

KIZILÇAM'DA (*Pinus brutia* Ten.) ODUN YOĞUNLUĞUNUN X-RAY YOĞUNLUK ÖLÇER İLE BELİRLENMESİ

Bilgin GÜLLER

SDÜ Orman Fakültesi, 32260, ISPARTA

ÖZET

Dikili haldeki ağaçlardan alınan artım kalemleri ile yoğunluk ölçümleri için farklı metotlar geliştirilmiş olmakla birlikte, yıllık halka bileşenleri bazında ayrıntılı ölçüm yapılmasına olanak sağlayan sınırlı sayıda yöntem vardır. X-ray yoğunluk ölçüm cihazı (densitometre) kullanılması bu amaçla literatürde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntem diğerlerine göre kısa zamanda daha çok sayıda örnek ölçülmesini sağlar. Ayrıca hem ortalama odun yoğunluğu, hem de yıllık halka ve yıllık halka bileşenleri (İlkbahar ve yaz odunu yoğunluklarının, yıllık halka genişliği, ilkbahar, yaz odunu genişliği vb.) daha sağlıklı belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Çalışmada kızılçam için x-ışınlarını zayıflatma katsayısı $3.03 \text{ cm}^2/\text{g}$ olarak belirlenmiştir. Ortalama odun yoğunluğu 488 kgm^{-3} , en düşük yaz odunu yoğunluk değeri 450 kgm^{-3} , ilkbahar ve yaz odunu yoğunluk değerleri sırasıyla 380 kgm^{-3} ve 622 kgm^{-3} olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kızılçam, Odun yoğunluğu, X-ışını, Yıllık halka

DETERMINING WOOD DENSITY OF TURKISH RED PINE (*Pinus brutia* Ten.) BY USING X-RAY DENSITOMETER

ABSTRACT

Over the years, different methods have been developed to determine wood density but, only X-ray densitometry has generally found suitable for determining wood density variations in annual rings. This method was first introduced to the field of wood analysis by Polge in 1963, and was further developed by various researchers. During the past two decades direct scanning X-ray densitometry systems have been developed, at which the attenuation of an X-ray beam passing through the wood specimen is directly measured by a detector. Although being reliable, X-ray densitometry has some disadvantages such as relatively high equipment costs, time-consuming preparation and measuring procedures. In this study, mass attenuation coefficient of *Pinus brutia* determined as $3.03 \text{ cm}^2/\text{g}$. Mean wood density found as 488 kgm^{-3} , minimum latewood density, Mean earlywood density and latewood density measured as 450 kgm^{-3} , 380 kgm^{-3} and 622 kgm^{-3} respectively.

Keywords: Turkish red pine, Wood density, X-ray, Annual ring

1. GİRİŞ

İğne yapraklı ağaçlarda odun yoğunluğu, birçok etkene bağlı olarak 0.25 ile 0.70 g/cm³ arasında değişmektedir (Zobel ve Van Buijtenen, 1989). Odun yoğunluğu, bir ağaç türünün odun özelliklerini ve odunun kullanım alanını belirleyen önemli bir özelliktir. Bir bakıma yoğunluk, birçok başka odun karakterinin önemli bir göstergesidir. Çünkü odun yoğunluğu ile odunun birçok başka özellikleri (anatomik, mekanik, kurutma, işlenme özellikleri vb.) arasında istatistiksel önemde doğrusal ilişkiler bulunmaktadır (Zobel ve Van Buijtenen, 1989; Simpson, 1993; Haygreen ve Bowyer, 1996; Bozkurt ve Erdin, 2000; Koubaa vd., 2002).

Milli Ağaç Islahı ve Tohum Üretimi Programı kapsamında, kızılçam türü, belirlenen öncelikli türlerin en başında yer almaktadır (Öztürk vd., 2008). Buna göre genetik seleksiyonlar yapmak üzere döl denemeleri tesis edilmektedir. Bir ağaç türünün genetik ıslah çalışmaları yapılırken, odun yoğunluğu diğer özellikler için bir gösterge olduğundan, büyüme özelliklerine ek olarak odun özellikleriyle ilgili genetik parametreler de öncelikle bilinmelidir (Zobel ve van Buijtenen, 1989; Hannrup vd., 2000; Ivkovich vd., 2002; Kaya vd., 2003).

Ülkemizde kızılçam üzerinde bugüne kadar yapılan genetik ıslah araştırmalarında daha çok büyüme hızı ve gövde karakterleri (düzgünlük, dal özellikleri vb) ele alınmıştır. Çünkü Ülkemizde şu anda, sayılan bu karakterlerden odun yoğunluğu hariç tüm karakterler yaşayan ağaç üzerinde ölçülebilmektedir. Odun yoğunluğu ise ağaç kesilerek alınan örnekler ile ölçülmektedir. Ağacın kesilmesi suretiyle odun yoğunluğunun tahmin edilmesi oldukça yüksek işgücü gerektirmekte ve en önemlisi tesis edilen denemelerde kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle tüm dünyada yalnız ağaç ıslahı çalışmalarında değil odun özelliklerinin belirlendiği pek çok çalışmada, daha az işgücü ile ve ağaç kesilmeksizin odun yoğunluğu belirlenmesinde artım kalemleri kullanılmaktadır.

Artım kalemleri üzerinde yoğunluk ölçümleri için farklı yöntemler geliştirilmiş olmakla birlikte, yıllık halka bazında ayrıntılı ölçüm yapılmasına olanak sağlayan yöntem; X-ray yoğunluk ölçüm cihazı (densitometre) kullanılmasıdır. X-ray ile yoğunluk ölçümü yapan cihazlarda en basit ifade ile örnek x ışınları ile ışınlanır, örnekten geçen ışınlar tespit edilir ve Beer kanuna göre odun yoğunluğu tahmin edilir (Lindeberg, 2004). Odun gibi heterojen maddelerde ışınların zayıflama (azalma) katsayısı (attenuation coefficient) hem ışınların enerjisine hem de örneğin kimyasal kompozisyonuna bağlıdır. Işımanın yüksek enerjisi ve odunun kimyasal bileşenlerinin düşük atom numaraları nedeniyle odundan geçen x-ışınlarının azalması olayının temel sebebi Compton¹ etkisiyle açıklanmaktadır ve odunun yoğunluğu ile ilişkilidir (Bucur, 2003). Radyoaktif yöntemlerle odun kusurlarının belirlenmesi ile ilgili çalışmalar 1930'lardan sonra başlamıştır (Worschitz, 1932; Fischer ve Tasker, 1940). Odun yoğunluğunun belirlenmesinde önceleri β ve γ ışınları kullanılan yöntemler geliştirilmiş daha sonra x ışınları kullanılmıştır (Polge,

¹ Compton etkisi :Madde üzerine isabet eden fotonun dalga boyu değişimi, maddenin elektronlarıyla karşılıklı etki esnasında fotonun bir miktar enerjisinin ve momentumunun elektronlara geçmesi suretiyle ortaya çıkar. Bu esnada, Röntgen ışını bir miktar enerjisini ve momentumunu elektronlara aktarmaktadır (Compton,1923).

1978). Odunda yoğunluk ölçümlerinde X- ışınları kullanımı ile ilgili ilk çalışmalar Polge tarafından rapor edilmiştir (Polge, 1963;1966;1978). Lenz vd., (1976) bu temeller üzerine önemli katkılar yapmıştır. İğne yapraklı ağaçlarda sayısal x-ışınları densitometri uygulamasını rapor etmiştir. 1960 lı yıllardan günümüze bu yöntemin kullanıldığı ve geliştirildiği çalışmalarla literatüre daha pek çok önemli katkılar yapılmıştır (Örn; Fletcher ve Huges, 1970; Parker ve Henoch, 1971; Echols (1973); Sardinha, 1974; Parker vd., 1980; Jozsa vd., 1987;Olson vd., 1988; Larsson vd 1994; Wimmer vd.,2002; Roque vd., 2007; Tomazelo Filho vd., 2008). İlk uygulamalarda daha büyük donanımlar kullanılarak X-ray filmler üzerine görüntüler elde edilirken gelişen teknolojik olanaklarla günümüzde daha küçük boyutta cihazlar dijital kameralar ve yazılımlarla ölçümler yapılmaktadır (Bucur, 2003; Cown ve Clement, 2004; Vaganov vd., 2006)

Bu yöntem diğerlerine göre kısa zamanda daha çok sayıda örnek ölçülmesini sağlar. Ayrıca hem ortalama odun yoğunluğu, hem de yıllık halka ve yıllık halka bileşenleri (İlkbahar ve yaz odunu yoğunluklarının, yıllık halka genişliği, ilkbahar, yaz odunu genişliği vb.) daha sağlıklı belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Bu açıdan bakınca, geleneksel yöntemler X-ray yoğunlukölçer (densitometre) cihazının yerini tutamamaktadır. Bu nedenle, bu yöntem günümüzde pek çok araştırmacı tarafından tercih edilen bir yöntemdir (Bankowski, 1994; Koubaa vd., 2002).

Ülkemizde X-ray densitometrinin kızılçamda yoğunluk belirlenmesinde kullanılması ve bu ağaç türü için gerekli ayar (set-up) değerlerinin belirlenmesi 2007 yılında bu çalışma başlığı ile TÜBİTAK BİDEB'den kazanılan doktora sonrası araştırma bursu ile gerçekleştirilmiştir. Bu projede ilk aşamada 35 örnek üzerinde X-ray yoğunlukölçer ile kızılçamda ölçümlerin yapılması için gerekli ayar değerleri belirlenmiş, daha sonra ayar değerlerinin sınanması yapılmıştır. Bu aşamadan sonra binden fazla örnek üzerinde yoğunluk ölçümü yapılmıştır. Bu projenin verileri (eş zamanlı yürütülen bir diğer TUBİTAK destekli proje verileri ile birlikte) farklı bir makalede kullanılmıştır. Bu nedenle çalışmada, daha sonra yapılacak çalışmalara faydalı olmak amacıyla, yöntem tanıtılmış ve kızılçamda yapılacak çalışmalar için bir hareket noktası oluşturması için çalışmada program ayar değerlerinin belirlendiği ve elde edilen verilerin uygunluğunun sınıandığı örneklere ait veriler (80 ağaç) verilmiştir.

Bu çalışmanın ülkemizde yapılacak diğer çalışmalara katkı sağlaması umulmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Artım Kalemlerinin Alınması ve Saklanması

X-ray ölçümleri için artım kalemi alınırken 12 mm çaplı artım burguları kullanılmaktadır. Bu nedenle ilk önce deneme alanında artım kalemi örnekleme yapılacak ağaçlar belirlenmiştir. Arazide yapılan ön çalışmalarda, örnekleme uygun olmayanlar (çok ince, gelişmemiş, yaralanmış, dikili kuru vb.) belirlenerek örnekleme dışı bırakılmıştır. Bu makale 30 yaşında kızılçam ağaçlandırmalarından alınmış, 80 artım kalemi örneği kullanılarak (program ayar değerlerinin belirlendiği

35 adet örneğin ve elde edilen verilerin uygunluğunun sınındığı 45 örnek) elde edilmiş sonuçları kapsamaktadır.

Odun yoğunluğu aynı ağaç içerisinde dipten tepeye, özden kabuğa farklılıklar gösterir (Zobel ve Van Buijtenen, 1989; Haygreen ve Bowyer, 1996; Deresse ve Shepard, 1999). Bu nedenle ortalama ağaç yoğunluğu (weighted tree density) ile belirli bir yükseklikteki (örneğin 1.30 m) yoğunluk değeri (breast height density) farklıdır. Ancak, hem örnekleme kolaylığı hem de göğüs yüksekliğindeki yoğunluğun ortalama ağaç yoğunluğu için çok araştırmacı tarafından güvenilir bir gösterge olarak kabul edilmesi nedeniyle (Zobel ve Van Buijtenen, 1989; Stanger, 2003) genel olarak artım kalemleri 1.30 m yükseklikten alınmaktadır. Güller (2004) kızılçam için göğüs yüksekliği yoğunluk değeri ile ortalama ağaç yoğunluğu arasında yüksek bir ilişki belirlemiştir. Bu nedenle çalışmada artım kalemleri her ağaçtan aynı yükseklikten (1.30 m) elde edilmiştir. Gövdenin öz kısmından geçecek ve ağacın tüm çapı boyunca olacak şekilde artım kalemleri alınmıştır. Reaksiyon odunu oluşumundan kaçınmak için hakim rüzgar yönü örnekleme yapılırken dikkate alınmıştır. Artım kalemi çıkarıldıktan hemen sonra, artım burgusunun gövde üzerinde bırakmış olduğu deliklere (ağaçların daha sonra zarar görmemesi için), önce etanol püskürtülüp, hemen arkasından bu delikler cam macunu ile kapatılmıştır. Ağaçtan ve burgudan çıkarılan artım kalemi üzerine etanol (%70) püskürtülerek ağzı oluklu-kapalı özel poşetlere konularak, etiketlenmiş ve arazi çalışması boyunca gününbirlik hazır bulunan ve buzla soğutulan soğutucu kaplarda saklanmıştır. Alınan artım kalemi örnekleri aynı gün laboratuvara getirilmiş ve laboratuvarında buzdolabına (+2 ila +4 °C) konulmuştur. Bu artım kalemi örnekleri, örnek alındıktan sonra gelen ilk 24 saat içinde, burğu talaşı vb. artıklardan temizlenerek, teker teker vakumlu paketleme cihazı ile paketlenmiştir. Her paket, ilgili örneğin kimliğini ve özelliklerini gösterecek şekilde etiketlenmiştir. Vakumlama ve etiketleme işi bitirilince, paketlerdeki örnekler, tekrar buzdolabına konulmuştur. Örnekler, üzerlerinde ek çalışmalar yapılınca kadar, buzdolabında +2°C de (Örneklerin tamamının elde edilmesi ve kurutulacak mekanın ayarlanması aşamasına kadar 2-3 haftalık bir sürede) örnekler saklanmıştır. Daha sonra örnekler tek tek vakumlu poşetlerden çıkarılarak örnekler üzerindeki ağaç dış kabukları bistiiri ile ayrılmış ve her örnek, kurumaya başladığında örneklerde eğilme oluşmaması için, öz kısmından iki parçaya bölünmüştür. Her örnek üzerine, silinmeyen kurşunkalemle örnek numaraları yazılarak, direk güneş ışığı almayan kapalı ve havadar bir ortamda kurumaya bırakılmıştır. Üç hafta süre ile kurutulmuş örnekler, kontrol edildikten sonra tekrar vakumlu paketleme makinesi kullanılarak gruplar halinde paketlenmiştir. Daha sonra örnekler çalışmanın yapılacağı laboratuvara nakledilmiştir.

Örneklerin alınma yüksekliği, artım kalemi kalınlığı ve ilk anda yüzeysel sterilizasyon için alkol kullanımı hariç, örneklerin saklanması aşamasında yapılan işlemlerde bir çalışma referans alınmamıştır. Örneklerde herhangi bir kayıp yaşanmamasını sağlamak amacıyla, kayıp oluşturabilecek olası sebepler (renklenme, çürüme, kırılma vb) ve bunların oluşmasına neden olacak koşullar örnekleme öncesinde düşünülmüştür. Birçok organik materyalin vakumlanarak saklama süresinin uzatıldığından hareketle alınan artım kalemlerinde

KIZILÇAM'DA (*Pinus brutia* Ten.) ODUN YOĞUNLUĞUNUN X-RAY
YOĞUNLUK ÖLÇER İLE BELİRLENMESİ

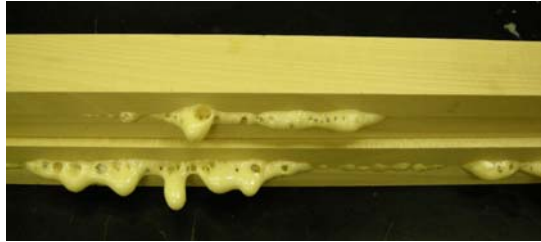
vakumlanarak buzdolabında dondurulmadan saklanabileceği ve 2-3 haftalık bir süre (örneklerin kurutulmasına kadar) renklenmeye vb. sebep etmenlerin arız olmasının önüne geçilebileceği öngörülmüştür. Çalışmada uygun vakumlanmış hiçbir örnekte renklenme vb. bir zarar oluşmamıştır. Böylece yurtdışına gönderilirken gerekli karantina belgelerinin alınmasında da bir sorun yaşanmamıştır. Ayrıca vakumlanan ve paketler halinde saklanan örneklerde birbirine destek olma sayesinde taşıma aşamalarında herhangi bir kırılma kaybı olmamıştır. Çalışmada kullanılan vakum aleti oldukça küçüktür. Taşınabilir bir güç kaynağının olması durumunda gerektiğinde arazi şartlarında bile örnekler vakumlanabilir.

2.2. X-Ray Ölçümlerinin Yapılması

Odun örnekleri (artım kalemleri) üzerindeki ölçümler, ABD North Carolina State Üniversitesi, Forestry and Environmental Resources (Orman ve Çevre Kaynakları) Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde Quintek Measurement Systems, QTRS-01X, X-ray densitometri cihazı kullanılmıştır. X-ray ölçümleri için aşağıda belirtildiği gibi önce deney örnekleri hazırlanmış, sonra kullanılan aletin kalibrasyon işlemleri yapılmış ve daha sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. X-Ray için deney örneklerinin hazırlanması

X-ray ölçümleri için örneklerin hazırlanması birkaç aşamada gerçekleştirilmektedir (Anonim, 2007). İlk aşamada, artım kalemlerinin yapıştırılacağı çitalar biçilmeli ve bu çitalar üzerinde artım kaleminin sığabileceği (artım kalemi çapına uygun) yataklar açılmalıdır. Sonra her bir artım kalemi, biri altta öteki de üstte olacak şekilde iki çita arasına yerleştirilmeli; yerleştirme sırasında iyi kalitede tutkal kullanılmalı; aradaki artım kalemi örneğinin çitalara ve çitaların da birbirine sıkıca yapışmaları sağlanmalıdır. Çalışılan laboratuvar da rutubetle kürlenmiş ve köpük oluşturan tutkallar bu amaçla kullanılmaktadır (Şekil 1). Daha sonra bu çitalar, uygun aparatlarla sıkıştırılarak üç-dört saat kurumaya bırakılmaktadır.



Şekil 1. Yapıştırılan örnekler

Çalışmada her bir örnek çitalar arasına tutkal ile sağlam bir şekilde sabitleştirildikten sonra; örnek, ortasında kalan kısımdan 2 mm kalınlığında bir şerit elde edilecek şekilde uzunlamasına kesilmiştir. Burada amaç, bir artım kaleminden uzunlamasına 2 mm kalınlığında bir örnek elde etmeyi sağlamaktır. Bu şekilde uzunlamasına kesilerek elde edilen örnekler üzerine, yeniden kimlikleri (etiketleri) yazılmıştır. 2 mm kalınlığındaki her bir örnek özel plastik koruyucular içine yerleştirilmiş ve X-ray cihazında ölçüm yapılıncaya kadar bekletilmiştir

(Şekil 2). Örnekler, ölçümlerden birkaç gün öncesinde plastik koruyucudan çıkarılarak laboratuvar ortamında (denge rutubeti %8) bekletilmiştir.

Literatürde bazı reçineli türlerde yoğunluk ölçümü öncesinde etanol-benzende veya cyclohexane de ekstraksiyon işlemi yapılan çalışmalar olmakla birlikte (Bankowski, 1994; Koubaa vd., 2002). Çam türlerinde yapılan bazı çalışmalarda herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan da ölçümler yapılmaktadır. Bu çalışmada örnekler herhangi bir ön işleme tabi tutulmamıştır. Kullanılan cihazdaki yazılımda örneklerin bu işleme tabi tutulup tutulmadığı işlemlere başlamadan önce işaretlenmektedir. Yıllık halka içerisinde ilkbahar yaz odunu sınırının belirlenmesinde bazı araştırmacılar minimum ve maksimum yoğunluk değerlerinin ortalamasını almıştır (Nicholls vd., 1980; Vargas-Hernandez ve Adams, 1991). Bazı araştırmalarda ise daha önce değişik iğne yapraklı türlerde yapılan araştırmalarda kullanılan belirlenmiş bir yoğunluk değeri kullanılmıştır (Louzada, 2003). X-ray ile ölçüm yapılan birçok laboratuvar da X-ray threshold density profili ilkbahar yaz odunu sınırının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Parker vd., 1980; Jozsa vd., 1987; Larsson vd., 1994). Bu çalışmada aynı seçim uygulanmıştır.



Şekil 2. Plastik koruyucular içerisine yerleştirilmiş ve X-ray ölçümüne hazır örnekler

2.2.2. X-Ray Kalibrasyon (Ayarlama) İşlemleri

Öncelikle, cihazda yüklü olan programın kızılçam ile ilgili örnekleri ölçebilmesi amacıyla, kızılçam türü için gereken bazı sınır değerlerin ve katsayıların belirlenmesi gerekmiştir.

X-ray ölçümleri aşağıda verilen formüle göre hesaplanmaktadır (Bucur, 2003).

$$\rho = \mu / \mu'$$

Bu eşitlikte:

μ : örnekten geçen ve ölçülen X-ray ışınlarının zayıflama miktarını,

μ' : örneğin X-ray ışınlarını zayıflatma katsayısını (mass attenuation coefficient),

ρ : örneğin yoğunluğunu ifade etmektedir.

Kızılçam ile ilgili kalibrasyon işlemi için, önce 35 ayrı örnek (artım kalemi) üzerinde geleneksel yöntemlerden biriyle (water immersion method) odun yoğunluğu belirlenmiştir (Smith, 1954; Haygreen ve Bowyer, 1996). Daha sonra

KIZILÇAM'DA (*Pinus brutia* Ten.) ODUN YOĞUNLUĞUNUN X-RAY
YOĞUNLUK ÖLÇER İLE BELİRLENMESİ

aynı örneklerden elde edilen ortalama yoğunluk değeri temel alınarak X-ray densitometri cihazında X-ray ışınlarını zayıflatma katsayısı (mass attenuation coefficient) ve ilkbahar odunundan yaz odununa geçişteki yoğunluk sınır değeri (set-up değerleri) denemelerle belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler yardımıyla cihazda kızılçam için kalibrasyon işlemi yapılmış ve daha sonra bu değerlerin uygunluğu sınanmıştır.

2.2.3. X-Ray ile Odun Yoğunluğu ve Diğer Odun Özellikleri Ölçümleri

X-ray ile odun yoğunluğu ölçümleri iki aşamada gerçekleşmektedir. Birinci aşama tarama (scanning) işlemidir. Her bir örnek; X-ray cihazında taranmaya başlanmadan hemen önce, o örnek ile ilgili gerekli değerler ve bilgiler programa girilmiştir (Şekil 3).

Bu bilgiler girildikten hemen sonra tarama işlemi yapılmıştır. Tarama sırasında, yıllık halkaların görüntüsü ekranda izlenebilmektedir (bkz. Şekil 2). Bu aşamada görüntüleri tekrar tekrar ve yakından inceleme olanağı vardır. Böylece, örnek üzerinde olabilecek bazı olası aksaklıklar (örn., yalancı yıllık halka oluşumu, bazı yıllık halkaların sınır değerinin belirlenen değerden altta ya da üstte bir değer taşınması nedeniyle yıllık halka sınırının program tarafından uygun şekilde işaretlenmiş olmaması vb. durumlar) yeniden kontrol edilip ayarlanabilmektedir. Tarama sonrasında, program tarafından yapılan ölçümlerin raporu verilmektedir. Bu raporda herbir yıllık halka, bu halkaların olduğu yıllara denk düşen yıllar, her bir yıllık halka için yıllık halka genişliği, ilkbahar ve yaz odunu yoğunluğu, yaz odunu oranı, ortalama yıllık halka yoğunluğu ve ortalama örnek yoğunluğu yer almaktadır (Şekil 4).

X-ray taramaları yapılırken, bazı örneklerde öz ve özden sonraki ilk yıllık halkada yıllık halkanın kusurlu olduğu ya da reçine birikmesi vb. nedenlerle uç (ekstrem) değerler sergilediği gözlenmiştir. Ayrıca, ağaç kabuğunun hemen altına denk düşen son yıllık halkanın da henüz belirgin bir şekilde ortaya çıkmadığı (tamamlanmamış olduğu) ve bu nedenle yaz odunu kısmı tam tamamlanmamış olduğu için o yıllık halkadaki yoğunluk değeri bakımından daha düşük değer vereceği için bu yıllık halkalar değerlendirme dışı bırakılmıştır. Literatürde X-ray ile yoğunluk ölçümlerinde ilk ve son yıllık halkaların aynı sebeplerle değerlendirme dışı bırakıldığı çalışmalar mevcuttur (Örn; Louzada, 2003).

Bir örneğin (artım kaleminin) X-ray tarama cihazından ortaya çıkan görüntüsü Şekil 5 te verilmiştir. Şekil 5'te ; üstteki resimde bir örneğin bilgisayar ekranındaki yıllık halkaları, alttaki resimde de aynı örneğin her bir yıllık halkasındaki ilkbahar ve yaz odunlarına denk düşen yoğunluk değerleri görülmektedir.

SDÜ ORMAN FAKÜLTESİ DERGİSİ

Sample Parameters

Scan Time/Date: 18-Dec-2007 09:54:40

Study ID: Pb Sample ID: 7

Study Name: PinusBrutia

Species: Pbrutia

Operator: BG

Description:

Comments:

Calendar Year of First Ring: 2006

First Year Wood Type: EW LW

Target Ring Count: 23

Is Pith Present? Yes No

Missing Rings to Pith: 0

Target Density: 486.6 kg/m³

Mass Absorption Coefficient: 3.03000 cm²/g

Is Sample Extracted? Yes No

Moisture Content: 8.00 %

Linear Resolution Step Size: 4 0.02 mm

Target Length: 134.0 mm

Thickness: 2.050 mm

Late Wood Method

Peak and Valley Threshold

Threshold: 450 kg/m³

Deadband: 50 kg/m³

Adjust Sample Lighting Save As Defaults Cancel Done

Şekil 3. Tarama işleminden önce programa girilen veriler

Study ID: Pb Sample ID: 9

Study Name: PinusBrutia

Description:

Average Density: 526.63

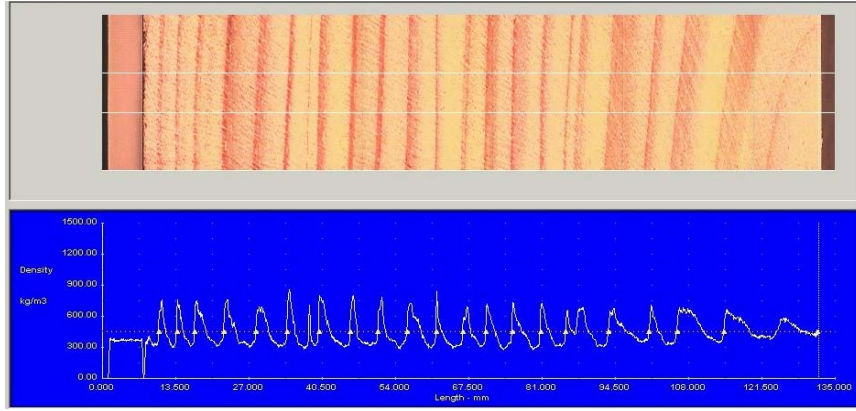
Done

Write to File

Ring No.	Year	End mm	Start mm	Late Wood Width mm	Ring Width mm	Late Wood Percent	Early Wood Density	Late Wood Density	Ring Average Density
20	2005	11.52	16.16	2.48	4.64	53.45	413.90	687.69	560.24
19	2004	16.16	20.16	2.16	4.00	54.00	408.04	650.87	539.17
18	2003	20.16	25.52	3.76	5.36	70.15	418.24	642.00	575.20
17	2002	25.52	31.04	4.24	5.52	76.81	426.17	614.81	571.06
16	2001	31.12	38.56	4.88	7.44	65.59	409.15	649.32	565.01
15	2000	38.56	45.60	4.88	7.04	69.32	427.37	650.58	582.09
14	1999	45.68	50.64	3.92	4.96	79.03	416.55	629.72	585.02
13	1998	50.72	57.04	3.60	6.32	56.96	408.60	624.47	531.57
12	1997	57.04	62.96	1.60	5.92	27.03	405.87	723.75	491.78
11	1996	62.96	70.56	4.80	7.60	63.16	419.65	649.00	564.50
10	1995	70.56	76.72	2.80	6.16	45.45	416.27	650.82	522.88
9	1994	76.72	80.48	1.28	3.76	34.04	379.52	617.17	460.42
8	1993	80.48	84.40	1.20	3.92	30.61	392.01	650.25	471.07
7	1992	84.40	88.80	1.92	4.40	43.64	380.47	584.07	469.31
6	1991	88.80	92.64	1.44	3.84	37.50	395.00	634.08	484.66
5	1990	92.64	99.12	3.92	6.48	60.49	415.96	572.46	510.64
4	1989	99.12	105.28	3.20	6.16	51.95	414.61	609.80	516.01
3	1988	105.28	109.20	1.76	3.92	44.90	408.05	544.10	469.13
2	1987	109.28	113.92	3.20	4.64	68.97	417.75	553.13	511.12
1	1986	114.00	120.88	4.08	6.88	59.30	430.86	495.91	468.99

Şekil 4. Ölçüm raporu

KIZILÇAM'DA (*Pinus brutia* Ten.) ODUN YOĞUNLUĞUNUN X-RAY
YOĞUNLUK ÖLÇER İLE BELİRLENMESİ



Şekil 5. Bir örneğin (artım kaleminin) X-ray tarama cihazından ortaya çıkan görüntüsü. (Grafikteki dikey eksen yoğunluk (kgm^{-3}), yatay eksen de taranan alan uzunluğunu (mm) gösterir)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kızılçam için X-ray densitometri cihazında X-ray ışınlarını zayıflatma katsayısı (mass attenuation coefficient) ($3.03 \text{ cm}^2/\text{g}$) ve ilkbahar odunundan yaz odununa geçişteki yoğunluk sınır değeri 450 kgm^{-3} olarak belirlenmiştir. Çizelge 1’de diğer bulgular toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 1. Kızılçamda yoğunluk ölçüm sonuçları

	N (ağaç)	Min	Maks	Ort.	Std. Hata	Std. sapma	cv (%)
d_{ibo}	80	330.00	449.89	380.42	2.71	24.26	6.38
d_{yo}	80	450.08	772.00	622.32	6.60	59.06	9.49
d_{ort}	80	410.30	601.30	487.81	5.00	44.74	9.17

d_{ibo} : İlkbahar odunu yoğunluğu (kgm^{-3}), d_{yo} : Yazodunu yoğunluğu (kgm^{-3}), d_{ort} : Ortalama odun yoğunluğu (kgm^{-3}), cv: Varyasyon

Kızılçamda odun özellikleriyle ilgili ilk çalışmalardan biri Berkel (1957) tarafından yapılmıştır. Daha sonra Bozkurt vd (1993) ve Öktem vd (1993) farklı yörelerden toplanan kızılçam örnekleri üzerinde, belirli odun özellikleri ile birlikte odun yoğunluğunu da çalışmışlardır. Ayrıca Bektaş (1997), Güller (2004) ve Gündoğan vd (2005), farklı habitatlarda yetişen ya da farklı silvikültürel işlemler (Güller,2004), genetik (Öztürk vd.,2008), ısıl işlem etkisi (Ateş vd., 2009) altında bulunan farklı yaşlardaki kızılçam örnekleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, kızılçamda ortalama odun yoğunluğunun alt ve üst sınırları bilinmektedir. Başka bir deyişle, farklı yetişme ortamlarından alınan ve yaşları farklı örnekler göre kızılçamda ortalama odun yoğunluğu 0.397 ile 0.59 g/cm^3 , değerleri arasında değişmektedir. Ancak, bahsedilen çalışmalarda yoğunluk değeri klasik yöntemlerle belirlenmiştir. Yani sınırlı sayıda örnek ağaç kesilerek bunlardan belirli boyutlarda örnekler biçilmiş ve ağırlık/hacim esasına

dayalı ortalama odun yoğunluğu belirlenmiştir. Çalışmalarda ortalama yoğunluk değerleri bütün ağaçtan farklı yükseklikten alınan kesitlerin ortalaması olan değerlerdir. Bu çalışmadaki değer ise 1.30 m den alınan artım kalemleri üzerinden belirlenmiş değerdir. Burada önemli bir nokta da; X-ray ölçümü yapılırken örnek rutubetinin %8 olmasıdır. Bu durumda çalışmada bulunan ortalama yoğunluk değerinin kızılçam için literatürde verilen yoğunluk değeri sınırları arasında kaldığı görülmekle birlikte, yöntemdeki farklılık nedeniyle aslında bu karşılaştırmayı yapmak doğru olmayacaktır.

Çam türlerinde yapılan farklı çalışmalarda, ilkbahar ve yaz odunu arasındaki sınırın belirlenmesi için kullanılan yoğunluk değerleri farklılık göstermektedir. Örneğin; Stanger (2003) *Pinus patula*'da 460 kgm^{-3} , Cown vd. (1992) *Pinus radiata*'da 400 kgm^{-3} değerini, Nyakuengama vd. (2000) aynı türde farklı yaşlardaki ağaçlarda 500 kgm^{-3} değerini kullanmıştır. Bazı çalışmalarda iğne yapraklı ağaçlarda 550 kgm^{-3} sabit değeri bu amaçla kullanılmasına dayanarak *Pinus pinaster*'de ilkbahar-yaz odunu arasındaki sınır değeri 550 kgm^{-3} olarak alınmıştır (Louzada, 2003). Her ne kadar bazı araştırmacılar bu sabit değeri kullansada, bu çalışmada elde edilen tecrübe; X-ray ile yoğunluk ölçümü yapılırken, sabit bir sınır değeri alınması yerine, literatürde mevcut bazı çalışmalarda olduğu gibi (Vergas-Hernandez ve Adams, 1991; Stanger, 2003) en yüksek ilkbahar odunu yoğunluğu (ya da başka deyişle en düşük yaz odunu yoğunluğu) değerinin belirlenerek sınır değeri olarak alınmasının daha iyi bir ayırım yapılmasına olanak sağlayacağı düşündürmektedir. Genç *Pinus patula* ağaçlarında ilkbahar odunu yoğunluğunu 365 kgm^{-3} , yaz odunu yoğunluğunu 611 kgm^{-3} olarak belirlemiş, çalışmada ilkbahar odunu yoğunluğu/yaz odunu oranını 0.59 olarak verilmiştir (Stanger, 2003). Bu çalışmada bu oran 0.611 dir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yurtdışında yapılan pek çok çalışmada ağaçlar kesilmeden 1.30 m den alınan artım kalemleri kullanılmaktadır. Araştırma sonuçlarının karşılaştırılabilir olması için benzer yöntemlerin takip edilmesi önemlidir. Dolayısıyla bundan sonra yapılacak çalışmalar için nispeten tahribatsız bir yöntem olarak kabul gören artım kalemleri ile çalışılması önerilebilir. Yıllık halka bazında çalışılması önemlidir. Çünkü bazı faktörlerin etkisi yıllık halka bazında değerlendirilmediğinde ortalama değerler üzerinden yapılacak değerlendirmeler gerçek etkileri yansıtmayabilir. X-ray densitometri yıllık halka bazında inceleme olanağı veren bir yöntem olduğu için tercih edilmesi önerilir. Örnekler üzerinde ekstraksiyon işlemi yapıp yapılmamış olması odun yoğunluk değerini etkileyeceğinden literatürde karşılaştırma yaparken dikkatli olmak gerekir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma yazarın TÜBİTAK BİDEB'den aldığı doktora sonrası araştırma bursu ile gerçekleştirilmiştir. North Carolina State Üniversitesi Çevre ve Orman Kaynakları Fakültesi Ağaç Islahı (Tree Improvement) programında çalışan tüm araştırmacılara, özellikle doktora sonrası araştırma çalışmasında tekniğin öğrenilmesinde yardımcı olan Doç.Dr. Fikret Işık'a teşekkür ederim. Ayrıca her konuda yardımcı ve yol gösterici ve örneklerin alındığı alanın kurucusu olan Prof. Dr. Kani Işık'a teşekkürü borç bilirim.

KIZILÇAM'DA (*Pinus brutia* Ten.) ODUN YOĞUNLUĞUNUN X-RAY
YOĞUNLUK ÖLÇER İLE BELİRLENMESİ

KAYNAKLAR

- Ates, S., Akyıldız, M.H., Özdemir, H., 2009. Heat Treated Calabrian Pine, *BioResources*, 4(3), 1032-1043.
- Bankowski, J., 1994. Effect of Growing Space on Wood Density in Jack Pine, Master thesis, Faculty of Forestry University of Toronto, Canada.
- Bektaş, İ., 1997. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Odununun Teknolojik Özellikleri ve Yörelere Göre Değişimi. Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Ens. 221 s.
- Berkel, A. 1957. Kızılçamda (*Pinus brutia* Ten) teknolojik araştırmalar. İÜ Orman Fakültesi Dergisi A- 7 (1): 22-68.
- Bozkurt, Y., Erdin, N., 2000. Odun Anatomisi. İ.Ü. Yayın No:4260, Fakülte Yayın No:466, İstanbul, 346 s.
- Bozkurt, Y., Goker, Y., Erdin, N. ve As, N. 1993. Datça kızılçamında anatomik ve teknolojik özellikler. Uluslararası Kızılçam Sempozyumu. Orman Bakanlığı. Marmaris, 628-635.
- Bucur, V., 2003. Nondestructive Characterization and Imaging of Wood, Springer series in wood science, Springer-Verlag
- Compton, H.A., 1923. A quantum theory of the scattering of X-rays by light elements. *The Physical Review*, second series, Vol.21 No.5.
- Cown, D.J., Young G.D., and Burdon, R.D. 1992. Variation in wood characteristics of 20-year-old half sib families of *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forest Science*, 22(1):63-76.
- Cown, D.J., Clement, B.C. 2004. A wood densitometer using direct scanning with X-rays. *Wood Science and Technology*, 17: 91-99.
- Deresse, T., Shepard, K.R., 1999. Wood properties of Red pine (*Pinus resinosa* Ait.), CFRU Information Report:42, University of Maine, Maine.
- Echols, R.M., 1973. Uniformity of wood density assessed from X-rays of increment cores, *Wood Sci. Tech.* 7(1) :34-44.
- Fischer, R.C., Tasker, H.S., 1940. The detection of wood boring insects by means of X-rays. *Annals Applied Biology*, 27(1):92-100.
- Fletcher, J.M., Hughes, J.F., 1970. Uses of X-rays for density determinations and dendrochronology. *Bull. Faculty of Forestry, University of British Columbia*, No.7:41-54.
- Güller, B. 2004. Kızılçamda (*Pinus brutia* Ten.) Değişik Silvikültürel Müdahalelerin Odunun Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisi. Doktora Tezi. İ.Ü. Fen Bilimleri Ens. 229s.
- Gündoğan, R., Bektaş, İ., Alma, M.A. ve Yüksel, A. 2005. Relationship between site index and some physical properties of Calabrian pine. *Forest Prod. Journal*, 55(1): 45-48.
- Hannrup B., Ekberg, I. ve Persson A. 2000. Genetic correlations among wood, growth capacity and stem traits in *Pinus sylvestris*. *Scan J For Res.* 15: 161-170.
- Haygreen, J.G., Bowyer, J.L., 1996. *Forest Products and Wood Science*. 3rd Edn. Iowa State University Press, pp.473, Ames, Iowa, US.
- Işık, K. 1988. Üç yinelemeli kenetlenmiş petek deseni ve kızılçamın bir populasyon genetiği araştırmasında uygulanması. *Turkish J of Agriculture and Forestry*. 12 (3): 377-386.
- Işık, K., Topak, M. ve Kesin, A.C. 1987. Kızılçamda (*Pinus brutia* Ten.) Orijin Denemeleri Altı Farklı Populasyonun Beş ayrı deneme Alanında İlk Altı Yıldaki Büyüme Özellikleri. Orman Ağaçları ve Tohumları İslah Enstitüsü Yayın No:3, Ankara, 139s.
- Ivkovich, M., Namkoong, G. ve Koshy, M. 2002. Genetic variation in wood properties of interior spruce. I. Growth, latewood percentage, and wood density. *Can J For Res* 32: 2116-2127.
- Jozsa L.A., Richards J.E., Johnson S.G., 1987. Calibration of Forintek's direct reading densitometer. CFS Contract Report No. 55-12-001, Forintek Canada Corp. Vancouver, BC, pp.16
- Kaya, Z., Steel, F., Temerit, A. ve Vurdu, H. 2003. Genetic variation in wood specific gravity of half-sib families of *Pinus nigra* subsp. *Pallasiana* tested at the juvenile stage: implications for early selection. *Silvae genetica* 52 (3-4): 153-158.

- Koubaa, A., Zhang, S.Y.T., Makni, S., 2002. Defining the transition from earlywood to latewood in black spruce based on intra-ring wood density profiles from X-ray densitometry, *Ann. For. Sci.* 59, 511-518.
- Larsson B., Pernestål K., Jonsson B., 1994. Sample preparation in microdensitometry, Section of forest mensuration and management, Report Umeå, Sweden.
- Lenz, O., Schär, E., Schweingruber F.H., 1976. Methodische Probleme bei der radiographischdensitometrischen Bestimmung der Dichte und der Jahrringbreiten von Holz. *Holzforschung* 30: 114–123.
- Lindeberg, J., 2004. X-ray Based Tree Ring Analyses, doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden, ISSN 1401-6230, ISBN 91-576-6533-8
- Louzada, J.L.P.C., 2003. Genetic correlations between wood density components in *Pinus pinaster* Ait. *Ann. For. Sci.* 60, 285–294.
- Nicholls J.W.P., Morris J.D., Pederick L.A., 1980. Heritability estimates of density characteristics in juvenile *Pinus radiata* wood, *Silvae Genet.* 29, 54–61.
- Nyakuengama, J.G., Matheson, C., Evans, R., Spencer, D., and Vinden, P. 2000. Effect of age on genetic control of *Pinus radiata* earlywood and latewood properties, *Appita* 53(2):103-107.
- Olson, J. R., Liu, C. J., Tian, Y., Shen, Q., 1988. Theoretical Wood Densitometry: II. Optimal X-ray Energy For Wood Density Measurement, *Wood and Fiber Sci.* 2(2): 187-196.
- Öktem, E, Sözen, R, ve Erten, P. 1993. Yatağan yöresi mevcut çevre kirliliği şartlarında kızılçam (*Pinus brutia* Ten) odununun fiziksel ve mekaniksel özellikleri. Uluslararası Kızılçam Sempozyumu. Orman Bakanlığı. Marmaris. 636-647.
- Öztürk, H., Yıldırım, K., Şıklar, S., Ezen, T., Alan, M., İlter, E., Balkız, Ö.D., Kaya, Z., 2008. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Akdeniz Bölgesi Alçak Rakım (0-400 M) Islah Zonu Döl enemesinde Genç Odun Yoğunluğuna İlişkin Genetik Parametreler, Çevre Ve Orman Bakanlığı Orman Ağaçları Ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No:22
- Parker, M.L., Henoch, W.E.S., 1971. The use of Engelmann spruce latewood density for dendrochronological purposes. *Can. J. For. Res.* 1: 90–98.
- Parker, M.L., Bruce, R.D., Jozsa, L.A., 1980. X-ray densitometry of wood at the W.F.P.L. Technical Report No. 10. Forintek Canada Corp., Vancouver, BC, 18 p.
- Polge, H. 1963. Une nouvelle méthode de détermination de la texture du bois: l'analyse densitométrique de clichés radiographiques. *Ann. Sci. Forest.* 20: 533–580.
- Polge, H., 1966. L'analyse densitométrique de clichés radiographiques: Une nouvelle méthode de détermination de la structure du bois, *Ann. Sci. For.* 20(4), 530-581.
- Polge, H., 1978. Fifteen years of wood radiation densitometry. *Wood Sci Tech.* 12:187-196.
- Roque, R.M., Tomazelo Filho, M., 2007. Relationship between anatomical features and intra-ring wood density profile in *Gmelina arborea* applying X-ray densitometry, *Cerne*, Lavras, Vol.13. No.4 pp.384-392.
- Sardinha, R.M.A. ,1974. Variation in density and some structural features of wood from *Eucalyptus saligna* from Angola. Thesis, PhD. Oxford University. 354 p.
- Simpson, W.T., 1993. Specific gravity, moisture content, and density relationship for wood, FPL-GTR-76, Forest Prod. Lab., US.
- Stanger, T.K., 2003. Variation and Genetic Control of Wood Properties in the Juvenile Core of *Pinus patula* Grown in South Africa. Doctoral thesis, NC State University, Dept of Forestry.
- Tomazelo Filho, M., Brazolin, S., Chagas, M. P., Oliveira, J. T. S., Ballarin, A. W., Benjamin C. A., 2008. *Maderas. Ciencia y tecnología* 10(2): 139-149,
- Ürgenç, S. 1982. Orman Ağaçları Islahı, İÜ. Orman Fak. Yayın No:2836/ 293, İstanbul, 1982, 414 s.
- Vaganov, E.A., Hughes, M.K., Shashkin, A.V., 2006. *Growth Dynamics of Conifer Tree Rings*, Springer-Verlag
- Vargas-Hernandez J., Adams W.T., 1991. Genetic variation of wood density components in young coastal Douglas-fir: Implications for tree breeding, *Can. J. Forest Res.* 21, 1801–1807.

KIZILÇAM'DA (*Pinus brutia* Ten.) ODUN YOĞUNLUĞUNUN X-RAY
YOĞUNLUK ÖLÇER İLE BELİRLENMESİ

- Wimmer, R., Downes, GM., Evans, R., 2002. High-resolution analysis of radial growth and wood density in *Eucalyptus nitens*, grown under different irrigation regimes. *Annals of Forest Sciences*, 59:519-524.
- Worschitz, F., 1932. L'utilisation des rayos X en vue de l'étude de la qualité du bois. In. Congrès IUFRO. Paris. France. 459-489
- Zobel, B and Talbert, J. 1984. *Applied Forest Tree Improvement*. John Wiley and Sons, New York, pp.505
- Zobel, B.J., Van Buijtenen, J.P., 1989. *Wood Variation: Its Causes and Control*, Springer-Verlag, Berlin