

ODUN YAPISINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİKLİKLER





Anatomik yapı, fiziksel karakteristikler ve kimyasal yapıları bakımından farklılıklar söz konusudur.

Örneğin; hücrelerin boyutlarında, çeper kalınlıklarında, yıllık halka genişliklerinde, özgül ağırlıklarında, selüloz ve lignin oranlarında farklılıklar geniş varyasyonlar gösterdiğinden, odunun değişkenlik derecesini bilmek önemlidir.

Ağaç malzemenin belli bir maksat için uygunluğunu veya kalitesini belirleyen Ölçütler,

malzemenin anatomik yapısını ve buna bağlı olarak fiziksel özelliklerini etkileyen faktörlerden biri ya da birkaçının değişmesi ile etkilenmektedir.

Odunun anatomik yapısında ölçümlerle tespit edilebilen bu küçük değişikliklere neden olan etkenler üç grupta toplanmaktadır.

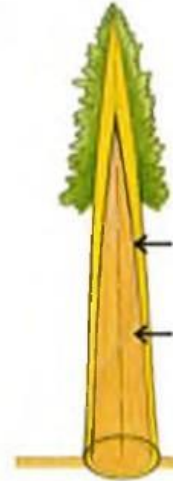
- a) Kambiyumun yaşı,**
- b) Ağacın şeklini ve büyümesini kontrol eden genetik özellikler,**
- c) Mevsimsel değişiklikler ya da coğrafik şartlar ve besin maddesi temini gibi çevre faktörleri.**

Odun yapısında meydana gelen değişikliklerin daha iyi anlaşılabilmesi için

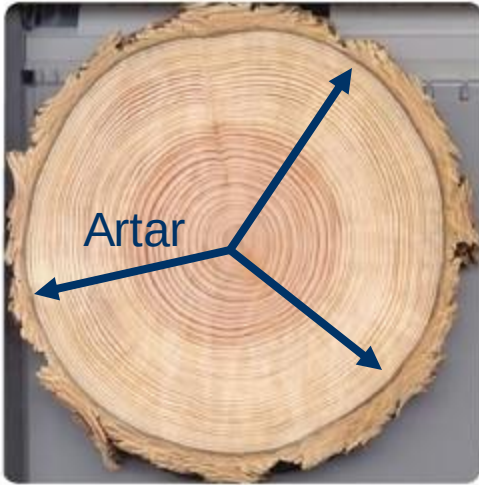
- 1. “tek ağaçta odunda yapısal değişiklikler”,**
- 2. “odun özelliklerini etkileyen çevre faktörleri”**
- 3. “aynı türden çeşitli ağaçlarda görülen odun yapısı farklılıkları”**

Tek Ağaçta Odunda Yapısal Değişiklikler

Bir ağacın değişik yüksekliklerinden alınan enine kesitlerde özden çevreye doğru; yıllık halka yapısında ve yıllık halkalar az çok belirli bir genişliğe ulaşincaya kadar hücre morfolojisinde, özgül ağırlıkta, genç odun ve ergin odun dönemlerindeki değişiklikler özetlenmiştir.



Hücre Boyutlarında Değişiklik



- Bir ağaçta **hücre boyutları** enine kesitte özden çevreye doğru **artar**.

Bu değişim **kambiyumun yaşının** genç ya da yaşlı olmasına bağlı olarak gerçekleşir. Kambiyum olgunlaşmaya başladığında hücre boyutlarında hızlı bir artış olmakta, olgunlaşma suresince artış devam etmekte, kambiyum yaşlandığında hücre boyutlarında artış azalmakta ya da herhangi bir değişme görülmemektedir. Yani, mesele kambiyumun yaşı ile ilgili olarak ele alınacak olursa, **kambiyum yaşı ilerledikçe hücrelerde önceleri hızlı, daha sonra yavaş bir boy ve çap artışı** görülmektedir.

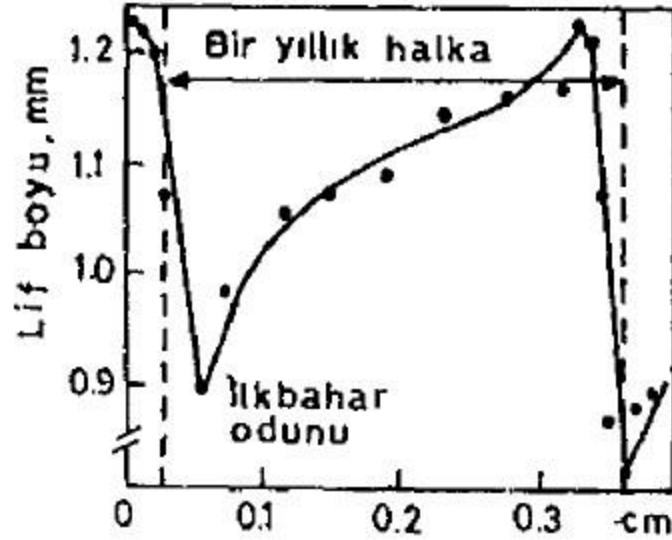
Hücre boylarında özden çevreye doğru gerçekleşen artış, hücre tiplerine göre de değişiklik gösterir. Örneğin; iğne yapraklı ağaçlarda **traheidlerin** ve geniş yapraklı ağaçlarda **liflerin** öze yakın kısımdan itibaren boyları **başlangıçta hızlı bir artış gösterirken, trahelerin** boylarında **oldukça yavaş** bir artış gerçekleşmekte, hatta bazen hiçbir **artış görülmemektedir**.

İğne yapraklı ağaçlarda traheid çapları ve çeper kalınlıkları özden çevreye (kabuğa) doğru, traheid boylarına nazaran daha az bir artış göstermekte, geniş yapraklı ağaçlarda liflerde benzer durum görülmektedir.

Bir yıllık halka içerisinde hücre boyları incelendiğinde, **mevsim** farklılıklarının etkisi belirgin olarak anlaşılmaktadır. En kısa boylara ilkbahar odununda, en uzun boylara ise yaz odununda rastlanır. Yani yıllık halkanın ilkbahar odunu tabakasındaki hücreler kısa, yaz odunu tabakasındaki hücreler daha uzundur.



(A)



(B)

Şekil 8.1: Bir yıllık halkanın ilkbahar ve yaz odunu tabakasında hücre boyları değişimi. (A) *Pinus radiata*'da traheid boyları, (B) *Populus tremuloides*'te lif boyları.

Birbirini takip eden her yıllık halkada mevsim itibariyle meydana gelen bu farklılıkları görmek mümkündür. Özden kabuğa doğru ayrı ayrı ilkbahar ve yaz odunundaki hücre uzunlukları incelenecek olursa, boylarda giderek artan benzer eğriler ortaya çıkmaktadır. Bununla beraber geniş yapraklı ağaçların ilkbahar odununda lif boylarındaki artış, yaz odunlarındaki lif boylarındaki artıştan daha azdır.

Bir ağaçta hücre boyları, sadece özden çevreye doğru değil **ağaç boyunca** da farklılıklar göstermektedir. Örneğin; iğne yapraklı ağaçlarda traheidlerin, geniş yapraklı ağaçlarda liflerin boyları ağaçta toprak seviyesinden tacın alt kısmına kadar artış göstermekte, tacın altından yukarıya doğru çıkıldıkça taç bölgesinde yeni oluşan kambiyum civarında hücre boylan daha kısa olmaktadır. Maksimum traheid veya lif boyu gövdede ağaç boyunun **1/3 ile 1/2 si arasındaki yükseklikte ve dış tarafta (kabuk tarafında) bulunmaktadır.**

Aynı ağaçta **kök, gövde ve dal odunları** arasında da hücre boyları bakımından farklılıklar vardır. İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlarda en kısa, en dar hücreler dallarda tespit edilmiştir. İğne yapraklılarda en uzun traheidler köklerde, geniş yapraklılarda ise en uzun lifler gövde odununda görülmektedir. Ancak, bu değerler ortalama değerlerdir. Geniş yapraklı ağaçlarda yapılan araştırmalar sınırlı olduğundan, istisnalar görülebilir.

Özgöl Ağırılıkta Değişiklik

İğne yapraklı ağaçların çoğunda ortalama özgöl ağırılık özden kabuğa doğru genel bir artış göstermektedir. Bu özellik özden çevreye doğru birbirini takip eden yıllık halkalarda yaz odunu oranının artışı ile ilgili olarak değişir. Diğer bir deyişle özgöl ağırlığın artması ya da azalması, genellikle bir yıllık halka içerisinde yaz odunu katılım payının artmasına ya da azalmasına bağlıdır.

Dağınık traheli geniş yapraklı ağaçların çoğunda özden çevreye doğru özgöl ağırlıkta **artış** görülür. Bu artışta liflerin yapısı etkili olmaktadır. Özgöl ağırlığın artış nedeni ya özden çevreye doğru liflerin çeper kalınlığının artmasından veya çeper kalınlığında az artış olmasına karşın, **liflerin** oranındaki artıştan kaynaklanmaktadır,

Halkalı ve yarı halkalı traheli geniş yapraklı ağaçların çoğunda ise özden çevreye doğru özgöl ağırlıkta **azalma** söz konusudur. Bu ağaçlarda genellikle özden kabuğa doğru gidildikçe yıllık halkalarda ilkbahar odunu oranı artmakta, yaz odunu oranı azalmaktadır.

İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlarda bir yıllık halka içerisindeki özgöl ağırlık ilkbahar odununda en düşük, yaz odununda ise en yüksek değerlerde bulunmaktadır. **Yaz odunu özgöl ağırlığı** özden çevreye doğru **arttığı** halde, **ilkbahar** odunu özgöl ağırlığı **azalmaktadır**.

Birçok iğne yapraklı ağaçta ortalama özgöl ağırlık hem özden çevreye doğru hem de gövdenin dibinden taca doğru belli bir uyum içerisinde değişmekte ve özden çevreye doğru artarken, gövdede dipten taca doğru azalmaktadır.

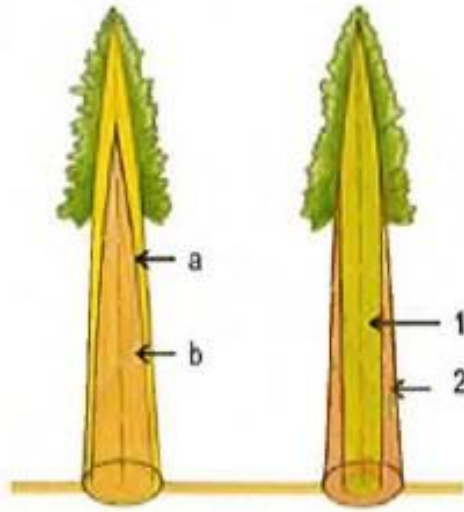
Özgöl Ağırılıkta Değişiklik

Geniş yapraklı ağaçlarda ise ortalama **özüöl ağırlık** değişiminde belli bir uyum yoktur. Özden çevreye doğru artarken, gövde boyunca değişim üç farklı şekilde gerçekleşmektedir. Ortalama özüöl ağırlık gövdenin dibinden yukarı doğru gidildikçe, (1) azalabilir, (2) artabilir, (3) toprağın bir miktar üstündeki yükseklikten sonra, taca doğru artabilir.

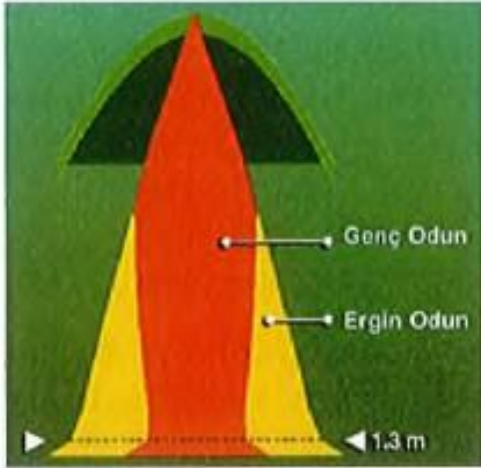
Gövdede özden çevreye doğru ve dipten taca doğru görülen özüöl ağırlık değişiklikleri, direnç değerleri üzerinde de etkilidir. Örneğın; çekme direncinin özden çevreye doğru yaz odununda arttığı halde, ilkbahar odununda azaldığı tespit edilmiştir.

Genç Odun ve Ergin Odun

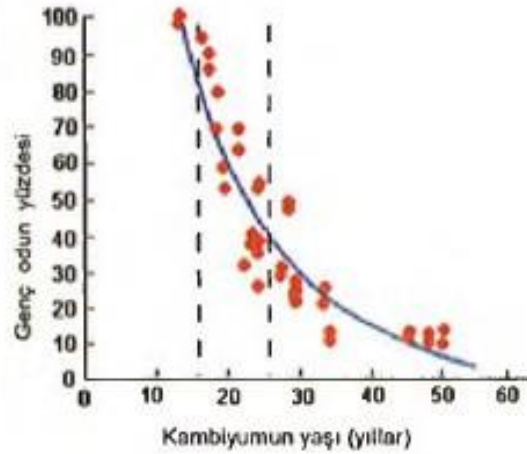
Ağaçların yaşam periyotlarında **gençlik, erginlik ve yaşlılık** safhası olmak üzere **üç önemli safha vardır**. Bu periyotlarda oluşan odun da genç odun, ergin odun ve yaşlı odun olarak tanımlanır. Bu üç safhayı yıllar itibariyle belirlemek güçtür. Genellikle ağaçların ilk 5-20 (25) yılları arasında genç odun, 200 yaşından sonra yaşlı odun, arada kalan periyotta ise ergin odun üretilmektedir. Genç odun periyodunun ağaç türlerine göre değiştiği belirlenmiş, örneğin; güney camlarında 10 yıl olduğu tespit edilmiştir. **Genç odun, genç bir kambiyum tarafından üretilen odundur**. Genç ağaçlarda tüm ksilem genç odundan oluşurken, ileri yaşlardaki ağaçlarda ksilem, özün çevresinde genç odun ve onu çevreleyen ergin odundan oluşmaktadır. Genç odun zonu hücre yapıları ve özellikleri bakımından değişiklik göstermekte, ergin odun zonunda ise bu karakteristikler oldukça stabil kalmaktadır. Odunun yapısı ve özelliklerindeki bu temel farklılıklar dikkate alındığında, ağaç gövdesini farklı yapısal özelliklere sahip **iki kısma** ayırmak gerekmektedir.



(A)



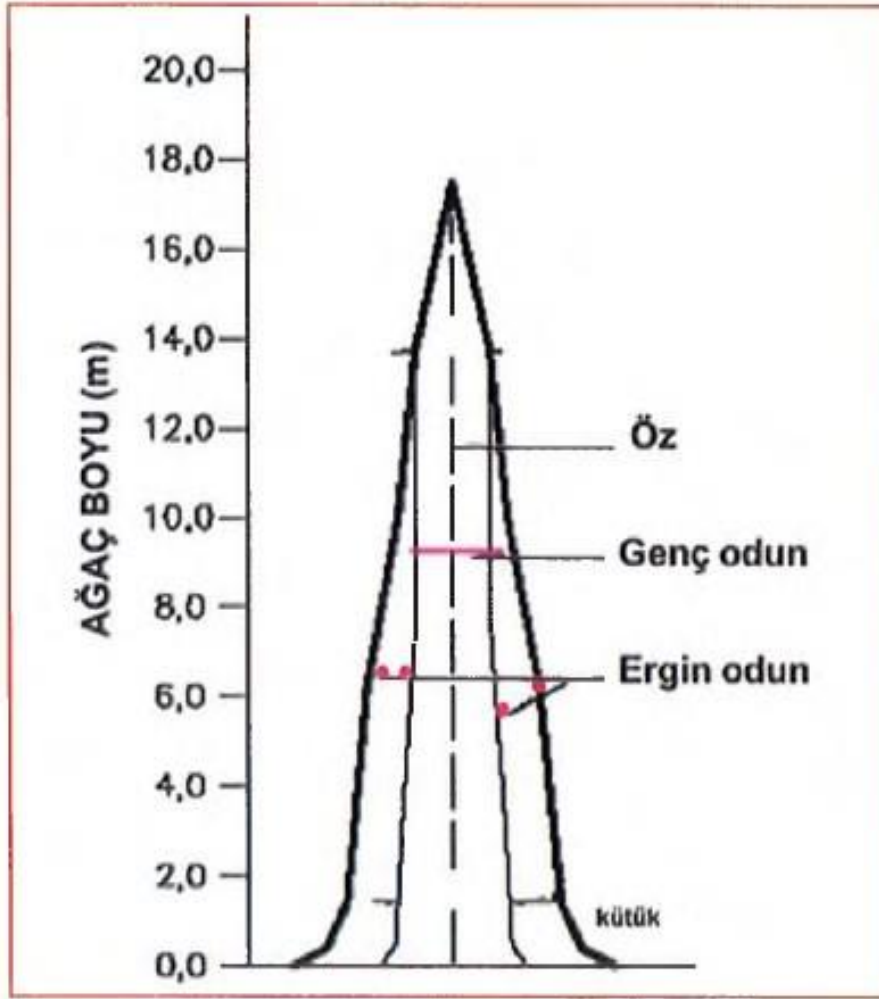
(B)



(C)

Şekil 8.2: (A) Gövdede (a) diri odun (b) öz odun, (1) genç odun, (2) ergin odun bölgeleri. (B) Gövdede genç odun ve ergin odun bölgeleri. (C) Ağacın yaşı arttıkça genç odun yüzdesinin değişimi.

(1) Öze yakın olan ve tacın başladığı yere kadar bir silindir oluşturan bölge genç odundur, bu oluşum öz odun ve diri odun ile karıştırılmamalıdır (Şekil 8.2/A-B, 8.3). Büyümekte olan bir ağaçta yaş ilerledikçe taç kısmı yukarı doğru hareket ederken aynı zamanda çap artımı da gerçekleştiğinden gövde içerisinde genç odun oranı azalmaktadır (Şekil 8.2/C).



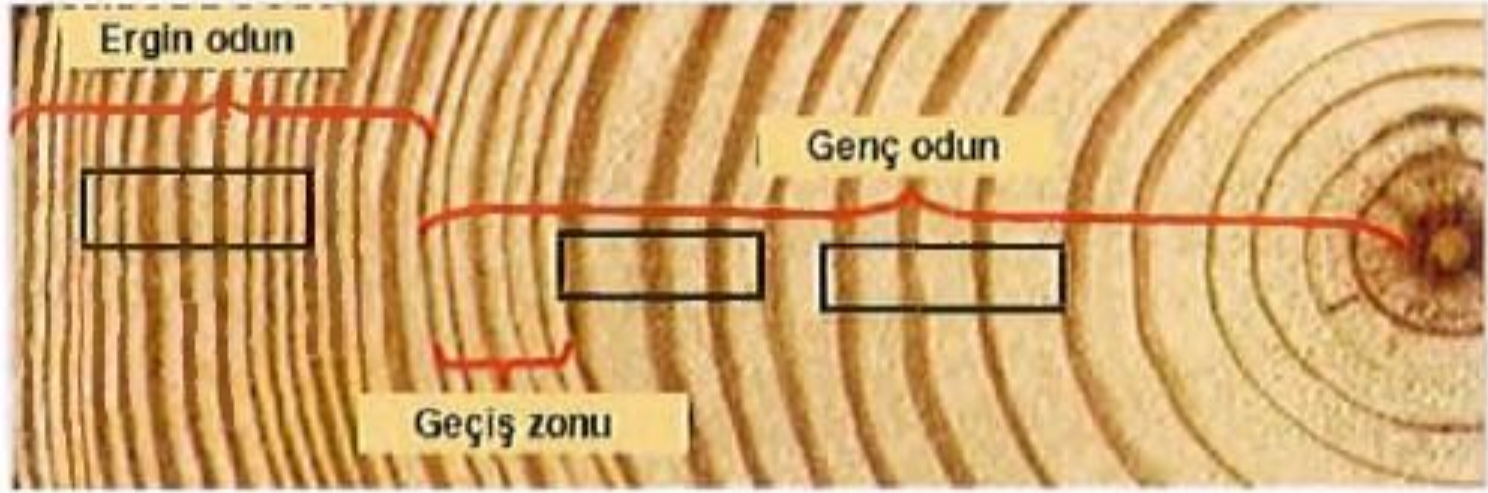
Şekil 8.3: Çam gövdesinde öz, genç odun ve ergin odun konumu.

(2) Genç odun tabakasının dışından kabuğa kadar olan bölge ise ergin odundur (Şekil 8.2/A-B). Genç odun ve ergin odun aynı ağaçta farklı yapısal özelliklere sahip iki bölge olarak düşünülmelidir. Yapısal farklılıklar, lif ve traheid uzunlukları, hücre çeperinin kimyasal kompozisyonu ve özgül ağırlık ile direnç özelliklerinde görülür. Ergin odun, ağaç turunun normal yapısal karakteristiklerini ifade ederken, genç odun hem anatomik hem de fiziksel özellikler bakımından aynı ağaçta olmasına rağmen, ergin odunkinden daha düşük kalite özelliklerine sahiptir.

Genç Odun ve Ergin Odun

Genç odun bölgesinde yıllık halka genişliği fazla, yaz odunu katılım oranı ile yaz odunu yoğunluğu daha az, hücrelerin boyları kısa, selüloz az, lignin fazla, S₂, tabakasında mikrofibril açıları büyük, kristallik derecesi küçük ve yoğunluk düşüktür.

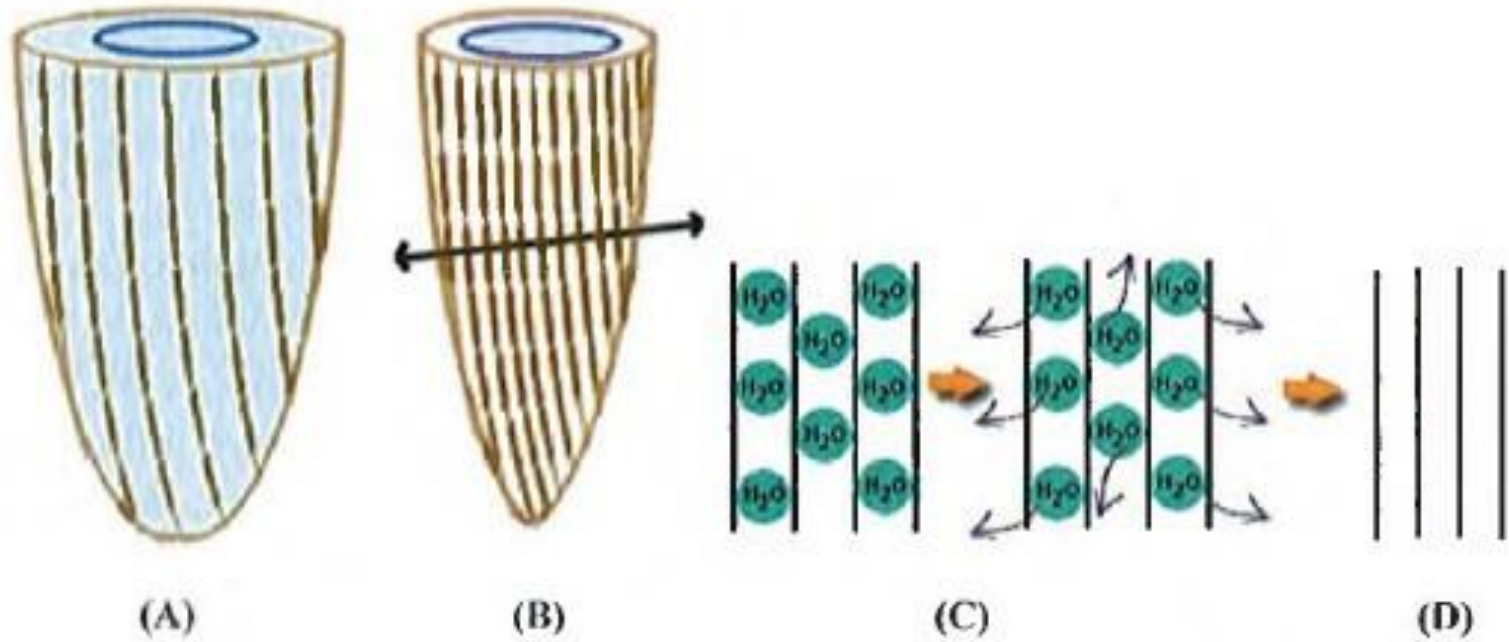
Ergin odun bölgesi ise ağacın gençlik devresinden sonra oluşmaktadır. Ergin odunda ağaç türü için karakteristik olan anatomik yapı ve kimyasal kompozisyon normale dönmektedir.



Şekil 8.4: *Pinus taeda* enine kesitinde genç odun ve ergin odun bölgelerinde yıllık halka genişlikleri ile genç odundan ergin oduna geçiş zonu.

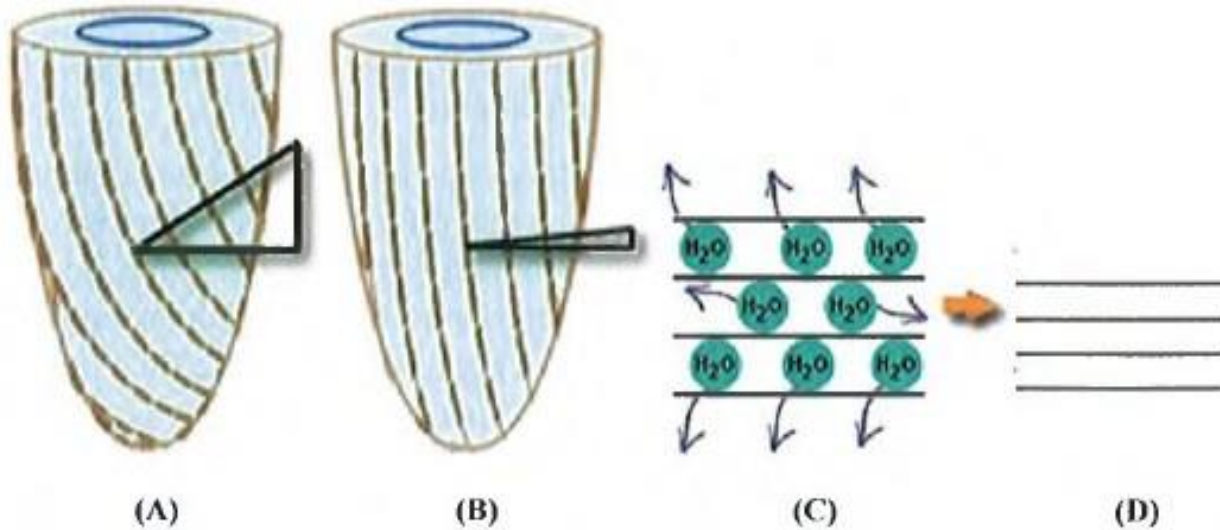
Genç odunun yukarıda sayılan olumsuz özellikleri ağaç malzemedede iki önemli probleme neden olur. (1) Rutubete bağlı olarak liflere paralel yöndeki daralma ve genişleme artar, (2) Aynı ağacın ergin odununa göre direnç değerleri düşer, bazı durumlarda çok düşük direnç değerlerine rastlanabilir.

Özellikle hücrelerin en geniş hücre çeper tabakası olan S_2 tabakasında bulunan ve hemen hemen hücre eksenine paralel uzanan mikrofibriller odunun birçok özelliğini etkilemekte ya da kontrol etmektedir. Bilindiği gibi hücre çeperleri rutubet kaybettiğinde ya da aldığı anda, daralma ve genişleme meydana gelmektedir. Su molekülleri hücre çeperinden uzaklaştırıldığında, ağaç malzeme kurur. Bu durumda S_2 tabakasındaki mikrofibriller birbirlerine yaklaşır ve daralma meydana gelir. Aksine, hücre çeperi rutubet alınca, su molekülleri hücre çeperine taşınır ve S_2 tabakasındaki mikrofibrilleri birbirinden uzaklaştırıp, ağaç malzemenin genişlemesine neden olurlar (Şekil 8.5).



Şekil 8.5: (A) Rutubetli ergin odun ve (B) Kuru ergin odun hücrelerinde S_2 tabakasında mikrofibriller ile hücre çapları , (C) Mikrofibriller arasında su molekülleri ve kuruma ile su moleküllerinin uzaklaşması, (D) Birbirine yaklaşan mikrofibriller.

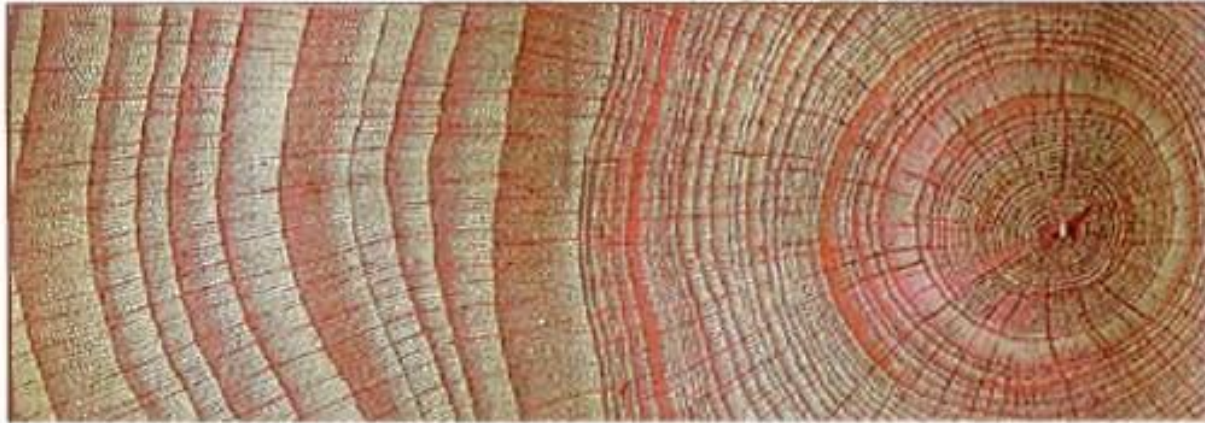
Genç odunda ve basınç odununda, hücre çeperinin S_2 tabakasında mikrofibrillerin yönünde sapma olmakta, mikrofibrillerin hücre eksenine ile yaptıkları açılar büyümektedir. Bu özelliği taşıyan bir malzeme kurutulduğunda boyuna yöndeki daralma % 1-6 oranında ya da daha fazla oranda artar. Oysa ergin odunda boyuna daralma oranı maksimum % 0,1-0,3 kadardır (Şekil 8.6). Liflere paralel yöndeki daralma ya da genişleme miktarında küçük bir artış olması, ağaç malzemede önemli problemler yarattığından, genç odundan kaynaklanacak problemleri bilmek, böyle bir malzemeden üretilecek ağaç malzemede ortaya çıkacak kalite kusurlarından sakınmak için önlemler almaya yardımcı olabilir.



Şekil 8.6: (A) Genç odunda ve (B) ergin odunda boyuna daralma miktarları, (C) Mikrofibriller arasından su moleküllerinin uzaklaşması, (D) birbirine yaklaşan mikrofibriller.

Genç odunun genellikle düşük özelliklere sahip olması, özellikle yapı malzemesi olarak tercih edilmemesi sonucunu doğurmaktadır. Yani bazı değerlendirme alanları için genç ağaçlardan elde olunan ağaç malzemenin kullanımı kısıtlanmış olmaktadır. Çünkü bu malzemede öncelikle aşırı derecede boyuna daralma görülmekte, ardından kerestede çarpılmalar meydana gelmektedir.

Plantasyonlarda yetişen ağaçlarda genç odun, öze yakın kısımlardaki hızlı büyüme ile bağlantılı olabilir. Ancak, geniş yıllık halkaların sadece genç odunla ilişkisinin olduğu düşünülmemelidir. Çünkü genç odun tanımının temelinde hücre yapısı ve odun özelliklerindeki farklılıklar da vardır. Örneğin; büyüme şartları uygun olan bir yetiştirme yerinde ağaçlar hayatlarının herhangi bir devresinde geniş yıllık halkalar oluşturabilirken, ağır rekabet şartları altında büyüyen genç gövdelerde özün yakınındaki bölgede dar yıllık halkalar oluşabilir (Şekil 8.7). Bazı ağaçlarda genç odundan ergin oduna geçiş hızlı olduğu halde, bazılarında yavaştır. Ayrıca, genç odun kalitesindeki düşme iğne yapraklı ağaçlarda, geniş yapraklı ağaçlardan çok daha belirgindir.



Şekil 8.7: *Larix sibirica*'da öz çevresinde dar yıllık halkalar.

8.2 Ağaçlarda Odun Özelliklerini Etkileyen Çevre ve Coğrafi Faktörler

Bir ağaçtaki yapısal değişikliklerden başka aynı meşcere içerisinde yetişen, aynı türe ait iki ağaçta çevre faktörlerinin etkisi ile odun özelliklerinde farklılıklar görülebilir. Çünkü ağaçların dominant karakterde ya da baskı altında olmaları, açıkta veya orman içerisinde yetişmeleri nedeniyle küçük yapısal farklılıkları bulunan odun yapısına sahip olmaları söz konusudur. Ayrıca, ortalama sıcaklık ve yağış farklılıklarının bulunduğu coğrafi bölgeler, aynı türün ağaçları arasında değişimlere neden olabilmektedir. Örneğin;

- Vejetasyon mevsiminde yağışların fazla ya da az olması yıllık halka genişliğini etkileyebilir. Yıllık halka genişliğindeki farklılık, özgül ağırlığın değişmesine neden olacaktır.

- Yağışla birlikte yetiştirme bölgesi enlem dereceleri de özgül ağırlık üzerinde etkili olmaktadır. Vejetasyon mevsiminde özellikle yazın fazla yağış alan bölgelerde kuzeyden güneye gidildiğinde, geniş yapraklı ağaçlarda özgül ağırlığın arttığı tespit edilmiştir.
- Enlem ve yükseltinin aynı türün odun özelliklerinde önemli değişikliklere neden olduğu görülmüş, ancak burada ortalama sıcaklık ve rutubet farklılıkları birbirini etkilediğinden, hangisinin önemli olduğu konusunda kesin bir ifade kullanılamamıştır. Örneğin; Douglas göknarının doğal yayılışının görüldüğü enlem ve yükseltiler ile traheid uzunlukları yakından ilgilidir. Douglas göknarında en uzun ortalama traheid boyu sahil bölgelerinde yetişenlerde, en kısa ortalama traheid boyu ise iç kısımlarda dağlık bölgelerde yetişenlerde tespit edilmiştir. Yükseklerde yetişen Douglas göknarında yaz odun oranı azaldığından, özgül ağırlığı düşmektedir. Ayrıca, araştırmalara göre, Douglas göknarı özgül ağırlığında enleme bağlı olarak yaklaşık % 5, yetiştirme ortamının yükseltisine bağlı olarak yaklaşık % 1 oranında değişiklik tespit edilmiştir.
- Tohum orijinleri de odun özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. *Picea abies*'te yapılan araştırmalar, Almanya orijinli tohumlardan yetiştirilmiş meşcerelerden çıkarılan ağaçlardan sağlanan selülozun, Norveç orijinli meşcerelerden elde edilen selülozdan % 20-25 kadar daha fazla olduğunu göstermiştir.

Çevre ve coğrafik faktörlerin odunun bazı karakteristik özellikleri üzerindeki etkileri silvikültürel önemler ile kontrol altına alınabilir. Örneğin; ağaçlar arası mesafeyi ayarlayarak veya suni budama yaparak ya da ihtiyaç duyulan besin ve su miktarının sağlanmasıyla büyüme teşvik edilerek bazı odun özellikleri üzerinde önemli değişiklikler yapılabilmektedir.

İğne yapraklı ağaçlarda taç büyüklüğü ve ağaçlar arası mesafe, büyüme hızı (yani yıllık halka genişliği) üzerinde önemli bir etkidir. Meşcerede dominant durumdaki ve baskı altındaki iğne yapraklı ağaçlar karşılaştırıldığında, özgül ağırlığın aynı yaşta, fakat baskı altında olanlarda arttığı görülmüştür. Çünkü dominant durumdaki iğne yapraklı ağaçlarda daha büyük çaplı ve daha kısa traheidler oluşmakta, özgül ağırlık da aynı yaşta ve baskı altındaki ağaçlardan daha düşük olmaktadır.

Meşcerede ağaçlar arası mesafeyi kontrol ederek arzu edilen genişlikte yıllık halka oluşumu sağlanabilir. Ilıman iklimlerde iğne yapraklı genç meşcerelerde aralama kesimleri ile optimum taç aralığı temin edilerek, ilkbahar odunu tabakası genişliği artırılmakta ve özgül ağırlık azaltılabilmektedir. Diğer taraftan çok yaşlı

iğne yapraklı meşcerelerde yapılan aralamalar, birçok ağaç türünde yaz odunu oranı ve dolayısıyla özgül ağırlık artışına neden olmaktadır. Sıcak iklimlerde yetişen *Pinus radiata* plantasyonlarında aralama kesimleri, yıllık halka genişliğini artırdığı halde, özgül ağırlıkta değişme olmamaktadır. Geniş yapraklı ağaçlardan *Eucalyptus regnans* meşceresinde yapılan aralama kesimlerinin ise lif boyunu ve özgül ağırlığı arttırdığı belirlenmiştir.

Yetiştirme ortamı toprağında besin elementleri optimum büyümeyi sağlayamayacak kadar azsa, gübreleme yapılarak büyüme hızı artırılabilir. Gübrelemeden başka, meşcerede yapılacak aralamalar da büyüme hızını orta derecede ya da daha fazla oranda artırmaktadır. Örneğin; Kuzey Avrupa'da ladin ve çamlarda gübreleme sonrası hacimde % 30-50 artış meydana geldiği anlaşılmıştır. Fakat hacim arttığında ortalama özgül ağırlık % 5 azalırken, kuru odun hasılatı hektarda m³ olarak % 35'e kadar yükselmekte ve hücrelerde mikro çekme direnci % 20 azalma göstermektedir. Gübreleme ile ilgili yapılan diğer çalışmalarda *Populus deltoides*'te özgül ağırlık % 3 azalırken lif boyu değişmemiş, *Platanus occidentalis* ve *Liriodendron tulipifera*'da ise gübreleme sonrası hem özgül ağırlıkta hem de lif boyunda değişme görülmemiştir. Kesin bir sonuca varabilmek için daha ileri araştırmalar gerektiği anlaşılmaktadır.

Yağmur suyu ya da taban suyu seviyesi, aşağıda kısaca özetlendiği gibi yaz odunu oranını etkilemektedir:

- İğne yapraklı ağaçlarda yapılan araştırmalar; vejetasyon mevsiminde optimum su bulunmasının hem ilkbahar hem de yaz odunu gelişmesini artırdığını, maksimum yaz odunu oranına ve yüksek özgül ağırlığa neden olduğunu ortaya çıkarmıştır. Optimum rutubet şartlarında yaz odunu miktarındaki artış, yaz odunu tabakasının başlangıcında nispeten büyük çaplı ve kalın çeperli hücrelerin üretiminde artış olmasından kaynaklanmaktadır.
- Vejetasyon mevsiminin başında çok az su bulunması, ağacın taç kısmında büyüme faaliyetini yavaşlatarak oksin (auxin) hormonu üretimini azaltır. Sonuç olarak da yaz odunu oluşumunun erken başlamasına ve yıllık hal-kanın daralmasına neden olur.
- Vejetasyon mevsimi boyunca kuraklık olması da yaz odunu oranını azaltır. Çünkü bu şartlar altında tek tip yaz odunu hücreleri üretilmektedir. İğne yapraklı ağaçların hiçbirinde rutubete karşı bu anlamda reaksiyon görülmemekte, ayrıca yaz yağmurları özgül ağırlığın azalmasına neden olmaktadır.

8.3. Aynı Ağaç Türleri Arasında Odun Yapısında Değişiklikler

Bir ağacın odun özelliklerindeki değişkenlik esas itibariyle kambiyumun yaşından ve çevre şartlarının kambiyum faaliyeti üzerine yaptığı etkidен ileri gelmektedir. Değişmeler hücre boyutlarında, hücre çeperinin kimyasal yapısında, odunun fiziksel özelliklerinde görülmektedir.

8.3.1 Bir Yıllık Halkada Hücre Boyutlarında Değişiklik

Bilindiği gibi iğne yapraklı ağaçlarda traheidler ve geniş yapraklı ağaçlarda lifler ilkbahar odununda en kısa, yaz odununda en uzundur. Yıllık halkanın sonunda bu hücrelerin uzunlukları yine azalmağa başlar (Şekil 8.1/A). Ilıman iklimlerde yetişen iğne yapraklı ağaçlarda ilkbahar odunundan yaz odununa geçişte traheid uzunluğunda artış % 10-15, tropik iğne yapraklılarda ise % 5 kadardır. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş hızlı olan *Pseudotsuga menziesii*'de yaz odununda uzun traheidler bulunur. Geçişin yavaş (tedrici) olduğu *Pinus radiata*'da ise yaz odununda traheid boyundaki artış daire testere dişine benzeyen bir grafik gibidir ve daha yavaş bir traheid boyu artışı söz konusu olmaktadır.

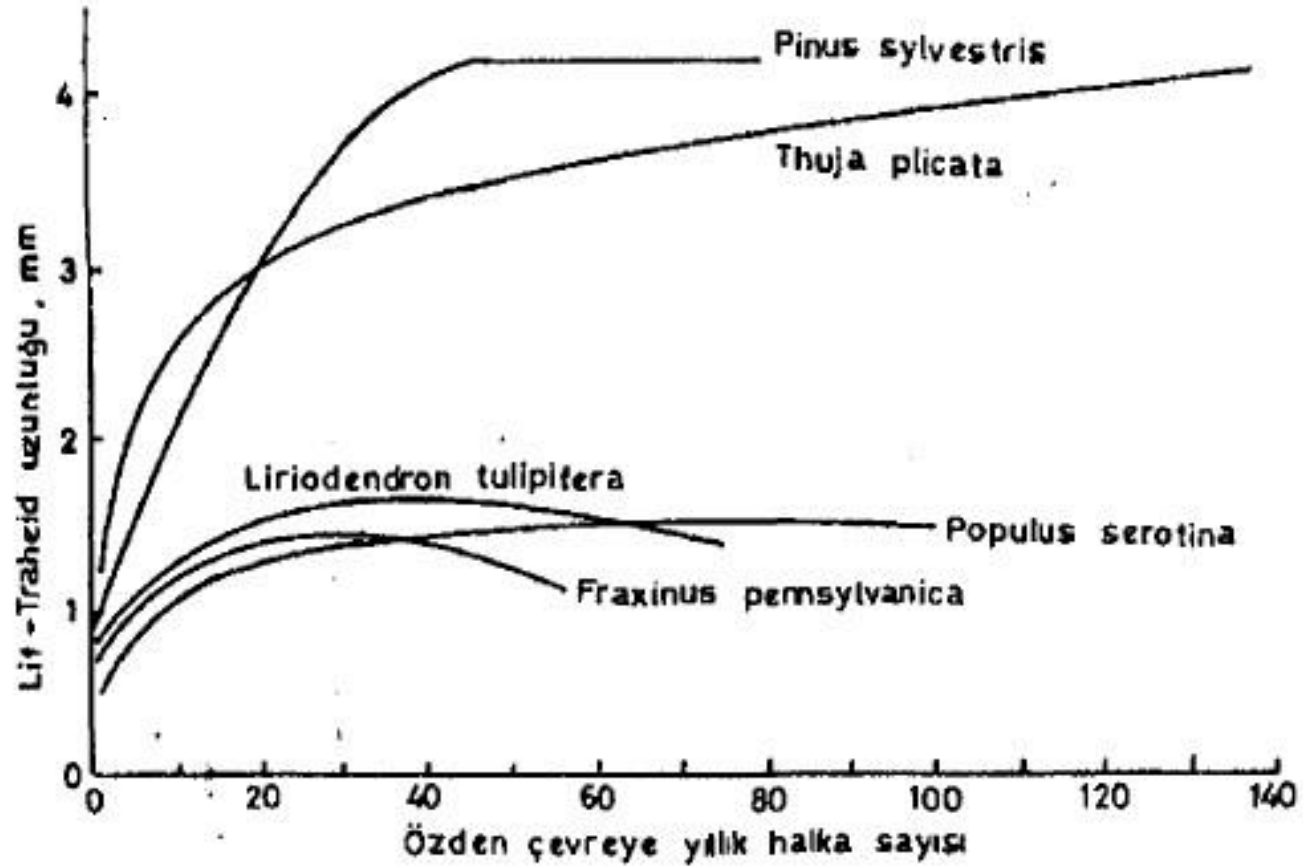
Geniş yapraklı ağaçlarda bir yıllık halka içerisinde lif uzunluğu değişim grafiği halkalı traheli ağaçlarda, dağınık trahelilere nazaran daha dik bir seyir göstermektedir. Bununla beraber geniş yapraklı ağaçlarda ilkbahar odunundan yaz odununa geçişte lif boyu değişimi, iğne yapraklı ağaçlardan çok daha büyüktür. Kısa lifli geniş yapraklı ağaçlarda artış % 100 olduğu halde, uzun lifli yapraklı ağaçlarda artış % 30 kadardır (Şekil 8.1/B).

Genç odundaki yıllık halkalarda hücre boyu değişimleri, aynı ağaçtaki ergin odundaki seyri takip etmekte, fakat grafikleri çizildiğinde eğriler biraz daha yatık olmaktadır. Bununla beraber grafiğin gidişi *Quercus falcata* ve *Quercus nigra* genç odununda içbükey iken, ergin odunda dışbükey şekildedir. Yine halkalı traheli ağaçlardan *Fraxinus pennsylvanica*'da lif boyu gidişinin yıllık halka içerisinde bir parabol çizdiği tespit edilmiştir. Halkalı traheli ağaçlarda en kısa trahelerin yıllık halkanın orta kısmında bulunduğu anlaşılmaktadır. Dağınık traheli ağaçlarda bir yıllık halka içerisinde trahelerin uzunluğu sabit kalmaktadır. Hafif bir artış görülse de bunun kambiyumun yaşlanmasıyla iğimsi inisiyallerde görülen boy artışından ileri geldiği tahmin edilmektedir.

8.3.2 Özden Çevreye Doğru Hücre Boyutlarında Değişiklik

Özden çevreye doğru hücre boyutlarında meydana gelen değişimler ağacın yaşlanması sonucu kambiyum inisiyallerindeki farklılaşmanın bir sonucudur. Kambiyumun yaşlanması ile hücre boyutları, hücre çeper kalınlığı, mikrofibril açısı ve kimyasal kompozisyon etkilenmekte, sonuç olarak da bu değişiklikler odunun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkili olmakta ve özgül ağırlık, daralma miktarı, eğilme direnci ile elastikiyet modülü etkilenmektedir.

Hücre boylarındaki değişimleri *Pinus sylvestris*'te ilk inceleyen 1872 yılında Karl Sanio adlı bir Alman araştırmacıdır. Özden çevreye doğru hücre uzunluğu değişimi ile ilgili olarak Şekil 8.8'de verilen grafik tetkik edildiğinde hücre boylarının iğne yapraklı ağaçlarda, geniş yapraklı ağaçlardakinden daha uzun olduğu görülmektedir. Ancak, grafiklerin genel gidişinde bir fark yoktur. Öze yakın olan ilk yıllarda genç odun özellikleri söz konusu olduğundan, hücre boyları kısa olup, giderek hızlı bir artış görülür. Daha sonra kambiyum olgunlaştığında stabil bir safha başlamakta, bu safhada hücre boylarında yavaş bir artış görülmektedir. Genellikle genç odun safhası ilk 10-20 yıl arasındaki periyot olarak kabul edilmekle beraber, genç odun süresi ağacın türü ile de yakından ilgili olduğundan, en az 5 yıl, en çok 60 yıl sürebilir. Şekil 8.8'deki grafiklerde görüldüğü gibi olgun kambiyumlarda ağaç türüne bağlı olarak hücre boylarındaki değişimleri üç grupta toplamak mümkündür: (a) Hücre boyu devamlı fakat yavaş artan, (b) Hücre boyu genç odundan sonraki safhada artan, (c) Hücre boyu önce artan sonra azalan gruplar.



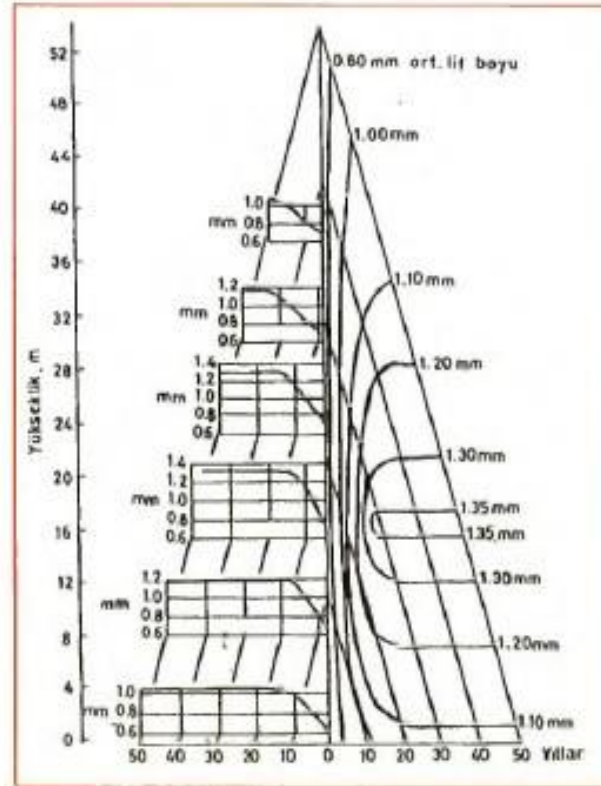
Şekil 8.8: Çeşitli ağaçlarda özden çevreye doğru lif ya da traheid boylarında değişim.

Tablo 8.1: Ergin Odunda Hücre Boyu Artışı

İğne Yapraklı Ağaçlar	Hücre Boylarında Değişim Şekli	Geniş Yapraklı Ağaçlar
Devamlı fakat yavaş artış gösteren ağaçlar		
<i>Larix spp.</i> <i>Pinus densiflora</i> <i>Pinus radiata</i> <i>Pinus sylvestris</i> <i>Pseudotsuga menziesii</i> <i>Sequoia sempervirens</i>		<i>Carya ovata</i> <i>Eucalyptus grandis</i> <i>Fagus crenata</i> <i>Populus serotina</i>
Devamlı artış gösteren ağaçlar		
<i>Abies pindrow</i> <i>Picea sitchensis</i> <i>Pinus ponderosa</i> <i>Pinus strobus</i> <i>Thuja plicata</i>		<i>Acer saccharum</i> <i>Acer pseudoplatanus</i> <i>Alnus glutinosa</i> <i>Betula pubescens</i>
Parabolik artış gösteren ağaçlar		
<i>Chamaecyparis obtusa</i>		<i>Fraxinus pennsylvanica</i> <i>Liriodendron tulipifera</i> <i>Platanus occidentalis</i> <i>Salix nigra</i>

8.3.3 Ağaç Gövdesi Boyunca Hücre Boyutlarında Değişiklik

Gövde odunu. Gövde odununda ağacın dibinden yukarıya (taca) doğru hücrelerin uzunluk ve çapları incelendiğinde, iğne yapraklı ağaç traheidleri ile geniş yapraklı ağaç liflerinin boylarının genel olarak toprak seviyesinden tacın başladığı yüksekliğe kadar arttığı, daha sonra yukarıya doğru çıkıldıkça tekrar bir azalma görüldüğü anlaşılmaktadır. Amerika'da *Pinus resinosa* ve Avustralya'da *Eucalyptus regnans*'ta yapılan araştırmalar benzer sonuçlar vermiştir. Tarafımızdan *Picea orientalis* ve *Pinus nigra* var. *pallasiana*'da yapılan araştırmalarda da benzer eğilim görülmüştür (Şekil 8.9).



Şekil 8.9: *Eucalyptus regnans* gövdesinde radyal ve boyuna yönlere lif uzunluğu değişimi.

Şekil 8.9'dan anlaşılabacağı gibi en uzun lifler 15-16 m'ler arasında ve ağacın çevresine yakın kısımlarda bulunmaktadır. Ancak traheid ve trahe boylarının bazı türlerde gövde dibinden yukarıya doğru devamlı azaldığı (*Abies concolor*, *Thuja*

plicata), bazılarında da (*Pinus ponderosa*, *Carya ovata*, *Liriodendron tulifipera* ve *Platanus occidentalis*) arttığı tespit edilmiştir. Ancak trahelerin boyları zaten kısa olduğu için istatistik değerlendirmeler kısıtlıdır.

Ağaç gövdesi boyunca hücre çaplarındaki değişimlere bakıldığında, iğne yapraklı ağaçlarda traheidlerde çaplar önce artmakta, sonra azalmaktadır. Geniş yapraklı ağaçlarda ise lif çapları ağaçta dipten taca doğru azalma göstermektedir.

Hücre çeper kalınlığı *Araucaria angustifolia*'da alt tomrukta hafif artmakta, taca doğru çıkıldıkça azalmaktadır. *Populus* sp. ve *Quercus phellos*'da yapılan araştırmalar liflerde çeper kalınlığının taca doğru çıktıkça azalma gösterdiği merkezindedir.

Dal odunu. Hücre boyları dal odununda bulunduğu bölgeye ve gövde odununa göre farklılık gösterebilir. İğne yapraklı ağaçlardan *Pinus resinosa* dallarında traheidlerin uzunlukları aynı yükseklikte normal odundaki traheidlerden daha kısadır. Bazen uzunluk farkı % 50 kadar olabilir. Traheid boyları, dal uzunluğunun 1/5-1/4'ünde, dalın dip kısmındakine göre % 10 artış gösterirken, dal uçlarında dip kısma göre % 40 daha kısa olduğu belirlenmiştir. Traheid çapları ise dal odununda gövde odunundan % 25 daha küçüktür. Geniş yapraklı ağaçlarda dallarda lif boylarının gövdedekilerden farklı olup olmadığı konusundaki bilgiler sınırlıdır. Bir araştırmada % 75 daha uzun olduğu bildirilmiştir.

Kök odunu. İğne yapraklı ağaçların köklerindeki traheidlerin boyları kök boğazında kısadır. Ancak yan köklerde kök boğazından uzaklaştıkça traheid boyları artmaktadır. Örneğin; Amerikan güney çamlarında kazık kök kısmında başlangıçta kısa mesafede traheid boyları arttığı halde, kök ucuna doğru gidildikçe azalmaktadır. Genel olarak düşünülecek olursa, kök odununda traheidler gövdedekinden % 50 daha uzun, teget çapları % 30 daha geniş ve çeper kalınlıkları gövde odunundan % 15 daha incedir. Geniş yapraklı ağaç köklerindeki trahelerin uzunluklarının ise gövdedekinden % 10 daha kısa olduğu da yapılan araştırmalarda belirlenmiştir.

8.3.4 Hücre Çeperi Kimyasal Yapısında Değişiklik

Selüloz. *Pseudotsuga menziesii*'de yapılan araştırmalara göre; bir yıllık halka içerisinde selüloz miktarı ilkbahar odunu tabakasının ortasında % 40'a kadar inmekte, yaz odunu tabakasının orta kısmında ise en fazla % 50 değerine ulaşmaktadır. *Pinus resinosa*'daki araştırmalar da aynı sonucu vermiştir. Selüloz miktarı özden çevreye doğru artmaktadır. Yani ağacın yaşı arttıkça selüloz miktarında artış görülmekte, artış oranı % 3-20 arasında olup, ağaç türleri ile ilgili olarak değişmektedir.

Hemiselüloz. *Pinus resinosa*'da bir yıllık halka içerisinde ilkbahar odununda hemiselüloz miktarı yaz odunundan % 1-2 kadar fazla bulunmuştur. *P. radiata*'da

hemiselüloz miktarında taçtan aşağıya doğru ve özden çevreye doğru % 3 oranında azalma tespit edilmiştir.

Lignin. Bir yıllık halka içerisindeki lignin değişmesi beş ağaç türünde (*Abies amabilis*, *Picea sitchensis*, *Pseudotsuga menziesii*, *Thuja plicata* ve *Quercus coccinea*'da) incelenmiş, yıllık halkanın ilkbahar odunu tabakasında, yaz odununa göre % 1-5 oranında yüksek lignin miktarları bulunmuştur. Özden çevreye doğru gidildiğinde iğne yapraklı ağaçlarda lignin miktarı azalmakta, fark % 1,5-3,0 oranında olmaktadır. Ağaç gövdesi boyunca dipten taca doğru inceleme yapıldığında, aynı yıllık halkada az miktarda arttığı görülmüştür. Geniş yapraklı ağaçlarla ilgili araştırmalar kısıtlı olmakla beraber genel eğilim gövdede hem radyal hem de boyuna yönde lignin miktarında fazla değişme olmadığı merkezindedir.

Ekstraktif maddeler. Reçine hariç ekstraktif madde miktarı esas itibariyle öz odun oranı ile ilgili olarak değişmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda reçine miktarı gövdenin dip kısmında ve öze yakın kısımda en yüksektir. Ancak, reçine miktarı gövdede özden çevreye doğru ve dipten yukarıya doğru azalır. Reçine miktarında ikinci bir artış, ağacın tepce kısmında ve öz odunun dış kısmına yakın bölgede görülür. Reçine miktarı diri odunda, öz odundan çok daha düşüktür. Ayrıca yaz odununda, ilkbahar odunundan daha fazla miktarda reçine bulunmasının nedeni, reçine kanallarının yaz odununda toplanmış olmasından ileri gelmektedir. Ekstraktif maddelerin miktarı özden itibaren öz odununun dış tarafına doğru artış göstermektedir. Örneğin *Thuja plicata*'da Thujaplicin maddesinde olduğu gibi.

8.3.5 Fiziksel Özelliklerde Değişiklik

Odunun fiziksel özellikleri hücre yapısı ve hücre tiplerinin ksileme katılım oranı ile yakından ilgilidir. Fiziksel özelliklerden en önemlisi özgül ağırlıktır. Birim odun hacimdeki hücre çeper maddesi miktarı, özgül ağırlık olarak tanımlanır. Özgül ağırlık odunun birçok fiziksel özelliğinin önemli bir göstergesidir. Bu nedenle ağaçların özgül ağırlıkları hakkında çok sayıda araştırma yapılmıştır. Çünkü özgül ağırlık hem kolayca ölçülebilmekte hem hücre strüktürü hem de fiziksel özellikler ile yakın ilişkisi bulunmaktadır. Özgül ağırlığı belirleyen hücre çeper maddesinin hücre çapları, hücre uzunlukları, hücre çeper kalınlığı ve çeşitli hücre tiplerinin odun hacmindeki oranları ağaçta bulundukları yerle ilgili olarak değiştiği unutulmamalıdır.

Bir yıllık halka içerisinde özgül ağırlıktaki değişiklik yeknesak olmayıp, farklılık göstermektedir. Farklılık, bir yıllık halkada mevcut hücre çeper maddesi miktarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. *Pinus palustris*'in Karbon-14 metodu kullanılarak beta-partikül radyasyonu ile tayin edilen özgül ağırlık grafiğinde sinüzoidal

bir seyir söz konusudur. Bu ağaç türünde özgül ağırlık bakımından minimum değer ($0,3 \text{ g/cm}^3$) ilkbahar odununda, maksimum değer ($0,7-0,9 \text{ g/cm}^3$) ise yaz odununda görülmüştür. İlkbahar odununda -yaz odununa geçiş hızlı olduğu takdirde grafikteki eğimin gidişi dik, yavaş olduğu takdirde orta derecededir. *Picea sitchensis*'te ilkbahar odunu ile yaz odunu özgül ağırlıkları arasındaki oran da minimum olup 2,5'tir. *Pinus palustris*'te ise bu oran maksimum olup 5,0 olarak verilmektedir. *Pinus sylvestris*'te $0,92/0,30=3,1$ kadar, *Pinus pinea*'da ise 1,3'tür.

Geniş yapraklı ağaçlarda da özgül ağırlıkta değişme modeli bir yıllık halka içerisinde yine ilkbahar odununda minimum, yaz odununda maksimumdur. Bu durum halkalı traheli ve yarı halkalı traheli ağaçlarda daha belirgin olarak tespit edilmiştir. Yukarıda özetlenen araştırmalara dayanarak özden çevreye doğru özgül ağırlık değişimleri Tablo 8.2'de verilmiştir.

Tablo 8.2: Özgöl Ağırlığın Üç Farklı Tipte Özden Çevreye Doğru Değişmesi

İğne Yapraklı Ağaçlar	Geniş Yapraklı Ağaçlar
Tip I Özgöl Ağırlıkları Özden Çevreye Doğru Artan Ağaç Türleri	
<i>Larix europea</i> <i>Picea abies</i> <i>Pinus elliotii</i> <i>Pinus resinosa</i> <i>Pinus sylvestris</i> <i>Pseudotsuga menziesii</i>	<i>Betula verrucosa</i> <i>Carya tomentosa</i> <i>Eucalyptus grandis</i> <i>Liquidambar styraciflua</i> <i>Populus deltoides</i> <i>Tilia americana</i>
Tip II Özgöl Ağırlıkları Özden Çevreye Doğru Önce Azalan, Sonra Artan Ağaç Türleri	
<i>Abies nordmanniana</i> <i>Picea sitchensis</i> <i>Pinus radiata</i> <i>Pinus resinosa</i> <i>Pseudotsuga menziesii</i>	<i>Populus trichocarpa</i> <i>Thuja plicata</i> <i>Tsuga heterophylla</i>
Tip III Özgöl Ağırlıkları Özden Çevreye Azalan Ağaç Türleri	
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> <i>Cryptomeria japonica</i> <i>Pinus echinata</i> <i>Pseudotsuga menziesii</i>	<i>Acer saccharum</i> <i>Carya ovata</i> <i>Fagus sylvatica</i> <i>Juglans nigra</i> <i>Populus hybrids</i> <i>Prunus cerotina</i> <i>Quercus falcata</i>