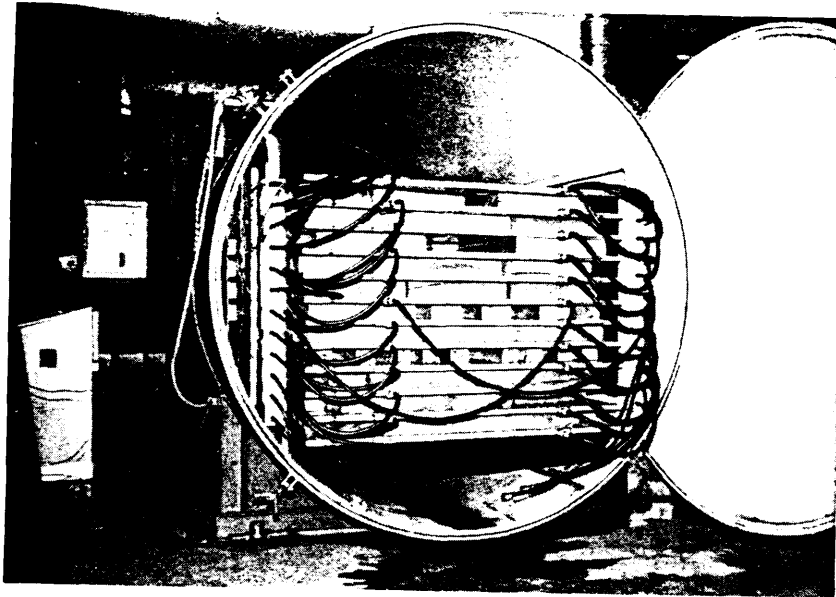
Vakum metodunun ısıtma ve vakum uygulama şekline göre plakalı, sürekli vakum ve plakasız, periyodik vakum olmak üzere iki uygulama şekli vardır.

#### 4.5.1. Plakalı Sürekli Vakum Metodu

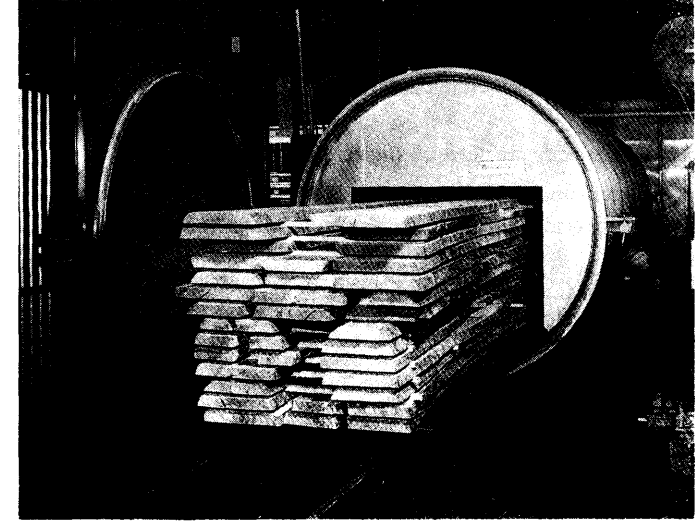
Bu methoda ağaç malzemeye ısı geçişi alüminyumdan yapılmış sıcak plakalarla sağlanmaktadır. İçerisinde ısıtıcı akışkan dolanan bu plakalar kereste istif katları arasında çita yerine konmaktadır. Plakaların ısıtılmasında ısıtıcı akışkan olarak sıcak su veya subuharı kullanılmaktadır. Her plaka bir hortum yardımı ile ısıtıcı akışkanın üretildiği sisteme ayrı ayrı bağlanmaktadır.

Kurutmaya kerestenin istenilen sıcaklığa kadar ısıtılması ile başlanmaktadır. Kereste sıcak plakalara temas ederek ısıdıktan sonra vakum yapılmaktadır. Bu methoda ısıtma ve vakum sürekli olarak yapıldığı için sürekli vakum metodu olarak adlandırılmıştır.

Ağaç malzemenin rutubetin buharlaşması, ısıtıcı plakaların temas etmesi nedeniyle yalnız enine kesitlerden ve yan yüzlerden olmaktadır. Bu nedenle istif katlarına konan keresteler arasında açıklık bırakılmalıdır.



Resim 5 : Plakalı vakumlu kurutma fırını



Resim 6 : Plakasız vakumlu kurutma fırını

Ağaç malzemenin buharlaşan rutubet, soğuk su dolanım sistemi içerisinde çalışan bir kondensasyon sisteminin fırın içerisinde istifin iki yanında düşey vaziyette bulunan soğuk yüzeylerinde periyodik olarak ayrılmaktadır.

Isıtmaya sonuç rutubetine ulaşmadan önce son verilmekte ve son kurutma ağaç malzeme de depo edilmiş olan ısı ile gerçekleştirilmektedir.

Kısa sürede iyi kalitede koruyucu bir kurutma yapılabilmesi sistemin iyi yanını, yükleme ve boşaltmanın uzun sürmesi ve enaz iki işçiyeye ihtiyaç olması ve ayrıca plakaların ve hortumların eskime özelliğinin bulunması sistemin kötü yanını teşkil etmektedir.

#### 4.5.2. Plakasız Periyodik Vakum Metodu

Ağaç malzemeye ısı geçişi sıcak yüzeylerle temas eden hava dolanımı ile yani konveksiyonla olmaktadır.

Kereste çıtalı sandık şeklinde istif edilmektedir. Fırın içerisine yerleştirilen kereste belli bir sıcaklık ve bağıl nem yüzdesine sahip olan hava sirkülasyonunun etkisi ile arzu edilen sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Kereste tamamen ısıdıktan sonra vantilatörler durdurularak ısıtmaya son verilmekte ve vakum yapılmaktadır. Bundan sonra kurutma, ısıtma ve vakum fazlarının benzer şekilde uygulanması ile devam etmektedir. Yani ısıtma fazında ısı geçişi, vakum fazında rutubet alma işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Vakum fazında ağaç malzemenin çevresinde basınç düştüğü için suyun buharlaşması çabuklaşmakta ve kereste yüzeyleri soğumaktadır. Bu sırada daha sıcak olan iç kısımlardan yüzeylere ısı taşınması olmaktadır. Böylece kerestenin sıcaklığı ağaç türüne bağlı olarak az veya çok düşmektedir. Bu fazda ısıtma yapılmadığı için odunda depo edilen ısı, ısı kaybını karşılayamaz duruma gelince buharlaşma azalmaktadır. Bu durumda vakum kesilmekte ve ısıtma fazı vantilatörler çalıştırılarak yeniden başlanmaktadır.



Plakalar olmadığı için yükleme ve boşaltma sürecinin kısa, personel ihtiyacının az olması ve ayrıca plakaların ve hortumların eskimesi nedeniyle ortaya çıkan giderlerin olmaması metodun iyi anlarını, kurutma süresinin uzun, kurutma kalitesinin düşük olması metodun kötü yanlarını teşkil etmektedir.

Vakumlu kurutma metodunun diğer özellikleri şunlardır:

Vakumlu kurutma metodu silindir şeklinde yatık vaziyette çelikten yapılmış vakuma dayanıklı fırınlarda uygulanmaktadır. Hava kaçırmayan bu fırınların 1-25 m<sup>3</sup> kereste alabilecek kapasitelerde yapılmaktadır.

Kapasiteye bağlı olmakla beraber yatırım giderleri çok yüksektir. Kapasite küçüldükçe artmaktadır. Buna rağmen kurutma süresinin kısa olması bu sakıncasını dengeleyebilmektedir.

Vakumlu kurutmada yönetim ve kontrol konvensiyonel metodlardan daha güçtür. Fırının satın alınmasında yönetim problemi gözönünde bulundurulmalıdır. Kerestenin fırın içerisine temizlenmiş olarak yerleştirilmesine dikkat edilmelidir.

Bu metod, yavaş ve güç kuruyan kalın yapraklı ağaç kerestesinin kurutulması için uygundur. Kurutma süresi kısa, kurutma kalitesi iyidir. Büyük işletmelerde konvensiyonel metodlarla kombine edilmesi özel, küçük miktarlardaki siparişlerin çabuk karşılanması bakımından uygun bulunmaktadır.

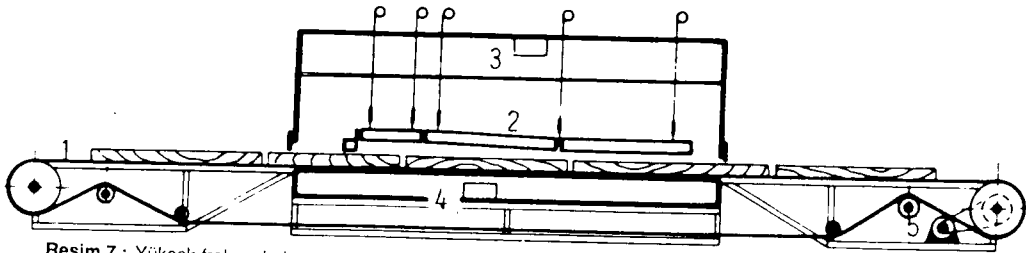
#### 4.6. Yüksek Frekansla Kurutma

Levhalarına yüksek frekans uygulanan bir kondensatörün levhaları arasında dielektrik (yalıtkan) olarak ağaç malzeme bulunduğu takdirde ısınmaktadır. Isınma iç kısımlardan dış kısımlara doğru olmaktadır. Ağaç malzeme içerisindeki rutubet sıcaklık kaynama noktasını aştığı zaman çok çabuk buharlaşmakta ve iç kısımlardan dışarıya doğru basınç yapmaktadır. Buhar daha çok enine kesitlerden çıkmaktadır.

Kurutma kusurlarından kaçınmak için başlangıç rutubetinin % 40'tan daha büyük olmaması gerekmektedir.

Yüksek frekansla kurutma kayın, akçaağaç, huş, kavak ve ibrelî ağaçlar gibi geçirgenliği yüksek olan ağaç türleri için uygun bulunmaktadır.

Yüksek frekansla kurutma tesisi elektrodlerden birisini hareketli bandın teşkil ettiği kanal biçiminde olup, kurutulacak ağaç malzeme bu band üzerine konmaktadır (Resim 7). Yatırım ve işletme giderleri çok yüksektir. Bir kg su buharlaştırabilmek için 1-1,5 kw enerjiye ihtiyaç vardır. Parke taslağı, tüfek dipçığı, ayakkabı kalıbı, sandalet, masa ve sandalye bacağı gibi kalın ve kısa parçaların kurutulmasında ekonomik bakımdan uygun bir methodur.



Resim 7 : Yüksek frekansla kurutma tesisinin enine kesit şeması. 1. Taşıma bandı. Bu aynı zamanda alt elektrod-tür. 2. Yüksekliği ayarlanabilen yüksek potansiyel elektrodları. 3. ve 4. ağaç malzemeden çıkan subuharının sevk edilmesi için hava giriş ve çıkış bacaları. 5. Taşıma bandı hareket motoru.

Kurutma süresi dakikalarla ifade edilebilecek kadar kısadır. Genellikle iç çatlakları, kömürleşme ve renk değişmesi gibi kurutma kusurları oluşabilmektedir.

#### KAYNAKLAR

- ANNIES, T., 1982: *Trocknung und Deampfen. Holz Handbuch S. 97-148. DRW-Verlag.*
- FESSEL, F., 1965: *Trocknung in Dampf-Luft Gemischen. Holzrocknung, Holzwirtschaftliches Jahrbuch Nr. 15, S. 69-100.*
- KEYLWERTH, R., 1950: *Das Trocknungsgefälle und die steuerung von Holzrockenanlagen. Holz-Zentralblatt, Jg. 76, Nr. 36.*
- KANTAY, R., 1978: *Kondensasyon Aleti İle Kurutma Tekniği. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 28, Sayı 1, S. 123-148.*
- KOLLMANN, F., 1955: *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Zweiter Band. Springer Verlag/Berlin.*
- LEMPELIUS, J., 1969: *Die Schmittholzrocknung. R. Hildebrand Maschinenbau GmbH, 7446 Oberboihingen/Württ.*
- MULLEL, K., 1949: *Freiluft-Trocknung. Merkheft 6 der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung. Stuttgart.*
- INTERNATIONALER HOLZMARKT 1979, Nr. 13, S. 14.