
SERİ	CİLT	SAYI		
SERIES	VOLUME	NUMBER		
SERIE	BAND	HEFT	1	1978
SÉRIE	TOME	FASCICULE		

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ

DERGİSİ

REVIEW OF THE FACULTY OF FORESTRY,
UNIVERSITY OF ISTANBUL
ZEITSCHRIFT DER FORSTLICHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT ISTANBUL

REVUE DE LA FACULTÉ FORESTIÈRE
DE L'UNIVERSITÉ D'ISTANBUL



KONDENSASYON ALETİ İLE KURUTMA TEKNİĞİ (Kondensasyonla kurutma)

Dr. Ramazan KANTAY¹

0. GİRİŞ

Bilindiği gibi hava - su buharı karışımı ile klasik kurutma metodunda kurutma fırını iklimi, bağıl nemi yüksek rutubetli ve sıcak havanın bacalar vasıtası ile atmosfere atılması ve yerine yine atmosferden taze ve sıcaklığı düşük havanın alınması suretiyle düzenlenmektedir. «Taze hava ile kurutma» adı da verilen bu metodta atılan rutubetli hava ile birlikte ısı enerjisinin büyük bir kısmı atmosfere atılmakta ve böylece önemli derecede enerji kaybı söz konusu olmaktadır.

Kurutulan ağaç malzemenin çevresinde dışarı ile hava alış veriş olmayan daima aynı kalan kapalı bir kurutma ortamı sağlamak ve böylece bu alış veriş esasındaki enerji kaybını önlemek mümkündür. (VILLIERE 1973) e göre bu düşünce şekli çok eskidir. Ancak, literatürde 1940 yılına doğru açıklığa kavuşturulduğu görülmektedir (BERCHTOLD 1944). Prensipten kurutma, içerisindeki hava - su buharı karışımından su buharının bir kısmının kurutma odası içerisine ya da dışarısına yerleştirilen bir kondensasyon aleti yardımı ile yoğunlaştırılması (sıvılaştırılması) şeklinde yapılmaktadır.

Esasen teknikte havanın ya da gazların kurutulması için birçok metod vardır. Bunların en önemlileri, kondensasyon (yoğuşturma), adsorpsiyon ve absorpsiyon metodlarıdır (KNEULE 1975). Genel anlamda Adsorpsiyon, sıvı veya katı haldeki bir maddenin sınır yüzeylerine gaz şeklinde veya çözelti halindeki maddelerin moleküllerini biriktirmesi ve orada bu molekülleri yüzeysel çekme güçleri yardımı ile bağlamasıdır. Adsorpsiyon olayı maddenin sınır yüzeyinde moleküller arasındaki kuvvetlerin denkleşmemiş olmasından ileri gelmektedir. Absorpsiyon, sıvı veya katı haldeki cisimlerin gazları veya buharları bünyelerine alması ve içerisinde çözeltmesi olayıdır. Bu genel tariflerden de anlaşılacağı gibi Adsorpsiyon olayı ile Absorpsiyon olayını birbirine karıştırmamak gerekir. Absorpsiyon olayında, absorbe edilen madde absorban madde içine doğru yayılmaktadır. Adsorpsiyonda ise sınır yüzeylerinde bir birleşme olmaktadır. Kondensasyon, gazların veya su buharının yoğunlaştırılarak sıvı hale getirilmesidir. Kerestenin kurutulmasında Kondensasyon olayı söz konusu olup, ileride ısı pompası başlığı altında ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Bu yazı, son yıllarda yeniden Avrupa ve Amerika'da büyük ölçüde kullanış yeri bulan Kondensasyonla kurutma şeklini ve tekniğini tanıtmak, pratikte en çok kul-

¹ I.Ü. Orman Fakültesi Orman Ürünlerinden Faydalanma Kürsüsü, İstanbul.

lanılan «Klasik kurutma» veya «Taze hava ile kurutma» metoduna nazaran iyi ve sakıncalı taraflarını ortaya koymak ve hangi koşullar altında hangi işletmeler için ekonomik ve uygun bir kurutma şekli olabileceğini açıklamak amacıyla hazırlanmıştır. Yazının hazırlanmasında HILDEBRAND¹ firmasının sağladığı olanaklardan yararlanarak yapmış olduğum deneme, inceleme ve gözlemlerin sonuçları ile bu konuda yazılmış çeşitli kaynaklardan faydalanılmıştır.

1. KURUTMA METODLARI VE KONDENSASYONLA KURUTMA

Literatürde ağaç malzeme kurutma metodlarının, kullanılan vasıtalar dikkate alınarak kimyasal kurutma, mekanik kurutma ve termik kurutma olmak üzere üç ana grup altında toplandığı görülmektedir.

Kimyasal kurutma bazı kimyasal maddelerin veya tuzların çözeltileri içerisinde yapılmaktadır. Bilindiği gibi bazı su içinde çözünebilen kimyasal maddeler yükselen konsantrasyonlarla buldukları çözelti içerisinde saf suyun kısmi buhar basıncını düşürmektedir. Böyle bir çözelti içerisinde depo edilen odun, higroskopik denge kanunu sebebiyle kendi rutubetini bu düşük kısmi buhar basıncına doğru yükseltebilmekte ve böylece kuruma meydana gelebilmektedir.

Mekanik kurutma, salıncak, santrifüj gibi mekanik vasıtalarla yapılmaktadır. Odun dokuları içerisindeki serbest su, bu çeşit mekanik vasıtalar kullanarak daha düşük masraflarla ve nisbeten çabuk uzaklaştırılabilmektedir (Kurutma santrifüjü, kurutma salıncığı).

Termik kurutmada, ağaç malzeme içerisinde bulunan su evvela ısı tarafından su buharı haline getirilmekte ve sonra odun dokularından ayrılan su buharı uygun vasıtalar kullanmak suretiyle ağaç malzemeden uzaklaştırılmaktadır. Termik kurutma bugün pratikte geniş ölçüde uygulanmaktadır (EICHLER 1970, s. 272 ; LANGENDORF und EICHLER 1973, s. 35 - 37).

Termik kurutma uygulayan metodlar doğal kurutma ve teknik kurutma metodları olmak üzere ayrılmaktadır.

Doğal kurutmada ağaç malzeme, dış kurutma faktörleri bakımından en uygun bir yerde teknolojiye uygun şekilde istif edilmekte ve havanın sıcaklığı, havanın bağıl nemi, havanın hareketi ve hareket yönü gibi dış kurutma faktörlerine hiçbir teknik müdahale söz konusu olmamaktadır. Buna karşılık teknik kurutmada kurutmanın hızlandırılması için dış kurutma faktörleri teknik vasıtalar kullanılarak değiştirilmektedir. Havanın hareket hızı artırılarak gerçek doğal kurutmaya nazaran daha hızlı bir kurutmanın sağlandığı «Hızlandırılmış doğal Kurutma» her iki kurutma metodu arasında geçiş teşkil etmektedir.

Teknik kurutmada, sıcaklık esas alınarak 100°C un altındaki sıcaklık derecelerinde kurutma metodları ve 100°C un üstündeki sıcaklık derecelerindeki kurutma metodları ayırt edilmektedir. 100°C un altındaki sıcaklıklarda kurutmada kurutma ortamı olarak hava - su buharı karışımı kullanılır. Bu bilinen en eski ve bugün dahi kerestenin kurutulmasında ençok kullanılan kurutma metodudur. Bu nedenle «Klasik kurutma» adı ile bilinir. Klasik kurutmanın kullanılan sıcaklık derecesi ve hava hareket hızına göre çeşitli uygulama şekilleri mevcuttur. Örneğin, düşük sıcaklık ve yüksek hava hareket hızı uygulanan «Yüksek hava hareket hızlı kurutma» ; yalnız sıcaklık dikkate alınırsa, 45°C e kadar sıcaklık dereceleri uygulanan «Düşük sı-

¹ R. HILDEBRAND Maschinenbau GmbH 7446 Oberboihingen/Württ. firmasına sağladığı olanaklardan dolayı burada teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

caklıkta kurutma» 45°C den 95°C e kadar olan sıcaklık derecelerinin uygulandığı «Normal sıcaklıkta kurutma» şekilleri bunlardan bir kaçıdır (HERİNG und EPINGER 1976, s. 25).

100°C un altındaki sıcaklıklarda kurutmada ısıtıcı yüzeyler üzerinde ısınmış olan hava, hava hareketi sağlayıcı bir sistem yardımı ile ağaç malzeme üzerine gönderilmektedir (Konveksiyon). Böylece, hem ağaç malzemenin ısınması ve içerisindeki suyun buharlaşması için gerekli olan ısı iletilmiş olmakta hemde ağaç malzeme yüzeyindeki su buharı molekülleri taşınarak kurutmanın devamlılığı sağlanmaktadır.

Kondensasyonla kurutma, 100°C sıcaklık derecesinin altındaki sıcaklıklarda hava - su buharı karışımı ile kurutma metodu içerisinde yer alan bir düşük sıcaklık dereceli kurutma şeklidir. Fiziksel esaslar bakımından tamamen bu metod içerisinde yer almakla beraber prensip bakımından farklıdır.

2. KONDENSASYONLA KURUTMANIN PRENSİBİ

Hava - su buharı karışımı içerisinde kurutma metodlarında kurutma ortamını teşkil eden karışımın daima su buharı alma yeteneğinde olması, kurutmanın devam edebilmesi bakımından gerekli bulunmaktadır. Bunu sağlamak için, hava - su buharı karışımının hareket halinde olması önemlidir. Bu sayede ağaç malzemenin yüzeyinde en üst kısımlarda serbest kalan su buharı molekülleri alınarak yeni moleküllerin serbest kalması sağlanır. Bu şekilde su buharı moleküllerini alarak doygun hale gelen hava sabit sıcaklık ve basınç altında yenilerini alamaz. Bu durumda doygun haldedir ve doygun buhar basıncına ulaşmış bulunmaktadır. Kurutmanın devam edebilmesi bu duruma ulaşmış olan havanın uzaklaştırılıp yerine bağıl nemi düşük havanın getirilmesine bağlıdır. Bu amaç, klasik kurutma metodunda dışarı açılan bacalar yardımı ile sağlanmaktadır. Rutubetli sıcak hava bacalardan dışarı atılmakta, yerine sıcaklığı ve bağıl nemi düşük taze hava alınmaktadır.

Kondensasyonla kurutmada ise prensip olarak, kurutma fırını içerisindeki hava - su buharı karışımı bacalar vasıtası ile atmosfere atılmamakta ve aksine oda içerisinde kapalı bir dolanım sevk edilmektedir. Bu dolanım esnasında bağıl nemi yükselen hava - su buharı karışımından su buharının bir kısmı yoğunlaştırılarak sıvılaştırılmakta ve sıvı halde (kondensat) fırın dışına atılmaktadır. Sıcak haldeki su buharının yoğunlaşması esnasında açığa çıkan ısı enerjisi (buharlaşma ısısı) yeniden havanın ısıtılmasında kullanılabilir. Bu nedenle kondensasyonla kurutmada enerji tüketimi klasik kurutmaya nazaran oldukça düşük olmaktadır. Örneğin, (FESSEL 1974, s. 190) ın 40 mm. kalınlıktaki kayın kerestesi (özg. ağı. 0,67 gr/cm³) ile yaptığı denemelere göre, klasik kurutmadaki enerji tüketimi kondensasyonla kurutmadaki enerji tüketiminin beş katı kadardır.

Su buharının yoğunlaştırılması fırın içerisine yada dışarisına yerleştirilen kondensasyon aleti ile gerçekleştirilmektedir. Kondensasyon aleti ısı pompası prensibine göre çalışmaktadır. Bu nedenle burada önce ısı pompası hakkında ayrıntılı bilgi verilmiş ve daha sonra kondensasyon aletinin çalışma prensibi açıklanmıştır.

3. ISI POMPASI

3.1. Termodinamik Bazı Esaslar

Termodinamikte, «ış gören akışkan» veya «sistem» bir dizi işlemlere tabi tutulduktan sonra ilk haline dönerse, sistem kapalı bir «gevrim» takip etmiştir denir.

«İş gören akışkan» biri sıcak diğeri soğuk iki kaynak arasında çeşitli değişmelere uğrayarak iş yapmaktadır. Sistem kendisinden daha sıcak bir kaynaktan ısı alıp daha soğuk bulunan ısı kaynağına ısı verir ve bu arada iş yaparsa böyle bir çevrime «güç çevrimi» denmektedir. Bir ısı makinası (Termik makina) güç çevrimini takip etmektedir. Bazı çevrimler güç çevriminin tam aksi karakteristiklere haizdir. Yani sistem kendisinden daha soğuk bulunan bir kaynaktan ısı alıp daha yüksek sıcaklıkta bulunan bir sıcak kaynağa pompalamakta ve bu arada kendisine dışarıdan iş verilmektedir. Böyle bir çevrime ise «soğutma çevrimi» denmektedir. İş gören akışkanı yada sistemi böyle bir çevrim takip eden makina soğutma makinası yada ısı pompası olarak adlandırılmaktadır (BALSÖZ 1969, AYBERS 1972).

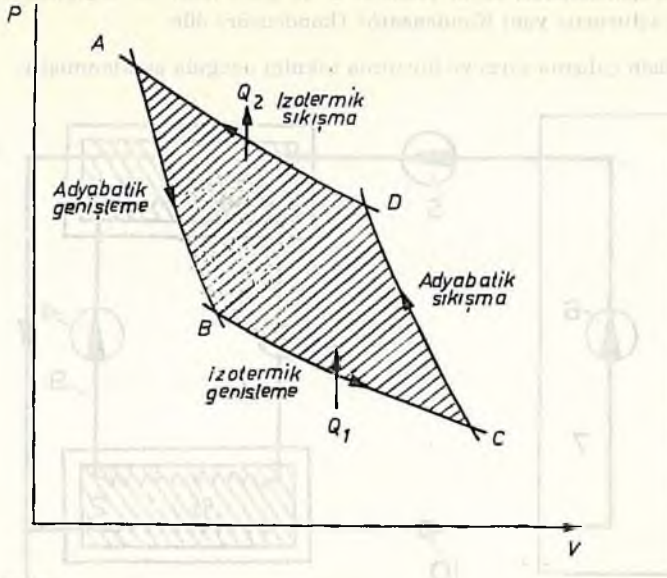
Kapalı çevrime tabi tutulan «iş gören akışkan» veya «sistem» in hal değiştirmesi, tabii edilen işlemin çeşitlerine göre çok çeşitlidir. Konumuzla ilgili olarak iki temel değiştirme şekli önemlidir. Bunlar, Adyabatik hal değişimi ve izotermik hal değişimidir. Adyabatik bir değişimde akışkan ile civarı arasında ısı alış veriş yoktur. İzotermik bir değişimde ise akışkanın sıcaklığı sabit tutulmaktadır.

Kapalı bir çevrimde iş gören akışkan veya sistem olarak çeşitli gazlar kullanılmaktadır. Bilindiği gibi gazlar, ideal gazlar ve real (gerçek) gazlar olmak üzere iki grup altında toplanmaktadır. İdeal gazlar adyabatik koşullar altında boşluğa (vakuma) doğru genişletilirse çevreleriyle ısı alışverişi yapmazlar. Zira, ideal gazlarda moleküller arasında herhangi bir etki yoktur. Buna karşılık real (gerçek) gazlarda durum farklıdır. Real gazlar (Hidrojen ve Helium hariç) genişlettikleri zaman, bu gaz molekülleri arasındaki kohezyon kuvvetlerine karşı bir iş uygulamak lazım gelir. Eğer vakuma yayılma anı olursa, bu işlem sırasında ısı alışverişi yapmaya zaman kalmadığından gazın entalpisi sabit kalır. Bu olaya Joule - Thomson olayı (boğulma) denir. Gerekli şartlar sağlanırsa bu olayda basınç düşmesi ile birlikte soğuma da elde edilir. Bir gazın veya buharın soğuyarak yoğunlaşması (sıvı hale geçmesi) için sıcaklığının «kritik temperatür» ün altına düşmesi gerekmektedir. Teknikte gazların sıvılaştırılmasının geniş uygulaması vardır. Amonyak, kükürt dioksit, metil klorür ve dikloro - difluorometan yahut «Freon» (CF_2Cl_2) soğutma işlerinde en çok kullanılan gazlardır (BERKEM 1972, s. 56 - 57).

3.2. Soğutma Çevrimi

Soğutma çevrimi yoğunlaşmayan bir gazın sıkıştırılması ve genişletilmesi ile yapılabileceği gibi, yoğunlaşan ve buharlaşan bir akışkanın sıkıştırılması ve genişletilmesi suretiyle de yapılabilmektedir. Resim 1 de örnek olmak üzere ideal bir soğutma çevrimi gösterilmiştir. Şekildeki (AB) arasında gaz adyabatik olarak genişlemektedir. Böylece basıncı düşmekte ve soğuyarak sıcaklığı (T_1) sıcaklığına inmektedir. (BC) arasında izotermik olarak genişlemekte ve bu sırada (B) noktasında ulaşılan (T_1) sıcaklığını sabit tutabilmek için çevreden (Q_1) kadar ısı almaktadır. (C) noktasına ulaşıldıktan sonra sıkışma başlamaktadır. (CD) arasında gaz adyabatik olarak sıkıştırılmaktadır. Bu sıkışma nedeniyle basınç artmakta ve sıcaklık (T_1) sıcaklığından (T_2) sıcaklığına yükselmektedir. (D) noktasından (A) noktasına kadar izotermik sıkıştırma yapılmaktadır. İzotermik sıkıştırma sırasında (D) noktasında ulaşılan (T_2) sıcaklığını sabit tutabilmek için sıkışma nedeniyle meydana gelen (Q_2) ısıyı çevreye verilmektedir. Bu şekilde tamamlanan çevrim ideal olup gerçekleştirilmesi kolay olmamaktadır (AYBERS 1972).

Bu çevrim P =sabit olarak ısı aldığı zaman doymuş buhar haline geçen ve P =sabit olarak ısı verdiği zaman da doymuş sıvı haline geçen bir madde ile yapılır;



Resim 1 : İdeal soğutma çevrimi.

BC : izotermik ve sabit basınç altında buharlaşma, DA : sabit basınç altında yoğunlaşma, CD : buharın adyabatik sıkıştırılarak T_2 sıcaklığına çıkarılması, AB : yoğunlaştırulamayan bir kısım buharın genişletilerek sıvı - buhar karışımı T_1 sıcaklığına indirilmektedir.

3.3. Kurutmada ısı pompasının kullanılması, Kondensasyon aleti ve çalışma prensibi

Kerestenin kondensasyonla kurutulmasında uygulanan soğutma çevriminde iş gören akışkan olarak çoğunlukla yoğunlaşan ve buharlaşan bir madde kullanılmaktadır. Bu sistemde amaç ısı tasarrufudur. Bunun için bir soğutma çevrimi takip eden soğutma makinası formunda ısı pompasından yararlanılmaktadır. Burada çevrimin iş gören akışkanına «soğutucu madde» yada «ısı taşıyıcı madde» denmektedir. Ancak yazımızda «soğutucu madde» adı kullanılmıştır.

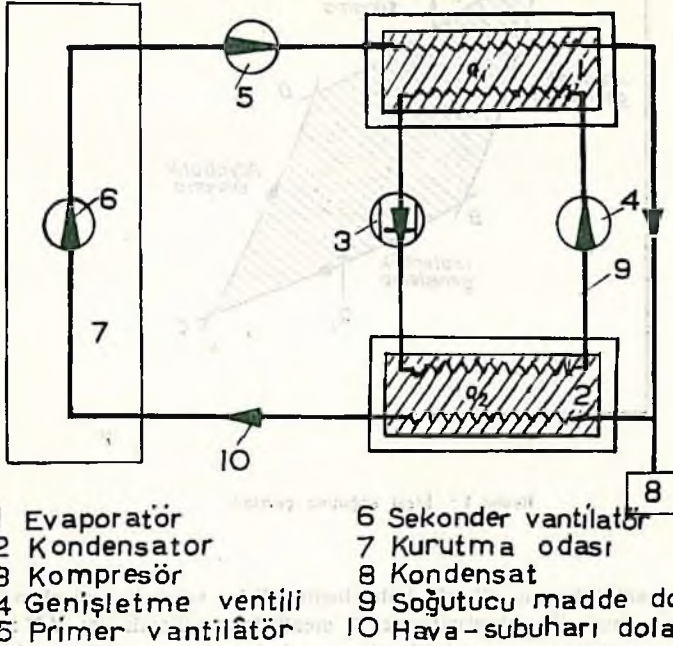
Hava - subuharı karışımı ile kerestenin kurutulmasında kullanılabilir ısı pompalı bir kurutma tesisi en basit şekli ile şematik olarak Resim 2 de gösterilmiş bulunmaktadır. Şemada da görüldüğü gibi bu tesiste birbirine ters yönde akan iki sistemin dolanımı söz konusudur. Bunlar :

- Hava - subuharı karışımı dolanımı
- Soğutucu madde dolanımı (soğutma çevrimi) dir.

Bu iki dolanım iki yerde karşılaşmakta ve karşılaşma yerlerinde iki sistem ısı alış verişinde bulunmaktadır. Bu nedenle bu kısımlara «ısı değiştirgeci» adı verilir.

mektedir. **Resim 2** de 1 ile gösterilen ısı değiştirgeci «soğutucu madde buharlaştırıcı» yani Evaporatördür. Aynı resimde 2 ile gösterilen ısı değiştirgeci ise, «soğutucu madde yoğuşturucu» yani Kondensatör (kondensör) dür.

Bu tesisin çalışma tarzı ve kurutma tekniği aşağıda açıklanmıştır.



Resim 2 : Bir kondensasyonla kurutma tesisinde hava - subuharı karışımı ve soğutucu madde dolanımı (Ullmanns Encyklopaedie der Technischen Chemie)

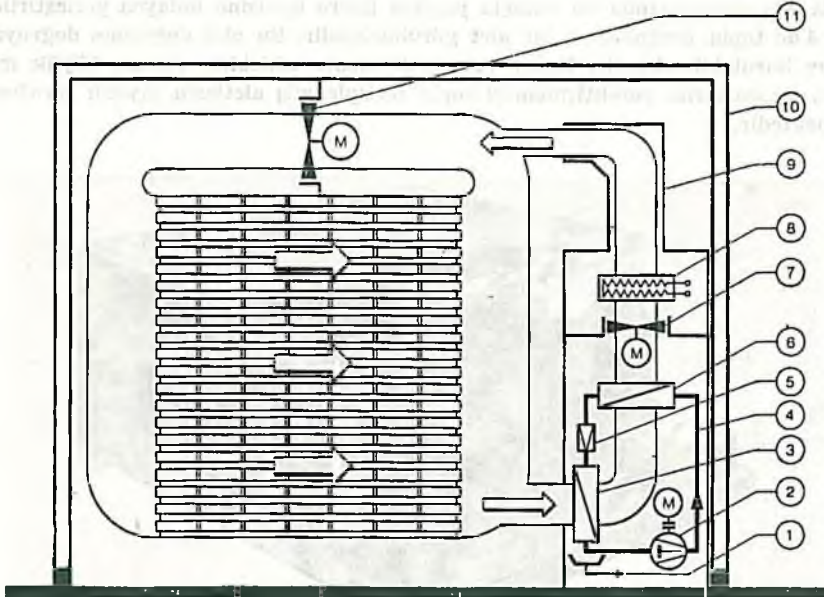
2. Hava - subuharı karışımının dolanımı

İstif katları arasından gezerken kereste yüzeylerinden subuharı moleküllerini alarak bağlı nemi yükselen sıcak haldeki hava - subuharı karışımı **Resim 2** de 5 ve 6 numaralarla gösterilen vantilatörler yardımı ile evaporatöre gelmektedir. Orada, içerisinde sıcaklığı düşük sıvı halde soğutucu madde bulunan borularla temas etmektedir. Bu temas esnasında içerdiği ısının bir kısmını kaybetmekte bu suretle sıcaklığı yoğuşma noktasının altına düşmektedir. Böylece, subuharının bir kısmı yoğuşarak sıvı hale geçmekte ve önce toplama kabına, oradan da borular vasıtası ile fırın dışına gitmektedir. Hava - subuharı karışımından subuharının yoğuşması sırasında ağığa çıkan ısı (Q_1 buharlaşma ısısı) soğutucu madde tarafından alınmakta yani hava - subuharı karışımı ile soğutucu madde arasında ısı alış-verişi olmaktadır. Sıcaklığı ve bağlı nemi düşmüş olarak evaporatörden çıkan hava - subuharı karışımı daha sonra kondensatöre ulaşmaktadır. Kondensatör içerisinde buhar halinde soğutucu madde bulunan sıcak borular arasından geçmekte, bu esnada ısı alarak sıcaklığı yükselmektedir. Böylece, evaporatörde soğutucu maddeye ısı vererek soğuyan hava - subuharı karışımı, kondensatörde ısı alarak tekrar ısınmakta ve subuharı alma kapasitesi artmış olarak kurutma fırınına dönmektedir. Örneğin, 0°C sıcaklık derecesinde bulunan doğgun haldeki 1 m³ hava 4,9 gr su buharı taşıyabilmektedir. Ay-

nı miktar hava 10°C sıcaklık derecesinde 9,4 gr, 20°C sıcaklık derecesinde 17,2 gr, 30°C sıcaklık derecesinde 30 gr, 40°C sıcaklık derecesinde de 51 gr subuharı taşıyabilmektedir (PIEST 1954, s. 20). Buna göre birinci ısı değiştirgeci evaporatöre 40°C sıcaklık derecesinde gelen 1 m³ hava doymun halde iken içerdiği ısının bir kısmını vererek 0°C sıcaklık derecesine kadar soğursa, 46,1 gr subuharı sıvı hale geçebilmektedir. Aynı hava ikinci ısı değiştirgeci kondensatörde 40°C sıcaklık derecesine kadar ısınır 46,1 gr subuharı alma kapasitesi ile yeniden kurutma fırınına geri dönebilmektedir.

b. Soğutucu madde dolanımı (soğutma çevrimi)

Soğutucu madde olarak yoğuşan ve buharlaşan bir madde, örneğin Freon kullanılmaktadır. Evaporatör içerisinde hava - subuharı karışımından ısı alarak buharlaşan soğutucu madde Resim 2 de 3 numara ile belirtilen kompresör tarafından emilerek sıkıştırılmaktadır. Basınç yükselmesi ile sıcaklık artmakta ve böylece hava - subuharı karışımından alınmış olan (Q_1) ısıyı yardımı ile ulaşılan T_1 sıcaklığı T_2 sıcaklığına yükselmektedir. Yüksek basınç ve sıcaklıktaki buhar kompresörden kondensatöre itilmektedir. Burada içerdiği ısıyı hava - subuharı karışımına vererek soğumakta ve yoğuşarak sıvı hale gelmektedir. Bu halde kapiler borular içerisinde evaporatöre giderken Resim 2 de 4 numara ile gösterilen «genişletme ventili» yardımı ile genişletilerek basıncı düşürülmektedir.



- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1 Kondensat | 7 Primer vantilatör |
| 2 Kompresör | 8 İlave ısıtıcı |
| 3 Evaporatör | 9 Hava iletme kanalı |
| 4 Soğutucu madde dolanımı | 10 Isı yalıtım tabakası |
| 5 Genişletme ventili | 11 Sekonder vantilatör |
| 6 Kondensatör | |

Resim 3 : Kondensasyonlu kurutma odası şeması (Büttner - Schilde - Haas AG kataloğundan)

Resim 3 bir kondensasyonla kurutma tesisi daha ayrıntılı bir biçimde şematik olarak gösterilmiştir.

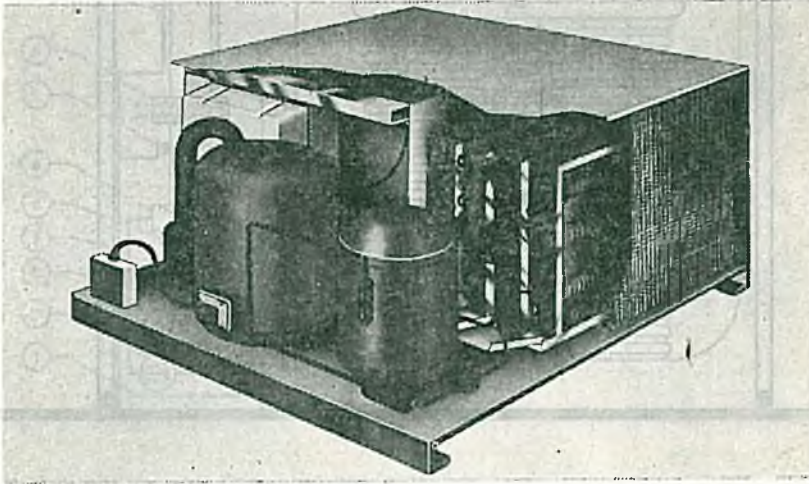
Yukarıdaki açıklamadan anlaşılacağı gibi soğutucu madde dolanımına kompresör yardımı ile iş verilmektedir. Burada mekanik enerjinin ısı enerjisine çevrilmesi söz konusudur¹. Makinanın ısıtma etki katsayısı $\epsilon = Q_1 + W/W$ dir.

3.4. Kerestenin kurutulması amacıyla kullanılan ısı pompasının tertip şekilleri

Buraya kadar yapılan açıklamalardan anlaşılacağı gibi bir ısı pompası yada ısı pompası prensibine göre çalışan kondensasyon aleti ayrıntı ve ilâveler hariç tutulursa Kompresör, Evaporatör, Kondensatör ve Primer Vantilatör olmak üzere dört esas kısımdan müteşekkildir. Bu esas kısımlar dikkate alınırca bu aletlerin tertiplenmesinde esas itibarıyla iki sistem vardır.

1. Toplu sistem (kompakt sistem)
2. Dağınık sistem

Toplu sistemde aletin esas kısımları bir arada ve kapalı bir mahfaza içinde bulunur. Bu şekildeki bir ısı pompasının 20 m³ e kadar kapasiteli kurutma odaları için uygun olduğu belirtilmektedir (STÖRK 1974, s. 184). Alet, oda içerisinde bir yere yada oda duvarlarında bu amaçla yapılan hücre içerisine kolayca yerleştirilebilir. **Resim 4** de toplu tertiplenmiş bir alet görülmektedir. Bu alet doğrudan doğruya oda içerisine kurulabilmektedir. Kolay ve çabuk monte edilebilir olması, büyük montaj ve tesis masraflarını gerektirmemesi toplu tertiplenmiş aletlerin faydalı tarafını teşkil etmektedir.



Resim 4 : Kondensasyonla kurutma aleti HD 72/30 (40°C ve %75 bağıl nemdeki yoğuşturma kapasitesi 20 litre/saat) (Hildebrand Maschinenbau GmbH kataloğundan)

¹ Bilindiği gibi 1 Kw - saat elektrik enerjisi doğrudan ısıya çevrilirse 860 Kcal ısı temin edilebilir (ULLMANN'S ENCYKLOPAEDIE 1951, s. 572).

Dağınık sistemde kondensasyon aletinin esas kısımlarından kompresör kurutma odası dışında bulunmaktadır. Diğer kısımlar ise gene toplu olarak bir mahfaza içinde kurutma odasının uygun bir yerine yerleştirilmektedir. Bu sistem kapasiteli 20 m³ ü aşan büyük odalar için kullanılmaktadır (STÖRK 1974, s. 184).

4. KURUTMA TEKNİĞİ

4.1. Kurutma odası ve özellikleri

Kerestenin teknik olarak kurutulmasında teknik ve ekonomik bakımından iyi bir sonuç alabilmek için kurutma tesisinin bazı özellikleri haiz olması gereklidir. Her kurutma metodu en iyi şekilde kendi özellikleri ve çalışma prensibine uygun biçimde yapılmış olan tesislerde uygulanabilir. Bilindiği gibi bugün pratikte en çok 100°C un altındaki sıcaklıklarda kurutma yani «klasik kurutma» metodu ve daha az olmak üzere 100°C un üstünde «yüksek sıcaklıkta kurutma» metodu uygulanmaktadır. Uygulamalardan başarılı sonuç alabilmek için her iki methoda da kurutma fırınlarının ve ağaç malzemenin kullanıldığı görülmektedir.

Oda duvarları ve tavanı ısı kaybına karşı iyi yalıtılmış olmalıdır. Bununla kurutma sırasında oda duvarlarının ve tavanının iç yüzeylerinde meydana gelen sıcaklığın subuharının yoğunlaşma sıcaklığının altına düşmemesi sağlanmalıdır. Subuharının duvarların ve tavanın iç yüzeylerine çarparak yoğunlaşması ve tabanda toplanması kurutmanın gidişini olumsuz yönde etkilemektedir. Kondensasyonla kurutma yapılan odalarda ısı geçirgenliği kat sayısının 0,3 ile 0,5 Kcal/m² saat C° arasında olabileceği belirtilmektedir (STÖRK 1974, s. 184). Halbuki bu değer klasik kurutma metodunun uygulandığı fırınlar için 3,5 Kcal/m² saat C° ye kadar yükselmektedir (TGL 21499).

Kondensasyonla kurutmada amaca uygun bir kurutma yapmak için oda tabanının da iyi yalıtılmış olması gerekmektedir. Zira, aksi halde yukarıda belirtildiği gibi soğuk yüzeyle temas eden subuharı yoğunlaşarak oda tabanında birikmektedir. Biriken sular kurutmanın ileri periyodlarında oda havasının bağıl neminin düşmesi ile yeniden buharlaşarak kurutma süresini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sakıncalı durum dikkate alınarak oda tabanı yoğunlaşan suları biriktirmeden akıtacak şekilde yapılmalıdır.

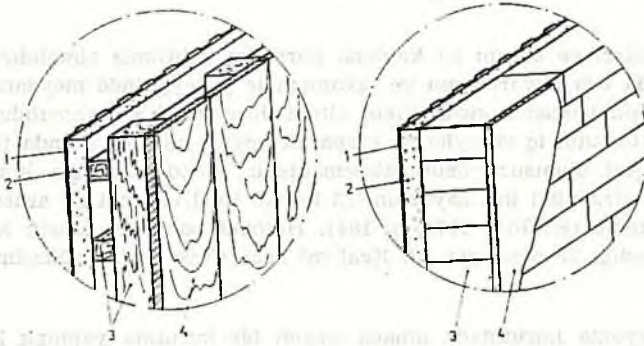
Yüksek özellikleri haiz olması gerekmektedir (TGL 21499, EICHLER 1970, s. 282 - 284). Buna karşılık düşük sıcaklık dereceli bir kurutma şekli olan kondensasyonla kurutmada kondensasyon aletinin monte edilip kurutma işleminin yapılabileceği odaların diğer metodların uygulandığı tesisler kadar yüksek özellikler göstermesine gerek yoktur. Esasen, kondensasyonla kurutmanın klasik kurutmaya nazaran faydalı taraflarından birini bu özelliği teşkil etmektedir. Isı yalıtıklık durumu uygun olan odalar yeterli şekilde teçhiz edilerek bu amaçla kullanılabilir. Bu nedenle de kondensasyonla kurutma yapmak amacıyla düzenlenip teçhiz edilmiş yerlere kurutma fırını veya tesisi değil kurutma odası denmesi daha uygun görülmüştür.

Kondensasyonla kurutmada yalnız ısı pompası kullanıldığı takdirde çıkılabilecek sıcaklık yaklaşık olarak 40°C kadardır (TRÜBSWETTER 1976, s. 744). Bu bakımdan sıcaklığa karşı dayanıklılık önemli değildir. Yapı malzemesi olarak hemen bütün maddeler kullanılabilir. Ancak, pratikte en çok metal (aluminium), kârgir

Kurutma odası hava alış verişi olmayacak şekilde yapılmalı, kapılar sıkıca kapanabilmelidir. Ancak bu şekilde hava - subuharı karışımının dolanımı kusursuz olmakta ve ısı tasarrufunda yüksek verim sağlanmaktadır.

Başkaca, Kargir ve ağaç malzemeden yapılmış odalarda oda duvar ve tavanının iç tarafına bir buhar kesici tabaka yani «buhar engeli» tabakası yapılmalıdır. Böylece yüksek derecede doymun halde bulunan oda havasından ısı yalıtımı tabakası içine rutubet sızması önlenmektedir. Ortalama 30°C luk hava sıcaklığında ve %80 den %90 na kadar olan bağıl nem derecelerinde oda havasının subuharı basıncı dışarıdaki hava basıncından daima daha büyüktür. Bu şekilde dışarıya doğru meydana gelen «Buhar basıncı meyli» nedeniyle «buhar engeli» tabakası olmayan odalarda subuharının büyük bir kısmı sıvılaşıarak ısı izolasyonu tabakası içine sızabilmektedir (STÖRK 1974, s. 184).

Resim 5 kondensasyonla kurutma yapmak amacıyla inşa edilecek bir kurutma odasının çeşitli imkânlarla göre yapılan duvar kesitleri görülmektedir.



- 1 Buhar engelli tabakası
- 2 Isı yalıtımı tabakası
- 3 Ahşap iskelet
- 4 Ahşap kaplama

- 1 Buhar engelli tabakası (Alüminyum)
- 2 Isı yalıtımı tabakası
- 3 Hafif beton
- 4 Dış sıva

Resim 5 : Kurutma odası duvar kesitleri. Bir ahşap ve bir beton duvar kesitli (Störk 1974'den)

Oda kuruluş yerinin seçilmesinde elektrik enerjisi ihtiyacı dikkate alınmalıdır. Elektrik enerjisinin mevcut olduğu her yerde bu amaçla yeniden kurutma odası inşa edilebileceği gibi, ısı yalıtıklığı uygun olan yada uygun hale getirilen mevcut odalar da gerekli şekilde teçhiz edildikten sonra kullanılabilir.

Kurutma odası teçhizatı olarak kullanılan malzemenin, örneğin oda vantilatörü tablalarının, ara tavanın, çeşitli kablo ve boruların rutubete dayanıklı paslanmaz olmaları gereklidir. Bu bakımdan en uygun malzeme Alüminyumdur.

Kurutma odası büyüklüğü işletmenin ihtiyacı ve ısı pompasının gücü göz önüne alınarak saptanabilmektedir. Ancak, işletme masrafları yönünden küçük hacimli odalar daha ekonomiktir. KRIEFALL (1975, s. 865) e göre büyük odalarda kurutma süresinin uzun olması nedeniyle yalnız kereste hacmi 40 m³ ün altında bulunan oda büyüklüklerinde kondensasyon aleti ile kurutulma daha ekonomiktir.

Kenar oranları 3/2 ve yüksekliği 2 metreye kadar olan dikdörtgen şeklindeki odaların en uygun odalar olduğu belirtilmektedir (LANDENBERGER 1976, s. 10).

4.2. Kurutma odasının düzenlenmesi ve teçhiz edilmesi

Kondensasyonla kurutmada arzu edilen iyi bir sonuca ulaşabilmek için kurutma odasının düzenlenmesinde ve teçhiz edilmesinde bazı hususlara dikkat edilmelidir. Bunlardan en önemlileri aşağıda özetlenmiştir.

Oda içerisinde ısı ve rutubet taşıyıcı olarak görev yapan hava - subuharı karışımı, kurutma odası içerisinde oda uzunluğu, genişliği ve yüksekliği boyunca yaklaşık olarak aynı hızda hareket etmelidir. Bu, kondensasyon aletinin primer vantilatöründen başka oda içerisine yerleştirilen sekonder vantilatör (oda vantilatörü) tarafından sağlanmaktadır. Bu bakımdan oda vantilatörü oda içerisinde her tarafta yaklaşık olarak eşit hava hareket hızı sağlayacak en uygun yere monte edilmelidir.

Bilindiği gibi kurutmada istifin durumuna göre enine ve boyuna olmak üzere iki çeşit hava dolanım söz konusudur. Pratikte daha çok enine hava dolanımı uygulanmaktadır. Enine dolanımda hava odun liflerine dik yönde cereyan etmektedir. Klasik kurutma metodunda optimal hava hareket hızı 2 m/s den az 3 m/s den yüksek değildir. Kondensasyonla kurutmada da durum aynıdır ve genellikle 2 m/s dir (TRÜBS-WETTER 1976, s. 744 ; STÖRK 1974, s. 186).

Oda içerisinde hava akışını engelleyici veya saptırıcı etklere, hava girdaplarına meydan verilmemelidir. Bunun için oda köşeleri yuvarlaklaştırılabileceği gibi, hava hareketini yönlendirici yardımcı levhalar yada kanallar da kullanılabilir.

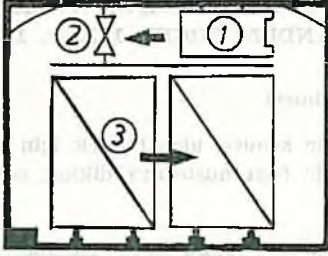
İstif yanlarında uygun bir hava dolanım sağlayacak boşluklar bırakılmalıdır. Yeknesak bir hava hareketi sağlama bakımından kurutma sırasında istifin sağ ve solunda yeterli büyüklükte boşluk bulunması gerekmektedir. Kurutma sırasında bu boşluklara hiçbir şekilde tahta, kalas ve başka maddeler konmamalıdır.

Oda hacminden mümkün olduğu kadar iyi yararlanılmalıdır. Bu kondensasyon aleti oda içerisinde olan odalar için önemlidir. Alet, oda içerisinde en az yer işgal edecek şekilde ve buna karşılık fonksiyonlarını en iyi yapabileceği bir yere monte edilmelidir.

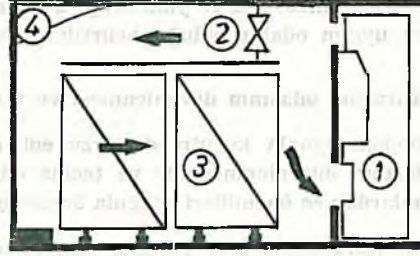
Oda içerisinde istife giriş ve çıkış tarafında yaklaşık olarak aynı sıcaklık değerleri sağlanabilmelidir. Hava giriş tarafından çıkış tarafına doğru olan rutubet meyli mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Bunu sağlamak için, geniş istif düzenlemelerinden kaçınılmalı ve istifler mümkün olduğu kadar dar tutulmalıdır. Bazı odalarda uygun yerlere, örneğin iki istif arasına ilâve ısıtıcıların monte edildiği de görülmektedir.

Oda havası bağıl neminin ve sıcaklığının ölçülmesinde kullanılan ölçü aletleri, oda ortalaması değerleri verecek en uygun yerlere monte edilmelidir. Örneğin, termostat ve higrostatın kondensasyon aletinin hava çıkış tarafına yerleştirilmesi uygundur.

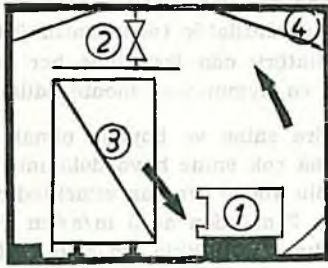
Bir odanın kondensasyonla kurutma yapmāk üzere yukarıda belirtilen hususlar göz önünde bulundurulmak koşulu ile düzenlenmesi ve tehziz edilmesinde çeşitli şekiller vardır : Resim 6 da, kondensasyon aletinin oda içinde ve oda dışında olması-na göre, bu şekillerden bazıları şematik olarak gösterilmiştir.



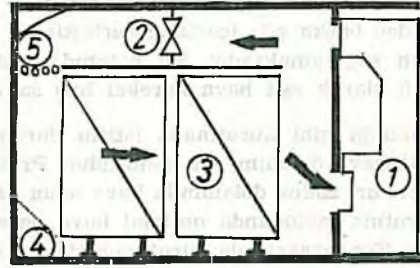
a



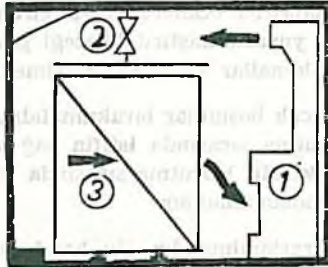
d



b



e



c

1. Kondensasyon aleti
2. Oda vantilâtörü
3. Kereste istifi
4. Hava yönlendirme levhası
5. İlâve ısıtma düzeni

Resim 6 : Çeşitli şekillerde düzenlenip tehziz edilmiş kurutma odası şemaları

Resim 6 da a, oda hacminden iyi yararlanma olanağı sağlayıcı bir düzenleme şeklini göstermektedir. Ancak, bu düzenleme şekli uzaktan kumanda aygıtına ihtiyaç göstermektedir. Resim 6 da b, ise oda hacminden en az yararlanma durumunu yaratan düzenleme şeklini vermektedir. Hava -subuharı karışımı kondensasyon aletine ön taraftan girip arka taraftan çıkmaktadır. Bu şekildeki bir düzenlemede uygun bir hava dolanımı sağlamak bakımından kereste istifi ile alet, alet ile oda duvarı arasında oldukça büyük bir aralığın bulunması gerekmektedir. Hava -subuharı karışımı çıkışı kondensasyon aletinin arka yüzünden değilde yan yüzlerinden olduğu takdirde, bu aralığın yarı yarıya azalması mümkündür. Resim 6 da d ve e kon-

densasyon aleti dışarda olan kurutma odalarını göstermektedir. Bunlardan e de ısı pompası ile ulaşılamayan sıcaklık derecelerine yükselmek için ilâve edilen ısıtma düzeni görülmektedir.

4.3. Kereste istifi ve kurutma odalarına yerleştirilmesi

Genel olarak kerestenin kurutulmasında başarı, büyük ölçüde kerestenin tekniğine uygun şekilde istiflenmesine bağlı bulunmaktadır. Kondensasyonla kurutmada da durum aynıdır. Kurutma odası ve teçhizatı ne kadar mükemmel olursa olsun kerestenin istiflenmesinde yapılan hatalar ve istifin oda içerisine yerleştirilmesindeki dikkatsizlikler kurutmanın başarısını olumsuz yönde etkilemektedir. Zira ısı ve rutubet taşıyıcı olarak görev yapan hava, yalnız tekniğine ve kuralına uygun olarak yapılmış ve oda içerisine yerleştirilmiş istiflerde bu görevlerini tam olarak yerine getirebilmektedir. Bu nedenle kerestenin tekniğine uygun şekilde istiflenmesinde gerekli özen gösterilmeli ve oda içerisine en uygun biçimde yerleştirilmelidir.

Kondensasyonla kurutmada kereste çıtalı sandık şeklinde istiflenmektedir. Bu istifleme şeklinde çıtalar önemli fonksiyonlara sahiptir. Bu bakımdan uygun boyutlarda ve özelliklerde çita kullanılmalıdır. Çıtalar her tarafta aynı kalınlıkta, düzgün lifli, budaksız yada az budaklı, dayanıklı ve sağlam olmalı tekrar tekrar kullanılabilir. Şekil bakımından enine kesitleri kare yada dikdörtgen olabilmektedir. Kalınlıkları kurutulacak kereste kalınlığına bağlıdır. Pratik maksatlar için 30 mm ye kadar kereste kalınlığında 16 mm., 30 ilâ 60 mm. kereste kalınlığı için 25 mm., 60 mm. den daha kalın kereste için ise 40 mm. çita kalınlıkları uygundur (LEM-PELIUS 1969, s. 62).

İstifleme işleminde dikkat edilecek hususları aşağıdaki şekilde kısaca özetlemek mümkündür.

İstiflemeye, çeşitli ağaç türlerinde ve kereste kalınlıklarında kuruma sürelerinin farklı olduğu billinci ile hareket edilmelidir. Bu bakımdan hem farklı türdeki ve kalınlıktaki kereste aynı istife konmamalı hemde farklı tür ve kalınlıklarda olan istifler aynı partide kurutulmamalıdır.

İstiflemeye mümkün olduğu kadar kereste başlangıç rutubeti ve kalitesi de dikkate alınmalıdır. Aynı partide kurutulacak kerestelerin başlangıç rutubetleri arasında büyük farklar bulunmamalıdır.

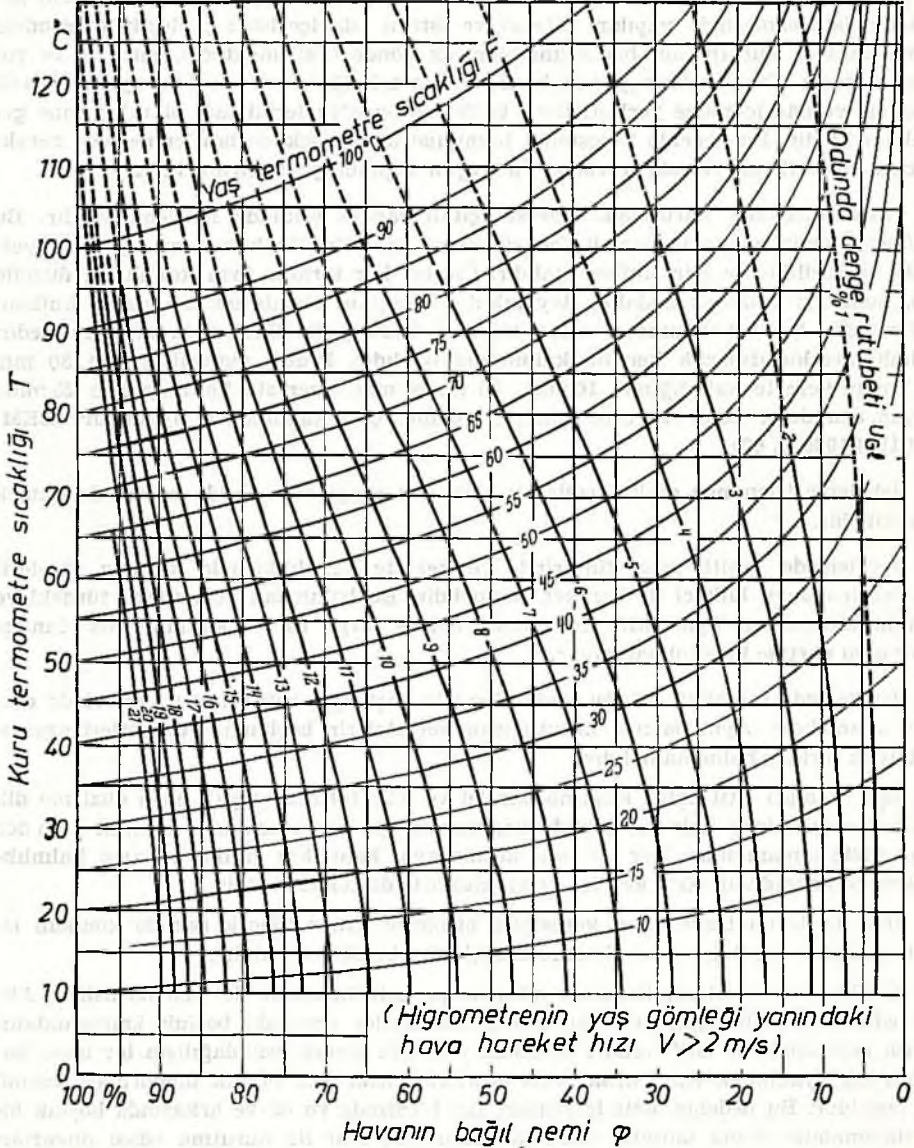
İstif çıtaları istif enine kesitine paralel ve istif tabanını teşkil eden düzleme dik düzlemler içerisinde kalacak şekilde konmalıdır. Çıtalar arasındaki uzaklık 1 m den daha fazla olmamalıdır. Her bir istif katına aynı kalınlıkta çıtalar ve aynı kalınlıkta kereste konmalıdır. Kısa kereste uçları çıtalarla desteklenmelidir.

İstif katlarını teşkil eden keresteler birbirine temas edecek şekilde konmalı istif içerisinde hava dolanımını aksatacak boşluklar bırakılmamalıdır.

İstifin yada istiflerin kurutma odasına yerleştirilmesinde de bazı hususlara dikkat edilmelidir. Örneğin, arka arkaya gelen istifler arasında boşluk kalmamalıdır. İstifin çevresinde ve istif katları arasında yaklaşık olarak eşit dağılıfta bir hava hareketi sağlayabilmek için istifin yada istiflerin fırını tam olarak doldurması önemli bir koşuldur. Bu nedenle, istif içerisinde, üst tarafında ve ön ve arkasında boşluk bırakılmamalıdır. Buna karşılık hava dolanımı için istif ile kurutma odası duvarları arasında teknik ölçüler dahilinde bırakılmış olan boşluklar serbest vaziyette bulunmalıdır.

4.4. Kurutmanın yönetilmesi

Kereste istifi kurutma odasına yerleştirildikten sonra kapılar sıkıca kapatılarak kurutma işlemine hemen başlanmalıdır. Zira, böyle bir ortam küf mantarlarının gelişmesi için çok uygundur. Ancak, kapılar kapatılmadan önce gerekli bazı kontroller yapılmalıdır. Örneğin, oda içerisinde hava dolanımını engelleyici yada saptırıcı engeller ortadan kaldırılmalıdır. Kurutma kontrol ve yönetim aletleri, kondensat



Resim 7 : Havanın bağıl nemi, kuru termometre sıcaklığı ve odun içinde meydana gelen higroskopik dengeli rutubeti miktarları (Keylwerth - Noack 1964'ten)

toplama kabı ve iletim boruları gözden geçirilerek görevlerini tam yapıp yapmadıkları kontrol edilmelidir.

Kurutmanın başında önce ventilasyon ve ön ısıtma sistemleri çalıştırılır. Oda belli sıcaklığa, örneğin 20°C sıcaklık derecesine ulaşıncaya kadar ön ısıtma çalıştırılmalıdır. Bu sıcaklık, kerestede hızlı bir yüzeysel kuruma yaratmayacak derecede olmalıdır. Ön ısıtma sırasında sıcaklığın artması ile birlikte kereste yüzeylerinden olan buharlaşma ve dolayısıyla oda havası bağıl nemi yükselmektedir. Ön ısıtma sırasında, kerestede yüzeysel hızlı bir kurumadan kaçınmak ve böylece kurutma kusurlarının oluşumunu önlemek için mümkün olduğu kadar yüksek bağıl nem derecelerine erişilmesi uygundur. Ancak, kondensasyonla kurutmada bu şekilde ulaşılabilecek olan bağıl nemin derecesi kurutulan kerestenin başlangıç rutubetine bağlıdır. Başlangıç rutubeti yüksek olan kerestenin kurutulmasında bu şekilde ulaşılan bağıl nem dereceleri %90'ı aşabilmekte ve hatta %100'e yaklaşabilmektedir. Buna karşılık başlangıç rutubeti düşük kerestenin kurutulmasında istenilen bağıl nemin sağlanmasında bile güçlük ortaya çıkmaktadır.

Uygun bir bağıl nem derecesine erişildikten sonra ön ısıtma durdurulmakta ve ısı pompası çalıştırılmaktadır. Böylece, soğutma dolanımı devreye girmekte ve kurutmada, «yoğuşum fazı» başlamaktadır. Yoğuşum fazında bir taraftan kurutma odası havasının nem fazlasını teşkil eden subuharı yoğuşmakta, diğer taraftan da kompresöre verilen elektrik enerjisinin ısıya çevrilmesi ve geri kazanılmasıyla oda sıcaklığı artmaktadır. Fakat kondensasyonla kurutmanın özelliği olarak sıcaklık bu şekilde çoğunlukla ancak 40°C a kadar yükselbilmektedir. Odanın maksimum sıcaklığı sıcaklık sınırlama termostatu yardımı ile sınırlanabilmektedir.

Kurutma odası bağıl nemi higrostat yardımı ile ayarlanmakta ve bu suretle programda verilen derecenin altına düşmemesi sağlanabilmektedir. Oda bağıl nemi programda gösterilen dereceye ulaştıktan sonra kompresör devre dışı kalmakta ve böylece yoğuşum fazı sona erdiği için «denkleşim fazı» yada «dinlenme fazı» başlamaktadır. Bu fazla kereste iç tabakalarından yüzeylerine doğru olan su hareketi artmakta ve yüzeylerden buharlaşma azalmaktadır. Böylece, dış sertleşme halinin oluşumundan kaçınmak mümkün olmaktadır. Kompresörün tekrar devreye girmesiyle yoğuşum fazı yeniden başlamaktadır.

Özet olarak kurutmada birbirini takip eden iki faz söz konusudur. Bunlar yoğuşum ve denkleşim fazlarıdır. Yoğuşum fazında odanın bağıl nemi düşmekte, buna karşılık ısıyı geri kazanılması ile sıcaklığı yükselmektedir. Bu fazda kereste yüzeylerinden olan buharlaşma hızında artma görülmektedir. Denkleşim fazında ise, odanın bağıl nemi yükselmekte buna karşılık sıcaklığı düşmektedir. Kerestenin iç tabakalarından yüzeylerine doğru olan su hareketi (difüzyon) artmakta ve yüzeylerden olan buharlaşma azalmaktadır.

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi yönetim, kompresörün uzun ve ya kısa süreli devreye sokulup devreden çıkarılması suretiyle oda havası bağıl neminin kurutmadaki ilerlemeye ve kereste rutubetine uygun olarak basamaklı bir şekilde düşürülmesinden ibarettir. Bunun sağlanması için pratikte çeşitli imkânlar vardır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

1. **Higrostatla yönetim :** Sağlanacak olan bağıl nem el ile Higrostat üzerinde ayarlanmaktadır. Oldukça güvenilir olan bu biçimdeki yönetimde kereste rutubetine bağıl olarak oda havası bağıl nem derecelerini gösteren kurutma programlarına ihtiyaç vardır. Mevcut bir programın iyi bir şekilde uygulanması için ise, kurutma sırasında kereste rutubetinin takip ve kontrolü gereklidir.

2. Süre programlamasıyla yönetim : Kurutmada yoğunlaşım fazı ve denkleşim fazı sürelerinin el ile ayarlanması suretiyle yapılan bir yönetim biçimidir. Güvenilir olmayan bu yönetim biçiminde zaman esasına göre hazırlanmış bir kurutma programına ihtiyaç vardır. Yüksek kurutma kalitesi istenmeyen kolay kurutulabilecek ağaç türleri kerestelerinin kurutulmasında uygundur.

3. Otomatik yönetim : Kurutma odası bağıl nemi ve sıcaklığı ile kerestenin rutubeti devamlı olarak dikkate alınıp değerlendirilerek yapılan bir yönetim şeklidir. Kerestenin rutubeti örnek tahtalar üzerine çakılmış elektrotlar yardımı ile devamlı kontrol ve takip edilebilmektedir. Kereste rutubeti esas alınarak hazırlanmış mevcut bir kurutma programına göre kurutma yapmak mümkündür.

4.5. Kurutma programları

Kurutmayı mümkün olan en kısa sürede ve en az değer kaybı ile amacına ulaştırmak için kurutma fırını ikliminin kurutmaya konu olan ağaç türünün isteklerine uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir. Kerestenin başlangıç rutubetinden sonuç rutubetine kadar çeşitli rutubet basamaklarında kurutma fırını ikliminin ne şekilde ayarlanacağı yani kurutmanın nasıl yönetileceği kurutma programlarında belirtilmektedir. Başarılı bir kurutma için kurutmaya konu olan ağaç türünün özellikleri ve kurutulan kerestenin kalınlığı dikkate alınarak denemelerle hazırlanmış uygun bir kurutma programına ihtiyaç vardır. Kurutma programları ya kereste rutubeti yada zaman esas alınarak hazırlanmaktadır. Pratikte en çok kereste rutubeti esas alınarak hazırlanmış, yani kurutma süresince kurutma fırını ikliminin kereste rutubetine bağlı olarak nasıl gideceğini gösteren programlara rastlanmaktadır. Esasen bu şekilde düzenlenmiş programlar kusursuz ve ekonomik bir kurutma yapmak için daha uygundur. Zira, Kurutma sırasında meydana gelen kurutma kusurları kerestenin içerdiği rutubet ve bu rutubetin kereste içerisindeki dağılımına sıkı sıkıya bağlıdır. Kurutma odasında temin edilecek sıcaklık ve bağıl nem dereceleri kereste rutubeti ve bu rutubetin kereste kalınlığı içerisindeki dağılımı dikkate alınarak ayarlanmak zorundadır.

Rutubet esasına göre bir kurutma programının hazırlanması kerestenin rutubeti ile kurutma fırını içerisindeki havanın sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak değişen ve kereste içerisinde belirli bir rutubet derecesinin oluşmasını sağlayan higroskopik denge rutubeti arasındaki ilişkilerin düzenlenmesinden ibarettir. Bu düzenlemeler en iyi şekilde kurutma meylli esasına göre yapılabilmektedir (KEYLWERTH 1950 ; STEIMLE 1965). Kurutma meylli (TG), kurutulan kerestenin kurutma esnasında herhangi bir andaki ortalama rutubeti (% U_m) nin, o anda fırında mevcut sıcaklık ve bağıl nemin kerestede oluşturabileceği ortalama denge rutubeti (% U_{gl}) ne oranıdır. Bu ifadeye göre eşitlik :

$$TG = \frac{U_m (\%)}{U_{gl} (\%)}$$

şeklinde dir.

Her ağaç türü ve aynı ağaç türünün çeşitli kereste kalınlıkları için caiz görülen kurutma meylli değerleri vardır. Çıkmaması mümkün olan en yüksek sıcaklık derecesi de dikkate alınarak saptanması gereken bu değerler bilindiği takdirde, kurutma sırasında uygulanabilecek denge rutubeti değerleri kereste rutubetine bağlı bu eşitlik yardımı ile kolayca hesaplanabilmektedir. Örneğin, herhangi bir ağaç türü için kurutma meylli değer 2 ise, ortalama kereste rutubetinin % 18 olduğu rutubet

Tablo No. 1 : Psikrometrenin kuru termometre sıcaklık derecesi ve kuru ve yaş termometre sıcaklık dereceleri arasındaki farka göre kurutma fırını içerisindeki havanın bağıl nem yüzdesi ve ke-
reste içerisindeki oluşan higroskopik denge rutubeti.

$C^{\circ} = \frac{F^{\circ} - 32}{1.8}$		Kuru termometre sıcaklık derecesi																	3.6
		20	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	
Yaş ve kuru termometre sıcaklık dereceleri arasındaki fark	2	17.0	17.9	18.0	18.1	18.2	18.1	17.9	17.6	17.1	16.8	16.3	15.9	15.5	15.2	14.9	14.6	3.6	
		82	86	87	88	89	90	90	91	92	92	92	93	94	94	94	95		
		14.2	15.4	15.8	16.0	15.9	15.8	15.6	15.3	15.0	14.7	14.4	14.1	13.8	13.0	13.2	13.0	5.4	
		73	79	80	82	83	84	85	86	87	88	88	89	89	89	90	90		
	4	12.2	13.4	13.9	14.0	14.2	14.1	14.0	13.8	13.6	13.3	13.1	12.8	12.5	12.3	12.0	11.8	7.2	
		68	73	75	77	73	80	80	82	83	83	84	84	84	86	86	87		
	5	10.6	11.8	12.1	12.4	12.6	12.7	12.7	12.5	12.3	12.1	12.0	11.6	11.4	11.1	11.0	10.8	9.0	
		60	67	70	73	74	75	77	77	78	79	79	80	81	82	83	83		
	6	9.2	10.6	11.0	11.2	11.4	11.5	11.5	11.4	11.3	11.1	11.0	10.7	10.5	10.2	10.1	9.9	9.8	10.8
		51	60	64	67	69	71	73	74	75	76	76	77	77	78	79	80	81	
	7	8.2	9.6	10.0	10.3	10.6	10.7	10.7	10.6	10.5	10.3	10.1	9.9	9.7	9.5	9.3	9.1	9.0	12.6
		45	55	59	63	64	66	68	70	71	73	73	74	74	75	77	78	79	
	8	7.2	8.8	9.2	9.5	9.7	9.8	9.9	9.8	9.7	9.6	9.5	9.3	9.1	9.0	8.8	8.6	8.5	14.4
		38	50	54	56	60	63	64	66	66	68	69	71	72	72	73	74	75	
	9	6.1	8.0	8.4	8.8	9.0	9.2	9.3	9.2	9.1	9.0	8.8	8.7	8.5	8.4	8.2	8.1	7.9	16.2
		30	45	49	53	55	58	60	63	64	65	65	67	69	69	70	72	73	
	10	5.0	7.2	7.7	8.2	8.5	8.6	8.7	8.7	8.5	8.5	8.3	8.2	8.0	7.9	7.7	7.5	7.5	18.0
		25	40	45	48	52	54	57	58	60	63	63	65	66	67	68	69	70	
	11	4.0	6.5	7.2	7.6	8.0	8.0	8.1	8.1	8.0	8.0	7.8	7.7	7.5	7.4	7.3	7.1	7.0	19.8
		18	35	40	44	47	50	54	55	57	58	58	62	63	64	65	66	67	
	12	2.9	5.8	6.5	7.0	7.4	7.5	7.6	7.7	7.5	7.5	7.3	7.2	7.1	7.0	6.9	6.7	6.7	21.6
		12	30	37	40	44	46	50	53	54	55	55	59	60	62	63	63	64	
	13	1.7	5.0	5.9	6.4	6.8	7.0	7.1	7.2	7.1	7.0	7.0	6.8	6.7	6.6	6.5	6.4	6.3	23.4
		5	25	33	36	40	43	46	49	51	53	53	56	57	58	60	61	62	
	14		4.3	5.3	5.9	6.3	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.6	6.5	6.4	6.3	6.2	6.0	5.9	25.2
			20	27	33	36	40	43	46	48	50	50	53	55	56	58	58	60	
	15		3.6	4.7	5.3	5.9	6.2	6.3	6.4	6.4	6.4	6.3	6.2	6.1	6.0	5.9	5.8	5.7	27.0
			16	24	29	33	37	40	44	45	47	47	51	53	54	55	56	58	
	16		2.9	4.1	4.9	5.4	5.7	5.9	6.0	6.0	6.0	5.9	5.9	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4	28.8
			12	20	26	30	34	38	40	43	45	46	49	50	52	53	53	55	
18		1.1	3.0	3.9	4.5	4.9	5.2	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	5.0	32.4	
		5	13	19	24	28	32	34	37	39	39	43	45	47	49	49	51		
20				3.0	3.8	4.2	4.6	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.8	4.8	4.7	4.6	36.0	
				13	19	24	27	30	33	35	35	39	41	43	43	46	47		
22				1.8	2.9	3.5	3.9	4.2	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.3	39.6	
				8	13	18	23	25	28	31	33	35	37	38	40	42	43		
24						2.8	3.3	3.7	3.9	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	43.2	
						13	18	22	24	27	27	32	33	34	36	38	39		
26						2.1	2.7	3.1	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	46.8	
						9	13	18	21	23	26	28	30	32	33	35	37		
28							1.4	2.2	2.6	2.9	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	50.4	
							5	9	13	17	20	23	26	27	28	30	32		
30								1.5	2.1	2.4	2.7	2.8	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	54.0	
								6	10	13	18	20	23	23	26	27	28		
	68.0	86.0	95.0	104.0	113.0	122.0	131.0	140.0	149.0	158.0	167.0	176.0	185.0	194.0	203.0	212.0	F ^o		
																	F ^o = 1.8 + 32		

Not: Tablodaki denge rutubeti değerleri KEYLWERTH - NOACK (1964, s. 29) dan, bağıl nem yüzdeleri ise LEMPELIUS (1969, s. 41) deki diyagramlardan alınmıştır.

basamağında denge rutubeti %9 olmaktadır. Bu %9 luk denge rutubetini fırın içerisinde oluşturacak sıcaklık ve bağıl nem derecelerini tablo ve diyagramlar yardımı ile bulmak mümkündür. Örneğin, **Tablo No. 1** incelenecek olursa, %9 luk denge rutubetinin 45°C sıcaklık derecesi ve %55 bağıl nem derecesinde yada 70°C sıcaklık derecesi ve %65 bağıl nem derecesinde oluşabileceği kolaylıkla saptanabilir.

Kurutma programları genel olarak kuru termometre sıcaklık dereceleri (kurutma sıcaklığı) ve yağ termometre sıcaklık dereceleri ile esasen bu iki faktöre bağlı olarak hesaplanması mümkün olan bağıl nem ve denge rutubeti yüzdelerini, psikrometrik farkları içermektedir. Bu esas içerikleri yanında ayrıca hangi ağaç türleri ve kereste kalınlıkları için uygun oldukları kaydedilmelidir. Birde, özellikle kurutma metodunun ve fırın tipinin belirlenmesi önemlidir. Zira, kurutmada uygulanabilecek en yüksek sıcaklık derecesi kurutma metoduna ve bu metodun uygulandığı fırın tipine göre değişmektedir.

Kurutmaya konu olan ağaç türü ve kereste kalınlığına uygun bir kurutma programı elde mevcut ise, kurutmanın bu programa göre yönetilmesinde güçlük yoktur. Böyle bir program olmadığı takdirde, benzer ağaç türleri için çeşitli kaynaklarda verilen yada fırın imâl eden kuruluşlar tarafından önerilen programlardan çıkış noktası olarak yararlanmak suretiyle yeni programlar geliştirmek mümkündür. Memleketimizde önemli bazı ağaç türlerimiz keresteleri üzerinde bu yönde çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, KANTAY (1978) tarafından klasik kurutma metodu uygulanarak önemli ağaç türlerimizden kayın, meşe, çam, göknar ve sedir kerestelerinin teknik kurutma özellikleri ve kurutma programları araştırılmıştır. Kurutmadaki kalite istekleri dikkate alınarak yüksek kaliteli, kaliteli ve şiddetli olmak üzere çeşitli kalitelere kurutma yapılmasını sağlayan çeşitli kurutma programlarının önerildiği bu çalışmalarda şiddetli olmayan koruyucu bir kurutma için pratikteki ilk uygulamalarda güvenle uygulanabilecek ve uygulayıcı tarafından kalite isteklerine göre yeni programların düzenlenmesinde çıkış noktası olarak ele alınabilecek programlar da verilmiştir. Bunlar ana hatları ile **Tablo No. 2** de özetlenmiş bulunmaktadır.

Düşük sıcaklık dereceli bir kurutma şekli olan kondensasyonla kurutmada yukarıda mahiyeti açıklanan ve **Tablo No. 2** de özetlenen kurutma programlarının uygulanması mümkün değildir. Çünkü klasik kurutmada uygulanabilecek en yüksek sıcaklık derecelerine kondensasyonla kurutmada, bu kurutma şeklinin özelliği olarak çıkılamaması doğaldır. Fakat klasik kurutma için verilen programlardaki denge rutubeti ve kurutma meyli değerlerinden yararlanmak mümkündür. Bilindiği gibi herhangi bir denge rutubeti yüzdesini oluşturan çeşitli sıcaklık derecesi ve bağıl nem yüzdesi kombinasyonları vardır. Aynı denge rutubeti yüzdesi sıcaklık yükseldikçe daha yüksek bağıl nem yüzdesi ile kombine edilerek sağlanmaktadır. Örneğin, %9 luk denge rutubetini oluşturmak için ; 70°C uygulanan kurutmada %64 bağıl nem uygulanması, 40°C uygulanan kurutmada ise % 55 bağıl nem uygulanması gerekmektedir (**Tablo No. 1** ve **Resim 7**). Bu düşünceden hareket ederek klasik kurutma için hazırlanmış mevcut bir kurutma programını, programda mevcut denge rutubetlerini oluşturabilecek bağıl nem yüzdelerini **Tablo No. 1** yada **Resim 7** den bulmak suretiyle değiştirerek kondensasyonla kurutmada uygulanabilecek hale getirmek mümkündür. Ancak, bu şekilde elde edilecek bir kurutma programının, kondensasyonla kurutmada sıcaklık derecesinin düşük olması nedeniyle oldukça koruyucu olacağı bilinmelidir. Bu nedenle de böyle bir program daha az koruyucu fakat maksada daha uygun yeni programların aranmasında çıkış programı olarak kullanılmalıdır. **Tablo No. 4** de gösterilen kurutma programı, 25 mm. kalınlıktaki kayın kerestesinin kla-

Tablo No. 2 : Bazı ağaç türlerimizin klasik kurutma metodu ile kurutulmasında uygulanabilecek, sıcaklık, bağıl nem ve kurutma meyli değerleri (KANTAY 1978'e göre).

Ağaç türü ve kereste özellliği	Kalınlık mm	Lif doygunluğu rutubet derecesinin üstünde kurutma şartları				Lif doygunluğu rutubet derecesinin altında kurutma şartları			
		Kuru termometre sıcaklık derecesi		Denge rutu.	Bağıl nem	Kuru termometre sıcaklık derecesi		Kurutma meyli	
		C°	F°	%	%	C°	F°		
Toros karaçamı	24	75	167	10,1	73,0	90	194	3,50	
	48	65	149	11,8	76,5	80	176	3,25	
Uludağ göknarı	24	80	176	9,9	74,0	90	194	3,85	
	48	70	158	10,7	74,5	80	176	3,50	
Toros sediri	24	75	167	10,1	73,0	90	194	3,50	
	48	70	158	11,1	76,0	80	176	3,25	
Çoruh meşesi	25	Taze halde	40	104	19,1	90	65	149	1,80
		Ön kurutma yapılmış	45	113	18,2	89	65	149	1,80
Doğu kayını	25	60	140	13,8	82	80	176	2,25	

sık kurutma metodu ile kurutulması için önerilen kurutma programından (Tablo No. 3) yararlanılarak örnek olarak bu yolla hazırlanmış bir programdır.

5. KURUTMA SÜRESİ

Hava - subuharı karışımı ile düşük sıcaklık dereceli bir kurutma şekli olan kondensasyonla kurutmada kurutma süresi doğal kurutmaya nazaran oldukça kısa, buna karşılık klasik kurutmaya nazaran daha uzundur. Bilindiği gibi teknik kurutmada kurutma süresi ağaç türü, kereste kalınlığı, kerestenin başlangıç rutubeti, kurutmada ulaşılmak istenen sonuç rutubeti, kurutma sıcaklığı, hava hareket hızı, kurutma fırını yapı tarzı ve kurutmada kalite istekleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir (KEYLWERTH 1949, s. 735)¹. Bu faktörlerden sıcaklık kurutma süreleri arasındaki farkların meydana gelmesinde en önemli rolü oynamaktadır. Kurutma sıcaklığının artması ile ağaç malzeme içerisindeki suyun hareket hızı artmaktadır. Zira, sıcaklığın artması ile suyun viskozitesi arttığı gibi odun madde- sinde de gevşeme meydana gelerek iç tabakalardan dış tabakalara doğru olan su hareketi hızlanmakta ve kurutma süresinde önemli ölçüde bir kısalma olmaktadır. 100°C sıcaklık derecesinin altındaki sıcaklıklarda, sıcaklık ile kurutma süresi arasında orantılı bir ilişki vardır. Bu ilişki,

$$\frac{z_2}{z_1} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{yani} \quad z_2 = z_1 \cdot \frac{T_1}{T_2}$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Eşitlikte ; z_1 , T_1 sıcaklığında elde edilen süre, z_2 ise, T_2 sıcaklığında elde edilen süredir (KOLLMANN 1955, s. 312)².

¹ Kayın kerestesinin kondensasyonla kurutulmasında çıkılabilecek sıcaklık derecesi 40°C olduğu takdirde :

— Lif doygunluğu rutubet derecesinin üstünde uygulanacak denge rutubeti %13,8 Tablo No. 2 yada Tablo No. 3 den alınır. 40°C da bu %13,8 lik denge rutubetini oluşturacak olan bağıl nem, yani %75 Tablo No. 1 yada Resim 7 den bulunur.

— Lif doygunluğu rutubet derecesinin altında uygulanacak denge rutubetleri Tablo No. 3 den alınır yada kurutma meylerinden yararlanarak $TG = \frac{U_m}{U_{e1}}$ yardımıyla bulunur. Örneğin, kereste rutubeti

%19 olan kurutma basamağında uygulanacak denge rutubeti $U_{e1} = \frac{U_m}{TG} = \frac{19}{2,25} = 8,4$ (%) dir.

² Kurutma süresinin hesaplanmasında TGL 21500 (1965) da yaklaşık değerler veren şu formül verilmektedir :

$$z = \frac{1}{\alpha} (\ln U_a - \ln U_e) \left(\frac{d}{25} \right)^{1,5} \cdot \frac{65}{t} \cdot \left(\frac{1,5}{V} \right)^{0,6}$$

formülde : $1/\alpha$, kurutulan kerestenin özgül ağırlığına ve kurutma fırını havasının akış hızına bağlı bir katsayıdır. U_a ve U_e , kerestenin başlangıç ve sonuç rutubeti (%), \ln iso tabii logaritmadır. d , millimetre olarak kereste kalınlığıdır. t sıcaklık (°C) olup, v istif katları arasındaki hava akış hızı (m/s) dir. Bu formül asıl kurutma periyodu süresinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Isıtma ve denkleştirme periyodları süreleri ayrıca hesaplanmaktadır.

² Eşitlik $\frac{z_2}{z_1} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^n$ olarak ta verilmektedir. (TRÜBSWETTER 1976, s. 746).

Burada : kurutma sıcaklığı $T \leq 65^\circ\text{C}$ ise $n=1$, $T > 65^\circ\text{C}$ olduğu takdirde de $n = \frac{T-10}{55}$ dir.

Tablo No. 3 : 25 mm kalınlıktaki doğu kayını kerestesinin klasik kurutma metodu ile kurutulmasında uygulanabilecek kurutma programı (KANTAY 1978'den).

Kereste rutubeti (U) %	Kurutma meyli (TG)	Denge rutubeti (U_{gl}) %	Kurutma sıcaklığı (C°)	Psikrometrik fark (C°)	Bağıl nem %
Başl. rut.	—	18,6	60	1,5	92,0
- 29	—	13,8	60	4,0	82,0
29 - 27	2,25	12,8	80	4,0	84,0
27 - 25	2,30	11,6	80	5,0	80,0
25 - 23	2,25	11,1	80	5,5	78,5
23 - 21	2,25	10,3	80	6,5	75,5
21 - 19	2,25	9,3	80	8,0	71,0
19 - 17	2,25	8,4	80	9,5	66,0
17 - 15	2,21	7,7	80	11,0	62,0
15 - 13	2,20	6,8	80	13,0	56,0
13 - 11	2,21	5,9	80	16,0	49,0
11 - 9	2,25	4,9	80	20,0	39,0
9 - 6	2,25	4,0	80	24,0	32,0
6 - 8	—	8,0	80	10,5	63,5

Tablo No. 4 : 25 mm kalınlıktaki doğu kayını kerestesi için kondensasyonla kurutmada uygulanabilecek kurutma programı:

Kereste rutubeti (U) %	Kurutma meyli (TG)	Denge rutubeti (U_{gl}) %	Kurutma sıcaklığı (C°)	Bağıl nem %
Başl. rut.	—	—	20, 30, 40	—
- 29	—	13,8	40	75
29 - 27	2,25	12,8	40	74
27 - 25	2,30	11,6	40	69
25 - 23	2,25	11,1	40	67
23 - 21	2,25	10,3	40	63
21 - 19	2,25	9,3	40	56
19 - 17	2,25	8,4	40	50
17 - 15	2,21	7,7	40	44
15 - 13	2,25	6,8	40	40

Klasik kurutmada 90°C sıcaklık derecesine kadar çıkmak mümkün iken kondensasyonla kurutmada yalnız ısı pompası kullanılan hallerde yaklaşık olarak 40°C sıcaklık derecesine çıkılabilmekte ve ancak ilâve ısıtma sistemi kullanıldığı takdirde 60°C sıcaklık derecesine ulaşılabilmektedir (TRÜBSWETTER 1976, s. 746). Kondensasyonla kurutmada klasik kurutma için caiz görülen en yüksek sıcaklık derecesinin uygulanamaması nedeni ile daha uzun bir kurutma süresine katlanmak zorunluluğu vardır. Halbuki teknik kurutmada her ağaç türü ve kereste kalınlığı için çıkılması mümkün olan en yüksek sıcaklık derecesinin uygulanması prensibi vardır ve önemlidir. Bu prensibe uyulması bakımından yalnız düşük sıcaklık derecelerinde kurutulması zorunlu olan ağaç türleri örneğin, meşe, okaliptus kerestelerinin kondensasyonla kurutulması maksada uygundur.

Kondensasyonla kurutmada elde edilen kurutma süresinin kondensasyon aletinin yoğuşturma kapasitesi ile olan ilgisi de önemlidir. Yoğuşturma kapasitesi yetersiz aletlerle techiz edilmiş odalarda, oda bağıl neminin, kurutmanın ilk basamaklarında özellikle başlangıç rutubeti yüksek olan kerestenin kurutulmasında programda öngörülen bağıl nem yüzdelerine düşürülmesi güç olmaktadır. Böylece, kurutmanın gereksiz yere yüksek bağıl nem yüzdelerinde sürdürülmesi zorunluluğu ortaya çıkmakta ve bu nedenle kurutma süresi uzayabilmektedir.

Kondensasyonla kurutmada ulaşılan kurutma süresi ağaç türü ve kereste kalınlığına göre çıkılması mümkün olan en yüksek sıcaklık derecelerinin uygulanması suretiyle yapılan klasik kurutmada ulaşılan süreye nazaran oldukça uzundur. FPRL (1968)¹ de Westair firmasının «Drymatic 200» markalı kondensasyon aleti ile yapılan denemelerde elde edilen süreler esas alınarak HILDEBRAND MASCHINENBAU GMBH (1973) de yapılan karşılaştırmalarda, kondensasyonla kurutmada ulaşılan sürelerin klasik kurutmada ulaşılan sürelerden 2,5 ile 5 (ortalama 4,25) kat fazla olduğu saptanmıştır.

6. KURUTMANIN KALİTESİ

Genel olarak teknik kurutmada yeterli bir kalitenin elde edilmesi, (1) kurutma fırın ve techizatı, (2) kerestenin istiflenmesi ve fırına yerleştirilmesi ve (3) kurutmanın yönetilmesi ile ilgili 3 ana başlık altında toplanabilecek bazı koşulların yerine getirilmesine bağlı bulunmaktadır (KANTAY 1977). İyi bir kurutma için herşeyden önce uygun şekilde techiz edilmiş yeterli teknik özellikleri haiz bir tesise ihtiyaç vardır (TGL 21499). Kurutulacak kereste tekniğine uygun şekilde istif edilip, tesis içerisine uygun şekilde yerleştirilmeli ve kurutma, ağaç türü ve kereste özellikleri dikkate alınarak yönetilmelidir.

Eilindiği gibi odun içerisindeki su belirli bir sıcaklığa ulaştıktan sonra buharlaşma başlamakta ve subuharı molekülleri odun dokuları içerisinde bir basınç meydana getirmektedir (P_{od}). Buna karşılık kurutma ortamının yani hava - subuharı karışımının da bir basıncı vardır (P_{or}). Suyun kaynama noktasının yani genel olarak 100°C sıcaklık derecesinin altındaki sıcaklıklarda kuruma, odun dokuları içerisindeki ve çevresindeki ortamın kısmi basınç farkları nedeniyle meydana gelmektedir. Subuharı moleküllerinin odun dokularından ayrılarak yüzeylere doğru hareket edebilmesi için odun içerisindeki subuharı basıncının kurutma ortamını teşkil eden hava - subuharı karışımının basıncından büyük olması ($P_{od} > P_{or}$), yani daima bir «buhar

¹ Forest Products Research Laboratory, Princes Risborough/England.

basıncı meyli» yani buhar basıncı farkının oluşması gerekmektedir. Kurutmanın kalitesi, ağaç türünün ve kerestenin özellikleri dikkate alınarak bu meylin uygun ölçülerde düzenlenmesine bağlıdır. Bu meyil dikleştikçe kurumada bir çabuklaşma meydana gelmektedir. Ancak, hızlı bir kuruma sağlama düşüncesiyle «buhar basıncı meyli» istenilen ölçülere kadar çıkarılamaz. Zira, bilindiği gibi kurutma ortamının basıncı gerektiğinden düşük tutulduğu takdirde özellikle kereste rutubetinin yüksek olduğu kurutmanın ilk basamaklarında kereste yüzeylerinde hızlı bir yüzeysel kuruma meydana gelmekte ve bu nedenle «dış sertleşme» kusuru ortaya çıkmaktadır. Dış sertleşme hali olan ağaç malzemedede dış tabakalar adeta bir kabuk şeklinde henüz yaş vaziyette bulunan iç kısımları kuşattığından bu kısımlardan kereste yüzeylerine doğru olan su akışı çok yavaşlamaktadır. Bu sakıncalı halin oluşumunu önlemek için kurutmada ağaç türü ve kereste kalınlığına uygun bir «buhar basıncı meyli» saptamak ve özenle uygulamak gerekmektedir.

Teknik kurutmada uygulanan sıcaklık derecesi ne kadar yüksek olursa odun doluları içerisinde meydana gelen subuharı basıncı da o kadar büyük olur. Kusursuz bir kurutma sağlamak için kurutma fırını içerisinde (P_{od}) basıncının derecesine uygun bir (P_{or}) basıncı etkisinin sağlanması gerekmektedir. Bu etkinin sağlanmadığı hallerde düşük sıcaklık dereceli bir kurutma şekli olan kondensasyonla kurutmada da daha yüksek sıcaklık derecelerinin uygulandığı klasik kurutmada olduğu derecede sertleşme ve çatlama tehlikesi vardır.

Bilindiği gibi dış sertleşme kurutma fırını içerisine kuvvetli buhar püskürtmek suretiyle çözülebilmektedir. Bu işlemin uygulanmasının buhar püskürtme düzeni bulunan klasik kurutma tesislerinde mümkün olmasına karşın, buhar püskürtme düzeni bulunmayan kondensasyonla kurutma odalarında mümkün değildir. Bu nedenle kondensasyonla kurutmada sertleşme çözülmesi ya mümkün değildir yada anormal derecede uzun sürmektedir.

Kurutmanın kalitesini etkileyen renk değişimleri reçine salgılanması ve hücre çökmeleri (kollaps) gibi diğer bazı kurutma kusurlarının oluşumuna kondensasyonla kurutmada daha az rastlanmaktadır. Zira, bu kusurlar ağaç türüne göre uygulanan yüksek sıcaklıktan ileri gelmektedir.

Teknik kurutmada ağaç malzemenin doğal renginde meydana gelen renk değişimleri odunun esas bileşiklerinden olan lignin ve odun yolyoslarında (hemiselülozlarda) husule gelen bazı kimyasal değişimler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu kimyasal değişimler sıcaklık ve rutubet faktörlerinin etkisi ile olmaktadır. Ancak, sıcaklık faktörünün etkisi rutubet faktörünün etkisinden daha kuvvetlidir. Bununla beraber en entansif renk değişimleri, yüksek rutubet dereceleri ihtiva eden ağaç malzemeye yüksek sıcaklık ve yüksek bağıl nem derecelerinin birlikte etkisi ile ortaya çıkmaktadır. Örneğin, taze haldeki yapraklı ağaçlar sıcaklığı 60°C dan yüksek ve bağıl nemi %65 den fazla olan ortamda kurutuldukları takdirde doğal renklerinde göze çarpıcı renk değişimleri meydana gelmektedir (KOLLMANN 1955, s. 321). Kondensasyonla kurutmada kurutma sıcaklığının düşük olması odunun esas bileşiklerinde meydana gelen renk değişimleri nedeniyle ortaya çıkan renk değişimleri daha yüksek sıcaklık derecelerinin uygulandığı klasik kurutmada ortaya çıkan renk değişimleri kadar entansif değildir.

Odunun tanen ve renkli maddeler gibi bazı yan bileşiklerinin oksidasyonu ile meydana gelen renk değişimleri kurutma sırasında ortaya çıkan renk değişimlerinin diğer bir grubunu teşkil ettiği bilinmektedir. Oksidasyon yolu ile meydana gelen renk

değişmelerinde sıcaklığın etkisi daha azdır. Esasen, 50°C un altındaki sıcaklıklarda oksidasyon yolu ile ortaya çıkan renk değişimleri önemlidir. Bu bakımdan kondensasyonla kurutmada bu şekilde ortaya çıkan renk değişimleri söz konusu olabilmekte ve kurutmanın kalitesini fazla etkilememektedir (KOLLMANN, KEYLWERTH ve KÜBLER 1951, s. 388).

Reçine salgılaması çoğunlukla bir kurutma kusuru olarak görülmemekle beraber ağaç malzemenin yüksek sıcaklık derecelerinde kurutulması sırasında olmakta ve ileri derecede olduğu takdirde yüzey işlemleri ve tutkallamada sakınca yaratabilmektedir. Ancak, düşük sıcaklık dereceli bir kurutma şekli olan kondensasyonla kurutmada adı geçen sakıncaları yaratacak derecede reçine salgılanması görülmemektedir.

Hücre çökmeleri (Kollaps) daha çok meşe, okaliptüs, kayın gibi güç kuruyan ağaç türlerinin yüksek başlangıç rutubeti içeren kerestelerinin kurutulmasında meydana gelmektedir. Kurutma esnasında ağaç malzemenin sıcaklık derecesinin artması ile kollaps tehlikesi önemli derecede artmaktadır. Ptatikte kollaps tehlikesi söz konusu olan ağaç türlerinin odunlarını kuruturken aşırı hücre çökmelerinden kaçınmak için, malzemenin rutubeti lif doygunluğu rutubet derecesine ulaşıncaya kadar uygulanacak sıcaklık derecesi ve ağaç malzemenin sıcaklığı 60°C un altında tutulmaktadır (KAUMAN, 1964, s. 183 - 195). Kondensasyonla kurutmada esasen bu sıcaklığın üstüne çıkılmadığından hücre çökmeleri kusuru görülmemektedir.

Kondensasyonla kurutmada % 10 hatta % 8 sonuç rutubetine kadar ulaşmak mümkündür. Bununla beraber % 14 - 15 sonuç rutubetinin altındaki rutubet derecelerine kadar kurutmak ekonomik bakımdan uygun değildir. Zira, sıcaklığın düşük olması nedeniyle bu rutubetin altındaki kuruma çok yavaşlamaktadır. Böylece, kurutma süresinin anormal derecede uzaması işletme masraflarının ekonomik olmayan ölçülere yükselmesine neden olmaktadır. Esasen kondensasyonla kurutma ile klasik kurutmayı ekonomik yönden karşılaştırmak amacıyla KRIEFALL (1975, s. 863) tarafından yapılan bir çalışmada, kondensasyonla kurutmanın yalnız sert ağaçların kalın kerestelerinin %30 rutubetten %15 rutubete kadar kurutulmasında ekonomik ölçüler içerisinde kaldığı belirtilmiştir.

Kondensasyonla kurutmada ekonomik olmaması nedeniyle düşük rutubet derecelerine kadar inilmemesi, ilâve vantilatörlerle (oda vantilatörleri) istifin her tarafında yeknesak hava hareketi sağlanamaması ve kurutma sonunda «rutubet denkleştirilmesi» işleminin yapılamaması gibi nedenlerle sonuç rutubeti değişim genişliği oldukça büyüktür. Bu da kurutmanın kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

ÖZET

Elektrik enerjisinin mevcut olduğu her yerde kondensasyonla kurutma amacıyla yeniden kurutma odası yapılabileceği gibi ısı yalıtıklığı uygun olan yada uygun hale getirilen mevcut odalar da gerekli şekilde techiz edildikten sonra kullanılabilir. Isı geçirgenliği kat sayısı 0,3 - 0,5 Kcal/m² saat °C olabilmektedir. Kurutma odaları büyüklük bakımından çeşitli olup, işletme masrafları yönünden küçük hacimli odalar daha ekonomiktir.

Kondensasyonla kurutmada, yalnız ısı pompası kullanıldığı zaman 40 - 45°C a kadar çıkabilmektedir. Daha yüksek sıcaklık dereceleri uygulayabilmek için ilâve ısıtma düzeni gerekmektedir ve bu takdirde 60°C sıcaklık derecesine kadar yükseltmek mümkün olmaktadır.

Kurutma süresi doğal kurutmaya nazaran oldukça kısa, buna karşılık klasik kurutmaya nazaran ise daha uzundur.

Enerji tüketimi klasik kurutmaya nazaran oldukça düşüktür.

Sonuç rutubeti ve bu rutubetin dağılışı bakımından yeterli kaliteye ekonomik ölçüler içerisinde ulaşmak mümkün değildir. Zira, kondensasyonla kurutma odalarında buhar püskürtme düzeni yoktur ve bu nedenle denkleştirme periyodu uygulanmamaktadır.

Kondensasyonla kurutma ancak düşük sıcaklık derecelerinde kurutulması zorunlu olan, örneğin meşe, okaliptus kerestelerinin kurutulmasında ekonomik olup, yüksek sıcaklık dereceleri uygulanması mümkün olan iğne yapraklı ağaç kerestelerinin kurutulmasında ekonomik değildir.

Kondensasyonla kurutma odası, buhar üretme tesisleri olmayan ve yalnız elektrik enerjisi bulunan küçük kapasiteli işletmeler için uygun olabilmektedir.

K A Y N A K L A R

AYBERS, N., 1972. *Mühendislik termodinamiğinin esasları*. İ.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayını, Sayı 87, İstanbul.

BALSÖZ, M., 1969. *Termodinamik. I. Yüksek Teknik Okulu Yayını, Sayı 95, İstanbul.*

BERCHTOLD, M., 1944/1945. *Trocknen mit Waermepumpe. Elektrizitaetsverwertung - L'Electrique - Electrical Service 19 (1944/1945) 56.*

BERKEM, A. R., 1972. *Modern Fizikokimya. İ.Ü. Kimya Fak. Yayını, Yayın No. 10.*

EICHLER, H., 1970. «*Holz-trocknung*», *Taschenbuch der Holztechnologie*, Dresden, Veb Fachbuchverlag Leipzig.

FESSEL, E., 1974. *Einsatz der Waermepumpe zur wirtschaftlichen Holz-trocknung. Elektrowaerme International Bd. 32, Nr. A4, s. A 187 - A191.*

FPRL, 1968. *Report of a seminar on Dehumidifiers for Timber Drying Forest Products Research Laboratory, Princes Risborough/England.*

HERING, C. und EPPINGER, R., 1976. *Die Schnittholz - Kondensationstrocknung (Definetion einiger Begriffe zur technischen Schnittholz-trocknung nach dem Kondensationsverfahren)*, *Holz - Zentralblatt Jahrg: 102 Nr. 5.*

HILDEBRAND MASCHINENBAU GMBH, 1973. *Berich über ein seminar über Entfeuchtungs - (kondensations -) Geraete für schnittholz-trocknung mit vergleichenden Gegenüberstellungen bei HD 78 KS. R. Hildebrand Maschinenbau GmbH, Oberboihingen.*

KANTAY, R., 1978. *Türkiye'nin önemli bazı orman ağaç türleri kerestelerinin teknik kurutma özellikleri üzerine araştırmalar İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını, İ.Ü. Yayın No. 2491, Orman Fakültesi Yayın No. 269.*

KANTAY, R., 1977. *Kereste kurutmada bazı temel koşullar, kurutma kusurları ve önleme çareleri. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi Seri B, Cilt 27, Sayı 2.*

KAUMAN, W.G., 1964. Zellkollaps im Holz. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 22, H. 5, s. 183 - 195.

KEYLWERTH, R., 1949. Die Ermittlung der Trocknzeit bei Künstlicher Holz-trocknung. Holz - Zentralblatt Bd. 75, s. 735.

KEYLWERTH, R., 1950. Das «Trocknungsgefalle» und die Steuerung von Holz-trockkenanlagen. Holz - Zentralblatt, Jahrg. 76, Nr. 36, s. 375.

KEYLWERTH, R., NOACK, D., 1964. Die Kammertrocknung von Schnittholz. Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 22, H. 1, s. 29 - 36.

KNEULE, H., 1975. Das Trocknen. München : Verlag Sauerlaender Aarau und Frank-furt am Mein.

KOLLMANN, F., 1955. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe Bd. 2. Sprin-ger Verlag/Berlin.

KOLLMANN, F., KEYLWERTH, R., KÜBLER, H., 1951. Verfaerbungen des Voll-holzes und der Furniere bei der künstlichen Holz-trocknung. Holz als Roh und Werk-stoff, Bd. 9, H. 10, s. 383 - 391.

KRIEFALL, H., 1975. Kondensationstrocknung von Schnittholz (ein Vergleich von Kondensation- und Frischlufttrocknern nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Holz - Zentralblatt 100. Jahrg. Nr. 67, s. 863 - 865.

LANDENBERGER, W.D., 1976. Kaelte-technik in der Holz-trocknung (Kondensations- Schnittholz-trocner arbeiten mit Kühlmaschinen). Holz - Zentralblatt Messheft, s. 10 - 11.

LANGENDORF, G. und EICHLER, H., 1973. Holzvergiitung, Dresden : Veb Fach-buch verlag, Leibzig.

LEMPELIUS, J., 1969. Die Schnittholz-trocknung. Robert Hildebrand Maschinenbau GmbH, 7446 Oberboihingen/Wüertt.

PIEST, H., 1954. Künstliche Holz-trocknung. Hans Röster Verlag, Augsburg.

STEIMLE, K., 1965. «Fahrplaene für Trockenkammern Holz-trocknung», Holz-wirt-schaftliches Jahrbuch Nr. 15, s. 231 - 254.

STÖRK, R., 1974. Holz-trocknungsanlagen mit Waermepumpen - Grundlagen und Er-fahrungen. Elektrowaerme international Band 32, Nr. A4.

TGL 21499 (1966). Technische Trocknung von Holz. Technologische Forderungen an Kammertrockner (DDR - Standart).

TGL 21500 (1966). Technische Trocknung von Holz. Probetrocknung in Kammer-trocknern (DDR - Standart).

TRÜBSWETTER, T., 1976. Kondensationstrocknung von Schnittholz - die Zukunft der Holzindustrie? Holz- und Kunststoff verarbeitung Nr. 11.

ULLMANN'S ENCYKLOPAEDIE der Technischen Chemie, 3. Auflage, 1 Band, Mün-chen/Berlin, 1951.

VILLIERE, A., 1973. Se'chage des bois par proce'de's a' basse temperature Courrier de L'industriel du Bois et de L' Ameublement.