

AĞAÇ MALZEMENİN RUTUBETİ VE ÖLÇÜLMESİ

Doç. Dr. Ramazan KANTAY¹

Kısa Özet

Bu yazıda önce ağaç malzemedeki pratik bakımdan önemli bazı rutubet halleri tanımlanmış ve kurutma bakımından önemli olan başlangıç rutubeti sonuç rutubeti ve lif doygunluğu rutubet hali üzerinde durulmuştur. Sonra kurutmada kereste enine kesitinde rutubet dağılımının önemi açıklanarak kurutma sırasında ve kurutma sonunda kerestenin iç ve dış tabakaları arasında olması gereken rutubet farkları belirtilmiştir.

Yazının son bölümünde ağaç malzemenin rutubetinin ölçülmesinde kullanılan pratik yöntemler tanımlanmış ve özellikle rutubet ölçerlerle rutubet ölçülmesinde dikkat edilecek hususlar açıklanmıştır. Bu bölümde ayrıca rutubet ölçerlerin seçilmesinde ve satın alınmasında göz önünde bulundurulacak hususlar belirtilerek bu aletlerin satın alınmasında uygulayıcıya yardımcı olabilecek bilgiler verilmiştir.

1. GİRİŞ

Kurutmada ağaç malzemenin rutubetinin kolay ve hatasız bir şekilde ölçülmesi ve miktarının hem tam kuru ağırlığının yüzdesi olarak hemde ağırlık olarak bilinmesi çok önemlidir. Bu nedenle bu yazıda uygulayıcıya ağaç malzemenin rutubeti ve ölçülmesi konularında yardımcı olabilecek pratik bilgiler özetlenmiştir.

2. PRATİK BAKIMDAN ÖNEMLİ BAZI RUTUBET HALLERİ

Ağaç malzemedeki ancak sun'i olarak elde edilebilen iki ekstrem rutubet hali mevcuttur. Bunlar **tam kuru hal** ile **tam yaş** haldir. Bu iki rutubet hali dışında ağaç malzemenin içerisinde odun maddesi su ve hava vardır.

Odunun içerisindeki su hücre çeperi içerisinde ve hücre boşluklarında bulunmaktadır. Hücre boşluklarında bulunan ve akıcı veya damlayıcı şekilde olan suya **serbest su**, hücre çeperi içerisinde misel'ler ve fibril'ler arasındaki boşluklarda bulunan suya ise hücre çeperine bağlı su veya **higroskopik su** adı verilmektedir.

¹ İ.Ü. Orman Fakültesi öğretim üyesi, Bahçeköy - Sarıyer/İstanbul.

² Bu yazı Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğünce Düzenlenen Orman Ürünleri Kurutma Seminerinde sunulmuştur.

Yayın Komisyonuna Sunulduğu Tarih : 15.7.1987

Herhangi bir odunun parçası bir kurutma dolabında $103 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık derecesinde ağırlığı değişmez hale gelinceye kadar kurutulacak olursa, rutubetini tamamen kaybederek odun kitlesi ve havadan ibaret bir duruma gelmektedir. Böylece yukarıda belirtilen **tam kuru rutubet haline** erişilmektedir. Buna karşılık odun parçası uzunca bir süre su içerisinde bırakılacak olursa, odun içerisindeki bütün hava boşlukları su ile dolarak odun parçası, yalnız odun kütlesi ve sudan ibaret bir duruma gelmektedir. Böylece, diğer bir sun'i ve ekstrem hal olan **tam yaş rutubet hali** elde edilmektedir.

Ağaç malzemedeki serbest suyun hiç bulunmadığı, fakat hücre çeperine bağlı suyun mümkün olan en yüksek miktarda bulunduğu rutubet haline **lif doygunluğu rutubet hali** adı verilmektedir.

Sağlam ve dikili halde bulunan bir ağaç gövdesinin su durumu **taze hal** olarak ifade edilmektedir. Taze haldeki rutubet miktarları ağaç türü, ağaç yaşı, ağaç gövde kısımları, yetiştirme muhiti ve mevsime göre değişmekte ve hiçbir zaman lif doygunluğu rutubet miktarının altına düşmemektedir (Tablo 2).

Hava kurusu rutubet hali pratikte ağaç malzemenin açıkta doğal olarak kurutulması ile ulaşılan kuruluk derecesinin ifadesidir. Bu kuruluk derecesi çeşitli faktörlere göre değişmekte olup, % 10 - 20 arasında bulunmaktadır. Örneğin, Orta Avrupa iklim koşullarında yaz aylarında % 14 - 15 iken kış aylarında % 17 - 20 ye yükselmektedir (Dittrich 1969, König 1962), Türkiye iklim koşullarında ise daha düşük olup, yaz aylarında % 10'a kadar düşmektedir (A. Kurtoglu 1984).

Ancak, bilimsel bakımdan hava kurusu rutubet hali pratikte anlaşıldığı gibi değildir. Lif doygunluğu rutubet derecesi ile tam kuru hal arasında düşük rutubet derecelerine kadar (kalorifer ile ısıtılan yerlerde % 5 - 7) ağaç malzeme ile hava arasında meydana gelen ve rutubet alış verişinin sona erdiği denge durumlarında hava kurusu rutubet haline ulaşılmaktadır. Bilimsel çalışmalarda hava kurusu rutubet derecesi % 12 olarak alınmaktadır.

Kurutma önemli olan diğer iki ağaç malzeme rutubeti ise, **başlangıç rutubeti** ile **sonuç rutubeti** (son rutubet) dir. Doğal veya teknik kurutmada kurutmanın başladığı anda ağaç malzemenin sahip olduğu rutubete başlangıç rutubeti, kurutmanın sonunda sahip olduğu rutubete de sonuç rutubeti denmektedir.

Kurutmanın yönetilmesinde ve kurutma süresinin hesaplanmasında başlangıç rutubeti önemli bir faktördür. Kusursuz ve ekonomik bir kurutma yapabilmek için, rutubet bakımından büyük farklar gösteren keresteler bir arada kurutulmamalıdır. Bundan başka her partide kurutulan kerestelerin başlangıç rutubetleri hatasız bir şekilde belirlenmelidir. Daha sonraki bölümlerde yer geldikçe açıklanacağı üzere, kurutmanın yönetilmesine temel teşkil eden başlangıç rutubeti, kural olarak aynı partide kurutmaya tabi tutulacak kerestelerin en rutubetli olanları arasından seçilen örnek tahtalar yardımı ile tespit edilmektedir. Kurutmanın gidişi en yüksek rutubete sahip örnek tahtalara göre yönetilmektedir.

Başlangıç rutubeti bakımından çok büyük farklar gösteren kerestelerin bir arada kurutulması ile teknik ve ekonomik yönden bazı sakıncalar meydana gelmektedir. Bunları şu şekilde özetlemek mümkündür.

1 — Başlangıç rutubeti yüksek olan tahtaların belli sonuç rutubete ulaşması daha uzun sürede, buna karşılık düşük rutubetli tahtaların ise, istenilen sonuç rutubete ulaşması daha kısa sürede mümkün olacaktır. Böylece rutubeti düşük tahtalar gereksiz yere fırında tutularak fırın kapasitesi iyi değerlendirilmeyecektir.

2 — Diğer taraftan başlangıç rutubeti bakımından büyük farklar gösteren tahtaların sonuç rutubetlerinde de büyük farklar meydana gelmektedir. Böylece, bu farkların giderilmesi için kurutma sonunda uygulanan denkleştirme periyodu süresi bu farkların büyüklüğü oranında uzayarak masrafları artıracaktır.

Kurutulacak ağaç malzemenin başlangıç rutubetleri arasındaki farklar lif doygunluğu rutubet derecesinin üstündeki rutubet derecelerinde % 15'i, lif doygunluğu rutubet derecesinin altındaki rutubet derecelerinde ise % 5'i aşmamalıdır (Berkel, 1978).

3. LİF DOYGUNLUĞU RUTUBET DERESESİ VE KURUTMA BAKIMINDAN ÖNEMİ

Kurutma işleminde lif doygunluğu rutubet derecesi önemli bir dönüm noktasıdır. Bu nedenle bilinmesi önemli ve gereklidir.

1. Kurutmanın başlangıcından lif doygunluğu rutubet derecesine ulaşmaya kadar ağaç malzeme içerisindeki serbest suyun kolay hareketi nedeniyle kuruma sabit ve hızlı bir seyir takip etmekte, buna karşılık lif doygunluğu rutubet derecesinin altında bu hız düşmekte ve gittikçe azalmaktadır. Kurutma hızında artış sağlamak için lif doygunluğu rutubet derecesinin altına inildiği zaman o ağaç türü için uygun olan en yüksek sıcaklık derecesine çıkılması gerekmektedir.

2. Ağaç malzemenin su kaybı ile boyutlarında meydana gelen değişimler lif doygunluğu rutubet derecesine ulaştıktan sonra başlamaktadır. Kurutulan malzemenin kalitesini korumak bakımından lif doygunluğu rutubet derecesinin üstünde ve özellikle bu noktaya yaklaşırken dikkatli davranmak ve koruyucu kurutma şartları uygulamak lazımdır. Örneğin, lif doygunluğu rutubet derecesi % 30 olan bir ağaç türünde kerestenin rutubeti % 25'e ininceye kadar koruyucu kurutma koşulları sürdürülmelidir.

3. Diğer taraftan ağaç malzemenin yoğunlukla fiziksel ve mekanik özelliklerine ait değerlerin miktarı lif doygunluğu rutubet derecesi ile ilgili bulunmaktadır. Örneğin mekanik özelliklerden direnç, lif doygunluğu rutubet derecesinin altında rutubet azaldıkça artar, arttikça azalır.

Lif doygunluğu rutubet derecesi ağaç türüne, ağaç gövdesinin çeşitli kısımlarına, odun yapısının kaba veya ince oluşuna göre değişmektedir. Lif doygunluğu rutubet derecesi ile odunun özgül ağırlığı ve higroskopik potansiyeli arasında ilişki vardır. Kalın ve odun maddesi bakımından zengin bir hücre çeperi, ince bir hücre çeperine göre bünyesine daha fazla su alabilmektedir. Micel'ler arası ve fibril'ler arası boşlukları açık olan diri odun bu boşlukların öz odun maddeleri ile dolu bulunduğu öz oduna nazaran hücre çeperi içerisine daha fazla su alabilmektedir. Lif doygunluğu rutubet derecesi % 20 ile % 40 arasında değişmekte olup, ortalama olarak % 30 (veya bazı kaynaklarda % 28) kabul edilmektedir.

Ağaç türleri lif doygunluğu rutubet miktarı bakımından 5 sınıfa ayrılmaktadır (Trendelenburg, 1939; A.Y. Bozkurt, 1980).

1. Lif doygunluğu rutubet miktarı çok yüksek, yani % 32 - % 35 olan ağaç türleri :

Göknar, Huş, İhlamur, Kavak, Batı Kayını, Kızılağaç.

2. Lif doygunluğu rutubet miktarı yüksek, yani % 30 - % 34 olan ağaç türleri :

Göknar, Lâdin, Çam ve Melez diri odunu.

3. Lif doygunluğu rutubet miktarı orta, yani % 24 - % 28 olan ağaç türleri :

Çam, Melez, Douglas Göknarı özodunu.

4. Lif doygunluğu rutubet miktarı düşük yani % 22 - % 24 olan ağaç türleri :

Akasya, Ceviz, Dışbudak, Kestane, Kiraz ve Meşe.

5. Lif doygunluğu rutubet miktarı çok düşük, yani % 18 - % 22 olan ağaç türleri :

Sedir ve Ardıç.

Ülkemiz ağaç türlerine ait lif doygunluğu rutubet dereceleri Tablo 1'de verilmiştir (A.Y. Bozkurt, 1980; A. Kurtoğlu, 1981).

Tablo 1. Bazı ağaç türlerimizin Lif doygunluğu rutubet miktarları.

Ağaç türü	Lif Doygunluğu rutubet miktarı (%)
Uludağ Göknarı	34,0
Toros Göknarı	32,0
Doğu Lâdini	32,0
Toros Karaçamı	28,0 - 30,0
Sarıçam	29,8
Kızılačam	25,5
Lübnan Sediri	21,0
Sakallı Kızılağaç	34,6
Doğu Kayını	29,2
Saplı Meşe	26,0
Sapsız Meşe	26,2

Bilindiği gibi lif doygunluğu rutubet derecesi, hacim daralma miktarı yüzdesi olan β , ve hacim yoğunluk değeri R yardımı ile aşağıdaki formüle dayanılarak hesaplanmaktadır.

$$\beta = R \cdot U_i$$

$$U_i = \frac{\beta v}{R}$$

4. AĞAÇ MALZEMEDE RUTUBET DAĞILIŞI

4.1. Taze Halde Rutubet Dağılışı

Taze halde bulunan ağaç malzeme rutubet miktarı bakımından yeknesak değildir. Su miktarı ağaç türlerine göre geniş sınırlar içerisinde değiştiği gibi, aynı ağaç türünde ağaçtan ağaca, hatta aynı ağaç gövdesinde değişiklikler göstermektedir. Suyun ağaç gövdesi içerisindeki dağılışı yeknesak değildir. Biyolojik bakımdan en genç olan gövde kısımları daha fazla miktarda su iletirler. Böylece gövdenin dış kısmını oluşturan diri odun öz oduna göre suca daha zengindir. Tablo 2 çeşitli ağaç türlerinde taze halde diri ve öz odunda bulunan su miktarlarını göstermektedir. Tablonun incelenmesinden de anlaşılacağı gibi ihreli ağaçlarda öz odun ile diri odun arasındaki rutubet farkı yapraklı ağaçlara göre daha büyüktür.

Öz odun ile diri odun arasındaki rutubet farkı, kurutma bakımından önemli olup, taze haldeki kerestenin kurutma fırınlarında kurutulmasında mutlaka dikkate alınmalıdır. Kurutmanın gidişinin kontrol ve takibi için alınan örneklerin seçilmesinde diri odun ve öz odun kısımları yeterli oranda temsil edilmelidir. Kurutma her kademe en yüksek rutubete sahip keresteler dikkate alınarak yönetilmelidir. Diğer önemli bir noktada diri odunun öz odundan daha hızlı ve yeknesak kurumasıdır. Bu nedenle kurutmanın sonuna doğru öz odun kısımlarının rutubeti daha yüksektir.

4.2. Kurutma Sırasında Rutubet Dağılışı ve Rutubet Meyli

Ağaç malzeme önce dış tabakalar kurumaya başlar. Sonra iç tabakalarda gittikçe daha içeriye olmak üzere kurumaya katılmaktadır. Dışarıdan içeriye doğru uygun bir rutubet meylli oluştuğu taktirde kuruma kusursuz bir şekilde gerçekleşir. Bu meylin gerektiğinden dik olması halinde ise iç tabakalardan dış tabakalara doğru olan rutubet akışı kesilmektedir. Böylece yalnız dış tabakalar kuruyarak dış sertleşme (kabuklaşma) hali ortaya çıkmaktadır. Bu sakıncalı durumdan kaçınmak için dış tabakaların hızlı kuruması önlenmelidir.

Rutubet meylli veya rutubet farkı (Rutubet düşüşü de denmektedir) Kollmann (1955) tarafından verilen ve yaklaşık değerler elde edilmesini sağlayan aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak bulunmaktadır.

$$\text{Rutubet meylli } \frac{du}{dx} \approx \frac{2(U_i - U_g)}{d}$$

Burada U_i Kerestenin iç tabakalarındaki rutubet miktarı, U_g kereste çevresindeki hava şartlarının oluşturduğu denge rutubeti miktarı ve d cm olarak kereste kalınlığıdır. Kurutma sırasında kerestenin dış tabakalarındaki rutubet miktarı en kısa zamanda kurutma koşullarının dikte ettiği rutubet dengesine ulaşmakta ve $U_g \approx U_d$ olmaktadır.

Kerestenin iç tabakalarındaki rutubet U_i , dış tabakalarındaki rutubet U_d ise rutubet farkı olan $\Delta U = U_i - U_d$ değeri kuruma sırasında suyu harekete geçiren gücün ölçüsü olarak kabul edilebilir. Koruyucu ve kaliteli bir kurutmanın ödevi rutubet meylinin uygun şekilde ayarlanması ile kuruma olayının optimal bir şekilde gidişini sağlamaktır.

Tablo 2. Çeşitli ağaç türlerinin taze haldeki öz ve diri odunlarında bulunan rutubet miktarları (BERKEL 1970, 1978).

Ağaç türü	Özodun veya Olgun odun %	Diri odun %
İĞNE YAPRAKLI AĞAÇLAR :		
Sarıçam (Pinus silvestris L.)	30-50	120-150
Toros Karaçamı (Pinus nigra var. Pallasiana D. Don.)	50	150
Kızılçam (Pinus brutia Ten.)	—	79-126
Veymut Çamı (Pinus strobus L.)	90	200
Şeker Çamı (Pinus lambertiana Dougl.)	98	219
Avrupa Lâdini (Picea exelsa Link.)	30-42	30-160
Sitka Lâdini (Picea sitchensis Carr.)	41	142
Uludağ Göknaarı (Abies bornmülleriana Mattf.)	45-80	135-190
Avrupa Göknaarı (Abies pectinata Loud.)	40-50	140-180
Toros Sediri (Cedrus libani Barr. Leud.)	39	117
Kıyı Sekoyası (Sequoia sempervirens Endl.)	86	210
Boylu Mazı (Thuja plicata D. Don.)	58	249
Adi Douglas (Pseudotsuga taxifolia Britt.)	37	115
YAPRAKLI AĞAÇLAR :		
Çoruh Meşesi (Quercus tschorochensis K. Koch)	84-102	100-118
Macar Meşesi (Quercus hungarica Hub.)	80-109	98-113
Saçlı Meşe (Quercus cerris L.)	85-118	77-116
Doğu Kayını (Fagus orientalis Lipsky)	47-58	64-102
Batı Kayını (Fagus silvatica L.)	56-80	70-100
Kestane (Castanea sativa Mill.)	68-115	76-142
Beyaz çiçekli Yalancı Akasya (Robinia pseudoacacia L.)	21-54	41-76
Sivri meyveli Dişbudak (Fraxinus oxycarpa Willd.)		51
Gürgen (Carpinus betulus L.)	60-67	57-60
Titrek Kavak (Populus tremula L.)	65-114	57-73
Ova Akçaağacı (Acer campestre L.)	52-54	51-54
Gümüşü İhlamur (Tilia tomentosa Moench.)	81-95	78-83
Adi Kızılğaç (Alnus glutinosa Gaertn.)	108	123

Rutubet meylinin büyük olması kurutmanın kalitesini düşürmekte çok küçük olması ise, kurutma süresinin uzamasına neden olmaktadır. Bir kurutma işleminde $U_i = U_d = U_g$ olduğu taktirde, teorik olarak kereste içerisinde her türlü rutubet hareketi sona ermektedir.

4.3. Kurutma Sırasında ve Kurutma Sonunda İç ve Dış Tabakalar Arasında Rutubet Farkı

Teknik kurutmada kurutmanın çeşitli basamaklarında rutubet meylinin ne olması gerektiği konusunda belli değerler verilmemiştir. Çatal örnekler yardımı ile

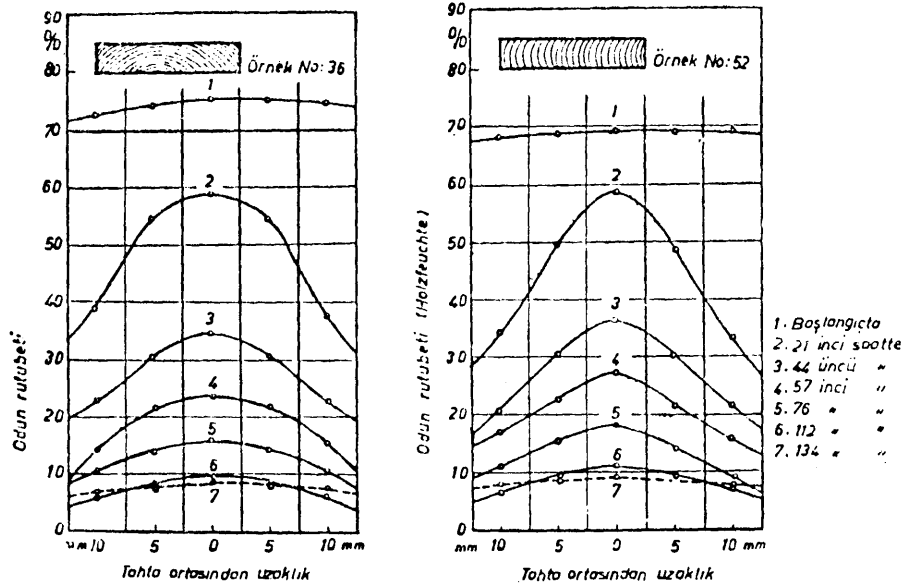
kurutma sırasında oluşan gerilmeler kontrol edilerek, rutubet meylili kusurlara neden olmayacak düzeyde tutulabilmektedir.

Ülkemizde yapılan araştırmalarda (R. Kantay, 1978) yüksek kaliteli kurutma denemelerinde bile lif doyunluğunun üstündeki rutubet derecelerinde rutubet meylinin çok büyük olduğu görülmüştür. Lif doyunluğu ile sonuç rutubeti arasında ise, sabit olmadığı ve sonuç rutubetine doğru gittikçe azaldığı tespit edilmiştir. Esasen lif doyunluğunun üstünde rutubet meylini kontrol etmek güçtür.

Resim 1'de 25 mm kalınlıktaki kayın kerestesinin kurutulması sırasında örnek tahtaların enine kesitleri içerisinde rutubet dağılışı eğrileri görülmektedir. Bu denemede kaliteli bir kurutma gerçekleştirilmiştir.

Kollmann (1955)'e göre güç kuruyan ağaç türlerinin kurutulmasında lif doyunluğuna yaklaşıırken ve lif doyunluğu rutubet derecesinin altında iç ve dış tabakalar arasındaki rutubet farkı % 5'i aşmamalıdır.

Teknik kurutmanın sonunda kerestenin iç tabakaları ile dış tabakaları arasındaki rutubet farkı belli bir miktarı geçmemelidir. Zira kurutulmuş ve kullanılmaya hazır hale gelmiş kerestede büyük rutubet farkları, kullanım amacına göre biçildikten sonra deformasyonlara neden olmaktadır.



Resim 1. 25 mm kalınlıktaki doğu kayını kerestesinin kurutma fırınında kurutulması sırasında örnek tahtaların enine kesitlerinde rutubet dağılışı eğrileri (KANTAY 1978).

TGL 21504 (1969)'a göre kurutmanın sonunda kerestede bulunması gereken rutubet farkları Tablo 3'de verilmiştir. Tablonun incelenmesinden de anlaşılacağı gibi rutubet farkları kerestenin özgül ağırlığı (ağaç türü)'na, kalınlığına ve so-

nuç rutubetine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin bu tabloya göre özgül ağırlığı 0,56 gr/cm³'ten büyük olan Çoruh Meşesi ve Doğu Kayını'nın 40 mm den daha ince keresteleri % 12'nin altındaki sonuç rutubetine kadar kurutulduğu takdirde Δu rutubet farkı % 2'yi, % 12'nin üstündeki sonuç rutubetine kadar kurutulduğu takdirde ise, bu farkın % 4'ü aşmaması gerekmektedir.

Tablo 3. TGL 21504 (1969)'a göre kurutma fırınlarında kurutulmuş kerestede iç ve dış tabakalar arasındaki rutubet farkları.

Özgül ağırlık	Kereste kalınlığı	Sonuç rutubeti (u)	
		u < % 12	u > % 12
$r_0 \leq 0,56$	d < 40	2,5	4,0
	d > 40	3,5	6,0
$r_0 > 0,56$	d < 40	2,0	4,0
	d > 40	2,5	6,0

5. AĞAÇ MALZEME İÇERİSİNDEKİ RUTUBET MİKTARININ BULUNMASI

Ağaç malzeme içerisindeki rutubet yüzdesini bulmak için bir çok yöntem vardır. Fakat kurutma uygulamalarında bunlardan yalnız iki tanesi kullanılmaktadır.

1. Kurutma yöntemi ile rutubet tayini
2. Elektrikli rutubet ölçerlerle rutubet tayini

5.1. Kurutma Yöntemi ile Rutubet Tayini

Kurutma yöntemi ile rutubet tayini için hassas terazi, otomatik sıcaklık kontrollü kurutma dolabı, desikatör ve iyi bir uzmana ihtiyaç vardır. Terazi kuru ağırlığı yaklaşık olarak 10 gram olan örnekler için 0,01 gr, 100 gram olan örnekler için ise 0,1 gr hassasiyette olmalıdır (Berkel, 1970).

Rutubeti bulunacak ağaç malzemenin rutubet örneği alınır. Yaş halde tartılır. G_u ağırlığı bulunur. Kurutma dolabında $103 \pm 2^\circ C$ de kurutulur. Böylece G_d ağırlığı bulunur. Her iki ağırlık yardımı ile aşağıdaki eşitlikten yararlanarak rutubet miktarı tam kuru ağırlığın yüzdesi olarak elde edilir.

$$U = \frac{G_u - G_d}{G_d} \times 100 (\%)$$

Örnek: Alınan rutubet örneğinin yaş ağırlığı $G_u = 105$ gr, tam kuru ağırlığı $G_d = 75$ gr ise rutubet miktarı ne kadardır? Eşitlikte bu değerler yerine konursa,

$$U = \frac{(105 - 75) \times 100}{75} = 40 (\%)$$

bulunur.

Bu yöntemle sıhhatli bir rutubet tayini için rutubet örneğinin alınmasında ve tartılmasında aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir.

1. Rutubet örneği rutubet miktarı bakımından alındığı keresteyi temsil edebilecek büyüklükte ve özellikte olmalıdır. Genişliği 1-2 cm, boyu kereste genişliğine eşit uzunlukta olmalıdır. Budak, Ur gibi oluşumları bulunmamalıdır.

2. Enine kesitten itibaren en az 50 cm içeriden kesilmelidir (Resim 2).

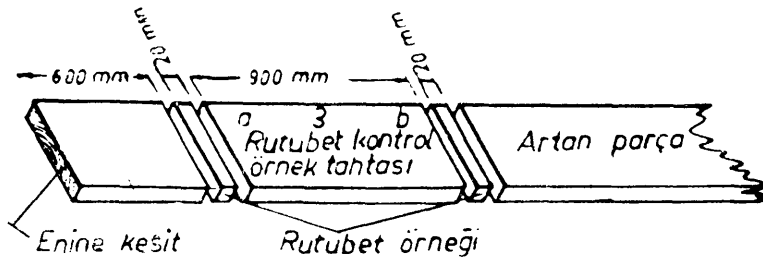
3. Keserken keskin testere kullanılmalı ve yavaş yavaş kesmek suretiyle ısınması ve su kaybetmesi önlenmelidir.

4. Kestikten sonra lif ve talaşları temizlenerek hemen tartılmalıdır.

5. Kurutma dolabında kurutmayı çabuklaştırmak için rutubet örneğinin daha küçük parçalara bölünmesi faydalıdır.

6. Rutubet örneği kurutma dolabında ağırlığı değişmeyinceye kadar bekletilmelidir. Sıcak halde kesinlikle tartılmamalı, kurutma dolabından çıkarıldıktan sonra desikatörde iyice soğutulmalıdır.

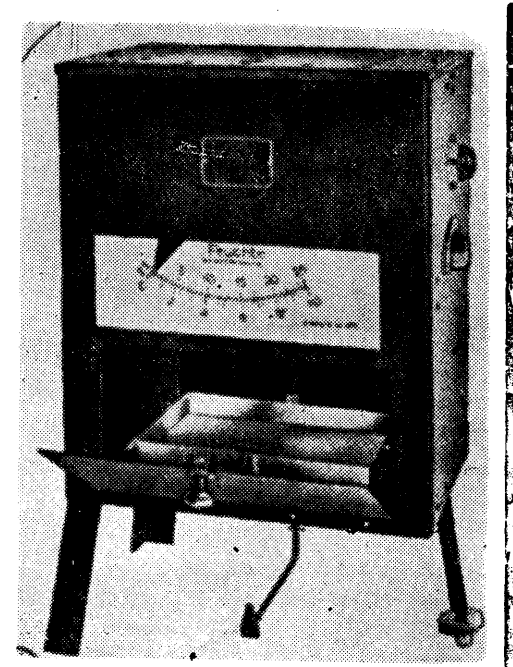
Kurutma yöntemi ile rutubet tayininin sakıncası kurutma süresinin uzun olmasıdır. Örneğin, 100 gramlık bir rutubet örneğinde kurutma süresi 20-60 saat olup, ortalama 30 saat kadardır. Bu süre özgül ağırlık ve rutubet miktarı ile değişmektedir. 20 gramlık örneklerde ise bu süre 5-20 saattir. Örnekleri yongalamak suretiyle bu süreyi 4-6 saate indirmek mümkündür (A.Y. Bozkurt, 1980).



Resim 2. Rutubet tayini için kullanılacak rutubet örneğinin alınışı.

Kurutma yöntemi ile rutubet tayinini çabuklaştırmak için doğrudan doğruya rutubeti veren içerisine terazi monte edilmiş kurutma dolabı geliştirilmiştir (Resim 3).

Öte yandan eğer ağaç malzemenin tam kuru ağırlığı (G_d) ve rutubet yüzdesi (U) biliniyorsa yaş ağırlığı (G_u); yaş ağırlığı (G_u) ve rutubet yüzdesi (U) biliniyorsa tam kuru ağırlığı (G_d) aşağıdaki eşitlikler yardımı ile bulunabilmektedir.



Resim 3. % 0-25 rutubet dereceleri arasında doğrudan rutubeti veren terazili kurutma dolabı (Sack firması kataloğundan).

$$G_u = G_d \left(1 + \frac{U}{100}\right)$$

$$G_d = \frac{100 \times G_u}{100 + U}$$

5.2. Elektrikli Rutubet Ölçerlerle Rutubet Tayini

Elektrikli rutubet ölçerlerle rutubet tayini basit, kolay ve çabuktur. Rutubet örneği almaya gerek göstermezler ve bunlarla rutubetin sürekli ölçülmesi mümkündür.

Elektrikli rutubet ölçerler odunun elektriksel özelliklerinden faydalanılarak yapılmıştır. Bunlar elektriksel direnç, dielektrik sabitesi ve radyofrekans kuvvet kaybı gibi özelliklerdir.

Elektrikli rutubet ölçerleri başlıca iki tipe ayırmak mümkündür.

1. Dielektrik tipi rutubet ölçerler
2. Direnç tipi rutubet ölçerler

Aşağıda rutubet ölçerlerle ilgili daha çok pratiğe yönelik bilgiler özetlenmiştir.

5.2.1. Dielektrik Tipi Rutubet Ölçerler

Dielektrik tipi rutubet ölçerler dielektrik sabitesi ve dielektrik kayıp açığının belli frekansta ağacın rutubet miktarı ile önemli derecede arttığı prensibine dayanır. En çok kullanılan tip kuvvet kaybı rutubet ölçerler olarak bilinen tip olup, rutubet miktarı ile odunun dielektrik sabitesindeki değişimleri ölçmek suretiyle rutubet tayin etmektedir. Radyofrekans akımı bir elektrik bataryası ve bir vakum tüpü ihtiva eden devre ile techiz edilmiştir. Bu akım elektrod olarak ağaç malzemeye tatbik edilen bir tip kondensatöre uygulanmaktadır. Aletler doğrudan doğruya rutubet yüzdesini verecek şekilde ayarlanmıştır (Resim 4) (A.Y. Bozkurt, 1980).

Dielektrik tipi rutubet ölçerlerin faydalı tarafı rutubeti ölçülecek ağaç malzemeye zarar vermemesidir. Çünkü elektrodları yassıdır ve ağaca batırılması veya çakılması söz konusu değildir.

Yalnız bu faydalı tarafına karşılık bir çok sakıncalı tarafları bulunmaktadır.

— Ölçü değerlerinin doğruluk derecesi ve güvenilirliği oldukça düşüktür. Çünkü okumalar odunun özgül ağırlığına bağlıdır. Bilindiği gibi odunun özgül ağırlığı aynı ağaç türü içerisinde bile değişmektedir.

— Ölçü değerleri ortalama rutubeti gösterdiği için ağacın enine kesiti içerisindeki rutubet dağılımını, yani iç ve dış tabakalar arasındaki rutubet farklarını tespit etmek mümkün değildir. Halbuki kurutma sırasında rutubet dağılımının bilinmesi önemlidir.

- Kurutma fırınlarında rutubetin dışardan takip ve kontrolü mümkün değildir.
- Ölçülebilen maksimum rutubet dereceleri sınırlıdır.

Bu sakıncaları nedeniyle dielektrik tipi rutubet ölçerler sınırlı bir kullanım alanına sahip olup, pratikte daha çok direnç tipi rutubet ölçerler kullanılmaktadır.

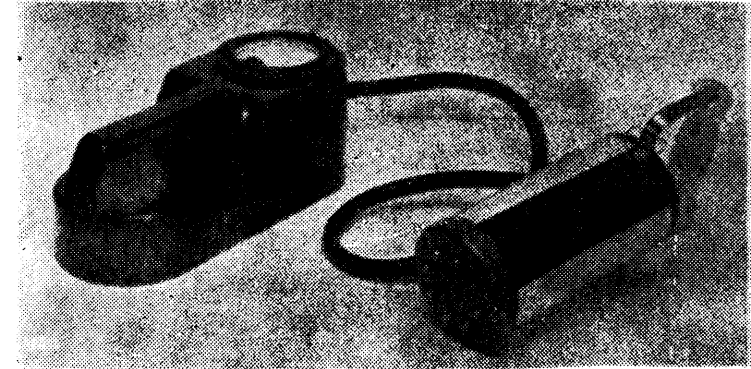
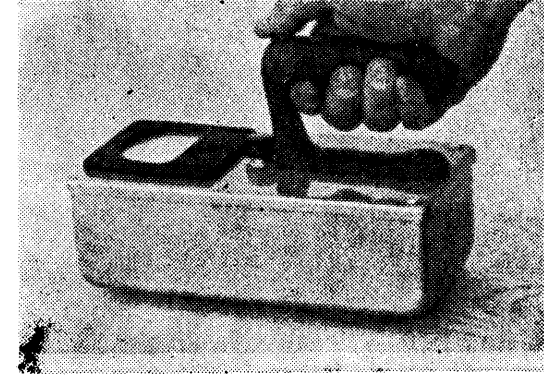
5.2.2. Direnç Tipi Rutubet Ölçerler

Direnç tipi rutubet ölçerler doğru akım kullanırlar. Lif doygunluğu rutubet derecesinin altında % 4 - 25 rutubet sınırları arasında \pm % 1 hassasiyete kadar rutubet ölçmek mümkündür. Direnç tipi rutubet ölçerlerin elektrik devresindeki direnç elemanlarını elektrodlar teşkil etmekte ve bunlar oduna batırılmakta veya çakılmaktadır (Resim 5 ve 6).

Direnç tipi rutubet ölçerlerin en önemli sakıncası elektrodların oduna batırılması veya çakılması nedeniyle ağacın zarar görmesidir. Bu sakıncasına karşılık kereste içerisinde istenilen derinlikte rutubet ölçülebilmektedir. Keresteye çakılan elektrodlar yardımı ile kurutma sırasında dışardan rutubetin sürekli kontrol ve takibi mümkündür (Resim 6-H).

Piyasada değişik tip ve özelliklerde pek çok rutubet ölçer bulunmaktadır.

- Bunların bazıları ibreli, bazıları digital göstergelidir.
- Ölçebildikleri maksimum ve minimum rutubet sınırları bakımından farklılıklara sahiptirler (Örneğin % 4 - % 30; % 4 - % 60; % 4 - % 100 gibi).



Resim 4. Dielektrik tipi rutubet ölçerler.

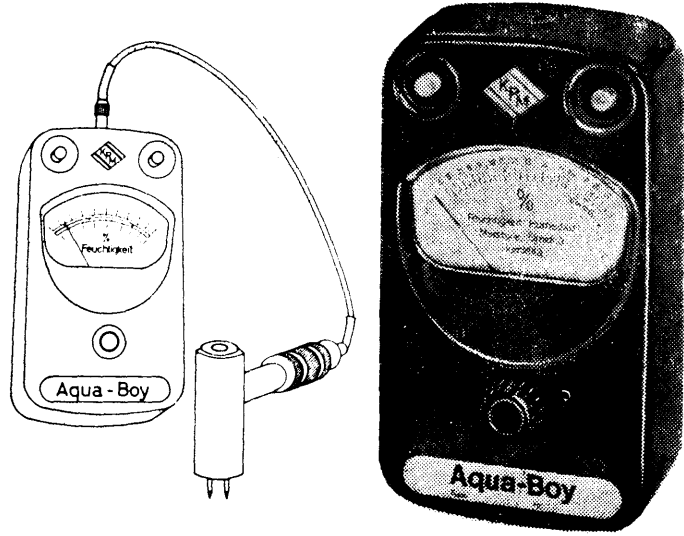
— Ağaç türüne ve sıcaklığa göre otomatik çevirici techizatı olan rutubet ölçerler yanında böyle bir techizatı olmayanlarda vardır. Bunlarda çevirme hesapları yapılması gerekmektedir.

— Pil veya elektrik enerjisi ile çalışanlar olduğu gibi, hem pil hem elektrik enerjisi ile çalışanlar da bulunmaktadır.

— Elle taşınanlar yanında cepte taşınanlar vardır. Büyüklükleri, ağırlıkları çok değişmektedir.

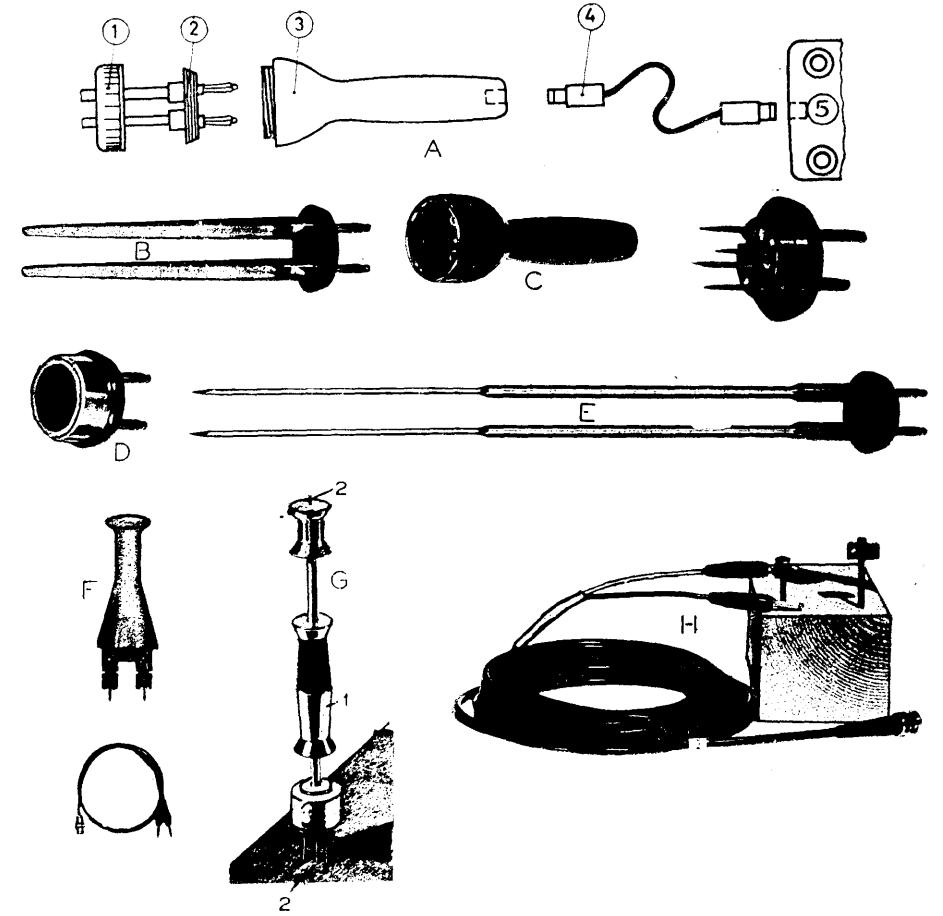
Bütün bunlar rutubet ölçer alımlarında seçimin kolay olmadığını göstermektedir. Bu nedenle alımlarda rutubet ölçerlerde aranması gereken özellikler aşağıda verilmiştir.

- Ölçebildiği rutubet sınırları geniş olmalıdır.
- Ölçme hassasiyeti yeterli olmalıdır.
- Hem elektrikle hem pille çalışabilmelidir. Piyasada kolaylıkla bulunabilen ticari piller kullanılabilir.



Resim 5. Direnç tipi rutubet ölçerler.

- A — İbrelili rutubet ölçer ve çekiç elektrodu.
 B — Ağaç türlerine ve sıcaklığa göre ayarlanabilen dijital göstergeli.
 C — Ağaç sıcaklığını ve havanın bağıl nemini de ölçen ağaç türlerine ve sıcaklığa göre ayarlanabilen dijital göstergeli.



Resim 6. Direnç tipi rutubet ölçer elektrodları.

- A — Elektrod - adaptör - kablo - rutubet ölçer bağlantı şeması: ((1) Adaptör bileziği, (2) Elektrod, (3) Adaptör, (4) Adaptör kablo bağlantısı, (5) rutubet ölçer.
 B — Kaplama levha ve kağıt yığınlarında rutubet ölçebilen elektrod.
 C — Adaptör.
 D — İnce levhalarda yüzey rutubetini ölçmek için yassı elektrod.
 E — Yonga ve talaş yığınlarında rutubet ölçebilen sokaç elektrod.
 F — Çakılabilen sert plastik elektrod başlığı.
 G — Çakma derinliğini ölçebilen çakma tertibatlı elektrod başlığı: (1) Çakma tertibatı, (2) Derinlik ölçme tertibatı.
 H — Rutubetin kurutma fırını dışında sürekli kontrolünü sağlayan elektrod ve kablo düzeni.

— Rutubeti oda sıcaklığının altındaki ve üstündeki sıcaklıklarda direkt olarak ölçülmelidir. Bu amaçla sıcaklık kompensasyonu (dengeleyici) ile tehziz edilmiş olmalıdır.

— Farklı ağaç türlerinin rutubetini hatasız bir şekilde ölçülmelidir. Bu amaçla ağaç türüne göre çevirmeyi gerçekleştiren çevirici ile tehziz edilmiş olmalıdır.

Böylece çevirme tabloları veya hesapları kullanmadan sıcaklık ve ağaç türüne göre çevirme işlemleri alet üzerinde bulunan düğmelerle gerçekleştirilebilmekte ve rutubet yüzdesi doğrudan okunabilmektedir (Resim 5).

— Değişik şekil ve boyutlardaki ağaç malzemenin rutubetini ölçebilecek elektrodları ve elektrod bağlama düzenleri bulunmalıdır. Örneğin ağacın yüzeyinde ve iç tabakalarında ölçme yapılabilir (Resim 6).

— Hafif olmalı, kolay taşınabilmelidir.

— Masif malzemede iç tabakalardaki rutubeti ölçmek için elektrodların çakılmasını kolaylaştıran ve çakma derinliğini gösteren tertibatı bulunmalıdır Resim 6-G'de derinlik göstergesi ve çakma tertibatı olan bir ölçme sondası (başlığı) görülmektedir.

— Direnç tipi rutubet ölçerler dielektrik tipi rutubet ölçerlere tercih edilmelidir.

Direnç tipi rutubet ölçerlerle rutubet ölçülmesinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

— Rutubet ölçmeye başlamadan önce rutubet ölçer iyi bir şekilde kontrol edilerek fonksiyonlarını yapıp yapmadığına bakılmalıdır.

— Enine kesitlerde ve enine kesitlere yakın yerlerde rutubet ölçülmemelidir.

— Elektrodlar liflere paralel yönde değil dik yönde çakılmalıdır.

— Rutubeti tayin edilecek kerestenin en az üç yerinde fakat mümkünse en iyisi 5 yerinde rutubet ölçülerek ortalaması alınmalıdır.

— Yağmur, kar ve sudan ıslanmış kısımlarda rutubet ölçülmemelidir.

— Odun emprenye edilmiş veya tutkallanmış ise rutubet ölçerler doğru göstermez.

5.3. Ağaç Malzeme İçerisindeki Su Miktarının Bulunması

Kurutma işleminde birim hacimdeki kereste içerisinde bulunan su miktarının bilinmesinde fayda vardır. Örneğin kurutma fırınlarında ısı blâncosunun hesaplanmasında odundan uzaklaştırılacak su miktarının bilinmesi gerekmektedir.

Su miktarı (W) nin bulunması için önce odunun rutubet yüzdesi (U), bu rutubetteki hacmi (V_u) ve ağırlığı (G_u) tespit edilir. Sonra aşağıdaki eşitlikler yardımı ile tam kuru ağırlığı (G_d) bulunur.

$$G_u = V_u \cdot r_u \quad (1)$$

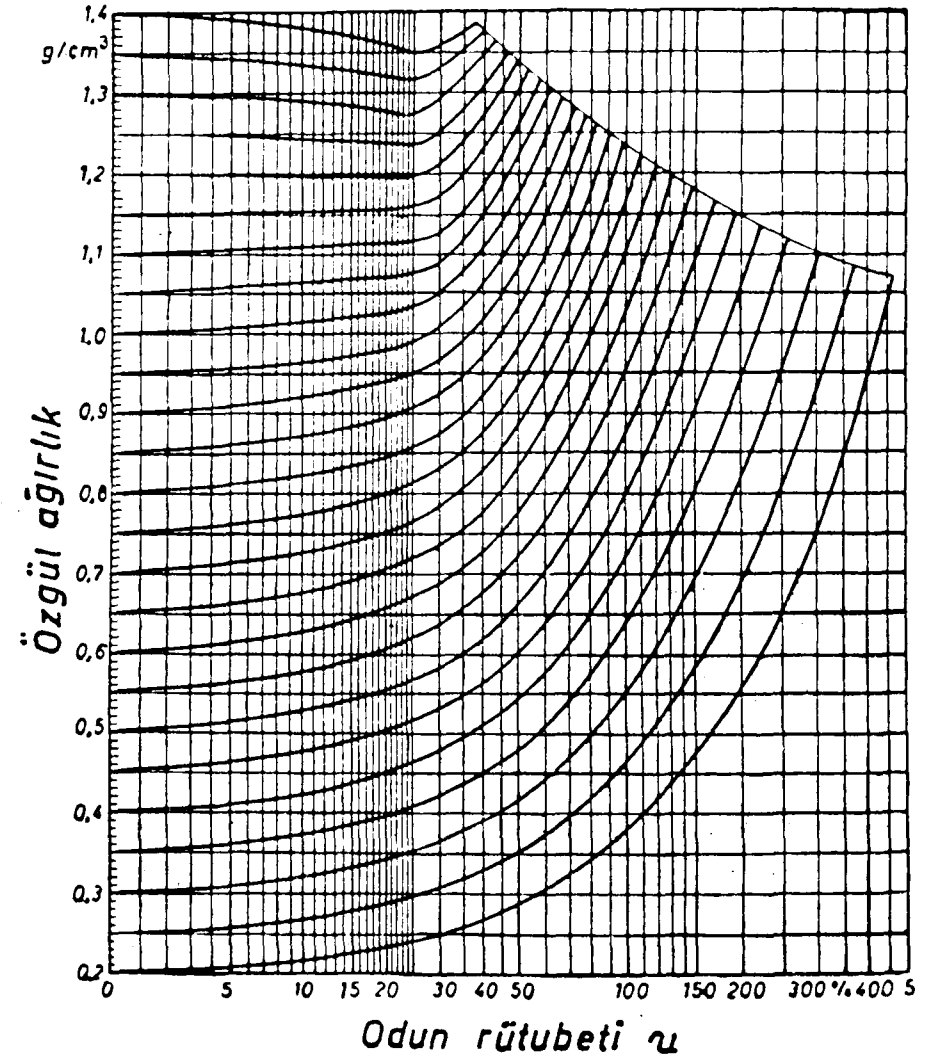
$$G_d = \frac{G_u}{1 + u} \quad (2)$$

$$W = G_u - G_d \quad (3)$$

Yukarıdaki (1) numaralı eşitlikteki V_u ve r_u değerlerinin bilimsel olarak hesaplanmasında kullanılan formüller bulunmakta (Berkel, 1970, S. 386; Bozkurt, 1980, S. 26). Fakat kurutma uygulamalarında kullanılmamaktadır. Uygulamada V_u kurutulmuş ağaç malzemenin boyutları yardımı ile hesaplanarak veya hacim tablolarından bulunmaktadır. r_u ise Kollmann (1955) tarafından verilen odun rutubeti ile özgül ağırlık ilişkilerini gösteren grafikten alınabilmektedir (Resim 7).

Örnek :

Bir kurutma fırınında başlangıç rutubeti % 80 olan 3 m³ Kayın kerestesi % 10 sonuç rutubetine kadar kurutulursa kaç kg suyun buharlaştırılması gerekmektedir.



Resim 7. Odundaki su miktarı (%) ile Özgül ağırlık arasındaki ilişki (F. Kollmann'a göre).

Kayın odununun tam kuru haldeki özgül ağırlığı $r_0=0.67 \text{ gr/cm}^3$ tür.

% 80 rutubetteki özgül ağırlığı $r_{80}=1.02 \text{ gr/cm}^3$ Resim 7 den bulunur.

Verilen ve bulunan değerler (1), (2) ve (3) numaralı eşitliklerde yerlerine konursa rutubet miktarı:

$$G_n=1.02 \times 3\,000\,000=3\,060\,000 \text{ gr} \quad \text{veya} \quad 3060 \text{ kg}$$

$$G_d=\frac{3060}{1+0.804}=1700 \text{ kg}$$

$$W=3060-1700=1360 \text{ kg}$$

Bu $W=1360 \text{ kg}$ su miktarı odun içerisindeki tüm su miktarıdır. Kerestenin % 10 sonuç rutubetine kadar kurutulması gerekmektedir. Böylece keresteden uzaklaştırılacak su miktarı aşağıdaki (4) nolu eşitlikten bulunur.

$$W=G_d(U_a-U_c) \quad (4)$$

Burada $U_a=\% 80$ ve $U_c=\% 10$ dur.

$$W=1700(0.80-0.10)$$

$$W=1700 \times 0.70=1190 \text{ kg.}$$

K A Y N A K L A R

- KBERKEL, A., 1970. Ağaç Malzeme Teknolojisi (Cilt I). İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını No. 147.*
- BERKEL, A., 1978. Kerestenin Doğal ve Hızlandırılmış Doğal Kurutulması Tekniği. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını No. 266.*
- BOZKURT, A.Y., 1980. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi (Cilt I). İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını No. 259.*
- DITTRICH, H., 1969. Einfluss des Aussenklimas auf die Holzfeuchtigkeit von verbautem Holz in innenraumen. Holz-Zentralblatt 95, 8, 79.*
- KANTAY, R., 1978. Türkiye'nin Bazı Orman Ağaç Türleri Kerestelerinin Teknik Kurutma Özellikleri. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını No. 269.*
- KEYLWERTH, R., 1950. Das «Trocknungsgefälle» und die Steuerung von Holz-Trockenanlagen. Holz-Zentralblatt, Jg. 76, Nr. 36, S. 375.*
- KOLLMANN, F., 1955. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe 2. Band, 2. Aufl. Berlin, Göttingen - Heidelberg.*
- KÖNIG, E., 1962. Holz-Lexikon.*
- KURTOĞLU, A., 1984 Hava Kurusu Odunda Rutubet Değişimleri ve Türkiye'de Odunun Muhtemel Denge Rutubeti Miktarlarının Dağılımı. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını No. 362.*
- TGL 21504 (1969). Technische Trocknung von Schnittholz (DDR-Standard).*
- TRENDELENBURG, R., 1938. Das Holz als Rohstoff München - Berlin.*