

66900

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KERESTE KURUTMA FIRINLARI İÇİN KURUTMA PROGRAMLARININ
BİLGİSAYARLA HAZIRLANMASI

Orm. End. Müh. Alper AYTEKİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Orman Endüstri Yüksek Mühendisi"
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11.09.1997

Tezin Savunma Tarihi : 04.09.1997

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Kemal ÜÇÜNCÜ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Selahattin KÖSE

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Hicabi CINDIK

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN

Eylül - 1997

TRABZON

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİZASYON MERKEZİ

ÖNSÖZ

Kerestenin kurutma fırınında kurutulmasında uygulanacak kurutma şartlarının belirlenmesi, tekniğine uygun, kaliteli bir kurutmanın uygulanması ile kurutma kusurlarının ve buna bağlı olarak kurutmada meydana gelecek kayıpların önlenmesi önem arz etmektedir.

Günümüzde kurutma fırınları bilgisayarlarla kontrol edilip yönetilmektedir. Ancak bu bilgisayarlar, şu anda hemen hemen her alanda kullanılan kişisel bilgisayarlar kadar yaygın kullanılmamaktadır.

Bu çalışmada, biçilmiş ağaç malzemenin başlangıç rutubetinden sonuç rutubetine kadar çeşitli aşamalarında, kurutma şartlarının ne şekilde olacağını belirlemek, bunu görsel olarak kullanıcıya sunmak amacıyla kullanımı kolay olan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Programın geliştirilmesi için Turbo Pascal 7.0 programlama dili kullanılmış ve Mühlböck kurutma fırınlarındaki bilgisayarların çalışma prensipleri baz alınmıştır.

Çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen Doç.Dr. Erdoğan GAVCAR'a ve kurutma konusunda her türlü bilgi ve desteğinden yararlandığım Yrd.Doç.Dr. Kemal ÜÇÜNCÜ'ye teşekkür etmeyi zevkli bir görev bilirim.

Ayrıca kurutma denemelerinden faydalandığım Orm.End.Müh. Murat ASLAN'a ve her türlü konuda, zamanlarını ayırıp bana yardımcı olan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Gün geçtikçe azalan orman kaynaklarımızın olumlu bir şekilde değerlendirilmesi amacıyla kurutmada meydana gelecek kayıpların büyük bir oranda önlenmesine katkıda bulunacak olan tezimin, bu alanda çalışma yapacak olan kişi, kuruluş ve işletmelere faydalı olmasını dilerim.

Trabzon, Eylül 1997

Alper AYTEKİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
TABLO LİSTESİ.....	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kurutmanın Tanımı ve Önemi.....	4
1.3. Kurutmayı Etkileyen Faktörler.....	7
1.3.1. Hava Özellikleri.....	7
1.3.1.1. Havanın Sıcaklığı.....	7
1.3.1.2. Havanın Nemliliği.....	8
1.3.1.2.1. Özgül Nem.....	8
1.3.1.2.2. Mutlak Nem.....	8
1.3.1.2.3. Bağıl Nem.....	8
1.3.1.3. Hava Hareketi.....	9
1.3.2. Odun Özellikleri.....	10
1.3.2.1. Odunun Yapısı.....	10
1.3.2.1.1. Yıllık Halkalar.....	11
1.3.2.1.2. Öz Işımları.....	12
1.3.2.1.3. Diri ve Öz Odun.....	12
1.3.2.2. Özgül Ağırlık.....	12
1.3.2.3. Odun Rutubeti.....	13
1.3.2.4. Higroskopik Özellikler.....	16
1.3.2.4.1. Denge Rutubeti.....	16
1.3.2.4.2. Difüzyon.....	17
1.3.2.4.3. Sorpsiyon.....	17
1.3.2.5. Odunun Çalışması.....	17
1.3.2.6. Rutubet Eğimi.....	17
1.3.2.7. Kuruma Eğimi.....	18
1.3.2.8. Kereste Boyutları.....	19
1.3.2.9. Kurutma Yöntemleri.....	19

1.3.2.9.1. Doğal Kurutma.....	19
1.3.2.9.2. Hızlandırılmış Doğal Kurutma.....	20
1.3.2.9.3. Güneş Enerjisi İle Kurutma.....	20
1.3.2.9.4. Teknik Kurutma Yöntemleri.....	20
1.3.2.9.4.1. Klasik Kurutma.....	21
1.3.2.9.4.2. Diğer Kurutma Yöntemleri.....	21
1.3.2.10. Kurutma Fırınları.....	22
1.3.2.10.1. İstif Hacmi.....	22
1.3.2.10.2. İstif Boyutları.....	23
1.3.2.10.3. Yapım Esasları.....	23
1.3.2.10.3.1. Kargir Fırınlr.....	23
1.3.2.10.3.2. Metal Fırınlr.....	24
1.4. Kurutma Süresini Etkileyen Faktörler.....	25
1.5. Kurutma Programları.....	26
1.5.1. Kurutma Peryotları.....	27
1.5.2. Kurutma Programı Çeşitleri.....	28
1.5.3. Kurutma Programının Hazırlanması.....	29
1.6. Kurutma Kontrolleri.....	31
1.6.1. Fırın İkliminin Kontrolü.....	31
1.6.2. Kereste Rutubetinin Kontrolü.....	32
1.6.2.1. Kurutma Yöntemi İle Rutubet Tayini.....	32
1.6.2.2. Rutubet Ölçerlerle Rutubet Tayini.....	33
1.6.3. Kurutma Kalitesinin Kontrolü.....	33
1.6.3.1. Kurutma Kusurları.....	33
1.6.3.1.1. Sertleşme Hali (Kabuklaşma).....	33
1.6.3.1.2. Enine Kesit (Uç) Çatlakları.....	35
1.6.3.1.3. Yüzey Çatlakları.....	35
1.6.3.1.4. İç Çatlakları.....	35
1.6.3.1.5. Şekil Değişmeleri.....	36
1.6.3.1.6. Hücre Çökmeleri (Kollaps).....	37
1.6.3.1.7. Renk Değişmeleri.....	37
1.6.3.1.8. Reçine Sızması.....	38
1.6.4. Kurutmanın Değerlendirilmesi.....	39

2. TEORİK ÇALIŞMALAR	40
2.1. Materyal.....	40
2.1.1. Turbo Pascal Programlama Dili.....	40
2.1.2. Örnek Kurutma Programlarının Hazırlanması.....	41
2.2. Yöntem.....	43
2.2.1. Denge Rutubetinin Belirlenmesi.....	43
2.2.2. Kurutma Süresinin Hesaplanması.....	46
2.2.2.1. Amprik Yöntem.....	46
2.2.2.2. Teorik Yöntem.....	48
2.2.3. Bilgisayar Programının Algoritması.....	51
3. BULGULAR	53
3.1. Mühlböck Kurutma Fırınları İle İlgili Bulgular.....	53
3.2. Hazırlanan Bilgisayar Programı İle İlgili Bulgular.....	58
3.3. Kurutma Süresi İle İlgili Bulgular.....	62
4. TARTIŞMA	63
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	65
6. KAYNAKLAR	67
7. EKLER	70
8. ÖZGEÇMİŞ	92

ÖZET

Birçok teknolojik yeniliklere ve yeni malzemelerin geliştirilmesine rağmen ağaç malzeme, kullanım kolaylığı nedeniyle önemini korumuştur. Ağaç malzeme, taşıdığı üstün özellikleri yanında, higroskopik ve anizotropik özellikleri nedeniyle kullanım yerinde şekil değişimlerine uğramaktadır. Bu nedenle ağaç malzemenin en iyi şekilde yararlanabilmek için ağaç malzemenin çalışmasını azaltıcı ve stabilitesini artırıcı yöntemlerinden birisi olan kurutmaya tabi tutulması gerekmektedir.

Ağaç malzemenin kullanım yerindeki rutubet derecelerine kadar kurutulmasında çoğunlukla teknik kurutma yöntemlerinden birisi olan klasik kurutma yöntemi uygulanmaktadır. Klasik kurutmanın kurutma kusurlarına ve kurutmada meydana gelebilecek kayıplara izin verilmeden, tekniğine uygun bir şekilde yapılması gerekir.

Teknik kurutmanın başarılı olabilmesi, çok kez iyi uygulanan kurutma programlarına bağlıdır. Bu çalışmada kurutma programlarını otomatik olarak hazırlayan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Ağaç malzemenin kurutulması süresince, başlangıç rutubetinden sonuç rutubetine kadar her aşaması bilgisayar tarafından belirlenmekte ve kontrol edilmektedir.

Kurutmanın yönetilmesine yönelik olarak hazırlanan bilgisayar programının geliştirilmesinde, Mühlböck kurutma fırınlarında kullanılan bilgisayarların çalışma esası baz olarak alınmış ve aynı fırınlarda yapılan kurutma denemeleri ile test edilmiştir. Türkiye'de yaygınca kullanılan çeşitli ağaç türü kerestelerinin kurutma programlarına ilişkin verileri de bilgisayar programına dahil edilmiştir.

Program sayesinde tüm işlemler görsel olarak yapılabilmektedir. Program kullanıcıyı ezberlemeye itecek olan bir takım kodlardan kurtarıp, kişisel bilgisayarların kullanım kolaylığını sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Kurutma, Bilgisayar, Program

SUMMARY

PREPARING KILN SCHEDULES FOR KILN-DRY WITH COMPUTER PROGRAM

Although there are so much technological renovations and developed new materials, wooden material keep its value of the easiness in its usage. Besides its various superior properties wooden material changes its shape at the usage place because of its highroscopic and anizotropic properties. Therefore in order to get more benefit from wooden material, it must be passed from drying process which is the one of the methods decrease the embroidery of wood and keep it stable. Classical-drying which is the one of the methods of technical drying is frequently applied to dry wood material upto its usage moisture content or to the intended use of wood. If technical-drying method is chosen as a drying method, a technical and qualified drying without any defect of wood and casualty during drying must be done because of its high costs.

The success of technical-drying is mainly depended on well-prepared drying schedules. In this study a computer program that automatically prepare the drying schedules was established. Throughout the various drying steps of lumber wood material having moisture content from initial to final, the positions of drying conditions were determined and controlled by the computer.

In the establishment of this computer program related with the management of drying, Mühlböck kiln-drying computer program was taken as a base and the program we established was tested with the drying-trials taken from the some kiln. The computer program used in this study also contains the data related with the drying criteria's of various trees used in Turkey.

All steps of the drying process can be done visually with the help of the computer program. Besides this program also save the user from some codes that made them memorise and give the opportunity of usage easiness of personal computers.

Key words : Drying, Computer, Program

ŞEKİL LİSTESİ

	<i>Sayfa No</i>
Şekil 1. İstif katları arasında havanın tabakalı (laminar) ve turbulent hareketine ait hız profilleri.....	10
Şekil 2. Odundaki su miktarı (%) ile özgül ağırlık arasındaki ilişki.....	16
Şekil 3. Rutubet tayini için kullanılan örneğin alınışı.....	32
Şekil 4. Kuru termometre sıcaklığı, hava bağıl nemi, yaş termometre sıcaklığı ve denge rutubeti arasındaki ilişkiler.....	44
Şekil 5. 2. evrede buharlaşma miktarının denge rutubetine göre değişimi.....	49
Şekil 6. 3. evrede buharlaşma miktarının rutubete göre değişimi.....	50
Şekil 7. Bilgisayar programının algoritması.....	52
Şekil 8. KM-C 2000 modeli kurutma fırınının kontrol paneli.....	53
Şekil 9. MB 4000 modeli kurutma fırınının kontrol paneli.....	55
Şekil 10. Bilgisayar programında veri girişi ve kayıtlı bilgilerin görüntülenmesi.....	58
Şekil 11. Bilgisayar tarafından belirlenen örnek bir kurutma programı.....	59
Şekil 12. Kurutma fırınından alınan bilgileri gösteren bilgisayar ekranı.....	59
Şekil 13. Kurutma süresi, denge rutubeti ile sıcaklık değerlerinin ekranda görünüşü.....	60
Şekil 14. Bağıl nem ve elektrotlardan okunan ortalama değer in görünüşü.....	60
Şekil 15. Grafiklerin ekranda gösterildiği bölüm.....	60
Şekil 16. Kurulacak sistemin şematik gösterimi.....	61
Şekil 17. Kişisel bilgisayar örneği.....	64

TABLO LİSTESİ

	<i>Sayfa No</i>
Tablo 1. Bazı kullanım yerleri için ağaç malzemedeki bulunması gereken rutubet miktarı.....	6
Tablo 2. Çeşitli ağaç türlerinin taze haldeki diri ve öz odunlarında bulunan rutubet miktarları (İğne yapraklı ağaçlar)	14
Tablo 3. Çeşitli ağaç türlerinin taze haldeki diri ve öz odunlarında bulunan rutubet miktarları (Yapraklı ağaçlar).....	15
Tablo 4. Önemli bazı ağaç türlerinin odunlarında kurutma ile meydana gelen daralma yüzdeleri.....	18
Tablo 5. Zaman esasına göre hazırlanmış bir kurutma programı örneği.....	29
Tablo 6. 25 mm kalınlıktaki kayın kerestesi için hazırlanan bir kurutma programı örneği...	42
Tablo 7. 40 mm kalınlıktaki çam kerestelerinin kurutma programı örneği	42
Tablo 8. Psikometrenin kuru termometre sıcaklık derecesi ile kuru ve yaş termometre sıcaklık dereceleri arasındaki farka göre bağıl nem ve denge rutubet yüzdeleri.....	45
Tablo 9. KM-C 2000 modeli fırın için bazı ağaç türlerinin kodları.....	53
Tablo 10. Dört rakamlı kodların üçüncü rakamının değişmesiyle denge rutubetinin değişimi.....	54
Tablo 11. Dört rakamlı kodların son rakamının değişmesiyle fırın sıcaklığının değişimi.....	54
Tablo 12. MB 4000 modeli için ağaç türlerine göre program kodları.....	56
Tablo 13. MB 4000 modeli için bazı ağaç türlerinin kodları.....	56
Tablo 14. MB 4000 modelinde program hazırlama tablosu.....	57

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Teknoloji çağının getirdiği yeniliklere ve çok sayıdaki yeni malzemenin rekabetine rağmen ağaç malzeme sahip olduğu önemli özellikleri, güzelliği ve çekiciliği nedeniyle günümüzde de hammadde ve malzeme olarak birçok kullanım yerinde önemini korumaktadır. Hafifliğine göre direncinin yüksek olması, kolay işlenmesi, iyi boya ve cila kabul etmesi, ısıyı yalıtması, sesi absorbe etmesi gibi iyi özellikleri yanında, dış görünüşünün güzelliği ile kullanıldığı yerde sıcak ve hoş bir görünüm oluşturmaktadır (1).

Ancak ağaç malzeme istenmeyen bazı özelliklere de sahiptir. Organik bir madde olması nedeniyle çürümektedir. Kolay yanmaktadır. Kuru ise bünyesine su alarak, yaş ise su kaybederek boyutlarını değiştirmektedir (1). Higroskopik bir madde olan ağaç malzeme, çevresindeki havanın sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak içerisine su almakta veya çevresine su vermektedir. Higroskopik rutubet bölgesi olarak tanımlanan %0 ile %25-33 rutubet dereceleri arasında, ağaç malzemenin boyutlarında ve hacminde rutubet alma ile genişleme, kuruma ile daralma meydana gelir (2, 3).

Modern ağaç teknolojisi, ağaç malzemenin arzu edilmeyen söz konusu özelliklerini iyileştirici bir çok yöntem geliştirmiştir. Odunun masif yapısını bozmadan arzu edilmeyen özelliklerini iyileştirici teknik işlemlerin en önemlileri kurutma, buharlama, emprenye ve yüzey işlemleridir (1). Ağaç malzemenin belirli bir denge rutubetine ulaşma hızı, türüne, hücre yapısına ve yoğunluğuna, bu denge halinde ağaç malzemede oluşan rutubet ise yine ağaç malzemenin türüne ve yoğunluğuna, ayrıca odunun stabiliteyi sağlama bakımından buharlama ve teknik kurutma gibi işlemlere tabi tutulup tutulmamış olmasına bağlıdır (4).

Higroskopik özellikleri nedeni ile ağaç malzeme veya ağaçtan yapılan bir eşya çeşitli kullanım yerleri ve çevresindeki hava şartlarına uyarak belli bir denge rutubeti oluşturur. Kullanım amacına ve yere göre yeterli rutubet derecesine kadar kurutulmayan ağaç malzeme veya eşyanın boyutlarında ve hacminde daralmalar meydana gelmektedir. Anizotrop bir cisim olan odunun boyutlarındaki bu değişim üç değişik yönde aynı olmadığından, gerilmelerin meydana gelmesine ve bu hal ise çatlama, deformasyon ve birleşme yerlerinde açılma gibi çeşitli sakıncalara yol açmaktadır. Bu nedenle, kesimden sonra taze halde yüksek su miktarları içeren ağaçtan elde edilen malzemenin veya ağaçtan yapılan eşyanın boyutlarının ve şeklinin muhafaza edilebilmesi için kullanıldığı yerin çevresindeki hava şartlarına uygun bir sonuç rutubetine kadar kurutulması gerekmektedir (5). Higroskopik bir madde olan odunun güvenilir bir malzeme olma özelliğini kazanabilmesi işlenmeden önce kurutulmasını gerektirmektedir. Bu ise odunun teknik, estetik ve ekonomik değerini yitirmeden olabildiği kadar kısa sürede, bünyesindeki fazla suyun atılmasına bağlıdır (6). Kurutmanın sağladığı faydalar; malzemenin ağırlığının azalması, bazı emprenye

metotlarında malzemenin daha iyi emprenye edilebilmesi, çivi ve vida tutma kabiliyetinin artması, elastiklik modülü, direnç, sertlik, aşınmaya karşı direnç ve sesin yayılma hızının artması, elektrik ve ısı iletkenliğinin ise azalmasıdır. Ayrıca, kurutma ağaç malzemenin bitkisel ve hayvansal zararlılara karşı korunması ve kullanım süresinin arttırılması, iyi işlenmesi, iyi boyanması, verniklenmesi ve cilalanması bakımlarından da önemlidir (5).

Ağaç malzemenin kurutulmasında uygulanan esas metotlar doğal ve teknik kurutma olmak üzere iki çeşittir. Ancak bu iki esas kurutma metodu arasında bir geçit teşkil eden hızlandırılmış doğal kurutma da bulunmaktadır. Doğal kurutma açıkta, atmosferik şartlar altında, kurutmaya etkileyen dış faktörler değiştirilmeden yapılan kurutmadır. Bu kurutma şeklinde elde edilen sonuç rutubeti özellikle kapalı ve kaloriferle ısıtılan yerlerde kullanılan malzeme ve eşya için istenilen sonuç rutubeti bakımından yeterli değildir. Teknik kurutmada ise kurutma tesisleri kullanılmak suretiyle dış kurutma faktörleri değiştirilmekte ve ayarlanmakta, böylece kereste doğal kurutmaya nazaran daha düşük ve kullanım yerinin gerektirdiği sonuç rutubetlerine kadar kurutulabilmektedir. Hızlandırılmış doğal kurutma ise II. Dünya Savaşı'ndan sonra önem kazanmış ve doğal kurutmanın özellikle vantilatörlerle hızlandırılmış bir şekli olarak pratikte yer almıştır. Ayrıca, son yıllarda geliştirilmiş olan ve içerisinde vantilatörlerden başka havayı ısıtan basit ısıtma tertibatı bulunan kapalı hangar şeklinde özel ön kurutma tesisleri de kullanılmakta, taze haldeki ağaç malzeme bu basit tesisler içinde az masrafla lif doygunluğu rutubet derecesine kadar bir ön kurutmaya tabi tutulmakta ve bunu daha sonra nispeten daha pahalı olan, kurutma fırınları veya odalarındaki teknik kurutma takip etmektedir (5). Ancak kerestenin teknik yollarla kurutulması sırasında kullanılan enerji, kereste endüstrisinde kullanılan toplam enerjinin %60-70'ni oluşturmaktadır (7). Ağaç türü ve kereste kalınlığına bağlı olarak kurutmada harcanan enerji 600-1000 kwh/m³ kadardır (2). Bu miktar meşe gibi güç kuruyan ağaçlarda 2000 kwh/m³'e kadar çıkabilmektedir (8).

Çeşitli kullanım yerlerinde gün geçtikçe artan ihtiyaçla birlikte fiyatların da yükselmesi, ağaç malzemenin israfına meydan verilmeden rasyonel kullanılmasını gerektirmekte, böylece tekniğine uygun, kaliteli bir kurutmanın uygulanması ile kurutma kusurlarının ve kurutmada meydana gelen kayıpların önlenmesi daha büyük önem kazanmaktadır (5).

Teknik kurutmanın başarılı olabilmesi, fırında uygulanacak kurutma programına bağlıdır. Kurutma cetvelleri ve kurutma tabloları olarak adlandırılan kurutma programları teknik kurutma için son derece önemlidir. Biçilmiş ağaç malzemenin başlangıç rutubetinden sonuç rutubetine kadar çeşitli aşamalarında kurutma şartlarının ne şekilde ayarlanacağı, kurutmanın nasıl yönetileceği kurutma programlarında belirtilmektedir. Başarılı bir kurutma yapabilmek için kurutulacak ağaç türünün özellikleri, kalınlığı dikkate alınarak hazırlanmış ve denemelerle uygunluğu ispatlanmış bir kurutma programına ihtiyaç vardır.

Literatürde, kurutma programlarının hazırlanması konusunda geniş kapsamlı çalışmalara rastlanmamış, ancak belirli türler üzerinde enerji maliyetlerini azaltıcı çalışmalar yapılmış, konularla ilgili olarak benzetim modelleri kurulmuştur.

Kerestenin düşük enerjili hassas bir malzeme olmasına rağmen, özellikle kurutma gibi işlemlerde oldukça yüksek enerji ihtiyacına gerek olduğunun önemini vurgulayan Taylor ve diğerleri (9), programları hazırlarken düşük sıcaklıkta gereksiz enerji tüketimleri ve zaman kayıplarını gözönüne almışlardır.

Park ve diğerleri (10) kırmızı meşe keresteleri üzerinde kurutma gerilimlerinin gelişmesini gösteren ayrıntılı bir model kurmuşlardır. Elastik ve mekanik sorpsiyon mekanizmasını model içine yerleştirmişler ve sonuç olarak mekanik sorpsiyonun üstün özellikleri ile gerilmenin kalktığını ve sıcaklığın gerilme üzerindeki etkisini göstermişlerdir.

Keey ve Pang (11) karakteristik kurutma eğrilerini ticari kurutma fırınlarının kurutma durumlarını belirlemek için kullanmışlar ve deneysel verilerden faydalanarak matematiksel modeller kurmuşlardır. Fırınlarda havanın rutubeti, sıcaklığı ve nem miktarı profillerini sayısal olarak tespit eden bir kontrol sistemi geliştirmiş ve bu sistem üzerinde enerji ve kütle dengesi kurmuşlardır.

Perre ve Martin (12) endüstriyel bir kurutucuda büyük istifler halinde bulunan yumuşak ve sert odunlar arasında meydana gelen kurutma farkları ve bunların çözümü üzerinde çalışmışlar ve benzetimler sonucunda sadece ilk rutubet miktarı ve geçirgenliğin kerestenin bütün bölümlerinde farklılaştığını belirtmişlerdir.

Tropikal sert odun türlerinin oluşumunda büyük değişiklik ve yayılım olduğu için çok etkili bir kurutma metoduna ihtiyaç bulunduğunu belirten Simpson (13) tüm tür gruplarının kurutulmasında benzer kurutma zamanları ile kullanılan matematiksel bir model hazırlamıştır. Amacı, kurutma sonunda bütün türlerin aynı rutubet miktarı ile aynı zamanda çıkmasını sağlamak olan Simpson, bunun için modelde kriter olarak özgül ağırlık, başlangıç rutubet miktarı ve kalınlığı kullanmıştır.

Behnke ve Militzer (14) bir benzetim modeli kurmuşlar ve kereste kurutmasında benzetim programının fiziksel temelini önceden belirlenen kurutma aşamaları, rutubet miktarının grafiği ve kurutma sırasındaki iç basınç, teknik kurutma çalışmalarında elde edilen verilerden oluşturmuşlardır. Bu işlemleri günlüğe kaydetmişler, beklenen ve ölçülen verilerin model karşılaştırmasında kurutma aşamalarında ortalama rutubet miktarının zaman bağımlılığının önceden hesaplanabileceğini vurgulamışlardır. Benzetim modeli aynı zamanda enerji ihtiyacının belirlenmesinde kullanılabilir. Benzetim modeli aynı zamanda enerji ihtiyacının belirlenmesinde kullanılabilir.

Boone (15) 12 ayrı ağaç türü üzerinde iki kurutma programı uygulamış ve her tür için gerekli kurutma şartlarını belirlemeye çalışmıştır. Ancak kurutma işlemleri sonucunda kurutma kusuru olarak aşırı miktarda bal peteği oluşumu ve kollaps ile eğrilmelere rastlanmıştır.

James ve diğeri (16) rutubet miktarını ve eğimini belirlemek amacıyla elektrikli rutubet ölçer kullanmışlar, bütün materyallerin gerçek nem eğimlerine sahip olduklarını tespit etmişler, ancak önemli yoğunluk eğimlerini belirleyememişlerdir. İstatistiksel sonuçlar ortaya koyabilmek için çok sayıda deney yapılması gerektiğini, bu istatistiksel kısıtlara rağmen elektrikli nem ölçerlerinin okunması ile sağlanan uyumların yeterli doğruluk ile sağlanabileceğini vurgulamışlardır.

Boone (17) yüksek sıcaklıkta kurutma yaparak kerestelerin fırında kalma süresini azaltmaya yönelik 5 ayrı kurutma programı üzerinde çalışmıştır. Çok az kurutma kusuru ile kısa sürede sonuç rutubetine ulaşan programlar yapmış, ancak hazırlanacak programların yine de her ağaç türü için yeniden düzenlenmesi gerektiğini belirtmiştir.

Rensi ve Weintraub (18) Afrika kurşun kalem ardıcı üzerinde kurutma programı ve optimizasyonu amacıyla dinamik programlama modeli kurmuşlardır. Yeterli bir kurutma zamanının belirlenmesi için zaman maliyeti, enerji maliyeti, kalite maliyeti ve kısıtlamalar arasında en uygun dengenin kurulması için çalışmalar yapmışlardır.

Tamasy-Bano (19), kurutma eğiminde bir denge durumunun kereste ile nemli hava arasında geliştiğini vurgulamış, kuru ve yaş termometre sıcaklığı ve kerestenin rutubet miktarı için doğrusal bir düzeyde ilişki olduğunu belirtmiştir.

Kereste özelliklerine ve uygulanan kurutma koşullarına bağlı olarak kerestede bazı kusurların meydana gelebileceğini belirten Kayıhan (20), bu nedenle kurutmada en büyük problemin performansı sürekli olarak yüksek tutmak amacıyla iyi bir kurutma programı oluşturmanın önemini vurgulamıştır.

1.2. Kurutmanın Tanımı ve Önemi

Ağaç malzemenin kurutulmasının önemi binlerce yıl önce anlaşılmış ve açık havada kurutmaya ait elde edilen denemelere dayanan, nesilden nesile devam eden bazı esaslar verilmiştir. Bilimsel bakımdan yeterli bilgilerin olmaması nedeniyle 20. yüzyılın başlarına kadar kurutma tekniğinin ağırlık merkezini açık havada doğal kurutma ile ağaç malzemenin en kısa sürede hava kurusu hale ulaştırılması teşkil etmiştir. İlk defa 1920 yılından sonra kurutma tekniğine temel teşkil edecek bilimsel esaslar konmaya başlanmıştır (1).

Kurutma, ağaç malzemenin içerisinde bulunan ve kullanım amacı için uygun olmayan suyun atılması işlemidir. İdeal bir kurutmada;

- 1- Kurutulacak malzemenin kalitesinin korunması,
- 2- Kurutma süresinin mümkün olduğu kadar kısa tutulması,
- 3- Kurutma giderlerinin en düşük düzeyde tutulması amaçları bir bütün olarak birlikte gerçekleştirilmelidir.

Kurutmada, kullanılacağı yerde ağaç malzeme bulunması gereken rutubet miktarı son derece önemlidir (1). Kesimden sonra taze haldeki ağaç gövdesi içerisinde doğal olarak

fazla miktarda su bulunur. Orman ağaçlarının dikili halde ve kesimden hemen sonra taze halde diri odunu içerisinde bulunan su miktarı %200'e, hatta bazı yabancı ağaç türlerinde bu miktarın da üstüne çıkmaktadır. Kesimden sonra ağaç gövdesi içerisinde bulunan yüksek su miktarı ancak sayısı çok az olan bazı kullanım yerlerinde bir sakınca teşkil etmez. Örneğin kesim yerinden uzak olmayan su inşaatında ağaç malzeme kurutulmadan taze halde kullanılabilir (5). Kullanım yerindeki kuruluk derecesi uygun olmayan ağaç malzeme rutubet almak veya vermek suretiyle boyutlarını değiştirmektedir. Böylece ağaçtan yapılmış ürünlerde arzu edilmeyen kusurlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin rutubet kaybederek masif mobilyaların birleşme yerlerinde gevşemeler, pencere doğramalarında, kapılarda dönüklükler, çerçeve köşelerinde açılmalar, raflarda kısalmalar, oluklaşmalar ve dönmeler, döşeme bireyleri arasında açılmalar meydana gelmektedir (21).

Tabiatta her ikisi de higroskopik olan hava ile odun arasında devamlı bir rutubet alış veriş bulduğundan, doğal kuruma hemen kesimden sonra başlamakta ve kuru hava yeni kesilmiş taze haldeki ağaçtan su çekmektedir. Kesimden sonra yuvarlak haldeki kabuklu ağaç gövdeleri yavaş kurumakta, kabukların soyulması kurumayı hızlandırmakta, özellikle biçilmiş ağaç malzemedede doğal kurumunun hızı daha fazla artmaktadır. Böylece çevredeki hava rutubeti ile odun içerisindeki rutubet arasında bir rutubet dengesi kurulmaya çalışılır. Tabiatta ender hallerde rastlanan tamamen su buharı ile doymuş hava içinde dahi ağaç malzemedede yavaşta olsa bir kuruma meydana gelebilmekte ve odun içerisindeki su miktarı lif doygunluğu rutubet derecesine kadar inmektedir (5).

Kurutmanın gerekli oluşu, teknik ve ekonomik nedenlere dayanmaktadır.

Teknik bakımdan kurutmanın gereği, organik bir madde olan odunun, ormanda elde olunduktan sonra taze halde yüksek miktarda su ihtiva etmesi, higroskopik karakterde oluşu ve böylece çevresindeki atmosferik şartlara bağlı olarak bünyesinden su kaybetmesi ve bünyesine su alması nedeniyle kullanım maksadına uygun bir duruma getirilebilmesi için o yerin hava şartlarının gerektirdiği rutubet dengesine kadar kurutulmasının zorunlu bulunmasından ileri gelmektedir. Teknik bakımdan kurutulmuş ağaç malzemedede biçme esnasında daha az talaş kaybı meydana gelmekte, rendeleme, frezeleme, burgu ile delik açma, zımparalama gibi işlemlerde daha düzgün yüzeyler elde edilmektedir (1).

Lif doygunluğu rutubetinin altındaki rutubet derecelerinde ağaç malzemenin çevresindeki hava şartlarına bağlı olarak su alış verişlerinde üç değişik yönde ve hacimde daralma ve genişlemeler meydana geldiğinden kullanım yerinin gerektirdiği rutubet derecesine kadar kurutmak suretiyle, çeşitli yönlerde farklı çalışma sonucu boyutlarda meydana gelen değişimler, çatlama, çarpılma, şekil değişimleri, kuruma ile daralma suretiyle birleşme yerinde açılmalar gibi sakıncalar önlenmektedir (1).

Kuru malzemenin boyanma, verniklenme ve cilalanma kabiliyeti artar. Teknik bakımdan lif doygunluğu rutubet derecesinin üstünde bir rutubete sahip ağaç malzeme yüzeyine boya sürülmemelidir. Besi suyunu çıkarma, osmos ve difüzyon gibi bazı emprenye

metotları dışında ağaç malzemenin iyi emprenye edilebilmesi için kurutulmasına ihtiyaç vardır. Kurutulmuş malzemenin çivi ve vida tutma kabiliyeti daha yüksektir (21).

Lif doygunluğu rutubet derecesi altında higroskopik bölgeyi teşkil eden %0 ile %28 rutubet dereceleri arasında rutubetin azalması ile ağaç malzemenin elastiklik modülü, direnci, sertliği, aşınmaya karşı direnci artar. Diğer taraftan kurutma ile ısı iletkenliği azalmakta, elektrik yalıtım kabiliyeti ise artmaktadır (3, 21).

Ağaç malzemenin korunması ve kullanım süresinin artırılması bakımından alınan önlemler arasında kurutma önemli bir rol oynamaktadır. Kurutulmuş ağaç malzemede mavi renk mantarları ve odunu çürüten mantarların saldırısı azalmaktadır. Rutubet miktarı %20'nin altında tutulabilen ağaç malzeme, mantarların zararlı etkilerinden korunabilmektedir (1).

Bazı kullanım yerleri için ağaç malzemede bulunması gereken rutubet miktarları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bazı kullanım yerleri için ağaç malzemede bulunması gereken rutubet miktarı (1).

Kullanım Yeri	Rutubet Miktarı (%)
Kreozot ile emprenye edilecek malzeme (direkler, traversler)	25
Karkas yapılar ve açıkta kullanılan ağaç malzeme	16-22
Fıçı tahtaları	17-20
Taşıtlar, uçaklar, gemi güverteleri	15-16
Spor aletleri, açıkta kullanılan aletler, bahçe mobilyası	12-16
Dış pencere doğramaları, kapılar	12-16
Soba ile ısıtılan yerler için mobilya	12-15
Kaloriferle devamlı ısıtılan yerler için mobilya	6-10
Yer döşemeleri, parkeler	6-8
Radyo, televizyon, müzik seti yapımı	6-8
Kaplama levha ve kontrplak	6-8
Yonga levha	7-8
Lif levha	5-7

Ağaç malzemenin kurutulması ile ekonomik bakımdan da çeşitli faydalar elde edilmektedir. Malzemenin kurutulması ile ağırlık azalacağından taşıma ve işçilik masraflarından tasarruf sağlanmaktadır.

Kurutma ile ağaç malzemeye aşağıda belirtilen iyi özellikler kazandırılmaktadır (22).

- 1- Kullanım şartlarına uygun rutubet derecesine kadar kurutulmuş ağaç malzemenin rutubeti değişmezse çürümez.
- 2- Kurutulmuş ağaç malzeme fazla çalışmaz.
- 3- Odunun işlenmesinde, örneğin planyalama, frezeleme, lamba zıvana açma, delik delme, zımparalama gibi işlemlerde daha hassas boyutlar ve düzgün yüzeyler elde edilir.
- 4- Tutkallama ve yapışma kabiliyeti artar.
- 5- Dış etkenlere karşı yapılan koruyucu yüzey işlemlerinde başarı oranı yükselir.
- 6- Odunun direnci, sertliği, çivi ve boya tutma kabiliyeti artar.

1.3. Kurutmayı Etkileyen Faktörler

1.3.1. Hava Özellikleri

1.3.1.1. Havanın Sıcaklığı

Kurutmada sıcaklık önemli bir etkidir. Sıcaklıkla havanın basıncı ve bağıl nemi değişmektedir. Havanın sıcaklığı arttıkça içerisine alabileceği su buharı miktarı artmaktadır.

Kurutmada sıcaklığın artması ile ağaç malzeme içerisindeki suyun difüzyon hızı artmakta ve kurutma süresi kısalmaktadır. Bu nedenle teknik kurutmada mümkün olan en yüksek sıcaklık dereceleri uygulanmalıdır.

Teknik kurutmada sıcaklık, kurutmanın kalitesini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Yüksek sıcaklık uygulamaları renk değişimleri, hücre çökmeleri, çatlama ve reçine sızması gibi kurutma kusurlarına neden olmaktadır (21).

Kurutma fırınlarında uygulanacak sıcaklığın seçilmesinde göz önünde tutulacak en önemli faktörler, ağaç türü, özgül ağırlık, kereste rutubeti ve kereste kalınlığıdır. Özgül ağırlığı yüksek ağaçların kalın kerestelerini kuruturken sıcaklık düşük; özgül ağırlığı düşük ağaçların aynı kalınlıktaki kerestelerini kuruturken sıcaklık yüksek seçilebilir (Ek Tablo 1).

Ağaç malzemenin kurutulmasında yalnız kurutulan malzemenin çevresindeki havanın sıcaklığı değil aynı zamanda kerestenin yüzeyindeki sıcaklık da önemlidir. Yüzey sıcaklığı hava sıcaklığından farklı olabilir. Çünkü ağaç malzeme hava sirkülasyonundan başka aynı zamanda ışıma yolu ile de ısı almaktadır (1).

Kurutma fırınlarında sıcaklık psikometrenin kuru termometresiyle ve direnç tipi termometrelerle ölçülmektedir.

1.3.1.2. Havanın Nemliliği

Ağaç malzemeyi yalnız sıcak ve kuru hava ile başarılı bir şekilde kurutmak mümkün değildir. Her zaman hava içerisinde belli miktarda nem bulunmalıdır. Havanın nemi üç şekilde ifade edilir. Bunlar; özgül nem, mutlak nem ve bağıl nem kavramlarıdır.

1.3.1.2.1. Özgül Nem

Nemli hava içerisinde bulunan su buharının miktarı buharlaşma ve yoğunlaşma sonucu değişir. Havanın ağırlığı her zaman sabit kalır. Hava içerisindeki nem miktarı kuru hava miktarına bağlı olarak ifade edilir.

$$x = \frac{m_b}{m_h} \text{ (kg su buharı/kg kuru hava)} \quad (1)$$

Burada x , özgül nem, m_b su buharının kütlesi ve m_h kuru havanın kütlesidir.

1.3.1.2.2. Mutlak Nem

Nemli hava içerisindeki su buharı miktarının (m_b) nemli havanın hacmine (V) oranına mutlak nem denir. $\rho_b = m_b/V$ şeklinde ifade edilir.

Havanın su buharı ile doymuş hale geldiği zaman çığlenme noktasına ulaşmaktadır. Çığlenme noktası aşıldığında havadan bir miktar su ayrılmaktadır. Bu olaya yoğunlaşma adı verilmektedir. Çığlenme doymuş havanın soğuması suretiyle meydana gelmektedir (21).

1.3.1.2.3. Bağıl Nem

Kurutma işleminde daha çok havanın rutubet alma kabiliyeti, yani bağıl nem önemlidir. Bağıl nem (ϕ), birim hacimde gerçekte mevcut olan su buharı miktarının (veya mutlak nem miktarı= ρ_b) aynı sıcaklıkta içerisinde alabileceği mümkün olan en yüksek su buharı miktarına (veya doyuran nem miktarı= ρ_{bd}) oranıdır. Diğer bir ifadeyle bağıl nem, nemli hava içerisindeki su buharı kısmi basıncının (P_b), aynı sıcaklığa tekabül eden doyma basıncına (P_{bd}) oranı ile ifade edilir (23).

$$\phi = \frac{P_b}{P_{bd}} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad (2)$$

Bağıl nem, teknik kurutmada kurumanın birinci ve ikinci evreleri ile ters orantılı bir ilişkiye sahipken, üçüncü evrede kuruma süresi üzerine direkt bir etkisi olmayıp, denge rutubetini belirleyici etkisi nedeniyle dolaylı bir etkisi vardır (3).

Havanın yukarıda belirtilen özelliklerinden aşağıdaki şekilde faydalanılabilir (1).

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

2. Havanın bağıl nemi %10 olduğu taktirde kuru, %65 olduğu taktirde orta derecede nemli, %90 olduğu taktirde ise çok nemli olarak ifade edilmektedir. Kuru havada ağaç malzeme çok hızlı kurumakta, buna karşılık nemli havada ise daha yavaş kurumaktadır. Kuru havanın kurutucu etkisi yüksek, nemli havanın ise düşüktür.

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

1.3.1.3. Hava Hareketi

Üniform bir hava hareketi kurutulan kerestenin kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Kurutma sırasında gerekli ısının oduna iletilmesi ve havanın odundan absorbe ettiği rutubetin dışarıya atılması bakımından hava dolaşımının sağlanması zorunludur (24).

Hava hareketinin aşağıda açıklandığı şekilde iki önemli görevi vardır (1).

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

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

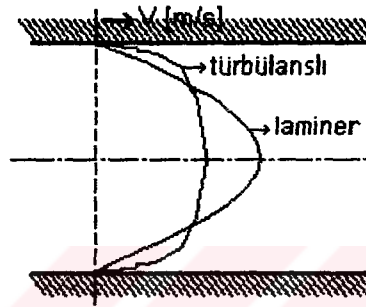
Homojen ve hızlı bir kurutma, fırın içerisinde bulunan istifin çevresinde ve istif katları arasında optimal ve eşit dağılıfta hava akımının sağlanması ile gerçekleşmektedir.

Kurutma fırınlarındaki vantilatörler yardımı ile istenilen hızda ve yeknesak dağılıfta hava akımı sağlamak mümkündür. Hava hareket hızının yükseltilmesi ile çatlama ve sertleşme gibi kurutma kusurlarının oluşma tehlikesi artmaktadır. Bu bakımdan, hava akım hızının belli sınırlar içerisinde olması gerekmektedir (1).

Kereste istif katları arasındaki hava hareket hızı iki şekilde olmaktadır. Bunlar laminer ve türbülanslı hareket şekilleridir. Hava hareket hızı yeterli olmadığı taktirde hava hareket hızı profili parabol şeklindedir. Bu şekil hava hareketine laminer hava hareketi denmektedir. Yeterli bir hava hareket hızında ise istif katları arasındaki hava hareketi birbirine paralel tabakalar halinde olmayıp aynı zamanda yan hareketlerle spiral şekilde ve kuvvetli döndürücü bir hareket halinde olmakta ve bu suretle hava içerisindeki kısımlar birbirine karışmaktadır. Böylece istif katları arasındaki hava hareket hızı profili parabol şeklinde olmayıp, profilin her tarafında ortalama hız yaklaşık olarak aynı kalmaktadır. Buna türbülanslı hava hareketi denmektedir (Şekil 1). Kurutmada istif katları arasında spiral şekilde dönerek ilerleyen bu tipteki bir hava hareketi arzu edilmektedir. Çünkü, bu şekilde

hareket eden hava kerestenin pürüzlü yüzeyinde biriken rutubeti içerisine daha iyi almakta ve aynı zamanda hava sıcaklığını ağaç malzemeye daha iyi iletmektedir. Bu şekildeki hava hareketi aynı zamanda sürenin kısılmasında etkili olmaktadır. Türbülanslı bir hava hareketi için hızın en az 1.3 m/sn olması gerekmektedir (1).

Kurumanın birinci ve ikinci evrelerinde, yani odun rutubetinin yüksek olduğu hallerde, hava hızının kurutma süresi üzerine önemli bir etkisi vardır. Birinci ve ikinci evrelerde hava hızının artması ile kuruma süresi kısalmakta, fakat üçüncü evrede böyle bir etki söz konusu olmamaktadır (3).



Şekil 1. İstif katları arasında havanın laminar ve türbülanslı hareketine ait hız profilleri (22).

Hava hareket hızı önce havalandırma sistemine, her sistemde de ağaç türü, kereste kalınlığı ve kereste rutubetine bağlı olarak değişmektedir. Enine havalandırma sisteminde 1.3-4 m/sn arasında bulunmaktadır (yapraklı ağaçlarda, egzotik türlerde 1.3-2 m/sn; ibreli ağaçlarda 2-4 m/sn). 100°C'nin üstündeki sıcaklıklarda bu hız 4-6 m/sn'ye kadar çıkarılabilir (1).

1.3.2. Odun Özellikleri

Kurutma esnasında ağaç malzemedeki meydana gelen fiziksel, kimyasal ve mekanik olayları daha iyi anlayabilmek ve kurutma hakkında hatasız değerlendirme yapabilmek için odunun kurutma bakımından önemli olan özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir (25).

1.3.2.1. Odunun Yapısı

Ağaç; kök, gövde ve dallardan ibaret bitkidir. Açık bir alanda yetişen ağaçta dallar gövdenin hemen hemen tamamını sarmıştır. Sık ormanlarda yetişen ağaçlarda ise kökten sonra dalsız bir gövde kısmı, sonra dallı tepe kısmı ayırdedilebilir (21).

Herhangi bir ağaç gövdesinden bir tekerlek alınıp incelenecek olursa, birbirinden farklı yapıda iki esas kısım görülür. Bunlardan dış kısım kabuk, iç kısım odun olarak

adlandırılmaktadır. Kabuk ile odun arasında gözle görülmeyen ve kambiyum adı verilen üreme özelliğine sahip bir tabaka bulunmaktadır (21).

Odun kısmına yakından bakılacak olursa bir öz etrafında iç içe geçmiş halkalardan ibaret olduğu görülecektir. Ayrıca kabuğa yakın dış kısımların açık, öze yakın iç kısımların daha koyu renkte olduğu ve özden çevreye doğru koyu ve açık, mat veya parlak renkte çizgilerin uzandığı ayırdedilecektir. Tekerleğin açık renkli dış kısmına diri odun, koyu renkli iç kısmına öz odun, öz etrafında iç içe geçmiş halkalara yıllık büyüme halkaları, özden çevreye doğru uzanan çizgilere özışını adı verilmektedir (1).

Kabuk odun içindeki suyun buharlaşmasını engellemek suretiyle kurumunun hızını azaltmakta ve kurumayı yavaşlatmaktadır. Diğer taraftan kuruma esnasında kabuğun yer yer dökülmesi ile ağaç malzemenin çeşitli kısımları farklı şekilde kurumakta, aynı zamanda bu kabuk parçaları kereste istif katları arasındaki boşluklarda toplanarak hava akımını engellemektedir. Böylece yanları alınmamış kabuklu kerestelerin kurutma süresi, yanları alınmış kerestelere nazaran daha uzun olmaktadır. Bu hal özellikle kalas, kiriş gibi kalın ağaç malzemenin kurutulmasında etkisini daha fazla göstermektedir (25).

1.3.2.1.1. Yıllık Halkalar

Kışın büyümenin durduğu tüm iklim bölgelerinde yetişen ağaç türlerinde az veya çok belirgin halkalar oluşmaktadır. Daimi yeşil tropik bölge ağaçlarında ise sürekli büyüme söz konusu olduğu için halkalar teşekkül etmemektedir (1).

Yıllık halkaların genişliği mm'den küçük olabileceği gibi birkaç cm'de olabilir. Zengin yağışlar, sıcaklık, iyi toprak şartları geniş, kuraklık, soğuk, kötü toprak şartları ve böcek zararı dar yıllık halkaların oluşmasına sebep olur. Bu nedenle yıllık halkalardan ağacın geçmişini okumak mümkündür (21).

Bir yıllık halka incelenecek olursa, renk ve yapı bakımından birbirlerinden farklı iki tabakadan oluştuğu hemen dikkati çekecektir. Büyüme periyodunun başlangıcında oluşan açık renkli ve gevşek yapılı iç tabakaya ilkbahar odunu, büyüme periyodunun sonunda oluşan koyu renkli ve sık yapılı koyu tabakaya yaz odunu adı verilmektedir. İlkbahar odunu daha çok besi suyu iletim görevini yürütürken, yaz odunu destekleme görevini yürütmektedir. Yıllık halka içerisinde yaz odunu iştirak oranı fazla olan ağaç odunlarının özgül ağırlıkları yüksek, kurutulmaları zordur (1).

Genel olarak yıllık halkanın genişlemesiyle halkalı büyük traheli yapraklı ağaç odunlarında özgül ağırlık artmakta ve kuruma güçleşmekte, iğne yapraklı ağaç odunlarında ise, özgül ağırlık azalmakta ve kuruma kolaylaşmaktadır. Bir odun içerisindeki yıllık halkaların genişliklerinde düzensizlikler kuruma esnasında dar ve geniş yıllık halkaların farklı çalışması sonucu halka çatlaklarının meydana gelmesine sebep olmaktadır. Zira, bu şekildeki

dar ve geniş yıllık halkaların birleşme yerinde kuruma esnasında meydana gelen gerilmelere karşı koyma direnci düşük bulunmaktadır (25).

1.3.2.1.2. Öz Işınları

Öz ışınları gövde eksenine dik olarak alınan enine kesitte özden çevreye doğru uzanan çizgiler halinde görülürler. Hem ibreli hem de yapraklı ağaçların yapısında mevcuttur. Enine yönde gıda alış verişini sağlarlar ve depo görevini yaparlar. Teknik bakımdan öz ışınları direnci azaltıcı, radyal yönde yarılma kabiliyetini artırıcı ve kuruma sırasında çatlamayı kolaylaştırıcı bir etkiye sahiptir. Diğer taraftan öz ışınları radyal yönde su hareketini artırıcı etki yapmaktadır. Böylece radyal yöndeki kuruma hızı, teğet yöndeki kuruma hızına göre özellikle diri odunda daha fazla olmaktadır (1).

1.3.2.1.3. Diri ve Öz Odun

Diri odun hem besi suyunu ileterek, hem de besinleri depo ederek ağacın hayatında aktif rol oynamaktadır. Buna karşın öz odun ağacın hayatında fizyolojik bir role sahip değildir, fakat onu destekleyici, kuvvetlendirici bir vazife görmektedir (1).

Bazı istisnalar dışında genel olarak diri odun, öz oduna nazaran daha fazla su ihtiva etmektedir. Su miktarı bakımından olan bu fark, iğne yapraklı ağaçlarda yapraklı ağaçlara nazaran daha büyüktür. Bu durum, kurutulacak ağaç malzemenin başlangıç rutubetini, kurutmanın gidişini ve süresini etkilemektedir. Bu bakımdan teknik kurutmada kurutmanın gidişini kontrol bakımından ve kurutma sonunda, kurutmada uygulanan kurutma şartlarının kalite üzerine etkisini ölçmek üzere alınan tahtaların seçiminde dikkat edilmesi gereken bir husustur (25).

Öz odunda, odun içerisine öz odun maddelerinin yerleşmesi ve iletken boruların tüllerle tıkalı bulunması ağaç malzemenin su alma ve su geçirme özelliklerini engelleyici bir etki yapmaktadır. Böylece aynı şartlar altında öz odun, diri oduna göre daha yavaş kurumaktadır (21).

1.3.2.2. Özgül Ağırlık

Çoğunlukla odunun teknolojik özellikleri hakkında fikir veren özgül ağırlık, kurutma bakımından da önemli bir faktördür. Bilindiği gibi özgül ağırlık (ρ) ağırlığın (m), hacme (V) oranıdır. Yani;

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (gr/cm}^3 \text{ veya kg/m}^3\text{)} \quad (3)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Özgül ağırlığın bulunmasında ağaç malzemenin rutubeti önemlidir. Bu nedenle rutubet yüzdesi belirtilmeyen özgül ağırlık bir anlam ifade etmez. Özgül ağırlığın belirli bir anlam taşınması için rutubet miktarının bilinmesi gerekmektedir. Bilimsel bakımdan en güvenilir ağırlık tam kuru ağırlık olup, %0 rutubet derecesinde tespit edilmektedir. %12 hava kurusu haldeki özgül ağırlık pratik bakımdan önemlidir. Genel olarak odunda rutubet arttıkça özgül ağırlık artmaktadır (21).

Özgül ağırlığın artması ile odunun kuruması güçleşmektedir. Ayrıca özgül ağırlığı yüksek ağaç malzemedeki kurutma kusuru meydana gelme ihtimali daha fazladır.

Ağaç malzemedeki bilimsel bakımdan önemli diğer bir değer de hacim yoğunluk değeridir. Tam kuru ağırlığın (m_o) tam yaş hacme (V_d) oranıdır. Yani;

$$y = \frac{m_o}{V_d} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (4)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir.

Hacim yoğunluk değeri ABD, İngiltere, Kanada, Avustralya gibi ülkelerde özgül ağırlık gibi kullanılmaktadır (1).

Dünya üzerinde özgül ağırlık bakımından ağaç türleri arasında büyük farklar vardır. Örneğin Balsa (*Ochroma logopus*) odununun tam kuru özgül ağırlığı 0.13 gr/cm^3 iken Pelesenk'in (*Guaiacum officinale*) tam kuru özgül ağırlığı 1.23 gr/cm^3 'tür (1). Dünya ağaçlarının tam kuru özgül ağırlıkları Ek Tablo 1'de verilmiştir (1).

1.3.2.3. Odun Rutubeti

Odun içerisindeki su, hücre çeperlerinde ve hücre boşluklarında bulunmaktadır. Hücre boşluklarında bulunan suya serbest su, hücre çeperi içerisinde bulunan suya bağlı su veya higroskopik su adı verilmektedir. Kurutma sırasında önce serbest su, sonra bağlı su odundan ayrılmaktadır. Serbest suyun odundan uzaklaştırılması kolay ve çabuk, bağlı suyun güç ve yavaştır (1). Tablo 2'de çeşitli iğne yapraklı ağaç türlerinin taze haldeki diri ve öz odunlarında bulunan rutubet miktarları, Tablo 3'de ise yapraklı ağaç türlerinin taze haldeki diri ve öz odunlarında bulunan rutubet miktarları verilmiştir.

Odunda serbest suyun hiç bulunmadığı, fakat bağlı suyun mümkün olan en yüksek miktarda bulunduğu rutubet haline lif doygunluğu noktası rutubet hali (LDN) denir. Lif doygunluğu rutubet miktarı ağaç teknolojisi bakımından son derece önemli bir kavramdır (1).

1. Ağaç malzemenin su kaybı ile boyutlarında meydana gelen değişimler lif doygunluğuna ulaştıktan sonra başlamaktadır.

2. Lif doygunluğuna ulaşmaya kadar kuruma sabit ve hızlı bir seyir takip etmekte, buna karşılık lif doygunluğunun altında bu hız düşmekte ve gittikçe azalmaktadır.

Lif doygunluğu noktası rutubet derecesi ağaç türüne, ağaç üzerinde bulunduğu yere, odun yapısının kaba ve ince oluşuna göre çok farklı olup, %20 ile %40 arasında değişmektedir. Ortalama olarak %28 alınmaktadır (3). Önemli ağaç türlerimizden sedirde %21, uludağ göknarında %34, kayında %29, sarıçamda %30, ladinde %32, saplı meşede %26, karaçamda %30'dur (1).

Sağlam ve dikili halde bulunan bir ağaç gövdesinin su durumu taze hal olarak ifade edilmektedir. Taze haldeki rutubet miktarları; ağaç türü, ağaç yaşı, gövde kısımları, yetiştirme ortamı ve mevsime göre değişmekte ve hiçbir zaman lif doygunluğu rutubet miktarının altına düşmemektedir (1).

Hava kurusu rutubet hali pratikte ağaç malzemenin açıkta doğal olarak kurutulması ile ulaşılan kuruluk derecesinin ifadesidir. Bu kuruluk derecesi çeşitli faktörlere bağlı olup, %10-20 arasında değişmektedir. Örneğin, kuruluk derecesi Orta Avrupa iklim şartlarında yaz aylarında %10-20 iken kış aylarında %17-20'ye yükselmektedir. Türkiye iklim şartlarında bu değerler daha düşük olup yaz aylarında %10-12'ye kadar inmektedir (1).

Ancak, hava kurusu rutubet hali bilimsel çalışmalarda %12 alınmaktadır.

Kurutmada önemi olan ve sonraki konularda sık sık kullanılan diğer iki rutubet derecesi başlangıç ve sonuç rutubetleridir. Doğal ve teknik kurutmada; kurutmanın başladığı anda ağaç malzemenin sahip olduğu rutubete başlangıç rutubeti, kurutmanın sonunda sahip olduğu rutubete de sonuç rutubeti denmektedir.

Ağaç malzemenin odun maddesi ve sudan ibaret olduğu hale tam yaş hal, odun maddesi ve havadan ibaret olduğu hale tam kuru hal denir.

Tablo 2. Çeşitli ağaç türlerinin taze haldeki diri ve öz odunlarında bulunan rutubet miktarları (İğne yapraklı ağaçlar) (1).

İğne Yapraklı Ağaçlar		
Ağaç Türü	Öz Odun (%)	Diri Odun (%)
Sarıçam (<i>Pinus silvestris</i> L.)	30-50	120-150
Toros karaçamı (<i>Pinus nigra</i> var. <i>Pallasiana</i> D.Don.)	50	150
Kızılçam (<i>Pinus brutia</i> Ten.)	-	79-126
Veymut çamı (<i>Pinus strobus</i> L.)	90	200
Şeker çamı (<i>Pinus lambertiana</i> Dougl.)	98	219
Avrupa ladinini (<i>Picea exelsa</i> Link.)	30-42	30-160
Sitka ladinini (<i>Picea sitchensis</i> Carr.)	41	142
Uludağ göknarı (<i>Abies bornmülleriana</i> Matf.)	45-80	135-190
Avrupa göknarı (<i>Abies pectinata</i> Loud.)	40-50	140-180
Toros sediri (<i>Cedrus libani</i> A. Rich.)	39	117
Kıyı sekoyası (<i>Sequoia sempervirens</i> Endl.)	86	210
Boylu mazı (<i>Thuja plicata</i> D.Don.)	58	249
Adi duglas (<i>Pseudotsuga taxifolia</i> Britt.)	37	115

Odunda rutubet dağılımı, taze haldeki ağaç malzeme homojen olmayıp farklılıklar göstermektedir. Bu farklılık ağaç türlerine göre değiştiği gibi, aynı ağaç türünün fertleri arasında ve hatta aynı ferdin çeşitli kısımlarında da belirgin olarak görülmektedir (Tablo 2, 3). Ağaç malzemedeki bu rutubet farklılığı kurutmada önemli problemler yaratabilmektedir (21).

Tablo 3. Çeşitli ağaç türlerinin taze haldeki diri ve öz odunlarında bulunan rutubet miktarları (Yapraklı ağaçlar) (1).

Yapraklı Ağaçlar		
Ağaç Türü	Öz Odun (%)	Diri Odun (%)
Çoruh meşesi (<i>Quercus tschorochensis</i> K.Koch.)	84-102	100-118
Macar meşesi (<i>Quercus hungarica</i> Hub.)	80-109	98-113
Saçlı meşe (<i>Quercus cerris</i> L.)	85-118	77-116
Doğu kayını (<i>Fagus orientalis</i> Lipsky)	47-58	64-102
Batı kayını (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	50-80	70-100
Kestane (<i>Castanea sativa</i> Mill.)	68-115	76-142
Beyaz çiçekli yalancı akasya (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	21-54	41-76
Sivri meyveli dişbudak (<i>Fraxinus oxycarpa</i> Willd.)	51	-
Gürgen (<i>Carpinus betulus</i> L.)	60-67	57-60
Titrek kavak (<i>Populus tremula</i> L.)	65-114	57-73
Ova akçaağacı (<i>Acer campestre</i> L.)	52-54	51-54
Gümüşü ihlamur (<i>Tilia tomentosa</i> Moench.)	81-95	78-83
Adi kızılbaş (<i>Alnus glutinosa</i> Geartn.)	108	123

Gerek doğal ve gerekse teknik kurutmada taze haldeki rutubet farkları lif doygunluğu rutubet derecesine yaklaştıkça azalmakta ve kabul edilebilir sınırlara ulaşmaktadır. Ancak, bu durumda yüzeylerdeki hızlı kuruma sonucu kerestenin iç ve dış tabakaları arasında rutubet farkları oluşmaktadır. Bu farklar kontrol altında tutulmazsa sertleşme hali ve çatlama ortaya çıkmaktadır.

Kurutma işleminde birim hacimdeki kereste içerisinde bulunan mutlak su miktarının bilinmesinde fayda vardır.

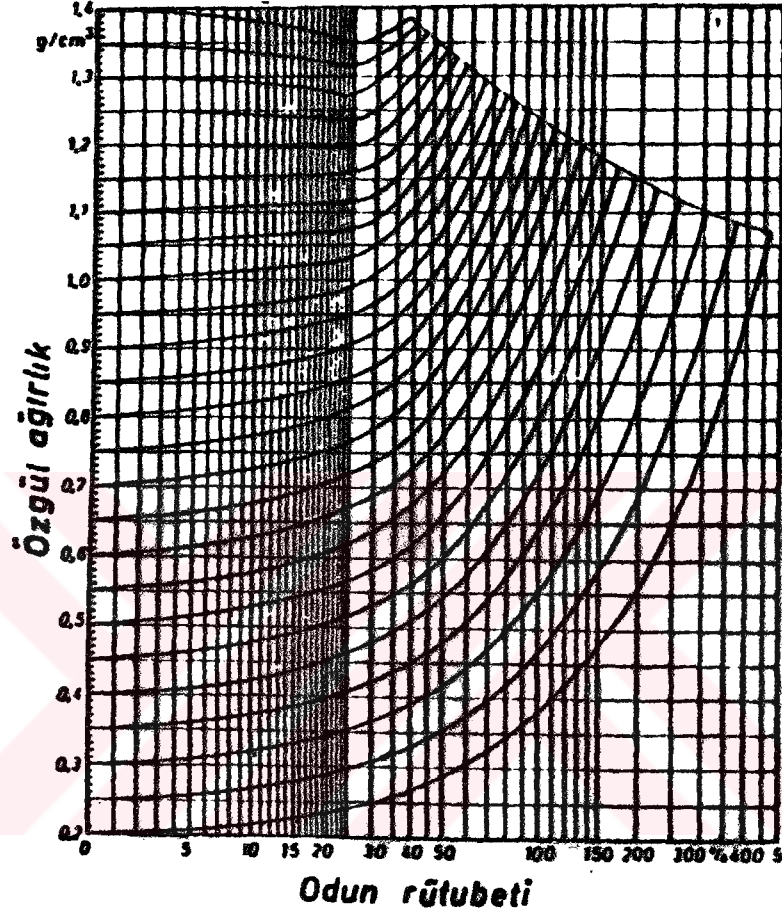
Su miktarının (m_s) bulunması için önce odunun rutubet yüzdesi (r), bu rutbettteki hacmi (V_r) ve ağırlığı (m_r) tespit edilir. Sonra aşağıdaki eşitlikler yardımıyla su miktarı bulunur.

$$m_r = \rho_r V_r \quad (5)$$

$$m_o = \frac{m_r}{1+r} \quad (6)$$

$$m_s = m_r - m_o \quad (7)$$

Burada V_r kurutulan malzemenin boyutları ve hacim tabloları yardımıyla bulunur. r_u ise Kollman (1955) tarafından verilen özgül ağırlık ve rutubet ilişkilerini gösteren Şekil 2'den alınır (25).



Şekil 2. Odundaki su miktarı (%) ile özgül ağırlık arasındaki ilişki

1.3.2.4. Higroskopik Özellikler

1.3.2.4.1. Denge Rutubeti

Odun rutubet bakımından kendisini bulunduğu ortama uydurabilen bir malzemedir. Tam kuru haldeki bir odun parçası nemli bir ortama bırakılırsa ortamdaki rutubeti alır. Bunun aksine yaş bir odun parçası kuru bir ortama bırakılırsa rutubet kaybeder. Her iki halde de odun belli bir kuruluğa ulaştıktan sonra rutubet alması veya vermesi sona erer ve bir denge hasıl olur. Ancak bu denge durumu ortamın sıcaklık ve bağıl nemi sabit tutulabildiği takdirde söz konusudur. Odunun denge durumunda sahip olduğu rutubete denge rutubeti veya higroskopik denge denir.

1.3.2.4.2. Difüzyon

Lif doygunluğu rutubet derecesinin altında odun içerisinde bulunan bağlı suyun hareketi difüzyonla gerçekleşmektedir. Suyun odun içerisinde hareket hızının en az olduğu yön, yıllık halkalara teğet yöndür. Radyal yönde öz ışınlarının su geçirgenliğinin daha fazla olması nedeniyle radyal yöndeki difüzyon teğet yöne göre daha hızlıdır (1).

Odun içerisindeki suyun hareket hızı üzerine etki eden diğer önemli faktörler; odun permeabilitesi, odun içerisindeki su buharı difüzyonuna karşı gösterilen direnç, odun içerisindeki kısmi buhar basıncı farkları, odun sıcaklığı, odun boyutları, ısı iletimi ve malzeme yüzeyindeki hava hareket hızıdır (1).

1.3.2.4.3. Sorpsiyon

Higroskopik bir madde olan odun ile higroskopik bir ortam olan hava arasında sürekli bir nem alış verişi olmaktadır. Genel olarak sorpsiyon adı verilen nem alış verişinde odunun havadan su alması olayına adsorpsiyon, su vermesi ve kurumması olayına desorpsiyon denmektedir (1). Aynı iklim koşullarında adsorpsiyon halinde ulaşılan rutubet desorpsiyon halinde ulaşılan rutubetten daha düşüktür.

1.3.2.5. Odunun Çalışması

Yaş haldeki odun kuru bir ortama bırakılırsa rutubet kaybederek boyutları ve hacmi küçülür. Kuru bir odun rutubetli bir ortamda bırakılırsa ortamdaki rutubet alarak boyutları büyür ve hacmi artar. Odunun bu şekilde boyutlarını değiştirmesi olayına odunun çalışması denmektedir. Çalışma olayı tam kuru hal ile lif doygunluğu noktası arasında odunun rutubet alıp-vermesi durumunda meydana gelmektedir. Ağaç malzemenin su alarak genişlemesi ve su kaybederek daralması, liflere paralel yani boyuna, yıllık halkalara dik yani radyal ve yıllık halkalara teğet yönlerde farklı miktarlardadır. Tablo 4'de önemli bazı ağaç türlerinin odunlarında kurutma ile meydana gelen daralma yüzdeleri verilmiştir.

1.3.2.6. Rutubet Eğimi

Dikili ağaçlarda öz odun ile diri odun arasında rutubet farklı olmakla beraber özellikle diri odunda rutubetin dağılımı homojendir (1).

Kurutma sırasında ağaç malzemenin önce dış kısımları kurumaktadır. Böylece iç kısımlardan dış kısımlara doğru bir rutubet düşüşü (rutubet eğimi) meydana gelmektedir. Bu meyil kurutmanın iyi yönetilmesi halinde uygun şekilde olabilir. Güç kuruyan ağaçlarda ve

dış tabakalar arasındaki rutubet farkı lif doygunluğu rutubet derecesinin üstünde %12'yi, altında ise %5'i geçmemelidir (21).

Rutubet eğimi;

$$\nabla_r = \frac{r_i - r_y}{e/2} \quad (8)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Burada r_i iç tabakalardaki rutubeti r_y dış tabakalardaki rutubeti gösterir. ∇_r büyük olduğu zaman yüzeylere doğru olan rutubet akışı kesilir ve sertleşme meydana gelir. Böyle bir ağaç malzemedeki yüzeyler çok kuru, iç tabakalar ise yaşlır. Bunun aksine ∇_r çok küçük ise kuruma çok yavaşlamakta, uzun ve ekonomik olmayan bir kurutma yapılmaktadır. Rutubet eğimini kurutma eğimi belirler (27).

Tablo 4. Önemli bazı ağaç türlerinin odunlarında kurutma ile meydana gelen daralma yüzdeleri (1).

İğne Yapraklı Ağaçlar			Yapraklı Ağaçlar		
Ağaç Türü	Radyal (%)	Teğet (%)	Ağaç Türü	Radyal (%)	Teğet (%)
Veymut çamı	2.3	6.0	Titrek kavak	3.5	6.7
Sarıçam	4.0	7.7	Kara kavak	5.2	8.3
Toros karaçamı	5.6	8.2	Çoruh meşesi	7.0	10.0
Kızılçam	4.9	6.7	Meşe (<i>Q. robur</i>)	4.0	7.8
Uludağ göknarı	3.5	8.8	Avrupa kayını	5.8	11.8
Toros göknarı	4.0	8.0	Doğu kayını	5.0	10.5
Doğu ladini	3.8	7.4	Kestane	4.3	6.4
Toros sediri	3.3	5.0	Dişbudak (<i>F. oxycarpa</i>)	5.3	9.0
Melez	3.3	7.8	Dişbudak (<i>F. exelsior</i>)	5.0	8.0
Douglas	4.2	7.4	Ceviz (<i>J. regia</i>)	5.4	7.5
			Gürgen	6.8	11.5
			Kızılağaç (<i>A. barbata</i>)	5.4	8.6
			İhlamur	5.5	9.1
			Şimşir	11.0	15.0

1.3.2.7. Kuruma Eğimi

Kurutmanın herhangi bir aşamasında ağaç malzemedeki bulunan ortalama rutubetin (\bar{r}), o anda kurutma fırınının sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak oluşan denge rutubetine (r_d) oranı kuruma eğimi olarak ifade edilmektedir.

$$\nabla_k = \frac{\bar{r}}{r_d} \quad (9)$$

Bu oran higroskopik bölgede yani lif doygunluğu rutubet derecesinin altında geçerlidir. Kuruma eğimi aynı zamanda kurutmanın şiddetini ifade etmektedir ve boyutsuz

bir değerdir (1). Kurutma programlarının hazırlanmasında kuruma eğimi yardımıyla denge rutubeti bulunmaktadır.

Kurutma, kuruma eğimine göre yönetilebilir. Kuruma eğimi değeri kurutma sresinde sabit tutulmakta veya duruma uygun olarak değiştirilebilmektedir. Kuruma eğimi değerinin seçilmesinde ağaç türü ve kereste kalınlığı dikkate alınmaktadır. Büyük seçildiğinde kerestede gerilmeler ve dolayısıyla çatlak oluşumu tehlikesi ortaya çıkmaktadır. Ek Tablo 1’de çeşitli ağaç türleri için kuruma eğimi değerleri verilmiştir.

1.3.2.8. Kereste Boyutları

Kerestenin uzun veya kısa oluşu, kenarlı veya kenarsız olması kurutma süresini etkilemektedir. Kereste kalınlařtıķa kuruması güçleşmektedir. Bu da daha özenli olarak kurutulmasını gerektirmektedir. Kalınlığın artması ile kurumanın şiddetlenmesi, kurumanın seyri için normal sayılabilir. Ancak, kurutmanın şiddetlenmesi, kalın kerestelerde daha fazla kurutma kusuruna neden olacağı için kurutma şartlarının şiddetini artırmak yerine aynı şartlarda daha uzun süre kurutmayı tercih etmek gerekmektedir.

1.3.2.9. Kurutma Yöntemleri

1.3.2.9.1. Doğal Kurutma

Kerestenin doğal kurutulması, kerestenin açık hava ortamında çeşitli kullanım yerlerinin isteklerine uygun olarak yarı kuru veya kuru hale getirilmesi işlemidir (28). Doğal kurutmada ağaç malzeme, dış kurutma faktörleri bakımından uygun bir yerde tekniğine uygun bir şekilde istif edilmekte ve havanın sıcaklığı, havanın bağıl nemi, hava hareketi ve yönü gibi dış kurutma faktörlerine hiçbir teknik müdahale söz konusu olmamaktadır. Böylece kurutma, kereste istifinin bulunduğu yerin iklim koşulları altında cereyan etmektedir. Ağaç malzemenin kuruluk derecesi havanın sıcaklığını ve bağıl nemini etkileyen coğrafi konum, yükseklik, rutubetli veya kuru rüzgarlar, güneşli ve yağışlı günler, gece, gündüz, mevsimler gibi birçok faktörün etkisi altında meydana gelmektedir (5).

Doğal kurutmada dış kurutma faktörlerini insanın etkilemesi söz konusu değilse de, istif yerinin seçilmesi, düzenlenmesi ve kerestenin istiflenmesinde alınacak bazı pratik ve teknik tedbirlerle adı geçen kurutma faktörlerinin etkili hale getirilmesi, kurutma sırasında meydana gelen kayıp ve kusurların azaltılması mümkündür (1).

1.3.2.9.2. Hızlandırılmış Doğal Kurutma

Kullanılan keresteler açık havada veya özel şekilde yapılmış ve havalandırma tertibatlı sundurma veya kapalı tesisler içinde hızlandırılmış şekli ile doğal olarak kurutulmaktadır (5).

Birçok durumda doğal olarak kısmen kuruyan tomruklardan biçilen kereste bazı amaçlar için kullanılmaya uygun bir rutubete kadar yalnız doğal kurutma metodu ile kurutulur. Diğer birçok durumda ise, doğal olarak kısmen kurutulan tomruklardan biçilmiş kereste hemen kurutma fırınlarında teknik olarak kurutulmayıp, önce bir süre doğal kurumaya bırakılmakta ve daha sonra teknik kurutma yöntemi ile kurutulmaktadır (5).

1.3.2.9.3. Güneş Enerjisi İle Kurutma

Orman ürünleri ihraç eden, gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde, yüksek maliyetli kereste kurutma işlemleri uygulanması bu ülkelerin kalkınma çabalarına olumsuz etki yapmaktadır. Maliyeti düşük olan güneş enerjisinin, orman ürünlerinin kurutulmasında kullanılması, bu ülkelerin ekonomik hamlelerine katkıda bulunabilir. Güneş enerjili kurutma sistemleri konusunda, 1950'lerden bu yana, bir çok ülkede araştırma yapılmaktadır. Araştırmalarda bu enerjinin toplanması, depolanması ve kullanma verimliliğini artıracak çeşitli tasarımlar teklif edilmektedir.

Kerestenin kurutulmasında kullanılan güneş fırınları, sera tipi ve kollektörlü olmak üzere, iki gruba ayrılırlar.

Güneş enerjili kurutma doğal kurutmaya göre çok daha hızlı, klasik kurutmaya göre ise daha yavaştır. Klasik kurutmaya göre düşünülebilecek bu dezavantaj, kullanılacak enerjinin maliyeti dikkate alındığında, olumsuz bir faktör olarak değerlendirilmeyebilir (29).

Teknik kurutmada harcanan enerjinin üretim girdileri içerisinde önemli bir paya sahip oluşu, kereste endüstrisinde enerji tasarrufuna yönelik araştırmaların önemini arttırmıştır. Mevcut enerji kaynaklarının verimli kullanımının gereği kadar yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının da uygulamaya sokulması gerekmektedir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi bir çok alanda başarısını kanıtlamıştır. Güneş enerjili kereste kurutma, teknik kurutmaya oranla enerji ve işletme masraflarının azalmasını sağlarken, doğal kurutmadan daha hızlı bir kurutmayı da gerçekleştirmektedir (30).

1.3.2.9.4. Teknik Kurutma Yöntemleri

Kerestenin kurutulmasında uygulanan birçok kurutma yöntemi vardır. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

1.3.2.9.4.1. Klasik Kurutma

Bu yöntemde kurutma, ağaç malzeme rutubeti 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda bulunan hava-su buharı karışımı yardımı ile yüzeylerden buharlaştırılarak gerçekleştirilmektedir. Ağaç malzemenin kurutulmasında eskiden beri ve halen en çok uygulanması nedeniyle bu yönteme klasik kurutma adı verilmiştir (1).

Klasik kurutma yönteminde fırının çevresinden sıcaklığı düşük taze hava alınmakta ve yine aynı çevreye rutubetli ve sıcak hava verilmektedir. Hava alış-verişi fırın tavanının uygun bir yerinde bulunan bacalar vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Bacalardan giren taze hava vantilatörler yardımıyla içeriye alınmakta ve ısıtıcılardan ve kereste istif katları arasından geçerek hem ısınmakta hem de rutubetlenmektedir. Rutubet miktarı istenilen oranı aştığı zaman bacalar açılarak dışarıya atılmaktadır. Hareket halindeki bu hava ağaç malzemeyi ısıtmakta ve rutubetini almaktadır (21).

Taze hava her zaman fırın içerisindeki havadan daha kurudur. Bundan dolayı daima ağaç malzemenin rutubet alma kabiliyetine sahiptir.

Sıcaklık ve bağıl nem gibi kurutma şartları ağaç türü ile ilgili olarak elle, yarı otomatik veya tam otomatik olarak yönetilmektedir. Yönetimde optimal kurutma şartlarının gerçekleştirilmesine çalışılmaktadır. Kurutma fırınının havası fazla kuruduğu zaman kurutma zararları oluşma tehlikesine karşı buhar püskürtmek suretiyle rutubetlenmektedir. Rutubetlenme işleminde ya doğrudan doğruya buhar veya sıcak su püskürtülmelidir. Kesinlikle soğuk su püskürtülmemelidir (1).

Kargir veya metal olarak yapılan kurutma fırınlarında 90-95 °C'ye kadar çıkılmaktadır. 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 yardımıyla yapılmaktadır (1).

Her ağaç türünün her kalınlıktaki kerestesi istenilen başlangıç rutubetinden istenilen sonuç rutubetine kadar istenilen şiddette kurtulabilmektedir. Kereste fabrikalarında bulunan fırınlarda fabrika artıkları enerji üretiminde değerlendirilebilir.

Taze ve rutubetli havanın daima değişmesi nedeniyle enerji sarfıyatı yükselmektedir. Kurutma zararlarının oluşmasını önlemek bakımından kurutma şartları uygulandığı takdirde kurutma süresi uzamaktadır.

1.3.2.9.4.2. Diğer Kurutma Yöntemleri

- Kondensasyonla Kurutma
- Vakumlu Kurutma
 - Levhalı Sürekli Vakum Yöntemi
 - Levhasız Peryodik Vakum Yöntemi

- Yüksek Sıcaklıkta Kurutma
- Yüksek Frekansla Kurutma
- Kızgın Yağlar İçerisinde Kurutma
- Organik Çözücülerle Kurutma
- Organik Madde Buharı İle Kurutma
- Kimyasal Maddelerle Kurutma
- Ultraviyole Işınlarla Kurutma
- Radyo Dalgaları ile Kurutma

1.3.2.10. Kurutma Fırınları

Kaliteli bir kurutma yapabilmek için herşeyden önce iyi bir fırın ihtiyacı vardır. İyi bir fırın denilince kurutma şartlarının istenildiği gibi ölçülüp ayarlanabildiği ve her istenildiği zaman istenilen kurutma şartlarının sağlanabildiği kurutma tesisi anlaşılmalıdır. İçerisinde sıcak hava dolanan ve teçhizatı yetersiz olan kapalı odalarda kurutma şartlarını kontrol etmek ve dolayısıyla kaliteli kurutma yapmak mümkün değildir.

Eğer işletmede kurutma fırınları tam dolu olarak sürekli çalıştırılabiliyorsa en yüksek verimliliğe ulaşılabilir.

Tam gün çalışmayan tesislerde kurutma süresi uzamaktadır. Burada uzama günlük çalışma süresine bağlıdır. Fırının ısıtılması günde sadece 3-4 saat kesildiği takdirde, ısı yalıtımı iyi olan fırınlarda kurutma üzerine önemli bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir (1).

1.3.2.10.1. İstif Hacmi

Hava hareketi vantilatörler yardımı ile sağlanan bütün fırınlarda kereste çıtalı sandık şeklinde istif edilmektedir. İstif hacmi, net kereste hacmi ile istif boşluk hacminden ibarettir.

İstif boşluk hacmi esas itibarıyla çita kalınlığına bağlıdır. Her istif katına yan yana konan keresteler arasındaki boşluk; istif genişliğine, her istif katına bağlı olarak hesaplanabilir. En kolay ifade şekli kereste kalınlığına bağlı olarak bırakılan aralığın kereste genişliğine veya aralıklar toplamının istif genişliğine oranıdır. Bu oran yanları alınmış kereste için %1-20, yanları alınmamış kereste için ise %20-40 kadardır (1).

İstife konan kerestelerin uzunluklarının aynı olması arzu edilmekte ve gerekli bulunmaktadır. Fakat bu her zaman mümkün olmamaktadır. Uzunlukları aynı olan kerestelerle yapılan istiflerde boy farklarından doğan boşluk bulunmaz. Aynı olmadığı takdirde boy farklarına göre değişen bir boşluk ortaya çıkar (1).

1.3.2.10.2. İstif Boyutları

Belirlenen net kereste hacmine ve uygun büyüklükte bir fırının yapılabilmesi için boşluklu istif hacminden başka istif boyutlarının da bilinmesi gerekmektedir. Bir fırına kurutulacak kereste hacmine göre bir veya birden çok istif yerleştirilebilir.

Hava sirkülasyon sistemi de, doldurma-boşaltma sistemine bağlı olarak değişmektedir. Geniş istiflerde; tek yönlü sirkülasyon söz konusu ise hava çıkış tarafı, çift taraflı sirkülasyon söz konusu ise istifin ortası yavaş kurumaktadır. Bu nedenle havanın istif çevresinde katettiği yol fazla uzun olmamalıdır. En uygun genişlikleri 120, 140 ve 160 cm'dir (1).

İstif boyunu kurutulacak kerestenin boyu belirler. Esasında fırın uzunluğu kurutulacak kerestenin uzunluğunun katları şeklinde düşünülmelidir.

İstif yüksekliğinin belirlenmesinde önemli olan husus istifin nasıl ve ne ile yapılacağıdır. Doğrudan doğruya istif arabaları üzerine ve zemin üzerine elle istif yapılacaksa yükseklik sınırlı kalır. İstifin kolay yapılabilmesi için işçilerin rahat çalışabileceği bir yükseklik düşünülmelidir. Bu yükseklik 2 m'yi aşmamalıdır.

1.3.2.10.3. Yapım Esasları

Kereste kurutma fırınlarında sıcaklık klasik kurutmada 90-95°C'ye, kızgın buhar içerisinde kurutmada 130°C'ye kadar çıkmaktadır. Ayrıca havanın bağıl nemi %20 ile %100 arasında değişmektedir. Bunun yanında özellikle yapraklı ağaçların kurutulmasında tanen asidi, sirke asidi, karınca asidi gibi çok etkili asitler çıkmaktadır. Bu nedenlerle fırınların yapılmasında uzun süreli kullanım isteniyorsa, yukarıda sayılan etkilerin dikkate alınması gerekmektedir.

Genel olarak kurutma fırınları kargir ve metal olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır (1).

1.3.2.10.3.1. Kargir Fırınlar

Kargir fırınlar işletme şartlarına ve ihtiyacına göre istenilen ölçülerde yapılabilir. Isı yalıtımı iyi yapılmış uygun büyüklükte bir odanın bulunması bir kargir fırın için yeterlidir. Fakat kargir fırınlar belli bir yere bağlı olup, gerektiği zaman yerlerinin değiştirilmesi mümkün değildir.

Kargir fırınların yapımında en çok kullanılan sistem yığma duvar sistemidir. Yığma duvarlı kargir fırınların yapımında çift duvar sistemi uygulanır. Dış duvarla iç duvar arasında yalıtım için 50 mm genişliğinde bir hava boşluğu bırakılmaktadır.

1.3.2.10.3.2. Metal Fırınlar

Metalden yapılan kurutma fırınlarında saflık derecesi yüksek olan (%99.8) alüminyum kullanılmaktadır. Alüminyum paslanma ve çürümeye karşı en uygun malzeme olup, hiçbir yeri koruyucu madde sürülmesine ihtiyaç göstermemektedir. Buna karşılık demir konstrüksiyon, koruyucu madde sürülse bile uygun değildir. Çünkü boyanın kalkmış olduğu en küçük bir yerde bir paslanma başlaması, duvarın delinmesine kadar ilerler. Çinko ve üzeri çinko kaplanmış malzeme asit ihtiva eden rutubete karşı mukavim olmadığı için kullanılmamaktadır.

Metal fırınlar, fabrikasında prefabrik sisteme göre imal edilip demonte vaziyette istenilen yere taşınarak daha önce hazırlanmış temel üzerine monte edilirler.

Alüminyum plakalar (paneller) sandviç prensibi konstrüksiyonuna göre çift katlı olarak tasarlanmıştır. Dış kısımları saf alüminyum levhalardan meydana gelmekte ve iç kısımda profil kullanılmaktadır. Paneller yüksek ısıya dayanıklı dolgu maddesi (preste sıkılmış cam elyafi yastıkları) ile doldurulmaktadır. Paneller içindeki özel tertibat yardımıyla dolgu maddesinin zamanla çökmesi önlenmiş olmaktadır.

Metal kurutma fırınlarının monte edilmesi kolay olmalıdır. Önce verilen plana göre hazırlanan beton zemin, yatay durumda tesviye edilir. Sonra plana göre kademeli olarak plakaların çatılmasına başlanır. Cıvata ile bağlanan iki panel arasına, elastikiyetini ve yalıtkanlığını kaybetmeyen plastik bir şerit konularak gerekli sıkılık sağlanmaktadır. Alüminyumdan yapılmış metal fırınlar kargir fırınlara göre bazı üstünlüklere sahiptir (1).

1. Alüminyum fırınlar ağaçtan çıkan asitlere, sıcaklığa ve basınca karşı daha dayanıklı oldukları için daha uzun ömürlüdür. Yığma duvarlı fırınlarda görülen duvar çatlamaları ve sıva arızaları görülmez.
2. Yıllık bakım masrafları kargir fırınlara göre daha düşüktür.
3. Isı yalıtımı daha iyi, ısıtma süreleri daha kısa olduğundan kurutma süreleri daha kısadır.
4. Hafif bir yapıya sahip oldukları için temele bağlı giderleri daha azdır.
5. Dış hava koşullarına daha dayanıklı olmaları nedeniyle açık bir yerde kurulabilirler.
6. Demonte imkanı olduğundan yerleri değiştirilebilir.
7. Modüler sistemle yapılan metal fırınları ihtiyaca göre yeni modüller eklemek suretiyle büyütme mümkündür.
8. Metreküp başına kurutma maliyeti kargir fırınlarından daha düşüktür.

1.4. Kurutma Süresini Etkileyen Faktörler

Kurutma süresi hiçbir zaman tam olarak hesaplanmayan bir çok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerden önemlileri aşağıda açıklanmıştır (1, 21).

1. Yoğunluk : Yoğunluk arttıkça kurutma güçleşmekte ve kurutma süresi artmaktadır.

2. Odun Rutubeti : Kurutma hızı lif doygunluğunun üstünde yüksek, altında düşüktür. Başlangıç rutubeti ne kadar yüksek, sonuç rutubeti ne kadar düşükse kurutma süresi o kadar uzun olmaktadır.

3. Kereste Kalınlığı : Kalınlık artışı ile kurutma süresi doğru orantılı olarak uzamaktadır. Belirli bir kalınlık için kurutma süresi biliniyorsa başka bir kalınlık için kurutma süresi yaklaşık değerler veren şu eşitlik yardımı ile bulunabilir.

$$\frac{Z_2}{Z_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^n \quad (10)$$

Öte yandan 25 mm kalınlıktaki kerestenin kurutma süresi bilindiği takdirde diğer kalınlıklar için kurutma süresinin bulunmasında kullanılan katsayılar Ek Tablo 7'de verilmiştir.

4. Kurutma Sıcaklığı : Daha önce belirtildiği gibi sıcaklık çok önemli bir etkidir. Sıcaklık artışı iç kısımlardan yüzeylere su akışını arttırmakta ve hızlandırmaktadır. Kurutma sırasında uygulanan sıcaklığın kurutma süresi üzerine olan etkisi, eğer sıcaklık 40°C ile 100 °C arasında ise matematiksel olarak şu eşitlik gösterilebilmektedir.

$$\frac{Z_2}{Z_1} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^n \quad (11)$$

Öte yandan 65°C deki kurutma süresi bilindiği takdirde diğer sıcaklıklardaki sürelerin bulunmasında kullanılan katsayılar Ek Tablo 8'de verilmiştir.

5. Kuruma Eğimi : Düşük kuruma eğimi kurutmayı yavaşlatmakta, yüksek kuruma eğimi ise hızlandırmaktadır.

6. Hava Hareket Hızı : Hava hareket hızı arttıkça kuruma hızı artar. Vorrieter (1958)'e göre hava hareket hızının kurutma süresi üzerine etkisi matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir.

$$\frac{Z_2}{Z_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{0.6} \quad (12)$$

Öte yandan 1.5 m/sn 'deki süre bilindiği takdirde diğer hava hareket hızlarında kullanılan katsayılar Ek Tablo 9'da verilmiştir.

7. Ağaç Malzemenin Boyu ve Şekli : Kerestenin uzun veya kısa oluşu, kenarlı veya kenarsız bulunuşu kurutma süresini etkilemektedir. Kenarları alınmış kereste için süre bilinir ve 1.00 katsayısı ile çarpılırsa, kenarları alınmamış aynı özellikte kereste için bu katsayı 1.06 ve kenarları alınmış kısa parçalar için 0.75 'dir.

8. Kerestenin Biçiliş Yönü : Kerestenin biçiliş yönünün çalışma miktarı üzerine etkisi olduğu bilinmektedir. Ayrıca kurutma hızı üzerine de etkisi vardır. Teğet biçilmiş kereste, radyal biçilmiş keresteye göre daha hızlı kurumaktadır.

Kereste biçiliş yönünü yıllık halkaların yüzeylere çıkış açıları belirler. Yıllık halkaların yüzeylere çıkış açısı 0° ile 45° arasında olursa böyle keresteye teğet biçilmiş kereste, 45° ile 90° arasında olursa böyle keresteye da radyal biçilmiş kereste denir.

9. Kesintiler : Aslında kurutma fırınları 24 saat çalışmalıdır. Ara verilirse kurutma süresi uzamaktadır. Kurutma süresinin tespitinde 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 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.

10. Kurutma Fırının Yapısı : Kurutma fırınının yapı tarzı, vantilatörlerin yeri, ısıtma şekli, rutubetlendirme düzeni ve havalandırma gibi teknik donanımın kurutma süresi üzerine dolaylı olarak etkisi bulunmaktadır.

11. Kurutmada Kalite İstekleri : Kurutulacak kerestenin kalitesi uygulanacak kurutma şartlarını etkilemektedir. Değerli ve kaliteli kerestenin kurutulmasında koruyucu kurutma şartları uygulanmakta ve kurutma süresi uzun olmaktadır. İnşaatlık üçüncü sınıf kerestenin kurutulmasında şiddetli kurutma şartları uygulanabilmekte ve süre kısa olmaktadır.

12. Kurutma Yöntemi : Kurutma yöntemi kurutma süresini doğrudan doğruya etkilemektedir. Kondensasyonla kurutmada süre çok uzun, vakumlu kurutmada kısadır.

1.5. Kurutma Programları

Kerestenin kurutulmasında uygulanacak kurutma şartlarını gösteren özel olarak düzenlenmiş tablolara kurutma programı adı verilmektedir. Başarılı bir kurutma için kurutmaya konu olan ağaç türünün özellikleri ve kerestenin kalınlığı dikkate alınarak hazırlanmış ve denemelerle uygunluğu kanıtlanmış bir kurutma programına ihtiyaç vardır (1).

Kurutma programının hazırlanabilmesi için, kurutulacak keresteye ilişkin aşağıdaki bilgiler derlenmelidir (31):

- Cinsi
- Kalınlığı (mm)
- Birim hacim ağırlığı (gr/cm^3)
- İlk sıcaklık ($^\circ\text{C}$)
- Başlangıç rutubeti (%)

1.5.1. Kurutma Peryotları

Herhangi bir kurutma işleminde farklı koşullar altında gerçekleştirilen beş önemli kurutma periyodu vardır. Bunlar; ısıtma, esas kurutma, dengeleme, kondisyonlama ve soğutma periyotlarıdır (1).

Isıtma Peryodu : Kurutulacak kerestenin kurutma periyodunda uygulanacak sıcaklık derecesine kadar ısıtıldığı periyottur. Isıtma periyodu genellikle kurutma programlarında ayrıntılı olarak gösterilmez.

Kurutma Peryodu : Kerestenin başlangıçtan sonuç rutubetine kadar kurutulduğu periyottur. Çoğunlukla lif doygunluğu noktasının üstünde ve altında olmak üzere iki safhada uygulanmaktadır. Lif doygunluğunun üstünde birinci kurutma safhasında sıcaklık düşük, bağıl nem yüksektir. Lif doygunluğunun altında ikinci kurutma safhasında sıcaklık çıkılabilecek en yüksek dereceye çıkarılır.

Kolay kuruyan, yüksek kurutma kalitesi istenmeyen kerestenin kurutulmasında kurutma periyodu tek safha halinde uygulanır.

Kurutma periyodunda uygulanacak kurutma şartlarının sağlanmasında kuru ve yaş termometre veya kuru termometre ve bağıl nem arasında değişik kombinasyon olanakları vardır. Bunlardan en çok aşağıda belirtilen üç şekil uygulanmaktadır.

1. Kurutma periyodu süresince kuru termometre sıcaklığı sürekli yükseltilir, yaş termometre sıcaklığı veya bağıl nem sürekli azaltılır.
2. Kurutma periyodu süresince kuru termometre sıcaklığı sabit tutulur ve yaş termometre sıcaklığı sürekli düşürülür.
3. Kurutma periyodu süresince kuru termometre sıcaklığı sürekli yükseltilirken yaş termometre sıcaklığı sabit tutulur.

Kurutma sırasında kerestenin iç ve dış tabakaları arasında sürekli bir sıcaklık farkı oluşmaması için sıcaklığın sabit tutulduğu ikinci kombinasyon şekli daha uygundur. Bu nedenle bilgisayar ve kurutma programlarının hazırlanmasında ikinci şekil uygulanmıştır.

Dengeleme Peryodu : Kurutma periyodundan sonra dengeleme periyodu uygulanmaktadır. Kurutmanın sonunda hem kurutma partisini teşkil eden parçalarla arasında hem de her bir parçanın iç ve dış tabakaları arasında önemli derecede rutubet farkları olabilir. Bu farkları azaltarak parti ortalama rutubetini ulaşılmak istenen sonuç rutubetine doğru yaklaştırabilmek için dengeleme periyodu uygulanmalıdır.

Dengeleme periyodunda da kuru ve yaş termometre arasında birçok kombinasyon imkanı vardır. Bunlardan pratikte en çok aşağıda açıklanan üç şekil uygulanmaktadır.

1. Kuru termometre sıcaklığı kurutma periyodunda uygulanan derecede sabit tutularak yaş termometre değiştirilir ve sonuç rutubetine eşit bir denge rutubetini sağlayacak dereceye yükseltilir. Yani, psikometrik fark azaltılır. Böylece bağıl nem yükselir.

2. Yaş termometre sıcaklığı kurutma periyodunda uygulanan derecede sabit tutulur ve kuru termometre sıcaklığı düşürülür.

3. Hem kuru hem yaş termometre değiştirilir. Sonuç rutubetine eşit bir denge rutubeti sağlamak için kuru termometre düşürülür, yaş termometre yükseltilir.

Bilgisayar ve kurutma programlarının hazırlanmasında dengeleme periyodunda birinci şekilde açıklanan kombinasyon uygulanmıştır.

Kondisyonlama Periyodu : Dengeleme periyodu sonunda kurutmanın hemen sona erdirilmesi ve kerestenin fırından çıkarılması sakıncalıdır. Dengeleme periyodu sonunda ısıtma sona erdirilmeli, havalandırma kapakları açılmadan vantilatörlerin çalıştırılmasına devam edilmelidir. Bu durum fırın sıcaklığının kurutmanın birinci basamağında uygulanan sıcaklığa gelinceye kadar sürdürülmelidir.

Soğutma Periyodu : Kurutulan kerestenin soğutulduğu periyottur. Kurutmada kondisyonlama periyodu uygulandıktan sonra fırın kapılarının hemen açılması sakıncalıdır. Kapalı bekletilir. Soğutma periyodu kurutma programlarında gösterilmez.

1.5.2. Kurutma Programı Çeşitleri

Kurutma sırasında kurutma şartları ya kereste rutubetine veya zamana bağlı olarak değiştirilmektedir. Bu nedenle kurutma programları rutubet esaslı ve zaman esaslı olmak üzere iki çeşittir. Uygulamalarda rutubet esaslı kurutma programları daha çok kullanılmaktadır (1).

Rutubet esasına göre düzenlenmiş programlar kurutma süresince kurutma şartlarının kereste rutubetine bağlı olarak nasıl değişeceğini göstermektedir. Aslında bu şekilde düzenlenmiş programlar kusursuz ve ekonomik bir kurutma yapmak için çok daha uygundur. Çünkü kurutma kusurları kereste rutubetine ve bu rutubetin kereste içerisinde dağılışına bağlı olarak meydana gelmektedir. Bu bakımdan kurutma şartlarının kereste rutubeti ve bu rutubetin kereste kalınlığı içerisindeki dağılışı dikkate alınarak ayarlanması gerekmektedir.

Zaman esasına göre düzenlenmiş kurutma programlarında belli başlangıç rutubeti ile sonuç rutubeti arasında birbirini takip eden zaman aralıklarında uygulanacak kurutma şartları verilmektedir (Tablo 5).

Tablo 5'de görüldüğü gibi zaman esasına göre hazırlanmış kurutma programlarının uygulanmasında, kurutma sırasında kereste içerisindeki rutubet miktarının değişimi ve dağılışı dikkate alınmamakta ve takip edilmemektedir. Bu nedenle başarı oranı düşüktür. Bu programların yüksek bir kurutma kalitesi istenmeyen ve özellik itibarıyla birbirine çok benzeyen yüksek miktardaki kerestenin kurutulmasında uygulanabileceği belirtilmektedir.

Tablo 5. Zaman esasına göre hazırlanmış bir kurutma programı örneği (1).

Süre (Saat)	Denge Rutubeti (r_d)	Kuru Termometre	Yaş Termometre	Psikometrik Fark (C°)	İlgili Notlar
0	-	20	20	-	Isıtıcılar açılacak, bacalar kapatılarak bir miktar buhar püskürtülecek
1	10-12	65	57/59	6-8	
2	10-11	80	73/74	6-7	
2-10	9	80	71	9	Buhar püskürtmeyi kes, bacaları bir miktar aç, ısıtıcılar açık bırakılacak
10-18	6	80	63	17	Buhar püskürtme kapalı, bacalar biraz daha açılacak, ısıtıcılar açık bırakılacak.
18-20	9	70	60	10	Isıtıcılar kapatılacak, bir miktar buhar püskürtülecek

1.5.3. Kurutma Programlarının Hazırlanması

Herhangi bir kurutma programının hazırlanması, kereste rutubeti ile denge rutubeti dolayısı ile sıcaklık ve bağıl nem arasındaki ilişkilerin düzenlenmesinden ibarettir.

Kuruma Eğimi : Kereste rutubeti ile denge rutubeti arasındaki düzenlemeler en basit şekilde kurutma eğimi esasına göre yapılmaktadır.

Kurutma programlarının hazırlanmasında lif doygunluğu rutubet derecesinden sonuç rutubetine kadar çeşitli rutubet basamaklarında uygulanacak denge rutubet değerleri kuruma eğimi değerleri yardımıyla bulunur. Çeşitli ağaç türleri için çıkış noktası olarak kullanılabilir kuruma eğimi değerleri Ek Tablo 1'de verilmiştir.

Daha önce kısaca değinildiği gibi kuruma eğimi (V_k) kurutulan kerestenin kurutma sırasında herhangi bir andaki ortalama rutubetinin (r), o anda kurutma fırınının sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak oluşan denge rutubetine (r_d) oranı olarak tarif edilmektedir. Kuruma eğimi (8) nolu eşitlikte verildiği gibi kurutmanın şiddetini ifade eden boyutsuz bir değerdir (1).

Kurutma programlarının hazırlanmasında, lif doygunluğunun altındaki rutubet derecelerinde denge rutubeti bu eşitlik yardımı ile bulunmaktadır.

Örneğin kuruma eğimi değerini 2 alalım. Kereste rutubetinin %18 olduğu rutubet basamağında denge rutubeti :

$$r_d = \frac{r}{V_k} = \frac{18}{2} = 9(\%) \text{ 'dur.}$$

Kuruma eğiminin kurutma süresince sabit tutulması gerektiğini ve kerestenin kalitesi bakımından yüksek isteklerde bulunulan hallerde koruyucu ve dikkatli kurutmada, 30

mm'den daha kalın kerestelerin kurutulmasında yapraklı ağaçlar için yaklaşık olarak 1.5; iğne yapraklı ağaçlar için ise yaklaşık olarak 2.00 değeri tavsiye edilmektedir. Buna karşılık koruyucu olmayan şiddetli ve kurutma bakımından yüksek bir kurutma kalitesi istenmeyen hallerde 30 mm den daha kalın kerestelerin kurutulmasında yapraklı ağaçlar için 2.0-3.0; iğne yapraklı ağaçlar için ise yaklaşık olarak 3.0-4.0 kuruma eğimi değerleri önerilmektedir. Fakat son yıllarda aynı kurutma işleminde kereste rutubeti azaldıkça kuruma eğimi değerinin büyütüldüğü görülmektedir. Genellikle %20'ye kadar küçük, %20'den sonra daha büyük kuruma eğimi değeri uygulanmaktadır. Bu şekildeki uygulamalarda denge rutubeti fazla düşeceği için dikkatli olunması gerekmektedir.

Herhangi bir kurutma programının kuruma eğimi esasına göre hazırlanmasında kereste rutubeti ile denge rutubeti arasındaki düzenlemeyi yapabilmek için aşağıdaki faktörlerin bilinmesi gerekmektedir.

Ağaç cinsi, türü ve özgül ağırlığı : Her ağaç türünün kurutma özellikleri ve istekleri farklıdır. Hatta aynı türün farklı yetiştirme şartları altında büyümüş fertlerinin özellikleri farklıdır. Odunun yıllık halka genişliği, yaz odunu iştirak oranı değiştiğinde özellikleri de değiştiği için kurutma şartlarının belirlenmesinde esas alınacak en uygun faktör ağaç türü ile birlikte özgül ağırlıktır. Ek Tablo 1'de ağaç türlerinin ticari ve botanik isimleri, özgül ağırlıkları verilmiştir.

Kereste kalınlığı : Bir kurutma programının hazırlanabilmesi için kerestenin kalınlığının bilinmesi gerekmektedir. Kalınlık arttıkça kurutma şartları daha yumuşak ve koruyucu olmalıdır.

Kerestenin başlangıç rutubeti : Kurutmanın başlangıcındaki kurutma şartlarının belirlenmesinde, sürenin hesaplanmasında başlangıç rutubeti önemlidir.

Lif doygunluğu rutubet derecesi : Kurutma programlarının hazırlanmasında başlangıçtan lif doygunluğu rutubet derecesine, lif doygunluğu rutubet derecesinden sonuç rutubetine kadar farklı kurutma şartları uygulanmaktadır. Özellikle güç kuruyan özgül ağırlığı yüksek sert yapraklı ağaçların kurutulmasında başlangıçtan lif doygunluğuna kadar yumuşak ve koruyucu kurutma şartlarının uygulanması gerekmektedir. Bu tür ağaçlarda bu safhada uygulanan kurutma şartları mümkün olduğu kadar sabit tutulmalıdır.

Ağaç türlerinin lif doygunluğu rutubet derecesi bilinmediği takdirde %25 ve hatta %20'ye kadar koruyucu şartlar altında kurutulmaları gerekmektedir.

Sonuç rutubeti : Kurutma programlarının hazırlanmasında ve kurutma süresinin hesaplanmasında bilinmesi önemlidir. Genel olarak %8 ile %12 arasında alınmaktadır.

Rutubet basamakları : Bir kurutma programı hazırlayabilmek için kurutma şartlarının değiştirileceği kurutma basamaklarının önceden tespit edilmesi gerekmektedir. Lif doygunluğuna kadar genellikle sabit kurutma şartları ile bir basamak halinde kurutma yapılır. Lif doygunluğundan sonuç rutubetine kadar kereste rutubeti azaldıkça kurutma şartları

şiddetlendirilir. Bu bölgede yapraklı ağaçların kurutulmasında rutubet basamakları dar tutulur. İbrelilerde de rutubet basamakları %5'ten daha büyük olmamalıdır.

Uygulanacak sıcaklık derecesi : Uygulanacak sıcaklık derecesi lif doygunluğu noktasının üstünde daha düşük, altında daha yüksektir. Kurutma programlarının hazırlanmasında çıkış noktası olarak kullanılabilen sıcaklık dereceleri Ek Tablo 1'de verilmiştir.

Lif doygunluğu rutubet derecesi üstünde uygulanabilecek denge rutubeti : Lif doygunluğu rutubet derecesinin üstünde uygulanacak kurutma şartlarının belirlenmesinde kuruma eğimi eşitliği kullanılmamaktadır. Çünkü bu bölgede odun içerisinde serbest su vardır ve bu nedenle bir rutubet dengesi oluşmamaktadır.

Kurutma programlarının hazırlanmasında lif doygunluğu noktası üzerinde uygulanabilecek denge rutubeti lif doygunluğu noktasına ulaşıldıktan sonra uygulanacak denge rutubetinden daha yüksek olmalıdır. Bu fark kurutulan ağaç türüne ve kereste kalınlığına bağlı olarak %2'den daha az olmamalıdır. Örneğin lif doygunluğu rutubet derecesi %30, kuruma eğimi, 2 ise denge rutubeti %15 olur. Buna göre lif doygunluğunun üstünde %17 denge rutubetini sağlayacak kurutma şartlarının uygulanması uygundur.

1.6. Kurutma Kontrolleri

1.6.1. Fırın İkliminin Kontrolü

Daha önce de belirtildiği gibi fırın içerisinde hakim olan sıcaklık ve bağıl nem kurutma şartlarını, bu şartlar ise denge rutubetini oluşturmaktadır. Kurutma fırını içerisinde hakim olan kurutma şartları yeterli süre sabit tutulduğu takdirde kereste bu şartlar altında oluşan denge rutubet miktarına kadar kurumaktadır.

Örneğin kuru termometre sıcaklık derecesi 70 °C, yaş termometre sıcaklık derecesi 60 °C ve Psikometrik fark 10 °C olduğu takdirde bağıl nem %63, denge rutubet miktarı %8.5 dur. Bu değerler kuru ve yaş termometre sıcaklık derecesi ile psikometrik farka veya kuru termometre sıcaklık derecesi ile bağıl neme göre düzenlenmiş grafikler ve tablolardan bulunabilmektedir.

Kurutma fırınında denge rutubetini denge rutubeti ölçme başlığı veya psikometre ile doğrudan doğruya ölçmek mümkündür. Denge rutubeti ölçme başlığına denge rutubeti doyurucusu olarak bir yonga veya selüloz monte edilir. Bu yonga veya selüloz çok hassas olup sıcaklık ve bağıl nemin oluşturduğu denge rutubetine kendisini çok çabuk uydurmaktadır. Denge rutubeti, ölçme başlığının fırın dışındaki göstergesinden doğrudan doğruya yüzde (%) olarak okunmakta veya bir rutubet ölçer yardımı ile dolaylı olarak ölçülmektedir (1).

Kurutma ortamının sıcaklık ve bağıl neminin kuruma süresince kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu kontrol bilgisayar tarafından yapılarak gerekli müdahaleler bilgisayar tarafından anında yapılmaktadır. Bilgisayar vasıtasıyla ısıtıcıya, nemlendiriciye ve bacalara direkt müdahale edilebilir.

Bu fırınlarda bağıl nemin azaltılması için nemli hava bacası veya taze hava bacası açılır ya da sıcaklık yükseltilir. Bağıl nemin yükseltilmesi için ise bacalar kapatılır veya buhar püskürtülür ya da sıcaklık düşürülür. Bu fırınların otomatik kontrol sistemlerinde ölçme, ayarlama ve kontrol otomatik olarak sağlanmaktadır.

1.6.2. Kereste Rutubetinin Kontrolü

Kereste rutubeti, keresteye çakılan elektrotlar sayesinde fırın dışında bulunan bilgisayar ekranından izlenebilir. Fırın içerisindeki istiflerden beş adet ölçüm yeri belirlenir. Elektrotlar kereste kalınlığının 1/3'ü derinliğe kadar çakılmaktadır (1).

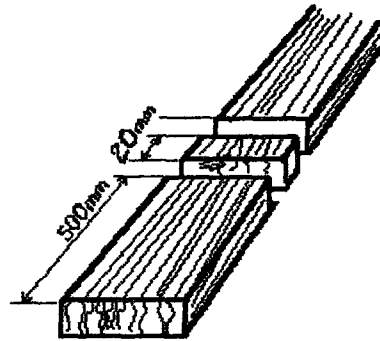
Odun içerisindeki rutubet miktarı mutlak ve nisbi olmak üzere iki şekilde bulunur. Mutlak rutubet, ağırlık olarak nisbi rutubet tam kuru ağırlığın veya yaş ağırlığın yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Uygulamada ifade edilen rutubet tam kuru ağırlığın yüzdesi olan rutubettir.

1.6.2.1. Kurutma Yöntemi İle Rutubet Tayini

Rutubeti belirlenecek ağaç malzemedен Şekil 3'de gösterildiği gibi rutubet örneği alınır. Temizlenir ve tartılır. Yaş ağırlığı (m_r) bulunur. Sonra kurutma dolabında 103 ± 2 °C de tam kuru hale gelinceye kadar kurutulur, tartılır. Tam kuru ağırlığı (m_o) tespit edilir (1).

Bu değerler (6) nolu eşitlikte yerine konmak suretiyle rutubet miktarı tam kuru ağırlığın yüzdesi olarak bulunur.

Kurutma yöntemi en hassas ve en güvenilir rutubet tayini yöntemidir. Fakat sürenin uzun olması önemli bir sakıncadır.



Şekil 3. Rutubet tayini için kullanılan örneğin alınışı

1.6.2.2. Rutubet Ölçerlerle Rutubet Tayini

Elektrikli rutubet ölçerler odunun elektriksel özelliklerinden faydalanarak yapılmıştır. Tam kuru haldeki odun, elektrik akımına karşı çok büyük bir direnç göstermektedir. Odunda suyun varlığı elektrik akımına karşı odunun davranışını değiştirmektedir.

Odunun elektriksel direnci üzerinde lif doygunluğu noktası önemli bir dönüm noktasıdır. Lif doygunluğunun altındaki rutubeti, %4-25 rutubet sınırları arasında $\% \pm 1$ hassasiyete kadar ölçmek mümkündür (21).

1.6.3. Kurutma Kalitesinin Kontrolü

Ara kalite kontrol örnek tahtaları yardımıyla kurutma sırasında ortaya çıkan kurutma kusurları, iç ve dış tabakalar arasındaki rutubet farkları ve gerilmeler kontrol edilir.

Kurutma sırasında kerestede oluşabilecek zararlı iç gerilmeler çatal örnekler vasıtasıyla kontrol edilir. Çatal örnekler basınç ve çekme gerilmelerinin şiddetini ve kabuklaşma durumunu gösterir. Kullanılmakta olan çatal örnek tahtaları 25-30 mm genişlikte bir parça üzerine testere ile üç biçme hattı oluşturularak elde edilir.

1.6.3.1. Kurutma Kusurları

Kurutma sırasında meydana gelen ve ağaç malzemenin az veya çok kalitesini ve değerini düşüren çatlaklar, sertleşme hali, hücre çökmesi, biçim değişimleri, renk değişimleri gibi oluşumlara kurutma kusurları adı verilmektedir (1)

Kurutma tesisinin hatasız bir şekilde kurulması ve teçhiz edilmesi, kereste istifinin tekniğine uygun yapılması, kurutma şartlarının ağaç malzemenin özelliklerine uygun seçilmesi halinde; kurutma kusur ve kayıplarını kabul edilebilir sınırın altında tutmak mümkündür. Gerekli özen gösterildiği takdirde kurutma kusurları nedeniyle meydana gelen değer kaybının %3-5'i geçmeyeceği belirtilmektedir (21).

1.6.3.1.1. Sertleşme Hali (Kabuklaşma)

Kerestenin kurutulması sırasında sık rastlanan bu kurutma kusuru kerestenin sertleşme hali veya kabuklaşma olarak ifade edilmektedir.

Yüksek başlangıç rutubeti ihtiva eden ve güç kuruyan kereste şiddetli kurutma şartları altında kurutulacak olursa, önce yüzeye yakın dış odun tabakaları hızlı bir şekilde kuruyarak lif doygunluğu rutubet derecesine ulaşmakta ve daralmaya çalışmaktadır. Daralmaya çalışan dış tabakalar iç tabakalar üzerine basınç etkisi yaparak bu kısımları daralmaya zorlamaktadır. Ancak, henüz lif doygunluğu rutubet derecesine ulaşmamış olan

ve hacmini değiştirmeyen bu kısımlar dış tabakaların basınç etkisine karşı koymaktadır. Böylece kereste yüzeylerinde, liflere dik yönde çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Kerestenin yüzeylerinde meydana gelen bu çekme gerilmeleri yüzeylerde bir uzama etkisi yapmaktadır. Çekme gerilmeleriyle meydana gelen uzama odunun elastiklik sınırını aşmadığı sürece kerestede hiçbir kusur ortaya çıkmamaktadır. Bununla beraber eğer uzama elastiklik sınırını aşmış ise ve yüzeylerdeki kuruma hızlı bir şekilde devam ediyorsa dış tabakalar sertleşmektedir. Bu hale Kollman (25) de dış sertleşme hali olarak işaret edilmektedir. Dış kısımları sertleşmiş ağaç malzemedede dış tabakalar adeta bir kabuk şeklinde henüz yaş vaziyette bulunan i kısımları kuşattığından bu kısımlardan kereste yüzeyine doğru olan su akışı çok yavaşlamaktadır. Bu haldeki keresteden örnek alınıp enine kesitten asıl yüzeylere paralel iki eşit kısıma kesilecek olursa her iki kısım dışa doğru bükülmektedir.

Dış tabakaların sertleşmesi, yüksek başlangıç rutubeti ihtiva eden ve doğrudan gelen güneş işınlarına maruz kalan kerestenin sıcak yaz aylarında doğal olarak kurutulması esnasında da meydana gelebilmektedir.

Yüzeylerinde şiddetli çekme gerilmeleri oluşmuş ve sertleşmiş ağaç malzeme kurutulmaya devam edilecek olursa, çok uzun bir süre sonra i tabakaların rutubeti de lif doygunluğu rutubet derecesinin altına inmekte ve daralmaya çalışmaktadır. Böylece, dış tabakalardaki çekme gerilmeleri tedricen azalmakta ve nihayet denkleşerek odun gerilmelerinden arınmış bir duruma ulaşmaktadır. Bu durumda kurutmaya devam edilirse kerestede i ve dış kısımların birlikte daralması beklenmektedir. Ancak, daha önce aıklanığı gibi sertleşen ve işlenmesi g bir duruma gelen dış tabakaların daralması artık bundan sonra serbest ve normal olmamaktadır. Dış tabakalar i tabakalarda meydana gelen müteakip normal daralmalara uyum gösterememektedir. Böylece, i tabakalar dış tabakalar üzerine kuvvetli çekme etkisi yapmakta ve buna bağlı olarak da dış tabakalar basınç etkisi altına girmektedir. Bu haldeki bir ağaç malzemedede başlangıçta görülen halin tersine bir durum, yani yüzeylerde basınç, iç kısımlarda çekme gerilmeleri ortaya çıkmaktadır. Bu hale ulaşan kerestenin daha evvel sertleşmiş ve işlenmesi g bir durum almış dış tabakalardan başka, i kısımlarında da sertleşme meydana gelmekte ve kereste bütünüyle sert ve işlenmesi g bir hal almaktadır. İşte kerestenin bu hali gerçek sertleşme (kabuklaşma) hali olarak ifade edilmektedir.

Sertleşme hali kerestenin uygun olamayan şartlar altında kurutulmasında meydana gelen önemli bir kusur olup, sonradan giderilmesi güçtür. Bu halde bulunan ağaç malzeme kuvvetli kuruma gerilmeleri ihtiva etmektedir. İşlenme ve kullanma esnasında çatlamakta ve şeklini değiştirmektedir. Bu bakımdan kurutmanın başlangıcında daha ilk belirtileri görüldüğü zaman havanın bağlı nemini yükseltici tedbirler alınmalıdır. Sertleşmenin ilk belirtileri yüzey çatlaklarıdır. Kerestede çok sayıda kılcal yüzey çatlakları ortaya çıktığı an kurutma fırını bacaları aıkırsa kapatılmalı ve buhar püskürtülmelidir. Buhar püskürtme süresi ağaç türü, kereste rutubeti ve kalınlığı, kuru termometre sıcaklık derecesi gibi birçok faktöre

bağlı olarak değişir. Kabuklaşma tehlikesini atlatıp atlatmadığı çatal örnekler yardımıyla anlaşılmaktadır.

Kabuklaşmanın ilk belirtileri görüldüğü anda tedbir alınmazsa yüzey çatlakları hemen kapanmaktadır. Bu çatlakların kapanması iç kısımlarda çekme gerilmelerinin oluşmasına işaretler. Kabuklaşmanın bu ilk safhası çok kısa sürmektedir. Bu nedenle yüzey çatlaklarının kapanması kontrolden kaçabilmektedir.

Güç kuruyan yapraklı ağaç kerestesi ve genel olarak kalın kereste sertleşme tehlikesine karşı daha hassastır. Bu bakımdan yüksek başlangıç rutubeti ihtiva eden bu tür kerestenin lif doygunluğu rutubet derecesine kadar koruyucu kurutma şartları altında kurutulmasına dikkat edilmelidir.

1.6.3.1.2. Enine Kesit (Uç) Çatlakları

Kerestenin enine kesitlerinin diğer kısımlardan daha çabuk kuruması nedeniyle, özellikle doğal kurutmada meydana gelir.

Enine kesitleri kapatmak suretiyle bu çatlaklar önenebilir. Örneğin çok değerli kerestelerin uçları parafine veya polietilenglikole batırılabilir.

1.6.3.1.3. Yüzey Çatlakları

Yüzey çatlakları doğal kurutmada direkt gelen güneş ışınlarının ve kuru havanın etkisi ile hızlı kuruma sonucu, teknik kurutmada yüksek sıcaklık ve düşük bağıl nem gibi şiddetli kurutma şartları altında kurutmanın ilk safhalarında meydana gelmektedir.

Yukarıda dış sertleşme konusunda açıklandığı gibi kerestenin dış tabakalarında meydana gelen liflere dik yöndeki çekme gerilmeleri odunun liflere dik yöndeki çekme direncini aştığı takdirde yüzey çatlakları ortaya çıkmaktadır.

Doğal kurutmada bu çatlakları önlemek için istifler tekniğine uygun şekilde yapılmalıdır. Yapılan istifler örtülmeli ve güneşten korunmalıdır.

Fırında kurutmada sıcaklığı düşürmek veya buhar püskürtmek suretiyle bağıl nem yükseltilmelidir.

1.6.3.1.4. İç Çatlakları

İç çatlakları şiddetli sertleşmenin bir sonucudur. Sertleşme bahsinde de açıklandığı gibi kurutmanın ileri safhasında kerestenin iç kısımlarında oluşan gerilme liflere dik yöndeki direncini aştığı takdirde iç çatlakları oluşmaktadır. Bu çatlaklar bazen çok sayıda boşluklar teşkil ederek bal peteği görünümünü andırırlar. Bu nedenle bu tür çatlaklar için petekleşme deyimini kullanılır.

Odunun liflere dik yöndeki çekme direnci sıcaklık ile azaldığı için çatlak oluşumunda sıcaklık büyük rol oynamaktadır.

İç çatlakları şiddetli sertleşmenin bir sonucu olduğu için, sertleşmenin daha ilk belirtileri görüldüğü zaman bunların oluşumuna engel olunmalıdır. Meydana gelen iç çatlakları giderilememektedir. İç çatlaklarını içeren ağaç malzemenin kullanım imkanı çok sınırlıdır.

İç çatlakları bakımından en hassas yapraklı ağaçlar, meşe, okaliptüs, akasya ve kayındır.

1.6.3.1.5. Şekil Değişimleri

Kurutma esnasında, kuruma sonucu ağaç malzemenin muhtelif düzlemlerinde oluşan farklılaşmalardır. TS 697'ye göre çarpılmalar adı altında toplanan bu şekil değişimleri oluklaşma, eğilme, kılıcına eğilme ve burulma şeklinde isimlendirilir. Ayrıca, özellikle kare kesitli ve enine kesitte yıllık halkaları kenarları ile 45° 'lik açı teşkil eden ağaç malzemede görülen şekil değişimi vardır ki, buna mainleşme denmektedir.

Ağaç malzemenin kuruması esnasında meydana gelen bu şekil değişimlerinin bir çok sebebi vardır. Bunlar, odunun doğal özellikleri, kuruma esnasında hüküm süren iklim şartları ve istiflemeye yapılan hatalardır (1).

Odun anatomik bakımdan üç değişik yönde farklı miktarda çalışmaktadır. Aynı kereste içerisinde özgül ağırlık, rutubet, dokusal yapı, asli ve tali bileşikler bakımından farklılıklar vardır. Bu bakımdan şekil değişimleri belli bir ölçüye kadar odunun doğal özelliklerinin sonucu olarak normal kabul edilebilmektedir. Ancak, alınan pratik ve teknik tedbirlerle bu şekilde meydana gelen kusurlar minimuma indirilebilmektedir. Örneğin, istif tekniğine uygun şekilde yapıldıktan sonra yaylı veya vidalı germe demirleri yardımıyla sıkıştırılmaktadır. Kurutma esnasında kurutmadan doğan gevşeme zaman zaman kontrol edilerek istif her zaman sıkışık pozisyonda bulundurulmaktadır.

Kurutma fırınındaki yapım hataları ve uygulamada yapılan hatalar da şekil değişimlerine sebep olmaktadır. Bunlar; vantilatörlerin istife çok yakın konması, düzgün olmayan hava sirkülasyonu, ısıtma ve nemlendirme buharı sevkıyatı gibi hatalardır (1).

Kerestenin şeklini değiştirme biçimi ve miktarı üzerine etkili olan faktörler şunlardır:

1. Kerestenin boyutları (İnce kereste daha kolay şekil değiştirir)
2. Doğal kusurlar ve imalat hataları (lif düzensizlikleri burulmaya, eğilmeye neden olur)
3. Kereste biçme şekli (Teğet kerestede oluklaşma görülür)
4. Kerestenin gövdeden alındığı yer
5. İstifleme hataları (Çıtaların yanlış konması eğilmeye neden olur)
6. Fırın yapımı ve uygulama hataları

1.6.3.1.6. Hücre Çökmeleri (Kollaps)

Meşe, kayın ve okaliptüs gibi bazı ağaç türlerinin odunları taze halden lif doygunluğuna kadar şiddetli kurutma şartları altında hızlı bir şekilde kurutulacak olursa, ağaç malzemedede anormal büyüklükte bir daralma meydana gelmektedir. Zira, lümenlerin su ile dolu olduğu zaman ve bir ağaç türünün hücre çeperi kapillerleri yeter derecede küçük bulunduğu takdirde, kurutma esnasında bu kapillerlerin menüsküslerinde (kapiler uçlarındaki konkav su yüzeylerinde) yüzey gerilmeleri (çekme gerilmeleri) meydana gelmekte ve bu gerilmeler hücre çeperini plastik bir deformasyona uğratmaktadır. Böylece, ekstrem hallerde hücre çökmeleri (kollaps) ve hücre yarılmaları oluşmaktadır.

Hücre çökmeleri ağaç malzemenin boyutlarında meydana gelen ve normal olmayan eksilmelerle kurutma esnasında farkedilebilmektedir. Böyle bir kusura sahip ağaç malzemenin daralma yüzdesi, doğal olarak veya normal olarak kurutulmuş malzemeye nazaran her yönde daha fazla bulunmaktadır.

Literatürde, hücre çökmelerinin oluşumu üzerine çeşitli faktörlerin olumlu ve olumsuz yönde etkisi bulunduğu belirtilmektedir. Bunlar sıcaklık, rutubet, malzeme boyutları, kurutma süresi, ağaç türü ve ağaç türünün anatomik özellikleridir. Kurutma esnasında ağaç malzemenin sıcaklık derecesinin artması ile kollaps tehlikesi ve derecesi önemli ölçüde artmaktadır. Çünkü yüksek sıcaklıklarda hücre çeperi direnci önemli ölçüde azalmaktadır. Pratikte kollaps tehlikesi olan ağaç türlerinin odunlarını teknik olarak kuruturken aşırı hücre çökmelerinden kaçınmak için, malzemenin rutubeti, lif doygunluğu rutubet derecesine ulaşıncaya kadar uygulanan sıcaklık derecesinin ve ağaç malzeme sıcaklığının 60 °C 'in altında tutulması uygun görülmektedir. Diğer taraftan kollaps ağaç malzemedede öz odunda diri oduna nazaran daha şiddetli olmakta ve ilkbahar odununda yaz odununa nazaran daha çok meydana gelmektedir (1).

Hücre çökmelerine karşı hassas olan ağaç türlerinde, yüksek rutubetteki ağaç malzemenin önce bir ön kurutmaya tabi tutulması ve böylece rutubeti lif doygunluğu rutubet derecesinin altına düşüldükten sonra teknik kurutmaya geçilmesi uygundur.

Kollaps tehlikesi olan ağaç türleri şunlardır: Sekoya öz odunu, karaceviz, okaliptüs türleri, kavak, ıhlamur, *thuja plicata*, *tsuga heterophylla* ve meşe türleri.

1.6.3.1.7. Renk Değişmeleri

Kurutma ve buharlama esnasında ağaç malzemedede meydana gelen renk değişimleri, diğer bir ifadeyle doğal rengin herhangi bir renk maddesi ile muamele etmeksizin değişmesi, odunun esas bileşimindeki kimyasal değişmelerin sonucudur. Örneğin, taze haldeki yapraklı ağaç keresteleri kurutma fırınlarında şiddetli kurutma şartları altında (sıcaklık 60 ° C'den yüksek, bağıl nem %65'ten fazla) kurutulacak olursa, odunun esas bileşimlerinden

olan lignin ve odun polyoslarında (hemiselülozlarda) meydana gelen bazı kimyasal değişimler nedeniyle odunun rengi koyulaşmaktadır. Diğer taraftan odunun yan bileşiklerinin (tanen ve renkli maddeler) oksidasyonu, ağaç malzemedeki meydana gelen renk değişimlerinin diğer önemli bir grubunu teşkil etmektedir. 100 °C'nin altındaki sıcaklıklardaki kurutmada havanın sıcaklığı ve rutubeti renk değişimleri üzerinde esas rol oynamaktadır. Ancak, sıcaklık faktörü rutubet faktöründen daha etkili bulunmaktadır. Belirgin renk değişimleri yapraklı ağaç odunlarında 60 °C'de, iğne yapraklı ağaç odunlarında 90°C'de başlamakta ve sıcaklık artmasıyla renklenmenin şiddeti bir doğru halinde artış göstermektedir (1).

Odunda doymuş ve yeknesak bir renk tonuyla meydana gelen renk değişimleri ile yüzeysel olarak meydana gelmiş renk değişimleri kurutma kusuru olarak kabul edilmemektedir. Buna karşı şeritler veya lekeler halinde oluşan renk değişimleri, özellikle derine giden renk değişimleri estetik bakımdan önemli bir kusurdur. Böyle renk değişimleri pentozan miktarı yüksek yapraklı ağaçlarda 60°C'nin üstündeki sıcaklıklarda yüksek rutubetli ağaç malzemenin kurutulması esnasında çok görülmektedir. Bunlar ağaç malzeme yüzeyine birikmiş suların buharlaşması esnasında odundaki renkli maddelerin çözünmesi suretiyle meydana gelmektedir. Tanen miktarı bakımından zengin olan ağaç türlerinde bu şekildeki renk değişimleri fazla miktarda görülür (1).

Teknik kurutmada arzu edilmeyen renk değişimlerini önlemek için bazı tedbirler alınabilir. Bunlar; ağaç malzeme lif doymuşluğu rutubet derecesine ulaşmaya kadar düşük sıcaklık ve yüksek olmayan bağıl nem uygulamak kereste yüzeylerini yonga, talaş, kabuk gibi artıklardan temizlemek, metal kısımlarla temas ettirmemek ve temiz istif latası kullanmaktır (1).

1.6.3.1.8. Reçine Sızması

Reçine miktarı bakımından zengin ağaç türleri, örneğin çam, ladin odunlarının teknik olarak kurutulmasında yüksek sıcaklık uygulanmasıyla reçine ağaç malzemenin yüzeyine çıkmaktadır. Böylece ağaç malzemenin yüzeyi yağlı bir görünüş arz etmekte ve bu ince yağ tabakası yüksek sıcaklıklarda yanarak koyulaştığı için ağaç malzeme kahverengi bir renk almaktadır. Bazı hallerde yüzeye çıkan reçine tabakası, reçinenin uçucu kısımlarının (terebentin) ayrılması ile sertleşmekte (kolofan) ve ağaç malzemeyi işlenmesi güç hale getirmektedir (1).

Kurutma sıcaklığının yükselmesi ile reçine sızması artmaktadır. Ancak sıcaklığın 60 °C'ye kadar yükselmesi ile sızma miktarında bariz bir artma görülmemektedir. Buna karşılık 60 °C'nin üstünde, örneğin 60 °C'da 1 ise, 80 °C'da 1.5, 100 °C'da 2 kat, 120 °C'da 2.5 kat ve hatta 3.5 kat artma görülmektedir. Reçine sızması çoğunlukla bir kurutma kusuru olarak görülmemektedir. Ancak ağaç malzeme yüzeyinde ince ve sert tabaka halinde

bulunacak olursa rendeleme, yüzey işlemleri ve tutkalamada sakınca oluşturmaktadır. Bu nedenle reçine sızması istenmeyen hallerde kurutma esnasında uygulanan sıcaklığın düşük tutulması uygundur (1).

1.6.4. Kurutmanın Değerlendirilmesi

Kurutmanın asıl değerlendirilmesi sonuç kalite kontrollerinde elde edilen verilere göre yapılmaktadır. Sonuç kalite kontrolleri ya istifin tamamı kontrol edilerek ya da kurutmanın başlangıcında istife yerleştirilen sonuç kalite kontrol örnekleri yardımıyla belirlenir. İstifin tamamını kontrol etmek son derece güç ve zaman alıcı olduğu için genel olarak sonuç kalite kontrol örnekleriyle çalışılır. Kurutulacak kereste içerisinden seçilerek alınan bu örnekler istatistik değerlendirmeler için yeterli sayıda olmalıdır.

Sonuç kalite kontrol örnek tahtalarının seçiminde çatlak, şekil değişikliği ve renk değişikliği bulunmamasına ve bu bakımdan kusursuz olmalarına dikkat edilmelidir. Çünkü böylece kurutma sırasında kusurlarının tespiti kolaylaşmaktadır.

Sonuç kalite kontrol örneklerinin istife yerleştirilmeden önce bütün özellikleri tespit edilerek sonuç kalite kontrol örnek tahtası kartlarına yazılmalıdır.

Kereste kalitesi ile kurutma kalitesi birbirinden farklıdır. Kereste kalitesini belirleyen kriterler odunun yapısal özellikleridir. Bunlar, budaklar, lif durumu, yıllık halka durumu gibi özellikler olup, dışarıdan müdahaleler ile değiştirilemez. Sadece bazı yöntemlerle belirlenebilir. Kurutma kalitesi ise kurutma sırasında kurutma şartlarının etkisiyle oduna kazandırılan iyi veya kötü özellikleri ifade eder. Bu özellikler de gözle muayene edilerek veya ölçümler yaparak tespit edilebilir. Bunların derecesi kurutma işlemine müdahale edilerek değiştirilebilir ve kabul edilen sınırlar arasında kalmaları sağlanabilir.

Kerestenin kurutulmasında kurutmanın kalitesini gösteren faktörleri iki grup altında toplamak mümkündür (1).

1. Kerestenin nitelikleri ile ilgili kalite faktörleri yani kurutma kusurları :
 - a. Çatlaklar (Uç, yüzey, öze ve iç çatlaklar),
 - b. Renk değişimleri,
 - c. Şekil değişimleri,
 - d. Reçine sızması.
2. Kerestenin nicelikleri ile ilgili kalite faktörleri :
 - a. Sonuç rutubeti ve sonuç rutubeti dağılımı,
 - b. Rutubet eğimi,
 - c. Deformasyon yüzdesi

2. TEORİK ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Çalışmada Turbo Pascal 7.0 programlama dili ve Mühlböck fırınlarında daha önce uygulanmış kurutma programlarına ait veriler materyal olarak kullanılmıştır.

Bilgisayarlarda gerçekleştirilen işlemler belirli bir sırada yapılmak üzere önceden düzenlenmiş çeşitli adımlardan oluşur. Belirli bir çıktı üretmek amacı ile gerçekleştirilecek olan işlemler bütününe program adı verilmektedir (32).

Programların yazılım dilleri farklı olabilir, ancak amaca ulaşmak için izlenecek yolun tanımı aynı olmak zorundadır. Aynen çeşitli dillerin mevcut olduğu dünyamızda her dilin kendi kuralları varsa ve bu kurallara uyan her kişi diğerleriyle anlaşabiliyorsa, bilgisayarlar da kendi dillerinin kurallarına uygun olan bilgileri ve komutları anlar ve ona göre işlem yaparlar (33).

Program geliştirme, belli bir işlevi olan bilgisayar programının üretilmesidir. Program geliştirme, bir programın tasarımını, kodlanmasını veya bir bilgisayar dili ile yazılmasını, işletimini ve bakımını kapsar. Program geliştirme işini organizasyonlarda programcılar yapar. Ancak, karmaşık paket programların geliştirilmesi işlemine tasarımcılar ve sistem çözümleyiciler de katılır (34).

2.1.1. Turbo Pascal Programlama Dili

Pascal, 1968 yılında Niklaus Wirth tarafından geliştirilmiş bir bilgisayar programlama dilidir. Öncelikle doğru ve iyi bir programlama bilgisinin eğitimi için geliştirilmiş bir dil olan Pascal programlama dilinin özellikleri Cobol, Fortran ve Algol gibi dillerden alınmıştır. Pascal, yapısal ve modüler programlamaya uygun çağdaş bir dildir. Turbo Pascal ise, Borland Inc. firması tarafından geliştirilmiş bir pascal dili ya da derleyicisidir (35).

Turbo Pascal, standart Pascal dilinin güçlü taraflarını güncelleştirerek benimsenmiş, giriş/çıkış işlemleri gibi zayıf taraflarını da güçlendirecek biçimde yeniden düzenlenmiştir. Böylece mikrobilgisayarlarda kullanılan Pascal için öncülük yapmış, standart bir hale gelmiştir. Turbo Pascal, güçlü veri yapılarının olduğu bir programlama dilidir (35).

Kurutma fırınları için kurutma programlarını oluşturmak amacıyla geliştirilen bilgisayar programının hazırlanmasına daha önce kullanılan programlar dikkate alınarak başlanmıştır. Kurutma programları rutubet ve zaman esasına göre hazırlanmaktadır.

Zaman esasına göre hazırlanmış kurutma programlarının uygulanmasında, kurutma sırasında kereste içerisindeki rutubet miktarının değişimi ve dağılışı dikkate alınmadığından ve takip edilemediğinden geliştirilen bilgisayar programı rutubet esasına göre hazırlanmıştır.

2.1.2. Örnek Kurutma Programlarının Hazırlanması

Herhangi bir kurutma programının hazırlanabilmesi için ağaç türü ve kereste kalınlığının mutlaka bilinmesi gereklidir. İlk aşamada edinilen bu bilgilere ek olarak;

- Özgül ağırlık,
- Başlangıç rutubeti,
- Sonuç rutubeti,
- Lif doygunluğu rutubet derecesi,
- Kereste rutubet kademeleri,
- Sıcaklık,
- Kuruma eğimi,
- Lif doygunluğunun üstünde denge rutubeti,
- Kurutma kalitesi gibi bilgilerin gerek hesaplamalarla gerekse bazı kabuller ve

tablolar yardımıyla veri olarak girilmesi sağlanır. Buna göre hazırlanmış bir kurutma programı Tablo 6'da verilmiştir.

Ek Tablo 2'de bir kurutma programının tablo halinde gösterilmesi için bir çizelge verilmiştir.

TSE'nin kurutma programlarının hazırlanması konusunda verdiği örnek aşağıdaki gibidir (36).

Kurutulacak kereste cinsi	: Çam
Kerestenin birim hacim ağırlığı	: 0.400 - 0.510 gr/cm ³ (ort 0.490 gr/cm ³)
Kerestenin ilk sıcaklığı	: 25 °C
Kurutma aşamasında başlangıç sıcaklığı	: 80 °C
Kurutmada çıkabilecek en yüksek sıcaklık	: 90 °C
Kereste kalınlığı	: 40 mm
Kereste başlangıç rutubeti	: % 55
Kerestede istenilen son rutubet	: % 12

Mühlböck kurutma fırınında kurutulan 50 mm kalınlığındaki göknar kerestesi kurutma kontrolü sonuçları aşağıdaki gibidir.

Program kodu : 3334

Sonuç rutubeti : %12

Başlangıç rutubeti : %60

r_{d1} : Fırında istenilen denge rutubeti (%)

r_{d2} : Fırında meydana gelen denge rutubeti (%)

T_1 : İstenen sıcaklık (°C)

T_2 : Meydana gelen sıcaklık (°C)

M_i : Kerestelere takılan elektrotların gösterdiği rutubet miktarları (%)

Bu kurutma fırınına ait sonuçlar, geliştirilen bilgisayar programında girdi olarak kullanılmıştır. Bu veriler Ek Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 6. 25 mm kalınlıktaki kayın kerestesi için hazırlanan bir kurutma programı örneği (1).

		Sıcaklık $T_1=60^\circ\text{C}$ $T_2=80^\circ\text{C}$					
Ağaç türü : Kayın		Başlangıç rutubeti : %50					
Kereste Kalınlığı : 25 mm		Sonuç rutubeti : %8					
Özgül Ağırlık : 0.63 gr/cm ³		LDN derecesi : %29					
		Kuruma eğimi : 2.25					
		LDN'nin üstünde					
		Denge rutubeti : %17					
1	2	3	4	5	6	7	8
Peryotlar	Kereste rutubeti r %	Kuruma eğimi V_k	Denge rutubeti %	Kuru termometre $^\circ\text{C}$	Yaş termometre $^\circ\text{C}$	Psikometrik fark $^\circ\text{C}$	Bağıl Nem %
Isıtma	a. Ön Isıtma	-	-	30		0	-
				35		0	-
	b. Yüzeysel Isıtma	-	-	40	39.0	1.0	94.0
	c. Derinlere kadar ısıtma			45	43.5	1.5	92.0
				50	48.0	2.0	90.0
			17.0	60	57.5	2.5	88.0
Kurutma I	50-29	-	17.0	60	57.5	2.5	88.0
			15.0	65	62.0	3.0	87.0
			14.7	70	67.0	3.0	88.0
			13.6	75	71.5	3.5	86.0
Kurutma II	29-26	2.25	12.9	80	76.0	4.0	84.0
	26-23	2.25	11.6	80	75.0	5.0	80.0
	23-20	2.25	10.2	80	73.5	6.5	73.5
	20-17	2.25	8.7	80	71.0	9.0	67.0
	17-14	2.25	7.5	80	68.5	11.5	61.5
	14-11	2.37	5.9	80	64.0	16.0	49.0
	11-8	2.40	4.4	80	58.0	22.0	35.0
	8-6	2.42	3.3	80	52.0	28.0	26.0
Denkleş.	6-8	-	8	80	70.0	10.0	65.0

Fırın Tipi : Metal; Sirkülasyon hızı : 2.0 m/s; Günlük çalışma saati : 24 saat; Kurutma kalitesi : Kaliteli; Isıtma süresi : 2.5 saat; Kurutmada Birinci kademe : 16 saat; İkinci kademe : 31 saat Dengeleme : 19 saat

Tablo 7. 40 mm kalınlıktaki çam kerestelerinin kurutma programı örneği (36).

Kereste Rutubeti %	Kuru Termometre $^\circ\text{C}$	Yaş Termometre $^\circ\text{C}$	Psikometrik Fark	Süre saat
55-50	80	75	5	5
50-40	80	74	6	3
40-28	81	74	7	3
28-25	82	74	8	3
25-23	84	74	10	5
23-21	85	73	12	6
21-19	86	72	14	6
19-17	87	71	16	6
17-15	88	70	18	6
15-13	89	68	21	9
13-12	90	66	24	9

2.2. Yöntem

Kereste rutubeti ile denge rutubeti arasındaki düzenlemeler en basit şekilde kuruma eğimi esasına göre yapılmaktadır.

2.2.1. Denge Rutubetinin Belirlenmesi

Daha önce kısaca değinildiği gibi kuruma eğimi (V_k) kurutulan kerestenin kurutma sırasında herhangi bir andaki ortalama rutubetinin (r), o anda kurutma fırınının sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak oluşan denge rutubetine (r_d) oranı olarak tarif edilmektedir. Kuruma eğimi kurutmanın şiddetini ifade eden boyutsuz bir değerdir.

$$\text{Kuruma eğimi } V_k = \frac{r}{r_d}$$

Kurutma programlarının hazırlanmasında, lif doygunluğunun altındaki rutubet derecelerinde denge rutubeti bu eşitlik yardımı ile bulunmaktadır.

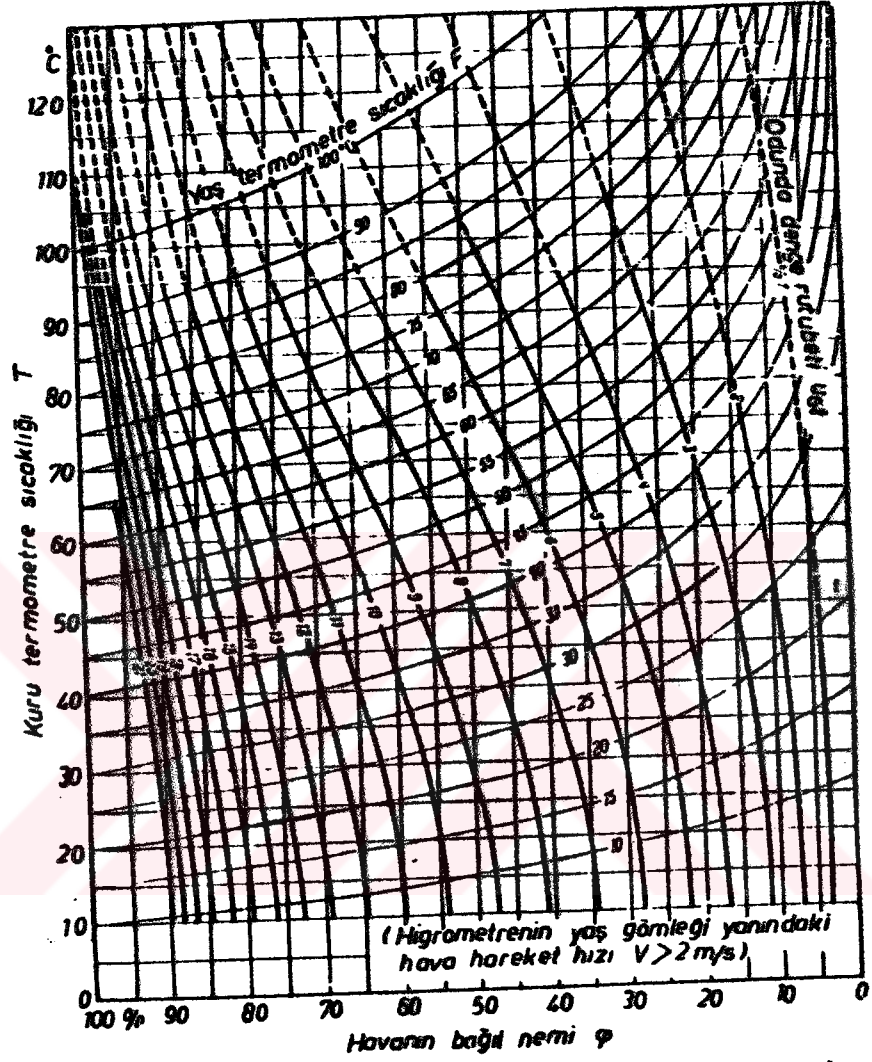
Örneğin kuruma eğimi değerini 2 alalım. Kereste rutubetinin %18 olduğu rutubet basamağında denge rutubeti :

$$r_d = \frac{r}{V_k} = \frac{18}{2} = 9 \text{ (\%)} \text{ 'dur.}$$

Kuruma eğiminin kurutma süresince sabit tutulması gerekmekte, kerestenin kalitesi bakımından yüksek isteklerde bulunulan hallerde koruyucu ve dikkatli kurutmada, 30 mm'den daha kalın kerestelerin kurutulmasında yapraklı ağaçlar için yaklaşık olarak 1.5; iğne yapraklı ağaçlar için ise yaklaşık olarak 2.00 değeri tavsiye edilmektedir. Buna karşılık koruyucu olmayan şiddetli ve kurutma bakımından yüksek bir kurutma kalitesi istenmeyen hallerde 30 mm den daha kalın kerestelerin kurutulmasında yapraklı ağaçlar için 2.0-3.0; iğne yapraklı ağaçlar için ise yaklaşık olarak 3.0-4.0 kuruma eğimi değerleri önerilmektedir. Fakat son yıllarda aynı kurutma işleminde kereste rutubeti azaldıkça kuruma eğimi değerinin büyütüldüğü görülmektedir. Genellikle %20'ye kadar küçük, %20'den sonra daha büyük kuruma eğimi değeri uygulanmaktadır. Bu şekildeki uygulamalarda denge rutubeti fazla düşeceği için dikkatli olunması gerekmektedir.

Şekil 4'deki grafik kuru termometre sıcaklığı, hava bağıl nemi, yaş termometre sıcaklığı ve denge rutubeti arasındaki ilişkileri göstermektedir. Bu grafik 100°C'nin altındaki hava ve su buharı karışımı ile kurutma yöntemleri için hava hareket hızı 2 m/sn 'den büyük olduğu takdirde geçerli bulunmaktadır. Denge rutubet miktarları ortalama olup, her ağaç türü için aynı değildir. Özellikle egzotik ağaçlar için ortalamadan %2-3 kadar fark vardır. Fakat bu, grafiğin yeterliliği bakımından bir sakınca yaratmaz. Tablo 8, kuru termometre sıcaklık derecesi ile kuru ve yaş termometre sıcaklık dereceleri arasındaki farka (psikometrik

fark) göre bağıl nem yüzdelerinin ve denge rutubet miktarının bulunması için düzenlenmiştir.



Şekil 4. Kuru termometre sıcaklığı, hava bağıl nemi, yaş termometre sıcaklığı ve denge rutubeti arasındaki ilişkiler (26).

Tablo 8. Psikometrenin kuru termometre sıcaklık derecesi ile kuru ve yaş termometre sıcaklık dereceleri arasındaki farka göre bağıl nem ve denge rutubet yüzdeleri (26).

fark	Kuru termometre sıcaklığı																
	20	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
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	14.0	14.6	
	82	86	87	88	89	90	90	90	91	92	92	92	93	94	94	95	
3	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	
	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	
	68	73	75	77	78	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	
	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
	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
	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
	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
	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
	25	40	45	48	52	54	57	58	60	63	63	65	66	67	68	68	70
11	4.0	6.1	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
	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
	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
	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
		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
		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	5.5	5.5	5.4
		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
		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
				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
				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
						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
						9	13	18	21	23	26	28	30	32	33	35	37
28	Denge rutubeti (%)=					1.4	2.2	2.6	2.9	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
	Bağıl nem (%)=					5	9	13	17	20	23	26	27	28	30	32	33
30						1.5	2.1	2.4	2.7	2.8	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
						6	10	13	18	20	23	23	26	27	28	31	

2.2.2. Kurutma Süresinin Hesaplanması

Bugüne kadar kurutma süresinin bulunmasında bir çok grafik ve hesap yöntemi geliştirilmiş olup, bunlar yaklaşık sürelerin bulunmasında kullanılmıştır.

2.2.2.1. Deneysel Yöntem

Bilindiği gibi kurutma süresi (Z_t); Isıtma periyodu (Z_i), esas kurutma periyodu (Z_k) ve dengeleme periyodu (Z_d) sürelerinin toplamına eşittir.

$$Z_t = Z_i + Z_k + Z_d \quad (13)$$

Isıtma Peryodu Süresi (Z_i) 'nin Hesaplanması

Isıtma periyodu süresinin hesaplanması kolay olup (14) numaralı eşitlikte görüldüğü gibi kereste kalınlığı e (mm) ile $f_i=0.1$ katsayısı çarpılır.

$$Z_i = e \cdot f_i \quad (14)$$

Eşitlikte (e) mm olarak kereste kalınlığıdır. (f_i) ise, bir katsayı olup değeri ortalama 0.1 (saat/mm) dir. Fakat güç kuruyan yapraklı ağaçlarda bu katsayının 0.15 (saat/mm) alınması daha uygundur.

Kurutma Peryodu Süresi (Z_k) nin Hesaplanması

Kurutma süresinin bulunması için literatürde daha çok (15) numaralı eşitlikten faydalanılmaktadır (1).

$$Z_k = \frac{1}{\alpha} (\ln r_b - \ln r_s) \left(\frac{e}{25}\right)^{1.5} \frac{65}{T} \left(\frac{1.5}{v}\right)^{0.6} \quad (15)$$

Eşitlikte, $1/\alpha$ kurutulan kerestenin özgül ağırlığına bağlı bir katsayıdır. r_b ve r_s kerestenin başlangıç ve sonuç rutubeti (%), \ln ise doğal logaritmadır. e , mm olarak kerestenin kalınlığıdır. T sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) olup, v istif katları arasındaki hava hareket hızı (m/sn) dir.

Hesaplama kolaylık sağlamak için eşitlikteki her bir çarpanın, yani $1/\alpha=a$; $(\ln r_s - \ln r_b)=r$; $(e/25)^{1.5}=e$; $65/T=t$ ve $(1.5/v)^{0.6}=v$ gibi harflerle ifade edilmesinde fayda vardır. Böylece (15) numaralı eşitlik aşağıdaki şekilde sadeleşmiş olur.

$$Z_k = a \cdot r \cdot e \cdot t \cdot v \quad (16)$$

Bu çarpanların değerleri hesaplanarak tablolar halinde verilmiştir. Burada sıcaklık 65°C , kereste kalınlığı 25 mm, hava hareket hızı 1.5 m/sn, özgül ağırlık yapraklı ağaçlarda $\rho=650 \text{ kg/m}^3$ ve ibrelilerde $\rho=450 \text{ kg/m}^3$ değerleri baz olarak alınmıştır.

Kurutma periyodu genellikle başlangıçtan lif doygunluğuna ve lif doygunluğundan sonuç rutubetine kadar olmak üzere iki kademedede uygulanmakta ve buna bağlı olarak da kurutma periyodu süresi iki kademedede hesaplanmaktadır.

Dengeleme Peryodu Süresi (Z_d) nin Hesaplanması

Dengeleme periyodu aşağıda verilen (17) numaralı eşitlik yardımıyla kolayca bulunabilir.

$$Z_d = Z_k f_d \quad (17)$$

Eşitlikte, Z_k esas kurutma süresi (saat), f_d ise bir katsayı olup, kurutmada istenilen kaliteye ve fırının metal veya kargir oluşuna göre değişmektedir.

Metal fırınlarda; $f_d = 0.2-0.6$

Kargir fırınlarda;

Hava hareket hızı $v > 2$ m/sn ise $f_d = 0.2-0.45$

Hava hareket hızı $v < 2$ m/sn ise $f_d = 0.1-0.3$

Metal fırınlarda kaliteli (koruyucu) bir kurutma için $f_d = 0.4$ alınabilir.

Örnek: 20 mm kalınlıkta ve özgül ağırlığı 0.630 gr/cm^3 olan bir ağaç türü %100 başlangıç rutubetinden %10 somuç rutubetine kadar $T_1 = 70^\circ\text{C}$ uygulanarak kurutuluyor. Kurutma süresi kaç saattir?

Fırın metal olup, hava hareket hızı 2 m/s dir.

1. Isıtma süresi 13 numaralı eşitlik yardımı ile;

$$Z_i = 20 \times 0.1 = 2 \text{ saat}$$

bulunur.

2. Esas kurutma periyodu süresi iki kademe halinde hesaplanır.

a. Başlangıç rutubetinden lif doygunluğuna kadar birinci kademe (Z_{k1})

Bu kademedede sıcaklık 70°C 'dir.

$$(\ln 100 - \ln 29) = r_1 = 0.51 \quad (\text{Ek Tablo 6 'dan bulunur})$$

$$65/70 = t_1 = 1.083 \quad (\text{Ek Tablo 8 'den bulunur})$$

Diğer değerler:

$$1/\alpha = \alpha = 35.55 \quad (\rho = 0.63 \text{ gr/cm}^3, \text{ Ek Tablo 5'den bulunur})$$

$$(20/25)^{1.5} = 0.716 \quad (\text{Ek Tablo 7'den bulunur})$$

$$(1.5/2.0)^{0.6} = v = 0.822 \quad (\text{Ek Tablo 9'dan bulunur});$$

Böylece (15) numaralı eşitlikte bu değerler yerine konarak her iki kademe için süreler bulunur.

$$Z_k = (35.55) (1.32) (0.812) (0.716) (0.822) = 33.45 \text{ saat}$$

Toplam kurutma periyodu süresi,

3. Metal fırınlarda kaliteli bir kurutma yapmak için $f_d=0.4$ alınırsa dengeleme periyodu süresi,

$$Z_d = Z_k \times f_d = 34.0 \times 0.4 = 14 \text{ saat}$$

bulunur.

Toplam kurutma süresi;

$$Z = Z_i + Z_k + Z_d = 2 + 34 + 14 = 50 \text{ saat}$$

olur.

2.2.2.2. Teorik Yöntem

Bu yöntemde sıcaklık, bağıl nem ve hız sabit kabul edilip, denge rutubeti bilinmelidir.

1. Evrede Kuruma Süresi

Hava hızı, odun sıcaklığı ve havanın doyma nemi kuruma hızı üzerinde etkili olmaktadır.

Buharlaşma miktarı;

$$U_k = \frac{K(tk - ty)}{\lambda} \text{ [kg/m}^2\text{h]} \quad (18)$$

tk : Kuru termometre sıcaklığı (°C)

ty : Yaş termometre sıcaklığı (°C)

Toplam ısı transfer katsayısı;

$$K=9.27+7.68 v \text{ [kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C]} \quad (19)$$

Yaş termometrede suyun buharlaşma gizli ısısı;

$$\lambda=606.5-0.695 ty \text{ [kcal/kg]} \quad (20)$$

$$Z_1 = \frac{r_b - r_1}{2U_k} \cdot 100 \cdot e \cdot y \text{ [saat]} \quad (21)$$

r_b : Başlangıç rutubeti (%)

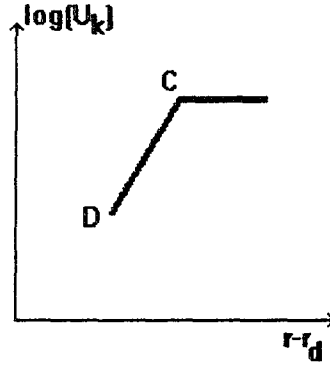
r_1 : Kritik noktadaki rutubet (%)

e : Kalınlık (mm)

y : Hacim yoğunluk değeri (gr/cm³)

U_k : Buharlaşma miktarı (gr/m²h)

2. Evrede Kuruma Süresi



Şekil 5. 2. evrede buharlaşma miktarının denge rutubetine göre değişimi

$$Cx = r_1 - r_d$$

$$Cy = \log(U_k(C))$$

D noktasındaki ortalama rutubet;

$$\overline{r_2(D)} = \frac{2}{3} \left(r_m + \frac{r_d}{2} \right) \quad (22)$$

r_m : Orta kısımların rutubeti

r_d : Yüzey kısımlarının denge rutubeti

tk(°C)	r_m (%)
40	29.2
50	28.3
60	27.2
80	25.1

$$\omega = \frac{U_k}{r - r_d} = \frac{50\pi^2 h^2 y}{e} \quad (23)$$

h : Difüzyon sabiti

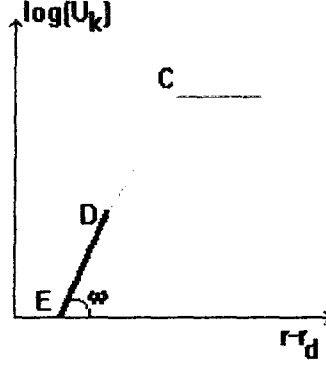
$$h^2 y^2 = \frac{0.00336 \cdot t^{1.7}}{50\pi^2} \left(\frac{e}{e+1} \right) \quad (24)$$

$$Dy = U_k(D) = \omega \cdot (r_2 - r_d) \quad (25)$$

$$\overline{U_k} = \frac{U_k(C) + U_k(D)}{2} \quad (26)$$

$$Z_2 = \frac{r_1 - r_2}{2U_k} \cdot 100 \cdot e \cdot y \text{ [saat]} \quad (27)$$

3. Evrede Kuruma Süresi



Şekil 6. 3. evrede buharlaşma miktarının rutubete göre değişimi

$$Dx = r_2 - r_d$$

$$Ex = r_s - r_d$$

$$Z_3 = \frac{\log(r_2 - r_d) - \log(r_s - r_d)}{0.434} \cdot \frac{e^2}{\pi^2 h^2} \quad (28)$$

Toplam kuruma süresi;

$$Z_t = Z_1 + Z_2 + Z_3$$

Örnek: Hacim-yoğunluk değeri 0.63 gr/cm³ olan 2 cm kalınlıktaki kereste %100 rutubetten %10 rutubete kadar tk=70°C, ty=49°C ve v=2 m/s olan fırında kurutma zamanını hesaplayınız.

1.evre $K = 9.27 + 7.68 \times 2 = 24.63 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

$$\lambda = 606.5 - 0.695 \times 49 = 572.5 \text{ kcal/kg}$$

$$U_k = \frac{24.63(60 - 49)}{572.5} = 473.24 \text{ gr/m}^2\text{h}$$

$$Z_1 = \frac{100 - 80}{2 \times 473.24} \cdot 100 \cdot 2 \cdot 0.63 = 2.5 \text{ saat}$$

2.evre $tk=70^\circ\text{C}$, $ty=59^\circ\text{C}$, $\varphi=\%58$ ve $r_d=\%8$

$$Cx = 80 - 8 = 72$$

$$Cy = \log(473.24) = 2.675$$

$$tk=70^\circ\text{C} \rightarrow r_m = \%27.2$$

$$\overline{r_2(D)} = \frac{2}{3} \left(27.2 + \frac{8}{2} \right) = 20.8$$

$$h^2 y^2 = \frac{0.00336 \cdot 60^{1.7}}{50 \pi^2} \left(\frac{2}{2+1.1} \right) = 0.00463$$

$$h^2 = 0.0128$$

$$\omega = \frac{50 \pi^2 \cdot 0.0128 \cdot 0.6}{2} = 1.9$$

$$Dy = U_k(D) = 1.9 (12.8) = 24.32 \text{ gr/m}^2\text{h}$$

$$\overline{U_k} = \frac{473.24 + 24.32}{2} = 248.8 \text{ gr/m}^2\text{h}$$

$$Z_2 = \frac{72 - 12.8}{2 \times 248.8} \cdot 100 \cdot 2 \cdot 0.6 = 14.28 \text{ saat}$$

3. evre

$$Ex = 10 - 8 = 2$$

$$Z_3 = \frac{\log(12.8) - \log(2)}{0.434} \cdot \frac{2^2}{\pi^2 \cdot 0.0128} = 58.91 \text{ saat}$$

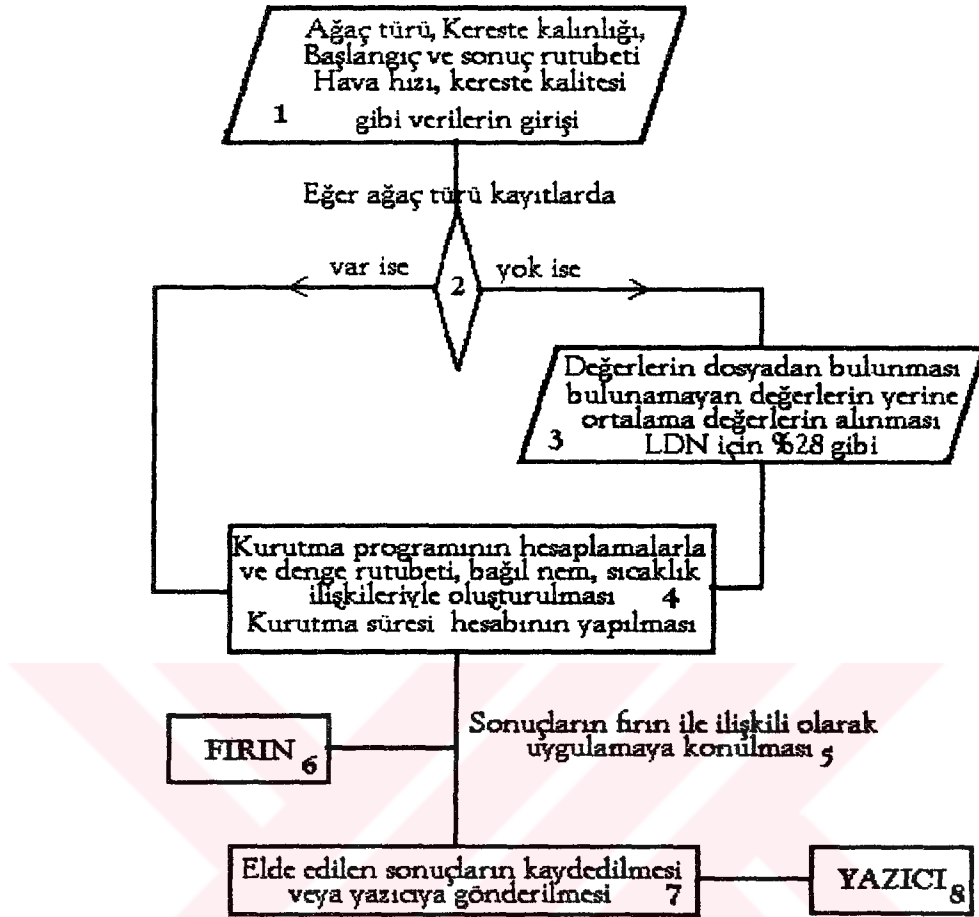
Toplam kurutma süresi:

$$Z_t = 2.5 + 14.3 + 58.9 = 75.7 \text{ saat}$$

İki hesaplama yöntemi karşılaştırıldığında teorik yöntemle hesaplama, diğerine göre gerçeğe daha yakın sonuç değerleri vermektedir. Bu nedenle de bilgisayar programı hazırlanırken her iki yöntem de dikkate alınmıştır.

2.2.3. Bilgisayar Programının Algoritması

Programın algoritmasının basit bir şekilde gösterimi Şekil 7'de verilmiştir. Algoritmada verilerin girişi (kalınlık, başlangıç-sonuç rutubetleri vb.) [1], varsa bilinmeyen değerlerin dosyadan bulunması [2, 3], zaman hesabının yapılması ve kurutma programının oluşturulması [4], sonuçların ekranda gösterimi [5], fırın ile ilişkili çalışma [6], elde edilen sonuçların kaydedilmesi veya yazıcıdan alınması [7, 8] sırasıyla uygulanmıştır.

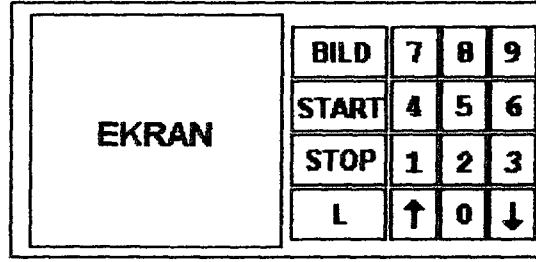


Şekil 7. Bilgisayar programının algoritması

3. BULGULAR

3.1. Mühlböck Kurutma Fırınları İle İlgili Bulgular

Mühlböck KM-C 2000 modeli kurutma fırını, rutubet esasına göre çalışmaktadır. Fırının kontrol paneli Şekil 8'deki gibidir.



Şekil 8. KM-C 2000 modeli kurutma fırınının kontrol paneli

- Bild Wahl : Sayfa değiştirmek için,
Start : Program seçilip yüklendikten sonra fırının çalıştırılması için,
Stop : Herhangi bir sebepten dolayı fırının durdurulması için,
L : Ekranı temizlemek için,
↑↓ : İmlecin ileri-geri hareketi için kullanılır.

Bu fırında kurutma yapmak için dört rakamdan oluşan bir kod yüklenir. Yüklenen dört rakamdan ilk ikisi ağaç kodu, üçüncü rakam denge rutubeti değişimleri, son rakam ise sıcaklık değişimlerini göstermektedir. Bu fırında kullanılan ağaç kodlarından bazıları Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. KM-C 2000 modeli fırın için bazı ağaç türlerinin kodları

Ağaç Türleri	Kodlar
Bubinga	14
Çam	33
Duglas	23
Kestane	23
Kırmızı Amerikan Meşesi	12
Meşe	22
Sedir	33
Sekoya	32
Teak	12
Tsuga	33

Yukarıda görülen ağaç türleri ağacın kurumaya dayanıklılığını göstermektedir. Kod numaraları düştükçe kurumaya dayanıklılık düşmektedir.

KM-C 2000 modeli fırında keresteler fırına yerleştirildikten sonra sadece programın bilgisayara işlenmesi kalmaktadır. Program yapmak için bilgisayar açıldığında kontrol panelinde başlangıç rutubeti, sonuç rutubeti ve kereste kalınlığına ilişkin bilgiler istenmektedir. Bu bilgiler kontrol panelindeki düğmeler kullanılarak yazıldıktan sonra bilgisayar program kodunu ister. Program kodu dört rakamdan oluşmaktadır. İlk iki rakam ağaç kodu, üçüncü rakam denge rutubetini ve son rakam ise sıcaklığı gösterir. Bu program yazılırken ağaç kodları için Tablo 9, denge rutubeti için Tablo 10 ve sıcaklık için Tablo 11'den yararlanılır. Uygun ağaç kodu, sıcaklık ve denge rutubetleri seçilip bilgisayara girildikten sonra kontrol panelinde görülen start düğmesine basılarak kurutma işlemine başlanabilir. Kurutmaya uygun olmayan programla başlanmışsa, kurutma devam ederken programa bir müdahale yapılamamaktadır. Programı değiştirmek için fırının çalışmasını durdurmak gerekmektedir. Program ancak fırının çalışması durdurulduktan sonra değiştirilebilir.

Tablo 10. Dört rakamlı kodların üçüncü rakamının değişmesiyle denge rutubetinin değişimleri

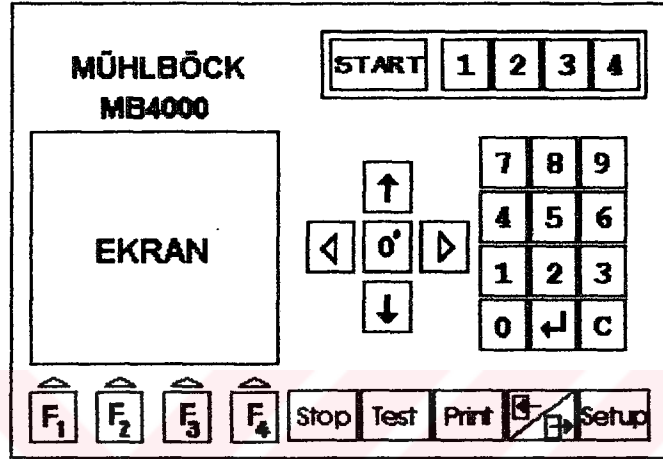
r (%)	Kodlar					
	1	2	3	4	5	6
60	18	16	14	13	13	10
40	18	16	14	13	12	9
30	18	15	13	12	10	8
25	17	14	13	10	8	7
20	13	12	10	9	7	6
15	10	9	7	5	4	4
10	5	4	4	3	2	1

Tablo 11. Dört rakamlı kodların son rakamının değişmesiyle fırın sıcaklığının değişimi

r (%)	Kodlar					
	1	2	3	4	5	6
60	25	30	45	45	50	55
40	28	33	45	50	52	60
30	30	35	45	55	60	65
25	35	40	55	60	65	68
20	50	50	65	65	68	70
15	60	60	70	70	70	75
10	70	70	70	70	75	80

Kalınlık arttıkça denge rutubetinin düşüşü yavaşlamaktadır. Sonuç rutubetinin program üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Ağaç türleri de program üzerinde bir etki yapmamaktadır. Ağaç türlerinin bilinmesi programı seçecek kişinin ağacın kuruma özelliklerine uygun programı seçmesi için önemli bir değişkendir.

Mühlböck MB 4000 kurutma fırınında ise program özgül ağırlığa göre hesaplanmaktadır. Bu kurutma fırınına ait kontrol paneli Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. MB 4000 modeli kurutma fırınının kontrol paneli

- ↑↓←→ : Sayfa değiştirmek ve imlecin hareketi için,
 0° : İmleç çağırma,
 C : Ekran temizleme,
 Start 1, 2, 3, 4 : Kurumunun hangi evrede başlayacağını gösterir,
 Print : Yazıcı bağlantısında kullanılır,
 ↵ : Bilgisayara giriş yapmak için,
 ←/→ : Paket program harici verilen programları onaylar.

Bu fırında da program yapımı için ilk önce kerestenin başlangıç rutubeti, sonuç rutubeti ve kerestenin kalınlığı bilgisayara girilmelidir. Sonra istenilen program kodu girilir. Bu fırın için kullanılan program kodu beş rakamdan oluşur. İlk rakam ağaç kodu, ikinci ve üçüncü rakamlar denge rutubetini ve son iki rakam ise sıcaklığın seçiminde kullanılır. Program kodlarının gösterdiği değerler üzerine değişiklikler yapılabilir. Bu değişiklikler yapıldıktan sonra giriş tuşuna basılır. Program girildikten sonra kurutmaya hangi periyoddan başlanacağına karar verilir. Start-1 tuşuna basılırsa önce ısıtma periyodundan başlanır, Start-2 ısıtma yapmadan kurutma periyodundan başlar, Start-3 dengeleme periyodundan başlar ve Start-4 tuşu ise sadece soğutma ve kondisyonlama işlemini yapar. Kurutmanın belli bir anında sıcaklıklarda, kurutma eğiminde ve denge rutubetinde değişiklikler yapılabilir. Gerekirse program tamamen değişebilir. Sadece sıcaklıklarda bir rakam değiştirilecekse imleç kontrol panelindeki değiştirilecek yere oklarla getirilip C'ye basılır, imlecin olduğu yer

silinip istenen rakam yazılarak giriş tuşuna basılır veya program tamamen değiştirilmek istenirse imleç program kodu üzerine getirilip C'ye basılarak ekran temizlenir ve istenen program yazılabilir.

Tablo 12'de bazı ağaç türleri ve bu fırında kullanılması önerilen program kodları verilmiştir. Özgül ağırlığı aynı olan türler sadece ağaç kodu değiştirilerek aynı programda kurutulabilirler.

Tablo 12. MB 4000 modeli için ağaç türlerine göre program kodları

Ağaç Türleri	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Kodlar
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0,56	30404
<i>Betula spp.</i>	0,66	30406
<i>Fagus sylvatica</i>	0,66	30406
<i>Pseudotsuga menziesi</i>	0,50	20609
<i>Castanea sativa</i>	0,53	30505
<i>Quercus rubra</i>	0,65	30201
<i>Alnus spp.</i>	0,48	30406
<i>Picea abies</i>	0,44	30506
<i>Carpinus betulus</i>	0,73	30304
<i>Pinus sylvestris</i>	0,48	30506
<i>Pinus strobus</i>	0,37	30709
<i>Tilia cordata</i>	0,50	30606
<i>Juglans regia</i>	0,61	30304
<i>Populus spp.</i>	0,42	20506
<i>Abies alba</i>	0,43	30506
<i>Salix spp.</i>	0,41	30707

Ağaç kodu Tablo 13, ağaca uygun programlar da Tablo 14'den yararlanılarak seçilebilir.

Tablo 13. MB 4000 modeli için bazı ağaç türlerinin kodları

Ağaç Türleri	Kodlar
Akasya	3
Bubinga	4
Çam	3
Huş	3
Kayın	3
Kestane	3
Meşe	2
Oküme	2
Sapelli	3
Sedir	3

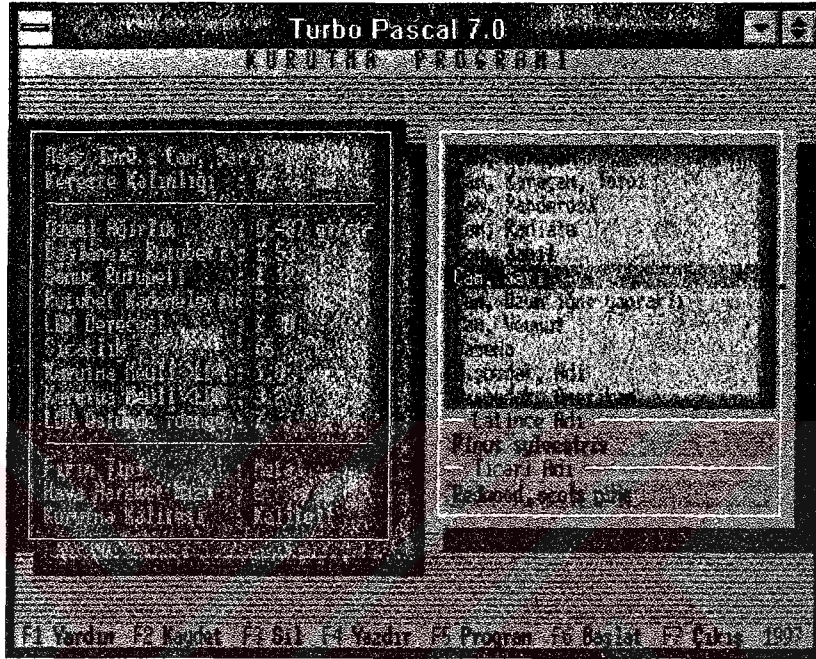
Tablo 14. MB 4000 modelinde program hazırlama tablosu.

<i>Denge Rutubeti Değişimi (%)</i>								
Kod	Rutubet (%)							
	60	40	30	25	20	15	10	7
01	17,6	17,6	16,7	13,2	9,5	7,5	5,0	3,5
02	15,8	15,8	15,8	11,9	8,7	6,2	4,2	2,9
03	14,3	14,3	14,3	10,4	7,7	5,4	3,7	2,5
04	13,0	13,0	13,0	9,6	6,7	4,7	3,1	2,2
05	12,0	12,0	12,0	8,9	6,3	4,3	2,9	2,0
06	10,7	10,7	10,7	9,3	6,1	4,1	2,7	1,9
07	10,0	10,0	10,0	7,8	6,1	3,9	2,6	1,8
08	9,1	9,1	9,1	7,1	5,0	3,6	2,4	1,6
09	8,3	8,3	8,3	6,6	4,9	3,4	2,3	1,6
10	7,7	7,7	7,7	6,1	4,5	3,4	2,2	1,4
<i>Kuruma Eğimi Değişimi</i>								
Kod	Rutubet (%)							
	60	40	30	25	20	15	10	7
01	1,7	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0
02	1,9	1,9	1,9	2,1	2,3	2,4	2,4	2,4
03	2,1	2,1	2,1	2,4	2,6	2,8	2,8	2,8
04	2,3	2,3	2,3	2,6	3,0	3,2	3,2	3,2
05	2,5	2,5	2,5	2,8	3,2	3,5	3,5	3,5
06	2,8	2,8	2,8	3,0	3,3	3,7	3,7	3,7
07	3,0	3,0	3,0	3,2	3,5	3,8	3,8	3,8
08	3,3	3,3	3,3	3,5	4,0	4,2	4,2	4,2
09	3,6	3,6	3,6	3,8	4,1	4,4	4,4	4,4
10	3,9	3,9	3,9	4,1	4,4	4,4	4,6	5,0
<i>Sıcaklık Değişimi (°C)</i>								
Kod	Rutubet (%)							
	60	40	30	25	20	15	10	7
01	28	28	28	30	37	44	50	50
02	30	30	30	35	45	55	60	55
03	33	33	33	35	40	50	60	60
04	40	40	40	42	45	55	65	65
05	45	45	45	48	55	60	65	70
06	45	45	45	55	60	65	70	75
07	50	50	50	60	65	70	75	75
08	55	55	55	65	70	75	75	80
09	60	60	60	65	70	70	70	75
10	65	65	65	70	75	75	75	80

3	07	10
Ağaç Kodu		

3.2. Hazırlanan Bilgisayar Programı İle İlgili Bulgular

Konu ile ilgili geliştirilen bilgisayar programı çalıştırıldığında aşağıdaki ekran belirir. İlk etapta ağaç türü ve kalınlığı girildiğinde, bu ağaç türüne ait sıcaklık, lif doygunluğu noktası gibi değerler bulunarak ekranda gösterilir (Şekil 10).



Şekil 10. Bilgisayar programında veri girişi ve kayıtlı bilgilerin görüntülenmesi

Ağaç türü yazılmaya başlandığı sırada, eğer kayıtlı ağaç türlerinde bu isimle benzeyenler varsa bunlar da ekranda ticari ve latince adları ile birlikte görülür. Burada lif doygunluğu noktası II. kurutma aşamasına geçiş noktası olduğu için mutlaka belirlenmelidir. Bu bilgi, girilen ağaç türü için kayıtlar arasından bulunamıyorsa %28 olarak tespit edilir. Bunun gibi kayıtlarda bulunmayan veriler için ortalama değerler belirlenir. İstenirse bu veriler kullanıcı tarafından gerçek değerleri ile değiştirilebilirler. Gerekli veriler girildikten sonra uygun bir kurutma programının oluşturulması için F5 tuşuna basılır. Belirtilen kalınlıktaki ağaç türü için bir kurutma programı belirlenir (Şekil 11).

Bu programın kurutma fırını için iklim şartları ayarlanıp, uygulamaya konulmasını sağlamak için F6 tuşuna basılır. Kurutma işlemine ısıtma periyodu başta olmak üzere başlanmış demektir. Bu sırada ekran grafik moduna geçer ve o anki fırın iklimi ile kurutma seyrini göstermeye başlar.

Turbo Pascal 7.0

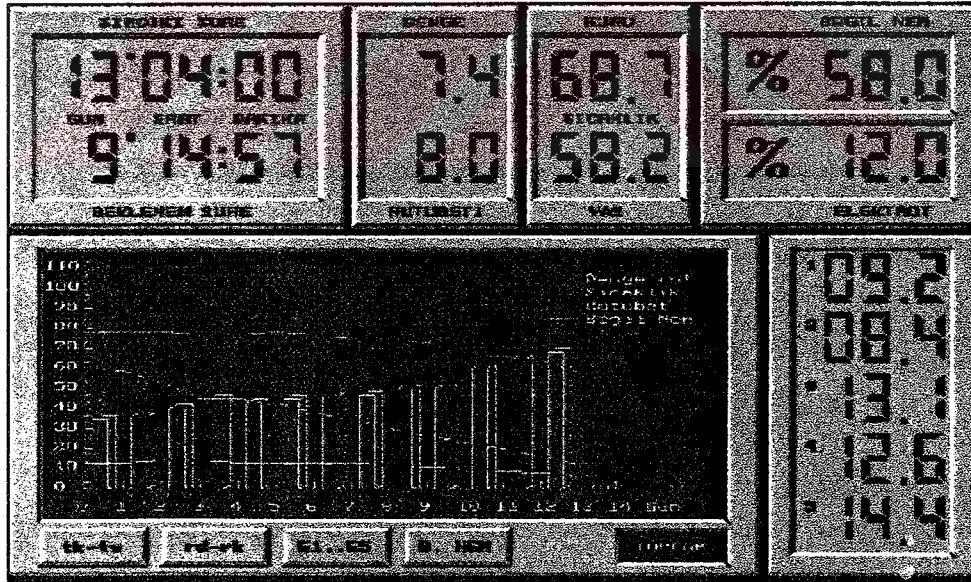
KURUTMA PROGRAMI

Kararlı Rutubet i	Kurutma Hızı	Denge Rutubet i	Kuru Termo.	Yağ Termo.	Psikrometrik Fark	Bağıl Nem
50-30	-	17.0	60	57.5	2.5	88.0
	-	15.0	65	62.0	3.0	87.0
	-	14.7	70	67.0	3.0	88.0
	-	13.6	75	71.5	3.0	86.0
25	2.25	12.9	80	76.0	4.0	84.0
26	2.25	11.6	80	75.0	5.0	86.0
23	2.25	10.2	80	73.5	6.5	73.5
20	2.25	8.7	80	71.0	9.0	67.0
17	2.25	7.5	80	68.5	11.5	61.5
14	2.37	5.9	80	64.0	16.0	49.0
11	2.40	4.4	80	59.0	22.0	35.0
8	2.42	3.3	80	52.0	29.0	26.0

F1 Yardım F2 Kapat F3 Sil F4 Yazdır F5 Program F6 Başlat F7 F8 1997

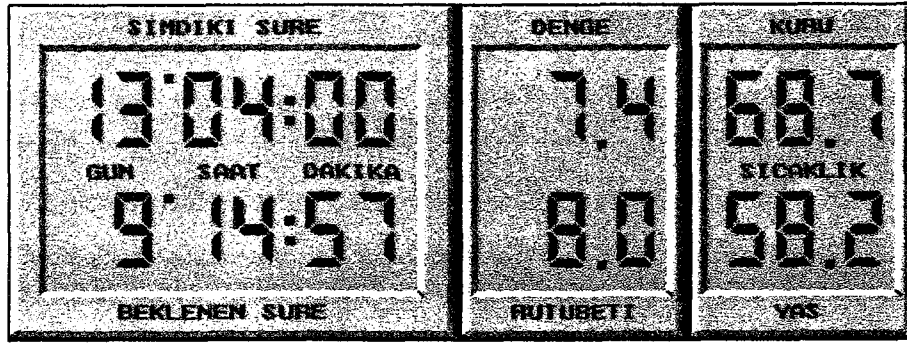
Şekil 11. Bilgisayar tarafından belirlenen örnek bir kurutma programı

Bu ekranda ise, hesaplanan kurutma süresi, sıcaklık, denge rutubeti, elektrotlardan okunan değerler ve bu değerlere ait grafikler görülmektedir (Şekil 12).



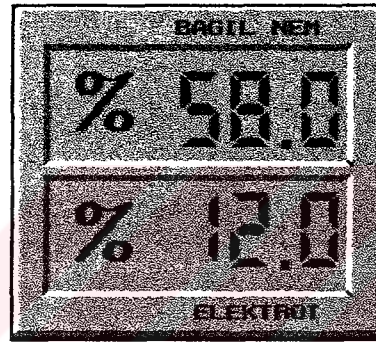
Şekil 12. Kurutma fırınından alınan bilgileri gösteren bilgisayar ekranı

Hesaplanan ve şu andaki kurutma süresi, olması beklenen ve fırında oluşan denge rutubeti ile yağ ve kuru termometre sıcaklıkları Şekil 13'de görülebilmektedir.



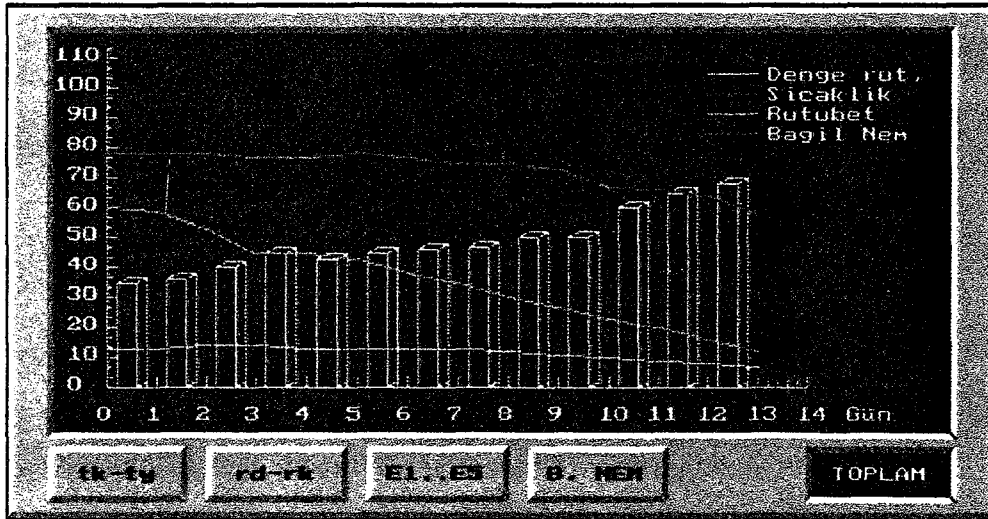
Şekil 13. Kurutma süresi, denge rutubeti ile sıcaklık değerlerinin ekranda görünüşü

Bağıl nem ve elektrotlardan okunan ortalama değer ise Şekil 14'de olduğu gibidir.



Şekil 14. Bağıl nem ve elektrotlardan okunan ortalama değerlerin görünüşü

Şekil 15'te ise grafiklerin çizildiği bölüm görülmektedir.



Şekil 15. Grafiklerin ekranda gösterildiği bölüm

Geliştirilen program sayesinde kurutmanın seyrine müdahale etmek ve fırındaki iklim şartlarını değiştirmek mümkündür. Ancak, kurutulan ağaç türü için belirlenen kurallar dışına

çıkıldığında, örneğin kollaps oluşumu tehlikesi olan okalıptüs türü kurutuluyorsa sıcaklığın 60°C'nin altında tutulması uygun görüldüğü halde bu sıcaklık yükseltirse, program bu durumu bildirmektedir.

Uygulanan kurutma programı başarıya ulaştığında, yani başarılı bir kurutma gerçekleştiğinde bu ağaç türü için programı kaydetmek mümkündür. Böylece daha sonra yine aynı ağaç türü için aynı veya farklı kalınlıktaki kerestelerin kurutulması söz konusu olunca bu program hafızaya yüklenerek tekrar uygulanabilir.

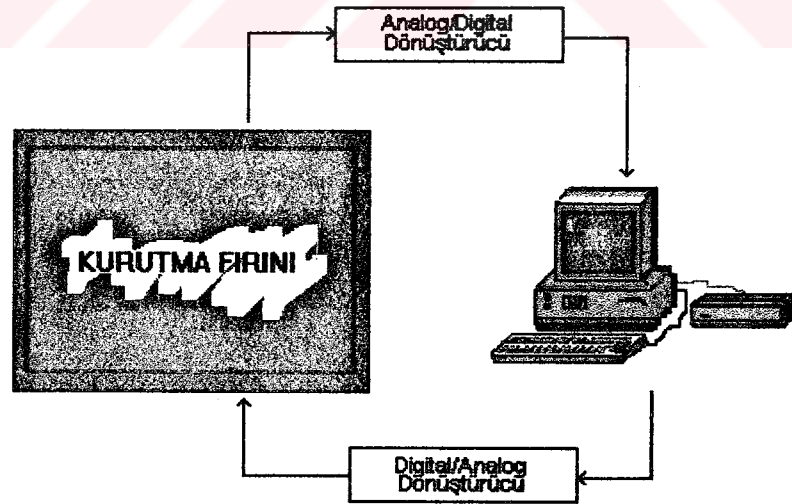
Bilgisayar programı içerisinde yapraklı ve iğne yapraklı olmak üzere yaklaşık 150 değişik ağaç türüne ait bilgiler bulunmaktadır. Daha önce de belirtildiği üzere ağaç türü hakkında gerekli verilerin tespit edilememesi veya kayıtlarda bulunamaması halinde program, bu veriler için öngörülen ortalama değerleri kullanmaktadır. Kayıtlar arasında bulunmayan herhangi bir ağaç türünün kurutulması gerektiği zaman, bu ağaç türü ile ilgili bilgiler girilip F2 tuşuna basılırsa, bu ağaç türü de kayıtlar arasına dahil edilir. Kurutulacak türün kurutma süresi öğrenilmek istendiğinde F3 tuşuna basılarak bu işlem gerçekleştirilir.

Programın işletimine son verilmesi için F7 tuşuna basılması yeterli olacaktır.

Hazırlanan kurutma programını yazıcıdan almak için F4 tuşuna basılır. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra, kurutma seyrinin yazıcıdan alınıp alınmayacağı ise ayrıca sorulur. Belirlenen kriterlere göre kurutmanın seyri yazıcıya gönderilir.

Bilgisayar programı ve kurutma hakkında bilgi almak için F1 tuşu kullanılmalıdır.

Kurulması düşünülen sistemin şematik gösterimi Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. Kurulacak sistemin şematik gösterimi

3.3. Kurutma Süresi İle İlgili Bulgular

Kurutma süresinin hesaplanmasında daha önce açıklandığı üzere iki yöntem kullanılmıştır. Deneysel yöntem, benzetim modelleri ile hesaplanmış katsayılar ve bunların oluşturduğu formüller yardımıyla, teorik yöntem ise daha çok uygulama sonuçları esas alınarak hazırlanmıştır.

Her iki yöntem ile kurutma süresinin hesaplanmasına örnek olması açısından 20 mm kalınlık ve 0.63 gr/cm^3 özgül ağırlığa sahip bir ağaç türünün %100 başlangıç rutubetinden %10 sonuç rutubetine kadar 2 m/sn hava hızı ile $t_k=70^\circ\text{C}$, $t_y=59^\circ\text{C}$ sıcaklık şartları altında kurutulduğu varsayılmıştır.

Bu yöntemlerden deneysel yöntemde toplam kurutma süresi 50 saat bulunurken teorik yöntemde ise 76 saat olarak bulunmuştur.

4. TARTIŞMA

Yapılan çalışmada Mühlböck kurutma fırınlarının çalışma prensibi gözönüne alınmıştır. Aynı şartlar gözönüne alındığı için hazırlanan paket programda da giriş verileri olarak ağaç türü, kereste kalınlığı, ilk ve son rutubet değerleri istenmektedir.

Mühlböck KM-C 2000 modeli kurutma fırınında kurutma yapmak için dört rakamdan oluşan bir kod yüklenir. Yüklenen dört rakamdan ilk ikisi ağaç kodu, üçüncü rakam denge rutubeti değişimleri, son rakam ise sıcaklık değişimlerini göstermektedir.

Program yapmak için bilgisayar açıldığında kontrol panelinde başlangıç rutubeti, sonuç rutubeti ve kereste kalınlığına ilişkin bilgiler istenmektedir. Bu bilgiler kontrol panelindeki düğmeler kullanılarak yazıldıktan sonra bilgisayar program kodunu ister. Uygun ağaç kodu, sıcaklık ve denge rutubetleri seçilip bilgisayara girildikten sonra kontrol panelinde görülen start düğmesine basılarak kurutma işlemine başlanabilir. Bu fırınların en büyük dezavantajı kurutmaya uygun olmayan programla başlanmışsa, kurutma devam ederken programa bir müdahale yapılamamaktadır. Programı değiştirmek için fırının çalışmasını durdurmak gerekmektedir. Program ancak fırının çalışması durdurulduktan sonra değiştirilebilir. Bu nedenle yapılan işlerin iptal edilip yeniden programa başlanması harcanacak zaman ve enerji kayıplarını gözönüne getirmektedir.

Hazırlanan bilgisayar programı ile kurutmanın gidişine her an müdahale edilip, kurutma şartları istenildiği gibi değiştirilebilir.

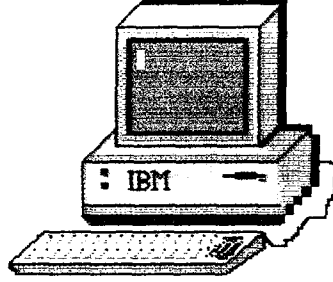
Kurutma fırınının başka bir dezavantajı sonuç rutubetinin program üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Ağaç türleri de program üzerinde bir etki yapmamaktadır. Ağaç türlerinin bilinmesi programı seçecek kişinin ağacın kuruma özelliklerine uygun programı seçmesi için önemli bir değişkendir.

Hazırlanan bilgisayar programında programı kullanacak kişinin ağaç türünün kuruma özelliklerini bilmesine gerek kalmamaktadır.

Mühlböck MB 4000 kurutma fırınında da program yapımı için ilk önce kerestenin başlangıç rutubeti, sonuç rutubeti ve kerestenin kalınlığı bilgisayara girilmelidir. Sonra istenilen program kodu girilir. Bu fırın için kullanılan program kodu beş rakamdan oluşur. İlk rakam ağaç kodu, ikinci ve üçüncü rakamlar denge rutubetini ve son iki rakam ise sıcaklığın seçiminde kullanılır. Program kodlarının gösterdiği değerler üzerine değişiklikler yapılabilir. Bu değişiklikler yapıldıktan sonra giriş tuşuna basılır. Program girildikten sonra kurutmaya hangi periyoddan başlanacağına karar verilir. Start-1 tuşuna basılırsa önce ısıtma periyodundan başlanır, Start-2 ısıtma yapmadan kurutma periyodundan başlar, Start-3 dengeleme periyodundan başlar ve Start-4 tuşu ise sadece soğutma ve kondisyonlama işlemini yapar. Kurutmanın belli bir anında sıcaklıklarda, kurutma eğiminde ve denge rutubetinde değişiklikler yapılabilir. Gerekirse program tamamen değişebilir.

Bu fırındaki bilgisayar sistemi hazırlanan programa oldukça yakın olup, tek dezavantajı programın görsel olarak değil de rakamlar yardımıyla oluşturulmasıdır.

Hazırlanan programın en büyük avantajı herşeyin görsel olarak yapılabilmesidir. Kullanıcıyı ezberlemeye itecek olan bir takım kodlardan kurtarıp, kişisel bilgisayarların kullanım kolaylığını sunmaktır (Şekil 17).



Şekil 17. Kişisel bilgisayar örneği

Bu amaçla veri girişinin çok rahat yapıldığı, kullanıcıya her türlü imkanın sunulduğu kişisel bilgisayarlarda kolaylıkla kullanılacak paket program hazırlanmıştır. Paket program sayesinde daha önce başarıyla uygulanmış kurutma programları tekrar hafızaya yüklenip kullanılacak, birçok ağaç türüne ait veriler istenildiği an ekrandan takip edilebilecektir.

Mühlböck kurutma fırınlarındaki bilgisayar programları ile hazırlanan paket program karşılaştırıldığında, kullanım kolaylığı ve sağlayacağı faydalar (zaman, doğru kullanım vb.) belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Kurutma sürelerinin hesaplanmasında kullanılan yöntemlerle bulunan süreler ve kurutma sonunda gözlemlenen süreler arasında bazı farklılıklar ortaya çıkmıştır.

DeneySEL yöntemin hızlı kuruyan, özgül ağırlığı düşük iğne yapraklı ağaç türlerinin kurutma sürelerinin hesabında çok yakın sonuçlar verdiği ancak, güç kuruyan yapraklı ağaç türlerinin kurutma sürelerinin hesabında ise gerçek değerlere oldukça uzak, hatta iki katına varan hata paylarına sahip sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Bunun nedeni olarak daha önceden tespit edilmiş üssel katsayıların her ağaç türü için gerçek değerleri yansıtmadığı ortaya çıkmıştır.

Teorik yöntemin ise deneysel yöntem nazaran daha gerçeğe yakın sonuç verdiği tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

İnsan ve makina birlikteliğinin had safhaya çıktığı teknoloji çağı, yenilikleri ile her zaman olduğu gibi insan yaşamının rahatlığı içindir. Kişisel bilgisayarların getirdiği kolaylık sayesinde insanoğlu yapmak istediği pek çok işi bilgisayarlara öğreterek yaptırır. Değişik kodlardan oluşan bu görev listesini alan bilgisayar, işlemleri, yeri ve zamanı geldikçe uygulamaya koyar.

Yapılan çalışmanın uygulanabilirliği için en az sistem gereksinimi şöyledir:

- 80386 işlemci,
- Programın yüklenebilmesi için 2 MB (megabyte) RAM (Read Only Memory), Ana hafıza,
- Grafik ekran kullanımı için, VGA renkli ekran ve 512 KB (kilobyte) ekran kartı hafızası,
- Bilgilerin saklanması için 80 MB HDD (Hard Disk Driver) harddisk,
- Fırından alınan bilgilerin bilgisayarın anlayacağı şekilde rakamlara dönüştürülmesini sağlayan bir sayısallaştırıcı,
- Elde edilen verilerin kağıda yazdırılması için bir adet nokta vuruşlu veya püskürtmeli yazıcı.

Buradan da anlaşılacağı gibi sistemin kurulup, uygulanması çok az bir maliyetle gerçekleştirilebilir. Sistemin şematik bir gösterimi Şekil 16'da verilmiştir.

Çeşitli kullanım yerlerinde gittikçe artan ihtiyaçla birlikte fiyatların yükselmesi, ağaç malzemenin israfına meydan verilmeden rasyonel kullanılmasını gerektirmekte, böylece tekniğine uygun, kaliteli bir kurutmanın uygulanması ile kurutma kusurlarının ve kurutmada meydana gelen kayıpların önlenmesi daha büyük önem taşımaktadır.

Teknik kurutma önemli, fakat masraflı olduğu için çalışmanın bu yönde kazandırdıkları, sistem için gerekli maliyetlerin çok üstündedir.

Hazırlanan bilgisayar programı ile kurutmanın gidişine her an müdahale edilip, kurutma şartları istenildiği gibi değiştirilebilir.

Hazırlanan bilgisayar programında programı kullanacak kişinin ağaç türünün kuruma özelliklerini bilmesine gerek kalmamaktadır.

Programın en büyük avantajı herşeyin görsel olarak yapılabilmesidir. Kullanıcıyı ezberlemeye itecek olan bir takım kodlardan kurtarır, kişisel bilgisayarların kullanım kolaylığını sunmaktadır.

Kurutma programları ile birlikte hesaplanan kurutma süreleri gerçek kurutma sürelerini tam olarak yansıtmasa da kurutmayı yapacak kişiye bilgi vermesi açısından önemlidir.

Kurutma işlemini yapacak kişinin kurutma süresi hakkında edineceği fikir, işlem akışı ve sonraki işlerin planlanmasına yardımcı olacak, ortaya çıkabilecek darboğazların önlenmesine katkıda bulunacaktır.

Teknik kurutmanın başarılı olabilmesi, fırında uygulanacak kurutma programına bağlıdır. Ancak, bir ağaç türü için başarıyla uygulanmış bir kurutma programının yine aynı ağaç türü için başarıyla uygulanması beklenmemelidir. Çünkü, tür aynı olsa dahi yetiştirme şartları, fırındaki keresteler arasındaki rutubet farkları gibi birçok sebepten dolayı programların küçük değişikliklere uğraması normaldir.



6. KAYNAKLAR

1. Kantay, R., Kereste Kurutma ve Buharlama, Ormancılık Eğitim ve Kültür Vakfı Yayın No:6, İstanbul, 1993.
2. Üçüncü, K., Kereste Kurutmada Güneş Enerjisinden Yararlanma, "Orenko 92" 1. Ulusal Orman Ürünleri Kongresi, 22-25 Eylül 1992, Trabzon, Bildiri Metinleri, Cilt 1, 249-264.
3. Örs, Y., Kurutma ve Buharlama Tekniği, K.Ü. Ders Teksirleri Serisi, No:15, Trabzon, 1986.
4. Kantay, R., Bir Binanın Klimatik Bakımdan Değişik Yerlerinde Ağaç Malzemede Meydana Gelen Denge Rutubeti Değişimine Ait Denemeler, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 26, 2 (1976), 211-217.
5. Berkel, A., Kerestenin Doğal ve Hızlandırılmış Doğal Kurutulması Tekniği, İstanbul Üniversitesi, İ.Ü. Yayın No: 2488, O.F.Yayın No: 266, İstanbul, 1978.
6. Örs, Y. ve Akay, A., Odunda Kuruma ile Ortaya Çıkan Gerilmeler, K.Ü. Dergisi, 6, 2, (1983), 216-233.
7. Helmer, W.A. ve Chen, P.Y.S., Computer Simulation of A New Method to Dry Lumber Using Solar Energy and Absorption Refrigeration, Wood and Fiber Science, 17, 4 (1985) 464-476.
8. Wengert, G., Practical Solar Energy Application to Wood Processing, Forest Products Journal, 26, 11 (1976) 11-13.
9. Taylor, J.M., Lavery, D.J., Cronin, K., Energy Related Aspects of Timber Drying, International of Ambient Energy, 17, 1 (1996), 41-48.
10. Park, J., Kyanka, G.H., Smith, W.B., Mechanics of Cellulosic Materials America Society of Mechanical Engineers, Applied Mechanic Division, 209, (1995), 135-152.
11. Keey, R.B., Pang, S., High-Temperature Drying of Softwood Boards A Kiln-Wide Model, Chemical Engineering Research & Design, 72, A6 (1994), 741-753.
12. Perre, P., Martin, M., Drying at High Temperature of Sapwood and Heartwood, Theory, Experimental and Partical Consequence on Kiln Control, Drying Technology, 12, (1994), 1915-1941.
13. Simpson, W.T., Grouping Tropical Wood Species for Kiln Drying Using Mathematical Models, Drying Technology, 12, (1994), 1877-1896.
14. Behnke, C., Militzer, K.E., Simulation Model for Timber Drying Checked by Measurements at Technical Kilns, Drying Technology, 12, (1994), 1841-1862.

15. Boone, S.B., High-Temperature Kiln-Drying Red Maple Lumber-Some Options, Forest Products Journal, 35, 9 (1986), 19-25.
16. James, W.L., ve arkadaşları, Moisture Levels and Gradients in Commerical Softwood Dimension, Lumber Shortly After Kiln Drying, Forest Products Journal, 34, 11/12 (1984), 59-64.
17. Boone, S.B., High-Temperature Kiln-Drying of 4/4 Lumber from 12 Hardwood Species, Forest Products Journal, 34, (1984), 10-18.
18. Rensi, G., Weintraub, A., Using Dynamic Programming to Obtain Efficient Kiln-Drying Schedules, Wood ad Fiber Science, 20, (1988), 215-225.
19. Tamasy-Bano, M., Optimization of Humudity Conditions in Timber Drying Kilns Using Heat Pump Dehumudifiers, 7th International Drying Symposion in Conjunction with the CSISA '90 Congress, August 1990, Amsterdam, 535-545.
20. Kayıhan, F., Adaptive Control of Stochastic Batch Lumber Kilns, Computers and Chemichal Engineering, 17, 3 (1993), 265-273.
21. Brown, W.H., An Introduction To The Seasoning of Timber, The Macmillan Company New York, 1965.
22. Ünsal, Ö., Ceviz Kerestelerinin Teknik Kurutma Özellikleri Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993.
23. Burdurlu, E., Kereste Endüstrisi ve Kurutma, Bizim Büro Basımevi, Ankara, 1995.
24. Vermaas, H. F., Developments in Wood Drying Theory and Practice Since Seattle 1989, Holzforschung und Holzverwertung, 5, (1992), 76-81.
25. Kantay, R., Türkiye'nin Önemli Bazı Orman Ağaç Türleri Kerestelerinin Teknik Kurutma Özellikleri Üzerine Araştırmalar, İstanbul Üniversitesi, İ.Ü. Yayın No: 269, İstanbul, 1978.
26. Kollman, F., Technologie des Holzes und Werkstoffe, 2. Bd. Springer Verlag-Berlin, 1955.
27. Yıldırım, E., Suni Kereste Kurutması Önemi Teknolojisi ve Ekonomisi, T.C. Orman Bakanlığı Orman Ürünleri Sanayii Genel Müdürlüğü, Ankara, 1982.
28. Anonim, TSE 1502, Kerestenin Doğal Kurutulması Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü Yayını, Ankara, Nisan 1974.
29. Uyarel, Y. ve Öz, E.S., Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi ISBN 975-511-033-X, Ankara, 1987.

30. Üçüncü, K., Antalya İli İçin Bir Güneş Fırını Tasarımı ve Kurutma Faktörlerinin İncelenmesi, 2.Ulusal Orman Ürünleri Endüstrisi Kongresi, 6-9 Ekim 1993, Trabzon, Bildiri Metinleri, 26-34.
31. Anonim, TSE 2456, Kereste Kurutma Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü Yayını, Ankara, Kasım 1976.
32. Çubukçu, F., Turbo Pascal 6.0 Programlama Dili, Türkmen Kitabevi, Yayın No: 14, II. Baskı, İstanbul, 1993.
33. Gavcar, E. ve AYTEKİN, A., Bilgisayar'a Giriş ve QBasic İle Programlama, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Ders Notları Serisi No: 50, Trabzon, 1996.
34. Koffman, E. B., Turbo Pascal Program Solving and Program Design, Addison-Wesley Publishing Company Inc., Fourth Edition, Michigan, 1994.
35. Karabey, A. ve Taşdelen, T., Turbo Pascal 7.0, Türkmen Kitabevi, Yayın No : 45, İstanbul, 1994.
36. Anonim, TSE 1501, Kereste Kurutma Odaları, Türk Standartları Enstitüsü Yayını, Ankara, Nisan 1974.

7. EKLER

Ek Tablo 1. Dünya ticaretinde yer alan önemli bazı ağaç türlerinin klasik kurutma yöntemi ile kurutulmasında uygulanabilecek sıcaklık ve kurutma meyli değerleri (1).

AĞAÇ TÜRÜNÜN			SICAKLIKLAR						KURUTMA MEYLİ		
			Lif doygunluğunun						(Vk)		
Adı	Grubu	Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	Üstünde (T ₁)			Altında (T ₂)					
			d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
Abahl	2	0.35	70	65	65	80	80	80	4.4 3.4	4.4 3.2	4.4 3.0
Abonoz	2	1.03	35	35	30	60	55	55	2.6 2.4	2.4 2.2	2.2 2.0
Abura	3	0.52	70	65	60	80	75	70	3.6 2.6	3.4 2.4	3.2 2.2
Afromosia	2	0.65	60	55	50	80	75	70	3.2 2.6	3.4 2.4	3.2 2.2
Afzelia	3	0.70	60	55	50	80	75	70	3.0 2.6	2.8 2.4	2.6 2.2
Agathis	3	0.46	70	65	60	80	75	70	4.4 3.8	4.4 3.6	4.4 3.4
Agba	3	0.46	60	55	55	80	75	70	4.2 3.2	4.0 3.0	3.8 2.8
Akasya (Yalancı)	3	0.69	55	50	50	80	75	70	3.2 2.4	3.0 2.2	2.8 2.0
Akçağaç (Dağ)	3	0.56	60	55	55	70	65	65	3.8 2.8 3.2	3.6 2.6 3.0	3.4 2.4 2.8
Akçağaç (Şeker)	3	0.68	60	55	50	70	65	60	3.8 2.8 3.2	3.6 2.6 3.0	3.4 2.4 2.8
Alerce	4	0.39	60	60	55	80	75	75	4.4 3.8	4.4 3.6	4.4 3.4
Amarant	3	0.83	50	45	40	70	65	60	2.6 2.4	2.4 2.2	2.4 2.2
Androba	3	0.59	60	55	50	70	65	65	3.8 2.8	3.6 2.6	3.4 2.4
Anjelik	3	0.72	60	55	50	70	65	65	2.6 2.4	2.4 2.2	2.4 2.2
Aningeria	4	0.55	60	55	55	70	70	65	3.8 2.8	3.6 2.6	3.4 2.4
Antlaris	3	0.41	60	55	55	80	75	70	4.4 3.2	4.4 3.0	4.2 2.8
Ardıç (Afrika)	3	0.51	60	55	50	80	75	65	4.4 3.2	4.4 3.0	4.4 2.8
Ardıç	3	0.47	60	55	55	80	75	70	4.4 3.2	4.4 3.0	4.4 2.8

Rutubet %20'ye ininceye kadar kurutma meyli olarak İtalik değerler kullanılmalıdır.

Ek Tablo 1'in devamı

AĞAÇ TÜRÜNÜN			SICAKLIKLAR Lif doygunluğunun						KURUTMA MEYLİ		
			Üstünde (T ₁)			Altında (T ₂)			(V _k)		
Adı	Grubu	Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
Armut	2	0.66	60	55	50	70	65	60	4.0 2.6	3.8 2.4	3.6 2.2
Autocaria	2	0.50	70	65	60	80	80	80	4.4 3.4	4.4 3.2	4.4 3.0
Avodire	2	0.51	60	55	55	75	70	65	3.8 2.8	3.6 2.6	3.4 2.4
Azobe	3	1.04	45	45	40	60	55	55	2.6 2.2	2.4 2.2	2.2 2.0
Baboen	3	0.41	60	55	55	80	75	70	4.2 3.2	4.0 3.0	3.8 2.8
Baltoa	3	0.85	45	40	40	60	55	50	2.6 2.4	2.4 2.2	2.2 2.0
Balsa	3	0.13	75	70	70	80	80	80	4.4 3.8	4.4 3.6	4.4 2.0
Balsamo	3	0.88	45	40	40	60	55	55	2.6 2.4	2.4 2.2	2.2 2.0
Banga Wanga	3	1.02	40	35	35	60	55	55	2.6 2.4	2.4 2.2	2.2 2.0
Belinia	3	0.68	60	55	50	70	65	60	3.2 2.4	3.0 2.2	2.8 2.0
Bilinga	3	0.72	55	50	50	70	65	60	3.8 2.8	3.6 2.6	3.4 2.4
Bolre	-	0.69	55	50	45	70	65	60	3.2 2.6	3.0 2.4	2.8 2.2
Bombax	3	0.40	60	55	55	70	70	65	4.4 3.6	4.4 3.4	4.4 3.2
Bosse	3	0.54	60	55	50	80	75	70	3.6 2.8	3.4 2.6	3.2 2.4
Bubinga	4	0.82	50	45	40	70	65	60	3.0 2.4	2.8 2.2	2.6 2.0
Çam, Karaçam	3	0.56	70	65	60	80	80	80	4.4 3.2	4.4 3.0	4.4 2.8
Çam, Toros Karaçamı	3	0.52	75	65	60	90	80	75	3.5	3.3	3.0
Çam, Sarı çam	3	0.48	75	70	65	80	80	80	4.4 3.8	4.4 3.6	4.4 3.4
Çam, Veymut çamı	3	0.37	75	75	70	80	80	80	4.4 4.4	4.4 4.2	4.4 4.0
Çam, Radiata çamı	3	0.44	75	70	70	80	80	80	4.4 4.4	4.4 4.2	4.4 2.6
Çam, Uzun İğne Yapraklı	3	0.63	70	65	60	80	80	80	4.4 3.0	4.4 2.8	4.4 2.6

Rutubet %20'ye ininceye kadar kurutma meyli olarak İtalik değerler kullanılmalıdır.

Ek Tablo 1'in devamı

AĞAÇ TÜRÜNÜN			SICAKLIKLAR Lif doygunluğunun						KURUTMA MEYLİ		
			Üstünde (T ₁)			Altında (T ₂)			(V _k)		
Adı	Grubu	Özgül Ağırlığı (gr cm ³)	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Çam, Panderosa çamı	3	0.55	70	65	60	80	80	80	4.4 3.6	4.4 3.4	4.4 3.2
Çam, Sahil çamı	3	0.46	75	70	65	80	80	80	4.4 4.4	4.4 4.2	4.4 4.0
Cedro	2	0.42	60	55	55	80	75	70	4.4 3.4	4.4 3.2	4.4 3.0
Courbaril	3	0.83	50	45	45	70	65	60	2.6 2.4	2.4 2.2	2.2 2.0
Ceviz, Adi ceviz	3	0.61	50	50	45	80	75	70	3.0 2.8	2.8 2.6	2.6 2.4
Ceviz, Kara ceviz	3	0.58	50	50	45	80	75	70	3.6 3.0	3.4 2.8	3.2 2.6
Çınar	3	0.57	55	50	50	80	75	70	3.6 2.8	3.4 2.6	3.2 2.4
Ceiba	3	0.27	75	70	70	80	80	80	4.4 3.6	4.4 3.4	4.4 3.2
Dabema	2	0.64	60	55	50	80	75	70	3.0 2.6	2.8 2.4	2.6 2.2
Dişbudak , Adi	3	0.65	60	55	50	80	75	70	4.4 2.6	4.2 2.4	4.0 2.2
Dişbudak, Amerikan	3	0.64	60	55	50	80	75	70	3.0 2.4	2.8 2.2	2.6 2.0
Dişbudak, Japon	3	0.61	60	55	50	80	75	70	4.4 2.6	4.2 2.4	4.0 2.2
Dibetou	4	0.53	60	55	50	80	75	70	4.4 3.2	4.4 3.0	4.4 2.8
Douca	3	0.66	55	50	50	70	65	60	3.2 2.6	3.0 2.4	2.8 2.2
Douglas	2	0.50	70	70	65	80	80	80	4.4 3.2	4.2 3.0	4.0 2.8
Dut	3	0.60	50	50	45	70	65	65	3.8 3.0	3.6 2.8	3.4 2.6
Eyong	3	0.69	50	45	45	70	65	65	3.2 2.6	3.0 2.4	2.8 2.2
Funda	3	0.98	40	35	30	50	50	50	2.8 2.4	2.6 2.2	2.4 2.0
Framire	2	0.49	60	55	50	75	70	70	4.4 3.2	4.4 3.0	4.4 2.8
Goncalo	2	0.82	40	35	35	70	65	60	2.6 2.4	2.4 2.2	2.2 2.0

Rutubet %20'ye ininceye kadar kurutma meylı olarak İtalik değerler kullanılmalıdır.

Ek Tablo 1'in devamı

AĞAÇ TÜRÜNÜN			SICAKLIKLAR Lif doygunluğunun						KURUTMA MEYİLİ		
			Üstünde (T ₁)			Altında (T ₂)			(V _k)		
Adı	Grubu	Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
Goupie	2	0.81	35	30	30	60	60	55	2.6 <i>2.4</i>	2.4 <i>2.2</i>	2.2 <i>2.0</i>
Gök nar	3	0.43	75	70	70	80	80	80	4.4 <i>4.2</i>	4.4 <i>4.0</i>	4.4 <i>3.8</i>
Gök nar, Uludağ	3	0.43	80	70	70	90	80	80	4.0	3.6	3.4
Greenheart	2	0.98	35	30	30	50	50	50	2.6 <i>2.4</i>	2.4 <i>2.2</i>	2.2 <i>2.0</i>
Grenadill	3	1.20	35	35	30	50	50	50	2.4 <i>2.0</i>	2.2 <i>2.0</i>	2.0 <i>2.0</i>
Gülağacı, Hint	2	0.83	50	45	45	70	65	65	3.0 <i>2.4</i>	2.8 <i>2.2</i>	2.6 <i>2.0</i>
Gülağacı, Brezilya	2	0.83	50	45	45	70	65	65	3.0 <i>2.4</i>	2.8 <i>2.2</i>	2.6 <i>2.0</i>
Gürgen, Adi	3	0.73	50	45	45	70	65	60	3.6 <i>2.4</i>	3.4 <i>2.2</i>	3.2 <i>2.0</i>
Hemlock	3	0.43	70	65	60	80	80	80	4.4 <i>3.4</i>	4.4 <i>3.2</i>	4.4 <i>3.0</i>
Hickory	3	0.76	55	50	45	80	75	70	3.4 <i>2.4</i>	3.2 <i>2.0</i>	3.0 <i>2.0</i>
Huş	3	0.61	70	65	60	80	75	70	4.4 <i>2.6</i>	4.4 <i>2.4</i>	4.4 <i>2.2</i>
İhlamur, Amerikan	3	0.40	60	60	55	80	75	70	4.4 <i>3.4</i>	4.4 <i>3.2</i>	4.4 <i>3.0</i>
İhlamur, Küçük yapraklı	3	0.49	60	55	55	80	75	70	4.4 <i>3.2</i>	4.4 <i>3.0</i>	4.4 <i>2.8</i>
İhlamur, Büyük yapraklı	3	0.49	60	55	55	80	75	70	4.4 <i>3.2</i>	4.4 <i>3.0</i>	4.4 <i>2.8</i>
İlomba	3	0.45	60	55	55	80	75	70	4.4 <i>3.2</i>	4.4 <i>3.0</i>	4.4 <i>2.8</i>
İmbula	4	0.60	60	55	50	70	65	60	4.4 <i>2.8</i>	4.2 <i>2.6</i>	4.0 <i>2.4</i>
İpe	2	1.03	40	35	35	60	60	55	2.6 <i>2.2</i>	2.4 <i>2.2</i>	2.4 <i>2.2</i>
İroko	2	0.64	60	55	50	80	75	70	4.4 <i>2.6</i>	4.2 <i>2.4</i>	4.0 <i>2.2</i>
İzombe	3	0.70	50	45	45	70	65	65	3.2 <i>2.6</i>	3.0 <i>2.4</i>	2.8 <i>2.2</i>
Jelutong	3	0.41	70	65	60	80	75	70	4.4 <i>3.0</i>	4.2 <i>2.8</i>	4.0 <i>2.6</i>

Rutubet %20'ye ininceye kadar kurutma meyli olarak İtalik değerler kullanılmalıdır.

Ek Tablo 1'in devamı.

AĞAÇ TÜRÜNÜN			SICAKLIKLAR Lif doygunluğunun						KURUTMA MEYLİ		
			Üstünde (T ₁)			Altında (T ₂)			(∇k)		
Adı	Grubu	Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Karaağaç, Ova	3	0.61	60	55	50	80	75	70	3.2 2.6	3.0 2.4	2.8 2.2
Kayın, Batı	2	0.66	60	55	55	75	70	70	4.2 2.6	4.0 2.4	3.8 2.2
Kapur	3	0.61	60	55	50	80	75	70	3.0 2.4	2.8 2.2	2.6 2.0
Kayın, Doğu	2	0.67	60	55	55	80	75	70	2.5	2.2	2.0
Kavak, Titrek	3	0.43	60	55	55	80	75	70	4.2 3.2	4.0 3.0	3.8 2.8
Kavak	2	0.42	70	65	65	80	75	70	4.4 3.0	4.4 2.8	4.4 2.6
Kempas	2	0.82	50	45	45	70	65	65	2.6	2.4	2.2
Kestane	3	0.54	50	50	45	70	65	60	3.2 2.6	3.0 2.4	2.8 2.2
Keruing	3	0.72	50	45	45	70	65	60	4.4 3.4	4.4 3.2	4.4 3.0
Kızılağaç	3	0.49	60	55	50	80	75	70	4.4 3.4	4.4 3.2	4.4 3.0
Kızılağaç, glutinosa	3	0.49	60	55	50	80	75	70	4.4 3.4	4.4 3.2	4.4 3.0
Kiraz	3	0.54	50	50	45	70	65	65	4.4 3.0	4.2 2.8	4.0 2.6
Kotibe	3	0.70	55	50	45	80	75	70	3.0 2.6	2.8 2.4	2.6 2.2
Mahun, Amerikan	3	0.58	55	50	50	80	75	70	3.6 2.8	3.4 2.6	3.2 2.0
Mahun, Küba	3	0.58	55	50	50	80	75	70	3.6 2.8	3.4 2.6	3.2 2.0
Koto	3	0.47	60	60	55	80	75	70	4.2 3.2	4.0 3.0	3.8 2.8
Kosipo	3	0.58	50	50	45	70	65	65	3.0 2.6	2.8 2.4	2.6 2.2
Ladin, Avrupa	3	0.43	70	65	60	80	80	80	4.4 4.4	4.4 4.2	4.4 4.0
Ladin	3	0.43	70	65	60	80	80	80	4.4 4.4	4.4 4.2	4.4 4.0
Ladin, Doğu ladini	3	0.41	70	65	60	80	80	80	4.0	3.8	3.6
Lale ağacı	3	0.44	65	60	55	80	75	70	4.2 3.2	4.0 3.0	3.8 2.8

Rutubet %20'ye ininceye kadar kurutma meyli olarak İtalik değerler kullanılmalıdır.

Ek Tablo 1'in devamı

AĞAÇ TÜRÜNÜN			SICAKLIKLAR Lif doygunluğunun						KURUTMA MEYLİ		
			Üstünde (T ₁)			Altında (T ₂)			(V _k)		
Adı	Grubu	Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Limba	3	0.52	60	55	55	80	75	70	4.4 3.0	4.4 2.8	4.4 2.4
Limbali	3	0.76	55	50	45	70	65	60	2.8 2.4	2.6 2.2	2.4 2.0
Mahun, Afrika	2	0.46	60	55	55	80	75	70	4.4 3.2	4.4 3.0	4.4 2.8
Makore	3	0.62	60	55	50	80	75	70	4.4 2.6	4.2 2.4	4.0 2.2
Manio	3	0.45	60	55	55	80	75	70	4.4 3.8	4.2 3.6	4.0 3.4
Mansonia	4	0.60	60	55	50	80	75	70	3.6 2.8	3.4 2.6	3.2 2.4
Manolya	3	0.52	60	55	50	80	75	70	3.6 2.8	3.4 2.8	4.4 2.6
Melez	3	0.55	70	65	60	80	75	70	4.4 3.0	4.4 2.8	3.2 2.0
Meranti, Red	4	0.64	60	55	50	80	75	70	3.6 2.4	3.4 2.2	4.4 2.0
Meranti	4	0.48	60	55	50	80	75	70	4.4 3.2	4.4 3.0	3.2 2.0
Merbau	3	0.80	55	50	50	75	70	65	2.8 2.4	2.6 2.2	2.4 2.0
Mersawa	3	0.60	55	50	50	80	75	70	3.6 2.6	3.4 2.4	3.2 2.2
Meşe, Kırmızı	3	0.65	45	40	40	75	70	65	4.0 2.6	3.8 2.4	3.6 2.2
Meşe, Sapsız	3	0.63	45	45	40	75	70	65	4.0 2.6	3.8 2.4	3.6 2.2
Meşe, Saplı	3	0.63	45	45	40	75	70	65	4.0 2.6	3.8 2.4	3.6 2.2
Meşe, Beyaz	3	0.64	45	40	40	70	65	60	4.0 2.4	3.8 2.3	3.6 2.2
Meşe, Çoruh	3	0.80	40	35	35	65	65	60	2.5	2.2	2.0
Movingui	3	0.70	55	50	45	80	75	70	3.0 2.6	2.8 2.4	2.6 2.2
Mutenye	3	0.73	55	50	50	70	65	65	3.2 2.6	3.0 2.2	2.8 2.2
Niangon	2	0.65	55	50	50	80	75	70	3.0 2.4	2.8 2.4	2.6 2.2

Rutubet %20'ye ininceye kadar kurutma meylı olarak İtalik değerler kullanılmalıdır.

Ek Tablo 1'in devamı

AĞAÇ TÜRÜNÜN			SICAKLIKLAR Lif doygunluğunun						KURUTMA MEYLİ		
			Üstünde (T ₁)			Altında (T ₂)			(V _k)		
Adı	Grubu	Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
Niove	3	0.61	50	50	45	70	65	65	2.8 <i>2.4</i>	2.6 <i>2.2</i>	2.4 <i>2.0</i>
Okalıptüs	3	0.77	35	35	30	50	50	50	3.0 <i>2.4</i>	2.8 <i>2.2</i>	2.6 <i>2.0</i>
Okoume	2	0.40	60	55	50	80	75	70	4.4 <i>3.6</i>	4.4 <i>3.4</i>	4.4 <i>3.2</i>
Okalıptüs	2	0.76	40	35	35	70	65	60	2.6 <i>2.4</i>	2.4 <i>2.2</i>	2.2 <i>2.0</i>
Ozigo	3	0.54	60	55	55	80	75	70	3.6 <i>3.0</i>	3.4 <i>2.8</i>	3.2 <i>2.6</i>
Padouk, Afrika	3	0.64	60	55	50	80	75	70	3.2 <i>2.6</i>	3.0 <i>2.4</i>	2.8 <i>2.2</i>
Padouk, Burma	3	0.81	50	45	40	70	65	65	2.8 <i>2.4</i>	2.6 <i>2.2</i>	2.4 <i>2.0</i>
Padouk, Manila	3	0.48	60	55	55	80	75	70	4.2 <i>3.2</i>	4.0 <i>3.0</i>	3.8 <i>2.8</i>
Plesenk	2	1.23	35	35	30	50	50	50	2.6 <i>2.2</i>	2.4 <i>2.0</i>	2.2 <i>2.0</i>
Pernambuc	3	0.85	50	45	40	70	65	70	2.8 <i>2.4</i>	2.6 <i>2.2</i>	2.4 <i>2.2</i>
Persimmon	2	0.78	50	45	45	70	65	60	2.8 <i>2.4</i>	2.6 <i>2.2</i>	2.4 <i>2.0</i>
Pllarwood	2	1.00	40	40	35	60	60	60	2.6 <i>2.2</i>	2.4 <i>2.0</i>	2.2 <i>2.0</i>
Podo	3	0.46	50	50	45	80	75	70	4.4 <i>3.4</i>	4.2 <i>3.2</i>	4.0 <i>3.0</i>
Porsuk	3	0.59	50	45	45	70	65	65	4.4 <i>3.0</i>	4.2 <i>2.8</i>	4.0 <i>2.6</i>
Piyankado	2	0.94	40	40	35	70	65	65	2.8 <i>2.4</i>	2.6 <i>2.2</i>	2.4 <i>2.0</i>
Ramin	2	0.58	55	50	45	80	75	70	3.8 <i>2.8</i>	3.6 <i>2.6</i>	3.4 <i>2.4</i>
Raull	3	0.51	55	50	50	80	75	70	3.6 <i>2.8</i>	3.4 <i>2.6</i>	3.2 <i>2.4</i>
Sapelli	2	0.61	60	55	50	80	75	70	3.2 <i>2.8</i>	3.0 <i>2.6</i>	2.8 <i>2.4</i>
Sedir, Toros	3	0.49	75	70	70	90	80	80	3.5	3.3	3.0
Sekoya	3	0.39	60	55	55	80	80	80	4.4 <i>3.6</i>	4.4 <i>3.4</i>	4.4 <i>3.2</i>
Servi, Amerikan bataklık	2	0.43	70	65	60	80	80	80	4.0 <i>3.0</i>	3.8 <i>2.8</i>	3.6 <i>2.6</i>

Rutubet %20'ye ininceye kadar kurutma meyli olarak İtalik değerler kullanılmalıdır.

Ek Tablo 1'in devamı

AĞAÇ TÜRÜNÜN			SICAKLIKLAR Lif doygunluğunun						KURUTMA MEYLİ		
			Üstünde (T ₁)			Altında (T ₂)			(V _k)		
Adı	Grubu	Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm	d<30 mm	30-60 mm	d>60 mm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Servi, Adi	3	0.45	60	55	55	80	75	70	4.2 3.2	4.0 3.0	3.8 2.8
Sığla, Amerikan	3	0.51	50	45	45	70	65	65	3.8 3.0	3.6 2.8	3.2 2.6
Sığla, Anadolu	3	0.55	50	45	45	70	65	65	3.6 3.0	3.4 2.8	3.2 2.6
Şimşir	2	0.92	50	45	40	60	55	55	3.0 2.4	2.8 2.2	2.6 2.0
Sipo	4	0.58	60	55	55	80	75	70	4.4 2.6	4.2 2.4	4.0 2.0
Söğüt	3	0.41	65	60	55	80	75	70	4.2 3.2	4.0 3.0	3.8 2.8
Susediri	3	0.36	70	65	55	80	75	70	4.4 3.4	4.4 3.2	4.4 3.0
Tali	2	0.87	50	45	40	70	65	60	3.0 2.6	2.8 2.4	2.6 2.2
Tchitola	3	0.56	60	55	55	80	75	70	3.6 2.8	3.4 2.6	3.2 2.4
Tetraberlinia	3	0.55	65	60	55	80	75	70	3.2 2.6	3.0 2.4	2.8 2.2
Tetraberlinia	3	0.64	60	55	55	80	75	70	3.2 2.6	3.0 2.4	2.8 2.2
Tiama	3	0.55	60	55	50	70	65	65	3.8 2.6	3.4 2.4	3.0 2.2
Tik	2	0.65	55	50	50	80	75	70	3.0 2.4	2.8 2.2	2.6 2.0
Wenge	2	0.76	50	45	45	70	65	60	2.8 2.4	2.6 2.2	2.4 2.0
Yemane	3	0.45	65	60	55	80	75	70	4.2 3.2	4.0 3.0	3.8 2.8
Zapatero	2	0.76	50	45	40	70	65	60	2.8 2.4	2.6 2.2	2.4 2.0
Zingana	1	0.72	50	45	40	75	65	60	2.8 2.4	2.6 2.2	2.4 2.0
Zeytin	2	0.85	50	45	40	70	65	60	2.8 2.4	2.6 2.2	2.4 2.0

Rutubet %20'ye ininceye kadar kurutma meyli olarak İtalik değerler kullanılmalıdır.

Ek Tablo 2. Bir kurutma programının tablo halinde gösterilmesi için çizelge (1).

		Sıcaklık $T_1=...^{\circ}\text{C}$ $T_2=...^{\circ}\text{C}$					
Ağaç türü :		Başlangıç rutubeti: %...		Kurutma meyli :			
Kereste Kalınlığı :mm		Sonuç rutubeti : %....		LDN'nin üstünde			
Özgül Ağırlık :kg/cm ³		LDN derecesi : %....		Denge rutubeti : %....			
1	2	3	4	5	6	7	8
Periyotlar	Kereste rutubeti r %	Kurutma meyli ∇k	Denge rutubeti %	Kuru termometre $^{\circ}\text{C}$	Yaş termometre $^{\circ}\text{C}$	Psikometrik fark $^{\circ}\text{C}$	Bağıl Nem %
Isıtma	a. Ön Isıtma b. Yüzeysel Isıtma c. Derinlere kadar ısıtma						
Esas Kurutma							
Dengeleme							

Fırın Tipi :; Sirkülasyon hızı :m/s; Günlük çalışma saati : saat; Kurutma kalitesi :; Isıtma süresi : saat; Kurutmada Birinci kademe : saat; İkinci kademe : saat Dengeleme : saat

Ek Tablo 3. Ağaç türlerine göre hazırlanan örnek kurutma programları

KURUTMA PROGRAMI A

Kereste Rutubeti (%)	Kuru Termometre (°C)	Yaş Termometre (°C)	Bağıl Nem (%)
Yaş	35	30,5	70
60	35	28	60
40	38	29	50
30	43,5	31,5	40
20	48,5	34	35
15	60	40,5	30

KURUTMA PROGRAMI B

Kereste Rutubeti (%)	Kuru Termometre (°C)	Yaş Termometre (°C)	Bağıl Nem (%)
Yaş	40,5	38	85
40	40,5	37	80
30	43,5	39	75
25	46	40,5	70
20	54,5	46	60
15	60	47,5	50

KURUTMA PROGRAMI C

Kereste Rutubeti (%)	Kuru Termometre (°C)	Yaş Termometre (°C)	Bağıl Nem (%)
Yaş	40,5	38	85
60	40,5	37	80
40	43,5	39	75
35	43,5	38	70
30	46	39,5	65
25	51,5	43	60
20	60	47,5	50
15	60,5	49	40

KURUTMA PROGRAMI D

Kereste Rutubeti (%)	Kuru Termometre (°C)	Yaş Termometre (°C)	Bağıl Nem (%)
Yaş	40,5	38	85
60	40,5	37	80
40	40,5	35,5	70
35	43,5	36	60
30	46	36	50
25	51,5	38	40
20	60	40,5	30
15	65,5	44,5	30

Ek Tablo 3'ün devamı

KURUTMA PROGRAMI E

Kereste Rutubeti (%)	Kuru Termometre (°C)	Yaş Termometre (°C)	Bağıl Nem (%)
Yaş	48,5	46	85
60	48,5	45	80
40	51,5	46,5	75
30	54,5	47	65
25	60	49	55
20	68	53	45
15	76,5	58	40

KURUTMA PROGRAMI F

Kereste Rutubeti (%)	Kuru Termometre (°C)	Yaş Termometre (°C)	Bağıl Nem (%)
Yaş	48,5	44	75
60	48,5	43	70
40	51,5	43	60
30	54,5	43	50
25	60	46	45
20	68	51	40
15	76,5	58	40

KURUTMA PROGRAMI G

Kereste Rutubeti (%)	Kuru Termometre (°C)	Yaş Termometre (°C)	Bağıl Nem (%)
Yaş	48,5	46	85
60	48,5	45	80
40	54,5	50,5	80
30	60	55	75
25	71	63,5	70
20	76,5	64	55
15	82	62,5	40

KURUTMA PROGRAMI H

Kereste Rutubeti (%)	Kuru Termometre (°C)	Yaş Termometre (°C)	Bağıl Nem (%)
Yaş	57	53	80
50	57	52	75
40	60	52	65
30	65,5	54	55
20	76,5	58	40

Ek Tablo 3'ün devamı

KURUTMA PROGRAMI J

Kereste Rutubeti (%)	Kuru Termometre (°C)	Yaş Termometre (°C)	Bağıl Nem (%)
Yaş	57	50,5	70
54	57	48	60
40	60	47,5	50
30	60,5	49	40
20	76,5	53	30

KURUTMA PROGRAMI K

Kereste Rutubeti (%)	Kuru Termometre (°C)	Yaş Termometre (°C)	Bağıl Nem (%)
Yaş	71	66	80
50	76,5	68,5	70
30	82	70,5	60
20	88	67,5	40

KURUTMA PROGRAMI L

Kereste Rutubeti (%)	Kuru Termometre (°C)	Yaş Termometre (°C)	Bağıl Nem (%)
Yaş	82	71	70
40	93,5	72	40

KURUTMA PROGRAMI M

Kereste Rutubeti (%)	Kuru Termometre (°C)	Yaş Termometre (°C)	Bağıl Nem (%)
Yaş	93,5	84,5	70
50	99	81,5	50

Prog. İsim

A Antiaris
 Cocuswood
 Dahoma
 Elm, Dutch
 Elm, English
 Elm, Wych
 Gedu Nohor
 Mahogany
 Podo
 Santa Maria
 Sapcle
 Sycamore (renk önemli ise Prog. E)
 Utile

Botanik İsmi

Antiaris africana
Brya ebenus
Piptadenia africana
Ulmus hollandica
Ulmus procera
Ulmus glabra
Entandrophragma angolense
Khaya grandifoliola
Podocarpus spp.
Calophyllum brasiliense
Entandrophragma cylindricum
Acer pseudoplatanus
Entandrophragma utile

Ek Tablo 3'ün devamı

Prog. İsim

B Blackwood, African
 Box
 Boxwood, East London
 Coigue
 Degame
 Greenheart
 Ironbark
 Lignum Vitae
 Oak, Persian
 Oak, Turkey
 Ramin (ince)
 Sterculia, Brown
 Zebrano

Botanik İsmi

Dalbergia melanoxylon
Buxus sempervirens
Buxus macowanii
Nothofagus dombeyi
Calophyllum candidissimum
Ocotea rodiaci
Eucalyptus crebra
Guaiacum spp.
Quercus castaneaefolia
Quercus cerris
Gonystylus spp.
Sterculia phinopetala
Microberlinia brazzavillensis

Prog. İsim

C Binuang
 Black Bean
 Blackbutt
 Boxwood, Knysna
 Cativo
 Crabwood
 Ebony, Ceylon
 Grevillea
 Gum, Southern Blue
 Gum, Saligna
 Gum, Spotted
 Holly
 Homba
 Indian Laurel
 Jarrah
 Karri
 Chilean Laurel
 Maple, Queensland
 Oak, American Red
 Oak, American White
 Oak, European
 Oak, Japanese
 Oak, Tasmanian
 Ramin (kalın)
 Rosewood, Honduras
 Satinwood, African
 Satinwood, Ceylon
 Sterculia, Yellow

Botanik İsmi

Octameles sumatrana
Castanospermum australe
Eucalyptus pilularis
Gonioma kamassi
Prioria capaiifera
Carapa guianensis
Diospyros ebenum
Grevillea robusta
Eucalyptus globulus
Eucalyptus saligna
Eucalyptus maculata
Ilex aquifolium
Pycnanthus angolensis
Terminalia spp.
Eucalyptus marginata
Eucalyptus diversicolor
Laurelia aromatica
Flindersiana brayleyana
Quercus spp.
Quercus spp.
Quercus robur
Quercus spp.
Eucalyptus spp.
Gonystylus spp.
Dalbergia stevensonii
Fagara macrophylla
Chloroxylon swietenia
Sterculia ablonga

Ek Tablo 3'ün devamı

Prog.	İsim	Botanik İsmi
D	Ash	<i>Fraxinus</i> spp.
	Beech, European	<i>Fagus sylvatica</i>
	Chestnut, Sweet	<i>Catanea sativa</i>
	Elm, Rock	<i>Ulmus thomasi</i>
	Eng	<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>
	Gurjun	<i>Dipterocarpus</i> spp.
	Keruing	<i>Dipterocarpus</i> spp.
	Parana Pine	<i>Araucaria angustifolia</i>
	Peroba, White	<i>Paratecoma peroba</i>
	"Rhodesian Teak"	<i>Baikiaea plurijuga</i>
	Willow, Cricket Bat	<i>Salix alba</i>
	Yang	<i>Dipterocarpus</i> spp.
Prog.	İsim	Botanik İsmi
E	"African Walnut"	<i>Lavoa klaineana</i>
	Afzelia	<i>Afzelia africana</i>
	American Whitewood	<i>Liriodendron tulipifera</i>
	Aspen, Canadian	<i>Populus tremuloides</i>
	Aspen, European	<i>Populus tremula</i>
	"Australian Silky Oak"	<i>Cardwellia sublimis</i>
	Avodire	<i>Turraeanthus faricamus</i>
	Danta	<i>Nesogordonia papaverifera</i>
	Ebony, African	<i>Diospyros</i> spp.
	Gaboon	<i>Aucoumea klaineana</i>
	Guarea	<i>Guarea cedrata</i>
	Haldu	<i>Adina cordifolia</i>
	Hickory	<i>Carya glabra</i>
	Hornbeam	<i>Carpinus betulus</i>
	Indian Silvergrey Wood	<i>Terminalia bialata</i>
	Iroko	<i>Chlorophora excelsa</i>
	Krabac	<i>Anisoptera</i> spp.
	Lauan	<i>Shorea</i> spp. <i>Parashorea</i> spp.
	Magnolia	<i>Magnolia</i> spp.
	Maple, Norway	<i>Acer platanoides</i>
	Maple, Rock	<i>Acer saccharum</i>
	Maple, Soft	<i>Acer rubrum</i>
	Mersawa	<i>Anisoptera</i> spp.
	Niangon	<i>Tarrietia utilis</i>
	Opepe	<i>Sarcocephalus diderrichii</i>
	Poplar	<i>Populus</i> spp.
	Queensland Walnut	<i>Endiandra palmersionii</i>
	Rauli	<i>Nothofagus procera</i>
	Rosewood, Indian	<i>Dalbergia latifolia</i>
	Sycamore	<i>Acer pseudoplatamus</i>
	American Walnut	<i>Juglans nigra</i>
	European Walnut	<i>Juglans regia</i>

Ek Tablo 3'ün devamı

Prog. İsim	Botanik İsmi
F Birch, European	<i>Betula verrucosa</i>
Elm, Japanese	<i>Ulmus</i> spp.
Elm, White	<i>Ulmus americana</i>
Mahogany, African	<i>Khaya ivorensis</i>
Mahogany, Central American	<i>Swietenia macrophylla</i>
Mahogany, Cuban	<i>Swietenia mahogany</i>
Padaok, Andaman/Burmah	<i>Pterocarpus</i> spp.
Pine, Scots	<i>Pinus sylvestris</i>
Serayah, Red	<i>Shorea</i> spp.
Prog. İsim	Botanik İsmi
G "African Pencil Cedar"	<i>Juniperus procera</i>
Birch, Yellow	<i>Betula alleghaniensis</i>
Camphor Wood	<i>Ocotea usambarensis</i>
Sepetir	<i>Sindora</i> spp.
Yew	<i>Taxus baccata</i>
Prog. İsim	Botanik İsmi
H Balsa	<i>Ochroma lagopus</i>
Birch, Paper	<i>Betula popyrifera</i>
"Cedar, Burmah"	<i>Cedrela toona</i>
Hackberry	<i>Celtis occidentalis</i>
Jelutong	<i>Dyera costulata</i>
Learch, European, Japanese, Siberian	<i>Larix</i> spp.
Lime, European	<i>Tilia vulgaris</i>
Makore	<i>Mimusops hackelii</i>
Mansonia	<i>Mansonia altissima</i>
Pine, Caribbean Pitch	<i>Pinus caribaea</i>
Teak	<i>Tectona grandis</i>
Prog. İsim	Botanik İsmi
J Afara	<i>Terminalia superba</i>
Afrommosia	<i>Afrommosia elata</i>
Agba	<i>Gossweilerodendron balsamiferum</i>
Alder, Common	<i>Alnus glutinosa</i>
Alder, Red	<i>Alnus rubra</i>
Cedar, Port Orford	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>
Cedar, Western Red	<i>Thuja picata</i>
Cedar, White	<i>Thuja occidentalis</i>
Cedar, Yellow	<i>Chamaecyparis nootkatensis</i>
Chilean Pine	<i>Araucaria araucana</i>
Kauri	<i>Agathis</i> spp.
Padauk, African	<i>Pterocarpus soyauxii</i>
Serayah, White & Yellow	<i>Parashorea</i> spp. and <i>Shorea</i> spp.
Spruce, Sitka	<i>Picea sitchensis</i>

Ek Tablo 3'ün devamı

Prog.	İsim	Botanik İsmi
L	Fir, Alpine	<i>Abies lasiocarpa</i>
	Fir, Amabilis	<i>Abies amabilis</i>
	Fir, Balsam	<i>Abies balsamea</i>
	Fir, Grand	<i>Abies grandis</i>
	Fir, Noble	<i>Abies procera</i>
	Hemlock, Western	<i>Tsuga heterophylla</i>
	Pine, American Pitch	<i>Pinus palustris</i>
	Pine, Canadian Red	<i>Pinus resinosa</i>
	Pine, Jack	<i>Pinus banksiana</i>
	Pine, Loblolly Pitch	<i>Pinus taeda</i>
	Pine, Lodgepole	<i>Pinus contorta</i>
	Pine, Ponderosa	<i>Pinus ponderosa</i>
	Pine, Shortleaf Pitch	<i>Pinus echinata</i>
	Pine, Sugar	<i>Pinus lambertiana</i>
	Pine, Western White	<i>Pinus monticola</i>
	Pine, Yellow	<i>Pinus strobus</i>
		
Prog.	İsim	Botanik İsmi
M	Pine, Austrian	<i>Pinus nigra</i>
	Pine, Corsican	<i>Pinus nigra var. calabrica</i>
	Pine, Maritime	<i>Pinus pinaster</i>
	Pine, Scots	<i>Pinus sylvestris</i>

Ek Tablo 4 'ün devamı

5.gün

Saat	r_{d1}	r_{d2}	T_1	T_2	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_{ort}
08:30	14.0	13.3	37.0	36.2	46.6	18.0	47.6	49.1	39.1	45.3
09:30	14.0	11.9	41.0	39.8	46.8	17.5	47.7	48.9	37.7	45.2
10:30	14.0	14.0	44.0	40.2	44.6	17.2	46.7	48.2	37.7	44.3
11:30	14.0	12.1	43.2	41.6	44.5	17.1	47.3	47.7	37.6	42.2
12:30	14.0	13.6	45.0	41.4	43.4	17.1	46.9	47.4	37.7	43.8
13:30	14.0	13.8	40.4	40.6	43.1	17.4	47.7	47.2	38.3	44.0
14:30	15.6	16.0	37.2	36.4	42.2	17.9	49.1	48.3	39.8	44.7
15:30	14.0	14.4	42.2	39.8	40.7	17.4	47.8	46.4	38.9	43.4
16:30	15.6	16.5	39.2	35.4	39.8	18.0	48.9	47.2	40.0	43.9
17:30	14.0	13.7	43.2	42.4	38.7	17.2	48.3	45.1	38.3	42.6

6.gün

Saat	r_{d1}	r_{d2}	T_1	T_2	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_{ort}
08:30	13.6	13.6	45.0	45.6	28.9	16.2	44.7	37.0	36.0	36.6
09:30	13.6	12.8	44.2	44.6	29.1	16.3	46.4	36.5	35.9	36.9
10:30	13.7	14.3	45.0	43.8	28.9	16.3	46.3	36.6	36.1	37.1
11:30	13.6	12.8	44.8	44.8	28.8	16.3	45.9	35.7	35.5	36.5
12:30	14.0	15.3	42.8	40.4	28.8	16.8	46.5	36.3	36.3	37.0
13:30	13.5	13.4	44.8	44.6	28.2	16.2	45.2	34.9	35.4	35.9
14:30	13.5	14.1	45.0	44.8	28.1	16.2	45.2	34.7	35.4	35.8
15:30	13.7	15.3	45.0	40.6	28.1	16.7	46.7	34.6	36.2	36.0
16:30	13.4	13.5	45.0	46.2	27.1	15.8	43.7	32.9	34.5	34.5
17:30	13.5	13.4	45.0	46.2	27.6	16.0	44.3	33.0	34.8	34.9

7.gün

Saat	r_{d1}	r_{d2}	T_1	T_2	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_{ort}
08:30	13.1	13.7	45.0	44.6	24.9	15.8	40.2	27.4	32.1	31.1
09:30	14.0	13.4	43.6	43.0	25.0	15.9	40.1	27.4	32.3	31.2
10:30	13.0	13.2	45.0	44.8	24.9	15.8	39.9	26.9	31.6	30.8
11:30	13.2	14.2	45.0	44.6	24.4	15.7	39.4	26.7	31.5	30.4
12:30	13.0	13.3	45.0	45.8	24.7	15.6	39.8	26.4	31.2	30.5
13:30	13.5	13.1	45.1	46.4	24.6	15.5	38.9	26.0	31.0	29.9
14:30	13.0	12.9	45.6	46.6	23.9	15.3	38.5	25.5	30.6	29.6
15:30	13.0	13.2	45.4	46.6	22.2	15.5	39.0	25.5	30.7	29.8
16:30	13.2	13.5	45.0	34.4	24.5	15.8	39.8	26.0	31.4	30.4
17:30	13.1	15.0	45.0	41.8	24.3	16.0	39.3	26.0	31.3	30.2

Ek Tablo 5. $1/\alpha = a$ değerleri

r_0 kg/m ³	375	400	425	450 ¹	475	500	525	550	575	600	625
$1/\alpha$	14.70	16.80	18.90	21.00	23.05	25.10	27.20	29.35	31.45	33.50	35.55
r_0 kg/m ³	650 ²	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900
$1/\alpha$	37.70	39.80	42.00	43.85	46.05	48.15	50.25	52.40	54.30	56.40	58.60

¹ Yumuşak ağaçlar için ortalama değer, ² Sert ağaçlar için ortalama değer

Ek Tablo 6. $(\ln r_s - \ln r_b) = r$ değerleri

Başlangıç rutubeti r_b %	Sonuç rutubeti r_s %												
	40	30	25	20	15	12	11	10	9	8	7	6	5
150	1.32	1.61	1.80	2.01	2.31	2.52	2.61	2.71	2.81	2.93	3.06	3.22	3.40
140	1.25	1.54	1.72	1.94	2.23	2.46	2.54	2.64	2.74	2.86	2.99	3.15	3.33
130	1.18	1.47	1.65	1.87	2.15	2.39	2.47	2.57	2.67	2.79	2.92	3.08	3.26
120	1.10	1.39	1.57	1.79	2.08	2.31	2.39	2.49	2.59	2.71	2.84	3.00	3.18
110	1.01	1.30	1.48	1.70	1.99	2.22	2.30	2.40	2.50	2.62	2.75	2.91	3.09
100	0.91	1.20	1.38	1.60	1.89	2.12	2.20	2.30	2.40	2.52	2.65	2.81	2.99
90	0.81	1.10	1.28	1.50	1.79	2.02	2.10	2.20	2.30	2.42	2.55	2.71	2.89
80	0.69	0.98	1.16	1.38	1.67	1.90	1.89	2.08	2.18	2.30	2.43	2.59	2.77
70	0.56	0.85	1.03	1.25	1.54	1.77	1.85	1.95	2.05	2.17	2.30	2.46	2.56
60	0.40	0.69	0.87	1.09	1.38	1.61	1.69	1.79	1.89	2.01	2.14	2.30	2.48
50	0.22	0.51	0.69	0.91	1.20	1.43	1.51	1.61	1.71	1.83	1.95	2.12	2.30
45	0.12	0.41	0.59	0.81	1.10	1.33	1.41	1.51	1.61	1.73	1.86	2.02	2.20
40		0.20	0.47	0.60	0.98	1.21	1.29	1.39	1.49	1.61	1.74	1.90	2.08
35		0.16	0.34	0.56	0.85	1.08	1.16	1.26	1.36	1.48	1.61	1.77	1.95
30			0.18	0.40	0.60	0.92	1.00	1.10	1.20	1.32	1.45	1.61	1.79
25				0.22	0.51	0.74	0.82	0.92	1.12	1.14	1.27	1.43	1.61
22.5				0.11	0.40	0.63	0.71	0.81	0.91	1.03	1.16	1.32	1.50
20					0.29	0.52	0.60	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.39
17.5					0.15	0.38	0.46	0.56	0.66	0.78	0.91	1.07	1.25
15						0.23	0.31	0.41	0.51	0.63	0.76	0.92	1.10

Ek Tablo 7. $(e/25)^{1.5} = e$ değerleri

mm	10	12	15	18	20	22	24	26	28	30	35	40
$(e/25)^{1.5}$	0.253	0.332	0.465	0.611	0.716	0.826	0.941	1.161	1.185	1.315	1.656	2.024
mm	45	50	55	60	65	70	80	90	100	120	140	160
$(e/25)^{1.5}$	2.415	2.828	3.258	3.718	4.193	4.686	5.123	6.830	8.000	10.50	18.25	16.19

Ek Tablo 8. $65 T = t$ değerleri

°C	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$65 T$	1.300	1.182	1.083	1.000	0.920	0.867	0.812	0.765	0.722	0.684	0.650

Ek Tablo 9. $(1.5 v)^{0.6} = v$ değerleri

m/s	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80
$(1.5v)^{0.6}$	1.733		1.460		1.276	1.144	1.088	1.041	1.000	0.960	0.927	0.896
m/s	1.90	2.00	2.10	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00	3.50	4.00	5.00	6.00
$(1.5v)^{0.6}$	0.868	0.822		0.765	0.754	0.720	0.688	0.660	0.601	0.555	0.486	0.435

8. ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Niğde'de doğan Alper Aytekin, ilk ve orta öğrenimini, Bor 100. Yıl İlköğretim Okulu ve Niğde Lisesinde tamamlamıştır. 1990 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümüne kayıt yaptırdı. Aynı bölümden Temmuz 1994'te ikincilikle mezun oldu. Bir süre Niğde'de özel bir bilgisayar kursunda bilgisayar öğretmenliği yaptı. Eylül 1994'te Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Bu arada yine bir süre Sürmene Ticaret Lisesinde vekil öğretmenlik yaptı. Ocak 1995'te Fen Bilimleri Enstitüsü'nce açılan araştırma görevlisi kadrosuna atandı ve halen aynı kadroda çalışmalarına devam etmektedir.

