AĞAÇ TEKNOLOJİSİ

Prof. Dr. A. Yılmaz BOZKURT • Prof. Dr. Nurgün ERDİN

İSTANBUL 2011

Bozkurt, A. Yılmaz
Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı / A. Yılmaz Bozkurt, Nurgün Erdin.—2. bs.—İstanbul : İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, 2011.

X, 372 s.: res., şkl., tbl.; 24 cm. —(İstanbul Üniversitesi Yayınları; 5029. Orman Fakültesi yayınları; 445.)

ISBN 978-975-404-900-8

Kaynakça ve dizin var.

1. AĞAÇ TEKNOLOJİSİ. 2. ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ. 3. ODUN MEKANİĞİ VE TEKNOLOJİSİ. 4. ORMANCILIK - TÜRKİYE - ÜNİVERSİTE DERS KİTAPLARI. I. Erdin, Nurgün. II. Eser adı. III. Dizi adı.

İstanbul Üniversitesi Yayın No: 5029
Orman Fakültesi Yayın No: 445
I S B N No: 978-975-404-900-8

AĞAÇ TEKNOLOJİSİ

DERS KİTABI

Prof. Dr. A. Yılmaz BOZKURT • Prof. Dr. Nurgün ERDİN

İ.Ü. Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü

İstanbul 2011

İstanbul Üniversitesi
Basım ve Yayınevi Müdürlüğü
İSTANBUL – 2011
Tel: (0212) 631 35 04-05 – (0212) 440 00 00 / 26500

ÖNSÖZ

Ağaç Teknolojisi ders kitabı, Orman Fakültesi Orman Mühendisliği bölümü için hazırlanmıştır. Ağaç Teknolojisi, ağaçtan elde edilen odun hammaddesi ve ağaç malzemenin özelliklerini tanıtan, daha rasyonel kullanımı için yol gösteren bir bilim dalıdır. Ağaç Teknolojisinin temelini oluşturan teorik ve uygulamalı bilimsel araştırmalar, özellikle II. Dünya Savaşından sonra büyük gelişmeler göstermiştir. Böylece odun hammaddesine daha geniş kullanım alanları bulunmuş ve yeni endüstri dallarının ortaya çıkması sağlanmıştır.

Orman Mühendisliği bölümü öğrencileri, Orman Botaniği, Toprak İlmi, Orman Ekolojisi, Fitopatoloji, Silvikültür ve Orman Amenajmanı gibi derslerde ağacın yetiştirilmesini ve odun hammaddesi üretimini öğrenmektedir. Ancak, üretilen odun hammaddesinin özelliğinin ne olduğu, yetişme yeri şartlarının hammadde özelliklerine etkisi, teknolojik özellikleri, kurutma ve korunmasına ilişkin bilgiler bu ders içersinde verilecektir.

Ağaç Teknolojisi ders kitabı daha önce Prof. Dr. A. Yılmaz BOZKURT tarafından hazırlanarak 1978–1995 yılları arasında okutulmuştur. Bu kitap ise, son yıllardaki güncel konular ile gelişmeler dikkate alınarak tümüyle yeniden düzenlenmiş ve 16 bölüm olarak hazırlanmıştır. Kitapta: Makroskopik Özellikler, Mikroskopik Özellikler, Odunun Kimyasal ve Ultramikroskopik Yapısı, Odunsu Hücrelerin Oluşumu, Kabuk Oluşumu ve Yapısı, Dal ve Kök Odunu, Ağaç Yaşı ile Odunun Yapısında Meydana Gelen Değişmeler, Gövde Odununda Büyüme ile İlgili Kusurlar, Ağaç Malzemenin Dayanıklılığı, Odun-Su İlişkileri, Özgül ağırlık, Yoğunluk ve Hacim ağırlık, Mekanik Özellikler, Ağaç Malzemenin Kurutulması ve Buharlanması, Ağaç Malzemenin Korunması konuları işlenmiş ve son bölümde ek olarak pratik bazı önemli bilgiler verilmiştir. Kitabın öğrencilere yararlı olması ve amacına ulaşabilmesi en büyük dileğimizdir.

Yazıların daktilo edilmesinde titiz ve dikkatli çalışmaları için Sayın Ali ALTUNKAYA'ya teşekkürlerimizi sunarız.

Bahçeköy, 1995

A. Yılmaz BOZKURT
Nurgün ERDİN

İKİNCİ BASIM
ÖNSÖZ

Ağaç Teknolojisi ders kitabı Orman Fakültesi Orman Mühendisliği bölümü öğrencileri için, endüstriyel bir hammadde olarak günümüzde önemi giderek artan odunun anatomik, fiziksel, kimyasal yapısına ilişkin giriş bilgilerini, önemli odun özelliklerini ve temel odun ürünlerinin yapısı ile özelliklerini içeren bir ders kitabı olarak hazırlanmıştır. Ayrıca, kitap inşaat ve mimarlık fakültesi öğrencileri için malzeme bilimi açısından ahşap ürünlerin özellikleri hakkında giriş bilgilerini de içermektedir. Kitap 6 temel kısımdan oluşmaktadır.

1. Kısımda (Bölüm 1) iyi yönetilen ormanların sürdürülebilen, kaynağı tükenmeyen hammadde kaynakları olduğu ve buradan elde edilen ağaç malzemenin genel karakteristikleri özetlenmiştir.

2. Kısımda (Bölüm 2–7) ağaçtan çıkarılan gövde, dal ve kök odunlarının anatomik–kimyasal yapıları, teşhiste yardımcı olacak özellikleri ve endüstriyel hammadde olarak kullanılan odunda bu yapısal özelliklerin etkileri açıklanmıştır.

3. Kısımda (Bölüm 8–10) odun yapısında meydana gelen değişiklikler,

4. Kısımda (Bölüm 11–13) ağaç malzemede fiziksel ve mekanik özelliklerin, odunun yapısal özellikleri (anatomik-kimyasal) ile değişimi,

5. Kısımda (Bölüm 14–15) odun özellikleri ve kalitesini iyileştiren ve hizmet ömrünü uzatan modifiye işlemler,

6. Kısımda (Bölüm 16) ise yerli ağaç türlerinin yayılışları, teknolojik özellikleri ve kullanış yerleri incelenmiştir.

Çağdaş toplumların ekonomisinde orman kaynaklarının rolünün fark edilmesi, Ağaç Teknolojisine son yıllarda muazzam bir güç kazandırmıştır. Ağaç Teknolojisi konusunda temel bilgileri içeren bu kitabın öğrencilere yararlı olması en büyük dileğimizdir.

Bahçeköy, 2011

A. Yılmaz BOZKURT
Nurgün ERDİN

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ağaç malzeme, insanlık tarihinin başlangıcından itibaren yakacak, silah ve barınak olarak insanlara hizmet vermiş, günümüzde ise gelişen teknolojilerle kullanım alanı sayısı çok artmıştır. Bugün odun hammaddesinin 10.000 civarında kullanım yeri bulunduğu bildirilmektedir. Örneğin; bina yapımı, mobilya ve dekorasyon işleri, parke, müzik aleti, tel direği, travers olarak masif halde kullanıldığı gibi, kaplama levha, kontrplak, yonga levha, lif levha, kâğıt ve karton üretiminde de kullanılmaktadır. Ayrıca, sunî ipek, selofan, fotoğraf filmleri, patlayıcı maddeler, sentetik sünger, etil alkol, metanol, asetik asit, biyoyakıt, hayvan yemi, sentetik vanilin v.b. birçok maddenin üretilmesinde odun hammaddesinden yararlanılmaktadır.

Ağaç malzemenin bu kadar çok kullanılış yeri bulunmasının nedeni, onun anatomik yapısı, fiziksel–mekanik özellikleri ve kimyasal bileşiklerinden kaynaklanmaktadır.

1.1 Ağaç Malzemenin Karakteristik Özellikleri

Herhangi bir malzemenin karakteristik özelliklerini bilmek, onun en iyi şekilde değerlendirilebilmesi için önemlidir. Söz konusu ağaç malzeme olduğunda hücre yapısı, hücre oluşumu ve karmaşık hücre çeper yapısının davranışı nedeniyle karakteristik özelliklerinin bilinmesi daha da önem kazanmaktadır. Çünkü ağaç malzeme, diğer ana mühendislik malzemelerinden daha karmaşık yapıdadır. Strüktürünü açıklayan bazı karakteristik özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

(1) *Ağaç malzeme odunsu hücrelerden oluşur.* Ağaç malzemeyi oluşturan hücrelerin çeperi organize olmuş selülozik polimerler, selülozik olmayan karbonhidratlar ve bunları güçlendiren lignin matristen oluşur. Bu nedenle kısa süreli yüklemelerde hücre çeperindeki selüloz elâstik, uzun süreli yüklemelerde ise lignin plâstik davranış göstermektedir.

(2) *Ahşap anizotropik yapıdadır.* Ağaç malzeme anizotropik yapıya sahip olduğundan üç ana yönde (boyuna, teğet, radyal) değişik fiziksel özellikler gösterir. Bunun nedeni, hücre çeperindeki selülozun yapısı ve düzeni, hücrelerin ağaç eksenine paralel ve dik yönde uzanmaları ve ağaç gövdesi içersinde simetrik olarak yerleşmelerinden kaynaklanır.

(3) *Higroskopik bir hammaddedir.* Ağaç malzeme atmosferdeki rutubet ve sıcaklık değişiklikleri ile rutubet kaybeder veya kazanır. Anizotropik (yönlere göre değişen) yapıya sahip olduğundan, rutubet değişiklikleri üç ana yönde farklı boyutsal değişikliklere neden olur. Boyut değişikliği boyuna yönde ihmal edilecek kadar az gerçekleşirken, radyal ve teğet yönlerde fark edilebilir ölçülerde olur. Ayrıca, rutubet miktarı ve boyutlarındaki değişmeler odunun elektrik iletkenliği gibi bazı fiziksel özelliklerini ve mekanik özelliklerini (mukavemetini) de etkiler.

(4) *Ağaç malzeme yanar.* Ağaç malzemenin yanma özelliği, göreceli olarak her yerde bulunması ve yenilenebilen doğal bir kaynak olması nedeniyle uzun yıllar dünya ekonomisinde onu ana yakıt kaynaklarından biri haline getirmiştir. Yanma ile odundan temel kimyasal maddelerin sağlanma imkânı da vardır. Örneğin; biyoyakıt, alkoller ve günümüzde ham petrolden elde edilen benzer maddelerin yerini alabilen gaz bileşikler gibi. Hafif konstrüksiyonda kullanıldığında ise yanabilirliği koruma önlemleri ile geciktirilebilir.

(5) *Ağaç malzeme biyolojik olarak geri dönüştürülebilir (bozunabilir).* Ağaç malzemenin kimyasal bileşenleri mantarlar, bakteriler ve bazı böcekler (termitler) gibi organizmalar tarafından basit şekerlere ve lignine indirgenebilir.

(6) *Dayanıklı bir malzemedir.* Uygun şartlar altında kullanıldığında, odunu tahrip eden faktörler karşısında uzun yıllar dayanıklılık gösterir. Rutubetten ve böceklerden korunarak yüzlerce, binlerce yıl dayanabilir. Örneğin; Ankara yakınlarındaki Kral Gordion mezarında (M.Ö. 800) sağlam ağaç kirişler tespit edilmiştir. Japonya'da da eski bir tapınakta (Todaiji Temple M.S. 734) sağlam kirişler bulunmuştur. Binalarda uygun tasarımlar yapılarak ve iyi kurutulmuş ağaç malzeme kullanarak mantar ve böcek zararları önlenebilir. Odunu tahrip eden biyolojik faktörleri kontrol altına almak güç olduğu takdirde, uygun emprenye madde ve metotları kullanılarak, ağaç malzemenin uzun süre hizmet vermesi sağlanabilir.

(7) *Ağaç malzeme bazı kimyasal maddelerle tepkimeye girmez.* Böyle bir özelliğe sahip olduğundan, kimyasal maddelerin çözünerek korozyona neden olmasına karşı dayanıklılığın önemli olduğu birçok endüstriyel uygulamalarda kullanılması uygundur. Ancak, uzun yıllar açık hava şartlarında kaldığında hidrolize olabilir ve oksidasyona uğrayarak aşınabilir. Atmosfer koşullarında yüzeyinin yavaş yavaş erozyona uğradığı, 100 yılda yaklaşık 6 mm kadar aşındığı tespit edilmiştir. Aşınmayı önleyebilmek için koruyucu bir yüzey örtücü sürülmesi yeterlidir. Bu tür koruma ayni zamanda dekorasyon çalışmalarına değer kattığı gibi, ağaç malzemenin yüzeyindeki gözenekliliğin de azaltılması avantajlarını taşımaktadır.

(8) *Ağaç malzemenin izolasyon özelliği mükemmeldir.* Hücrelerden oluşan yapısı ve hücreler içerisinde hava bulunması nedeniyle son derece mükemmel bir izolasyon malzemesidir. Örneğin; tuğladan 6, camdan 8, eşit kalınlıktaki betondan 15, çelikten 390, alüminyumdan 1700 defa daha fazla ısı izolasyonu sağlar. İyi yapılmış ahşap pencere doğramaları ısı iletimini ve soğuk havalarda buhar yoğunlaşmasını azaltma bakımından, alüminyum doğramalara göre çok daha üstündür. Isı izolasyon özelliği sadece kışın soğuğa karşı değil, yazın sıcağa karşı da etkilidir. Yani önemli derecede termik izolasyon özelliklerine sahip bir malzemedir. Kuru halde iken elektriği iletmez. Bu özelliği elektrik direği olarak kullanımında önemlidir.

1.2 Ağaç Malzeme Özelliklerinde Değişmeler

Ağaçlar, yetişme ortamlarında fizyolojik bakımdan geniş çapta değişik etkiler altında kaldığından, tespit edilen özellikleri ağaçtan ağaca, hatta aynı ağacın çeşitli kısımlarında değişmektedir. Bundan başka ağaç türüne bağlı olarak, elde edilen malzemenin anatomik, fiziksel ve kimyasal özellikleri de farklılık göstermektedir. Bu durumda bir kullanış yeri için seçilen ağaç malzemelerin çok sayıda değişik özellik ve karakteristiklere sahip olması söz konusudur.

1.3 Ağaç Malzemenin Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanılması

Endüstriyel hammadde olarak fosil yakıtların (petrol, kömür, doğal gaz) kaynaklarının sınırlı olması ve petrol fiyatının giderek artması, odunun önemini tekrar ortaya çıkarmaktadır. Örneğin; son zamanlarda atık odundan biyoyakıt ve alkol elde edilmesi metotları geliştirilmiştir. Ayrıca, halen petrolden elde edilen bazı sentetik maddeler için hammadde kaynağı olarak odunun kullanılması,

odunun diğer hammaddelere karşı alternatif olarak ele alınmasının önemini artırmıştır. Çünkü ağaç malzeme yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir.

Kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrisinde hammadde olarak odunun üstünlüğü tartışılamaz. Modern toplumun artan kâğıt ve kâğıt hamuru ürünleri taleplerini karşılayabilecek odun hammaddesinden başka doğal bir kaynak yoktur. Günümüzde kâğıdın oduna rakip sentetik bir malzemeden üretilebilmesi, özellikle rakip malzemelerin üretimi için kimyasal madde sağlamak zorunda olan petrolün sınırlı kaynakları dikkate alındığında, imkansız gibi görünmektedir.

1.4 Ağaç Malzemenin Konstrüksiyonda Kullanımı

Ağaç malzeme masif halde bina yapımında, mobilya, enerji nakil hatları, nakliye araçları ve diğer bir çok alanda kullanılarak, tasarımcı ve kullanıcılara meydan okuyan fırsatlar sunmaktadır. Diğer önemli yapı malzemelerinde bulunan özelliklerden daha fazla çeşitliliğe sahip olması, dünya üzerinde birçok yerde bulunması, çok değişik şekil ve büyüklükte olması, ahşabın konstrüksiyonda kullanımına büyük önem verilmesine neden olmaktadır. Ahşabın bu benzersiz özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

(1) *Basit aletler ve makinelerle kolay kesilip, işlenerek şekil verilebilir.* Sadece fabrikalarda değil, basit atölyelerde de aletler ve makinelerle kolay kesilip, işlenerek, istenilen şekil verilebilir. Çivi, vida ve cıvatalarla birleştirilerek basit aletlerle monte edilebilir. Tutkallarla tüm yüzeyleri yapıştırılarak, makaslama direnci yüksek malzeme üretilebilir. Ayrıca, yapıştırma işlemleriyle çeşitli şekillerde ve uzunlukta büyük lâmine kirişler ve çatı üst kaplama panelleri hazırlanarak binaların çeşitli kısımlarında konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılmaktadır.

(2) *Ağaç malzeme yüksek direnç/ağırlık oranına sahiptir.* Ağaç malzeme ince çeperli, tüp şeklindeki hücrelerden oluşmuştur. Hücre çeper maddelerinin yapısından kaynaklanan özellikleri nedeniyle mekanik özellikleri son derece yüksek bir malzemedir. Örneğin; Douglas göknarı, çelikten 2,6 kat daha fazla eğilme direncine sahiptir. Ceviz'in liflere paralel yöndeki çekme direnci çelikten 2,4 kat daha fazladır. Douglas göknarından hazırlanmış 25 cm çapındaki bir tel direğin, yaklaşık 6 m uzunluğunda 10x20 cm enine kesitindeki bir çelik dikmeden %32 kat daha fazla yük taşıyabildiği hesaplanmıştır.

(3) *Ağaç malzeme enerjiyi iyi absorbe eder.* Ağaç malzeme iyi bir enerji emicidir. Ahşap yapıların dinamik yükler altında kaldığında gösterdiği dinamik eğilme direnci (şok direnci), statik yüklere karşı koymasından iki kat daha fazladır. Bu durum benzer koşullar altında kullanılan çelik ve betonarmeden farklıdır. Ağaç malzeme çelikten en az dokuz kat daha iyi enerji absorbe eden bir malzeme olduğundan, depreme ya da ani yüklere karşı tasarlanmış yapılarda (örneğin, uçak gemisi zemin kaplaması, köprüler) önemli bir mukavemet ve ekonomik avantaj sağlar. Yani, ağaç malzemenin çeliğin aksine mükemmel titreşim sönümleme özelliğine sahip olması, bilhassa dinamik yüklere konu olan deprem bölgelerindeki yapılarda ya da köprüler ve diğer yapılarda kullanılmasını ön plâna çıkarmaktadır.

(4) *Sıcaklık artışıyla ağaç malzeme boyutlarında dengelenme ve yangın.* Metal ve ağaç malzeme konstrüksiyon elemanlarında sıcaklık artışı sonucunda meydana gelebilecek boyut değişiklikleri karşılaştırıldığında, sıcaklık artışının ağaç malzemede daha az önemli olduğu görülmektedir. Ağaç malzeme sıcaklık yükselmeleriyle çok az boyutsal değişime uğramakta, liflerine dik yönde metaller kadar veya daha fazla, boyuna yönde ise çok az uzama göstermektedir. Bu durum özellikle binalarda çok önemlidir. Çünkü sıcaklık yükselmesi ile boyutlarda meydana gelen artma, kuruma ile boyutlarda meydana gelen daralmayla dengelenmekte ve direncinde bir miktar artış olmaktadır. Buna karşın metal konstrüksiyonlarda böyle bir özellik bulunmamakta, ısınma ile metal genleşmekte ve direncinde önemli derecede azalma meydana gelmektedir.

Bir yangında sıcaklık 20°C'den 600°C'ye yükseldiğinde, 18 m dayanak açıklığındaki bir ağaç kirişte yaklaşık 39 mm'lik uzama söz konusu olmaktadır. Aslında bu uzamanın dikkate alınmayacak kadar küçük olmasının nedeni yükselen sıcaklıkla beraber ahşabın rutubet kaybederek, daralmasıdır. Bu uzama miktarı kiriş boyunca tüm enine kesitte görülür. Odunun düşük ısı iletkenliği ve kömürleşen yüzeylerinin izolasyon özelliği nedeniyle uzama miktarı bir problem teşkil etmemektedir. Aynı şartlar altında ve aynı uzunlukta bir çelik kiriş ise 125 mm kadar uzamaktadır. Bu durumda çeliğin uzaması ile binanın yan duvarlarında hemen çökme olmamakla beraber, çelik kiriş bel vererek dayanak noktalarından kurtulmakta ve kendi ağırlığını taşıyamayacak hale gelerek binanın çökmesine neden olmaktadır. Ağaç malzemenin bu özellikleri, diğer yapı malzemelerine karşı üstünlüğünü ortaya koymaktadır.

1.5 Ağaç Malzemenin Ticaretteki Önemi

Orman ağaçları taksonomik bakımdan dünyanın çeşitli bölgelerinde farklılıklar gösterir. Cins ve türler bakımından en büyük değişiklik tropik ormanlarda bulunmaktadır. Sıcak ve rutubetli bölgeler, soğuk ve kurak bölgelerden daha çok cins ve türe sahiptir. İğne yapraklı ağaçlar genellikle kuzey yarımküreye, geniş yapraklı ağaçlar ise güney yarımküreye gidildikçe artmaktadır. Ağaç türlerinin sayısı bakımından da iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlar arasında farklılık vardır. Odun hammaddesi elde edilen iğne yapraklı ağaçlar 550 türü, geniş yapraklı ağaçlar ise 20 000 türü kapsar. Örneğin A.B.D.'de 1200, Amazon bölgesinde yaklaşık 5000, Malakka Yarımadasında 2500 ağaç türü bulunmakta, Orta Avrupa tür bakımından en fakir bölge olarak görülmektedir. Ancak, dünya ticaretinde önemli olan türlerin sayısı sadece 226 iken, kullanılabilen türlerin sayısı 1838 kadardır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1: Dünyada Kullanılan ve Ticarette Önemli Olan Ağaç Türleri

Bölgeler	Kullanılabilir tür sayısı	Ticarette önemli olan türler
Afrika	354	67
Asya	709	51
Avrupa	114	26
Avustralya	164	6
Kuzey Amerika	169	15
Orta ve Güney Amerika	328	61
Toplam	**1838**	**226**

Bir ağaç türünün ticarette önemli olması üç kritere bağlıdır. Bunlar:
(a) Ağaç büyüklüğü,
(b) Odun hammaddesi kalitesi,
(c) Bulunabilme miktarıdır.

Burada esas faktör ağacın büyüklüğüdür. Genetik özellikler ve büyüme şartları, ağacın büyüklüğünü etkiler. Örneğin; meşe, kayın gibi birçok geniş yapraklı koru ormanları usulsüz kesimler, yangın ve otlatma nedeniyle baltalık ormana dönüşürse, hammadde bakımından kalitesi düşük ve nispeten küçük ölçülerde ağaç malzeme üretilecektir.

Odun hammaddesi kalitesi, malzemenin çeşitli endüstriyel kullanış yerleri için uygun olup olmadığını belirtmektedir.

Bulunabilme miktarı, belirli bir yerde yetişen ve az miktarda bulunan odun hammaddesinin ticari bir önemi yoktur.

1.6 Ağaç Malzemenin Rasyonel Kullanımı

Ağaçtan elde edilen odun hammaddesinin ancak dörtte biri kullanılmaktadır. Bir kısmı ormanda terk edilmekte, bir kısmı ise üretim sırasında zayiat olarak ayrılmaktadır. Ağaç şekli tamamen silindirik olmayıp, uca doğru inceldiği için liflere paralel yönde biçmede kayıplar olmaktadır. Örneğin; tomruklardan kereste ve kaplamalık levha elde edilmesinde randıman, % 40–50 kadardır. Kâğıt ve selüloz üretiminde % 50 ve daha fazlası atık olarak terk edilmekte, özellikle odunun kimyasal yapısında bulunan ligninden istifade edilemediği gibi, ağaç hacminin % 10–15'i olan kabuktan da fazla yararlanılmamaktadır.

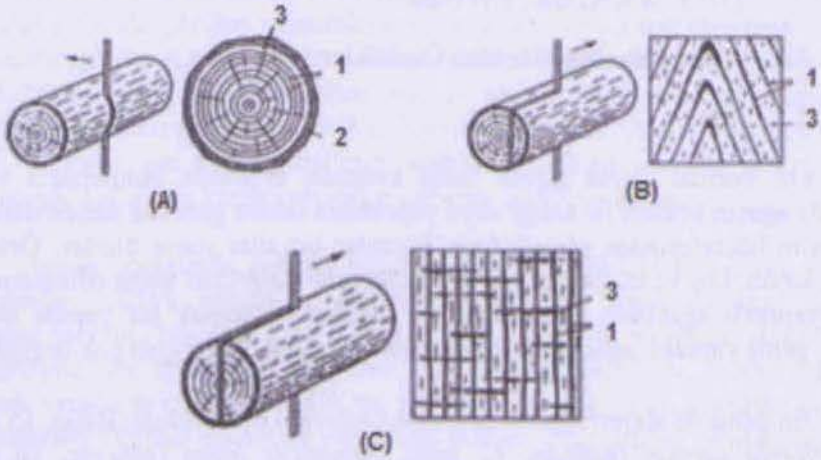
Rutubet değişikliği ile ağaç malzeme boyutlarında da değişiklikler meydana geldiğinden, ağaç türü seçiminde sadece düşük daralma yüzdesi olan bir tür değil, aynı zamanda radyal ve teğet yönlerdeki boyut değişmeleri arasında minimum fark olanlar türler tercih edilmelidir. Boyutsal değişmeler çok önemli olduğundan kullanmadan önce, malzeme kullanım yerine uygun rutubete kadar kurutulmalıdır. Biçilmiş ağaç malzemede daralma radyal yönde teğet yönden daha az olduğu için, özellikle döşemelerde enine yönde daralma ve genişlemeleri azaltmak amacıyla biçerken çeyrek kesiş uygulanmalıdır. Daralma ve genişlemeleri azaltmak için ağaç malzemenin anizotropik boyutsal özelliklerini bilerek, kontrplak yapımı gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, ağaç malzemede orijinal boyutları korumak için polietilen glikol ya da benzeri kimyasal maddelerle emprenye edilerek, boyut stabilizasyonu sağlanmaktadır.

Ağaç malzeme yenilenebilir kaynaklardan (ormanlardan) elde edildiğinden, üretim-tüketim dengesi iyi kurulduğunda bir ülkenin ana hammadde kaynağıdır. Ayrıca, geniş çapta endüstriyel kullanım alanı olduğundan dünyadaki en önemli hammaddelerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle ağaç malzemenin ekonomik kullanımına dikkat edilmelidir. Ağaç malzemenin rasyonel olarak kullanılması, ancak yapısını, özelliklerini iyi tanımakla ve ormanlardan kaliteli hammadde üretmekle mümkündür.

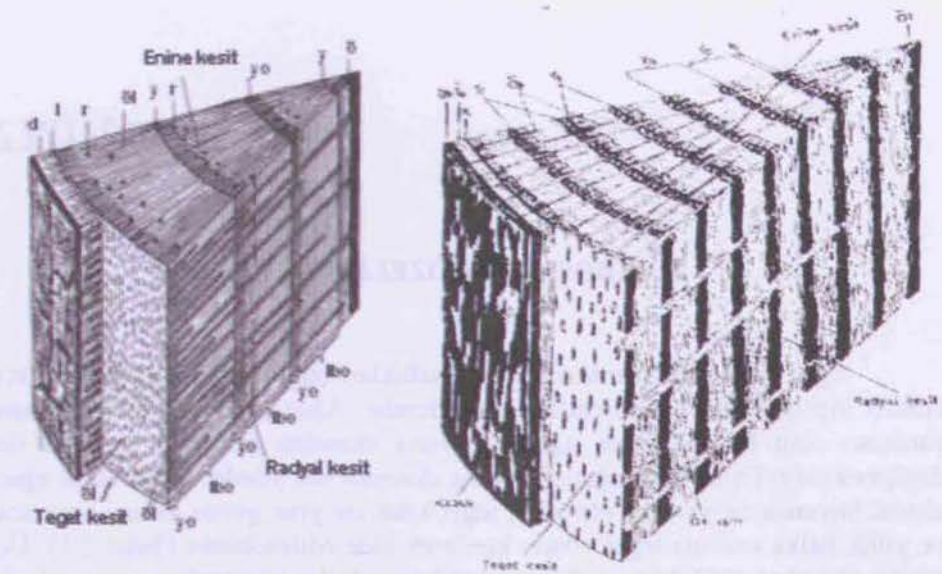
BÖLÜM 2

MAKROSKOPİK ÖZELLİKLER

Ağaç malzemenin makroskopik özellikleri çıplak gözle veya lup (10x) altında incelendiğinde görülebilen özellikleridir. Ağaç malzemenin tanımında yardımcı olan bu özellikler, ağacın boyuna eksenine göre kesiliş şekli ile değişmektedir. Enine kesit ağacın boyuna eksenine dik yönde, radyal kesit ağaç ekseni boyunca ve yarıçap yönünde, teğet kesit ise yine gövde ekseni boyunca ve yıllık halka sınırına teğet yönde kesilerek elde edilmektedir (Şekil 2.1). Üç kesitin de görüldüğü kama şeklinde kesilmiş gövde odununda enine, radyal, teğet kesitlerdeki özellikler Şekil 2.2'de verilmiştir. Makroskopik özellikler sadece kesiş yönleri ile değil, odunun fiziksel özellikleri ile de değişebilmektedir.



Şekil 2.1: (A) Enine, (B) Teğet ve (C) Radyal kesitlerin tomruktan elde ediliş şekli. (1) Yıllık halka sınırları, (2) Kabuk, (3) Öz ışınları.



(A) (B)

Şekil 2.2: (A) Dört yaşındaki bir çam gövde odununda makroskopik yapı. (d) Dış kabuk, (i) İç kabuk, (k) Kambiyum, (io) İlkbahar odunu, (yo) Yaz odunu, (y) Yıllık halka sınırı, (ö) Öz, (öı) Öz ışınları, (r) Reçine kanalı.
(B) Sekiz yaşındaki meşe gövde odununda makroskopik yapı. (Dk) Dış kabuk, (İk) İç kabuk, (K) Kambiyum, (Yh) Yıllık halka, (Yo) Yaz odunu, (İo) İlkbahar odunu, (Ys) Yıllık halka sınırı, (Tr) Trahe.

2.1 Enine Kesitte Görülen Özellikler

2.1.1 Öz

Öz, normal olarak gövde enine kesitinin ortasında bulunmakta ve ilk yıllarda ağacın kökleri ile aldığı suyu yapraklara iletme görevini üstlenmektedir. Paranşim hücrelerinden oluşan özde hücreler bir süre sonra ölürler. Örneğin; meşe, kayın, huş ve kızılağaçta 10 yıl kadar canlı kaldıkları tespit edilmiştir. Öz, iğne yapraklı ağaçlarda çok küçük ve oldukça yeknesak bir yapıda olduğu halde, geniş yapraklı ağaçlarda büyüklüğü, şekli, rengi ve yapısı çok değişiktir.

En geniş öz içeren ağaçlar arasında *Ochroma pyramidale* (Balsa, 15 mm), *Caesalpinia sappan* (Sappan, 12 mm), *Sambucus nigra* (Mürver, 10 mm), *Ailanthus glandulosa* (Kokar ağaç, 10 mm) sayılabilir. Özün şekli de ağaç türlerine göre değişebilir. Meşe ve kestanede yıldız, huş ve kızılağaçta üçgen, ıhlamur, dişbudak ve akçaağaçta elipsoid, ceviz, karaağaç, söğüt ve kızılcıkta dairemsi, teak (*Tectona grandis*)'de kare şeklindedir. Rengi siyahtan beyaza

kadar değişme gösterir. Yapısı itibariyle sert, bölmeli, boş veya sünger şeklinde olup, bu özellik en iyi radyal kesitte görülmektedir (Şekil 2.3).

(A) (B)

Şekil 2.3: (A) *Juglans cinerea*, (B) *Juglans nigra*'da özün yapısı.

2.1.2 Yıllık Halkalar

Gövde enine kesitinde özün etrafında az veya çok belirli, iç içe geçmiş halkalar şeklinde görülen oluşumlara yıllık halka veya artım (büyüme) halkası adı verilmektedir. Ağacın büyüme mekanizması sonucunda her yıl üretilen odun tabakalarının, ağaç gövde şekline uygun olarak paraboller oluşturması ile meydana gelmektedir (Şekil 2.4/A). Tropik bölgelerde yetişen ağaç türlerinde yıllık halkalar her zaman belirgin değildir. Belirgin olması için yetişme bölgesinde yağışlı ve kurak periyotlar birbirini takip etmelidir.

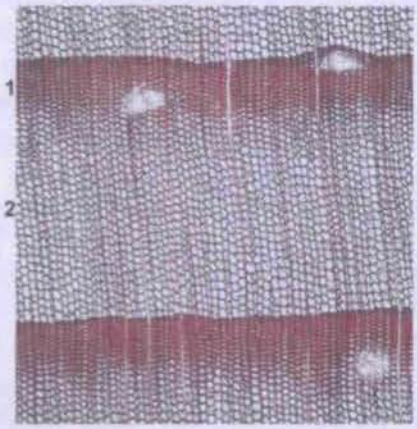
Ilıman bölgelerde yetişen ağaçlarda ise genellikle yıllık halka sınırları belirgindir. Çünkü ağaçlarda vejetasyon mevsimi başlangıcından itibaren ilkbahar mevsimi boyunca hızlı bir gelişme, yaz sonu ve sonbahara doğru yavaş bir gelişme söz konusudur. Böylece yılın bu dönemlerinde oluşan odun da değişik yapıda gelişmektedir. Bir yıl içerisinde oluşan farklı yapıdaki bu odun tabakalarına ilkbahar odunu ve yaz odunu denmektedir. Bu iki tabaka yoğunluk, renk ve yapısal özellikleri yönünden birbirinden ayrılabilirler.

İğne yapraklı ağaçlarda ilkbahar ve yaz odunu tabakaları kolayca ayırt edilirken, geniş yapraklı ağaçlarda bu her zaman mümkün olmamaktadır (Şekil

2.4/B-C). İğne yapraklı ağaçlarda yıllık halkanın koyu renkli kısmını meydana getiren yaz odunu tabakası kalın çeperli, radyal çapları daha küçük ve lümenleri küçük hücrelerden oluşmaktadır. Yıllık halkanın açık renkli kısmı olan ilkbahar odunu tabakasındaki hücreler ise ince çeperli, büyük çaplı ve büyük lümenlidir (Şekil 2.5).

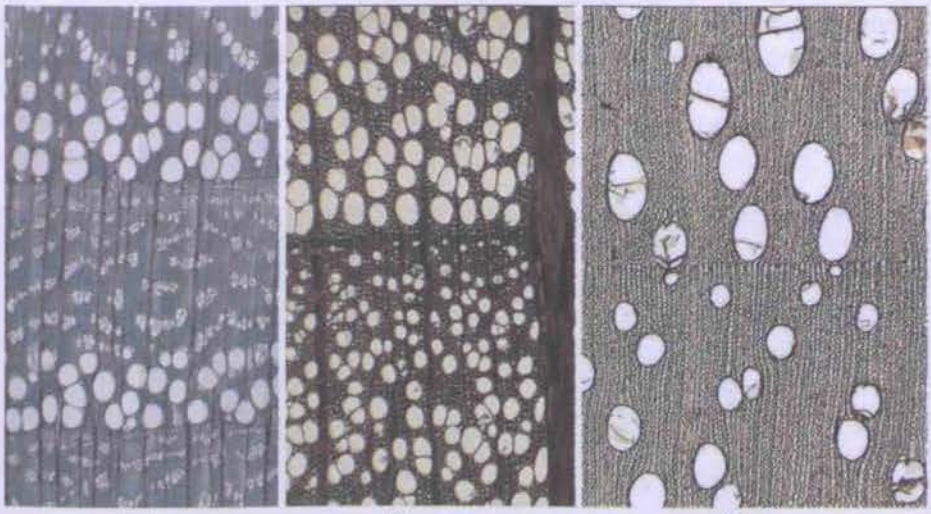
(A) (B) (C)

Şekil 2.4: (A) Ağaçta bir yıllık büyüme, (B) Lâdin ve (C) Meşede enine kesitte yıllık halkalar.



Şekil 2.5: *Pinus sylvestiris*'te ilkbahar odunu (2) ve yaz odunu (1) tabakasındaki hücrelerin (traheidlerin) çeper kalınlıklarındaki farklılık nedeniyle yıllık halka sınırının belirgin oluşu.

Geniş yapraklı ağaçlarda ilkbahar-yaz odunu tabakaları ve yıllık halka sınırı her zaman belirgin olmayabilir. Örneğin; meşe, kestane, dişbudakta olduğu gibi ilkbahar odununda büyük, yaz odununda küçük çaplı traheler bulunursa, yıllık halka sınırları belirgin olmakta ve bu gruba giren ağaçlara halkalı traheliler adı verilmektedir (Şekil-2.4/C, 2.6/A). Kayın, gürgen, huş, kavak gibi bazı yapraklı ağaçlarda ise traheler yıllık halka içersinde hemen hemen aynı büyüklükte ve dağınık düzende olabilirler. Dağınık traheliler adı verilen bu gruba giren ağaçlarda genellikle yıllık halka sınırı belirgin değildir (Şekil 2.6/B). Ceviz, kiraz gibi bazı ağaç türlerinde ise trahelerin dağılışı bu iki grup arasındadır. Yarı halkalı traheli grup adı verilen bu ağaçlarda trahe büyüklükleri ilkbahar odunundan yaz odununa doğru yavaş yavaş küçüldüğünden, yıllık halka sınırının belirgin olup olmayışı daha çok dağınık trahelilere benzemektedir (Şekil 2.6/C).



(A) (B) (C)

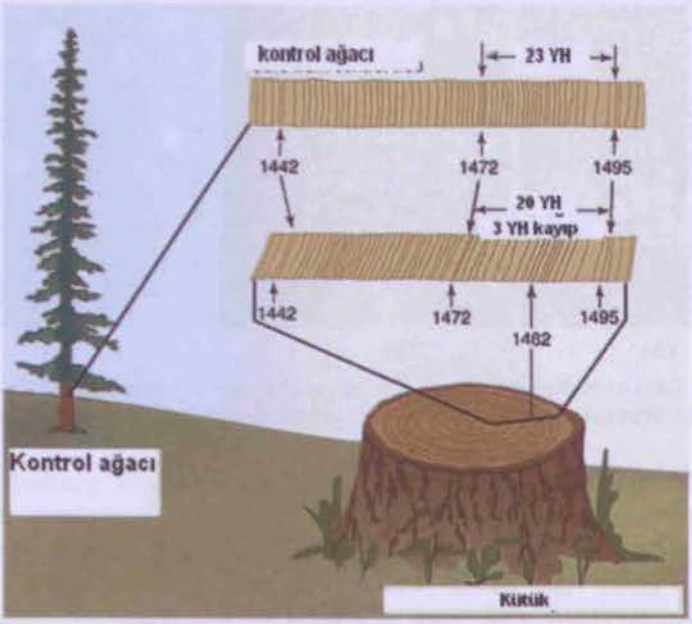
Şekil 2.6: (A) Halkalı (karaağaç), (B) dağınık (kayın) ve (C) yarı halkalı (ceviz) traheli ağaç türlerinde trahelerin yıllık halka içerisindeki dağılımı ve yıllık halka sınırları.

Yıllık halka genişlikleri ağaçlar arasında değişiklik gösterdiği gibi, aynı gövde içerisinde ağaç boyunca ve enine kesitte farklı yönlerde de değişiklik gösterebilmektedir. Genetik yapıları nedeniyle kavak, radiata çamı v.b. bazı ağaç türleri geniş yıllık halka, porsuk, ardıç gibi bazı ağaç türleri ise dar yıllık halka geliştirmektedir. Çok yaşlı ağaçlarda en son oluşan ve enine kesitin dış tarafında bulunan yıllık halkalar çoğunlukla dardır. Kural olarak yıllık halka genişlikleri gölge ağaçlarında, ışık ağaçlarından daha fazla değişim

göstermektedir. Genelde yıllık halkalar gövdenin dip tarafında dar, yukarı doğru gidildikçe daha genişleyerek ağaçta gövde dolgunluğu sağlamaktadır.

Yıllık halka genişliği, esas itibariyle vejetasyon periyodundaki şartlara, toprak özelliklerine, ağaç yaşına, ağacın taç-kök sisteminin serbest olup olmamasına, aralama ve budama gibi silvikültürel işlemlere bağlıdır.

Yıllık halka genişliği meteorolojik olaylarla, özellikle yağış ve sıcaklıkla çok yakından ilgili olduğundan Dendrokronolojik çalışmaların esasını teşkil etmektedir. Yaşayan yaşlı ağaçların yıllık halka genişlikleri geçmiş yıllardaki iklim hakkında bilgi verdiği gibi eski binalardaki ağaç kirişlerin yaşını da belirlemede kullanılmaktadır. Yani, Dendrokronoloji yıllık halkaların incelenmesiyle geçmişteki iklim değişikliklerini tarihleme tekniğidir (Şekil 2.7). Jeolojik ve antropolojik bakımdan da yıllık halka kronolojilerinin önemi vardır. Ancak, yıllık halka genişliği ile çeşitli olaylar arasında doğru bir ilişki kurabilmek, büyümeyi etkileyen tek bir faktörün minimum düzeyde olması ile mümkündür. Örneğin; kurak bölgelerde yağışın fazla olması yıllık halkanın genişlemesine, yüksek dağlarda ise sıcaklığın az olması yıllık halkanın daralmasına neden olmaktadır.

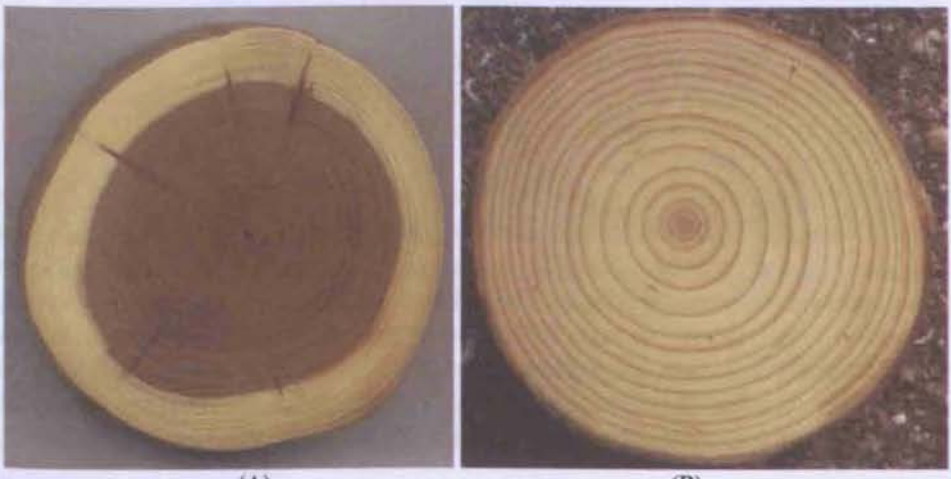


Şekil 2.7: Yıllık halkaların eşleştirilmesinde, stres gibi bölgesel faktörler nedeniyle. kayıp yıllık halkalar olduğu tespit edilebilir.

Yıllık halkalar ağaç yaşını belirlemede de kullanılmaktadır. Kesilen ağaçlarda kütük üzerinde yıllık halkalar sayıldıktan sonra, bu yüksekliğe kadar geçen süre, belirlenen yıllık halka sayısı ile toplanarak ağaç yaşı bulunmaktadır. Ancak, aynı yıl içerisinde oluşan yalancı yıllık halkalara dikkat edilmelidir. Çünkü bazı ağaçlarda normal yıllık halka oluşumundan başka, çevre faktörlerinin etkisi ile devamlı olmayan yıllık halkalar ve yalancı yıllık halkalar da görülmektedir.

2.1.3 Öz Odun ve Diri Odun

Birçok ağaç türünde gövde enine kesiti yeknesak bir renkte değildir. Böyle gövdelerde özün etrafında koyu renkli bir bölge ve kabuğu doğru açık renkli bir tabaka bulunmaktadır. Ortadaki koyu renkli bölge öz odun, dışta kalan açık renkli bölge ise diri odun olarak adlandırılmaktadır. Çam, sedir, ardıç, meşe, kestane, karaağaç gibi ağaç cinslerinde koyu renkli öz odun her zaman bulunur (Şekil 2.8/A). Göknar, lâdin, ıhlamur, gürgen gibi bazı ağaç cinslerinde ise koyu renkli bir öz odun mevcut değildir (Şekil 2.8/B). Ancak, göknarda bazen yeni kesildiğinde fazla rutubet nedeniyle öz odun bölgesinde koyu bir renklenme görülmekte ve bu oluşuma ıslak öz odun adı verilmektedir.



(A) (B)

Şekil 2.8: (A) *Taxus baccata*'da koyu renkli öz odun (B) *Picea* sp.'de belirgin renkte olmayan öz odun.

Öz odun, öze yakın yaşlı yıllık halkalardan oluşur ve öz odun çapı, ağacın dibinden tepesine doğru gidildikçe azalır. Bir ağaç içerisinde öz odun ve diri

odun bulunuş oranı ağaç türü, ağaç yaşı ve iklim durumu ile ilgili olarak değişmektedir. Belli bir yaştan sonra bütün ağaç türlerinde koyu renkli olsun veya olmasın öz odun vardır. Ağaçta çap artımı ilerledikçe gövdede, dalda ve kökte daha yaşlı yıllık halkalarda bulunan hücrelerin ağacın yaşam faaliyetlerine iştirakleri yavaş yavaş sona erer. Hücreler su iletme, besin maddesi depo etme gibi görevleri bırakarak, sadece mekanik destek sağlarlar. Bu değişiklik fizyolojik, yapısal ve kimyasal değişmeler sonucu olmaktadır. Öz odun kısmında görülen renk koyulaşması, odunun yapısındaki kimyasal değişimlerden ileri gelmektedir.

Öz odun oluşumu bakımından ağaç türlerini çeşitli şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Bu konuda yapılan bir sınıflandırma aşağıda verilmiştir.

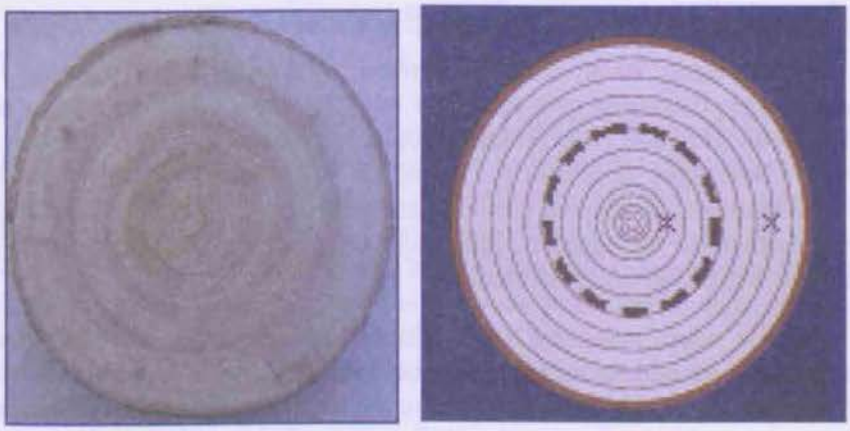
(1) Her zaman koyu renkli bir öz odununa sahip ağaçlar: (a) Yaşlı ağaçlarda gövde enine kesitinde daima koyu renkli öz odun etrafında geniş bir diri odun tabakası vardır (Şekil 2.9/A). Örneğin; çam, sedir gibi. (b) Yaşlı ağaçlarda geniş bir öz odun tabakası etrafında dar bir diri oldun tabakası bulunan ağaçlar (Şekil 2.9/B). Örneğin; meşe, melez, yalancı akasya ve kestane gibi.

(2) İleri yaşlarda daima koyu renkli öz odunu bulunan ve enine kesitte öz odun dış sınırı dalgalı olan ağaçlar (Şekil 2.10/A). Kayın ve dişbudaktaki bu tip öz oduna, yalancı öz odun adı da verilmektedir.

(3) Koyu renkli öz odunu olmayan ağaçlar (Şekil 2.10/B): (a) Öze ve kabuğa yakın bölgeleri arasında rutubet farkı fazla olup, öz odunu kuru olan ağaçlar. Lâdin, göknar, ıhlamur, armut gibi ağaçlar bu gruba girmekte ve bunlara olgun odun özelliğinde ağaçlar denmektedir. (b) Öze ve kabuğa bölgeleri arasında rutubet farkı az ise, bu ağaç türlerine diri odun özelliğindeki ağaçlar adı verilmekte ve gürgen, kızılağaç, huş, titrek kavak, akçaağaç bu gruba girmektedir. Diri odun özelliğindeki ağaçlardan bazıları aynı zamanda yalancı öz odunlu ağaçlar grubuna da dahil edilebilmektedir.

Diri odun destek görevinden başka, topraktan kökler vasıtasıyla alınan suyun yapraklara iletilmesi ve besin maddelerinin canlı paranşim hücrelerinde depo edilmesi görevini üstlenmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda diri odunun tümü su iletimine yardımcı olurken, geniş yapraklı ağaçlarda iletim diri odunda en son oluşan 3–20 yıllık halkalarda gerçekleştirilir.

Şekil 2.9: (A) *Pinus resinosa*'da koyu renkli öz odun etrafında geniş diri odun tabakası, (B) *Robinia pseudoacacia*'da koyu renkli öz odun etrafında dar diri odun tabakası.



Şekil 2.10: (A) *Fraxinus excelsior*'da ileri yaşlarda oluşan öz odun, (B) Koyu renkli öz odunu olmayan ağaçlarda olgun odun ya da diri odun özelliğinde olma durumunun tespiti.

Ağaç türlerinin teşhisinde diri odun genişliğinden de yararlanılmakta ve diri odun genişliği ya cm olarak ya da yıllık halka sayısı olarak belirtilmektedir (Tablo 2.1). Diri odun genişliği sınıflandırması cm olarak yapıldığında ağaçlar dört gruba ayrılmaktadır.

Diri odun < 2 cm	Diri odun çok dar (kestane, olon)
Diri odun 2–5 cm	Diri odun dar (meşe, melez)
Diri odun 5–10 cm	Diri odun geniş (ceviz, sarıçam)
Diri odun > 10 cm	Diri odun çok geniş (dişbudak, hickory)

Tablo 2.1: Önemli Bazı Ağaç Türlerinde Diri Odunda Yıllık Halka Sayıları

Ağaç Türü	Diri Odunda Yıllık Halka Sayısı
Catalpa speciosa	1–2
Robinia pseudoacacia	2–3
Castanea sativa	3–4
Quercus spp.	20–30
Cedrus libani	20–40
Pinus nigra var. *caramanica*	40–50
Fagus orientalis	80–100

Öz Odun Özellikleri

Öz odun ve diri odun arasındaki farklılık tamamen kimyasal yapıdaki değişimden kaynaklanmaktadır. Gövde hacminin önemli bir kısmını kapsayan öz odunun özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

(1) Öz odun, özün etrafında gövdenin ortasında belli bir yaştan sonra oluşan ve ağaç cinslerine göre rengi diri odun gibi açık ya da daha koyu renkte olan bölgedir. Öz odun koyu renkli maddeler içeriyorsa, rengi diri odundan daha koyudur. Bazı ağaç türlerinin öz odununda koyu renkli ekstraktif maddeler bulunmadığından, öz odun ve diri odun arasında renk farkı yoktur. Ayrıca, geniş yapraklı ağaçların öz odunları, iğne yapraklı ağaçların öz odunlarından daha fazla renk değişikliği göstermektedir.

(2) Öz odun, mantarlar ve böceklere karşı dayanıklı olabilir. Örneğin; bazı ağaçların öz odunlarında bulunan ekstraktif maddeler doğal olarak mantar ve böceklere karşı ya zehirlidir ya da bu zararlılar tarafından tercih edilmeyen koku ve tada sahiptir. Bu tip ağaç türleri arasında boylu mazı, sekoya, servi, ardıç, sedir ve kestane sayılabilir. Birçok ağacın öz odununda ise mantarların faaliyetini durduracak ekstraktif maddeler bulunmayabilir. Örneğin; kavak ve söğüt gibi ağaçların öz odunları, diri odunlarından daha dayanıklı değildir. Tüm ağaç türlerinin diri odunları ise mantarlar tarafından kolayca çürütülebilirler. Çünkü çürümeye karşı dayanıklılık, sadece öz odunda bulunan ekstraktif maddelerin kimyasal yapısına bağlıdır.

(3) Ağaç malzemenin hizmet ömrünü uzatmak amacıyla kullanılan koruyucu kimyasal maddeler (emprenye maddeleri) öz oduna güç nüfuz edebilir. Öz oduna sıvıların güç nüfuz etmesi üç nedenden kaynaklanmaktadır. (a) ekstraktif maddeler içerisinde yağlar, mumlar, sakızlı maddeler varsa, bunlar hücre çeperlerindeki küçük geçitleri tıkarlar, (b) özellikle iğne yapraklı

ağaçlarda geçitler aspirasyon durumuna geçerek, hücreden hücreye sıvı madde akışını engelleyebilir, (c) geniş yapraklı ağaçlarda traheler tüllerle ya da yabancı maddelerle tıkanmış olabilir. İğne yapraklı ağaçlarda da öz oduna dönüşüm sırasında reçine kanalları tüle benzer oluşumlarla tıkanabilir. Her iki oluşum da sıvı madde akışını engellemektedir. Herhangi bir ağaç türü hem çürümeye karşı hassas hem de sıvı madde absorbe etmesi güçse, bazı kullanım yerlerinde değerlendirilmeleri sınırlı kalmaktadır.

(4) Bazı ağaçların öz odunlarının kurutulması güç olabilir. Kurutma güçlüğü olan öz odunların emprenye edilebilme kabiliyetleri de azdır.

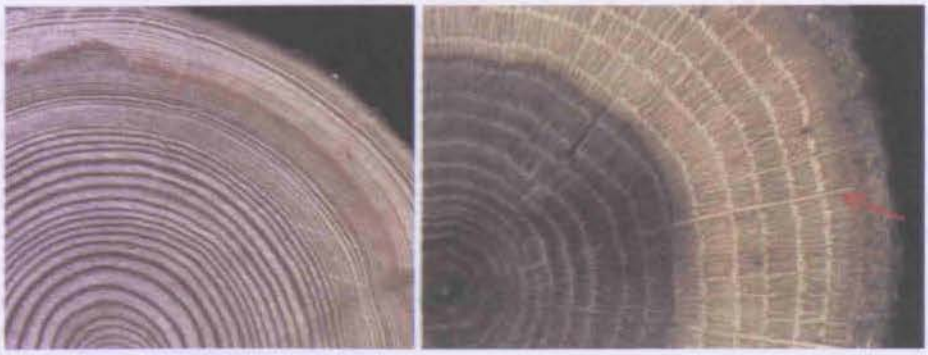
(5) Öz odun belirgin bir kokuya sahip olabilir. Örneğin; sedir ve kokulu ardıçta olduğu gibi öz odunda aromatik ekstraktif maddeler bulunuyorsa, odunları hoş kokuludur.

(6) Öz odun, diri odundan biraz daha ağır olabilir. Bunun nedeni önemli miktarda ekstraktif madde bulunmasıdır.

(7) Ekstraktif maddeler özellikle reçine, yağlar, renk ve tanenli maddeler ile mineral maddelerden meydana geldiğinden öz odun, diri odundan daha kuru, daha ağır, daha sert olup, daha düşük lif doygunluğu noktasına ve daha düşük higroskopisiteye sahiptir. Direnç değerleri bakımından aralarında bir farklılık yoktur. Sadece ekstraktif maddelerin ağırlığı arttıkça liflere paralel yöndeki basınç direnci arttığından, öz odun basınç tipinde yüklemelere daha fazla karşı koyabilmektedir.

2.1.4 Öz Işınları

Ağaç içersinde sıvı maddelerin floem tabakasından gövde içine doğru radyal yönde akışını sağlayan öz ışınları, enine kesitte özden kabuğa doğru uzanan hatlar şeklinde görülmektedir. İğne yapraklı ağaçların hepsinde ve bazı geniş yapraklı ağaçlarda öz ışınları çok ince olduğundan, lup altında bile görülemeyebilirler (Şekil 2.11/A). Meşe, kayın, çınar gibi bazı yapraklı ağaçlarda ise öz ışınları geniş ve belirgin olup, çıplak gözle dahi görülürler (Şekil 2.11/B). Öz ışınları, ya özden ya da herhangi bir yıllık halkadan başlayarak kabuğa kadar devam etmektedir. Öz ışınları arasındaki mesafe, özden itibaren dış taraftaki yıllık halkalara kadar oldukça sabittir.



(A) (B)

Şekil 2.11: (A) *Pinus* spp. enine kesiti, öz ışınları çok ince olduğundan görülmemekte, (B) *Quercus macrocarpa* enine kesitinde geniş öz ışınları.

Öz ışınları, odunun kullanım yeri ile ilgili bazı özellikleri üzerinde etkilidir. Örneğin;

(1) Lâmbri, mobilya yapımında veya diğer dekoratif amaçlarla kullanılan birçok geniş yapraklı ağaç odunlarında öz ışınları, teğet ve radyal yüzeyler üzerinde güzel görünüş şekilleri oluştururlar (Şekil 2.20).

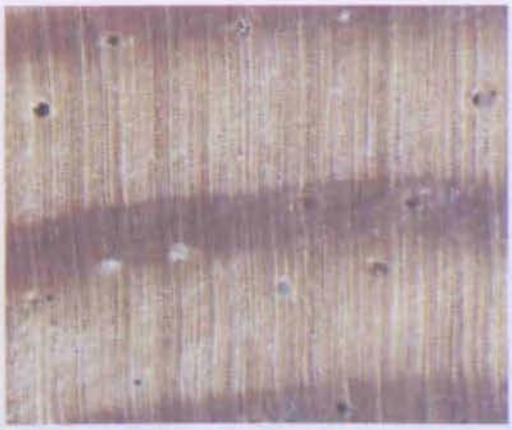
(2) Bilindiği gibi ağaç malzemede kurumaya bağlı olan daralma oranı radyal yönde, teğet yönden daha azdır. Bunun nedeni öz ışınlarının radyal yönde daralma ve genişlemeyi engellemesinden kaynaklanır. Ancak, öz ışınları radyal yönde yerleştiğinden, bu yüzeylerde direnç azalmasına neden olurlar.

(3) Ağaç malzemede kurutma sırasında çatlaklar oluşursa, çatlaklar öz ışınları boyunca daha da ilerler.

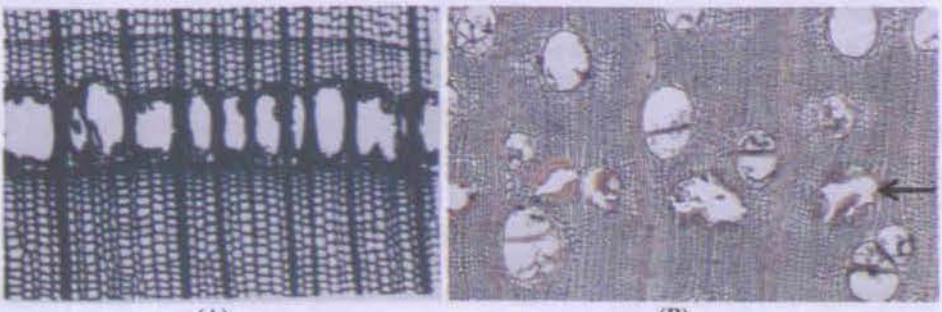
(4) Kesme kaplama işlemleri sırasında bıçak uygun bir şekilde yerleştirilmemişse, öz ışınlarının direnç üzerindeki etkileri nedeniyle, kaplama levhalarda öz ışınları boyunca yarılmalar meydana gelir.

2.1.5 Reçine Kanalları

Reçine kanalları, İğne yapraklı ağaçlardan doğal olarak reçine kanalı bulunan çam, lâdin, melez ve Douglas göknarının enine kesitinde lup altında açık veya koyu renkli noktacıklar şeklinde rahatlıkla görülebilirler (Şekil 2.12). Ayrıca, sedir'de traumatik reçine kanallarına sık sık rastlanmaktadır (Şekil 2.13/A). Geniş yapraklı ağaçlarda sakız veya reçine kanalları ılıman iklim bölgesinde yetişen ağaçlarda nadiren (Şekil 2.13/B), tropik ağaçlardan meranti, keruing, yang, mersawa, tola ve tchitola'da ise çoğunlukla bulunmaktadır.



Şekil 2.12: *Pinus* spp. enine kesitinde boyuna reçine kanallarının görünümü.

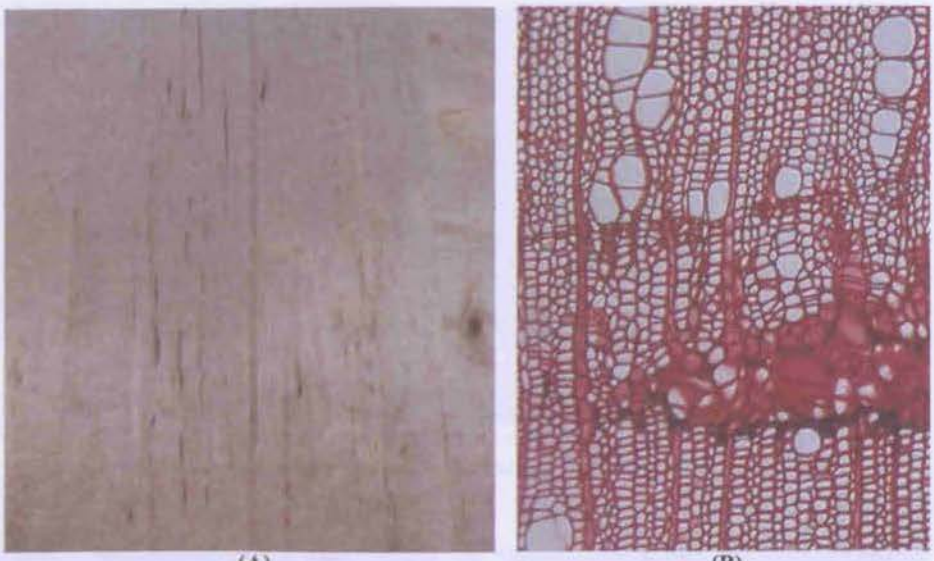


(A) (B)

Şekil 2.13: Traumatik kanallar. (A) Cedrus spp., (B) *Vochysia surinamensis* (Quaruba).

2.1.6 Öz Lekeleri

Öz lekeleri, *Agromyza pruniosa* böceği larvalarının kambiyumda meydana getirdikleri bir yara dokusudur. Enine ve boyuna kesitlerde düzensiz koyu renkli lekecikler şeklinde görülürler. Huş, kızılağaç, kavak, söğüt, armut, elma, üvez ile fındıkta bulunmakta ve teşhis özelliği taşımaktadır (Şekil 2.14).



(A) (B)

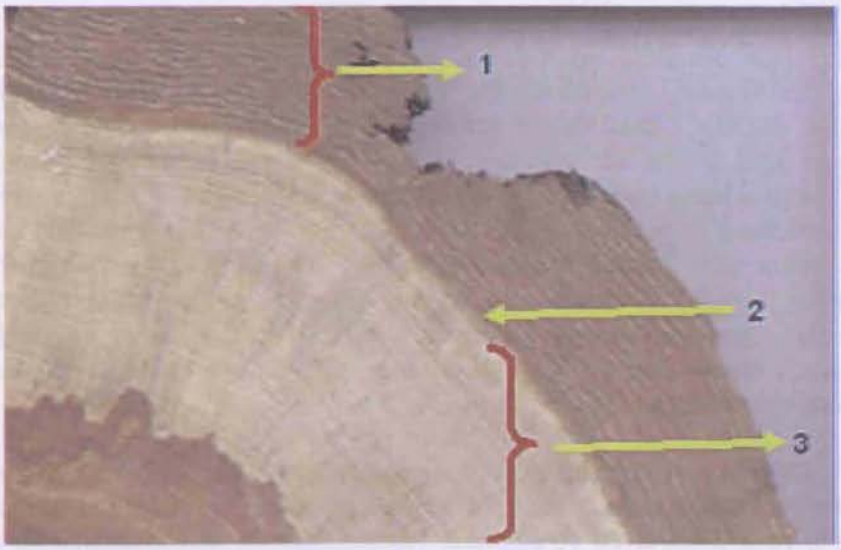
Şekil 2.14: (A) Akçaağaç odununda, (B) Kızılağaç enine kesitinde fazla miktarda üretilen paranşim hücreleriyle belirgin hale gelen öz lekelerinin çıpla gözle ve mikroskopta görünüşleri.

2.1.7 Kabuk

Odunu saran kabuğun makroskopik görünüşü, ağaç türlerine ve yaşa göre farklılıklar gösterir. Örneğin; sekoya ve Douglas göknarında 30 cm kalınlığa kadar ulaşabildiği halde kayın ve huşta incedir. Ağaç türlerine göre düz, çatlaklı veya lifli yapıda olabilir. Yaşlı ağaçlarda kabuk iki bölüm halinde görülür (Şekil 2.15); (1) Koyu renkli, kuru ve mantarlaşmış dış kabuk ile (2) daha açık renkli, yaşayan hücrelerden oluşan ve nadiren 1 cm'den kalın olan iç kabuk. Dış kabuğun görünüşü dikili haldeki ağaçlarda ve tomruklarda türlerin tanınmasında önem taşımaktadır. Kabukta da yıllık halkalar vardır, fakat odundaki gibi makroskopik olarak belirgin değildir.

2.2 Radyal ve Teğet Kesitlerde Görülen Özellikler

Radyal ve teğet yüzeyler hem birbirlerinden, hem de enine yüzeylerden farklı karakteristiklere sahiptirler. Radyal kesit, öz ışınlarına paralel olarak alınan boyuna yüzeydir. Bu kesitte öz, yıllık halkalar, ilkbahar ve yaz odunu tabakası, diri odun, öz odun, iç kabuk ve dış kabuk boyuna şeritler halinde uzanırlar (Şekil 2.1). Reçine kanalları ve traheler boyuna ince çizikler halinde,



Şekil 2.15: *Pinus ponderosa*'da (1) Dış kabuk, (2) İç kabuk, (3) Ksilem.

öz ışınları genişliklerine göre ya ince mozaikler (akçaağaç) veya levhacıklar (kayın, meşe) halinde görülürler. Ancak, kesiş şekline bağlı olarak öz, öz odun veya diri odun ile kabuk her zaman aynı yüzey üzerinde bulunmayabilir.

Teğet kesit, yıllık halkalara teğet yönde alınan boyuna yüzeydir. İlkbahar ve yaz odunu arasındaki renk kontrastı nedeniyle, teğet yüzey üzerinde açıklı, koyulu düzensiz dalgalı şekiller görülebilir. Öz hariç, diğer bütün makroskopik özellikler kesiş derinliğine bağlı olarak tespit edilebilir. Öz ışınları enine olarak kesildikleri için değişik boy ve genişlikte, iğ biçiminde görülürler (Şekil 2.1).

Açıklanan bütün bu özellikler, normal şartlar altında büyümüş bir ağaçtan elde edilecek malzemede belirlenecek özelliklerdir. Çeşitli kusurların bulunuşu ile özellikle radyal ve teğet yüzeylerde görünüş geniş çapta değişebilmektedir.

2.3 Fiziksel Karakteristikler

2.3.1 Renk

Ağaçlarda diri odun çoğunlukla sarımsı beyaz ve pembe tonlarda, öz odun ise hemen hemen beyazdan siyaha kadar çeşitli renklerde olabilir. Renk değişikliklerinin nedeni ekstraktif maddelerin bulunuşu ve bu maddelerin

özellikleridir. Renk, lif yapısı ve görünüş özellikleri ile birlikte, ağaç malzemenin dekoratif bakımdan kalitesini yükseltmektedir. Odun teşhisinde renk özelliğinden yararlanılmakla beraber, her zaman güvenilir bir tanım özelliği değildir. Çünkü sadece çeşitli ağaç türlerinde değil, aynı ağaç türünde ve aynı ağaç gövdesinde dahi değişiklikler gösterebilir. Aynı ağaç gövdesinde renk farklılıklarına neden olan diğer bir faktör, yoğunluğun ağacın her tarafında aynı olmaması ve buralarda ışığın farklı yansımasıdır. Ayrıca, kesimden kısa bir süre sonra açık havada oksidasyon sonucu odunun rengi koyulaşmaktadır. Örneğin; kızılağacın beyaz olan odunu, kesimden hemen sonra oksidasyon nedeniyle turuncu kırmızı bir renk alırken, Pernambouc'da (*Caesalpinia echinata*) sarımsı kırmızı olan odun rengi, açık hava etkisi ile koyu kırmızı kahverengine dönmektedir.

Odunda renk değişiklikleri güneş ışınları, hava, kimyasal maddeler, su, su buharı ve mantarların etkisi sonucunda meydana gelmektedir. Mantarlar, odunda renk değişmeleri ve çürüklük yaparak odunun rengini ağartabilir ya da maviye, kahverengine ve siyaha kadar değiştirebilirler. Güneş ışığının (UV ışınlarının) odunun rengi üzerindeki etkisi yüksek bölgelerde daha belirgindir. Yüksek dağlarda UV ışınları odunun rengini kahverengimsine dönüştürürken, rutubetli hava koyu kül rengine dönüştürür. Genel olarak kuru odun daha açık, ıslak odun daha koyu renktedir. Uzun yıllar su altında kalan ağaç malzeme ise siyahlaşır. Amonyak buharları da odunu kül rengine döndürür. Su buharı ile işlem gören odunda oksidasyon sonucu renk koyulaşır. Örneğin; kayın kerestesi kırmızımsı bir renk alır. Ceviz odunu buharlanarak diri odun ile öz odun arasındaki renk farkı azaltılabilir. İçerisinde fazla tanen bulunan meşe gibi ağaçlar demirle temas ettiğinde, özellikle rutubetli yerlerde siyahlaşırlar. Yerli ağaç türlerimizde odunun doğal renkleri dört grupta toplanmaktadır.

Beyazımsı	: Akçaağaç, kavak, huş, göknar
Sarımsı kahverengi	: Meşe, kestane
Kahverengi kırmızımsı	: Çam, melez, Douglas göknarı, kiraz
Kahverengimsi	: Ceviz, erik

Bu renklerin yanında yabancı ağaç türlerinde öz odun renkleri daha fazla çeşitlilik göstermektedir. Örneğin; öz odun *Diospyros ebenum*'da (abanoz) siyah, *Robinia pseudoacacia*'da (yalancı akasya) yeşilimsi, *Pterocarpus indicus*'da (Padauk) koyu kırmızı, *Darbergia cearensis*'te (kral ağacı) mor renktedir.

Koyu doğal renk genellikle yüksek dayanıklılığı ifade eder. Çünkü öz odunda biriken tanen, reçine, boyar maddeler gibi ekstraktif maddelerin çoğu, odunu çürüten mantarlara karşı dayanıklılık sağlamaktadır; örneğin, sedir, servi gibi ağaçların öz odunları, diri odunlarından daha dayanıklıdır. Buna karşın öz odunu koyu renkli olmayan ıhlamur, huş gibi ağaçların odunları dayanıksızdır. Ancak, *Taxodium distichum*, *Sassafras albidum* gibi bazı ağaçlarda öz odun çok koyu renkli olmadığı halde dayanıklıdır. Ülkemizde yetişen ağaç türleri bakımından yapılan doğal dayanıklılık sınıfları aşağıda verilmiştir.

Dayanıklı ağaçlar: Kestane, meşe, yalancı akasya, karaceviz, porsuk, servi, sedir, ardıç.

Orta derecede dayanıklı ağaçlar: Lâdin, göknar, çam, adi ceviz, kiraz, dişbudak.

Az dayanıklı ağaçlar: Kavak, söğüt, atkestanesi, akçaağaç, gürgen, kayın, kızılağaç, huş, ıhlamur, karaağaç.

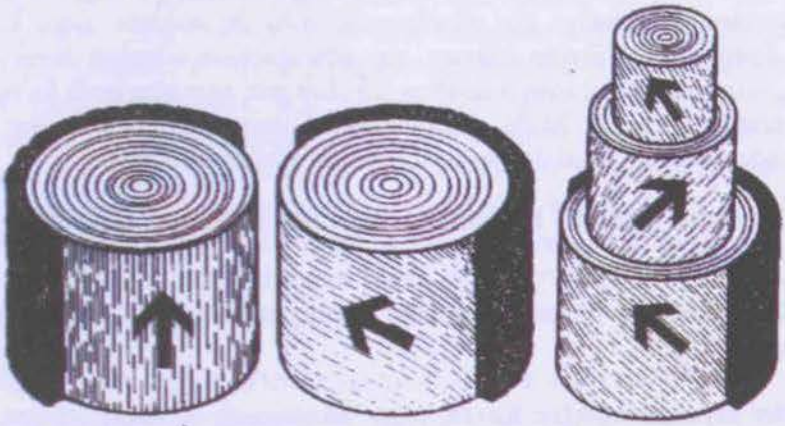
2.3.2 Lif Yönü

Ağaçta boyuna yönde uzanan hücrelerin yönü (uzun eksenine paralel olan yön), lif yönü olarak ifade edilmektedir. Şekil 2.16/A'da görüldüğü üzere boyuna yönde uzanan hücrelerin uzun eksenleri birbirlerine ve gövde eksenine paralel yönde seyrediyorsa, böyle ağaçlara düzgün lifli ağaçlar denmektedir. Düzgün liflilik, ağaç malzemenin direnç özellikleri, yarılma kabiliyeti, işlenmede kolaylık ve zayiatın azalması bakımından önemli bir faktördür. Bazen lif yönü gövde eksenine paralel olmayabilir. Bazen de gövde ekseninden ayrılış büyük olabilir. Bu durumda spiral liflilik (lif kıvrıklığı) söz konusudur.

Lif Kıvrıklığı (Spiral Liflilik)

Lif yönü (gidişi) ile gövde ekseni arasında bir açı varsa ve lifler eksene göre helezoni bir şekilde seyrediyorsa bu ağaçlarda lif kıvrıklığı (spiral liflilik) vardır (Şekil 2.16/B). Lif kıvrıklığı, kambiyumdaki iğimsi inisiyal hücrelerinin sadece bir yönde ve antiklinal bölünmesi ile oluşmaktadır. Lif kıvrıklığı bulunan tomruklar biçildiğinde, hücrelerin uzanışı (lif yönü) malzemenin uzunluğuna paralel olmamaktadır. Lif kıvrıklığı ağaç malzeme özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Liflerin düzensiz oluşu direnci azaltmakta, çalışmayı daha düzensiz bir hale getirmekte, boyuna yöndeki daralma artmakta, işlenmeyi, yarılmayı güçleştirmekte ve elastikiyet düşmektedir. Malzeme kuruduğunda dönükleşir ve plânyalanmasında güçlük çıkabilir. Ancak, liflerin

düzensizliği çoğunlukla odunda dekoratif bazı şekillerin meydana gelmesine neden olmaktadır.



Şekil 2.16: Lif yönü şekilleri, (A) Düzgün lifli, (B) Spiral lifli, (C). Girift lifli.

Girift Liflilik

Lif yönü özden çevreye doğru belli aralıklarla önce sağ ya da sol tarafa, daha sonra diğer yöne doğru seyrediyorsa, girift liflilik söz konusudur (Şekil 2.16/C). Bazı ağaç türlerinde lif yönü birkaç yılda bir ters yöne dönebilir. Bu tip lif oluşumları genetik olarak kontrol edilebilmektedir. En çok *Khaya* ve *Swietenia* türlerinde, bazen de *Platanus* türlerinde rastlanmaktadır.

Girift lifli ağaç malzemede yarılma güçtür. Kurutmada boyuna yönde daha fazla daralma olur veya çarpılmalar görülür. Lif yönündeki sık ve ani değişiklikler radyal kesilmiş yüzeylerde ışık yansıması sonunda koyu ve açık renkte çeşitli görünüş şekillerinin oluşmasını sağlar. Bu özellik bulunan kaplama levhaların değerini arttırır.

Görünüş Özellikleri

Ağaç malzemenin işlenmesi sırasında yıllık halkaların, trahelerin, boyuna paranşim şeritlerinin ve öz ışınlarının çeşitli şekillerde kesilmesi ile ortaya çıkan bir özelliktir. Liflerin yönünün düzgün olmayışı, renk değişikliği, optik etkenler ve odundaki kusurlar nedeniyle değişik görünüş şekilleri meydana gelmektedir.

Yeknesak Görünüş

Boyuna yüzeylerde (radyal ve teğet); rengin, parlaklığın ve lif yönlerinin düzenli bulunuşu sonucu meydana gelen yeknesak bir görünüştür (Şekil 2.17/A). Örneğin; *Acer* spp., *Alnus* spp., *Aucoumea klaineana, Betula* spp., *Gossweilerodendron balsamiferum, Mitragyna* spp., *Pyrus communis, Populus* spp., *Tilia* spp.

Piramidal Görünüş

Teğet kesit üzerinde yıllık halka sınırlarının, yaz odunu tabakasının, paranşim şeritlerinin ve koyu renkli depo maddelerinin veya reçine kanallarının şeritler halinde üst üste geçmiş düzgün veya dişli piramitler şeklindeki görünüşüdür (Şekil 2.17/B).

Pramidal görünüş; İğne yapraklı ağaçlarda, halkalı traheli ağaçlarda ve tropik yapraklı ağaçlardan şerit şeklinde boyuna paranşimleri bulunan ağaçlarda görülür. Örneğin; *Larix* spp., *Dalbergia nigra, Fraxinus excelsior.*

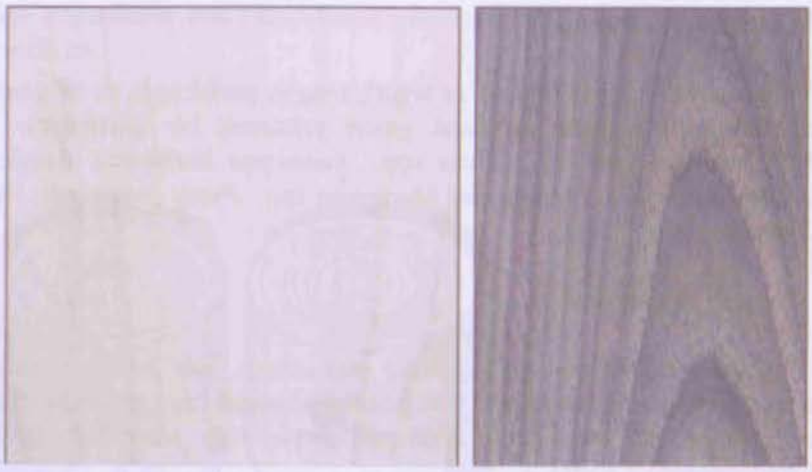
Şeritli Görünüş

Ağaç malzemede, üç tip şeritli görünüş vardır.

Tip I; radyal yüzey üzerinde bir yıllık halka içerisinde ilkbahar-yaz odunu tabakaları veya belirgin yıllık halka sınırlarının birbirine paralel, boyuna düzgün şeritler halinde görünüşüdür. Örneğin; İğne yapraklı ağaçlar, halkalı traheli geniş yapraklı ağaçlar (*Fraxinus excelsior*) ve trahesiz kısımların bulunduğu tropik ağaçlar (*Terminalia ivorensis*).

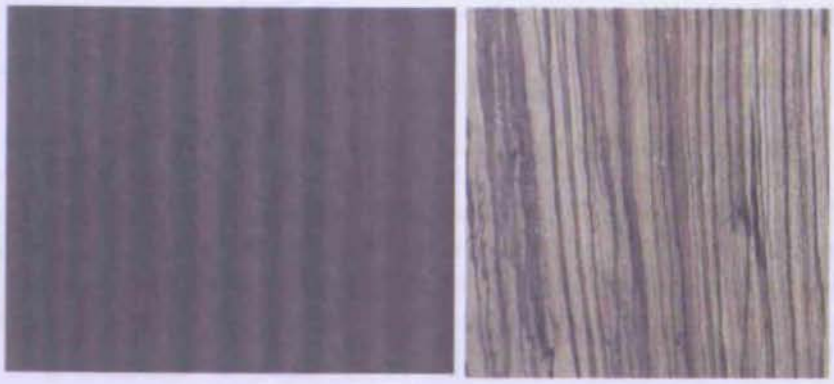
Tip II; girift lifli ağaçlarda liflerin değişik yönde kesilmesi ve farklı ışık kırılmaları sonucunda, radyal yüzey üzerinde oluşan açık ve koyu renkli boyuna şeritli görünüştür (Şekil 2.18/A). Örneğin; *Antiaris* spp., *Entandrophragma* spp., *Erytrophleum* spp., *Guarea* spp., *Khaya* spp., *Lovoa* spp., *Pericopsis elata, Triplochiton scleroxylon.*

Tip III; radyal ve teğet yüzeylerde renk maddelerinin düzensiz birikmesi nedeniyle meydana gelen boyuna şeritli görünüştür (Şekil 2.18/B). Örneğin; *Astronium* spp., *Dalbergia* spp., *Diospyros celebica, Dracontomelum dao, Microberlinia* spp.



(A) (B)

Şekil 2.17: (A) Akçaağaç'ta yeknesak görünüş, (B) Ceviz'de teğet kesitte yıllık halkaların piramidal görünüşü.



(A) (B)

Şekil 2.18: Şeritli görünüş (A) *Entandrophragma cylindricum*, (B) *Microberlinia brazzavillensis*.

Aynalı Görünüş

Radyal yüzeylerde; esas doku renginden farklı, parlak, lif yönüne dik yönde uzanan ve öz ışınlarından oluşan dar veya geniş levhalı görünüştür (Şekil 2.19). Örneğin; *Cordia* spp., *Eribroma oblonga, Fagus* spp., *Quercus* spp., *Platanus* spp., *Pterygota macrocarpa*.

(A) (B)

Şekil 2.19: (A) Meşe'de, (B) Karaağaç'ta aynalı görünüş.

Alacalı Görünüş (Mermerimsi Görünüş)

Dar veya geniş girift liflilikte ve hafif dalgalı düzensiz lif yönlerinde ortaya çıkan ve farklı ışık yansımaları nedeniyle radyal yüzeylerde meydana gelen alacalı renkli bir görünüştür. Örneğin; *Entandrophragma utile, Guarea* spp., *Guibourtia ehie, Khaya* spp., *Tieghemella africana, T. heckelii.*

Enine Şeritli Görünüş

Radyal yüzeylerde teğet yönde meyilli ve hafif dalgalı giden liflerin eksene dik yönde kesilmesiyle oluşan ve farklı ışık yansımaları sonucu meydana gelen şeritli görünüştür (Şekil 2.20/A). Örneğin; *Acer* spp., *Fraxinus excelsior, Terminalia superba, Tieghemella africana, T. heckelii.*

Kabartılı Görünüş (Pommelé)

Teğet yüzeylerde; radyal dalgalı, teğet dalgalı ve girift lifliliğin bir arada bulunduğu hallerde, liflerin eksene paralel kesilmesiyle oluşan ve farklı ışık yansımaları sonucu meydana gelen midye kabuğu şeklindeki görünüştür. Bu kabartılı görünüş, tomruklardan biçme suretiyle elde edilen teğet yüzeylerde veya soyma kaplama levhalarda görülmektedir (Şekil 2.20/B).

Bu gruba giren görünüş şekilleri; boncuklu, çiçekli, midye kabuğu, buz çiçekli görünüşler olarak da adlandırılmaktadır. Örneğin; *Acer macrophyllum, Entandrophragma cylindiricum, Fraxinus mandshurica, F. ornus, Khaya* spp., *Tieghemella africana.*

(A) (B)

Şekil 2.20: (A) Akçaağaçta enine şeritli görünüş, (B) Sapelli'de kabartılı görünüş (pommelé).

Dalgalı Görünüş

Teğet yönde meyilli ve hafif dalgalı giden liflerin lif yönüne az çok meyilli kesilmesiyle oluşan ve farklı ışık yansımaları sonucu meydana gelen, radyal yüzeylerdeki meyilli şeritli görünüştür. Örneğin; *Aningeria* spp., *Distemonanthus benthamianus, Guibourtia ehie, Khaya* spp., *Tieghemella africana, T. heckelii.*

Moiré Görünüş (Diyagonal Görünüş)

Radyal yüzeylerde, girift lifli ve teğet yönde hafif dalgalı liflerin kesimden sonra farklı ışık yansımalarıyla diyagonal şeritli görünüşüdür (Şekil 2.21). Örneğin; *Entandrophragma cylindiricum, Khaya* spp., *Tieghemella heckelii, Turraeanthus africana.*

Şekil 2.21: *Turraeanthus africana* (avodire)'da moiré görünüş.

Alevli Görünüş

Teğet yüzeylerde, kısmen radyal yönde kısmen de teğet yönde hafif dalgalı giden liflerin, eksene paralel kesilmesiyle oluşan ve farklı ışık yansımaları sonucu meydana gelen alev şeklinde görünüştür. Örneğin; *Betula* spp., *Pyrus communis, Turraeanthus africana.*

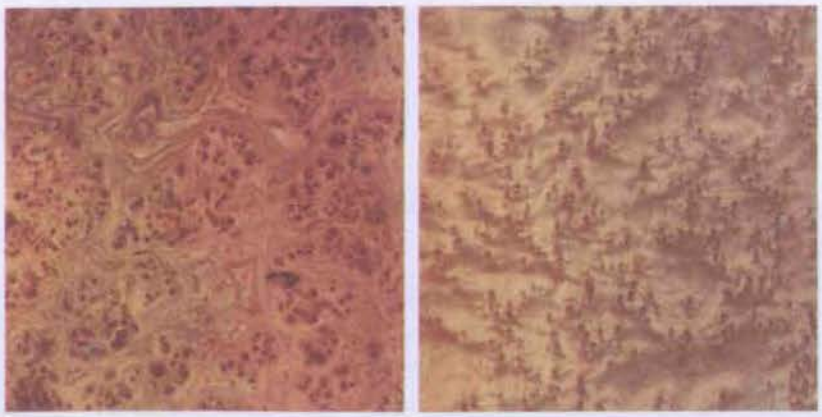
Urlu Görünüş

Gövde üzerinde bulunan düzensiz çıkıntı ve şişliklerdeki liflerin, genellikle teğet yüzeylerde meydana getirdiği görünüştür. Başka bir ifadeyle urlu görünüş liflerin çok fazla düzensiz oluşundan ileri gelmektedir (Şekil 2.22/A).

İğne yapraklı ağaçlardan *Sequoia sempervirens*'te (vavona uru), geniş yapraklı ağaçlardan *Acer* spp., *Betula* spp., *Juglans regia, Pterocarpus* ve *Ulmus* türlerinde görülmektedir.

Kuş Gözü Görünüş

Teğet yüzeylerde; küçük konik girinti şeklindeki liflerin meydana getirdiği göze benzeyen çok sayıda yuvarlak koyu renkli kısımların bulunduğu görünüştür (Şekil 2.22/B). Örneğin; *Acer nigrum, A. saccharum, A. campestre, A. pseudoplatanus.*



(A) (B)

Şekil 2.22: (A) Karaağaç'ta urlu, (B) Akçaağaç'ta kuş gözü görünüş şekilleri.

2.3.3 Tekstür

Yıllık halka içerisinde hücre boyutları, öz ışını genişlikleri ve bunların miktarlarının yeknesak ya da değişik olmasına, odunun tekstürü adı verilmektedir. İlkbahar–yaz odunu tabakaları kontrast halde ve belirgin ise odun düzensiz tekstürdedir. Hücrelerin büyüklüklerine ve İlkbahar–yaz odunu tabakaları kontrast durumuna göre yapılan tekstür sınıflandırması aşağıda verilmiştir.

Çok ince tekstürlü ağaçlar	:	Şimşir, kızılcık, kayacık
İnce tekstürlü ağaçlar	:	Çınar, akçaağaç
Orta tekstürlü ağaçlar	:	Kavak, huş
Kaba tekstürlü ağaçlar	:	Ceviz, mahun
Çok kaba tekstürlü ağaçlar	:	Meşe, kestane, dişbudak, karaağaç
Yeknesak tekstürlü ağaçlar	:	Lâdin, göknar, ıhlamur, huş, akçaağaç
Düzensiz tekstürlü ağaçlar	:	Douglas göknarı, melez, kestane, meşe, dişbudak

2.3.4 Parlaklık

Parlaklık, odunun ışığı yansıtma özelliğidir. Parlak veya mat görünüş, ışığı yansıtma özelliğine sahip olup, olmama ile değişmektedir. Parlaklık, renk verme ve iyi cilâlanma kabiliyetinden ayrı bir özelliktir. Birçok ağaç türünde odun parlak değildir. Malzemede çürüklük başlamışsa parlaklık kaybolur.

Parlaklık, yüzeye gelen ışığın açısı ve yüzeydeki hücre tiplerine bağlı olarak değişmektedir. Genellikle radyal yüzeyler, teğet yüzeylerden daha fazla ışığı yansıtır. Çünkü radyal yüzeylerde öz ışını levhacıkları bulunmaktadır. Öz odunda yabancı maddeler bulunduğundan, diri odundan daha parlak olabilir. Ancak, *Juniperus*'larda olduğu gibi öz odunda yağlı ve mumlu maddelerin bulunması parlaklığı azaltmaktadır. Parlaklık, teşhiste sadece sekonder bir faktör olarak kullanılır. Örneğin; kolayca karıştırılabilen lâdin ve veymut çamı odunlarını birbirinden ayırmak için parlaklıktan yararlanılabilir. Lâdin odununun parlak oluşu, onun kolayca ayırt edilmesini sağlar. Yerli ağaçlarımız orta derecede parlak oduna sahiptirler. Akçaağaç, dişbudak, çınar, kavak ve lâdinin radyal yüzeyleri parlaktır. Zeytin, teak, lignum vitae gibi ağaçların odunları ise dokunulduğunda yağlı bir his vermektedir.

2.3.5 Koku ve Tad

Öz odunda bulunan eterik yağlar, reçine, tanenli maddeler ve kâfuru gibi ekstraktif maddeler, ağaç malzemeye koku vermekte ve teşhiste yardımcı olmaktadır. Özellikle öz odun kısmı kokulu olduğundan, teşhiste bu kısım incelenmelidir. Mantar ve mikroorganizmalar da ağaç malzemeyi dekompoze ederek kokuya neden olabilirler. Ancak, teşhiste bunların önemi yoktur. Çok koku içeren ağaçlar, sağlık, parfümeri ve ilâç sanayiinde değerlendirilmektedir.

Koku veren maddeler uçucu olduğundan açık havada bırakılan ağaç malzeme kokusunu kaybeder. Bu nedenle koku, en belirgin olarak taze kesilmiş yüzeylerde hissedilir. Kokusu iyi olan ağaçlar arasında en önemlileri ardıç, sedir, servi ve cedrela'dır. *Acacia homalophylla* menekşe, *Cinnamomum camphora* kâfuru kokuludur. *Santalum album* (sandal ağacı), *Dalbergia* spp. (gül ağacı) ve sepi maddesi bulunan *Quercus* ile *Castanea* türlerinin odunları ise değişik kokulara sahiptir.

Kamfor ağacı, ardıç, sedir, servi gibi ağaçlardan yapılan sandık ve elbise dolaplarına güveler gelmediği için, yünlü kumaşlar ve kürklerin muhafazasında kullanılmaktadır. *Juniperus virginiana* (virjinya ardıcı) güzel kokusu ve uygun özellikleri nedeniyle kurşun kalem yapımında değerlendirilmektedir. Kuvvetli ve hoş bir kokuya sahip olan sandal odunu talaşı doğu Asya ülkelerinde yüzyıllardan beri tütsü (buhur) maddesi olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde de sığla yağı elde edilmesi sırasında atık olarak geride kalan odun ve kabuk kısımları buhur malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Ancak, koku içeren

ağaç malzeme yiyecek maddelerinin hazırlanmasında ve taşınmasında kullanılmamalıdır.

Tad, uçucu ekstraktif maddelerin odunda depolanmasıyla kazanılabilen bir özelliktir. Taze haldeki malzemede ve öz odunda daha belirgindir. Meşe ve kestane fazla miktarda tanen içerdiğinden acı bir tada sahiptir. Teşhiste önemli bir özellik olmamakla beraber, strüktürleri birbirine yakın ağaçların odunlarını ayırt etmede yardımcı olabilmektedir. Örneğin; *Calocedrus decurrens* (su sediri) ile *Thuja plicata* odunu yapı ve görünüş itibariyle birbirlerine çok benzedikleri halde, *Calocedrus* hardal tadında, *Thuja plicata* ise hafif acımsı bir tad içermektedir.

2.3.6 Ağırlık ve Sertlik

Odunun ağırlığı teşhiste yardımcı olan özelliklerden biridir. Makroskopik bir incelemede örneğin elde tartılmasıyla hafif ya da ağır olduğuna karar verilebilir. Ağırlık hücre çeper maddesi miktarına, öz odun ve yabancı madde miktarı ile rutubet miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle bir karşılaştırma yaparken, aynı hacim ve rutubette olan örneklerin karşılaştırılması gerekir.

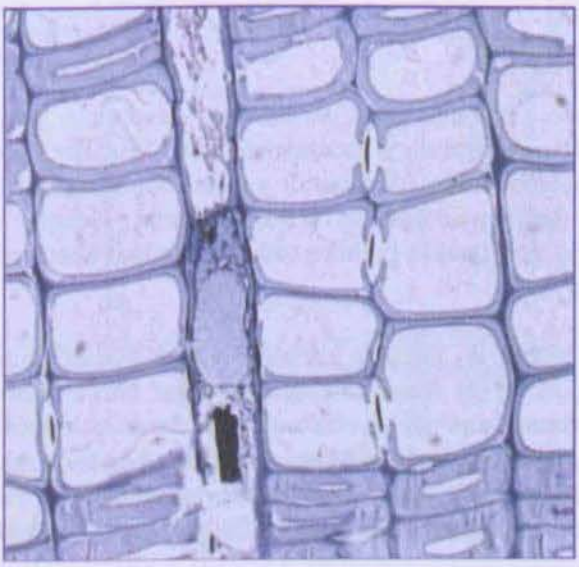
Dünyadaki en hafif ve en ağır oduna sahip ağaçlar tropik bölgelerde yetişmektedir. Yoğunluğu en az olan ağaç *Ochroma pyramidale* (Balsa)'de hava kurusu yoğunluk 0,08–0,16 g/cm^3, en ağır olan *Guaiacum officinale* (Lignum vitae)'de 1,20–1,30 g/cm^3'tür. Ülkemizde yetişen en hafif ve en ağır ağaçlar ise hızlı büyüyen kavaklar (0,35 g/cm^3) ile *Buxus sempervirens* (0,92 g/cm^3)'dir.

Sertlik, ağaç malzemenin fiziksel karakteristiklerinin önemli bir göstergesi olup, hücre çeper maddesi miktarı ile ilgilidir. Ağaç malzemenin yumuşak ya da sert olduğuna makroskopik bir inceleme ile karar verebilmek için başparmak tırnağı odun içersine batırılmakta ve bir tahminde bulunulmaktadır. Ancak, odun rutubeti ile sertlik değişmekte, rutubet arttıkça sertlik azalmaktadır. Ağırlık ve sertlik hakkında kesin bir bilgi edinmek istenirse, fiziksel ve mekanik özellikler bölümünde açıklanan testlerin yapılması gerekmektedir.

BÖLÜM 3

MİKROSKOPİK ÖZELLİKLER

Odun, hücre adı verilen çok sayıda küçük birimlerden meydana gelmiştir. Örneğin; lâdin odununun 1 cm^3'ünde 350 000 ile 500 000 hücre bulunmaktadır. Odunsu bir hücrede dışta hücre çeperi, çeper üzerinde hücreden hücreye besi suyu akışını sağlayan çok küçük açıklıklar (geçitler) ve ortada hücre boşluğu (lümen) bulunmaktadır (Şekil 3.1). Hücreler çeşitli şekillerde bir araya gelerek odun kitlesini oluştururlar. Mükemmel bir yapıya sahip olan hücreler ağaçta iletim, mekanik destekleme ve depolama görevini üstlenirler. İletim görevini trahe ve traheid hücreleri, mekanik destekleme görevini lif ve traheid hücreleri, depolama görevini ise paranşim hücreleri yaparlar. Öz ışını paranşim hücreleri ile öz ışını traheidleri özden kabuğa doğru, diğer bütün hücreler ise ağaç eksenine paralel yönde uzanırlar.



Şekil 3.1: Sarıçam enine kesitinde traheid hücreleri ve geçitlerin görünüşü.

Olgunlaşmış odun hücreleri ölüdür. Yaşayan bir ağaçta dahi bulunsalar, protoplazma ve çekirdekleri yoktur. Bu nedenle birçok hücrenin lümeni boştur. Protoplazma ve çekirdek hücre kambiyumda ilk oluştuğunda bulunmakta, fakat hücre gelişme safhaları sırasında kaybolmaktadır. Yaşayan bir ağaçta sadece kambiyum hücreleri ile diri odunda bulunan paranşim hücreleri canlı kalmaktadır.

Odunun enine, teğet ve radyal yüzeylerinden alınan 20 µm kadar kalınlıktaki ince kesitler ışık mikroskobu altında incelendiğinde, olgun bir odun hücresi çeperinde primer ve sekonder çeper olmak üzere iki tabaka bulunduğu görülmektedir. Hücrelerin aralarında birleşmeyi sağlayan ve orta lâmel adı verilen bir tabaka bulunur. Işık mikroskobu ile yapılan incelemelerde primer çeper ve orta lâmeli birbirinden ayırmak güçtür. Çeper tabakalarını belirgin hale getirmek için boyama yapılsa bile, bu iki tabakanın kimyasal yapıları benzer olduğundan, boyama bir farklılık yaratmamaktadır. Bu nedenle bitişik iki hücrenin primer çeperi ve aralarındaki orta lâmel çoğunlukla tek bir tabaka gibi görülmekte ve bu tabakaya bileşik orta lâmel adı verilmektedir. Hücre çeperi üzerindeki oluşumları görmek için orta lâmel çeşitli ayraçlarla çözülerek, hücreler birbirinden ayrılabilirler. Maserasyon adı verilen bu işlemden sonra her bir hücre mikroskop altında tek tek incelenebilmektedir.

3.1 Hücre Çeperinde Görülen Oluşumlar

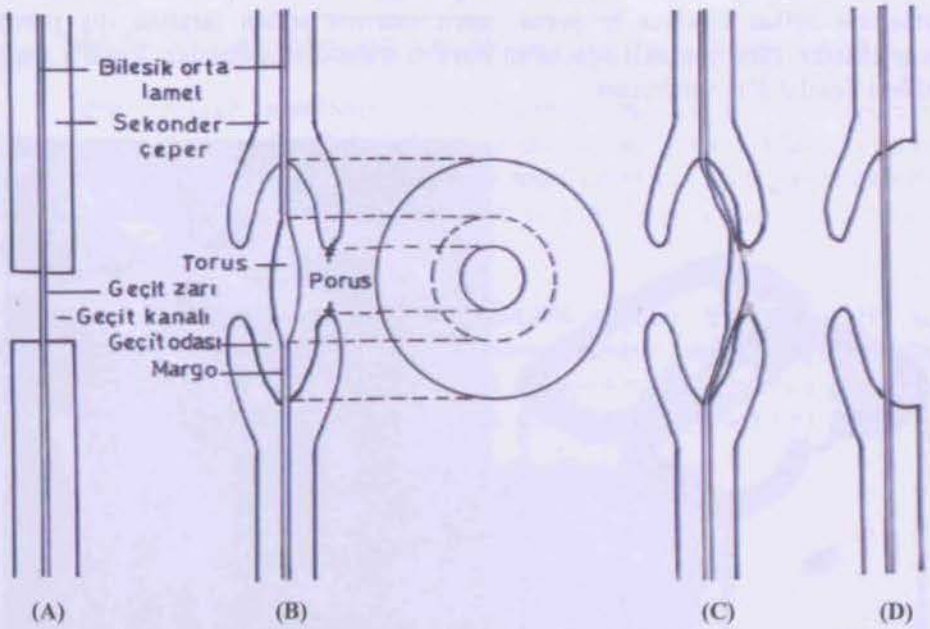
3.1.1 Geçitler

Hücrelerde sekonder çeper tabakasının devamının kesildiği kısımlarda geçit adı verilen oluşumlara rastlanmaktadır. Geçitler hücrelerin boyuna çeperleri üzerinde bulunan çok önemli yapısal oluşumlardır. İki komşu hücre arasında su ve besin maddesi alışverişini sağlarlar. Geçitler enine, radyal ve teğet yüzeylerde görülmekle beraber, teğet ve radyal kesitlerde en iyi şekilde incelenmektedir.

Geçitler bitişik iki hücrede karşılıklı olarak bulunduğunda, geçit çiftleri oluşur. Geçit çiftleri, bir hücre lümeninden diğer hücre lümenine sıvıların ve gazların taşınmasında ana geçiş yolları olup, üzerinde bulundukları hücre tipi ve bulunuş yeri ile ilgili olarak farklılıklar gösterirler. Genel olarak hücrelerde basit ve kenarlı geçitler olmak üzere iki tip geçit bulunmaktadır. Geçit tipleri aynı zamanda hücrelerin karakteristik yapılarıdır. Örneğin; trahe çeperleri üzerinde kenarlı geçitler, traheidlerde çoğunlukla kenarlı, nadiren basit geçitler, paranşim hücrelerinde basit geçitler, libriform liflerinde basit, lif traheidlerinde kenarlı

geçitler bulunmaktadır. Bitişik iki hücreden birinde kenarlı, diğerinde basit geçit oluşmuşsa bu geçit çiftine, yarı kenarlı geçit çifti denmektedir. Geçit sadece bir hücrede bulunup, diğerinde oluşmazsa kör geçit adını alır.

Bütün geçitlerde geçit zarı ve geçit boşluğu olmak üzere iki esas bölüm vardır (Şekil 3.2). Geçit zarı, bitişik iki hücrenin primer çeperi ve orta lâmelden oluşur. Geçit zarının yapısı iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlarda farklılık gösterir. İğne yapraklı ağaçların kenarlı geçitlerinde geçit zarının orta kısmı iki yandan kalınlaşarak bir düğme şeklini almıştır. Torus adı verilen bu kısım ile geçit kenarı arasında kalan geçit zarına ise margo denmektedir. Margonun yapısı normal primer çeperden farklı olup, yarıçap yönünde uzanan mikrofibril ağı primer çeperin yerine geçmektedir.

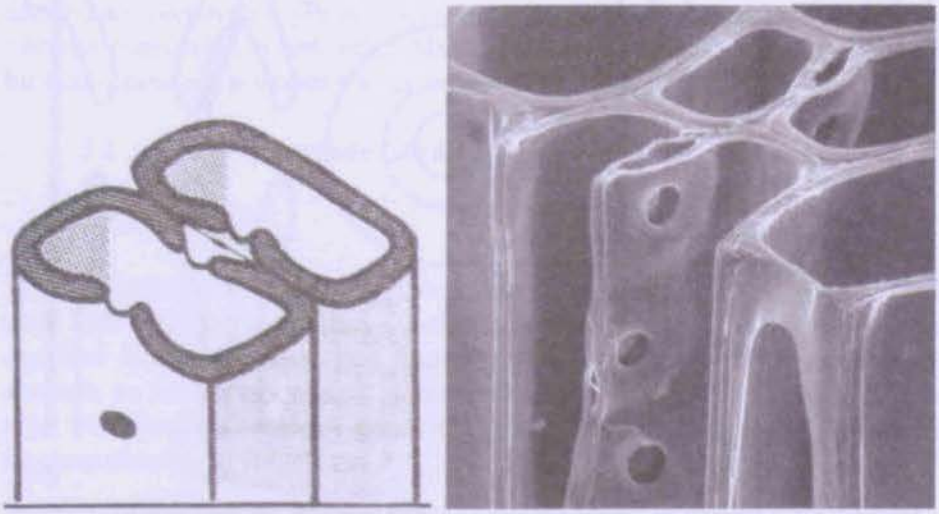


Şekil 3.2: Geçit tiplerine ait şematik görünüş. (A) Basit geçit çifti, (B) İğne yapraklı ağaçlarda kenarlı geçit çifti, (C) İğne yapraklı ağaçlarda aspirasyon durumundaki geçit çifti, (D) Yarı kenarlı geçit çifti.

İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlarda kenarlı geçitlerin yapısı geçit zarları hariç, benzerdir. Geniş yapraklı ağaçlarda tüm geçit tiplerinde geçit zarları, iğne yapraklı ağaçlardaki yarı kenarlı ve basit geçit çiftlerinin zarlarına benzemektedir. Yapraklı ağaç kenarlı geçitlerinde torus oluşmamakta ve geçit zarında açıklıklar görülmemektedir. Geçit zarı 100 000 defa büyütüldüğünde bile herhangi bir açıklık görülmemekte, yapısı bir filtre kâğıdına benzemektedir.

Buna karşın iğne yapraklılarda ağaç türüne, ilkbahar ve yaz odununda bulunmalarına göre kenarlı geçit zarlarında (margoda) 0,2 μm–2 μm kadar genişlikte açıklıklar bulunmaktadır.

Kenarlı geçitlerde geçit boşluğu hücre lümenine doğru daralarak, bir kubbe şeklini alır. Hücre çeperinin sekonder tabakası geçitin çevresini bir yay gibi sarar, ancak hücre lümeni tarafında porus (geçit ağzı) adı verilen bir açıklık bırakılır. Böylece bitişik iki hücrenin sekonder çeperleri geçit odasını meydana getiren bir kemer oluşturmaktadır. Bir geçitin porusdan geçit zarına kadar olan kısmına geçit boşluğu denmektedir. Kalın çeperli hücrelerin kenarlı geçitlerinde geçit boşluğu; geçit kanalı ve geçit odası olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Lümenden geçit odasına kadar olan kısım, geçit kanalı, geriye kalan ve geçit zarına kadar olan boşluk kısmı ise, geçit odasıdır. Geçit kanalının hücre lümenine açılan tarafına iç porus, geçit odasına açılan tarafına dış porus denmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda boyuna traheidler arasındaki kenarlı geçit çiftleri Şekil 3.3'te verilmiştir.

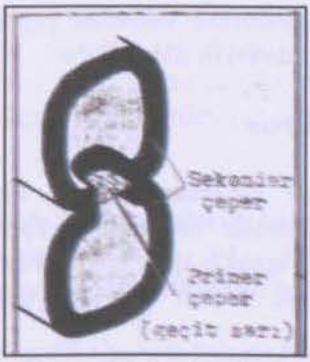


(A) (B)

Şekil 3.3: (A) İğne yapraklı ağaçlarda boyuna traheidler arasında kenarlı geçit oluşumunun şematik görünüşü. (B) Çam'da boyuna traheidler üzerinde kenarlı geçitler (SEM).

Basit geçitlerde geçit zarından lümene doğru uzanan geçit boşluğu yaklaşık olarak bir silindir şeklinde olup, genişliği hemen hemen aynıdır. Bazen boşluk, lümene doğru az miktarda daralır veya genişler. Öz ışınlarını meydana getiren paranşim hücreleri arasındaki basit geçit çifti Şekil 3.4'te görülmektedir.

Bu geçitlerin zarlarında da sekonder çeper bulunmamakta, bitişik iki hücrenin primer çeperi ile orta lâmel, geçit zarını oluşturmaktadır.



Şekil 3.4: İki paranşim hücresi arasındaki basit geçit oluşumunun şematik görünüşü.

İğne yapraklı ağaçlarda iletim hücreleri (traheidler) ile depolama hücrelerinin (paranşimlerin) karşılaşma alanlarındaki geçit çiftleri, pencere, pinoid, piceoid, cupressoid ve taxodioid olmak üzere beş tipte görülmektedir. En iyi şekilde ilkbahar odununda belirgin olan bu geçit çiftleri, yarı kenarlı geçitlerdir (Şekil 3.15).

Bazı geniş yapraklı ağaçlarda püsküllü geçitler bulunabilir. Bu tip geçitlerde geçit odası ve poruslar, sekonder çeperden geçit boşluğuna doğru uzamış püsküllerle kısmen veya tamamen doldurulmuştur. Püsküllü geçitlerde radyal kesitte geçit ağzı zig–zaglar şeklinde görülmektedir (Şekil 3.5).

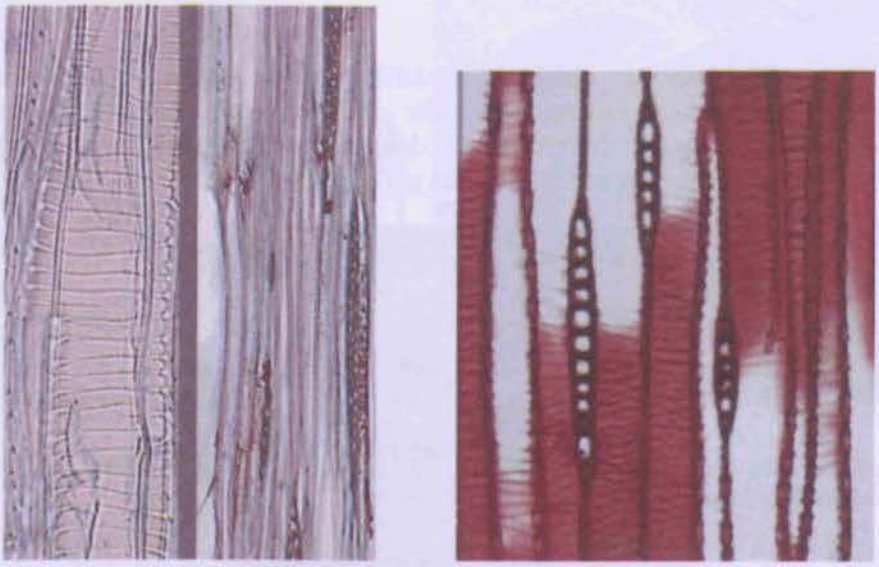
Şekil 3.5: Afrormosia (*Pericopsis elata*) trahesinde püsküllü geçitler (1050x).

Hücrede geçitlerin bulunduğu kısımlarda hücre direnci azalabilir. Ancak, dirençteki azalma önemli değildir. Çünkü ağaçlarda gövde direncini ve iletimi sağlayan hücrelerin çeperindeki mikrofibril açıları, geçitler için açıklık bırakıldığında yönlerini değiştirerek sekonder çeperin direncindeki azalmanın minimum düzeyde kalmasında etkili olurlar.

3.1.2 Spiral Kalınlaşma

Bazı ağaç türlerinde sekonder çeperin lümen tarafında mikrofibril demetleri spiral olarak çıkıntılar oluşturabilir (Şekil 3.6). Spiral kalınlaşma denen bu oluşumlar, iğne yapraklı ağaç hücrelerinde nispeten az bulunur. Bu nedenle iğne yapraklı ağaç türleri için bir tanım özelliği olarak kabul edilmektedir.

Geniş yapraklı ağaçlarda ise spiral kalınlaşmalar daha çok görülmektedir. Bir helezon şeklinde uzanan bu kalınlaşmalar bazı yapraklı ağaçlarda tüm hücre boyunca, bazı türlerde sadece hücrelerin uç kısımlarında ya da orta kısımlarında bulunabilir. Bu nedenle sadece bazı geniş yapraklı ağaç türlerinde bir tanım özelliği olarak kabul edilmektedirler.



(A) (B)

Şekil 3.6: (A) Ihlamur (*Tilia japonica*)'da teğet kesitte trahelerde spiral kalınlaşma. (B) Douglas göknarı (*Pseudotsuga menziesii*) traheidlerinde spiral kalınlaşma.

3.2 İğne Yapraklı Ağaçlarda Mikroskopik Yapı

İğne yapraklı ağaçların odunları genellikle homojen yapıda, düzgün lifli ve hafiftir. Çoğunlukla bina inşaatında ve kontrplak üretiminde kullanılırlar. Uzun ve düzgün gövdeli ağaçlar tel direği ve iskele direkleri olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, uzun liflere sahip olanlar kâğıt yapımında tercih edilmekte, fazla miktarda reçine içerenlerden ise ekstraksiyon işlemler ile reçine ürünleri elde edilmektedir.

İğne yapraklı ağaçlarda ksilem oldukça basit yapıda olup, 4–5 çeşitten fazla odunsu hücre bulunmaz (Tablo 3.1). Yapıları basit ve yeknesak olduğundan iğne yapraklı ağaç odunları birbirine benzemektedir.

Tablo 3.1: İğne Yapraklı Ağaçlarda Bulunan Hücreler ve Görevleri

İletim	Destek	Depolama
Traheidler – İlkbahar odunu – Öz ışını	Traheidler – Yaz odunu – Basınç odunu	Paranşim hücreleri – Boyuna – Öz ışını Epitel hücreleri – Boyuna kanallar çevresinde – Enine kanallar çevresinde

3.2.1 Boyuna Yönde Uzanan Hücreler

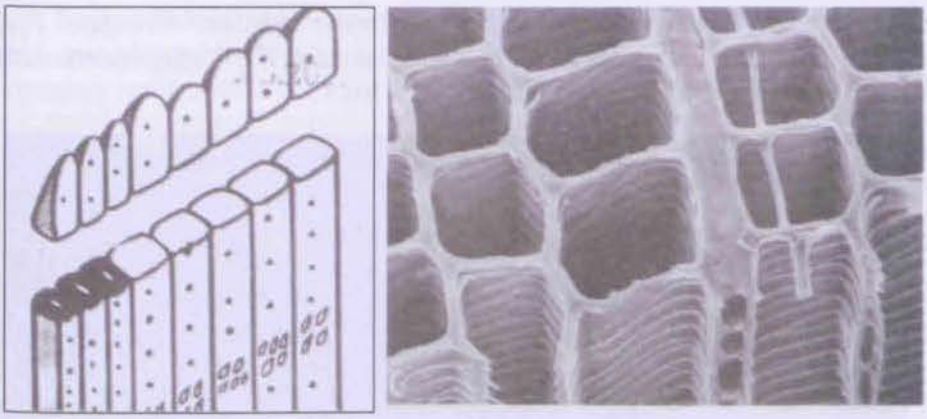
3.2.1.1. Boyuna Traheidler

İğne yapraklı ağaçlarda hacmin % 90–95'i boyuna traheid adı verilen ince, uzun hücrelerden oluşmakta ve bu hücreler gövde eksenine paralel yönde uzanmaktadır (Şekil 3.7). Boyuna traheidlerin uzunlukları çaplarının 100 katı kadar, enine kesitleri genellikle dikdörtgen şeklinde, uçları kapalı, orta kısımları (lümenleri) boştur. Uçları küt ya da radyal yönde yuvarlak, teğet yönde sivridir. Boyları çoğunlukla 3–5 mm arasında değişir. Ancak, 2 mm'den daha kısa veya *Sequoia* ve *Araucaria*'da olduğu gibi 10 mm kadar uzunlukta olanlara da rastlanmaktadır. Çapları çoğunlukla 0,02–0,04 mm (20–40 μm) olmakla beraber, 0,015–0,080 mm (15–80 μm) sınırları arasında değişebilmektedir.

Şekil 3.7: Dikili bir ağaçta boyuna traheid ve öz ışını hücrelerinin yönleri.

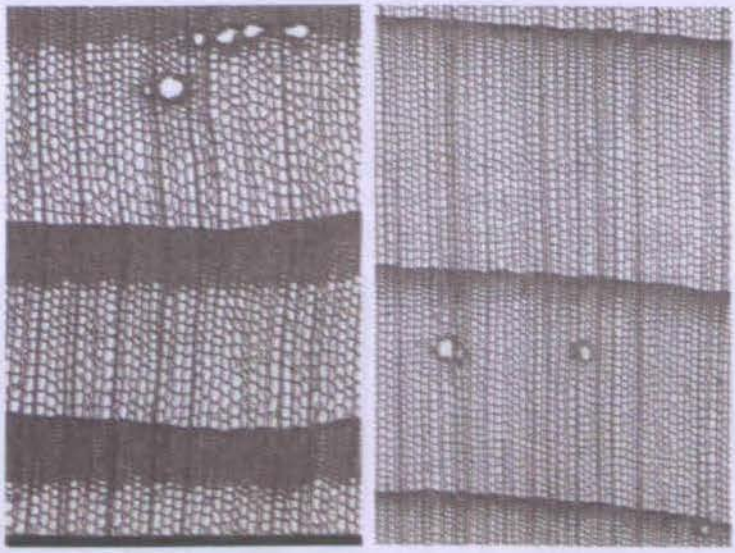
Yıllık halka içerisinde ilkbahar ve yaz odununda oluşan traheidlerin morfolojileri arasında farklılık bulunur (Şekil 3.8/A). İlkbahar odunu hücreleri ince çeperli, büyük radyal çaplı ve büyük lümenli, çok köşeli veya kare enine kesitlidir. Yaz odunu hücreleri ise kalın çeperli, küçük lümenli, radyal çapları küçük, çoğunlukla dikdörtgen enine kesitlidir. Yaz odunu traheidleri, ilkbahar odunu traheidlerinden % 10 kadar daha uzundur. Bazı iğne yapraklı ağaçlarda traheid çeperlerinin iç tarafında (lümen tarafında) spiral kalınlaşmalar görülebilir. Spiral kalınlaşmalar genellikle yaz odunu traheidlerinde daha dik açıyla seyretmekte ve *Taxus, Torreya, Pseudotsuga* cinslerinde rastlanmaktadır. Ayrıca, trabeculae adı verilen ve radyal yönde lümeni geçen çubuk şeklinde hücre çeper uzantıları da bazı iğne yapraklı ağaç traheidlerinde görülmektedir (Şekil 3.8/B).

Douglas göknarı, melez ve sert çamlarda (2–3 ibreli çamlarda) ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş hızlıdır (Şekil 3.9/A). Bu ağaç türlerinde yaz odunu tabakası, yıllık halkanın ilkbahar odunu kısmından keskin şekilde belirgindir. Lâdin, göknar, sedir, porsuk gibi iğne yapraklı ağaçlarda yaz odunu traheidleri çeper kalınlığında ve radyal çaplarında artış yavaş yavaştır (Şekil 3.9/B). Bunlara ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaş olan ağaçlar denir. Ayrıca, bu ağaç türlerinde makroskopik görünüşte yıllık halka sınırları, ilkbahar odunundan yaz odununa hızlı geçiştekilere göre daha az belirgindir.



(A) (B)

Şekil 3.8: (A) Bir yıllık halka içerisinde boyuna traheidlerin radyal yönde sıralanış şekli ve ilkbahar–yaz odunu traheidlerinin enine kesiti. (B) *Pseudotsuga menziesii*'de spiral kalınlaşma ve trabeculae oluşumu (SEM).

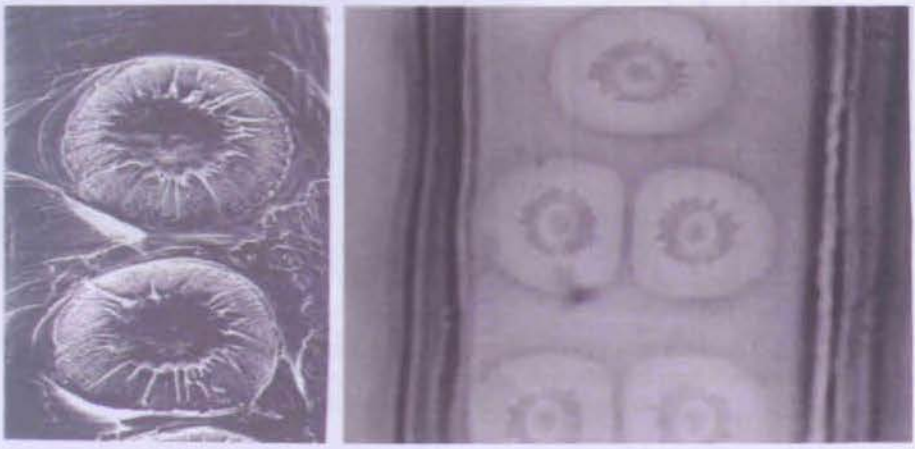


(A) (B)

Şekil 3.9: İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş, (A) *Larix decidua*'da hızlı (25x), (B) *Picea abies*'te yavaş (25x).

Boyuna Traheidlerde Geçitler: Boyuna traheidlerin radyal çeperleri üzerinde çok sayıda kenarlı geçit bulunur. İğne yapraklı ağaçlarda geçit zarının ortasında torus adı verilen bir kalınlaşma ve torusu geçit kenarına bağlayan mikrofibril ağından oluşan margonun bulunduğu daha önce açıklanmıştı. Bazı

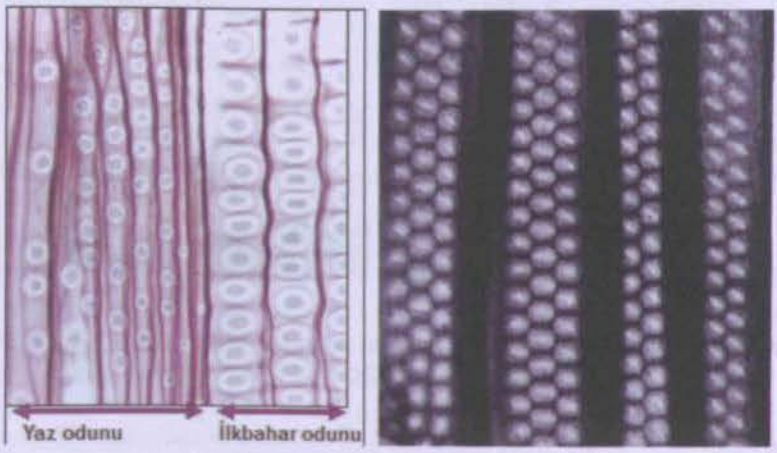
iğne yapraklı ağaçlarda bu yapıdan ayrılmalar görülür. Örneğin; *Thuja plicata*'da kenarlı geçitlerde torus bulunmamaktadır. Yerli ağaç türlerimizden *Cedrus libani*'de torus kenarı dişlidir (Şekil 3.10).



(A) (B)

Şekil 3.10: *Cedrus libani*'de torus kenarlarının diş görünüşü, (A) SEM, (B) ışık mikroskopunda.

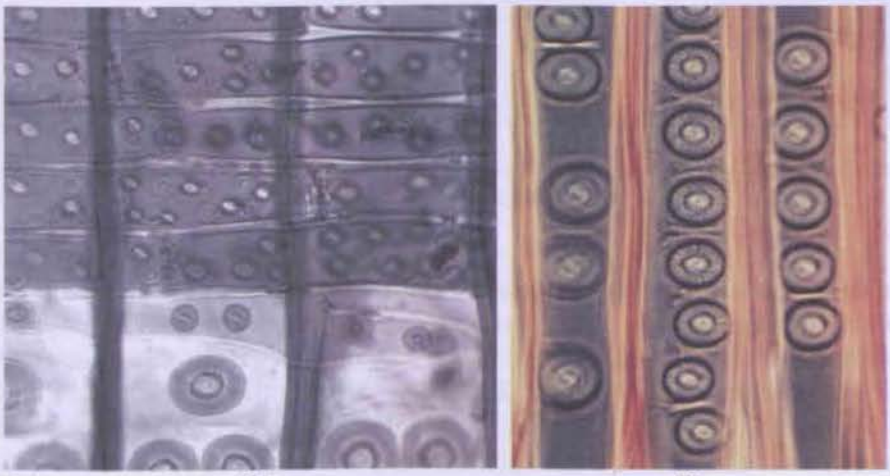
İğne yapraklı ağaçlarda kenarlı geçitler ilkbahar odununda daha büyük, bol miktarda ve çoğunlukla tek, bazen 2, bazen de 3–4 sıralı olarak görülürler (Şekil 3.11-3.12/A). Yaz odunu traheidlerinde ise geçitler küçük veya seyrek olup, bazen teğet çeperler üzerinde de oluşabilmektedir.



(A) (B)

Şekil 3.11: (A) *Pinus* spp.'de ilkbahar ve yaz odunu traheidlerinde kenarlı geçitler, (B) *Agathis vitiensis*'de diyagonal sıralı kenarlı geçitler.

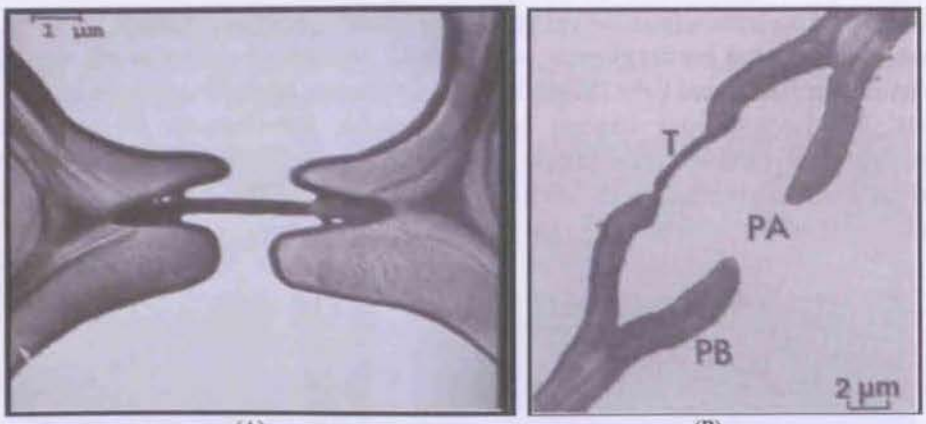
Boyuna traheidlerin radyal yüzeyinde kenarlı geçitlerin üstünde ve altında bazen enine koyu bir çizgi veya şerit halinde görülen ve crassulae adı verilen oluşumlara rastlanmaktadır (Şekil 3.12/B). Crassulae, hücreler arasında bulunan orta lâmel ve primer çeperin bölgesel olarak kalınlaşması ile meydana gelmektedir. Görevlerinin hücre çeperini kuvvetlendirmek olduğu tahmin edilmektedir. Araucariaceae familyası dışında bütün iğne yapraklı ağaçlarda rastlandığından, tanım özelliği taşımazlar.



(A) (B)

Şekil 3.12: .(A) Melez'de iki sıralı kenarlı geçitler,
(B) Çamda ilkbahar odunu traheidlerinde crassulae oluşumu.

İğne yapraklı ağaç odunlarında kenarlı geçit zarları, kurutma ve emprenye işlemlerinde güçlüklere neden olabilirler. Çünkü esnek yapıdaki geçit zarları merkezi durumdan ayrıldığında geçirgen olmayan torus, bir taraftaki porusu tıkayarak sıvı madde akışını engelleyebilmektedir (Şekil 3.2/D, 3.13). Böyle bir geçite, aspirasyon durumundaki geçit denmektedir. Bu tip geçitlerin bulunması, ağaç malzemede kreozot, pentaklorfenol gibi yağlı koruyucu kimyasal maddelerin nüfuzunu daha fazla engellemektedir. Geçitleri aspirasyona uğramış ağaç malzemede kurutma da yavaş olur. Çünkü kurutmada geçit zarının farklı taraflarında meydana gelen farklı basınçlar nedeniyle geçit aspirasyonu artar ve malzeme daha yavaş kurur. Aspirasyon gerçekleşmişse kalıcı bir durum söz konusudur. Torus ile onu çevreleyen kemer şeklindeki sekonder çeper arasında hidrojen bağları yardımı ile meydana gelen birleşme, geçit zarının orada fikse olmuş bir durumda kalmasına neden olmaktadır.



(A) (B)

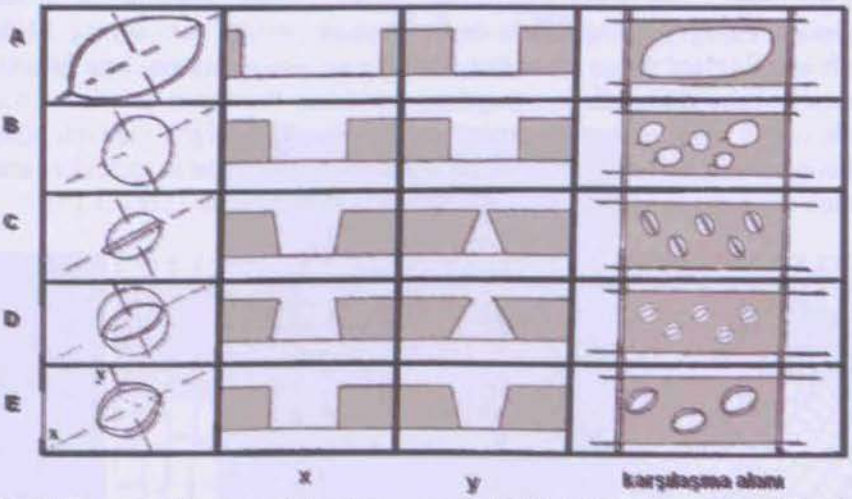
Şekil 3.13: İğne yapraklı ağaç enine kesitinde (A) Normal, (B) Aspirasyon durumunda kenarlı geçit çifti [(T) torus, (PA) porus açıklığı, (PB) geçit kenarı].

Geçit aspirasyonu dikili ağaçlarda hücreler içerisindeki sıvı basınç farklılıklarından, biçilmiş ağaç malzemede ise kuruma ile meydana gelmektedir. Dikili haldeki ağaçlarda evoporasyon (buharlaşma) ya da transpirasyon (terleme) sonucunda hücrelerde oluşan sıvı basınç farklılıkları aspirasyonu meydana getirmektedir. Bitişik hücrelerden biri veya her ikisinin lümenindeki evoporasyon ile basınç farklılıkları ortaya çıktığında geçit zarı daha düşük hava basıncı bulunan tarafa doğru yönelerek, porusu kapatmaktadır. Bu şekilde aspirasyon oluşumu diri odunda görülmektedir. Ayrıca, geçit aspirasyonu genellikle diri odundan öz oduna dönüşüm sırasında da meydana geldiğinden, öz odun ya az emprenye edilmekte ya da hiç emprenye edilememektedir.

Öz odunun emprenyesinde rastlanan güçlükler sadece aspirasyon durumundan değil, öz odun oluşumu sırasında margo üzerine yerleşen yabancı maddelerin geçit zarlarını zamanla daha az geçirgen hale getirmesinden de kaynaklanmaktadır. İnce çeperlere ve büyük geçitlere sahip olan ilkbahar odunu traheidlerindeki geçit aspirasyonu, kalın çeperli ve küçük geçitleri olan yaz odunu traheidlerinden çoğunlukla daha fazladır. Bu durum emprenye maddelerinin enine yüzeylerden nüfuz derinliğinin, neden yaz odunu tabakasında daha fazla olduğunu açıklamaktadır.

Diğer bir geçit tipi boyuna traheidler ile öz ışını paranşim hücrelerinin temas ettiği alanlarda oluşan ve karşılaşma yeri geçitleri adı verilen yarı kenarlı tipteki geçitlerdir. Traheid çeperleri üzerindeki kenarlı geçitlerle, paranşim hücreleri üzerindeki basit geçitlerin karşılaştıkları alanda oluşturdukları bu tip geçit çiftleri kedigözü şeklinden, büyük açıklıklara kadar değişen beş tipte

görülmektedir (Şekil 3.14). Pencere, pinoid, piceoid, cupressoid, taxodioid tipteki bu geçitlerin şekli, büyüklüğü ve sayıları bir ağaç türü için oldukça sabit olduğundan, iğne yapraklı ağaç odunlarının tanımında önemli bir özelliktir.



Şekil 3.14: İğne yapraklı ağaçlarda karşılaşma yeri geçit çiftleri. (A) Pencere tipi geçitler: *Pinus sylvestris, P.nigra*. (B) Pinoid tip geçitler: *Pinus brutia, P. halepensis, P. pinea, P. pinaster, P. ponderosa*. (C) Piceoid tip geçitler: *Picea, Larix, Pseudotsuga*. (D) Cupressoid tip geçitler: *Juniperus, Taxus, Tsuga, Calocedrus decurrens*. (E) Taxodioid tip geçitler: *Abies, Sequoia, Taxodium, Thuja*.

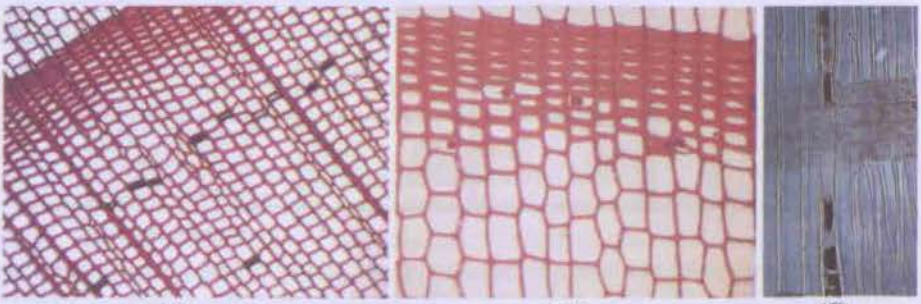
3.2.1.2 Strand Traheidler

Bazı iğne yapraklı ağaçların teğet ve radyal kesitlerinde paranşim hücrelerine benzeyen, uçları düz (sivri olmayan) traheidlere rastlanmaktadır. Strand traheidi adı verilen bu hücrelerin boyları kısa, uçları hücre eksenine dik olup dikdörtgenler şeklinde uç uca birleşerek boyuna sıralar meydana getirirler. Strand traheidlerin radyal çeperleri üzerinde ve iki ucunda kenarlı geçitler vardır. Paranşim hücrelerinden, lümenlerinin boş olması ve kenarlı geçitlere sahip olmaları ile ayrılırlar. Boyuna traheidler veya boyuna paranşimler arasında rastlanan strand traheidler, örneğin; *Larix* ve *Pseudotsuga*'da boyuna reçine kanalları yakınında veya patolojik dokular yakınında tespit edilmiştir.

3.2.1.3 Boyuna Paranşimler

Pinus, Picea, Taxus gibi bazı iğne yapraklı ağaçlarda boyuna paranşimlere rastlanmaz ve bu cinslerde boyuna yönde uzanan tek hücre tipi traheidlerdir. Bazı iğne yapraklı ağaçlarda ise, az miktarda boyuna paranşimler

görülmektedir. Örneğin; *Abies*, *Pseudotsuga* ve *Tsuga*'da nadiren, *Cedrus*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Sequoia* ve *Calocedrus*'ta değişik oranlarda bulunabilirler. Boyuna paranşim hücreleri kambiyumda oluşturulduklarında, boyuna traheidlerle aynı yapıya sahiptirler. Ancak, olgunlaşma safhasında sekonder çeper kalınlaşmadan önce, boyuna yönde çok sayıda bölümlere ayrılırlar. Böylece olgun paranşim hücreleri uç uca birleşmiş, kısa hücrelerden oluşan boyuna hücre dizileri meydana getirirler. Prizmatik şekilli bu hücreler kaide olarak içleri dolu, ince çeperli ve basit geçitlidir. İğne yapraklı ağaçlarda bulunuyorlarsa, dokunun % 1–2'sini oluştururlar. Genellikle traheidler arasında tek tek dağınık veya teğet hatlar düzeninde yerleşmişlerdir (Şekil 3.15).



(A) (B) (C)

Şekil 3.15: İğne yapraklı ağaçlarda boyuna paranşimler. (A-B) *Chamaecyparis* sp. ve *Sequoia sempervirens*'de enine kesitte dağınık boyuna paranşimler, (C) *Juniperus communis*'te radyal kesitte boyuna paranşimler.

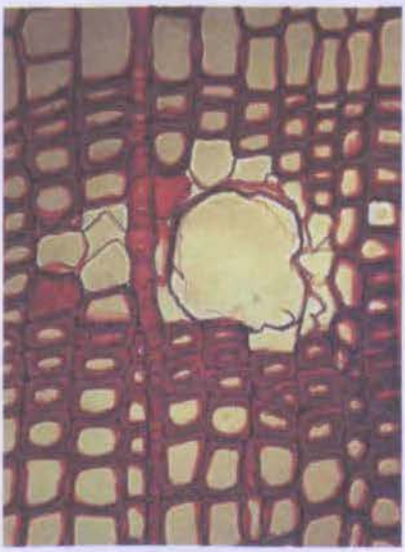
3.2.1.4 Epitel Hücreleri

İğne yapraklı ağaçlardan *Pinus, Picea, Larix, Pseudotsuga* ve *Keteleeria* türlerinde boyuna yönde uzanan normal reçine kanalları vardır. Bu özellik, sayılan türlerin odunlarının tanımında önemli rol oynamaktadır. *Keteleeria* türleri hariç diğer türlerde boyuna reçine kanalları, öz ışınları içersinde oluşan enine reçine kanalları ile birlikte görülürler.

Reçine kanalları hücreler arasında oluşan bir boşluktur. Bu boşluk, kanal içerisine reçine salgılayan özel tipte bir paranşim hücresi olan epitel hücreleri ile çevrelenmiştir. Reçine ağaçlarda yaralanmış dokuların üzerini örtme rolünü üstlenmektedir. Örneğin; çam iç kabuğu kesildiğinde yaralanan kısımdan reçine akmaya başlamakta ve burada yara dokusu ile birlikte reçine üreten yeni hücreler meydana gelmektedir.

Boyuna reçine kanalları kambiyumda hücre bölünmesinden sonra, fakat hücreler farklılaşmadan önce oluşmaktadır. Yan yana bulunan farklılaşmış bir

grup boyuna traheid arasındaki orta lâmel eriyerek, hücreler arasında bir boşluk meydana gelmekte ve reçine kanalı oluşmaktadır. Boşluğu çevreleyen bu hücrelerin çeperleri ince kalmakta ve reçine salgılamaya başlayarak epitel hücresi adını almaktadır (Şekil 3.16). Radyal yönde uzanan enine reçine kanalları da benzer şekilde oluşmaktadır. Epitel hücrelerinin çeperleri, çamlarda ince, melez, lâdin ve Douglas göknarında kalındır.



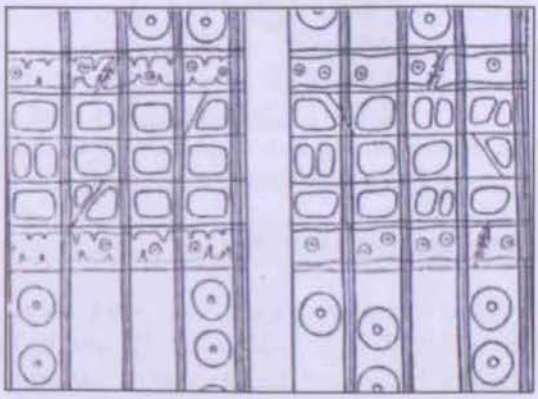
Şekil 3.16: *Pinus sylvestris*'de boyuna reçine kanalı ve ince çeperli epitelyum hücreleri.

Bütün iğne yapraklı ağaçlarda yaralanma sonunda traumatik reçine kanalları da oluşabilir. Ancak, sedir, sekoya gibi bazı iğne yapraklı ağaçlarda traumatik reçine kanalı oluşma eğilimi, diğerlerinden daha fazladır. Reçine kanallarının bulunup bulunmaması ağaç türleri odununun tanımında çok kullanıldığından, normal ve traumatik kanallar arasındaki farkın bilinmesi de önem kazanmaktadır. Traumatik kanalların oluşumu normal kanallara benzer şekilde gerçekleşmekle beraber, traumatik kanallar genellikle daha büyük olup, yıllık halka içerisinde teğet sıralar halinde yer alırlar (Şekil 3.17). Aynı ağaç türünde nadiren boyuna ve enine traumatik reçine kanalı birlikte bulunmakta, ancak yaşlı sedirlerde her iki tip traumatik kanallara sık sık rastlanmaktadır.

3.2.2.2 Öz Işını Traheidleri

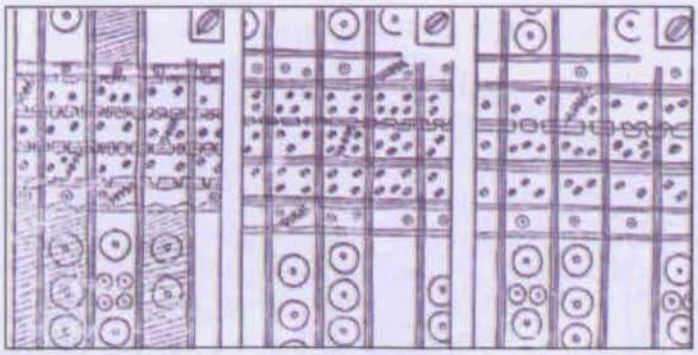
Normal olarak Pinaceae familyasından *Pinus*, *Picea*, *Larix*, *Pseudotsuga* ve *Tsuga* türlerinde her zaman, *Cedrus* spp. ve *Chamaecyparis nootkatensis*'de çoğunlukla görülen bir özellik olarak, öz ışınlarının üst ve alt kenarında veya aralarında bir ya da birkaç sıra öz ışını traheidleri bulunmaktadır. Nadiren öz ışını traheidlerinin tamamen bir öz ışını oluşturdukları da görülebilir. Öz ışını traheidleri boyuna traheidlere benzer, fakat onlardan daha kısa olup, yarıçap yönünde (radyal yönde) besi suyu iletimi yaparlar. Boyları 0,1–0,2 mm, çapları boylarının 1/5 veya 1/10'u kadardır. Boyuna traheidlerden daha küçük çaplı kenarlı geçitlere sahiptirler.

Öz ışını traheidlerinde çeperlerin iç yüzeyi ağaç türlerine göre düzgün, dişli veya ağ şeklinde olabilir. Örneğin; sert çamlarda (2–3 ibreli çamlarda) sekonder çeper, kenarlı geçitler yakınında yer yer girintili, çıkıntılı bir şekilde kalınlaşır. Lümene doğru uzanan dişlere benzer bu tip kalınlaşmalar bulunan öz ışını traheidlerine, dişli öz ışını traheidi denmektedir. Dişlerin az ya da çok olması çamları birbirinden ayırmada yardımcı olmaktadır (Şekil 3.20). Öz ışını traheidleri sekonder çeperlerinin iç yüzeyi lâdinde dalgalı, bazen düzgün, melezde sekonder çeperin iç yüzeyi düzgün, bazen dalgalıdır. Sedir ve tsuga'da iç yüzey daha hafif dalgalı, Douglas göknarında ise dalgalı olup, öz ışını traheidlerinde de boyuna traheidlerdeki gibi spiral kalınlaşmalar görülebilmektedir (Şekil 3.21).



(A) (B)

Şekil 3.20: Heterojen (heteroselular) öz ışınlarının alt ve üst kısımlarda uzanan öz ışını traheidleri sekonder çeperlerinde dişli ve dalgalı iç yüzey. (A) *Pinus sylvestris*, (B) *Pinus strobus*.



(A) (B) (C)

Şekil 3.21: Öz ışını traheidleri sekonder çeperlerinde dalgalı iç yüzey. (A) *Pseudotsuga*, (B) *Picea*, (C) *Larix*.

Hücrelerin odun hacmine katılım oranları

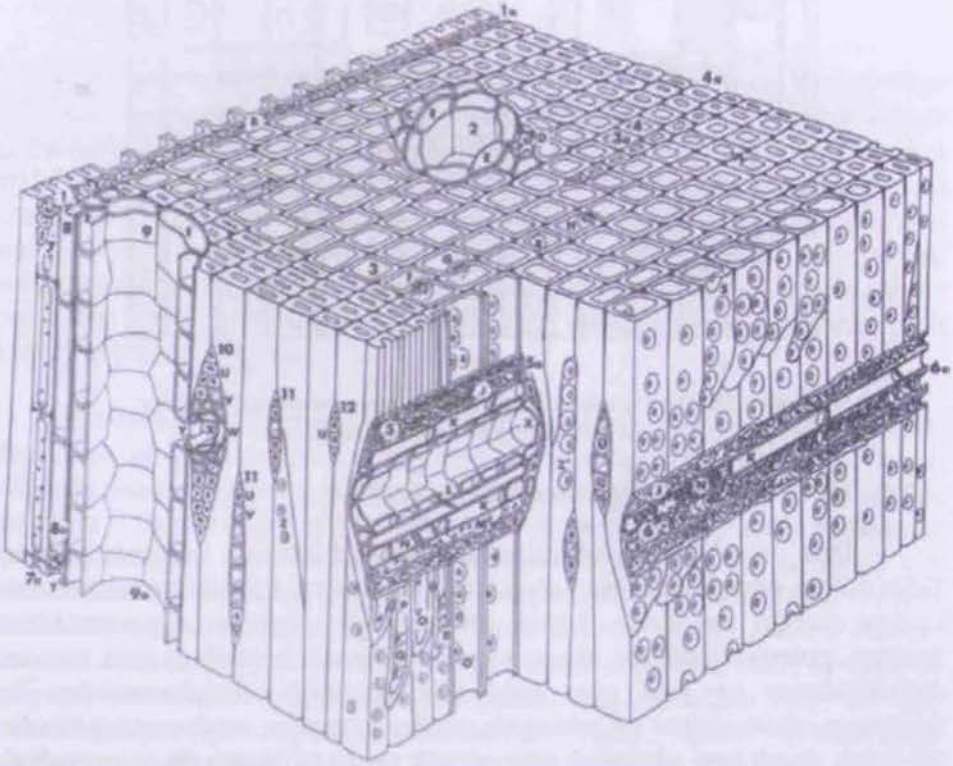
İğne yapraklı ağaç odunlarında bulunan hücrelerin ortalama oranları Tablo 3.2'de, önemli bazı iğne yapraklı ağaçlarda hücre tiplerinin odun hacmine katılım oranları ise Tablo 3.3'de görülmektedir. Odunun yapısının hücre tiplerine, genetik özelliklere, ağacın meşcere içerisinde bulunduğu yere, mevsim değişikliklerine ve yaşa göre farklılıklar gösterdiği unutulmamalıdır. Bu faktörlerin etkisi nedeni ile tablolarda verilen rakamlar, ortalama değerlerdir. Bir örnek olarak çam odununun mikroskopik yapısı ve hücrelerin enine, radyal, teğet kesitlerdeki yerleşim şekilleri Şekil 3.22'de verilmiştir.

Tablo 3.2: İğne Yapraklı Ağaçlarda Ortalama Hücre Tipleri Oranları

Hücre Tipi	Hücre Oranı (%)
Traheid	90–95
Paranşim	4–10
Epitel	0–1

Tablo 3.3: İğne Yapraklı Ağaçlarda Ortalama Hücre Tipleri Oranları (%)

Ağaç Türleri	Traheid	Öz Işını	İğimsi Öz Işını	Boyuna Reçine Kanalı	Boyuna Paranşimler
Abies alba	92,6	7,40	–	–	–
Cupressus sempervirens	94,2	5,60	–	–	0,20
Juniperus excelsa	91,5	8,24	–	–	0,26
Picea abies	94,1	5,95	0,77	0,14	–
Pinus nigra	94,1	5,49	0,76	0,38	–
Pinus strobus	93,3	5,29	0,76	0,93	–
Pinus sylvestris	93,0	6,41	0,93	0,58	–
Pseudotsuga menziesii	92,4	7,22	0,84	0,35	–



Şekil 3.22: İğne yapraklı ağaçlarda üç boyutlu şematik görünüş.

Enine kesit: 1–1a öz ışını, B dişli öz ışını traheidi, 2 reçine kanalı, C ince çeperli boyuna paranşim, D kalın çeperli boyuna paranşim, E epitel hücreleri, 3–3a ilkbahar odunu traheidleri, F radyal çeperde kenarlı geçit çifti, H teğet çeperde kenarlı geçit çifti, 4–4a yaz odunu traheidleri. **Radyal kesit:** 5–5a kesilmiş bir iğimsi öz ışını, J dişli öz ışını traheidi, K ince çeperli paranşimler, L epitel hücreleri, N kalın çeperli paranşimler, O yaz odunu traheidinde kenarlı geçitler, O′ ilkbahar odunu traheidinde kenarlı geçitler, P teğet çeperler üzerinde kenarlı geçitler, R spiral kalınlaşma, 6–6a heterojen öz ışını. **Teğet kesit:** 7–7a strand traheidler, 8–8a ince çeperli boyuna paranşimler, T kalın çeperli paranşim, 9–9a boyuna reçine kanalı, 10 iğimsi öz ışını, U öz ışını traheidi, V öz ışını paranşimi, W enine reçine kanalı epitel hücreleri, X enine reçine kanalı, Y boyuna ve enine reçine kanalları arasındaki açıklık, 11 tek sıralı heterojen öz ışını, 12 tek sıralı homojen öz ışını, Z yaz odunu traheidleri teğet yüzeyinde kenarlı geçitler, Z′ ilkbahar odunu traheidleri teğet yüzeyinde kenarlı geçitler.

3.3 Geniş Yapraklı Ağaçlarda Mikroskopik Yapı

Geniş yapraklı ağaçlarda hücre yapısı, iğne yapraklı ağaçlardan çok farklıdır. Yapraklı ağaçlarda daha fazla hücre çeşidi bulunduğundan, görünüş özellikleri de çok değişiklik gösterebilmektedir. Bu nedenle mobilya endüstrisinde, lâmbri yapımında ve diğer dekoratif amaçlı kullanım yerlerinde geniş bir değerlendirme alanına sahiptirler. Yapraklı ağaçlarda boyuna ve enine yönde uzanan hücreler görevleri bakımından gruplandırılarak Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4: Geniş Yapraklı Ağaç Odunlarında Bulunan Hücreler ve Görevleri

İletim	Destek	Depolama
– Trahe – Traheid Vaskular Vasisentrik	– Lifler Lif traheidleri Libriform lifleri	– Paranşimler Öz ışını paranşimleri Boyuna paranşimler – Epitel hücreleri

3.3.1 Boyuna Yönde Uzanan Hücreler

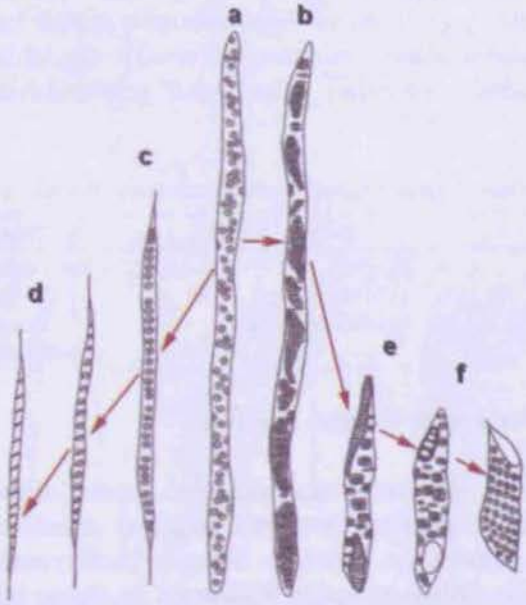
Geniş yapraklı ağaçlarda, ağaç eksenine paralel olarak uzanan boyuna hücreler büyüklükleri, şekilleri, görevleri ve genel düzenleri bakımından her zaman değişiklik gösterse de, bütün bu hücreler kambiyumdaki tek tip iğimsi inisiyalden oluşurlar. İğimsi inisiyalin bölünmesi ile oluşan hücreler başlangıçta birbirlerine benzerler. Tipler arasındaki farklılıklar hücrelerin olgunlaşma safhasında meydana gelmektedir.

3.3.1.1 Traheler

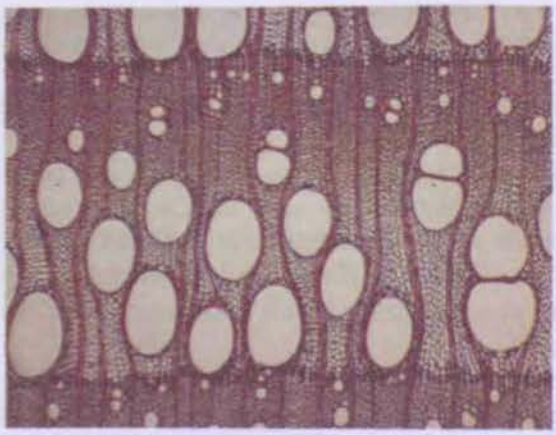
Geniş yapraklı ağaçlarda iletimi sağlayan özel tip hücrelere trahe adı verilmektedir. Kambiyumdaki inisiyal hücre bölündükten sonra trahelere dönüşmekte ve uç uca birleşerek aralarındaki çeperler ya tamamen ya da kısmen eriyip bir iletim borusu halini almaktadır. Yani, traheler odun dokusu içerisinde belli olmayan sayıda uç uca birleşmiş uzun, tüp şeklinde borulardır. Örneğin; meşede 18 m kadar uzunlukta iletim borusu oluşturdukları tespit edilmiştir. İki trahenin birleştiği uç çeperlerinde çeşitli şekillerde oluşan alanlara perforasyon tablası denmektedir.

Traheler genellikle diğer boyuna hücrelerden daha büyük çaplıdır (Şekil 3.23). Bu hücreler kambiyumda oluştuktan sonra büyüme safhasında boyuna yönde değil, çap yönünde gelişme gösterirler. Trahelerin boyları kendilerini meydana getiren kambiyum inisiyallerinden daha kısa, çapları 2–50 kat daha

geniştir. Diğer hücrelerin çaplarında ise genişleme çok daha az olmaktadır. Trahelerin daha geniş çaplı olması nedeniyle radyal yönde uzanan öz ışınları dışarı doğru itilebilmektedir. Diğer bir ifade ile büyük ilkbahar odunu traheleri, öz ışınlarının düzenlerini bozabilirler (Şekil 3.24).



Şekil 3.23: Geniş yapraklı ve iğne yapraklı ağaçlarda boyuna yönde uzanan hücrelerde boy ve çap karşılaştırması. (a-b) iğne yapraklı ağaçlarda boyuna traheid, (c-d) lifler, (e-f) traheler.



Şekil 3.24: Dişbudak (*Fraxinus excelsior*)'da geniş ilkbahar odunu traheleri çevresinde öz ışınları yönünde değişmeler.

Trahelerin boyları genellikle 0,2–1,3 mm, çapları 50–500 µm kadardır (Tablo 3.5). Kuzey yarım kürede yetişen geniş yapraklı ağaçlarda odun dokusunun % 6,5–55,0'ini kapsamaktadır.

Tablo 3.5: Bazı Geniş Yapraklı Ağaçlarda Trahe Uzunlukları ve Çapları

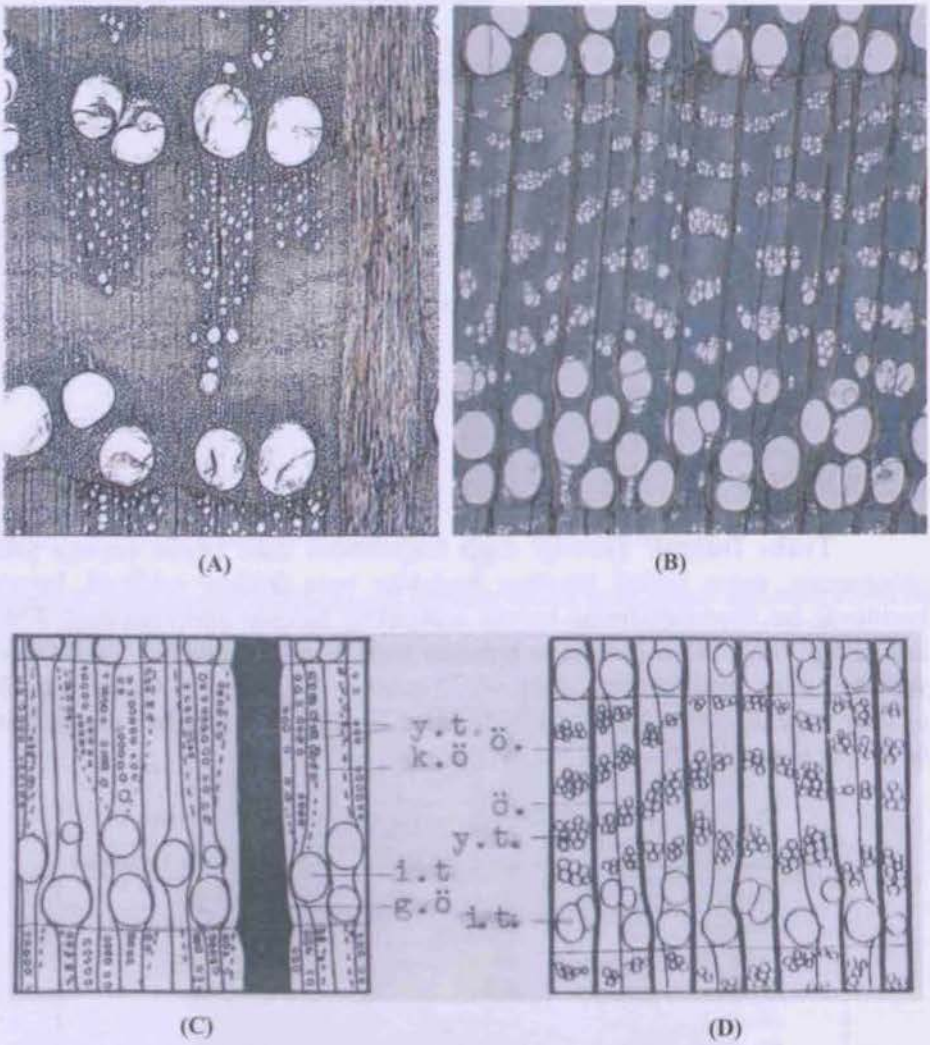
Ağaç Türü	Trahe uzunluğu (mm)	Dağınık trahelilerde tüm trahe çapı, halkalı trahelilerde ilkbahar odunu trahe çapı (µm)	Halkalı trahelilerde yaz odunu trahe çapı (µm)
Akçaağaç	0,41	30–110	–
Çınar	0,63	50–100	–
Dişbudak	0,29	max. 350	14–130
Gürgen	0,42	16–80	–
Huş	0,91	30–130	–
Ihlamur	0,43	20–90	–
Karaağaç	0,22	130–340	20–80
Kayın	0,61	30–100	–
Kestane	0,58	150–300	30
Kızılağaç	0,85	<100	–
Meşe	0,41	100–400	10–50
Söğüt	0,42	20–120	–
Yalancı akasya	0,18	200–300	<50

Trahe Düzeni: Traheler diğer hücrelerden daha büyük çaplara sahip olduğundan, enine kesitte büyükçe boşluklar veya delikler şeklinde, boyuna kesitlerde ise iğne çiziklerine benzer olukçuklar halinde görülmektedir. Enine kesitte bir yıllık halka içerisinde bulunan trahelerin büyüklükleri ve düzenleri yapraklı ağaç odunlarının tanımında yardımcı olmaktadır. Geniş yapraklı ağaçlar trahe düzenleri bakımından, halkalı, dağınık ve yarı halkalı olmak üzere üç grupta toplanırlar (Tablo 3.6).

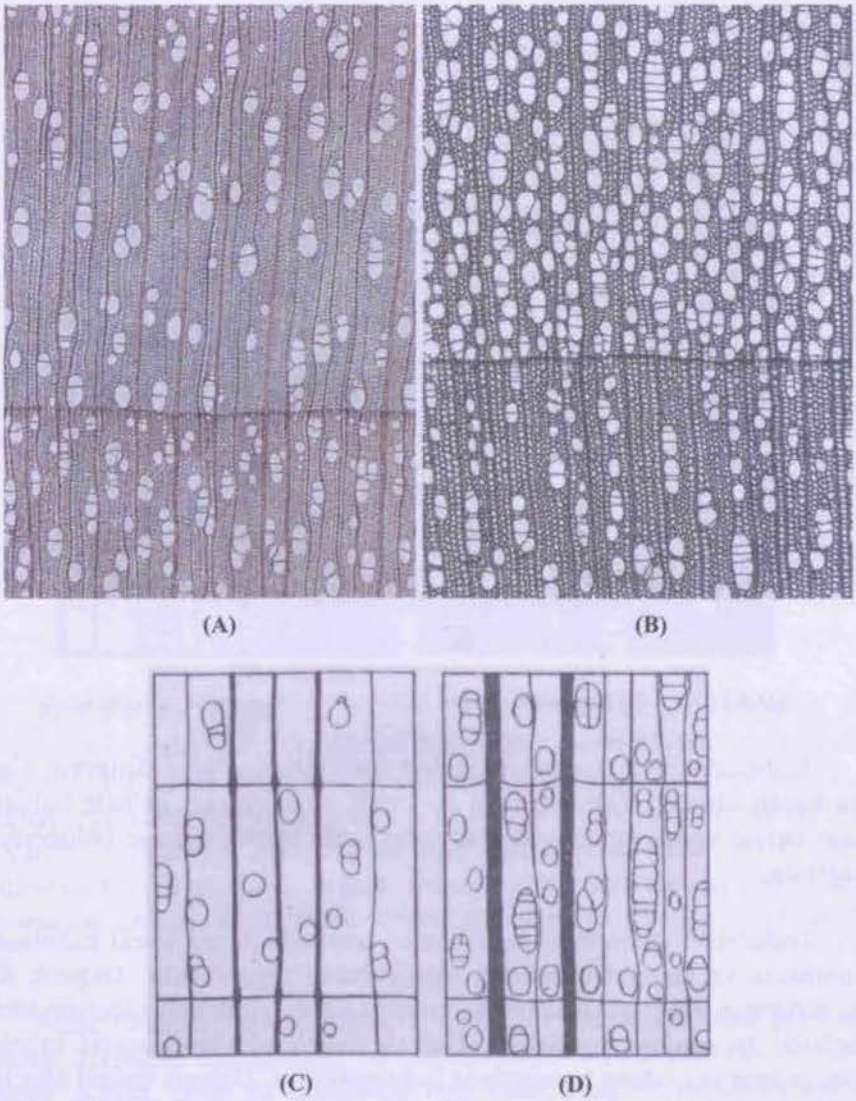
Tablo 3.6: Bazı Geniş Yapraklı Ağaç Odunlarında Trahe Düzeni

Halkalı Traheliler	Dağınık Traheliler	Yarı Halkalı Traheliler
Castanea	*Acer*	*Carya*
Catalpa	*Aesculus*	*Juglans*
Celtis	*Alnus*	*Prunus*
Fraxinus	*Betula*	*Teak*
Gleditsia	*Carpinus*	
Morus	*Fagus*	
Quercus	*Platanus*	
Robinia	*Populus*	
Ulmus	*Salix*	
Teak	*Tilia*	

Enine kesitte bir yıllık halka içerisinde büyük trahelerin ilkbahar odununda, küçük trahelerin yaz odununda kümelendiği ağaçlara, halkalı traheliler adı verilmektedir (Şekil 3.25). Enine kesitte traheler yeknesak büyüklükte olup yıllık halka içerisinde düzenli bir dağılış gösterirlerse, bu yapıya sahip ağaç türlerine dağınık traheliler adı verilmektedir (Şekil 3.26).



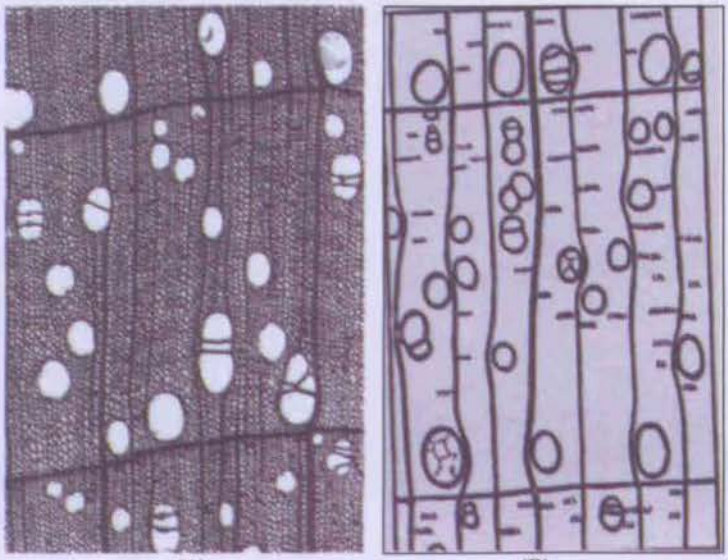
Şekil 3.25: Halkalı traheli ağaçlarda enine kesit. (A-C) *Quercus petraea*, (B-D) *Ulmus rubra*. (y.t) yaz odunu trahesi, (i.t.) ilkbahar odunu trahesi, (k.ö.) ince öz ışınları, (ö) öz ışını, (g.ö.) geniş öz ışını.



Şekil 3.26: Dağınık traheli ağaçlarda enine kesit. (A-C) *Betula pendula*, (B-D) *Alnus glutinosa*.

Bazı ağaç türlerinde traheler yıllık halka içerisinde bu iki grup arasında bir düzende dağılmışlardır. Yarı halkalı traheliler adı verilen bu gruba giren ağaçların odunlarında trahelerin ilkbahar ve yaz odunundaki büyüklükleri arasındaki fark çok fazla değildir (Şekil 3.27). Geniş yapraklı ağaçların çoğu dağınık traheli gruba girmektedir. Tropik bölgelerde yetişen ağaçlarda halkalı ve yarı halkalı gruba giren ağaç türleri sayısı çok az olduğu halde, kuzey ılıman

bölgelerde yetişen ve odunları çok değerli olan bazı türler halkalı ve yarı halkalı traheliler grubuna girmektedir.



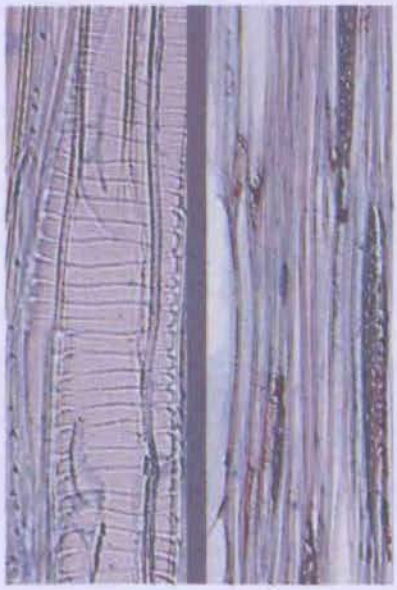
(A) (B)

Şekil 3.27: (A-B)Yarı halkalı traheli ağaçlardan *Juglans regia*'da enine kesit.

Trahelerin enine kesitteki şekilleri ağaç türlerine göre dairemsi, elipsoid veya köşeli olabilir. Tek tek, ikisi bir arada veya gruplar halinde bulunurlar. Bazen radyal yönde sıralanarak, bir trahe sanki birçok traheye bölünmüş gibi görülebilir.

Trahelerde sekonder çeperin lümen tarafında bazen spiral kalınlaşmalar bulunmakta ve tanım bakımından büyük önem taşımaktadır. Dağınık traheli ağaç türlerinin trahelerinde spiral kalınlaşma varsa, yıllık halka içerisindeki tüm trahelerde bu oluşum görülebilir. Halkalı traheli ağaçlarda spiral kalınlaşma varsa, sadece yaz odunu trahelerinde bulunmaktadır. Dağınık traheli ağaçlardan *Liquidambar* ve *Nyssa*'da ise spiral kalınlaşmalar trahelerin tümünde değil, uç kısımlarındaki çıkıntılarında yer alır. Bu oluşumlar tropik yapraklı ağaçlarda nadiren görülmektedir.

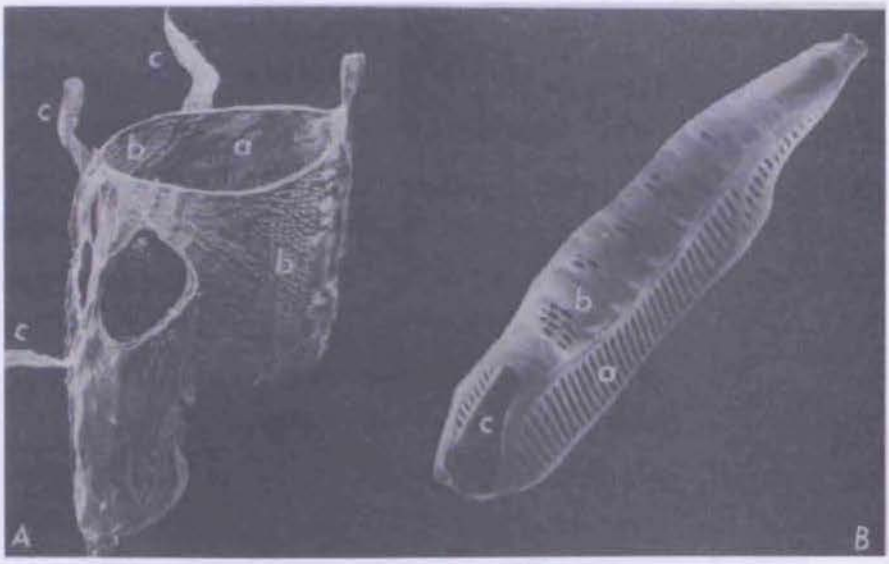
Trahelerinde spiral kalınlaşma bulunan ağaçlar arasında *Acer*, *Carpinus*, *Magnolia* ve *Tilia* sayılabilir (Şekil 3.28). Yaz odunu trahelerinde spiral kalınlaşma bulunan geniş yapraklı ağaçlara örnek olarak *Catalpa*, *Celtis*, *Morus*, *Robinia* ve *Ulmus* verilebilir. Ayrıca, trahelerde trabeculae oluşumlarına da nadiren rastlanmaktadır.



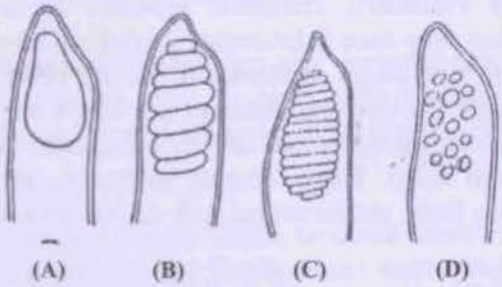
Şekil 3.28: *Acer pseudoplatanus* trahesinde spiral kalınlaşma.

Perforasyon Tablaları: Trahelerin ksilemde uç uca birleşerek iletim yolları oluşturdukları daha önce belirtilmişti. Trahelerin boyuna yönde birbirine bağlanarak bir iletim borusuna dönüşmeleri için uç çeperlerinde perforasyon tablaları oluşmaktadır. Perforasyon tablası uç uca bitişik her trahenin iki ucunda da vardır ve hücreler maserasyona tabi tutulduğunda daha iyi bir şekilde görülmektedir (Şekil 3.29). Hücre oluşum safhasının sonuna doğru gelişen perforasyon tablaları basit, merdivenimsi, çok delikli veya ağ şeklindedir (Şekil 3.30).

Meşe, ıhlamur, kavak, söğüt, akçaağaç ve karaağaçta basit perforasyon tablaları, kızılağaç, huş, gürgen, manolyada merdivenimsi perforasyon tablaları bulunur. Kayın, çınar ve sasafrasda hem basit, hem de merdivenimsi tipte, elmada (*Malus sylvestris*) ağ şeklinde, üvez (*Sorbus aucuparia*) ve armutta (*Pyrus communis*) ise çok delikli tipte perforasyon tablaları vardır. Geniş yapraklı ağaç odunlarının tanımında önemli bir özellik olan perforasyon tablaları en iyi şekilde mikroskop altında ve radyal kesitlerde görülmektedir.



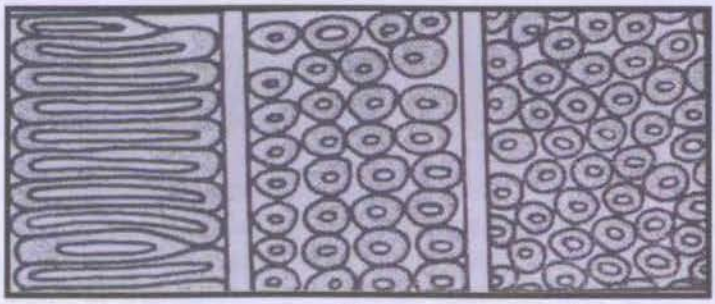
Şekil 3.29: (A) Meşede ilkbahar ve yaz odunu traheleri (SEM. 125x). (a) Perforasyon tablası, (b) geçitler, (c) trahelere bitişik üç vasisentrik traheid ucu. (B) Manolya trahesinde, (a) merdivenimsi kenarlı geçitler, (b) karşılaşma yeri geçitleri, (c) perforasyon tablası.



Şekil 3.30: Trahelerde perforasyon tablası tipleri. (A) Basit, (B-C) Merdivenimsi, (D) Çok delikli tipler.

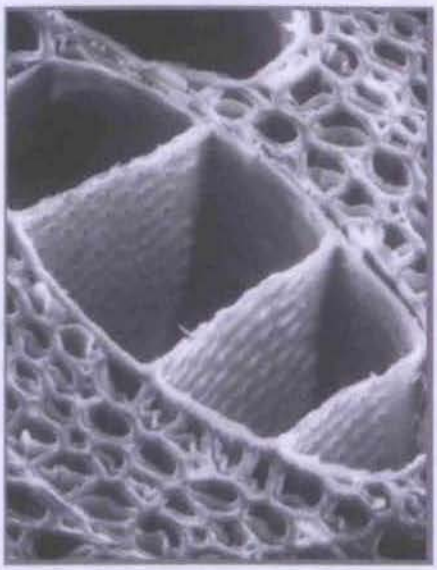
Traheler Arası Geçitler: Traheler ile traheler ve traheler ile diğer hücreler arasındaki sıvı madde iletimi, çeperleri üzerinde bulunan çok sayıda kenarlı geçitlerle sağlanmaktadır. Trahelerdeki kenarlı geçitlerin iğne yapraklı ağaçların traheidlerindeki kenarlı geçitlerden farkı, çok sayıda ve daha küçük olmalarıdır. Çapları 5–12 µm kadardır. Geniş yapraklı ağaçlarda kenarlı geçitler genellikle yuvarlak, birbirine çok yakın, az çok köşeli şekilde olup, torusları yoktur ve trahelerin teğet çeperleri üzerinde bulunurlar. Trahe–trahe arasındaki kenarlı geçitlerin tipleri, büyüklüğü ve düzeni bir tanım özelliğidir.

Traheler arası kenarlı geçit tipleri, merdivenimsi, karşılıklı ve diagonal olmak üzere üç grupta toplanmaktadır (Şekil 3.31). Örneğin; *Magnolia* ve *Cornus*'ta merdivenimsi (skalariform), *Liquidambar* ve *Nyssa*'da karşılıklı (yatık sıralı), *Acer* ve *Betula*'da diagonal (almaşlı) geçitler bulunmaktadır (Şekil 3.32). Traheler çoğu kez lif traheidleri, boyuna ve öz ışını paranşim hücreleri ya da diğer hücrelerle temas etmektedir. Traheler ile lif traheidleri arasında bazen geçit çiftleri oluşmamakla beraber, diğer hücrelerin trahelerle temas ettikleri yerlerde hücre tiplerine bağlı olarak kenarlı ya da yarı kenarlı geçit çiftleri bulunmaktadır.



(A) (B) (C)

Şekil 3.31: Traheler arası kenarlı geçit tiplerinin şematik görünüşü. (A) Diyagonal, (B) Karşılıklı, (C) Merdivenimsi.

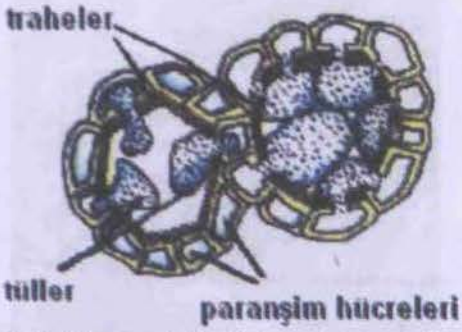


Şekil 3.32: Kavakta teğet çeperlerde diyagonal tipte traheler arası kenarlı geçitler (SEM).

Tül Oluşumu: Geniş yapraklı ağaçların birçoğunda (1) diri odundan öz oduna dönüşüm sırasında iletim görevini yerine getiremeyen traheler içersinde tül adı verilen oluşumlar meydana gelir. Ayrıca, (2) yaralanma, (3) mantar ya da bakteri enfeksiyonu ve (4) kuraklık nedeniyle trahelerde tül oluşumu görülebilmektedir.

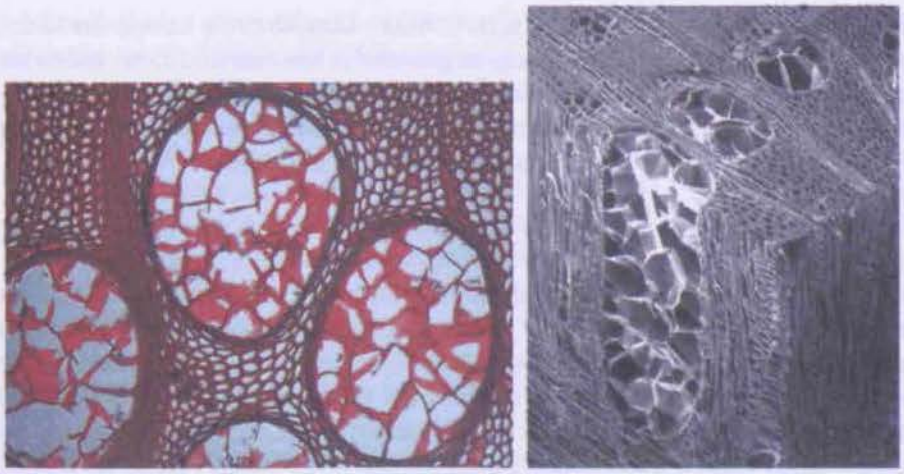
Geniş çaplı ve ince çeperli traheler çok büyük lümen boşluklarına sahiptirler. Bu hücreler çok kısa süre canlılıklarını sürdürürler, oluşumlarından hemen sonra hücre çekirdeği ve sitoplazmaları kaybolur. Buna karşın, paranşim hücreleri öz odun oluşumuna kadar canlılıklarını korur ve hücre çekirdeği ile sitoplâzmalarını yıllarca muhafaza ederler. Son yıllarda yapılan çok sayıdaki araştırmalarda trahelerde tül oluşumundan önce, bitişiklerindeki paranşim hücrelerinde zar şeklinde özel bir meristematik tabakanın meydana geldiği belirlenmiştir. Koruyucu tabaka adı verilen bu tabakanın, tül oluşumunu sağladığı kabul edilmektedir.

Yukarıda belirtilen şartlardan biri gerçekleştiğinde, bitişik iki hücre arasında ozmatik basınç farklılığı oluşmakta ve trahelerle temas halinde bulunan boyuna ya da öz ışını paranşim hücrelerinin sitoplâzması ve hücre zarı, trahe üzerindeki çok sayıdaki kenarlı geçidin çok ince geçit zarlarından, trahelerin lümenlerine doğru genişleyerek girmektedir (Şekil 3.33).



Şekil 3.33: Traheler içersinde tül oluşumunun şematik görünüşü.

Tül oluşumundan önce, trahe ile paranşim hücresi arasındaki geçit zarı kısmen enzimatik etkilerle tahrip olmakta, aynı zamanda paranşim hücrelerinin sitoplâzması genişlemeye başlamaktadır. Bu genişlemeye bağlı olarak paranşim hücresi zarı da bir balon gibi genişleyerek trahe lümenine girmekte ve tüller oluşmaktadır. Tülleri oluşturan ince zar, çok ince kalabilir veya hücre gelişim safhalarından çeper kalınlaşmasında olduğu gibi kalınlaşabilir (Şekil 3.34). Ayrıca, birbirleri ile temas eden tüller arasında geçitler de oluşabilmektedir.



(A) (B)

Şekil 3.34: *Robinia pseudoacacia* trahelerinde tül oluşumu (A) Enine kesitte, (B) Enine ve radyal kesitte (SEM).

Tüller traheleri kısmen veya tamamen tıkadıklarından, ağaç malzemenin kullanım yeri ile ilgili bazı özelliklerini etkilemektedir. Traheler tıkanmışsa; (1) odunun permeabilitesi düşer, (2) emprenye edilmesi ya da boyut stabilizasyonu sağlamak amacı ile kullanılan kimyasal maddelerin alımı güçleşir, (3) tıkanan traheler çok sayıdaysa ağaç malzemenin kurutulması güçleşir, (4) kâğıt hamuru eldesinde kullanılan kimyasal maddelerin nüfusu güçleşir, (5) odunun kulanım alanı etkilenir. Örneğin; ak meşelerde trahelerin çoğunun tüllerle tıkalı olması sıvı madde depolanmasında kullanılan fıçıların yapımında, özellikle de viski ve şarap fıçıları yapımında geniş çapta kullanılmasına imkân verir. Buna karşın tül oluşumu az bulunan kırmızı meşeler bu maksatla kullanılamamaktadır.

Yabancı Madde Birikimi: Tüllerin oluşumu, geçit poruslarının büyüklüğü ile yakından ilgilidir. 10 µm ve daha büyük porusa sahip trahelerde tüller oluşabilmekte, 8 µm ve daha küçük porusu olan trahelerde ise tüller görülmemekte, ancak paranşim hücreleri içeriği trahe içerisine geçerek yabancı madde birikimi meydana gelmektedir. Bu maddeler trahe lümeninde hava ile temas edince sakız, reçine gibi kimyasal maddelere dönüşüp, sertleşirler. Özellikle diri odunun öz oduna dönüşümünde trahe ve diğer hücrelerin lümenlerini dolduran yabancı maddeler, ağaç türlerine göre öz oduna belirli renkler kazandırırlar. Örneğin; yerli ağaçlarımıza kırmızımsı ya da kahverengini, tropik ağaçlardan *Fagara flava*'ya sarı, *Diospyros ebenum*'a siyah rengi veren, traheler ile diğer hücrelerin lümenlerinde bulunan bu

maddelerdir. Bazı geniş yapraklı ağaçların hücre lümenlerinde kireçli maddeler de bulunabilir. *Swietenia* spp. ve *Tectona grandis*'te her zaman, *Morus rubra*'da ise zaman zaman görülen bu özellik, ağaç türlerinin tanımında da önemlidir. Kireçli maddelerin kimyasal yapısı fazla bilinmemekle beraber *Tectona grandis*'te kalsiyum fosfat bileşiminde olduğu tespit edilmiştir.

3.3.1.2 Lifler

Genel anlamda lif terimi, selüloz üretim metotları ile elde edilen tüm odunsu hücreleri ifade etmektedir Hücre morfolojisi bakımından ise geniş yapraklı ağaçlarda bulunan özel bir hücre tipini belirtir. Lif hücreleri geniş yapraklı ağaçlarda lif traheidleri ve libriform lifleri olmak üzere iki şekilde bulunmaktadır. Libriform lifleri ve lif traheidleri uzun, uca doğru incelen ve genellikle kalın çeperli hücrelerdir. Uçları kapalı, sivri, bazen çatallı veya dişli, enine kesitleri genellikle yuvarlaktır. Ancak, yaz odununun yıllık halka sınırı yakınında liflerin çeperlerinin kalınlaşıp, teğet yönde yassılaştıkları görülebilir. Bu değişiklik bazı dağınık traheli yapraklı ağaçlarda yıllık halka sınırının belirgin olmasını sağlamaktadır.

Lif traheidlerinin çeperlerinde kenarlı geçitler, libriform liflerinde ise çoğunlukla basit geçitler bulunmaktadır. Lifler ile traheler arasında nadiren geçit çiftleri oluştuğu tespit edilmiştir. Lifler, iğne yapraklı ağaçların yaz odunu traheidlerine benzerlik gösterirlerse de aralarında önemli farklılıklar vardır. Liflerin uzunlukları ağaç türlerine ve yıllık halka içersinde bulundukları yere göre değişmekle beraber ortalama 1–2 mm kadar olup, çapları 10–50 μm arasında değişmektedir. Odun dokusunun yaklaşık % 50'sini, bazen daha fazlasını kapsarlar ve destek görevini üstlenirler. Kalın çeperli liflerin katılım payının artması, odunun yoğunluğu, direnci, genişleme ve daralma özellikleri, yüzey işlemleri ile kullanım yerini etkilemektedir. Genel bir kaide olarak kalın çeperli liflerin oranı arttıkça, direnç de artmaktadır.

Liflerin boyları kısa olduğundan, yapraklı ağaçlar kâğıt yapımında hammadde olarak fazla tercih edilmezler. Çünkü kâğıt direnci üzerinde lif uzunluğu önemli derecede etkili olmaktadır. Özellikle çimento torbası ve oluklu mukavvaların yapımında kullanılan kraft kâğıdı üretiminde uzun lifler gerektiğinden, esas itibariyle iğne yapraklı ağaç traheidleri kullanılmaktadır.

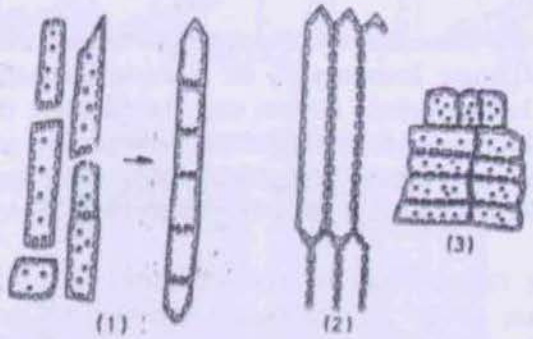
Lif traheidleri ile libriform lifleri aynı ağaç türünde bulunabilirler. Örneğin; esas doku, dişbudak, karaağaç, kavak, söğüt ve yalancı akasyada libriform liflerinden, ceviz, gürgen, kızılağaç ve kirazda lif traheidlerinden, akçaağaç, çınar, ıhlamur, kayın, kestane ve meşede ise libriform lifleri ile lif

traheidlerinden oluşmaktadır. Liflerde genellikle çeperler düzgündür. Sadece *Arbutus* ve *Ilex*'lerde spiral kalınlaşma görülmektedir. Ayrıca, tropik ağaçların bazılarının liflerinde bölmeler vardır. Örneğin; *Entandrophragma cylindiricum*, *E. Utile* ve *Swietenia* spp.'de bölmeli lifler daima bulunmaktadır.

Magnoliaceae familyasının birçok türünde liflerde tül oluşumu görülebilir. Liflerde bulunan bir başka özellik jelâtinli liflerdir. Jelâtinli lifler, esas itibariyle çekme odununda bulunan lif tipidir. Ancak, meşelerde tam gelişmemiş liflerle birlikte ve bazen karaağaçta jelâtinli lifler görülmektedir. Jelâtinli liflerde sekonder çeper üzerinde fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı bir başka tabaka bulunmakta ve bu tabakaya jelâtin tabakası veya G-tabakası adı verilmektedir. Jelâtinli liflerde ligninleşme azdır ya da hiç yoktur.

3.3.1.3 Boyuna Paranşimler

Boyuna paranşimler geniş yapraklı ağaçlarda oldukça önemli hücrelerdir. Bu hücrelere odun paranşimleri adı da verilmektedir. Bazı geniş yapraklı ağaçlarda bulunmamakla beraber, genellikle birçoğunda değişik miktarlarda görülmektedir. Örneğin; yerli geniş yapraklı ağaçlarımızda çoğunlukla hacmin % 10'u kadar, bazı yapraklı ağaçlarda hacmin % 24'ü kadar, tropik ağaçların çok az türünde ise % 50'yi aşabilen oranlarda bulunmaktadır. Geniş yapraklı ağaçların ksileminde boyuna paranşimler (strand paranşimi), iğimsi paranşimler ve epitel paranşimleri olmak üzere üç tip boyuna paranşim hücresi vardır (Şekil 3.35).



Şekil 3.35: Paranşim hücrelerinin şematik görünüşü. (1) boyuna (strand) paranşimler, (2) iğimsi paranşimler, (3) öz ışını paranşimleri.

Boyuna Paranşim Hücreleri (Strand Paranşimi)

Boyuna paranşim hücreleri ince çeperli, kısa ve tuğla şeklinde olup, basit geçitlere sahiptir. Protoplazamalarını çok uzun zaman muhafaza eden bu

hücrelerden diri odunda bulunanların çoğu canlıdır. Görevleri esas itibariyle besin maddelerini depolamaktır. Bazen bu maddeleri değişikliğe uğratarak ihtiyaç halinde bitkiye verirler. Yani, bir dereceye kadar karbonhidratların iletimini sağlarlar.

Boyuna paranşimlerin odun dokusu içerisindeki miktarı ve düzeni genetik bir karakter taşıdığı için, geniş yapraklı ağaçlarda önemli bir tanım özelliği olarak kullanılmaktadır. Yıllık halka içerisinde belli bir düzendeki dağılımları, enine kesitte kolayca görülebilmektedir (Şekil 3.36). Boyuna paranşimler trahelerin yakınında yer aldığında paratraheal, uzağında bulunduğunda ise apotraheal paranşimler adını alırlar.

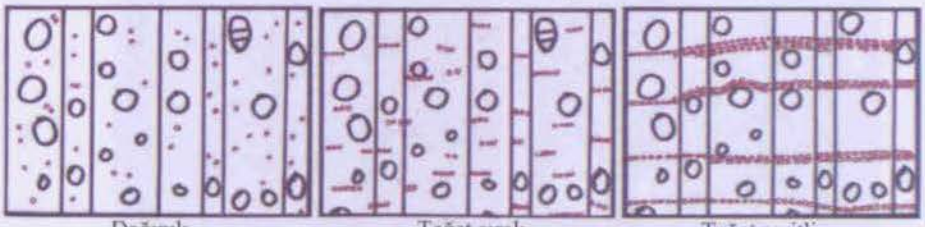
Trahelerle temasta olmayan apotraheal paranşimlerin yıllık halka içerisindeki düzenleri **(a)** tek tek veya kümeler halinde dağınık (*Quercus* spp., *Platanus orientalis*, *Castanea sativa*), **(b)** teğet sıralı (*Juglans regia*, *Betula* spp., *Alnus* spp.) ve **(c)** teğet şeritli (*Tilia* spp., *Carya* spp., *Diospyros virginiana*) olabilir (Şekil 3.37).

Trahelerle birlikte bulunan paratraheal paranşimlerin yıllık halka içerisindeki düzenleri, **(a)** trahenin bir tarafında kümeli (*Aspidosperma* spp., *Goupia* spp., *Buxus sempervirens*, *Castanea sativa*), **(b)** halkalı (*Fraxinus excelsior*, *Khaya* spp.), **(c)** kanatlı (*Berlinia* spp., *Afzelia* spp.), **(d)** bileşik kanatlı (*Dalbergia latifolia*), **(e)** bileşik şeritli (*Millettia laurentii*, *Tectona grandis*, *Daniellia ogea*) olabilmektedir (Şekil 3.38-3.39/A).

Ayrıca boyuna paranşim hücreleri tek veya birkaç sıralı şeritler halinde yıllık halkanın başlangıç kısmında ya da sonunda bulunabilirler. **(a)** Yıllık halkanın başında bulunuyorlarsa inisiyal sınır paranşimleri, **(b)** yıllık halkanın son kısmında bulunuyorlarsa terminal sınır paranşimleri adını alırlar. Sınır paranşimleri, *Acer* spp., *Betula* spp., *Ulmus* spp., *Salix* spp., *Populus* spp., *Swietenia macrophylla* ve *Fagara flava*'da görülmektedir (Şekil 3.39/B).

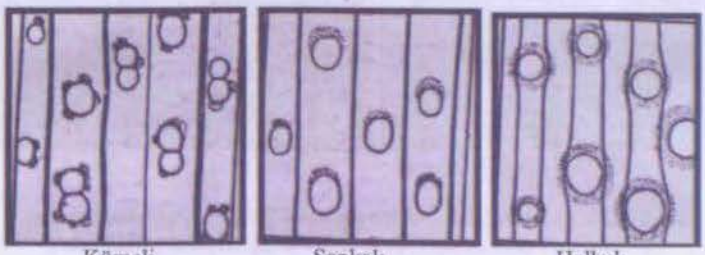
Birçok ağaç türünde, boyuna paranşim hücrelerinin belirtilen bu dağılış şekillerinden birkaç tanesi birlikte bulunabilmektedir. Örneğin; dişbudakta paratraheal halkalı ve sınır paranşimleri, cevizde apotraheal dağınık ve teğet sıralı, paratraheal kümeli ve sınır paranşimleri görülmektedir.

APOTRAHEAL PARANŞİMLER

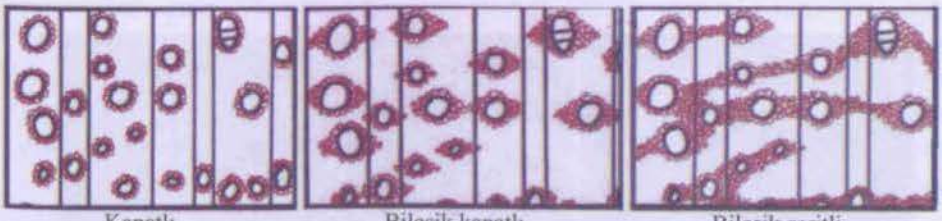


Dağınık Teğet sıralı Teğet şeritli

PARATRAHEAL PARANŞİMLER

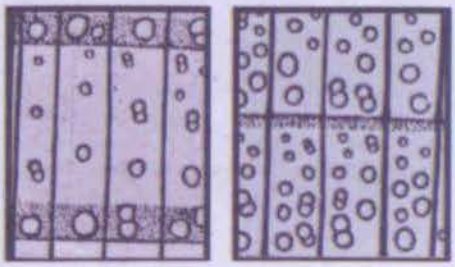


Kümeli Şapkalı Halkalı



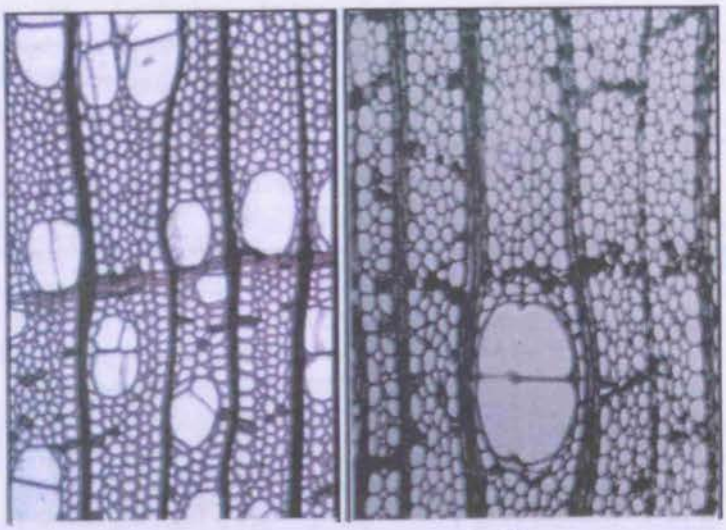
Kanatlı Bileşik kanatlı Bileşik şeritli

SINIR PARANŞİMLERİ



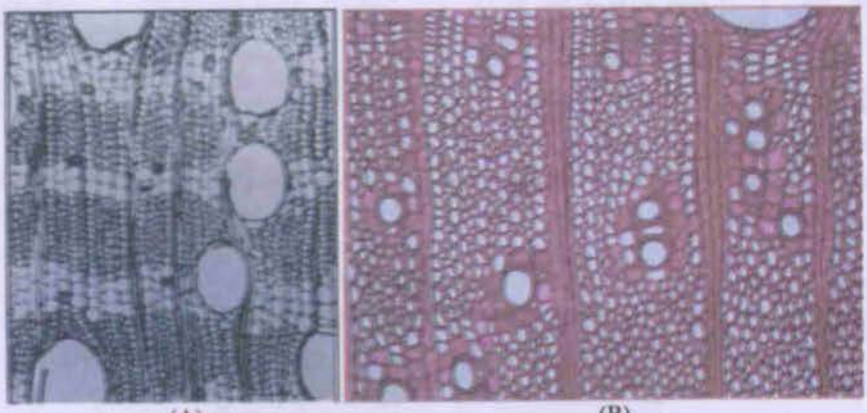
İnisiyal Terminal

Şekil 3.36: Boyuna paranşimlerin yıllık halka içerisinde dağılış şekilleri.



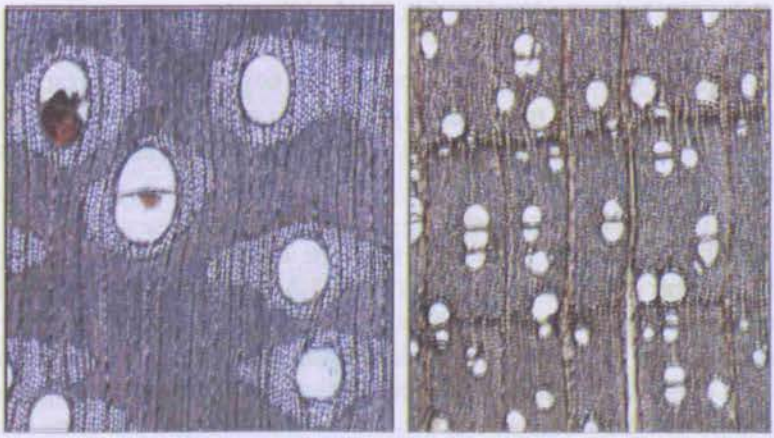
(A) (B)

Şekil 3.37: (A) *Betula* sp.'de apotraheal dağınık boyuna paranşimler, (B) *Juglans regia*'da apotraheal teğet sıralı boyuna paranşimler.



(A) (B)

Şekil 3.38: Enine kesitte paratraheal paranşimler. (A) *Guarea thompsonii*'de bileşik şeritli, (B) *Fraxinus excelsior*'da halkalı boyuna paranşimler.

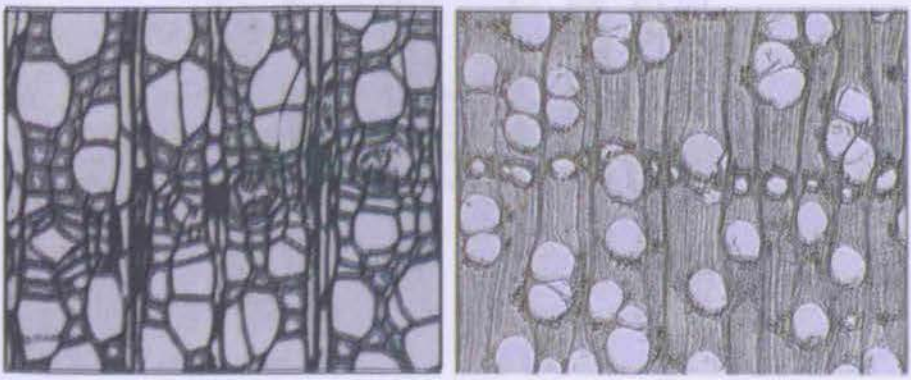


(A) (B)

Şekil 3.39: (A) *Berlinia grandiflora*'da paratraheal kanatlı paranşimler.
(B) *Fagara riedeliana*' da inisiyal sınır paranşimleri.

Boyuna Epitel Hücreleri

Bazı geniş yapraklı ağaçlarda boyuna yönde uzanan reçine veya sakız kanalları vardır. Bu kanalların etrafı boyuna yönde uzanan epitel paranşimleri ile çevrilmiş olabilir. Normal sakız kanalları ılıman iklim bölgelerinde yetişen yapraklı ağaçlarda bulunmamaktadır. Ülkemizde yetişen *Liquidambar orientalis*'te ise traumatik kanallara rastlanmaktadır. Tropik ağaçlardan *Shorea*, *Dipterocarpus*, *Anisoptera*'da normal sakız veya reçine kanalları görülmektedir (Şekil 3.40).



(A) (B)

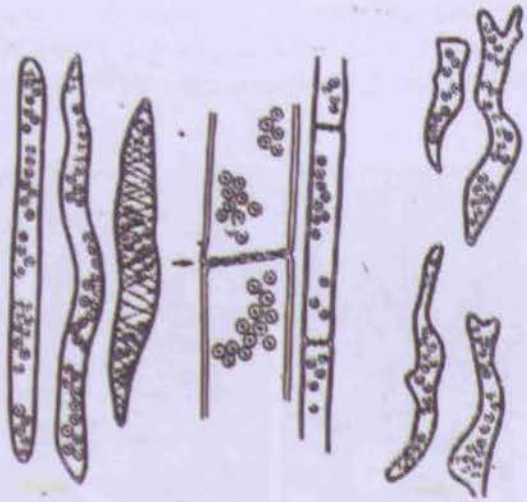
Şekil 3.40: (A) *Liquidambar orientalis*'de traumatik sakız kanalları,
(B) *Shorea laevifolia*'da normal boyuna kanallar.

3.3.1.4 Vaskular ve Vasisentrik Traheidler

Bazı geniş yapraklı ağaçların odununda boyuna yönde uzanan traheid hücreleri de bulunabilir. Trahelerden liflere geçiş elemanı oldukları düşünülen traheidlerin, geniş yapraklı ağaçlarda vaskular ve vasisentrik traheid olarak iki tipi vardır.

Vaskular traheidler, büyüklük, şekil ve bulundukları yer itibariyle yaz odunu trahelerine çok benzemektedir (Şekil 3.41/A). Fakat uçları kapalıdır ve perforasyon tablaları bulunmaz. Çok sayıda kenarlı geçitleri vardır ve sık sık spiral kalınlaşmalar görülebilir. Spiral kalınlaşmalar bulunan vaskular traheidler *Ulmus* ve *Celtis*'te yaz odunu traheleri ile karışık bir şekilde dalgalı şeritler oluşturmaktadır. Enine kesitteki görünümleri yaz odunu trahelerine benzediği için ayırt edilmeleri mümkün olmamaktadır.

Vasisentrik traheidler ise bazı halkalı traheli ağaç odunlarında büyük ilkbahar odunu traheleri yakınında yer alırlar. Örneğin; *Quercus*, *Fraxinus*, *Castanea*'da görülürler. Vasisentrik traheidlerde de kenarlı geçitler vardır. Uçları yuvarlak ya da sivri olabilmektedir. Boyuna sıralar oluşturmadıkları için mikroskopik kesitlerde vaskular traheidlerden ayrılırlar. Masere edilmiş materyalde ise çarpık şekilleri ile vaskular traheidlerden kolayca ayırt edilebilirler (Şekil 3.41/B).



(A) (B)

Şekil 3.41: (A) Vaskular traheidler, (B) Vasisentrik traheidler.

3.3.2 Enine Yönde Uzanan Hücreler

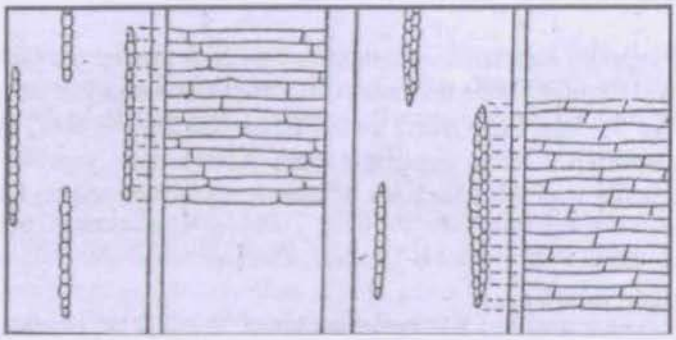
Geniş yapraklı ağaçlarda öz ışınlarını meydana getiren paranşim hücreleri gövdede radyal (enine) yönde uzanmaktadır. Yapraklı ağaçlarda öz ışınları teğet yönde 1–30 ya da daha fazla hücre genişliğinde olmakla beraber, iğne yapraklı ağaçlarda 1, nadiren 2 hücre genişliğindedir. Ayrıca, iğne yapraklı ağaçlardan farklı olarak geniş yapraklı ağaçlarda öz ışınları sadece paranşim hücrelerinden oluşmaktadır.

Öz Işınlarının Yapısı

Kambiyumdaki öz ışını inisiyalinden oluşan paranşim hücrelerinin büyüklükleri ile şekilleri ağaç türlerine göre farklılık gösterebilir. Radyal kesitte incelendiğinde öz ışınları aynı büyüklük ve şekildeki paranşim hücrelerinden oluşmuşlarsa homojen (homoselülar), büyüklükleri ve şekilleri farklı hücrelerden oluşmuşlarsa heterojen (heteroselüler) öz ışını adını alırlar (Tablo 3.7). Şekil 3.42'de görüldüğü gibi dikine dikdörtgen ya da kare enine kesitli paranşim hücreleri, öz ışınlarının genellikle üst ve alt sınırları boyunca uzanmaktadır.

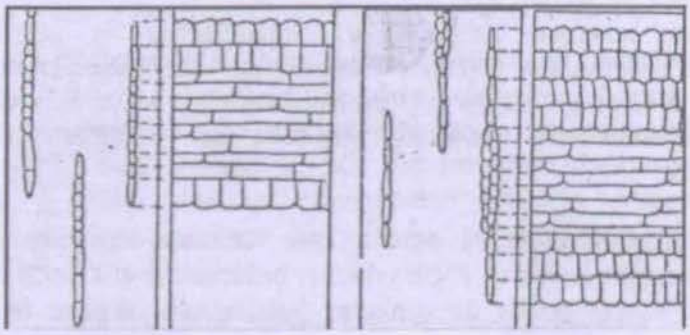
Öz ışınlarındaki hücre düzeni, ağaç türlerinin tanımında önemli bir kriterdir. Örneğin; kavak ve söğüt odunları birbirleri ile çok karıştırılmaktadır. Tanım için radyal kesitte öz ışınlarına bakıldığında, söğütte öz ışınlarının heterojen yapıda olduğu ve uç kısımlarında daima dikine hücreler bulunduğu, kavak odununda ise bu tip hücrelerin bulunmadığı ve öz ışınlarının homojen yapıda olduğu görülmektedir (Şekil 3.43).

HOMOJEN ÖZ IŞINLARI

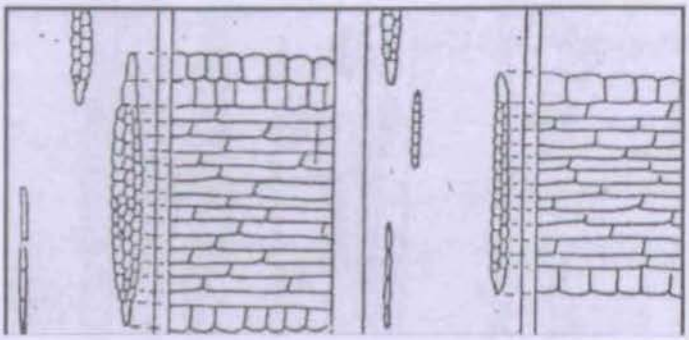


Tamamen tek sıralı Her zaman tek sıralı değil

HETEROJEN ÖZ IŞINLARI



Tamamen tek sıralı Her zaman tek sıralı değil

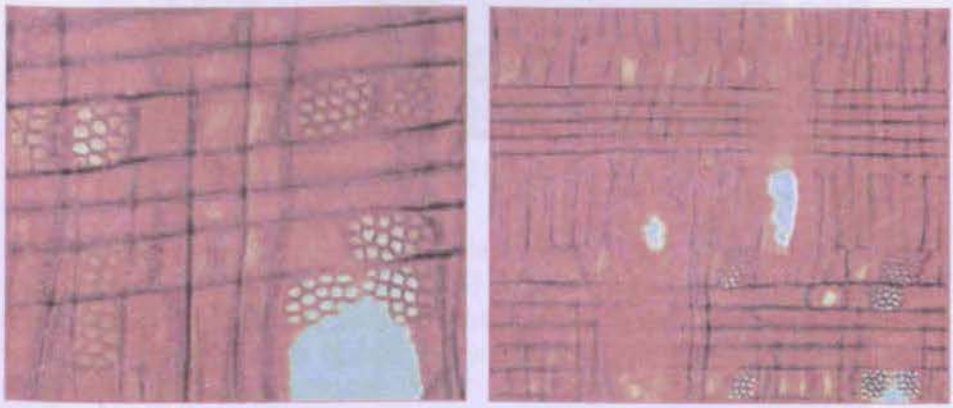


Heterojen II. tip Heterojen III. tip

Şekil 3.42: Homojen ve heterojen öz ışını tiplerinin şematik görünüşü.

Tablo 3.7: Bazı Geniş Yapraklı Ağaçlarda Öz Işını Tipleri

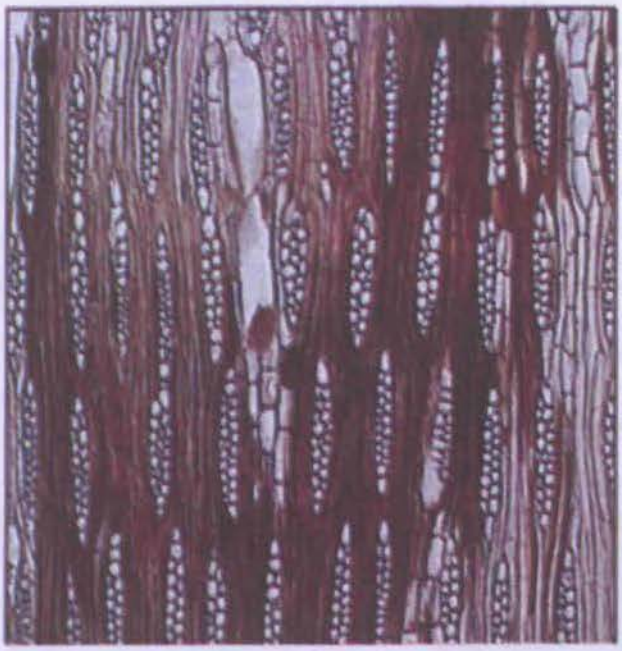
Homojen Öz Işınlı Ağaçlar	Heterojen Öz Işınlı Ağaçlar	Homojen ve Heterojen Öz Işınlı Ağaçlar
Akçaağaç	Kiraz	Ceviz
Dişbudak	Sassafras	Çınar
Diospyros	Söğüt	Çitlenbik
Huş		Dut
Ihlamur		Gürgen
Karaağaç		Kayın
Kestane		Kızılcık
Kızılağaç		Sığla
Meşe		
Yalancı akasya		



(A) (B)

Şekil 3.43: (A) Kavakta homojen, (B) Söğütte heterojen öz ışınları (Radyal kesit).

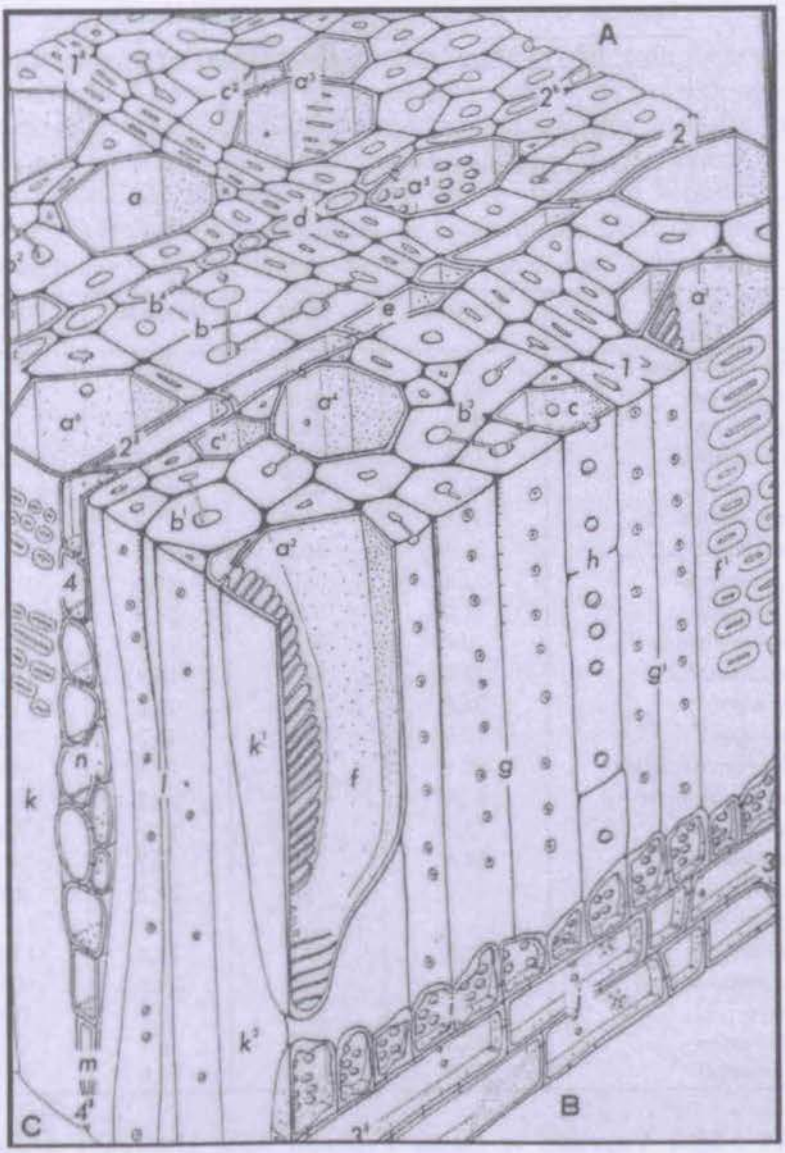
Bazı geniş yapraklı ağaç türlerinde öz ışınları teğet yönde belirgin tabakalar oluştururlar. Bu ağaç türlerinde her bir tabakadaki öz ışınları hemen hemen aynı yükseklikte olup, yaklaşık aynı seviyelerde başlamakta ve aynı seviyelerde son bulmaktadır (Şekil 3.44). Tabakalı öz ışını adı verilen bu oluşuma *Aescılus hippocastanum*, *Diospyros virginiana* (abanoz) ve bazı tropik ağaç türlerinde rastlanmaktadır. Tabakalı öz ışını bulunan ağaçlar, teğet yüzeylerinde makroskopik olarak da kolayca görülen enine dalgalı bir yapıya sahiptirler.



Şekil 3.44: Tabakalı öz ışınları, *Baikiaea plurijuga* (Teğet kesit).

Tabakalı hücre düzeni sadece öz ışınlarında değil, geniş yapraklı ağaç hücrelerinin hemen hemen her tipinde bulunabilmekte ve tabakalı öz ışınlarına benzer görünüşlere neden olmaktadır. Tabakalı öz ışınları sadece teğet yüzeylerde görülmekle beraber, tabakalı düzendeki diğer hücreler hem teğet hem de radyal yüzeylerde tespit edilmektedir. Hücrelerin tabakalı oluşu, geniş yapraklı ağaç odunlarının tanımında önemli bir özelliktir.

Geniş yapraklı ağaçların odun dokusunu meydana getiren hücrelerin üç boyutlu mikroskopik yapısı şematik olarak Şekil 3.45'te gösterilmiştir. Genel olarak yapraklı ağaç odunlarında bulunan hücre tipleri oranları Tablo 3.8'de, bazı geniş yapraklı ağaç türlerinin yapısını meydana getiren çeşitli hücre tipleri oranları ise Tablo 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.45: *Liquidambar styraciflua*'nın üç boyutunda mikroskopik yapının şematik görünüşü.

(A) Enine kesit: 1–1a arasında yıllık halka sınırı, 2–2^a öz ışını paranşim hücreleri. 2^b–2^c öz ışınlarının üst hücreleri, a–a^6 traheler, b–b^4 lif traheidleri, c–c^3 boyuna paranşim hücreleri, e öz ışını paranşim hücreleri.

(B) Radyal kesit: f–f^4 trahe, g–g^1 lif traheidleri, h boyuna paranşim, 3–3^a öz ışını paranşim hücreleri, i heterojen öz ışınında uç hücreleri.

(C) Teğet kesit: k trahe, k^1, k^2 bitişik iki trahenin teğet yüzeyinin görünümü, l lif traheidi, 4–4^a öz ışını, heterojen öz ışınının alt sırasında daha büyük uç hücre, n öz ışınının ortasında yatay uzanan paranşim hücresi.

Tablo 3.8: Geniş Yapraklı Ağaçlarda Hücre Tipleri Oranları

Hücre Tipi	Hücre Oranı (%)
Lifler	15–60
Traheler	20–60
Öz Işınları	5–30
Boyuna paranşimler	0–15

Tablo 3.9: Bazı Yapraklı Ağaç Odunlarında Çeşitli Hücre Tipleri Oranları (%)

Ağaç Türü	Traheler	Lifler	Öz ışınları	Boyuna Paranşimler
Acer pseudoplatanus	6,9	75,9	17,2	–
Acer saccharum	21,0	61,0	17,9	0,1
Alnus glutinosa	29,0	58,0	12,0	1,0
Betula papyrifera	10,6	75,7	11,7	2,0
Carya ovata	6,5	65,5	20,0	8,0
Castanea dentata	39,8	46,8	11,9	1,5
Castanea sativa	26,3	56,5	17,2	–
Fagus grandifolia	21,4	56,7	20,4	–
Fagus sylvatica	31,0	37,4	27,0	4,6
Fraxinus americana	20,4	61,7	11,9	4,2
Fraxinus excelsior	12,1	62,4	14,9	10,6
Juglans nigra	21,0	48,7	16,8	13,5
Juglans regia	12,0	63,8	16,2	8,0
Liquidambar styraciflua	54,9	26,6	18,3	0,2
Platanus occidentalis	51,9	28,9	19,2	–
Populus deltoides	33,0	53,1	13,7	0,2
Populus tremula	26,4	60,9	12,7	-
Quercus spp. (geniş yıllık halka)	7,7	58,1	29,3	4,9
Quercus rubra	21,6	43,5	21,4	13,5
Robinia pseudoacacia	14,8	57,9	20,9	6,4
Salix nigra	38,1	54,4	7,4	0,1
Tilia americana	55,6	36,1	6,1	2,2
Ulmus montana	29,0	51,0	14,0	–

3.4 İğne Yapraklı ve Geniş Yapraklı Ağaç Hücreleri Arasındaki Farklar

Daha önce belirtildiği üzere iğne yapraklı ağaç odunları yeknesak bir yapıya, geniş yapraklı ağaç odunları ise daha karmaşık bir yapıya sahiptirler. Traheler sadece yapraklı ağaçlarda bulunmakta, iğne yapraklı ağaçlarda hiçbir zaman görülmemektedir. Öz ışınları iğne yapraklı ağaçlarda çoğunlukla 1, bazen 2 hücre genişliğinde olmakla beraber, geniş yapraklı ağaçlarda 1–30 veya

daha fazla hücre genişliğinde olabilmektedir. Öz ışını ortalama olarak iğne yapraklı ağaçlarda % 5–8, geniş yapraklı ağaçlarda % 17 kadardır. İğne yapraklı ağaçlarda hücreler düzgün radyal sıralar oluşturmakta, geniş yapraklı ağaçlarda ise böyle bir düzen görülmemektedir. Ayrıca, iğne yapraklı ağaçların aksine, geniş yapraklı ağaçlarda öz ışınları nadiren düzgün radyal sıralar halinde bulunurlar. Birçok yapraklı ağaç türünde böyle bir düzen söz konusu değildir. Özellikle büyük trahelerin yakınındaki öz ışınlarının düzeninde çarpıklıklar görülmektedir.

BÖLÜM 4

ODUNUN KİMYASAL VE ULTRAMİKROSKOPİK YAPISI

4.1 Kimyasal Yapı

Odunsu hücre çeperi elementer yapısı itibariyle C, H ve O'den meydana gelmekte, çok az miktarda N ve kül de içermektedir. Genel anlamda ve ağaç türlerine göre odunun elementer yapısı Tablo 4.1 ve 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Odunun Elementer Yapısı

Elementler	Kuru Ağırlık (%)
Karbon	50
Hidrojen	6
Oksijen	43
Azot	az miktarda
Kül	<1

Hücre çeperindeki inorganik bileşikler, odun yakıldığında kül olarak geride kalır. Kül içersinde Ca, K, Mg, Mn, Na ve SiO_2 vardır. Yerli ağaçlarımızda çok düşük bir kül miktarı söz konusudur. Özellikle silis azdır.

Ilıman iklim kuşağında yetişen ağaçlarda kül miktarı yaklaşık % 0,1–0,5 arasında değişmekte, tropik ağaçlarda ise % 2'yi aşabilmektedir. Kül miktarı genel olarak geniş yapraklı ağaç odunlarında iğne yapraklı ağaç odunlarından ve öz odunda diri odundan daha fazla miktardadır. Ağaç malzemede kuru ağırlığına göre % 0,3'den daha fazla miktarda SiO_2 varsa kesici aletleri körleştirdiğinden, odunun işlenme özellikleri bakımından önemlidir.

Tablo 4.2: Bazı Ağaç Türlerinde Odunun Elementer Yapısı

Ağaç Türü	C	H	O	N	Kül
Larix	49,6	5,8	44,2	0,2	0,2
Picea	50,0	6,0	43,5	0,2	0,2
Pinus	50,2	6,1	43,4	0,2	0,2
Fagus	48,9	5,9	44,5	0,2	0,2
Quercus	49,2	5,8	44,2	0,4	0,4

Odunsu hücre çeperi C, H ve O'nin çeşitli kombinasyonlarda birleşmesiyle oluşan selüloz, hemiselüloz (Polyoslar) ve ligninden meydana gelmekte, az miktarda Pektin de içermektedir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3: Odunun Organik Bileşikleri (%)

Ağaç Türü	Selüloz	Hemiselüloz	Lignin
Geniş Yapraklı Ağaçlar	40–44	15–35	18–25
İğne Yapraklı Ağaçlar	40–44	20–32	25–35

Selüloz odunun en önemli bileşiğidir. İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlarda odunun kuru ağırlığının hemen hemen yarısı selülozdan oluşur. Hemiselüloz ve lignin oranları ise ağaç türleri arasında geniş çapta değişiklik göstermektedir. Odunun % 90'nından fazlasını meydana getiren bu bileşiklere ilâve olarak birçok organik ve inorganik madde hem çeper üzerine hem de hücre lümenine yerleşmektedir. Ilıman iklim kuşağında yetişen ağaçlarda yaklaşık %10 oranında bulunan bu bileşiklerin hepsine ekstraktif maddeler adı verilmektedir.

Organik esaslı ekstraktif maddelerden önemli olanlar içerisinde tanenler, uçucu yağlar, reçineler, sakız, lâteks, alkoloidler, nişasta ve renk maddeleri sayılabilir. İnorganik esaslı ekstraktif maddeler ise silis ve kalsiyum tuzları (kalsiyum karbonat, kalsiyum fosfat ve kalsiyum oksalat) olarak belirlenmiştir (Tablo 4.4).

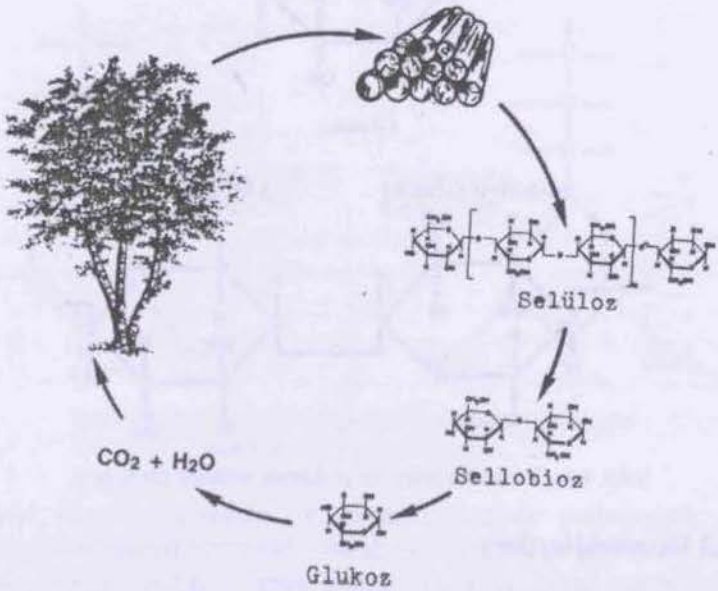
Tablo 4.4: Çeşitli Ağaç Türlerinde Kimyasal Bileşikler (%)

Ağaç Türü	Selüloz	Hemiselüloz	Lignin	Ekstraktif Madde	Kül
Abies	40	26	30	2,8	1,1
Larix	42	30	25	2,0	0,2
Picea	40	29	28	2,5	0,5
Pinus	39	31	26	3,3	0,4
Acer	40	36	22	1,3	0,4
Betula	45	31	20	2,0	0,3
Fagus	40	35	23	1,2	0,5
Populus	42	35	20	2,5	0,3

4.1.1 Selüloz

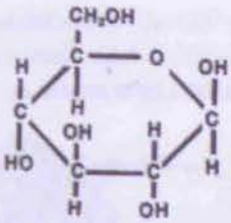
Ağaçlar, kökleri ile topraktan aldığı suyu ve yaprakları ile havadan aldığı Karbondioksiti güneş ışığı yardımıyla birleştirerek fotosentez olayını

gerçekleştirirler. Fotosentez işlemi sonucunda glukoz ve basit şekerler üretilirken, oksijen açığa çıkar (Şekil 4.1). Üretilen bu maddeler ağaçlarda odun, kabuk ve yaprak oluşumunda kullanılmaktadır.

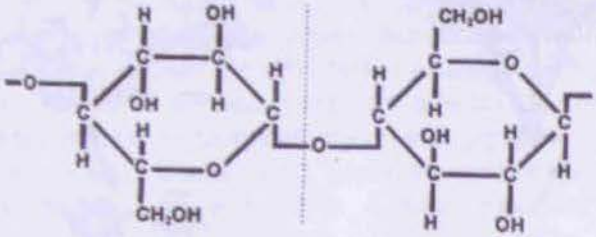


Şekil 4.1: Doğada karbon döngüsü ve odun hammaddesi üretimi.

Selüloz ağaçlar tarafından doğrudan glukoz birimlerinden üretilir. Üretimin ilk aşamasında ağaçtaki ilgili hücreler glukozu dal ve kök uçlarındaki apikal meristem ile dal, ana gövde ve kökü saran kambiyum tabakalarına taşır. Sonra karmaşık bir işlemle her bir glukoz biriminden bir molekül su çıkarak, glukoz kimyasal değişikliğe uğrar ve anhidrid glukoz oluşur ($C_{16}H_{12}O_6$–$H_2O \rightarrow C_6H_{10}O_5$) (anhidrid glukoz). Daha sonra anhidrid glukoz birimleri uzun bir zincir polimeri teşkil edecek şekilde her biri 180^0 dönerek uç uca bağlanır ve selüloz $(C_6H_{10}O_5)_n$ meydana gelir (Şekil 4.2). Polimerizasyon adı verilen bu olayda (n), Polimerizasyon derecesini veya her selüloz zincirindeki anhidrid glukoz birimlerinin sayısını göstermektedir. Selülozun polimerizasyon derecesi ortalama olarak 10 000 olup, 30 000'ne kadar değiştiği tespit edilmiştir. En uzun selüloz molekülü 5 µm (1/200 mm) boyda ve yaklaşık 0,8 nm (1/1 250000 mm) çapta olup, elektron mikroskopla dahi görülememektedir.



Glukoz



Şekil 4.2: Glukoz birimleri ve glukozun selüloza dönüşümü.

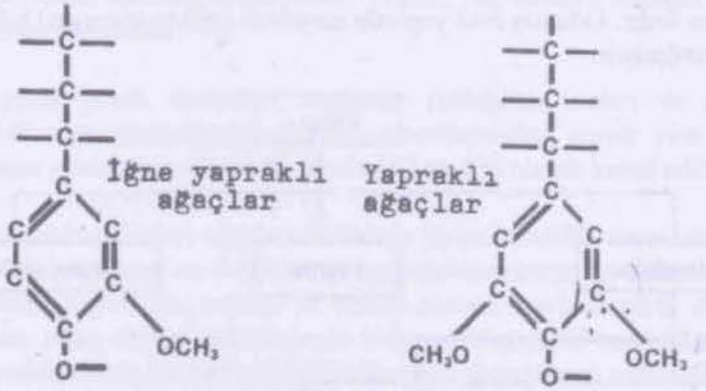
4.1.2 Hemiselüloz(lar)

Ağaçların fotosentez ile ürettiği glukoz primer bir şekerdir. Glukozla birlikte yapraklarda galaktoz ile mannoz gibi altı karbonlu ve ksiloz ile arabinoz gibi beş karbonlu şekerler de üretilmekte ve hemiselüloz ya da hemiselülozlar oluşturulmaktadır. Hemiselüloz yapısı ve kapalı formülü bakımından selüloza benzemekle beraber, çeşitli şeker birimlerinden meydana gelmektedir. Ayrıca hemiselülozların zincir molekülleri dallanarak yan gruplar taşıyabilmekte ve polimerizasyon derecesi selülozdan çok daha düşük, genellikle 100–150 kadar olmaktadır. Yani, hemiselülozlar 150 veya daha az sayıdaki şeker anhidritlerinden oluşmuştur. Ayrıca, hemiselülozlar sulandırılmış alkalilerde (örneğin % 17,5'luk NaOH'da) çözündüğü halde, selüloz çözünmemektedir. Başkaca, hemiselülozlar sulandırılmış asitlerde hemen hidrolize olarak şekerleri ve şeker asitlerini meydana getirirler.

4.1.3 Lignin(ler)

Lignin, fenilpropan birimlerinden meydana gelen yüksek molekül ağırlığında kompleks bir polimerdir. Lignin karbon, hidrojen ve oksijenden oluşmasına rağmen ne bir karbonhidrattır, ne de bu sınıfa giren bir bileşiktir

(Şekil 4.3). Esas itibariyle fenolik yapıda bir madde olan ligninler, oldukça stabil olduğundan güç izole edilmektedir. Çeşitli formlarda bulunduğu için tam yapısı kesin olarak bilinmemektedir.



Şekil 4.3: İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlarda lignini oluşturan fenilpropan birimleri.

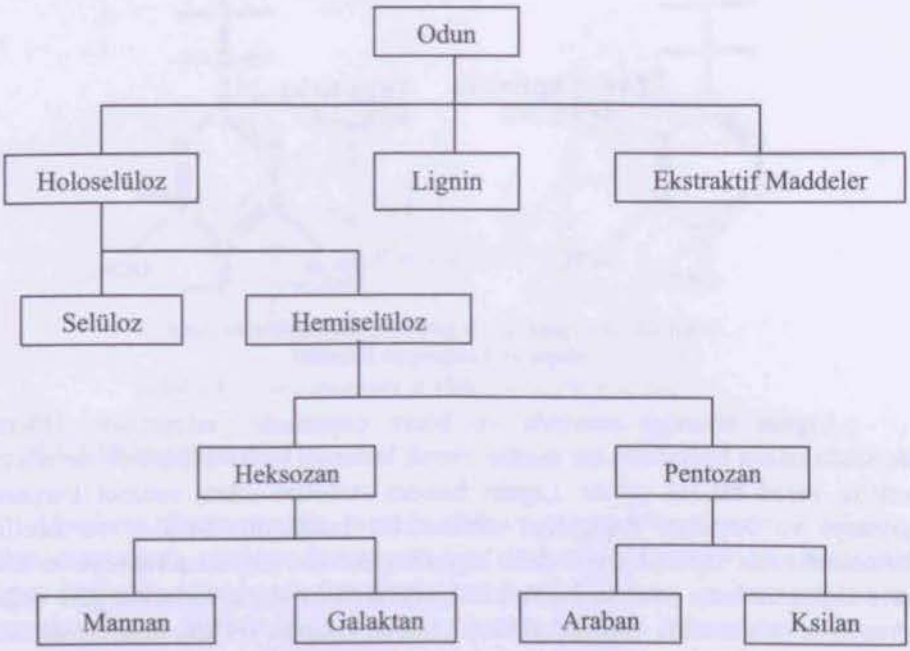
Lignin hücreler arasında ve hücre çeperinde yerleşmiştir. Hücreler arasında onları birleştiren bir madde olarak bulunur, hücre çeperinde ise hücreye sertlik veren bir rol oynar. Lignin basıncı stabilize eden, rutubet karşısında şişmeyi ve boyutsal değişmeyi azaltan bir maddedir. Selüloz ve özellikle hemiselülozlar, ligninden çok daha higroskopiktirler. Lignin çürümeye ve böcek arız olmasına karşı odunda dayanıklılık sağlayabilir. Ağaç türlerine göre değişik oranlarda bulunmakla beraber, yaklaşık olarak odunun 1/4'ünü oluşturmaktadır.

Lignin odun içersinde renksiz bir maddedir. Havayla temas ettiğinde, özellikle güneş ışığı etkisinde kaldığında zamanla sarı renge dönüşür. Örneğin; mekanik yolla elde edilen odun hamurundan yapılmış gazete kâğıdı fazla lignin içerdiği için kısa zamanda sararmaktadır. Lignin aynı zamanda termoplastik bir maddedir. Yüksek sıcaklıklarda yumuşak ve esnek olup, soğuduğunda tekrar sertleşmektedir. Bu özelliğinden lif levha ve diğer yoğunlaştırılmış odun ürünlerinin (compreg v.b.) imalatında faydalanılmaktadır.

4.1.4 Pektin

Pektin karbonhidratlardan veya bunlarla yakından ilgili olan bileşiklerden oluşur. İçerisinde bulunan yüksek molekül ağırlığındaki kompleks kolloidal maddelerin hidrolizi ile genellikle galakturonik asit ile az miktarda arabinoz ve

galaktoz elde edilmekte, ancak pektinin yapısı tam olarak bilinmemektedir. Özellikle kambiyum hücrelerinin ve kambiyumda üretilen kız hücrelerin çeperlerinde, ayrıca odun dokusundaki hücrelerin orta lameli, primer çeperi ile kenarlı geçitlerin torusunda bulunmaktadır. Odun içerisindeki miktarı ise %0,5'den azdır. Odunun esas yapısını meydana getiren kimyasal bileşikler Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4: Odunun kimyasal bileşikleri.

4.1.5 Ekstraktif Maddeler

Daha önce belirtildiği gibi odunun kimyasal yapısında, esasını organik maddelerin oluşturduğu çeşitli ekstraktif maddeler de bulunmaktadır. Ekstraktif maddeler ya da yabancı maddeler adı verilen bu bileşikler, hücre lümenine ve çeperine depo edilmişlerdir. Ancak, esas hücre çeper maddeleri ile ilişkileri yoktur. Odundan sıcak ya da soğuk su, alkol, benzen, aseton veya eter gibi çözücülerle çıkartılabilirler. En önemlileri ekonomik bakımdan değerli olan reçineler ve polifenollerdir.

Reçineler iğne yapraklı ağaç odunlarında bulunmakta ve reçinelerden su buharı destilasyonu ile terebantin yağı, tall oil, kolofan elde edilmektedir.

Polifenoller ise hem iğne yapraklı hem de geniş yapraklı ağaçlarda bulunmaktadır. Ekonomik önemi olan polifenoller; tanenler, antrosiyaninler, flavonlar, kateşinler, kinonlar ve lignanlardır. Diğer organik esaslı ekstraktif maddeler arasında sakızlar, tropolonlar, yağlar, yağ asitleri, mumlar ve uçucu hidrokarbonlar sayılabilir.

İnorganik esaslı ekstraktif maddeler (kalsiyum tuzları ve silis gibi) yukarıda belirtilen çözücülerle odundan çıkarılamazlar, ancak yine de hücre çeperinin esas maddelerinden değil, ekstraktif madde olarak kabul edilirler.

Ekstraktif maddeler, ağaç malzemenin birçok özelliği üzerinde, örneğin; öz odunun kokusu, rengi ve tadı, mantar ve böceklere karşı dayanıklılık, odunun permeabilitesi, yoğunluğu, sertliği ve basınç direnci üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca, bazı ağaç türleri odunlarında bulunan ekstraktif maddeler, odunun işlenmesi sırasında alerjik bünyeli işçilerde sağlık sorunlarına neden olabilirler.

4.2 Ultramikroskopik Yapı

4.2.1 Hücre Çeperi Oluşumu

Ksilemdeki hücreler, kambiyum hücrelerinin tekrarlanan bölünmeleriyle üretilmekte ve olgun bir odunsu hücre halini alıncaya kadar 4 safha geçirmektedir. (1) Bölünme safhası: Kambiyum hücrelerinin bölünerek ürettiği yeni ksilem hücreleri ince, zara benzeyen ve pektince zengin primer çeper adı verilen bir çeper ile sarılmıştır. Bu safhada hücrelerin içi protoplazma sıvısı ile doludur. (2) Büyüme safhası: Yeni hücreler boy ve çap yönünde büyürler. (3)Çeper kalınlaşma safhası: Hücre çeperleri kalınlaşır ve (4) Ligninleşme safhası: Hücre çeperlerine lignin girer.

Yeni ksilem hücrelerinden iletim ve destek görevi yapanlar (traheidler, traheler, lifler) bu safhalar tamamlandığında, yani birkaç hafta sonra ölürler ve çeperleri az ya da çok kalınlaşmış, içleri boş, olgun bir odunsu hücre halini alırlar. Depolama görevi yapan hücreler (paranşimler) ise çeperleri ligninleşmemiş olup, diri odun içerisinde ağaç türlerine bağlı olarak bir süre canlılıklarını korurlar.

Çeper kalınlaşması hücrenin iç tarafından selüloz, hemiselülozlar ve ligninin primer çeper üzerine depolanması ile meydana gelir. Bu organik

maddelerin primer çeper üzerinde depolanması gelişigüzel değil, mükemmel bir düzen içinde gerçekleşmektedir.

Hücre çeperi kalınlaşması iki teori ile açıklanmaktadır. Bunlardan Saçak Misel teorisine göre; selüloz hücre çeperine bağlanmadan önce uzun, zincir şeklindeki selüloz molekülleri fiziksel olarak bir araya gelerek demetler oluştururlar ve selüloz demetleri mikrofibril adı verilen daha büyük üniteleri meydana getirirler. Elektron mikroskobunda mikrofibrillerin enine kesitlerinin ortalama 10–12 nm genişlikte ve 3–4 nm kadar kalınlıkta olduğu tespit edilmiştir. Mikrofibriller hücre çeper tabakalarını oluştururken, bitişik selüloz molekülleri arasındaki hidrojenin (H^+) ve hidroksil gruplarının (OH^-) bağlanması, mikrofibril yapısını güçlendirmektedir.

Mikrofibrillerin bazı kısımlarında selüloz molekülleri birbirine tamamen paralel olup, bu kısımlara kristal ya da kristalin veya kristalit kısımlar adı verilmektedir. Mikrofibriller üzerindeki kristalit kısımlar, belirgin bir düzende olmayan selüloz moleküllerinin oluşturduğu bölgeler ile birbirinden ayrılırlar ve bu bölgeler amorf bölge olarak tanımlanır. Bir selüloz molekülünde 10 veya daha fazla miktarda kristalit bölge vardır ve kristalit kısmın uzunluğu 60 nm kadardır. Hücre çeperindeki selülozun yaklaşık % 60–70'i kristalit, diğer kısmı amorf haldedir. Saçak misel modeline göre mikrofibril yapısı Şekil 4.5/A'da verilmiştir.

Hücre çeper tabakasının oluşumunu açıklayan diğer bir model, kesikli lâmel teorisidir. Hücre çeper yapısını açıklayan bu modele göre, selüloz mikrofibrilleri kısa zincir yapıda ve düşük molekül ağırlığındaki hemiselülozlar ile çevrelenmiş olup, mikrofibrillerin gevşek bir yapı içerisinde bulunmalarını sağlanmakta ve selüloz ile hemiselülozlar ligninin matrisi içerisine gömülmektedir (Şekil 4.5/B.

Hücre çeper tabakası oluşumu hakkında hangi görüş kabul edilirse edilsin sonuçta çeper tabakalarını meydana getiren mikrofibriller esas itibariyle selülozdan oluşurlar ve hemiselülozlar ile lignin matrisi içerisinde bulunurlar. Selüloz, hemiselülozlar ve ligninin hücre çeperinin farklı tabakalarında dağılımı eşit değildir.

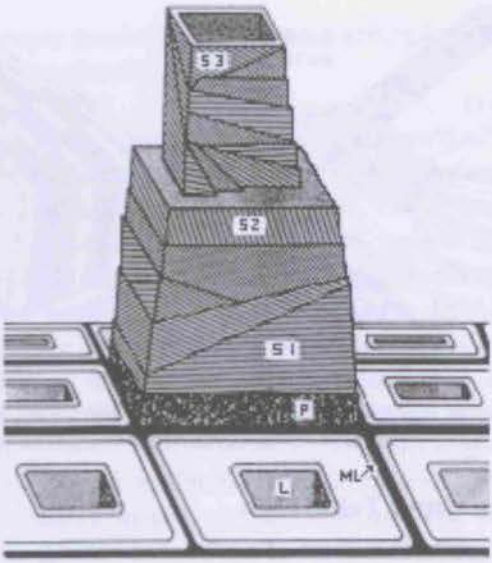
(A) (B)

Şekil 4.5: (A) Saçak misel modeline göre mikrofibrillerin yapısı, (B) Kesikli lâmel modeline göre hücre çeperinde selüloz, hemiselüloz ve ligninin yerleşme düzeni.

4.2.1.1 Hücre Çeper Tabakaları

Daha önce belirtildiği gibi hücreyi dıştan saran pektin bakımından zengin primer çeperin ultrastrüktürel yapısı incelendiğinde, az çok ağ şeklindeki mikrofibril yapısından oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.6). Bu düzensiz mikrofibril yapısı primer çeperin, çok düzenli bir mikrofibril yapısı olan sekonder çeperden kolaylıkla ayrılmasını sağlamaktadır. Sekonder çeper ise, mikrofibrillerin belirli aralıklarla farklı açılarda sıralanışları nedeniyle üç tabakadan oluşmaktadır.

Hücrede dıştan içe doğru primer çeperden sonra gelen ve sekonder çeperin birkaç mikrofibrilden oluşan ilk tabakasında mikrofibrillerin boyuna ekseni, hücrenin boyuna eksenine hemen hemen dik yönde ya da 50°–70°'lik bir açı altında uzanmaktadır. Bu tabakaya, sekonder çeperin S_1 tabakası denir. S_1 tabakasından sonra mikrofibril yönü değişmeye başlar ve mikrofibriller hücre ekseni ile 10°–30° arasında değişen küçük açılar yaparlar. Yani hemen hemen hücre eksenine paralel olarak seyrederler. S_1 tabakasından oldukça geniş olan bu tabaka sekonder çeperin S_2 tabakası olarak tanımlanır. S_2 tabakasından sonra mikrofibril açılarında tekrar bir değişme olur ve mikrofibrillerin yönü hücre boyuna eksenine hemen hemen dik konuma gelirler. Hücre ekseni ile aralarındaki açı 60°–90° arasında değişir. S_1 tabakası gibi ince olan bu tabakaya ise sekonder çeperin S_3 tabakası adı verilmektedir. Böylece hücre çeperi ultrastrüktürel yapısı incelendiğinde sekonder çeperin S_1, S_2 ve S_3 olmak üzere üç tabakadan meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.6: Bir iğne yapraklı ağaç traheidinde hücre çeper tabakalarının şematik görünüşü. ML orta lâmel, P primer çeper, S_1, S_2, S_3 sekonder çeper tabakaları, L lümen.

İğne yapraklı ağaçlarda S_1 ve S_3 tabakaları, lâmel adı verilen 4–6 mikrofibril demeti tabakasından, S_2 tabakası ise ince çeperli ilkbahar odunu hücrelerinde 30–40, kalın çeperli yaz odunu hücrelerinde 150 kadar lâmelden oluşmaktadır. Çeper tabakalarının µm olarak kalınlıkları ise ağaç türüne, hücrenin tipine ve yıllık halka içerisinde bulunduğu yere göre değişir. Örneğin; çamda ilkbahar odunu traheidlerinde;

Primer çeper	0,06 µm
S_1 tabakası	0,31 µm
S_2 tabakası	1,93 µm
S_3 tabakası	0,17 µm

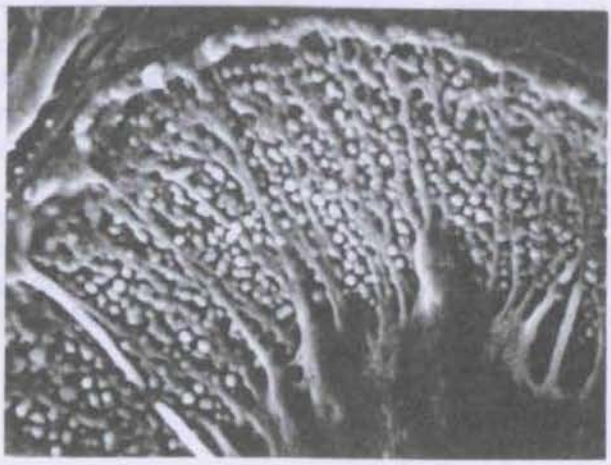
kalınlıktadır. Hücrelerde ortalama çeper tabakası kalınlıkları Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5: Hücre Çeper Tabakası Kalınlıkları (µm)

Hücre Çeper Tabakaları	İlkbahar Odununda	Yaz Odununda
Orta lâmel	0,2	0,3
Primer çeper	0,1	0,3
Sekonder çeper		
S_1	0,1	0,35
S_2	1,0	10,0
S_3	0,1	0,15
Siğilli tabaka	0,07	0,15

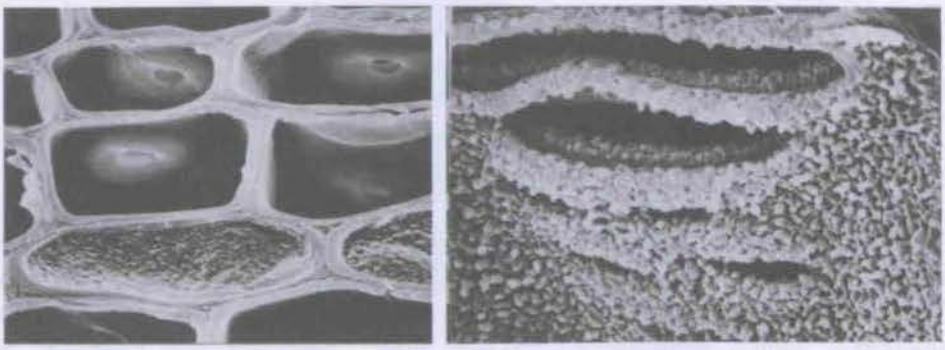
Bazı hücrelerde S_3 tabakasının lümen tarafında siğilli tabaka adı verilen başka bir tabaka daha bulunabilmektedir. Beşinci bölümde açıklandığı gibi hücre oluşumunun son safhasında sitoplâzma ölmektedir. Bu safha sonunda bazı hücrelerin lümen tarafında granül gibi ufak çıkıntı şeklinde kalıntılar S_3 tabakasının üzerini kaplamakta ve siğilli tabaka olarak isimlendirilmektedir.

Siğillerin kimyasal yapısı lignine benzemekle beraber, ayrıca proteinleri de içerdikleri tespit edilmiştir. Sekonder çeperde protein bulunmadığından siğillerin ölen sitoplâzma kalıntıları olduğu kabul edilmektedir. Siğilli tabaka iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçların çeşitli hücrelerinin S_3 tabakası üzerinde, spiral kalınlaşmalar üzerinde, geçit odası yüzeyinde ve püsküllü geçitlerde görülebilmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: *Cedrus libani*'de geçit odasında siğilli tabaka (SEM x11400).

Siğillerin bulunuşu, büyüklüğü ve dağılışı ağaç türlerini birbirinden ayırmada yardımcı olmaktadır. Örneğin; yumuşak çamlarda siğilli tabaka bulunmadığı halde, sert çamlarda bulunabilmektedir (Şekil 4.8).



(A) (B)

Şekil 4.8: (A) *Pinus nigra*'da öz ışınları içerisinde siğilli tabakanın görünüşü (SEM x1200). (B) *Fagus sylvatica*'da trahe içerisinde siğilli tabakanın görünüşü (SEM x4000).

S_2 tabakasının kalınlığı hücre tiplerine göre farklılık göstermekle beraber, Tablo 4.5'te de görüleceği gibi daima diğer tabakalardan çok daha kalın olmaktadır. Bu nedenle hücrede en büyük etkiye sahiptir. Örneğin; ağaç malzemenin higroskopik oluşu selüloz zincir molekülleri üzerinde bulunan serbest hidroksil gruplarından (OH) ileri gelmektedir. S_2 tabakasında mikrofibriller hücre eksenine paralel seyrettiğinden, ağaç malzeme su aldığında boyuna yöndeki genişleme diğer yöndeki genişlemelerden daha az olur. Çünkü S_2 tabakasında mikrofibriller hücre eksenine paralel seyretmektedir. Buna karşın S_1 ve S_3 tabakalarında hücre eksenine dik seyreden mikrofibriller, enine yönde genişlemeyi engellerler. Mikrofibrillerin yönü ısı iletkenliğini de etkilemektedir.

Ultrastrüktürel yapı ile ilgili olarak selülozun kristallik derecesi odunun kullanım özellikleri üzerinde etkili olmakla beraber, lif ve kâğıt özellikleri üzerinde en çok etkilidir. Örneğin; liflerin yapışması ve kâğıdın eğilme, uzama, daralma, genişleme, boyama, yırtılma ile kimyasal maddelere karşı direnci üzerinde etkili olmaktadır.

4.2.1.2 Hücre Çeperinde Kimyasal Bileşiklerin Dağılışı

Hücre çeperinde selüloz, hemiselüloz ve ligninin dağılışı incelenmek istendiğinde bazı boya maddelerinden yararlanmak mümkündür. Örneğin hücre çeperi viktoria mavisi ile boyandığında primer çeper ve S_1, S_3 tabakaları maviye, S_2 tabakası ise kırmızıya boyanır. Boyama metodundan başka kromotografi, spektrografi, kimyasal analiz, lignin dışındaki bileşiklerin çözülmesi, ultraviyole, fluoresans ve elektron mikroskopları ile hücre çeper tabakaları incelenebilir. Ayrıca mantarların hücre çeperini etkilemesi sağlanarak kimyasal maddeler hakkında bilgi elde edilebilir. Çünkü çeşitli mantarlar çeperdeki farklı kimyasal bileşikleri tüketmektedir. Yapılan incelemelere göre;

• Orta lâmel selüloz içermemekte, esas itibariyle ligninden oluşmaktadır. Lignin yoğunlaşması hücre köşelerinde en yüksek olup radyal çeperler arasında, teğet çeperler arasındakinden daha yüksek oranda bulunmaktadır.

• Primer çeper başlangıçta pektince zengin selüloz mikrofibrillerinden oluşur. Daha sonra ligninleşme ile fazla miktarda lignin primer çepere yerleşir. Sonuçta birleşik orta lâmelin (orta lâmel+primer çeper) % 60-90'ını lignin kapsar. Hemiselolz miktarı azdır.

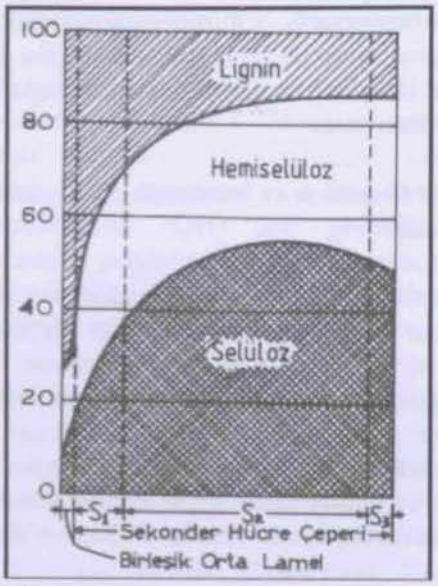
• Sekonder çeperde selüloz ve hemiselüloz oranında artış, lignin oranında ise azalma görülmektedir.

Hücre çeper tabakalarında kimyasal maddelerin dağılışı ağaç türlerine, hücre tiplerine, ilkbahar ya da yaz odunu hücreleri oluşuna bağlıdır ve gövdede özden çevreye doğru gidildikçe ya da reaksiyon odununda değişiklik göstermektedir. Örneğin; huşta paranşim hücrelerinde selüloz oranı % 14 kadar olup, oldukça düşüktür. Buna karşın hemiselüloz miktarı fazladır. Ayrıca huşta lifler ve trahelerde, çamda boyuna traheidler, paranşim hücreleri ve öz ışını traheidlerinde selüloz ve hemiselüloz oranı hemen hemen eşittir. Hücre çeper tabakalarındaki kimyasal bileşiklerin oranları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6: Hücre Çeper Tabakalarında Kimyasal Bileşiklerin Oranları (%)

Çeper Tabakaları	Selüloz	Hemiselüloz	Lignin
O+P	10	20	70
S_1	30	30	40
S_2	56	28	16
S_3	50	38	12

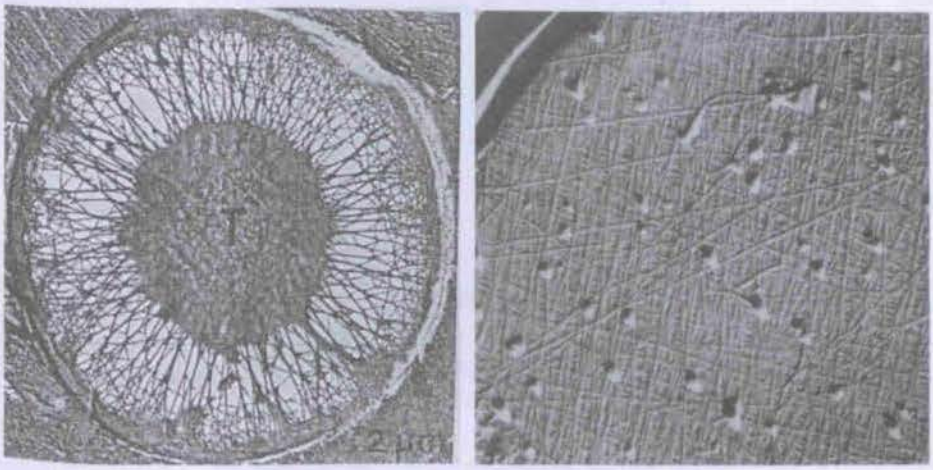
Bir örnek olarak iğne yapraklı ağaçlarda hücre çeper tabakalarındaki kimyasal bileşiklerin oranları Şekil 4.9'da verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi iğne yapraklı ağaçlarda selüloz bileşik orta lâmelde az miktarda bulunmakta, S_2 tabakasına doğru gidildikçe artmaktadır. Lignin hücre aralarında fazla miktarda bulunmakta ve lümene doğru konsantrasyonu azalmaktadır. Lignin oranı en fazla bileşik orta lâmelde bulunmasına karşın bu tabakanın son derece ince oluşu nedeniyle, hücre çeperindeki ligninin büyük kısmının S_2 tabakasında bulunduğu ifade edilebilir.



Şekil 4.9: İğne yapraklı ağaçlarda hücre çeper tabakalarında kimyasal bileşiklerin dağılımı.

4.2.2 Geçitler

Selüloz mikrofibrilleri primer çeper üzerine depolanırken, kenarlı geçitlerin oluşumunu hazırlamak üzere daire şeklinde bir düzen içerisinde ilerleyen bir halka oluştururlar. Yani, kenarlı geçitlerin yerinin belirlenmesi esas itibariyle S_1 tabakası oluşumundan önce başlar. Bu halka geçidin dış kenarını sınırlar. Daha sonra sekonder çeper oluşumu başladığında geçit zarı değişime uğrar. İğne yapraklı ağaçlarda geçit zarının ortası kalınlaşır, torus oluşur ve torus mikrofibril demetleri ile (margo ile) geçit kenarına bağlanır. Mikrofibriller arasında ağaç türüne, ilkbahar ve yaz odununda bulunmalarına göre kenarlı geçit zarlarında 0,2µm–2µm kadar genişlikte açıklıklar meydana gelebilir. Bu tip geçit zarına çam, lâdin, melez ve göknar'da rastlanmaktadır (Şekil 4.10/A). Geçit zarlarının porozitesi, genellikle yaş ilerledikçe azalmaktadır. Çok ileri yaşlı öz odunda torus ve onu askıda tutan mikrofibriller son derece güçlükle fark edilmektedir. Çünkü traheidler arası sıvı akışına mani olan aspirasyon halinden başka, margonun ekstraktif maddeler ile örtülmesi veya lignin gibi çözünmeyen maddelerle tıkanması söz konusudur.



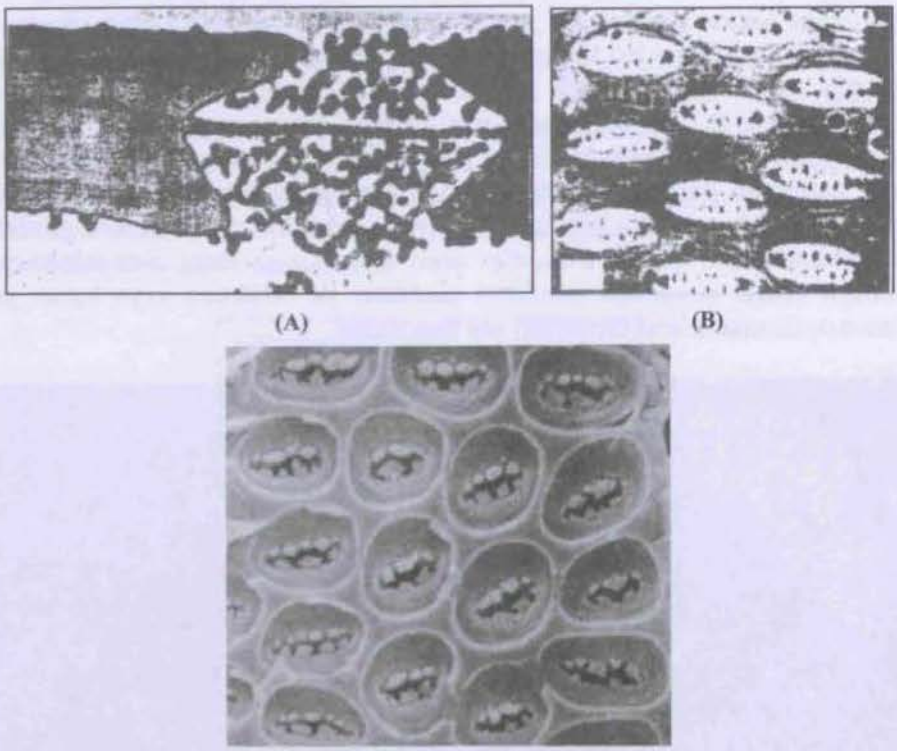
(A) (B)

Şekil 4.10: (A) *Tsuga canadensis*'de diri odun traheidinde kenarlı geçit (SEM). (B) *Tilia americana*'da kenarlı geçit zarında mikrofibril düzeni (24000x).

Daha önce de belirtildiği üzere geniş yapraklı ağaç kenarlı geçitlerinde torus bulunmamakta, geçit zarları düzensiz dizilmiş primer çeper mikrofibrillerinden oluşmaktadır (Şekil 4.10/B). Paranşim hücreleri ile traheler

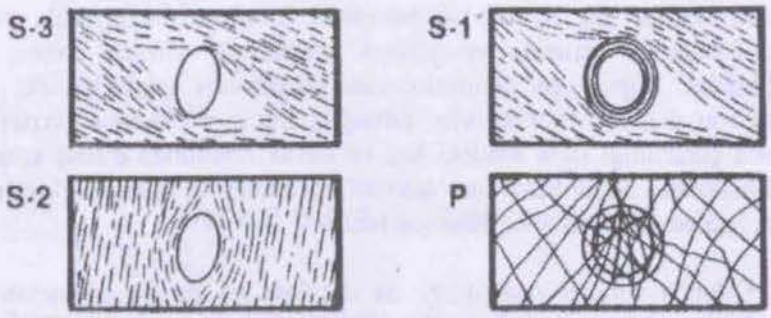
arasındaki geçit zarlarının paranşim hücresi tarafından ilave bir koruma tabakası bulunmaktadır.

Bazı geniş yapraklı ağaç türlerinde traheler arası geçit odaları içerisinde mikrofibril yapısında olmayan, püskül şeklinde oluşumlar depo edilmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: (A) *Robinia pseudoacacia*'da (1700x), (B) *Parashorea plicata*'da (6700x), (C) *Prosopis caldenia*'da (5240) püsküllü geçitler.

Kenarlı geçitlerde S_3 tabakası geçit odasını sarmakta ve porus etrafında dairemsi bir şekilde toplanmaktadır. Lümen tarafında ise daha düzenlidir. Geçit kenarında S_2 tabakası lâmellerinin merkeze doğru toplandığı görülmektedir. Geçit alanlarında mikrofibrillerin yönünün primer çeper, S_1, S_2 ve S_3 tabakalarında nasıl değiştiği Şekil 4.12'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.12: Geçit alanlarında hücre çeperinin çeşitli tabakalarında mikrofibril yönlerinde değişmeler.

4.2.3 Spiral Kalınlaşmalar

Spiral kalınlaşmalar hücrelerin S_3 tabakası üzerinde mikrofibrillerden oluşmuş kalınlaşmalardır. Kalınlaşmalarda mikrofibrillerin yönü S_3 tabakasındaki mikrofibrillerden farklı olup, hücre eksenine biraz daha paraleldir. Spiral kalınlaşmaların S_3 tabakası üzerinde yerleşim şekillerinin ağaç türlerine göre farklılıklar gösterdiği de tespit edilmektedir. Örneğin; porsuk'ta spiral kalınlaşmalar S_3 tabakasına sıkıca bağlı olduğu halde, torreya'da S_3 tabakasına kısmen bağlı olduğu belirlenmiştir.

4.3 Kimyasal Bileşiklerin Odun Özellikleri ve Kullanım Yeri Üzerine Etkileri

• Odunun kimyasal kullanımında, özellikle odun hamuru, kâğıt ve benzer maddelerin yapımında, selüloz önemli rol oynamaktadır. Odun hamuru elde etmede ekstraktif maddelerin miktar ve cinsi de etkili olmakta, örneğin bisülfit metodunda reçine arzu edilmemektedir.

• Ağaç malzemenin direnci üzerinde kimyasal bileşiklerin hepsi etkili olmaktadır.

Selüloz, özellikle S_2 tabakasında boyuna yönde uzanan selüloz zincir molekülleri ve mikrofibrilleri yardımıyla liflere paralel çekme direncini artırmaktadır. Liflere dik yönde çekme direnci, liflere paralel yöndekinin 1/40'ı kadardır. Ayrıca, S_2 tabakasındaki mikrofibrillerin hücre eksenine paralelliği azalırsa, boyuna yöndeki direnç değerlerinde azalma görülebilir.

Hemiselüloz ile lignin ise hücreleri birbirine bağlayarak, selülozik iskelete desteklik vermekte ve yüksek elastikiyet, yüksek basınç direnci sağlamaktadır. Lignin ve hemiselülozun çıkarılması ıslak haldeki odunun direncini son derece azaltmaktadır. Örneğin; lignin ve hemiselülozun önemli miktarının çıkarıldığı ıslak haldeki huş ve kavak odununda direnç sıfıra kadar azalabilmektedir. Kuru halde ise pektinli maddeler ve hemiselüloz hücreleri birbirine bağladığı için direnç daha yüksektir.

• Odunda rutubet değişikliği ile daralma ya da genişlemenin nedeni selüloz zincir moleküllerinde bulunan serbest hidroksil gruplarıdır.

Mikrofibrillerin hücre eksenine paralelliği azalınca, boyuna yönde genişleme ve daralma da artmaktadır.

Hücre çeperlerinde ligninin bulunması odunun çalışmasını önlemekte ve stabiliteyi sağlamaktadır. Ligninleşmemiş hücreler, ligninleşmiş hücrelerden daha fazla daralma gösterirler.

Ekstraktif maddelerin fazla miktarda oluşu, özellikle su itici özellikteki ekstraktif maddelerin bulunuşu odunun rutubet tutma kabiliyetini azaltmaktadır.

• Odunun rengi, kokusu, tadı, tutuşma kabiliyeti, fluoresans özelliği ve dayanıklılığı üzerinde ise ekstraktif maddeler etkili olmaktadır.

BÖLÜM 5

ODUNSU HÜCRELERİN OLUŞUMU

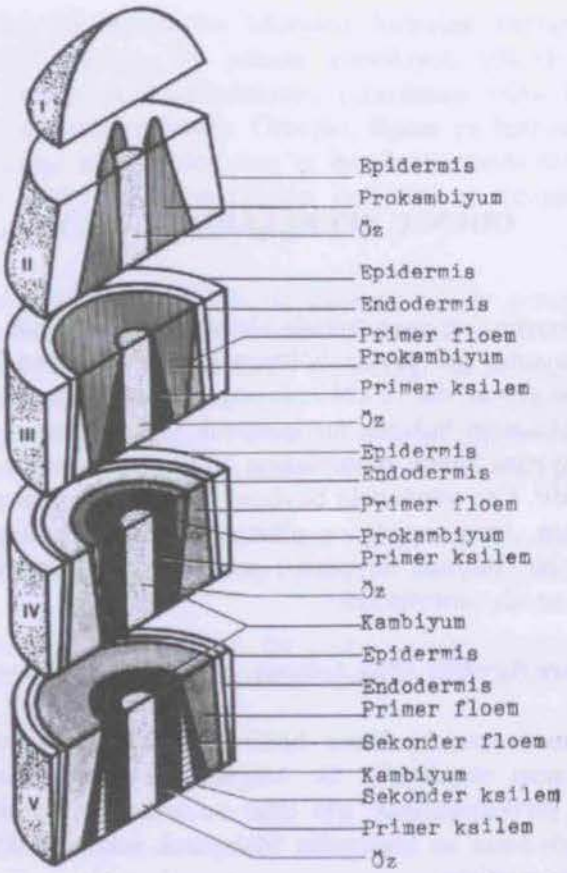
Ağaçlar boyuna ve çap yönünde olmak üzere iki yönde büyürler. Her iki durumda da büyüme çok sayıda bölünen hücreler tarafından gerçekleştirilir. Boyuna büyüme gövde, dal ve köklerin ucundaki apikal meristemler tarafından sağlanır. Uç noktalarda bulunan meristematik yapıdaki bu hücreler olağanüstü bölünme kabiliyetine sahip, protoplazma bakımından zengin, ince çeperli ve küçük hücrelerdir. Çap yönündeki büyüme ise kabuk ile ksilem (odun dokusu) arasında bulunan, ince çeperli ve plâzmaca zengin kambiyum hücrelerinin bölünmesiyle olur. Boyuna büyümeye primer, çap yönündeki büyümeye ise sekonder büyüme adı verilmektedir.

5.1 Primer Büyüme (Boy Artımı)

Apikal meristemdeki hücre bölünmesi ana gövdenin boyuna yönde gelişmesine hizmet etmektedir. Bu bölgede meydana gelen yeni hücreler, boyuna artımı gerçekleştirmek için uzar ve ardından olgunlaşırlar. Gelişme halindeki bir gövdenin uç kısmından başlayarak sekonder dokuların oluşumu Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Şekil 5.1'de; **I.** seksiyon yeni oluşan birçok hücre tabakasını ifade etmektedir. Hücre oluşumundan hemen sonra, hücreler büyüklük, biçim ve görevleri bakımından değişikliğe uğrarlar. Genç gövdenin dış tarafında kalın, rutubet kaybını önleyen mum (kitin) ile kaplı çeperleri olan hücrelerden meydana gelen ve epidermis adı verilen bir doku oluşturulur.

II. seksiyonda gövdenin tam ortasında öz adı verilen ve odunsu hücrelere benzemeyen hücrelerden oluşmuş küçük bir kısım bulunmaktadır. Özün etrafında prokambiyum yer alır. Burada hücreler değişerek büyüklük ve şekil bakımından tam bir halka meydana getirirler. Prokambiyum kısa bir süre sonra oluşacak yeni bir meristematik tabakanın öncüsüdür.



Şekil 5.1: 1 yaşındaki ağaç gövdesinde boyuna ve enine kesitlerin şematik görünüşü.

III. seksiyonda değişim işlemi devam ederek epidermisin altında endodermis adı verilen ikinci bir koruyucu tabaka oluşur. Bu seksiyonun üst kısmında prokambiyum maksimum büyüklüğe ulaşır.

IV. seksiyonda ve IV. seksiyonun alt kısmında hücreler tekrar değişime başlar ve prokambiyumun iç tarafında kalan hücreler, ksileme benzer hücrelere, dış kısmındaki hücreler ise floeme benzeyen hücrelere dönüşürler. Bu iki yeni tabaka primer ksilem ile primer floem olarak isimlendirilirler. Primer ksilem ve primer floeme dönüşüm, prokambiyum halkasının bir veya birkaç hücre genişliğine kadar devam eder.

V. seksiyon gövdenin ucunda yer almakta ve gelişmenin son safhası burada görülmektedir. Prokambiyumun kalan kısmı aktif hale geçerek, buradaki hücreler devamlı olarak ksilem ile floem hücreleri üretmeye başlamaktadır. Vaskular kambiyum adı verilen bu meristematik tabaka ağacın yaşamı boyunca faaliyet göstererek sekonder büyümeyi sağlamaktadır. Kambiyum birkaç hücre sırasından meydana gelmiş bir tabaka olmakla beraber, asıl görevi yapan kısım bir hücre genişliğindedir. Vaskular kambiyum oluşumundan sonra üretilen odun ve kabuk tabakaları, sekonder ksilem ve sekonder floem olarak isimlendirilmektedir. Ancak, monokotillerde (Palmiyelerde) sekonder dokular oluşmamakta, tüm prokambiyum hücreleri tipik olarak primer ksilem veya primer floeme dönüşmekte, yani vaskular kambiyum bulunmamaktadır.

Odunsu gövdelerde kambiyum oluşumundan sonra, kambiyum ve sekonder floemin dışındaki tabakaların hiçbirinde hücre bölünmesi olmaz. Bu nedenle bölünme olmayan tabakaların çevresi, genişleyen gövde çapı ile birlikte aynı genişlemeyi gösteremez ve epidermal tabakalarda çatlamalar, dökülmeler meydana gelir. Dökülen bu tabakalar yerine sekonder floem üretilmektedir.

5.2 Sekonder Büyüme (Çap Artımı)

Odun dokusu, iç kabuk (floem) ve dış kabuktan oluşan kabuğun iç tarafında bulunur. Ağaç büyüdükçe gövde ve dallarda kambiyum tarafından yeni odun ve kabuk tabakaları üretilir. Ancak, gövdede ksilem tarafında daha fazla sayıda hücre üretildiği için kabuk, gövdenin iç tarafından gelen basınçla ezilerek sıkıştırılır. Görev yapamaz hale gelmiş kuru ve ölü dış kabuk tabakası zamanla çatlayarak, yer yer dökülür.

Bütün yeşil bitkilerde olduğu gibi ağaçlar fotosentez yolu ile yapraklarında kendi besin maddelerini üretmektedirler. Bu amaçla su ve topraktaki besin maddeleri kökler vasıtasıyla alınarak ksilemin diri odun tabakalarından yapraklara gönderilir. Yaprak yüzeylerindeki küçük açıklıklar (stoma) yardımıyla havadaki karbondioksit alınır. Karbondioksit ile su yapraklarda güneş ve klorofil etkisi altında birleştirilerek, büyüyen ağaca enerji temin edecek şekerli maddeler oluşturulur (Şekil 5.2). Şekerli maddelerin bir kısmı yeni yaprakların oluşumunda, bir kısmı yeni sürgünlerde, bir kısmı da yeni odunsu hücrelerin oluşumunda kullanılmaktadır. Bu amaçla şekerin bir miktarı daha sonra kullanılmak ve respirasyonla tüketilmek üzere ağacın özel bölgelerinde veya köklerde depolanmaktadır. Yeni odun tabakaları oluşumunda

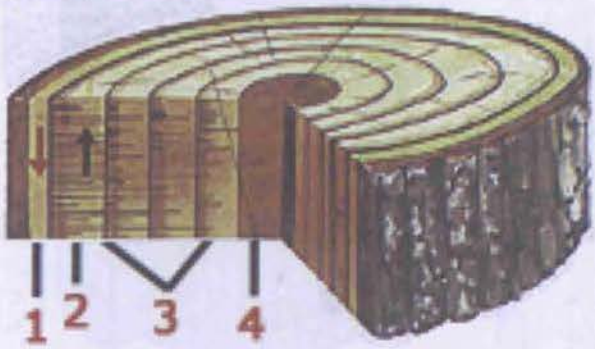
kullanılan şekerli maddeler ağaçta floem içinden aşağıya doğru sıvı halde taşınmaktadır.

Şekil 5.2: Ağaçlarda fotosentez yolu ile besin maddesi üretimi.

Sıvı haldeki bu şekerli suya bazen besi suyu denmekte ve içerisinde çeşitli şekerler, su, hormonlar ile diğer maddeler bulunmaktadır. Ancak besi suyu terimi genellikle kökler vasıtasıyla alınan ve ksilemin diri odun tabakasından gövde boyunca yukarıya doğru taşınan, mineraller bakımından zengin suyu ifade etmek için kullanılmaktadır.

Yeni ksilem ve floem dokuları, ksilem ve floem arasında bulunan kambiyum tarafından oluşturulmaktadır. Kambiyum kök, gövde, dal ve sürgünleri tamamen saran ince bir tabakadır (Şekil 5.3). Daha önce de belirtildiği gibi yapraklarda oluşan sıvı besin maddeleri ağaçta floem yolu ile aşağı doğru taşınmakta ve kambiyum için gerekli olan besin maddelerini temin etmektedir. Bu maddelerin horizontal yönde ağacın özüne doğru hareketi ise öz ışınları yardımı ile sağlanır. Öz ışınları aynı zamanda karbonhidratların

depolama görevini üstlenmekte ve vejetasyon mevsimi başında özden çevreye doğru depo maddelerinin taşınmasına yardım etmektedir.

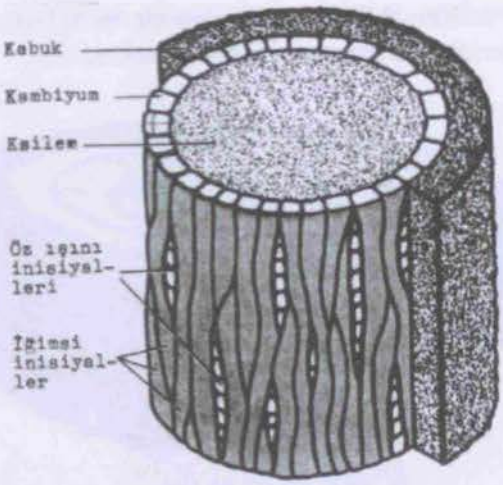


Şekil 5.3: Olgun bir ağaç gövdesinde (1) floem, (2-3) diri odun, (4) öz odun.

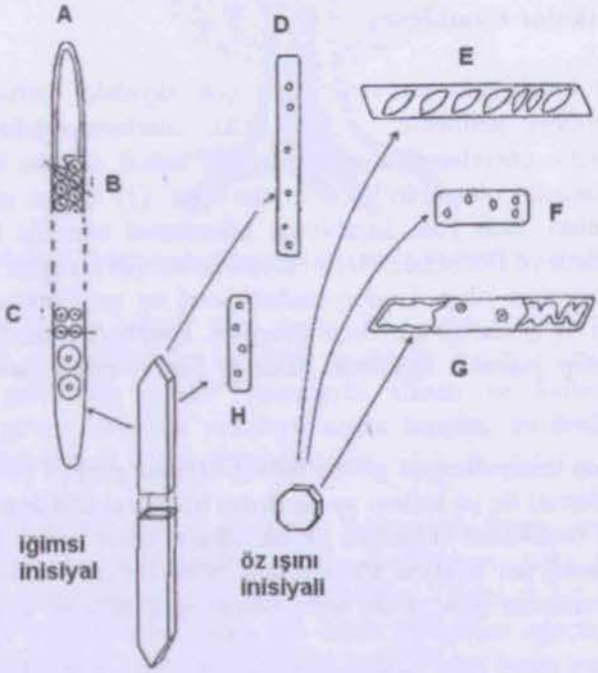
5.2.1 Vaskular Kambiyum

Vaskular kambiyum bir veya daha çok sayıdaki meristematik hücre sırasından meydana gelmekte ve bir halka oluşturmaktadır (Şekil 5.4). Kambiyum ksilemi çevrelemekte ve dış tarafta kabuk dokusu bulunmaktadır. Kambiyum tabakasını oluşturan hücreler iki tiptir. (1) İğimsi inisiyaller uzun ince hücreler olup, hem yeni kambiyum hücrelerini hem de boyuna yönde uzanan yeni ksilem ve floem hücrelerini oluştururlar. (2) Öz ışını inisiyalleri ise, kısa yuvarlak hücreler olup, kambiyumdaki yeni öz ışını inisiyalleri ile yeni ksilim ve floem öz ışınlarını meydana getirirler. Kambiyum inisiyallerinin iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlarda ürettiği hücre tipleri Şekil 5.5/A-B'de verilmiştir.

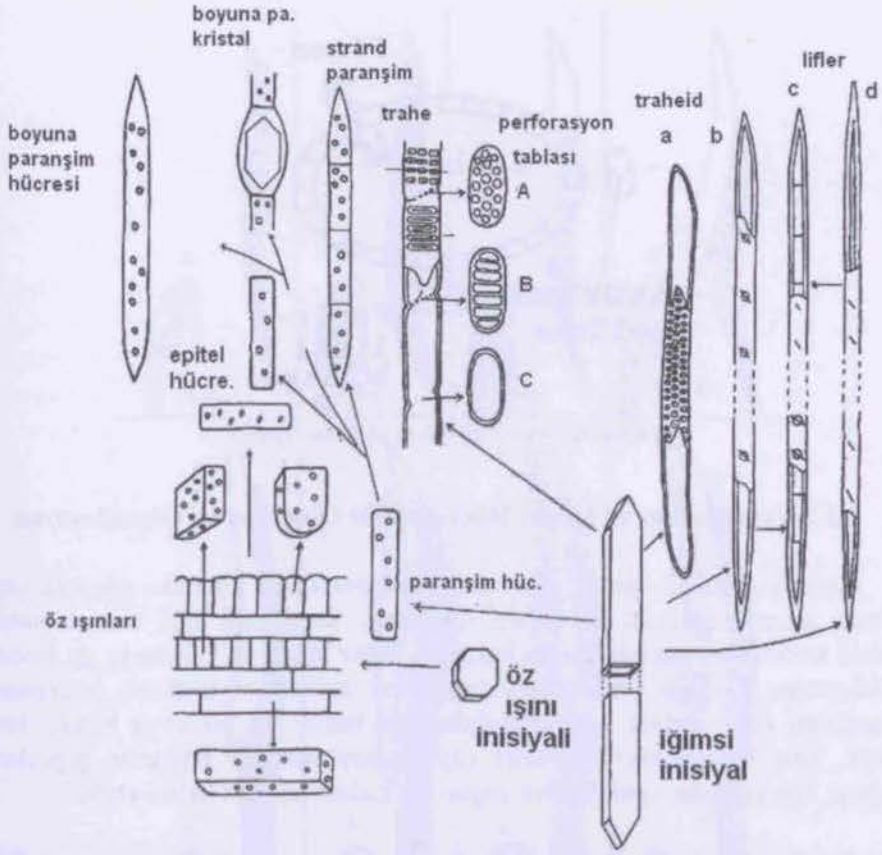
Kambiyum inisiyallerinin gövde teğet yüzeyine paralel yönde bölünmesi (perikliinal bölünme) ile ya ksilem ya da floem hücreleri üretilmektedir. Radyal yönde bölünme (antiklinal bölünme) ile ise, ağaçta çevre artımı gerçekleştirilir (Şekil 5.6). Kambiyum inisiyal hücrelerinin bölünmeleri arasında geçen süre vejetasyon mevsiminin başı ya da sonu oluşu, ağaç türü ve çevre şartları ile değişmektedir.



Şekil 5.4: Vaskular kambiyumun üç boyutlu şematik görünüşü.

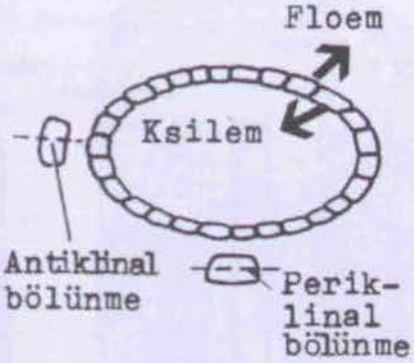


Şekil 5.5/A: Kambiyum inisiyal hücrelerinin iğne yapraklı ağaç ksileminde ürettiği hücre tipleri. (A) boyuna traheid, (B-C) karşılaşma yeri geçitleri, (D) boyuna paranşim, (E) öz ışını paranşimi, (F) enine kanallar çevresindeki epitel hücresi, (G) öz ışını traheidi, (H) boyuna kanallar çevresindeki epitel hücresi



Şekil 5.5/B: Kambiyum inisiyal hücrelerinin geniş yapraklı ağaç ksileminde ürettiği hücre tipleri. Trahelerde (A) çok delikli, (B) merdivenimsi, (C) basit tipte perforasyon tablaları, (a) vaskular traheid, (b) lif traheidi, (c) bölmeli lif, (d) libriform lifi.

Kambiyumdaki uyarma mekanizması hakkında fazla bilgi olmamakla beraber, uyarmanın gelişme hormonlarının, özellikle de genç yapraklarda oluşan auxin hormonlarının faaliyete geçmesi ile başladığı kabul edilmektedir. Ancak, kambiyumdaki bölünme fotosentez olayına da bağlıdır. Bazı ağaç türlerinde bir önceki yıl depo edilen besin maddeleri mevsim başında çap artımı için kullanılabilmektedir. Bu nedenle bazı ağaçlarda örneğin; meşelerde olduğu gibi yapraklar oluşmadan önce ilkbahar odunu traheleri üretilebilmektedir.

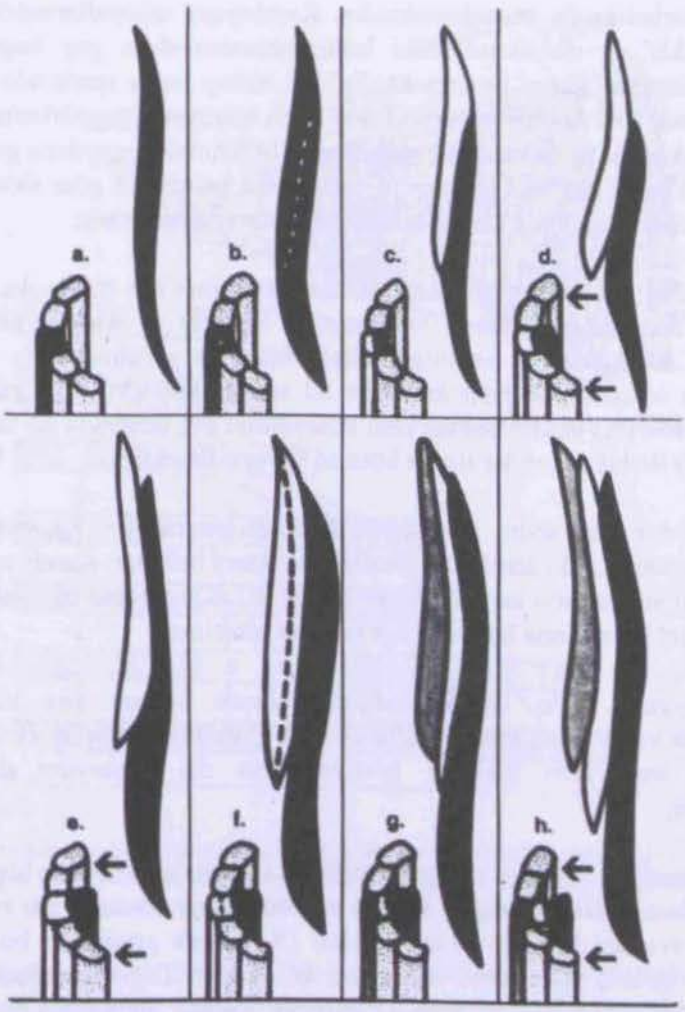


Şekil 5.6: Kambiyumda hücre bölünme tipleri.

5.2.2 Yeni Ksilem ve Floem Hücrelerinin Oluşumu ve Olgunlaşması

Kambiyumda bir iğimsi inisiyal hücresi periklinal bölünme yaparak çap yönünde artımı sağlayan iki hücre oluşturur. Bunlardan biri meristematik yapıdaki kambiyum hücresi olarak kalırken, diğer hücre ya ksilem ya da floem ana hücresine dönüşür. Ana hücre olgun bir ksilem veya floem hücresine dönüşmeden önce radyal yönde genişlemeye başlar ve bir veya birkaç kez bölünür. Yeni ksilem hücreleri önce çap ve boy yönünde büyürler, çeperleri kalınlaşır, son safhada ligninleşerek olgun bir ksilem hücresi halini alırlar.

Ancak, tüm hücre tipleri hem çap hem de boy büyümesi yapmazlar. Örneğin; iğne yapraklı ağaçlarda yaz sonunda oluşan uzun hücreler boyuna yönde fazla büyürken, çapları az genişlemektedir. Buna karşın geniş yapraklı ağaçların karakteristik hücresi olan trahelerin boyları çok az büyüme gösterirken ya da hiç büyümezken, çap yönünde başlangıç çaplarının 2–50 katı kadar genişleyebilirler. Şekil 5.7'de iğimsi bir inisiyal hücresinin periklinal bölünmelerle iki hücre oluşturmasının şematik görünüşü verilmiştir.



Şekil 5.7: Kambiyum iğimsi inisiyallerinde periklinal bölünme. (a) Başlangıçta iğimsi bir inisiyal hücrede kromozomlar yarılıp, ayrılmakta ve ayrı ayrı hücrenin iki ucuna doğru yönlenerek bölünme başlamaktadır. (b) Hücrelerin arasında bir tabaka oluşur. (c) Yeni bir hücre çeperi meydana gelir. (d) Her iki hücre çap yönünde, (e) boyuna yönde büyümeye başlar. İç taraftaki hücre ksilem hücresine dönüşürken, dıştaki hücre kambiyum hücresi olarak kalır. (f) Kambiyum hücresinde yeniden bölünme başlar. (g) Yeni hücrede çap ve (h) Boy büyümesi devam eder.

Vejetasyon mevsiminin başında gövde uçlarında primer meristemlerde yeni hücrelerin oluşumu büyük bir hızla gerçekleşmektedir. Örneğin; *Thuja*'da primer meristemler 8–18 saat aralıklarla bölünmekte ve bölünme hızı vejetasyon

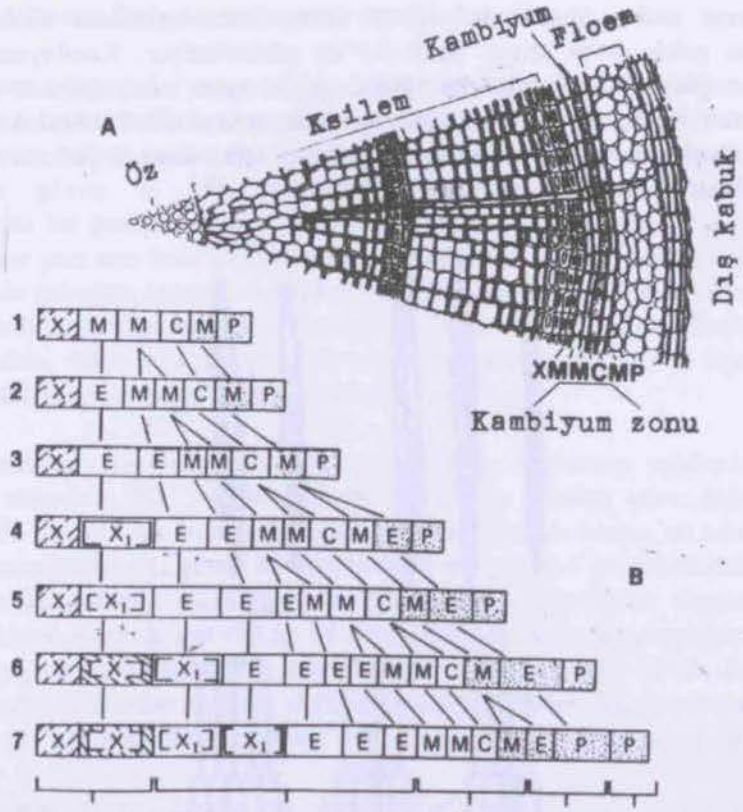
mevsimi ilerlediğinde yavaşlamaktadır. Kambiyum inisiyallerindeki bölünme ise genellikle uç meristemlerdeki bölünmelerden daha geç başlamakta ve bölünme nispeten yavaş ilerlemektedir. İlk birkaç hafta içerisinde kambiyum inisiyallerinde 2–3 bölünme gerçekleşir. Hızlı büyüyen ağaç türlerinde ilkbahar odunu tabakası oluşumunda 4–6 gün arayla bölünmeler meydana geldiği tespit edilmiştir. Örneğin; *Pinus strobus*'ta yapılan bir çalışmaya göre ilkbahar odunu oluşumu sırasında 10 gün arayla bölünmeler tekrarlanmaktadır.

Kambiyum inisiyallerinin periklinal bölünmesinin bir başka açıklaması Şekil 5.8'de şematik olarak verilmiştir. Şekilde 1. sırada aktif haldeki kambiyum tabakasındaki ve bitişiğindeki hücreler görülmektedir. Kambiyum inisiyalinin solunda sekonder ksilemin iki ana hücresi (M) ve olgunlaşmış bir ksilem hücresi (X) vardır. Kambiyum inisiyalinin sağ tarafında ise bir floem ana hücresi (M) ile bir sekonder floem hücresi (p) görülmektedir.

Kısa bir süre sonra 2. sıradaki faaliyet gerçekleşir. Kambiyuma yakın ksilem ana hücresi, iki ana hücre oluşturmak üzere bölünür. Kambiyumdan uzak olan ksilem ana hücresi ise büyümeye başlar (E). Kambiyum inisiyal hücresinde ve floem ana hücresinde herhangi bir faaliyet görülmez.

3. sırada daha önceki safhada oluşan ksilem ana hücrelerinden kambiyuma yakın olanı tekrar bölünür, diğeri büyümeye başlar. Bu safhada her ne kadar kambiyum faaliyeti görülmüyorsa da kambiyum dışarı doğru itilmektedir.

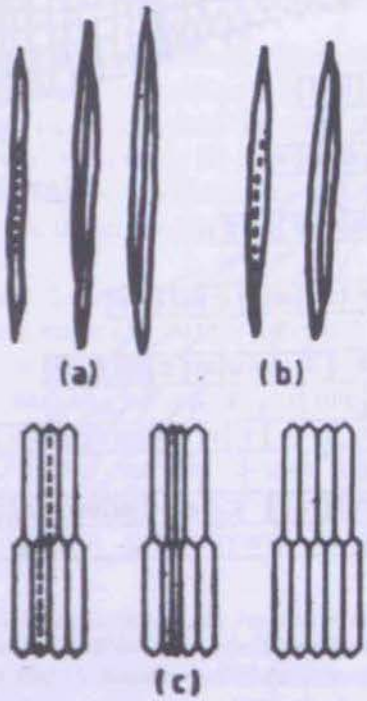
4. sırada kambiyum inisiyali bölünür. Oluşan hücrelerden biri kambiyum inisiyali olarak kalırken, diğeri ksilem ana hücresine dönüşür. Bu sırada ksilem ana hücrelerinden biri büyümeye başlar. (X) olarak gösterilen bu hücre artık olgun bir ksilem hücresidir, bir daha bölünmez. Diğer taraftan kambiyum dışındaki floem ana hücresi önce iki hücreye bölünür, bunlardan biri büyümeye başlar. Vejetasyon mevsimi süresince büyüme devam ederken, bu olaylar tekrar tekrak yinelenerek çap yönünde büyüme sağlanır.



Şekil 5.8: (A) Kambiyum tabakasının yeri, (B) Kambiyumdaki bölünmelerin şematik görünüşü. X olgun ksilem hücresi, E genişlemiş ksilem ya da floem hücresi, M ksilem ya da floem ana hücresi, C kambiyum inisiyali, P olgun floem hücresi.

Ağaçta çap artımı ilerlediğinde kambiyum dışa doğru itildiğinden, gövde etrafında kırılmamış bir tabaka oluşturacak şekilde çevresini de genişletmek zorundadır. Kambiyumun çevre artımı yapabilmesi için iğimsi inisiyaller antiklinal bölünmeler gerçekleştirirler (Şekil 5.6). Kambiyum tabakasındaki meristematik hücrelerde periklinal ya da antiklinal bölünmeler kısa süreli aralıklarla tekrarlanır. Her iki bölünme şekliyle oluşan yeni iğimsi inisiyallerin canlılığı yeterli besin maddelerinin bulunmasına bağlıdır. Besin maddelerinin bulunması ise öz ışınları ile ilgilidir. Öz ışınları ile yeterli temasta olmayan ksilem ya da floem ana hücresi ölür, yetersiz beslenen hücreler tekrar bölünemez ve olgunlaşmış ksilem ya da floem hücrelerine dönüşürler. Ayrıca, ksilem ya da floem ana hücresinin kısa olması da öz ışınları ile temaslarının

azalmasına neden olmaktadır. İğimsi inisiyallerin antiklinal bölünmesi ile meydana gelen çevre artımı Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Kambiyumda çevre artışını sağlayan diğer faktörler iğimsi ve öz ışını inisiyallerinin çaplarının genişlemesi ve öz ışını inisiyallerinin sayısının artmasıdır. Tabakalı kambiyuma sahip ağaçlarda çevre artımını sağlamak için inisiyal hücreler radyal-longitudinal yönde bölünürler (Şekil 5.9/c).



Şekil 5.9: Tabakalı olan ve tabakalı olmayan kambiyumda çevre artımı sağlayan hücre bölünmeleri. (a) Tabakalı olmayan kambiyumda pseudotransversal olarak bölünen iğimsi inisiyal. (b) İğimsi bir inisiyalde ana hücrenin tek tarafında meydana gelen yeni bir inisiyal hücre. (c) Tabakalı kambiyumda inisiyallerin radyal–longitudinal bölünmesi.

Öz ışınlarının vaskular kambiyumdaki küçük öz ışını inisiyallerinden oluştuğu daha önce belirtilmişti. Geniş yapraklı ağaçlardan geniş öz ışını bulunan türlerde öz ışınları genişliğinde yavaş yavaş bir artış olduğu ve bunların (1) Birkaç öz ışını inisiyalinin yan yana gelmesiyle, (2) Öz ışınlarının kendi aralarında bölünmeleriyle ya da (3) İki veya daha fazla sayıdaki öz ışınının kaynaşması ile oluştukları öngörülmektedir.

5.2.3 Ilıman Bölgelerde Kambiyum Faaliyet Süresi

Ilıman bölgelerde yetişen ağaç türlerinde kış ayları süresince vaskular kambiyum istirahat halinde olup, faaliyet göstermez. Bu mevsimde kambiyum inisiyallerinin radyal çapları daralır ve yoğun jel halinde protoplazma içerirler. İlkbaharda gövde ve kök uçlarında hormonal faaliyetler başladığında kambiyumda bir genişleme olur. İnisiyal hücreler şişer, radyal çaplar genişler, protoplazma yarı sıvı hale gelerek ortada büyük bir vakuol etrafında toplanır. Bu aşamada kabuğun kolayca soyulduğu görülür. Pratikte bu olaya su yürümesi denilmektedir. İstirahat halindeki kambiyum tabakası ksilemden kolayca ayırt edildiği halde, faaliyet başladığında kesin olarak ayrılamamakta ve kambiyum tabakasından ksileme geçiş tedrici olmaktadır.

Kambiyum inisiyallerinde bölünme sıcaklık ortalaması yaklaşık olarak bir hafta süresince 7°C ve daha fazla olduğunda (türlere göre değişebilir) başlayabilir. Sıcaklık en önemli faktörlerden biri olmasına karşın, en azından iki büyüme hormonunun da gövde uçlarında faaliyete geçmesi gerekmektedir. Yeni hücrelerin oluşumunda etkili olan bu hormonlar, auxin'lerdir. Auxin'lerden özellikle indol-3-asetik asit (IAA) ve giberellik asit (GA) kambiyumun tekrar faaliyete geçmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu hormonlar gövde uçlarında oluşarak, uç noktalardan aşağıya doğru hareket ettiğinden, kambiyum faaliyeti de ilkbaharda gövdenin üst kısmından başlayarak, aşağıya doğru yayılmaktadır.

Büyüme hormonlarının uç noktalardan kambiyuma yayılması iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlarda farklılık göstermektedir. İğne yapraklı ağaçlarda kambiyum faaliyeti tomurcuk diplerinden başlamakta, fakat gövde ve dallara dağılış süresi tam bilinmemektedir. Örneğin; büyük bir iğne yapraklı ağacın üst kısmında kambiyum faaliyeti başladıktan 2–6 hafta sonra gövdenin dip kısmındaki kambiyumun aktif hale geçtiği tespit edilmiştir.

Dağınık traheli geniş yapraklı ağaçlarda kambiyum aktivitesinin gövdede aşağıya doğru yayılması yavaş olup, birkaç hafta sürmektedir. Halkalı traheli geniş yapraklı ağaçlarda ise kambiyum faaliyeti yine tomurcuk şişmesi ile başlamakta, ancak hızla dallara ve gövdede aşağıya doğru yayılarak, hemen hemen aynı zamanda bütün gövdede kambiyum inisiyalleri bölünmeye başlamaktadır.

Sürgün uzaması normal olarak çap artımından daha önce başlamakta ve daha erken durmaktadır. Boy artımı ilkbaharda genellikle 7–10 haftalık bir süre

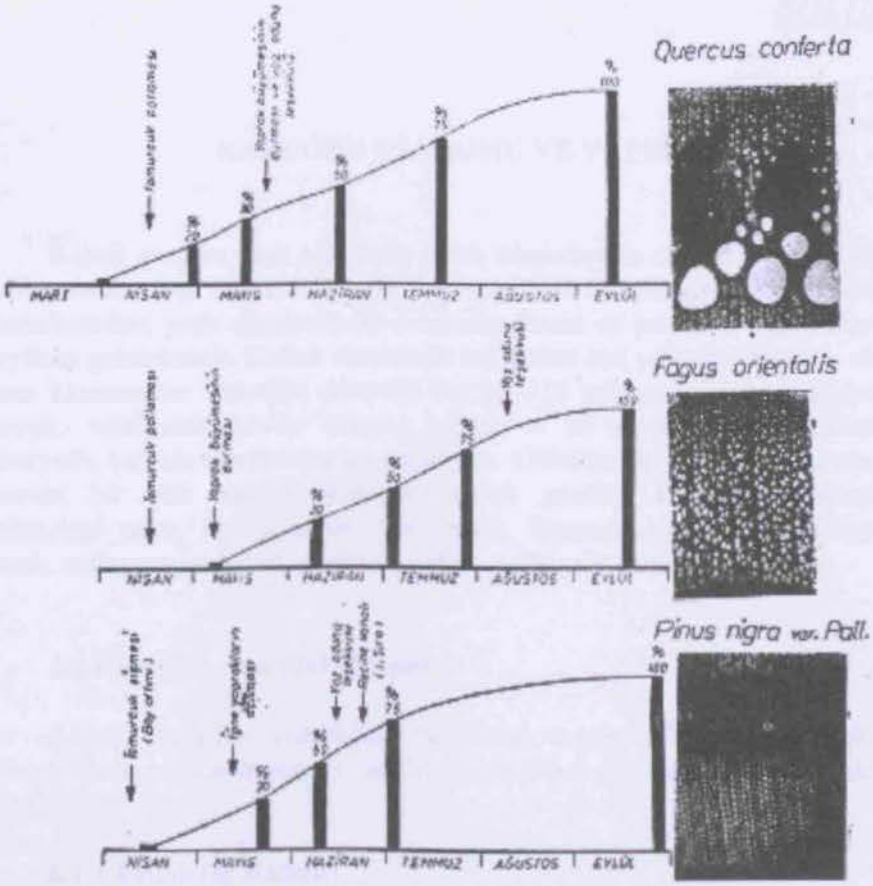
içerisinde hızlı bir şekilde gerçekleşerek son bulur. Kambiyum faaliyeti ise daha yavaş ve daha uzun bir süre, bazen sonbaharın başlangıcına kadar devam etmektedir. Kambiyum faaliyetinin süresi; mevsime, ağacın bulunduğu yerin denizden yüksekliğine, kapalı ya da açık meşcerede oluşuna, ağaç yaşına, ağaçta bulunduğu yere, su ve gıda maddesi miktarına, ışık entansitesine ve sıcaklığa bağlıdır.

Vejetasyon mevsiminin sonunda, yani Ağustos sonu ile Ekim ayına kadar olan sürede rakımla ilgili olarak kambiyumda hücre bölünme hızı yavaşlamakta ve durmaktadır. Vejetasyon yılı sonunda hormon üretim hızının azaldığı da görülmektedir. Açıkta yetişen ağaçlarda büyümenin durması en uçtaki sürgünlerden başlayıp aşağıya doğru azalarak son bulmakta ve en son kökler duraklama periyoduna girmektedir. Kapalı meşcerelerdeki ağaçlarda ve yaşlı ya da az gelişmiş ağaçlarda kambiyum faaliyeti gövdenin alt kısmında, gövdenin üst kısmından daha erken durabilmektedir.

Duraklama periyodunun başlamasına neden olan faktörler olarak gün ışığının kısalması, ışık entansitesinin azalması, su ve besin maddelerinde azalma ve yaz ortasında sıcak günler ile donma noktasına yakın sıcaklıklar rol oynamaktadır. Işık ve sıcaklık etkileri son derecede önemli düzenleyicilerdir. Fakat apikal meristemlerde veya yapraklarda kontrol mekanizmaları değillerdir. Ağaç yaşının ya da ağacın bir kısmının yaşının, kambiyum aktivitesinin süresi üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Her iki durumda da yaş ilerledikçe, kambiyum faaliyet süresi kısalmaktadır. Ülkemizde yapılan araştırmalara göre bazı ağaçlarda kambiyum faaliyeti Şekil 5.10'da gösterilmiştir.

5.2.4 Tropik Bölgelerde Kambiyum Faaliyet Süresi

Tropik bölgelerde yetişen ağaçlarda kambiyum faaliyeti bazen devamlı olabilmektedir. Yağışın yıl içersinde düzenli dağıldığı ve sıcaklığın duraklama periyodunda da devamlı olarak yeterli olduğu yetişme yerlerinde, devamlı bir büyüme söz konusudur. Bununla beraber tropik bölgelerde de her yıl iki ya da beş kez büyüme–durgunluk dönemleri birbirini takip edebilmektedir. Ilıman zonlardan alınarak tropiklerde yetiştirilen ağaçlarda da tropiklerdeki kambiyum faaliyet modelleri görülmektedir. Tropik bölgelerde yetişen ağaç türlerinde gelişmenin neden devamlı değil de periyodik olduğu konusunda az sayıda araştırma yapıldığından fazla bir açıklama getirilememektedir. Ancak, tropik bölgelerde yetişen ağaçlardaki bu davranışın nedenini, duraklama periyoduna yol açan faktörlerde aramak gerekmektedir.



Şekil 5.10: *Quercus frainetto* (syn. *Q. Conferta*), *Fagus orientalis* ve *Pinus nigra* var. *pallasiana*'da yıllık halka gelişimi.

BÖLÜM 6

KABUĞUN OLUŞUMU VE YAPISI

Kabuk genç ve yaşlı ağaçlarda farklı tabakalardan oluşur. Genç ağaçlarda kambiyumdan dışa doğru sekonder floem, primer floem, korteks ve epidermis tabakalarından, yaşlı ağaçlarda ise sekonder floem ve periderm tabakalarından meydana gelmektedir. Kabuk ekonomik bakımdan son yıllarda yan ürün olarak önem kazanmıştır. Örneğin; dünyada her yıl 319 milyon m^3 kabuk, kerestelik tomruk, selülozluk gövde odunu, yonga ve lif odunu olarak kullanılan materyalle birlikte fabrikalara ulaşmaktadır. Oldukça önemli miktarda olan ve önceleri bir atık madde problemi olarak görülen kabuktan günümüzde endüstriyel yakıt, toprak ıslahı, yer örtüsü, kimyasal yem maddesi kaynağı olarak, izolasyon levhaları, parke ve tutkal yapımında yararlanılmaktadır.

6.1 Kabuğun Anatomik Yapısı

Kabuk, vaskular kambiyum tarafından üretilen floem (iç kabuk) ile fellogen (mantar kambiyumu) tarafından üretilen dış kabuktan oluşmaktadır (Şekil 2.15).

6.1.1 Floem (İç Kabuk)

Sekonder floem (floem), kambiyum inisiyallerinin bir ürünüdür. Kambiyumun kabuk tarafına doğru oluşturduğu hücreler ksilem hücrelerinden farklı olup, kabuğun anatomik yapısı odununkinden daha karmaşıktır (Tablo 6.1).

İğne Yapraklı Ağaçlarda Kabuk: İğne yapraklı ağaçlarda odun ile kabuk yapısı arasındaki en büyük fark boyuna traheidlerde görülmektedir. Odun hacminin yaklaşık % 95'ini kapsayan bu hücreler floemde bulunmamakta, onların yerine kalburlu hücreler, floem lifleri ve taş hücreleri oluşmaktadır.

Tablo 6.1: İğne Yapraklı ve Geniş Yapraklı Ağaçların Odunları ile Kabuklarında Bulunan Hücreler

İğne Yapraklı Ağaçlarda		Geniş Yapraklı Ağaçlarda	
Floem hücreleri	**Ksilem hücreleri**	**Floem hücreleri**	**Ksilem hücreleri**
Boyuna yönde			
Sklereidler (taş hücreleri)	–	Sklereidler (taş hücreleri)	–
Lifler	–	Lifler	Traheid ve lifler
Kalburlu hücreler	Traheidler	Kalburlu borular	Trahe
–	–	Arkadaş hücreleri	–
Paranşimler	Paranşimler	Paranşimler	Paranşimler
Epitel hücreleri	Epitel hücreleri	–	–
Radyal yönde			
Öz ışını paranşimleri	Öz ışını paranşimleri	Öz ışını paranşimleri	Öz ışını paranşimleri
Albüminli hücreler	Öz ışını traheleri	–	–
Epitel hücreleri	Epitel hücreleri	–	–
Periderm			
Fellem	–	Fellem	–
Fellogen	–	Fellogen	–
Felloderm	–	Felloderm	–

İletim görevini üstlenen kalburlu hücreler şekil bakımından odundaki boyuna traheidlere benzerler. Ancak, kalburlu hücreler genellikle ligninleşmemiş ya da nadiren ligninleşmiş çeperleri, nadiren sekonder çeper tabakalarının bulunuşu ve boylarının daha kısa oluşu ile traheidlerden yapısal farklılıklar gösterirler. Ayrıca, kalburlu hücrelerde sıvı hareketi sadece lümenleri protoplazma ile dolu iken meydana gelirken, ksilem traheidlerinin protoplazmaları hücre olgunlaştıktan sonra kaybolmaktadır. Kalburlu hücrelerde sekonder çeper tabakaları genellikle olmadığı için, bu hücrelerde geçitler yoktur. Geçitler yerine çeperlerinde kalbur alanları adı verilen çukurlaşmış ve çok ince alanlar yer alır. Bitişik iki hücredeki bu alanlarda bulunan çok küçük delikçikler protoplazmanın hücreden hücreye bağlanmasını sağlarlar.

Floem lifleri ince, uzun, kalın çeperli ve yaz odunu traheidlerine benzeyen ligninleşmiş hücrelerdir. Destek görevi yaparlar ve kabuğun kullanım yeri açısından en önemli kısmını meydana getirirler. Ancak, iğne yapraklı ağaç kabuklarının çok az bir kısmı (en fazla % 10'nu) liflerden oluşur. Bu hücreler çamların kabuğunda hiç bulunmazlar.

Sklereidler (taş hücreleri) düzensiz şekilli, son derece kalın, çok tabakalı ve ligninleşmiş çeperlere sahip hücrelerdir. Bu hücrelere sklereidler ya da

braşisklereidler de denmektedir. Vaskular kambiyumda üretilen paranşim hücrelerinden meydana getirilirler. Fazla miktarda ligninleşmiş çeperlere sahiptirler ve genellikle gruplar halinde bulunurlar. Taş hücreleri iğne yapraklı ağaçların kabuğunda ya hiç bulunmaz (örneğin, çamlarda) ya da az miktarda bulunurlar. Çok az miktarda bulunmalarına rağmen odun hamuruna karışırlarsa problem yaratırlar ve ligninleşmiş kalın çeperleri nedeniyle selüloz üretiminde kimyasal maddelere karşı direnç gösterirler. Kâğıtta kalınlık kontrolü ile üst yüzey işlemlerini güçleştirirler ve eleklerde tıkanmalara yol açarak, ekipmanların aşınmasına sebep olurlar.

Floemdeki boyuna paranşim hücreleri, öz ışını paranşim hücreleri ve epitel hücreleri, tüm paranşimatik hücreler gibi ince çeperli olup, genellikle odundaki paranşim hücrelerine benzemektedir. Ancak, boyları daha kısa ve çeperleri çoğunlukla ligninleşmemiştir. Kabukta reçine kanalları varsa, hem boyuna hem de enine yönde uzanırlar. Odununda reçine kanalı olmayan bazı ağaçların, örneğin; sedir ve ardıçların kabuğunda reçine kanalları bulunabilmektedir. *Sequoia*, *Tsuga*, *Taxodium* ve *Taxus*'ların kabuğunda reçine kanalı yoktur. Bazı göknarların kabuğunda ise reçine keseleri görülmektedir.

Albüminli hücreler iğne yapraklı ağaçların odunundaki öz ışını traheidlerine benzemekte ve kabukta bu hücrelerin karşılığı olarak bulunmaktadır. Albüminli hücreler özel tipte paranşim hücreleri olup, daima kalburlu hücrelerle birlikte kabukta yer almaktadır.

Geniş Yapraklı Ağaçlarda Kabuk: Geniş yapraklı ağaçların iç kabuğunun (floeminin) yapısı, iğne yapraklı ağaçlarınkine benzerlik gösterir. İğne yapraklı ağaçlarda kalburlu hücreler olarak bilinen hücrelere geniş yapraklı ağaçlarda kalburlu borular denmektedir. Bunlar geniş yapraklı ağaç odunundaki trahelerin kabuktaki karşılığı olan elemanlardır. Şekilleri ve uç uca birleşmeleri bakımından trahelere benzerlik gösterirler. Kalburlu boruların ana görevi iletim olup, uç çeperlerindeki delikçiklerle (kalburlu tablalarla) hücreden hücreye sitoplâzmanın devamlılığını sağlarlar.

Geniş yapraklı ağaçların iç kabuğunda bir başka hücre tipi paranşimatik yapıdaki arkadaş hücreleridir. Arkadaş hücreleri daima kalburlu borularla birlikte bulunurlar. Aynı kambiyum inisiyalinden aynı zamanda üretilirler. Arkadaş hücrelerinin kalburlu borularla aynı rolü üstlendiği kabul edilmektedir.

Yapraklı ağaçların kabuğunda da floem lifleri, boyuna paranşim hücreleri ve floem ışını (öz ışını) paranşim hücreleri bulunur. Floem lifleri kabuğun değerlendirilmesinde en önemli kısmı oluşturmaktadır. Ancak, yapraklı ağaç

kabukları hacim bakımından iğne yapraklı ağaç kabuğuna göre, % 5 kadar daha az floem liflerine sahiptir. Geniş yapraklı ağaç kabuğundan elde edilen selüloz ve lif randıman oranları Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2: Kabuktan Elde Edilen Selüloz ve Lif Randımanı (%)

Ağaç Türleri	Kabuktan Elde Edilen Selüloz Randımanı	Kullanılabilir Kabuk Lifi	Kalıntı Sklereidler*
Acer saccharum	34	3	0,2
Betula papyrifera	36	0	0,7
Populus tremuloides	34	10	1,0
Quercus rubra	28	5	0,2
Qurcus falcata	31	4	0,1
Quercus alba	35	3	0,2
Quercus virginiana	37	3	0,1

(*) Kalıntı sklereidler 60–100 mesh elekler üzerinde kalan lifler ve sklereidlerdir.

Tablo 6.2'de görüldüğü gibi selüloz elekten geçirildiğinde kullanılabilir lif oranı, tüm kabuk miktarının % 0-10'u arasında değişmektedir. Odundan kraft selülozu üretiminden sonra elde edilen normal odunsu lif randımanı ise yaklaşık % 50'dir.

İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçların iç kabuğu (floemi) oldukça ince olup, 0,5–15,0 mm kalınlıktadır. Bu tabaka yapraklarda üretilen sıvı gıda maddelerinin genellikle aşağıya doğru (bazen yukarıya doğru) iletimini sağlamaktadır. Son araştırmalara göre, iletim iç kabuğun sadece 0,2–0,3 mm kalınlığındaki bir tabakasında gerçekleşmekte ve özellikle ilkbahar başlangıcında iç kabuktaki iletim bazen yukarı doğru olabilmektedir.

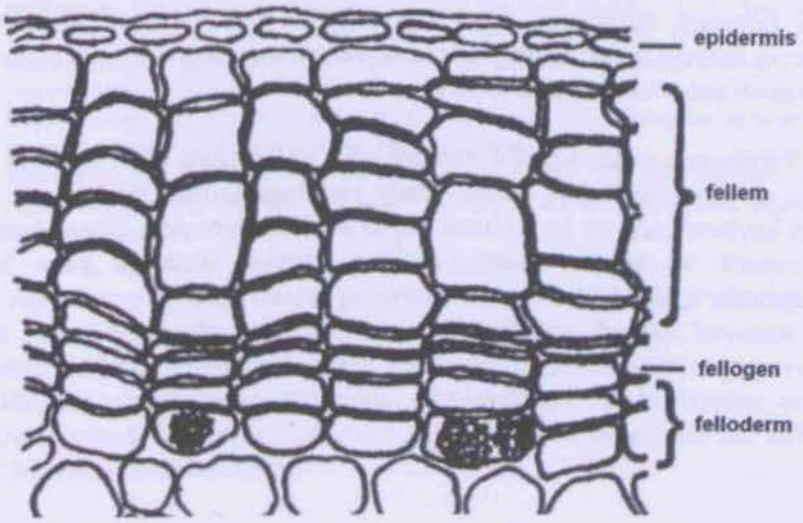
Bazı ağaç türlerinin floeminde belirgin şekilde yıllık halkalar oluştuğu halde, bazı türlerde yıllık halkalar ya yoktur ya da belirgin değildir. Örneğin huş ve kızılağaçlarda floem halkaları belirgin olup, her halkanın ilkbaharda oluşan kısmında fazla sayıda kalburlu borular ile arkadaş hücreleri, yazın oluşan kısmında ise çok miktarda paranşim hücreleri bulunmaktadır. Yalancı akasya, karaağaç, ıhlamur, kavak, porsuk, servi ve ardıç gibi ağaçlarda yumuşak ve sert kabuk tabakası vardır. Yumuşak kabuk ince çeperli iletim vazifesi gören hücreler ile paraşimatik elemanlardan, sert kabuk ise kalın çeperli lifler ile sklereidlerden meydana gelmektedir. Ancak, bu değişik tabakalar bir yılda oluşmamakta, 4–5 tanesi bir yılda üretilmektedir. Meşe ve kestanede yıllık

kabuk halkaları birbirlerinden liflerden ibaret bir hücre tabakası ile ayrılmaktadır.

6.1.2 Dış Kabuk

Genç bir ağaç gövdesinde kabuk dıştan itibaren, ince bir tabaka halindeki epidermis, korteks, primer floem ve sekonder floem tabakalarından meydana gelmektedir. Epidermis meristematik hücrelerden oluşmadığından ağaç çapı genişlediğinde iç kısımdan gelen basınca dayanamayarak, ilk yılda çatlayıp, soyulmaya başlar. Çatlama ve soyulmalar olmadan önce kabukta yeni bir meristem oluşur ve kısa zamanda yeni bir tabaka halini alır.

Yeni kabuk meristemi, korteksin paranşim hücrelerinden ya da bazen epidermisin paranşim hücrelerinden gelişmektedir. Sadece bir hücre genişliğindeki hücrelerin meydana getirdiği bu tabaka, meristematik özellik kazanarak yeni dokular oluşturmak üzere periklinal (teğet yönde) bölünmelere başlar. Bu tabakaya fellogen veya mantar kambiyumu adı verilmektedir. Vaskular kambiyumda olduğu gibi fellogen de hem dış tarafa hem de içe (öze) doğru yeni dokular üretmekte ve sonuçta periderm adı verilen üç tabakalı (fellem, fellogen, felloderm) bir bölge oluşmaktadır (Şekil 6.1).

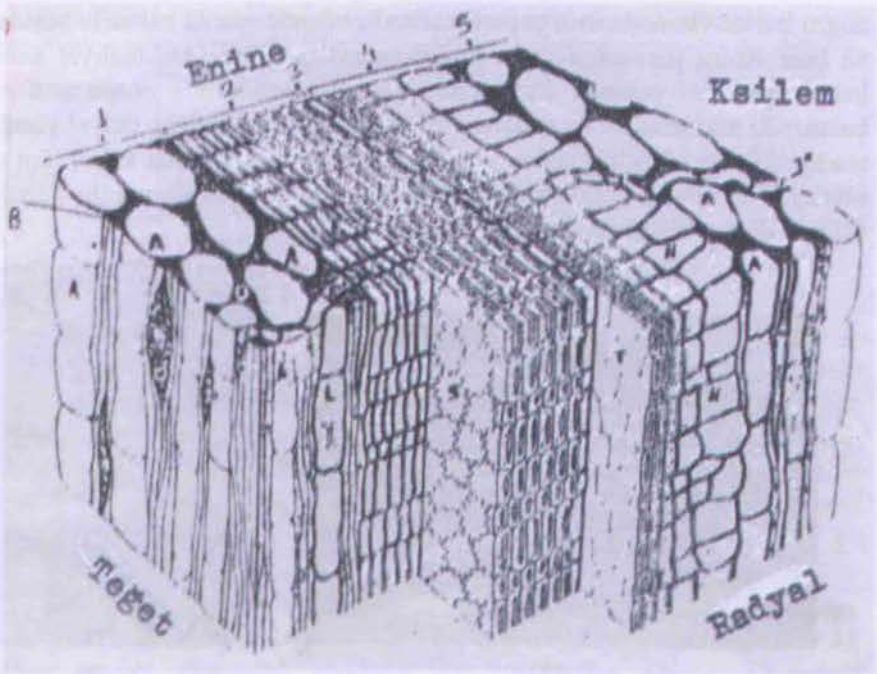


Şekil 6.1: Periderm tabakaları.

Peridermdeki hücreler iç kabuktaki hücrelere benzemezler (Şekil 6.2). Peridermin en dış tabakası olan felleme, mantar tabakası adı da verilmektedir. Fellemdeki hücreler şekil bakımından yeknesaktır. Kısa, kare ya da altı köşeli olabilirler. Fellem tabakası hücreleri (mantar hücreleri) iki tiptir. Birinci tipte hücrelerin çeperleri ince, içleri boş, boyları radyal yönde uzamıştır. İkinci tipte ise hücrelerin genellikle teğet çeperleri kalınlaşmış, lümenleri de koyu renkli reçine ya da tanenle dolmuştur. İnce çeperli hücrelerde çeperlere fazla miktarda suberin (mumlu maddeler) yerleşir. Kalın çeperli hücrelerin çeperinde ligninleşme görülmekte, fakat suberin maddesi çok az bulunmaktadır. Her iki hücre tipi aynı ağacın kabuğunda yer alabildiği gibi, fellem tek tip hücreden de meydana gelebilmektedir. Kalın ve ince çeperli fellem hücrelerinin diagonal düzende yerleşmesi ve ince çeperlerin kolay parçalanması nedeniyle bazı gövdelerde, örneğin kavaklarda, periderm incecik levhalar halinde ayrılmaktadır. Her iki tip fellem hücresi de gövdeyi rutubet kaybına karşı ve dışarıdan gelen ani etkilere karşı koruma özelliğine sahiptirler.

Peridermin ikinci tabakası olan fellogenin hücreleri basit ve tek tipte olup, başlangıçta sekonder floemin paranşim hücrelerinden oluşmuşlardır. Fellogen hücreleri şekil bakımından az değişim gösterirler. Enine kesitlerde dikdörtgen, teğet kesitlerde çokgen veya isodiametrik, radyal kesitlerde yassılaşmış olarak görülürler. Meristematik yapıdaki bu hücreler dışarı doğru fellem (mantar) tabakasını, içeri doğru fellodermi üretirler. Genel olarak fellogenin felleme doğru ürettiği hücreler, felloderme doğru ürettiği hücrelerden birkaç misli daha fazladır (Şekil 6.2).

Peridermin dıştan üçüncü tabakası olan fellodermde hücreler teğet kesitte kare ya da altı köşeli olup, radyal yönde yassılaşmışlardır. Bu hücreler ağaçta rutubet kaybına karşı ek bir koruma sağlarlar. Fellodermdeki diğer hücreler ise ince çeperli ve büyük enine kesitlidir. Bunlar sıcaklığa karşı koruma sağlamaktadır (Şekil 6.2).

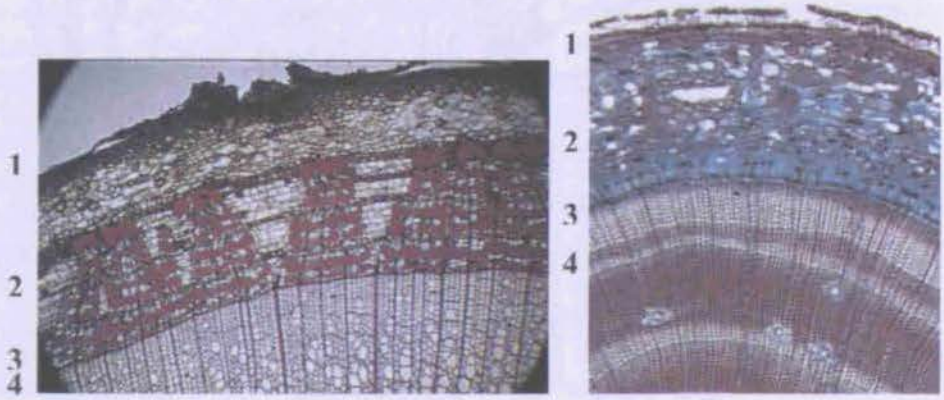


Şekil 6.2: Çam dış kabuğunun şematik görünüşü. **Enine kesit:** (1) Kalıntı floem, (A) Genişlemiş paranşimler, (B) Ezilmiş kalburlu hücreler, c-c' Tek sıralı öz ışını, (d) Öz ışını paranşimi, (2) Fellem, (E) İnce çeperli mantar hücresi, (F) Taş hücreleri, (3) Fellogen (mantar kambiyumu), (4) Felloderm, (G) Çeperleri kalınlaşmamış felloderm hücreleri, (H) İnce çeperli felloderm hücreleri, (5) Yeni oluşmuş floem tabakası, j-j' İç taraftaki öz ışını.
Radyal kesit: (K) Albüminli hücreler, (L) İçersinde sitiloid kristaller bulunan boyuna paranşim hücreleri, (M) Kalburlu hücrelerde kalbur alanları.
Enine kesit: (O) Tek sıralı öz ışınları, (P) İğimsi öz ışını, (q) Epitel hücreleri, (r) Enine reçine kanalları, (T) Düzensiz çok köşeli felloderm hücreleri, (TP) Kalın çeperli fellem hücreleri.

Ağaçların 1. yılında oluşan periderm, bazı ağaçlarda uzun yıllar görevine devam etmekte, nadir hallerde de ağacın bütün hayatı boyunca görev yapmaktadır. Uzun yıllar canlı kalan periderm, tipik olarak akçaağaç ve kayın gibi düzgün kabuklu ağaç türlerinde görülmektedir. Kaba oyuklu ve pullu kabuklu ağaçlarda peridermin görevi 1–2 yıl gibi kısa bir sürede son bulmakta, yerine bir yenisi üretilmektedir.

Daha önce belirtildiği gibi yeni peridermi oluşturan fellogen tabakaları, sekonder floemin paranşim hücrelerinden gelişmektedir. Bu durumda vaskular kambiyum tarafından üretilen yeni floem hücreleri, sekonder floemi dışarı

doğru iterler. Bu anda ince çeperli kalburlu hücreler ya da kalburlu borular ezilir ve bazı floem paranşimlerinin çapları genişler. Böyle bir faaliyet sonucunda kabuk hücreleri yeniden düzenlenir. Yeni bir peridermin oluşumu dış tarafta kalan eski periderm ile öz ışınlarının temasını keser. Böylece radyal yönde besin maddesi iletimi kesildiğinden, yeni peridermin dış kısmında kalan tüm dokular ölürler. Son oluşan peridermin dışındaki tüm floem dokularına dış kabuk ya da ritidom denmektedir (Şekil 6.3).



(A) (B)

Şekil 6.3: Ağaçlarda kabuk ve periderm oluşumu. (A) Ihlamur'da odunda son oluşan yıllık halka ve kabuk, (1) Ölü floem dokusunun dört tabakasından oluşan ölü kahverengi kabuk, (2) Geniş bir bant halindeki yaşayan iç kabuk (sekonder floem) ve burada öz ışınlarının alev şeklinde sıralanışı, (3) Kambiyum tabakası, (4) Ksilemde son yıllık halka. (B) Çam'da odunda son oluşan yıllık halka ve kabuk, (1) Ölü kahverengi kabuğun dıştan görünüşü, (2) İç kabuk (sekonder floem), (3) Kambiyum bölgesi, (4) Ksilem.

Dış kabuk bazı ağaç türlerinde titrek kavakta olduğu gibi oldukça ince 1–3 cm (2,5 cm) kadar, bazı türlerde kalın, sekoya ve Douglas göknarında olduğu gibi 30 cm ya da daha kalın olabilmektedir. Ancak kabuk kalınlığı hiçbir zaman kambiyumdan öze kadar uzanan odun tabakası kadar kalın olamaz. Çünkü: (1) Vaskular kambiyum floem hücrelerinden daha fazla ksilem hücresi üretir. Örneğin; iğne yapraklı ağaçlarda 3 kat, geniş yapraklı ağaçlarda 10 kat daha fazla ksilem hücresi üretilir (2) Dış kabuk oluşumu sırasında ince çeperli ve ligninleşmemiş kabuk hücreleri ezilir, (3) Dış kabuk zamanla dökülür.

6.2 Kabuğun Kimyasal Yapısı

Kabukta lignin oranı odundakinden çok daha yüksek, polisakkaritler ya da şekerlerin miktarı ise oldukça düşüktür (Tablo 6.3).

Tablo 6.3: Odun ve Kabukta Kimyasal Yapı (kül miktarları hariç yaklaşık değerler)

Kimyasal Bileşikler	İğne Yapraklı Ağaçlar		Geniş Yapraklı Ağaçlar	
	Odun (%)	Kabuk (%)	Odun (%)	Kabuk (%)
Lignin [1]	25–30	40–55	18–25	40–50
Polisakkaritler [2]	66–72	30–48	74–80	32–45
Ekstraktif maddeler	2–9	2–25	2–5	5–10

(1) Kabuk ve odundaki ligninin kimyasal yapısı farklıdır.
(2) Polisakkarit yüzdesi, ekstraktif maddeler çıkarıldıktan sonraki odun miktarına göre hesaplanmıştır.

Bilindiği gibi odunda selüloz oranı % 40–45, kabukta ise, % 20–35 kadardır. Bu nedenle kabuktan elde edilen kâğıt hamuru oranı düşüktür. Ayrıca kabukta kül oranı, odundakinden genellikle daha yüksektir. Örneğin; odunda kül miktarı % 0,5'den az olduğu halde, iğne yapraklı ağaçların kabuğunda % 2, geniş yapraklı ağaçların kabuğunda ise % 5 kadardır. Bazen bu miktar % 20'ye kadar çıkmaktadır. Kabuk yakıt olarak değerlendirildiğinde kül oranı önem kazanmaktadır.

Kabukta ekstraktif maddelerin oranı da odundakinden daha yüksek olup, odunda % 2–9, kabukta % 10–25 değerleri arasında değişmektedir. Kabuk ekstraktifleri çeşitli nişastalar, reçineler ve mumlardan oluşur. Ekstraktif maddelerin büyük bir kısmı, yaklaşık 1/4'ünden 1/2'ye kadar olan kısmı tanen asididir. Tanen asidi derilerin tabaklanmasında, mürekkep ve boyaların yapımında katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

Birçok ağacın kabuğunun suda çözünen ekstraktiflerinde pH 3,5–6,0 değerleri arasında, yani orta ile yüksek derecede asidiktir. Aynı ağaç türünün odunundan ve kabuğundan elde edilen ekstraktif maddelerin pH'ları karşılaştırıldığında kabuktan elde edilen ekstraktiflerin asiditesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kabuk ekstraktiflerinin asiditesinin yüksek olması kabuğun çeşitli yerlerde kullanımında bir problem olarak ortaya çıkabilir. Örneğin; yonga levha yapımında kullanılan materyal içerisinde yüksek derecede asidik kabuk bulunması halinde reçine formüllerinde değişiklik yapılması gerekir. Toprağı örtmek ya da toprak ıslahı amacıyla kullanılan kabukta ise yüksek asit özelliğinden çok, düşük azot miktarı veya kabuğu tahrip eden mantarlar tarafından azotun tüketilmesi bitki gelişmesini azaltıcı etki yapmaktadır. Ancak, bu olumsuzluk azot ilâvesi ile düzeltilebilmektedir.

6.3 Kabuğun Rutubet Miktarı

Kabukta rutubet % 100'ü aşan miktarlarda olabilir. İç ve dış kabuk arasında da rutubet miktarı farkı büyüktür. Bazı türlerde iki tabaka arasında hızlı rutubet değişmeleri görülmektedir. Örneğin; rutubet miktarı Douglas göknarında iç kabukta % 133, dış kabukta % 80,3, kızılağaçta iç kabukta %87,8, dış kabukta % 66, kavakta iç kabukta % 121, dış kabukta % 93,4'dür. Ayrıca, tüm kabuktaki rutubet miktarı, iç ve dış kabuk oranına bağlı olarak değişir. Kabuk yakacak olarak kullanıldığında rutubet miktarı son derece fazla önem kazanmaktadır.

6.4 Gövdede Kabuk Hacmi

Son yıllarda kabuğun ekonomik değeri arttıkça, kabuk hacminin hesaplanması da önem kazanmaktadır. Sülfat metodu ile elde edilen (kraft) odun hamurunun belli bir miktarına giren floem lif miktarının tahmininde, endüstriyel kazanlarda yakıt olarak kullanımında ya da başka amaçlar için tomruklarda kabuk hacminin ölçülmesi gerekebilir.

Kabuk hacmi ağaç türüne, gövde çapına ve kabuk kalınlığına bağlı olarak değişir. Kabuk kalınlığı ile gövde çapı arasında doğrusal bir eşitlik bulunmaktadır. Örneğin; 30 cm kabuklu gövde çapı olan bir kırmızı meşede çift kabuk kalınlığı aşağıdaki eşitlik ve Tablo 6.4 yardımı ile hesaplanmaktadır.

ÇKK = 0.475 + KOÇ (0.065)

ÇKK = 0.475 + 30 (0.065) = 2.43 cm

Burada ÇKK çift kabuk kalınlığını, KOÇ ise kabuklu orta çapı ifade etmektedir.

Tablo 6.4: Kabuklu Çapa Göre Çift Kabuk Kalınlığının Hesaplanmasında Kullanılan Regresyon Değerleri

Ağaç Türü	Sabite	Regresyon Katsayısı
Çam	0,528	0,103
Göknar	0,130	0,058
Lâdin	0,378	0,044
Dişbudak	0,967	0,048
Huş	0,368	0,034
Ihlamur	0,122	0,052
Karakavak	0,163	0,081
Kayın	0,000	0,020
Kırmızı meşe	0,475	0,065
Kızılağaç	0,396	0,044
Titrek kavak	0,262	0,065

6.5 Kabuğun Özgül Ağırlığı

Bazı ağaç türlerinde kabuğun özgül ağırlığı odundan önemli derecede daha yüksek, bazı türlerde ise daha hafiftir (Tablo 6.5). Dış kabukla iç kabuk arasında da özgül ağırlıkta farklılıklar görülmektedir. Ağaç türlerine göre dış kabuk bazen daha ağır ya da hafif olabilmektedir. Dış kabuğun daha ağır olması ölü kabuğun basınç altında kalmış olmasına ve kalın çeperli fellem hücrelerinin bulunmasına bağlıdır. Suda çözünen ekstraktif maddelerin yıkanması, kabukta meydana gelen dökülmeler ve genişlemiş felloderm hücrelerinin artması dış kabuğun özgül ağırlığını değiştirmektedir.

Tablo 6.5: Odun ve Kabukta Özgül Ağırlık

Ağaç Türü	Özgül Ağırlık (taze halde)			
	Odun	İç Kabuk	Dış Kabuk	Tüm Kabuk
Akçaağaç	0,94	1,10	0,78	0,86
Huş	0,78	0,91	0,86	0,89
Kızılağaç	0,59	0,83	1,00	0,89
Titrek kavak	0,60	0,64	0,88	0,80
Douglas göknarı	0,72	0,72	0,68	0,70
Göknar	0,58	0,51	0,67	0,61
Lâdin	0,59	0,72	0,80	0,75
Veymut çamı	0,56	0,50	0,86	0,78

6.6 Kabuğun Direnç Özellikleri

Odunla karşılaştırıldığında kabukta direnç değerleri genellikle düşüktür (Tablo 6.6). Ardıç gibi kabukları çok lifli ağaçlarda direnç daha yüksek, kabuğunda lif bulunmayan ya da lifleri kümeler halinde yığılmış olan ağaç türlerinde ise direnç daha düşük bulunmaktadır. Bu nedenle, yüksek direnç istenen yerlerde kabuk nadiren kullanılır. Örneğin; kabuk içeren gövde uç kısımları yapı maksatlarında hammadde olarak kullanıldığında kabuk oranına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Tablo 6.6: Bazı Ağaç Türlerinin Odunu ile Kabuğunda Liflere Paralel ve Liflere Dik Yönde Basınç Direnci Ortalama Değerleri (daN/cm^2)

Ağaç Türleri	// Basınç Direnci			⊥ Basınç Direnci		
	Ksilem	Floem	Ritidom	Ksilem	Floem	Ritidom
Akçaağaç	460	189	105	70	193	148
Ak meşeler	523	96	106	75	129	127
Ihlamur	333	141	84	26	100	108
Karaağaç	388	207	88	49	185	134
Kayın	513	77	72	71	108	168
Kırmızı meşe	474	86	135	71	115	210

Kabuğun malzeme direnci üzerinde ne kadar etkili olduğunu göstermek için % 100 kabuktan yapılmış ve üre formaldehit reçinesi kullanılarak preslenmiş 640 kg/m^3 yoğunluktaki yonga levhalarda çeşitli denemeler yapılmıştır. Tablo 6.7'de görüldüğü gibi eğilme direnci ve eğilmede elâstikiyet modülü değerleri tutkal miktarı ile değişmektedir. Çeşitli standartlarda odundan elde edilen levhalarda minimum eğilme direnci 112 daN/cm^2, minimum eğilmede elâstikiyet modülü 17580 daN/cm^2 olarak verilmektedir. Kabukta ancak % 5–6 gibi yüksek oranda sentetik tutkal kullanılması halinde minimum standartlara ulaşılması mümkün olmaktadır.

Tablo 6.7: Bazı Ağaç Türlerinin Odunu ile Kabuğunda Liflere Paralel ve Liflere Dik Yönde Basınç Direnci Ortalama Değerleri (daN/cm^2)

Ağaç Türleri	Reçine Miktarı		Reçine Miktarı	
	% 5 Eğilme Direnci	% 10 (daN/cm^2)	% 5 Eğilmede Modülü	% 10 Elâstikiyet (daN/cm^2)
Ak meşeler	73	72	6820	5485
Ceviz	140	183	15050	20395
Huş	60	28	3870	6190
Ihlamur	66	145	8280	13995
Karaağaç	50	89	5275	9915
Kayın	32	148	8230	21940
Kırmızı meşeler	168	168	15050	15400
Yalancı akasya	227	116	19830	9700

BÖLÜM 7

DAL VE KÖK ODUNU

1960'lı yıllardan sonra bir ağaçtan elde edilen tüm materyalin maksimum düzeyde kullanılması fikri önem kazandığından, dal ve kök odunu da giderek artan bir önem taşımakta ve anatomik yapıları daha dikkatle incelenmektedir. Günümüzde yapılan üretimlerde ağacın tümünün (ana gövde, dallar, sürgünler, yapraklar, kökler) değerlendirilmesi imkânları sağlanmaya çalışılarak hammaddede geleneksel üretim metotlarına göre % 60–100 oranında artış olabileceği belirlenmiştir.

7.1 Dal Odunu

Kullanış imkânları söz konusu olduğunda dallardan ve gövdeden elde edilen hammaddeler arasındaki en önemli farklılık dal odununun, gövde odunundan daha yüksek kabuk oranına sahip olmasında görülmektedir. Bu farklılık, özellikle 2,5 cm'den daha küçük çapta olan dallarda geçerlidir (Tablo 7.1).

Tablo 7.1: Göğüs Yüksekliğinde Çapı 20 cm Olan *Pinus strobus* ve *Acer rubrum*'un Çeşitli Kısımlarında Kabuk Oranları

Ağaç Kısımları	*Pinus strobus*	*Acer rubrum*
Gövde	18,7	13,3
Gövde üst kısmı	16,8	16,6
2,5 cm'den geniş dallar	21,1	20,7
2,5 cm'den ince dallar	71,6	71,2
Kütük	20,8	11,9
10 cm'den geniş kökler	17,5	10,5
2,5–10 cm kalınlıktaki kökler	18,5	19,9
2,5 cm'den ince kökler	54,4	50,7

Kabuk, odundan önemli derecede farklı yapısal özelliklere sahiptir ve üretim esnasında kabukta çamur, taş, çivi gibi yabancı maddeler daha fazla miktarda bulunmaktadır. Böyle durumlarda, kabuğu ve odunu ayrı ayrı işleyen

metotlar geliştirilmediğinden, üretim akışında duraklamalar olmakta ve üretim şekli değişmektedir.

Dal odunu ve gövde odunu arasındaki farklılıklar sadece kullanış yeri olarak değil, tanım bakımından da güçlükler çıkarmaktadır. Bu farklılıklar beş maddede toplanabilir.

(1) Gövde ve dal odununun yapısı anatomik bakımdan benzer olmakla beraber bazı hücreler dal odununda, gövde odunundan daha fazla sayıda bulunabilir. Örneğin; geniş yapraklı ağaçların dallarında trahe ve öz ışınları sayısı gövdedekinden daha fazla, liflerin sayısı daha azdır. İğne yapraklı ağaçların dallarında ise reçine kanalları çap bakımından daha küçük olup, sayıları daha fazladır. Bu ağaçlarda özellikle öz ışınları sayısının da daha yüksek miktarda olduğu tespit edilmiştir.

(2) Dallar gövdeden daha yavaş büyüdüğünden, iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçların her ikisinde de yıllık halka genişlikleri dallarda, gövde odunundan daha dardır. Ayrıca, dalların enine kesitleri eksantriktir. Yıllık halkalar iğne yapraklı ağaçlarda dalın alt tarafında, geniş yapraklı ağaçlarda ise üst tarafında daha geniştir. Kaide olarak eksantrik yapı reaksiyon odunu ile birlikte bulunmaktadır.

(3) Ağaçların dallarında boyuna yönde uzanan hücreler genellikle daha kısa ve daha küçük çaplıdır. Yapılan araştırmalara göre, geniş yapraklı ağaçların dal odunundaki lif boyları, gövde odunundakilerden % 25–35 daha kısadır. Benzer sonuçlar iğne yapraklı ağaçlarda da bulunmuştur. Ancak, dalların dip kısmından uca doğru gidildikçe boyuna traheidlerin uzunlukları önce artmakta, sonra tekrar azalmaktadır.

(4) Daha önce yapılan araştırmalarda dal odununun, gövde odunundan genellikle iğne yapraklı ağaçlarda % 6, geniş yapraklı ağaçlarda % 25 kadar daha ağır olduğu tespit edilmiştir. Ancak, son yıllarda yapılan çalışmalarda bu hususun ağaç türlerine bağlı olarak değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

(5) Dal odunundan yapılan malzeme, gövde odunundan yapılan malzemeden farklı özelliklere sahiptir. Örneğin; Douglas göknarının dal odunundan yapılan yonga levhalarda eğilme direnci ve eğilmede elâstikiyet modülünün daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Selüloz üretiminde mekanik ve yarı kimyasal metot kullanıldığında dal odunu ile gövde odunu arasında büyük farklılıklar olmamasına karşın, kraft selülozu eldesinde dal odununda daha az dövme süresi söz konusu olduğu halde, elde edilen selülozun direnç değerleri

daha düşük olmaktadır. Örneğin; batı tsugasının (*Tsuga heterophylla*) dallarından yapılan kraft selülozunda yırtılma direnci % 20–25, patlama ve çekme direnci % 40–45 daha düşük bulunmuştur. Kâğıt hamuru üretiminde dal odunu kullanıldığında görülen bu düşük direnç sorunu (a) fazla miktarda kabuk oranından ve (b) yonga büyüklüklerinin yeknesak olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle dal odunu daha az talep edilmektedir.

(a) Yüksek kabuk oranı selüloz üretiminde randımanı önemli derecede düşürmekte, kabuğu soyulmuş iğne yapraklı ağaçların dal odununda ise randıman normal oduna göre fazla miktarda değişmemektedir. Sadece basınç odununda yüksek lignin oranı nedeniyle randıman düşüklüğü ve direnç azalması görülmektedir.

(b) Dal odunundan yapılan selüloz üretimde randıman düşüklüğü uygun olmayan yonga boyutlarından kaynaklanmaktadır. Örneğin; gövde odunundan elde olunan yongaların % 22'si kullanılamazken, dallardan elde edilen yongaların % 50'si değerlendirilememektedir. Bunun nedeni yeknesak olmayan yonga büyüklüğüdür.

(6) Dal odunu lif levha üretimi için uygun bir hammaddedir. Örneğin; A.B.D.'de normal odunla karıştırılmış dal odunları lif levha yapımında kullanılmaktadır.

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı gibi dal odunu, gövde odunundan daha az arzu edilse de hammadde olarak kabul edilebilir bir materyaldir. Yeni geliştirilen metotlar yardımıyla gövde uç kısımlarının ve dalların kullanımı önem kazanmaktadır. Geleneksel şekilde selüloz üretiminde kullanılan yongalara dalların karıştırılmasında giderek artış görülmektedir. Ayrıca, son zamanlarda çok küçük dalların ve yaprakların kimyasal ekstraksiyon işlemlerinde ve yem olarak, orta boyutlu dalların yakıt olarak ve kimyasal ekstraksiyonlarda, kalın çaplı dalların ise selüloz üretiminde kullanılması imkânları geliştirilmiştir.

Dalların gövde içersine gömülmüş kısmı olan budaklar da gövde odunundan farklılıklar göstermektedir. Yapılan araştırmalara göre;

- Budakların özgül ağırlıkları, dal odunundan daha yüksektir. Çam ve lâdinde reçine miktarlarında da artış vardır.
- İğne yapraklı ağaçlarda budakların ve dalların alt kısmındaki özgül ağırlık, üst kısmındakinden daha yüksektir.
- Budakların ve dalların üst kısmı, alt kısımlarından daha fazla rutubet içermektedir.

7.2 Kök Odunu

Günümüzde kök odunu kullanımında giderek bir artış olmakla beraber, köklerin kirli ve temizlenmesinin güç olması çalışmalarda problem çıkarmaktadır. Örneğin; selüloz üretiminde makinelerin tıkanmasına ve aşırı derecede eskimesine neden olmakta, bıçaklar ve testereleri körleştirmektedir. Ayrıca, küçük çaplı köklerde kabuk oranının yüksek olması da ayrı bir sorun yaratmaktadır. Anatomik yapı bakımından kök odunu, dal ve gövde odunundan farklıdır. Genel olarak kök odununun hücre yapısındaki değişmeler, köklerin ışık ve havaya maruz kalması ile etkilenir. Böyle köklerde odun yapısı, gövde odununa benzerlik göstermektedir.

(1) Kök odunu, gövde odunundan genellikle daha hafiftir. Geniş yapraklı ağaçlarda bazen % 20 daha hafif olmasına karşın, bazı iğne yapraklı ağaçlarda daha ağır olabileceği belirtilmektedir.

(2) Köklerin enine kesitleri genellikle deforme olur, elipsoit, I kirişi ve T kirişi şekillerini alabilir. Köklerin deforme olmalarının nedeni ağacın ağırlığı, kar yükü, rüzgâr etkisi ve toprak özelliklerine bağlanmaktadır. En büyük deformasyona iğne yapraklı ağaçların yan köklerinde ve kaya içersine girmiş kazık köklerinde rastlanmaktadır. Kumlu topraklarda yetişmiş ağaç türlerinde ise kökler az çok daireseldir.

(3) Köklerde öz yoktur ya da çok küçüktür. Yıllık halkalar belirgin olmayıp, gövdedekinden daha dardır ve yalancı yıllık halka oluşturabilirler. Bataklık topraklarda yetişen ağaçlarda geniş yıllık halkalar görülebilir. Ayrıca, ince köklerde kabuk oranı gövdeden daha yüksektir (Tablo 7.1).

7.2.1 İğne Yapraklı Ağaçlarda Kök Odunu

İğne yapraklı ağaç odunlarında görülen ilkbahar odunu ve yaz odunu hücreleri arasındaki çeper kalınlıklarındaki farklılık, köklerde gövdeden uzaklaştıkça azalmaktadır. Hücre çapları son derece büyüktür. Hücre boyları ise çok değişkendir. Bazı araştırmacılar kök odunu hücrelerinin, gövde odunu hücreleri kadar ya da onlardan daha uzun olduğunu belirttiği halde, bazıları daha kısa olduğunu kabul etmektedir. Örneğin; güney çamlarının kütük ve kök odunları üzerinde yapılan bir çalışmada; kökteki traheidlerin çaplarının 1/3 oranında daha büyük, boylarının yine 1/3 oranında daha uzun ve çeperlerinin önemli derecede daha ince olduğu tespit edilmiştir. Güney çamları üzerinde yapılan bir başka araştırmada ise kök odunu traheidlerinin gövde odunundan %10 daha kısa olduğu bulunmuştur.

İğne yapraklı ağaçların köklerindeki traheidlerin teğet çeperleri üzerinde de kenarlı geçitleri görmek mümkündür. Reçine kanalları gövdedekilerle aynı büyüklükte olmakla beraber sayıları daha azdır ve bunlar gövdedeki kanallarla bağlantılıdır. Öz ışını oranı gövdedekinden daha düşüktür (Şekil 7.1/B). Bu ağaçların köklerinde normal şartlarda dahi basınç odunu oluşmaktadır.

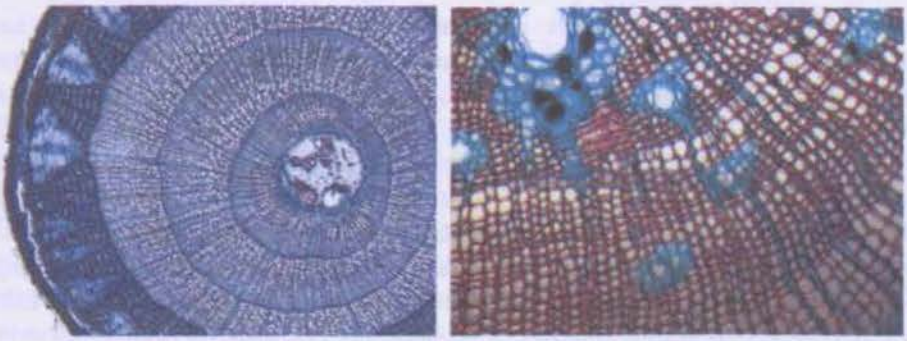
İğne yapraklı ağaçların kök ve kütük kısmından elde edilen kraft selülozunda direnç değerleri, gövdeden elde edilen kraft selülozunun direncinden daha düşüktür. Örneğin; güney çamlarından kraft selülozu eldesinde Kök odunundan elde edilen kâğıtlarda yırtılma direnci % 3–20, patlama direnci % 10–17, çekme direnci % 15, katlanma direnci ise % 18 oranında daha düşük bulunmuştur. Ayrıca, düşük yoğunluk ve düşük selüloz oranı nedeniyle kraft selülozu eldesinde randıman daha düşük olmaktadır. Ayrıca, yüksek mikrofibril açıları, selülozun özelliklerini de düşürmektedir. Kök ve kütük odunundan % 54,1 oranında kraft selülozu elde edildiği halde, gövde odunundan % 56,8 oranında kraft selülozu elde edildiği bildirilmektedir.

7.2.2 Geniş Yapraklı Ağaçlarda Kök Odunu

Geniş yapraklı ağaçlarda kök odunu ile gövde odunu trahe düzeni bakımından karşılaştırıldığında, özellikle halkalı traheli yapının kökte muhafaza edilmediği, ya dağınık traheli yapıya dönüştüğü ya da ilkbahar odunu trahelerinin büyüklük ve dizilişlerinin gövdedeki kadar belirgin olmadığı görülmektedir. Gövdeden uzaklaştıkça yaz odunu kaybolmaktadır. Dağınık traheli ağaç türlerinin kök odunu ise gövde odununa göre daha gevşek bir odun yapısına sahiptir. Geniş yapraklı ağaçların kök odununda öz odun bulunmakta ve yoğunluk gövdedekinden yaklaşık % 20 daha hafif olmakla beraber, bazen daha ağır olabilmektedir.

Hücrelerin kök, gövde ve dal odunu dokusuna katılım oranları bakımından da farklılıklar görülmektedir. Kökte öz ışınlarının sayısı, gövde ve dal odunundan daha fazla olabilir. Genellikle lifler daha az, boyuna paranşimler ise daha fazladır. Örneğin; *Robinia pseudoacacia*'da kök odununda % 60 paranşim hücresi, % 27 trahe bulunduğu tespit edilmiştir. Kök odunundaki trahelerde tül oluşumu görülmeyebilir. Gövde odununda bileşik öz ışınına rastlanmayan meşe ve huş gibi ağaçların kök odununda bileşik öz ışınları bulunmaktadır. Ayrıca, kök odununda trahelerin perforasyon tablaları, hücre şekilleri ve öz ışınlarının büyüklüğü ile homojen ya da heterojen oluşlarında da farklılıklar görülmektedir (Şekil 7.1/A).

Geniş yapraklı ağaçların kökleri sadece havaya ya da ışığa maruz kaldıklarında çekme odunu oluşmakta, normal şartlarda çekme odunu fazla görülmemektedir. Ancak, kavak köklerinde normal şartlarda çekme odununa rastlanmıştır. Kavak çekme odununda lifler jelatinli ya da normal yapıda ve daha az ligninleşmiş olabilmektedir.



(A) (B)

Şekil 7.1: İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç kökünde enine kesit. (A) Ihlamur, (B) Çam.

Kimyasal yapı bakımından geniş yapraklı ağaçların kök odununda selüloz miktarı gövdedekinden daha düşük, lignin ve ekstraktif madde oranları daha yüksektir. Benzer sonuçlar Kuzey Amerika'da yetişen ağaç türleri ile yapılan çalışmalarda da tespit edilmiştir. Bu ağaçlarda yapılan denemelerin sonuçlarına göre; kök odunundan elde edilen kraft selülozu randımanı, gövde odunundan daha düşüktür. Nedeni, dal odununda olduğu üzere yonga boyutlarının yeknesak olmayışına bağlanmaktadır. Örneğin; akçaağaç kök odunundan elde edilen kâğıtlarda, gövde odunundan elde edilenlere göre çekme, patlama ve yırtılma dirençleri önemli derecede düşüktür. Bununla beraber, huş kök odunu selüloz özelliklerinin, gövde odunundan elde edilen odun hamuru özelliklerinden büyük farklılıklar göstermediği görülmüştür.

Kök odunu uzun yıllardan beri yakacak odun ve kimyasal madde ekstraksiyonunda kullanılmaktadır. Son yıllarda kök odunu yapı maksatlarında kullanılan yonga levha üretiminde değerlendirilmekte ve düşük yoğunlukta yonga levhalar elde edilmektedir.

BÖLÜM 8

AĞAÇ YAŞI İLE ODUNUN YAPISINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMELER

Aynı ağaç türlerinden, hatta aynı ağacın çeşitli yerlerinden alınan odun örnekleri karşılaştırıldığında, anatomik yapıları bakımından farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Bu farklılıklar hücrelerin büyüklüklerinde, çeper kalınlıklarında, selüloz–lignin oranlarında, yıllık halka genişliklerinde ve yoğunluklarında ortaya çıkmaktadır. Herhangi bir kullanış yeri için odunun belirli özelliklerini bilmek gerektiğinden; yukarıda sayılan farklılıkların ağaç malzemenin yapısında oluşturduğu değişkenlik derecesi de bilinmelidir. Çünkü odunun belli bir maksat için uygunluğu ya da kalitesini belirleyen özellikleri vardır. Örneğin; kâğıt kalitesi üzerinde hücre tipleri, boyutları, çeper yapısı ve selüloz–lignin oranları etkili olmaktadır. Eğer odunun anatomik yapısı, kimyasal yapısı ve bunlara bağlı olarak fiziksel özelliklerini etkileyen faktörlerden biri ya da birkaçında değişkenlik görülürse, ağaç malzeme bu kullanım yerinin aradığı kriterlere uygun olmayacaktır.

Odun yapısındaki değişiklikleri meydana getiren etkenler üç grupta toplanabilir.

(a) Kambiyumun yaşındaki değişmeler,
(b) Ağacın şekli ve büyüklüğü üzerinde etkili olan genetik özellikler,
(c) Mevsim ve coğrafik şartlar gibi çevre faktörleri ile beslenme durumu.

Bu faktörlerin birbiri ile girişimi nedeniyle, ağaç büyümesini etkileyen tek faktör mü vardır ya da faktörler kombinasyonundan hangisi en etkilidir, bunu tahmin etmek güçtür. Bu bölümde tek bir ağaç içinde ve aynı türün çeşitli ağaçlarında görülen farklılıklar ele alınarak açıklanmıştır.

8.1 Tek Ağaçta Meydana Gelen Değişmeler

8.1.1 Gövdede Enine Yönde Değişmeler

Bir ağaçtan alınan enine kesitlerde özden çevreye doğru ilerledikçe; (1) yıllık halka yapısında ve yıllık halkalar az çok belli bir genişliğe ulaşıncaya kadar hücre morfolojisinde, (2) genç odun, ergin odun ve öz odun oluşumuyla ultramikroskopik yapıda, (3) selüloz–lignin miktarlarında ve (4) fiziksel–mekanik özelliklerde görülen değişiklikler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Yıllık Halka Yapısında Değişmeler

İğne yapraklı ağaçlarda öze yakın olan yıllık halkalardaki yaz odunu tabakası, normal yıllık halkalardakinden daha az belirgindir. Örneğin; iki ibreli çamlar (sarıçam, karaçam v.b.), melez ve Douglas göknarının normal yıllık halkalarında ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş hızlı olduğu halde, öze yakın olan ilk yıllarda oluşmuş yıllık halkalarda geçiş yavaş olup, daha az belirgindir ve yaz odunu yoğunluğu düşüktür.

Geniş yapraklı ağaçlardan halkalı traheli türlerde ilk yıllık halkalarda trahe düzeni halkalı değil, dağınık diziliştedir. Ayrıca çok yaşlı ağaçlarda dıştaki yıllık halkalar çok dar olup, yaz odunu tabakası da çok incedir.

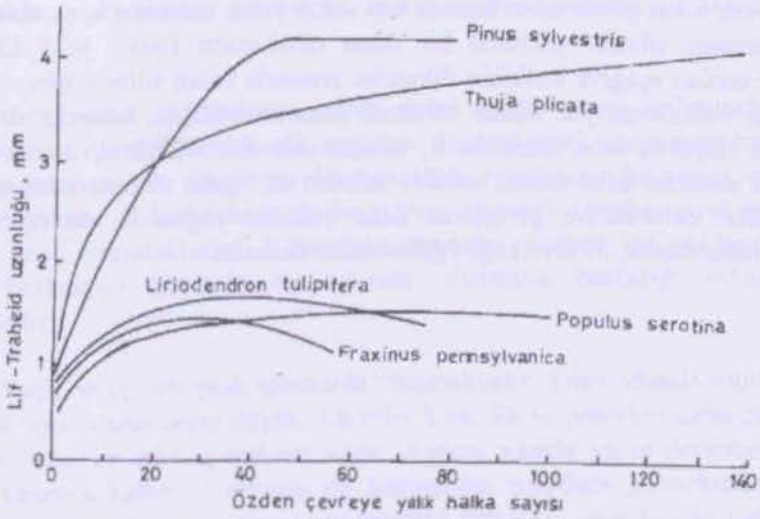
Hücre Morfolojisinde Değişmeler

Ağaçlarda hücre uzunluklarının, çaplarının, çeper kalınlıklarının bir yıllık halka içerisinde ve özden çevreye doğru devam eden yıllık halkalar içerisinde ne şekilde değişme gösterdiğini tespit etmek üzere çok sayıda araştırma yapılmıştır.

Bir yıllık halka içerisinde iğne yapraklı ağaçlarda traheidler ve geniş yapraklı ağaçlarda lifler ilkbahar odununda en kısa, yaz odununda en uzundur. Yıllık halkaların sonunda bu hücrelerin uzunluğu yine azalmaya başlar. Ilıman iklimlerde yetişen iğne yapraklı ağaçlarda ilkbahar odunundan yaz odununa geçişte traheid boylarındaki artış % 10–15, tropik iğne yapraklılarda ise % 5 kadardır. İlkbahar odunundan yaz odununa geçişin yavaş (tedrici) olduğu ağaçlarda, örneğin *Pinus radiata*'da traheid boylarındaki artış grafiği testere dişine benzemekte ve artış daha yavaş gerçekleşmektedir.

Geniş yapraklı ağaçlarda bir yıllık halka içerisinde lif uzunluğu değişimi halkalı trahelilerde, dağınık trahelilere göre daha dik bir seyir göstermektedir. Ancak, geniş yapraklı ağaçlarda genel olarak bir yıllık halka içerisinde yaz odununa doğru lif boyu değişimi, iğne yapraklı ağaçlardan çok daha büyüktür. Örneğin kısa lifli yapraklı ağaçlarda lif boyu artışı % 100, uzun lifli yapraklı ağaçlarda % 30 kadardır.

Ağaçların herhangi bir yüksekliğinden alınan enine kesitlerde ilk yıllık halkada traheidlerin ya da liflerin boyu çok kısadır. Bu kısımlarda iğne yapraklı ağaçlarda traheidler 0,5–1,5 mm, geniş yapraklı ağaçlarda lifler ise 0,1–1,0 mm uzunlukta olmaktadır. İkinci yıllık halka ile onu takip eden birkaç yıllık halkada hücre boyları hızla artmaktadır. Daha sonra artış hızı yavaşlamakta ve maksimum hücre boyuna ulaşıncaya kadar artış devam etmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda maksimum artış, ilk uzunluğun yaklaşık 3–5 katı kadardır. Geniş yapraklı ağaçlarda ise artış fazla olmamakta, bazı türlerde iki katına kadar çıkmaktadır. Hücre boylarının maksimuma eriştiği belli bir yaş yoktur. Maksimum boya ulaşılan yıl, ağaç türlerine ve artım hızına göre değişmektedir. Örneğin; maksimum traheid uzunluğuna 6–7 yılda erişilebildiği gibi, 200–300 yaşında dahi erişilmeyebilir. En uzun hücre boyuna ulaşıldıktan sonra ileri yaşlara kadar az çok artma ve azalmalar devam etmekte (Şekil 8.1), çok yaşlı ağaçlarda hücre boylarında yine azalma görülebilmektedir.



Şekil 8.1: Çeşitli ağaçlarda özden çevreye doğru lif ve traheid boyu değişimi.

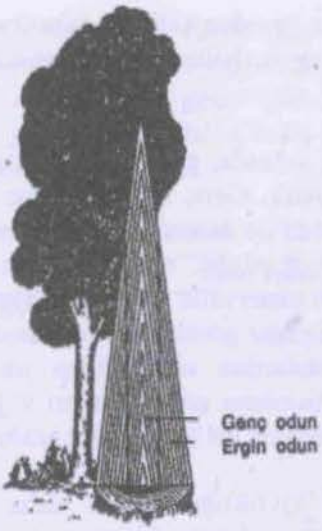
Enine kesitlerde özden çevreye doğru gidildikçe, yani yaş ilerledikçe, traheid ve lif çaplarında bazen değişiklik görülmekte, bazen de görülmemektedir. İlkbahar ve yaz odunu traheidlerinin radyal ve teğet çapları arasındaki farklılıklar gibi, radyal ve teğet çeper kalınlıklarında da farklılıklar olmaktadır. İlkbahar odunu traheidlerinde çeper kalınlığı yaş ile yavaş yavaş artarken, yaz odunu traheidlerinde bu artış çok daha hızlı olup % 15–70 arasında değişmektedir. Ayrıca, çok yaşlı ağaçların dış yıllık halkalarındaki hücreler, normal yıllık halkadaki hücrelere göre daha ince çeperlidir.

Diğer hücre tiplerinden trahelerin boylarındaki değişim *Fraxinus excelsior*'da incelenmiş ve ilkbahar odunu trahelerinde liflere benzer bir değişim görülmüş, yaz odunu trahelerinde ise boyların sabit kaldığı tespit edilmiştir.

Genç Odun, Ergin Odun

Ağaçlarda gençlik, erginlik ve yaşlılık periyotları olmak üzere üç hayat safhası vardır. Bu safhalarda oluşan odun da genç odun, ergin odun ve yaşlı odun olarak bilinmektedir. Bu üç safhayı yıllar itibariyle belirlemek güç olmakla beraber, genel bir ifadeyle ağacın ilk 5–25 yıllarına kadar genç odun, 200 yaşına kadar ergin odun, 200 yaşından sonra yaşlı odun üretilmektedir.

Genç odun gövdenin ortasında öze yakın yıllık halkaları içine alan ve taça kadar uzanan silindir şeklinde bir odun tabakasıdır (Şekil 8.2). Diğer bir ifadeyle taçdan aşağıya indirilen dikmeler arasında kalan silindir genç odundur. Bu yıllık halkalarda yaz odunu tabakası daha az belirgin, hücreler daha kısa, çeperleri nispeten ince, özellikle S_2 tabakasında mikrofibril açısı daha büyük, kristallik derecesi daha düşük, selüloz miktarı az, lignin ve hemiselüloz miktarı daha fazla, daralma ve genişleme daha yüksek, yoğunluk, direnç ve odun kalitesi daha düşük, lif kıvrıklığı eğilimi daha fazladır.



Şekil 8.2: Ağaç gövdesinde genç odun ve ergin odun.

Gençlik çağı süresince odun yapısında hızlı bir değişme meydana gelerek ergin odun safhasına geçilmektedir. Ancak, genç odunun nerede bittiği, ergin odunun nerede başladığı tam olarak bilinemez. Bu nedenle genç odunun ilk 5–25 yaşlarına kadar meydana geldiği ve bu sürenin ağaç türlerine göre değiştiği belirtilmektedir. Bazı araştırmacılar ise genç odun oluşum periyodunun gübreleme, sulama ya da silvikültürel önlemlerle uzatılabildiğini tespit etmiştir.

Genç odun safhasından sonra gelen ergin odun safhasında odunun anatomik ve ultra mikroskopik yapıları ile kimyasal kompozisyonu normal duruma geçmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda ergin odun hücreleri, genç odun hücrelerinden 3–4 kat daha uzundur. Geniş yapraklı ağaçlarda ise ergin odun lifleri, genç odundakinden 2 kat daha uzundur. Kabaca bir yaklaşımla ergin odun başlangıcı gövdede öz odunun oluşmaya başladığı yıllara isabet etmektedir.

Yaşlı odun, çok yaşlı ağaçlarda oluşmaktadır. Yaşlı odunda yıllık halkalar çok dar, yaz odunu oranı düşük, hücreler kısa, hücre çeperleri daha ince, lignin miktarı fazla ve selüloz miktarı azdır. Ayrıca, ağaçta yaşın ilerlemesi ile öze yakın kısımda kalan öz odunda da değişmeler meydana gelmektedir. Bunlar, ekstraktif maddelerin kimyasal yapısındaki farklılık, ince basınç çatlaklarının oluşması ya da mantar saldırısına uğrama gibi özden çevreye doğru ilerleyen

değişmelerdir. Yeni oluşan öz odun kalitesi, daha önce oluşan öz odundan daha yüksektir. Yani, ağacın yaşı ilerledikçe öze yakın kısımdaki öz odun kalitesini kaybetmektedir.

Odun kalitesi genç odunda, gövde enine kesitinin dış kısmında oluşan ergin odundan daha düşüktür. Genç odunda hücre çeperleri ince olduğundan yoğunluk ve direnç değerleri de daha düşük olmaktadır. Örneğin; iğne yapraklı ağaçlarda genç odunun yoğunluğu, ergin odundan % 10–15 daha düşüktür. Genç odundan elde edilen materyalin direnç değerlerinde % 15–30 hatta bazen % 50'ye kadar varan azalmalar görülmektedir. Plantasyonla yetiştirilen çamlar ile ormanda yetişen çamlardan elde edilen materyal karşılaştırıldığında, plantasyonda yetiştirilen çamların genç odunları yoğunluğunda yaklaşık % 50, eğilmede elâstikiyet modülünde ise % 26 kadar azalma söz konusu olmaktadır.

Genç odunda lif kıvrıklığı eğilimi daha fazladır. S_2 tabakasında mikrofibril açısının büyük olması boyuna yönde daralmayı son derece arttırmakta ve enine yönde daralma nispeten azalmakta, büyük mikrofibril açıları düşük çekme gerilmelerine neden olmaktadır. Bütün bu faktörler, yani direnç azalması, spiral lifliliğin görülmesi ve boyuna daralmanın fazla oluşu, dikkate alındığında genç odun genellikle pek çok masif ağaç kullanım yerinde arzu edilmemektedir. Genç odun ve ergin odunun özellikleri karşılaştırmalı olarak Tablo 8.1'de verilmiştir.

Geçmişte genç odun kâğıt yapımında hammadde olarak kullanıldığında kaliteyi düşürücü etki yaptığı kabul ediliyordu. Günümüzde selüloz ve kâğıt üretiminde genç odun kullanılması, eski yıllara göre daha az olumsuz sayılmaktadır. Bilindiği gibi kimyasal yolla selüloz elde etme metotları liflerden lignini ayırma esasına dayandığından, genç odunda yüksek oranda lignin bulunması selüloz randımanını azaltmaktadır. Ayrıca, genç odundan elde edilen odun hamuru düşük dirence sahiptir. Ancak, son araştırmaların sonuçları incelendiğinde değişik görüşler ortaya çıktığı görülmektedir. Örneğin; genç odundan elde edilen kâğıdın yırtılma direnci düşük olmakla beraber, patlama ve katlanma dirençlerinin yüksek olduğu belirtilmektedir. Bazı araştırmacılar ise, genç odundan elde edilen kâğıtlarda çekme direncinin daha yüksek olduğunu bildirmektedir.

Bununla beraber ergin odun için gerekli olan şartlarda pişirilmiş, yani fazla pişirilmiş genç odun gerek randıman, gerekse direnç bakımından yetersizdir. Genç odun tek başına ve kontrol altında pişirildiğinde direnç

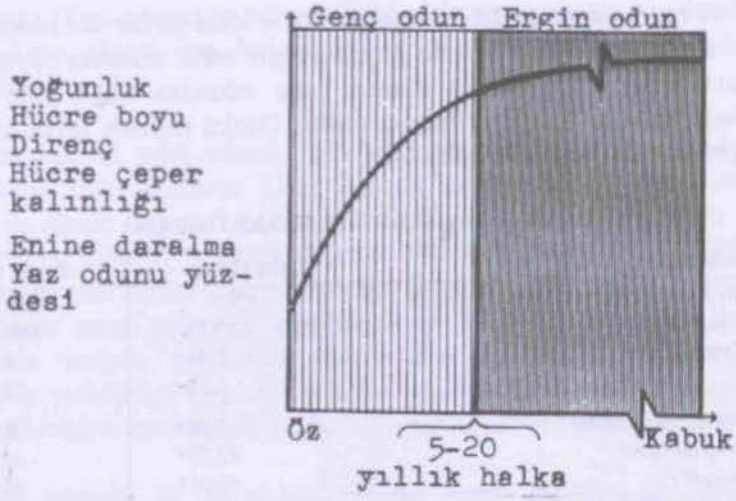
değerleri ve randımanı artırılabilmektedir. Böyle ideal şartlar söz konusu olduğu takdirde odun hamuru elde etmede genç ve ergin odun arasında büyük bir fark bulunmamaktadır. Özel şartlar altında genç odundan kâğıt elde edilmesi işlemlerinde daha az enerjiye ihtiyaç vardır. Çünkü pişirme süresi daha kısa, dövme için gerekli enerji daha düşüktür.

Tablo 8.1: Genç Odun ve Ergin Odun Özellikleri

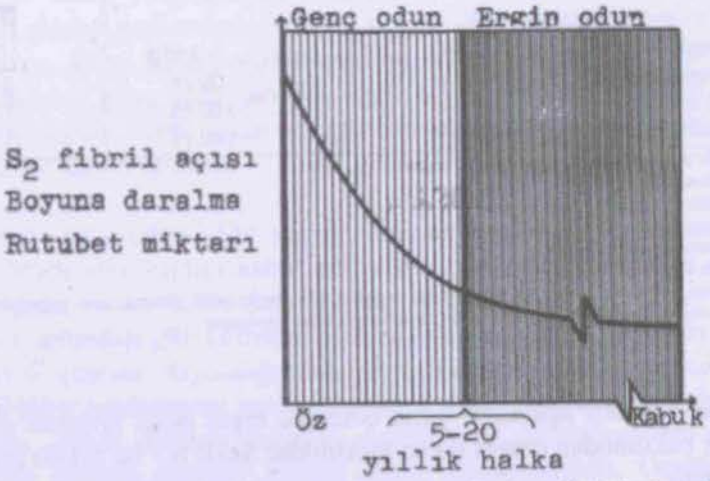
Odun Özellikleri	Genç Odun	Ergin Odun
Esas Özgül Ağırlık (Hacim ağırlık) (kg/m^3)	420*	480
Yoğunluk (kg/m^3)	427,2*	489,2
Lif boyu (mm)	2,98*	4,28
	1,28+	2,68
Hücre çeper kalınlığı (µm)	3,88*	8,04
Lümen genişliği (µm)	42,25*	32,78
Hücre çapı (µm)	50,01*	48,86
S_2 tabakası mikrofibril açısı (°)	55 ‡	20
	28 §	10
	37 ‖	7
Boyuna daralma (taze halden % 12'ye)	0,57 #	<0,10
Eğilme direnci endeksi	100 ††	113
Elâstikiyet endeksi	100 ††	116
Liflere paralel basınç direnci endeksi	100 ††	124

* *Pinus teada*'da genç odun 11, ergin odun 30 yaşında
† *Pinus caribaea* değerleri
‡ İğne yapraklı ağaçlarda ortalama değerler
§ Geniş yapraklı ağaçlarda ortalama değerler
‖ Douglas göknarı değerleri
\# *Pinus teada* değerleri
†† Plantasyonda yetiştirilmiş genç ağaçların direnç değerleri 100 olarak kabul edilerek, aynı yoğunlukta daha yaşlı ve ormanda yetişmiş ağaçların direnç değerleri arasında karşılaştırma yapılmıştır.

İğne yapraklı ağaçlarda genç odun ile ergin odun arasında çeşitli odun özellikleri bakımından ortaya çıkan farklılıklar Şekil 8.3 ve 8.4'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 8.3: İğne yapraklı ağaçlarda genç odundan ergin oduna dönüşümde artış gösteren özellikler.



Şekil 8.4: İğne yapraklı ağaçlarda genç odundan ergin oduna dönüşümde azalma gösteren özellikler.

Öz Odun Oluşumu

Ağaç yaşının artması ile özden çevreye doğru görülen değişmelerden biri de öz odun oluşumudur. Yaş ilerledikçe gövdenin iç kısmında kalan traheidlerde ya da trahelerde su iletimi sona ermekte ve öz odun oluşumu başlamaktadır. Öz odun oluşumu ile odunun yapısında makroskopik ve mikroskopik değişmeler

görülmektedir. Kaide olarak öz odun, diri oduna göre daha ağır ve daha kuru olup, daha az çalışır, mantarlara karşı daha dayanıklıdır. Bir ağacın gençlik safhasında ya da gövdenin üst kısımlarında genellikle öz odun bulunmaz. Fakat gövdenin üst kısmına yakın bölgesinde tipik olarak görülür. Öz odun oluşum yaşı, ağaç türlerine göre farklıdır. Örneğin; bazı çamlarda 15–20 yılda öz odun oluşmaktadır. Öz odun oluşumu çap artımından daha hızlı ilerleyebilmekte ve öz odun ile diri odun arasındaki sınır, yıllık halka sınırını her zaman takip etmemektedir.

Bilindiği gibi kambiyumda oluşan hücrelerden destek ve iletim görevini üstlenenler gelişmelerini tamamladıktan sonra protoplazma ve çekirdeklerini kaybederler. Ağaç türlerine göre diri odunda % 5 ile % 40 oranında bulunan ve depolama görevi yapan paranşim hücrelerinin ise protoplazmaları canlı kalır, diri odunda respirasyon ve asimilasyon gibi metabolik işlemlerine devam ederler.

Ağaç türlerine göre belli bir yaştan sonra öz odun oluşumu başladığında aşağıda özetlenen değişiklikler görülür.

(1) Öz yakınında metabolik ve enzimatik faaliyetler azalır.
(2) Yaşan hücreler ölmeye başlar ve sitoplazma kimyasal bakımdan değişikliğe uğrar.
(3) Sitoplazma içerisindeki nişastalar, şekerler ve azotlu maddelerde azalma olur.
(4) Hücre çekirdekleri yuvarlaklaşır, farklılaşır, daha sonra tamamen kaybolur ve paranşim hücreleri ölürler.
(5) Öz odun oluşumu başlar ve ağacın hayatı boyunca devam eder. Öz odun içerisinde kalan bütün hücreler canlılığını yitirir ve ölür.

Öz odunda paranşim hücrelerinin ölümüne neden olan faktörlerden biri lümen ve hücre çeperinde polifenolik maddelerin oluşumu, diğeri bu hücrelerde su miktarının azalmasıdır. Altı karbonlu benzen bileşiğinden oluşan ve organik aromatik bir madde olan polifenolik bileşiklerde her bir benzen halkasına en az bir hidroksil grubu doğrudan bağlıdır.

Öz odun oluşum nedeni hakkında çok sayıda araştırmalar ve yorumlar yapılmıştır. Bunlardan birinin sonuçlarına göre; kambiyum faaliyetiyle üretilen maddelerin konsantrasyonu ve bozunmasının toksik (zehirli) etkileri ile öz odun meydana gelmektedir. Yani, kambiyumda hücre üretimi ve hücrelerin gelişmesi süresince oluşan kalıntı maddeler öz ışınları ile gövde ortasına doğru taşınmakta

ve zehirli maddelerin burada toplanmasıyla da öz odun oluşmaya başlamaktadır. Daha sonraki yıllarda bu gibi maddeler öz odun–diri odun sınırında toplanıp, öz odun tabakasının dışarı doğru genişlemesini sağlamaktadır.

Yukarıdaki açıklayamaya benzer diğer bir görüşe göre; ağaçların beslenme ihtiyacına bağlı olarak yapraklarda gıda maddeleri (şekerler) oluşturulmakta ve şekerler hem gövde boyunca aşağıya doğru iç kabuktan taşınmakta hem de öz ışınları yardımı ile gövdenin ortasına doğru iletilmektedir. Ağacın gereksiniminden fazla olan şekerler gövdenin ortasında toplandıktan bir müddet sonra değişerek yeni bileşiklere dönüşmekte, sonunda hücrelerin ölmesine neden olmaktadır. Bu açıklama, yaz odununda boy büyümesi ve yeni yaprak üretimi sona ermiş bir ağaç düşünüldüğünde daha iyi anlaşılabilir. Çünkü bu mevsimde büyüme uçlarının şekerlere ihtiyacı yoktur. Şekerler gövdede aşağıya doğru iç kabukla taşınarak kambiyumun ihtiyacını sağlarlar. Fakat öz ışınları yardımıyla şekerlerin iç kısımlara taşınması da devam eder ve merkeze yakın kısımlarda birikmeye başlar. Bir süre sonra toplanan bu şekerler ve nişasta dekompoze olarak yeni bileşiklere (yağlar, mumlar, reçineler, sakızlar, tanenler, aromatik ve renk veren maddelere) dönüşmeye başlar.

Üçüncü bir görüşe göre, şekerlerin toplanması ve dekompozisyonunun ağaçların iç kısımlarında yeni oluşan biyokimyasal maddeler ile ilgili bir mekanizmayla gerçekleştiği ve bu maddelerin gövde merkezine doğru taşındığını kabul etmektedir.

Öz odun oluşum şekli nasıl olursa olsun, şekerlerin dekompoze olması, çeşitli polifenolik maddelere dönüşüme neden olmaktadır. Bu maddelerin bazıları kısmen ya da tamamen hücrelerde geçiş yollarını tıkar ve konsantre gıda maddesi ilâvesini engelleyerek hücrelerin ölümüne yol açarlar. Böylece hücrelerde su miktarı azalır (Tablo 8.2) ve öz odun sınırı giderek genişler. Diğer bir ifade ile burada öz odun oluşumuna neden olan polifenollerin kambiyumda değil, öz odun–diri odun arasında dekompoze edildiği tezi geçerli olmaktadır.

Öz odun bölgesinde paranşim hücreleri ölür, geçitler aspirasyon durumuna geçer, tüller gelişir, hücre çeperi ve geçitler üzerine ekstraktif maddeler depo edilir. Ekstraktif maddelerin depolanması odun renginin değişmesine neden olur. Ancak, renk değişmesi her ağaç türünde görülmeyebilir. Ekstraktif maddeler çeşitli yöntemlerle öz odundan çıkartılarak endüstride değerlendirilmektedir. Örneğin; dünyada en fazla tanen *Schinopsis lorentzii* öz odunu ekstraksiyonu ile elde edilmektedir.

Tablo 8.2: Öz Odun ve Diri Odunda Rutubet Miktarı

İğne Yapraklı Ağaçlar			Geniş Yapraklı Ağaçlar		
Ağaç Türleri	Rutubet Miktarı (%)		Ağaç Türleri	Rutubet Miktarı (%)	
	Öz Odun	Diri Odun		Öz Odun	Diri Odun
Larix occidentalis	54	110	*Acer saccharinum*	58	97
Picea sitchensis	41	142	*Betula papyrifera*	89	72
Pinus monticola	62	148	*Fagus grandifolia*	55	72
Pinus palustris	31	106	*Liquidambar*	79	137
Pseudotsuga menziesii	37	115	*styraciflua*		
Sequoia sempervirens	86	210	*Populus tremuloides*	95	113
Taxodium distichum	121	171	*Quercus alba*	64	78
Thuja plicata	58	249	*Tilia americana*	81	133
Tsuga heterophylla	85	170	*Ulmus americana*	95	92

Doğal bir yaşlanma olayı olan öz odun oluşumunda, her yıl kaç yıllık halkanın öz oduna dönüştüğü henüz bilinmemekle beraber, diri odun genişliği yıllık halka sayısı bakımından daima sabit kaldığından, ağaç türlerinin makroskopik tanımında önemli bir özellik olarak kullanılmaktadır.

8.1.2 Gövdede Boyuna Yönde Değişmeler

Bir ağacın çeşitli yüksekliklerinden alınan enine kesitlerde yıllık halkalar farklı yapıda olduğundan, boyuna yönde de değişmeler olması kaçınılmazdır.

Yıllık halka genişlikleri topraktan tacın en alt kısmına kadar giderek genişler, sonra tacın uç kısmına doğru giderek daralır. Yıllık halka içerisindeki yaz odunu oranı ağacın dip kısmında daha yüksek olup, gövde boyunca yukarı doğru çıkıldıkça azalır.

Hücre büyüklüklerinde de gövde boyunca aşağıdan yukarıya doğru çıkıldıkça değişmeler görülmektedir. Genel bir ifade ile bir ağaçta traheid ve liflerin boyları toprak seviyesinden tacın alt kısmına kadar artmakta, daha sonra yukarıya doğru çıkıldıkça boylar kısalmaktadır. Maksimum traheid ya da lif boyu gövdede, ağaç boyunun 1/3 ile 1/2'si arasında ve dış tarafta (kabuk tarafında) bulunmaktadır. Ancak, bazı türlerde hücre boylarının *Thuja plicata*'da olduğu gibi aşağıdan yukarıya doğru devamlı azaldığı, bazılarında da *Platanus occidentalis*'te olduğu gibi devamlı arttığı görülmektedir.

Hücre çaplarında da gövde boyunca değişiklikler tespit edilmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda traheid çapları önce artmakta, sonra azalmaktadır. Geniş yapraklı ağaçlarda ise lif çapları ve çeper kalınlıkları genellikle gövdede yukarı doğru çıktıkça azalmaktadır.

Hücre boyları aynı ağacın dal ve kök odunlarında da farklılık göstermektedir. Çoğunlukla iğne yapraklı ağaçlarda en kısa traheidler dallarda, en uzun traheidler köklerde, geniş yapraklı ağaçlarda en kısa lifler dallarda, en uzun lifler gövdede görülmektedir. Ancak bu değerler ortalama değerlerdir. Geniş yapraklı ağaçlarda bu konuda yapılan araştırmalar sınırlı olup, farklı sonuçlar açıklanmaktadır. Örneğin; yapraklı ağaçlarda yapılan bir çalışmada dallardaki lif boylarının, gövdedekinden önemli derecede daha uzun olduğu bildirilmiştir.

8.1.3 Ultramikroskopik Yapı ve Kimyasal Kompozisyonda Değişmeler

Ultramikroskopik Yapıda Değişmeler

Ağaçta ilk oluşan yıllık halkalardaki hücrelerin S_2 tabakasında mikrofibril açısı büyük olup, gövdede yukarıya doğru çıkıldıkça küçülmektedir. Bu özelliğin hücre uzunluğu ile ters orantılı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Hücre uzunluğunda değişme iğne yapraklı ağaçlarda geniş yapraklı ağaçlardan daha büyük olduğundan, mikrofibril açısındaki değişme de daha büyüktür. Örneğin; iğne yapraklı ağaçlarda mikrofibril açısı 55°'den 20°'ye, yapraklı ağaçlarda ise 28°'den 10°'ye düşmektedir. Özellikle kâğıt kalitesini etkileyen kristallik derecesi de özden çevreye doğru artmakta, örneğin *Tsuga heterophlla*'da 15 yaşına kadar önemli miktarda artış göstermektedir.

Kimyasal Kompozisyonda Değişmeler

İğne yapraklı ağaçlarda genellikle selüloz miktarı ilkbahar odununda yaz odunundakinden daha azdır. Selüloz miktarı özden çevreye doğru traheid boylarında olduğu gibi artmaktadır. Yani, selüloz miktarı ağacın yaşı arttıkça artmakta, artış miktarı ağaç türleri ile ilgili olarak % 3–20 arasında değişmektedir.

Hemiselüloz miktarı iğne yapraklı ağaçlarda genellikle yaz odununda, ilkbahar odunundan % 1–2 oranında fazla bulunmaktadır. Gövdede özden

çevreye ve aşağıdan yukarıya doğru gidildikçe hemiselüloz miktarında % 3 kadar azalma görülmektedir.

Lignin miktarı ise, genellikle yıllık halkanın ilkbahar odununda yaz odununa göre % 1-5 oranında daha yüksek bulunmaktadır. İğne yapraklı ağaçlarda özden çevreye doğru lignin miktarı % 1,5–3,0 kadar azalmakta, gövde boyunca yukarı doğru az miktarda artmaktadır. Geniş yapraklı ağaçlarda ise araştırmalar sınırlı olmakla beraber genel eğilim gövdede hem radyal hem de boyuna yönde lignin miktarında değişmelerin fazla olduğu yönündedir.

Ekstraktif maddelerin miktarı, reçine hariç, öz odun katılım oranı ile ilgili olarak değişmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda reçine miktarı gövdenin dip kısmında ve öze yakın kısımda en yüksektir. Gövdenin dış kısımlarında ve aşağıdan yukarıya doğru reçine miktarı azalır. Gövdede reçine miktarında ikinci bir artış ağacın taç kısmında ve öz odunun dış kısmında görülmektedir. Yaz odununda, ilkbahar odunundan daha fazla reçine bulunmasının nedeni, reçine kanallarının yaz odununda toplanmış olmasıdır. Ayrıca, reçine miktarı diri odunda, öz odundan çok daha düşük orandadır.

8.2 Ağaçlar Arası Değişmeler ve Etkili Çevre Faktörleri

Bir meşçere içerisinde yetişen aynı tür ağaçlarda dominant karakterde olanlar ile baskı altında yetişenler arasında değişik odun yapısı söz konusu olabilmektedir. Açıkta ya da orman kenarında yetişenlerde de aynı durum görülmektedir. Ortalama sıcaklık, yağış ve coğrafi konum farklılıkları da değişmelere neden olmaktadır. Mikro çevre faktörleri ağacın hayatı boyunca sabit kalmadığından her bir yıllık halkada ve bir yıllık halkadan diğerine odun yapısında değişmeler meydana getirmektedir. Örneğin; vejetasyon mevsiminde yağışların fazla ya da az olması yıllık halka yapısını değiştirir. Yıllık halka yapısındaki değişiklik ise yoğunluk değerinde farklılık meydana getirir.

İlkbahar odununun genişliği mevsim başındaki toprak suyunun miktarına bağlıdır. Yaz odunu genişliği ise yaz aylarında yağan yağmur miktarı ile ilgilidir. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş tipi türlere ait genel bir karakter olmakla beraber, bazen yıl içerisinde çevre faktörlerinin değişmesi ile farklılık gösterebilir.

Coğrafi konum farklılıkları hücre uzunluklarını da etkiler. Örneğin; traheid boyları düzlük yerlerde yetişen Douglas göknarlarında uzun, dağlık

bölgelerde yetişenlerde kısa olmaktadır. Yüksek yerlerde yetişen Douglas göknarında yaz odunu oranı azaldığından yoğunluk düşmekte ve yükseklere çıkıldıkça yoğunlukta % 1 azalma görülmektedir.

Ağaçlarda tacın büyümesi ve gelişmesi de önemli bir faktör olarak dikkate alınabilir. Çünkü taç öz odunun başlamasını ve büyüklüğünü etkiler. Büyük taç yapısına sahip ağaçlarda öz odun oluşumu gecikir. Taç kısmının büyümesi ilkbahar odunu miktarını artırır. Ağacın taç kısmındaki faaliyet ilkbahar odunu oluşumu ile birlikte başlar, yaz odunu oluşumu ile durur.

Ağacın güneş ve gölge tarafında da bazı farklılıklar oluşabilir. Güneşli taraftaki traheid ya da liflerin uzunlukları, gölge taraftakilerden daha kısa olabilmektedir.

Aynı meşçerede ve birbirine yakın olan ağaçlar arasında dahi yıllık halka genişliği ile yıllık halka yapısı değişiklik gösterebilir. Örneğin; meşçerede dominant durumda olan ağaçlarda ortalama hücre uzunluğu, yavaş büyüyenlere göre daha fazladır. Çevre etkilerinden başka genetik özelliklerin de ağaçlar arasında farklılıklar meydana getirdiği unutulmamalıdır. Ancak, çevre ve genetik faktörleri birbirinden ayırarak yorumlar yapmak güçtür.

8.3 Odunda Kalite Kavramı ve Silvikültürel Tedbirler

Orman mühendisinin önemli görevlerinden biri kaliteli ağaç yetiştirirken, ormanda artımın hızlandırılmasını sağlamak ve bu iki hedefi dengede tutmaktır. Kalite belli bir kullanış yeri için ağaç malzemenin uygunluğunu tayin eden kriterlerdir. Kaliteyi kullanış yerlerine göre belirlemek gerekir. Çünkü herhangi bir kullanış yeri için aranan bir özellik, diğer kullanış yerlerinde tercih edilmeyebilir. Belli bir kullanış yeri için ağaç malzemenin uygunluğunu tayin eden birçok faktör vardır. Bunlar arasında yoğunluk, yıllık halkaların yeknesak oluşu, öz odun oranı, lif uzunluğu, genç odun ile reaksiyon odununun bulunuşu, budaklılık, lif kıvrıklığı, kimyasal kompozisyon ve ekstraktif maddelerin kalitesi sayılabilir. Bu faktörleri kontrol altına almak mümkün olabilir. Ancak, istenen hedeflere varmak uzun yıllar almakta, masraflı olmakta ve bilinçli silvikültürel çalışmalar yapmak gerekmektedir. Orman mühendisleri uygulayacakları silvikültürel tedbirlerle, bu faktörler üzerinde önemli derecede etkili olabilmekte ve kaliteyi artırabilmektedirler.

Bir ağaç büyürken çevresinde kullandığı alanın büyüklüğü, yıllık halka genişliğini ve buna bağlı olarak artım özelliklerini son derecede etkileyen önemli bir faktördür. Ormanda ağaçlar arası mesafenin yeterli olmaması ve bunları çevreleyen vejetasyonun çokluğu ile ağaçlar arasında gıda maddeleri, su ve güneş ışını gibi kritik büyüme faktörleri rekabeti başlar. Rekabet az ise, kritik faktörler sınırlayıcı derecede etkili olmadığından, ağacın taç kısmı ve kök sistemi çok daha iyi bir gelişme göstermektedir. Diğer taraftan ağaçlar sık ise büyüme faktörlerinden yeterince faydalanamazlar. Örneğin; çok ışık isteyen fidanlar açık alanlarda köklenebilir, fakat önce otlar ve çalılarla mücadeleye girerler. Hızlı gelişen genç ağaçlar yaşam için en iyi şansa sahip olurlar. Diğerleri baskı altında, ışıksız kalır ve sonunda ölürler. Daha sonra ağaçlar kendi aralarında mücadeleye girerler. Eğer rekabetin ilk devresini fazla sayıda ağaç atlatırsa, taç gelişmesi ağaçlar arasındaki boşlukları hemen doldurarak, ormanda kapalılık oluştururlar. Güneş ışını, gıda maddeleri ve rutubet mücadelesinin artması halinde tüm meşçerenin artımı yavaşlar. Yavaş büyümeye rağmen boylanma hızındaki küçük farklılıklar sonunda bazı ağaçlar, yakınındaki diğer ağaçlar yanında bir avantaj sağlamaya başlarlar. Bu küçük avantaj güneş ışını mücadelesinde bir başarı yaratınca, büyüme hızı daha da artar. Baskı altındaki ağaçlardan zamanla zayıflayanlar yaşam dışı kalırlar. Hatta kuvvetli büyüyen ağaçların alt taraftaki dallarında az ışık nedeniyle doğal budanma görülür.

Ağaçların meşçerede sık olması artımın azalmasına neden olabilir. Bu durumda orman mühendisinin dikkat edeceği hususlardan biri, ormanda ağaçlar arası rekabeti azaltmak ve böylece büyüme hızını maksimuma getirmektir. Örneğin; sık meşçerelerde gübreleme ve sulama yapılabilir. Bir başka yaklaşım ise rekabet seviyesini kontrol altında tutmak için meşçerede mevcut büyüme faktörlerini dengede tutmak ve bakım tedbirleri uygulamaktır. Dikim sırasında fidanlar arasının geniş bırakılması ve daha sonra vejetasyonun kontrolü ile ilk yaşlarda büyüme, geniş çapta hızlandırılabilir. Zamanla yapılan aralama kesimleri rekabeti azaltır ve geri kalan ağaçlar hızla büyümeye devam ederler. Bu uygulama şekli uzun yıllardan beri ormancılıkta kullanılmaktadır. Fakat bu tedbirlerin odun özellikleri üzerinde etkisine dikkat edilmelidir. Bu durumda sorun hangi özelliklerin ne şekilde ve ne kadar etkilendiğinin bilinmesindedir.

8.3.1 Yoğunluk

Ağaç malzemenin yoğunluğu, diğer bir deyişle metreküpteki ağırlığı, öncelikle malzemenin direnç (mukavemet) özellikleriyle, direnç özellikleri de

malzemenin kullanım alanları ile yakından ilgilidir. Örneğin; çam, sedir, melez, Douglas göknarı, meşe gibi yüksek yoğunluktaki ağaç türleri, yüksek direnç (mukavemet) isteyen kullanış yerleri için tercih edilir. Lâdin, göknar, kavak gibi düşük yoğunluktaki ağaçlar ise mukavemet dışı özellikler arayan kullanış yerlerinde değerlendirilir. Bu nedenle, yüksek yoğunluktaki ağaç malzeme yapı maksatlarında ve konstrüksiyonda kullanılmakta, nispeten düşük ve orta yoğunluktaki ağaç türleri ise direnç yerine tercih edilen başka özelliklerin arandığı kullanım yerlerinde, genellikle de kâğıt üretiminde tercih edilirler. Ancak belli hacimdeki odun hamuru verimi de yoğunluk arttıkça, artmaktadır. Bu noktada orman mühendisinin görevi lâdin, göknar, kavak gibi düşük yoğunluktaki ağaç türlerinin hem hektardaki hacmini hem de bir metreküp ağaçta ağırlığın maksimum olmasını sağlamaktır.

Bir yetişme yerinde artımın fazla olması yıllık halkaların genişlemesine neden olmakta ve bu değişimden yoğunluk önemli derecede etkilenmektedir. Özellikle halkalı traheli ağaç türlerinde yıllık halka genişledikçe yoğunluk artar. Nedeni yıllık halka genişliğinin artmasıyla, halkalı traheli ağaç türlerinde ilkbahar odunu genişliğinin sabit kalması ve yaz odunu tabakasının genişlemesidir. Bu ağaçlarda çap artımının azalmasıyla, yani yıllık halkanın daralmasıyla ilkbahar odunu trahelerinin enine kesitteki oranı artar ve kalın çeperli yaz odunu lifleri ile küçük çaplı yaz odunu trahelerinin oluşumu minimuma iner. Böylece hızlı büyüyen halkalı traheli ağaçlarda daha yoğun bir odunsu yapı meydana gelmektedir. Ancak bu değişimin bir sınırı vardır. Çünkü çok hızlı büyüyen halkalı traheli ağaçlarda anormal olarak ince çeperli lifler ve yüksek miktarda paranşim hücreleri oluşumu da artar. 1 cm'de 2–4 adet yıllık halka bulunan halkalı traheli ağaç odunlarında en yüksek yoğunluk söz konusu olmaktadır.

İğne yapraklı ağaçlarda yaz odunu traheidleri kalın çeperli olup, radyal çapları ilkbahar odunu traheidlerinden daha küçüktür. İlkbahar odunundan yaz odununa geçişi hızlı olan tipte yıllık halkalara sahip iğne yapraklı ağaçlarda, yıllık halka genişledikçe yoğunluk azalmaktadır. Yapılan araştırmalara göre; orman içerisinde yetişmiş 100 yaşındaki bir iğne yapraklı ağaçta yoğunluk ilk yıllık halkalardan (ilk 10 yıllık halkadan) itibaren hızla artmakta, ergin odun kısmında (10–70 yıllık halkalarda) 50. yıllık halkaya kadar yavaş bir yükselme göstermekte, 50–70 yıllar arasında sabit kalmakta, 70. yıllık halkadan sonra ise yoğunlukta azalma meydana gelmektedir. Bu tip bir değişim birçok dağınık traheli geniş yapraklı ağaçların yıllık halkalarında da görülmektedir.

Aynı çapta olan fakat biri yavaş, diğeri hızlı büyüyen çamlarda yoğunluk incelendiğinde; yavaş büyüyen ağaçların genellikle daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir. Yani yavaş büyüyen ağaçlar, aynı çapta daha fazla sayıda ve daha dar yıllık halkalar üretmektedir. Aynı yaşta olan yavaş ve hızlı büyüyen çamlarda ise yoğunluk bakımından bir karşılaştırma yapıldığında, yine hızlı büyüyenlerde daha düşük yoğunluk olduğu görülmektedir.

Dağınık traheli geniş yapraklı ağaçların bazılarında ve göknar, lâdin gibi ilkbahar odunundan yaz odununa geçişin yavaş olduğu iğne yapraklı ağaç odunlarında yoğunluğun, hızlı büyüme ile daha az etkileşimi söz konusudur. Ancak bu konuda yapılan araştırmalar değişik sonuçlar vermektedir. Örneğin; kavakta yıllık halka genişledikçe yoğunluk bazen daha yüksek olmakta, bazen etkilenmemekte, bazen de düşmektedir.

Yukarıda verilen açıklamalardan anlaşılacağı gibi odun yoğunluğunu arttırmak için yapılacak silvikültürel uygulamalar ağaç türlerine (geniş yapraklı ağaçlarda halkalı traheli, dağınık traheli, iğne yapraklı ağaçlarda İlkbahar odunundan yaz odununa geçişin hızlı ya da yavaş olmasına) göre gerçekleştirilmelidir.

8.3.2 Yeknesaklık

Yıllık halka genişliğinin yeknesak olması, odunun yapısı ve yoğunluğu üzerinde etkili olmaktadır. Ağaç gövdesinde yıllık halka genişliklerinin veya artımın en yeknesak bulunduğu zon, çoğunlukla gövdenin 1/3 yüksekliğindedir. Bir yıllık halkanın içerisinde ve yıllık halkalar arasında odun yapısının yeknesak olması, büyüme hızıyla ve büyümenin oluştuğu koşullarla büyük ölçüde ilişkidedir. Yeknesaklığın bulunmaması, odun hammaddesi kullanan bütün endüstrilerde büyük bir kalite problemi yaratmaktadır. Örneğin; kâğıt endüstrisinde dahi yeknesak yıllık halkalı odun kullanılmaması, elde edilen kâğıtta yoğunluğun değişik olmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak da kâğıdın direnci etkilenmekte ve yüzeysel kalite özelliklerini muhafaza etme güçlüğü ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan yeknesak yıllık halkalı odun hammaddesi kullanılması, yüksek kaliteli kâğıt üretimini mümkün kılmaktadır.

Yeknesak yıllık halkalı ağaç malzeme kullanımı sadece kâğıt ve lif sanayiinde değil, aynı zamanda masif materyal için de önemlidir. Açık hava şartları altında kullanılan ve yapısal özelliği gereği yıllık halka içerisinde yüksek yoğunlukta bir yaz odunu tabakası ile düşük yoğunlukta bir ilkbahar

odunu tabakasını beraber bulunduran bir ağaç malzemeye sürülen yağlı boyanın kısa sürede kabardığı, soyulduğu ve döküldüğü görülmektedir. Burada yoğunluğu yüksek olan yaz odunu hücreleri, yoğunluğu daha düşük olan ilkbahar odunu hücrelerinden daha fazla daralma ve genişleme göstermektedir. Bu nedenle odun yüzeyi ile yağlı boya film tabakası arasında gerilim farkı meydana gelerek, boyanın dökülmesine neden olmaktadır. Ayrıca, ilkbahar odunu ve yaz odunu tabakaları arasında sertliğin de farklı olması, ağaç malzemede düzgün yüzeyler elde etmek üzere işlenmesi sırasında güçlükler yaratmaktadır. Görüldüğü gibi, yıllık halkaların aynı genişlikte olmaması masif ağaç malzemenin işlenmesinde çeşitli problemler çıkmasına sebep olabilmekte ve kullanım yerinde işlenmiş kısımların özellikleri yer yer değişebilmektedir. Bu gibi malzemede çalışma ve sertlik özelliklerinin yanı sıra tekstür de yeknesak değildir. Bu nedenle bazı kullanış yerleri için (Lâdinden pencere doğramaları yapılması gibi) belli yaz odunu oranı oluşumunu sağlayan yetişme yeri yükseltilerinden üretim yapılması yoluna gidilmekte ve yeknesaklığın sağlanmasına dikkat edilmektedir.

Yüksek dağlarda yıllık halka yapısı daha yeknesak olduğundan, ilkbahar ve yaz odunu arasındaki kontrast azalmaktadır. Yıllık halka genişliği üzerine etki yapan faktörlerden en önemlisi iklimdir. Özellikle yağış ve sıcaklık yıllık halka genişliği üzerinde etkili olmaktadır. Toprak altı su seviyesinin yüksek bulunduğu yetişme yerlerinde sıcaklık, kurak yetişme bölgelerinde ise yağış, geniş yıllık halkaların oluşum nedenidir. Sıcaklık ve yağış aynı zamanda yaz odunu katılım oranına da etki etmektedir.

Son zamanlarda orman toprağında yapılan suni gübreleme denemelerinde gübrelemenin yıllık halka genişliği ile birlikte yaz odunu genişliğini artırdığı, iğne yapraklı ağaçlarda ilkbahar odunu genişliğini artırırken, daha ince çeperli yaz odunu hücrelerinin oluşmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Kullanım yerinde ağaç malzemenin kalitesini artırmak için ormanda uygulanacak silvikültürel tedbirlerle yıllık halka genişliklerinin yeknesak olmasını sağlamak için özen gösterilmelidir.

8.3.3 Öz Odun Miktarı

Ağaç malzemenin bazı masif kullanış yerleri için öz odun oranı önemlidir. Örneğin; birçok ağaç türünde öz odun mantar ve böceklere karşı dayanıklıdır. Mantar ve böceklerin arız olacağı şartlarda kullanılacak ağaç malzemenin seçiminde, bu zararlılara karşı dayanıklı ağaç türleri tercih

edilmektedir. Bunun için sedir, servi, ardıç, çam gibi ağaç türlerinden elde edilen doğal dayanıklı malzemenin dış cephe kaplaması, çatı, pergola ve çit malzemesi olarak kullanımı söz konusu olmaktadır. Öz odun miktarı yüksek ağaç türleri odunlarının seçilmesi, doğal koyu rengin arzu edildiği kullanış yerleri için de bir tercih unsurudur. Örneğin; bazı ağaç türlerinde güzel ve koyu renkli bir öz odunun bulunması, özellikle parke, lâmbri, mobilya ve kaplama levhalarda dekoratif bakımdan iyi bir etki yapmaktadır.

Bilindiği gibi her ağaç türünde öz odun miktarı değişik olmakta ve belli bir yaştan sonra oluşmaya başlamaktadır. İlk yıllarda oluşan öz odun, sonraki yıllarda oluşan öz odundan daha az dayanıklılık göstermektedir. Bu ilişki nedeniyle maksimum öz odun oranı arzu ediliyorsa, uzun idare süresi seçilmeli ve yavaş büyüme imkânlarının yaratılması teşvik edilmelidir.

8.3.4 Lif Uzunluğu

Bilindiği gibi "lif uzunluğu" hem geniş yapraklı hem de iğne yapraklı ağaçların selüloz üretiminde kullanılan tüm odunsu hücreleri ifade etmektedir. Lif uzunluğu kâğıt özelliklerinden yırtılma, çekme, katlanma ve patlama dirençleri üzerinde etkili olduğundan, kâğıt endüstrisinde çoğunlukla uzun lifler arzu edilmektedir.

Geniş yapraklı ve iğne yapraklı ağaçlarda (1) uygun idare süresinin belirlenmesi, (2) gübreleme ve sulama gibi artımı yükseltici tedbirler gövdede ortalama lif uzunluğu üzerinde etkili olmaktadır.

(1) İdare süresinin lif boyu üzerine etkisi iki yönlüdür. (a) kısa idare süreli işletmelerden elde olunan ağaçlarda genç odun oranı fazla olduğundan, kısa lifli materyal alınmaktadır. Yani, gövde çapı azaldıkça, genç odun oranı artmakta ve ortalama lif boyu azalmaktadır. (b) kambiyumdaki iğimsi inisiyal hücrelerinin uzunlukları yıllar geçtikçe artmaktadır. Böylece yaşlı kambiyum hücreleri daha uzun lif üretmekte ve dikili kalın çap elde edilmesi yanında, genç odun oranının azaltılması da mümkün olmaktadır.

(2) Gübreleme ve sulama, geniş yapraklı ve iğne yapraklı ağaçlarda lif uzunluğu üzerinde farklı etki yapmaktadır. Yapılan araştırmalar gübreleme ve sulamanın çamlarda lif boyunu azalttığını göstermektedir. Buna karşın yapraklı ağaçlarda bu gibi tedbirlerin lif boyunu artırdığı anlaşılmaktadır. Ancak son zamanlarda lif boyu ile yıllık halka genişliği arasındaki ilişkinin az olduğu veya

hiç ilişki bulunmadığı sonucu ortaya çıkarılmaktadır. Lif uzunluğunun üretim kalitesi üzerinde etkili olduğu alanlar için, silvikültürel uygulamaların etkileri hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır.

8.3.5 Genç Odun ve Reaksiyon Odunu

Bir ağaç gövdesindeki genç odun oranı, ağacın genç yaşlarda ne kadar hızlı büyüdüğüne bağlıdır. Belli bir idare süresinde hızlı büyüyen ağaçlarda, yavaş büyüyenlere nazaran daha fazla oranda genç odun bulunmaktadır. İlk yıllarda hızlı büyüme oldukça önemli olabilir. Ancak, yetişme yeri özelliklerine ve ağaç türüne bağlı olan gençlik dönemi süresinde, yani 15–25 yılda kerestelik tomruk büyüklüğüne her zaman erişmek mümkün değildir. Örneğin; Amerika'da bu yaştaki güney çamlarında % 75 ve daha fazla genç odun oranı tespit edilmiştir. Buna karşın ormanda daha yavaş büyüyen ve ticari kesim yaşına gelmiş ağaçlarda genç odun yüzdesi küçük bir orandadır. Bu nedenle silvikültürel tedbirlerin zamanının iyi seçilmesi ve gençlik döneminde yavaş büyümenin teşvik edilmesi genç odun oranını azaltmak için önemlidir.

Yetişme yeri şartları reaksiyon odunu oluşumuna da neden olabilmektedir. Genç odun bölgesi, ağaçta zaman zaman fazla miktarda reaksiyon odunu içerebilir. Böylece hızlı büyüyen ağaçlarda genç yaşlarda sadece genç odun oranı değil, aynı zamanda reaksiyon odunu da önemlidir. Yapılan araştırmalar eğik olmayan gövdelerde de reaksiyon odunu oluşabildiğini göstermektedir.

8.3.6 Hücre Tipleri

Bazı kullanım yerleri açısından malzemenin hücre tipleri önemli olmaktadır. Örneğin; geniş yapraklı ağaçlardan kâğıt üretimi sırasında traheler, lifler ve öz ışınlarının büyüklüğü önemlidir. Çünkü öz ışınları ve özellikle geniş çaplı traheler odun hamuru üretimi sırasında kaybolmakla beraber, bazen kalan ve üretime giren traheler kâğıdın yüzey kalitesini bozarlar. Nedeni, trahe şekillerinin hücreler arası kuvvetli bağların oluşumuna yardım etmemeleridir. Böyle kâğıtlar üzerine yazı yazarken trahelerin kalkması ve kopması söz konusudur. Bundan dolayı ormana yapılacak silvikültürel müdahaleler trahelerin adet ya da hacmini artırıcı yönde olmamalıdır. Kâğıt endüstrisinde bu konu önemlidir.

Araştırmalar az sayıda ağaç türü üzerinde yapılmışsa da genellikle gübreleme ve sulama ile büyümenin hızlandırılması, trahe ve öz ışınları oranlarını etkilememektedir. Ayrıca, genetik çalışmalar bazı kavak türlerinde daha fazla trahe bulunduğunu ortaya çıkarmıştır. Yani bazı türlerde trahe oranı % 20 iken, diğerlerinde % 30'a kadar çıkmaktadır. Genetik karakterler ile yıllık halka genişliği arasında ilişki bulunma ihtimali yüksektir. Bazı kavak klonlarında yüksek artım hızı görülmekle birlikte, daha az sayıda fakat daha büyük çaplı traheler oluştuğu tespit edilmiştir.

8.3.7 Budaklar

Kerestelik ve kaplamalık tomruk üretiminde budakların büyüklüğü ve sayıları, kalite üzerinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Budaklar gerek estetik görünüş gerekse direnç üzerinde etkili olduğundan, budak bulunuşu tomruk ve kereste sınıflarının tayininde en önde gelen faktörlerdendir.

Ağaçlar dalsız olamayacağına göre asıl amaç, budak gelişmesini mümkün olduğu kadar minimuma düşürmektir. Bu amaca erişmek çeşitli silvikültürel tedbirlerle gerçekleştirilebilir. Meşcere kapalılığının ve meşcere çatısının düzenlenmesi, alt tabaka tesisi, dikim esnasında aralıkların uygun seçimi, aralama zamanları, erken başlayan tekniğine uygun budama, hızlı büyümeyi artırıcı tedbirler budak oluşumuna etkiler. Ayrıca, daha az dallı ağaç türlerinin seçilmesi ve yetiştirilmesi de başka bir düşünce tarzıdır. Yapılan araştırmalara göre yüksek oranda kaliteli kereste ve kaplama levha elde etmek için silvikültürel ve genetik tedbirler ağacın ilk tomruğu olan dip tomruk kısmında yoğunlaştırılmalıdır. Çünkü ikinci tomruk hem yüksekte kalmakta, hem de kalın dalları içermektedir.

8.3.8 Lif Yönü

Bilindiği gibi "lif yönü" ağaçta boyuna yönde uzanan hücrelerin yönünü ifade eder Bir gövdede lif yönü ağaç eksenine paralel değilse, üretilen malzemede de lif yönü düzgün değildir. Bu durum malzemenin direncini önemli ölçüde azaltır. Örneğin; spiral liflilik (lif kıvrıklığı) bulunan bir malzemede işlenme ve kurutma özellikleri negatif yönde etkilenirken, rutubet kaybettiğinde malzemenin çalışmasında artış meydana gelir. Kereste, bükme mobilya gibi üretim alanlarında sorun yaratan ve çeşitli kullanış yerleri için bir kusur olan lif kıvrıklığı ya da diğer lif düzensizliklerinden mümkün olduğu kadar kaçınmak gerekmektedir.

Bu konuda yapılan araştırmalara göre, yetişme yeri şartları ile lif kıvrıklığı oluşumu arasında açıkça görülen bir ilişki vardır. Örneğin; fazla rüzgârlı ve karlı yetişme yeri, çok taşlı ve güneşli yamaçlar lif kıvrıklığını arttırır. Yoğun silvikültürel tedbirler, özellikle sulama ve ilk yaşlarda budama lif kıvrıklığını azaltmaktadır. Yoğun silvikültürel tedbirler lif yönünün değişmesine engel olabilir, ancak yetişme yeri şartları lif yönünde sapmayı arttırdığından, artımın hızlandırılmasında bu ilişkiye önem vermek gerekmektedir.

8.3.9 Kimyasal Yapı

Odunun kimyasal yapısında selüloz, lignin, hemiselüloz ve ekstraktif maddeler bulunmaktadır. Ağaç malzemede selüloz eğilme ve çekme kuvvetlerine karşı, lignin ise basınç kuvvetlerine karşı direnç gösterir. Ayrıca, kimyasal metotla selüloz elde edilmesinde kullanılan pişirme maddelerinin ve ağartıcı maddelerin sarfiyatı odunun kimyasal yapısı ile yakından ilgilidir.

Bir ağaç gövdesinde genç odun oranı fazla ise, kimyasal yapı da farklı olacaktır. Çünkü genç odunda selüloz az, lignin fazladır. Böylece hızlı büyüyen ağaçlarda genç odun oranı arttığında, selüloz oranı da azalmaktadır. Kâğıt endüstrisinde ise selülozun fazla olması aranmaktadır. Silvikültürel müdahale zamanları iyi seçilip, hızlı büyüme genç odun oluşumundan sonra gerçekleştirilirse, hem masif ağaç malzemede hem de odun hamuru üretiminde daha olumlu bir yaklaşım sağlanacaktır.

8.4 Silvikültürel Tedbirler ve Odun Kalitesine Etkileri

8.4.1 Dikim Aralıkları

Dikim aralıkları yetiştirilecek ormanın kalitesi, kitle üretimi ve tesis maliyetine etki yapan önemli bir konudur. Her şeyden önce ağaçların yetişme ortamından faydalanma derecesini belirler. Aralıklı yetişen ağaçlar, sık yetişenlerden daha hızlı büyür, ormanda artım artar. Fakat ağaçlar arası mesafe ayni zamanda odun yoğunluğu ve direnci üzerinde de etkilidir.

Geniş aralıklı dikimlerde halkalı traheli genç yapraklı ağaçlarda yoğunluk maksimum olmakta, buna bağlı olarak direnç değerleri artmaktadır. İğne yapraklı ağaçlarda aralıklı dikim ile yoğunluk azalmaktadır. Yıllık halkaların ilk yaşlarda geniş olması genç odun oranını artırır. Genç odun düşük yoğunlukta

olduğundan, malzemede bulunuş oranına göre genellikle yoğunluğun azalmasına neden olur.

Her ne kadar geniş aralıklı meşcerelerde, sık meşcerelere nazaran daha kısa sürede ticari büyüklükte ağaçlar elde edilirse de, hektarda yıllık lif üretim miktarı arzu edildiği kadar yüksek olmamaktadır. Çünkü böyle meşcerelerde ortalama hacim ağırlık değerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Geniş aralıklı yetiştirilen bir meşcerede, sık yetişen meşçerelere göre daha kalın dallar ve fazla sayıda budaklar oluşur. Fazla ışık alan ağaçlarda doğal budanma azaldığından, dallarda kalınlaşma meydana gelir. Geniş aralıklı meşçerede büyüyen ağaçlardan, sık kapalılıkta yetişenlere göre daha az randıman elde edilmektedir. Ayrıca, açıkta yetişmiş ağaçlarda konikleşme fazla olmakta, sık meşcerelerde yetişenlerde ise çap düşüşü daha yavaş olup, gövdeler dolgundur. Silindirik tomruklardan, konik olanlara nazaran daha fazla randıman elde edilmektedir.

Yukarıda sayılan nedenlerle üretime yönelik ağaçlandırmalarda dikim aralıkları, üretim amacına göre değiştirilmelidir. Kalitenin ön planda olduğu kaplamalık, doğramalık tomruk, kereste ve tel direği gibi üretim amaçlarında daha sık dikim aralıkları öngörülür. Bu durumda toprağa gelen ışık süratle azalır ve kapalılığa bağlı olarak boy büyümesi hızlanır, gövde dolgunluğu artar, cılız konik gövde oluşumu önlenir, dal hacmi azalır ve ağaçlar doğal dal budanmasına erken yaşta girerler. Bu kullanım yerlerinden başka selüloz ve kâğıt endüstrisi için istenilen kalite ve ağırlıktaki odun da seyrek dikim ve hızlı büyüme ile sağlanamaz. Çünkü selüloz verimi bakımından ağaçların hektardaki kg üretimi, m^3 üretiminden daha büyük önem taşımaktadır.

Kalitenin ikinci planda kaldığı birçok kullanım yeri için hızlı büyüyen türlerde daha geniş dikim aralıkları önerilmektedir. Ayrıca, türlere göre de dikim aralıklarında büyük farklılıklar söz konusu olmaktadır. Örneğin; çam, meşe ve kayın türleri gibi gençlikten itibaren dallı geniş tepeler oluşturan türler, kaliteli odun üretimi için daha sık dikilmelidir. Lâdin, göknar ve sedir türleri gibi doğal olarak dar tepe gelişimi gösteren türlerde dikim aralıkları daha geniş alınmalıdır. Kavak, okaliptus, sahil çamı gibi hızlı büyüyen türler ise yine geniş aralıklı dikilmelidir.

Sonuç olarak geniş aralıklı dikimlerde fazla oranda genç odun, daha kalın dallar, çok sayıda budak ve konik gövdeler oluşmaktadır. Kerestelik ağaç

yetiştirmede kalite söz konusu ise ilk 5–10 yıl yavaş büyümenin sağlanması uygun olmakta, daha sonraki yıllarda hızlı büyüme ile artımı yükseltmek gerekmektedir.

8.4.2 Aralama Kesimleri

Sıklık çağından sonra gelen aralama kesimleri meşçere gelişme çağlarında uygulanan bakım tedbiridir. Aralama kesimleri; meşçerede en iyi gelişme gösterecek gövdelerin bakımını, ağaç taçlarının gelişmesini ve yıllık halkaların uygun genişlemesini sağlamak amacıyla planlı olarak yapılmaktadır. Periyodik aralama kesimleri üretimi artırıcı etki yapmakta ve meşçerede kapalılık nedeniyle doğal ölümlerle meydana gelecek kayıpları ortadan kaldırmaktadır.

Aralamanın taç gelişimi ve artım hızı üzerine etkisinden başka, bazı odun özellikleri üzerinde ters yönde etkisi vardır. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için aralamanın zamanını ve sayısını iyi ayarlamak gerekmektedir. İlk yıllarda yapılan aralamalar genç odun oranını artırır. Böylece düşük yoğunluk ve az direnç, kısa lifler, kurutma sonucunda boyuna yönde fazla daralma ve fazla lignin yüzdesi elde olunmaktadır. Oysa aralamanın genç odun oluşumundan sonra yapılması orman mühendisini bu problemlerle karşılaşmaktan kurtarmaktadır.

Aşırı aralama kalın dalların teşekkülüne ve gövdenin konikleşmesine sebep olur. Dalların iyi bir gelişme göstermesi özellikle çok genç iğne yapraklı ağaç meşçerelerinde ciddi olumsuz sonuçlar doğurur. Çünkü bu durumda alt dallar canlı kalmaktadır.

Sık kapalılıkta bir çam meşceresinde ise özellikle direklik çağında alt dallar ölmekte, aynı durum birçok geniş yapraklı ağaç türü için de geçerli olmaktadır. Fakat bazı geniş yapraklı ağaç türlerinin alt kısımlarında yeniden dallanma görülebilmektedir. Bu durumda budama yapılırsa, basınç odunu gelişimi üzerinde de etkili olunduğu anlaşılmıştır. Çamlarda yapılan araştırmalar budamanın meşcerede kalan ağaçlarda basınç odunu oluşumunu artırdığı sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Fazla rüzgâr alan meşcerelerde aralama yapılması odun kalitesini etkiler. Rüzgârlı yerlerde çok dik yamaçlarda yapılan aralama kesimleri ağaçlarda

düzgün olmayan taç ve eğri gövde oluşumuna, hatta basınç odunu gelişimine neden olmaktadır.

Aralama yaz odunu oranını da etkiler. Ancak, aralamanın etki derecesi meşcerede daha önce yapılan işlemlere de bağlıdır. Örneğin; çam, melez, Douglas göknarı gibi hızlı geçişli yaz odununa sahip iğne yapraklı ağaçlarda sık bir meşcerede yapılan aralama sonunda, yaz odunu oranın ve buna bağlı olarak odun yoğunluğunun önemli derecede azaldığı tespit edilmiştir. Yaşlı meşçerelerde ise aralamadan sonra yoğunlukta değişme veya artış olmadığı bulunmuştur.

Aralama kesimleri ile ağaçlar arası rekabet azaltılmakta, vejetasyon devresi sonuna doğru toprak suyunun azalmasının önlenmesine hizmet edilmekte ve yaz odunu miktarı artmaktadır. Geniş yapraklı ağaçlardan halkalı traheli gruba giren meşçere içerisindeki dişbudaklarda 30 yaşında aralama yapılması ile 50–65 yaşlarında yoğunluğun sadece % 1 kadar arttığı görülmüştür. Sonuç olarak orman mühendisleri ağaç malzeme kalitesini artırmak için yapacakları aralamalarda hem ağaç türünü ve yaşını hem de kullanış yerini dikkate almak zorundadır.

8.4.3 Gübreleme ve Sulama

Son yıllarda ormancılıkta uygulanan tedbirler olan gübreleme ve sulama ile artım hızının yükseltilmesi sağlanmaktır. Gübrelemenin amacı, toprakta yetersiz miktarda bulunan besin maddelerini çoğaltarak yıllık halka genişliğini ve yetişme yeri kalitesini artırmaktır.

Aralama kesimleri ile meşçerede kalan ağaçlara fazla gıda maddesi, su ve ışık sağlanması mümkün olmakla beraber, gübre kullanımı topraktaki gıda maddeleri miktarını arttırma suretiyle büyümeyi hızlandırmaktadır. Bu uygulamayla taç gelişmekte ve fotosentez yüzdeleri arttırılmaktadır. Yani, ağaçta hem yaprakların büyüklüğü, hem de sayısı etkilemektedir. Gübre kullanılması yetişme yerinin gelişme kapasitesinin artmasına neden olmakta ya da gelişme olmayan yerlerde gelişmeyi artırıcı etki yapmaktadır. Ancak, gübreleme ile yetişme yerindeki tüm vejetasyon gelişme gösterdiğinden, genellikle aralama kesimlerinin yapılması ve diğer vejetasyonun kontrol altında bulundurulması gerekmektedir.

Bir yetişme yerinin gelişme potansiyelini artırmak için son yıllarda sulama da kullanılmakta ve özellikle kurak bölgelerde önemli sonuçlar elde edilmektedir. Hem gübreleme hem de sulama birlikte kullanıldığında ormanda daha fazla artım sağlamak mümkündür.

Odun Kalitesi Üzerine Gübreleme ve Sulamanın Etkisi

Amerikan güney çamlarında yapılan araştırmalara göre, hektarda 179 kg N, 90 kg P, 90 kg K kullanıldığında özgül ağırlığın 0,48'den 0,39'a ve yaz odunu oranının % 47'den % 36'ya düşmesine neden olmuştur. Yani, hektarda 1 m^3'de 90 kg ağırlık kaybı olmaktadır. Bununla beraber artım hızı gübreleme ile hemen hemen % 50 artmaktadır. Diğer bir deyişle hacim artımı, özgül ağırlık azalmasından daha fazla olmuştur.

Almanya'da yapılan diğer bir çalışmada, dikimden önce gübreleme yapılmış ve plantasyon 23 yaşına geldiğinde gübrelenmemiş parsellere göre 4 kat fazla artım gösterdiği tespit edilmiştir. Benzer sonuçlara Douglas göknarı, çam ve lâdinde yapılan araştırmalarda da ulaşılmıştır. Bu çalışmalarda ortalama yoğunluk kaybı yaklaşık % 6–10 kadardır.

Gübreleme–yoğunluk ilişkisi denemeleri genç odun oluşumu sona ermiş ağaçlarda da yapılmıştır. Bu denemelerin sonuçlarına göre; genç yaştaki ağaçlarda gübreleme ile yıllık halka genişlemekte, fakat yoğunluk üzerine etki azalmaktadır. Bu çalışmalarda artım hızıyla yoğunluk azalması eğiliminin, genç ağaçlarda yaşlılara göre daha az olduğu görülmüştür. Genç meşelerde gübreleme ile genç odun oranının özellikle ilk yaşlarda artması ve yıllık halkaların genişlemesinin yanı sıra, dalların çapı da artmakta ve doğal budama gecikmektedir. Bu nedenle, gübreleme uygulamalarında zamanlama önemlidir. Gübreleme, ancak budama programı ile kombine edilecek olursa tomruk kalitesi önemli derecede yükselecektir.

Yapılan bazı araştırmalarda Douglas göknarı ve Amerikan güney çamlarında gübrelemeden sonra ilkbahar odunu traheidleri çeperlerinin kalınlaştığı, yaz odunu traheid çeperlerinin inceldiği sonucuna varılmıştır. Diğer bazı araştırmacılar ise ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş zonunun genişlediğini tespit etmişlerdir. Böylece yıllık halka içerisinde hücrelerin daha yeknesak bir yapıya sahip olduğu gözlenmektedir.

Gübrelemenin odun kalitesi üzerine etkisi genellikle 3–5 yıl kadar sürdüğünden gübreleme devamlı yapılmalıdır. Ancak, iğne yapraklılarda traheid boyları bakımından tespitler çelişkilidir. Bazı araştırmacılar gübrelemeden sonra traheid boylarının % 5–10 kısaldığını, diğerleri ise az da olsa bir artış olduğunu belirtmektedirler. Gübrelemenin kimyasal yapıya etkisi incelendiğinde holoselüloz miktarında hafif azalma, ekstraktif madde miktarında ise küçük artışlar olmaktadır.

Gübrelemenin etkisi geniş yapraklı ağaçlarda daha az incelenmiş ve trahelerin kapladığı hacimde biraz artış olduğu, lif boylarının ise ya sabit kaldığı ya da az miktarda arttığı belirlenmiştir. Bazı dağınık traheli ağaçlarda gübrelemeden sonra önemli bir yoğunluk değişimi gözlenmiştir. Sadece kavaklarda, yoğunlukta bir miktar azalma tespit edilmiştir. Halkalı traheli ağaçlarda ise aralama kesimlerinde olduğu gibi gübreleme ile yoğunluk bir miktar artış göstermektedir.

Sulama ya yalnız, ya da gübreleme ile birlikte kullanılabilir. Sulama hücre boyutlarında orta derecede değişimlere, bazen de yoğunluk bakımından yeknesaklığın artmasına ve genç odun oluşum süresinin uzamasına neden olabilmektedir. Ayrıca, bazı çalışmalar sulama sonunda yaz odunu oranının arttığını ortaya çıkarmıştır. Bu artışın sebebi, sulama ile vejetasyon mevsimi sonunda toprak rutubeti için sınırlamanın kalkmasıdır.

Kullanış Yeri Üzerine Gübrelemenin Etkisi

Masif ağaç malzeme kullanımında önemli olan özellik dirençtir. 16 yaşında gübrelenen ve 36 yaşında kesilen ağaçlarda yapılan araştırmalara göre; hızlı büyüyen geniş yapraklı ağaçlarda gübreleme ile işlenme kabiliyeti ve direnç bakımından önemli değişmeler söz konusu olmamaktadır. Ancak, hem geniş yapraklı hem de iğne yapraklı ağaçlarda genç odun oranı ve budaklılığın artması, genç yaşlarda kesilen ağaçlarda masif malzeme kullanımında ciddi sorunlar çıkarmaktadır. Diğer büyüme karakteristiklerinin masif ağaç malzeme özellikleri üzerine etkisi nispeten düşüktür.

Selüloz randımanı gerek hızlı büyüyen ağaçlarda, gerekse yavaş büyüyen ağaçlarda gübreleme ile farklılık göstermemektedir. Ancak selüloz kalitesi önemli bir husustur. Yapılan araştırmalara göre Amerikan güney çamlarında yaz odunu ile ilkbahar odunu karşılaştırıldığında, odun hamuru üretiminin yaz odununda % 2–7 daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda yıllık halka

genişledikçe, yaz odunu oranı azaldığından selüloz randımanı bakımından düşük sonuçlar elde olunmaktadır. Hızlı büyüyen çam ve Douglas göknarında ise selüloz randımanının, daha yavaş büyüyen kontrol ağaçlarından % 1 daha düşük, % 2 daha fazla olacak kadar geniş bir aralıkta değiştiği görülmüş ve birçok kâğıt hamuru özelliğinin yükseldiği tespit edilmiştir. Yine yapılan araştırmalar gübrelenmiş meşcerelerden elde olunan kâğıt hamurunda daha yüksek yoğunluk, patlama direnci ve çekme direnci bulunduğunu, yırtılma direncinin ise düşük olduğunu göstermiştir. Çekme direncinin yüksek bulunması önemlidir. Genç odundan elde olunan selülozda ise yüksek patlama ve katlanma direnci bulunmuş, fakat ergin odundan elde olunan selüloza göre düşük yırtılma direnci ve opaklık görülmüştür. Bu özelliklerine rağmen, fazla miktarda genç odun oranı içeren kâğıt odunu da kullanım yeri bulabilmektedir.

Sonuç olarak hızlı büyüyen ağaçların masif olarak kullanımında genç odun oranının artması en önemli sorundur. Bu nedenle genç odun oluşumu tamamlandıktan sonra büyümeyi artırıcı tedbirler uygulanmalıdır. Kâğıt odunu eldesinde ise pratikte genç odun oranının en aza indirilmesi ya da kâğıtta arzu edilen bazı özelliklere bağlı olarak genç odun oranının değiştirilmesi, sorunu çözmektedir.

8.4.4 Budama

Budama, ağaç gövdesinin belli bir kısmının dallardan arındırılması için uygulanan silvikültürel tedbirdir. Bir ağaç gövdesinde dal budandığında, bu kısım yara dokusu ile örtülerek kapatılmakta ve zamanla kabuk altında kalmakta, ileriki yıllarda ise budaksız, yüksek kalitede bir odun tabakasının oluşumu söz konusu olmaktadır. Budaksız gövde kısmı oluşması ile gerek masif kullanımda, gerekse kaplama levha üretiminde randıman ve direnç özelliklerinin artması sağlanmaktadır. Budama ile kereste sınıflarında yükselme olduğu gibi, yüksek kalitede kaplama levha randımanı da artmaktadır. Ancak, budama masrafları her zaman, her yerde ve her ağaç türünde uygulama yapmayı engelleyebilir.

Budamada esas itibariyle dallar gövde yüzeyine yakın bir yerden kesilmelidir. Ne kadar çıkıntısız budama yapılırsa, o kadar çabuk yara dokusu ile kapanma söz konusudur. Budanan dalın gövde üzerinde kalan uzantısının 1,9cm yerine 0,6 cm bırakılması halinde, kapanma süresi 10 yıldan 5 yıla düşecek kadar fark ortaya çıkmaktadır. Ancak, topraktan 3–4 m yüksekliklerde dal çıkıntısı her zaman 1,3 cm'den daha uzundur. Oysa ideal olarak tomruk

ortasında budaklı kısmın uzunluğunun mümkün olduğu kadar küçük olması arzu edilir. Bu nedenle budama çok erken yıllarda yapılmalıdır. Yapılan tavsiyelere göre dikimle yetiştirilmiş çamlarda budama, 20–25 cm ve daha büyük çaplı ağaçlarda daha iyi sonuçlar vermektedir. Yaranın kapatılması uzun süren yaşlı ağaçlarda ise budama yapılmamalıdır. Douglas göknarında 38 yaşında budama yapıldıktan sonra kusursuz kaplama levha kalitesi veren gövde kısmı için, budamadan sonra 17 yıla gerek olduğu anlaşılmıştır. Bazı araştırmacılar da aralama ve budamadan 20 yıl sonra kesim yapılmasının uygun olacağını ifade etmektedirler. Kalite artımı ile kesim masraflarının dengelenmesi için en iyisi, ağacın kesiminden en az 40 yıl önce budamanın yapılmasıdır.

Budamanın kalitesi; dal çapına, budama metoduna, çıkıntının yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Testere ile budamada, balta ile budamadan daha hızlı kapanma olduğu belirtilmektedir. Tabiatıyla dal çapının küçük olması, kalın dallara göre açılan yaranın daha çabuk kapanma sebebidir. Geniş yapraklı ağaçlarda budama 5 m yüksekliğin altında tavsiye edilmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda ise ikinci tomruktan sonrası için budama gerekmemektedir.

Budama, ağaç kalitesini dolaylı olarak etkileyebilir. Bilindiği gibi kuru ve yeşil olmak üzere iki budama şekli vardır. Gövdenin alt kısmında kuruyan ölü dalların temizlenmesinin ağacın hızlı büyümesine etkisi yoktur. Yaşayan dalların kabuk seviyesinden budanması ile yapılan yeşil budamadan sonra büyümede artış önemli derecede hızlanmaktadır. Bazı araştırmalar iğne yapraklı ağaçlarda fazla miktarda yeşil budama yapılması ile fotosentez yapan yüzeylerde ve ağacın boy artımında, buna bağlı olarak da odun üretiminde azalma meydana geldiğini ortaya çıkarmıştır. Bu etki çok önemlidir. Çünkü hızlı çap artımı işletmeye ekonomik değer kazandırmak için gereklidir.

Kuvvetli yeşil budamadan sonra geri kalan dalların kalınlaştığı görülür ve yıllık halka içerisinde ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş daha hızlı olabilir. Kuvvetli yeşil budamanın etkisi ile dalsız gövde uzunluğu artar ve ağaçta koniklik azalır. Böylece arzu edilen silindirik bir gövde oluşur. Ancak, bu budama şekli bazı ağaç türlerinde açılan bölge çabuk enfekte olduğu için uygulanmamaktadır. Örneğin; lâdin yeşil budamaya en fazla hassasiyet gösteren türdür. Ayrıca, ağaçta tepe tacının dörtte biri budanırsa çap artması azalabilir. Bazı araştırmacılara göre ise, iğne yapraklı ağaçlarda tepe tacının üçte birinin budanması büyümeyi etkilememektedir.

Kuvvetli yeşil budamanın etkisi geniş yapraklı ağaçlarda da iğne yapraklılara benzer şekildedir. Ancak, geniş yapraklı ağaçlarda budamadan veya aralama kesimlerinden sonra uyuyan tomurcuklardan tekrar dallanma söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle uyuyan tomurcukların faaliyetini önlemek için, yapraklı ağaçlarda az sayıda dalda yoğun budama tedbirleri alınmalıdır.

Sonuç olarak budama, kerestelik ve kaplamalık tomrukların kalitesini artırmada önemli bir tedbirdir. En büyük yararı sağlamak için budamanın kesimden 30–40 yıl önce ve gövdenin alt kısımlarında yapılması gerekmektedir. Canlı dalların bulunduğu kısmın etkinliğini azalttığından kuvvetli budamalardan sakınmalıdır.

8.5 Kalite ve Genetik Gelişmeler

Gelecekte genetik yollarla randıman ve kalitenin artırılması büyük önem kazanacaktır. Günümüzde ormanda üstün büyüme gösteren ve düzgün şekilli seçkin ağaçlar üzerinde genetik çalışmalar yapılmaktadır. Bu ağaçlardan elde olunan tohumlar fidanlıklarda yeni jenerasyonların yetiştirilmesinde kullanılmakta, ayrıca vejetatif üretme bazı türlerin klonlarının geliştirilmesinde önem kazanmaktadır. Son zamanların önemli bir gelişmesi doku kültürü tekniğidir. Bu tekniğe göre ana dokulardan küçük bir kısmın bir deney tüpü içerisinde yerleştirilmesi ve uygun kimyasal bir ortamda büyütülen bitkiciklerin daha sonra fidanlıklara transfer edilmesi esası uygulanmaktadır. Böylece en iyi özellikleri taşıyan seçilmiş ağaçlarda çapraz melezleme yoluyla üstün kaliteli ağaçlar elde olunmaktadır. Seçilen ağaçlarda bulunan özellikler arasında odun kalitesini artıran karakterler de bulunmaktadır.

Geniş yapraklı ve iğne yapraklı ağaçlardan hızlı büyüyenlerde genetik seleksiyonlar gerçekleştirilmekte ve bu ağaçlarda normalden yüksek yoğunluk, fazla miktarda öz odun ekstraktif maddeleri, düşük lignin miktarı ile düşük genç odun oranı ve az dal oluşumunun bulunmasını sağlamanın imkân dâhilinde olduğu tespit edilmiştir. Hatta lif kıvrıklığı eğiliminin bile genetik bir özellik olduğu bilinmektedir. Genetik yollarla ağaçta kabuk kalınlığı, kabukta mevcut taş hücreleri ve diğer arzu edilmeyen elemanların oranının azaltılması da söz konusu olmaktadır.

Ağaçta genetik potansiyeli ifade etmek için kullanılan terimlerden birisi de "kalıtım"dır. Ağaçlarda kalıtımsal özelliklerden en önemlileri özgül ağırlık ve traheid uzunluğudur. Özgül ağırlıkla yakından ilgili olan yaz odunu oranı ve

yaz odunu hücre çeper kalınlığı da yüksek kalıtımsal özelliklerdendir. Yıllık halka genişliğinin kalıtım özelliği düşüktür. Tohum bahçelerinden elde olunan ağaçlarda ilk jenerasyonda genç plantasyonlar için % 10–20 hacim artımı elde edilmektedir. İkinci jenerasyon tohum bahçelerinden elde edilen fidanlarda ise % 35–45 daha fazla hacim artımı sağlanmaktadır. Bilindiği üzere hacim ağırlık değeri; odun hammadde kalitesi ve odunsu materyalden elde olunan metreküpteki ağırlık için önemli bir faktördür.

Bu programların amacı, yıllık halka genişliği kadar özgül ağırlığı da kontrol altına almaktır. Yapılan araştırmalar, ağaç türleri arasında hacim ağırlık değeri bakımından genetik farklılıkların genellikle ağaç yaşı ile arttığını göstermektedir. Yani genç yaşlardaki ağırlık artışı, ileri yaşlardakinden daha az olmaktadır. Çamlarda yapılan araştırmalara göre genetik seleksiyon yardımı ile hacimde % 25, yoğunlukta % 10, kuru ağırlıkta % 26 artış sağlanabilmektedir. Böylece doğal bir ormanda en çok arzu edilen karakteristiklere sahip bulunan ağaçların birçok özelliğini seleksiyonla bir ağaçta toplamak gelecekte mümkün olacaktır.

BÖLÜM 9

GÖVDE ODUNUNDA BÜYÜME İLE İLGİLİ KUSURLAR

Bu bölüme kadar yapılan açıklamalarda ağaç ve odunun normal yapısı incelenmiştir. Ancak, ağaç ve odun yapısında normalden ayrılışlara her zaman rastlamak mümkündür. Ağaçlar yaşayan organizmalar olduğundan, hayatları boyunca çeşitli dış etkilere maruz kalmaktadır. Önemli bir hammadde olan ağaç malzemede çeşitli nedenlerle ortaya çıkan kusurlar, onun kullanış değerini etkileyerek düşürmektedir.

Ağaç malzemenin belli bir kullanış yeri için uygun olan kalite özelliklerinden herhangi bir ayrılış, teknolojide kusur olarak tarif edilmekte, bu özellilerde orta derecede normalden ayrılışlar ise kusur olarak tanımlanmamaktadır. Örneğin; gövde cılızlığı çok ileri derecede olduğu takdirde kusur sayılmaktadır. Yani, yapısal bir özelliğin kusur olarak kabul edilmesi için odunun kullanış amacının bilinmesi gerekmektedir. Çünkü bir kullanış yeri için kusur sayılan bir özellik, diğer bir kullanış yeri için aranan özellik olabilir. Örneğin; lif kıvrıklığı ağaç malzemenin konstrüksiyonda kullanılması bakımından son derecede önemli bir kusur olmasına ve teknik yönden değersiz olarak kabul edilmesine neden olduğu halde, çekici bir görünüş özelliğine sahip olduğu için kaplamacılıkta arzu edilmektedir.

Bu bölümde dikili ağaçlarda çevre etkileri ile meydana gelen büyüme anormallikleri, budak, oluşumu ve öz gibi doğal büyüme karakteristikleri incelenecektir.

9.1 Çevre Faktörlerinin Oluşturduğu Büyüme Kusurları

9.1.1 Gövde Şekli

Çevre faktörlerinin etkisi ile meydana gelen büyüme kusurlarından en önemlisi gövde şeklindeki değişmelerdir. Gövde şeklindeki değişmelerden

gövde cılızlığı, dip şişkinliği ve oluklu gövde oluşumu bu başlık altında ele alınmıştır.

Normal olarak büyüyen bir ağaç dik durmakta, gövde şekli yaklaşık silindirik, gövde enine kesiti ise daire şeklinde olmaktadır. Çeşitli çevre faktörlerinin etkisi ile ağaç gövdeleri dik duruştan ayrılabilmekte ve eğik, eğri, çatallı, bayrak şeklinde gövdeler oluşabilmektedir (Şekil 9.1). Bu oluşumlara neden olan faktörler, rüzgâr, kar yükü, su hareketi gibi mekanik, ışık gibi fizyolojik, don, kuraklık gibi abiyotik ya da insan, hayvan, böcek ve mantarlar gibi biyotik karakterde olabilmektedir.

(A) (B)

Şekil 9.1: (A) Dik duruştan ayrılan eğik gövdeli ağaçlar, (B) Kayın gövdesinde boyuna ekseninin küçük açılar altında değişmesi ile oluşan eğrilik.

Silindirik şekilden ayrılma ağacın doğal eğiliminden kaynaklanır. Çünkü ağacın büyüme şekli nedeniyle, gövde konik bir şekil alma eğilimi göstermektedir. Bilindiği gibi ağaç gövdeleri konik şekilde oluşan odun tabakalarının manto şeklinde üst üste yığılması ile meydana gelmektedir. Normalde gövdenin alt kısmı nayloid, orta kısmı silindirik, üst kısmı ise konik şekildedir. Ancak, bazen ağacın dibinden yukarıya çıkıldıkça çapta hızlı bir azalma görülmektedir. Buna gövde cılızlığı ya da çap düşüşü adı verilir. Gövdede dipten itibaren 2 m'den sonra, her metrede 1,0–1,5 cm'den daha fazla çap azalması söz konusu ise gövde cılızlığı vardır ve birçok kullanış yeri için bu gövde kusurlu sayılmaktadır.

Gövde cılızlığı; ağaç yaşı, ağaç cinsi, büyüme şartları ve tacın büyüklüğü ile ilgilidir. Ağaç yaşı arttıkça daha dolgun gövdeler oluşur. Dolgun gövdeli ağaç cinslerini giderek azalmak üzere, göknar, lâdin, kayın ve çam şeklinde sıralamak mümkündür.

Gövde dolgunluğu bakımından büyüme şartları ele alınırsa, açıkta büyüyen ağaçlarda, meşcere içerisindekilere göre daha belirgin bir gövde cılızlığı görülmektedir. Rüzgâra maruz kalan ağaçlarda da gövde cılızlığı artmaktadır.

Ağaçlarda taç büyüdükçe yine gövde cılızlığı artar. Silvikültürel önlemlerden aralama gövde cılızlığını artırmakta, budama ise azaltmaktadır.

Ağaç gövdesi çeşitli etkiler nedeniyle eğri olarak gelişebilir. Eğrilik tek taraflı, iki taraflı ve çok taraflı olabilir (Şekil 9.1/B–9.2). Eğri gövdeler imalât aşamasında büyük hammadde kayıplarına yol açtığı için önemli bir kusur olarak kabul edilmektedir.

(A) (B)

Şekil 9.2: (A) Kayında iki taraflı eğri gövde, (B) Karaçam gövde odununda tek taraflı eğrilik.

Gövde şeklinin meydana gelişi hakkında birçok teori vardır. Bunlardan (1) Besleme teorisine göre, gövde şekli transpirasyon ile asimilasyon arasındaki denge sonucunda oluşmaktadır. (2) Su iletimi teorisine göre, kök ile taç arasında su iletim dengesinin sağlanması gövde şekli üzerinde etkili olmaktadır. (3)Mekanik teoriye göre, gövde şekli üzerinde ağaç ağırlığı, rüzgâr, kar yükü ve kış donları önemli derecede etkilidir. (4) Hormonal teoriye göre ise büyüme hormonlarının yer değiştirme eğilimi gövde şeklini belirlemektedir.

Bazı ağaçların dip kısımlarında fıçı şeklinde bir şişkinlik oluşur. Dip şişkinliği adı verilen böyle gövde şekilleri daha çok açıkta büyüyen ağaçlarda

görülmektedir. Büyük bir taca sahip ağaçlarda rüzgârın etkisi ile gövdenin dip kısmında meydana gelen gerilmeler, dip şişkinliğine neden olur. Ayrıca, rutubetli yetişme muhitlerinde de ağaçlarda dip şişkinliği görülmektedir.

Bazı ağaçlarda (gürgen, porsuk, ardıç, hickory, yalancı akasya) gövde enine kesiti oluklu ya da dairemsi olabilir (Şekil 9.3). Oluklu gövde oluşumunun genetik bir özellik olduğu kabul edilmektedir. Örneğin; gürgende kalıtımsal olarak oluklu gövde oluşumu vardır. Bileşik öz ışınlarının bulunduğu kısım, yakınındaki doku kadar hızlı bir gelişme göstermediğinden gürgende enine kesit dalgalı gelişmektedir.

(A) (B)

Şekil 9.3: Oluklu gövde enine kesiti.

Genellikle aşırı rüzgâr etkisi ile ağaç gövdeleri dairesel enine kesitten uzaklaşabilir ve değişik enine kesit şekilleri meydana gelebilir. Kuvvetli rüzgârın daima aynı yönde esmesi sonucunda elips, oval, I- kirişi ya da düzensiz enine kesitler oluşmakta ve enine kesitin çapı, rüzgârın estiği tarafta daha büyük olmaktadır. Daire şeklinde olmayan gövde enine kesitleri tacın tek taraflı gelişmesi ile meydana gelir. Dairesellikten uzaklaşmış bütün enine kesitler, imalât sırasında büyük hammadde kaybına neden olduğundan birçok kullanış yeri için kusur olarak kabul edilirler. Böyle gövdelerde lif yönünde değişme ve bazen reaksiyon odunu da bulunabilir.

9.1.2 Lif Yönünde Sapma

Ağaçlarda boyuna yönde uzanan hücrelerin eksene paralelliğinden herhangi bir ayrılış olduğunda malzemenin direnci azalacağından, lif yönündeki sapmalar kusur sayılmaktadır. Bazı ağaçların kabuğundaki yarıklardan gövde

odununda lif yönünün spiral bir şekilde seyrettiği anlaşılabilir (Şekil 9.4/A). Bazı ağaçlarda kabuk üzerindeki yarıklar odundaki lif gidişinin anormal olduğunu belli etmeyebilir. Bu durumda, kabuk soyulduktan sonra, kuruma çatlakları yardımıyla lif yönü hakkında fikir edinilebilir. Yeni kesilmiş ve kabukları soyulmuş gövde kısımları açıkta kurumaya bırakılırsa, gövdenin dış kısmındaki lif gidişine paralel ince yüzeysel çatlaklar oluşur (Şekil 9.4/B). Liflerin ağaç eksenine paralel seyredeceği yerde, sağa veya sola eğilimli seyretmesi ya da gövdede yukarıya doğru spiral bir şekilde ilerlemesine lif kıvrıklığı adı verilmektedir.

(A)

(B)

Şekil 9.4: (A) Meşe gövdesinde sağa doğru spiral liflilik olduğunu gösteren kabuk yarıkları, (B) Karaçam gövde kısmında % 12 lif kıvrıklığı bulunduğunu gösteren yüzeysel çatlaklar.

Lif yönü ile gövde ekseni arasındaki açı birkaç dereceden, çok ekstrem hallerde 90°'ye kadar değişmektedir. Lif kıvrıklığı özden çevreye doğru değişebilmekte ya da gövde ve dallarda farklı olabilmektedir. Spiralliğin yönünde de değişiklikler olabilir. Devamlı sağa ya da sola doğru lif kıvrıklığı görülebileceği gibi, ilk yaşlarda bir tarafa, ileri yaşlarda aksi tarafa olmak üzere ilerleyen (girift liflilik gibi) çeşitli varyasyonlara rastlamak her zaman mümkündür.

Lif kıvrıklığının transpirasyon ile ilgili fizyolojik bir oluşum olduğu kabul edilmekle beraber, oluşum nedeni tam olarak açıklığa kavuşturulmamıştır. Aynı şartlarda yetişen bazı ağaçlarda lif kıvrıklığı bulunurken, diğerlerinde

rastlanmayabilir. Ayrıca, bu kusurun genetik olarak tohumlardan geçtiği de tespit edilmiştir.

Diğer bir görüş olarak, çevre faktörlerinden rüzgârın döndürücü etkisi ve güneşin hareketinin lif kıvrıklığına neden olduğu ileri sürülmektedir. Lif kıvrıklığının artışında ağaçların dış etkenlere, özellikle rüzgâr etkisine karşı direnç sağlamak üzere hücreler oluşturmalarının etkili olduğu görüşü akla en yakın görünmektedir. Bu kusurun bulunduğu ağaçlarda ilkbahar odunu traheidlerinin çeperleri normalden daha fazla kalınlaşmaktadır. Yetişme yerinin etkisini belirlemek için yapılan çalışmalarda kızılağaçta iyi yetişme ortamında, radiata çamında ise sık meşcerelerde daha az lif kıvrıklığı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, silvikültürel önlemlerden budamanın, gövdenin alt tarafında lif kıvrıklığını azalttığı belirtilmiştir.

Lif kıvrıklığı bulunan ağaçlardan elde edilecek malzemede, maruz kaldığı yükleme tipine ve lif açısına bağlı olarak direnç azalır (Tablo 9.1). Lif kıvrıklığı odunun daralma ve genişlemesi ile cilâlanması üzerinde de olumsuz etki yapmaktadır. 10 m'de bir defa tam dönüş yapan lif kıvrıklığı birçok maksat için ilgili gövde kısmının standart dışı kalmasına neden olmaktadır. Örneğin; lif kıvrıklığı olan bir gövde tel direği olarak kullanıldığında, belli bir açıdan sonra önemli olumsuzluklar ortaya çıkar. Sola doğru lif kıvrıklığı olan tel direkleri, sağa doğru lif kıvrıklığı olanlardan daha fazla çarpılma göstermektedir.

Tablo 9.1: Düzgün Lifli Bir Ağaç Malzeme ile Lif Kıvrıklığı Bulunan Malzemeler Arasında Direnç Özellikleri Bakımından Karşılaştırma

Lif Kıvrıklığı (%)	Eğilme Direnci (%)	Dinamik Eğilme (Şok) Direnci (%)	Liflere Paralel Basınç Direnci (%)
Düzgün Lifli	100	100	100
4	96	95	100
5	93	90	100
7	89	81	100
10	81	62	99
20	55	36	93

Dikili ağaçlarda gövde içerisinde lif kıvrıklığının ne şekilde seyrettiğini anlamak için gövdeden artım kalemleri çıkartılıp, teğet yönde yarılmakta ve bir damla mürekkep damlatılarak inceleme yapılabilmektedir. Kabuğu soyulmuş tomruk ve direklerde yüzeysel kuruma çatlaklarının gidişi ölçülerek lif kıvrıklığı derecesi belirlenebilmektedir. Kereste ve kaplama levhalarda ise teğet yüzeylerde trahelerin, öz ışınlarının, reçine kanallarının ve yüzeysel çatlakların

ilerleyiş şekli ya da radyal yüzeylerde yıllık halka sınırları incelenerek lif kıvrıklığı tespit edilebilir.

Spiral liflilikten başka girift liflilik de malzemede kusur olarak kabul edilmektedir. Çünkü girift liflilik malzemede yarılmayı, eğilme direncini ve elâstikiyet modülünü büyük çapta azaltmaktadır. Ancak, girift lifli ağaçlardan elde edilen radyal biçilmiş kaplama levhalar dekoratif özelliklere sahip olduğundan mobilya sanayiinde tercih edilmektedir.

Ayrıca, düzgün lifli tomruklar kabuğa paralel değil de öze paralel olarak biçilecek olursa, elde edilen malzeme üzerinde lif yönünün eksene paralel gitmediği görülecektir. Buradaki lif sapması, yanlış kesiş nedeniyle meydana gelen bir kusurdur. Diyagonal liflilik adı verilen bu kusur, en iyi şekilde radyal yüzeylerde belirlenmekte ve malzemede direnç özelliklerini düşürücü etki yapmaktadır. Yani, malzemede lif kıvrıklığının yarattığı olumsuzluklara benzer etkiler göstermektedir.

Ağaç malzemede görülen lif kıvrıklığı, büyük budakların çevresindeki düzensiz lif yönü gidişi ve diyagonal liflilik gibi bütün lif yönü sapmalarına çapraz liflilik adı verilir.

Çapraz liflilik değeri $\alpha = \sqrt{s^2 + d^2}$ eşitliği yardımıyla saptanmaktadır.

Burada α = Çapraz liflilik yüzdesini,
s = Lif kıvrıklığı yüzdesini,
d= Diyagonal liflilik değeri yüzdesini ifade etmektedir.

9.1.3 Anormal Yıllık Halka Yapısı

Anormal yıllık halka yapısı en iyi şekilde enine kesitlerde görülmektedir. Normal yapıdan ayrılmış enine kesitlerde; eksantrik öz, yalancı yıllık halkalar, devamlı olmayan yıllık halkalar, dişli yıllık halkalar, çift (ikiz) ya da çok özlü oluşumlar görülebilir. Bunların her biri yapısal bir kusurdur, fakat teknoloji bakımından etkinlik dereceleri farklıdır.

Eksantrik öz oluşumu

Gövdede özün ortada olmayıp, dışa doğru başka bir yerde bulunması halidir (Şekil 9.5). Özün ortadan 5 cm uzakta bulunduğu gövdeler kusurlu olarak değerlendirilirler. Eksantrik öz bulunuşu, genellikle gövdenin oval oluşu

ile anlaşılmaktadır. Ancak, bazı hallerde dairesel enine kesitlerde de eksantrik öz ve yıllık halka gidişine rastlanmaktadır. Eksantrik öz, ağaçlarda gövdenin tek taraflı olarak daha iyi beslenmesi, yani tacın tek taraflı gelişmesi, tek yönlü kuvvetli rüzgâr ya da aşırı kar yükü ile oluşabilir. Ayrıca, ağaç gövdesinin eğri olarak gelişmesi de eksantrik öz oluşumuna neden olmakta ve eğri gövdelerde bu oluşum, reaksiyon odunuyla birlikte bulunmaktadır.

(A) (B)

Şekil 9.5: (A) Kırmızı meşede, (B) Kayında eksantrik öz oluşumu.

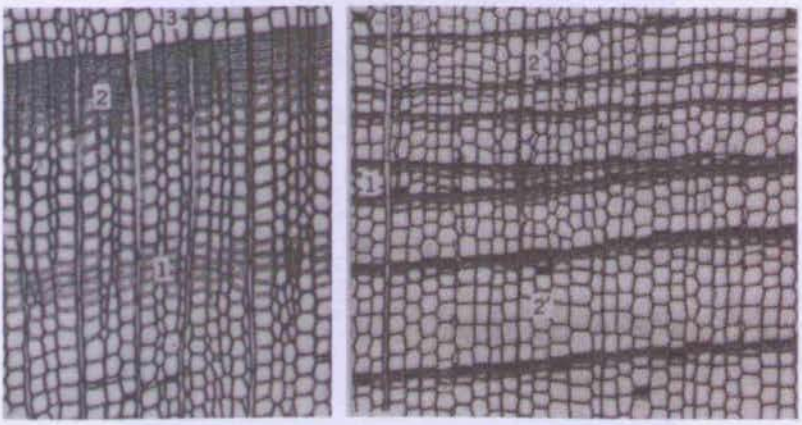
Yalancı Yıllık Halkalar

Yalancı yıllık halkalar, ağaçlarda büyüme esnasında mevsim içi farklılıklar nedeniyle bir vejetasyon döneminde birden fazla yıllık halka görüntüsünün oluşmasıdır. Örneğin; özellikle yazları kurak geçen iklim bölgelerinde mevsimin önce kurak, sonra yağışlı geçmesi durumunda ve fazla yağıştan sonra bu tip yıllık halkalara rastlanmaktadır. Ayrıca, böcek ve mantar saldırıları ya da geç kalan donlarla yaprakların dökülmesi bu tip yıllık halka oluşumuna yol açmaktadır.

Mevsim içi değişiklikler uçlardaki meristematik büyümeyi durdurursa, auxin hormonu üretimi azaldığından, yaz odunu tipinde hücreler oluşmaktadır. Bu olaylar boy büyümesini durdurmayıp yavaşlatırsa, ayni yıllık halka içerisinde bir süre sonra uygun gelişme şartları oluştuğunda tekrar ince çeperli ilkbahar odunu hücreleri üretilmektedir.

Yalancı yıllık halkalara bütün ağaç türlerinde rastlanmakla beraber kurak bölgelerde yetişen ağaçlarda, örneğin; *Pinus radiata*, *Pinus brutia* ve *Taxodium*

distichum'da çok görülmektedir. Kızılçamlarda gövde boyunca her yükseklikte, fakat çoğunlukla taç kısmında rastlanırlar. Yalancı yıllık halkalar her zaman çıplak gözle fark edilmeyebilir, ancak lup ya da mikroskop altında kolaylıkla tespit edilirler. Yalancı yıllık halkalar bir vejetasyon mevsiminde yaz odunu tabakasından sonra, ikinci bir ilkbahar odunu ve sonra yine yaz odunu tabakası oluşturularak, sanki iki yıllık halka oluşmuş izlenimini verirler (Şekil 9.6/A). Değişme iğne yapraklı ağaçlarda çeper kalınlığında, geniş yapraklı ağaçlarda ise trahe ve diğer hücrelerin dağılışı, adedi ve çaplarındaki farklılıklar olarak ortaya çıkmaktadır. Teknik bakımdan kusur sayılmayan bir oluşumdur.



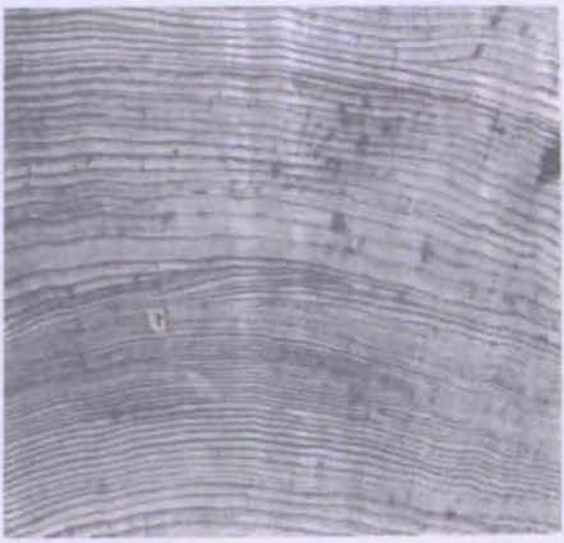
(A) (B)

Şekil 9.6: (A) *Taxodium distichum*'da yalancı yıllık halka (55x). (1) çeperleri kalınlaşmış ve yassılaşmış traheidler, bu bölgede yıllık halka sınırı belirgin görülmemektedir. (2) Normal yıllık halka. (B) *Sequoia sempervirens*'de devamlı olmayan yıllık halka (70x). (1) Devamlı olmayan bir yıllık halka, (2') Normal yıllık halka.

Devamlı Olmayan Yıllık Halkalar

Devamlı olmayan yıllık halkalar, özün etrafında tam bir halka oluşturmayan yıllık halkalardır (Şekil 9.6/B). Kambiyumun bir veya birkaç yerinden yaralanması ya da baskı altında kalarak beslenme yetersizliği nedeniyle faaliyet göstermemesi durumunda meydana gelmektedir. Kambiyumun bir ya da bir kaç bölgesinde auxin hormonlarında gecikme olması, gelişmeyi durdurur. Çeşitli amaçlar için artım burgusu ile örnek alınan ağaçlarda da devamlı olmayan yıllık halkalar görülmektedir. Ülkemizde daha çok *Juniperus*'larda rastlanır. Kambiyumun faaliyetinin durduğu bu kısımda inisiyaller ölmemekte, sadece faaliyetten geri kalmaktadır. Örneğin; lâdinde 10 yıl süre ile gövdenin bir tarafında kambiyum inisiyallerinin farklılaşmış odun

hücresi oluşturmadıkları görülmüştür. *Sequoia*'larda 50 yıl hiç faaliyet göstermeyen Kambiyum bölgesinin, sonra tekrar yıllık halka ürettiği tespit edilmiştir. Devamlı olmayan yıllık halkalar teknik bakımdan kusur sayılmazlar, ancak yaş ve artım belirleme çalışmalarında dikkatli davranmak gerekmektedir (Şekil 9.7). Bu oluşum özellikle hasılat araştırmalarında yanlış hesaplamalara neden olabilir.

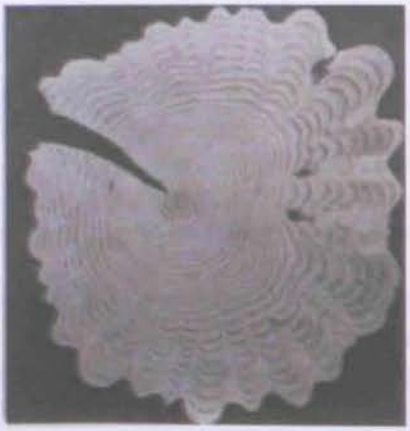


Şekil 9.7: *Sequoia sempervirens*'de devamlı olmayan yıllık halkalar.

Dişli Yıllık Halkalar

Lâdin, göknar, çam ve Douglas göknarı gibi iğne yapraklı ağaçlarda bazen görülen yıllık halka tipidir (Şekil 9.8). Oluşum sebebi bilinmemekle beraber, çoğunlukla yüksek yerlerde yetişen ağaçlarda, çok ender olarak da sıcak bölgelerde yetişen ağaçlarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Dişlerin bulunduğu kısımlarda öz ışınlarının sayısı % 40–50 kadar artmakta, öz ışınlarının boyları ise azalmaktadır.

Dişli yıllık halkalar *Picea abies*'te çok görülmekte ve müzik aletleri yapımında kullanılmaktadır. Dişli yıllık halka yapısının, odunun akustik özelliklerini arzu edilen seviyede tuttuğu belirtilmektedir. Ayrıca, dişli yıllık halkalar ile birlikte bulunan lif sapmaları, odunun direnç özelliklerini azaltacak derecede etkili olmadığından, malzemenin kullanım değerini düşürmemektedir. Ağaç dikili iken (kabuk üzerinden) dişli yıllık halka bulunduğunu anlamak mümkün değildir.



Şekil 9.8: Lâdinde dişli yıllık halkalar.

Çift ya da Çok Öz Oluşumu

Çift ya da çok özlülük, iki ya da daha fazla gövdenin birbirine kaynaşarak bir süre tek gövde şeklinde büyümesinden kaynaklanmaktadır (Şekil 9.9). Bu şekilde gelişen gövdeden çatallanmanın alt tarafından alınan kesitlerde çoklu öz oluşumu görülebilir (Şekil 9.9/B). Bir dalın gövde içine gömülmesi, iki ya da daha fazla sayıdaki fidan ve sürgünün artım yolu ile birleşmesi de bu gibi oluşumları meydana getirmektedir. Malzeme kalitesi üzerinde önemli derecede olumsuz etkisi bulunduğundan, arzu edilmeyen bir oluşumdur ve teknoloji bakımından kusurdur.

(A) (B) (C)

Şekil 9.9: İkiz ve çoğul gövde oluşumu. (A) Kayında ikiz gövde, (B) Kayında ikiz gövde enine kesiti, (C) Kızılçamda dörtlü gövde.

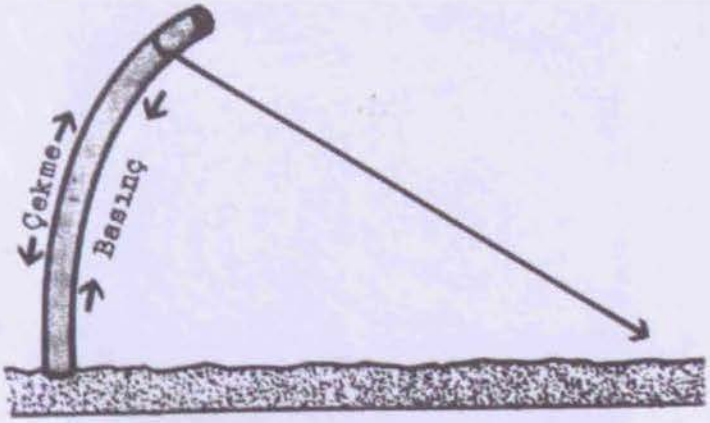
9.1.4 Reaksiyon Odunu

Reaksiyon bir uyarıya tepkidir. Ağaçlar dikili haldeyken maruz kaldığı yük ya da kuvvetlerle eğilmeye zorlanırlar. Ağaçların bu yük ve kuvvetlere karşı gösterdikleri tepki sonucunda oluşan oduna, reaksiyon odunu adı verilmektedir. Yani, bir ağacın ana gövdesi ya da yan gövde ve dalları normal yönden ayrılmaya zorlandığında reaksiyon odunu oluşmaktadır.

Reaksiyon odunu iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlarda farklı şekillerde meydana geldiğinden, isimlendirilmeleri de farklıdır. İğne yapraklı ağaçlarda reaksiyon odununa basınç odunu, geniş yapraklı ağaçlarda ise çekme odunu adı verilir. Her ikisinde de reaksiyon odununun fonksiyonu, gövde ya da dalları orijinal durumuna getirmeye yöneliktir.

Reaksiyon odunu oluşumu, ormanda ağaçların dik büyümesini sağlayacak silvikültürel önlemlerle bir dereceye kadar kontrol altına alınabilir. Örneğin; fidanların çok sık dikilmemesi, rüzgâr perdelerinin tesisi, ince ve uzun boylu ağaçlarda zamanında aralamalar yapılarak rüzgâr etkisinin önlenmesi gibi tedbirlerin alınması, yararlı olmaktadır. Ancak, reaksiyon odunu oluşumunu önlemek bakımından bu tedbirler % 100 başarılı olamaz. Çünkü bir ağacın yaklaşık 24 saat süreyle 2°'lik bir açı ile meyilli kalması anormal odun oluşumuna yol açabilir. Bu nedenle reaksiyon odunu sadece eğik gövdelerde değil, son derece düzgün ağaçlarda da bulunabilir. Dik meyille yamaçlarda yetişen ağaçlarda ise mutlaka görülmektedir. Özellikle topraktan 50–200 cm yükseklikteki gövde kısımlarında reaksiyon odunu oluşumuna rastlanmaktadır.

Dikili bir direğe uç kısmından bir kuvvet uygulanırsa, eğilecektir (Şekil 9.10). Direğin çekilen tarafı basınç gerilmeleri altında kaldığı için kısalmaya eğilimlidir. Direğin diğer tarafı ise çekme gerilmeleri nedeniyle hafif bir şekilde uzar. Bu örnekte olduğu gibi, reaksiyon odunu iğne yapraklı ağaçlarda eğilen gövdenin basınç tarafından oluşarak basınç odunu, geniş yapraklı ağaçlarda ise çekme gerilmeleri tarafında oluşarak çekme odunu adını almaktadır.



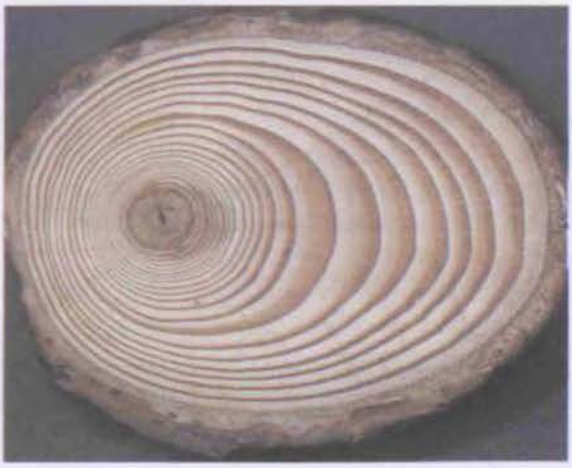
Şekil 9.10: Eğilmeye zorlanan bir direkte farklı gerilme kuvvetlerinin oluşması.

Basınç odunu ve çekme odununda yapısal bazı benzerlikler bulunmakta, her ikisinde de enine kesitte eksantrik öz oluşumu ve reaksiyon odununun bulunduğu tarafta geniş yıllık halkalar görülmekle beraber, birçok bakımdan farklı özelliklere sahiptirler.

9.1.4.1 Basınç Odunu

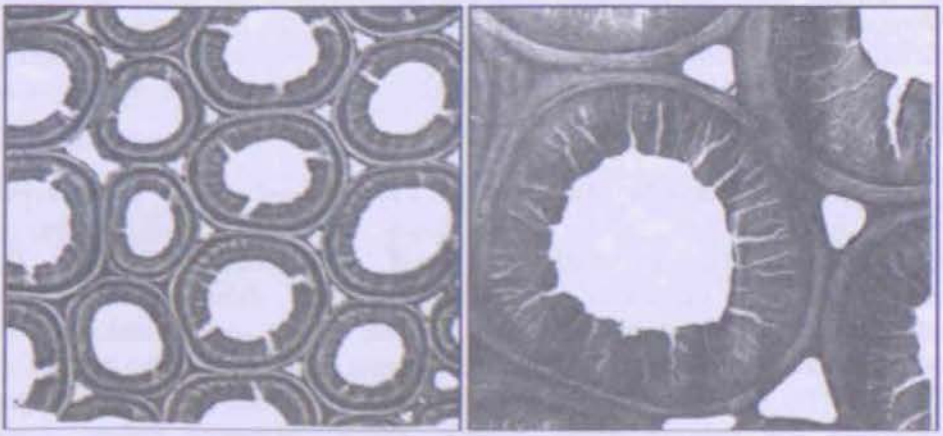
Basınç odunu, eğik ya da eğri büyüyen iğne yapraklı ağaçların gövdesinde kuvvetin geldiği yönün ters tarafında ve hemen hemen bütün dallarında oluşan anormal bir odundur. Bir istisna olarak lâdin gibi sarkık dallı türlerin dal odunlarında genellikle basınç odunu bulunmamaktadır. Basınç odunu, normal odundan çok farklı özelliklere sahip olduğundan teknolojistler tarafından önemli sayılmaktadır.

Basınç Odununda Makroskopik Yapı: Basınç odunu makroskopik olarak incelendiğinde, gövde enine kesiti oval, yıllık halkalar basınç gerilmelerinin bulunduğu tarafta daha geniş, diğer tarafta daha dardır. Öz eksantrik ve yıllık halkalarda yaz odunu oranı yüksek, ilkbahar odunu ile yaz odunu arasındaki kontrast daha azdır. Basınç odunu, çevresindeki normal odundan daha koyu renkte, genellikle kırmızımsı kahverenginde ve belirgindir (Şekil 9.11). Bu durum özellikle koyu renkli öz odunu bulunmayan ağaç türlerinde çok belirgin olarak görülür. Basınç odununun yoğun olarak bulunduğu bölgede yıllık halkalar tamamen yaz odunu tabakasından meydana gelmekte, az miktarda bulunduğunda makroskopik olarak tanımak güçleşmektedir.



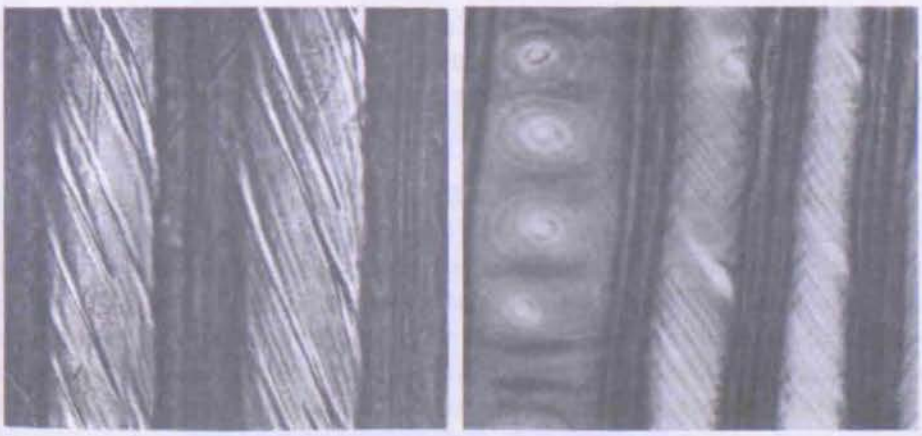
Şekil 9.11: *Larix decidua* 'da eksantrik gövde enine kesiti ve basınç odunu.

Basınç Odununda Mikroskopik Yapı: Basınç odununda mikroskopik yapı çok belirgindir. Enine kesitte traheidlerin şekli dairemsi olup, traheidler arasında hücreler arası boşluklar bulunmaktadır. Hücre çeperleri ilkbahar odunu tabakasında da kalındır ve hücre çeperlerinde çatlaklar görülür (Şekil 9.12). Radyal kesitlerde bu çatlaklar hücre ekseni ile 40°–60° açı yaparak, spiral şekilde ilerlemektedir (Şekil 9.13). Traheid boyları normal odundakinden % 30 kadar daha kısadır ve uçları eğri ya da bükülmüş durumdadır.



(A) (B)

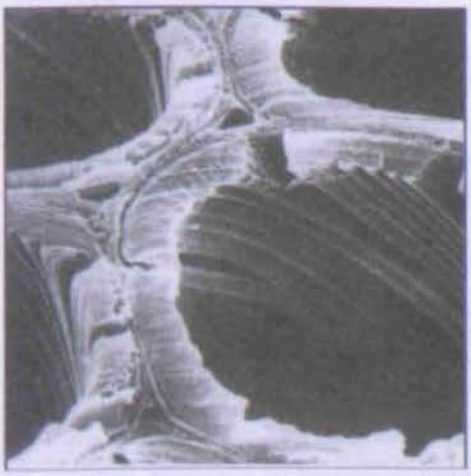
Şekil 9.12: Melezde basınç odunu oluşumu. (A) Yuvarlaklaşan traheidler ve hücreler arası boşluklar (900x). (B) Hücre çeperlerinde çatlaklar (1600x).



(A) (B)

Şekil 9.13: Basınç odununda traheidlerin radyal yüzeylerinde çatlakların oluşumu, (A) *Sequoia sempervirens* (900x), (B) *Larix laricina* (900x).

Basınç Odunu Ultramikroskopik Yapısı: Basınç odunu traheidlerinin sekonder çeperinde S_3 tabakası yoktur. S_2 tabakasında mikrofibril açısı büyüktür ve mikrofibriller yatık helezonlar oluştururlar. Hüce çeperindeki çatlakların ilerleme yönü, mikrofibrillerin yönüne paraleldir (Şekil 9.14). Basınç odunu spiral kalınlaşmalar bulunan bir ağaç türünde oluşursa, S_3 tabakası bulunmadığı için spiral kalınlaşmaların S_2 tabakası üzerinde yer aldığı görülmektedir.



Şekil 9.14: *Pinus radiata*'da basınç odunu traheidlerinde çatlaklar (SEM. 2500x).

Basınç Odununda Kimyasal Yapı: Basınç odunu normal oduna göre % 10 daha az selüloz, % 8–9 oranında daha fazla lignin ve hemiselüloz içermektedir. Bu kimyasal yapı, basınç odununun selüloz ve kâğıt üretiminde kullanımını kısıtlamaktadır.

Basınç Odununda Fiziksel ve Mekanik Özellikler: Basınç odununda fiziksel özelliklerden özgül ağırlık ve boyuna daralma normal odundan daha yüksektir. Basınç odununda traheid çeperlerinin kalın olması, özgül ağırlığın % 40 kadar daha yüksek olmasına yol açar. Basınç odunu traheidlerinin S_2 tabakasında mikrofibril açıları büyük olduğundan boyuna yöndeki daralma % 6–8'e kadar yükselmektedir. Yani, normal odundaki boyuna daralmanın (% 0,1–0,6) yaklaşık 10 katı kadar artmaktadır. Radyal ve teğet yönlerdeki daralma miktarı ise daha düşük olup, normal değerin yarısı kadardır.

Basınç odununun direnci normal odundan daha zayıftır. Fakat yükleme tipine göre farklılıklar görülebilir. Örneğin; liflere paralel yöndeki basınç direnci daha yüksek, elâstikiyet modülü, eğilme direnci ve şok direnci ise daha düşük olmaktadır. Normal odunda hücre çeperine bağlı su azaldıkça ve özgül ağırlık arttıkça, direnç değerleri artar. Ancak, bu normal ilişkiler basınç odununda geçerli değildir. Örneğin; taze haldeki ağaç malzemenin basınç odununda eğilme, basınç ve şok dirençleri daha yüksektir.

Basınç Odununun Değerlendirilmesi: Yukarıda sayılan özellikleri nedeniyle basınç odunu, önemli bir kusurdur. Malzemede anormal daralmaya, çatlamaya, çarpılmaya ve deformasyona neden olur. Çeşitli yükler altında kullanılacak yapı elemanlarında basınç odunu bulunması kırılmalara yol açar. Alet sapları, merdiven ve gemi direği gibi birçok kullanım alanında hafif, fakat direnci yüksek olan ağaç malzemenin kullanılması arzu edilmektedir. Oysa basınç odununda direnç–özgül ağırlık ilişkisi normal değildir. Bu nedenle ağaç malzemenin masif halde kullanılacağı birçok yerde basınç odunu kısmının çıkarılması, sonra değerlendirilmesi tavsiye edilmektedir.

Basınç odununda traheid boyları kısa olduğu ve % 10 oranında daha az selüloz, % 9 kadar daha fazla lignin içerdiği için bisülfit metodu ile kâğıt üretiminde düşük dirençli selüloz elde edilmektedir. Ancak, Sülfat metodunda etkisi daha azdır. Hammaddede orta derecede basınç odunu bulunuyorsa, elde edilen kâğıdın yırtılma direnci fazla miktarda düştüğü halde, diğer özellikleri etkilenmemektedir.

9.1.4.2 Çekme Odunu

Çekme odunu, geniş yapraklı ağaçlarda görülen reaksiyon odunu tipidir. Eğri gövdenin gerilme tarafından, yani üst tarafında oluşmaktadır.

Çekme Odununda Makroskopik Yapı: Çekme odunu, basınç odununa göre makroskopik bakımdan daha güç ayırt edilmektedir. Gövde enine kesitinde bir bölgede görülebildiği gibi, düzensiz bir şekilde dağılmış da olabilir (Şekil 9.15). Çekme odununda gövde enine kesiti elips, öz eksantrik, yıllık halkalar geniştir. Ancak istisnalar da görülebilir. Örneğin; *Tilia americana* gövdesinde çekme odununun aksi tarafında da geniş yıllık halkalar görülmektedir. Bazı geniş yapraklı ağaç türlerinde (*Catalpa*'da olduğu gibi) gövdede ve köklerde eksantrik yapı gelişmeden de çekme odunu oluşabilmektedir.

Şekil 9.15: Geniş yapraklı ağaçlarda dalda çekme odunu oluşumu.

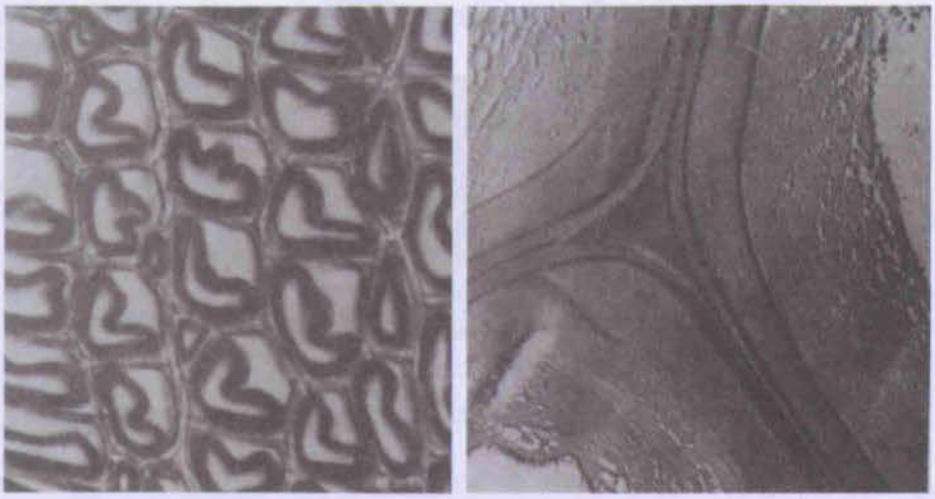
Bazı türlerde makinelerle işlenen yüzeyleri ipek gibi parlak ve normal odundan daha açık renklidir. Bazı tropik ağaçlarda ise çekme odunu kısmı daha koyu renkte olmaktadır. Bu belirsiz göstergeler çekme odunu kısmının, tamamen çekme odunu dokusundan oluşmadığını açıklamaktadır. Çekme odunu normal hücrelerle karışık olarak bulunabildiğinden, şüpheli hallerde malzeme yüzeyine çinko–klor–iyot ayracı fırçayla sürüldüğünde çekme odunu mavimsi gri ya da mavimsi mor bir renk almakta, normal odun ise sarımsı kahverengine dönüşmektedir. Bu amaçla lignin indikatörü olan floroglusin–HCL ayracı da

3

kullanılabilmektedir. Ancak, geniş yapraklı ağaçlarda gövdenin eğim derecesine bağlı olarak çekme odunu oranı da değiştiğinden, mikroskop altında laboratuar metotları ile yapılacak tanım daha güvenilir olmaktadır.

Çekme Odununda Mikroskopik Yapı: Çekme odunu trahelerinin normal odundan daha küçük ve daha az sayıda olduğu, öz ışını sayısının daha az olduğu, boyuna paranşim hücrelerinin boyutlarında ve miktarında azalmalar olduğu görülmektedir. En önemli değişiklik lif hücrelerinde saptanmıştır. Lif hücrelerinin oranı daha fazla, çapları küçük, boyları daha uzun, çeperleri anormal şekilde kalınlaşmış, lümenleri çok küçük olup, çeperin lümen tarafında jelâtin tabakası (G tabakası) adı verilen yeni bir çeper tabakası oluşur. Lif hücrelerinde çeperler normal odundakilerden çok daha fazla ligninleşmiş ve sekonder çeper tabakaları primer çeper ile gevşek bir şekilde bağlanmıştır (Şekil 9.16). Çekme odununun aksi tarafındaki lif hücrelerinin boyları daha kısa ve sayıları daha azdır.

Çekme odunu tarafında kabuk birçok ağaç türünde kalınlaşmış olup, normalden daha fazla kalın çeperli ve jelâtin tabakalı floem lifleri içermektedir.



(A) (B)

Şekil 9.16: (A) Kavakta çekme odunu liflerinde jelâtin tabakası (700x). (B) Çitlembikte çekme odunu liflerinde jelâtin tabakası (SEM x7700).

Çekme Odununda Ultramikroskopik Yapı: Lif hücrelerinin çeper yapısı incelendiğinde Jelâtinli tabakanın liflerin değişik üç çeper tabakası üzerinde yerleştiği görülmektedir: (1) Jelâtin (G) tabakası lif hücrelerinin S_3

tabakası üzerinde oluşur (S_1+S_2+S_3+G). (2) Jelâtin tabakası S_2 üzerinde oluşur (S_1+S_2+G) ve S_3 tabakası yoktur. (3) Jelâtin tabakası S_1 üzerinde oluşur (S_1+G) ve S_2–S_3 tabakaları yoktur. Bu çeper düzeni gövde eğriliğine ve hücre gelişim safhalarına bağlıdır. Örneğin; S_1 ve S_2 tabakaları oluşumundan sonra gövdede eğilme başlarsa, normal hücre çeperi gelişimi durarak, G tabakası oluşmaktadır. Bu tabaka, normal liflerdeki S_2 tabakası kadar ya da daha fazla genişlikte olup, hücre ekseni ile 5°'lik açı yapan selüloz mikrofibrillerinden oluşmaktadır. Selülozun kristallik oranı fazladır.

Çekme Odununda Kimyasal Yapı: Yapılan incelemelere göre çekme odununda selüloz miktarı normal odundan % 10 kadar daha fazla, lignin miktarı ise daha düşüktür. Selüloz miktarındaki artış jelâtin tabakasının kalınlığı oranında yüksektir. Jelâtin tabakası % 98 oranında selüloz ve az miktarda diğer polisakkaritleri içerir. Çekme odunu paranşim hücrelerinde depolanan nişasta ve şekerler, enine kesitin aksi tarafında daha az miktardadır. Bu durum, depo maddeleri ile beslenen organizmaların çekme odununa arız olma ihtimalini azaltmaktadır.

Çekme odununda selüloz miktarı fazla olduğundan, özellikle kimyasal yolla elde edilen saf selüloz randımanı normal odundan daha yüksektir. Saf selüloz, lif hücreleri direncinin önemsiz olduğu selofan, nitroselüloz ve suni ipek yapımında değerlendirilir. Ancak, çekme odunu mekanik yöntemle daha kolay liflendirilmesine ve lignin oranı daha düşük olduğu için işlenme kolaylığı olmasına rağmen, elde edilen odun hamuru direnci normal odun liflerine göre daha düşük kalitededir.

Çekme Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikler: Çekme odununda fiziksel özelliklerin normal odundan farklı olduğu, fakat farklılığın basınç odununa göre çok daha az olduğu görülmektedir. Çekme odununda özgül ağırlık hücre çeperlerinin yapısına bağlı olarak artar. Özgül ağırlık ince çeperli lif hücrelerine sahip geniş yapraklı ağaçlarda % 5–10 arasında, kalın çeperli lif hücrelerine sahip geniş yapraklı ağaçlarda ise % 30 ya da daha fazla oranda artar. Ancak, ekstrem bir durum olarak *Tilia* çekme odununda özgül ağırlık normalden daha düşük bulunmuştur.

Çekme odununda boyuna yönde daralma normal odundan ortalama %1–2 kadar daha fazladır ve bu fark çekme odununda jelâtinli liflerin sayısı ile doğrudan ilgilidir. Aslında jelâtin tabakasında mikrofibriller hücre eksenine hemen hemen paralel seyrettiğinden, boyuna yönde daralma söz konusu değildir. Boyuna yönde daralmanın fazla olmasının nedeni, S_1 ve S_2

tabakasındaki mikrofibril açılarının yüksek olmasından kaynaklanır. Ayrıca G tabakası diğer çeper tabakalarına gevşek bir şekilde bağlandığından, normal odundaki S_2 tabakası gibi daralmayı önleyici etkisi yoktur.

Boyuna daralma oranında % 1'lik bir artış önemsiz gibi görülmekte ise de boyuna yöndeki küçük bir değişme önemli sorunlar yaratmaktadır. Örneğin; boyuna yönde % 0,5'lik bir artış, ağaç malzemede her 120 cm uzunlukta 6 mm'ye kadar ulaşmaktadır. Boyuna yönde daralma yüzdesinin artması, teorik olarak enine yönde daralmanın daha azalmasına neden olur.

Çekme odununda direnç, normal odunla karşılaştırıldığında daha olumsuz özellikler göstermektedir. Çekme odunu aynı yoğunluktaki normal odundan daha düşük değerdedir. Eğilme direnci, makaslama direnci, elâstikiyet modülü ve özellikle liflere paralel yöndeki basınç direnci düşüktür. Hava kurusu halde şok direnci normal odundan biraz daha yüksek olabilir.

Çekme Odununun Değerlendirilmesi: Çekme odunu fazla miktarda selüloz içerdiğinden ilk değerlendirme alanı olarak kâğıt ve selüloz üretimi düşünülmektedir. Ancak, özellikle sülfat ya da yarı kimyasal sülfat metotlarıyla selüloz üretiminde dikkatli hareket etmek gerekir. Çünkü fazla miktarda çekme odunu bulunan hammaddeden elde edilen kâğıtta kalın çeperli lifler nedeniyle direnç daha zayıf olmaktadır. Kalın çeperli lifler kolay bükülmemekte, yassılaşmamakta ve liflerin birbiri ile yapışması engellenmektedir. En çok etkilenen dirençler çekme ve patlama dirençleridir. Bununla beraber rafinasyon (inceltme) işlemi uygulananlarda, normal odundakinden daha yüksek direnç elde edilebilmektedir.

Çekme odununun işlenme özelliklerinde de sorunlar yaşanır. Çekme odunu içeren bir ağaç malzeme kuruyarak daraldığından kalın çeperli çekme odunu liflerinin jelâtin tabakası dışarı doğru çıkıntılar oluşturur (Şekil 9.17). Kalın ve gevşek bağlanmış sekonder çepere sahip lif hücreleri biçme ve plânyalama sırasında testerelerin aşırı ısınmasına, sıkışmasına neden olur ve bu lifler nedeniyle yüzeyler pürüzlü bir hal alır (Şekil 9.18). Bu nedenle çekme odunu bulunan masif ağaç malzemeden yapılan üretimler taze haldeyken gerçekleştirilirse, yüzeyler pürüzlü olacağı gibi üst yüzey işlemlerinde de güçlükler ortaya çıkmaktadır. Örneğin; iyi bir cilâlama işlemi yapmak mümkün olmamakta ve çivilemede güçlük yaşanmaktadır.

Çekme odununun direnç değerleri malzemeye tatbik edilen yükün şekline göre, normal odundan daha düşük ya da yüksek olabilir. Çünkü çekme odununda direnç değerleri ile su miktarı ve özgül ağırlık arasında normal

ilişkiler kurulamadığından, jelâtinli liflerin oranının önemli bir faktör olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca, çekme odunu ile birlikte bulunan diğer hücresel değişmelerin etkisinin bulunması da olasıdır. Direnç değerlerindeki belirsizlik nedeniyle önemli konstrüksiyon çalışmalarında çekme odunu, basınç odununa benzer şekilde yorumlanır. Yani, yapılarda kullanılan ağaç malzeme çekme odunu içeriyorsa çeşitli yükler altında kaldığında önemli sorunlarla karşılaşabilir.

Şekil 9.17: Kavakta çekme odunu liflerinde boyuna daralma nedeniyle jelâtin tabakasının gevşeyerek uzaması (SEM. 3000x).

Şekil 9.18: Mahunda çekme odunu bulunan bir kereste yüzeyinde pürüzlülük.

Çekme odunu bulunan malzemede kurutma sırasında düzeltilemeyen kollaps oluşumu meydana gelir. Kollapsta hücreler çökerek, malzeme yüzeylerinde yer yer çukurluklar oluşur. Çekme odunu bir kerestenin yüzeyinde ya da kenarında bulunuyorsa çarpılmalar, dönüklükler ve çeşitli deformasyon şekillerinin oluşumu kaçınılmazdır. Çekme odunundan üretilen kaplama levhalarda çukurlaşmalar, dalgalı bir yüzey ve çatlaklar görülür. Kibrit üretiminde kullanıldığında kibrit çöpleri kolayca kırılır.

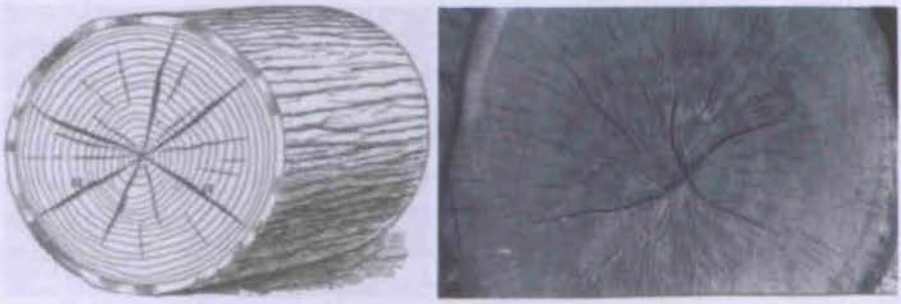
9.1.5 Büyüme Gerilmeleri

Ağaçlar normal gelişmelerini sürdürürken büyüme gerilmeleri de meydana gelmekte, bu gerilmeler bazı ağaçlarda halka, öz ve basınç çatlaklarına neden olmaktadır. Büyüme gerilmeleri ağaç biçildikten sonra dönükleşmelere yol açar. Büyüme gerilmelerinin, hücre gelişim safhaları tamamlanırken sekonder çeperde lignin depolanması sırasında meydana geldiği belirtilmektedir.

Öz Çatlakları ve Halka Çatlakları

Öz çatlakları ve halka çatlakları, yaşayan ağaçlarda oluşan iç çatlakları tipleridir. Yaşayan ağaçlarda oluşmalarına rağmen, ağaç kesildikten sonra kuruma ve daralma ile daha da geniş bir hal alırlar.

Öz çatlakları, özden başlayan ve radyal yönde çevreye doğru ilerleyen çatlaklardır. Bazen çatlak bütün çap boyunca devam ettiği gibi, özden başlayan yıldız ya da örümcek ağı şeklinde de olabilir (Şekil 9.19). Gövdede öz ışınlarına dik yöndeki gerilmeler yüksek olduğunda, öz çatlakları meydana gelmektedir. Özellikle meşe ve kayında bulunan geniş öz ışınları bu tip çatlaklara neden olabilirler. Genellikle yaşlı ağaçların gövdelerinin dip kısmında görülürler.

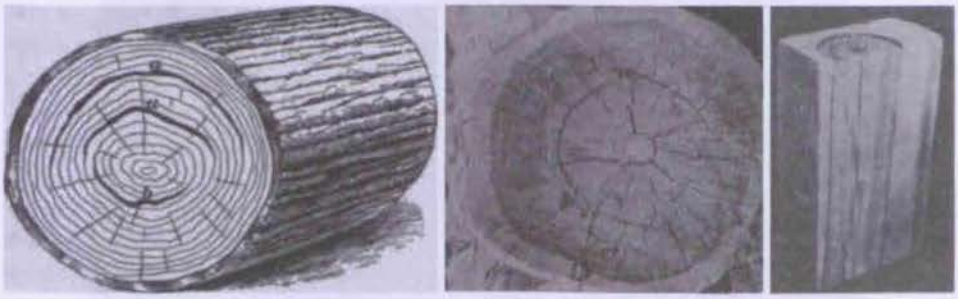


(A) (B)

Şekil 9.19: (A) Öz çatlakları, (B) Meşede öz çatlakları.

Gövdede yıllık halkalar boyunca meydana gelen çatlaklara, halka çatlağı adı verilir. İğne yapraklı ağaçlardan göknar, melez ve tsugada, geniş yapraklı ağaçlardan meşe ve çınarda sıklıkla rastlanabilmektedir (Şekil 9.20). Yaşayan ağaçlarda halka çatlaklarının, ilkbahar odunu hücreleri ile yaz odunu hücrelerinin temasta olduğu yerde orta lâmellerinden ayrılmalar ile oluştuğu belirtilmektedir. Bu ayrılmaların nedeni olarak traumatik reçine kanalları, don zararları ya da rüzgârın döndürücü etkisi gösterilmektedir.

Ağaç gövdesinde yarıçap yönünde meydana gelen gerilmelerle, gövdenin rüzgâr ve kar yükü ile eğilmesi sonucu gelişen makaslama gerilmeleri kombine edildiğinde, makaslama gerilmeleri, yaz odununun dış kısmında çatlamaya neden olmaktadır. Bu çatlaklar standardizasyonda önemlidir ve kusur sayılmaktadır.



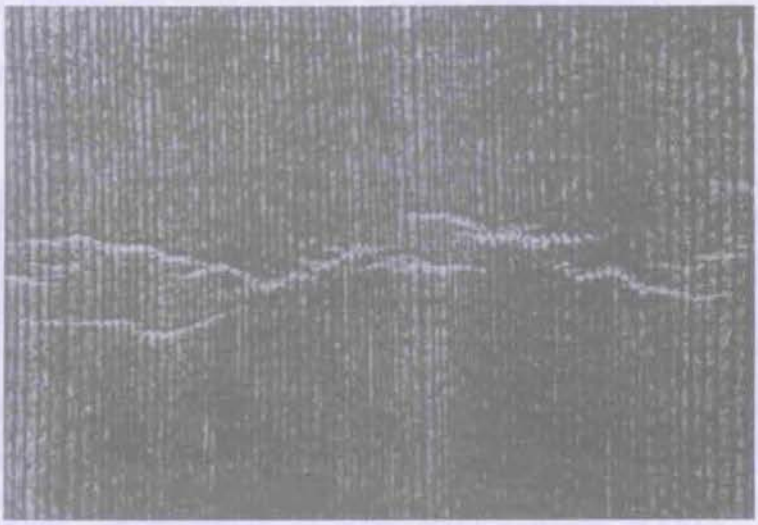
(A) (B) (C)

Şekil 9.20: (A) Halka çatlakları, (B) Meşe'de enine kesitte halka çatlağı, (C) Göknar'da boyuna yönde halka çatlağı.

Basınç Çatlakları

Ağacın uzun süre liflere paralel yönde basınç gerilmeleri altında kalması sonucunda gövdede hücre eksenine dik yönde ortaya çıkan makaslama gerilmeleri, radyal yüzeylerde görülebilen ince çatlaklar oluşturur (Şekil 9.21). Bu ince çatlakların düzlemi, lif ekseni ile 30°–45°'den başlayan açılar yaparak, bitişik hücrelerin çeperlerine doğru ilerlerler. Basınç çatlakları, malzemede çekme direncini azaltan bir hat şeklinde uzanmaktadır. Bazı yapraklı ağaçlarda çok sayıda olup, gövdenin orta kısmında görülürler. Özellikle kuvvetli aralama yapılan genç ve ince çaplı geniş yapraklı ağaçlarda çok rastlanmaktadır. Malzemede çekme, eğilme ve şok direncini önemli derecede düşürürler. Merdiven basamakları ve payandası gibi kullanım yerlerinde önemli bir kusur olarak kabul edilirler. Bu kusurun oluşum nedeninin ağır kar yükü ve rüzgâr olduğu belirtilmektedir.

Basınç çatlakları kesim sırasında ağaçların dikkatsiz devrilmesi, tomruklanması ya da taşınması sırasında yapılan hatalardan da meydana gelebilir. Teorik olarak ağaçlar kesildikten sonra tomruklanırken öz kısmında gerilme kuvvetlerinin etkisi en büyük olup, kabuk yakınına doğru azalmaktadır. Bu modele göre kabuk yakınında iç basıncın azalması ile hücrelerin enine kesiti artmakta, boyları kısalmakta ve çatlaklar oluşmaktadır. Böyle bir tomrukta gerilme dengeleri oluşuncaya kadar çatlamalar devam eder. Ayrıca, kuruma ile çatlaklarda genişlemeler görülür.



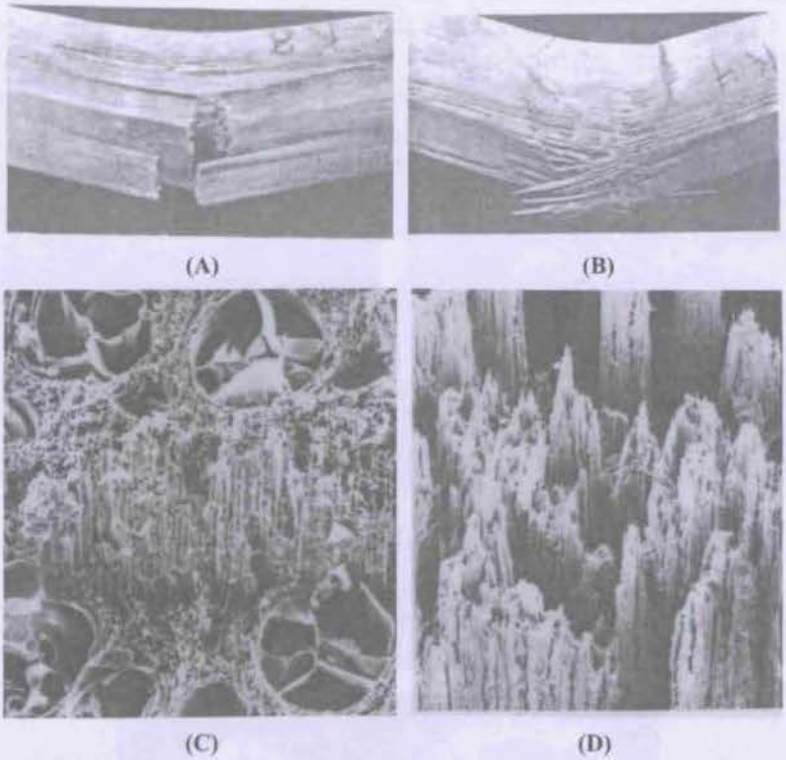
Şekil 9.21: Lâdin'de basınç çatlakları oluşumu (Normal büyüklük).

Kıymetli ağaçlarda kesimden önce büyüme gerilmelerini azaltmak için, gövdenin alt kısmındaki kabuk belli genişlikte kaldırılmaktadır. Böylece ağacın dikili haldeyken kuruması, yapraklarını dökmesi sağlanır ve mevcut gerilmelerin 2/3'ü giderilmiş olur. Ayrıca, tomrukların ve tel direklerinin su havuzlarında bekletilmesi ya da yağmurlama tesislerinde uzun süre depolanmaları yine büyüme gerilmelerinin azaltılmasına ve biçme sonunda meydana gelecek kusurların ortadan kaldırılmasına yardımcı olmaktadır.

9.1.6 Gevreklik ve Cazlama

Gevreklik, ağaç malzemenin düşük gerilmeler altında dahi liflerine dik yönde ani olarak kırılmasıdır. Gevrek bir malzemede kırılma yüzeyi oldukça düzgündür ve kıymıklı bir görünüş bulunmamaktadır. Normal odunda ise

kırılma yüzeyleri çok kıymıklı ve sivri uçludur (Şekil 9.22). Gevrek odunda özellikle ani çarpmalarda kırılmalar görülmektedir. Gevrek odun normal odundan daha hafiftir. Bu hafiflik lif hacminin azalması, paranşim hücreleri ve traheler gibi ince çeperli hücre oranlarının artması ya da hücre çeper kalınlıklarında tümüyle azalma ile doğru orantılı olarak değişir.



Şekil 9.22: (A) Gevrek odunda, (B) Normal odunda kırılma şekilleri. (C) Meşe'de gevrek odunun kırılma şekli (SEM.x 44). (D) Akçaağaç'ta normal odunun kırılma şekli (SEM. x16).

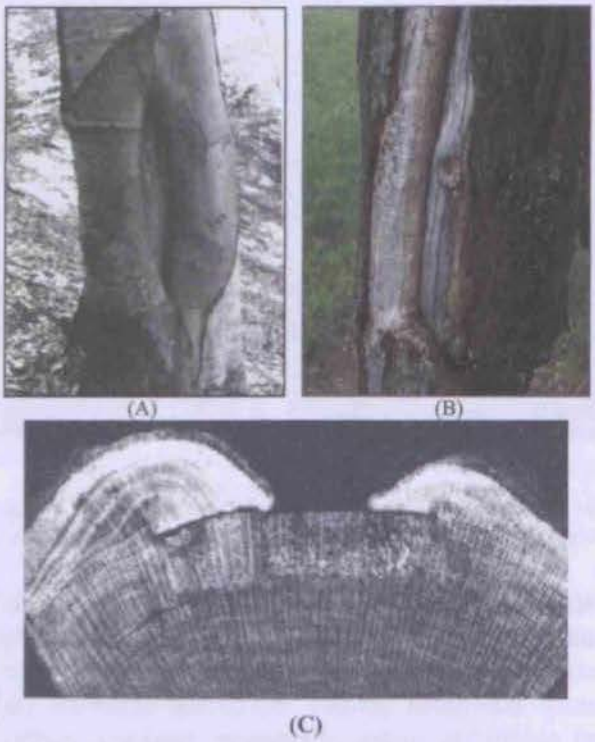
İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlarda çok dar yıllık halkalar gevrek odun oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca, iğne yapraklı ağaçlarda çok geniş yıllık halkalarda yaz odunu oranı düşük olduğu için yine gevreklik söz konusudur. Basınç odununda selüloz miktarının azalması da şok direncinin düşmesine, yani gevrekliğe neden olmaktadır. Başkaca, çürüklük, aşırı ısınma ve basınç çatlakları odunda gevrekliğe yol açmaktadır.

Cazlama ise ağaç malzemenin kırılma sırasında ses verme ya da önceden haber verme özelliğidir. Anatomik yapı ile ilgili olup, özellikle maden

direklerinde önemlidir. Maden direği olarak kullanılan ağaç türleri cazlama özelliğine göre lâdin, melez, çam, kayın, gürgen, yalancı akasya ve meşe olarak sıralanabilir.

9.1.7 Yaralanma ile Meydana Gelen Kusurlar

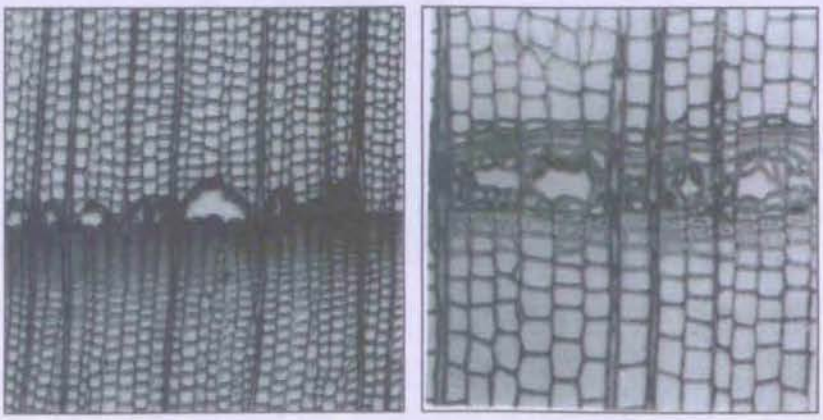
Ağaçlar yaralanmalara karşı kallus adı verilen, traumatik hücrelerden meydana gelmiş bir doku oluşturarak tepki gösterirler. Bu doku, büyüklük ve şekilleri düzensiz olan ince çeperli paranşim hücrelerini ya da kambiyumda yeni oluşmuş hücreleri içermektedir. Ağaç, yaralanan kısımlarını kallus dokusu oluşturarak yavaş yavaş kapatır (Şekil 9.23). Yaralanma ile iğne yapraklı ağaçlarda traumatik reçine kanalları, geniş yapraklı ağaçlarda ise traumatik sakız kanalları oluşabilir.



Şekil 9.23: Uzun süre önce yaralanmış (A) Kayın gövdesi, (B) Akçaağaç gövdesi,(C) Yaralanma ile kabuğun bir kısmı kaldırılmış meşe enine kesiti, gövde çevresinde kambiyum faaliyeti devam ettiğinden yara uç kısımlardan kapatılmaya başlamış.

Traumatik Kanallar

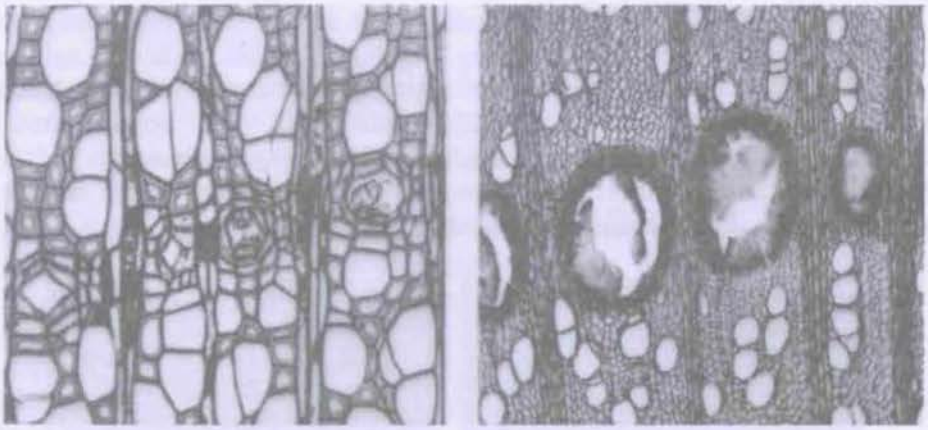
Traumatik reçine kanalları, doğal reçine kanalı bulunmayan göknar, sedir gibi bazı iğne yapraklı ağaçlarda görülmektedir (Şekil 9.24). Boyuna yöndeki traumatik kanallar enine kesitte teğet sıralar halinde ve yıllık halkanın herhangi bir kısmında bulunabilirler. Normal boyuna reçine kanalları ise tek tek olup, genellikle yaz odunu tabakasında oluşurlar.



(A) (B)

Şekil 9.24: İğne yapraklı ağaçlarda traumatik reçine kanalları. (A) *Abies* (90x), (B) *Tsuga* (120x).

Traumatik reçine kanalları esasen boyuna yönde uzanmakla beraber, sedirlerde hem boyuna hem de enine traumatik kanallar görülür. Bu traumatik kanallar orta lâmelin ayrılmasıyla oluşan şizogen tipte olup, kalın çeperli epitel hücrelerine sahiptirler. Geniş yapraklı ağaçlardan sığla ve kirazda da traumatik sakız kanalları görülebilir. Bu kanallar sığlada şizogen tipte, kirazda ise bir ya da birkaç hücrenin erimesi ile oluşan lisigen tiptedir (Şekil 9.25). Yunanca lysis=gevşeme anlamına gelmekte ve lisigen kanallar etrafında epitel hücreleri bulunmamaktadır.



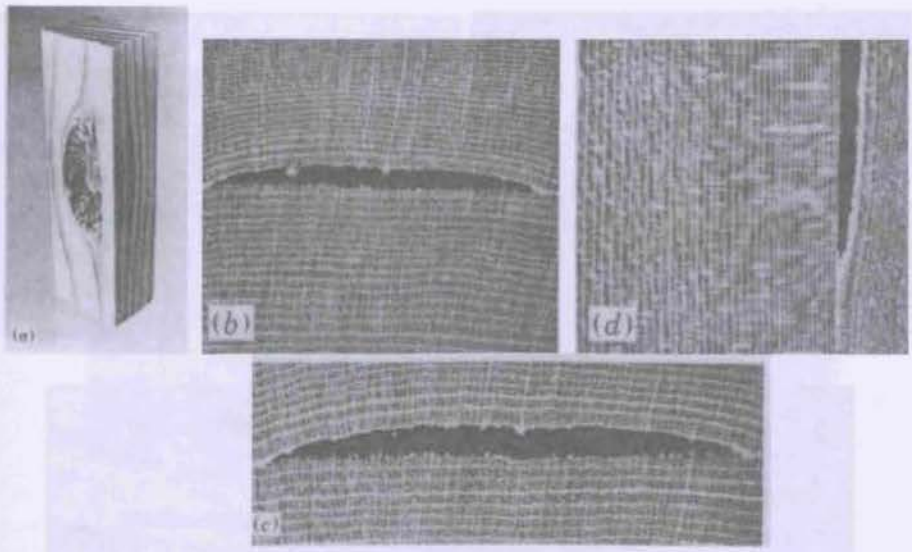
(A) (B)

Şekil 9.25: Geniş yapraklı ağaçlarda traumatik kanallar. (A) *Liquidambar*'da traumatik şizogen sakız kanalları (95x). (B) *Prunus serotina*'da traumatik lisigen sakız kanalları (50x).

Reçine Keseleri

Normal reçine kanalı bulunan iğne yapraklı ağaçlarda reçine keseleri, çıralanma ve çıralı şeritlere rastlanmaktadır. Bu kusurlar çam, lâdin, melez ve Douglas göknarında görülmekte, diğer iğne yapraklı ağaçlarda ancak kambiyum yaralanması sonucu ortaya çıkmaktadır.

Reçine keseleri yıllık halkanın dış tarafında oluşur. Enine kesitlerde birkaç cm uzunluğunda ve bir tarafı düz mercek şeklinde, radyal kesitlerde 12 mm kadar genişlikte, 5–30 cm kadar uzunlukta, öze bakan tarafı düz, kabuğa bakan tarafı dışbükey mercek şeklinde, teğet kesitlerde ise oval ya da elips şeklindedir (Şekil 9.26). Reçine keselerinin içi bazen boş, genellikle de reçine ile dolu olup, etrafı epitel hücreleri ile çevrilidir. Örneğin; Douglas göknarında bir reçine kesesi birkaç litre reçine içerebilmektedir. Oluşma sebebi belli değildir. Ağaçların aşırı eğilmesi sonucunda kambiyumda meydana gelen yaralanmalarla oluştuğu tahmin edilmektedir.

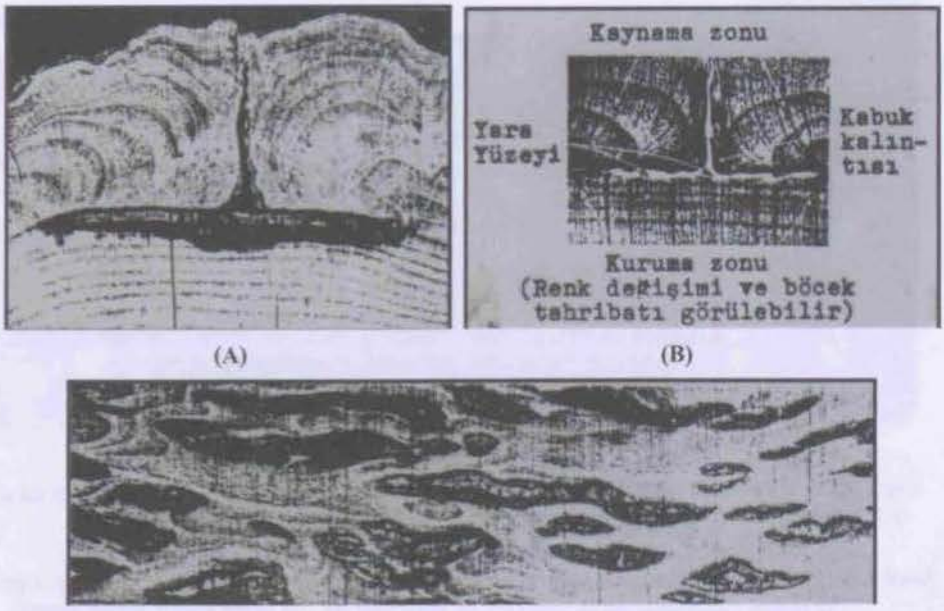


Şekil 9.26: İğne yapraklı ağaçlarda reçine keseleri. (a) *Picea rubens*'de bir reçine kesesinin teğet ve radyal yüzeylerde görünümü (2/5 x). (b) *Picea* spp.'de enine kesitte reçine kesesi (2,5x). (c) *Picea* ssp.'de enine kesitte reçine kesesi (5x). (d) *Picea* spp.'de bir reçine kesesinin radyal yüzeydeki görünümü.

Çıralanma ve çıralı şeritler, ağacın bazı kısımlarında yoğun reçine birikintilerinin bulunması halidir. Bu durumda traheid çeperleri ve lümenleri reçine ile doygun hale gelmekte ve renk koyulaşmaktadır. Dikili ağaçların yaralanması ya da böcek saldırıları çıralanmaya neden olabilir.

Kabuk Keseleri

Kabuk keseleri odunsu yapı içerisine gömülmüş kabuk kısımlarıdır. Yaşayan ağaçlarda derin yaralanmalar o bölgede kambiyumun ölmesine neden olabilir. Ancak, yara çevresindeki doku görevine devam ettiği için, iç kabuktaki açıklık üzerinde yeni bir kambiyum oluşur ve bir kısım kabuk odun içine gömülü kalır (Şekil 9.27). Ağaçlardaki yaralanmalar organik ve inorganik faktörler tarafından meydana getirilebilmekte, kuş ve böceklerin neden olduğu yaralamalar da kabuk keselerini oluşturabilmektedir.



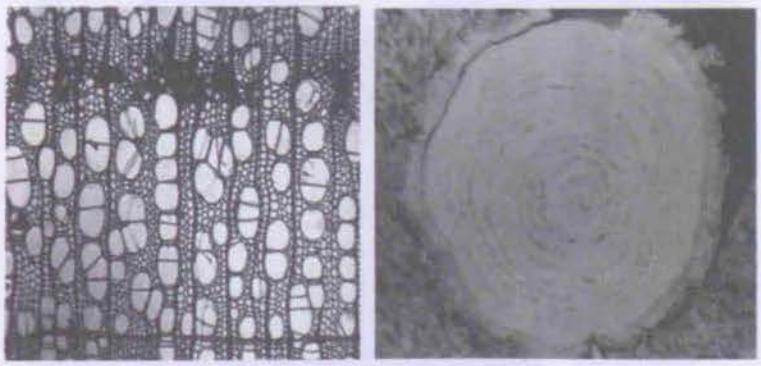
Şekil 9.27: Kabuk keseleri. (A) Enine kesitte makroskopik görünüş, (B) Enine kesitte mikroskopik görünüş (6x), (C) Kayında boyuna yüzeylerde kabuk keseleri.

Öz Lekeleri

Öz lekeleri geniş yapraklı ağaçlarda, özellikle huş, titrek kavak, söğüt ve kirazda görülen ve enine kesitte teğet yönde uzanan 2–3 mm'lik küçük koyu lekelerdir. Boyuna kesitlerde değişik uzunlukta koyu renkli çizgiler halinde görülürler. Bu lekeler *Agromyza pruniosa* böceğinin larvaları tarafından kambiyumda meydana getirilen yaralamalar sonucu oluşur. Dişi böcek ağacın genç peridermini delerek, alt tarafındaki yaşayan dokuya yumurtasını bırakır. Yumurtadan çıkan larvalar kambiyuma ulaşarak vejetasyon mevsiminin başında gövdede aşağıya doğru kanallar açıp ilerler ve sonunda toprağa geçerek krizalitleşirler.

Larva, kambiyumda tüneller açtığında buradaki bazı hücreler ile ksilemdeki olgunlaşmamış hücreleri ve floem hücrelerini tahrip etmektedir. Kambiyum larvanın açtığı tünelleri kapatmak üzere faaliyete geçer ve paranşim hücreleri açılan boşlukları doldurur (Şekil 2.14/B, 9.28). Doldurulan boşluklar paranşim hücreleri içerisindeki koyu renkli maddeler nedeniyle makroskopik

olarak koyu renkli lekeler şeklinde görülür. Kambiyum daha sonra yara dokusu üzerinde normal odunsu dokunun oluşmasını sağlar.



(A) (B)

Şekil 9.28: Öz lekeleri. (A) Kızılağaç'ta *Agromyza pruniosa*'nın meydana getirdiği öz lekesi (100x), (B) Huşta öz lekeleri.

Don Yaraları

Yaşayan ağaçların odunlarında sıfırın altındaki sıcaklıklarda don halkaları ve don çatlakları olmak üzere iki tip kusur meydana gelmektedir.

Don halkaları, odunda yıllık halka sınırına paralel uzanan ve çıplak gözle görülen kahverengi hatlardır. Bunlar ya ilkbahar donları ile ilkbahar odunu içerisinde ya da sonbaharda kambiyumun faaliyetinin durmasından önce oluşurlar. Böyle yıllık halkalar mikroskop altında incelendiğinde, donma sırasında henüz olgunlaşmamış hücrelerin çöktüğü ve çarpıldığı görülmekte, bu kısımlarda boyuna paranşim hücrelerinin sayıları artmakta ve öz ışınları genişlemektedir.

Don çatlakları ise gövdenin alt kısmında kabuktan başlayıp, radyal yönde uzanan çatlaklardır. Çoğunlukla soğuk bölgelerde yetişen geniş yapraklı ağaçlarda görülürler. Genellikle kazık köklü, yaşlı ve büyük taçlı ağaçlarda bulunmakta, genç ağaçlarda rastlanmamaktadır. Don çatlakları kambiyum tarafından oluşturulan yara dokusu ile kapatılmaktadır. Ancak bağlantı çok zayıf olduğundan, bir sonraki kış çok düşük sıcaklıklar görüldüğünde, genellikle tekrar oluşurlar. Sonunda ağacın enine kesitinde çatlağın kenarlarında dil şeklinde bir çıkıntı meydana gelir (Şekil 9.29).

(A) (B)

Şekil 9.29: İlerlemiş don çatlağının (A) Dikili ağaçta, (B) Enine kesitte görünüşü.

Bu çeşit çatlakların oluşum nedeni hakkında iki görüş ileri sürülmektedir. Bunlardan birine göre, ağaç çok düşük sıcaklıkların etkisi altında kaldığında, odunun ısı iletme kabiliyeti düşük olduğundan, dış kısmı ile orta kısmı arasında sıcaklık farklılığı olmaktadır. Bu durumda dışta meydana gelen çekme gerilmeleri radyal yönde don çatlaklarını oluşturmaktadır. Diğer görüş ise donmuş odunda rüzgârın mekanik etkisi ile don çatlaklarının meydana getirildiğini savunmaktadır.

Yıldırım Yaralanmaları ve Güneş Yanığı

Dikili ağaçlara yıldırım düştüğünde gövdede yukarıdan aşağıya doğru bir yaralanma olur ve yaralanan kısım, zamanla yara dokusu ile örtülür (Şekil 9.30/A). Ayrıca, dolu ve orman yangınları da ağacın yaralanmasına neden olmaktadır.

Güneş etkisi ile ince ve düzgün kabuklu genç ağaçlarda kabukta yanıklar meydana gelebilmekte ve kambiyumun yer yer tahribine neden olmaktadır (Şekil 9.30/B).

(A) B)

Şekil 9.30: (A) Kabukta yıldırım yarası, (B) Kayın kabuğunda şiddetli güneş yanığı.

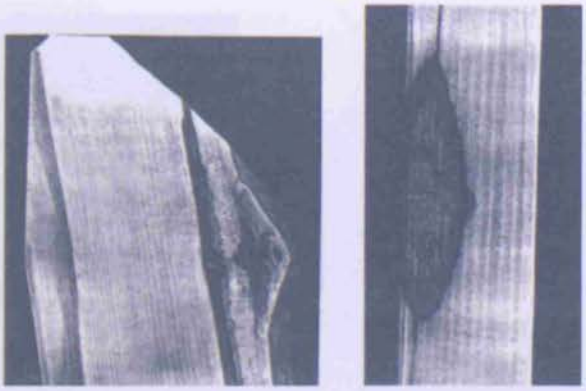
9.1.8 Anormal Renk Oluşumu

Yaşayan ağaçların odunlarında normal renkten ayrılmalara rastlanabilir. Bu tip renk değişikliklerinin nedeni tam olarak bilinmemekle beraber, bazılarının yaralanma ya da yabancı organizmalar tarafından meydana getirildiği belirtilmektedir. Renk değişimi ya lekeler şeklinde (mineral çizikler, ay halkası) ya da gövdenin ortasında öz odun görünümünde (kırmızı öz odun, kahverengi öz odun, donmuş öz odun, koruyucu odun) oluşmaktadır.

Mineral Çizikler

Mineral çizikler dikili ağaçların odunlarında lekeler şeklinde görülen renk değişiklikleridir. Akçaağaç, çınar ve diğer bazı geniş yapraklı ağaçların odunlarında koyu renkli lekeler şeklinde rastlanmaktadır (Şekil 9.31). Yapılan kimyasal analizlerde bu kısımların anormal derecede mineral madde içerdiği tespit edilmiştir. Oluşum nedeni belli değildir. Fakat akçaağaçlardan özsu emen kuşların zararı olduğu belirtilmektedir.

4



(A) (B)

Şekil 9.31: (A) *Carya* sp.'de yaşayan ağaçta kuşların neden olduğu mineral çizikler, (B) *Tilia americana*'da mineral çizikle birlikte basınç çatlağı.

Mineral çizikler bulunan odun, normal odundan daha serttir. Biçerken aletleri körleştirir, emprenye maddelerinin iyi bir şekilde absorpsiyonuna engel olur ve kuruma sırasında çatlamalara yol açar. Ancak, ağaç malzemenin direnç özelliklerini azalttığı tespit edilmemiştir.

Ay Halkası

Ay halkası dikili ağaçların odunlarında lekeler şeklinde görülen bir renk değişikliğidir. Ağacın öz odunu içerisinde, diri odun gibi açık renkli düzensiz şeritlerden oluşmaktadır (Şekil 9.32). Sebebi tam olarak bilinmemekle beraber, yaralanma ya da don etkisine benzer oluşumlar tespit edildiği bildirilmektedir. Ay halkası oluşumu meşelerde tomruğun değerini düşürmekte, kaplama levha endüstrisinde % 80, kereste endüstrisinde % 50 değer kaybı olmaktadır.

(A) (B)

Şekil 9.32: Meşe enine kesitinde ay halkası oluşumu.

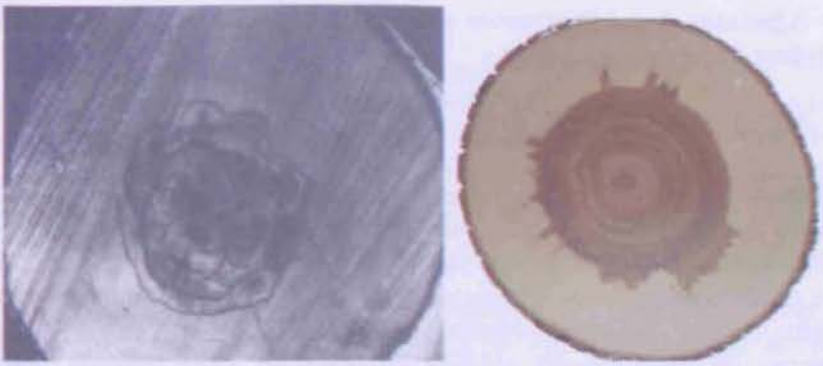
Kırmızı Öz Odun Oluşumu

Kayında gövdenin orta kısmında meydana gelen kırmızı öz odunun makroskopik görünüşü mantar saldırısı düşüncesini uyandırmaktadır. Kırmızı öz odunda renk yeknesak olmayıp, kenarları daha koyu olan iç içe geçmiş tabakalardan meydana gelmektedir (Şekil 9.33/A). Ancak, hemen hemen bütün kayınlarda 80–100 yaşından sonra görülmesi, patolojik olmaktan çok, fizyolojik bir öz odun oluşumu görünüşünü kuvvetlendirmektedir.

Kırmızı öz odun (kırmızı yürek) oluşumu hakkında tatmin edici bir açıklama yapılamamıştır. Dalların kırılması ve yaralanması, gövdede su miktarının belli bir seviyenin altına düşmesi gibi nedenler ileri sürülmektedir. Bu fizyolojik olaylar esas itibariyle normal öz odun oluşum nedenleriyle aynıdır.

Kahverengi Öz Odun Oluşumu

Kayındaki kırmızı öz odun oluşumuna benzeyen bir renk değişikliği dişbudaklarda da görülmekte ve buna kahverengi öz odun adı verilmektedir (Şekil 9.33/B). Taban suyu durgun yetişme yerleri ve kabuk zararları kahverengi öz odun oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Renklenen bu bölgede odun sağlam olup, direnç özellikleri koyu renkli olmayan diri odundan farklı değildir.



Şekil 9.33: (A) Kayında kırmızı öz odun oluşumu, (B) Dişbudakta kahverengi öz odun oluşumu.

Donmuş Öz Odun

Düşük sıcaklık derecelerinde geniş yapraklı genç ağaçlarda donmuş öz odun oluşabilir. Örneğin; kayında donmuş öz odun gri-kırmızımsı renktedir. Bu

tip öz odunda tüller ya azdır ya da hiç yoktur. Bu nedenle kolaylıkla emprenye edilebilirler. Emprenye edilmeden kullanıldıklarında ise az dayanıklıdırlar.

Koruyucu Odun

Bakteri ve mantar gibi organizmaların etkilerine karşı koymak amacıyla ağaçta yer yer ekstraktif madde artışları olmakta ve ekstraktif madde artışlarıyla meydana gelen renk değişmesine koruyucu odun adı verilmektedir. Ekstraktif maddeler öz odun şeklinde renk değişmelerine neden olabilmekte, ayrıca yaralanmış ve çürük kısımların dış tarafında da böyle yabancı madde depolanmaları görülebilmektedir.

9.1.9 Radyasyon ile Meydana Gelen Anormallikler

Çevreye yayılan yüksek derecedeki radyasyon bitkilerde öldürücü seviyenin altında bile olsa önemli yapısal anormalliklere neden olmaktadır. Örneğin; çamlarda traheid boyları, lümen çapı, çeper kalınlığının azaldığı ve dokularda hücrelerin düzeninin bozulduğu tespit edilmiştir. Ancak etkilerin devamlı olmadığı durumlarda, çevre temizlendikten sonra normal hücre ve dokuların üretildiği belirtilmektedir.

9.2 Doğal Büyüme Sonucu Meydana Gelen Kusurlar

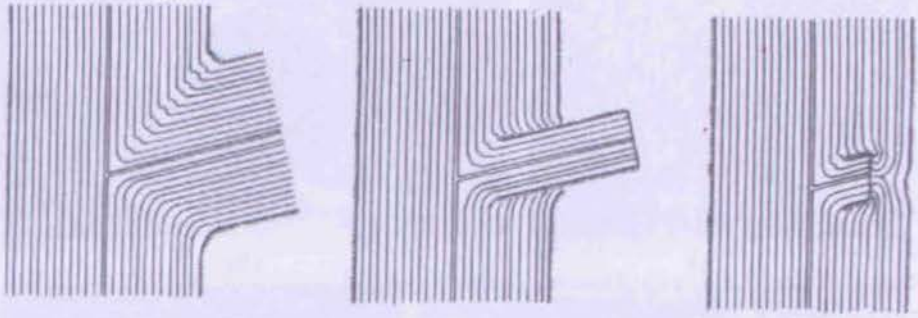
Ağaçlarda doğal büyümenin sonucunda budaklar ve öz olmak üzere iki tip büyüme kusuru oluşmaktadır.

9.2.1 Budaklar

Budak, bir dalın gövde odunu içerisinde kalan kısmıdır. Dalların dip kısımları her yıl oluşan yıllık halkalar tarafından gövde odunu içersine gömülmektedir. Dalın anatomik yapısı gövdeninkine benzediğinden, dal ve gövde odunu dokuları birbiriyle kaynaşmaktadır. Budak oluşumundan kaçınmak mümkün değildir. Ancak, gövdenin alt kısmındaki dalların doğal ya da sunî budanması ile daha sonraki yıllarda budaksız bir odun tabakası üretilmesi sağlanabilir.

Budaklar oluşum şekillerine göre ikiye ayrılırlar. (1) Yaşayan dalların gövde içerisine gömülmesi ile çevresindeki yıllık halkalarla bağlantı

kesilmediğinden kaynamış (sağlam) budaklar, (2) Kuruyan dalların yaşayan gövde içersine gömülmesi ile düşen (ölü) budaklar oluşmaktadır (Şekil 9.34).



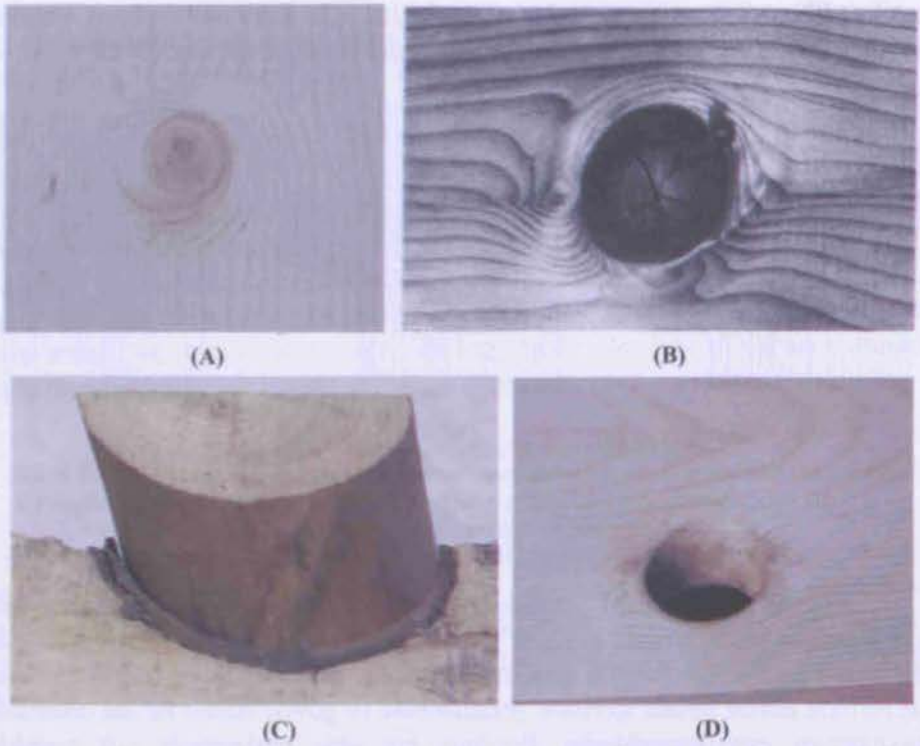
(A) (B) (C)

Şekil 9.34: Kaynamış ve düşen budak oluşumunun şematik görünüşü. (A) Kaynamış budak, (B) Düşen budak, (C) Düz kesilmiş bir budağın zamanla gövde içersinde kalmasıyla budaksız gövde odunu oluşumu.

Kaynamış (sağlam) budaklarda gövde odunu ile budak odunu kaynaşmıştır ve aralarında kesiklik yoktur. Düşen (ölü) budaklarda ise kuruyan dalların kambiyumu faaliyet göstermediğinden, dal etrafındaki kabuk tabakası ile birlikte gövde odunu içerisine gömülmekte ve gövde odunu ile dal odununun kaynaşması engellenmektedir. Biçilmiş bir ağaç malzemede ölü budaklar kolayca düşerler ve budak yerinin boş kalmasına, delikler oluşmasına neden olurlar.

Ağaç malzemede kaynamış (sağlam) budakların çevresinde lif açıları düzensiz olup, budaklardan uzak kısımlarda küçük, budakların yakınında büyüktür. Düşen (ölü) budaklarda gövde odunu ile bir kaynaşma ya da bağlantı olmadığından lif yönünde fazla bir sapma görülmez. Kereste standartlarında budaklar sağlam, düşen, çürük ve özürlü budaklar olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 9.35).

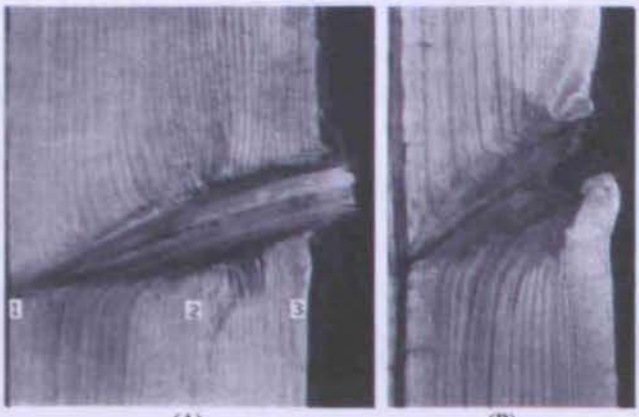
Ağaç malzemede budak şekilleri daire, oval ve kanat şeklinde olmak üzere üç genel tiptedir. Budakların şekilleri esas itibariyle gövde içerisine gömülen dalın enine kesitine ve budak eksenine göre biçilme şekline bağlıdır. Kanat şeklindeki budaklar budak eksenine paralel kesişlerle ve özellikle radyal biçilmiş kerestede elde edilmekte (Şekil 9.36), oval ve yuvarlak budaklar ise budak eksenine dik kesişlerle ve özellikle teğet biçilmiş kerestede elde edilmektedir.



(A) (B)

(C) (D)

Şekil 9.35: Budak çeşitleri, (A) Sağlam kaynamış budak, (B) Özürlü budak, (C) Dal odununun çevresinde kabuk, (D) Düşen budak.



(A) (B)

Şekil 9.36: Kısmen kaynamış kanat şeklinde budaklar. (A) *Pinus strobus*, (1-2 arası sağlam budak, 2-3 arası ölü budak), (B) *Pinus panderosa* (kısmen çürümüş ve kallusla kapanmaya başlamış budak).

Budaklar kereste kalite standartlarında büyüklükleri bakımından kuşgözü (5 mm kadar çapta), küçük (6–15 mm), orta (16–25 mm), büyük (26–40 mm) ve çok büyük (40 mm'den fazla) olmak üzere dört grupta toplanır. Budakların şekli, büyüklüğü ve sayısı, dalların sayısına ve kalınlığına bağlıdır. Ağaç malzemenin görünüşü ile direnci üzerinde olumsuz yönde etkili olduklarından, budaklar estetik ve teknik yönden kusur sayılırlar.

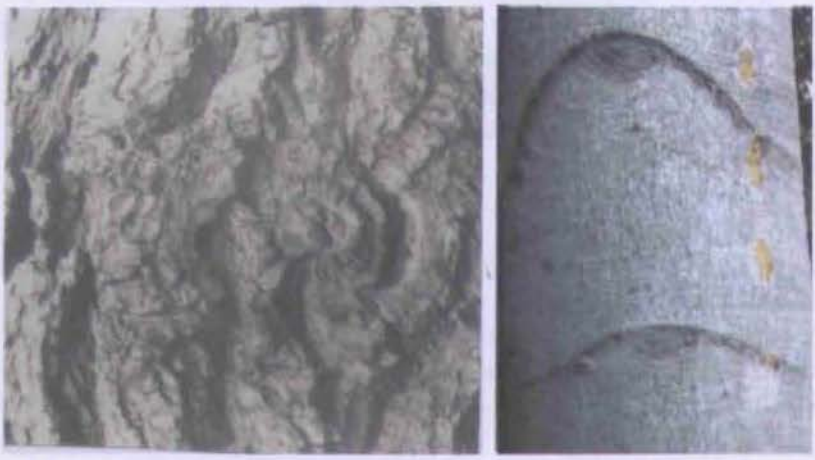
Budak odunu gövde odununa göre daha yüksek yoğunlukta, daha sert ve daha reçineli olup, kendisini çevreleyen odundan daha fazla daralma miktarına sahiptir. Budaklar lif yönünün değişmesine ve malzemede çatlaklara neden olur. Budaklı kerestenin direnci, yükleme tipi ile budakların cinsine, büyüklüğüne ve kerestede bulunuş yerine bağlı olarak önemli derecede azalmaktadır. Ayrıca, odunun işlenmesi, kurutulması ve yapışma özellikleri üzerinde de olumsuz etki yapmaktadır. Kaynamış budaklar kerestenin basınç direncini, sertliğini ve makaslama direncini artırabilir. Ancak, rutubet değişikliğiyle çatladığından boyama güçleşir ve fazla boya kullanılmasına yol açarlar. Fazla reçine içerdiklerinden boyamadan önce yakılmaları gerekir. Budakların çevresindeki lif gidişindeki düzensizlik direnci azaltır. Eğilmeye maruz kalan kirişlerin alt kısımda çekme gerilmesi meydana geleceğinden, malzemenin ortasında budak olmaması gerekir. Bu özellikleri nedeniyle yapı malzemesinde budakların sağlamlığı, büyüklüğü ve bulunduğu yer önemlidir.

Ağaçlarda budaklılığın derecesi; ağaç türüne, yetişme yeri şartlarına, iklime, meşçere kapalılığına ve kompozisyonuna göre değiştiğinden, silvikültürel tedbirlerle bir dereceye kadar kontrol altına alınabilir. Uygun aralıklarla yapılan dikimler doğal budanmayı sağlar. Özellikle ışık ağaçlarında alt dalların az ışık alması, dalların kuruyarak kırılmasına yol açar. Doğal budama gerektiği şekilde olmuyorsa sunî budama yapılmalıdır.

Geniş yapraklı ağaçlarda doğal budanma sırasında kuruyan dallar birkaç yılda gövdenin hemen kenarından koparak düşmekte, zaman içerisinde yeni oluşan yıllık halkalar ve yara dokusu yardımı ile üzeri örtülmektedir (Şekil 9.37). Gövdede oluşan budaklar, çoğunlukla kaynamış (sağlam) budak tipindedir. İğne yapraklı ağaçlarda ise genellikle kuruyan alt dallar gövdeden 20–60 cm uzaktan kırılarak düştüğünden gövde üzerinde bırakılan çıkıntının ağaç tarafından örtülmesi uzun yıllar sürmekte ve odundaki budak oluşumunun bir kısmı düşen budak tipinde olmaktadır.

Şekil 9.37: Meşede doğal olarak düşen dalın yerinin yara dokusu ile kapatılmaya çalışılması.

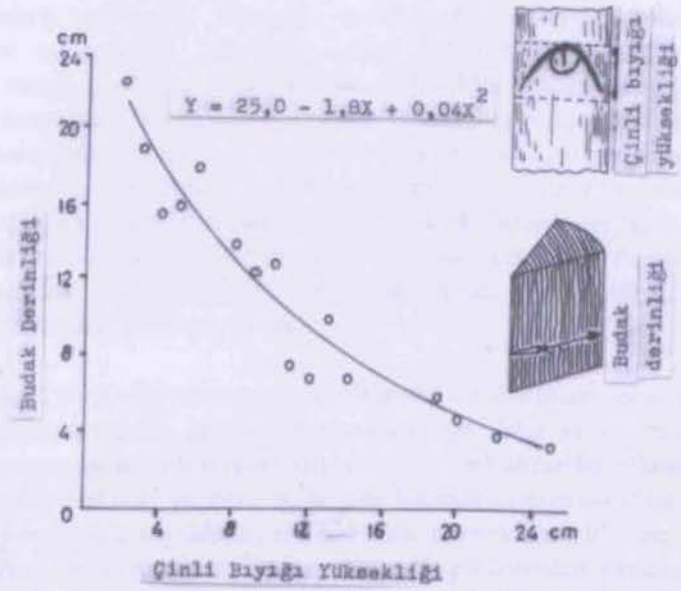
Gövde içerisine zamanla gömülen dal çıkıntıları kabuk üzerinde ağaç türü ile ilgili olarak bazı değişik izler meydana getirirler. Örneğin; Meşe gibi kalın kabuklu türlerde budağın gömüldüğü yerin etrafında kabukta yarıklar gül şeklini aldığından, bunlara kabuk gülü adı verilir (Şekil 9.38/A). Bu kabuk izlerinin altında gövde odununun derinliklerinde budaklar vardır. Kavak, kayın gibi düzgün kabuklu ağaçlarda budağın gövdeye gömüldüğü yerde kabuk üzerinde çinli bıyığı adı verilen şekiller görülür (Şekil 9.38/B). Bu kabuk izlerinin altında gövde odununun derinliklerinde budaklar vardır.



(A) (B)

Şekil 9.38: Gövde içersindeki budakların kabuk üzerindeki izleri. (A) Meşe'de kabuk gülü, (B) Kayın'da çinli bıyığı,

Yapılan araştırmalara göre çinli bıyığı yüksekliği ile budak derinliği arasında eğrisel bir ilişki bulunduğu belirlenmiştir. Şekil 9.39'da görüldüğü gibi, çinli bıyığının yüksekliği azaldıkça, budağın kabuktan uzaklığı (gövde içindeki derinliği) artmaktadır. Örneğin; çinli bıyığı yüksekliği 4 cm olduğunda budak, kabuk hariç yarıçap yönünde 18 cm derinde bulunmaktadır. Çinli bıyığı yüksekliği 25 cm ise budak derinliği 3,5 cm olmaktadır. Çinli bıyığı yüksekliği 5 cm'den az olduğu takdirde, budaktan sonra 17 cm'den daha fazla genişlikte kusursuz odun tabakası bulunduğundan bu yükseklikteki çinli bıyıkları standardizasyonda fazla önemsenmeyebilir. Ancak, 10 cm yüksekliğinde çinli bıyığı bulunan tomruklar kalite sınıflandırması yapılırken dikkate alınmalıdır.



Şekil 9.39: Kayın'da çinli bıyığı yüksekliği ile budak derinliği arasındaki ilişki.

9.2.2 Öz

Öz, ağacın esas kısımlarından biridir. Fakat odunun kullanım değeri bakımından bir kusurdur. Özün bir ağaç malzemede bulunması o malzemenin hem direncini hem de dayanıklılığını azaltır. Çünkü özün hücre yapısı, çevresindeki odun tabakasından önemli derecede farklıdır. Ayrıca, öz etrafında genç odun, küçük çatlaklar ve çeşitli büyüklükte budaklar bulunmaktadır. Bu nedenle tomruklar biçilirken, öz ya kalın bir kalas içinde bırakılmalı ya da küçük bir bölgede bırakılarak kesilip, atık olarak değerlendirilmelidir.

BÖLÜM 10

AĞAÇ MALZEMENİN DAYANIKLILIĞI

Doğal bir hammadde olan ağaç malzeme uygun şartlarda kullanıldığında çok uzun yıllar hizmet verebilmekte, uygun şartlarda kullanılmadığında ise biyotik (biyolojik) ve abiyotik (biyolojik olmayan) etkenler tarafından hasara uğratılmaktadır. Örneğin; çürüyebilir, renk değişikliğine uğrayabilir, böcekler tarafından tahrip edilebilir, yanabilir ve atmosfer şartları altında yüzeysel değişikliklere uğrayabilir. Meydana gelen değişiklikler ağaç malzemenin kullanıldığı ortam şartlarına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Biyotik etkenlerden mantarlar, böcekler ve termitlerin tahribat riski toprakla temastaki kullanım alanlarında yüksektir. Yine deniz içerisinde kullanım alanlarında ağaç malzeme denizdeki oyucular ve bakteri etkilerine maruz kalabilmektedir. Biyotik (Biyolojik) zararlıların aktiviteleri tropik iklimlerde en fazla, ılıman ve daha soğuk iklim bölgelerinde ise daha yavaş olmakla beraber, önemli zararlara yol açmaktadırlar. Ayrıca, dikili haldeki ağaçlarda da biyotik zararlılardan bazılarının olumsuz etkileri görülmektedir.

Abiyotik (biyolojik olmayan) zararlılardan en önemlisi yangındır. Diğer abiyotik etkenlerin odunu tahrip etme etkileri ise daha az önemlidir. Diğer abiyotik etkenler olarak; ultraviyole ışınları, yüzeysel atmosfer etkiler, kuvvetli asit ve alkalilerin etkileri ile çivi, vida gibi birleştiricilerin etrafında meydana gelen metal korozyonu sayılabilir. Bu bölümde biyotik zararlılardan bakteriler, mantarlar, böcekler, deniz zararlıları ve abiyotik etkenlerden yangın, kimyasal maddeler, açık hava şartları, kuruma zararları ile mekanik eskime incelenmiştir

10.1 Bakteri Zararları

Bakteriler son derece ıslak haldeki odunu tercih ederler. Yaşayan ağaçlarda meydana getirdikleri etkiler yaşlı ağaçların gövdesinin orta kısmında ya da diri odun ile öz odun arasında düzensiz bir şekilde tespit edilir. Kavak, söğüt, göknar ve karaağaçta görülmekte, özellikle karaağaçlarda fermantasyon kokusu ile birlikte bulunmaktadır (Şekil 10.1). Kavakta rutubetli öz odun düşük özgül ağırlıkta olup, diri oduna göre basınç ve şok direnci bakımından daha zayıftır. Böyle gövdelerin enine kesiti yeni kesilmiş ağaçlarda koyu

kahverenginde ve fazla miktarda ıslak olmaktadır. Öz odunda görüldüğünde siyah öz odun adı verilen bu oluşumun nedeni tespit edilmemekle beraber, bakteriler tarafından meydana getirildiği düşünülmektedir.

Şekil 10.1: Göknar'da bakteri etkisi.

Siyah öz odun oluşumu, alçak yetişme bölgelerinde ve taban suyu seviyesinin yüksek olduğu yerlerde görülmektedir. Kurutma işlemleri ile renkli kısımların koyu görünüşü azalır ve açık kahverengi bir hâl alır. Siyah öz odunu bulunan malzemeden üretilen kaplama levhalar kurutulduğunda dalgalı olurlar. Ayrıca, kayın ve huşta yaşayan ağaçların odunlarında bakteriler, mantarlarla beraber renk değişikliklerine de neden olabilirler. Saprofit bakterilerin bulunuşu, mantar faaliyetini artırabilmektedir. Özellikle mantarlar arız olduktan sonra bakteriler odunun daha hızlı degrade olmasında etkili bir rol oynayabilirler.

Laboratuar denemelerinde bakterilerin birçok iğne yapraklı ağaç odununda traheid çeperlerini enzimlerle ayrıştırdığı tespit edilmiştir. Ancak, bakteri saldırılarının etkisi, mantar saldırısı ile karşılaştırıldığında önemli sayılmamaktadır. Çünkü bakteriler hücre çeperindeki selülozu etkilemedikleri gibi, lignin üzerinde de önemli bir etkileri olmamaktadır. Öz odun doğal asiditesi ve içerdiği ekstraktif maddeler nedeniyle bakterilere karşı daha

dayanıklı olabilir. Fakat çok ince öğütülmüş odunda selülozun kristallik derecesi azaldığından, bazı bakteriler tarafından selüloz kolaylıkla ve önemli miktarda çürütülmekte, aynı zamanda hemiselüloz ile lignin de degradasyona uğratılmaktadır.

Ağaç kesildikten sonra su içerisinde depolanan tomruklarda diri odunun porozitesinin artmasının nedeni, paranşim hücreleri içeriğinin ve çeperlerinin bakteriler tarafından etkilenmesine bağlanmaktadır.

Ağaç malzeme toprakla temasta kullanılırsa ya da su içerisinde uzun süre depo edilirse, bakteriler tarafından dış tabakalarında gevşeme, kuruma ve aşırı daralma meydana getirilir. Su içerisinde depolanan tomruklarda birkaç ay ya da birkaç hafta sonra bu değişikliklerle beraber ekşi bir koku (fermantasyon kokusu) da duyulur.

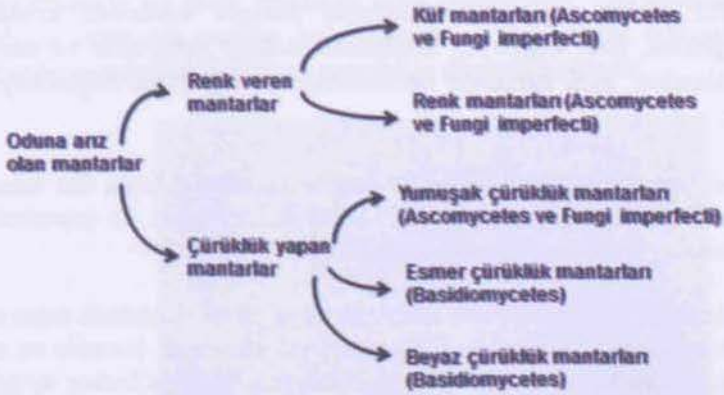
Bakteri faaliyeti en çok tomruk havuzları, sulak topraklar, deniz tahkimatı, maden ocakları ve su soğutma kulelerinde kullanılan ağaç malzemede görülmektedir. Bu gibi yerlerde anaerob karakterdeki bakteriler moleküler oksijen olmadan yaşamlarına devam etmekte ve fermantasyon oluşturmaktadır. Aerob karakterdeki bakteriler ise gelişmeleri için moleküler oksijene ihtiyaç duyduğundan, oksijenli ortamda kullanılan ağaç malzemedeki selülozu hidrolitik yoldan degrade etmektedir.

10.2 Mantar Zararları

Mantarlar, odun ve diğer selülozik materyalde renk değişimine ya da çürümeye neden olan klorofilsiz basit bitkilerdir. Beslenmelerini ve enerjilerini diğer organik maddelerden sağlayarak, yaşamlarını sürdürürler. Mantarlar hüfleri yardımıyla enzimler salgılayarak karbonhidratlı maddeleri, bazen de lignini ayrıştırmakta, bunları şeker gibi basit bileşiklere dönüştürüp, enerji sağlamaktadır. Oduna arız olan mantarların sınıflandırılması Şekil 10.2'de verilmiştir.

10.2.1 Oduna Renk Veren Mantarlar

Odunda renk değişikliği yapan mantarlar, renk ve küf mantarlarıdır. Bu mantarlar genellikle hücre çeperlerini çürütmezler. Paranşim hücrelerinin (öz ışını ve boyuna paranşim hücrelerinin) içeriği olan şeker ve nişasta ile beslenirler ve ağaç malzemenin yüzeyinde ya da içerisinde gelişirler.



Şekil 10.2: Oduna Arız Olan Mantarların Sınıflandırılması.

Renk Mantarları

Renk mantarlarının hüfleri koyu renklidir. Bu mantarlar tomruk, kereste ve diğer odunsu ürünlerde ve ölü ağaçlarda diri oduna arız olarak, koyu renkli hüfleri ile malzemeye siyahımsı mavimsi bir renk verdiklerinden, renk veren mantarlar olarak tanımlanırlar. Malzemede renklenme, çok ince ve koyu esmer renkli mantar hüferine çarpan ışığın dağılması sonucu meydana gelen optik bir olaydır.

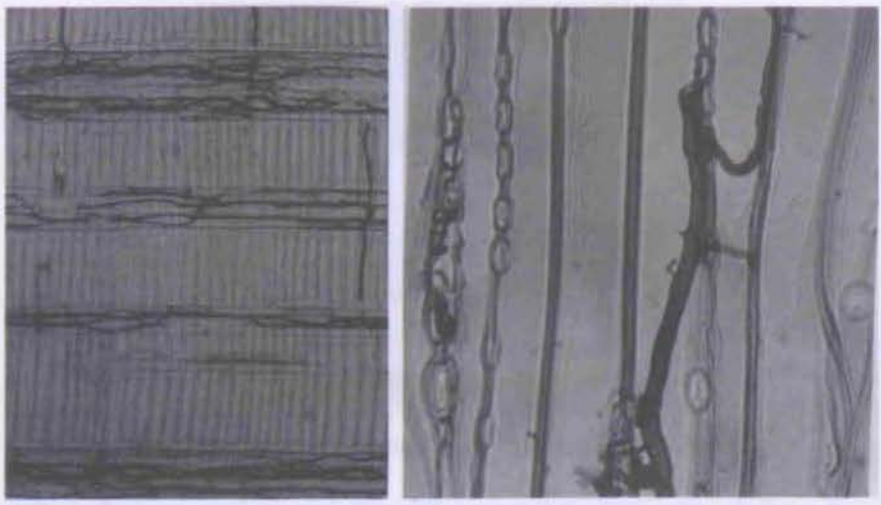
Renklenmeye neden olan mantarların en önemlileri *Ceratocystis* sp. ve *Cladosporium* sp.'dir. Örneğin; iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlardan elde edilen tomruk ve kerestelerin diri odununa arız olan renk mantarlarından *Penicillium aureum* ve *Cytospora* sp. kahverengi, *Fusarium reticulatum* kırmızı, *Ceratocystis* sp. ise mavi renklenme meydana getirmektedir.

Ceratocystis türleri ağaç kesildikten ve hafif kuruma meydana geldikten sonra, yani lif doygunluğu noktası (LDN) üzerindeki rutubet derecelerinde hemen arız olarak malzemenin içine doğru ilerler. Ayrıca, nispeten ıslak ve şeker–nişasta miktarı yüksek kerestede de sorun yaratırlar. Örneğin; çam diri odununda bir günde teğet yönde 0,5 mm, radyal yönde 1,0 mm, boyuna yönde ise 4,5 mm nüfuz ettikleri tespit edilmiştir. Bu nedenle kesme ve biçme işleminden sonra en çok bir gün içerisinde malzemeye koruyucu maddeler sürülmelidir. Aksi takdirde ekonomik değeri önemli derecede düşecektir (Şekil 10.3).

Şekil 10.3: Çam gövdesi enine kesitinde mavi renk oluşumu.

Kerestede mavi renk oluşumunu önlemek için en kısa zamanda kurutmak da koruma sağlamakta, ancak kurutulan malzeme tekrar rutubet alırsa, mavi renklenme yeniden oluşmaktadır. Sıcak bölgelerde ve hassas ağaç türlerinde, özellikle çam (*Pinus* spp.), göknar (*Abies* spp.), lâle ağacı (*Liriodendron tulipifera*), sığla ağacı (*Liquidambar* spp.) gibi türlerde biçmeden hemen sonra kerestenin uygun bir emprenye maddesi içerisine batırılması, iyi bir koruma sağlamaktadır. Bu uygulama genellikle biçildikten sonra hemen fırında kurutulmayan ağaç türleri için pratik bir koruma şeklidir.

Mavi renk mantarları odunun derinliklerine nüfuz ettiğinden, renklenme yüzeysel değildir (Şekil 10.4). Zımparalama ya da rendeleme ile giderilemez. Ağaç malzeme cilâlanarak kullanılacaksa mavi renklenme bir kusur sayılmakta, yağlı boya ile boyanacaksa kusur sayılmamaktadır. Çünkü bu mantarların etkisi ile ağaç malzemenin direnç özelliklerinde fazla önemli kayıplar olmamaktadır. Örneğin; çam diri odununda yoğunluğun % 1–2, sertliğin % 2–10, eğilme direnci ve basınç direncinin %1–5, şok direncinin ise % 10–30 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Görüldüğü gibi şok direnci hariç, diğer direnç değerlerinde fazla azalma olmamakta ve birçok kullanış yerinde böyle malzemelerin değerlendirilmesi sakınca yaratmamaktadır. Bu nedenle görünüş özelliklerinin önemli olmadığı yerlerde mavi renklenmeye maruz kalmış malzemenin kullanılması mümkündür. Ancak, bu mantarların arız olduğu odun kâğıt üretiminde kullanılırsa, elde edilen kâğıt da koyu renkli olmakta ve kâğıt hamurunun çeşitli işlemlerle ağartılması mümkün olsa da, harcamaları artırmaktadır.



(A) (B)

Şekil 10.4: Çamda *Ceratocystis pini* hüfleri, (A) Radyal kesitte öz ışını paranşim hücreleri içerisinde hüfler (100x), (B) Kenarlı geçitlerden geçerek besin kaynakları olan öz ışını paranşim hücrelerine ulaşan hüfler (400x).

Küf Mantarları

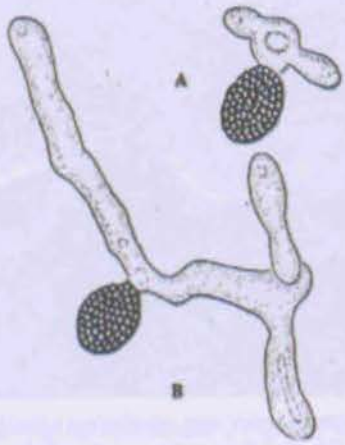
Küf mantarlarının en önemlileri *Penicillium*, *Fusarium* ve *Aspergillus* türleridir. Bunların hüfleri renksiz olduğundan sadece ağaç malzemenin yüzeyinde renk değişikliğine neden olurlar. Sporlarının rengine göre, malzeme yüzeyinde beyaz, yeşil, mavi–yeşil, oranj ya da siyah renklenmeler meydana getirirler. Yüzeydeki renklenme, rendeleme, planyalama ve fırçalama ile uzaklaştırılabilir. Küf mantarları uzun süre % 20–25 üzerinde rutubet içeren ya da yüksek rutubetli depolarda bekletilen ağaç malzemede hızla gelişirler.

Geniş yapraklı ağaçlar küf mantarlarına karşı, iğne yapraklı ağaçlardan daha az hassas olmakta, ancak daha koyu renkte küflenmektedir. Biçilmiş malzemede mücadele yöntemi olarak kurutma işlemleri uygulandığında küf mantarları ölür, fakat malzemenin yüzeyinde renk lekeleri kalır.

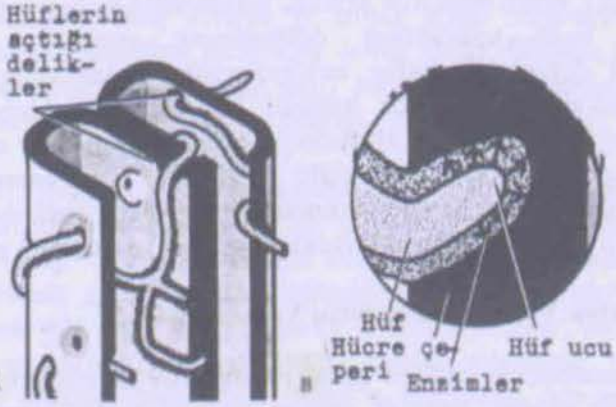
Malzemenin yüzeyinde görülen renk olumsuzlukları sadece estetik kusurdur. Yüzeyler yağlı boya ile örtülebilir ya da malzeme yüzeyi 0,5 mm derinliğe kadar planyalanarak kaldırılabilir. Sürülen boyalarla birlikte bazı fungisitlerin kullanılması, malzeme yüzeyine küf mantarlarının gelmesini önlemektedir.

10.2.2 Çürüklük Yapan Mantarlar ve Yapısal özellikleri

Mantar sporları uygun bir ortamda çimlenerek hüfleri oluştururlar (Şekil 10.5). Hüfler ince uzun iplikçikler şeklindeki oluşumlardır. Çürüklük yapan mantarlar odunsu hücrelerin kesilmiş enine kesitlerinden içeriye girerek ya geçit çiftleri arasından ya da çeperde açtıkları deliklerden geçip, hücreden hücreye ilerlerler. Enfeksiyon kaynağı civarında bir araya gelen ve ağaç malzeme içerisinde ilerleyen, bir arada gelişmiş hüf topluluğuna miselyum adı verilmektedir. Odunsu hücrelerde hüflerin ilerlemesi şematik olarak Şekil 10.6'da gösterilmiştir.



Şekil 10.5: Spor çimlenmesinde iki safha, (A) Çimlenmeden 1.5 saat sonra, (B) Çimlenmeden 10 saat sonra.



Şekil 10.6: (A) Odunsu hücre çeperinde hüfün ilerlemesi, (B) Hüf ucunun hücre çeperine girişi ve enzimlerin yayılışının şematik görünüşü.

Çürüklük yapan mantarların miselyumu hücre çeperinde delikler açarak, çeperi devamlı degrade eder ve gelişirler. Sonunda malzeme direnç ve ağırlık kaybına uğrar. Çürüklüğün ileri safhalarında malzeme yüzeyinde sporoforlar (üreme organları) oluşur (Şekil 10.7) ve bu yapılar çok sayıda spor taşırlar. Sporlar rüzgâr ve diğer yollarla çevreye dağıldığından, ağaç malzemenin sporlarla temas etmesini önlemek mümkün değildir. Enfeksiyonu önlemek için sporların çimlenmesini ve büyümesini sağlayan şartların ortadan kaldırılması gerekir.

Şekil 10.7: Devrilmiş bir iğne yapraklı ağaç gövdesinin kabuklu ve kabuksuz kısımlarında *Gloeophllum sepiarium* sporoforları.

Çürüklük yapan mantarlar selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi hücre çeper maddelerini basit moleküllere dönüştürerek metabolize ederler. Bu biyokimyasal değişimler, hüfler tarafından oluşturulan enzimlerin katalitik etkisi ile gerçekleştirilir. Bazı hallerde bu faaliyetler kimyasal hidrolitik işlemlerle de ilişkili olabilir. Hüflerin uçlarından salgılanan enzimler, hücre çeperlerinde deliklerin açılmasını sağlar. Enzimlerin hücre çeperinde dağılması ve hüflerin hücre çeperinden geçebilmesi için bir miktar suya ihtiyaçları vardır. Yani, enzimin katalitik etkisinin gerçekleşmesi için su (rutubet) gereklidir

Çürüklük Yapan Mantarların Yaşam İstekleri

Ağaç malzemeyi çürüten bütün mantarların gelişmeleri, besin maddesi (odun), yeterli rutubet, sıcaklık, oksijen, ışık ve asidik ortam ihtiyaçlarının sağlanmasına bağlıdır.

Besin maddesi: Çürüklük yapan mantarların besin kaynağı hücre çeper maddesidir. Ayrıca, odunda az miktarda bulunan tiamin birçok mantarın gelişmesi için gereklidir. Odunun kimyasal yapısından tiaminin çıkartılması, mantar gelişmesini önleme bakımından önemli bir metottur. Ancak, bu yaklaşımların pratik uygulama alanlarında geçerliliği yoktur.

Rutubet miktarı: Odunu çürümeye karşı korumada en etkili yol enzimlerin görev yapmasını engellemektir. Enzim faaliyetini engellemek ise ağaç malzemede yeterli suyun bulunmasını önlemekle mümkündür. Genellikle lif doygunluğu noktasının (LDN) altında bir rutubete sahip ağaç malzemede çürüme riski çok azdır. Sadece birkaç mantar türü bu değerin altındaki rutubet değerlerinde yavaş bir gelişme gösterebilir. Bu konuda yapılan çok sayıdaki araştırmanın sonucuna göre, ağaç malzeme devamlı olarak % 20 rutubetin üzerindeki şartlarda bulunacaksa emprenye maddeleri ile muamele edilmesi şarttır. Ortamda buharı önleme, ortamı havalandırma ve malzeme yüzeylerine hidrofobik maddelerin sürülmesi ile ağaç malzemenin rutubet alması önlenebilir.

Çürüklük yapan mantarın gelişmesi için rutubetten başka gerekli olan diğer fizyolojik faktörler üzerinde, rutubet faktöründe olduğu gibi değişiklik yapmak mümkün değildir.

Sıcaklık: Çürüklük yapan mantarlar 21°C–32°C'ler arasında çok hızlı bir şekilde gelişirler. 0°C'nin altında, 37°C'nin üzerinde genellikle gelişmeleri durur. 50°C –75°C'ler arasında ise öldükleri tespit edilmiştir. Bu nedenle ılıman iklim bölgelerinde ısıtılmış evlerde ve tropik iklim bölgelerindeki evlerde çürümenin oluşması için ideal sıcaklıklar daima vardır. Sıcaklık 0°C'nin altına düştüğünde mantarlar ölmez, fakat aktif bir faaliyet gösteremezler. Şartlar düzeldiğinde ise gelişmelerine devam ederler.

Oksijen: Çürüklük yapan mantarlar aerobik organizmalar olduğundan yaşamaları için oksijen gereklidir. Bu nedenle odunda gelişmeleri hücre boşluklarında en az % 10–20 arasında hava (oksijen) bulunmasına bağlıdır. Çürümeyi önlemek amacıyla ağaç malzemenin kullanım yerinde hava ile ilişkisini kesmek gibi pratik bir yol yoktur. Bununla beraber, depo alanlarında tomruklara su püskürtmek suretiyle yüksek rutubet sağlanarak, mantarlar için yeterli oksijen ortadan kaldırılabilir. Yine su içerisinde depolama yapılarak mantarların gerekli oksijeni alması engellenebilir. Ancak nehir, göl ve havuzlarda suda bekletilen tomruklara bu kez de anaerobik bakteriler arız

olarak, fazla önemli olmayan zararlara yol açarlar. Bakteriler tarafından geçit yapısı degrade edilerek odunun permeabilitesi artırılır. Böyle bir ağaç malzeme kereste olarak kullanılacaksa, kurutma ve işlenme problemleri ortaya çıkmaktadır.

Işık: Mantarlar klorofil içermediklerinden yeşil bitkiler kadar ışığa ihtiyaç duymazlar. Misel gelişmesi için güneş ışığı tehlikeli bile olabilmektedir. Birçok mantar doğrudan gelen güneş ışığından kaçarak, çoğunlukla karanlık ya da difüz (dağınık) ışıktan yararlanırlar. Ancak, sporoforları ışıkta gelişmektedir.

pH değeri: Çürüklük yapan mantarların odunda gelişebilmeleri ortamın asidik olmasına bağlıdır. Gelişmeleri için 4–6 pH'yı tercih ederler. Bazı mantarlar odunun pH'sını (asiditesini) değiştirme özelliğine de sahiptirler.

10.2.2.1 Odunda Çürüklük Tipleri

Çürüklük yapan mantarlar ağaç malzemeyi tamamen degrade ederek, odunun önemli derecede direncinin azalmasına ve yumuşamasına neden olmaktadır. Bu mantarlar, malzemede meydana getirdikleri çürüklük tipine göre esmer çürüklük, beyaz çürüklük ve yumuşak çürüklük olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır. Esmer ve beyaz çürüklük mantarları sporları taşıyan basidium adı verilen bir yapıya sahip olduklarından Basidiomycetes sınıfına aittirler. Yumuşak çürüklük mantarları ise Ascomycetes sınıfı ile Fungi imperfecti form sınıfına girmektedir (Şekil 10.2).

Özellikle ılıman iklim bölgelerinde en çok zarar yapan mantar cinsleri *Androdia*, *Coniophora*, *Gloeophyllum*, *Lentinus* ve *Polyporus* olup, malzemede esmer ya da beyaz çürüklük meydana getirirler. Çürütme etkileri ağaç türü, rutubet miktarı ve sıcaklıkla ilgili olarak geniş çapta değişiklik gösterir. Bu cinslere ait mantar türlerinin bazıları kurutulmamış ağaç malzemede, bazıları binalarda, bazıları da açık havada kullanılan malzemede (tel ve çit direkleri gibi) tahribat yaparlar. Yaşayan ağaçlarda çürüklük yapan mantarlara nadir hallerde binalarda rastlanmaktadır. Ancak, bu mantarlardan bazısı ormanda üretimden sonra depolarda bekletilen ve kısa sürede biçilip kurutulmayan tomruk ya da diğer emvalde de yaşamlarına devam ederler.

Ağaç türlerinin çürüklük yapan mantarlara karşı dayanıklılığı değişiktir. Örneğin; toksik ekstraktif maddeler içeren meşe, kestane ve yalancı akasya gibi ağaç türleri mantarlara karşı diğerlerden daha dayanıklıdır. Aynı ağaç türünde

öz odun, diri odundan genellikle daha dayanıklıdır. Çünkü diri odun mantarlar için besin maddesi özelliğinde olan nişasta içermektedir. Genellikle odunun koyu rengi yüksek dayanıklılığın bir göstergesi olmakla beraber, her zaman bu ilişkiyi kurmak mümkün olmamakta ve dayanıklılık öz odunun kimyasal yapısına göre değişmektedir.

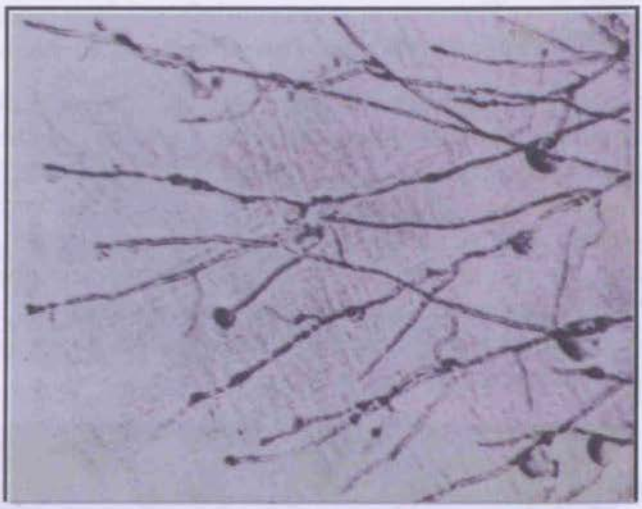
Hücre çeper maddesi miktarının, yani çeper kalınlıklarının, dayanıklılık bakımından sekonder bir önemi vardır. Ağır odunlar her zaman yeter derecede dayanıklı olmayabilirler. Çünkü oduna dayanıklılık kazandıran faktör, onun kimyasal bileşimidir. Bu nedenle özgül ağırlık türler arasında bir dayanıklılık ölçüsü sayılmamalıdır.

Esmer Çürüklük

Esmer çürüklüğe destrüksiyon çürüklüğü adı da verilmektedir. Esmer çürüklük mantarları özellikle hücre çeperinin selüloz ve hemiselülozunu tüketirler. Lignin üzerinde etkileri azdır. Odunu önemli derecede tahrip eden bu mantarların faaliyeti sonucunda odunun rengi kızılımsı kahverengine döner. Liflere dik yönde çatlaklar oluşur. Kuruma ile bu çatlaklar genişleyerek küp şeklinde çatlaklı bir yapı meydana gelir ve malzeme kömürleşmiş gibi görünür (Şekil 10.8). İleri derecedeki çürüklüklerde odun parmaklar arasına alınıp ufalandığında kolayca un haline getirilebilir. Bu çürüklük tipi genellikle iğne yapraklı ağaç odunlarında görülmektedir.

Şekil 10.8: Western redcedar (*Thuja plicata*)'da kübik çatlaklı esmer çürüklük.

Esmer çürüklük mantarlarının sıcaklık ve rutubet istekleri de farklılık gösterir. Örneğin; *Coniophora puteana*'da olduğu gibi bazı mantarlar % 40–50 rutubetteki ağaç malzemeye arız olurlar. *Serpula lacrymans* ve *Poria incrassata* gibi bazı esmer çürüklük mantarları ise daha kuru haldeki (% 20–40) iğne yapraklı ağaç malzemeyi çürütürler. Su ileten mantarlar olarak bilinen bu mantarlar diğerlerinden farklı olarak hüflerinin ucunda bulunan borucuk şeklindeki özel uzantıları ile çürümüş odundan metrelerce uzaktaki kuru ağaç malzemeye su getirerek çürüklük yaparlar (Şekil 10.9). *Serpula lacrymans*'a özellikle Orta ve Kuzey Avrupa'da, *Poria incrassata*'ya ise Güneydoğu ve Kuzeybatı Amerika Birleşik Devletleri'nde binalarda kullanılan ağaç malzemede rastlanmaktadır.



Şekil 10.9: Kuru haldeki ağaç malzemeye arız olan *Serpula lacrymans*'ın su taşıyan hüfleri.

Esmer çürüklük mantarları hücre çeperinin tüm tabakalarına arız olmakla beraber, selüloz bakımından zengin olan S_2 tabakasını daha önce degrade ederler. Bir ağaç malzemede toplam odun dokusunun 2/3'üne kadar olan kısmı esmer çürüklük mantarları tarafından tüketilebilmektedir.

Beyaz Çürüklük

Beyaz çürüklük mantarları hücre çeperindeki hem lignin hem de selüloz ve hemiselülozu tüketebilirler. Bu mantarlar ağaç malzemenin rengini ağartır ya da beyazımsı bir renk almasına neden olurlar. Hücre çeper tabakalarını S_3 tabakasından orta lâmele doğru degrade ederler. Böylece beyaz çürüklükte

hücre çeperi giderek incelir. Ağaç malzeme esmer çürüklükte olduğu gibi daralmaz, çatlamaz ve malzemede çökmeler olmaz. Beyaz çürüklüğe uğrayan odun beyaz delikler ya da koyu renk sınır çizgileri ile beraber süngerimsi, mantarımsı veya lifli bir görünüş kazansa da, ağaç malzemenin şeklinde değişme olmaz (Şekil 10.10). Beyaz çürüklük korozyon çürüklüğü olarak da tanımlanır.

(A) (B)

Şekil 10.10: (A) Dikili haldeki kayınlarda beyaz çürüklüğe neden olan *Fomes fomentarius* mantarının sporoforu, (B) Kayın gövde seksiyonunda beyaz çürüklük ve sınır çizgileri.

Beyaz çürüklük mantarları özellikle geniş yapraklı ağaç odunlarını degrade ederler. Bu gruba giren en önemli mantar türleri arasında *Trametes versicolor*, *Phellinus pini* ve *Stereum frustulosum* sayılabilir.

Bazı mantarlar özellikle depo alanlarındaki odunda sonu beyaz çürüklüğe ve hammadde kayıplarına yol açan değişikliklere neden olurlar. Depolama sırasında özellikle kayında görülen ardaklanma, ülkemiz açısından önemli hammadde kayıplarına yol açmaktadır.

Koyu renkli öz odunu bulunmayan geniş yapraklı ağaçların kesilmelerini takiben birkaç aylık sürede diri odunlarında görülen tül oluşumu ve renk bozulması olayına ardaklanma denmektedir. Ardaklanma, istif yeri çürüklüklerinin birinci safhasını oluşturur. Ancak, gövdeler bulundukları yerde bırakılmaya devam edilirse, ikinci safhada önce beyaz lekelilik ya da şeritlilik

görünümünde bir çürüklük, ardından tam anlamı ile beyaz çürüklük görülmektedir. Kısaca, ardaklanma tül oluşumunun artması ile başlamakta, sınır çizgileri oluşumu ve beyaz çürüklükle son bulmaktadır. Ülkemizde büyük hammadde kayıplarına neden olan ardaklanma, *Hypoxylon coccineum*, *Schizophyllum commune*, *Stereum purpureum*, *Stereum hirsitum*, *Bispora monilioides* ve *Xylaria hypoxylon* tarafından meydana getirilmektedir.

Yumuşak Çürüklük

Ağaç malzeme su soğutma kuleleri, travers, tel direği ve su tahkimatı gibi çok rutubetli şartlar altında kullanıldığında, yumuşak çürüklük mantarları arız olmaktadır. Yumuşak çürüklük yapan mantarlar Ascomycetes sınıfı ve Fungi imperfecti form sınıfına dahil olup, en önemlileri Ascomycetes sınıfından *Chaetomium globosum* ile Fungi imperfecti form sınıfından *Trichoderma* türleridir. Bu mantarlar yüksek rutubetteki iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç malzemeye arız olurlar ve ortamda devamlı olarak fazla rutubet bulunması nedeniyle diğer odun tahripçisi mantarların faaliyetlerinin engellendiği yerlerde görülürler. Bu çürüklük sonucunda, özellikle geniş yapraklı ağaçlardan yapılan ve ıslak şartlarda kullanılan tel direği, çit direği gibi malzemede kırılmalar meydana gelmektedir.

Yumuşak çürüklük mantarlarının etkisi, esmer çürüklük mantarlarının etkisine benzemektedir. Yumuşak çürüklük mantarları arız olmuş odunun üst yüzeyinde rutubet durumuna göre koyu gri ya da koyu esmer bir renk değişmesi görülür. Çürüme ilerledikçe renk koyulaşır. Üst yüzey yumuşadığından malzeme ıslakken sert bir cisim kolayca batırılabilir. Kuruduğunda ise yüzeyde esmer çürüklükte olduğu gibi küp şeklinde çatlaklar oluşur ve malzeme gevrek bir hal alır. Ancak, selüloz ve hemiselüloz tahripçisi olan bu mantarların faaliyetleri Basidiomycet'lerdeki kadar enerjik olmadığından, odunun yumuşaması süratle ilerlemez. Fakat uzun sürede önemli zararlara yol açarlar. Çürüklüğün ilk safhası, diğer çürüklüklerden farklıdır. Tahribat yüzeysel olduğu için çürümüş tabaka rendeleme ile ortadan kaldırılabilir (Şekil 10.11). Ayrıca, bu çürüklüğün mikroskopik yapısı esmer çürüklükten farklılık göstermekte, yumuşak çürüklük mantarları hücre çeperinin S_2 tabakasında iğ şeklinde boşluklar açmaktadır.

Şekil 10.11: Yumuşak çürüklüğe uğramış bir tomruk.

10.2.2.2 Çürümeyi Önleme Yöntemleri

Ağaç malzemede çürümeyi önlemek ve uzun yıllar hizmet vermesini sağlamak amacıyla genel olarak kullanılan üç yöntem vardır.

(1) Ağaç malzeme hizmet ömrü süresince kuru halde tutulabilirse, en ucuz koruma yöntemi sağlanmış olur. Kondenzasyon ve su sızma problemleri uygun bir şekilde ortadan kaldırıldığında, ılıman iklim kuşağındaki binalarda ağaç malzeme uzun yıllar sağlam kalabilir. Kondenzasyon ve su sızma problemleri olmadıkça denge rutubet miktarı (DRM) hiçbir zaman % 20'nin üzerine çıkmamakta, bu rutubet miktarında ağaç malzemede çürüme başlamamaktadır. Kurutulan malzeme yeniden rutubet alırsa, önceden yapılmış olan kurutmanın her hangi bir koruyucu etkisi kalmamaktadır.

Tropik ülkelerde yağış ve bağıl nemin yüksek olduğu bölgelerdeki binalarda ağaç malzemeyi kuru şartlar altında muhafaza etmek mümkün değildir. Aynı şekilde yağmurla, toprakla ya da beton ve taş gibi rutubetli diğer materyalle temasta olan ağaç malzemede de rutubeti düşürmek, daima kuru kalmasını sağlamak mümkün değildir.

(2) Ağaç malzemenin rutubeti % 20'nin altında tutulamadığı sürece mantarlara karşı korumak için koruyucu kimyasal maddelerle, yani emprenye maddeleri ile muamele etmek, en pratik ve en güvenli yoldur. Bu konuda daha geniş bilgi, ağaç malzemenin korunması bölümünde verilmiştir.

(3) Çürümeye karşı doğal dayanıklı ağaç türlerinin kullanılması da ağaç malzemenin uzun yıllar kullanılması için tercih edilecek bir yöntem olabilir. Ancak, dayanıklı türlerin sadece öz odunları çürümeye karşı koyabilir. Bu nedenle tercih edilen malzemede öz odun oranı önemlidir. Ayrıca, dünyada doğal olarak çürümeye karşı dayanıklı türlerin sayısı az olduğundan, hem pahallıdırlar hem de temin edilmelerinde güçlüklerle karşılaşılmaktadır. Yerli ağaç türlerimizden ak meşeler, sedir, porsuk ve ardıç doğal dayanıklı türler arasında yer almaktadır.

Ağaç malzemenin doğal dayanıklılık derecesi, mantarlara karşı o türde bulunan zehirli ekstraktif maddelerin miktarına ve kimyasal yapısına bağlıdır. Ekstraktif maddelerin miktarı ağaç türüne, malzemenin ağaçtan alındığı yere, ağacın yaşına ve yıllık halka genişliğine bağlı olarak değişir. Örneğin; hızlı büyüyen plantasyon ormanlarından elde edilen odun hammaddesinde ekstraktif madde miktarı daha düşük olmakta ve doğal olarak yetişen aynı türlerin odunundan daha az dayanmaktadır.

10.3 Böcek Zararları

Böcekler sığınmak, yumurtlamak ya da besinlerini temin etmek için oduna arız olurlar. En büyük zararları ölmekte olan ağaçlarda, yeni kesilmiş tomruklarda ve kullanım yerindeki odunda yaparlar. Enfekte olmuş tomruklardan üretilen çeşitli yapı malzemelerinde ve mobilyalarda yaptıkları tahribat ile büyük ekonomik kayıplara yol açarlar. Böcekler hücre çeper maddesini doğrudan asimile edemezler. Bu nedenle odunu gıda maddesi olarak kullanan böcekler protozoa, bakteri ve mantar gibi organizmalarla birlikte oduna arız olurlar ve böcekler tarafından sindirilemeyen selüloz ile lignin bu organizmalar yardımıyla kolayca hazmedilen yan ürünlere çevrilirler.

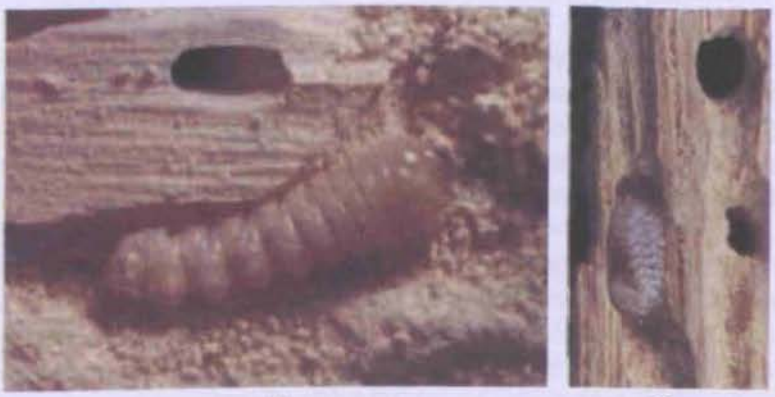
Böcekler genellikle ormanda bırakılan tomrukların kabukları altında gelişirler ve daha sonra oduna girerler. Kesimden sonra hemen kabuk soyma, biçme ve kurutma işlemleri, odun hammaddesinin bu gibi böceklere karşı korunmasında etkili olan yöntemlerden biridir. Ayrıca, emprenye maddeleri kullanılarak da etkili koruma sağlanmaktadır.

Ülkemizde ağaç malzemeyi önemli derecede tahrip eden böcekler hakkında Tablo 10.1'de bilgi verilmiştir. Bu böceklerin larvaları odunda çeşitli büyüklükte ve belli bir düzende galeriler açmaktadır. Galerilerin düzeni ve uçma deliklerinin çapı bazı böceklerin tanınmasında kullanılmaktadır (Şekil 10.12). Örneğin; ev teke böceğinin bulunuşu 2–6 mm çapındaki küçük uçma deliklerinden dökülen ince, un şeklindeki öğüntü tozlarından anlaşılmaktadır. Böcek uçma delikleri bulunan ağaç malzemenin depolara getirilmesi ya da binalarda kullanılması uygun değildir.

Tablo 10.1: Odunu Tahrip Eden Böcekler

Böcek Türü	Türkçe Adı	Familyası	Tahrip Ettiği Materyal*
Anobium punctatum	Mobilya böceği	Anobiidae	İğne yapraklı ve geniş yapraklı eski malzeme
Lyctus brunneus	Kahverengi diri odun böceği (parke böceği)	Lyctidae	Geniş yapraklı yeni malzeme
Bostrychus capicinus	Kukuletalı odun delen	Bostrychidae	Geniş yapraklı yeni malzeme, bazen iğne yapraklı yeni malzeme
Hylotrupes bajulus	Ev teke böceği	Cerambycidae	İğne yapraklı yeni malzeme
Hylobius abietis	Büyük kahverengi hortumlu böcek	Curculionidae	İğne yapraklı ve geniş yapraklı eski malzeme

(*) 10 yıldan daha eski kereste, eski malzeme olarak belirtilmiştir.



(A) (B)

Şekil 10.12: (A) *Hylotrupes bajulus*'un, (B) *Anobium punctatum*'un ağaç malzemede açtığı tüneller, öğüntü tozu ve larvaları.

Böceklerden korunmak için fumigasyon işlemi yapılmalıdır. Özellikle meşe, dişbudak, karaağaç ve kestane biçen fabrikaların olduğu bölgede *Lyctus brunneus* görülüyorsa, taze kesilen kerestelerde insektisitlerle koruma ve mücadele önlemleri alınmalıdır.

Dünya üzerinde ekonomik bakımdan en önemli odun tahripçisi böcekler, toprakta yaşayan, toprak altı termitleridir. Termitler bazen yanlış olarak beyaz karıncalar diye de adlandırılırlar. Oysa aralarında belirgin yapısal farklılıklar vardır. En belirgin farklılıkları termitlerin karıncalar gibi göğüs ve karınları arasında ince bir bellerinin bulunmamasıdır. Toprak altı termitleri (örneğin; *Reticulitermes lucifugus*) toprak içerisinde tüneller açarak rutubetli ağaç malzemeyi bulurlar ve ağaç malzemeyi barınak olarak, selülozu da besin maddesi olarak kullanırlar. Koloniyi kurduktan sonra tamamen odun içerisinde yaşarlar. Bunların yaptığı tahribatın malzeme kırılıncaya kadar dışardan herhangi bir belirtisi görülmemektedir. Mantarlara karşı kullanılan emprenye maddelerinden bazıları termitlere karşı da etkili olmaktadır. En etkili koruyucu kimyasal maddeler bakır/krom/arsenik (CCA) esaslı tuzlar ve kreozottur.

Kuru odunda tahribat yapan *Kalotermes flavicollis* gibi kuru odun termitleri ise ağaç malzemeye bir kere girdikten sonra odun rutubeti % 5–6'ya kadar düşse bile, odunda yaşayabilirler. Bu nedenle mücadelesi oldukça güçtür, malzeme başlangıçta emprenye edilmelidir.

10.4 Deniz Zararlıları

Deniz suyu içerisinde kullanılan ağaç malzeme örneğin; iskele direkleri, deniz tahkimat malzemesi ve küçük deniz araçları deniz zararlıları tarafından önemli derecede tahrip edilmektedir. Yumuşakçalar (deniz kurtları=*Teredo* sp., *Bankia* sp.), kabuklular (*Limnoria* sp., *Chelura* sp., *Sphaeroma* sp.) ve pholad'lar (*Martezia* sp.) olmak üzere üç tip deniz zararlısı vardır.

Yumuşakçaların larvaları ağaç malzemenin yüzeyi ile irtibatta yaşarlar ve yüzeyden küçük bir giriş deliği açarak odun içerisine girdiklerinde lif yönü boyunca düzensiz galeriler açmaya devam ederler. Bu organizmalar büyüdükçe, galeriler de genişletilir. Sonuçta ağaç malzeme bal peteği şeklinde tahrip edilir. Ancak, dış tarafı sağlam kalır (Şekil 10.13). Galerilerin iç yüzeyi ise parlak beyaz, kabuk şeklinde bir madde ile kaplanır.

Şekil 10.13: Yumuşakçalardan *Teredo navalis* tarafından tahrip edilmiş bir ağaç malzeme.

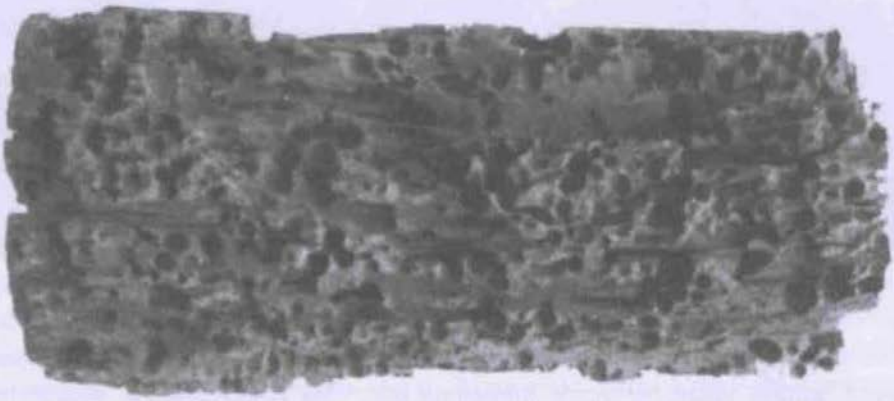
Yumuşakçalardan *Teredo*'lar (deniz kurtları) çoğunlukla deniz içerisinde çamur hattına yakın bir yerde kümelenmiştir. Baş kısımlarındaki oluşumlarla odunu kemirirler. Vücudun diğer kısmı giriş deliğine yakın bir yerde kalmakta ve buradan hem su alınır hem de atık maddeler uzaklaştırılır. Su alındığında deniz suyunda bulunan planktonlar da alınarak beslenmede kullanılmaktadır. *Teredo*'ların uzunlukları birkaç metreye kadar çıkmakta ve odunda açtıkları galerilerin uzunluğu, boyları ile orantılı olarak artmaktadır.

Pholad'ların zararı *Teredo*'lara benzemekte, ancak açtıkları kanallar (galeriler) daha kısa olup, 6–7 cm kadar uzunluğa ulaşmaktadır. Şekilleri ise saç tokası biçimindedir.

Kabukluların (*Limnoria* sp.) zararı, deniz kurtları ve pholad'lardan daha az etkili ve yüzeyseldir. Su çekilmesi ve yükselmesi seviyeleri arasında bulunan ağaç malzemede en fazla zarar yapan oganizmalardır. İskele direklerinin bu seviyeler arasında kalan çapları devamlı azalarak, kum saati şeklini olmaktadır. *Limnoria*'ların açtıkları kanallar küçük, silindirik yapıda ve 3 mm den daha küçük çaptadır. Ağaç malzemeyi bal peteği şeklinde tahrip ederler. Nüfuz derinlikleri respirasyon (solunum) için gerekli oksijenle sınırlı kalmaktadır (Şekil 10.14).

Deniz zararlılarının ağaç malzemede meydana getirdiği zararın büyüklüğü ağaç türüne, organizmanın türüne, deniz suyu sıcaklığına ve tuzluluk derecesine bağlıdır. Deniz zararlılarından korunmak için SiO_2 oranı yüksek *Ocotea rodiaei* ve *Syncarpia laurifolia* gibi doğal dayanıklılığa sahip tropik

yapraklı ağaçlar kullanılabilir. Ancak en etkili koruma, dolu hücre metodu ile kreozot ve CCA'nın kullanıldığı emprenye işlemleri ile elde edilmektedir.



Şekil 10.14: Kabuklulardan *Limnoria* spp.'nin ağaç malzemede yoğun tahribatı.

10.5 Yangın Zararları

Ağaç malzeme sıcaklığı 100°C'nin üzerine çıkacak şekilde ısıtıldığında, önce odunun rengi koyulaşır, fazla su dışarı atılır ve ağaç malzeme ağırlığını kaybetmeye başlar.

Sıcaklık 100–200°C'ler arasında olduğunda bozunma oldukça yavaştır. Odun içersinde kalan su ile birlikte CO_2 ve CO gazı çıkar. Bu sıcaklıklarda odunsu yapı yavaş yavaş bozunmakta ve piroliz (sıcaklık etkisi ile bozunma) olayı başlamaktadır.

Sıcaklık 200°C'nin üzerine çıktığında piroliz hızlanmaya başlar. 260–350°C'ler arasında piroliz hızlanır. Bu sıcaklıklarda yanıcı gazlar çıkar. Ağaç malzeme oksijenli bir ortamda (havada) bu sıcaklıklara kadar ısıtıldığında çıkan yanıcı gazlar herhangi bir alev kaynağından tutuşabildiği gibi, sıcaklık yeterli yüksekliğe ulaşırsa kendi kendine de tutuşabilir. 270°C üzerinde ısınma hızı, gaz çıkması için gerekli ısıdan daha büyük olduğundan, yanma meydana gelebilir. Yanma, yeterli derecede yüksek sıcaklık muhafaza edildiği sürece devam etmektedir.

400°C sıcaklıkta uçucu gazlar çıktıktan sonra yüzeyden itibaren kömürleşme başlar. Odun ve kömürün termik izolasyon özelliği iyi olduğundan, odunun iç kısımlarına ısı geçiş hızı, kömürleşme kalınlığı arttıkça azalmaktadır. Sonunda iç kısma geçen ısı, yanıcı gazların çıkması için yeterli olmaz. Bu şartlar altında alev söner ve dışardan herhangi bir ısı kaynağı takviyesi olmadıkça, yanan odun kısmı yavaş yavaş soğur (Şekil 10.15). Yanan ağaç malzemenin bu kendi kendini söndürme özelliği nedeniyle kalın lâmine kirişler ya da masif ağaç malzeme yangına karşı son derecede koruyucu bir özellik taşımaktadır.

Ancak, ilâve bir ısı kaynağı ile sıcaklık 500°C'ye ulaşırsa, kömürleşen kısım da yanarak geriye sadece kül kalmaktadır.

Şekil 10.15: Bir binada yangından sonra direncini koruyan ağaç kiriş ve çelik konstruksiyon elemanlarının durumu

Yanma hızı ağaç malzemenin enine kesitlerinin büyüklüğüne göre de değişir. Örneğin; binalarda kullanılan 5x10 cm ile 5x30 cm enine kesitli materyal küçük enine kesitli olduğundan, yangın riski taşımaktadır. Yangın tehlikesi fazla olmayan yerlerde ağaç malzemeden hazırlanan kiriş ve dikmelerin her iki tarafı ve tavanı alçı panellerle kaplanabilir. Yangın tehlikesi yüksek olan yerlerde ise ağaç malzemenin yanmayı geciktiren koruyucu kimyasal maddelerle emprenye edilmesi gerekir.

10.6 Kimyasal Maddelerin Etkisi

Ağaç malzeme düşük sıcaklıklarda ve düşük konsantrasyondaki çeşitli kimyasal maddelere karşı oldukça fazla dayanıklıdır. Bu nedenle kimyasal madde depo ve tanklarının yapılmasında başarı ile kullanılmaktadır. Düşük konsantrasyondaki asitlere karşı direnci, çelikten daha yüksektir. Ancak, bazlara karşı bu kadar dayanıklı değildir. Çünkü yapısındaki hemiselüloz ve lignin asitlere karşı dayanıklı, bazlara karşı hassastır.

Kimyasal madde konsantrasyonu ve sıcaklıktan başka ağaç türü, kimyasal maddenin cinsi ve etkilenme süresine bağlı olarak, odunun özellikle direncinde azalma görülmektedir. Örneğin; bütün ağaç türleri % 2'lik asit ve baz çözeltilerinin oda sıcaklığında etkisine maruz bırakıldığında ya çok az bozunma göstermekte ya da hiç bozunmamaktadır.

Konsantrasyon % 10'a, sıcaklık 50°C'ye kadar yükseltilerek ve etki süresi uzatılarak yapılan denemelerde birçok ağaç türünde direncin, orijinal direnç değerinin 1/2'si, bazen de 3/4'ü kadar azaldığı görülmüştür. Bazların tahrip etkisi ise daha yüksek olmaktadır (Şekil 10.16). Ayrıca, iğne yapraklı ağaç türleri kimyasal etkilere karşı, geniş yapraklı ağaç türlerinden daha fazla dayanmaktadır. Çünkü iğne yapraklı ağaçların kimyasal yapısında daha az miktarda hemiselüloz bulunmaktadır.

Şekil 10.16: Alkali etkisine bırakılan bir ağaç malzemede kimyasal bozunma ve odunun liflerine ayrılması.

10.7 Açık Hava Şartları Etkisi

Boya ya da diğer yüzey örtücü maddeler sürülmemiş ağaç malzeme açık hava şartları altında kullanıldığında, çeşitli atmosfer etkilerine maruz kalmaktadır. Bu etkiler sonucunda malzeme yüzeyinde renk değişikliği, kalkık ve gevşek lifliliğe benzer görünüşler, çatlamalar ve erozyon meydana gelmektedir.

Açık hava şartları altında kullanılan ağaç malzemede öncelikle ağaç türüne bağlı olarak odunun rengi gri ya da gümüşi renge döner. Yüzeydeki hücreler yavaş yavaş dağılır ve yüzey yavaş yavaş erozyona uğrar (Şekil 10.17). Açık hava şartlarının etkileri birçok atmosfer faktörünün birlikte etki etmesi sonucunda ortaya çıkar. Özellikle ultraviyole (UV) ışınları hücre çeperine yavaş etki eder. Islak ve kuru rutubet şartları birbirini izlediğinde yumuşak çürüklük mantarları görülür. Yüzeylerdeki daralma ve genişleme ile küçük çatlaklar oluşur. Ayrıca, rüzgârın ve suyun mekanik aşındırıcı etkileri yüzeylerin yavaş da olsa bozunmasına yol açar.

(A) (B)

Şekil 10.17: Su ve rüzgâr etkisiyle erozyona uğramış ağaç malzemeler. (A) Eski bir malzemede, (B) Çam odununda

Ağaç malzemenin açık havada atmosfer etkisine maruz kalması, görünüşü dışında ciddi bir problem yaratmamaktadır. Emprenye edilmemiş,

boya ya da cilâ sürülmemiş herhangi bir ağaç malzemede 100 yılda yaklaşık 6 mm kadar bir aşınma olduğu tespit edilmiştir. Örneğin; binaların dış cephe kaplamaları boyanmadan doğal halde bırakıldığında renkleri değişerek, griye dönmekte, yüzeyler ıslak kaldığında mantarların etkisiyle keskin köşeli görünüş bozulup, çürüklük tipi ile ilgili tekrar bir renk değişikliği olabilmektedir. Bütün bu olumsuzlukları ve yüzeyde meydana gelen küflenmeleri önlemek için içerisinde su itici maddeler bulunan koruyucu kimyasal maddelerle ağaç malzemenin emprenye edilmesi gerekir.

10.8 Kuruma Zararları ve Kusurları

Ağaç malzeme higroskopik bir hammadde olduğundan, hücre çeperlerindeki su miktarı değiştikçe daralır ya da genişler ve bünyesinde bozunmalar meydana gelir. Ortalama daralma değerleri boyuna yönde % 0,4, radyal yönde % 4, teğet yönde ise % 8 kadardır. Bu değerler odun taze halden tam kuru hale gelinceye kadar meydana gelmekte ve taze haldeki ölçülere oranlanarak hesaplanmaktadır.

Lif doygunluğu noktası altındaki su miktarında değişmeler malzemenin boyutlarında, direncinde ve diğer özelliklerinde farklılıklara neden olmaktadır. Örneğin; enine kesitin boyutlarındaki değişim çatlama, çarpılma, sertleşme hali, bal peteği oluşumu ve kollaps oluşumuna yol açabilir. Bu konuda 14. Bölüm'de daha detaylı bilgi verilmektedir.

10.9 Mekanik Eskime

Demiryolu traversleri ve ahşap köprüler gibi kullanım alanlarında çeşitli araçların ve insanların aşındırıcı etkileri, ağaç malzemenin mekanik yolla eskimesine neden olmaktadır. Ayrıca merdiven, parke ve döşeme tahtası gibi kullanım alanlarında da insan ve sert maddelerin etkisi ile aşınma görülebilir. Böyle kullanım yerlerinde görülen sürtünme etkileri, bir zımpara kâğıdının yaptığı etki gibi malzemeyi aşındırmaktadır. Açık havada kullanılan ağaç malzemenin yumuşamasına neden olan mantarlar da mekanik eskimeyi hızlandırır.

Ağaç malzemenin mekanik eskimeye en dayanıklı yüzeyi enine kesit yüzeyleri olup, daha sonra sırasıyla radyal ve teğet yüzeyler gelmektedir. Malzemede aşınmanın hızı emprenye edilerek kısmen azaltılabilmektedir. Emprenye edilen malzemede mantarların neden olduğu yumuşama ortadan kaldırılmakta, sert kalan ağaç malzeme daha yavaş aşınmaktadır.

BÖLÜM 11

ODUN SU İLİŞKİLERİ

Yaşayan ağaçların bütün yapısal bölümlerinde doğal olarak ve farklı miktarlarda su bulunmaktadır. Örneğin; diri odun ve öz odundaki rutubet miktarı da farklı olmaktadır (Tablo 11.1). Su miktarı; ağaç türü, ağaç yaşı, yetişme yeri şartları ve mevsimle ilgili olarak değişir.

Tablo 11.1: Yaşayan Ağaçlarda Su Miktarı

Ağaç Türü	Diri Odun (%)	Öz Odun ya da Olgun Odun (%)
Çam	130	50
Göknar	165–180	40–50 (ıslak odun hariç)
Lâdin	145	35
Sedir	120	40
Akçaağaç	75	65
Ihlamur	75	80
Kavak	135	80
Kayın	100	55
Kestane	80–140	80
Meşe	100	80

Yaşayan ağaçlarda su miktarı ksilemin toplam ağırlığının yarısını aşmaktadır. Ağaç kesilip tomruklandığında ya da tomruklar biçilip kereste, kaplama levha haline getirildiğinde ya da yongalandığında çevresine rutubet vermeye başlar. Ancak, ağaç malzemedeki rutubet tamamen bitmez ve hücre çeperlerinde daima bir miktar su kalır. Zamanla ve ortamın rutubet şartlarına bağlı olarak değişen su miktarı ağaç malzemenin fiziksel–mekanik özelliklerini, biyolojik bozunmaya karşı dayanıklılığı ve boyutsal stabilitesini etkilemektedir. Yaşayan bir ağacın hücre çeperlerindeki su miktarı esasen mevsimler itibariyle sabit kalır, fakat lümenlerindeki su miktarı değişir. Lümenlerdeki su inorganik maddelerle birlikte fotosentez için kullanılmakta ve besi suyu olarak isimlendirilmektedir.

Taze haldeki ağaç malzemede hücre çeperlerinde ve hücre lümenlerinde bulunan su miktarına (rutubet miktarına) göre ağaçlar dört sınıfa ayrılmaktadır.

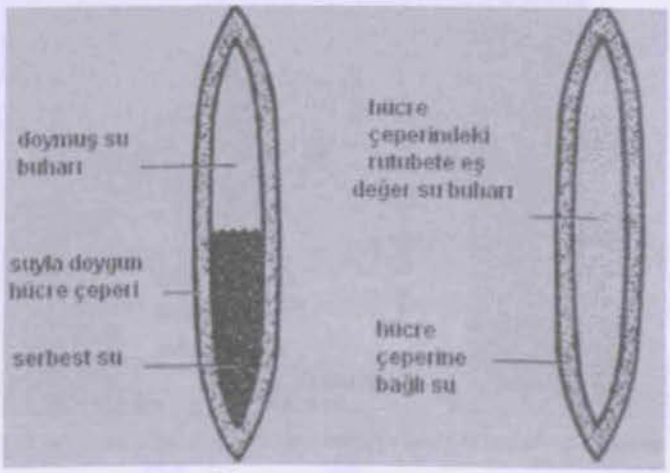
(1) Orta rutubetteki ağaçlar: Bu sınıfa giren ağaçların odunları % 30–40 rutubet içermekte ve 1 m^3 odunda 100–200 kg su bulunmaktadır. Örneğin; lâdin, çam, melez ve göknar.
(2) Rutubetli ağaçlar: Odunları % 40–60 rutubet içermekte ve 1 m^3 odunda 200–400 kg su bulunmaktadır. Örneğin; dişbudak, ceviz, yalancı akasya ve titrek kavak.
(3) Yaş ağaçlar: Odunları % 60–115 rutubet içermekte ve 1 m^3 odunda 400–550 kg su bulunmaktadır. Örneğin; kayın, meşe, huş, akçaağaç, kızılağaç, ıhlamur ve söğüt.
(4) Çok yaş ağaçlar: Odunları % 115'den fazla rutubet içermekte ve 1 m^3 odunda 500 kg'dan fazla su bulunmaktadır. Örneğin; karaağaç, kavak, kestane, iğne yapraklı ağaçların diri odunları ve kök odunları.

Ağaçlar kesildikten sonra enine kesitlerden ve kabuğun döküldüğü kısımlardan, kabukları soyulmuşsa gövde yüzeylerinden rutubet kaybetmeye başlarlar. Rutubet kaybı diri odunda gövdenin iç kısımlarına göre daha fazla olmaktadır. Yani kesimden sonra öz odun daha az rutubet kaybetmekte, öz odun diri oduna nazaran daha fazla rutubet içermekte ve rutubeti azalan diri odun kısmının çürümesi kolaylaşmaktadır.

İmalât sırasında ağaç malzeme kurumaya başladığından öncelikle hücre lümenlerindeki suyun tümü kaybolur, fakat daima bir miktar su buharı kalabilir. Hücre çeperlerinde kalan su miktarı ise imalât için yapılan kurutmanın derecesine ve daha sonra bulunduğu çevreye bağlı olarak azalır. İmalâttan sonra kullanım yerinde ağaç malzeme herhangi bir şekilde rutubete maruz kalırsa, tekrar hücre çeperlerine ve lümenlerine su girebilir. Örneğin; malzemenin toprakla temas eden yerlerde ve yağmur altında kullanılması halinde hücre lümenlerine su girebilmektedir. Şekil 11.1/A'da yeni kesilmiş bir ağacın hücrelerinde bulunan su miktarı şematik olarak gösterilmiştir. Şekilden anlaşılacağı gibi sadece hücre çeperi su ile doygun halde olup, hücre lümeninde de sıvı halde su bulunmaktadır. Bu durumda fiziksel olarak mümkün olan en fazla su adsorbe edilmektedir.

Hücre lümenlerindeki su miktarı farklılığından odunun fiziksel özelliklerden ağırlık hariç, birçok mekanik özellikleri etkilenmeyebilir. Örneğin; hücre lümeninin 1/4'ü su ile dolu olduğunda sahip olduğu direnç ile yarıya kadar

suyla dolu olması halindeki direnciyle aynıdır. Ağaç malzeme hücrelerin lümenindeki tüm su çıkmasına kadar kurutulduğunda, hücre çeperindeki su da azalmaya başlar. Binalarda toprakla temasta bulunmayan kısımlarda kullanılan ağaç malzemede hücrelerde bulunan rutubet miktarı şematik olarak Şekil 11.1/B'de gösterilmiştir.



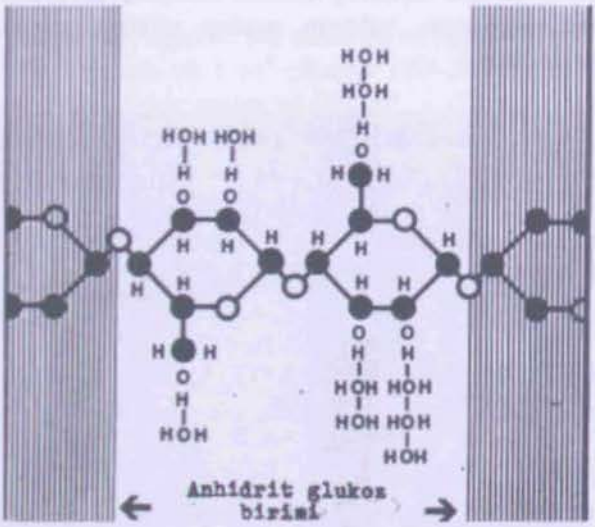
(A) (B)

Şekil 11.1: (A) Taze haldeki odunda bir hücre içerisindeki su miktarı, (B) Kuru haldeki odunda bir hücre içerisinde su miktarı.

Lümendeki suyun tümünün çıktığı, fakat hücre çeperinin halen tamamen doygun bulunduğu rutubet noktasına lif doygunluğu noktası (LDN) adı verilmektedir. LDN kritik bir nokta olup, bu değerin altındaki rutubetlerde ağaç malzeme özelliklerinde önemli değişmeler olmaktadır. Su ve toprakla temas etmeyen kullanış yerlerinde odunda daima LDN altında su bulunmaktadır.

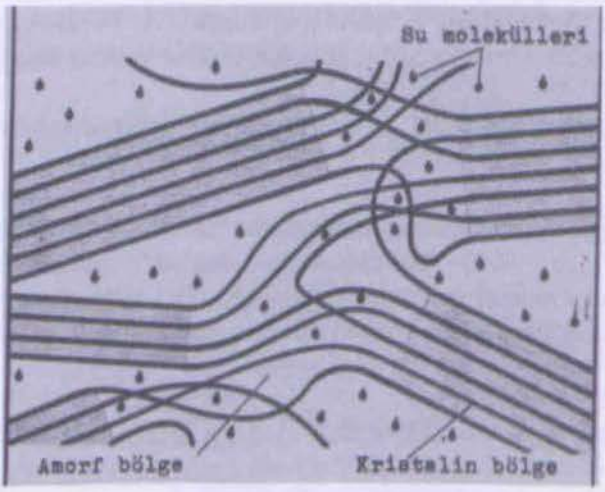
Odunsu hücrelerin lümeninde sıvı halde bulunan suya serbest su, hücre çeperinde bulunan suya ise bağlı su adı verilmektedir. Hücre çeperindeki su miktarı % 6–7 kadarsa, çeperdeki selülozun higroskopik özelliği nedeni ile su mikrofibriller arası boşluklara kimyasal yolla bağlanmıştır, bu olaya kemosorpsiyon denmektedir. Hücre çeperindeki su miktarı % 7–15 arasındaysa, su adsorpsiyon yoluyla hücre çeperine bağlanır. Adsorpsiyon, fizikokimyasal yapıdaki kuvvetlerin etkisiyle suyun tutulmasıdır. Hücre çeperinde bu şekilde su tutulması, absorpsiyonla karıştırılmamalıdır. Absorpsiyon, bir süngerin içerisine su çekerek bunu yüzey kuvvetlerinin etkisi ile tutması olayına benzer.

Adsorpsiyon ise selüloz, hemiselüloz ve lignindeki hidrojen bağları vasıtasıyla su moleküllerinin çekilmesi ve tutulması olayıdır (Şekil 11.2).



Şekil 11.2: Anhidrid glukoz birimi (sellobioz) ve selüloza suyun bağlanması.

Şekil 11.2'nin sol tarafı selüloza bağlanmış monomoleküler adsorpsiyonu, sağ tarafı ise polimoleküler adsorpsiyonu göstermektedir. Taze halde (suyla doygun durumda) olan odunda her iki tarafa da beş ya da altı su molekülü bağlanabilmektedir. Bilindiği gibi hücre çeperinin ultramikroskopik yapısında mikrofibrillerin kristalin ve amorf kısımları vardır. Kristalin kısımlarda bitişik selüloz moleküllerinin OH grupları karşılıklı ya da enine bağlanmış durumdadır. Bu nedenle kristalin bölgede su tutacak herhangi bir kısım bulunmamaktadır. Amorf kısımlardaki OH grupları ise su adsorpsiyonu için uygundur (Şekil 11.3). Hücre çeperinin suyla doygun halinde, yani lif doygunluğu noktasında ise mikrofibriller higroskopisite sınırına ulaşmışlardır ve LDN değeri ağaç türlerine göre değişiklik göstermektedir (Tablo 11.2). Odundaki rutubet, LDN altına ne kadar fazla düşerse, su o kadar daha fazla miktarda hücre çeperine bağlanmaktadır.



Şekil 11.3: Su ile selüloz molekülleri ilişkisi.

Tablo 11.2: Önemli Bazı Ağaç Türlerinde LDN Rutubet Miktarları

Ağaç türü	LDN (%)	Ağaç türü	LDN (%)
Ardıç	22,0	Gül ağacı	15,0
Boylu mazı	18,0	Huş	28,9
Çam	31,3	Kavak	40,4
Göknar	35,1	Kayın	35,6
Lâdin	34,8	Kızılağaç	34,6
Melez	26,1	Meşe	24,5
Sedir	21,0	Teak	18,0
Sekoya	22,0	Yalancı akasya	19,5

Ağaç türleri lif doygunluğu rutubet miktarı bakımından dört gruba ayrılmaktadır.

(1) Lif doygunluğu noktası çok yüksek (% 32–35 ve daha fazla) olan ağaçlar. Örneğin; ıhlamur, kavak, kızılağaç, kayın, gürgen, lâdin ve göknar.
(2) Lif doygunluğu noktası yüksek (% 30–32) olan ağaçlar. Örneğin; çam ve melez diri odunu.
(3) Lif doygunluğu noktası orta (% 24–30) olan ağaçlar. Örneğin; çam, Douglas göknarı ve melez öz odunu.
(4) Lif doygunluğu noktası düşük (% 22–24) olan ağaçlar. Örneğin; kestane, meşe, dişbudak, ceviz ve kiraz.

(5) Lif doygunluğu noktası çok düşük (% 18–22 ve daha az) olan ağaçlar. Örneğin; sedir, ardıçlar, teak ve yalancı akasya.

Ağaç türüne ait LDN bilinmiyorsa, bu değer ortalama % 30 olarak alınabilmektedir.

Lif doygunluğu noktasını aşan rutubet hallerinde, su hücre lümenlerini de doldurmakta ve %40–700 arasında değişen miktarlarda hücrelerde bulunmaktadır. Odunun tam kuru yoğunluğu (D_o) biliniyorsa, içersine alacağı en yüksek su miktarı aşağıda verilen eşitlikle hesaplanabilmektedir.

$$M_{max} = \mathrm{LDN} + \frac{1{,}5 - \mathrm{D}_0}{1{,}5 \times \mathrm{D}_0}$$

11.1 Odunda Rutubet Miktarının Hesaplanması

Odundaki su miktarı, genellikle rutubet miktarı olarak ifade edilmektedir. Rutubet miktarı, odunun tam kuru ağırlığının yüzdesi olarak aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$\text{Rutubet miktarı yüzdesi (RM \%)} = \frac{\text{Su Ağırlığı}}{\text{Tam Kuru Ağırlık}} \times 100$$

Odundaki su ağırlığını tespit etmek için en uygun metot, alınan bir odun numunesinin rutubetli ağırlığı tespit edildikten sonra, numunenin bir kurutma dolabında 100±2°C'de kurutulup, tekrar tartılmasıdır. Ölçülen ağırlıklardan aşağıdaki eşitlik yardımı ile numunenin rutubet miktarı belirlenmektedir.

$$\mathrm{RM}\ (\%) = \frac{\text{Yaş ağırlık} - \text{Tam kuru ağırlık}}{\text{Tam kuru ağırlık}} \times 100$$

Bir örnek verilecek olursa, yaş haldeki kızılçam örneğinin ağırlığı 790 gram, tam kuru ağırlığı ise 340 gram ise, rutubet miktarı yüzdesi

$$\mathrm{RM} = \frac{790 - 340}{340} \times 100 = \%\ 132 \text{ olmaktadır.}$$

Bir ağaç malzemede tam kuru ağırlığı hesaplamak için yine rutubet miktarı eşitliğinden yararlanılmaktadır.

$$\text{Tam kuru ağırlık} = \frac{\text{Yaş ağırlık}}{1 + (\text{RM}/100)}$$

Örneğin; 16000 kg ağırlığında kâğıt odununda tam kuru ağırlığına göre bulunan rutubet miktarı % 80 ise, tam kuru ağırlığı

$$\text{Tam kuru ağırlık} = \frac{16000}{1 + 0{,}80} = 8889 \text{ kg dır.}$$

Ağırlıkla ilgili olarak kereste taşımacılığı sırasında da problemlerle karşılaşılmaktadır. Örneğin; tam kuru ağırlığı 410 kg/m^3 olan % 18 rutubetteki 50 m^3 kereste gemi ile taşınacaksa, % 18 rutubetteki kerestenin toplam ağırlığı

$$\text{Yaş ağırlık} = \text{Tam kuru ağırlık} \times (1 + \text{RM}/100)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunabilir. Burada toplam ağırlık

$$\text{Yaş ağırlık} = 410 \times 50\ (1 + 0{,}18) = 24190 \text{ kg} \quad \text{olacaktır.}$$

Rutubet Miktarının Ölçülmesi

Bir ağaç malzemede rutubet miktarının tayini çoğunlukla daha önce açıklanan kurutma metodu ile yapılmakla beraber, kurutma metodunun bazı sakıncaları vardır. En büyük sakıncası, hesaplamada birkaç gün süreye ihtiyaç olması ve bazı türlerde kurutma sırasında sudan başka uçucu maddelerin de kaybolması nedeniyle yanlış hesaplamalar yapılmasıdır. Ancak yine de pek çok ağaç türünde kurutma metodu kullanılmaktadır.

Günümüzde kereste, kaplama levha ve yongalarda rutubet tayini, kurutma metotları ile yapılabildiği gibi elektrikli rutubet ölçerlerle de belirlenebilmektedir. Elektrikli rutubet ölçerler kısa sürede ve kolay bir işlemle rutubeti tespit ettiklerinden, endüstriyel maksatlarda fazla miktarda kullanılmaktadırlar. Örneğin; kerestelerde çoğunlukla direnç tipi elektrikli rutubet ölçerlerden yararlanılmaktadır. Bu tip ölçüm aletlerinde keresteye çakılmış elektrotların uçları arasındaki elektriksel direnç ölçülmekte ve ağaç malzemede farklı derinliklerdeki rutubet miktarının tayini mümkün olmaktadır.

Direnç tipi rutubet ölçerler genellikle % 6–30 arasındaki rutubet miktarları için güvenli okuma yapmaktadır. LDN üzerindeki rutubet değerlerinde bu tip rutubet ölçerler hassas bir tespit yapamadıklarından tavsiye edilmezler. Ayrıca, ağaç türlerine bağlı olarak odunun elektriksel direnci etkilediğinden, türlere göre düzeltme faktörleri kullanılmalıdır.

Diğer bir rutubet ölçer tipi, kapasite rutubet ölçerleridir. Bu tip ölçüm aletlerinde rutubet miktarı ile birlikte yoğunluk da önemlidir. Dielektrik sabitesini ölçen bu elektrikli rutubet ölçerlerde iğne elektrotlar yerine, temas tipi elektrotlar vardır. Malzeme üzerinde delik açmadığından özellikle yüksek kaliteli kereste ve kaplama levhalarda kullanılırlar (Şekil 11.4).

Ayrıca, odun rutubetinin ölçülmesinde mikrodalga absorpsiyon metodu ile yonga ve liflerin rutubetlerinin ölçülmesinde nötron ve gamma ışınları kullanan sayaçlar yardımı ile ölçümler yapılmaktadır.

Şekil 11.4: Rutubet ölçer tiplerine örnekler.

11.1.1 Çevre ve Rutubet Miktarı İlişkisi

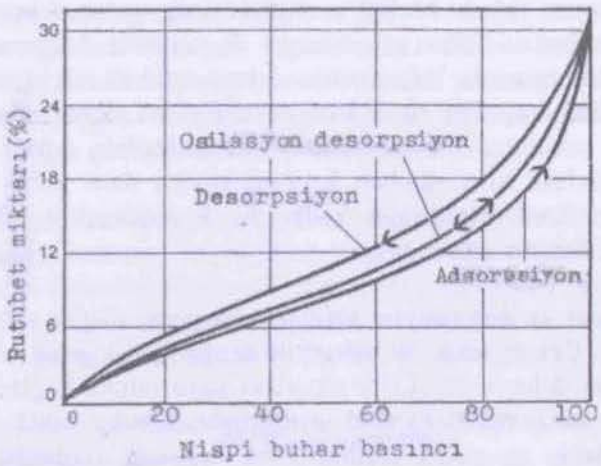
Ağaç malzeme ya da odun esaslı malzemeler, rutubet bakımından kendisini bulunduğu ortama uydurabilen higroskopik bir yapıya sahiptir. Bu malzemelerin bulunduğu ortama göre belli bir rutubet derecesine kadar ulaştıktan sonra rutubet almaları ya da vermeleri sona erer. Buna denge rutubeti (DRM) denmektedir. Denge rutubeti, ortamın sıcaklık ve bağıl nemi sabit tutulduğunda söz konusu olmaktadır.

Ağaç malzeme yapısal özelliği nedeniyle denge rutubeti kuruncaya kadar bulunduğu ortamdan su buharı çekebilir ya da verebilir. Malzeme kendinden daha rutubetli bir ortamda bulunuyorsa denge rutubet miktarına ulaşıncaya kadar çevresindeki havadan su buharı çekebilir, bu olaya adsorpsiyon (su moleküllerinin çekilmesi ve tutulması) denmektedir. Ağaç malzemenin bulunduğu ortamdaki hava rutubeti kendininkinden daha kuru ise malzeme tekrar denge rutubeti kuruncaya kadar su kaybedecektir. Bu olaya da desorpsiyon hali denmektedir.

Adsorpsiyon ve desorpsiyon olayları için genel olarak sorpsiyon terimi kullanılmaktadır. Çevresindeki su buharı ile denge haline gelen odunda rutubet miktarı LDN'dan daha azdır. LDN altındaki suyu oduna bağlayan kuvvetler rutubet miktarı azaldıkça daha fazlalaşmaktadır. Çünkü odun kuru şartlara yaklaştığında daha az polimoleküler (çok tabakalı molekül), daha çok monomoleküler (tek tabakalı molekül) adsorpsiyonuna sahip olmaktadır.

Yapılan araştırmalara göre bağıl nem % 20 veya daha az olduğunda, denge rutubet miktarı (DRM) monomoleküler seviyededir. Bağıl nem % 20–90 değerleri arasında iken polimoleküler adsorpsiyon söz konusudur. % 90–99 değerleri arasında ise kapilar boşluklarda bir miktar su yoğunlaşma ile tutulmaktadır.

Havanın bağıl nemi ile odunun rutubet yüzdesi arasındaki ilişki doğrusal değildir. Çünkü bağlı su hücre çeperinde üç farklı şekilde (adsorpsiyon-desorpsiyon-osilasyon desorpsiyonu) tutulmaktadır. Birçok ağaç türü ve çeşitli kullanış yerindeki ağaç malzeme için geçerli olabilecek bir sorpsiyon grafiği Şekil 11.5'de *Picea glauca* için verilmiştir. Grafikte adsorpsiyon, desorpsiyon ve osilasyon desorpsiyonu görülmektedir. Grafikten anlaşılacağı gibi, 25°C'de bir ağaç malzeme herhangi bir denge rutubetine ulaşmadan su kaybederse, aynı bağıl nemde adsorbe ettiğinden % 3 daha fazla rutubet kazanabilmektedir. Bağıl nemi % 50'nin üzerindeki ortamda yaş haldeki odunun başlangıç desorpsiyonu daha önce kurutulmuş olan malzemeden biraz daha yüksek olmaktadır. Yani, başlangıçta iyi bir şekilde kurutulmuş olan ağaç malzeme, yaşken kuru hale gelmiş malzemeye göre, aynı bağıl nemdeki havadan daha az su almaktadır.



Şekil 11.5: Lâdinde 25°C'de sorpsiyon (adsorpsiyon-desorpsiyon-osilasyon) izotermleri.

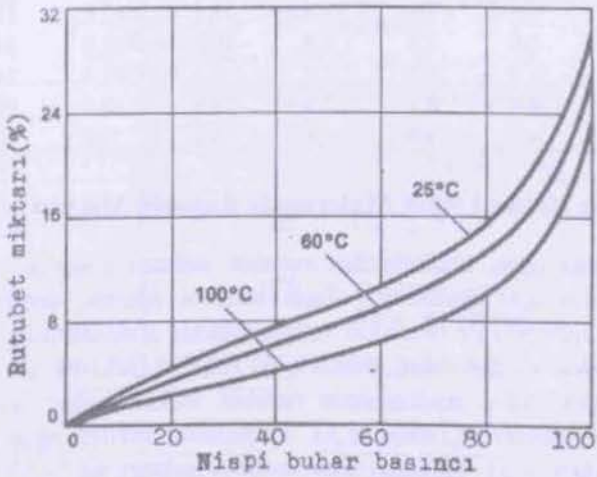
Desorpsiyon ve adsorpsiyon eğrileri arasındaki fark histerez olarak tanımlanır. Histerez bir fizikokimyasal olaydır ve odun–su ilişkilerini anlamamıza yardım eder. Bir ağaç malzeme yüksek ve düşük rutubet şartlarına maruz kaldığında Şekil 11.5'deki grafikte ortada görülen osilasyon desorpsiyon eğrisi geçerli olacaktır. Bununla beraber tüm ağaç türleri için sorpsiyon eğrilerinin genel şekli birbirine benzemektedir. Verilen grafikte LDN % 31 olarak görülmektedir. Herhangi bir ağaç malzemede ortalama LDN genellikle %30 olarak alınmaktadır.

Odunun yapısında bulunan ekstraktif madde miktarı LDN üzerinde etkilidir. Genellikle ekstraktif madde miktarı yüksek olan ağaç malzemede LDN düşüktür. Çünkü ekstraktif maddeler hücre çeperinin su çeken kısımlarında tutulmaktadır. Çeşitli ağaçlarda tespit edilen LDN Tablo 11.3'te verilmiştir.

Tablo 11.3: Önemli Bazı Ağaç Türlerinde Lif Doygunluğu Noktası

Ağaç türleri	LDN (%)
Boylu mazı	18
Güney çamları	29
Sitka lâdini	28
Sekoya	22
Sedir	21
Teak	18
Gül ağacı	15

Odun–su ilişkileri üzerinde sıcaklık az da olsa etkilidir (Şekil 11.6). Yüksek sıcaklıklar ağaç malzemenin kendisini de etkiler. Örneğin; ağaç malzeme 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uzun süre bekletildiğinde, daha az higroskopik olmaktadır. Yani, normal odundan daha az rutubet alması söz konusudur.



Şekil 11.6: Lâdinde desorpsiyon süresinde rutubet miktarı üzerinde sıcaklığın etkisi.

Lif levha ve yonga levhalar imalât sırasında 150°C'nin üzerinde sıcaklıklara maruz kaldığından, herhangi bir sıcaklıkta levhalar, masif ağaç malzemeye göre daha düşük rutubet miktarına sahiptir. Kontrplak ve lâmine ağaç malzemeler ise masif ağaç malzemeye benzer bir denge rutubet miktarına sahiptir. Ancak, yonga ve lif levhalar DRM bakımından önemli farklılıklar göstermektedir (Tablo 11.4). Çeşitli sıcaklık dereceleri ve bağıl nemdeki odunda DRM ise Tablo 11.5'te verilmiştir.

Tablo 11.4: Önemli Orman Ürünlerinde 20°C'de Denge Rutubet Miktarı

Bağıl Nem (%)	Denge Rutubet Miktarı (%)		
	Ağaç malzeme	Yonga levha	Yüksek basınçlı lâminat
30	6,0	6,6	3,0
42	8,0	7,5	3,3
65	12,0	9,3	5,1
80	16,1	11,6	6,6
90	20,6	16,6	9,1

Tablo 11.5: Çeşitli Sıcaklık ve Bağıl Rutubette Odunda Denge Rutubet Miktarı

Sıcaklık	Bağıl Rutubet (%)							
°C	20	30	40	50	60	70	80	90
0	4,6	6,3	7,9	9,5	11,3	13,5	16,5	21,0
10	4,6	6,3	7,9	9,5	11,2	13,4	16,4	20,9
20	4,5	6,2	7,7	9,2	11,0	13,1	16,0	20,5
30	4,3	5,9	7,4	8,9	10,5	12,6	15,4	19,8
45	4,0	5,6	7,0	8,4	10,0	12,0	14,7	19,1
55	3,7	5,2	6,6	7,9	9,4	11,3	14,0	18,2
65	3,4	4,8	6,1	7,4	8,8	10,6	13,1	17,2
75	3,0	4,3	5,6	6,8	8,2	9,9	12,3	16,2

11.1.2 Taze Haldeki Ağaç Malzemede Rutubet Miktarı

Taze haldeki ağaç malzemenin rutubet miktarı tomruk ve kerestenin ağırlığını etkilediği için önemlidir. Taze haldeki ağırlık, üretim ve taşıma ekipmanlarının kapasitesi ile özellikle satışta dikkate alınmaktadır. Ayrıca, ağaç türüne göre öz odun ve diri odun arasında da rutubet farklılıkları vardır (Tablo 11.1). Taze haldeki ağaç malzemenin rutubet miktarı ağaç türleri arasında önemli farklılıklar gösterir (Tablo 11.6). Tablolarda verilen ağaç türlerinde öz odun rutubet miktarı % 31–121, diri odun rutubet miktarı ise % 52–250 arasında değişmektedir.

Taze haldeki ağaç malzemede rutubet miktarındaki değişmeler ağaç türüne, yetişme ortamı şartlarına, ağaç yaşına ve ağacın hacmine bağlıdır. İğne yapraklı ağaçlarda genellikle ağaç yaşı ilerledikçe taze haldeki rutubet miktarında azalma eğilimi artmaktadır. Örneğin; Amerikan güney çamlarında 25 ile 45 yaşlarındaki ağaçlarda taze haldeki rutubet değerleri arasında % 30 oranında fark bulunduğu tespit edilmiştir.

Bir ağaçta diri odundan öz oduna dönüşüm gerçekleştiğinde genellikle hücre çeperlerinde rutubet miktarı yavaş yavaş azalır ve hücre çeperindeki su moleküllerinin yerine ekstraktif maddeler depolanır. Bazı ekstraktif maddeler su içerisinde çözünmüş ya da suspanse halde öz odunu hücrelerinin lümenlerinde bulunur.

Geniş yapraklı ağaçlarda diri odun ve öz odun arasında rutubet farkı daha azdır. İğne yapraklı ağaçlarda diri odunun rutubeti genellikle öz odundan 3–4 kat daha yüksek olmakta, ancak iğne yapraklı ağaçlar yaşlandığında diri odunun

gövde hacmine katılım payı azaldığından, gövdede rutubet miktarı farklılığı azalmaktadır.

Tablo 11.6: Taze Haldeki Odunda Ortalama Rutubet Miktarı

Geniş Yapraklı Ağaç Türleri	Rutubet Miktarı (%) Öz Odun ya da Olgun Odun	Rutubet Miktarı (%) Diri Odun	İğne Yapraklı Ağaç Türleri	Rutubet Miktarı (%) Öz Odun ya da Olgun Odun	Rutubet Miktarı (%) Diri Odun
Acer campestre	53	52	*Abies bornmülleriana*	45	135-190
A. saccharum	65	72	*A. concolor*	98	160
Alnus glutinosa	108	123	*Calocedrus decurrens*	40	213
Betula papyrifera	89	72	*Cedrus libani*	39	117
Carpinus betulus	62	60	*Chamaecyparis nootkatensis*	32	166
Castanea sativa	88	120	*Juniperus virginiana*	33	–
Fagus sylvatica (kırmızı yürek)	52	83	*Larix occidentalis*	54	110
Fraxinus excelsior	46	47	*Picea sitchensis*	41	142
Juglans nigra	90	73	*Pinus brutia*	79	126
Populus tremula	90	64	*P. palustris*	31	106
Quercus cerris	102	100	*P. strobus*	40	148
Q. falcata	83	75	*Pseudotsuga menziesii*	37	115
Q. petraea subsp. *iberica*	94	108	*Sequoia sempervirens*	86	210
Robinia pseudoacacia	40	58	*Taxodium districhum*	121	171
Tilia tomentosa	88	78	*Thuja plicata*	58	249

Yurt dışında birçok ticari kuruluş ve demiryolu işletmeleri tarafından ağaç türlerine göre taze ve kuru haldeki tomruk, direk, kereste gibi ürünler için ağırlık listeleri hazırlanmıştır. Bununla beraber, taşınacak malzemenin rutubet miktarı ölçülebiliyorsa yoğunluğundan yararlanarak taze haldeki ağırlıkları her zaman hesaplanabilir. Ancak, taze haldeki ağırlıkların mevsimler itibariyle farklılıklar gösterdiği unutulmamalıdır.

11.2 Daralma ve Genişleme

Lif doygunluğu noktası altındaki bir ağaç malzeme rutubet kaybederse daralmakta, buna karşın hücre çeperine su girdiğinde genişleme söz konusu olmaktadır. Ağaç malzemede daralma ve genişleme tamamen geriye dönüşümlü bir olaydır. Ağaç esaslı levha ürünlerinde ise bu olay tamamen geri dönüşümlü

değildir. Nedeni, imalât sırasında lif ve yongalara basınç uygulanmasıdır. Ayrıca, büyük parça masif bir ağaç malzemede iç kuruma gerilmeleri nedeniyle genişleme ya da daralmada yine tam olarak geriye dönüşüm olmayabilir.

Hücre çeperinde daralma, selüloz ve hemiselüloz zincir moleküllerine bağlı su moleküllerinin çıkması sonucu meydana gelir ve zincir moleküller birbirine yaklaşır. Daralma miktarı, genellikle hücre çeperinden çıkan su miktarı ile doğru orantılıdır. Hücre çeperinin S_2 tabakası diğer çeper tabakalardan daha kalın olduğundan, bu tabakada moleküler yönlenme daralmanın derecesini geniş çapta tayin etmektedir. Bilindiği gibi S_2 tabakasındaki mikrofibrillerin pek çoğu hücre eksenine paralel seyretmektedir. Bu nedenle hücrelerin boyu daralma ve genişlemeden fazla etkilenmemektedir.

Reaksiyon odununda S_2 tabakasındaki mikrofibrillerin yönü hücre ekseni ile önemli derecede farklı açı yaparak seyrettiğinden, ağaç malzeme kuruduğunda hücre ekseni yönünde önemli bir kısalma meydana gelir. Böylece basınç odununda lif doygunluğu noktasından tam kuru hale kadar olan rutubet değişmelerinde boyuna daralma % 3'e kadar çıkmaktadır. Örneğin; 2,40 m uzunluğunda ve 5x10 cm enine kesitinde reaksiyon odunu içeren bir kiriş, lif doygunluğu noktasından bina içindeki denge rutubet miktarına kadar kuruduğunda, uzunluğunda 7,5 cm'lik bir azalma (daralma) meydana gelebilmektedir. Buna karşın normal odundan yapılmış böyle bir kirişte önemli bir sorun çıkmayacak derecede az daralma meydana gelir. Bir ağaç malzemede daralma ve genişlemenin bulunmasında aşağıda verilen eşitliklerden yararlanılmaktadır.

$$\text{Daralma yüzdesi } (\beta) = \frac{\text{Boyutlardaki azalma}}{\text{Yaş ölçü}} \times 100$$

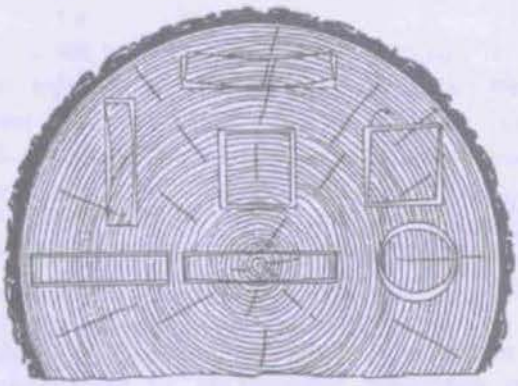
$$\text{Genişleme yüzdesi } (\propto) = \frac{\text{Boyutlardaki azalma}}{\text{Kuru ölçü}} \times 100$$

Normal yapıdaki odunda boyuna yöndeki daralma pratikte dikkate alınmayabilir. Birçok ağaç türünde taze halden, tam kuru hale kadar yapılan kurutmada boyuna yöndeki daralma miktarı genellikle % 0,1–0,2 kadar olup, nadiren % 0,4'ü aşmaktadır. Radyal yönde daralma (β_r) % 2,4–11,0 iken, teğet yönde (β_t) % 3,5–15,0 arasında değişmektedir. Normalde radyal ve teğet yöndeki daralma ve genişleme yüzdeleri belirtilen değerler arasındadır. Teğet yöndeki daralma, radyal yöndeki daralmadan 1,5–2 kat fazla olmaktadır. Çok

genel bir ifade ile boyuna, radyal ve teğet yönlerdeki daralma oranları arasındaki ilişki β_l: β_r: β_t= 1:10:20 şeklinde ifade edilmektedir.

Yapılan araştırmalar bu genel ifadeyi doğrulamakta ve teğet yönde daralma ile radyal yöndeki daralma arasında $\beta_t / \beta_r = 1{,}65$ oranının, teğet yöndeki daralma ile boyuna yöndeki daralma arasında ise $\beta_t / \beta_l = 23$ oranının bulunduğu bildirilmektedir. Bu oranlara öz ışını miktarı, radyal çeperlerdeki geçit sayısı, teğet yönde yaz odunu fazlalığı, teğet ya da radyal biçilmiş materyalde hücre çeper miktarı değişikliği gibi çeşitli anatomik özellikler neden olmaktadır.

Ağaç malzemenin üç yönde farklı çalışması, olumsuz özelliklerinden en önemlisidir. Üç yönde farklı çalışma iç gerilmelere sebep olarak, çeşitli kullanış yerlerinde başlangıçta düzgün olan yüzeyler, kenarlar ve profillerin boyutlarının değişmesine ve çatlama, çarpılma, eğilmeyle kamburlaşması gibi kusurların meydana gelmesine yol açmaktadır. Şekil 11.7'de bir gövde enine kesitinin çeşitli yerlerinden alınan değişik şekilli örneklerde kuruma ile çeşitli yönlerde farklı daralma ve eğilmelerin oluşması gösterilmiştir. Şekilde yıllık halkaların yönüne bağlı olarak karakteristik daralma ve eğilmeler sonunda yuvarlak, kare ve dikdörtgen şeklindeki örneklerde çarpılma görülmekte, enine kesitler değişmekte ve özellikle yıllık halkalara teğet yöndeki daralmalar, radyal yöndeki daralmadan yaklaşık iki kat daha büyük olmaktadır. Tablo 11.7'de birçok yerli ve yabancı türün daralma yüzdeleri verilmiştir.



Şekil 11.7: Gövde enine kesitinin değişik kısımlarından elde edilen malzemede kuruma sonunda meydana gelen deformasyonlar.

Tablo 11.7: Bazı Ağaç Türlerinde Daralma Yüzdeleri

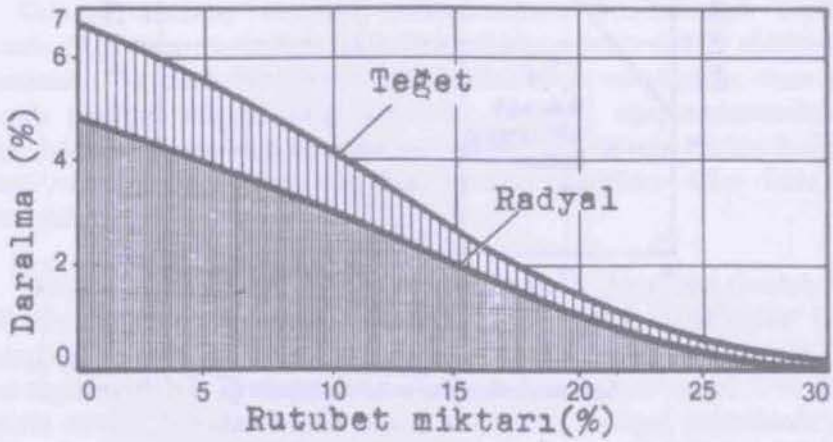
Ağaç Türleri	Daralma (%)		
	Radyal (β_r)	Teğet (β_t)	Hacmen (β_v)
Abies bornmülleriana	3,5	8,8	12,2
A. concolor	3,3	7,0	9,8
Cedrus libani	3,3	5,0	9,2
Juniperus excelsa	4,4	5,1	10,2
J. foetidissima	4,1	4,8	8,3
Picea abies	3,7	7,9	11,8
P. orientalis	3,8	7,4	11,5
P. sitchensis	4,3	7,5	11,5
Pinus nigra var. *pallasiana*	5,6	8,2	13,9
P. taeda	4,8	7,4	12,3
Pseudotsuga menziesii	4,8	7,6	12,4
Thuja heterophylla	4,2	7,8	12,4
T. plicata	2,4	5,0	6,8
Acer saccharum	4,8	9,9	11,7
Alnus sp.	4,4	7,3	12,6
Dipterocarpus	5,2	10,9	–
Fagus orientalis	5,0	10,5	15,5
F. sylvatica	5,5	11,4	17,3
Fraxinus americana	4,9	7,8	13,3
Khaya ivorensis	4,1	5,8	–
Populus tremuloides	3,5	6,7	11,5
Quercus sp.	5,3	9,6	14,9
Swietenia macrophylla	3,7	5,1	–
Tectona grandis	2,2	4,0	–
Tilia sp.	5,5	9,1	14,9

Aynı türün farklı örneklerinde ayni şartlar altında daralmalar değişik olabilmektedir. Bunun nedeninin aşağıda verilen üç faktörden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

(1) Ağaç malzemenin büyüklüğü ve şekli. Bu faktör, kalınlık yönünde rutubet dağılışının yeknesaklığı ve malzemede lif yönüne bağlı olarak değişik etki yapmaktadır.
(2) Malzemenin yoğunluğu. Malzeme yoğunluğu arttıkça, daralma artma eğilimindedir.
(3) Malzemenin kurutulma hızı. Hızlı kurutma şartları altında farklı daralmalar nedeniyle iç gerilmeler oluşur. Yüksek sıcaklık şartları

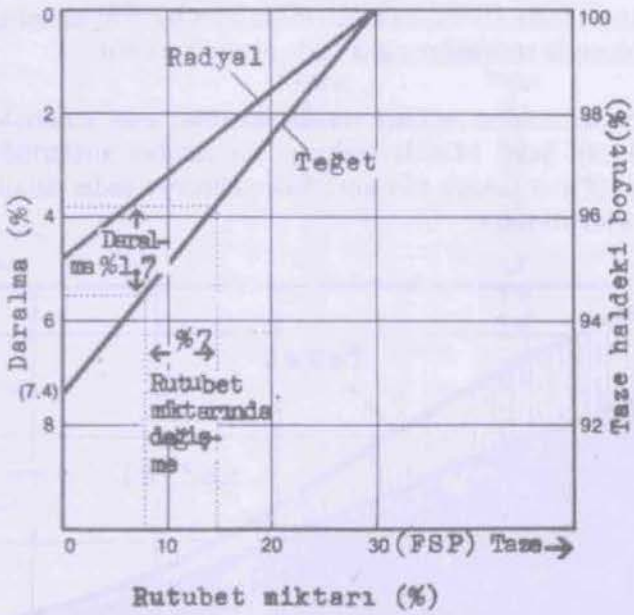
altında hızla kurutulan malzemede bazı hücrelerin kollapsa uğraması nedeniyle normalden daha fazla daralma görülür.

Daralma ile rutubet miktarı arasındaki ilişki esas itibariyle doğrusaldır (Şekil 11.8–11.9). Şekil 11.8'de herhangi bir rutubet miktarındaki amerikan güney çamının (*Pinus taeda*), tam kuru hale gelinceye kadar daralma miktarları yüzde olarak gösterilmiştir.



Şekil 11.8: *Pinus taeda*'da rutubet miktarı ile daralma arasındaki ilişki.

Şekil 11.9'da ise yine amerikan güney çamında %15'den % 8'e kadar yapılan kurutmada, teğet yönde beklenen daralma miktarı grafiği verilmiştir. Bu türde teğet daralma %30 rutubette % 7,4 olup, %1'lik rutubet değişimi için 7,4/30 = % 0,25 olarak bulunmaktadır. Bu hesaplamalarda lif doygunluğu noktası % 30 olarak alınmıştır. Rutubet miktarındaki değişme % 7 olduğunda toplam daralma 7x0,25=% 1,75'tir. Eğer ağaç malzeme lif doygunluğu noktasından % 8 rutubete kadar kurutulmuşsa, tahmini daralma 22x0,25=% 5,5 olacaktır. Daha yüksek bir rutubet miktarından örneğin; % 50'den % 8'e kadar kurutulması halinde ise tahmini daralma yine % 5,5'dur. Çünkü lif doygunluğu noktasına kadar herhangi bir daralma söz konusu değildir.



Şekil 11.9: Taze halden tam kuru hale gelinceye kadar kurutulan *Pinus taeda*'da beklenen daralmalar ve boyut değişikliği.

Ağaç malzemenin bulunduğu ortamdaki rutubet miktarı, onun boyutlarının ve hacminin değişmesine, yükleme ve transportta ağırlığının artmasına ve bu konuda yapılan masrafların yükselmesine, suda yüzme kabiliyetine, mantarların çürütme etkisine karşı gösterdiği dayanıklılığına, özgül ağırlığı, mekanik özellikleri, işlenme özellikleri, ısı değeri, kurutulması ve bükülme özellikleri üzerinde etkili olduğundan, Odun–Su İlişkileri hem teknik hem de ekonomik bakımdan önem taşımaktadır.

BÖLÜM 12

ÖZGÜL AĞIRLIK, YOĞUNLUK VE HACİM AĞIRLIK

Odunun kullanış alanının belirlenmesinde ve mekanik özellikleri hakkında fikir veren en önemli faktörlerden birinin özgül ağırlık olduğu kabul edilmektedir. Bir odun örneğinde özgül ağırlık tespit edildiğinde, onun yapısı hakkında pek çok bilgiye sahip olunabilir. Örneğin; ağaç malzemede özgül ağırlık arttıkça direnç değerlerinde, ısı iletim özelliğinde, birim hacimdeki ısısında ve sertliğinde artış olmakta, aşındırıcı etkilere daha fazla karşı koymaktadır.

Odunun özgül ağırlığı, hücre çeper maddesi ve porozitesi (boşluk hacmi oranı) ile doğrudan ilgilidir. Örneğin; özgül ağırlığı 0,41 olan Uludağ göknarında hacmin % 27'si hücre çeper maddesi, % 73'ü boşluktur. Buna karşın özgül ağırlığı 0,73 olan yalancı akasyada hücre çeper hacmi % 51, boşluk hacmi % 49'dur. Buradan boşluk hacmi % 49 olan bir ağaç malzemede çeşitli direnç değerlerinin, boşluk hacmi % 73 olan malzemeye göre daha yüksek olacağı sonucu çıkarılabilmektedir.

Ağaç malzemenin çeşitli alanlarda ve yapılarda kullanımında mühendislik açısından üç karakteristiği dikkate değerlendirilmelidir. Bunlar;

(1) Özgül ağırlık değerlerinden malzemenin porozitesi (boşluk hacmi oranı) yorumlanmalı,
(2) Hücre yapısı organizasyonunun (hücre çeperleri ultramikroskopik yapısı, hücre tipleri oranı ve hücre çeşitliliği) prensip olarak ağaç cinslerinin bir fonksiyonu olduğu,
(3) Ağaç malzemenin rutubet miktarı bilinmelidir.

Ağaç malzemenin direnç değerleri özgül ağırlığına oranlandığında, özgül ağırlığı düşük olmasına rağmen, çeşitli yükleme tiplerine karşı koyma gücünün yüksek olduğu görülmektedir. Ağaç malzeme hem hafiftir hem de yüksek bir esneklik ve dirence sahiptir. Bu özellik, odunun diğer yapı malzemelerine göre üstünlüğünü vurgulayan en önemli özelliklerinden biridir.

Ayrıca, her kullanış yerinde yüksek direnç ve sertlik aranmayabilir. Örneğin; bazı kullanım alanlarında odunun yumuşak olması, kolay işlenmesi ya da az çalışması istenebilir. Bu özelliklerin arandığı alanlarda özgül ağırlığı düşük olan ağaç türleri kullanılır. Görüldüğü gibi özgül ağırlık, belirli sınırlar içerisinde odunun kalitesi hakkında genel anlamda fikir verecek bir kriterdir. Bu nedenle orman mühendisliğinde amaç sadece fazla hacim elde etmek değil, hacim ile birlikte odun kalitesine de önem vermek olmalıdır.

Özgül ağırlık ve yoğunluk terimleri bütün materyaller için kullanılan fiziksel bir karakteristik olup, malzemede birim hacmindeki ağırlığı ifade eder. Yoğunluk, birim hacimdeki kütle ya da ağırlık olarak tanımlanır ve g/cm^3 ya da kg/m^3 birimleri ile birlikte kullanılır. Özgül ağırlık ise bir malzemenin yoğunluğunun 4°C'deki suyun yoğunluğuna oranı olup, birimsiz kullanılmaktadır. 4°C'deki sıcaklıktaki suyun yoğunluğu 1 g/cm^3 olduğundan ağaç malzemenin yoğunluğunun, suyun yoğunluğuna oranlanması sonucu değiştirmez, ancak birimleri kaldırılır. Örneğin; yoğunluğu 0,5 g/cm^3 olan bir ağaç malzemenin özgül ağırlığı 0,5'dir.

Bilindiği gibi yoğunluk bir materyalin ağırlığının (W), hacmine (V) bölünmesi ile bulunmakta ve "D" harfi ile ifade edilmektedir (D=W/V g/cm^3). Ancak, ağaç malzeme gibi higroskopik bir malzemenin ağırlığı sabit bir değer olmayıp, içersindeki su miktarına göre değişmekte ve su miktarının artması ile ağırlık artmaktadır. Bu nedenle ağaç malzeme ile yapılan çalışmalarda sabit bir değer olması bakımından ağırlık ve hacmin tam kuru (% 0 rutubette) olduğu ya da hava kurusu (% 12 rutubette) olduğu durumda ölçümler yapılmaktadır. TS 2472 nolu standarda göre 2x2x3 cm boyutundaki odun örneklerinin belli bir rutubet derecesinde ağırlıkları ve hacimleri tespit edilerek tam kuru (D_o) ya da hava kurusu (D_{12}) yoğunlukları bulunabilir. Önemli ağaç türlerinde tam kuru yoğunluk ve hacim ağırlık değerleri Tablo 12.1'de verilmiştir.

Odunda bilimsel bakımdan önemli diğer bir değer olan hacim ağırlık (R), tam kuru ağırlığın yaş haldeki hacme oranlanması ile bulunur. Ormanda dikili haldeki ağaçların yaş hacminde ne kadar tam kuru hammadde bulunduğunu tespit etmek için ve özellikle kâğıt endüstrisinde kullanılan bir kriterdir. Hacim ağırlık birimi genellikle kg/m^3 olarak verilmekte ise de, bazen g/cm^3 olarak ifade edilebilmektedir. Özgül ağırlık (ÖA), yoğunluk (D) ve hacim ağırlık değerinin (R) hesaplanmasına ait birer örnek aşağıda verilmiştir.

	Taze halde	% 12 Rutubette	Tam kuru
Ağırlık	2 000 kg	1 250 kg	1 120 kg
Hacim	0,00250 m^3	0,00232 m^3	0,00223m^3

$$AÖ_{12} = \frac{\text{Hava kurusu ağırlık/Hava kurusu hacim}}{\text{Suyun yoğunluğu}} = \frac{1250/0{,}00232}{1} = 538{,}8$$

$$D_{12} = \text{Hava kurusu ağırlık/Hava kurusu hacim} = 1250/0{,}00232 = 538{,}8\ kg/m^3$$

$$D_0 = \text{Tam kuru ağırlık/Tam kuru hacim} = 1120/0{,}00223 = 502{,}2\ kg/m^3$$

$$R = \text{Tam kuru ağırlık/Tam kuru hacim} = 1120/0{,}0025 = 448\ kg/m^3$$

Tablo 12.1: Bazı Önemli Ağaç Türlerinde Tam Kuru Yoğunluk ve Hacim Ağırlık Değerleri

Ağaç Türü	**Tam kuru yoğunluk (D_o) (kg/m^3)**	**Hacim ağırlık değeri (R) (kg/m^3)**
Abies alba	410	370
A. bornmülleriana	410	360
Acer sp.	590	520
Alnus sp.	490	430
Araucaria angustifolia	500	–
Aucoumea klaineana	420	–
Carpinus betulus	790	640
Cedrus libani	480	430
Fagus orientalis	630	530
F. sylvatica	680	560
Fraxinus sp.	650	570
Guaiacum officinale	1230	1040
Larix decidua	550	490
Lophira alata	1040	–
Ochroma pyramidale	130	120
Picea abies	430	380
P. orientalis	410	360
Pinus brutia	530	480
P. strobus	380	340
P. sylvestris	490	430
Populus sp.	410	370
Pseudotsuga menziesii	470	410
Quercus sp.	650	560
Robinia pseudoacacia	730	650
Swietenia sp.	550	–
Tectona grandis	630	–
Ulmus sp.	640	560

Hava kurusu ve tam kuru haller dışında yoğunluk ve özgül ağırlık arzu edilen herhangi bir rutubet derecesinde tayin edilebilir. Ancak, LDN üstündeki bir rutubet miktarında yapılan hesaplamalarda anormal derecede büyük sonuçlar çıkacağı bilinmelidir. Çünkü lif doygunluğu noktasından sonra malzeme rutubet aldıkça, ağırlığı artacak ve hacminde değişiklik olmayacaktır. Ayrıca, bir ağaç malzemenin tam kuru yoğunluğu, hava kurusu yoğunluğu ya da hacim ağırlık değerinden biri bilinmiyorsa, bilinmeyen değer aşağıda verilen eşitlikler yardımı ile bulunabilmektedir.

$$D_{12} = \frac{D_0(1 + 0{,}12)}{1 + (0{,}84 \times D_0 \times 0{,}12)} \quad g/cm^3$$

$$R = \frac{D_0}{1 + 0{,}28\, D_0} \quad g/cm^3$$

$$D_0 = \frac{R}{1 - 0{,}28\, R} \quad g/cm^3$$

12.1 Yoğunluk Üzerinde Etkili Olan Faktörler

Yoğunluk üzerinde etkili olan faktörler yıllık halka genişliği, ilkbahar ve yaz odunu oranı, ağaç yaşı, öz odun–diri odun miktarı, yabancı maddeler, rutubet miktarı, gövde ya da dal ve kök odunu oluşu, gövdede bulunuş yeri, yetişme yeri şartları, toprak türü, genç odun ve reaksiyon odunu oluşumu olup, aşağıda sırası ile açıklanmıştır.

(1) Yıllık halka genişliği arttıkça, ağaç türlerine göre yoğunlukta da değişiklikler olur. Bu değişiklikler üç grupta toplanmaktadır

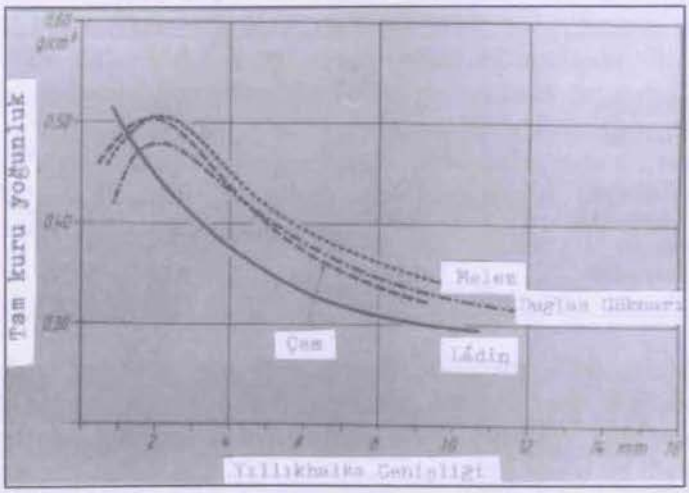
(a) Halkalı traheli geniş yapraklı ağaçlarda yıllık halka genişledikçe yoğunluk artar.

(b) Yaz odunu tabakası belirgin olan iğne yapraklı ağaçlarda yıllık halka genişliği arttıkça yoğunluk azalma eğilimindedir. Ancak, bu ilişki zayıftır. Ayrıca çam, melez, sedir gibi ağaçların çok dar yıllık halkalarında yoğunluk yine düşüktür. Genellikle çamda yıllık halka genişliği 1,5–2,0 mm genişliğe kadar arttığında yoğunluk da artmakta, daha geniş yıllık halkalarda ise yoğunlukta azalma görülmektedir (Şekil 12.1).

(c) Dağınık traheli geniş yapraklı ağaçlar ve yaz odunu belirgin olmayan iğne yapraklı ağaçlarda yıllık halka genişliği ile yoğunluk arasındaki ilişki azdır.

Bu genel kaideler normal odun oluşumu halinde geçerlidir. Çok dar, ya da çok geniş yıllık halkalı ağaçlarda genç odun ve reaksiyon odunu söz konusu olduğunda bu kaideler geçerli değildir. Yıllık halka genişliği, yoğunluk için bir

gösterge olarak kullanılacaksa ağaç türü ve yetişme yeri şartları da dikkate alınmalıdır.



Şekil 12.1: İğne yapraklı ağaçlarda yıllık halka genişliği ile tam kuru yoğunluk arasındaki ilişki.

Bazı kullanış yerlerinde yoğunluk tahmini yapabilmek için belli bir birim uzunluktaki yıllık halka sayısını belirtmek, giderek önem kazanmaktadır. Örneğin; alet sapları gibi ağır şartlarda kullanılacak ağaç malzemede birim uzunluktaki yıllık halka sayıları dikkate alınmaktadır. İğne yapraklı ağaç kerestelerinin sınıflandırmalarında da 2,5 cm'de 6 ya da daha fazla yıllık halka bulunması ya da yaz odunu katılıp payının 1/3 veya daha fazla olması gibi koşullara göre yapılmaktadır.

(2) Ağaç malzemede ilkbahar–yaz odunu oranı yoğunluğu etkiler. Çünkü ilkbahar odunu, yaz odunundan daha düşük yoğunluktadır (Tablo 12.2). Bu yapısal farklılık nedeniyle yaz odunu katılım payı arttıkça, yoğunlukta doğrusal bir artış meydana gelmektedir.

(3) Ağaç yaşı artışı ile yoğunlukta değişme görülür. Çünkü yaş ilerledikçe hem iğne yapraklı hem de geniş yapraklı ağaçlarda dar yıllık halkalar oluşur. Sonuçta ileri yaşlarda iğne yapraklı ağaçlarda genellikle ağır, halkalı traheli geniş yapraklı ağaçlarda ise hafif odun üretilir.

(4) Ekstraktif maddeler öz odun oluşumu sırasında hücre çeperi ve lümenine yerleşerek yoğunluğu artırıcı yönde etki yapmaktadır.

(5) Genellikle dal odunu gövde odunundan ağır, kök odunu ise daha hafiftir.

Tablo 12.2: Bazı Ağaç Türlerinde İlkbahar ve Yaz Odunu Yoğunlukları

Ağaç Türü	Tam kuru yoğunluk (g/cm^3)		
	İlkbahar odunu yoğunluğu (D_{oi})	Yaz odunu yoğunluğu (D_{oy})	D_{oy}/D_{oi}
Abies alba	0,28	0,63	2,3
Larix decidua			
Diri odun	0,35	0,88	2,5
Öz odun	0,44	0,91	2,1
Picea abies			
Diri odun	0,29	0,82	2,8
Olgun odun	0,38	0,91	2,4
Pinus sylvestris			
Diri odun	0,34	0,81	2,4
Öz odun	0,36	0,90	2,5

(6) Malzemenin gövdeden alındığı yere göre yine yoğunlukta değişme görülür. Pek çok iğne yapraklı ağaçta yoğunluk özden kabuğa doğru artıp, gövdede aşağıdan yukarıya doğru azalır. Geniş yapraklı ağaçlarda ise bu bakımdan belli bir uyum yoktur.

(7) Diğer bir faktör olan rutubet artışı da yoğunluğu artırır. Ancak, lif doygunluğu noktasının üzerinde hacim sabit kaldığından, LDN'den sonra yoğunluktaki artış daha hızlıdır.

(8) Yetişme yeri şartlarından yükselti ve yön, yoğunluğu etkiler. Örneğin; lâdin ile kayında güneyden kuzeye doğru gidildikçe ve dağlardan aşağıya inildikçe yoğunluk artar. Çamda da güneyden kuzeye doğru gidildikçe yoğunlukta artış tespit edilmiştir.

(9) Turbalık topraklarda yetişen ağaçların odunu hafif olmaktadır. Kireçli topraklarda yetişen dişbudakların odununun daha ağır olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tropik bölgelerde yetişen ağaç türleri odunlarının subtropik ve ılıman bölgelerde yetişenlerden % 23 kadar daha ağır olduğu bildirilmektedir.

(10) Daha önce belirtildiği üzere genç odunun yoğunluğu genellikle normal odundan daha düşüktür. Bu nedenle direnç özellikleri de düşük olmaktadır. Ayrıca, basınç ve çekme odununda da yoğunlukta değişme görülmektedir. Basınç odununun yoğunluğu % 15–40 kadar daha yüksektir. Böyle bir malzemede yaz odunu katılım payı artmaktadır. Kerestede basınç odunu bulunuyorsa anormal boyuna daralma etkisinden ve düzensiz direnç özelliklerinden kurtulmak için bu kısım malzemeden çıkartılmalıdır. Basınç odunu gevrek yapıda olduğundan, özellikle merdiven basamakları olarak kullanılmamalıdır. Çekme odununda da yoğunluk % 12 kadar artabilir. Kavak gibi ağaçlarda yoğunlukta büyük değişme olmamakla beraber, jelâtinli lifler sorun yaratabilmektedir.

12.2 Hücre Çeper Yoğunluğu ve Boşluk Hacmi

Ağaç malzeme hücrelerden meydana gelen bir hammadde olduğundan, esas ağırlığı hücre çeperleri oluşturmaktadır. Hücre çeperinin tam kuru yoğunluğu bütün türlerde 1,5 g/cm^3 olarak kabul edilmektedir. Bu durumda odundaki boşluk hacmi (porozite) ile yoğunluk arasında doğrudan bir ilişki vardır. Bir odunda hücrelerin lümeni bulunmadığı düşünülürse, tam kuru yoğunluğu 1,5 g/cm^3 olacaktır. Boşluk hacmi % 50 olduğunda ise odunun tam kuru yoğunluğu 0,75 g/cm^3 olacaktır. Odunun yaklaşık boşluk hacmi (B) yüzdesi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$\text{Boşluk hacmi yüzdesi} = 100 - \left(\frac{\text{Tam kuru yoğunluk}}{1{,}50} \times 100\right)$$

Boşluk hacminin bilinmesi, ağaç malzeme emprenye edildiğinde içersine alacağı en fazla koruyucu madde miktarının hesaplanmasında ya da bir tomruğu suda yüzdürmek için ne kadar su gerektiğinin hesaplanmasında yardımcı olmaktadır. Ülkemizde ve dünyada yoğunluğu en düşük ve en yüksek olan ağaç türlerinde porozite ve hücre çeper oranları Tablo 12.3'te verilmiştir.

Tablo 12.3: Ülkemizde ve Dünyada Yoğunluğu En Düşük ve En Yüksek Olan Ağaç Türlerinde Porozite ve Hücre Çeper Oranları

Ağaç Türleri	Yoğunluk (D_o) (g/cm^3)	Porozite (%)	Hücre çeper Oranı (%)
Populus tremula	0,40	73,3	26,7
Buxus sempervirens	0,92	38,6	61,4
Ochroma pyramidale	0,12	91,3	8,7
Guaiacum officinale	1,23	18,0	82,0

12.3 Tomruk Ağırlığı ve Tomruğun Suda yüzdürme Ağırlığının Hesaplanması

Bir tomrukta rutubet miktarı ve hacim ağırlık değeri bilindiği takdirde, ağırlığı aşağıda verilen eşitlik yardımıyla kolayca hesaplanabilir.

$$\text{Ağırlık} = \text{Hacim} \times \text{Hacim ağırlık değeri} \times \left(1 + \frac{\text{Rutubet}}{100}\right)$$

Örneğin; % 60 rutubetteki 15 m^3 kayın (*Fagus orientalis*) kerestesi gemi ile gönderilecekse malzemenin ağırlığı hesaplanabilir. Kayında hacim ağırlık değeri 531 kg/m^3 olarak verilmektedir. Buna göre ağırlık,

$$\text{Ağırlık} = 15 \times 531 \times \left(1 + \frac{60}{100}\right) = 12\,744 \text{ kg}$$

olarak bulunur. Çeşitli rutubet miktarları ve hacim ağırlık değerlerine göre 1 m^3 ağaç malzemenin ağırlığını yaklaşık olarak veren tablolar yapılmıştır. Bunlara bir örnek Tablo 12.4'de görülmektedir.

Tablo 12.4: Belli Hacim Ağırlık Değerindeki 1 m^3 Ağaç Malzemenin Çeşitli Rutubet Miktarlarındaki Ağırlıkları (kg)

Rutubet Miktarı (%)	Hacim Ağırlık Değeri (kg/m^3)				
	300	400	500	600	700
0	300	400	500	599	700
10	330	440	550	659	770
20	360	481	599	719	839
40	420	559	700	839	980
60	481	639	799	960	1120
80	540	719	900	1080	1260
100	599	799	1000	1200	1400

Bir tomruğun suda yüzdürülerek transportunun yapılabilmesi, suya battığı en düşük rutubet miktarının bilinmesine bağlıdır. Bu amaçla kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\text{RM (\%)} = \frac{1 - R}{R} \times 100$$

Örneğin; hacim ağırlık değeri 0,56 g/cm^3 olan bir meşe tomruğunun yüzdürülmesi için rutubet miktarı en fazla

$$\text{RM} = \frac{1 - 0{,}56}{0{,}56} \times 100 = \%\,78{,}6$$

olmalıdır.

BÖLÜM 13

MEKANİK ÖZELLİKLER

Mekanik özellikler ağaç malzemede boyut ve şekil değişmeleri, gerilme ve kırılmalara yol açan mekanik cinsten dış kuvvetlere karşı koyma derecesi ve durumunu belirtmektedir. Malzemenin dış kuvvetlerin etkilerine karşı koyması kuvvetin ya da yüklemenin büyüklüğüne, yönüne, çeşidine ve zamana bağlıdır. Ayrıca, ağaç malzemenin etkiye maruz kalan yüzey şekli ve büyüklüğü ile birlikte malzemenin gerilme şekli de karşı koyma gücünü etkilemektedir.

Mekanik kuvvetlerin etkisi yukarıda sayılan faktörlerden başka büyük ölçüde ağaç türüne, özgül ağırlığına, anatomik yapısına, kimyasal bileşimine, coğrafi orijine, yetişme bölgesi şartlarına, rutubet miktarına, sıcaklığa, çürük ve sağlam oluşuna, kusurlarının bulunup bulunmamasına, kuvvetin etki yönü ile lif yönü arasındaki açıya bağlı bulunmaktadır. Görüldüğü gibi ağaç malzemenin mekanik özellikleri homojen yapıda olan malzemelerden, örneğin metallerden farklı olup, tespit edilmesi diğer materyaller kadar kolay olmamaktadır.

Mekanik özellikler bilhassa binalarda kullanılan yapı elemanları için en önemli karakteristiklerdir. Herhangi bir kullanış yeri için malzeme seçiminde bu özelliklerin belirlenmesi önde gelmektedir. Örneğin; ağaç malzemenin binalarda taşıyıcı, döşeme kirişi, çatı kerestesi veya kontrplak çatı örtüleri, lâmine kirişler, merdiven ya da telekominikasyon direkleri, tel direkleri, yat direkleri ve mobilya iskeleti gibi kullanım yerlerinde mekanik özelliklerin bilinmesi gerekir.

Yapılan yüklemeler basınç, çekme, eğme, makaslama ve bükmeye zorlama şeklinde olabilir. Kuvvet yavaş yavaş artacak şekilde ya da ani, şok etkisinde olabileceği gibi, uzun süreli ve yorma şeklinde de olabilir. Bir ağaç malzemenin türüne, yapısına ve bileşimine göre karşı koyacağı maksimum yük değişmektedir. Maksimum yüke ulaşıldığında, karşı koyma sona ererek malzemede kırılma ve parçalanma meydana gelir. İşte kırılma anındaki bu yüke **kırılma yükü**, kırılma yükünün birim alana isabet eden miktarına **kırılma gerilmesi** denmektedir. Kırılma anında tespit edilen kırılma sınır değerine ise

direnç adı verilmekte ve genellikle daN/cm^2 ya da N/mm^2 ve kp/cm^2 olarak ifade edilmektedir. Bu birimleri birbirine dönüştürmede 1 daN/cm^2= 0,1 N/mm^2 eşitliği kullanılmaktadır.

Direnç terimi kullanıldığında tüm mekanik özellikler söz konusu olmaktadır. Ancak, kuvvetin ağaç malzemeye tesir etme şekline göre direnç tipleri değişir. Ağaç malzemenin kullanıldığı yerde maruz kaldığı yükleme tipleri, yapılan yüklemenin hızına ve şekline göre değişmektedir. Tablo 13.1'de yapılarda kullanılan ağaç malzemede direnç tipleri ve hangi yapı elemanlarında önemli oldukları belirtilmiştir.

Tablo 13.1: Ağaç Malzemenin Önemli Mekanik Özellikleri

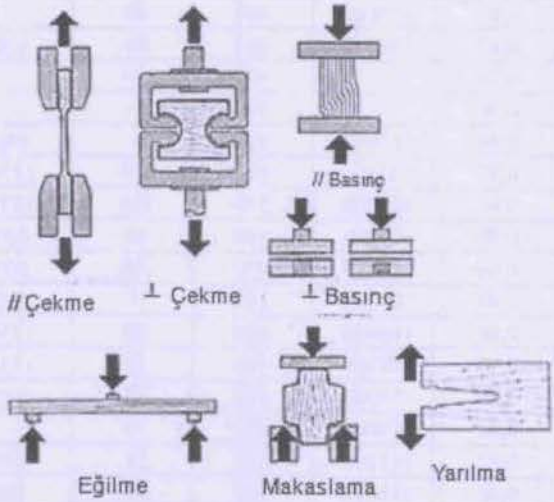
Direnç Tipleri	**Direnç Tipinin Önemli Olduğu Yerler**
Eğilme direnci	Kirişlerde
// Basınç direnci	Kısa direk ve sütunlarda
⊥ Basınç direnci	Taşıyıcı kirişler ile bağlantıda olan çeşitli ağaç kısımlarda
// Çekme direnci	Bir kirişle bağlantıdaki yapısal elemanların alt kısımlarında
⊥ Çekme direnci	Binalarda yapısal kısımlar arasındaki bağlantılarda
// Makaslama direnci	Çoğunlukla kısa kirişlerin yük taşıma kapasitesinde
Dinamik eğilme (Şok) direnci	Ani yüklemeye maruz kalan yerlerde
Sertlik	Döşeme, merdiven gibi aşınmaya maruz kalan yerlerde
Elâstikiyet modülü	Doğrudan sertlikle ilgili olup, kiriş ve uzun sütunlarda

Bazı ağaç malzemeler kırılma sınır değerinin yaklaşık % 70'inde ses vermeye başlar. Bu özelliğe cazlama ya da haber verme özelliği denmektedir. İyi haber verme özelliğine sahip ağaçlar lâdin, melez, çam, kayın, gürgen ve meşe şeklinde sıralanabilir. Çamlardan veymut çamının ses verme özelliği yoktur. Haber verme özelliğine sahip ağaçlar özellikle maden direği olarak kullanılmaktadır.

Önemli ağaç türlerinde çeşitli dirençlere ait değerler Tablo 13.2'de verilmiştir. Tabloda görüleceği gibi liflere paralel yöndeki basınç direnci, liflere

dik yöndekinden daima daha büyük (genellikle 3–10 kat) olmaktadır. Liflere paralel çekme direnci, liflere paralel basınç direncinin yaklaşık iki katı kadardır. Örneğin; lâdinde, //basınç direnci 430 daN/cm^2, ⊥basınç direnci 58 daN/cm^2, //çekme direnci ise 900 daN/cm^2'dir. Eğilme direnci değerleri çoğunlukla //basınç ve //çekme dirençleri arasında bulunmakta ve genellikle // basınç direncinin 1,75 katı kadar olmaktadır. Yerli ağaçlarımızda eğilme direnci 600–1300 daN/cm^2 arasında değişmektedir.

Ağaç malzemede direnç değerlerini tespit etmek için üniversal direnç deneme makinesi kullanılmaktadır. Bu amaçla hazırlanan örneklerin şekilleri ve yük tatbik etme yönleri Şekil 13.1'de verilmiştir.



Şekil 13.1: Çeşitli direnç değerleri tespitinde kullanılan örneklerin şematik görünüşü ve yükleme tipleri.

Tablo 13.2: Bazı Ağaç Türlerinde Elastikiyet Modülü, Sertlik ve Çeşitli Direnç Değerleri

Ağaç Türleri	Hava Kurusu Yoğunluk	Elastikiyet Modülü	Basınç Direnci		Çekme Direnci	
			//	⊥	//	⊥
	g/cm³	daN/cm²				
Akçaağaç	0,59	94000	490	150	820	–
Armut	0,70	80000	460	–	–	–
Ceviz	0,64	125000	580	120	1000	35
Çam	0,49	120000	550	77	1040	30
Çam, Veymut	0,37	90000	340	32	800	21
Çınar	0,57	105000	460	65	–	53
Douglas göknarı	0,47	126000	460	62	820	–
Elma	0,70	–	400	–	–	–
Erik	0,76	–	560	–	–	–
Göknar	0,40	110000	400	–	840	23
Gürgen	0,79	162000	660	120	1350	245
Huş	0,60	165000	510	110	1370	70
Ihlamur	0,50	74000	440	18	850	86
Karaağaç	0,64	110000	470	100	800	40
Kavak	0,43	82000	340	–	670	–
Kayın	0,66	160000	620	90	1350	70
Kestane	0,56	90000	500	–	1350	–
Kızılağaç	0,50	77000	470	65	940	20
Kiraz	0,57	110000	450	–	–	–
Lâdin	0,42	111000	430	58	900	27
Lâdin, Sitka	0,46	110000	390	42	780	26
Melez	0,55	138000	550	75	1070	23
Meşe	0,64	123000	600	110	900	40
Porsuk	0,64	–	580	–	–	–
Yalancı akasya	0,73	113000	720	190	1360	88
Abachi	0,35	90000	270	–	–	12
Balsa	0,13	26000	94	–	–	10
Bongossi	1,04	240000	1090	260	2170	45
Limba	0,52	94000	540	90	1120	20
Mahun, Hakiki	0,55	135000	500	70	–	25
Makore	0,78	–	570	–	–	37
Okoume	0,42	30000	400	–	660	–
Sapelli	0,67	–	580	95	–	–

*T= Teğet yönde yarılma direnci, *R= Radyal yönde yarılma direnci

Tablo 13.2'nin devamı

Eğilme Direnci	Makaslama Direnci //	Yarılma Direnci			*Sertlik* (Janka)
		T*		*R**	
daN/cm²					
950	90	16	–	1	670
750	–	14	–	8	790
1190	70	9	–	6	720
870	100	3	–	4	300
540	60	–	–	–	230
700	100	–	–	–	520
900	80	–	3	–	320
–	–	–	–	–	720
–	–	–	–	–	870
620	50	3	–	3	340
1300	85	15	–	6	890
1250	120	–	–	5	490
900	45	12	–	7	300
720	70	7	–	6	640
600	50	7	–	5	320
1050	80	3	–	4	730
770	80	5	–	5	420
850	45	–	–	3	440
850	–	–	–	–	510
780	67	3	–	2	270
630	74	–	–	–	350
960	90	5	–	3	380
940	110	5	–	5	670
–	–	–	–	–	650
1360	128	–	6	–	870
550	–	–	–	–	–
190	11	–	0,4	–	80
2100	150	60	–	–	1340
1060	75	7	–	5	430
650	104	–	–	–	700
1300	–	–	–	–	620
960	–	–	2	–	280
930	–	–	–	–	420

13.1 Elâstikiyet Modülü

Katı bir cismin dışardan etki eden bir kuvvet ile yüklenmesi, bu cisimde uzama, kısalma, eğilme gibi deformasyonlar meydana getirebilir. Yükün kaldırılması ile deformasyonların geri kazanılması ve katı cismin tekrar başlangıçtaki orijinal şeklini alabilmesi kabiliyetine elâstikiyet denmektedir.

Anizotrop yapısı nedeniyle ağaç malzemede elâstikiyet modülü liflere paralel, radyal ve teğet yönlerde farklı bulunmaktadır. Liflere paralel yönde en yüksek, radyal yönde daha düşük, teğet yönde ise en düşüktür. Yerli ağaç türlerimizde elâstikiyet modülü yaklaşık 70000–160000 daN/cm^2 arasında, çelikte 2 000 000 daN/cm^2, bakırda 1 000 000 daN/cm^2, cam ve alüminyumda 700 000 daN/cm^2, taze deride 2500 daN/cm^2, kauçukta 10 daN/cm^2'dir. Bu değerler karşılaştırılacak olursa diğer malzemeler arasında ağaç malzemenin elâstikiyet modülü orta derecede bulunmaktadır. Elâstikiyet modülü büyüdükçe malzemeler deformasyon meydana getiren kuvvetlere daha fazla karşı koymakta, küçüldükçe daha kolay deforme olmaktadır.

Ağaç malzemenin eğilmeye zorlanan kısmında yataydan ayrılma miktarını (deformasyonu) tespit etmek amacı ile TS 2478 nolu standarda göre 2x2x36 cm boyutunda hazırlanan örneklerden yararlanarak elâstikiyet modülü hesaplanabilir. Yeknesak yüklenmiş bir kirişte basınç ve gerilme kuvvetlerinin etkisi Şekil 13.2'de gösterilmiştir.

Elâstikiyet modülü tespit edilecek örnek, teğet kenarı yükseklik olacak şekilde direnç makinesinin iki dayanak açıklığı üzerine oturtularak, iki noktadan yükleme yapılır. Yüklemeler arasındaki uzaklık, dayanak açıklığı arasındaki uzaklığın 1/3'üne eşitse,

$$E - \text{Mod.} = \frac{PL^3}{36\ bh^3} \quad (\text{daN/cm}^3)$$

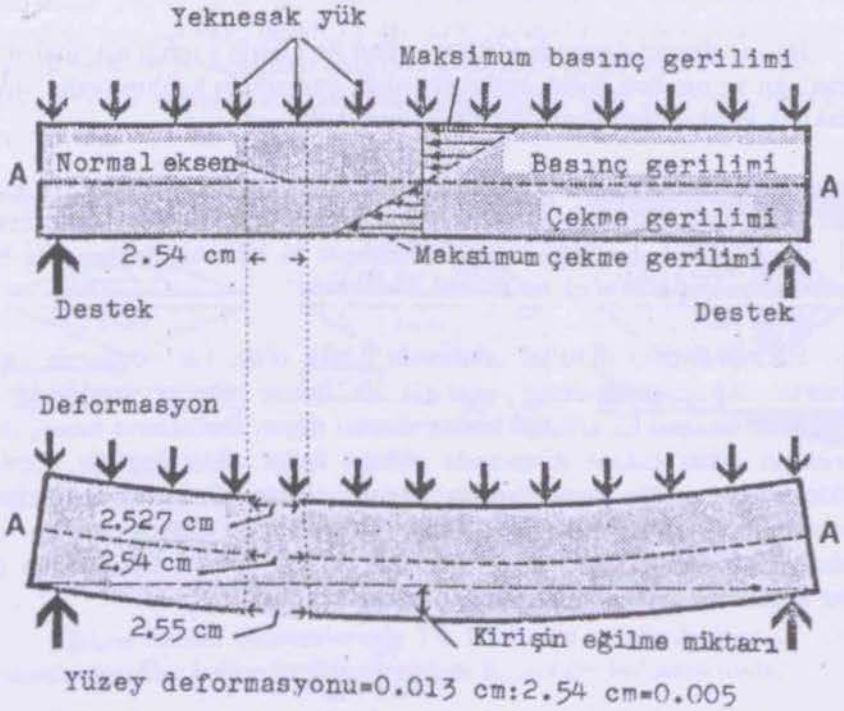
yüklemeler arasındaki uzaklık, dayanaklar arasındaki açıklığın 1/2'sine eşitse,

$$E - \text{Mod.} = \frac{3\ PL^3}{64\ bh^3 f} \quad (\text{daN/cm}^3)$$

eşitlikleri kullanılarak elâstikiyet modülü hesap edilmektedir. Odun örneklerinde elâstikiyet sınırı altında 4–8 noktada "P" ve "f "değerleri ölçülerek,

ortalamaları alınır ve formülde yerine konarak, hesaplamalar yapılmaktadır. Verilen eşitliklerde;

P= Elâstikiyet sınırı altında tatbik edilen yüklerin ortalaması (daN ya da kp)
L= Dayanaklar arasındaki açıklık (cm)
b= Örneğin genişliği (cm)
h= Örneğin yüksekliği (cm)
f= Eğilme anındaki deformasyon miktarı (cm)'nı
ifade etmektedir.



Şekil 13.2: Yeknesak yük altındaki bir kirişte gerilme / deformasyon dağılımı.

13.2 Basınç Direnci

Basınç direnci ağaç malzemenin özellikle yapılarda, endüstride ve el sanatlarında kullanılmasında önem kazanmaktadır. Odunun liflere paralel yöndeki basınç direnci TS 2595 nolu standarda göre tespit edilmektedir. Deney örneklerinin enine kesiti 2x2 cm, boyu ise 3 cm ya da 6 cm olarak

hazırlanmakta ve aşağıda verilen eşitlikten yararlanarak hesaplamalar yapılmaktadır.

$$//\sigma_B = \frac{P_{max}}{b \times d} \quad (daN/cm^2)$$

Burada; P_{max} = Maksimum yük (daN veya kp)
b = Örneğin genişliği (cm)
d = Örneğin kalınlığı (cm)'nı

ifade etmektedir.

Basınç direnci üzerinde yükleme yönü ile liflerin yaptığı açı, malzemenin yoğunluğu ve rutubeti, yıllık halka genişliği, yaz odunu katılım oranı, sıcaklık, budaklılık ve ekstraktif maddeler etkili olmaktadır.

Yoğunluk arttığında basınç direnci önemli derecede artar. Rutubetin etkisi LDN'na kadar olan rutubet değişmelerinde görülür. Özellikle rutubetin % 1–25 arasında bulunduğu hallerde, rutubette % 1'lik bir değişme ile basınç direncinde yaklaşık % 6'lık bir azalma olmaktadır.

Basınç direnci ilkbahar odununda düşük olup, yaz odununda oldukça yüksektir. Ağaç malzemenin sıcaklığı ile basınç direnci arasındaki ilişki doğrusaldır ve sıcaklık arttıkça basınç direnci düşer. Budakların basınç direnci üzerindeki etkisi çekme direncinde olduğu kadar etkili değildir. Ekstraktif maddeler yoğunluğu artırdığından, basınç direncini arttırıcı yönde etki yapmaktadır. Basınç direncinde kalite faktörü (I) aşağıda verilen eşitlik yardımıyla bulunmakta ve ağaç türlerinin basınç direnci bakımından çeşitli kalite gruplarına ayrılmasında kullanılmaktadır(Tablo 13.3).

$$I = \frac{\sigma_B}{100 \times D_{12}}$$

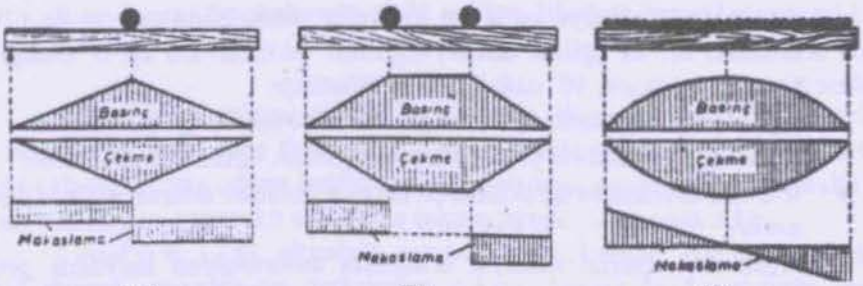
Tablo 13.3: Basınç Direnci Kalite Sınıfları

Kalite	Kalite Faktöre	
	İğne Yapraklı Ağaçlar	Geniş Yapraklı Ağaçlar
Düşük	<.7	< 6
Orta	7–8	6,5–7,5
İyi	>.8	> 7,5

Odunda lignin miktarının yükselmesi kalite faktörünü artırıcı yönde etki etmekte, reçine kanalları ve reçine keselerinde depo edilen reçine maddesi odun yoğunluğunu yükselttiğinden, kalite faktörünün azalmasına neden olmaktadır.

13.3 Eğilme Direnci

Ağaç malzeme pratikte çeşitli kullanım alanlarında, özellikle yapılarda çoğunlukla eğilme etkisi yapan yüklemelerle karşılaşmaktadır. İki ucundan dayanan bir ağaç malzeme ya da kiriş eğilme etkisi yapacak şekilde yüklendiğinde malzeme içerisinde basınç, çekme ve makaslama gerilmeleri olmak üzere çeşitli gerilmeler meydana gelmektedir. Bu gerilmelerin dağılışı yüklemenin tam ortadan, belirli ve eşit uzaklıktaki iki yerden ve kiriş boyunca yeknesak bir şekilde yapılması hallerine göre farklılık göstermekte (Şekil 13.3), kirişin alt ve üst kısımları arasında basınç ve çekme etkisi görülmeyen ince, nötr bir tabaka kalmaktadır.



(A) (B) (C)

Şekil 13.3: Ağaç kirişlerde eğilme denemelerinde kuvvetlerin etki şekline göre basınç, çekme ve makaslama gerilmelerinin dayanak noktaları arasındaki dağılışı.
(A) Yükleme tam ortadan, (B) Yükleme iki noktadan,
(C) Yükleme dayanak noktaları arasında yeknesak (üniform).

Eğilme direnci denemelerinde TS 2474 nolu standarda göre 2x2x36 cm boyutunda örnekler kullanılmakta ve eğilme direncinin bulunmasında,

$$\sigma_E = \frac{1{,}5\, P_{max} \times L}{b \times h^2} \quad (daN/cm^2)$$

eşitliğinden yararlanılmaktadır. Burada;

P_{max} = Maksimum yük (daN veya kp),
L = Dayanak açıklığı (cm),
b = Deney örneğinin genişliği (cm),
h = Deney örneğinin yüksekliği (cm)'ni

ifade etmektedir.

Denemelerde örneklerin kırılış şekline göre malzemenin gevrek yapıda olup olmadığına da karar verilebilir. Çoğunlukla uzun kıymıklı kırılışı eğilme kabiliyetinin yüksek olduğuna, düzgün küt uçlu kırılış ise malzemenin gevrek olduğuna ve düşük eğilme direncine işaret etmekle beraber, bu görüş genelleştirilmemelidir.

Ağaç malzemede yoğunluk, rutubet, budaklar, lif yönü ve sıcaklık gibi faktörler eğilme direncini etkiler.

– Malzemede yoğunluk arttıkça, eğilme direnci artar.

– Eğilme direnci % 3–5 rutubet derecelerinde en yüksek değerine ulaşır, bu rutubet değerlerinden sonra lif doygunluğu rutubet derecesine kadar su miktarının artması ile azalır.

– Budaklar eğilme direncini azaltır. Özellikle dayanak noktaları arasına isabet eden budakların etkisi daha büyüktür.

– Malzemeyi eğmeye zorlayan kuvvetin tatbik edildiği yön ile liflerin yönü arasındaki açı da eğilme direnci üzerinde etkilidir. Bu açı 0° olduğunda eğilme direnci en yüksek, 90° olduğunda en düşüktür.

– Eğilme direnci üzerinde sıcaklığın etkisi üç şekilde görülmektedir.

- Sıcaklığın artması ile yoğunluk azaldığından, eğilme direnci azalır.
- $0^{o}C$'nin üzerindeki sıcaklıklarda odunun rutubeti artarsa, eğilme direnci azalır.
- Ağaç malzemenin sıcaklık arttığında deformasyon meydana getiren kuvvetlere karşı koyması azaldığından, $0^{o}C$'nin üzerindeki sıcaklık artışları eğilme direncini azaltır. $0^{o}C$'nin altındaki sıcaklık derecelerinin artması ise, eğilme direncini artırır.

13.4 Çekme Direnci

Çekme direnci birbirine ters yönünde uygulana ve lifleri koparmaya, ayırmaya çalışan iki kuvvete, ağaç malzemenin gösterdiği karşı koyma gücüdür. Liflere paralel ve liflere dik yönde olmak üzere iki tip çekme direnci vardır. Bir ağaç malzemede genellikle liflere paralel çekme direnci, bütün direnç değerlerinden daha yüksek olabilir. Bunun nedeni odunsu hücre çeperinin mikrofibril yapısından ileri gelmektedir. Her bir odun lifinde hücre çeperinin büyük bir kısmında mikrofibrillerin eksene paralel yönde seyretmesi, bu direncin yüksek olmasını sağlamaktadır.

Ağaç malzemenin çekme direnci liflere paralel yönde TS 2475, liflere dik yönde ise TS 2476 nolu standartlara göre tespit edilmektedir. Standartlarda verilen ölçülerde hazırlanan örneklerin iki ucundan çekme kuvvetleri tatbik edilerek, örnek koparılmaya çalışılmakta ve kopma anında belirlenen değerlerden aşağıda verilen eşitlik yardımıyla, liflere paralel–liflere dik yönde çekme direnci bulunmaktadır.

$$\sigma_{ç} = \frac{P_{max}}{b \times d} \quad (daN/cm^2)$$

Burada;

P_{max} = Maksimum yük (daN veya kp),
b = Örneğin orta kısmındaki genişliği (cm),
d = Örneğin orta kısmındaki kalınlığı (cm)'nı

ifade etmektedir.

Çekme direnci üzerinde yoğunluk, rutubet, lif yönü, budaklar ve sıcaklık etkili olur.

– Yoğunluğun çekme direnci üzerindeki etkisi, diğer direnç değerleri üzerindeki etkisinden daha fazladır. Yoğunluk arttıkça, çekme direnci de artar. Buna bağlı olarak yaz odunu katılım oranının artması, özellikle iğne yapraklı ve halkalı traheli geniş yapraklı ağaçlarda çekme direncini artırmaktadır.

– Genellikle LDN altındaki rutubet derecelerinde, rutubet azaldıkça çekme direnci artmakta ve maksimum çekme direnci % 8 rutubette tespit edilmektedir.

– Liflerin yönü ile tatbik edilen çekme kuvvetinin yönü arasındaki açı 0° olduğunda bu direnç en yüksek olmakta, açı 45° oluncaya kadar dirençte sürekli bir düşüş görülmekte, 45°–90°'ler arasında ise çekme direncinde önemli farklılık olmamaktadır.

– Budaklar en fazla çekme direnci üzerinde etkili olup, bu direncin önemli ölçüde azalmasına yol açarlar.

– Ağaç malzemede sıcaklık arttığında çekme direncinde azalma meydana gelmekte, ancak azalma önemli düzeyde olmamaktadır. Fakat sıcaklıkla birlikte rutubet miktarı da artarsa, o zaman dirençte azalma daha büyük olmaktadır.

13.5 Makaslama Direnci

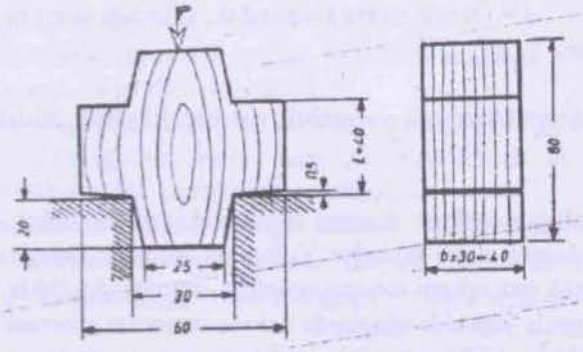
Makaslama direnci pratikte yapı malzemesi olarak kullanımda, özellikle malzeme birleşim yerlerinde ve çentik açılmış kısımlarında önemlidir. Ağaç malzemenin yan yana ve birbiri ile kaynaşmış iki düzlemini ters yönlerde

kaydırarak birbirinden ayırmaya çalışan kuvvetlere karşı koyma gücüne makaslama direnci denmektedir. Makaslama direnci denemeleri TS 3459 nolu standart esaslarına göre yapılmakta ve aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır (Şekil 13.4).

$$\sigma_M = \frac{P_{max}}{b \times L} \quad (daN/cm^2)$$

Bu eşitlikte; P_{max} = Maksimum yük (daN veya kp),
b = Örneğin genişliği (cm),
L = Makaslama yüzeyi uzunluğu (cm)'nu

ifade etmektedir.



Şekil 13.4: Makaslama direnci deneme örneği boyutları.

Makaslama direnci üzerinde yoğunluk, rutubet, lif yönü ve odundaki kusurlar etkili olmaktadır.

– Yoğunluk arttıkça makaslama direnci artar. Yoğunluğun etkisi çekme direncinden sonra en fazla makaslama direncinde görülmektedir.

– Rutubet % 10 civarında olduğunda makaslama direnci maksimum olup, bunun altında ve üstündeki değerlerde azalmaktadır.

– Tatbik edilen kuvvetle liflerin yaptığı açı 90° olduğunda makaslama direnci en düşük, 0° derece olduğunda en yüksektir.

– Odundaki kusurlar özellikle çatlaklar, kaynamamış ve çürük budaklar makaslama direncini azaltıcı yönde etki yapmaktadır.

13.6 Yarılma Direnci

Ağaç malzemenin birçok kullanım yeri bakımından en önemli özelliklerinden biri de odunun kolay bir şekilde yarılıp yarılmamasıdır. Yarılma

direnci, odunun lifleri arasına giren ve onu yarmaya çalışan yabancı bir cisme karşı gösterdiği dayanma gücüdür. Günümüzde müzik aletleri, fiçı ve pedavra yapımında özellikle radyal yönde yarılmış ağaç malzeme kullanılmaktadır. Yarılma kabiliyeti yakacak odunda dahi bilinmesi gereken bir özelliktir. Yarılma kabiliyeti bakımından ağaçlar beş grupta toplanmaktadır.

Çok kolay yarılan ağaçlar	: Lâdin, göknar, Douglas göknarı, veymut çamı, kavak.
Kolay yarılan ağaçlar	: Çam, melez, porsuk, kayın, kestane, söğüt, kızılağaç, ceviz, kırmızı meşe, ıhlamur.
Güç yarılan ağaçlar	: Meşe, dişbudak, akçaağaç, çınar, teak.
Yarılmayan ağaçlar	: Pelesenk (lignum vitae), palmiyeler.

Yarılma direnci denemeleri TS 7613 nolu standart esaslarına göre yapılmakta ve aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır (Şekil 13.5).

$$\sigma_Y = \frac{P_{max}}{b \times L} \qquad (daN/\,cm^2)$$

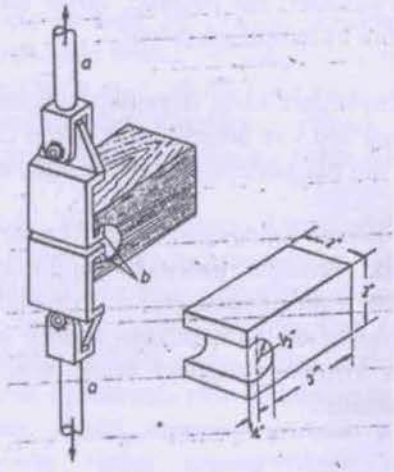
Burada;

P_{max}= Yarılma anındaki maksimum yük (daN veya kp),

b = Yarılma yüzeyi genişliği (cm),

L = Yarılma yüzeyi uzunluğu (cm)'nu

ifade etmektedir.



Şekil 13.5: Yarılma direnci örnek boyutları ve (a) çekme kolları, (b) çekme çeneleri.

Ağaç malzemenin yoğunluğu, rutubeti, lif yönü ve malzemede kusurların olması yarılma direncini etkilemektedir.

– Yoğunluğun artması yarılma direncini artırır. Yarılma direnci özellikle geniş yapraklı ağaçlarda daha yüksek olmakla beraber, meşe, kayın ve çınarda geniş öz ışınlarının bulunması bu direnci düşürücü yönde etki yapmaktadır.

– Ağaç malzemenin rutubeti % 12–17 arasında iken, yarılma direncinde önemli bir değişiklik görülmemekte, bu değerlerin altında ve üstünde ise azalmaktadır.

– Girift lifli ağaç malzemede yarılma direnci yüksektir. Teğet yöndeki yarılma direnci, radyal yöndekinden daha yüksek olmaktadır.

Yarılma direnci düşük olan bir ağaç malzemede çivi tutma kapasitesi %65 ise, yarılma direnci yüksek olanlarda bu oran % 80–90'na çıkmaktadır.

13.7 Dinamik Eğilme (Şok) Direnci

Pratikte birçok durumda ağaç malzemeye statik bir şekilde ya da yavaş yavaş artarak değil, ani ve şok şeklinde kuvvetler de etki etmektedir. Uçak yapımı, taşıtlar, makineler, spor aletleri, alet sapları, merdivenler ve bina inşaatlarında kullanılan ağaç malzemeler ani olarak meydana gelen şok şeklindeki kuvvetlerin etkisi altında kalırlar. Genellikle bu şekilde etki eden kuvvetlerin etkileme süresi çok kısadır ve saniyeden daha küçük zaman birimlerinde etkisini gösterirler. Bu nedenle, böyle etkiler altında kalabilecek malzemede şok direncinin bilinmesi gereklidir.

Şok şeklindeki kuvvetlere karşı dayanıklı ağaçlar arasında en önemlileri dişbudak, hickory (*Carya* spp.) ve amerikan ak cevizi (*Juglans cinera*)'dir. Şok kuvvetlerine dayanamayan malzemeye ise gevrek ağaç malzeme denmektedir.

Dinamik eğilme direnci denemeleri TS 2477 nolu standart esaslarına göre 2x2x30 cm boyutundaki örnekler üzerinde yapılmaktadır. Örneklere tatbik edilecek çarpma kuvveti teğet yönden etki ettirilmelidir. Direnç makinesinde örneğin kırılması ile absorbe edilen iş miktarı (kpm), alet üzerindeki ıskaladan okunmakta ve örneğin kırılma yerindeki enine kesitine bölünerek dinamik eğilme direnci bulunmaktadır.

$$a = \frac{W}{b \times h} \quad (\mathrm{kN\ m/cm^2})$$

Eşitlikte; W = Deney örneğinin kırıldığı andaki iş miktarı (kN m) veya (kpm),
b = Örneğin genişliği (cm),
L = Örneğin yüksekliği (cm)'ni
ifade etmektedir.

Şok direnci üzerinde ağaç malzemenin yoğunluğu, rutubeti, sıcaklığı, hücre çeperinin anatomik ve kimyasal yapısı ile lif yönü etkili olmaktadır.

– Yoğunluk ve yaz odunu katılım payı ile dinamik eğilme direnci arasında doğrusal bir ilişki olmakla beraber, bu ilişki diğer statik dirençlerdeki kadar belirgin değildir. Yani yoğunluk, şok şeklindeki yüklere karşı koyma kabiliyeti ya da gevrekliği ifade etmede kesin bir ölçü değildir. Ancak, çok hafif odunda dinamik eğilme direnci daima düşük bulunmaktadır.

– Statik direnç tiplerinde genellikle rutubet azaldıkça direnç değerlerinde artma meydana gelmektedir. Bu durum şok direncinde görülmez. Çünkü kuru haldeki ağaç malzeme, taze haldeki ağaç malzeme kadar esnek değildir. Örneğin; meşede rutubet arttıkça şok direnci artmakta ve LDN'da anormal değerler vermektedir. Kayında ise % 20 rutubetten sonra LDN'na kadar şok direncinde bir miktar azalma olmaktadır.

– Dinamik eğilme direnci üzerinde sıcaklığın etkisi de değişiktir. Hava kurusu haldeki çam odununda 0 °C –20°C'ler arasında şok direnci hemen hemen aynı kalmakta, değişmemektedir. Fakat 0°C'den –20°C'ye kadar sıcaklıkta azalma olduğunda dirençte de hafif bir azalma olmakta, –20°C'den –60°C'ye kadar dinamik eğilme direncinde önemli bir yükselme görülmektedir.

– İğne yapraklı ağaçlarda ince çeperli traheidler, geniş yapraklı ağaçlarda trahe, traheid ve paranşim hücreleri oranlarının yüksek olması ya da libriform lifleri çeperlerinin ince çeperli olması dinamik eğilme direncini düşürücü yönde etki yapmaktadır.

– Hücre çeperinde mikrofibrillerin hücre eksenine paralel olduğu malzemede, şok direnci daha büyük bulunmaktadır. Geniş yıllık halkalı iğne yapraklı ağaçlarda şok direnci son derece düşüktür. Buna karşın, halkalı traheli yapraklı ağaçlarda yıllık halka genişledikçe yoğunluk artmakta ve şok direnci yükselmektedir. Şok direnci yüksek olan dişbudakta yıllık halka genişliği 1 mm'nin altında en yüksek şok direnci elde edilmektedir.

– Hücre çeperinde lignin oranının artması şok direncini düşürür. Araştırmalarda kırılmaların lignin oranı yüksek orta lâmelde olduğu görülmüştür. Basınç direnci denemelerinde ise kırılmalar öncelikle sekonder çeperden başlamakta, lignin oranı fazla kısımlar daha fazla dayanıklılık

göstermektedir. Şok direnci genellikle iğne yapraklı ağaçlarda radyal yönde, teğet yöndekinden daha düşüktür. Geniş yapraklı ağaçlarda ise böyle bir ilişki tespit edilmemiştir.

– Lif yönünde 5°'lik bir sapma şok direncini % 10, 10°'lik bir sapma ise %50 oranında düşürmektedir.

Ağaç malzemenin gevrek ya da esnek yapıda olduğunu belirlemede dinamik kalite faktörüne göre yapılan sınıflandırma yardımcı olmaktadır. Dinamik kalite faktörü, $I=a/D^2_{12}$ eşitliği ile bulunmakta ve aşağıda verildiği gibi üç gruba ayrılmaktadır. Bazı ağaç türlerine ait dinamik eğilme direnci ve kalite faktörleri Tablo 13.4'de görülmektedir.

Ağaç Malzemede Dinamik Eğilme Direnci Kalitesi	Kalite Faktörü
Gevrek (kolay kırılır)	< 0,8
Orta	0,8–1,2
Esnek (güç kırılır)	> 1,2

Tablo 13.4: Bazı Ağaç Türlerinde Dinamik Eğilme Direnci ve Kalite Faktörü

Ağaç Türü	Dinamik Eğilme Direnci (kNm/cm)	Kalite Faktörü
Çam, Sarı	0,50	1,85
Dişbudak	0,67	1,43
Kayın	0,45	0,86
Kestane	0,56	1,40
Meşe	0,65	1,35
Sedir	0,45	1,90
Balsa	0,22	0,61
Pelesenk	0,33	0,22

13.8 Teknolojik Özellikler

Ağaç malzemenin mekanik özelliklerinden olmakla beraber, direnç özellikleri içersine girmeyen, sertlik ve aşınma olarak bilinen iki özelliği daha vardır. Bunlar malzemede odun kalitesi hakkında fikir vermekte ve teknolojik özellikler olarak bilinmektedir.

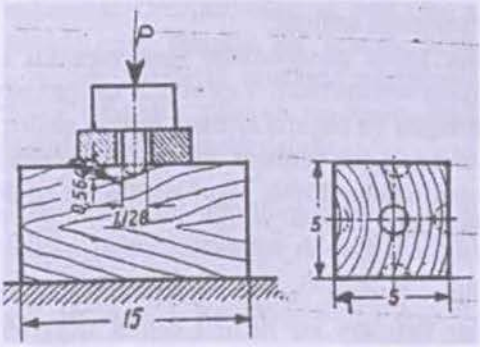
13.8.1 Sertlik

Ağaç malzemenin belirli kullanış yerlerine uygunluğu ve işlenme kabiliyeti, onun sertliği ile ilgilidir. Sertlik, giderek artan bir yük altında çelik

bir kürenin ağaç malzeme içerisine sokulmaya çalışıldığında, malzemenin gösterdiği karşı koyma gücüdür. Malzemenin basınç direnci ile yakından ilgilidir. Sertlik tespitinde en çok kullanılan yöntemler Janka ve Brinell metotlarıdır.

Janka metodunda, 5x5x15 cm boyutundaki odun örneklerinin yüzeylerine 11,284 mm çapındaki bir yarım çelik küre (yüzeyi 1 cm^2 olan) girdiğinde, alette okunan en yükse basınç değeri, sertliği vermektedir (Şekil 13.6). Ayrıca, ağaç malzemenin Janka sertliği ile basınç direnci arasında aşağıda verilen eşitlikle ifade edilen bir ilişki vardır.

$$H_J = 2\sigma_B - 500 \quad (daN/cm^2)$$



Şekil 13.6: Janka metoduna göre sertlik tespitinde kullanılan örnek boyutu ve metodun uygulama şekli.

Janka metodunda küre, iğne yapraklı ağaçların odunları içersine kolaylıkla girdiğinden, sertlik değeri düşük çıkmaktadır. Bu nedenle son yıllarda metallere uygulanan Brinell metodunun, ağaç malzemede de uygulanmasına başlanmıştır.

Brinell sertlik metodunda 5x5x5 cm boyutunda odun örnekleri yüzeylerine 10 mm çapında çelik bir küre ağaçların ağırlıklarına göre, çok sert ağaçlarda 100 kp, orta sertlikteki ağaçlarda 50 kp ve çok yumuşak ağaçlarda 10 kp'luk bir basınç ile sokulmaya çalışılmaktadır. Denemelerde 15 saniyede maksimum yüke ulaşılmakta, 30 saniye bu yük muhafaza edilmekte ve 15 saniyede kuvvet sıfıra indirilmektedir. Daha sonra örnek üzerinde açılan çukurun çapı ölçülerek, aşağıdaki eşitlik yardımı ile Brinell sertlik değeri bulunmaktadır.

$$H_B = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (N/mm^2)$$

Burada, P = Kullanılan yük miktarı (N veya kp),
D = Brinell küresi çapı (10 mm),
d = Çelik kürenin örnekte açtığı çukurun çapı (mm)'nı ifade etmektedir.

Sertlik üzerinde, malzemenin yoğunluğu, rutubeti, anatomik yapısı ve kesit yönü etkili olmaktadır.

– Yoğunluk arttıkça, sertlik artar.
– LDN'na kadar rutubet arttıkça, sertlik azalır. Tam kuru halde ise malzeme maksimum sertliğe sahiptir.
– Sertlik yıllık halka genişledikçe iğne yapraklı ağaçlarda azalmakta, halkalı traheli ağaçlarda artmaktadır. Yaz odunu katılım payının artması sertliği artırırken, trahelerin sayısı ve çapının artması sertliği azaltır.
– Kesit yönü bakımından sertlikte değişmeler incelendiğinde enine kesitin en yüksek, radyal kesitin daha düşük, teğet kesitin ise en düşük sertlik değerine sahip olduğu görülmektedir.

Ağaç türlerinin Brinell sertlik bakımından sınıflandırılması Tablo 13.5'de, önemli bazı ağaçlara ait Brinell sertlik değerleri ise Tablo 13.6'de verilmiştir.

Tablo 13.5: Liflere Paralel Yönde Brinell Sertlik Sınıfları

Brinell Sertlik Sınıfları	**// Brinell Sertlik (N/mm^2)**	**Ağaç Türleri**
Çok yumuşak	<35	Balsa, ıhlamur, kavak, söğüt, veymut çamı
Yumuşak	35–49	Çam, lâdin, kızılağaç, okoumé
Orta sert	50–59	Ceviz, huş, kiraz
Sert	60–65	Porsuk, dişbudak, kayın, meşe
Çok sert	66–146	Azobe, gürgen, şimşir
Ekstra sert	150 ve daha fazla	Pelesenk (lignum vitae)

Tablo 13.6: Bazı Ağaçlarda Brinell Sertlik Değerleri

Ağaç Türleri	Brinell Sertlik (N/mm^2)	
	Liflere Paralel (//)	Liflere Dik (⊥)
Abanoz	136	84
Çam, Sarı	40	19
Göknar	30	16
Kavak	24	15
Kestane	38–40	18
Meşe	66	34
Pelesenk	161	88–150

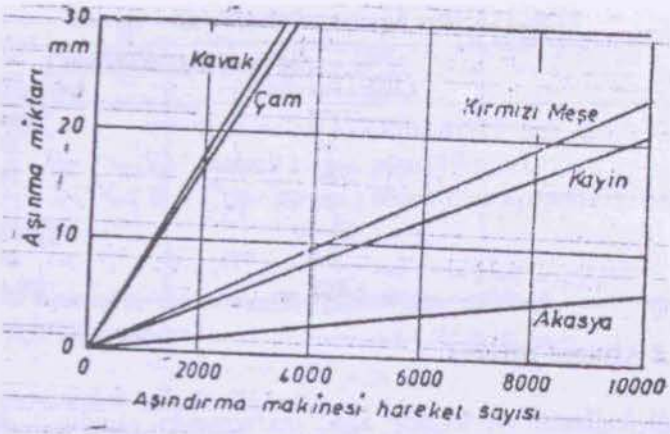
13.8.2 Aşınma Direnci

Çeşitli kullanım yerlerinde ağaç malzemenin aşındırıcı etkilere karşı koyma özelliği önem kazanır. Örneğin; döşeme, parke ve ağaç makine parçaları gibi kullanım yerlerinde çok önemli bir teknolojik (mekanik) özelliktir. Aşınmayı meydana getiren faktörler arasında yürüme, taşıma ve sürtünme yükleri, darbe, kum, kir ve diğer yabancı maddeler ile kimyasal maddelerin etkisi, rutubet ve sıcaklık değişmeleri sayılabilir.

Aşınmada en önemli faktör sürtünme kuvvetleri olmasına rağmen, ani çarpmalar (şok) şeklinde gelen kuvvetler de etkili olmaktadır. Bu karmaşık etkiler farklı sonuçlar ortaya çıkarmakta ve tek bir deneme ile aşınmanın bulunması oldukça güç olmaktadır. Bu nedenle ince kum, basınçlı su ya da fazla ısıtılmış su buharı, zımpara kâğıdı, zımpara taşı, sert metal parçalar, çelik fırçalar veya bunların kombine edilmesi ile meydana getirilen aletlerden faydalanılarak aşınma direnci tayin edilmektedir. Yapılan denemeler sonunda ağaç malzemenin kalınlığında ve ağırlığında meydana gelen kayıplar aşınma direncini vermektedir. Aşınma direnci (A), örnek kalınlığında 1 mm'lik kayıp için gerekli sürtünme sayısından yararlanılarak aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$A = \frac{\text{Sürtünme Sayısı}}{\text{Aşınma Derinliği (mm)}}$$

Kolmann'ın aşındırma makinesinde 145 dakikada 20000 ileri geri hareket yapılarak bulunan aşınma miktarları Şekil 13.7'de verilmiştir.



Şekil 13.7: Çeşitli ağaç odunlarında aşındırma makinesinin sürtünme sayısına bağlı olarak aşınma miktarları.

Aşınma direnci sertlikle, basınç ve makaslama dirençleriyle yakından ilgili olup, aşınma direnci üzerinde ağaç malzemenin yoğunluğu, rutubeti, anatomik yapısı, lif yönü ve yüzey işlemleri etkili olmaktadır.

– Yoğunluk arttıkça masif ağaç malzemenin aşınmaya karşı koyma gücü de artar.

– Lif doygunluğu noktasına kadar rutubet arttıkça aşınma direnci azalır.

– Aynı yoğunlukta olan geniş yapraklı ağaç malzemelerden dağınık traheli olanlar, halkalı traheli ağaç malzemelere göre aşındırıcı kuvvetlerin etkisine karşı daha fazla dayanırlar. Örneğin; kayında aşınma direnci, meşeden daha yüksektir.

– Genel olarak aşındırıcı kuvvetlerin etki yönü ile liflerin gidiş yönü arasındaki açı arttıkça, aşınmaya karşı koyma artar.

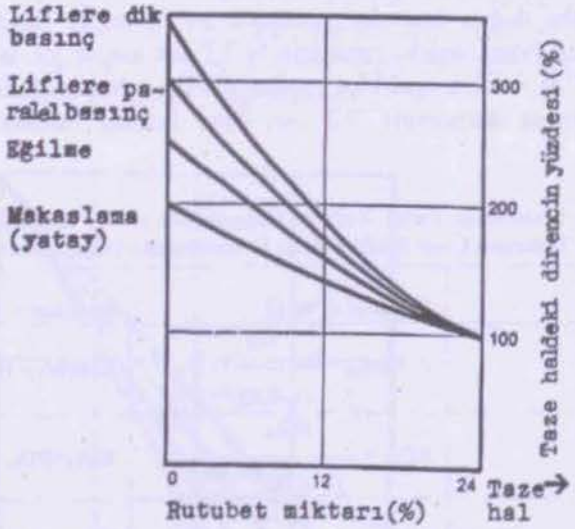
– Selülozik cilâ, polyester cilâ ve normal cilâ ile yapılan yüzey işlemleri, odun liflerini yumuşatıcı etki yapan balmumu, parafin ve bezir yağı işlemlerine göre aşınmaya karşı daha iyi koruma sağlamaktadır.

13.9 Direnç Özelliklerinde Değişkenlik

13.9.1 Rutubet Miktarı

Ağaç malzeme lif doygunluğu noktasından tam kuru hale kadar kurutulduğunda, dinamik eğilme direnci hariç diğer direnç tiplerinde ve

elâstikiyet modülünde artış görülmektedir (Şekil 13.8). Çünkü kuruma sırasında hücre çeperlerinden su çıkmakta ve mikrofibriller birbirlerine yaklaşmaktadır.



Şekil 13.8: Dişbudakta % 0'dan taze hale kadar odun rutubet değişmeleri ile direnç özellikleri arasındaki ilişki.

Genellikle tam kuru halden, % 25 rutubete kadar her % 1'lik rutubet artışı ile meydana gelen direnç değişmeleri doğrusal bir denklemle ifade edilebilmektedir. Bu ilişkiden yararlanılarak belli bir rutubet derecesinde bulunan direnç değerlerinden, hava kurusu haldeki direnç değerleri aşağıda verilen eşitlikler yardımı ile hesaplanabilmektedir.

Elâstikiyet modülü	: $E\text{–}Mod_{12} = E\text{–}Mod_M\ [1+0{,}02\ (12–M)]$
Basınç direnci	: $BD_{12} = BD_M\ [1+0{,}06\ (12–M)]$
Eğilme direnci	: $ED_{12} = ED_M\ [1+0{,}04\ (12–M)]$
Çekme direnci	: $ÇD_{12} = ÇD_M\ [1+0{,}03\ (12–M)]$
Makaslama direnci	: $MD_{12} = MD_M\ [1+0{,}03\ (12–M)]$
Dinamik eğilme (Şok) direnci	: $DE_{12} = DE_M\ [1+0{,}005\ (M–12)]$
Brinell sertlik //	: $BS_{12}\ // = BS_M\ [1+0{,}04\ (12–M)]$
Brinell sertlik ⊥	: $BS_{12} \perp = BS_M\ [1+0{,}025\ (12–M)]$

Eşitliklerde "M" örneğin rutubet derecesini, "12" ise hava kurusu rutubet değerini ifade etmektedir.

Ayrıca, Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılan üssel denklemler yardımı ile çeşitli rutubet derecelerindeki direnç değerleri, % 12 rutubetteki direnç değerlerine dönüştürülebilmektedir. Üssel eşitlikler, doğrusal eşitliklerden daha doğru sonuçlar vermekte ve herhangi bir rutubette direnç değerleri bulunan örneklerdeki rutubetin % 12'den küçük ya da büyük oluşuna göre Tablo 13.7'de verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır. Eşitliklerdeki 'M' örneğin rutubet derecesini, '12' ise, hava kurusu rutubet değerini ifade etmektedir.

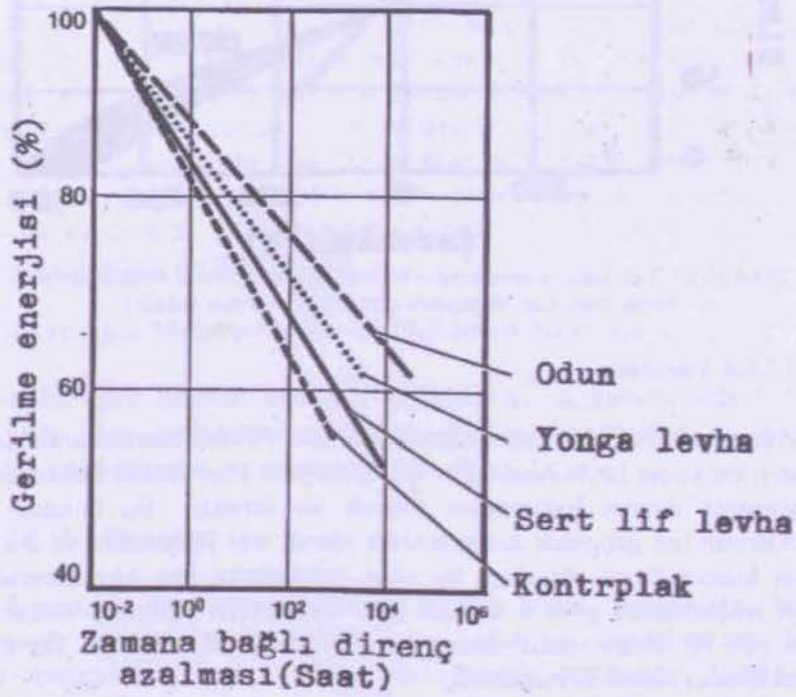
Tablo 13.7: Ağaç Malzemede Farklı Rutubet Değerlerinde (% 12'den Küçük ya da Büyük) Hesaplanan Direnç Tiplerinin Üssel Eşitliklerle % 12 Rutubetteki Değere Dönüştürülmesi

Direnç tipleri	**Rutubet < % 12**	**Rutubet > % 12**
E-Mod	$E\text{-}Mod_{12} = \dfrac{E_M}{(1-0{,}02)^{(12-M)}}$	$E\text{-}Mod_{12} = E_M\,(1-0{,}02)^{(M-12)}$
Basınç direnci	$BD_{12} = \dfrac{BD_M}{(1-0{,}06)^{(12-M)}}$	$BD_{12} = BD_M\,(1-0{,}06)^{(M-12)}$
Eğilme direnci	$ED_{12} = \dfrac{ED_M}{(1-0{,}04)^{(12-M)}}$	$ED_{12} = ED_M\,(1-0{,}04)^{(M-12)}$
Çekme direnci	$ÇD_{12} = \dfrac{ÇD_M}{(1-0{,}03)^{(12-M)}}$	$ÇD_{12} = ÇD_M\,(1-0{,}03)^{(M-12)}$
Makaslama direnci	$MD_{12} = \dfrac{MD_M}{(1-0{,}03)^{(12-M)}}$	$MD_{12} = MD_M\,(1-0{,}03)^{(M-12)}$
Dinamik eğilme direnci	$DE_{12} = \dfrac{DE_M}{(1+0{,}005)^{(12-M)}}$	$DE_{12} = DE_M\,(1+0{,}005)^{(M-12)}$
Brinell sertlik //	$//BS_{12} = \dfrac{BS_M}{(1-0{,}04)^{(12-M)}}$	$//BS_{12} = BS_M\,(1-0{,}04)^{(M-12)}$
Brinell sertlik ⊥	$\perp BS_{12} = \dfrac{BS_M}{(1-0{,}025)^{(12-M)}}$	$\perp BS_{12} = BS_M\,(1-0{,}025)^{(M-12)}$

13.9.2 Zaman

Ağaç malzeme devamlı olarak bir yük altında kaldığında dirençte azalma meydana gelir. Yani, birçok mekanik özellik yükleme zamanının süresi ile etkilenerek değişme gösterir. Yükleme süresi arttıkça ağaç malzemenin güvenli

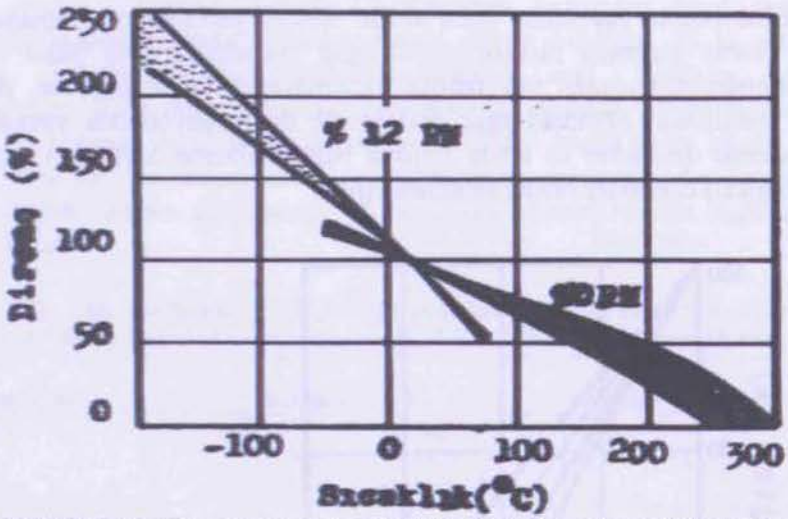
bir şekilde taşıma yapabilme gücü azalır. Basınç gerilmesi ile zamana bağlı olarak direnç azalması ilişkisi, çeşitli ağaç malzemeler için Şekil 13.9'da gösterilmiştir. Uygulanan yük tehlike yaratmayacak kadar küçükse, devamlı basınç gerilmeleri altındaki ağaç malzemede deformasyon çok yavaştır. Bu olaya sünme denmekte ve böyle zamana bağlı malzeme özellikleri reolojikal (Rheological) özellikler olarak bilinmektedir.



Şekil 13.9: Çeşitli orman ürünlerinde yükleme seviyesi ve kırılma zamanı arasındaki ilişki.

13.9.3 Sıcaklık

Ağaç malzeme ısıtıldığında birçok mekanik özellik azalmakta, soğutulduğunda ise yükselmektedir. Hızlı sıcaklık etkisi tam kuru haldeki ve %12 rutubetteki ağaç malzeme için Şekil 13.10'da gösterilmiştir. Sıcaklığın 100°C'yi devamlı aşması halinde ağaç malzemenin direncinde çok az kayıp görülür. Uzun süre yüksek sıcaklıklarda kalması halinde ise dirençte daima bir kayıp söz konusu olabilir. Ayrıca, ağaç malzemenin rutubeti yükseldikçe genellikle yüksek sıcaklıklara hassasiyeti de artmaktadır.



Şekil 13.10: Tam kuru ve hava kurusu haldeki ağaç malzemede sıcaklık artışının direnç özellikleri üzerindeki etkisi (RM=Rutubet miktarı).

13.9.4 Yorulma

Ağaç malzeme her zaman tekrarlanan aşırı yüklere maruz bırakıldığında, direncinin bir kısmı kaybolmaktadır. Bir demiryolu köprüsünde kullanılan ağaç kiriş yorulma direnci bakımından önemli bir örnektir. Bu örnekte vagon tekerleklerinin her geçişinde kirişe aralıklı olarak etki yapılmakta ve Bir köprü kirişinin hizmet ömrü süresince bu olay milyonlarca kez tekrarlanmaktadır. Yapılan araştırmalara göre 2 milyon defa tekrarlanan eğilmeye maruz kalan düzgün lifli bir kirişte statik direnç % 60'a kadar düşmektedir. Bu azalma, yorulma direnci olarak bilinmektedir.

13.9.5 Kimyasal Maddelere Maruz Kalma

Ağaç malzeme yüksek asidik ya da bazik etkilere maruz kaldığında direnci azalabilmektedir. Aslında ağaç malzeme asidik şartlarda çelikten daha dirençlidir. Kimyasal maddelerle temasta korozyon ve bozunmaya diğer malzemelerden daha iyi dayanıklılık gösterdiğinden, kimyasal gübreler ve otoban tuzlarının depolanmasında ağaç malzemeden yararlanılmaktadır.

İğne yapraklı ağaç odunları kimyasal maddelere karşı, geniş yapraklı ağaç odunlarından daha dayanıklıdır. Ayrıca, permeabilitesi düşük ağaçlarda rutubet

hareket eğilimi daha yavaş olduğundan, yani bu ağaç türleri daha az geçirgen olduğundan, kimyasal maddelere karşı daha dirençlidirler. Örneğin; bu gibi kullanım yerlerinde ak meşeler, kırmızı meşelere daha fazla tercih edilmektedir. Douglas göknarı öz odunu diri odunundan, doğal olarak yetişmiş bataklık servisi suni olarak yetiştirilmiş bataklık servisinden daha çok tercih edilmekte, ak meşeler, Douglas göknarı, güney çamları ve sekoya asidik materyalle temas halinde çoğunlukla kullanılmaktadır.

Demir ya da çelikten yapılmış çivi, vida gibi bağlayıcılar ağaç malzeme ile birlikte kullanıldığında, aralarında kimyasal bir etkileşim olmaktadır. Özellikle tanen gibi yüksek miktarda ekstraktif madde bulunan ya da asiditesi yüksek ağaç türlerinde rutubet fazla olduğunda, kimyasal bir reaksiyon sonucu demir tuzları oluşmaktadır. Bu tuzlar ağaç malzemede reaksiyonun olduğu yerlerde lokal olarak zayıflamalara neden olmakta ve odunun çürümeye karşı doğal dayanıklılığını azaltmaktadır. Ayrıca, korozyona uğrayan çivilerin gevşeyerek düşmesi de mümkündür.

13.10 Ağaç Malzemede Direnci Etkileyen Kusurlar

Daha önce odunun mekanik özelliklerinin açıklanmasında belirtildiği üzere, bir ağaç malzemenin direncini azaltan kusurlardan en önemlileri budaklar, çürüklük ve lif açısının değişmesidir.

13.10.1 Budaklar

Kerestenin direncini azaltan en önemli faktör, budaklardır. Bir ağaç malzemede matkapla açılan bir delik ve budak karşılaştırıldığında, budağın direnç üzerindeki olumsuz etkisi daha önemli olmaktadır. Çünkü budak çevresindeki liflerin yönü de değiştiğinden, malzemenin dışardan gelen kuvvetlere karşı koyma gücü azalmaktadır.

Budağın direnci azaltma etkisi sadece büyüklüğü ile değil, aynı zamanda malzeme üzerinde bulunduğu yer ile de ilgilidir. Bir kirişin alt veya üst kenarında bulunan bir budak, orta kısmındaki budaktan daha etkilidir. Çünkü maksimum eğilme gerilmeleri kirişin alt ve üst kısımlarında meydana gelmektedir. Ayrıca, bir kirişin alt tarafında oluşan çekme gerilmeleri, üst tarafta oluşan basınç gerilmelerinden daha etkili olduğundan, kirişin alt tarafındaki budaklar, üst tarafındaki budaklardan daha önemlidir. Örneğin; 5x10 cm enine kesitindeki bir kerestenin ortasında 5 cm çapında bir budak

bulunuyorsa dirençte % 24, aynı budak kerestenin kenarında bulunuyorsa dirençte % 43 azalma olmaktadır. Tablo 13.8'de çeşitli kiriş genişliklerinde budakların kenarda ya da ortada olmasına göre direnci azaltma etkileri yüzde olarak verilmiştir.

Tablo 13.8: Budakların ve Lif Yönü Değişmelerinin Kerestede Neden Olduğu Direnç Azalması

Kiriş geniş yüzeyinin ortasındaki budaklara göre direnç azalması (%)

Budak Büyüklüğü (cm)	Kiriş Genişliği (cm)			
	9	14	19	24
2,5	25	16	12	10
5,0	51	33	24	20
7,5	–	50	37	30

Kiriş geniş yüzünün kenarındaki budaklara göre direnç azalması (%)

Budak Büyüklüğü (cm)	Kiriş Genişliği (cm)			
	9	14	19	24
2,5	43	30	23	18
5,0	81	55	43	35
7,5	–	79	63	50

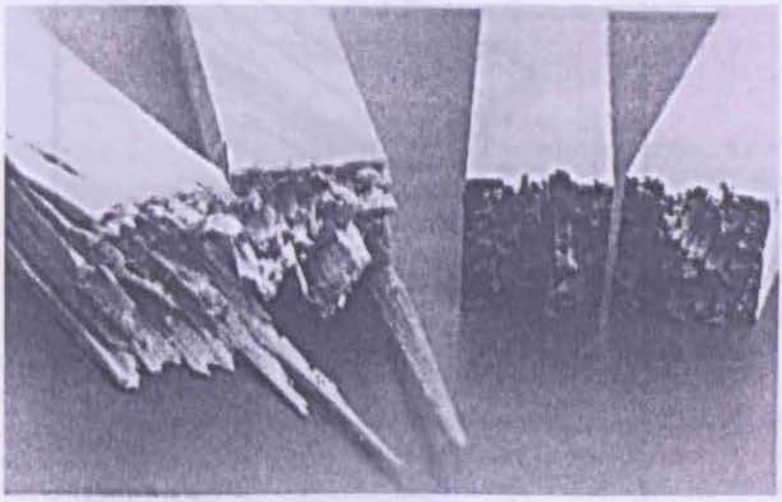
Lif yönünde sapmadan kaynaklanan eğilme ve liflere paralel basınçta, direnç azalması (%)

Lif açısı (%)	Eğilmede	// Basınçta
16,0	60	44
12,5	47	34
10,0	39	26
7,0	24	0
5,0	0	0

13.10.2 Çürüklük

Çürüklük ağaç malzemede direnci azalttığından, özellikle yapı kerestesinde bulunmamalıdır. Çürüklüğün ne kadar derine gittiği dışarıdan anlaşılamaz. Bir malzemede çürüklük bulunuyorsa dinamik eğilme (şok) direnci, statik dirençlerden daha fazla etkilenir. Şekil 13.11'de şok direnci denemelerinde kullanılmış iki Douglas göknarı örneği görülmektedir. Burada soldaki diri odun örneği sağlam, sağdaki öz odun örneği ise az miktarda çürümüştür. Sağdaki örnekte görülen gevrekliği işaret eden kırılma şekli çürümüş ağaç malzeme için de geçerlidir. Bu örnekte şok direncinin % 85 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Bazı kalın kereste sınıflarında mavi renk oluşumuna izin verilebilir. Mavi renk mantarları hücre çeper maddelerine değil, hücre lümeninde depolanan besin maddelerine arız olduklarından, ağaç malzemenin direncinde dikkate değer bir azalmaya neden olmazlar. Ancak, diğer çürüklüklerle birlikte bulunduklarında sorun yaratacakları bilinmelidir.

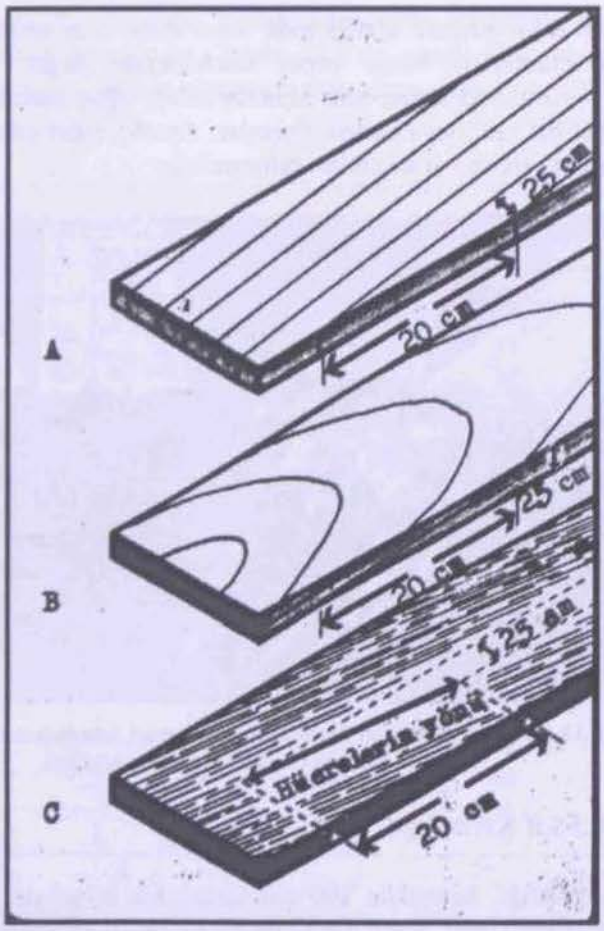


Şekil 13.11: Douglas göknarı dinamik eğilme direnci denemelerinde sağlam ve çürüklük bulunan örneklerde kırılma şekilleri.

13.10.3 Lif Kıvrıklığı

Lif kıvrıklığı, kerestede 100 cm uzunlukta meydana gelen lif sapması olarak tanımlanmaktadır. Şekil 13.12'de % 12'lik lif sapması bulunan örnekler verilmiştir. Burada ilk iki örnek tomruk kereste haline getirilirken meydana gelen diyagonal lifliliği göstermektedir. Belirgin yıllık halkalı ağaçlarda diyagonal lifliliği tespit etmek kolaydır.

Yıllık halka sınırları belirgin olan ağaç malzemede doğal olarak oluşan lif kıvrıklığı varsa ya da biçme hatası nedeniyle lif yönünde sapmalar oluşmuşsa, yıllık halka sınırlarının kerestenin kenarına paralel uzanmaması nedeniyle kolayca anlaşılır ve önemli sorunlar yaratırlar. Yıllık halka sınırları belirgin olmayan bir kerestede lif yönündeki sapmalar reçine kanalları, yüzeysel çatlaklar, mineral maddelerden oluşan renk değişikliği gibi, liflere paralel yönde seyreden oluşumlar ve kusurlar yardımıyla da tespit edilmektedir.



Şekil 13.12: Lif kıvrıklıkları. (A–B) Diyagonal lif kıvrıklığı, (C) Spiral liflilik nedeniyle oluşan lif kıvrıklıkları.

Lif yönünde % 5'den fazla sapmalar bütün dirençleri etkilemektedir. Ancak, çekme direnci üzerindeki etkisi, eğilme ve basınç dirençlerinden çok daha fazladır. Bu nedenle tüm yapı kerestesi sınıflarında bulunmasına izin verilen lif sapmaları belli sınırlar içerisinde belirlenerek, ilgili standartlarda verilmiştir. Özellikle ağaç merdivenlerde kullanılan malzemede lif sapması daha da önem kazandığından, yapılan sınıflandırmalara dikkat edilmelidir.

BÖLÜM 14

AĞAÇ MALZEMENİN KURUTULMASI VE BUHARLANMASI

Atmosfer su buharı ile doygun halde olsa dahi, kesimden hemen sonra odunda kuruma başlamaktadır. Kurutmada öncelikle hücrelerdeki serbest su çıkmakta, daha sonra lif doygunluğu noktasına ulaşılmaktadır. Rutubet kaybı devam ettiğinde, LDN altındaki rutubet miktarlarındaki değişmelerle ağaç malzeme boyutlarında daralma ve genişlemeler meydana gelmekte ve masif ağaç malzemenin birçok kullanım yerinde sakıncalar yaratmaktadır. Örneğin; rutubet kaybı ile masif mobilyaların birleşme yerlerinde gevşemeler, raflarda kısalmalar, dönüklük ve çukurlaşmalar, parkelerde açılmalar, kapı, pencere doğramalarında dönüklükler ve çerçeve köşelerinde açılmalar oluşabilir. Rutubet artışı ile çürüklük ve renk değişikliği yapan mantarlara karşı hassasiyet artar ve belirli rutubet derecelerinde böcek tahribatı görülebilir. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için ağaç malzemenin, kullanılacağı yerin gerektirdiği kuruluk derecesine kadar kurutulması gerekir.

Kurutma, ağaç malzemenin içerisinde bulunan ve kullanım yeri için uygun olmayan suyun dışarı atılması işlemidir. Bu nedenle ağaç malzemenin kullanım yerinin rutubet miktarı bilinmelidir. Bazı kullanım yerlerine ait rutubet miktarı yüzdeleri Tablo 14.1'de verilmiştir.

14.1 Kurutma

İdeal şartlara yakın kurutulmuş bir ağaç malzemede birçok özellik iyileştiğinden, odunun daha rasyonel değerlendirilmesi mümkündür. Ağaç malzemede iyileştirilen özellikler şöyle sıralanabilir:

(1) Lif doygunluğu noktasından tam kuru hale doğru gittikçe, öncelikle elâstikiyet modülü, direnç ve sertlik değerleri artar.

(2) Çalışma çok az olur. Çatlama, çarpılma ve dönüklük gibi kusurların oranı düşer.

(3) Planya, freze, lâmba-zıvana, delik açma, zımparalama işlemleri ile boyutlandırma sağlıklı olur ve daha düzgün yüzeyler elde edilir.

(4) tutkallama, yapışma, boyama ve çivi tutma kabiliyetinde artış görülür.

(5) Dış etkenlere karşı kullanılan koruyucu kimyasal maddelerin yüzeysel işlemlerle tatbik edilmesinde başarı oranı artar.

(6) Kuruluk derecesi muhafaza edilirse, yani yeniden rutubet alması önlenirse, mantarların arız olması engellenir.

(7) Kurutma sonucunda ağaç malzemenin ağırlığında azalma meydana geldiğinden, taşıma kolaylaşır ve transport masraflarında tasarruf sağlanır.

Tablo 14.1: Bazı Kullanım Yerlerinde Ağaç Malzemede Bulunması Tavsiye Edilen Rutubet Miktarı Yüzdeleri

Kullanım Yeri	Rutubet Miktarı (%)
Tel direği, travers	25
Açıkta kullanılan ağaç malzeme	22
Fıçı tahtaları	17–20
Taşıt araçları, uçaklar, gemi güvertesi	15–16
Kutu ve ambalaj sandıkları	13
Spor aletleri	12
Soba ile ısıtılan yerlerdeki mobilya	12–15
Kiriş, dikme ve bağlantılar	8
Kaloriferle ısıtılan yerlerdeki mobilya	6
Yer döşemesi, parkeler	6–8
İç kapı ve pencere doğramaları	6
Müzik aletleri	5
Kaplama levha	5–6

Ağaç malzemede kurutma işlemleri ya açık havada ya da fırınlarda yapılmaktadır. Ancak, açık havada yapılan doğal kurutmada süre uzundur. Bu süre içerisinde kereste her türlü biyotik ve abiyotik faktörlerin etkisi altında kalacağından değer kaybı olabilir. Ayrıca, anapara uzun süre işletilmeden bekletildiğinden, piyasanın isteklerine zamanında cevap vermek mümkün olmayabilir. Bu yöntemle ülkemiz şartlarında % 15–12 rutubet miktarına kadar kerestede kurutma sağlanabilmektedir.

Fırınlarda yapılan teknik kurutmada ise arzu edilen rutubet derecesine kadar çok daha kısa sürede kurutma mümkündür. Daha önce malzemeye arız olmuş küf, mavi renk ve çürüklük yapan mantarlar ile böcekler öldürülebilir. İyi bir kurutma programı uygulanırsa, kurutma ile meydana gelen çatlama, eğilme,

kamburlaşma, çanaklaşma, kristalleşme, sertleşme, kollaps ve bal peteği gibi kusurların oluşumu azalır. Böylece kalite düşmesi de önlenmiş olur.

14.1.1 Açık Havada (Doğal) Kurutma

Bilindiği gibi dikili haldeki ağaçlarda diri odun, öz odundan daha fazla rutubet içerir. Ayrıca, ağacın üst kısmında diri odun yüzdesi arttığından rutubet miktarı, ağacın alt kısmından daha yüksek olmaktadır.

Diri odundaki rutubet miktarı mevsimlerle değiştiği için, kesim zamanına dikkat edilmesi daha dengeli bir doğal kurutma yapılmasında etkili olabilmektedir. En düşük rutubetlere Aralık, Ocak ve Şubat aylarında rastlanmaktadır. Örneğin; göknar öz odununda rutubet haziran ayından ocak ayına kadar ortalama % 45 iken, ocak ayından sonra gittikçe azalarak mart ayında minimum seviyeye inmekte ve mayıs'ta normal düzeyine gelmektedir. Göknar diri odununda ise durum daha karışıktır. Rutubet miktarı Mart ayında maksimum (% 210) olup, Haziran'a kadar % 70'e düşmekte, Temmuz ve Ağustos aylarında % 200'e kadar yükselip, Şubat'a kadar tekrar % 134'e düşmektedir.

Açık Havada Kurutma Esasları

İçerisinde serbest su bulunan odun açık havada bırakıldığında rutubeti hızlı bir şekilde azalmaya başlar.

Ağaç malzemede kuruma hızı; hava sıcaklığı, bağıl nem, hava hareketi ve yönü, coğrafi bölge, denizden yükseklik, sis oluşumu, ortalama yağış miktarı ve ortalama güneşli zaman süresine bağlı olarak değişmektedir.

Doğal kurutmada hava sıcaklığı ile birlikte kereste yüzeyinde oluşan sıcaklık da önemlidir. Doğrudan güneş ışınlarına maruz kalan malzeme yüzeyi fazla ısındığından, yüzeydeki hızlı kuruma nedeniyle malzemede sertleşme, çatlama, çarpılma ve renk değişmesi gibi kusurlar meydana gelmektedir.

Doğal kurutmada açık hava faktörlerini kontrol altına almak mümkün olmamakla beraber, kurutmanın yapılacağı depo yerinin seçilmesi, düzenlenmesi ve kerestenin istiflenmesi aşamasında alınacak bazı önlemlerle kurutma sırasında meydana gelecek kayıp ve kusurların azaltılması mümkündür. Bu öneriler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Depo yerinin seçimi ve düzenlenmesi: Kerestelerin doğal olarak kurutulacağı depo yerlerini seçerken,

(1) Ekstrem iklim koşullarının görüldüğü bataklıklar, sis ve su basan yerler, don çukurları gibi alanlardan sakınılmalıdır. Göl ve nehir kenarlarına kurulan depolarda havalandırma iyi olmamakta, su üzerindeki hava hareketi genellikle daha kuvvetli gerçekleşmektedir. Depo alanını taban suyu seviyesi yüksek ve ıslak toprak özelliğindeki yerlerde hazırlamak zorunluluğu varsa, drenaj kanalları açılmalıdır. Böylece üst yüzeydeki su, drenaj kanalı ya da büzlerle akıtılabilmektedir.

(2) Ana ve ara yollarla birlikte yeterli büyüklükte bir depo alanı kuruluşuna izin verecek bir alan bulunmalıdır. TS 1350, 1000 m^3 kereste için 2000 m^2 istif alanını yeterli görmektedir. Ancak bir depoda, istif, tasnif, yükleme, boşaltma ve taşıma işlerinde kullanılan araçlara göre ihtiyaç duyulan alan değişmekte, ortalama olarak 1000 m^3 kereste için 5000 m^2 alan düşünülmesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca, ana ve ara yollar istifler arasında iyi bir hava cereyanı sağlayacak şekilde hem enine, hem de boyuna yönde düzenlenmelidir.

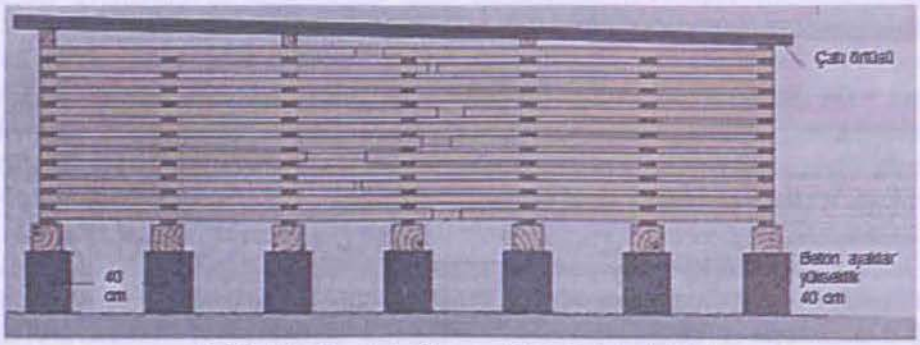
(3) Depo alanlarının düzenlenmesinde yangın olasılığına karşı su ihtiyacı düşünülmeli ve 5000 m^2'den daha büyük depo yerlerinde yangın tehlikesine karşı 30 m genişliğinde emniyet şeritleri bırakılmalıdır.

(4) Depo yeri çevresinde hâkim rüzgârı kesen ağaçlar, binalar, duvarlar ve çitler bulunmamalı, serbest hava sirkülâsyonundan faydalanılmalıdır. Dikdörtgen şeklindeki depo yerlerinde hava hareketleri, kare şeklinde olanlardan daha iyi sonuç vermektedir. Mümkünse depo yerinin uzun kenarı, hâkim rüzgârlara dik gelmelidir.

(5) Depo yeri zemini sağlam olmalıdır. Örneğin; 2 kg/cm^2'lik bir taşıma gücü yeterli görülmektedir. Bu nedenle zemin toprak olmamalı, asfalt, beton, kırma taş, çakıl ya da cürufla kaplanmalıdır. Zemin üzerinde otlar, kereste ve çıta artıkları, yongalar ve odun talaşı bulunmamalıdır. Bu gibi malzemeler zeminde hava hareketini engellemekte, yangın tehlikesini artırmakta ve mantarlarla böceklerin gelişmesi için uygun bir ortam yaratmaktadır. Büyüyen otlar, sodyum klorat veya paraquat gibi kimyasal maddeler püskürtülerek yok edilmeli, diğer atıklar temizlenmelidir. Depo zemini temiz, düzgün ve hafif eğimli olmalıdır.

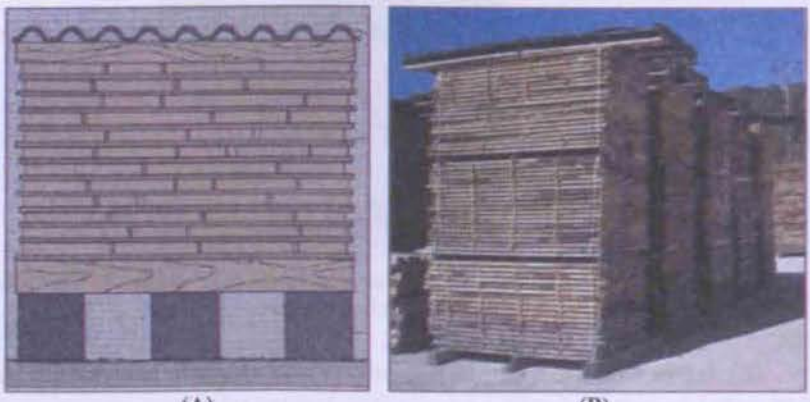
Kerestenin istiflenmesi: (1) Kereste, ayaklar ve bu ayakları birleştiren kirişlerden meydana gelen bir temel üzerinde istiflenir. İstif ayaklarının yapılmasında en uygun malzeme betondur. Ayaklar betondan değil de ağaçtan

yapılacak olursa, emprenye edilmelidir. Ayak yüksekliği en az 40 cm olmalı ve alttan hava cereyanı sağlanmalıdır. Açıkta kurutulacak kerestede arkaya doğru % 2 kadar eğim verilen çatı örtüsü kullanılarak hem güneşten korunur hem de yağmur suları ya da eriyen kar sularının akması kolaylaştırılır. İstif kirişi olarak kullanılacak malzemenin dekovil raylarından hazırlanması tavsiye edilmektedir (Şekil 14.1).



Şekil 14.1: Kereste istifleme şeklinin önden görünüşü.

(2) Kurutulacak kerestede yeknesak kuruma sağlayabilmek için aralarına, eşit kalınlıkta istif lataları yerleştirilmektedir. İstif latalarının genişliği 25–75 mm arasında olup, 1,0–1,5 m aralıkla ve dikine sıralar oluşturacak şekilde kereste aralarına konulmalıdır (Şekil 14.2). Böylece kerestelerde çarpılma önlenebilir.



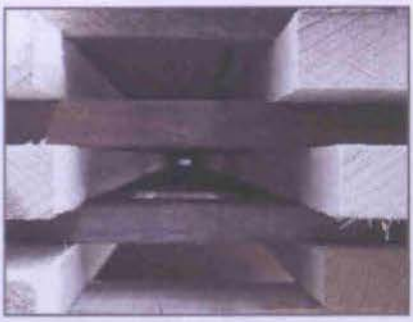
(A) (B)

Şekil 14.2: Açık havada kurutulan kereste istiflerinde istif çıtalarının (A) önden, (B) yandan görünüşü

(3) İstif aralıkları iyi ayarlanmalı, çok pahallı kereste ya da sadece geniş yapraklı ağaç kerestesi kurutulacaksa, istifler birbirine yakın ve yüksek olarak hazırlanmalıdır. Ancak, hızlı ve yeknesak bir kuruma isteniyorsa, alçak istifler yapılabilir. Örneğin; Meşe, dişbudak, akçaağaç ve kayın gibi geniş yapraklı ağaç keresteleri için orta derecede bir kuruma hızı arzu edilmektedir. Bu durumda istifler yeterli hava sirkülasyonu sağlayacak şekilde birbirine yakın yerleştirilmeli, fakat yakın istiflerin renk değişikliği ve çürümeye neden olabileceği gözden uzak tutulmamalıdır.

(4) İstiflerin yüksekliği ekonomik düşünceler ve istif dengesi dikkate alınarak tayin edilmelidir. Dengeli bir istif için yükseklik, genişliğin üç katından fazla olmamalıdır. Alçak istifler küçük işletmelerde tercih edilmekle beraber, yüksek istiflere göre daha fazla yer kaplamaktadır.

(5) İstifteki kerestelerin enine kesitlerinde çatlamayı azaltma bakımından alınacak en basit önlem kerestelerin, başlarına konulan lâtalardan dışarıya doğru 5–8 mm taşacak şekilde çıkıntılı konmasıdır (Şekil 14.3). Ayrıca kereste, tomruktan biçiliş sırasına göre ve blok şeklinde istiflenip, bez örtülerle ya da ağaç levhalarla kapatılabilir. En iyi yöntem ise hızlı kurumayı ve buharlaşmayı önleyen boya, parafin, tutkal gibi maddelerin enine kesitlere sürülmesidir. Ancak, değerli keresteler için üstü kapalı, yanları açık özel hangarlar yapılmalıdır.



Şekil 14.3: Kerestelerin, başlarına konulan lâtalardan dışarıya doğru 5–8 mm taşacak şekilde çıkıntılı yerleştirilmesi.

(6) İstifler üzerine örtülecek çatı, düşük değerli tahtalardan yapılabilir. Fakat doğal kurutma süresi uzun olduğundan bu tahtalar emprenye edilmelidir. İstif çatısında emprenyeli tahtadan başka, paslanmayan oluklu ya da oluksuz saç, eternit, oluklu plâstik levhalar v.b. malzemeler de kullanılabilir. Önemli olan çatı örtüsünün rüzgâra dayanması, yağmur sularının akışını

kolaylaştırması, kar yüküne dayanıklı olması ve istifin baş kısmından en az 30cm, arka kısmından 75 cm, yanlardan 15–20 cm taşacak şekilde yapılmış olmasıdır.

Açık Havada Kurutma Süresi: Doğal kurutmada kuruma süresi ağaç türüne, kesim zamanına, kereste kalınlığına ve istifleme zamanına bağlı olarak değişmektedir. İstifleme zamanı hem kurutma süresini, hem de kurutma kalitesini doğrudan etkilemektedir. Doğal kurutmanın amacı kereste rutubet miktarını % 20–25'e indirmektir. Uygun şartlarda ve yeterli sürede rutubeti % 15'e kadar indirmek mümkün olabilir. Yapılan araştırmalara göre kışın kesilen ve rutubeti % 85 olan tel direklerinde, yaklaşık 200 günde rutubet miktarı % 55'e indirilmiş, yaz kesiminde ise aynı rutubete 120 günde ulaşılmştır.

24 mm kalınlıktaki iğne yapraklı kereste ilkbaharda istif edilmişse, 2–3 ayda % 20 rutubete gelmekte, benzer şartlar altında 48 mm kalınlıktaki kalaslarda bu kuruluğa gelebilmek için 3–4 ay gerekmektedir. 25 mm kalınlıktaki geniş yapraklı ağaç kerestesi sonbaharda (örneğin, Ekim ayında) istif edilmişse, % 20 rutubete bir sonraki yılın yaz aylarına doğru ulaşmaktadır. Yine Ekim ve Kasım aylarında istife alınan 50 mm kalınlıktaki yapraklı ağaç kerestesi aynı rutubete hemen hemen bir yılda ulaşmaktadır. Ancak, iklim değişikliklerinin etkisi unutulmamalıdır. Örneğin; aynı yerde ve aynı mevsimde kuru bir rüzgâr esiyorsa kuruma hızı, serin ve rutubetli havadakine göre dört kat daha artış göstermektedir.

14.1.2 Fırında (Teknik) Kurutma

Günümüzde fırında kurutma bir zorunluluk haline gelmiştir. Özellikle yüksek kaliteli kereste fırınlarda kurutulmalıdır. Kurutulmuş ağaç malzemenin kazandığı özellikler daha önce belirtilmişti. Fırında kurutmanın faydalarını ise aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

(1) Kereste fabrikalarında kurutma için gerekli ısı kaynağı çok ucuz bir şekilde temin edilebilir.

(2) Sermaye daha hızlı döner ve daha az kapitalle pazar şartlarına daha çabuk uyum sağlanır.

(3) Çürüklük, mavi renklenme yapan mantarlar ve böceklerin arız olması önlenir. Çarpılması ve çatlaması en aza indirilmiş malzeme elde edilir.

(4) Zamandan tasarruf sağlanır. Örneğin; 25 mm kalınlıkta ve taze halde olan kerestenin açık havada % 20 rutubete getirilmesi için geçen süre 100 kabul edilirse, kereste fırında taze halden % 6 rutubete getirildiğinde zamandan % 75–94, % 20 rutubetten % 6 rutubete getirildiğinde ise zamandan % 90–99 tasarruf sağlanmaktadır.

(5) Ağaç malzeme kullanım yerine uygun rutubete kadar kurutulduğunda, malzemede çalışma en aza iner.

(6) Özellikle yüksek hızda kesiş yapan makinelerle işlenme kabiliyeti artar.

(7) Tutkallama kabiliyeti artar ve boyama, cilâlama gibi işlemler için uygun yüzeyler kazanılır.

Fırında Kurutma Esasları

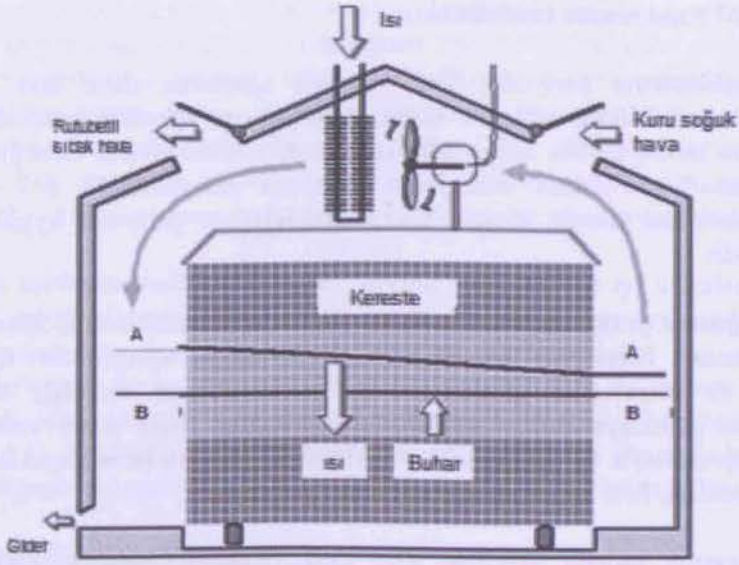
Fırında kurutma, basit, yarı otomatik ve tam otomatik yöntemlerle yapılmaktadır. Hangi yöntemle ve hangi tip kurutma fırınında yapılırsa yapılsın, bir kurutma işleminde dört önemli kurutma periyodu vardır. Bunlar ısıtma, kurutma, denkleştirme ve soğutma periyotlarıdır.

Isıtma periyodu: Arabalar üzerine istiflenen keresteler fırına yerleştirilip, kapıları kapatılır (Şekil 14.4). Vantilatörler çalıştırılarak, sıcaklık 30°C'ye yükseltilir. Bu sıcaklığa ulaşıncaya kadar fırına buhar püskürtülmemelidir. Çünkü soğuk kereste yüzeylerine temas eden buhar yoğunlaşıp, kereste üzerinde birikmekte ve daha sonra buharlaşarak, lekelenmelere neden olmaktadır. 30 °C'ye ulaşıldıktan sonra fırına buhar verilir. Buharlamanın amacı hem fırının ısıtılması hem de açık havada kuruma sırasında kerestede meydana gelen sertleşme hali ile gerilmeleri azaltmaktır. Bu ısıtma süresi, esas itibariyle kereste kalınlığına bağlıdır. En düşük süre 1 cm kereste kalınlığı için 1 saat kadar olmalıdır. Bu safhada bağıl nemde düşme olmamasına dikkat edilmeli, bağıl nemdeki düşmenin, yüzeysel kurumaya neden olduğu unutulmamalıdır.

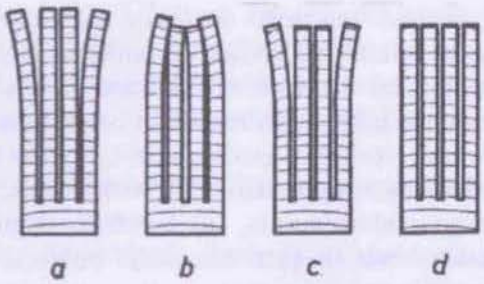
Kurutma periyodu: Kolay kuruyan ağaç türlerinde bir aşamada, kalın ve güç kuruyan ağaç türlerinde iki aşamada uygulanmaktadır. Uygulama iki aşamalı yapılıyorsa, birinci aşamada lif doygunluğu noktasına kadar, ikinci aşamada ise bu noktadan sonuç rutubetine kadar kurutma yapılmaktadır. Tek aşamalı kurutmada, lif doygunluğu noktasına yaklaşıldığında rutubet ve kalite kontrollerinin sıklaştırılması gerekir. Böylece yüzeysel kuruma tehlikesi önlenebilir.

Kurutma periyodunda kerestede sertleşme hali olup olmadığı, çatal şeklindeki kontrol örneklerinin incelenmesi ile anlaşılmaktadır. Şekil 14.5'de şematik olarak gösterilen bu örneklerde; (a) kurutma başlangıcında kereste yüzeyinde liflere dik yönde çekme gerilmelerinin oluştuğunu, (b) kerestenin iç kısımlarında liflere dik çekme gerilmelerinin, yüzeyinde ise basınç gerilmelerinin oluştuğunu (sertleşme hali), (c) sertleşmenin, buharlama ya da kondüsyonlama işlemiyle kaldırılmasını, (d) kurutma işlemi sonunda gerilme etkilerinin ortadan kaldırılması ile çatal kısımların birbirine paralel duruşunu, ifade etmektedir.

Kurutma işlemi sırasında kerestenin önce dış kısımları kuruyarak iç kısımlardan kerestenin yüzeyine doğru bir rutubet meyli meydana gelir. Kurutma işleminin iyi yönlendirilmesi halinde kurutma meyli de uygun gelişmektedir. Kurutma periyodu sırasında görülen iç sertleşme hali oldukça normal bir olaydır ve buhar verilmek suretiyle kolayca giderilebilmektedir.



Şekil 14.4: Bir kereste kurutma fırını enine kesiti ve temel elemanlar.



Şekil 14.5: Kurutma periyodunda sertleşme hali olup olmadığını kontrol için hazırlanan çatal örneklerin şematik görünüşü.

Denkleştirme (Kondüsyonlama) periyodu: Kurutma çok düşük rutubet miktarlarına kadar yapılmışsa, rutubet miktarını dengelemek ve onu belli bir seviyede tutmak için son bir buharlama ile kondüsyonlamak gerekir. Denkleştirme periyodu 25–50 mm kalınlıktaki geniş yapraklı ağaç kerestesinde 14–16 saat sürmekte ve ilk 2 saat buharlama yapıldıktan sonra fırın 12–16 saat kadar % 67 bağıl nemde tutulmaktadır.

Denkleştirme periyodu iğne yapraklı ağaçlarda daha kısa olmakla beraber, burada dikkat edilecek nokta, denkleştirme işlemine istenilen sonuç rutubetinin birkaç derece altına inildikten sonra başlanmasıdır. Örneğin; sonuç rutubetinin % 9 olması isteniyorsa, kurutma periyodu, % 6–7 rutubete ulaşıncaya kadar devam etmeli, sonra denkleştirme periyodu uygulamasına geçilmelidir.

Soğutma periyodu: Denkleştirme periyodu sonunda, ısıtma işlemine son verilir. Ancak, kerestenin fırından hemen çıkarılması sakıncalıdır. Kerestede çatlama ve çarpılmalar görülebilir. Bu nedenle fırın sıcaklığı başlangıç sıcaklığına gelinceye kadar vantilatörler çalıştırılır. Daha sonra vantilatörler durdurulup sırasıyla ve belli aralıklar beklenerek rutubetli hava kapakları, temiz hava k apakları, fırın kapısı açılıp, istif fırından çıkarılır.

Kurutma zamanı üzerinde ağaç türü, başlangıç rutubet miktarı, son rutubet miktarı, kereste kalınlığı, kuru ve yaş termometre sıcaklıkları, havanın hızı ve fırının tipi etkili olmaktadır. Kurutma süresi bu faktörlere göre hesaplanır. Örneğin; 25 mm kalınlıkta ve başlangıç rutubeti % 70 olan iğne yapraklı ağaç kerestesinde, sonuç rutubeti % 8 olacaksa, ısıtma periyodu 2 saat, kurutma periyodu 16 saat, denkleştirme periyodu ise 2 saat sürmektedir. Pratikte

bu amaçla hazırlanan grafikler yardımıyla kurutma programları kolayca yapılabilmektedir.

14.1.3 Kurutma Kusurları

Ağaç malzemenin doğal ya da fırınlarda kurutulması sırasında görülen çatlama, sertleşme hali, kollaps, deformasyonlar, renk değişmeleri ve reçine sızmaları gibi kusurlar kerestenin kalitesini ve değerini az ya da çok düşürmektedir. Sertleşme hali, bal peteği oluşumu (iç çatlaklar) ve kollaps, daha çok fırında kurutulmuş malzemede görülmektedir.

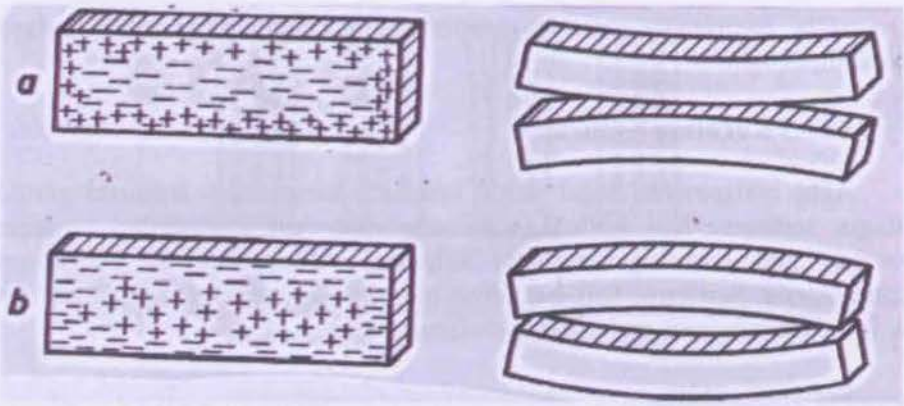
Sertleşme Hali

Başlangıç rutubeti yüksek olan ve güç kuruyan kerestede hızlı kurutma programı uygulanırsa, yüzey tabakalarındaki rutubet hızla buharlaşır. Yüzeye yakın odun tabakasında rutubet LDN altına düştüğünde, bu kısımda daralma başlar. Kerestenin orta kısmı ise halen ıslak olduğundan daralmaya mani olur ve kereste yüzeylerinde liflere dik yönde çekme gerilmeleri meydana gelir. Çekme gerilmeleri nedeniyle uzama, odunun elâstikiyet sınırını aşmadığı sürece kerestede bir sorun ortaya çıkmaz. Elâstikiyet sınırı aşılmışsa ve yüzey tabakalarında kuruma hızla devam ediyorsa, dış tabakalar sertleşir. Dış sertleşme hali olarak da bilinen bu sertleşme şeklinde dış tabakalar sanki bir kabuk gibi iç kısımları sarar ve içten dışa doğru rutubet akışı çok yavaşlar.

Dış sertleşme hali kurutma fırınlarında programların iyi uygulanmaması sırasında görülebileceği gibi, doğal kurutmada sıcak yaz aylarında güneş ışınlarına doğrudan maruz kalan kerestede de görülmektedir. Dış sertleşme halinin ilerlemesi ile iç kısımlarda da sertleşme oluşmakta ve kereste tümüyle sertleşerek, işlenmesi çok güç olan bir malzeme durumuna gelmektedir (Şekil 14.5/B–14.6). Fırınlarda kontrollü yapılan kurutma işlemleri sırasında bu durum fark edildiğinde havanın bağıl nemi yükseltilerek sertleşme önlenebilmektedir.

Enine Kesit Çatlakları

Özellikle doğal kurutmada kerestenin enine kesiti diğer kesitlerinden daha hızlı kuruduğunda, uç çatlakları da denen, bu kusurlar görülebilir. Enine kesitler parafinli maddelerle kapatılarak uç çatlakların oluşumu önlenebilir.



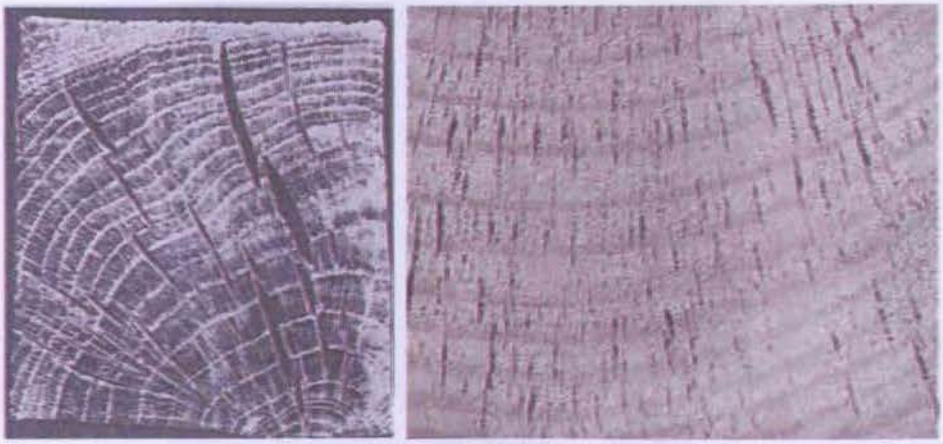
Şekil 14.6: Sertleşme hali görülen örnekler, (a) Hızlı kuruma şartlarında dışta çekme, iç tarafta basınç gerilmeleri, (b) Sertleşme hali ile dışta basınç, iç tarafta çekme gerilmeleri oluşması.

Yüzey Çatlakları

Yüzey çatlakları doğal kurutmada aşırı kuru havanın ve doğrudan gelen güneş ışınlarının etkisiyle, fırınlarda yapılan teknik kurutmada ise yüksek sıcaklık ve düşük bağıl nem gibi şiddetli kurutma periyodunun ilk safhasında oluşmaktadır. Bu durumlarda kerestenin yüzey tabakalarında liflere dik yönde meydana gelen çekme gerilmeleri, odunun liflere dik çekme direncini aşmakta ve yüzey çatlakları görülmektedir. Yüzey çatlaklarını önlemek için doğal kurutmada istiflerin üzerinin örtülmesi, fırınlarda ise sıcaklığın düşürülüp bağıl nemin yükseltilmesi yeterli olmaktadır.

Bal Peteği Oluşumu (İç Çatlaklar)

Şiddetli sertleşme sonunda kerestenin iç kısımlarındaki liflere dik çekme gerilmelerinin odunun liflere dik çekme direncini aşması halinde, iç kısımlarda bal peteğine benzeyen çatlaklar oluşmaktadır (Şekil 14.7). Yüksek sıcaklık iç çatlakları daha da artırır. İç çatlaklar meşe, kayın ve okaliptus'larda uygun kurutma yapılmadığı zaman görülmekte ve malzemenin değerlendirilmesini önemli ölçüde sınırlandırmaktadır. Kurutma fırınlarında iç çatlaklar başladığı anlaşıldığında buharlama yapılarak, çatlakların daha fazla ilerlemesi önlenmekte, ancak oluşan iç çatlaklar giderilememektedir.



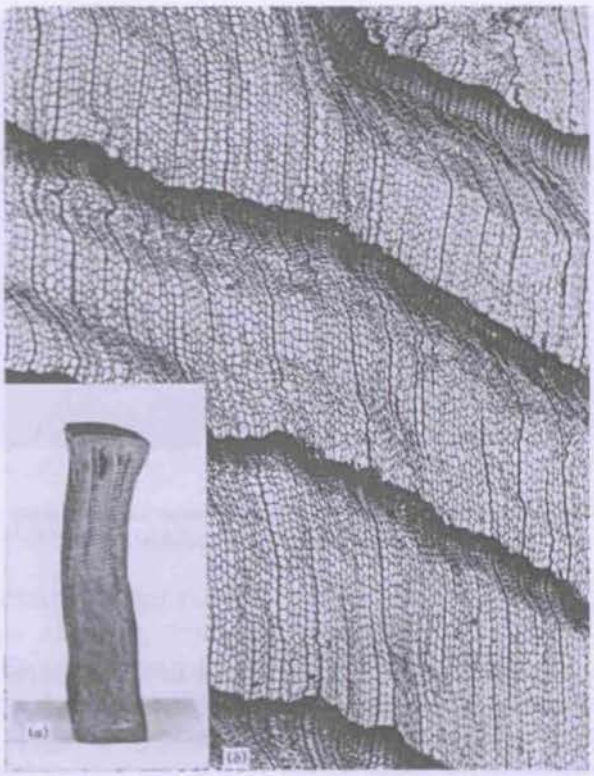
(A) (B)

Şekil 14.7: Uygun şartlarda kurutulmamış bir meşe malzeme enine kesitinde bal peteği şeklindeki iç çatlaklar.

Kollaps

Bazı ağaç türlerinin odunları taze halden lif doygunluğu noktasına kadar şiddetli kurutma şartları altında hızla kurutulursa, odun rutubeti yaklaşık % 50–60'a kadar indiğinde kerestenin boyutlarında düzensiz bir daralma görülmektedir. Hücrelerin çökmesi ile oluşan bu kusura kollaps adı verilir (Şekil 14.8). Şiddetli kurutma sonucunda hücre lümenlerindeki serbest suyun hızla çıkarılması ile hücre çeperleri çökmekte, hatta çeperlerde yarılmalar oluşmaktadır.

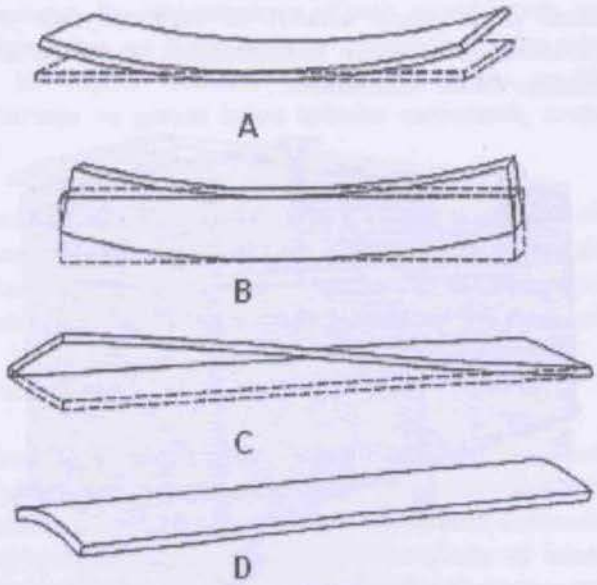
Hücre çökmelerine karşı hassas olan meşe, ceviz, okaliptüs, kavak, ıhlamur, kayın, boylu mazı gibi ağaç türlerinde, kurutulacak kereste yüksek rutubette ise bir ön kurutma yapılmalı ve rutubet LDN altına düşürüldükten sonra teknik kurutmaya geçilmelidir.



Şekil 14.8: (a) *Sequoia sempervirens* enine kesitinde kollaps oluşumu, (b) Kollaps oluşumu görülen *Thuja plicata* enine kesiti (20x).

Deformasyon

Ağaç malzeme LDN altındaki rutubet derecelerinde kurutulurken enine, teğet ve radyal yönlerde farklı çalıştığından deformasyonlar görülebilir. Kare kesitler ortogonal ya da romboidal, daire kesitler ise oval şekil alma eğilimindedir. TS 697'de bütün deformasyonlar, çarpılmalar başlığı altında toplanmıştır. Çarpılmalar, kereste içindeki rutubet dağılımının yeknesak olmamasından kaynaklanmakta ve teğet yönde geniş biçilmiş tahtalarda çarpılma eğiliminin daha fazla olduğu görülmektedir. Çarpılma çeşitleri eğilme, kamburlaşma (kılıcına eğilme), dönükleşme (burulma), kristalleşme (mainleşme) ve çanaklaşma (oluklaşma) olarak gruplandırılmaktadır (Şekil 14.9, 11.7).



Şekil 14.9: Kurutma ile ağaç malzemede meydana gelen kusurlar. (A) Eğilme, (B) Kamburlaşma, (C) Dönükleşme, (D) Çanaklaşma

Ağaç malzemenin kurutulması sırasında meydana gelebilen şekil deformasyonlarının nedeni odunun anatomik yapısından kaynaklanmakta ve uygun kurutma şartlarının tatbik edilmemesi ya da istiflemede yapılan hatalar bu kusuru son derece artırmaktadır. Ancak, kurutma sırasında alınacak önlemlerle deformasyon kusurları minimum düzeye indirilebilmektedir. Örneğin;

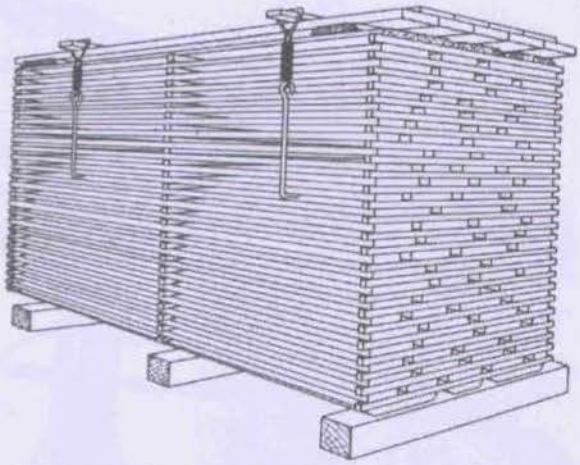
(1)ince kereste daha kolay deformasyona uğradığından kereste kalınlığına dikkat edilmelidir.

(2) Doğal olarak bulunan ya da biçme hatasından kaynaklanan lif düzensizlikleri kurutma sırasında eğilme ve dönükleşmeye neden olabileceğinden istiflemeye özen gösterilmelidir.

(3) Çanaklaşma teğet yönde geniş biçilmiş kerestede fazla görüldüğünden kereste üretiminde biçme şekli dikkate alınmalıdır.

(4) İstiflemede kurallara uyulmaması ve istif çıtalarının yanlış yerleştirilmesi eğilmelere yol açar. Bu nedenle istifleme yapıldıktan sonra istif yaylı ya da vidalı germe demirleri ile sıkıştırılmalı, kuruma sırasında gevşeme meydana geleceğinden zaman zaman kontroller yapılarak istifler sıkıştırılmalıdır (Şekil 14.10). Ayrıca, istiflerin üzerine beton ağırlıklar konarak istifler sıkıştırılabilir.

(5) Kurutma fırını yapım hataları da deformasyona yol açabilir. Bu nedenle, vantilatörlerin istife yakın konmamasına ve ısıtma ile nemlendirme buharının verilmesine dikkat edilmelidir.



Şekil 14.10: İstiflerin germe demirleri ile sıkıştırılması.

Renk Değişmeleri

Renk değişmeleri ağaç malzemenin kurutulması ve buharlanması sırasında odunun esas kimyasal yapısını meydana getiren selüloz, lignin ve polyoslar (hemiselülozar)'daki değişme sonucu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, ekstraktif maddelerin oksidasyonu da renk değişmeleri meydana getirebilir. 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda yapılan kurutmada havanın rutubeti ve sıcaklığı renk değişmelerini önemli derecede etkiler. Renk değişmeleri geniş yapraklı ağaç odunlarında 60°C'de, iğne yapraklı ağaç odunlarında ise 90°C'de başlamakta ve sıcaklık artışı ile doğru orantılı olarak renklenmede artış görülmektedir.

Renk değişmelerini önlemek için kereste yüzeylerinden talaş ve kabuk artıklarını temizlemek, temiz istif lâtası kullanmak, metal bağlayıcılarla kerestenin temasını kesmek ve kerestenin rutubeti LDN altına ulaşıncaya kadar düşük sıcaklık ile düşük bağıl nem uygulamak gibi önlemler alınabilir.

Reçine Sızması

Reçine miktarı fazla olan ağaç türleri kerestesi yüksek sıcaklıklarda kurutulduğunda, reçine kereste yüzeyine çıkar. Kereste yüzeyi ince bir yağ

tabakası ile kaplanır. Bu yağ tabakası yüksek sıcaklıklarda yanarak, kereste renginin koyulaşmasına ve kahverengine dönmesine neden olur. Çoğunlukla yüzeye sızan bu reçine tabakası içerisindeki uçucu maddeler (örneğin; terebentin) buharlaşır ve geride kalan kolofan sertleşerek, keresteyi işlenmesi güç hale getirir.

Reçine sızması kereste yüzeyinde ince ve sert bir tabaka oluşturduğundan rendeleme, yüzey işlemleri ve tutkallamada problem çıkarmaktadır. Sıcaklık 60°C'nin üzerinde yükseldikçe, reçine sızması da doğru orantılı olarak artar. Reçine sızmasını önlemek için kurutmada sıcaklık düşük tutulmalıdır.

14.2 Buharlama

Buharlama ağaç malzemenin kapalı tesislerde su buharı ile işlem görmesidir. Buharlama kereste, kaplama levha ve kontrplak üretiminde kullanılan tomruklarda ve bükme mobilya imalâtında kullanılmaktadır. Taze haldeki keresteyi sterilize etmek, yani arız olan mantar ve böcekleri öldürmek amacıyla oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca kayın, ceviz, armut, huş ve sığla gibi ağaç türlerinin kerestesinde renk yeknesaklığı sağlamak ya da rengini koyulaştırmak amacı ile buharlama yapılmaktadır.

Kurutmada kerestenin rutubetini hava kurusu hale düşürürken, odunda meydana gelen gerilmeleri, örneğin; sertleşme halini ve kollapsı, buharlama ile gidermek mümkündür. Kurutma periyodundan önce yapılan buharlama, kuruma hızını artırarak kuruma zamanını kısaltır. Buharlama ile daha az kalite kaybı ve daha iyi işlenme özellikleri elde edilmektedir.

Buharlama Metotları

Buharlama doğrudan (direkt) ya da dolaylı (endirekt) olarak yapılabilir. Doğrudan yapılan buharlamada ağaç malzeme istifleri buharlama odasına konduktan sonra, odaya düşük basınçlı buhar püskürtülür ya da buhar verilir. Buharlama odalarının yapıları basit olduğundan kontrolü güçtür. Yer yer fazla ısınmadan meydana gelen kusurlardan kaçınmak mümkün olmadığı gibi, yoğunlaşan buharın tekrar kullanılması imkânı da yoktur ve ısı kayıpları önlenemez.

Dolaylı buharlama tesislerinde yeterli büyüklükte bir su havuzu bulunmaktadır. Havuza yerleştirilen ısıtıcı borular yardımıyla su ısıtılıp düşük

basınçlı buhar üretilmektedir. Böylece doymuş buhar, kereste ya da tomruğa yumuşak bir şekilde temas ettirilerek buharlama sağlanır. Bu uygulama şeklinde kullanılan buhar bir depoda toplanarak ısıtma borularına tekrar gönderilebildiğinden, ısı kayıpları önlenebilmektedir.

Çok rutubetli ya da taze haldeki ağaç malzeme buharlandığında, yüzeylerinde önce kuruma meydana gelir. Çünkü kaynama noktasına yakın buhar sıcaklığında odundaki sıvı haldeki su buharlaşır. Eğer malzeme kuru ise, buhardan rutubet absorbe eder. Buharlanmış ağaç malzeme yüzeyinde daima ıslak bir tabaka oluşur. Tomruklar ya da ağaç malzeme yoğunlaşmış suyun toplandığı kapalı bir yerde buharlandığında DRM % 40–50 olmaktadır. Hareket halindeki doymuş buharda ise rutubet miktarı % 22–25 kadardır.

Buharlama ile ağaç malzemenin bazı özellikleri iyileştirilebilir. Örneğin; daralma ve genişlemesi azaltılabilir. Yumuşayarak, plastiklik özelliği artar ve bükme mobilya üretiminde kullanılır. Özellikle kayında işlenme özellikleri iyileşir, renk kızarır ve diri odun–öz odun arasında renk farkı azalır. Ancak, uzun süre yüksek basınçlarda buharlama daima madde kayıplarına neden olur. Hidroliz sonucunda selüloz ve hemiselüloz miktarı azalır. Asetik asit ve formik asit oluşarak, pH değeri düşer. Malzemenin özgül ağırlık ve mekanik özelliklerinde azalma olabilir.

BÖLÜM 15

AĞAÇ MALZEMENİN KORUNMASI (EMPRENYE)

Doğal bir hammadde olan ağaç malzeme çeşitli kimyasal maddeler ve metotlarla koruma altına alınmadan kullanılırsa mantarlar, böcekler ve deniz organizmaları tarafından çürütülmesi ya da tahrip edilmesi doğal bir olaydır. Bu faktörlerin etkisi ile ağaç malzemenin kullanım değerini önemli ölçüde azalmakta ve her yıl büyük maddi kayıplar söz konusu olmaktadır. Yukarıda sayılan biyotik faktörlerden başka abiyotik faktörler, özellikle de yangın, odunun kullanım değerini önemli ölçüde düşürmektedir. Açık havada kullanılan ağaç malzemede görülen değişimler Tablo 15.1'de, emprenye edilmeden doğal halde kullanılan ağaç malzemede dayanma süreleri Tablo 15.2'de gösterilmiştir.

Tablo 15.1: Açık Havada Kullanılan Ağaç Malzemede Görülen Değişimler

Değişim Şekli	Değişim Nedeni
Biyolojik degradasyon	Mantarlar, Böcekler, Termitler, Bakteriler
Yanma	Yangın (Yıldırım, Güneş, İnsan)
Şişme, Daralma, Donma, Çatlama, Deformasyon	Yağmur, Deniz suyu, Buz
Renk Değişikliği, Erozyon, Çatlama	Açık hava etkileri (Güneş, Sıcaklık, Rutubet, Rüzgâr, Asit Yağmurları)
Gerilmeler, Çatlaklar, Kırılma, Aşınma	Mekanik etki (Rüzgâr, Yağmur, Dolu, Kar ve Diğer Yükler)
$CO_2 + H_2O \rightarrow$ Ağaç $\rightarrow$ Odun Hammaddesi $\rightarrow CO_2 + H_2O$	

Günümüzde, çeşitli metotlar yardımı ile ağaç malzemeye kimyasal maddeler emdirilerek çürüme ve tahribat önlenmekte, yanma ise geciktirilebilmektedir. Bu amaçla yüzlerce kimyasal madde, emprenye maddesi olarak denenmiş ve denenmektedir. Ancak bunların içerisinde oldukça az sayıdaki madde pratikte yararlı olmakta ve emprenye işlemlerinde kullanılmaktadır. Bir kimyasal madde ya da kimyasal madde karışımlarının emprenye maddesi olarak kabul edilmesi için aranan özellikler aşağıda verilmiştir.

Tablo 15.2: Mantar ve Böceklere Karşı Ağaç Türlerinin Doğal Dayanıklılık Dereceleri

Dayanıklılık Sınıfları	Dayanıksız	Az Dayanıklı	Orta Dayanıklı	Dayanıklı	Çok Dayanıklı
Dayanma Süresi (Yıl)	5	5–10	10–15	15–25	25 ve daha fazla
İğne yapraklı ağaçlar	–	Çam (Y) Göknar (Y) Hemlock Lâdin (Y) Parana pine Radiata pine (T)	Agathis (T) Douglas göknarı Melez Servi (Y)	Ardıç (Y) Porsuk (Y) Sedir (Y) Boylu Mazı	–
Geniş Yapraklı ağaçlar	Akçaağaç (Y) Atkestanesi (Y) Balsa (T) Bombax (T) Cedrela (T) Ceiba (T) Dişbudak (Y) Gürgen (Y) Huş (Y) Ihlamur (Y) Ilomba (T) Kavak (Y) Kayın (Y) Kızılağaç (Y) Ramin (T) Söğüt (Y)	Abura (T) Afara (T) Avodire (T) Dut (Y) Hickory Jelutong (T) Karaağaç (Y) Kırmızı meşe Mengkulang(T) Obeche (T) Okoume (T) Sterculia (T) Tchitola (T)	Afrika mahunu (T) Anisoptera T) Ayan (T) Ceviz (Y) Coigue (T) Dibetou (T) Keruing (T) Kosipo (T) Meranti, Dark(T) Okwen (T) Sapele (T) Seraya (T) Tiama (T)	Agba (T) Akmeşe(Y) Dahoma (T) Framire (T) Guarea (T) İdigbo (T) Karri (T) Kempas (T) Kestane (Y) Kotibe (T) Mahun (T) Niangon (T) Utile (T)	Afrormosia(T) Afzelia (T) Angelique (T) Azobe (T) Greenheart (T) Iroko (T) Iron bark (T) Jarrah (T) Kapur (T) Makore (T) Mansonia (T) Muhuhu (T) Opepe (T) Paduk (T) Pyinkado (T) Pelesenk (T) Rhodesian, Teak(T) Teak (T)

T: Tropik ağaç türleri Y: Yerli ağaç türleri

(1) **Zehirlilik:** Bir emprenye maddesi mantar, böcek ve deniz zararlılarına karşı zehirli olmalıdır. Zehirlilik derecesi en önemli faktördür ve emprenye maddesinin hangi konsantrasyonda zehirli olduğu bilinmelidir.

(2) **Devamlılık:** Zehirlilik etkisi uzun yıllar sürmeli, yıkanmaya karşı dirençli, uçuculuğu düşük ve kimyasal bakımdan stabil olmalıdır.

(3) **Nüfuz kabiliyeti:** Kimyasal maddeler sadece yüzeyde tutulmamalı, odunun derinliklerine kolay ve yeknesak bir şekilde nüfuz etmelidir. Emprenye maddesinin viskozitesi oduna iyi bir şekilde nüfuz edemeyecek kadar yüksekse, zehirli olmasının ve devamlılığının bir değeri kalmayacaktır.

(4) **Metallere etki yapılmamalı:** Metaller üzerinde korozyon etkisine neden olmamalıdır. Koroziv etkisi bulunursa, hem emprenye tesisinde

kullanılan metal kısımları hem de emprenyeli ağaç malzeme ile birlikte kullanılan çeşitli metal bağlayıcıları etkileyip aşındıracaktır.

(5) **İnsanlar için zararlı olmamalı:** Emprenye işlemlerinde çalışanların ya da kullanan kişilerin sağlığını olumsuz yönde etkilememelidir.

(6) **Odunu tahrip etmemeli:** Emprenye maddeleri odunu ayrıştırmamalı, fiziksel ve mekanik kabiliyetlerini azaltmamalıdır.

(7) **Ekonomik olmalı:** Emprenye maddeleri çok pahalı olmamalı ve büyük harcamalara yol açmamalıdır. Yeterli miktarda bulunabilmeli ve fiyatı ticari kullanımı engellememelidir.

(8) **Nakliyat:** Emprenye maddeleri güvenli ambalajlar içerisinde ya da tankerlerle taşınmalı, çevreye zarar vermemelidir.

(9) **Yanmaya dayanıklı olmalı:** Emprenye maddeleri yanıcı olmamalı ve odunun yanmasını kolaylaştırmamalıdır.

Günümüzde ticareti yapılan emprenye maddeleri bu kriterlerin bir kısmına uymakta, bir kısmına ise uymamaktadır. Ayrıca, ağaç malzemenin kullanım yerine göre bu kriterlerden herhangi birinin önemi, diğerinden önde gelebilmektedir.

Biyolojik zararlılara karşı zehirli olduğu tespit edilen emprenye maddeleri üç ana grupta toplanmaktadır. (1) Yağlı emprenye maddeleri, (2) Organik çözücülü emprenye maddeleri, (3) Suda çözünen tuzlar. Emprenye maddelerinin üç ana grupta toplanmasının nedeni, aktif maddeyi odun içerisine taşıyan sıvıların farklı tipte olmasıdır.

Her tip emprenye maddesi belli bir uygulama alanı için uygun olmaktadır. Örneğin; yağlı emprenye maddeleri son derece ıslak şartlar altında kullanılacak ağaç malzeme için avantajlara sahip koruyuculardır. Emprenye edilen malzemede suyun hareketini yavaşlatarak mantarların gelişmesini durdururlar. Yağlı bileşikler için sorun, emprenye edilen malzeme yüzeylerinin yağlı olması nedeniyle malzemeye cilâ ya da boya sürülememesidir.

Organik çözücülü emprenye maddelerinde aktif maddeleri taşıyıcı olarak hafif organik çözücüler kullanılmakta ve emprenyeden sonra çözücüler kolayca buharlaşmakta, işlem sonunda ağaç malzeme emprenye edilmemiş gibi bir görünüm kazanarak boyanabilmektedir.

Suda çözünen tuzlarda ise aktif maddeyi taşıyıcı olarak su kullanıldığından, işlemden sonra malzemenin tekrar kurutulması gerekmektedir. Kurutma yapılmazsa, ağaç malzeme kullanım yerinde taze haldeki gibi daralma

gösterecektir. Bu tip koruyucu maddelerle emprenye edilen ağaç malzemede herhangi bir koku bulunmamaktadır.

Son yıllarda petrol fiyatlarındaki hızlı artış organik çözücülü emprenye maddelerinin kullanımını sınırlandırmış ve suda çözünen tuzlar daha geniş kullanım alanı bulmaya başlamıştır.

Dünyada ve ülkemizde kullanılan emprenye maddeleri arasında kreozot (yağlı emprenye maddesi), tribütiltin naftenat, bakır naftenat, pentaklorfenol (organik çözücülü emprenye maddeleri), bakır/krom/arsenik, bakır/krom/bor, asit bakır kromat, amonyaklı bakır/arsenik (suda çözünen tuzlar) sayılabilir.

Bir emprenye maddesinin etkinliği biyolojik zararlılara karşı kullanılan kimyasal maddenin (emprenye maddesinin) özelliklerine ve odunun anatomik yapısına bağlıdır.

Emprenye Maddelerinin Etkinliği

Koruyucu maddenin özellikle zehirliliği, nüfuz derinliği ve absorbe edilen miktarı ağaç malzemenin kullanım sürecini etkilemektedir.

(1) Zehirlilik değeri mikoloji laboratuarına sahip araştırma merkezlerinde çeşitli deneylerle saptanmaktadır. Emprenye maddesinin ne kadar derine nüfuz etmesi ve odunun birim hacminde kaç kg tutulması gerektiği ise ilgili standartlarda belirtilmektedir. Yapılan emprenye işlemlerinde bu değerlere ulaşılması hedeflenmelidir.

(2) Emprenye edilen ağaç malzemede nüfuz derinliğini tespit etmek için artım burgusu ile örnekler alınarak, emprenye maddesinin odun içersinde yeknesak bir şekilde dağılıp dağılmadığı da kontrol edilebilir. Renksiz emprenye maddeleri için hazırlanan çeşitli ayraçlar nüfuz derinliğini belirlemede yardımcı olmaktadır.

(3) Ağaç malzemenin absorbe ettiği emprenye maddesi miktarı; kreozot gibi herhangi bir çözücüde çözülmeden kullanılan koruyucu kimyasal maddeler için ağaç malzemenin emprenyeden önce ve sonra tartılıp, aradaki farkın alınması ile bulunmaktadır.

Suda çözünen koruyucu maddeler kullanıldığında ise absorbe edilen miktar, bir metreküpteki kuru tuz ağırlığı olarak aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır.

$$\text{Kuru Tuz Miktarı} = \frac{\text{Konsantrasyon} \times \text{Çözelti Miktarı}}{100}$$

Ağaç malzemenin yeterli miktarda emprenye maddesi absorbe edebilmesi, odunun anatomik yapısı ve daha önce yapılan kurutma, incising (yarık açma) gibi işlemler ile kullanılan emprenye metotlarına bağlıdır.

Odunun Anatomik Yapısı ve Geçirgenlik (Permeabilite)

Ağaç malzemenin içerisinde emprenye maddesi akışı, dikili ağaçlardaki su, mineral madde ve organik madde akışını sağlayan yollardan olmaktadır. Bu nedenle liflere paralel yönde geçirgenlik (Permeabilite), radyal yöndekinden daima daha büyüktür. Örneğin; iğne yapraklı ağaçlarda boyuna yöndeki geçirgenlik, enine yöndekinden 20 000 kez daha büyük olmaktadır.

Odundaki kapilar büyüklükler de nüfuz derinliği üzerinde etkilidir. Bilindiği gibi kapilar büyüklükler bir yıllık halka içerisinde ilkbahar ve yaz odununda değişiklik göstermektedir. Basınç kullanmayan emprenye metotlarında kapilar büyüklüklerin daha küçük olması, sıvıların hareketi ve nüfuz derinliğini geniş çapta arttırır. Basınç kullanan metotlarda ise emprenye maddesi akışına daha az karşı koyan ve daha büyük olan kapilar boşluklar istenmektedir.

İğne Yapraklı Ağaçlarda Permeabilite: İğne yapraklı ağaçlarda emprenye maddelerinin esas akış yolu traheidlerden–traheidlere olmakta ve kenarlı geçit çiftleri yardımıyla yapılmaktadır. Kenarlı geçitlerde torus her iki taraftan porusu açıp kapayarak geçiş dengesini sağlar. Geçitlerde aspirasyon oluştuğunda traheidten–traheide sıvı madde akışı engellenmektedir. Ancak, yaz odunu traheidleri kalın çeperli olduklarından buradaki geçitler, ilkbahar odunu traheidlerindeki geçitler kadar kolay kapanmamakta ve yaz odunundaki geçitler, ilkbahar odunundakilerden 100 kat daha geçirgen olmaktadır.

Diri odundan öz oduna dönüşüm sırasında ekstraktif madde birikmesi ile öz odundaki hücrelerin lümenleri ve geçitler tıkanarak sıvı madde akışı engellenmektedir.

İğne yapraklı ağaçlarda daha az önemli bir geçiş yolu da öz ışınlarıdır. Öz ışınları basit geçitler yardımı ile radyal yöndeki akışı sağlarlar. Ancak, öz ışını traheidi bulunan ağaç türleri dışındaki türlerde, öz ışınlarından sıvı madde akışı fazla önemli değildir.

Bazı iğne yapraklı ağaçlarda bulunan reçine kanalları, reçine ile tıkalı olmadığı sürece emprenye maddesi nüfuzu için yararlı olmakta, fakat genellikle reçine ile dolu olduklarından fazla önemli bir rol üstlenmemektedir.

Geniş Yapraklı Ağaçlarda Permeabilite: Yapraklı ağaçlarda sıvıların esas geçiş yolu trahelerdir. Trahelerin geçit zarlarında mikrofibrillerde açıklıklar bulunmadığından, traheler ve diğer hücreler arasında sıvı hareketi difüzyon yolu ile gerçekleşir. Diri odundan öz oduna dönüşümde geçit zarı üzerine yabancı maddelerin depolanması ile difüzyon hızı oldukça azalır. Ayrıca, öz odun oluşumu ile trahelerin tüllerle tıkanması da emprenye işlemini engelleyici etki yapmaktadır.

15.1 Ağaç Malzemenin Emprenye İşlemine Hazırlanması

Etkili bir emprenye işlemi yapabilmek için ağaç malzemenin daha önce uygun bir şekilde hazırlanması gerekir. Yuvarlak haldeki gövde kısımlarında kabuk soyulmuş ve özellikle yağlı maddelerle emprenyeden önce malzeme yaklaşık % 20 ve daha altındaki rutubet derecesine kadar kurutulmuş olmalıdır. Suda çözünen tuzlarla emprenyede ise lif doygunluğu noktasına kadar kurutma yeterli olmaktadır. Ancak, suda çözünen tuzlarla emprenye metotlarından Boucherie (Besi suyunu çıkarma) ve difüzyon metotlarında kabuklar soyulmamakta ve kurutma yapılmamaktadır.

Güç emprenye edilen ağaç malzemede nüfuz derinliğini artırmak için incising (yarık açma) işlemi yapılabilir. Bu işlem özel aletler yardımı ile ağaç malzemenin direncini azaltmadan, liflerine paralel yönde yarıklar açmak şeklinde yapılmaktadır. Ayrıca, malzemenin kullanım yerinde gerekli olan bütün kesme, delme ya da oyuk açma işlemleri emprenyeden önce gerçekleştirilmeli ve malzeme son şekline getirilmelidir. Örneğin; traverslerde demir tablanın yerleştirildiği oyuğun, vida deliklerinin açılması, tel direklerinde bağlantıların yapılacağı delik ve oyukların açılması, dış cephe kaplamalarında lâmba ve zıvanaların açılması gibi işlemler tamamlanmalıdır. Emprenyeden sonra malzeme üzerinde yapılacak herhangi bir işlem, emprenye edilmemiş odun dokusunu açığa çıkaracağından, böcek ve mantarların arız olmasına neden olmaktadır.

15.2 Emprenye Metotları

Ağaç malzemenin kullanım yerinde çürümeden uzun yıllar hizmet vermesi için emprenye maddelerinin oduna emdirilme işlemleri, (1) basınç

uygulamayan, (2) basınç uygulayan, (3) besi suyunu çıkarma, (4) difüzyon, (5)yerinde bakım metotları, olmak üzere beş tip uygulama şekli ile gerçekleştirilebilmektedir. Koruyucu madde ve metodun seçiminde, teknolojik ve ekonomik şartlarla birlikte kullanım alanı da dikkate alınarak karar verilmelidir.

15.2.1 Basınç Uygulamayan Metotlar

Emprenye maddesini ağaç malzeme içerisine nüfuz ettirmek için herhangi bir basınç tatbik etmeyen metotlar bu gruba girmektedir. Ağaç malzeme basit bir şekilde emprenye edilmek istendiğinde kullanılan bu metotlarda, genellikle emprenye maddesi absorpsiyonu ve nüfuz derinliği az olmaktadır.

Fırça ile Sürme ve Püskürtme Metotları

Basınç uygulamayan metotların en basit ve kolay olana fırça ile sürme ya da püskürtme işlemleridir. Emprenye maddesinin derine nüfuz etmeden, sadece malzemenin yüzeylerini örtmesi diri odunun emprenyesinde dahi sorun yaratmaktadır. Bu metotlar tatbik edildiğinde, odunsu hücreler ve yüzeye sürülen sıvı arasındaki kapilar etki yardımıyla emprenye maddesi ağaç malzemeye nüfuz eder. Hücrelerin çoğunun boyuna yönde yerleşmiş olması, boyuna yöndeki nüfuzun, enine yöndekinden daima daha fazla olmasını sağlar.

Enine nüfuz derinliği; kolay ve orta derecede güç emprenye edilen ağaç türlerinde (*Pinus sylvestris* gibi) 1–5 mm, güç ve çok güç emprenye edilen türlerde ise (*Picea abies* gibi) 1 mm'den daha azdır.

Ağaç malzeme yüzeyi kirli ya da ıslak olduğunda absorpsiyon miktarı daha da azalır. Bu metotlarla en iyi sonucu elde edebilmek için emprenye maddesi, temiz ve kuru ağaç malzeme yüzeyine birkaç kat olarak tatbik edilmelidir. Birinci kat kuruduktan sonra diğer katlar sürülürse emprenye maddesi bu işlemle, ancak birkaç mm kadar ağaç malzeme içerisine girebilir. Koruyucu maddenin çok ince bir tabaka halinde sürülmesi, malzemenin korunması için yeterli olmamaktadır. Yüzeyin temiz ve kuru olmasından başka, odunun anatomik yapısı, içerdiği rutubet miktarı, emprenye maddesinin viskozitesi ile yüzey gerilimleri, malzeme tarafından absorbe edilen koruyucu madde miktarını değiştirmektedir.

Binaların dış cephe kaplamalarında olduğu gibi geniş alanların emprenyesi ya da böcek arız olan çatı kerestesinin emprenyesi söz konusu

olduğunda püskürtme metodu, fırça ile sürme metoduna tercih edilmektedir. Ancak, kapalı yerlerde püskürtücü kullanan kişiler gerekli korunma önlemlerini almalı, ağız ve burunlarına mutlaka respiratör takmalıdır.

Fırça ile sürme ve püskürtme metotlarında kullanılacak en uygun emprenye maddeleri kreozot ve organik çözücülü emprenye maddeleridir. Fırça ile sürmede kreozot kullanılıyorsa işlem, havanın sıcak olduğu zamanlarda yapılmalı, hava sıcaklığı uygun değil ve viskozite yüksekse, sürülmeden önce kreozot ısıtılmalıdır. Ayrıca, basınç uygulayan metotlar kullanılarak suda çözünen tuzlarla emprenye edilen ağaç malzemede sonradan kesme, delme gibi işlemler yapılırsa, açılan yüzeyleri korumak için yine fırça ile sürme işleminden yararlanılmaktadır.

Emprenye maddesini sürerek ya da püskürterek malzeme yüzeyindeki çatlaklar tamamen doldurulmuş ve bol miktarda emprenye maddesi kullanılmış olsa dahi, bu metotlarla ağaç malzemenin ömrü sadece 1–3 yıl kadar uzatılabilmektedir. Bu nedenle uzun süreli bir koruma isteniyorsa bu işlemlerin periyodik olarak tekrarlanması gerekir. Ancak, her iki uygulama şeklinde de emprenye maddesi derine nüfuz etmediğinden toprakla temas eden yerlerde ya da çürüme riskinin yüksek olduğu yerlerde kullanılan ağaç malzeme için tavsiye edilmemektedir.

Daldırma Metodu

Bu metot, ağaç malzemenin birkaç saniye ile 3–60 dakika arasında emprenye maddesi içerisine batırılıp, çıkartılması şeklinde uygulanmaktadır. Fırça ile sürme metodundan biraz daha etkilidir. Malzeme tamamen emprenye maddesi içerisine daldırıldığından, fırça ile sürmeye göre daha fazla yeknesaklık sağlanmakta ve bütün çatlakların emprenye maddesi ile doldurulması mümkün olmaktadır.

Bu metotla emprenye edilecek ağaç malzemenin rutubeti LDN altında olduğunda daha iyi sonuç alınmaktadır. Bu uygulama şeklinde de enine yöndeki nüfuz sınırlı kalmakta, absorbe edilen koruyucu maddenin büyük bir kısmı malzeme içersinde boyuna yönde yayılmaktadır. Örneğin; kalınlığı ve boyu arasındaki oran 1/20 olan bir ağaç malzeme 10 dakika emprenye maddesi içerisine batırılacaksa, absorbe edilecek tüm emprenye maddesinin yarısı ilk 15 saniyede odun tarafından emilmekte, daha sonra absorpsiyon hızı giderek azalmaktadır.

Daldırma metodu özellikle toplu konut inşaatlarında ve fabrikalarda pencere doğramaları ile mavi renk oluşumuna karşı korunması gereken kerestelerin emprenyesinde kullanılmaktadır. Bu amaçla çoğunlukla organik çözücülü emprenye maddeleri kullanılmakta ve daldırma süresi yaklaşık 3 dakika olarak uygulanmaktadır. Suda çözünen tuzlar kullanılırsa, fiziksel etkilerden korunma koşuluyla, ağaç malzemenin hizmet ömrünü 2–4 yıl uzatmak mümkün olmaktadır.

Batırma Metodu

Bu uygulama şeklinde, ağaç malzeme 2–3 gün emprenye maddesi içersinde bırakılmaktadır. Sürenin uzatılması nüfuz derinliği ve absorpsiyon miktarını artırmakla beraber, absorpsiyonun büyük bir kısmı ilk gün gerçekleşmektedir. Süre uzun olduğundan, bu metot son yıllarda fazla uygulama alanı bulamamaktadır.

Batırma metodu yardımı ile bazı iğne yapraklı ağaçların diri odunları kolayca emprenye edilebilmektedir. Tül oluşumu bulunmayan geniş yapraklı ağaçlarda da uçlardan iyi bir nüfuz derinliği sağlanmakta, fakat enine yönde nüfuz genellikle yeterli olmamaktadır.

Batırma metodunda suda çözünen tuzlar kullanarak taze haldeki ağaç malzemeyi emprenye etmek mümkündür. Bu durumda tuzlar, ıslak odunda difüzyon yolu ile yayılmaktadır. Kurutulmuş ağaç malzeme suda çözünen tuzlarla emprenye edilecekse, kurutulmuş malzeme hem suyu hem de tuzu absorbe ettiğinden, emprenye çözeltisinin yüksek konsantrasyonda hazırlanması gerekmektedir.

Sıcak ve Soğuk Metot

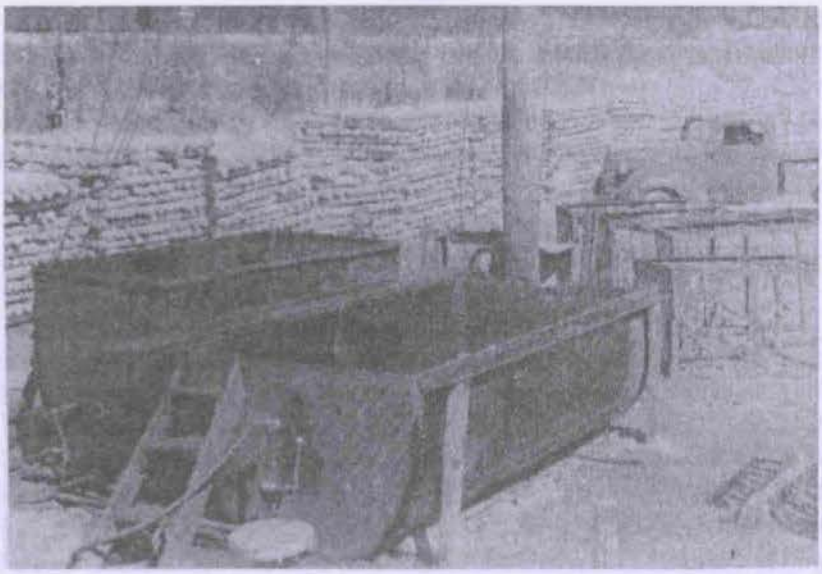
Sıcak ve soğuk metot, basınç uygulamayan metotların en etkili olanıdır. Metodun esası sıcaklık değişimi ile meydana gelen basınç farklılıklarından yararlanarak, emprenye maddesinin ağaç malzeme içerisine derin bir şekilde nüfuz etmesini sağlamaktır.

Bu metotta, hava kurusu haldeki ağaç malzeme önce sıcak emprenye maddesi içerisine batırılır. Hava kurusu haldeki bir malzemede hacminin yaklaşık % 50'si kadar hava bulunduğundan, hücreler içerisindeki hava, sıcak emprenye maddesi ile ısınarak genişlemekte ve dışarı atılmaktadır. Daha sonra

ağaç malzeme sıcak emprenye maddesinden soğuk emprenye maddesine geçirildiğinde, soğuma nedeniyle hücrelerde küçülen hava vakum etkisi yaparak koruma maddesini malzemenin içine çekmektedir.

Metodun uygulanması çok esnek olup, şartlara göre değiştirilebilir. Sıcak ve soğuk olarak iki ayrı kazanın bulundurulması ekonomik açıdan uygun değilse ve ağaç malzemenin bir kazandan diğerine taşınması sorun yaratıyorsa, işlem tek kazanda da uygulanabilmektedir (Şekil 15.1). Bu gibi durumlarda ya ağaç malzeme emprenye maddesi içerisinde ısıtıldıktan sonra aynı kazanda soğumaya bırakılmakta ya da sıcak emprenye maddesi pompa ile başka bir yere alınıp, kazan soğuk emprenye maddesi ile doldurulmaktadır. Böylece işlem süresi de kısaltılabilmektedir.

Sıcak–soğuk metotta kreozot ve diğer yağlı emprenye maddeleri ile suda çözünen tuzlar kullanılmaktadır. Metodun başarısını etkileyen önemli bir nokta emprenye maddesi sıcaklığına dikkat edilmesidir. Çok yüksek sıcaklık derecelerine ulaşıldığında yağlı koruyucular buharlaşabilmekte, suda çözünen tuzlarda ise suyun buharlaşması ile tuz yüzdesi, yani çözelti konsantrasyonu değişmektedir. Suda çözünen tuzlar kullanıldığında sıcaklık 80–85°C'nin üzerine çıkarılmamalı, soğuk çözelti sıcaklığı 38°C olmalıdır.



Şekil 15.1: Çit direklerinin sıcak–soğuk metot yardımı ile emprenyesinde kullanılan bir tesis.

Bu yöntemle kreozot kullanarak çam direkler emprenye ediliyorsa, sıcak kazandaki kreozot 85–115°C'ler arasında olmalı ve direkler en az 6 saat bu sıcaklıkta bırakılmalıdır. Kreozotta soğuk kazandaki sıcaklık 32–65°C'lere kadar yükseltilmekte ve direkler burada en az 2 saat bekletilmektedir.

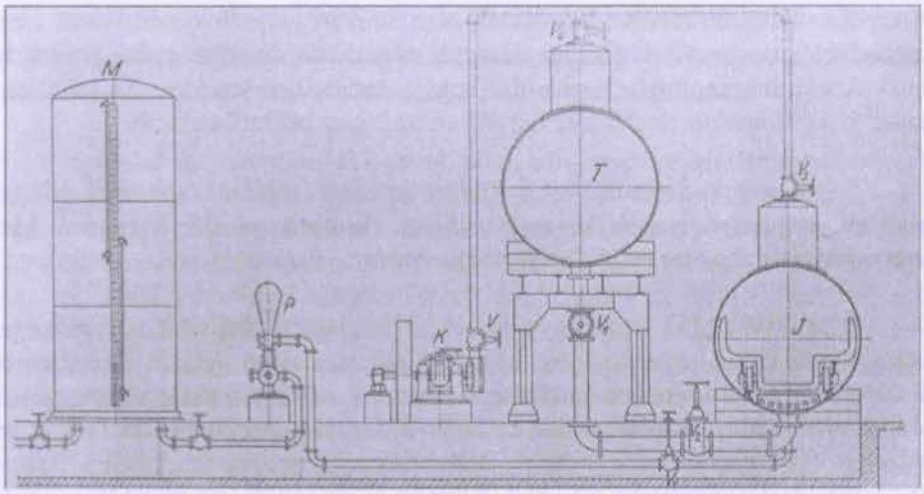
Sıcak–soğuk metotla 2 cm nüfuz derinliği sağlamak ve diri odunun %85'ini emprenye etmek veya 320 kg/m^3 kreozot ya da 16 kg/m^3 kuru pentaklorfenol absorbe edilebilmek mümkündür.

Sıcak ve soğuk emprenye maddesi içerisinde bekleme süreleri ağaç malzemenin çapı, boyu ve türü dikkate alınarak değiştirilebilir. Örneğin; çit direklerinde sıcak kreozotta bekleme süresinin 1 saatin üzerinde olması yeterli olmaktadır. Kolay emprenye edilen ağaç türlerinde gereğinden fazla koruma maddesi absorpsiyonu söz konusu olduğundan işlemden sonra tekrar ısıtma yapılarak, fazla emprenye maddesi dışarıya çıkarılmakta ve yüzeylerin temiz kalması sağlanmaktadır.

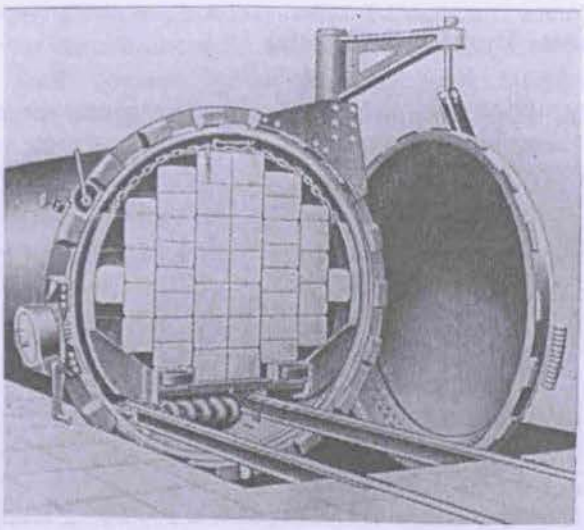
15.2.2 Basınç Uygulayan Metotlar

Basınç uygulayan metotlar, ağaç malzemenin emprenyesinde en etkili metotlardır. Bu metotları uygulayan tesislerde ağaç malzeme çelik bir kazana yerleştirilmekte ve belli bir basınç ya da vakum (alçak basınç) altında emprenye maddesi odun hücreleri içerisine sevk edilmektedir. Bu uygulama şekli ile emprenye maddesinin malzemede daha yeknesak dağılması, daha derine nüfuz etmesi ve daha fazla miktarda absorbe edilmesi sağlanabilir. İşlemin tamamen kapalı bir kazanda gerçekleştirilmesi işlem şartlarının geniş çapta kontrolüne imkânı vermektedir.

Basınç metotlarının uygulandığı bir tesis şeması Şekil 15.2 ve 15.3'te verilmiştir. Tesisin en önemli kısmı olan emprenye kazanı yatık duran, çoğunlukla silindir, bazen de dikdörtgen prizma şeklindedir. Yüksek basınçlara dayanıklı çelikten yapılmıştır. Kazanın büyüklüğüne, emprenye edilecek malzemenin ölçülerine ve kullanılan doldurma sistemine bağlı olarak, kazan kapıları sadece önde ya da her iki uçta olabilir (Şekil 15.2/J). Direk ve benzeri büyük ölçülerdeki ağaç malzeme vagonetlerle kazana yerleştirilip, çıkarılmaktadır (Şekil 15.3). Küçük kazanlarda ise doldurma, boşaltma elle ya da vinçle yapılabilir. Yardımcı ekipmanlar olarak, emprenye maddesi ısıtma ve depolama tankları, basınç ve vakum pompaları bulunur. Kreozot gibi koruyucu maddeleri ısıtmak için genellikle buhar kullanıldığından, kreozot kullanan tesislerde buharla ısıtma sistemi de gereklidir (Şekil 15.2/T).



Şekil 15.2: Kazanda basınç metodu uygulayan bir tesis şeması.



Şekil 15.3: Kazanda basınç metodu ile emprenye edilecek malzemenin kazana yerleştirilmesi.

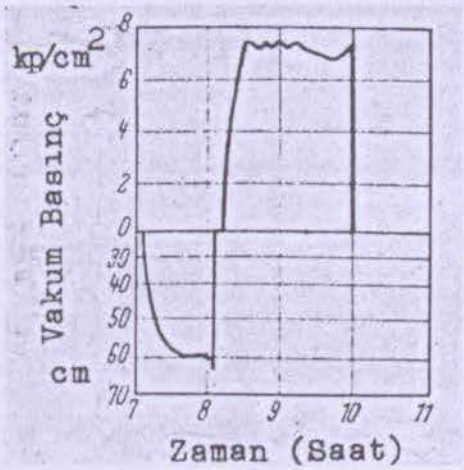
Basınç uygulayan metotlardan boş hücre ve dolu hücre metotları en fazla kullanılanlardır. Son yıllarda toprakla temasta olmayan ve su basman seviyesi üzerinde kullanılan ağaç malzemenin emprenyesinde alçak basınç (vakum) metotları giderek önem kazanmaya başlamıştır. Ayrıca, basınç uygulayan metotlar kadar geniş kullanım alanı olmayan osilasyon, değişken basınç ve çok yüksek basınçlı metotlar da vardır.

Dolu Hücre Metotları

Dolu hücre metodunun amacı, emprenye edilen malzemede en yüksek seviyede koruma maddesi absorbe edilmesini sağlamaktır. Bu nedenle hücrelerdeki havanın mümkün olduğu kadar fazla miktarda çıkarılması ve emprenye maddesinin girmesini önleyen hava yastığının ortadan kaldırılması gerekmektedir. Böylece hücre lümenleri ve çeperleri emprenye maddesi ile dolmaktadır. İşlem sonunda kazandan basınç kaldırıldığında hücrelerde kalan havanın genişlemesiyle emprenye maddesinin geri atılması, bu metotta en az düzeye indirilmektedir. Dolu hücre metotlarından en fazla kullanılanlar Bethell ve Burnet metodudur.

Bethell metodu: Bethell metodu yağlı emprenye maddeleri ile kullanılan bir dolu hücre metodudur. Emprenye edilecek ağaç malzeme, rutubeti LDN altına düşürüldükten sonra kazana yerleştirilmekte ve Şekil 15.4'de grafiği verilen aşağıdaki program uygulanmaktadır.

(1) En az 30 dakika 600 mm Hg'lık bir vakum yapılır.
(2) Vakum devam ederken 82–99°C sıcaklıktaki kreozot kazana verilir.
(3) 8–14 kp/cm^2 basınç uygulanır.
(4) Çam direkler için 3–5 saat, çam traversler için 2–3 saat sonra basınca son verilir.
(5) Basınç kaldırılır, kreozot emprenye kazanından geri alınır.

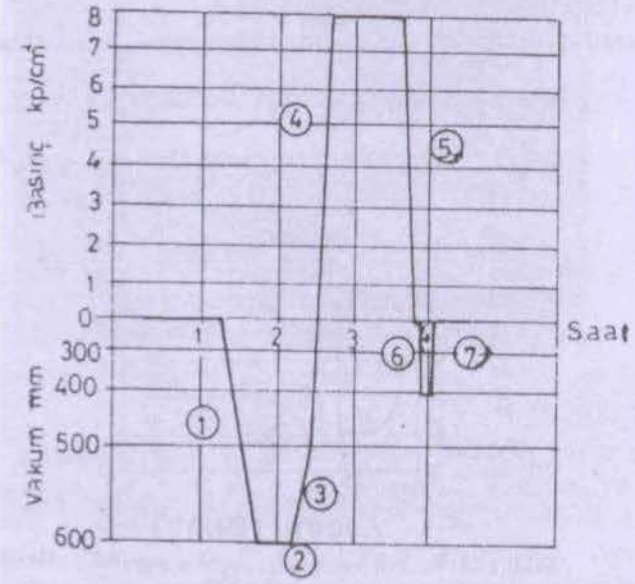


Şekil 15.4: Bethell metodunun uygulama grafiği.

Ağaç malzemeden sızmayı azaltmak için, son yıllarda programa 400 mm Hg'lık bir son vakum eklenmiştir. Bethell metodu ile çamda 270–300 kg/m^3, kayında 325–350 kg/m^3, meşede 85–100 kg/m^3, kavakta 290–500 kg/m^3 absorpsiyon sağlanmaktadır.

Burnet metodu: Suda çözünen tuzlarla uygulanan bir dolu hücre metodudur. Kullanım alanına göre 1 m^3 ağaç malzemede 5,3–24,0 kg kuru tuz absorbe edilecek şekilde metotta değişiklik yapılabilmektedir. Metodun grafiği Şekil 15.5'de, programı ise aşağıda verilmiştir.

(1) 600 mm Hg'lık vakum uygulanır.
(2) Vakum süresi çamda 30 dakika, kayın, meşe ve melezde 60 dakika, lâdinde 120 dakikadır.
(3) Emprenye maddesi kazana doldurulur.
(4) 7–8 kp/cm^2 basınç uygulanır.
(5) Çamda 60 dakika, kayın, meşe ve melezde 120 dakika, lâdinde 240 dakika sonra basınca son verilir.
(6) Emprenye maddesi kazandan geri alınır.
(7) 400 mm Hg'lık alçak basınç uygulanarak, 5 dakika beklenir.
(8) Vakum kaldırılır.



Şekil 15.5: Burnet metodunun uygulama grafiği.

Dolu hücre metodu ile sağlanan yüksek absorpsiyon miktarları, emprenye maddesi masraflarının artmasına yol açmaktadır. Ancak, özellikle denizde iskele direği gibi çürüme riskinin çok yüksek olduğu kullanım alanlarında maksimum emprenye maddesi absorpsiyonu gerektirmektedir.

Birçok kullanım yerinde öngörülen hizmet süresi boş hücre metotları ile de sağlanabildiğinden, emprenye işlemi maliyeti boş hücre metotları kullanılarak düşürülmektedir.

Boş Hücre Metotları

Fazla kreozot harcayan dolu hücre metodu ile yapılan uygulamanın maliyeti yüksek olduğundan daha ekonomik, devamlı olarak yeter derecede koruma sağlayacak metotların araştırılması yoluna gidilmiş ve boş hücre metotları bulunmuştur.

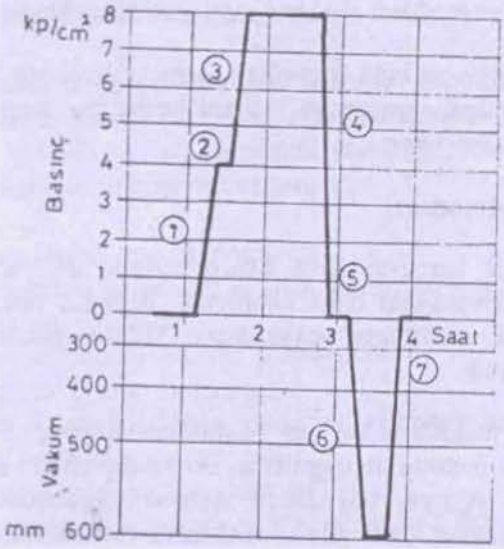
Boş hücre metotlarından en önemlileri Rüping metodu ile Lowry metodudur. Her iki metotta da uygulama, ön vakum işlemi dışında, dolu hücre metoduna benzer. Ayrıca, boş hücre metodu uygulamasında basınç sona erdiğinde ağaç malzeme içerisinde sıkışan hava yardımıyla emprenye maddesi dışarıya atılır. Böylece hücre lümenleri hemen hemen boş kalırken, hücre çeperleri tamamen emprenye edilmektedir.

Bu metotların amacı, ağaç malzemede derin bir nüfuz sağlamakla birlikte, kreozot sarfiyatını azaltmak ve masrafları düşük seviyede tutmaktır. Boş hücre metotları endüstriyel maksatlarda suda çözünen tuzlarla nadiren kullanılmakta, genellikle kreozot ya da ağır yağlarda çözünmüş pentaklorfenol ile uygulanmaktadır.

Rüping metodu: Metodun uygulama esasları grafik olarak Şekil-15.6'da verilmiş ve program akışı aşağıda açıklanmıştır.

(1) 1,5–4,0 kp/cm^2 basınç yapılır.
(2) Basınç 5 dakika muhafaza edilir ve basınç değiştirilmeden kreozot emprenye kazanına sevk edilir. Kreozotun ısıtma kazanındaki sıcaklığı 105°C'den az olmamalıdır.
(3) Kazandaki basınç 7–8 kp/cm^2'ye çıkarılır.
(4) Çamda 60 dakika, melezde 90 dakika, meşede 180 dakika sonra basınç sona erdirilir.
(5) Emprenye maddesi (kreozot) kazandan alınır.
(6) 600 mm Hg vakum yapılır.
(7) 10 dakika sonra vakuma son verilir.

Rüping metodunda çamda 90 kg/m^3, meşede 45 kg/m^3 absorpsiyon sağlanmaktadır.



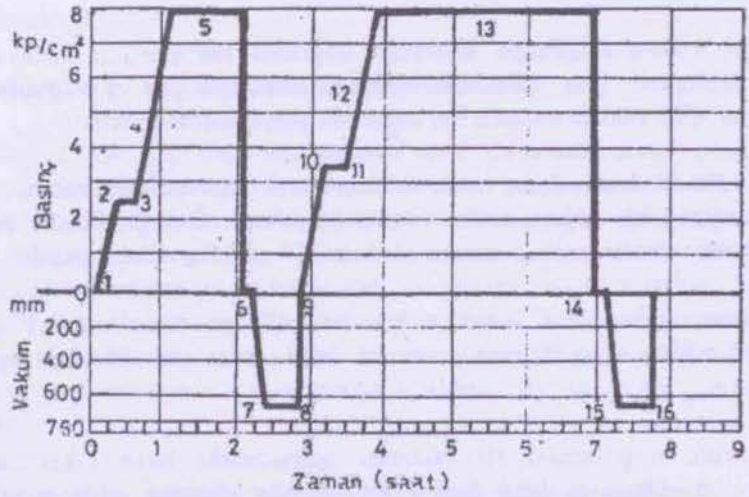
Şekil 15.6: Rüping metodunun uygulama grafiği.

Danimarka, Almanya, İtalya ve ülkemizde demiryolu traverslerinin emprenyesinde kreozotla Çift Rüping metodu uygulanmaktadır. Bu metotta birinci Rüping programı uygulandıktan sonra, program ikinci kez tekrarlanarak aşırı emprenye maddesi absorpsiyonu olmaksızın daha iyi bir nüfuz derinliği sağlanmaktadır (Şekil 15.7). Çift Rüping metoduna göre program uygulama sırası aşağıda verilmiştir.

(1) Ağaç malzeme emprenye kazanına yerleştirilir.
(2) 1,5–4,0 kp/cm^2 basınç uygulanır.
(3) Basınç 15 dakika devam ettikten sonra değiştirilmeden, ısıtma kazanındaki sıcaklığı 105°C'den az olmayan kreozot ile emprenye kazanı doldurulur.
(4) Basınç 7–8 kp/cm^2'ye yükseltilir.
(5) Basınca 60 dakika devam edilir.
(6) Basınç kaldırılır ve emprenye maddesi (kreozot) kazandan geri alınır.
(7) 600 mm Hg vakum yapılır.
(8) 30 dakika sonra vakum sona erdirilir.
(9) Atmosfer basıncına çıkılır.

(10) 1,5–4,0 kp/cm^2 basınç yapılır.
(11) Basınç 15 dakika muhafaza edilerek değiştirilmeden kazana emprenye maddesi (en az 105°C'deki kreozot) verilir.
(12) Basınç 7–8 kp/cm^2'ye yükseltilir.
(13) 3 saat sonra basınç sona erdirilir.
(14) Emprenye maddesi kazandan geri alınır.
(15) 600 mm Hg vakum uygulanır.
(16) 30 dakika sonra vakum sona erdirilerek işlem bitirilir.

Bu program ile kayında 145 kg/m^3, lâdinde 75 kg/m^3 absorpsiyon sağlanmaktadır.



Şekil 15.7: Çift Rüping metodu uygulama grafiği.

Lowry metodu: Bu metotta kreozot, ön basınç yapılmadan atmosfer basıncında kazana verilmektedir. Diğer uygulamalar Rüping metodunda olduğu gibi gerçekleştirilmektedir.

Vakum (Alçak Basınç) Metotları

Düşük basınç uygulayarak emprenye maddesinin ağaç malzeme içerisine girmesini ve malzemenin uzun yıllar hizmet vermesini sağlayan birçok metot vardır. Bazı hallerde vakumla birlikte birkaç kp/cm^2'lik basınç da tatbik edilmektedir. Vakum metotlarının en önemlisi çift vakum metodu olup, endüstriyel bakımdan ilk defa 1960'lı yıllarda başarı ile kullanılmaya

başlanmıştır. Ülkemizde ise 1985 yılında ilk çift vakum tesisi kurulmuş ve son yıllarda sayıları 20'ye ulaşmıştır.

Çift vakum metodu: Metodun prensipleri dolu hücre metoduna benzemektedir. Ancak, kullanılan basınç düşük olduğundan absorpsiyon miktarı ve nüfuz derinliği, dolu hücre metotlarından daha azdır. Bu metotta binalarda su basman seviyesi üzerinde kullanılacak kerestede temiz, kuru yüzeyler elde etmek ve hızlı bir işlem gerçekleştirmek hedeflenmiştir. Koruma maddesi olarak organik çözücülü ve düşük viskozitedeki emprenye maddeleri kullanılmaktadır. Aktif madde olarak tribütiltin oksit ya da tribütiltin naftenat ile bir insektisit karışımı kullanılmakta, çözücü olarak da genellikle petrol fraksiyonlarından biri olan white spirit'den yararlanılmaktadır.

Çift vakum emprenye kazanları doğrama kerestesinin fazla miktarda yerleştirilebilmesi için silindirik yerine, kare ya da dikdörtgen kesitli yapılmıştır. Çift vakum metodu beş aşamada gerçekleştirilmektedir.

(1) Ön Vakum. Ağaç malzeme kazana yerleştirildikten sonra, anatomik yapısına uygun bir değere kadar vakum uygulanır. Örneğin; kolay emprenye edilen *Pinus sylvestris* için 3 dakika süre ile 250 mm Hg vakum yapılır.

Lâdin, göknar ve Western hemlock (*Tsuga heterophylla*) gibi güç emprenye edilen ağaç türlerinde ise 10 dakika süre ile 625 mm Hg vakum uygulanır

Vakum uygulaması ile hücreler içerisindeki hava çıkarılmakta ve emprenye maddesinin daha kolay bir şekilde absorbe edilmesine olanak hazırlanmaktadır.

(2) Kazana Emprenye Maddesi Verilmesi. Uygulanan vakum muhafaza edilerek emprenye maddesi kazana pompalanır.

(3) Basınç Periyodu. Emprenye kazanı çözelti ile dolduğunda vakum bırakılarak, atmosfer basıncına ya da yardımcı hava basıncı ile 2 kp/cm^2'ye kadar çıkılmaktadır. Basınç ya belli bir süre ya da yeter miktarda çözeltinin absorbe edilmesine kadar devam ettirilir. Örneğin; sarıçamın emprenyesinde atmosfer basıncında 3 dakika, lâdin ve göknarda ise 1–2 kp/cm^2 basınçta 1 saat beklenmektedir.

(4) **Emprenye Maddesinin Dışarı Alınması.** Basınç uygulanması bittikten sonra atmosfer basıncına dönülerek emprenye çözeltisi kazandan dışarı alınır.

(5) **Son Vakum.** 20 dakika süre ile 500 mm Hg'lık vakum yapılır. Böylece fazla emprenye maddesi ağaç malzemeden çıkarılır ve yüzeylerin kuru kalması sağlanır.

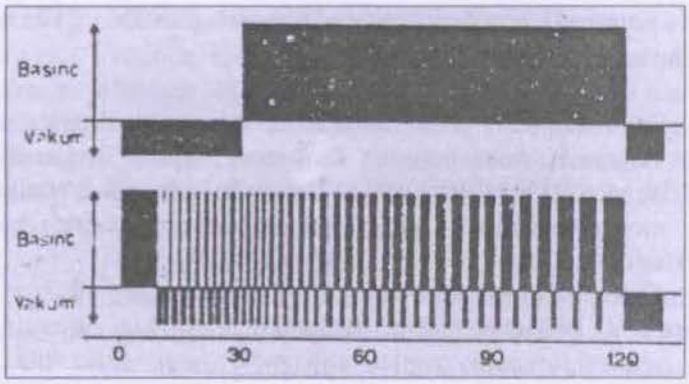
Çift vakum metodu, diğer metotlarla karşılaştırıldığında en önemli etkinliğinin doğrama endüstrisinin ihtiyacına uyum sağlaması olduğu söylenebilir. Bu metotla emprenye edilen kerestede sadece 1–2 gün gibi kısa bir süre sonra montaj işlemleri (yapıştırma, boyama ve cam takma gibi) yapılabilmektedir.

Osilasyon ve Değişken Basınç Metotları

Güç ve çok güç emprenye edilen ağaç türlerinde dolu hücre metodu uygulamasında güçlüklerle karşılaşıldığından, osilasyon basınç metodu geliştirilmiştir. Bu metotta taze haldeki ya da kurutulmuş ağaç malzeme suda çözünen tuzlar kullanılarak, yüksek ve alçak basınçların birçok kez tekrarlanmasıyla emprenye edilmektedir. En yüksek basınç 8 kp/cm^2, en düşük vakum 720 mm Hg olarak uygulanmaktadır. Vakum işlemleri süresince ağaç malzemedeki hava emilirken, aynı zamanda besi suyu da çıkarılmaktadır. Basınç periyodu süresince ise emprenye maddesi ağaç malzeme içerisine sevk edilmektedir.

Küçük enine kesitli ve hava kurusu haldeki ağaç malzemede tipik bir osilasyon basınç metodu uygulaması, dolu hücre metodu ile karşılaştırmalı olarak Şekil 15.8'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere emprenye işlemi süresi 2 saattir. Ancak, dolu hücre metodunda basınç tek aşamalı, osilasyon basınç metodunda ise 40 aşamalıdır. Burada ilk basınç 5 dakika, ilk vakum 40 saniye uygulanarak başlamakta, daha sonra basınç periyodu 20 saniyeye düşürülüp, işlemin sonuna kadar süre yavaş yavaş artırılmakta, vakum ise yavaş yavaş artırılmaya devam etmektedir. İşlemin sonunda vakum süresi 1 dakikaya, basınç süresi 5,5 dakikaya çıkmakta ve en son 2 dakikalık vakum uygulaması ile metodun uygulaması bitirilmektedir.

Büyük boyutlu ve taze haldeki ağaç malzemede osilasyon basınç metodu kullanıldığında işlem süresi 22 saate, basınç–vakum periyotları sayısı 400'e kadar çıkmaktadır. Ayrıca ağaç türü, malzeme kalınlığı ve kullanım yeri ile ilgili olarak özel programlar yapılması da mümkündür.



Şekil 15.8: Dolu hücre metodunun (üste), osilasyon basınç metodu (altta) ile karşılaştırması.

Değişken basınç metodu, osilasyon basınç metoduna benzemekte, ancak değişken basınç metodunda vakum uygulanmamakta, tatbik edilen 8 kp/cm^2 basınç sadece atmosfer basıncına kadar düşürülmektedir. Böylece osilasyon basınç metodundan daha az ekipman kullanılmaktadır.

Çok Yüksek Basınçlı Metotlar

Çok yüksek basınçlı metotlar, dolu hücre metodu esasına göre uygulanmakta, kullanılan basınç 70 kp/cm^2'ye kadar çıkarılmaktadır. Bu nedenle endüstriyel bakımdan uygulanmasında güçlükler çıkmaktadır. Dünyada bu metotla çalıştığı bilinen üç fabrika vardır. Amaç, klasik metotlarla güç emprenye edilen okaliptüs türlerinde nüfuz derinliği ve absorpsiyon miktarını artırmaktır.

15.2.3 Besi Suyunu Çıkarma Metodu

Metodun esası yeni kesilmiş taze haldeki ve kabuğu soyulmamış ağaç gövdelerinde besi suyunun, emprenye maddesi ile yer değiştirmesi prensibine dayanmaktadır. Metot çoğunlukla kesimden sonra en geç iki hafta içerisinde ve kabuğu soyulmamış direklere uygulanmaktadır.

Boucherie metodu adı da verilen bu metoda göre, taze haldeki kabukları soyulmamış tel direkleri hafif meyilli destekler üzerinde 30 cm aralıkla, kalın uç

yukarıda, ince uç aşağıda olacak şekilde yerleştirilmekte ve kalın uçlarına kapsüller takılmaktadır. Kapsüller bir boru yardımıyla 10 m yükseklikte, 1500 litre hacmindeki emprenye maddesi deposuna bağlanmakta, böylece kapsüllerdeki basıncın 1,5 kp/cm^2 ye ulaşması sağlanmaktadır (Şekil 15.9).

Şekil 15.9: Boucherie metodu uygulamasından genel görünüş.

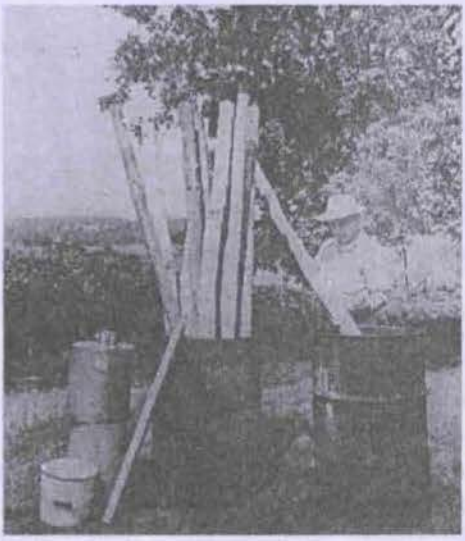
Bu metotta önceleri % 1,5'luk bakır sülfat çözeltisi kullanılırken günümüzde suda çözünen tuzlardan bakır/krom/bor esaslı Wolmann tuzları kullanılmaktadır. Çünkü bakır sülfat derine nüfuz etmemekte ve çok kısa bir süre sonra yağmur suları ile yıkanmaktadır. Metodun uygulanmasında, toprak içindeki depoda hazırlanan emprenye çözeltisi bir pompa ile yukarıdaki depoya basılarak, buradan kapsüllere verilmektedir. Ağaç türüne göre değişmekle beraber, birkaç gün (8–14 gün) içerisinde mavi renkli emprenye maddesi tel direğin ince ucundan akmaya başladığında, tüm diri odun emprenye edilmektedir. Emprenye maddesi günde ortalama 1,5 m'lik bir hızla direk içerisinde ilerleyebilmekte ve uygulama sona erdikten sonra direkler 5–8 gün kabuklu olarak bırakılmakta, daha sonra kabukları soyularak kurumaya terk edilmektedir.

15.2.4 Difüzyon Metotları

Birbiri ile temas halinde bulunan çeşitli maddelerin molekülleri, birbiri içerisine karışıp yayılabilmekte ve bu olaya difüzyon adı verilmektedir. Taze haldeki ağaç malzeme yüzeyine yoğun haldeki suda çözünen tuzlar tatbik edildiğinde, yoğun emprenye çözeltisi ile odundaki besi suyu arasında konsantrasyon farkı olduğundan, çok yoğun ortamdan az yoğun ortama doğru bir yayılma olmaktadır. Difüzyon metotları tek bir tuzla uygulandığında basit

difüzyon metodu adını almaktadır. Başkaca çift difüzyon ve osmoz metotları da bu gruba girmektedir.

Çift Difüzyon Metodu: Bu metot daha çok çit direklerinde uygulanmaktadır. Çit direkleri önce % 4'lük Sodyum fluorür çözeltisinde 3 gün, daha sonra % 9'luk bakır sülfat çözeltisinde yine 3 gün bekletilerek emprenye edilirler (Şekil 15.10). Bu tuzlardan başka Wollmann tuzları (Cu, Cr, B) ve kreozot da kullanılabilmektedir. Ancak, metodun uygulamasında fazla zaman harcanmakta ve emprenye işlemi şartları kontrol edilememektedir.

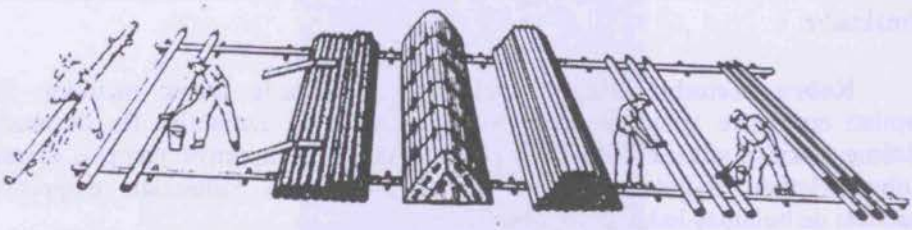


Şekil 15.10: Çift difüzyon metodu uygulama şekli.

Osmoz Metodu: Difüzyon esasına dayanan bu metotta bulamaç (pasta) haldeki emprenye maddesi tel direklerine ya da çit direklerine fırça ile sürülmekte ve direkler sıkı bir şekilde istiflenerek, su geçirmeyen bir örtü ile sıkıca sarılmaktadır. Difüzyon olayının gerçekleşmesi için yaklaşık 1 ay kadar beklenmelidir. Kalın çaplı ağaç malzemede nüfuz derinliğini artırmak için, bu süre 90 güne kadar çıkarılabilir. Daha sonra örtü kaldırılarak 8 gün beklenmekte ve direkler açık havada kurutulmaktadır.

Lâdin, göknar, çam ve melez direklerde kullanılan osmoz bulamaç formülü; 6 litre su, 8,5 kg sodyum fluorür, 1 kg dinitrofenol, 0,5 kg kolloidal madde (nişasta ve tutkal) ile hazırlanmakta ve 1 m^2 yüzeye 150–200 g kadar sürülmektedir.

İşlem görecek ağaç malzemenin taze halde olması ve kesimden kısa bir süre sonra osmoz metodunun uygulanması tavsiye edilmektedir. Emprenye maddesi sürülen tel direkleri bir altlık üzerine üçgen şekilde istif edilmekte, her istifteki direk sayısı 36–45 adet arasında değişmektedir. Direk sayısı en fazla 55 olarak alınmakta, en alt sıradaki direk sayısı 8–9 ya da 10 adet olacak şekilde düzenlenmektedir (Şekil 15.11).



Şekil 15.11: Osmoz metodu ile tel direklerinin emprenyesi.

15.2.5 Yerinde Bakım Metotları

Ağaç malzemenin devamlı ya da bir süre rutubetle temasta kalan kısımları, çürüme riski yüksek kısımlar olarak kabul edilmektedir. Örneğin; telekominikasyon ve elektrik direklerinin tepe kısmı ile alt tarafta toprak yüzeyine yakın kısımları, iki tel direğini birleştiren yatık bağlantılar, ağaç köprü ayakları ve binalardaki kiriş başları özellikle tehlikeli olan ve çabuk çürüyen kısımlardır.

Tehlikeli kısımların korunmasında, ağaç malzemenin etrafına ya da içine konsantre halde emprenye tuzları tatbik edilerek, zamanla tuzların difüzyon yolu ile malzemeye nüfuz etmesi sağlanmaktadır. Bu esastan hareketle ağaç malzemeyi korumayı hedefleyen metotlar aşağıda açıklanmıştır.

Bandaj Metodu: Difüzyon metodu esasına dayanan bandaj metodu özellikle tel direklerinin dikili halde iken dayanma sürelerinin uzatılmasında kullanılmaktadır. Tel direklerinde çürüme zonu toprak–hava hattının 30–40 cm altında, 20–30 cm üzerinde bulunmaktadır. Bu nedenle tel direklerinin etrafında toprak seviyesinden 50–60 cm derinlikte çepeçevre bir çukur açılmakta, direkte bulunan çürükler ve toprak temizlendikten sonra bulamaç haldeki emprenye maddesi direğe sürülmekte ve su geçirmeyen bir örtü ile sarıldıktan sonra çukur doldurulmaktadır. Bu uygulama şeklinden başka, 50–60 cm genişlikte ve uzunlukları direk çapı ile ilgili olarak değişen hazır bandajlar da kullanılmaktadır. Hazır bandajların iç kısmında bulamaç halindeki emprenye

maddesi, dış kısmında PVC ya da bitümlü bir örtü bulunmakta ve tehlikeli kısımlara sarılarak çukur kapatılmaktadır.

Bandajın taşıdığı bulamaç iç yüzeyden ağaç direğin rutubeti ile ıslandığında emprenye maddesi difüzyon yoluyla odunun içerisine yayılır. Dıştaki örtü tabakası ise yıkanmayı engeller. 5 yılda bir yenilendiğinde, bu metotla tel direklerinin çok uzun yıllar dayanması ve hizmet vermesi mümkün olmaktadır.

Kobra Metodu: Dikili haldeki ağaç direklerde basınç metotları ile yapılan emprenye işleminin uzun yıllar sonra etkisi azalabilir. Bu durumda çürüme riskinin yüksek olduğu kısımlarda, takviye emprenye yöntemi olarak Kobra Metodu uygulanmaktadır. Kobra metodunda kullanılan emprenye maddesi de bulamaç halde olup, genellikle

% 54 Sodyum fluorür,
% 22 Dinitrofenol,
% 21 Anhidrid arsenik pentoksit,
% 3 Katkı maddeleri, içermektedir.

Kobra metodunda hazırlanan bulamaç dikili haldeki direklere Şekil-15.12'de görülen özel bir alet kullanılarak enjekte edilmektedir. Bu alet yardımıyla direğin toprak hattı üzerinde 20 cm, toprak hattı altında 40 cm'lik kısmına, boyuna yönde 10 cm, enine yönde 5 cm aralıkla 50 mm derinlikte yarıklar açılarak koruyucu madde enjekte edilir. Alet hareket ettirilerek üzerindeki kaptan, yassı ve içi boş dişe gelen bulamaç lifleri kesmeden, yararak ağaç malzemeye verilir. Bir direkte, direk çapına bağlı olarak 80–100 adet enjeksiyon yapılmakta ve her direk için 200–400 gram arasında bulamaç kullanılmaktadır.

Kobra metodu uygulanan direklerin ömrü 15–20 yıl daha uzatılabilmektedir. Esas itibariyle uygulama, vakum basınç metotları ile emprenye edilen direkler dikildikten 10–15 sene sonra başlamakta ve her 4–5 yılda bir tekrarlanması tavsiye edilmektedir.

Şekil 15.12: Kobra metodunun dikili direklerde uygulama şekli.

Oyma Delik Metodu: Bu metot, çürüme riskinin yüksek olduğu yerlerde kullanılan ağaç malzemede uygulanır. Örneğin; köprülerde ve özellikle binalarda enine kesitle son bulan dışarı doğru çıkıntılı kiriş başları ya da yuvarlak ağaç direklerin korunmasında faydalanılmaktadır.

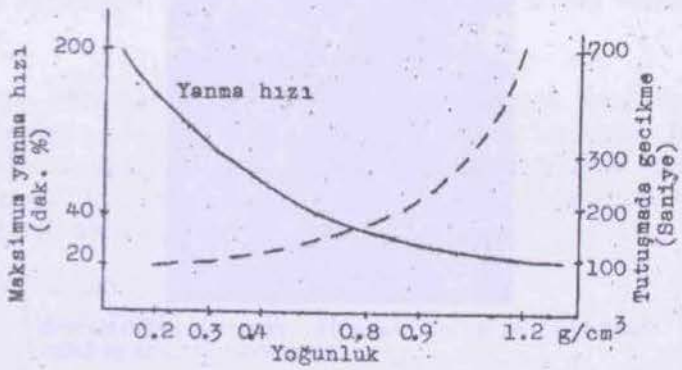
Oyma delik metodunda, liflere dik ya da meyilli yönde burgu ile belirli aralıklarda açılan delikler içerisine toz, sıvı, bulamaç halindeki koruyucu tuzlar veya bunların sıkıştırılması ile elde edilen çubuk halindeki emprenye maddeleri doldurulur. Deliklerin çapı 15–25 mm, uzunluğu ise malzeme kalınlığının 3/4'ü kadar olmalıdır. Delikler emprenye maddesi ile doldurulduktan sonra, ağızları emprenye edilmiş kavela ile kapatılmaktadır.

15.3 Yanmayı Geciktiren Emprenye Maddeleri ve Özellikleri

Ağaç malzeme organik bileşiklerden oluşmuştur. Yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmasından bu yana, yangına karşı koruma ihtiyacı üzerinde her zaman düşünülmüştür. Yangın, ağaç malzemenin önce yüzeylerinde etki yapmakta daha sonra tutuşturarak alev yayılmaktadır.

Tutuşma özelliği sadece odunun kimyasal yapısına değil, aynı zamanda malzeme büyüklüğü ve şekline de bağlıdır. Ağaç malzemede yüzeyin hacme oranı, yanabilen maddelerin tutuşmasında önemli bir ölçüdür. Oran büyüdükçe tutuşma kabiliyeti artar ve alev daha çabuk yayılır. Kaba lifli yüzeyler ve keskin

kenarlar tutuşma kabiliyetini artırmaktadır. Ayrıca, tutuşma ağaç türlerinin yoğunluğuna ve rutubetine de bağlıdır. Yoğunluk arttıkça yanma hızı hiperbolik bir şekilde artış gösterir (Şekil 15.13). Örneğin; dünyadaki en hafif odun olan balsa'nın yanma hızı çamdan 3, meşeden 5 ve pelesenkten (Lignum vitae) 10 kat daha fazladır. Odun ıslaksa, yanma sırasında ısının bir kısmı odun içerisindeki suyun buharlaştırılması ile azalmaktadır.



Şekil 15.13: Yoğunluk ile maksimum yanma hızı ve tutuşmada gecikme arasındaki ilişki.

15.3.1 Yanmayı Geciktiren Emprenye Maddelerinin Uygulama Metotları

Herhangi bir ağaç malzeme kullanım yerine monte edilmeden önce yanmayı geciktiren kimyasal maddelerle emprenye edilecekse, uygulama metotlarından birinin seçiminde problem söz konusu değildir ve basınç metotları kullanılabilir. Ancak, yanmayı geciktiren kimyasal maddelerle emprenye edilmeden inşa edilmiş binalarda, uygulama metotlarının seçiminde sorunlar çıkabilir. Ağaç malzemenin yerinden çıkarılması ve emprenye edildikten sonra tekrar yerine monte edilmesi pratik bakımdan çok güçtür. Bu gibi hallerde koruyucu madde yüzeye fırça ile sürülmeli ya da püskürtülmelidir.

Yüzeye Sürme ya da Püskürtme Metotları

Yüzeye fırça ile sürme ya da püskürtme metotları ile tatbik edilen koruyucular, köpük meydana getiren ve köpük meydana getirmeyenler olmak üzere iki grupta toplanırlar.

Köpük meydana getiren koruyucular: Bu tip emprenye maddeleri yüksek sıcaklıkla karşılaştıklarında önce yumuşar, sonra tutuşmayan gazlar çıkarırlar. Gaz, örtü maddesi tarafından tutularak orijinal tabaka kalınlığının 50

katı kalınlığında bir köpük tabakası oluşturur. Bu aşamada yanmayı önleyici kimyasal madde sertleşir.

Köpük meydana getirmeyen maddeler: Bu gruba giren kimyasal maddeler yüksek sıcaklıkla karşılaştığında ya yanmayan kimyasal maddelere dönüşür ya da silikatlar ve boratlar gibi yanma sırasında ergiyerek, koruyucu parlak bir tabaka oluştururlar.

Yüzeye fırça ile sürme ya da püskürtme metotları ile tatbik edilen bazı su bazlı emülsiyon haldeki yanmayı önleyici maddeler, verniklerle ve emülsiyon haldeki boyalarla karıştırılarak, değişik renklerde piyasaya çıkarılmaktadır. Bazı solvent bazlı maddeler ise parlak ya da mat vernikler şeklinde hazırlanırlar. Ancak, bu koruyucular rutubete karşı hassas olduğundan yüzeye sürülürken yüzeylerin iyi hazırlanması ve rutubet, sıcaklık şartlarının dikkate alınması gerekir. Yüzeye sürme işlemleri doğru bir şekilde uygulanmazsa, yanmayı geciktiren maddenin özellikleri bozulabilir.

Basınç Uygulayan Metotları

Ağaç malzeme yanmayı önleyici maddelerle dolu hücre metodu esaslarına göre emprenye edilebilmekte ve 1 m^3 malzemede en az 48 kg absorpsiyon sağlanmaktadır. Dolu hücre yönteminde çoğunlukla suda çözünen tuzlar kullanıldığından, işlemden sonra ağaç malzeme dikkatli bir şekilde fırınlarda tekrar kurutulmalıdır. Tekrar kurutma ile çarpılma ve çatlamalar önlendiği gibi tuzların fikse olması sağlanarak, kolay yıkanması engellenebilmektedir. Ancak, kurutma bağıl nemin ve sıcaklığın düşük olduğu fırınlarda yapılmalıdır. 70°C'nin üzerindeki sıcaklıklar direnç kayıplarına, yüksek bağıl nem ise tuzların yıkanmasına ve fırında korozyona neden olabilir.

15.3.2 Yanmayı Geciktiren Emprenye Maddeleri

Uygun bir yanmayı geciktiren madde ile etkili şekilde emprenye edilen ağaç malzemede yanmaya karşı çok iyi bir koruma sağlanabilmektedir. Bu koruyucular fabrikalar, spor salonları, oteller, çok katlı binalar, büyük mağazalar, tiyatrolar ve depolarda kullanılmaktadır. Ayrıca, bu tip emprenye maddeleri maden ocakları, büyük gemi hangarları, tren vagonları ve uçak hangarlarında kullanılan ağaç malzemenin yangına karşı korunmasında da büyük önem kazanmaktadır. Yanmayı geciktiren emprenye maddeleri suda çözünen tuzlar ve köpük yapan organik bileşikler olarak iki grupta toplanmaktadır.

Suda çözünen tuzlar: Bunlar esas itibariyle amonyum sülfat ve alüminyum sülfat içerir. Çözelti konsantrasyonu % 10 ve % 40 arasında olabilir. Ağaç malzemede yanmayı önleyici bu tip maddelerin etkisi ya CO_2, NH_3, H_2SO_4 gazları oluşturarak ya da odunu örten fosfat, borat, asetat eriyikleri meydana getirerek etkilerini gösterirler. Tuzlu eriyikler Alginat adı verilen kolloidal maddelerle karıştırılır ve fazla miktarda viskoz haldeki bu eriyik maddeler odun yüzeyleri üzerine püskürtülür. Bazı önemli yanmayı önleyici tuzlar aşağıda belirtilmiştir.

Diamonyum fosfat [$(NH_4)_2$ HPO_4]. En etkili amonyum tuzu olup, yıllarca yangına karşı koruma sağlar. Demire etki yapmaz.

Amonyum sülfat [$(NH_4)_2$ SO_4]. Çok ucuz ve kolay eritilebilir bir tuz olmakla beraber metallere etki eder.

Amonyum bromür [NH_4Br]. Çok etkili ve pahallıdır, derine nüfuz eder.

Amonyum tetraborat [$(NH_4)_2B_4O_7.4H_2O$]. Etkili, fakat oldukça pahallı olup, suda az erir.

Sodyum tetraborat veya Boraks [$Na_2B_4O_7.10H_2O$]. Etkili, fakat suda erime kabiliyeti çok düşüktür. Diğer maddelere katılarak kullanılır.

Sodyum asetat [$NaC_2H_3O_2.3H_2O$]. Batırma metodu ile ya da birkaç tabaka halinde sürülerek kullanılır. Ucuz bir tuzdur, korozyona etkisi olmamakla beraber, çürümeye neden olabilir.

Alüminyum klorür [$Al_2Cl_6.12H_2O$] ve **Alüminyum sülfat [$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$].** Yeterli derecede absorbe edilirse, yangına karşı etkili koruyucu maddelerdir. pH değerleri düşüktür. Her ne kadar korozyona neden olurlarsa da mantarlara karşı zehirli etkileri vardır.

Potasyum alüminyum sülfat [$KAl(SO_4)_2.12H_2O$]. Eski mısır döneminde de yangına karşı koruyucu madde olarak kullanılmıştır.

Çinko borat [$3ZnO.2B_2O_3$]. Üstübeç, terebentin ve kurutucu madde karıştırılarak kullanılır ve iyi bir yanmayı önleyici maddedir.

Alkali silikatlar. Potasyum ve sodyum alkali silikatlar 40 Baume derecesindeki su camı eriyikleri olup, odun yüzeyine sürülürler ve köpüklü

izolasyon tabakaları teşkil ederek koruyucu etki yaparlar. Tavsiye edilen formül aşağıda verilmiştir.

Sodyum silikat (su camı)	112 g (1,42 g/cm^3 yoğunlukta)
Kaolin	150 g
Su	100 g

Odun yüzeyine 3 veya 4 tabaka halinde sürülmelidir.

Köpük yapan organik bileşikler: Boraksl diamonyum fosfat ve formaldehit emülsiyonu karışımları bu grup içersindeki önemli koruyucu maddelerdir. Bu maddeler köpük şeklinde kömür kabarcıkları oluştururlar ve çok yüksek termik izolasyon vazifesi görürler. Ancak, köpük tabakası oluşumunu önlediğinden bu organik koruyucu maddeler üzerine boya sürülmemelidir.

BÖLÜM 16

YERLİ AĞAÇ TÜRLERİNİN YAYILIŞLARI, TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE KULLANIŞ YERLERİ

16.1 İğne Yapraklı Ağaçlar

Ardıçlar

Ardıçların ülkemizde altı türü ve üç alt türü doğal olarak yetişmekte, orman alanlarımızın % 4,6'sını kaplamaktadır. *Juniperus communis* (adi ardıç), *J. communis* subsp. *nana* (bodur ardıç), *J. communis* subsp. *hemispherica* yüksek dağlarda çalı halinde, *J. oxycedrus* (katran ardıcı), *J. oxycedrus* subsp. *macrocarpa* Trakya ve Anadolu'nun birçok yerinde, *J. phoenicea* (Finike ardıcı) Güney ve Batı Anadolu'nun alçak yerlerinde, özellikle maki içersinde, *J. foetidissima* (kokulu ardıç) Toroslar'da, *J. excelsa* (boylu ardıç–boz ardıç) Toroslar ve Antitoroslar üzerinde, *J. sabina* (sabin ardıcı) dağlık bölgelerde orman sınırının üstünde Karabük, Keltepe, Gümüşhane, Yıldız Dağları, Manisa Dağı ve Maraş Ahır Dağında görülmektedir.

Ardıçlarda diri odun sarımsı renkte, öz odun ise açık kahverenginde ya da kırmızımsı morumsu kahverengindedir. Reçine kanalı yoktur. Odunları hafif ve yumuşak olup, güç yarılır. Boylu ardıç hariç genelde taze haldeyken odunlarının aromatik hoş bir kokusu vardır. Eğilme kabiliyeti az, direnci düşüktür. Özellikle öz odunları çok dayanıklıdır. Çalışması çok azdır.

Yapı malzemesi, kapı–pencere doğraması, mobilya, tel direği, çit direği, baston–kırbaç sapları, oyuncak yapımında, tornacılıkta ve kurşun kalem endüstrisinde kullanılmaktadır.

Çamlar

Genel orman alanlarımız içerisinde çam türleri 6 038 637 ha alanda koru ormanları oluşturmaktadır. Ülkemizde doğal olarak beş çam türü yetişmekte ve

hepsi iki iğne yapraklı olup, sert çamlar grubuna girmektedir. *Pinus sylvestris* (sarıçam) Kuzey Anadolu, Bursa, Eskişehir, Kütahya, Akdağ madeni ve Kayseri–Maraş arasında, *P. nigra* var. *pallasiana* (Toros karaçamı) Karadeniz'in iç bölgelerinde, Batı ve Güney Anadolu'da, *P. brutia* (kızılçam) Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde, *P. pinea* (Fıstık çamı) özellikle Batı Anadolu, Kozak, Aydın ve Muğla civarında, *P. halepensis* (Halep çamı) Adana, Kadirli, Karatepe ve Milas-Bodrum arasında görülmektedir.

Çamlarda diri odun sarımsı ya da kırmızımsı beyaz renkte, öz odun ise kırmızımsı kahverengindedir. Reçine kanalları fazla miktarda olduğundan çıplak gözle dahi görülebilmektedir. Yoğunluk bakımından türler arasında farklılıklar vardır. Geniş yıllık halkalı çamlarda yoğunluğun daha düşük olabileceği göz ardı edilmemelidir. Genellikle çam odunu orta derecede yumuşak, orta ağırlıkta (D_{12}=0,52 g/cm^3), orta derecede şok direncine, yüksek derecede elâstikiyet modulü ve eğilme direncine sahip, kolay işlenen, iyi tutkallanan, iyi çivi tutan bir malzemedir. Çalışması orta derecededir.

Çam odunu inşaat kerestesi, doğrama, emprenye edildiğinde toprak ve suyla temas eden köprü malzemesi, maden direği, tel direği, bayrak direği, çit kazıkları ve travers olarak, uçaklarda, gemi güverte döşemelerinde, kontrplak, ambalaj sandığı yapımında, kâğıt ve selüloz sektöründe kullanılmaktadır. Ayrıca fıstık çamının meyvesinden yararlanılmaktadır.

Göknarlar

Ülkemizde doğal olarak yetişen dört göknar türü, 183 880 ha alanda ormanlar oluşturmaktadır. *Abies nordmanniana* (Doğu Karadeniz göknarı) Yeşil Irmakla Rus sınırı arasında, *A. bornmülleriana* (Uludağ göknarı) Bafra ile Uludağ arasındaki Batı Karadeniz ve Marmara Bölgesinde, *A. equi-trojani* (Kazdağı göknarı) Kaz Dağında, *A. cilicica* (Toros göknarı) Güney Anadolu'da Toroslar, Antitoroslar ve Amonoslar'da yayılmıştır.

Göknarlarda koyu renkli bir öz odunu yoktur, olgun odun özelliklerini taşırlar ve reçine kanalları bulunmamaktadır. Odunlarının rengi sarımsı beyaz ile gri beyazdır. Mat, hafif (D_{12}=0,43 g/cm^3), yumuşak olan odunları kolay yarılabilir. Lifleri düzgün ve yeknesak tekstürdedir. Direnç değerleri düşüktür.

İşlenmesi ve yapıştırılması kolay, boyanması ve çivi tutma özelliği iyi değildir. İyi ve çabuk kurutulur. Rutubetli şartlarda dayanıksızdır.

Göknar odunları bina inşaatında iç kısımlarda, mobilyada ara ve iç bölmelerde, kaplama levha altlığı, pedavra, müzik aletleri, ambalaj sandıkları yapımında, kâğıt ve selüloz sektöründe kullanılmaktadır.

Lâdin

Ülkemizde doğal olarak yetişen *Picea orientalis* (doğu lâdini) Kuzey-Doğu Anadolu kıyı dağları üzerinde denize bakan kısımlarda 1200–2400 m'ler arasında görülmekte ve orman alanlarımızın 135 959 ha'nı kaplamaktadır.

Diri odun ve öz odun renk bakımından farklı değildir. Olgun odun özelliğindedir. Odunu sarımsı beyaz renkte, boyuna kesitleri parlaktır. Oldukça ince ve yeknesak tekstürde, lifleri düzgündür. Odunu yumuşak ve orta ağırlıkta (D_{12}=0,45 g/cm^3) olup, kolay yarılır. Direnç değerleri ve elâstikiyet modülü düşüktür. Fakat ağırlığına göre yüksek direnç özellikleri göstermektedir. Çalışması azdır. Az dayanıklıdır. Güç emprenye edilir. Yüksek dağlarda yetişen lâdinlerde direnç değerleri yükselmekte ve dayanıklılık artmaktadır.

Yapı malzemesi, gemi direği, maden direği, mobilya, uçak yapımında, dar yıllık halkalı kusursuz kısımları müzik aletlerinde, mekanik ve kimyasal odun hamuru, ambalaj talaşı, yonga ve lif levha sektöründe kullanılmaktadır.

Porsuk

Ülkemizde doğal olarak yetişen *Taxus baccata* (adi porsuk) Kuzey Anadolu Bölgelerinde ve Trakya'da Istırancalar'da Akdeniz kıyı ormanlarında, Hatay'ın Amanos dağlarında küçük gruplar halinde rastlanmaktadır.

Diri odunu çok dar, sarımsı renkte, öz odunu kırmızımsı kahverenginde, çoğunlukla morumsu renktedir. Öz odun ile diri odun arasında sınır çok belirgin olup, odunu az parlak, dekoratif, sert, ağır (D_{12}=0,67 g/cm^3), elâstikiyet modülü ve şok direnci çok yüksektir. Çok ince ve yeknesak tekstürdedir. İyi kurutulur, çok iyi işlenir. Yapıştırılması ve yüzey işlemleri son derecede iyidir. İyi cilâlanır. Çürümeye karşı çok dayanıklıdır.

Mobilya, kaplama levha, torna işleri, oymacılık, markiteri, heykel, tüfek kundağı, pipo başlığı, baston, sigara kutuları, ok ve cetvel yapımında kullanılmaktadır.

Sedir

Cedrus libani (Toros sediri) halk arasında "Katran" diye anılmakta ve Güney Anadolu'da Toroslar ile Antitoroslar üzerinde yetişmektedir. Köyceğiz'den Amanoslar'a kadar yayılmıştır. Ülkemizde Sedir ormanları alanı 99 397 ha'dır.

Diri odunu geniş, hafif kırmızımsı ile sarımsı beyaz renkte, öz odunu açık sarımsı ile kırmızımsı kahverengindedir. Traumatik reçine kanallarına sık sık rastlanır. Boyuna kesitleri oldukça parlaktır. Odunu orta sert ve orta ağırlıkta (D_{12}=0,52 g/cm^3) olup, hoş aromatik kokuludur. Kolay işlenir ve yarılır. Lifleri düzgündür. Renk verme ve cilâlanması güçtür. İyi yapıştırılır. Çalışması az, direnç özellikleri orta derecededir.

Travers, tel direği, çit direği, binalarda iç ve dış kısımlarda, kapı ve pencere doğramalarında, cephe kaplaması, gemi kerestesi, pergola, mobilya, kurşun kalem, kâğıt, lif, selüloz ve yonga levha sektöründe kullanılmaktadır.

16.2 Geniş Yapraklı Ağaçlar

Akçaağaç

Ülkemizde doğal olarak yetişen 9 akçaağaç türü vardır. *Acer trautvetteri* (kayın gövdeli akçaağaç), *A. capadocicum*, *A. platanoides* (çınar yapraklı akçaağaç), *A. campestre* (ova akçaağacı), *A. divergens*, *A. monspessulanum* (Fransız akçaağacı), *A. sempervirens*, *A. hyrcanum*, *A. tataricum* (tatar akçaağacı) ormanlarımızda genellikle diğer ağaç türleri ile karışık olarak bulunmakta ve genellikle Kuzey, Doğu ve Güney Anadolu'da yayılış göstermektedir. Hammadde olarak daha çok Karadeniz ormanlarından temin edilmektedir.

Akçaağaçlarda genellikle belirgin koyu renkli bir öz odun yoktur. Odunu, diri odun özelliğinde olup çoğunlukla kremsi beyaz ile pembemsi beyaz renktedir. Özel bir koku ya da tada sahip değildir. Düzgün lifli olup, bazen dalgalı liflilik ve kuşgözü oluşumları görülebilir. Akçaağaç türlerinin hava kurusu yoğunluğu 0,55–0,80 g/cm^3 arasında değişmektedir. Odunu sert, güç eğilir, şok direnci yüksek ve çalışması fazladır. Dermatitise neden olabilir. Uçak yapımında (pervanelerde), tornalanarak elde edilen malzemelerde, müzik aletleri, mutfak gereçleri, alet sapları (balta v.b.), ayakkabı ağaç çivileri, tüfek kabzası, cetvel, bobin ve makara yapımında, özellikle enine dalgalı görünüşte

olanlar kaplama levha, mobilya, keman alt tablası ve parke yapımında kullanılmaktadır.

Ceviz

Juglans regia (adi ceviz) ülkemizin hemen hemen her bölgesinde, özellikle tarım arazisi üzerinde görülmekte ve Kuzey Anadolu'da odunu çok değerli olan cevizler yetişmektedir. Odunu düzgün lifli olmakla beraber, genellikle toprağa yakın kısımlarında ağaç yaşlandıkça urlar oluştuğundan, yıllık halkalar dekoratif, düzensiz şekiller geliştirmektedir.

Öz odunu açık sarımsı, gri ile kırmızımsı kahverenginde, bazen siyaha yakın koyu kahverenginde olabilmekte ve bu renkler içerisinde koyu siyahımsı şeritler düzensiz bir şekilde dağılarak dekoratif görünüşler meydana getirmektedir. Diri odun ise oldukça geniş ve grimsi beyaz renktedir. Odunu ince iğne çizikli, çok dekoratif, mat, orta sert ve ağırlıktadır. Aletlerle kolay işlenir, fazla çalışmaz, iyi cilâlanır, boyanır. Hava kurusu yoğunluğu 0,68 g/cm^3 ve direnç özellikleri yüksektir.

Masif ve kaplama levha halinde yüksek kaliteli mobilya üretiminde kullanılan en uygun ağaç malzemelerden biridir. Özellikle kök kısımlarını içeren kütüklerden ve gövdenin alt tarafından değişik görünüşlü kaplama levhalar elde edilmektedir. Ayrıca, tüfek kundak ve dipçiği, spor aletleri, müzik aletleri yapımında tornacılık, oymacılık ve marküteride kullanılmaktadır.

Çınar

Çınarların ülkemizde doğal olarak yetişen ve suni olarak yetiştirilen iki türü vardır. Bunlardan doğal olarak yetişen *Platanus orientalis* (doğu çınarı) hemen bütün orman bölgelerimizde dere içlerinde, ırmak ve nehir yataklarında bulunduğu gibi, şehir ve köylerde yol kenarlarında da yetiştirilmektedir. *Platanus occidentalis* (batı çınarı–Amerikan çınarı) ise ülkemizin birçok yerinde süs ve gölge ağacı olarak yetiştirilmektedir.

Diri odunu 3–8 cm genişlikte, beyazımsı sarımsı ile pembemsi renkte, öz odunu kırmızımsı ile sarımsı kahverenginde olup, diri odundan keskin bir şekilde ayrılmamaktadır. Odunu mantarlar tarafından kolayca enfekte edildiğinden çok fazla bir kullanış alanı yoktur. Ancak, kalın gövdeler yaptığından ve geniş öz ışınları dekoratif göründüğünden kaplama sektöründe kullanılmaktadır. Özellikle urlu kısımlarından elde edilen kesme kaplama

levhaları çok dekoratiftir. Odunu orta ağırlıkta (D_{12}=0,62 g/cm^3), orta derecede sert, elâstikiyet modulü orta derecede, şok direnci iyi ve çalışması orta derecededir.

Kaplama levha, mobilya, parke, meyve ve sebze kutuları, kuru madde fıçıları, palet, tenis raketi, müzik aleti yapımında ve tornacılıkta kullanılmaktadır.

Dişbudak

Dişbudakların üç türü ülkemizde doğal olarak yetişmektedir. *Fraxinus excelsior* (adi dişbudak), *F. angustifolia* (sivri meyveli dişbudak), *F. ornus* (çiçekli dişbudak) türleri ve bu türlere ait 7 taksona Karadeniz, Marmara, Ege, Akdeniz Bölgelerinde rastlanmaktadır.

Diri odunu geniş, beyaz ya da açık sarımsı renktedir. Bazen (genellikle 40 yaşından sonra) öz odun oluşumu görülmekte, eğer öz odun belirgin ise gri kahverengi, nadiren zeytin yeşili renkte olmaktadır. Yaşlı ve kalın çaplı ağaçlarda diri odun dar olduğundan, çok yüksek olan elâstikiyet modulü özelliğinden yararlanmak için fazla geniş çaplara ulaşmadan kesilmeli ya da suni olarak yetiştirilmelidir. Odunu sert, orta ağırlıkta (D_{12}=0,69 g/cm^3), elâstikiyet modulü ve şok direnci yüksektir.

Odunu bükme mobilya, masif mobilya ve kaplama levha üretiminde, spor aletleri (ski, raket, hokey sopaları, bilardo sopası, kriket, sandal kürekleri v.b.), vurucu alet sapları yapımında, uçaklarda ve yatlarda kullanılmaktadır. Genellikle dar yıllık halkalı dişbudak kaplama levha endüstrisinde, geniş yıllık halkalı dişbudak ise spor aletleri yapımında tercih edilmektedir.

Gürgen

Gürgenlerin ülkemizde iki türü doğal olarak yetişmektedir. *Carpinus betulus* (adi gürgen) ve *C. orientalis* (doğu gürgeni) Trakya, Marmara ve Karadeniz Bölgelerinde karışık ormanlar oluşturmaktadır.

Koyu renkli öz odunu yoktur. Odunu, diri odun karakterinde, gri beyaz ile sarımsı beyaz renktedir. Gövdeleri düzgün olmayıp, oluklu gövde oluştururlar. Odunu ağır (D_{12}=0,83 g/cm^3), çok sert, yüksek elâstikiyet modulü ve eğilme direnci ile son derecede yüksek şok direncine sahiptir. Çalışması fazladır.

Makine kısımları, ayakkabı kalıpları, spor aletleri, alet sapları, tarım aletleri yapımında ve tornacılıkta kullanılmaktadır.

Huş

Huşun ülkemizde doğal olarak yetişen dört türü vardır. *Betula pendula* (siğilli huş, salkım huş), *B. litwinowi* (tüylü huş), *B. medwediewi* (kızılağaç yapraklı huş) ve *B. recurvata* Doğu ve Kuzeydoğu Anadolu ormanlarında görülmektedir.

Koyu renkli bir öz odunları yoktur. Diri odun özelliğini taşırlar. Odunu sarımsı beyaz, kırmızımsı beyaz ile açık kahverenginde ve az parlaktır. Sık sık öz lekelerine rastlanır. Odunu ince ve yeknesak tekstürde olup, orta sertlikte ve orta ağırlıktadır (D_{12}=0,64 g/cm^3), elâstikiyet modulü ve eğilme direnci yüksektir. İyi işlenir, iyi renk verilir ve dayanıklılığı azdır.

Yüksek kalitede doğrama işlerinde, urlu olanları mobilya ve kaplama levha üretiminde, mobilyalarda çekmece yanları, ayak ve iskelet olarak, bobin, fırça sapı, alet sapı, spor aletleri, ayakkabı ağaç çivileri, dondurma çubukları, parke yapımında, tornacılık ve marküteride, lif ve kâğıt üretiminde, Finlandiya ve Rusya'da kontrplak endüstrisinde kullanılmaktadır. Ayrıca, aktif kömüründen votka destilasyonunda koku giderici olarak faydalanılmaktadır.

Ihlamur

Ülkemiz ormanlarında genellikle karışık olarak yetişen bu ağaç cinsi, *Tilia argentea* (gümüşi ıhlamur), *T. rubra* subsp. *caucasica* (kafkas ıhlamuru) ve *T. platyphyllos* (büyük yapraklı ıhlamur) türleri ile temsil edilmektedir.

Koyu renkli bir öz odunu yoktur. Odununda, olgun odun özellikleri görülür. Odunu beyazımsı ile sarımsı, bazen kırmızımsı beyaz renkte ve mattır. Kuruduğunda özel bir kokusu ve tadı yoktur. Odunu hafif (D_{12}=0,52 g/cm^3), yumuşak, ince ve yeknesak tekstürde, düzgün lifli olup, düşük elâstikiyet modulüne ve orta derecede eğilme direncine sahiptir. Aletlerle kolayca işlenebilir. Kurutulurken fazla çalışırsa da, kullanım yerinde stabilitesi orta derecededir, çatlama ve çarpılma gibi kusurları az görülmektedir. Odunu az dayanıklıdır.

Her yönde yarılmaya direnç gösterdiğinden oymacılıkta kullanılan en önemli ağaç türlerinden biridir. Arı kovanı iskeleti, şapka kalıpları, müzik

aletleri rezonans tablası, piyano, arp, oyuncak, yassı fırça sapları, bobin ve makara yapımında, tornacılıkta, ambalaj talaşı, tersimat masası ve seçilmiş tomruklardan dekoratif kaplama levha üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca siyaha boyanarak abanoz imitasyonları yapılmaktadır.

Karaağaç

Ormanlarımızda karışık olarak bulunan bu ağaç cinsinin ülkemizde üç türü *Ulmus minor* (ova karaağacı), *U. glabra* (dağ karaağacı) ve *U. laevis* (hercai karaağaç) önemlidir. Ova ve dağ karaağacına Türkiye'nin hemen her bölgesinde rastlanmakta, hercai karaağaç ise İğneada–Longos ormanları ile Rize ormanlarında görülmektedir.

Karaağaç odununda diri odun, öz odun ve olgun odun olmak üzere üç tabaka bulunmaktadır. Diri odun yarıçapın 1/3'ü ile 1/2'si kadardır. Hercai karaağaçta yarıçapın 2/3'ünden de geniş olabilir. Diri odun sarımsı beyaz renkte, öz odun açık kırmızımsı kahverengi ile çikolata rengindedir. Olgun odun ise diri odundan koyu, öz odundan daha açık renktedir. Odunu çok dekoratif, orta sertlikte, orta ağırlıkta (D_{12}=0,68 g/cm^3), elâstikiyet modulü iyi, şok direnci yüksek, eğilme direnci ise orta derecededir. Mükemmel şekilde bükülebilir ve cilâlanması iyidir.

Karaağaç odunu masif mobilya, parke, lambri, kesme kaplama (özellikle urlu ağaçlardan) üretiminde, yat, vagon, müzik aletleri, spor aletleri, alet sapları yapımında, tornacılık ve oymacılıkta kullanılmaktadır.

Kavak

Ülkemizde doğal olarak yetişen kavak türleri *Populus nigra* (karakavak) ve bu türün (*Populus nigra* subsp. *nigra*, *P. nigra* subsp. *caudina*, *P. nigra* subsp. *nigra* cv. italica, *P. nigra* subsp. *nigra* cv. italica foemina) olmak üzere iki alt türü ile iki kültüvarı, *P. alba* (akkavak), *P. tremula* (titrek kavak) ve *P. euphratica* (tuzcul kavak)'dır. Kavaklar orman alanlarımızın 7 111 hektarını kaplamaktadır. Karakavağa ülkemizde nehir ve su kenarlarında sık sık rastlanmaktadır. Servi kavağı Orta ve Doğu Anadolu'da, akkavak ve titrek kavak bütün ormanlarımızda, tuzcul kavak ise güney ve güneydoğu bölgelerimizde görülmektedir. Ayrıca, pek çok kavak tür ve klonları suni olarak geniş çapta yetiştirilmektedir.

Titrek kavak odunu hariç, diğer kavaklarda koyu renkli öz odun bulunmaktadır. Bu kavaklarda diri odun beyazımsı gri ile sarımsı beyaz renkte, öz odun açık kahverengi, gri kahverengi ya da koyu yeşilimsi kahverengindedir. Kavakların ince tekstürde, düzgün lifli, ipek gibi parlak, dekoratif olmayan, yumuşak ve hafif (D_{12}=0,44 g/cm^3) odunları vardır. Aletlerle kolay işlenir. Direnç değerleri ve elâstikiyet modulü düşük olup, şok şeklinde gelen ani yüklemelere karşı orta derecede dayanıklıdır. Çalışması fazladır. Çekme odunu bulunan gövdelerde işlenme zorlaşır ve pürüzlü yüzeyler elde edilir.

Kavak odunu mobilyaların iç kısımlarında ve çekmecelerde, oyuncak, kutu ve sandık imalinde, kontrplak, kibrit yapımında, dekoratif olmayan tornacılık işlerinde, ambalaj talaşı, protez, kurşun kalem üretiminde, lif ve kâğıt endüstrisinde kullanılmaktadır.

Kayın

Ülkemizde kayının doğal olarak yetişen türü *Fagus orientalis* (doğu kayını) koru ve bozuk koru olarak ormanlarımızın 666 607 hektarını kaplamaktadır. En geniş yayılış alanı Karadeniz ormanlarında görülür. Ayrıca, Kuzey, Batı ve Güney Anadolu ile Marmara Bölgesinde lokal olarak bulunmaktadır.

Odunu kırmızımsı beyaz renktedir. Olgun odun özelliklerine sahiptir. 80–100 yaşını aşan her yaşlı ağaç gövdesi içersinde kırmızımsı kahverenginde düzensiz şekilli, dalgalı şeritli ve kırmızı yürek (yalancı öz odun) adı verilen bir öz odun bulunmaktadır. Odunu sert ve ağır (D_{12}=0,72 g/cm^3), şok direnci yüksektir. Buharlandığında kolayca bükülebilir. Kurutmada dikkat isteyen bir ağaç türüdür. Fazla çalışır, kolay yarılır, işlenmesi kolay olup, özellikle diri odunu kolay emprenye edilir. Öz odununda traheler tüllerle dolu olduğundan emprenyesi güçleşir. İyi cila kabul eder.

Diğer yapraklı ağaçlardan daha geniş kullanım yerine sahiptir. Özellikle masif ve bükme mobilya, lâmbri, spor aletleri, oyuncak, bobin, alet sapları, sandal, fırın kürekleri, müzik aletleri, parke, kontrplak, kaplama levha, fıçı, karoser yapımında, tornacılıkta, maden direği, lif-kâğıt odunu olarak, odun kömürü, odun katranı, asetik asit eldesinde ve emprenye edildiğinde travers olarak kullanılmaktadır.

23

Kestane

Kestane türlerinden *Castanea sativa* (Anadolu kestanesi) ülkemizde doğal yayılış göstermektedir. Kuzey Anadolu ve Marmara Bölgesi ormanlarında *Quercus*, *Carpinus* ve *Fagus*'la karışıklığa girer. Ege ve Akdeniz bölgelerinde ise lokal olarak bulunur. Koru ve bozuk koru olarak orman alanlarımızın 15 024 hektarını kaplamaktadır.

Diri odunu 3–4 yıllık halka genişliğinde, çok dar, gri ile kahverengimsi beyaz renktedir. Öz odunu ise taze halde gri–sarı ile soluk kahverengindedir, kesimden sonra koyulaşır. Oldukça sert ve orta ağırlıkta (D_{12}=0,63 g/cm^3), mat ve dekoratif bir odunu vardır. Öz odunu tanen içerdiğinden çürümeye karşı dayanıklıdır. Kurutulması güç, eğilme kabiliyeti düşük, şok direnci orta derecede, kolay işlenir ve kolay yarılır.

Yapı kerestesi, mobilya, gemi kerestesi, tel direği, mutfak yağları ile meyve suları ve ucuz şaraplar için kullanılan fıçılar, baston, şemsiye, alet sapları, bahçe kapıları, çit direği, küfe ve sepet yapımında, tornacılıkta, genç sürgünleri "bambu" taklidi olarak mobilya sektöründe kullanılmaktadır.

Kızılağaç

Kızılağaç türlerinden ülkemizde doğal olarak yetişen *Alnus glutinosa* (adi kızılağaç) ve üç alt türü (*A. glutinosa* subsp. *glutinosa*, *A. glutinosa* subsp. *barbata* (sakallı kızılağaç), *A. glutinosa* subsp. *antitaurica* (Toros kızılağacı), *A. orientalis* (doğu kızılağacı) ile iki varyetesi (*A. orientalis* var. *orientalis*, *A. orientalis* var. *pubescens*) koru ve bozuk koru olarak orman alanlarımızın 36271 hektarını kaplamaktadır.

Odunu kırmızımsı beyazla, açık kırmızımsı kahverengi arasındadır. Koyu renkli bir öz odunu yoktur. Diri odun karakterinde olup, odunu sonradan hafif koyulaşır. Bazı kızılağaçların odununda patolojik öz odunu oluşumuna rastlanmaktadır. Odunu yumuşak, hafif (D_{12}=0,53 g/cm^3), kolay yarılır ve işlenebilir. İyi renk verilebilir. Çalışması azdır. Dekoratif olmayan ve elâstikiyet modulü ile şok direnci düşük, eğilme direnci orta derecede olan bir odunu vardır. Odunu açık havada dayanıksız, su içersinde dayanıklıdır.

Mobilya ve kontrplak endüstrisinde kaplama altı malzemesi olarak, puro ve sigara kutuları, kibrit, kurşun kalem, dökümcü modelleri yapımında, tornacılık ve oymacılıkta kullanılmaktadır.

Meşeler

Meşeler hemen bütün ormanlarımızda yetişmekte ve koru–bozuk koru olarak orman alanlarımızın 4 600 993 hektarını kaplayan 18 türü bulunmaktadır. Odunlarının anatomik yapısı, meyvelerin olgunlaşma süresi, yaprak ve kabuk özelliklerine göre; ak meşeler, kırmızı meşeler ve herdem yeşil meşeler olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. Herdem yeşil (daimi yeşil) meşeler çoğunlukla ağaççık durumunda olduğundan odun özellikleri hakkında bilgi verilmemiştir.

Ak Meşeler

Bu gruba giren ve ülkemizde doğal olarak yetişen meşe türleri şunlardır: *Quercus robur* (saplı meşe) Kuzeybatı Anadolu, Marmara Bölgesi, İç Anadolu, Güney Anadolu'da, *Q. robur* subsp. *pedunculiflora* Doğu Anadolu'da, *Q. petraea* (sapsız meşe) Marmara Bölgesi ve Karadeniz ormanlarında, *Q. hartwissiana* (ıstıranca meşesi) Istırancalar ve Kuzey Anadolu'da, *Q. frainetto* (macar meşesi) Marmara Bölgesi ve Kuzeybatı Anadolu'da, *Q. vulvanica* (kasnak meşesi) İç Anadolu ve Gediz–Şaphane Dağı'nda, *Q. pontica* Kuzeydoğu Anadolu'da, *Q. infectoria* (mazı meşesi) Türkiye'nin hemen her tarafında görülürse de en fazla Güneydoğu Anadolu'da, *Q. pubescens* (tüylü meşe) Karadeniz ardı ormanları ile Ege çevresinde ve Kocaeli Yarımadasında, *Q. macranthera* subsp. *syspirensis* Doğu, Kuzey ve İç Anadolu'da, *Q. virgiliana* Kuzeybatı, Batı Anadolu, Ankara ve Sinop'ta görülmektedir.

Ak meşelerin diri odunu çoğunlukla dar, sarımsı beyaz renkte, öz odunu açık kahverengi ile sarımsı kahverengindedir, kesimden sonra koyulaşır. Taze haldeyken bazen kırmızımsı bir renk de görülebilir. Öz odunda trahelerin içerisi tüllerle doludur. Odunu ağır (D_{12}=0,69 g/cm^3), sert, dekoratif, öz odunu dayanıklıdır. Kolay ve iyi yarılır. Elâstikiyet modulü, liflere paralel basınç direnci ve şok direnci yüksektir. Eğilme direnci orta derecede olup, iyi işlenir, iyi cilâlanır, iyi yapıştırılır ve iyi çivi tutar. Kurutulması güç, çalışması fazladır. Metallerle temasta mavi renk oluşur.

Traheleri tüllerle tıkalı olduğundan sıvıların geçmesi engellenmekte ve konyak, şarap gibi alkollü içki fıçıları yapımında ideal bir malzeme olarak kullanılmaktadır. Masif olarak mobilya yapımında, yatlarda, doklarda, limanlarda, su içi inşaatlarda, vagon yapımında ve toprakla temas eden her çeşit kullanım yerinde değerlendirilir. Maden direği, travers, yüksek kaliteli marangozluk işlerinde, parke, karoser yapımı, kesme kaplama levha (dar yıllık halkalı tomruklardan), mobilya, lâmbri, alet sapları yapımında ve oymacılıkta

kullanılmaktadır. Ayrıca, mazı meşelerinde patolojik olarak oluşan mazılardan tanen elde edilmektedir.

Kırmızı Meşeler

Bu gruba giren ve ülkemizde doğal olarak yetişen meşe türlerinden *Quercus cerris* (saçlı meşe, Türk meşesi)'in Kuzeydoğu ve Doğu Anadolu hariç diğer bölgelerde geniş bir yayılışı vardır. Saçlı meşenin ülkemizde yetişen *Q. cerris* var. *cerris* ve *Q. cerris* var. *austriaca* olmak üzere iki varyetesi saptanmıştır. *Q. ithaburensis* subsp. *macrolepis* (Anadolu palamut meşesi) Batı ve Güneybatı Anadolu ile yer yer de Trakya'da, Q. libani (Lübnan meşesi) Doğu Anadolu, *Q. trojana* (Makedonya meşesi) Marmara Bölgesinde, *Q. brantii* Malatya, Elazığ, Hatay ve Bitlis civarında coğrafi yayılış göstermektedir.

Kırmızı meşelerin diri odunu genellikle geniş, sarımsı kahverenginde, öz odunu ise kırmızımsı kahverengidir. Odunu ak meşelere göre sert ve ağır (D_{12}=0,70 g/cm^3) olup, daha az eğilme özelliğine sahiptir. Güç yarılır. Direnç değerleri ve dayanıklılığı düşüktür. Genellikle öz odundaki trahelerinde tül oluşumu bulunmadığından, ak meşelerden daha iyi emprenye edilmektedir.

Genellikle ak meşelerin kullanıldığı yerlerde değerlendirilir. Ancak, trahelerinde tül oluşumu bulunmadığı için kuru madde fıçıları yapımında tercih edilirler.

Sığla ağacı

Liquidambar orientalis (Anadolu sığla ağacı) ülkemiz bakımından önemli olan ağaç türlerinden biridir. Doğal coğrafi yayılışı Güneybatı Anadolu'da Muğla, Marmaris, Köyceğiz, Dalaman, Fethiye'de, Denizli'de Eskere, Tavas'da, Antalya'da Bucak'ta görülmektedir. Ülkemizde Sığla ormanı alanı 1 337 ha olup, genel orman alanımız içinde katılımı çok küçük bir alanda kalmaktadır.

Diri odunu oldukça geniş ve kirli beyazımsı açık kahverenginde, öz odunu ise açık kırmızımsı kahverengindedir ve diri odunla arasında belirgin bir sınır vardır. Odunu orta ağırlıkta (D_{12}=0,58 g/cm^3) ve orta sertlikte, orta derecede eğilme direncine ve şok direncine sahiptir. Aletlerle işlemesi de orta derecededir. Çalışması fazladır, kurutulması dikkat ister, iyi cilâ kabul eder. Öz odununda bulunan siyah şeritler nedeniyle cevize benzetilmektedir.

Ülkemizde odununun özel bir kullanış yeri yoktur. Ancak, gövdesinde yaralanma suretiyle oluşturulan traumatik balzam kanallarından sığla yağı elde edilmekte ve parfümeri ile eczacılıkta kullanılmaktadır. Bu bakımdan önemli bir döviz kaynağıdır. Sığla yağı elde edilirken toplanan ürün içerisinde kalın kabuk ve odun parçaları preslemeden sonra alınarak, buhur ve günlük olarak değerlendirilir. Aslında odunu çok kıymetli olup, Amerika'da yetişen türü kaplama, kontrplak ve mobilya sanayiinde, meyve sepetleri, kutu ve sigara kutuları yapımında kullanılmaktadır.

Şimşir

Şimşirin ülkemizde üç türü doğal olarak yetişmektedir. *Buxus sempervirens* (adi şimşir) ve *B. balearica* Kuzey Anadolu'da yaygın, güneyde ise lokal olarak görülmektedir. *B. longifolia* (uzun yapraklı şimşir) ise Amanos Dağları, Andırın ve Antalya çevresinde tespit edilmiştir.

Odunu açık ile koyu sarı renkte olup, belirgin bir öz odunu yoktur. Çok ince ve yeknesak tekstürdedir. Ağır (D_{12}=0,92–0,95 g/cm^3), çok sert ve güç yarılan bir odunu vardır.

Tornacılıkta, kakmacılık işlerinde, gemi makaraları, tahta kaşık, mekik, tavla pulları ve baston yapımında kullanılmaktadır.

Söğüt

Ülkemizde doğal olarak yetişen 22 söğüt türü bulunmaktadır. Bunlar içerisinde en önemlileri; *Salix alba* (aksöğüt), *S. babylonica* (salkım söğüt), *S. viminalis* (sepetçi söğüdü), *S. fragilis* (gevrek söğüt), *S. cinerea* (boz söğüt), *S. caprea* (keçi söğüdü), *S. purpurea* (erguvani söğüt), *S. triandra* (badem yapraklı söğüt), *S. elaeagnos* (iğde yapraklı söğüt) olup, çeşitli bölgelerde görülmektedir. Ormanlarımızda çoğunlukla keçi söğüdüne rastlanır, köy yolları, dere ve göl kenarlarında ise aksöğüt görülmektedir.

Diri odunu geniş ve beyazımsı renkte, öz odunu açık kahverengimsi ile kırmızımsı renktedir. Dekoratif özelliği olmayan odunu, yumuşak ve hafif (D_{12}=0,5 g/cm^3), direnç değerleri oldukça düşük ve çalışması fazladır.

Kullanış yerleri kavağa benzer. Ortopedik malzemelerin yapımında, spor aletlerinde, kutu ve sandık yapımında, mobilya iç kısımlarında, sepet, çit yapımında ve ambalaj talaşı olarak kullanılmaktadır.

Yalancı Akasya

Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*) bir orman ağacı olmamakla beraber ülkemizin çeşitli yerlerinde yol kenarlarında, bahçe kenarlarında ve özellikle yeni ağaçlandırılan bölgelerde ön bitki olarak fazla miktarda yetiştirilmektedir. Sağlam odunu olan ve hızlı büyüyen bir ağaç türüdür.

Diri odunu çok dar, 2–3 yıllık halka genişliğinde, sarımsı beyaz ile sarı renktedir. Öz odunu ise sarımsı yeşil ile sarımsı kahverengindedir. Parlak, dekoratif, çok sert ve ağır (D_{12}=0,77 g/cm^3) odunu vardır. Şok direnci ve elâstikiyet modulü yüksektir. Çalışması orta derecededir. Çivi tutma kabiliyeti iyi değildir. Yapıştırılması ve yüzey işlemleri iyidir. Öz odunu mantar ve böceklere karşı çok dayanıklıdır.

Travers, gemi, tel direği, tahkimat direği, haber verme özelliği iyi olduğundan maden direği, alet sapları, yapımında ve tornacılıkta kullanılmaktadır.

Tablo-Ek 1: Ticarette Önemli Olan Bazı Ağaç Türleri Odunlarında Daralma Değerleri

Ağaç Türünün Ticari ve Botanik Adı	Hava kurusu Yoğunluk g/cm^3	Radyal daralma β_r %	Teğet daralma β_t %	Hacmen daralma β_v %
Abachi (Obeche) (*Triplochiton scleroxylon*)	0.38	3.2	5.1	9.0
Abura (*Mitragyna stipulosa*)	0.56	4.1	8.4–8.8	11.4–14.4
Afrormosia (Kokrodua) (*Afrormosia elata*)	0.70	3.0	6.3	11.0
Agatis (Kauri) (*Agathis alba*)	0.50	4.0	9.3	13.6
Akçaağaç, Dağ (*Acer pseudoplatanus*)	0.63	3.0	8.0	11.5
Ako (Antiaris) (*Antiaris africana*)	0.45	4.4	6.7–7.8	10.3–12.3
Alerce (*Fitzroya capressoides*)	0.38	3.8	5.8	9.8
Andiroba (Crabwood) (*Carapa guianensis*)	0.62	3.1–4.9	8.0	9.8–14.3
Angélique (*Dicorynia guianensis*)	0.83	3.6	5.4	9.4
Aningré (*Aningeria robusta*)	0.54	4.1	6.7	10.9
Ardıç, Boylu (*Juniperus excelsa*)	0.55	4.36	5.14	10.2
Ardıç, Kokulu *Juniperus foetidissima*)	0.52	4.1	4.8	8.3
Armut (*Pyrus communis*)	0.74	4.6	9.1	14.1
At kestanesi (*Aesculus hipphocastanum*)	0.55	3.3	6.8	11.0
Avodire (*Turraeanthus africanus*)	0.55	3.8	6.3	10.5
Azobe (Bongossi) (*Lophira alata*)	1.10	7.4	8.7	16.4
Balsa (*Ochroma pyramidale*)	0.16	1.8–3.0	3.5–5.3	6.0–9.0
Bubinga (Kevazingo) (*Guibourtia demeusei*)	0.80	5.0–7.5	6.0–9.5	11.0
Cedar, Incense (*Calocedrus decurrens*)	0.40	3.3	5.2	8.7
Cedar, Western Red (*Thuja plicata*)	0.39	2.4	5.0	7.6
Cedro (*Cedrela odorata*)	0.51	2.3-4.1	4.9–5.2	7.5–9.6
Ceiba (Fuma) (*Ceiba pentandra*)	0.32	2.5-2.9	4.1–4.3	6.8–7.4
Ceviz, Avrupa (*Juglans regia*)	0.68	5.4	7.5	13.4
Ceviz, Kara (*Juglans nigra*)	0.61	4.8-5.2	7.1–7.7	12.0–13.0
Çam, Amerikan (Pitch pine) (*Pinus palustris*)	0.67	4.0-5.1	7.1–7.5	12.8
Çam, Kara (*Pinus nigra* var. *pallasiana*)	0.56	5.6	8.2	13.9
Çam, Kızıl (*Pinus brutia*)	0.57	4.9	6.8	12.2
Çam, Radiata (*Pinus radiata*)	0.40–0.45	2.7	5.5	8.4
Çam, Sarı (*Pinus sylvestris*)	0.52	4.0	7.7	12.1
Çam, Veymut (*Pinus strobus*)	0.40	2.3	6.0	8.5
Çınar, Londra (*Platanus acerifolia*)	0.61	4.5	8.7	13.7
Dabema (Dahoma) (*Piptadeniastrum africanum*)	0.70	2.5–4.9	8.0–10.0	10.7–12.0
Dao (*Dracontomelum dao*)	0.68	4.0	8.7	12.7–13.0

Tablo-Ek 1'in devamı

Ağaç Türünün Ticari ve Botanik Adı	Hava kurusu Yoğunluk g/cm^3	Radyal daralma β_r %	Teğet daralma β_t %	Hacmen daralma β_v %
Dişbudak, Avrupa (*Fraxinus excelsior*)	0.69	4.7	7.5	13.2
Dibetou (Afrika cevizi) (*Lovoa trichilioides*)	0.60	3.9	6.2–6.9	10.2–12.0
Douglas göknarı (*Pseudotsuga menziesii*)	0.51	4.2	7.4	11.9
Eyong (*Sterculia oblonga*)	0.77	-	12.0	16.6
Framire (*Terminalia ivorensis*)	0.56	2.8–3.1	4.2–4.9	7.8–8.5
Göknar, Avrupa (*Abies alba*)	0.45	3.8	7.6	11.5
Göknar, Kazdağı (*Abies equi-trojani*)	0.42	3.4	8.6	12.0
Göknar, Toros (*Abies cilicica*)	0.45	4.0	8.0	11.8
Göknar, Uludağ (*Abies bornmülleriana*)	0.43	4.3	8.6	13.0
Greenheart (*Ocotea rodiaei*)	1.05	6.5–8.2	8.1–9.6	14.6–17.8
Gürgen (*Carpinus betulus*)	0.83	6.8	11.5	18.8
Hemlock (*Tsuga heterophylla*)	0.48	4.3	7.9	12.4
Hickory (*Carya tomentosa*)	0.80	7.0–7.8	10.5–11.0	19.1–19.4
Huş, Sığılli (*Betula pendula*)	0.65	5.3	7.8	13.7
Ihlamur (*Tilia cordata*)	0.53	5.5	9.1	14.9
Iroko (*Chlorophora excelsa*)	0.62	3.5	5.2	11.0
Karaağaç, Ova (*Ulmus minor*)	0.68	4.8	8.3	13.2
Kavak, Kara (*Populus nigra*)	0.45	5.2	8.3	13.8
Kavak, Titrek (*Populus tremula*)	0.49	3.5	8.5	12.8
Kayın, Avrupa (*Fagus sylvatica*)	0.72	5.8	11.8	17.9
Kayın, Doğu (*Fagus orientalis*)	0.66	5.0	10.5	15.5
Keruing (Yang) (*Dipterocarpus alatus*)	0.85	4.4	9.1	13.9
Kestane (*Castanea sativa*)	0.63	4.3	6.4	11.3
Khaya (Afrika mahunu) (*Khaya ivorensis*)	0.51	3.2	5.7	9.1
Kızılağaç (*Alnus glutinosa*)	0.55	4.4	9.3	14.2
Kiraz (*Prunus avium*)	0.61	5.0	8.7	14.0
Kotibé (*Nesogordonia papaverifera*)	0.85	5.6	8.0	11.5–14.5
Lâdin, Avrupa (*Picea abies*)	0.47	3.6	7.8	11.9
Lâdin, Doğu (*Picea orientalis*)	0.44	3.8	7.4	11.5
Limba (*Terminalia superba*)	0.60	4.1	6.3	10.1
Mahun, Hakiki (*Swietenia macrophylla*)	0.60	3.0–3.3	4.2–5.1	7.5–8.6
Makore (*Trieghemela heckelii*)	0.62	5.0	8.0	13.0
Mansonia (Bete) (*Mansonia altissima*)	0.62	4.0	6.2	10.3
Melez (*Larix decidua*)	0.59	3.3	7.8	11.4

Tablo-Ek 1'in devamı

Ağaç Türünün Ticari ve Botanik Adı	Hava kurusu Yoğunluk g/cm³	Radyal daralma β_r %	Teğet daralma β_t %	Hacmen daralma β_v %
Meşe, Saplı/Sapsız (*Quercus robur/Quercus petraea*)	0.69	4.0	8.0	12.2
Meranti, (Lauan) (*Shorea assamica*)	0.56	4.1	9.7	11.8–13.3
Movingui (Ayan) (*Distemonanthus benthamianus*)	0.75	3.6	5.4	9.4
Mutenye (*Guibourtia arnoldiana*)	0.86	4.2	8.0	-
Okaliptus (Bluegum) (*Eucalyptus globulus*)	0.77	9.8	20.6	32.4
Okaliptus (*Eucalyptus rostrata*)	0.58	4.0	8.6	12.7
Okoume (*Aucoumea klaineana*)	0.48	4.3	6.8	10.9
Padouk, African (*Pterocarpus soyauxii*)	0.70	2.6–3.6	4.1–5.4	8.1
Parana pine (*Araucaria angustifolia*)	0.54	3.9	6.4	10.3
Pelesenk (Lignum vitae) (*Guaiacum officinale*)	1.23	5.6	9.3	15.0
Peroba rose (*Aspidosperma peroba*)	0.76	3.8–5.0	7.2–9.0	11.2–14.4
Persimmon (*Diospyros virginiana*)	0.82	7.5	10.8	18.8
Porsuk (*Taxus baccata*)	0.67	3.7	5.8	9.2
Ramin (*Gonystylus bancanus*)	0.60	4.0	9.4	13.6–15.0
Rosewood, Brazilian (Rio palisander) (*Dalbergia nigra*)	0.83	2.9	4.6	9.7
Rosewood, Indian (Palisander) (*Dalbergia latifolia*)	0.87	2.7	5.8	8.7
Sapelli (Sapele) (*Entandrophragma cylindiricum*)	0.65	4.2	5.7	12.5
Sedir, Toros (*Cedrus libani*)	0.52	3.3	5.0	9.2
Servi, Piramidal (*Cupressus sempervirens* var. *Sempervirens*)	0.53	3.3	3.4	6.9
Söğüt, Ak (*Salix alba*)	0.56	2.4	6.3	11.2
Tchitola (*Oxystigma oxyphyllum*)	0.63	5.1	-	8.3–9.5
Teak (Djati) (*Tectona grandis*)	0.67	2.3–3.0	4.2–5.8	6.9–9.4
Tiama (Gedunohor) (*Entandrophragma angolense*)	0.59	3.9–6.2	6.5–8.8	11.6–12.5
Tola (Agba) (*Gosweileradendron balsamiferum*)	0.49	2.0	4.2	6.5–7.6
Üvez (*Sorbus aucuparia*)	0.75	6.4	11.2	18.0
Wenge (*Millettia laurentii*)	0.80	5.2	8.8	12.5
Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*)	0.77	4.4	6.9	11.4
Zebrano (*Microberelinia brazzavillensis*)	0.78	4.8–5.5	7.3–9.1	12.3–14.8

Tablo-Ek 2: Ticarette Önemli Olan Bazı Ağaç Türleri Odunlarında Mekanik Özellikler

Ağaç Türünün Ticari ve Botanik Adı	Tam kuru yoğunluk g/cm³	// Basınç direnci daN/cm²	// Çekme direnci daN/cm²	Eğilme direnci daN/cm²	Makaslama direnci daN/cm²	Dinamik eğilme kN/cm	E-Modül daN/cm² 1000
Abachi (Obeche) (*Triplochiton scleroxylon*)	0.35	500–680	-	1090	37	0.63	96–132
Abura (*Mitragyna stipulosa*)	0.52	435	-	790	64 r–88 t	0.52	98–126
Afrormosia (Kokrodua) (*Afrormosia elata*)	0.65	660–700	-	1290-1500	135–160	0.43	116–135
Agatis (Kauri) (*Agathis alba*)	0.46	515	1350	1010	70	0.35	119
Aiélé (*Canarium schweinfurthii*)	0.45	340–440	-	615–755	-	0.22–0.44	91–117
Akçaağaç, Dağ (*Acer pseudoplatanus*)	0.59	490	820	950	90-150	0.65	94
Ako (Antiaris) (*Antiaris africana*)	0.43	315–410	-	430–1250	57–76	0.56	58–84
Alerce (*Fitzroya capressoides*)	0.34	362–400	-	610–880	-	-	82
Amarant (*Peltogyne paniculata*)	0.80	725–850	-	1350–1630	155–170	1.20	16-18
Andiroba (Crabwood) (*Carapa guianensis*)	0.58	530	1150	1000	95–105	0.50	125
Angélique (*Dicorynia guianensis*)	0.77	620–740	-	1000–1350	90–117	0.56–0.96	136–154
Aningré (*Aningeria robusta*)	0.52	578	725	945	70	0.41	-
Ardıç, Boylu (*Juniperus excelsa*)	0.51	381	566	544	52 r–54 t	-	105
Ardıç, Kokulu *Juniperus foetidissima*)	0.47	361	563	505	48 r–51 t	-	110
Armut (*Pyrus communis*)	0.70	460	-	990	100–125	0.70	105
Assacu (Hura) (*Hura crepitans*)	0.38	345	570	670	56	0.35	72

Tablo-Ek 2'nin devamı

Ağaç Türünün Ticari ve Botanik Adı	Tam kuru yoğunluk g/cm³	// Basınç direnci daN/cm²	// Çekme direnci daN/cm²	Eğilme direnci daN/cm²	Makaslama direnci daN/cm²	Dinamik eğilme kN/cm	E-Modül daN/cm² 1000
At kestanesi (*Aesculus hipphocastanum*)	0.51	300	810	635	-	0.35	53
Avodire (*Turraeanthus africanus*)	0.51	490	960	860	84	0.35	103
Azobe (Bongossi) (*Lophira alata*)	1.04	1090	1200–2170	2460	150	0.9–1.2	240
Balsa (*Ochroma pyramidale*)	0.13	94	750	190	11	0.22	26
Banak (Baboen) (*Virola surinamensis*)	0.41	360	880	600	43	0.29	82
Bubinga (Kevazingo) (*Guiboirtia demeusei*)	0.75	650–745	-	1400–1700	100	0.53	130
Cedar, Incense (*Calocedrus decurrens*)	0.36	370-390	-	560	62	-	75
Cedar, Western Red (*Thuja plicata*)	0.35	290–350	500	480–540	55–60	0.24–0.34	74–79
Cedro (*Cedrela odorata*)	0.46	350	310–895	360–745	67-92	0.17–0.42	25-88
Ceiba (Fuma) (*Ceiba pentandra*)	0.26	175–250	-	350–500	33	0.15–0.45	40–57
Ceviz, Avrupa (*Juglans regia*)	0.64	725	1000	1470	65–90	0.95–1.90	125–130
Ceviz, Kara (*Juglans nigra*)	0.56	530	-	1030	96	0.58	118–135
Çam, Amerikan (Pitch pine) (*Pinus palustris*)	0.62	420–590	-	760–1030	95–105	0.60	110–140
Çam, Kara (*Pinus nigra* var. *pallasiana*)	0.52	479	1124	1096	67	1.67	-
Çam, Kızıl (*Pinus brutia*)	0.53	447	-	821	-	0.92	102
Çam, Sarı (*Pinus sylvestris*)	0.49	550	1040	1000	100	0.40	120
Çam, Veymut (*Pinus strobus*)	0.37	345	1040	615	64	0.49	100

Tablo-Ek 2'nin devamı

Ağaç Türünün Ticari ve Botanik Adı	Tam kuru yoğunluk g/cm³	// Basınç direnci daN/cm²	// Çekme direnci daN/cm²	Eğilme direnci daN/cm²	Makaslama direnci daN/cm²	Dinamik eğilme kN/cm	E-Modül daN/cm² 1000
Çınar, Londra (*Platanus acerifolia*)	0.58	460	-	990	100–125	0.70	105
Dabema (Dahoma) (*Piptadeniastrum africanum*)	0.65	570	-	1000	82	0.60	95–159
Dişbudak, Avrupa (*Fraxinus excelsior*)	0.65	520	1650	1200	120	0.68	134
Dişbudak, (*Fraxinus oxycarpa*)	0.57	517	1023	1087	94	1.4	96
Dibetou (Afrika cevizi) (*Lovoa trichilioides*)	0.56	520	1060	710–950	87–95	0.87	130
Douglas göknarı (*Pseudotsuga menziesii*)	0.47	430–520	1050	680–820	79	0.38	115–135
Emien (*Alstonia congensis*)	0.32–0.39	240–300	-	480–600	-	0.13	75
Eyong (*Sterculia oblonga*)	0.70	660	-	1560	-	0.50	136
Framire (*Terminalia ivorensis*)	0.50	415–535	-	740–1000	60–109	0.20–0.48	80–100
Göknar, Avrupa (*Abies alba*)	0.41	470	840	730	50	0.48	110
Göknar, Kazdağı (*Abies equi-trojani*)	0.40	405	653	729	53 r–47 t	-	102
Göknar, Toros (*Abies cilicica*)	0.43	469	1013	843	71 r–64 t	1.80	106
Göknar, Uludağ (*Abies bornmülleriana*)	0.40	374	620	730	46	0.45	83
Greenheart (*Ocotea rodiaei*)	1.02	1090	2690	2190	148	0.73	218
Gürgen (*Carpinus betulus*)	0.79	820	1350	1600	85–160	0.8–1.2	162
Hemlock (*Tsuga heterophylla*)	0.44	360–440	690	630–710	75–82	0k.37	85–105

Tablo-Ek 2'nin devamı

Ağaç Türünün Ticari ve Botanik Adı	Tam kuru yoğunluk g/cm³	// Basınç direnci daN/cm²	// Çekme direnci daN/cm²	Eğilme direnci daN/cm²	Makaslama direnci daN/cm²	Dinamik eğilme kN/cm	E-Modül daN/cm² 1000
Hickory (*Carya tomentosa*)	0.76	590–630	1520	1170–1350	123–190	1.30	140–156
Huş, Sigilli (*Betula pendula*)	0.61	510	1370	1470	120–145	1.00	145–165
Ihlamur (*Tilia cordata*)	0.49	520	850	1060	45	0.50–1.30	74
Iroko (*Chlorophora excelsa*)	0.60	695	790	1130	95–125	0.25	110
Karaağaç, Ova (*Ulmus minor*)	0.64	560	800	890	70–105	0.60	110
Kavak, Kara (*Populus nigra*)	0.41	350	770	650	50	0.50	88
Kavak, Titrek (*Populus tremula*)	0.45	400	-	520	68	0.40	78
Kayın, Avrupa (*Fagus sylvatica*)	0.68	620	1350	1230	80	1.00	160
Kayın, Doğu (*Fagus orientalis*)	0.59	763	-	1052	-	0.45	125
Keruing (Yang) (*Dipterocarpus alatus*)	0.75	475–690	-	920–1200	105	0.46–1.00	138–175
Kestane (*Castanea sativa*)	0.59	500	1350	770	80–95	0.55–0.59	90
Khaya (Afrika mahunu) (*Khaya ivorensis*)	0.49	460	615	870	80	0.40	100
Kızılağaç (*Alnus glutinosa*)	0.51	550	940	970	45	0.54	95–117
Kiraz (*Prunus avium*)	0.57	450–550	-	850–1060	148	-	110
Kosipo (*Entandrophragma candollei*)	0.65	480–530	-	870–930	-	0.62	81
Kotibé (*Nesogordonia papaverifera*)	0.72	630	-	1550	82	1.00	80–135
Lâdin, Avrupa (*Picea abies*)	0.43	500	900	780	67	0.46	110
Lâdin, Doğu (*Picea orientalis*)	0.41	311	-	690	-	0.40	-
Laurel, Indian (*Terminalia alata*)	0.48	455	740	860	-	0.31	100

Tablo-Ek 2'nin devamı

Ağaç Türünün Ticari ve Botanik Adı	Tam kuru yoğunluk g/cm³	// Basınç direnci daN/cm²	// Çekme direnci daN/cm²	Eğilme direnci daN/cm²	Makaslama direnci daN/cm²	Dinamik eğilme kN/cm	E-Modül daN/cm² 1000
Limba (*Terminalia superba*)	0.57	625	1050	1110	75	0.50	125
Mahun, Hakiki (*Swietenia macrophylla*)	0.55	500	-	850	90–108	0.53	75–95
Makore (*Trieghemela heckelii*)	0.59	535	775	980	85	0.32	110
Mansonia (Bete) (*Mansonia altissima*)	0.60	655	1190	1310	80	0.65	120
Melez (*Larix decidua*)	0.55	550	1070	990	90	0.60	138
Meşe, Çoruh (*Quercus dschorochensis*)	0.68	571	1117	1278	104	0.65	-
Meşe, Saplı/Sapsız (*Quercus robur/Quercus petraea*)	0.65	610	900	880	110	0.60	100–135
Meranti, (Lauan) (*Shorea assamica*)	0.50	540	-	930–1210	77–95	0.33	145
Movingui (Ayan) (*Distemonanthus benthamianus*)	0.71	610	700	950	110	0.30	103
Niangon (*Tarrietia utilis*)	0.65	500–680	-	1090	37	0.63	96–132
Niove (*Staudtia stipitata*)	0.85	870	-	1610	-	0.65	162–185
Okaliptus (Bluegum) (*Eucalyptus globulus*)	0.73	370–650	900	750–1045	-	-	105–139
Okaliptus (*Eucalyptus rostrata*)	0.55	373	-	758	-	2.00	139
Okoume (*Aucoumea klaineana*)	0.41	390	580	720	60	0.25	-
Olon (Bongo) (*Fagara heitzii*)	0.48	360–520	-	800–1000	-	0.55	102
Ovangkol (*Guibourtia ehie*)	0.75	805	1325	1345	127	1.12	171
Ozigo (*Dacryodes buettneri*)	0.55	580–710	-	1100–1300	-	0.65–0.89	118–130

Tablo-Ek 2'nin devamı

Ağaç Türünün Ticari ve Botanik Adı	Tam kuru yoğunluk g/cm³	// Basınç direnci daN/cm²	// Çekme direnci daN/cm²	Eğilme direnci daN/cm²	Makaslama direnci daN/cm²	Dinamik eğilme kN/cm	E-Modül daN/cm² 1000
Padouk, African (*Pterocarpus soyauxii*)	0.65	750	-	1375	-	0.38-0.85	110-144
Parana pine (*Araucaria angustifolia*)	0.50	560	1360	1030	65–130 t	0.50	132
Pelesenk (Lignum vitae) (*Guaiacum officinale*)	1.20	900–1260	-	1200-1440	-	0.33	123
Peroba jaune (*Paratecoma peroba*)	0.65	630	-	1080	150	-	125
Peroba rose (*Aspidosperma peroba*)	0.72	560	-	860	175	-	-
Persimmon (*Diospyros virginiana*)	0.78	645	-	1240	150	0.64	141
Quaruba (*Vochysia guianensis*)	0.42	480	660	800	66	0.45	110
Ramin (*Gonystylus bancanus*)	0.55	710	-	1300	105–110	-	155
Rauli (*Nothofagus procera*)	0.51	400	1100	870	54	0.52	119
Rosewood, Brazilian (Rio palisander) (*Dalbergia nigra*)	0.80	650	-	1310	130–145	0.70	88–129
Rosewood, Indian (Palisander) (*Dalbergia latifolia*)	0.80	565–650	-	1190	120–175	0.85	125
Sapelli (Sapele) (*Entandrophragma cylindiricum*)	0.62	600	875	1105	85	0.70	110
Sedir, Toros (*Cedrus libani*)	0.49	469	1013	843	71 r–64 t	0.38	106
Servi, Piramidal (*Cupressus sempervirens* var. *sempervirens*)	0.48	499	660	1077	142	0.54	82

Tablo-Ek 2'nin devamı

Ağaç Türünün Ticari ve Botanik Adı	Tam kuru yoğunluk g/cm³	// Basınç direnci daN/cm²	// Çekme direnci daN/cm²	Eğilme direnci daN/cm²	Makaslama direnci daN/cm²	Dinamik eğilme kN/cm	E-Modül daN/cm² 1000
Servi, Dallı (*Cupressus sempervirens* var. *horizontalis*)	0.56	410	772	865	76 r–62 t	0.47	-
Söğüt, Ak (*Salix alba*)	0.52	340	640	370	70	0.70	72
Tali (*Ertthrophleum guinense*)	0.94	750–860	-	1200–1350	-	0.89	108–165
Tchitola (*Oxystigma oxyphyllum*)	0.57	570	-	1050	122	0.54	95
Teak (Djati) (*Tectona grandis*)	0.63	720	1200	1480	90	0.60	134
Tiama (Gedunohor) (*Entandrophragma angolense*)	0.52	475	-	775	81–113	0.44	88–113
Tola (Agba) (*Gosweileradendron balsamiferum*)	0.45	400	520	620	72	0.17	65
Üvez (*Sorbus aucuparia*)	0.73	610	1045	1080	120	1.10	124
Wenge (*Millettia laurentii*)	0.75	700–850	-	1250–1800	113	0.86–1.50	168–180
Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*)	0.74	720	1360	1360	128	1.35	113
Zebrano (*Microberelinia brazzavillensis*)	0.69	500	-	840–1200	-	0.59	100–130

Ek–3

ODUNUN MAKROSKOPİK TEŞHİS ANAHTARI

1. Odunda trahe yok ve yıllık halka sınırları çoğunlukla belirgin 2
1. Odunda trahe var ve yıllık halkalar her zaman belirgin değil 10

2. Koyu renkli öz odun yok..... 3
2. Koyu renkli öz odun var 4

3. Reçine kanalı yok, odun sarımsı ile kırmızımsı beyaz renkte, ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaş

Göknar
(*Abies* spp.)

3. Reçine kanalı var ve kanallar küçük, odun sarımsı ile kırmızımsı beyaz renkte, ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaş, radyal kesit parlak, reçine keseleri bulunabilir.

Doğu lâdini
(*Picea orientalis*)

4. Reçine kanalı var 5
4. Reçine kanalı yok ya da traumatik reçine kanalları mevcut 8

5. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş hızlı, yaz odunu tabakası geniş ve belirgin 6

5. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaş, yıllık halkalar geniş, reçine kanalları belirgin, diri odun geniş ve açık sarı, öz odun açık kahverenginde olup diri odun ile renk farkı az

Veymut çamı
(*Pinus strobus*)

6. Reçine kanalları az sayıda ve belirgin değil 7
6. Reçine kanalları çok sayıda ve belirgin, diri odun açık sarı, öz odun kırmızımsı kahverengi

İki ibreli çamlar
(*Pinus* spp.)

7. Diri odun dar ve açık sarı renkte, öz odun kırmızımsı kahverengi ile koyu kahverengi, yıllık halka sınırları hafif dalgalı

Melez
(*Larix decidua*)

7. Diri odunu dar ve kırmızımsı beyaz renkte, öz odunu dar yıllık halkalı olanlarda sarımsı kahverengi ya da açık kırmızımsı sarı, geniş yıllık halkalı olanlarda oranj–kırmızı ya da açık kırmızımsı renkte, yaz odunu tabakası geniş olup, çoğunlukla yıllık halkanın yarısı genişliğinde

Douglas göknarı
(*Pseudotsuga menziesii*)

8. Odunu hoş kokulu 9
8. Odun kokusuz, diri odun dar ve sarımsı beyaz renkte, öz odun kırmızımsı kahverengi ya da morumsu, yıllık halka sınırları dalgalı, yaz odunu tabakası dar ve koyu renkte, odunu sert ve ağır

Porsuk
(*Taxus baccata*)

9. Diri odun dar, öz odun kırmızımsı kahverengi ve mor tonda, yıllık halka genişliği ve yaz odunu tabakası dar, traumatik kanallar yok

Ardıç
(*Juniperus* spp.)

9. Diri odun geniş, kırmızımsı ile sarımsı beyaz renkte, öz odun açık sarı ile kırmızımsı kahverenginde, traumatik reçine kanalları enine kesitte koyu renkli teğet sıralar oluşturur

Sedir
(*Cedrus libani*)

10. Traheler halkalı ya da yarı halkalı dizilişte 11
10. Traheler dağınık dizilişte 18

11. Traheler halkalı dizilişte 12
11. Traheler yarı halkalı dizilişte 17

12. Geniş öz ışınları çok belirgin 13
12. Geniş öz ışını yok 14

13. Büyük ilkbahar odunu trahelerinden yaz odunu trahelerine geçiş yavaş, yaz odunu traheleri lupla kolayca görülebilir, tül oluşumu az, öz odun açık kırmızımsı kahverengi

Kırmızı meşeler
(*Quercus* spp.)

13. Büyük ilkbahar odunu trahelerinden yaz odunu trahelerine geçiş hızlı, yaz odunu traheleri diyagonal şekilde sıralanmış olup, lupla kolay görülmez, ilkbahar odunu traheleri tüllerle dolu, öz odun sarımsı kahverenginde

Akmeşeler
(*Quercus* spp.)

14. Yaz odunu traheleri dalgalı teğet şeritli, öz odun sarımsı kahverengi ile kırmızımsı tonda

Karaağaç
(*Ulmus* spp.)

14. Yaz odunu traheleri tek tek ya da çatallı ve radyal sıralı 15

15. Yaz odunu traheleri tek tek dağılmış ya da kümeli 16
15. Yaz odunu traheleri radyal sıralı, diri odun çok dar, öz odun kahverengi

Kestane
(*Castanea sativa*)

16. Diri odunu geniş ve sarımsı beyaz renkte, öz odun varsa açık kahverenginde, yaz odunu traheleri açık renkli noktacıklar halinde tek tek dağılmış

Dişbudak
(*Fraxinus* spp.)

16. Diri odun çok dar, ilkbahar odunu traheleri tüllerle tıkalı, özodun sarımsı yeşil renkte, yaz odunu traheleri kümeli

Yalancı akasya
(*Robinia pseudoacacia*)

17. Traheler büyük, ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaş, Büyük traheler pırıltılı görünüşte ve içlerinde koyu renkli tüller var, boyuna paranşimler ince teğet sıralı, öz odunu gri kahverengi koyu şeritli

Ceviz
(*Juglans* spp.)

17. Traheler küçük ve ilkbahar odununda toplanmış, öz ışınları çok sayıda ve açık renkte, çıplak gözle görülebilir, öz odun kırmızımsı kahverenginde

Kiraz
(*Prunus avium*)

18. Öz ışınları çıplak gözle görülür 19
18. Öz ışınları lup altında görülür ya da görülmeyebilir 24

19. Öz ışınları teğet yüzeylerde çıplak gözle kısa hatlar halinde görülür 20
19. Öz ışınları sadece enine kesitte belirgin 21

20. Öz ışınları teğet kesitte 3 mm yükseklikte, 1 mm Genişlikte ve iğ şeklinde, yalancı öz odunu kırmızımsı kahverenginde koyu şeritli, odunu sert

Kayın
(*Fagus orientalis*)

20. Öz ışınlarının hemen hepsi aynı genişlikte, geniş ve sık, eşit aralıklı, radyal kesitte çok sayıda levhacık halinde, öz odunu açık kırmızımsı kahverengi

Çınar
(*Platanus orientalis*)

21. Öz ışınları farklı genişlikte, çıplak gözle zorlukla görülen çok sayıdaki dar öz ışınları ile daha geniş öz ışınları birlikte bulunur 22

21. Öz ışınları hemen hemen aynı genişlikte 25

22. Geniş öz ışını gibi görünen bileşik öz ışınları var 23

22. Bileşik öz ışınları yok 24

23. Yıllık halka sınırları kaba dalgalı, bileşik öz ışınları belirgin, sarımsı kahverengi şeritler halinde, boyuna paranşimler apotraheal teğet sıralı, gövde enine kesiti oluklu, odun sarımsı beyaz renkte ve sert

Gürgen
(*Carpinus betulus*)

23. Bileşik öz ışınları kırmızımsı renkte şeritler halinde, odunu Kırmızımsı kahverenginde ve yumuşak, sık sık öz lekeleri görülür

Kızılağaç
(*Alnus* spp.)

24. Diri odun beyazımsı ile hafif kırmızımsı, dar, öz odunu belirginse açık kahverenginden kırmızımsı kahverengine kadar değişen renklerde, yıllık halka sınırı çoğunlukla daha yoğun lif dokusunun dar koyu bir hat oluşturmasıyla belirgin hale gelir, daha geniş yıllık halkalarda yıllık halka sınırı daha belirgindir

Akçaağaç
(*Acer* spp.)

24. Diri odun hafif pembemsi kahverengi ve geniş, öz odun bulunuyorsa koyu kahverengi ve çoğunlukla dalgalı, yıllık halkaların ve daha geniş öz ışınlarının sınırları diğer dokulardan keskin olarak ayrılmamış

Kızılcık
(*Cornus* spp.)

25. Öz ışınları birbirine çok yakın olup enine kesitin hemen hemen yarısını kaplar, diri odun pembemsi, öz odun griden kırmızımsı kahverengi tonlara kadar değişen renklerde ve çoğunlukla daha koyu kırmızımsı kahverengi renk dağılımıyla oluşmuş şeritler ya da çizgiler var

Sığla
(*Liquidambar* spp.)

25. Öz ışınları enine kesitin yarısından daha az bir kısmını kaplar 26

26. Odun orta sert ile sert 27
26. Odun yumuşak ve hafif 29

27. Odun orta sert ve orta ağırlıkta 28
27. Odun çok sert ve çok ağır, sarımsı renkte ve yeknesak yapıda, traheler çok küçük

Şimşir
(*Buxus sempervirens*)

28. Odunu beyazımsı ile kırmızımsı tonda, traheler enine kesitte çıplak gözle beyaz noktacıklar halinde görülür, öz lekeleri vardır

Huş
(*Betula* spp.)

28. Odunu kırmızımsı kahverengi, traheler küçük ve çok sayıda, öz ışınları sık

Armut
(*Pyrus communis*)

29. Odunu beyazımsı renkte 30
29. Odun açık pembe renkte, ilkbahar odunu traheleri çıplak gözle görülebilir, enine kesitte trahe sayısı kavaktan daha az sayıda

Söğüt
(*Salix alba*)

30. Traheler çok sayıda, radyal sıralı, odunu parlak ile kırmızımsı tonda 31

30. Öz ışınları kavaktan ve söğütten daha belirgin, Yeknesak aralıklı, radyal yüzeylerde öz lekeleri var, odunu parlak değil

Ihlamur
(*Tilia* spp.)

31. Yıllık halkalar dar, öz lekeleri az sayıda, koyu renkli öz odunu yok

Titrek kavak
(*Populus tremula*)

31. Yıllık halkalar geniş, öz lekeleri yok, koyu renkli öz odunu var

Kara kavak, Melez kavaklar
(*Populus nigra, Populus* spp.)

KAYNAKLAR

Berkel, A. 1970. Ağaç Malzeme Teknolojisi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 1448/147, İstanbul, 593 s.

Bozkurt, Y. 1967. Türkiye'de Bazı Önemli Orman Ürünlerinin Standardizasyonu Üzerine Araştırmalar. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları No. 467/20, İstanbul, 254 s.

Bozkurt, A. Y. 1971. Önemli Bazı Ağaç Türleri Odunlarının Tanımı, Teknolojik Özellikleri ve Kullanış Yerleri. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 1653/177, İstanbul, 99 s.

Bozkurt, Y. 1986. Ağaç Teknolojisi. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 3403/380, İstanbul, 220 s.

Bozkurt, Y. 1992. Odun Anatomisi. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 3652/415, İstanbul, 298 s.

Bozkurt, Y., Y. Göker, N. Erdin, 1993. Emprenye Tekniği. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 3779/425, İstanbul, 429 s.

Grammel, R. 1989. Forstbenutzung Teechnologie, Verwertung und Verwendung des Holzes. Verlag Paul Parey, Hamburg, p. 193.

Grosser, D. 1977. Die Hölzer Mitteleuropas. Springer Verlag, Berlin, p. 208.

Hildebrand, R. 1970. Kiln Drying of Sawn Timber. Maschinenbau GmbH 744 Nuertingen, p. 198.

İlhan, R. 1983. Ağaç Malzeme Koruma ve Emprenye Tekniği. K.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 74, Trabzon, 180 s.

Jane, F. W. 1956. The Structure of Wood. Adam and Charles Black, London, p. 427.

Kantay, R. 1993. Kereste Kurutma ve Buharlama. Ormancılık Eğitim ve Kültür Vakfı Yayın No. 6, İstanbul, 204 s.

Knigge, W., H., H. Schulz. 1966. Grundriss der Forstbenutzung. Verlag Paul Parey, Hamburg, p. 584.

Kurtoğlu, A. 1984. Hava Kurusu Odunda Rutubet Değişmeleri ve Türkiye'de Odunun Muhtemel Denge Rutubeti Miktarlarının Dağılımı. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 3202/362, İstanbul, 141 s.

Langendorf, G., E. Schuster, R. Wagenführ. 1972. Rohholz. VEB Facbuchverlag, Leipzig, p. 278.

Ormancılık Araştırma Enstitüsü. 1987. Türkiye Orman Varlığı. Muhtelif Yayınlar Serisi No. 48, Ankara.

Panshin, A. J., C. Zeeuw. 1980. Textbook of Wood Technology. McGraw-Hill Book Company, London, p. 722.

Sachsse, H. 1984. Einheimische Nutzhölzer und Ihre Bestimmung nach Makroskopischen Merkmalen. Verlag Paul Parey, Hamburg, p. 159.

Schwankl, A. 1989. Wie Bestime İch Holz. Verlag Wolfgang Zimmer, Augsburg, p. 136.

Sutter, H. P. 1986. Holzschädlinge an Kulturgütern Erkennen und Bekämfen. Verlag Paul Haupt, Bern, p. 166.

Wilkinson, J. G. 1979. Industrial Timber Preservation. Associated Business Press, London, p. 532.

Wilson, K., D. J. B. White. 1986. The Anatomy of Wood. Stobart and Son Ltd., London, p. 309.

Yaltırık, F., A. Efe. 1994. Dendroloji. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 3836/431, İstanbul, 382 s.

ŞEKİL KAYNAKLARI

Alexopoulos, C. J., 1962. Introductory Mycology. 2. Edition. John Wiley and Sons, Inc., New York. *Şekil:* 10.5

Berkel, A., 1970. Ağaç Malzeme Teknolojisi. İ.Ü. Orman Fakültesi No. 1448/147, İstanbul. *Şekil:* 2.2/A, 5.10, 13.3,13.7

Bozkurt, Y., 1986. Ağaç Teknolojisi. İ.Ü. Orman Fakültesi No. 3403/380, İstanbul. *Şekil:* 2.2/B, 3.18, 8.2, 9.4/B, 9.9/B, 9.19/B, 9.23/A, 9.24/A, 9.28/A, 9.37, 9.38/A, 10.4, 11.7, 12.1, 13.1, 15.1, 15.2, 15.3, 15.10, 15.11

Bozkurt, Y., 1992. Odun Anatomisi. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 3652/415, İstanbul. *Şekil:* 3.2, 3.20, 3.30, 3.35, 3.40/A, 3.41, 4.11, 9.39

Bozkurt, Y., göker, Y., Erdin, N., 1993. Emprenye Tekniği. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 3779/425, İstanbul. *Şekil:* 15.4, 15.5, 15.6, 15.7, 15.9, 15.12

Bozkurt, Y., Erdin, N., 2000. Odun Anatomisi. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 4263/466, İstanbul. *Şekil:* 3.10/A

Brazier, J. D., Franklin, G. L., 1961. Identification of Hardwoods. Forest Products Research Bulletin No. 46. Her Majesty's Stationery Office, London. *Şekil:* 3.37/B, 3.38/A

Core, H. A., Cote, W. A,. Day, A. C., 1976. Wood Structure and Identification. Syracuse University Press. *Şekil:* 3.8/B

Čufar, K., Zupančič, M., 2009. Wood Anatomy Instructions for Laboratory Work. University of Ljubljana Biotechnical Faculty Department of Wood Science and Technology. *Şekil:* 2.5, 3.1

Erdin,N., *Şekil:* 2.4/B, 2.8/B, 2.18/B, 2.19/A-B, 3.10/B, 9.3/A, 10.1

Erteld, Mette, Achterberg. 1964. Defects in Wood Leonard Hill Books Ltd. London. *Şekil:* 9.1/B, 9.2, 9.4/A, 9.8, 9.9/A-C, 9.28/B, 9.30, 9.32/A, 9.33/A

Findlay, W.P.K., 1985. Preservation of Timber in the Tropics. Martinus Nijhoff Dr.W.Junk Publishers, Boston. *Şekil:* 15.12

Haygreen, J. G., Bowyer, JL., 1985. Forest Products and Wood Science. The Iowa State University, Iowa. *Şekil:* 2.16, 3.3/A, 3.4, 3.7, 3.8/A, 3.19, 3.31, 3.32, 4.12, 5.1, 5.2, 5.4, 5.6, 5.7, 5.8, 6.2, 8.3, 8.4, 9.10, 9.15, 10.6, 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.8, 11.9, 13.2, 13.8, 13.9, 13.10,13.11, 13.12

Hildebrand, R., 1970., Kiln Drying of Sawn Timber. Maschinenbau GmbH 744 Nuertingen. *Şekil:* 14.5, 14.6, 14.10

İlhan, R., 1983., Ağaç Malzeme Koruma ve Emprenye Tekniği. K.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 74, Trabzon. *Şekil:* 15.13

Jane, F.W., 1956., The Structure of Wood. Adam and Charles Black, London. *Şekil:* 3.36, 3.42

Knigge, W., Schulz, H., 1966. Grundriss der Forstbenutzung. Verlag Paul Parey, Hamburg. *Şekil:* 9.27/A-B

Kollmann, F.P., Cote, A., 1968. Principles of Wood Science and Technology. Vol. I. Springer-Verlag, Berlin. *Şekil:* 4.10, 9.12, 9.16, 9.18, 9.20/B-C, 9.27/C, 9.29, 9.31, 9.35/B, 9.36, 14.7/A

Langendorf, G., Eichler, H., 1973. Holz-Vergütung. Veb Fachbuchverlag, Leibzig. *Şekil:* 15.4, 15.5, 15.6, 15.7

Liese, W. Resimler Prof.Dr. Walter Liese'nin laboratuarında çekilmiştir. *Şekil:* 4.7, 4.8

Meylan, B. A., B. G. Butturfield. 1972. Three-dimensional Structure of Wood, A Scanning Electron Microskope Study. Syracuse Wood Science Series 3. Syracuse Press. *Şekil:* 9.13

Panshin, A. J., Zeeuw, C., 1980. Textbook of Wood Technology. McGraw-Hill Book Company, London. *Şekil:* 3.17/A, 3.29, 3.45, 4.9, 5.9, 8.1, 9.6, 9.7, 9.16, 9.21, 9.22, 9.24/B, 9.25, 9.26, 14.8

Siau, J.F., 1984. Transport processes in wood. ISBN 3-540-12574-4. Springer-Verlag, Berlin. *Şekil*: 4.5
Summitt, RN., Sliker, A., 1980. CRC Handbook of Materials Science, Vol. IV. CRC Press, Inc. Boca raton, Florida. *Şekil*: 3.22
Sutter, H. P., 1986. Holzschädlinge an Kulturgütern Erkennen und Bekämfen. Verlag Paul Haupt, Bern. *Şekil*: 4.1
Wilkinson, J. G. 1979. Industrial Timber Preservation. Associated Business Press, London. *Şekil:* 10.9, 10.16, 15.8
Wilson, K., White, D.J.B., 1986. The Anatomy of Wood. Stobart and Son Ltd., London. *Şekil*: 2.13/A, 3.5, 9.23/C, 9.34
http://www.music.ed.ac.uk/euchmi/cimcim/iht/iht.html *Şekil:* 2.1
http://www.bobklips.com/earlywinter2009.html *Şekil:* 2.3
http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/for/for59/for59.pdf *Şekil:* 2.4/A
http://www.bouttetree.com/images/3.6lg.jpg *Şekil:* 2.4/C, 9.5/A
http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/wood/images/... *Şekil:* 2.6/A, 2.6/C, 3.25/A-B
http://creationwiki.org/File:Dendrochronology.gif *Şekil:* 2.7
http://en.wikipedia.org/wiki/Wood#Color *Şekil:* 2.8/A
http://commons.wikimedia.org/wiki/ *Şekil*: 2.9/B, 2.10/A, 9.35/C
http://botit.botany.wisc.edu/images/130/Secondary_Growth/Woody_Stems/Gross_Anatomy/ *Şekil:* 2.11/A-B
http://www.swst.org/teach/ set2/struct1.html *Şekil:* 2.12, 2.13/A, 3.13/A, 3.15/B
http://delta-intkey.com/wood *Şekil:* 2.13/B, 2.6/B, 3.6/A, 3.26/A-B, 3.28, 3.39, 3.40/B, 3.44
http://www.wsl.ch/land/products/dendro/ *Şekil*: 2.14/B, 3.9/A-B, 3.12/A, 3.15/C, 3.16, 3.17/B, 3.27
http://web.utk.edu/~grissino/gallery.htm *Şekil:* 2.9/A, 2.15
http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap15wood/15.2-12.htm *Şekil:* 3.11/A
http://woodwonders.com/ *Şekil*: 2.17/A-B
http://www.gregorypembertondesigns.com *Şekil*: 2.20/A, 2.22/A-B
http://www.phantasypsalteries.com/veneers.htm *Şekil*: 2.20/B
http://www.fataj.hu/2010/08/139/201008139_EgzotaFaAlapanyagok_Avodire.php *Şekil*: 2.21
http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2005000100001&script=sci_arttext *Şekil*: 3.3/B
http://www.microlabgallery.com/gallery/Pseudotsuga%20MenziesiiTS200Xa.aspx *Şekil*: 3.6/B
http://delta-intkey.com/gymno/www/araucari.htm *Şekil:* 3.11/B
http://eu.art.com/products/p360797606-sa-i4011617/posters.htm *Şekil:* 3.12/B
http://www.jefpat.org/wood&charcoalidentification/Wood&Charcoal_Part2.htm *Şekil:* 3.14, 3.23, 3.36, 5.5/A-B
http://www.uri.edu/cels/bio/plant_anatomy/122.html *Şekil:* 3.13/B, 3.15/A
http://www.steve.gb.com/science/plant_growth.html *Şekil*: 3.24
http://www.herbario.com.br/dataherb%20_rev_disc_univ_2_4/tecdif.htm *Şekil*: 3.33
http://www.woodanatomy.ch/ *Şekil*: 3.34/A, 3.38/B
http://www.swst.org/teach/teach1/structure1.pdf *Şekil*: 3.34/B
http://botweb.uwsp.edu/Anatomy/dicotwood.htm *Şekil*: 3.37/A
http://www.wsl.ch/land/products/dendro/mic_rad.html#g *Şekil*: 3.43
http://research.ttlchiltern.co.uk/pif306/pages/durabilitybeta1.1/durability%20beta%201.1/geninfo/stepa4.htm *Şekil:* 4.6
http://www.fao.org/DOCREP/006/AD317E/AD317E08.htm *Şekil:* 4.11/C
http://apachu.com/html/discover-with-apachu/Living-World/greenhouse.htm *Şekil:* 5.3

http://web2.mendelu.cz/af_211_multitext/obecna_botanika/preparaty/nakresy/pletiva_kryci/velke_periderm.jpg *Şekil*: 6.1
http://www.nsci.plu.edu/~jmain/b359web/images/lenticle.jpg *Şekil*: 6.3
http://www.science.siu.edu/plant-biology/PLB117/JPEGs%20CD/0341.JPG *Şekil*: 7.1/A
http://www.dualviewmicroscopes.com/0032000m.html *Şekil*: 7.1/B
http://www.trekearth.com/gallery/ *Şekil*: 9.1/A
http://www6.fh-eberswalde.de/forst/forstnutzung/diplom_fowi/homepage/seiten/vorlesung/vorlesung%201-3.html *Şekil*: 9.3/B, 9.32/B, 9.38/B
http://www.hubbardbrook.org/w6_tour/tree-stop/beech/beech-tree.htm *Şekil*: 9.5/B
http://www.wsl.ch/staff/jan.esper/pics/rootdisc_high.jpg *Şekil*: 9.11
http://chestofbooks.com/architecture/Building-Construction-V2/Timber-Properties-Of-Timber-Part-3.html *Şekil*: 9.19/A, 9.20/A
http://www.treeworld.info/f2/bark-falling-maple-tree-8567.html *Şekil*: 9.23/B
http://www.interactive.usc.edu/members/mchuri/ *Şekil*: 9.33/B
http://www.woodzone.com/articles/common.htm *Şekil*: 9.35/A
http://www.bedson.co.za/images/Knot%20Holeb.jpg, *Şekil*: 9.35/D
http://www.sfrc.ufl.edu/4h/soutpine.htm *Şekil*: 10.3
http://forestry-dev.org/diseases/ctd/Group/Sap/sap3_e.html *Şekil*: 10.7
http://www.pfc.forestry.ca/diseases/CTD/Group/Heart/heart17_e.html *Şekil*: 10.8
http://www.superstock.com/stock-photography/hoof *Şekil*: 10.10/A
http://helios.bto.ed.ac.uk/bto/microbes/armill.htm *Şekil*: 10.10/B
http://www.timberplustoolbox.com.au/toolbox13_05/unit9_selecting_timber/section3_destroyers/lesson2_soft_rot.htm *Şekil*: 10.11
www.ahsap.com/menu.php?lang=en&c1=1&c2=4&c3=2 *Şekil*: 10.12/A
http://www.arkive.org/furniture-beetle/anobium-punctatum/image-A7113.html *Şekil*: 10.12/B
http://www.ifaoe.de/en/divisions/environm-toxicoloy/marine-borer/ *Şekil*: 10.13
http://www.fao.org/docrep/x5389e/x5389e09.htm *Şekil*: 10.14
http://www.benfieldatt.com.uk/.../fire_performance *Şekil*: 10.15
http://www.pbase.com/losthiker/trees&page=all *Şekil*: 10.17/A
http://www.pbase.com/losthiker/image/78734886 *Şekil*: 10.17/B
http://leescustomlumber.com/Air_Drying_Wood.html *Şekil*: 14.1, 14.2/A
http://www.mcilvain.com/lumber-drying-process/ *Şekil*: 14.3
http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2009000100003&script=sci_arttext *Şekil*: 14.4
http://www.microwavewoodprocessing.com *Şekil*: 14.7/B
http://www.greatsouthernwood.com/products/yellawoodcare *Şekil*: 14.9

ALFABETİK İNDEKS

Kitabın Satış Fiyatı : 31,00 - TL
Öğrenciye İnd. Satış Fiyatı : 24,80 - TL