



SERİ B

CİLT XVI

SAYI 1

1966

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
ORMAN FAKÜLTESİ
DERGİSİ



ODUN VE SU MÜNASEBETLERİ

Yazan :

Doç. Dr. A. Yılmaz BOZKURT

Odun higroskopik bir maddedir. Hem sıvı ve hem de buhar halindeki su odun maddesi tarafından adsorbe edilmektedir. Odundaki bu özellik, yani su maddesinin adsorbe edilmesi veya bünyeden dışarıya verilmesi sıcaklık derecesi ve odunun civarındaki atmosferin nisbi rutubetine bağlıdır. Böylece odundaki rutubet miktarı onun civarındaki atmosferik şartların değişmesi ile farklılıklar gösterir.

Odunun özgül ağırlık ve çalışma gibi fiziksel özellikleri ile mekanik özellikleri rutubet miktarında vuku bulan değişmelerle farklı değerler gösterirler. Bu itibarla onun bir ham madde olarak kullanılmasında rutubet miktarının ve rutubetin odun içersinde nerelerde bulduklarının bilimesi büyük önem taşımaktadır.

1. Odun içersindeki yüzde su miktarının tayini :

Odun, tabiatta bulunmayan tam kuru hali müstesna daima bünyesinde bir miktar su ihtiva etmektedir. Herhangi bir odun parçası 100-105C derecede ağırlığı değişmeyinceye kadar bir kurutma dolabında kurutulacak olursa tam kuru hali elde etmek kabil olabilir. Ancak yapılan tecrübeler göstermiştir ki bu şekilde kurutulmuş bulunan odunda dahi % 1 kadar rutubet mevcuttur. Bu itibarla su ile odun arasındaki bağın ne kadar kuvvetli olduğunu buradan anlamak kabildir.

Odunun ihtiva ettiği rutubet hallerini sıralayacak olursak, bunların esas itibariyle şu dereceler arasında buldukları görülür:

Tam kuru	% 0 rutubet ihtiva eder.
Hava kurusu hali	% 5-20 (ortalama % 12)
Lif doygunluğu hali	% 25-33 (ortalama % 28)

Taze hal	% 80-100
Tam yaş hali	% 150 ve daha fazla

Herhangi bir odun parçasının ihtiva ettiği su miktarı onun bu rutubetteki ağırlığı ve tam kuru ağırlığının bilinmesi ile bulunabilmektedir. Muayyen bir rutubetteki odunun ağırlığı ise onun tam kuru ağırlığı ile ihtiva ettiği suyun ağırlığının toplamına eşittir. Odunun ihtiva ettiği su miktarı tam kuru ağırlığının yüzdesi olarak ifade edildiği takdirde herhangi bir odun parçasının bu rutubetteki ağırlığı şu formül yardımı ile hesaplanabilir:

$$Y = K + K \frac{U}{100} \quad (1) \text{ veya } Y = K \left(1 + \frac{U}{100} \right) \quad (1.1)$$

Burada (Y) muayyen rutubetteki odun parçasının ağırlığını, (K) odunun tam kuru ağırlığını, (U) ise tam kuru ağırlığa nisbetle bulunmuş rutubet yüzdesini ifade etmektedir. Bu formülden yararlanarak bir odun parçasının tam kuru ağırlığı (K) ile rutubet yüzdesini (U) veren formülleri yazmak mümkündür.

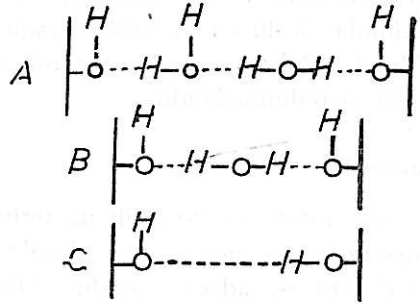
$$K = \frac{100 Y}{100 + U} \quad (1.2)$$

$$U = \frac{100 (Y - K)}{K} \quad (1.3)$$

2. Suyun odun içerisinde bulunduğu haller :

Su odun içerisinde üç şekilde bulunmaktadır. (1) Birincisi hücre zarı yapısındaki sudur. Bu su odunun kimyasal yapısını değiştirmeden çıkarılamaz. (2) İkincisi hücre zarına bağlı sudur. Buna higroskopik su adı da verilmektedir. Higroskopik suyun hücre çeperi ile ne şekilde bağlandığını anlayabilmek için çeperin sellüloz aypısını incelemek lâzımdır. Odun su bir hücrenin sekonder çeperini çok fazla büyütecek olursak çeperin bir takım iplik şeklinde mikrofibrillerden husule geldiği görülür. Mikrofibriller ise bir çok sellüloz zincirinin bir araya gelmesi ile teşekkül etmişlerdir. Sellüloz zincirleri primer molekül bağları ile birbirine bağlanmış anidrit glikoz moleküllerinin uc uca birleşmiş şekillerinden başka bir şey değildir. Her bir sellüloz zincirinde çift numaralı anidrid

glikoz molekülü ile tek numaralı anidrid glikoz molekülü 180 derecelik bir açı ile birleşmişlerdir. Anidrit glikoz moleküllerinin bir sellüloz zincirindeki sayısı son derece değişik olup, hatta aynı hücrenin zarında bile farklıdır. Ekseriyetle 5000-10000 adet arasındadır. Bir hücre çeperinde sellüloz molekülleri muayyen aralıklarla birbirine paralel zincirler halinde yerleşmişlerdir. Bunların bir çoğu bir araya gelerek demetler teşkil ederler. Sellüloz molekülleri bu demetler içersinde molekül bağlarıyla sadece boyuna istikamette değil, aynı zamanda enine istikametlerde de birbirleriyle bağlı bulunmaktadır. Bu itibarla bu kısımlar kristalitler olarak bilinmektedir. Kristalitler arasında bazı kısımlar vardır ki burarlarda sellüloz zincirleri birbirlerine paralel olmayıp gayri muayyen dizilmiştir. Bunlar arasında enine molekül kuvvetleri ya hiç yok veya pek azalmıştır. Bu kısımlara amorf zonlar adı verilmektedir. Hücre zarı içersinde higroskopik su mikrofibriller, amorf zon ve lameller arası boşluklara yerleşmektedir (Bozkurt, 1966). (Şekil 1) de de görüldüğü gibi sellüloz



Şekil 1: Suyun sellüloz misellerine Hidrojen köprüleri vasıtasıyla bağlanması.

molekülleri arasındaki enine bağlar Hidrojen köprüleri vasıtasıyla hidroksil grupları arasında olmaktadır. Hidroskopik su da, bir Hidrojen ve bir de hidroksil guruplardan müteşekkildir. Hidroskil grubu negatif, Hidrojen ise pozitif elektrikle yüklü bulunduğundan hidroksil grupları sekonder kuvvetler yardımı ile atmosferdeki su moleküllerini bünyelerine bağlamaktadırlar. (Şekil 1. A) taze haldeki odunda bir veya daha fazla su molekülünün komşu kristalitler arasındaki hidroksil vasıtasıyla çepere ne şekilde bağlandığını göstermektedir. Odun kurduğunda su moleküllerini hidroksil gruplarına bağlayan kuvvetler, nisbeten kuru hava dolayısıyla su molekülü civardaki atmosfere geçmektedir. Yani hava kurduğunda su molekülleri arasındaki kohezyon kuvveti su molekülleri ile sellüloz zin-

enerjilerindeki (OH) hidroksil grupları arasındaki adezyon kuvvetinden daha büyük olmakta ve böylece su molekülünün hidroksil grupları ile bağları çözülerek atmosfere geçilmektedir. Anidrit glikoz moleküllerindeki hidroksil gruplarının hepsi su molekülüleri ile bağlandıkları taktirde bütün iç sathlar hiç olmazsa bir tabaka su ile örtülmüş olacaktır. (Şekil 1. B) de hidroksil grupları arasında sadece bir molekül su bağlandığı görülmektedir. (Şekil 1. C) de anidrit glikoz moleküllerindeki hidroksil gurupları arasında herhangi bir su molekülünün bulunmadığı görülmektedir. Higroskopik su sellüloz moleküllerindeki adezyon kuvveti sıfır oluncaya kadar bağlanmaya devam eder. Bu hale lif doygunluğu noktası adı verilir. Her ağaç türünde lif doygunluğu hali aynı olmamakla beraber % 25 ila 33 arasında değişmektedir.

(3) Üçüncü hal olarak su odun içersinde hücre boşluklarında bulunmaktadır. Bu taktirde hücre boşlukları ya tamamen ya da kısmen su ile dolmuş bulunur. Buna serbest su adı verilmektedir. Şayet hücre boşlukları tamamen su ile dolu olursa bu hale tam yaş hali denmektedir. Tam yaş halinde en ağır odunda % 40 ve en hafif odunda ise % 100 e kadar su bulunabilir. Meselâ, Balsa ağacında (Ochroma lagopus Sw.) da tam yaş halinde % 750 su bulunmaktadır.

3. Suyun odun tarafından tutulma olayı :

Suyun odun içersinde tutulması ile ilgili iki terim vardır. Bunların ne olduklarını başlangıçta izah etmek faydalı olacaktır. Bu terimlerden birincisi abzorpsiyon ikincisi ise adzorpsiyondur. Abzorpsiyon yani tutulma tabiri bir sıvının delikli katı bir cisim tarafından üst yüz gerginliği kuvvetleri vasıtasıyla kapiller yapısı içinde mihaniki olarak tutulmasını ifade etmektedir. Buna mukabil adzorpsiyon ise katı cismin iç ve dış sathı üzerinde yani katı cismin yüzeyinde gaz moleküllerinin tutulması hâdisesidir. Abzorpsiyon gözle görülebilecek kadar büyüklükteki kapiller boşluklarda vuku bulur. Absorbe edilmiş bir sıvıyı buharlaştırmak için gerekli enerji geniş bir yüzeye malik bulunan sıvınmkinden biraz daha fazladır. Adzorpsiyonda çoğu defa adsorbe edilen madde sadece bir molekül kalınlığındadır ve şayet çok molekül varsa nadiren ortalama 10 molekül kalınlığından fazladır. Büyük miktarda adsorpsiyon düşük gaz ve buhar basınçlarında vuku bulabilir. Bu şunu göstermektedir: Absorbe eden maddenin adsorbe edilecek maddeleri çekme kuvveti bu maddeler arasında mevcut olan birbirini çekme kuvvetinden oldukça büyük miktardadır. Bu iki terimden başka bir de Dezorpsiyon terimi vardır. Dezorpsiyon adzorpsiyonun aksini ifade etmek için kullanılan bir terim-

dir. Yani adsorbe edilen maddenin adsorbe edenden uzaklaşması ile desorpsiyon husule gelmektedir.

Adzorpsiyon herhangi katı bir yüzey üzerinde husule gelebilir. Delikleri ihtiva etmeyen düzgün bir yüzey üzerinde meselâ, cam ve matelerde adsorpsiyon miktarı adsorbe eden maddenin birim ağırlığına nisbetle son derecede küçüktür. Buna mukabil adsorbe edilen madde miktarı ince tozlarda, delikli katı maddelerde ve jelatine çok fazladır. Meselâ, 1 cm³ metal bir cisimde yüzey genişliği 6 cm² dir. Halbuki 1 cm³ odunda mikroskopla görülebilen kapiller yüzey genişliği ise 1 m² kadardır. Şayet odunsu maddelerde adsorbe edilen madde hücre çeperi içerisindeki amorf kısımlar ve kristalitlerin yüzeyleri ile birleşirse bu takdirde su ile temas geçen odun yüzeyi 1000 misli artmaktadır. Böylece odun maddesinin son derece adsorbe edici bir madde olduğu ortaya çıkmaktadır.

Odun tarafından su buharının emilmesi ve kaybı :

Odun tarafından adsorbe edilen suyun miktarının değişmesi, odunun çalışmasına yani daralıp genişlemesine, muhtelif mukavemet farklılıklarına sebep olmakta ve tutkal, cila ve boyaların adezyonuna tesir etmektedir. Sıvı maddelerin adsorpsiyonu koruyucu, yangını önleyici ve odunun dimenzionlarının stabilizasyonunu temin eden maddelerle yakından alakalı bulunmaktadır.

Odun içerisinde suyun tutulma halleri :

Su, odun içinde üç durumda bulunmaktadır. Birinci hal bizatihi hücre çeperi yapısındaki sudur. Bu hakiki su olmakla beraber odunun ısıtılması neticesi meydana gelen değişme esnasında husule gelmektedir. Bundan başka sellüloz moleküllerindeki hidroksil grupları ile hidrojen köprüleri basitiasıyla birleşen yani higroskopik olarak bulunan su gelmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi buna bağlı su adı verilmektedir. Şayet herhangi bir odun parçası 103 ± 2 C derecede ısıtılırsa devamlı bir şekilde ağırlığından kaybedecektir. Maamafih ısı fazla olmadığı için daha önce bünye bozulması suretiyle meydana gelen su teşekkül etmemektedir. % 90 nisbi neme kadar olan ortamda tutulan su, monomoleküler sudur. Bunun ötesinde ise su polimoleküler olarak tutulmaktadır. Araştırmacıların çoğu bunu kapılarda yoğunlaşmış su olarak farketmektedir. Bu şekilde tutulan su hücre çeperi hacminin % 2 sinden daha azını teşkil etmektedir. Kapillar yoğunlaşmanın büyük bir kısmı hücre çeperlerinin

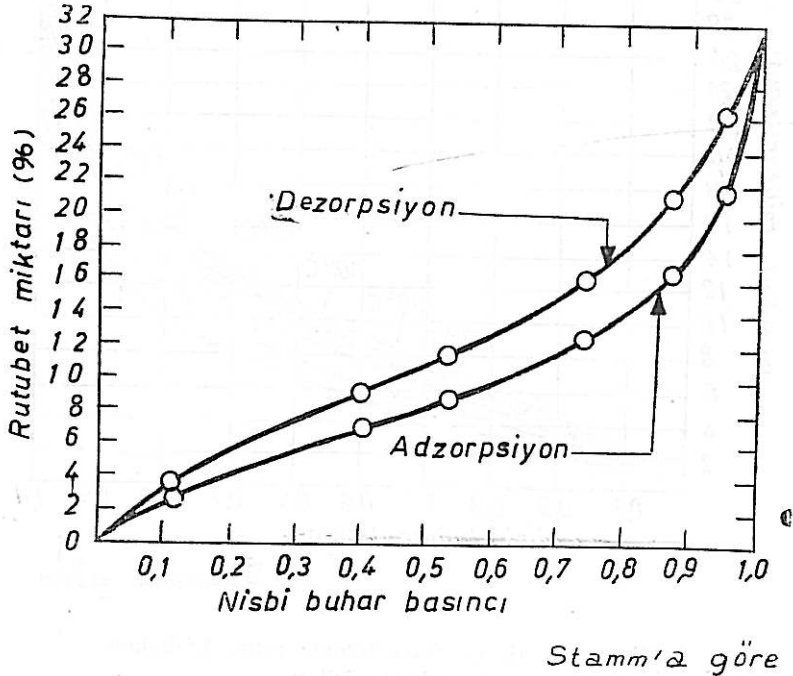
doygun hale gelmesinden sonra odunun mikroskopik olarak görülen kapillar yapısında bulunmaktadır. 0.4 gr/cm^3 özgül ağırlığı havi bir ibrelî ağaç odununda lif lümenlerinin çapı ortalama 15 mikron olduğu farzedilirse hücre çeperi tarafından tutulan % 28 sudan başka % 150 kadar su tutabilmektedir. Böylece hücre çeperleri %0-99.5 nisbi nemde takriben % 28 e kadar su almakta, buna mukabil daimi kapiller yapı ise kuru odun ağırlığının % 150 si kadar suyu % 99.5 ilâ % 99.99 nisbi nemler arasında kazanmaktadır.

Histerez olayı :

Atmosfere terk edilen herhangi bir ağaç parçası bir müddet sonra ya su kaybetmek ya da su almak suretiyle havanın nisbi rutubeti ile ilgili olarak belirli bir rutubet derecesine erişir. Buna denge rutubet hali veya hidroskopik denge adı verilmektedir. Havanın nisbi rutubeti değiştikçe odunda da higroskopik denge değişmektedir. Ancak sellülozlu maddeler tarafından tutulan su miktarı sadece atmosferdeki nisbi nem ile aradaki dengeye tabi olmayıp aynı zamanda bu dengenin yaklaştığı istikanete de tabi bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde belli bir nisbi nemde veya buhar basıncında kuru halden yaş hale geçişte adsorbe edilen su miktarının yaş halden kuru hale geçişte kaybedilen su miktarından daha az olduğu anlaşılmıştır. Başka bir deyimle, belli bir nisbi nemde odunun ihtiva ettiği su miktarı, kuru halde iken bünyesine su almış ise daha az, yaş halde iken bünyesinden su kaybetmişse daha fazladır. İşte bu hâdiseye Histerez adı verilmekte olup bu husus ağaç malzemenin korunması bakımından çok önemli bulunmaktadır. Başlangıçta iyi bir şekilde kurutulmuş bir ağaç malzeme rutubetli bir atmosfere hiç bir zaman yaş haldekinden daha fazla su absorbe edemez.

Taze haldeki küçük odun numuneleri lif doygunluğu noktasından tam kuru hale kadar kurutulacak olurlarsa ve muhtelif nisbi nemlerde denge rutubet miktarları periyodik bir şekilde tayin edilirse (Şekil 2) de de görüldüğü gibi (S) şeklinde bir desorpsiyon eğrisi elde edilecektir. Aynı eğriye benzer bir eğriyi ise numuneleri tam kuru halden lif doygunluğu haline kadar rutubetlendirmek suretiyle elde etmek kabil olacaktır. Bununla beraber her iki eğri birbirinin aynı olmamaktadır. Şekilde de görüldüğü üzere adsorpsiyon eğrisi desorpsiyon eğrisinin altındadır. Bu da ifade etmektedir ki ekstrem haller müstesna bütün nisbi rutubet hallerinde adsorpsiyon eğrisindeki denge rutubet değerleri daha düşük kıymetleri haizdirler.

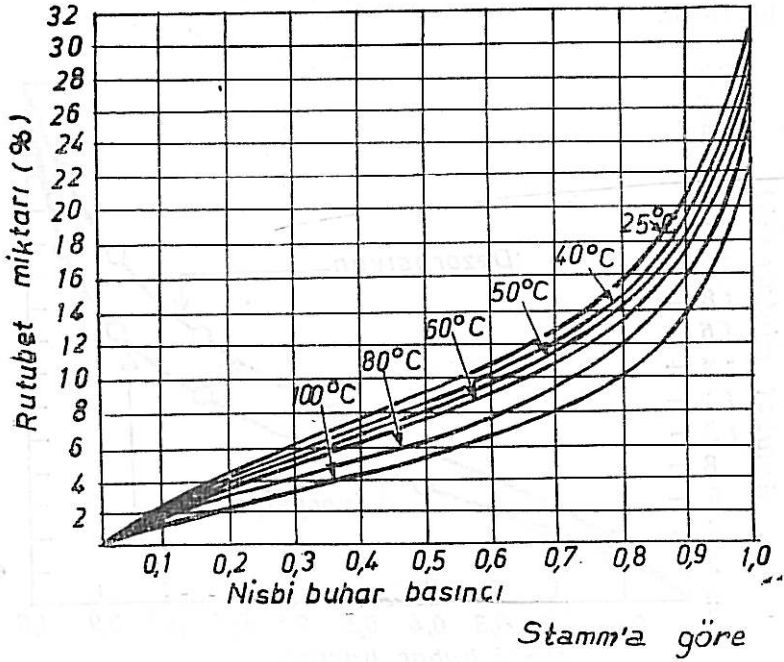
Odunda kuruma ile husule gelen higroskopik suyun kaybedilmesini izah eden bir çok yollar mevcuttur. Genellikle en iyi olarak kabul edilen izah tarzı su moleküllerini hidroksil gruplarına bağlayan sekonder molekül kuvvetlerindeki değişmelere atfedilmektedir. Odun taze halde iken su moleküllerini tutan bütün hidroksil grupları doygun haldedir. Kuruma ilerledikçe su molekülleri atmosfere geçer ve odunda vuku bulan daralma dolayısıyla sellüloz kristalitleri arasında bir yaklaşma olur. Bu yaklaşma ile odunda sellüloz molekülleri arasında doğrudan doğruya bir takım bağanmalar husule gelir. Bu bağlar bazen o kadar büyüktür ki odun tekrar su adsorbe etse dahi bu bağı tamamen ortadan kaldırmak mümkün olamamaktadır. Bu taktirde odun taze haldekenden daha az sayıda su tutabilecek açık hidroksil gruplarına sahip bulunmaktadır. Bu sebeplerdir ki adsorpsiyon eğrisi desorpsiyon eğrisinin daima altında seyretmektedir.



Şekil 2: Sitka Ladininde 25°C de adzorpsiyon ve dezorpsiyon eğrileri.

Su buharının adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın tesiri vardır. Pamuk sellülozu tarafından su buharının adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın tesiri hakkında bir çok araştırmalar yapılmıştır. 10 ilâ 50 C dereceler arasında,

sıcaklıktaki bir yükselme bütün nisbi nem hallerinde denge rutubet miktarlarında bir azalmaya sebep olmaktadır. 60-110 C dereceler arasındaki artışta ise takriben % 85 in altındaki nisbi nemlerde yine bir azalma vuku bulduğu halde, bu nisbi rutubet üzerinde, sıcaklık artışı ile denge rutubet miktarlarında bir artma husule gelmektedir. Sıcaklık artışı ile denge rutubet miktarındaki azalma, sıcaklık arttığında adsorbe edilen su moleküllerinin sathlarda daha kolay bir şekilde buharlaşmaya müteyyil bulunmasından ileri gelmektedir. Daha yüksek ısı derecelerindeki nisbi nemlerde ise ısı eğrilerindeki ani değişme odunun ısı ve rutubet muvacehesinde plastiklik özelliği kazanmasından dolayıdır. Sitka lâdirini odun numunelerinin su buharı desorpsiyonu hakkında gerekli bilgi (Şekil 3) de verilmiş olup 60 C derecenin üzerinde ve % 85 nisbi nem



Şekil 3: Çeşitli ısı derecelerinde Sitka Lâdirinde desorpsiyon eğrileri.

üzerinde daha önce zikredilen değişme gösterilmiş bulunmaktadır. Dikkat edilirse odun bahis mevzuu olduğu taktirde sıcaklıktaki artış bütün nisbi nem hallerinde desorpsiyonda bir azalmaya sebep olmaktadır.

4. Lif doygunluğu noktası :

Kuruma esnasında odun içersinde hücre boşluklarındaki suyun buharlaşmasıyla geniş çapta değişmeler başlar ve hücre çeperlerindeki su bağı azalır. Bu halde odunda mevcut su, hücre çeperine bağlı olan higroskopik sudur. Mekanik özelliklerin çoğunda higroskopik suyun azalması ile bir artma görülür. Hücre boşluklarındaki suyun kaybı ile elektriğe mukavemet yavaş yavaş arttığı yani geçirgenlik azaldığı halde elektriğe karşı mukavemet higroskopik suyun azalması ile çok hızlı bir şekilde artar. Isı sadece higroskopik su bulunduğu müddetçe iletilir. Fakat hücre boşluklarına suyun dolması ile ısı geçirgenliği önemsiz derecelere ulaşır. Ortadaki bu kritik rutubet miktarı, yani hücre boşluklarındaki suyun tamamen yok olduğu, fakat buna mukabil hücre çeperindeki suyun hiç eksilmemiş bulunduğu rutubet haline lif doygunluğu noktası adı verilmektedir. Bu şartlarda odundaki rutubet miktarı tam kuru ağırlığa nisbetle takriben % 28 kadardır. Fakat her ağaç türünde aynı değildir. Yapılan tecrübelerden % 25 ila % 33 arasında bulunduğu tespit edilmiştir.

5. Odun içersindeki en yüksek su miktarının tayini :

Bir odun parçasının tutulabileceği azami su miktarı, içinde mevcut odun maddesi miktarı ile hücre boşluklarının hacmine bağlı olduğu için bu iki faktörün daha önceden bilinmesinde zaruret vardır. Hücre boşluğu hacmi hücre çeperlerinin şişmiş durumunda hesaplanmalıdır. Bunun bulunması için hücre çeperi maddesinin özgül ağırlığından faydalanılmaktadır. Ortalama olarak hücre çeperi maddesinin özgül ağırlığı 1.50 gr/cm³ olarak alınmaktadır. Farzedelim ki lif doygunluğu noktası % 28 bulunsun. 1 cm³ tam kuru hücre çeperi ağırlığı 1.50 gr olduğuna göre en fazla bunun % 28 i kadar su adsorbe edilmektedir. Bu ise 0.420 gr su eder. Emilme esnasında meydana gelen basınç kuvvetleri dolayısıyla 1 cm³ içersine 1.15 gram su tayik edildiğine göre 0.420 gram su da 0.365 cm³ e sığdırılmaktadır. Bu miktar su hücre çeperi maddesi tarafından adsorbe edildiğinde orijinal kuru hacim artarak 1,365 cm³ yükselecektir. Neticede şişen bir hücre çeperi maddesinin özgül ağırlığı yani hücre çeperi maddesi hacim yoğunluk kıymeti 1,50/1,365=1,099 gr/cm³e baliğ olacaktır. Lif doygunluğu halindeki hücre çeperi maddesi ağırlığı lif doygunluğu veya daha yukarı rutubetteki bir odunun hücre çeperi maddesi tarafından kaplanan hacmin bulunmasında kullanılmaktadır. Meselâ hacim yoğunluk kıymeti 0.359 gr/cm³ olan Uludağ göknarında hücre

çeperi hacmini hesaplayalım. Bu hacim $0.359/1,099=0,327 \text{ cm}^3$ tür. Bunu birden çıkaracak olursak geriye 0,673 kalır. Böylece odunun % 67,3 ünün hava boşluğu olduğu bulunmuş olacaktır. Bu odunun 1 cm^3 ünün ağırlığı 0,359 gram olduğuna göre bunun % 28 i 0.100 gram su dur. Sebrest su taziyik görmeyeceğinden hücre boşlukları 0,673 gr. su ile tamamen dolmuş bulunacaktır. Neticede toplam su ağırlığı $0.100+0.673=0.773$ gramdır. Hacim yoğunluk değeri 0.359 gr/cm^3 olan odunun toplam ağırlığı $0.359 + 0.773 = 1,132$ gram olmaktadır. Bulunan bu değer (1.3) numaraht eşitlikte yerine konacak olursa maksimum su miktarı

$$U_{\max} = \frac{100 (1,132 - 0.359)}{0.359} = \% 215$$

olarak bulunmuş olacaktır.

Şimdiye kadar yapılmış bulunan işlemler bir tek formülde toplanacak olursa

$$U_{\max} = \frac{100 (Y-K)}{K} = \frac{100 [1-(R/1.099) + 0.28 R + R] - R}{R} \quad (4)$$

olduğu görülür. Burada (R) hacim yoğunluk değerini ifade etmektedir.

Şayet bir ağaç türünün hacim yoğunluk kıymeti biliniyorsa o takdirde şu formül yardımı ile azami rutubet miktarını basit bir şekilde hesaplamak mümkün olmaktadır.

$$U_{\max} = 100 \left(\frac{1}{R} - 0.64 \right) \quad (5)$$

Meselâ hacim yoğunluk kıymeti 0.359 gr/cm^3 olan Uludağ göknarında maksimum rutubet miktarı:

$$U_{\max} = 100 \left(\frac{1}{0.359} - 0.64 \right) = \% 214,5 \text{ olarak bulunur.}$$

Herhangi ağaç türüne ait bir tomruğun suya batması için gerekli su miktarını hesaplamak istersek bunun için şu formülden faydalanmamız lazımdır:

$$U = \frac{100 (1 - R)}{R} \quad (6)$$

Meselâ hacim yoğunluk kıymeti 0.531 gr/cm^3 olan kayın tomruğunun suya batması için gerekli su miktarının bu formüle göre

$$U = \frac{100 (1-R)}{R} = \frac{100 (1 - 0.531)}{0.531} = \% 88.3$$

olması lâzım gelmektedir.

6. Odun içersindeki hakiki su miktarının tayini :

Odun içersindeki su miktarı tam kuru ağırlığın yüzdesi olarak ifade edilecek olursa nisbi ölçü belirtilmiş bulunmaktadır. Halbuki birim hacimdeki hakiki su miktarını bulmak istersek şu formülden istifade etmek gerekmektedir.

$$U_b = \frac{U.R}{100} \quad (6.1)$$

Buradaki (U_b) birim hacimdeki su miktarıdır. (U) yüzde rutubet miktarı olup tam kuru ağırlığa nisbetle bulunmuş değerdir. (R) ise hacim yoğunluk kıymetidir. Belirli bir hacimdeki toplam su miktarı ise

$$U_b = \frac{U.R.V}{100} \quad (6.2)$$

formülü ile hesaplanabilmektedir. Burada (V) odun hacmini ifade etmektedir. Bu formülden istifade etmek suretiyle iki değişik rutubet arasında odunda mevcut su miktarı da kolayca bulunabilmektedir. Bu takdirde (U) yerine büyük rutubet miktarından küçük rutubet miktarını çıkardıktan sonra elde edilen değer konmaktadır. Yani formülümüz

$$U_b = \frac{R.V. (U_2 - U_1)}{100} \quad (6.3)$$

şeklinde olacaktır. Bir misâl olarak $2 \times 4 \times 12 \text{ cm}$ boyutlarında bir kayın odunu içersindeki su miktarını bulalım. Kayın odununun hacim yoğunluk kıymeti 0.531 gr/cm^3 ve rutubet miktarı ise $\% 110$ olsun. Bu numunede

$$U_b = \frac{2 \times 4 \times 12 \times 0.531 \times 110}{100} = 56.064 \text{ gr}$$

su vardır.

7. Ağaç malzeme de su alma ve verme esnasında vuku bulan daralma ve genişleme olayları (çalışma) :

Bütün higroskopik maddelerde olduğu gibi odunda da su kaybı ile bir daralma ve su alınması ile bir genişleme meydana gelmektedir. Daralma ile birlikte çarpılma, çukurlaşma, çatlama ve yarılmaya gibi bir takım kusurlar da husule geldiğinden bu husus odunun mahzurlu tarafını teşkil etmektedir. Odunda vuku bulan daralma ve genişlemeye genellikle çalışma tabir edilmektedir. Çalışma, odunun bünyesine su alma veya bünyesinden atmosfere su verme suretiyle boyutlarında meydana gelen artma ve azalma olarak tarif edilebilir.

Su daha önce de belirtildiği gibi odun içersinde sadece hücre zarındaki amorf kısımlarda ve sellüloz kristalitlerinin sathları üzerinde adsorbe edilmektedir. Bu su herhangi bir şekilde buharlaşırsa meydana gelen sathi çekme kuvvetleri yardımı ile sellüloz zincirleri ile temasta bulunan sahalarda sathi çekme kuvvetleri teşekkül eder ve sellüloz zincirleri birbirine yaklaşır. Bu suretle bilhassa amorf kısımdaki sellüloz zincirleri daha fazla düzgün bir hal alır. Bu yaklaşma olayı sellüloz zincirlerine dik istikametlerde vuku bulmaktadır. Bu da bize çalışma esnasında daralmanın boyuna istikametten ziyade neden liflere dik istikamette daha fazla olduğunu izah etmektedir. Sellüloz zincirleri takriben çaplarının 500-2000 misli kadar uzunluktadır. Bu itibarla zincir uçları arasında adsorpsiyon ve dezorpsiyon dolayısıyla meydana gelen yaklaşma ve ayrılmalar zincirlere dik yöndekilerin ancak % 0.05 ila 0.2 si kadardır. Bundan dolayı sellülozik maddelerde lif boyunca daralma ve genişleme çok azdır. Meselâ normal bir odunda boyuna daralma % 0,1 ila 0.3 arasında iken liflere dik istikamette % 3.0 ila 10.0 arasında değişmektedir.

Araştırmalar göstermiştir ki, rutubet miktarındaki farklılıklar dolayısıyla boyutlarda meydana gelen değişmeler az çok hücre çeperinin rutubet muktevasındaki gelişme ile doğru orantılıdır. Bu itibarla fazla miktarda hücre çeperini ihtiva eden ağaç türleri odunları daha fazla su adsorbe ettiklerinden özgül ağırlığı hafif olanlara nazaran daha büyük değişme gösterirler. Meselâ, özgül ağırlığı 0.63 gr/cm^3 olan bir odun numunesi tam kuru hale getirilecek olursa hacimdeki değişme %16 olduğu halde, adı geçen odun numunesinin özgül ağırlığı 0.36 gr/cm^3 olsa idi hacim azalması % 9 olacak idi. Bu münasebet şu formülle ifade edilmektedir:

$$\beta_v = R.Ue \quad (7.1)$$

Burada (β_v) hacim daralma yüzdesi, (R) hacim yoğunluk kıymeti ve (U_e) ise lif doygunluğu rutubet miktarıdır.

Ancak hacim daralma yüzdesi bu formül yardımı ile bulunacak olursa elde olunan neticelerin tamamen hakikate uymadığı yine yapılan tecrübelerle öğrenilmiştir. Hakiki değerler, formül yardımı ile bulunanların biraz altındadır. Daha önce de belirtildiği üzere bu formüle göre odunda hacim genişlemesi ve daralması hücre çeperindeki rutubet kaybı veya rutubet kazanılması ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu hal hücre boşluklarının rutubet değişmesi ile sabit kaldığı faraziyesine dayanmaktadır. Ancak bu durumun tamamen böyle olduğu düşünülemez. Çünkü kuru bir odun parçası lif doygunluğu haline getirilecek olursa hücre boşluklarının çapları az da olsa bir miktar artar ve hücre çeperlerinin kalınlıkları ise adsorbe edilen su miktarı ile orantılı olarak fazlalır. Böylece hücre boşluklarında değişmeler meydana gelmekte, fakat bu değişmeler o kadar küçüktür ki boyutlardaki değişmelerde önemli bir rol oynamamaktadırlar.

Odunda çalışma odun sellüloz yapısından ileri gelmektedir ve bilhassa sekonder çeperdeki yapı buna tesir etmektedir. Zira sekonder çeper primer çeperden çok daha kalındır. Hücrede primer ve sekonder çeper anisotropik yapıdadır. Bu çeperlerin başlıca yapı maddesi sellüloz olup bunlar çeper içersinde uzun zincir molekülleri halinde bulunmaktadır. Bu uzun zincir moleküllerinin 100 veya daha fazlası bir araya gelerek bir fibril teşkil ederler. Bu fibril içersinde sellüloz molekülleri birbirlerine paralel olarak dizilmişlerdir. Ancak bazen sellüloz zincirleri bu paralel kısımlardan ayrılırlar. Buralarda artık bir paralellikten bahsetmek mümkün olamaz. Paralel kısımlar dışındaki bu gayri muntazam kısımlara amorf zon adı verilmektedir. Sellüloz zincirleri hem paralel ve hem de amorf kısımlardan geçebilmektedirler, fakat umumiyetle paralel zonlarda nihayet bulurlar. Bu paralel kısımlarda kristalitler olarak bilinmektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi hücrede primer çeper o kadar incedir ki onun içersinde husule gelen rutubet değişmeleri sekonder çeperdekilere nisbetle çok küçüktür. Sekonder çeperde ise üç tabaka mevcuttur. Bunlar (S_1) en dış tabaka, orta tabaka (S_2) ve hücre lümeni tarafındaki iç tabaka (S_3) tür. İç ve dış tabakalarda sellüloz fibrilleri hücre eksenine az çok dik vaziyette olup Helezoni bir şekilde seyretmektedirler. Orta tabakada ise fibriller aksine hücre eksenine çok az paralel bir şekilde helezonî olarak seyrederler. Tabiatıyla bu durum sellüloz zincirlerinin paralel olduğu kısımlarda bu şekilde olup, amorf zonlarda böyle de-

ğildir. Sekonder çeperdeki amorf kısımlar kısa boşluklar olarak su adsorbe etmektedirler. Suyun kristal kısımlarda tutulması ise sadece satırlarda vuku bulmaktadır. Kristal kısımların uzunluğu genişliklerinden daha fazladır. Bundan dolayı su kaybı veya kazanılması ile meydana gelen en büyük ölçü değişmeleri tabiatıyla fibrillerin uzun eksenlerine dik ve dolayısıyla hücre eksenine dik istikametlerdedir. Şayet sekonder çeperde üç tabakada da fibrillerin gidişi aynı istikametlerde olsa idi hücre boyu istikametinde, sekonder çeperdeki değişmeler çeper kalınlığı ile orantılı olacaktı. Ancak bu şart tahakkuk etmemektedir. Zira sekonder çeperin dış ve iç tabakalarındaki fibrillerin istikameti orta tabakadakilere diktirler. Böylece az da olsa boyuna istikamette de çalışma vuku bulunmaktadır.

Boyuna daralma :

Yukarıda belirtildiği gibi odunda lif boyunca daralma ve genişleme çok az miktarda meydana gelmektedir. Bundan dolayı lif boyunca hücre çeperinde vuku bulan değişme enine değişmeye nisbetle nazarı itibara alınmayabilir. Odun içerisindeki hücrelerin pek çoğu uzun, ince uçlu ve üst üste binmiş durumdadırlar. Öz ışınları ise bu boyuna elemanlara dik olarak uzanmaktadırlar. Fakat bunlar rutubet farklılıkları ile ya çok az veya hiç değişme göstermezler. Normal odunda daralma yaş ölçülere nisbetle takriben % 0,1 - 0,6 arasında bulunmaktadır. Basınç odununda ise fibril istikameti S₂ tabakasında 45 dereceye çıktığı için daha yüksek bir boyuna daralma müşahade edilmesi mümkün olmaktadır. Boyuna daralmalar enine daralmaların 1/10-1/20 si kadardır.

Radyal ve teğet daralmalar :

Su alma ve su verme suretiyle teğet istikamette meydana gelen çalışma miktarı radyal istikamettekinin 1,5 ila 2,5 misli büyüklüktedir. Teğet istikamette taze halden tam kuru hale gelinceye kadar vuku bulan değişme % 6,0 - 11,8, radyal istikamette ise % 2,5 - 6,8 arasında bulunmaktadır. Genellikle düşük değerler hafif odunlara, yüksek değerler ise ağır odunlara aittir. İbrelî ağaçlarda teğet daralma ile radyal daralma arasındaki münasebet 1,86, halkalı traheeli ağaç türlerinde 1,77 ve dağınık traheelilerde ise 1,80 olarak bulunmuştur. Amerikada Duglaz göknarının % 30 rutubetten tam kuru hale kadar olan radyal ve teğet yönlerdeki daralma miktarları grafikte gösterilmiş bulunmaktadır.

Daralma miktarlarının tespitinde boyuna daralma 30×30×100 mm ebadındaki, teğet ve radyal daralma ise 30×30×15 mm ebadındaki nu-

munelerin evvelâ yaş ve sonra kurutma dolaplarında 103 ± 2 C derecede tam kuru hale getirildikten sonraki ölçülerinin şu formüllerde yerine konulması ile tayin edilmektedir.

$$\text{Boyuna istikameti } \beta_1 = \frac{m_1 (\text{yaş}) - m_2 (\text{kuru})}{m_1 (\text{yaş})} \times 100 \quad (7.2)$$

$$\text{Radyal istikamette } \beta_r = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (7.3)$$

$$\text{Teget istikamette } \beta_t = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (7.4)$$

Hacim daralması ise % 8,5 - 18,8 arasında değişmekte olup her üç daralmanın toplamına yakın bir değerdedir ve pratikte

$$\beta_v = \beta_e + \beta_r + \beta_e \quad (7.5)$$

formülü yardımı ile hesaplanmaktadır.

Hacim daralma yüzdesi değerleri yardımı ile ise (α_v) hacim genişleme yüzdesi tayin edilmektedir.

$$\alpha_v = \frac{\beta_v}{1 - \beta_v} \quad (7.6)$$

8. Odun içersinde rutubetin hareket tarzı :

Odun içersinde suyun hareketi muhtelif yönlerde başka başkadır. Meselâ, boyuna yönde buhar halindeki suyun hareketi hücrelerin tüp biçiminde bulunmaları dolayısıyla daha hızlıdır. Böylece rutubet hareketi boyuna istikamette enine yöndekinden 12 ila 15 defa daha süratli vuku bulmaktadır ve küp şeklindeki bir odun parçasında liflerin dikine kesilmiş yerleri olan uç satırlarda kuruma yan satırlardan daha çabuk meydana gelmektedir. Maamafih pratikte ekseriyetle ağaç malzemenin uzunluğu kalınlık ve genişliğinden çok daha fazla olduğundan, rutubetin çoğu enine kesitlerden ziyade yan satırlarda kaybolmaktadır. Meselâ 50 cm uzunluk ve 24 mm kalınlığındaki bir tahta parçasında, rutubetin yan satırlardan atmosfere ulaşabilmesi için 12 mm lik bir mesafe varsa da, aynı rutubetin enine kesitlerden dışarı çıkabilmesi için 250 mm lik ve takriben 20 misli bir mesafe kat etmesi icap etmektedir. Hatta bu nisbet çok ince olan kaplanın levhaları için çok daha fazladır.

9. Odun rutubetinin elektrik özellikleri ile ses iletimi üzerine etkisi :

Tam kuru odun mükemmel bir izolasyon maddesidir. Zira tam kuru odunda Doğru akımın spesifik direnci 3×10^{17} ilâ 3×10^{18} Ohm - cm arasında bulunmaktadır. Ancak odun içersinde elektriğin spesifik direnci odunun rutubeti lif doygunluğu noktasına doğru çıktıkça hızla azalmaktadır. Meselâ % 16 rutubette elektriğe karşı koyma kabiliyeti 10^8 Ohm-cm ye düşmekte ve lif doygunluğu noktasında ise bu değer suyunkine yani 10^9 ilâ 10^6 Ohm-cm ye inmektedir. Bu özellikten istifade edilerek elektrikli rutubet ölçme âletleri yapılmıştır, ve % 7 - % 25 rutubetler arasında nisbeten doğru neticeler alınabilmektedir.

Rutubetin odun içersindeki sesin hızına da tesir ettiği tespit edilmiştir. Böylece rutubet arttıkça ses hızının azaldığı müşahade edilmektedir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki tam kuru haldeki bir odun numunesi içersinde sesin hızı 4940 m/s ise, bu değer % 12 rutubetli odunda 4200 ve % 30 rutubetli odunda ise 3830 m/s ye düşmektedir. Burada bir fikir vermek üzere odun içersinde ses hızına ait bazı değerler verecek olursak, liflere paralel istikamette Kayın odununda ses hızının 3412 m/s, Meşe de 4400 m/s, Dişbudakta 3910 m/s, Cevizde 4700 m/s, Çök-narda 5256 m/s olduğu anlaşılacaktır. Diğer maddelerden Demirde 5000 m/s, Camda 5100 - 6000 m/s, Kurşunda 1320 m/s ve mantarda ise 480-530 m/s kadardır.

10. Odunun mekanik özellikleri üzerine rutubetin etkisi :

Odunun mekanik özelliklerinin pek çoğu rutubet arttıkça muayyen nisbetlerde azalma göstermektedir. Tabiatıyla bu hal sadece Lif doygunluğu noktasına kadar olan rutubet halleri için bahis mevzuudur. Daha önce de belirtildiği üzere rutubetteki değişmeler özgül ağırlıkta da değişmeler husule getirir ve netice itibariyle mukavemette de farklılıklar vuku bulur. Rutubet değişmesi ile odun mukavemetlerinde meydana gelen değişmeler % 1 lik bir rutubet değişmesi mukabilinde mukavemette husule gelen değişmenin yüzdesi ile ifade edilmektedir. Meselâ, % 12 rutubette Uludağ göknarının eğilme mukavemeti 708 Kg/cm^2 dir. Bunun % 8 rutubetteki mukavemeti ise daha yüksek olup 828 kg/cm^2 dir. Zira eğilme mukavemetinde yapılan araştırmalara göre % 1 lik bir mukavemet değişmesine karşılık % 4 e kadar bir değişme vuku bulmaktadır. Aşağıdaki formül'den istifade ederek bu değişmeleri hesaplamak kabil olmaktadır.

$$R_2 = R_1 (1 + r)^n \quad (8)$$

$$R_2 = R_1 (1.04)^4 = 708 (1.04)^4 = 828 \text{ Kg/cm}^2$$

Burada (R_1) % 12 rutubette elde edilen gerilmesi, (R_2) % 8 rutubetteki eğilme gerilmesi, (r) % 1 lik bir rutubet değişmesine mukabil gerilmeye meydana gelen farkın yüzdesi ve (n) ise rutubet yüzdesinde ki farktır.

Birleşik Amerikada Madison Orman Mahsulleri Laboratuvarında yapılan araştırmalara göre muhtelif gerilme çeşitlerinde % 1 lik bir değişmeye mukabil gerilmelerde husule gelen farkın yüzdeleri hesaplanarak aşağıdaki değerler elde edilmiştir. Bilhassa havakurusu rutubet hâli olan % 12 rutubetteki gerilme değerlerinin bulunmasında bu kıymetlerden istifade edilmektedir.

	Rutubette % 1 lik bir değişmeye mukabil gerilmeye vuku bulan farklar %
Eğilme gerilmesi	4.0
Eğilmede elastikiyet modülü	2.0
Dinamik eğilme gerilmesi	-0.5
Liflere paralel basınç gerilmesi	6.0
Liflere paralel makaslama gerilmesi	3.0
Liflere dik çekme gerilmesi	1.5
Sertlik	
Radyal veya teğet yönde	2.5
Liflere paralel yönde	4.0

11. Odun içersindeki suyun buhar haline getirilerek dışarı çıkartılması için gerekli ısı miktarının bulunması :

Odun içersindeki suyun dışarı çıkartılabilmesi için ısı enerjisinden faydalanılmaktadır. Ağaç malzemeyi açık havada kurutmada ısı enerjisi doğrudan doğruya güneşten temin edilebildiği halde kurutma fırınlarında ki kurutmalarda içersinden su buharı geçirilen radyatörlerden istifade edilmektedir. Sıvı halindeki suyu buhar haline getirmek için gerekli ısı miktarı şu formül yardımı ile tayin edilmektedir.

$$Q = 596,73 - 0,601 T \quad (9)$$

Burada (Q) bir gram suyun buharlaştırılması için lüzumlu ısı miktarı ve (T) ise suyun buhar haline geçmesi için gerekli ısı derecesidir.

Bunu bir misâl ile belirtecek olursak konuyu daha kolayca anlamak mümkün olacaktır.

1 m³ taze halde yani % 68 rutubetteki kayın odununun % 18 rutubete kadar kurutulabilmesi için sarf edilecek ısı miktarı ne kadar olacaktır?

Kayın odununun hacim yoğunluk kıymeti 0.531 gr/cm³ ve kuruma esnasındaki ortalama sıcaklık 18 derece olduğu farzedilirse evvelâ (6.3) numaralı formülden 1 m³ % 68 rutubette kayın kerestesinin % 18 rutubete kadar kurutulduğunda buharlaşan su miktarını gram olarak hesaplayabiliriz.

$$U_b = \frac{V.R. (U_2 - U_1)}{100} = \frac{1000000 \times 0,531 \times (68 - 18)}{100} = 265500 \text{ gr}$$

Bir gram suyun 18 C derecede buharlaştırılması için gerekli ısı miktarı ise (9) numaralı formül yardımı ile bulunur. Bölyece $Q = 596,73 - 0,601 \times 18 = 585,91 \text{ cal.}$ ve bu maksat için $265500 \times 0,58591 = 155559 \text{ Kilo}$ kaloriye ihtiyaç bulunduğu hesaplanmış olur.

12. Odundaki rutubet miktarının ısı değeri üzerine etkisi :

Odunun yakılması ile elde edilen ısı değeri içersindeki lignin muhtevası, reçine, tanen miktarı v.s. ile ilgili olarak değışmekte ise de bunun üzerine rutubet miktarının da etkisi vardır. Zira bir kısım ısı enerjisi de bünyedeki rutubetin çıkarılması ve buhar haline getirilmesi için sarfedilmekte ve dolayısıyla rutubetli odunlarda kalori değeri azalmaktadır. Meselâ tam kuru halde 1 Kg odunun yakılması ile elde edilen kalori değeri 4200 Kcal ise % 100 rutubette bu değer 1800 e kadar düşmektedir. Pratikte rutubet miktarının elde edilen kalori üzerine etkisi dolayısıyla ısı değerinin hesaplanmasında aşağıdaki formülden istifade edilmektedir.

$$H_2 = H_1 \times \frac{100 - (U/7)}{100 + U} \quad (10)$$

Burada (H₂) odunun muayyen bir rutubetteki ısı değerini, (H₁) % (O) rutubetteki ısı değerini, (U) ise yüzde olarak odunun rutubet miktarını ifade etmektedir.

L İ T E R A T Ü R

- Berkei, A. 1931 : Ağaç teknolojisi ders notları (Roto baskısı).
- Bozkurt, A. Y. : 1966. Odunsu bir hücrenin meydana gelişi ve hücre çeperinin yapısı. Orman Fakültesi Dergisi Seri B, Cilt XVI, Sayı 1.
- Brown, H. P., Panshin, A. J. Forsaith, C. C. 1949 : Textbook of Wood Technology, Volume II. McGraw-Hill Book Com. New York.
- Panshin, A. J. and De Zeeuw, C. : Textbook of Wood Technology, Volume 1. Second edition, Mc Graw - Hill Book Com, New York.
- Stamm, A. J. : 1964. Wood and Cellulose Science. The Ronald Press Com. New York.
- Zuber, K. 1961 : Denel Fizik. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınlarından No. 43. (Çeviren: Cavit Ener).