



Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) Odununun Lif Morfolojisi ve Kimyasal Yapısı Üzerine Ağaç Gövde Yüksekliğinin Etkisi

Ayben KILIÇ PEKGÖZLÜ^{1*}, Sezgin Koray GÜLSOY¹, Yasin AYÇİÇEK²

¹ Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 74100, BARTIN

² OYKA Kağıt Ambalaj Sanayii ve Tic. A.Ş., Çaycuma, ZONGULDAK

Öz

Bu çalışmada, karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ağacının gövde yüksekliğinin odunun lif morfolojisi ve kimyasal yapısı üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, karaçam tomruklarının (3 ağaç) 3 farklı kısmından (alt, orta ve üst) odun örnekleri alınmıştır. Örneklerin lif uzunlukları, lif genişlikleri, lümen genişlikleri ve çeper kalınlıkları tespit edilmiştir. Bu lif morfolojik özellikleri kullanılarak liflerin elastiklik oranı, keçeleşme oranı ve Runkel oranı değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, örneklerin holoselüloz, α -selüloz, klason lignini, sıcak ve soğuk su çözünürlükleri ile alkol çözünürlükleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre karaçam ağaç gövdesinin alt kısmından alınan örneklerin orta ve üst kısımdan alınan örneklerle göre daha esnek liflere sahip olduğu, daha yüksek oranda α -selüloz, daha düşük oranda lignin içerdiği tespit edilmiştir. Bu yönleri ile karaçam ağaç gövdesinin alt kısmından elde edilen örnekler diğer kısımlardan elde edilenlere göre daha yüksek verimli kağıt hamurları, daha sağlam kağıtlar oluşturmaya yatkındır. Buna karşın, özellikle ağacın üst kısmının (ince uç kısım) lif morfolojisinin ve kimyasal yapısının kağıt üretimi için kabul edilebilir ölçüde olduğu da görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Karaçam, selüloz, lignin, gövde yüksekliği, lif morfolojisi

Effect of Stem Height on the Fiber Morphology and Chemical Composition of European Black Pine (*Pinus nigra* Arnold.)

Abstract

In this study, effect of stem height on the fiber morphology and chemical composition of European black pine (*Pinus nigra* Arnold.) was studied. Three different trees were cut and from each tree 3 different samples were taken (bottom, middle and top). The fiber length, fiber width, fiber lumen width, and cell wall thickness of samples were determined. By using these fiber morphological properties, the flexibility ratio, slenderness ratio, and Runkel ratio of fibers were calculated. Holocellulose, α -cellulose, lignin, hot-cold water solubility and alcohol solubility values were determined. According to the results, samples taken from the bottom of European black pine have more flexible fibers, high amount of α -cellulose and low amount of lignin than samples taken from middle and top of the tree. From this aspect, we could conclude that samples from lower parts of the stem have high pulp yield and paper strength. However, upper part of the tree is also acceptable for pulping with its fiber and chemical composition.

Keywords: *Pinus nigra*, cellulose, lignin, stem height, fiber morphology.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Ayben KILIÇ PEKGÖZLÜ (Dr.); Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 74100, Bartın-Türkiye. Tel: +90 (378) 223 5089, Fax: +90 (378) 223 5062, E-mail: akilic@bartin.edu.tr

Geliş (Received) :06.10.2017
Kabul (Accepted) :03.11.2017
Basım (Published) :01.12.2017

1. Giriş

Ülkemizde nüfus artışına paralel olarak yıllık odun hammaddesi tüketimi artmakta ve arz-talep dengesizliği sürekli bir açık ortaya çıkarmaktadır. 2015 yılında endüstriyel odun tüketimi 21-22 m³ olup bu talebin %77 si (16,6 milyon m³) Orman Genel Müdürlüğü, %15'i (3,5 milyon m³) özel sektör ve %8'i (1,7 milyon m³) ithalat ile arz edilmiştir (OGM, 2016). Arz-talep dengesi, talebin azaltılması, ithalatın artırılması ya da en ekonomik ve en kısa sürede üretimin artırılması ile karşılanılabilir (Birler, 2006).

Odun hammaddesinin hangi sektörde değerlendirilebileceği morfolojik ve kimyasal yapısı ile fiziksel özelliklerine bağlıdır. Mekanik özellikler ise fiziksel ve anatomik yapı ile belirlenir. Farklı sektörlerde (kağıt, levha vb.) odunun değişik özellikleri önem arz etmektedir. Baharoğlu ve ark. (2013), odunun anatomik yapısının ve kimyasal içeriğinin yonga levhanın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine belirgin şekilde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Kağıt hamuru üretiminde ise lif uzunluğu, lif genişliği, çeper kalınlığı, lümen çapı, lif çeper alanı ve lif enine kesit alanı bilinmesi gereken morfolojik özellikler arasındadır (Bostancı, 1987; İstek ve ark 2008). Çeper kalınlığı, lümen çapı, lif uzunluğu ve genişliği, kâğıdın yırtılma, patlama ve kopma değerleri üzerine etkilidir (Suchsland ve Woodson, 1986; Kiaei, 2011). Kimyasal hamur üretiminde, hamur ve ağartma verimi odunun kimyasal yapısına bağlıdır. Lignin hamur üretiminde delignifikasyon ve kimyasal tüketimini etkiler. Lignindeki S/G (siringil)/(guayasil) oranı ve β -O-4 bağı özellikle hamur verimi üzerinde etkindir. İğne yapraklı ve yapraklı ağaçlarda farklı sonuçlar vermekle beraber, hamur kalitesini etkileyen diğer bir faktör de hemiselülozlardır (Carrillo ve ark. 2017).

Genç odun (juvenile wood), ağacın büyümeye başladığı ilk yıllarda oluşmaya başlar. Türe ve yaşa bağlı olarak genç odun oranı değişmektedir. Genç odunun anatomik, kimyasal ve fiziksel özellikleri olgun odundan farklılık göstermektedir. Genç odunun ilkbahar odunu oranı fazla olması nedeniyle yoğunluğu da daha düşüktür (Kiaei, 2011).

Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.), ülkemizde kızılçamdan sonra en geniş yayılış alanına (4.693.059,6 ha) sahip türdür. 400-2100 m rakıma kadar çıkabilen, 40 m boy ve 1 m'den fazla çap yapabilen düzgün gövdeli bir türdür. Dona ve kuraklığa karşı dayanıklı olan bu tür, sert ve reçineli bir oduna sahiptir (OGM, 2015). İnşaat kerestesi, doğrama, tel-travers, ambalaj sandığı, kağıt hamuru üretimi ve kontraplak üretiminde kullanılmaktadır.

Ağacın gövde yüksekliğinin odunun kimyasal yapısı (Krutul ve Buzak, 1986; Kostianen ve ark., 2004; Krutul ve Makowski, 2004; Yadama ve ark., 2009; Krutul ve ark., 2014a,b; Ogunjobi ve ark., 2014; Muhcu ve ark., 2015; Dwumaa, 2016; Taş, 2017) ve lif morfolojisi (Ogunjobi ve ark., 2014; Muhcu ve ark., 2015; Mercy ve ark., 2017) üzerine etkileri farklı yazarlar tarafından incelenmiştir. Ancak, literatürde karaçam ağacının gövde yüksekliğinin odunun kimyasal yapısı ve lif morfolojisi üzerine etkileri ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, 3 adet karaçam ağaç gövdesinin alt, orta ve üst kısımlarından odun örnekleri alınarak gövde yüksekliğinin odunun kimyasal yapısı ve lif morfolojisi üzerine etkileri belirlenerek, gövdenin farklı kısımlarının kağıt üretimine uygunlukları değerlendirilmiştir. Özellikle, kağıt hamuru üretiminde hammadde dar boğazını aşabilmek adına ağaç gövdesinin üst kısmındaki ince uç kısımlarının da kağıt hamuru üretiminde kullanılıp kullanılmayacağı irdelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada, Bolu Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Çakmaklar serisi Güneydoğu bakısı, 900 m rakımdan 2017 yılında temin edilen 21 yaşındaki 3 farklı karaçam (*Pinus nigra* Arnold) kullanılmıştır. Odun örnekleri TAPPI T-257cm-02 standardına göre alınmıştır. Her bir ağacın göğüs yüksekliğinden (1,30 m), ağaç boyunun orta kısmından ve ağacın üst (doruk) 1 m'lik kısmından 5'er cm'lik 3'er adet disk alınmıştır. Kabukları soyulan diskler kibrit çöpü büyüklüğüne getirildikten sonra Wiley tipi değirmende öğütülmüş ve sarsıntılı elekten geçirilerek 60 mesh'te kalan odun unları kullanılmıştır.

2.2. Metot

Lif ölçümlerinde, 5 cm kalınlığındaki disklerden, enine kesitin öz kısmından kabuk kısmına doğru tüm enine kesiti temsil edecek şekilde kibrit çöpü büyüklüğünde odun parçaları alınmıştır. Maserasyon için klorit yöntemi uygulanmıştır (Wise ve John, 1952). Mikroskop ölçümlerinde 100 adet lif uzunluğu, 25 adet lif genişliği, lümen genişliği ve çeper kalınlığı ölçülmüştür. Liflere ait keçeleşme oranı (eşitlik 1), elastiklik oranı (eşitlik 2) ve Runkel oranı (eşitlik 3) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

- Keçeleşme oranı = Lif uzunluğu / Lif genişliği (1)
 Elastiklik oranı = (Lümen çapı x 100) / Lif genişliği (2)
 Runkel oranı = (Lif çeper kalınlığı x 2) / Lümen genişliği (3)

Karaçam odun örneklerine uygulanan kimyasal analizler ise Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Karaçam odunu için kullanılan kimyasal analiz yöntemleri.

Deneyler	Standartlar
Kimyasal analizler için örneklerin hazırlanması	TAPPI T 257 cm-02
Holoselüloz tayini (%)	Klorit (Wise ve John, 1952)
α-selüloz tayini (%)	Rowell-2005
Lignin tayini (%)	TAPPI T 222 om-02
Alkol çözünürlüğü (%)	TAPPI T 204 cm-97
Sıcak su çözünürlüğü (%)	TAPPI T 207 om-99
Soğuk su çözünürlüğü (%)	TAPPI T 207 om-99

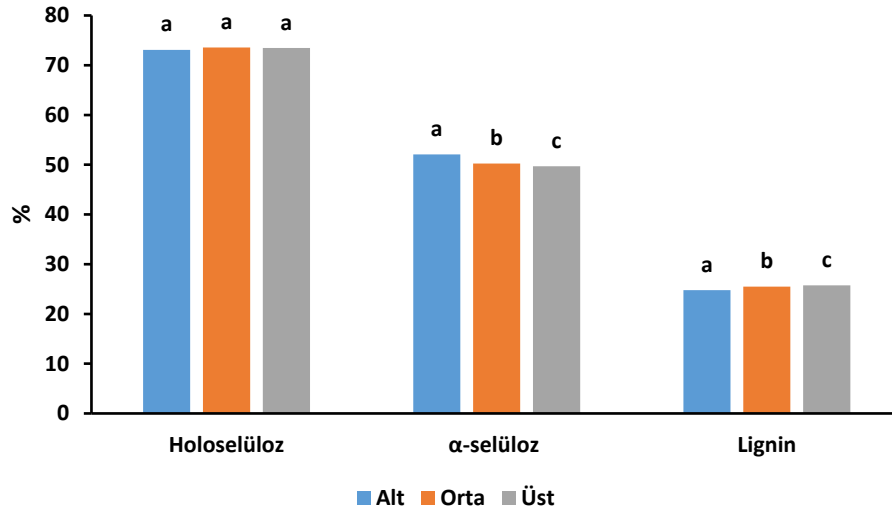
Elde edilen veriler SPSS programı ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Gövde yüksekliğinin kimyasal analiz değerleri ve lif morfolojisi üzerine etkisi çoğul varyans analizi (ANOVA testi $p<0,05$) ile belirlenmiştir. Gruplar arasındaki farkın % 95 güven aralığında anlamlı olup olmadığı DUNCAN testi uygulanarak tespit edilmiştir. Grafiklerde sütunlar üzerindeki farklı harfler gruplar arasındaki farkın %95 güven aralığında anlamlı olduğunu göstermektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Lignoselülozik bir hammaddenin kimyasal ve morfolojik yapısı kimyasal yöntemlerle kağıt hamuru üretimi için uygunluğunu değerlendirmede önemli bir faktördür. Yüksek selüloz ve düşük lignin içeriğine sahip lifsel hammaddeler daha yüksek verimli ve daha düşük kappa numarasına sahip kağıt hamurları elde edebilmek için tercih edilmektedir.

Karaçam gövde odunu holoselüloz oranının ağaç gövdesinin alt, orta ve üst kısımlarında sırasıyla %73,0 %73,5 ve %73,4olarak tespit edilmiştir ($p>0,05$) (Şekil 1). Taş (2017), kızılçam gövde odununun holoselüloz oranının ağacının gövde yüksekliğinin değişimi ile (alt, orta, üst kısım) değişmediğini belirtmiştir. Diğer taraftan, Dwumaa (2016) tik öz odununun holoselüloz oranının ağacın alt kısmında %63,1 orta kısmında %65,3 ve üst kısmında %65,6 olarak tespit etmiştir. Hemiselülozların oranını ise ağacın alt kısmında %21,4 orta kısmında %23,0 ve üst kısmında %25,9 olarak belirlemiştir. Muhcu ve ark. (2015) Avrupa melezi odununun hemiselülozlarının oranının 0-3 m’de %19,1 6-9 m’de %22,0 ve 12-15 m.’de ise %24,4 olarak tespit etmişlerdir. Yadama ve ark. (2009) ladin ağacı odununun hemiselülozlarının oranının ağacın alt kısmında %18,0 orta kısmında %18,5 üst kısmında ise %22,0 olarak belirlemişlerdir. Kostianen ve ark. (2004) ise ladin odununun hemiselülozlarının oranının ağacın göğüs yüksekliğinde %10,1 orta kısmında %6,8 üst kısmında ise %10,3 olarak tespit etmişlerdir.

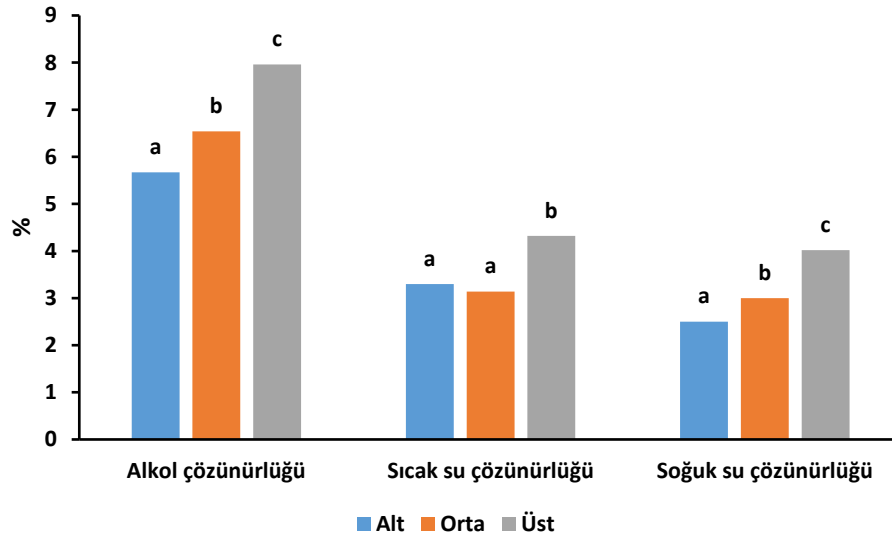
Kağıt hamuru üretiminde kullanılacak hammaddedeki α -selüloz oranı kağıt hamuru veriminin bir göstergesidir. Yüksek α -selüloz içeren hammaddeler kimyasal kağıt hamuru üretimi için tercih edilmektedir. Karaçam gövde odunu α -selüloz oranının ağaç gövdesinin alt, orta ve üst kısımlarında sırasıyla %52,0, %50,2 ve %49,7 olarak tespit edilmiştir ($p<0,05$) (Şekil 1). Benzer bir şekilde, kızılçam gövde odununda gövdenin alt kısmından alınan örnekte α -selüloz içeriğinin %47,0 olduğu, orta kısımda %46,8 ve üst kısımdan alınan örnekte ise %45,8 olduğu belirtilmiştir (Taş, 2017). Dwumaa (2016) tik öz odununun selüloz oranının ağacın alt kısmında %41,6 orta kısmında %41,8 ve üst kısmında %39,7 olarak tespit etmiştir. Muhcu ve ark. (2015) Avrupa melezi odununun selüloz oranının 0-3 m’de %51,1 6-9 m’de %47,5 ve 12-15 m’de ise %43,6 olarak belirlemişlerdir. Kostianen ve ark. (2004) ladin odununun selüloz oranının ağacın göğüs yüksekliğinde %48,8, orta kısmında %48,8 üst kısmında ise %41,5 olarak tespit etmişlerdir. Buna karşın, Krutul ve ark., (2014a) Huş ağacının alt kısım, orta kısım ve üst kısımdaki selüloz oranlarını sırasıyla %49,6, %50,2 ve %50,1 olarak belirlemişlerdir. Yadama ve ark. (2009) ladin ağacı odununun selüloz oranının ağacın alt kısmında %37,0, orta kısmında %37,6 üst kısmında ise %43,7 olarak tespit etmişlerdir. Ogunjobi ve ark. (2014) Siyah erik ağacı gövde odununun selüloz oranını gövdenin alt kısmında %40,6 orta kısmında %43,2 üst kısmında ise %39,0 olarak belirlemişlerdir.



Şekil 1. Karaçam ağacı gövde yüksekliğinin odunun holoselüloz, α -selüloz ve lignin oranlarına etkileri.

Hammaddedeki yüksek lignin oranı pişirme süresinin uzamasına ve delignifikasyon için gerekli kimyasal oranının artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden, hammaddedeki düşük lignin oranı kağıt hamuru üretimi için bir avantaj olarak değerlendirilmektedir. Karaçam gövde odunu klason lignin oranının ağaç gövdesinin alt, orta ve üst kısımlarında sırasıyla %24,7, %25,4 ve %25,7 olarak tespit edilmiştir ($p<0,05$) (Şekil 1). Benzer bir şekilde, Taş (2017) kızılçam gövde odunda gövdenin alt kısmından alınan örnekte klason lignin içeriğinin %25,6 olduğunu, orta kısımda % 25,5 üst kısımdan alınan örnekte ise %26,6 olduğunu tespit etmiştir. Kostiainen ve ark. (2004) ladin odununun lignin oranının ağacın göğüs yüksekliğinde %28,4 orta kısmında %28,2 üst kısmında ise %30,5 olarak belirlemişlerdir. Buna karşın, Dwumaa (2016) tik öz odununun lignin oranının ağacın alt kısmında %24,8 orta kısmında %23,4 ve üst kısmında %22,6 olarak tespit etmiştir. Muhcu ve ark. (2015) Avrupa melezi tomruğu odununun lignin oranının 0-3 m'de %29,5 6-9 m'de %25,6 ve 12-15 m'de ise %21,2 olarak belirlemişlerdir. Yadama ve ark. (2009) ladin ağacı odununun lignin oranının ağacın alt kısmında %28,1 orta kısmında %27,3 üst kısmında ise %27,0 olarak tespit etmişlerdir. Ogunjobi ve ark. (2014) Siyah erik ağacı gövde odununun lignin oranını gövdenin alt kısmında %32,2 orta kısmında %27,1 üst kısmında ise %25,6 olarak belirlemişlerdir.

Yüksek ekstraktif madde miktarı kağıt hamuru üretiminde kağıt hamuru veriminin azalmasına, kağıtta renklenmeye ve zift problemine neden olmaktadır. Bu çalışmada karaçam gövde odunu alkol çözünürlüğü değerlerinin ağaç gövdesinin alt, orta ve üst kısımlarında sırasıyla %5,67 %6,54 ve %7,9 olarak tespit edilmiştir ($p<0,05$) (Şekil 2). Krutul ve ark. (2014b) Saplı meşe öz odununun alkol-benzen çözünürlüğünün ağacın alt kısmında %5,2 orta kısmında %6,5 ve üst kısmında %7,6 olarak belirlemişlerdir. Krutul ve Buzak (1986) çam ve meşe ağaçlarında, Krutul ve Makowski (2004) ise meşe ağaçlarında gövdenin üst kısımlarında alt kısımlarından daha yüksek oranda ekstraktif madde içerdiğini tespit etmişlerdir. Yadama ve ark. (2009) ladin ağacı odununun ekstraktif madde miktarının ağacın alt kısmında %2,0 orta kısmında %2,9 üst kısmında ise %2,1 olarak belirlemişlerdir. Kostiainen ve ark. (2004) ladin odununun ekstraktif madde miktarını ağacın göğüs yüksekliğinde %1,9 orta kısmında %2,0 üst kısmında ise %2,3 olarak tespit etmişlerdir. Buna karşın, Krutul ve ark. (2014a) Huş ağacının gövde odununun alt kısım, orta kısım ve üst kısmındaki alkol-benzen çözünürlüğünü değerlerini sırasıyla %2,8 %1,8 ve %2,1 olarak belirlemişlerdir. Muhcu ve ark. (2015) Avrupa melezi tomruğu odununun alkol-benzen çözünürlüğü değerlerini 0-3 m'de %7,6 3-6 m'de %7,2 6-9 m'de %6,7 9-12 m'de %6,4 ve 12-15 m'de %6,0 olarak tespit etmişlerdir. Ogunjobi ve ark. (2014) Siyah erik ağacı gövde odununun ekstraktif madde miktarını gövdenin alt kısmında %4,6 orta kısmında %3,1 üst kısmında ise %2,7 olarak belirlemişlerdir. Karaçam gövde odunu sıcak su çözünürlüğü değerlerinin ağaç gövdesinin alt, orta ve üst kısımlarında sırasıyla %3,3 %3,1 ve %4,3 olduğu, soğuk su çözünürlüğü değerlerinin ise ağaç gövdesinin alt, orta ve üst kısımlarında sırasıyla %2,5 %3,0 ve %4,0 olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Soğuk su çözünürlüğü deneyinde lignoselülozik hammaddedeki inorganik bileşikler, tanenler, basit şekerler ve renk veren maddeler çözünerek suya geçmektedir. Sıcak su çözünürlüğü deneyinde ise bunlara ilave olarak nişasta da çözünerek suya geçmektedir. Bu nedenle lignoselülozik maddelerin sıcak su çözünürlükleri soğuk su çözünürlüklerinden genellikle daha fazladır. Konuyla ilgili daha önce yapılan çalışmalarda Muhcu ve ark. (2015) Avrupa melezi tomruğu odununun sıcak su ve soğuk su çözünürlüğü değerlerinin ağacın gövde yüksekliğinin artması ile azaldığını vurgulamaktadır.



Şekil 2. Karaçam ağacı gövde yüksekliğinin odunun alkol, sıcak su ve soğuk su çözünürlük oranlarına etkileri.

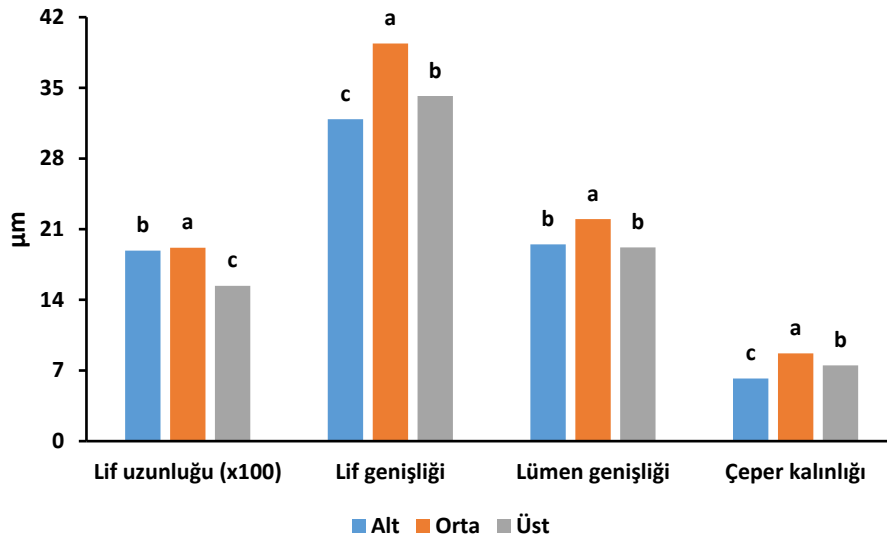
Kimyasal analiz sonuçlarına göre karaçam tomruğunun alt kısmından alınan örneklerin orta ve üst kısımdan alınan örneklere oranla daha yüksek oranda α -selüloz, daha düşük oranda lignin içermesi nedeniyle daha yüksek verimli, daha düşük kappa numaralı kağıt hamurları vereceği düşünülmektedir. Buna karşın, gövdenin ince uçlu üst kısımlarının yüksek lignin ve düşük α -selüloz içeriğine rağmen kağıt hamuru üretimi için uygun olduğu kanaatine varılmıştır.

Bir hammaddenin kağıt hamuru üretimine uygunluğunu değerlendirmede önemli diğer bir faktör ise hammadde liflerinin morfolojik özellikleridir (İstek ve ark. 2009). Liflerin morfolojik özellikleri kağıt makinesinin çalışmasını, elde edilen kağıdın sağlamlık ve optik özelliklerini, liflerin dövülebilirliğini, liflerin su alma ve şişme gibi lif-su ilişkilerini doğrudan etkilemektedir. Uzun lifler yüksek poroziteli, daha kötü formasyonlu ve kaba kağıt yüzeyine sahip kağıtlar oluşturmaya meyillidir. Ayrıca, uzun liflerden elde edilen kağıtlar kısa liflerden elde edilenlere oranla daha yüksek sağlamlığa sahiptirler. Diğer taraftan, liflerin esnekliği liflerin çeper kalınlıkları ve lümen genişliklerine de bağlı olup, kağıdın oluşumu esnasında esnek lifler birbirleri ile daha iyi bağ yaparlar. Kalın çeperli lifler kağıdın çift katlama, patlama ve kopma sağlamlığını olumsuz, yırtılma sağlamlığını ise olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca, kalın çeperli lifler hacimli, kaba yüzeyli ve yüksek poroziteli kağıt oluştururlar. Buna karşın, ince çeperli liflerden elde edilen kağıtlar ise daha yoğun ve daha iyi formasyona sahiptir.

Karaçam gövde odununun lif uzunluklarının ve lif genişliklerinin ağacın gövde yüksekliğinin artması ile önce arttığı daha sonra azaldığı tespit edilmiştir ($p<0,05$) (Şekil 3). Karaçam gövde odunu lif uzunlukları ağacın gövdesinin alt, orta ve üst kısımlarında sırasıyla 1,89 mm, 1,92 mm ve 1,54 mm olarak, lif genişlikleri ise sırasıyla 31,9 μ m, 39,4 μ m ve 34,2 μ m olarak ölçülmüştür. Muhcu ve ark. (2015) Avrupa melezi tomruğu odunun lif uzunlukları 0-3 m'de 3,8 mm, 3-6 m'de 3,2 mm, 6-9 m'de 3,1 mm, 9-12 m'de 2,8 mm ve 12-15 m'de 2,4 mm olarak tespit etmişlerdir. Lif genişlikleri ise 0-3 m'de 25,0 μ m, 3-6 m'de 26,3 μ m, 6-9 m'de 28,1 μ m, 9-12 m'de 32,0 μ m ve 12-15 m'de 35,8 μ m olarak belirtmişlerdir. Mercy ve ark. (2017) *Ricinodendron heudelotii* ağacı gövde odunun lif uzunluklarını ağacın alt kısmında 1,4 mm, orta kısmında 1,3 mm, üst kısmında ise 1,3 mm olarak tespit etmişlerdir. Lif genişliklerini ise gövdenin alt kısmında 44,0 μ m, orta kısmında 40,6 μ m, üst kısmında ise 39,7 μ m olarak tespit etmişlerdir. Ogunjobi ve ark. (2014) siyah erik ağacı gövde odunun lif uzunluklarını ağacın alt kısmında 1,5 mm, orta kısmında 1,4 mm, üst kısmında ise 1,4 mm olarak tespit etmişlerdir. Lif genişliklerini ise gövdenin alt kısmında 23,7 μ m, orta kısmında 21,7 μ m, üst kısmında ise 20,0 μ m olarak belirlemişlerdir.

Karaçam gövde odununun lif lümen genişliklerinin ve lif çeper kalınlıklarının ağacın gövde yüksekliğinin artması ile önce arttığı daha sonra azaldığı tespit edilmiştir ($p<0,05$) (Şekil 3). Karaçam gövde odunu lif lümen genişliklerinin gövdenin alt, orta ve üst kısımlarında sırasıyla 19,5 μ m, 22,0 μ m ve 19,2 μ m olarak, lif çeper kalınlıklarının ise sırasıyla 6,2 μ m, 8,7 μ m ve 7,5 μ m olarak ölçülmüştür. Buna karşın, Muhcu ve ark. (2015) Avrupa melezi tomruğu odunun lif çeper kalınlıklarının ağacın boyuna ekseninde yukarı doğru çıkıldıkça azaldığını tespit etmişlerdir. Mercy ve ark. (2017) *Ricinodendron heudelotii* ağacı gövde odunu liflerinin lümen genişliğini gövdenin alt kısmında 34,5 μ m, orta kısmında 31,4 μ m, üst kısmında ise 31,0 μ m olarak, lif çeper kalınlığını ise gövdenin alt kısmında 4,8 μ m, orta kısmında 4,7 μ m, üst kısmında ise 4,4 μ m olarak

belirlemişlerdir. Ogunjobi ve ark. (2014) Siyah erik ağacı gövde odunu liflerinin lümen genişliğini gövdenin alt kısmında 12,8 µm, orta kısmında 11,9 µm, üst kısmında ise 13,1 µm olarak, lif çeper kalınlığını ise gövdenin alt kısmında 5,3 µm, orta kısmında 4,6 µm, üst kısmında ise 4,2 µm olarak tespit etmişlerdir.

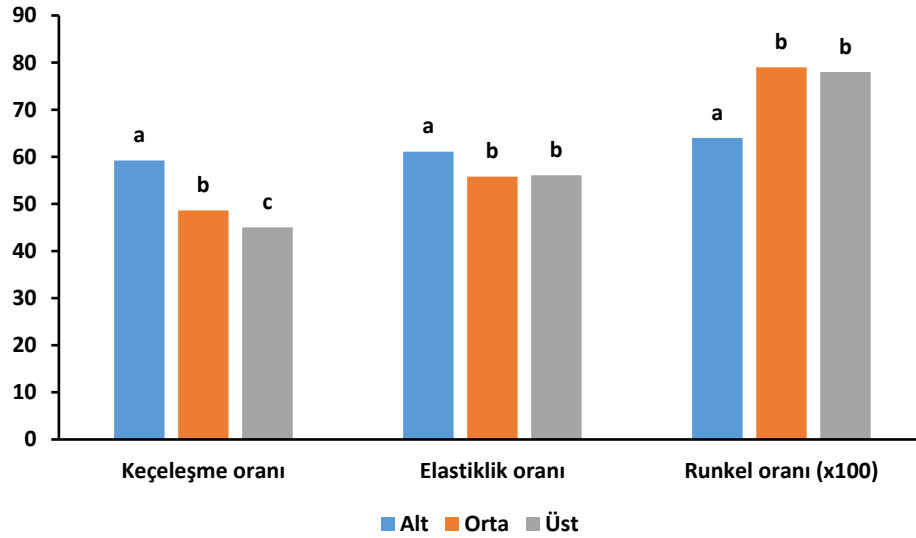


Şekil 3. Karaçam ağacı gövde yüksekliğinin liflerin morfolojik özellikleri üzerine etkileri.

Liflerin morfolojik özelliklerinden türetilen keçeleşme oranı, elastiklik oranı ve Runkel oranı lifsel hammaddenin kağıt hamuru üretimine uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılan kavramlardır. Yüksek keçeleşme oranına (lif uzunluğu/lif genişliği) sahip lifler birbiriyle sıkı bağ oluşturmuş kağıtlar oluştururlar. Karaçam gövde odununun alt, orta ve üst kısım liflerinin keçeleşme oranı değerleri sırasıyla 59,2, 48,6 ve 45,0 olarak hesaplanmıştır ($p<0,05$) (Şekil 4). Keçeleşme oranı 33'den yüksek olan hammaddelerin kağıt hamuru üretimine uygun olduğu düşünülmektedir (Xu ve ark., 2006). Her üç kısmın liflerinin keçeleşme oranının 33'den büyük olması nedeniyle kağıt hamuru üretimine uygun oldukları görülmüştür. En yüksek keçeleşme oranına sahip ağacın alt kısmına ait liflerin diğer kısımlardan daha yüksek sağlamlıkta kağıt oluşturacağı düşünülmektedir. Mercy ve ark. (2017) *Ricinodendron heudelotii* ağacı gövde odunu liflerinin keçeleşme oranını, gövdenin alt kısmında 34,5 orta kısmında 36,2 üst kısmında ise 36,6 olarak tespit etmişlerdir. Ogunjobi ve ark. (2014) siyah erik ağacı gövde odunu liflerinin keçeleşme oranını gövdenin alt kısmında 63,3 orta kısmında 68,1 üst kısmında ise 71,1 olarak belirlemişlerdir.

Liflerin elastiklik oranı ((lümen genişliği/lif genişliği) x 100) >75 olan lifler oldukça elastik, 50-70 arası olan lifler elastik, 30-50 arası olan lifler rijit, <30 olan lifler ise oldukça rijit lifler olarak sınıflandırılmaktadır. Karaçam gövde odununun alt, orta ve üst kısım liflerinin elastiklik oranı değerleri sırasıyla 61,1 55,8 ve 56,1 olarak hesaplanmıştır ($p<0,05$) (Şekil 4). Bu değerlere göre, gövdenin her üç kısmının liflerinin elastiklik sınıflandırmasında esnek lif grubuna girdiği tespit edilmiştir. Mercy ve ark. (2017) *Ricinodendron heudelotii* ağacı gövde odunu liflerinin elastiklik oranını gövdenin alt kısmında 78, orta kısmında 76, üst kısmında ise 77 olarak tespit etmişlerdir. Ogunjobi ve ark. (2014) siyah erik ağacı gövde odunu liflerinin elastiklik oranını gövdenin alt kısmında 54,1 orta kısmında 55,0 üst kısmında ise 65,3 olarak belirlemişlerdir.

Düşük Runkel oranına (çift çeper kalınlığı/lümen genişliği<1) sahip lifler kağıt üretimi esnasında enine kesitleri kolayca ezilerek lifler arası bağ oluşturmak için geniş bir yüzey oluştururlar. Runkel oranı 1'den büyük (rijit lifler) düşük lif-lif bağ alanına sahip olup, yüksek sağlamlıkta kağıt üretimi için uygun değildir. Runkel oranı 1'den küçük (esnek lifler) yüksek lif-lif bağ alanları nedeniyle yüksek sağlamlıkta kağıt üretmeye meyillidirler. Karaçam gövde odununun alt, orta ve üst kısım liflerinin Runkel oranı değerleri sırasıyla 0,6, 0,7 ve 0,7 olarak hesaplanmıştır ($p<0,05$) (Şekil 4). Bu değerlere göre, gövdenin her üç kısmının da esnek liflere sahip olduğu görülmüştür. En düşük Runkel oranına sahip ağaç gövdesinin alt kısmına ait liflerin, diğer kısımlara göre daha sağlam kağıtlar oluşturacağı düşünülmektedir. Mercy ve ark. (2017) *Ricinodendron heudelotii* ağacı gövde odunu liflerinin Runkel oranını gövdenin alt kısmında 0,3 orta kısmında 0,3 üst kısmında ise 0,3 olarak tespit etmişlerdir. Ogunjobi ve ark. (2014) siyah erik ağacı gövde odunu liflerinin Runkel oranını gövdenin alt kısmında 0,8 orta kısmında 0,7 üst kısmında ise 0,6 olarak belirlemişlerdir.



Şekil 4. Karaçam ağacı gövde yüksekliğinin liflerin keçeleşme, elastiklik ve Runkel oranları üzerine etkileri.

Lif morfolojisi sonuçlarına göre karaçam tomruğunun alt kısmından alınan örneklerin orta ve üst kısımdan alınan örneklerle oranla daha esnek liflere sahip olması nedeniyle daha iyi lif-lif bağlanması ve bunun sonucunda daha yüksek sağlamlıkta kağıtlar oluşturacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte, gövdenin orta ve üst kısmının lif özellikleri incelendiğinde gövdenin kağıt üretimi için kabul edilebilir seviyede lif özellikleri taşıdıkları görülmüştür.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada karaçam ağacının gövde yüksekliğinin odunun kimyasal yapısı ve lif morfolojisi üzerine etkileri belirlenmiş ve bu özelliklerin kağıt hamuru üretimine uygunluğu değerlendirilmiştir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre gövde alt kısmının orta ve üst kısmına oranla daha yüksek oranda α -selüloz, daha düşük oranda lignin içerdiği tespit edilmiştir. Karaçam odununun lifsel özellikleri bakımından ağacın orta kısmından alınan örneklerin alt ve üst kısmından alınan örneklerle göre daha uzun ve daha geniş liflere sahip olduğu belirlenmiştir. Lif morfolojisi değerlerinden türetilen keçeleşme oranı, elastiklik oranı ve Runkel oranı gibi değerleri incelendiğinde karaçam ağacının alt kısmından alınan örneklerin orta ve üst kısmından alınan örneklerle göre daha esnek liflere sahip olduğu, dolayısıyla bu liflerden daha sağlam kağıtlar elde edilebileceği kanaatine varılmıştır.

Azalan odun hammaddesi, önemli bir sorun teşkil etmektedir. Hammadde tedariki sırasında Orman Genel Müdürlüğü geleneksel üretimleri ile dikili satış uygulamalarından elde edilecek verim, hammadde maliyetleri açısından önemlidir. 6-10 cm çapındaki gövde üst kısımların kağıt hamuru üretiminde kullanılabilmesi yakın noktalardan odun tedarikinde alım miktarını artıracak, nakliye maliyetlerini düşürecektir.

Ülkemizde dikili satış uygulamalarında ağaç üst kısımların kullanılabilmesi, üretim bölmelerinden elde edilecek verim yüzdesinin artmasına bu da maliyetlerin düşmesini neden olacaktır. Kağıt fabrikalarında maliyetlerin %50-60'ını odun hammaddesinin oluşturmaktadır. Bu noktadan hareketle, 6-10 cm çapındaki karaçam gövde üst kısımlarının yüksek sağlamlık özellikleri gerektirmeyen kağıt türlerinde, 10 cm ve üzeri çapa sahip karaçam gövde alt ve orta kısımları ile karıştırılarak kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

Kaynaklar

1. Baharoğlu M, Nemli G, Sarı B, Birtürk T, Bardak S (2013). Effects of anatomical and chemical properties of wood on the quality of particleboard. Composites.Part-B., 52:282-285.
2. Birler, A. (2006). Endüstriyel Plantasyonlar. Anadolu Üni. Yayınları, 114-116.
3. Bostancı Ş (1987). Kağıt Hamuru Üretimi ve Ağartma Teknolojisi, 493 s. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel yayın no:114, Fak.yayın no:13.
4. Carrillo I, Vidal C, Elissetche JP, Mendonca RT (2017). Wood anatomical and chemical properties related to the pulpability of *Eucalyptus globulus*: a review. Southern Forests. 1-8.
5. Dwumaa H (2016). Assessing the physical and chemical properties of 15year old normal and coppiced teak (*Tectona grandis*) woods for their effective utilization. Master Thesis, Department of Wood science and Technology, Kwame Nkrumah University of science and Technology, 77 p.

6. **İstek A, Eroğlu H, Gülsoy SK (2008).** Karaçamın Yaşına Bağlı Olarak Lif ve Kağıt Özelliklerinin Değişimi, Kastamonu Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 8 (1), 61-66
7. **İstek A, Tutuş A, Gülsoy SK (2009).** Sahil Çamı (*Pinus pinaster* Ait) Odunun Lif Morfolojisi ve Kağıt Özellikleri Üzerine Ağaç Yaşının Etkisi, K.S.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi, 12(1), 1-5.
8. **Kiaei M (2011).** Anatomical, physical and mechanical properties of eldar pine (*Pinus eldarica* Medw.) grown in the Kelardasht region. Turk J Agric For. 35:31-42.
9. **Kostiainen K, Kaakinen S, Saranpää S, Sigurdsson BD, Linders S, Vapaavuori E (2004).** Effect of elevated [CO₂] on stem wood properties of mature Norway spruce grown at different soil nutrient availability. Global Change Biology, 10: 1526-1538.
10. **Krutul D, Makowski T (2004).** Content of the mineral substances in the oak wood (*Quercus petraea* Liebl.). Annals of Warsaw Agricultural University SGGW. Forestry and Wood Technol. 55: 315-320.
11. **Krutul D, Buzak J (1986).** Distribution of extractives in the trunk of oak and pine tree.. Sylwan 130(8): 65-77.
12. **Krutul D, Zeilenkiewicz T, Radomski A, Zawadzki J, Antczak A, Drozddek M (2014a).** Impact of the environmental pollution originated from sulfur mining on the chemical composition of wood and bark of birch (*Betula pendula* Roth.). Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology, 88, 117-125.
13. **Krutul D, Zeilenkiewicz T, Zawadzki J, Radomski A, Antczak A, Drozddek M (2014b).** Influence of urban environment originated heavy metal pollution on the extractives and mineral substances content in bark and wood of oak (*Quercus robur* L.). Wood Research, 59(1): 177-190.
14. **Mercy OB, Adeola FJ, Olajide OA, Babatunde A, Sunday FJ (2017).** Evaluation of fiber characteristics of Ricinodendron heudelotii (Baill, Pierre Ex Pax) for pulp and paper making. International Journal of Science and Technology 6(1): 634-641.
15. **Muhcu S, Nemli G, Ayrılmış N, Bardak S, Baharoğlu M, Sarı B, Gerçek Z (2015).** Effect of log position in European Larch (*Larix decidua* Mill.) tree on the technological properties of particleboard. Scandinavian Journal of Forest Research, 30(4): 357-362.
16. **OGM, 2015.** Orman Atlası. <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/Orman%20Atlasi.pdf>
17. **OGM, 2016.** İşletme ve Pazarlama Daire Başkanlığı, Oduna Dayalı Orman Ürünlerinin Üretim ve Pazarlama Faaliyetleri, Ankara.
18. **Ogunjobi KM, Adetogun AC, Omole AO (2014).** Assessment of variation in the fibre characteristics of the wood of Vitex doniana sweet and its suitability for paper production. Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environmental, 6(1): 39-51.
19. **Rowell RM (2005).** Wood Chemistry and Wood Composites. CRC Press, USA.
20. **TAPPI T 257 cm-02 (2002).** Sampling and preparing wood for analysis.
21. **TAPPI T 222 om-02 (2002).** Acid-insoluble lignin in wood and pulp.
22. **TAPPI T 204 cm-97 (1997).** Solvent extractives of wood and pulp.
23. **TAPPI T 207 cm-99 (1999).** Water solubility of wood and pulp.
24. **Taş M (2017).** Kızılcçam (*Pinus brutia* Ten.) odun ve kraft kağıt hamurundaki polyozların tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 79 s., Bartın.
25. **Wise LE, John EC (1952).** Wood Chemistry. 2nd ed. Reinhold Publication Co. New York, USA.
26. **Xu F, Zhong XC, Sun RC, Lu Q (2006).** Anatomical ultrastructure and lignin distribution in cell wall of *Caragana korshinskii*. Industrial Crops and Products, 24(2): 186-193.
27. **Yadama V, Lowell EC, Peterson N, Nicholls D (2009).** Wood-thermoplastic composites manufactured using beetle-killed spruce from Alaska. Polymer Engineering and Science, 49(1): 129-136.