

Kastamonu'da Yetişen Kara Mürver (*Sambucus nigra*) Odununun Lignoselülozik Hammadde Olarak Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi

Determination of Some Characteristics of Black Elderberry (*Sambucus nigra*) Wood as a Lignocellulosic Raw Material Grown in Kastamonu

Kübra GÜMÜŞDAĞ^{1*}, Çağrı OLGUN²

Öz

Bu çalışmada, Kastamonu ilinden alınan üç farklı kara mürver (*Sambucus nigra*) odunu örneği üzerinde kimyasal ve lif morfolojisi analizleri gerçekleştirilmiş ve bu örnekler, endüstriyel kullanım alanları açısından geniş bir perspektiften değerlendirilmiştir. Örneklerin holoselüloz, alfa-selüloz ve lignin içerikleri, etanol-su (2:1 h/h), sıcak su, soğuk su, %1 NaOH çözeltisindeki çözünürlükleri ve kül içerikleri ilgili standart test prosedürlerine göre belirlenmiştir. Odun örneklerinde elementel kompozisyon analizi (%C, %H ve %N) ve ICP-OES ile elementel analizi (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, Co, Al) yapılmıştır. Kara mürver odunu liflerinin morfolojik özelliklerinin kağıt hamuru ve lif endüstrisi için yeterli düzeyde olmadığı tespit edilmiştir. Mürver odunu örneklerinde Co, Cu ve As elementlerine rastlanılamamıştır. Diğer elementler açısından mürver odununun biyoindikatör olarak kullanım potansiyeli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Numunelerde tespit edilen azot miktarı (%0,143-0,539), yüksek lignin içeriği (%27,65- 29,96) ve düşük kül içeriğiyle (%0,60-0,76) geleneksel orman ürünleri endüstrilerinden farklı alanlarda değerlendirilebilir olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kara mürver, Lif morfolojisi, Kimyasal özellikler, Biyoindikatör.

Abstract

In this study, three different black elderberry (*Sambucus nigra*) wood samples were taken from Kastamonu province, and chemical and fiber morphology analyzes were performed to evaluate them from a broad perspective in terms of industrial usage areas. Holocellulose, alpha-cellulose, and lignin contents of the samples, solubility's in ethanol-water (2:1 v/v), hot water, cold water, 1% NaOH solution, and ash contents were determined according to the relevant standard test procedures. Elemental composition analysis (C%, H%, and N%) and ICP-OES elemental analysis (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, Co, Al) were performed on wood samples. It was determined that the morphological properties of black elderberry wood fibers were not at a sufficient level for pulp and fiber industry. Co, Cu, and As elements were not detected in elderberry wood samples. It was concluded that elderberry wood has potential for use as a bioindicator in terms of other elements. It is thought that the nitrogen amount detected in the samples (0.143-0.539%), high lignin content (27.65-29.96%), and low ash content (0.60-0.76%) can be evaluated in areas other than traditional forest products industries.

Keywords: Black Elderberry, Fiber morphology, Chemical properties, Bioindicator.

¹Kastamonu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı., Kastamonu, Türkiye

²Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kastamonu Türkiye,

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: kubragumusdag82@gmail.com

1. Giriş

Sambucus nigra (kara mürver); meyvesi ve çiçekleri, günümüzde özellikle gıda takviyesi üretiminde değerlendirilmesiyle ön plana çıkan, çok yıllık ömre sahip, genellikle orta büyüklükte çalı veya küçük ağaç olarak nitelendirilen değerli bir türdür (Moody, 2019). Bu tür, doğal olarak ülkemizde yayılış göstermekte ve özellikle Kastamonu ve çevresinde yaygın olarak yetişmektedir (Olgun vd., 2012). Genellikle çiçekleri ve meyveleri değerli olarak bilinse de, bu tür bölge halkı tarafından genellikle istenmemekte ve sıklıkla kesilerek tarla ve bahçe alanlarından uzaklaştırılmaktadır. İlaç endüstrisindeki değeri sebebi ile Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından türün bölgede yetiştiriciliğine dair çeşitli projeler başlatılmıştır (URL-1, 2021). Üretim ve yetiştirme faaliyetleri sonucu açığa çıkacak olan odunsu materyal içerdiği selüloz, hemiselüloz ve lignin ile hammadde olarak çok çeşitli endüstriyel alanlarda değerlendirilmektedir (Demirbaş, 2003). Hammaddelerin endüstriyel alanlardaki değerlendirilmelerinde kimyasal özellikleri ile birlikte lif morfolojileri de önem arz etmektedir (Kırcı, 2003).

Odun hammaddesinin özellikle lif morfolojisinin, iklim ve coğrafi konum dahil olmak üzere çevresel faktörlere bağlı olarak değiştiği çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Abuamoud vd., 2018; Yiğit vd., 2021). Ayrıca lignoselülozik hammaddeler gerek yaşama faaliyetlerinin bir neticesi olarak, gerekse yaşadıkları ekosistemde çeşitli sebeplerle oluşan kirlilik sonucu ağır metalleri bünyesinde topladığı ve biriktirdiği için kirlilik için bir gösterge yani biyoindikatör olarak değerlendirilebilmektedir (Akarsu vd., 2019; Cetin vd., 2019; Istanbulu vd., 2023; Seven vd., 2018; Turkyilmaz vd., 2018; Turkyilmaz vd., 2019; Yigit, 2019). Odunun bünyesindeki bu ağır metaller, toz emisyonları ve yanma teknolojisi gibi konularda biyokütle enerjisi olarak kullanımında etkili olmaktadır (Kayışoğlu, Aktaş, 2023).

Literatürde, kara mürver odununun, büyüme koşullarından etkilenen çeşitli özellikler sergilediği belirtilmiştir (Kozakiewicz vd., 2021). Buna ek olarak, meyvesinin kimyasal içeriğinin araştırıldığı birçok çalışma mevcut olup (Csorba vd., 2020; Osman vd., 2023) Ülkemizde gerçekleştirilen bir çalışmada, meyvenin, protein içeriği, antioksidan kapasitesi ve fenolik bileşikler gibi kimyasal özellikleri genotipler arasında önemli farklılıklar gösterdiği vurgulanmıştır (Akbulut vd., 2009). Bu araştırmalar, kara mürver odununun lignoselülozik hammadde olarak özelliklerinin ve potansiyel kullanım alanlarının belirlenmesinde çevresel faktörlerin önemini vurgulamaktadır. Merev vd., 2005 yılında yaptıkları çalışmada Türkiye’de yetişen birçok odun türü ile birlikte mürver odununda bazı anatomik ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Literatürde mürver odunun özelinde kimyasal, anatomik ve morfolojik özellikleri hakkındaki çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde yaygın olarak yetişen ancak lignoselülozik hammadde olarak kullanım potansiyeli henüz tam olarak bilinmeyen kara mürver odununun morfolojik ve kimyasal

yapısını belirlemektir. Ayrıca, bu özelliklerin, ekolojik farklılıklar gösteren Kastamonu ilinin çeşitli noktalarındaki örneklerle incelenmesi ve sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji üretimi gibi konulardaki çeşitli çalışmalar için yeni bir bakış açısı sunmaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Mürver çalı ve küçük ağaç olarak münferit olarak yetiştiği için çalışmada kullanılan örnekler (Şekil 1), alınan örneğin tamamını temsil edecek şekilde dairesel kesitler halinde Kastamonu ilinden üç farklı noktadan temin edilmiştir. Örnek A (SA, 19 yaş), Kastamonu şehir merkezine çok yakın bir ormanlık alandan edilmiştir. Örnek B (SB, 16 yaş), Kastamonu'nun Araç ilçesindeki orman ile tarım alanı arasındaki sınırdan alınmıştır. Örnek C (SC, 13 yaş), şehir merkezine yakın bir tarım alanı kenarından elde edilmiştir.



Şekil 1. Mürver odunu örneği (SA)

2.2. Metot

Elde edilen odun örnekleri, daha ileri analizler için uygun boyutlarda kesilmiştir. Maserasyon örnekleri kibrit çöpü boyutunda hazırlanmış ve klorit yöntemine göre (Spearin, Isenberg, 1947) masere edilmiştir. Maserasyondan sonra, morfolojik özellikler (lif uzunluğu, lif genişliği, lümen genişliği ve hücre duvarı kalınlığı) kamera sistemi ile donatılmış bir optik mikroskop kullanılarak rastgele seçilen 150 lif ve trahe üzerinde belirlenmiştir (Şekil 2). Hamur ve kağıt kaynaklı değerler (keçeleşme oranı (K.O.) denklem 1, elastiklik katsayısı (E.K.) denklem 2, Runkel oranı (R.O.) denklem 3 (Alkan vd., 2003; Ateş vd., 2008; İstek vd., 2009; Tutuş, Çiçekler, 2016; Tutuş vd., 2021))

morfolojik özellikler verilerinden hesaplanmıştır. Lif boyutları değerlerini karşılaştırmak için ANOVA ve Duncan istatistiksel analizi yapılmıştır.

$$K.O.= \text{Lif Uzunluğu} / \text{Lif Genişliği} \quad (1)$$

$$E.K. = \text{Lümen Genişliği} \times 100 / \text{Lif Genişliği} \quad (2)$$

$$R.O.= \text{Hücre Çeper Kalınlığı} \times 2 / \text{Lümen Genişliği} \quad (3)$$



Şekil 2. Ölçümlerin yapıldığı kameralı mikroskop sistemi

Kastamonu Üniversitesi Orman Endüstrisi Laboratuvarı'nda Wiley değirmeni ile parçalanmış odun örnekleri (40 mesh ile 60 mesh arasında parçacık boyutu) öğütülmüştür. Odun unu numuneleri iki parçaya ayrılmıştır; ilk kısım, analiz edilene kadar oda sıcaklığında kapalı cam kavanozlarda saklanmış ve kimyasal bileşenlerin belirlenmesinde Tablo 1'deki standart test yöntemleri kullanılmıştır. İkinci kısım numuneler değişmez ağırlığa ulaşana kadar etüvde kurutulmuştur. Bu numunelere Kastamonu Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda elementel analiz (% C, H, N) ve ICP-OES elementel analizi ile (Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Bakır (Cu), Kurşun (Pb), Çinko (Zn), Manganez (Mn), Demir (Fe), Kobalt (Co), Alüminyum (Al)) belirlenmiştir. Kurutulmuş örnekleri ICP-OES analizine hazırlık için asit-mikrodalga yanma yöntemi ile hazırlanmıştır. Bu yöntemde 0,5 gr odun örneği 10 ml %65'lik nitrik asit ile iyi şekilde karıştırıldıktan sonra mikrodalga fırında (180-200 °C arasında sıcaklıkta 15-20 dk sürede) yakılmıştır. Bu işlemten sonra numunelerin nihai hacmi 50 ml olacak şekilde saf su ile seyreltildikten ve filtre edildikten sonra ICP-OES cihazından ölçümler ilgili uzman tarafından alınmıştır. Numunelerdeki oksijen oranı (O %) Cafourek vd. (2016)'lerine göre biyokütledeki sıfır kükürt içeriği (%S =0) varsayımıyla %100'den karbon (C), hidrojen (H) ve azot (N) yüzdece oranlarının çıkarılması ile hesaplanmıştır.

Tablo 1. Mürver odunun özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan standart yöntemler

Deneyler	Standart
Lignin miktarı (%)	TAPPI T 222 om-88 (TAPPI, 1988b)
Alfa selüloz miktarı (%)	TAPPI T 203 om-93 (TAPPI, 1993a)
Holoselüloz miktarı (%)	Klorit metodu (Wise vd., 1946)
Kül miktarı (%)	TAPPI T 211 om-93 (TAPPI, 1993d)
Etanol-su (65-35 h/h) çözünürlüğü (%)	TAPPI T 204 om-88 (TAPPI, 1988a)
Sıcak su ve Soğuk su çözünürlüğü (%)	TAPPI T 207 om-93 (TAPPI, 1993b)
%1 NaOH çözünürlüğü (%)	TAPPI T 212 om-93 (TAPPI, 1993c)

3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 2'de, liflerin hücre uzunluğu, hücre genişliği, lümen genişliği ve hücre duvarı kalınlığı, mikroskop altında yapılan geçici preparatlar üzerinde görüntü analiz programları kullanılarak belirlenmiş ve bu sonuçlara dayanarak, mürver örneklerinin keçeleşme oranı (K.O.), elastikiyet katsayısı (E.K.) ve Runkel oranı (R.O.) değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen değerlerden lif boyutları için ANOVA analizi yapılmış, lif uzunluğu, lif genişliği, lümen genişliği, hücre çeper kalınlığı değerlerinin değişimleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0,05$). ANOVA analizine göre yapılan Duncan analizi sonucunda ortalamalar istatistiksel olarak gruplandırılmış ve ilgili gruplara göre farklı gruplar farklı harflerle Tablo 2'de verilmiştir. Genel olarak Duncan analizi sonuçlarına göre Kastamonu şehir merkezindeki örneklerle (SA ve SC) Araç ilçesinden temin edilen örnek arasında (SB) lif morfolojisi değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edilmiştir.

Tablo 2. Lif Morfolojisine Ait Bulgular ve İstatistik Analiz Sonuçları (μm)

	Lif Uzunluğu	Lif Genişliği	Lümen Genişliği	Hücre Çeper Kalınlığı	K.O.	E.K.	R. O.
S A	1215,86 ^a	25,01 ^a	15,27 ^a	4,87 ^a	61,07	48,62	0,63
S B	1037,01 ^b	19,67 ^b	11,87 ^c	3,90 ^b	60,34	52,70	0,66
S C	1252,25 ^a	23,83 ^a	13,56 ^b	5,13 ^a	56,88	52,53	0,75
Ortalama	1168,37	22,84	13,57	4,63	59,43	51,28	0,68
Std sapma	115,21	2,81	1,70	0,65	2,24	2,31	0,06
	Trahe Uzunluğu	Trahe Genişliği	Lümen Genişliği	Hücre Çeper Kalınlığı			
S A	644,36	88,99	70,34	9,32			
S B	653,55	96,63	73,20	8,78			
S C	620,87	89,091	62,86	13,11			
Ortalama	639,59	91,57	68,80	10,40			
Std sapma	16,85	4,38	5,34	2,36			

K.O. keçeleşme oranı, E.K. Elastiklik katsayısı, R.O. Runkel Oranı

Tablo 2 incelendiğinde keçeleşme oranlarının düşük olduğu ve bu değerlerin 70'in altına düşmesi ile kâğıdın direnç özelliklerinin azaldığı için keçeleşme oranı açısından üç mürver odunu türünün de kâğıtçılıkta kullanım için morfolojik değerlerinin yeterli düzeyde olmadığı anlaşılmaktadır. Elastiklik

katsayısına göre en yüksek katsayıya sırasıyla örnek B, örnek C ve örnek A sahiptir. Runkel oranı açısından tüm mürver odunu örneklerinin ince çeperli lifler klasmanında olduğu tespit edilmiştir (Alkan vd., 2003; Ateş vd., 2008; İstek vd., 2009; Tutuş, Çiçekler, 2016; Tutuş vd., 2021). Merev vd. (2005) yaptıkları çalışmada lif boyutlarının 588-1559 µm arasında olduğunu ve trahe uzunluğunun 110-494 µm arasında olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmamızdaki lif boyutları benzer olmakla beraber trahelerin uzunluğu yüksek tespit edilmiştir. Mürver odunun anatomik özelliklerinin daha anlaşılır olması için Tablo 3'te literatürdeki çeşitli lignoselülozik hammaddelere ait morfolojik bazı özellikleri verilmiştir. Tablo 2'deki verilere göre mürver odunu Tablo 3'te yer alan geniş yapraklı ağaç türlerine benzer değerlere sahiptir. Ortalama lif uzunluğu bakımından SB örneğinin ak kavak, kayın, saplı meşe gibi orman ağaçlarına yakın değerlere sahiptir (Alkan vd., 2003; Yadav vd., 2022). SA ve SC örneklerinin ortalama lif uzunluğu değerleri ise kara kavak, gürgen ve kara dut gibi ağaçların değerlerine yakın olduğu Tablo 3'ten anlaşılmaktadır (Alkan vd., 2003; Walia, 2013). Tablo 3'teki verilere göre mürver odunun ortalama lif boyutlarının sarıçam, kızılçam, karaçam, sahil çamı gibi iğne yapraklı türlere göre kısa olup, kenevir sapı ve buğday sapı gibi yıllık bitkilere göre daha uzun olduğu anlaşılmaktadır (Bektaş vd., 1999; İstek vd., 2009; Tutuş, Çiçekler, 2016; Kılıç Pekgözlü vd., 2017; Yurdakurban, Genç, 2019; Tutuş vd., 2021).

Tablo 3. Bazı bitki türlerine ait morfolojik özellikler (µm)

Odun Türü	Lif Uzunluğu	Lif Genişliği	Lümen Genişliği	Hücre Çeper Kalınlığı	K.O.	E.K.	R. O.	Kaynak
Ak kavak	1049,22	21,73	13,77	3,98	51,04	-	0,61	Yadav vd., 2022
Kara kavak	1291,14	23,49	15,52	3,98	58,37	-	0,53	Yadav vd., 2022
Kayın	1084,25	19,5	4,75	7,37	-	-	-	Alkan vd., 2003
Gürgen	1232,85	20,22	9,2	5,51	-	-	-	Alkan vd., 2003
Saplı Meşe	1092,15	20,17	10,55	4,81	-	-	-	Alkan vd., 2003
Kızılçam	1170	32,66	27,26	2,7	-	-	-	Kiaei, Samariha, 2011
Dış Budak	978	20	11,8	20	-	-	-	Kiaei, Samariha, 2011
Kara dut	1280	23	14,2	3,6	55,65	-	0,5	Walia, 2013
Erik	978,51	13,77	5,6	4,08	73,28	41,38	1,56	Kiaei vd., 2014
Sarıçam	3201	33,3	15,35	10,68	99,85	46,06	1,39	Yurdakurban, Genç, 2019
Kızılçam	4420	40,4	25,09	7,03	110	62,31	0,58	Bektaş vd., 1999
Karaçam	1540-1920	31,9-39,4	19,2-22,0	6,2-8,7	45,0-59,2	56,1-61,1	0,6-0,7	Kılıç Pekgözlü vd., 2017
Sahil çamı	2990	47,48	35,89	11,58	61,8	74,78	0,34	İstek vd., 2009
Buğday sapı	874	14,11	3,79	5,18	62	27	2,7	Tutuş, Çiçekler, 2016
Kenevir sapı	600	28,80	13,4	7,72	21,43	45,49	1,32	Tutuş vd., 2021

K.O. keçeleşme oranı, E.K. Elastiklik katsayısı, R.O. Runkel Oranı

Mürver odununun kimyasal analizler sonucunda ortalama bileşenlerinin yüzdeleri, yüzdece çözünürlük ve kül miktarları Tablo 4'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, mürver odunun lignin değerinin, özellikle literatürde yer alan yapraklı ağaç ortalama lignin oranlarına göre

(%18-26) yüksek olduğu tespit edilmiştir (Kırcı, 2003; Tutuş, Çiçekler, 2016; Tutuş vd., 2021). Demirbaş (2003)'a göre lignin miktarı, lignoselülozik hammaddeden elde edilecek üst ısı değerine doğrudan etki etmektedir. Bu durumda mürver odununun lignin miktarının diğer yapraklı ağaçlara göre daha yüksek çıkması, biyoenerji sanayisinde değerlendirilebilir olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca ligninin son yıllarda özellikle UV absorban ve termal kararlılığı sebebi ile kompozit malzemelerin üretiminde değerlendirilmesi üzerine çalışmalar mevcut olduğu bilinmektedir (Huang vd., 2021). Özellikle yenilenebilir ve sürdürülebilir üretim hususlarında lignin oranının yüksek olması sebebi ile mürver odunu hammadde olarak uygun olmasa da katkı maddesi olarak değerlendirilebilir. Tespit edilen holoselüloz miktarı bakımından Tablo 4'te yer alan değerler (%70.26-72.93), literatürde genel olarak yapraklı ağaç için verilen ortalama değerlere (%72-82) oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir (Kırcı, 2003; Tutuş, Çiçekler, 2016; Tutuş vd., 2021).

Tablo 4. Mürver odunu örneklerinin kimyasal bileşen oranları

	Lignin (%)	Holoselüloz (%)	Alfa selüloz (%)	Kül miktarı (%)	Çözünürlükler			
					Alkol-su (2:1) (%)	Sıcak su (%)	Soğuk su (%)	%1 NaOH (%)
SA	29,96 (0,94)	70,26 (5,75)	59,18 (1,61)	0,60 (0,06)	5,67 (0,98)	10,23 (0,21)	3,13 (0,04)	7,35 (1,40)
SB	28,10 (2,46)	71,94 (2,65)	54,27 (2,97)	0,76 (0,09)	7,35 (0,38)	11,23 (0,06)	7,36 (0,30)	9,46 (2,80)
SC	27,65 (2,22)	72,93 (5,23)	50,57 (1,19)	0,60 (0,23)	8,52 (1,45)	11,61 (0,74)	3,68 (3,55)	6,40 (2,46)
Ortalama	28,57 (1,22)	71,71 (1,35)	54,67 (4,32)	0,65 (0,09)	7,18 (1,43)	11,02 (0,71)	4,92 (2,11)	7,74 (1,57)

Kül miktarı, lignoselülozik hammaddelerin biyoenerji olarak değerlendirilmesinde en çok önem verilen değerler arasındadır. Özellikle toz emisyonları ve yanma teknolojisi üzerine kül miktarının ve içeriğinin etkisi bilinmektedir (Kayaşoğlu, Aktaş, 2023). Örneğin, yüksek kül içeriği soba veriminin düşmesine sebep olabileceği gibi, sobanın metal aksamlarına da zarar verebilir (Tarasov, 2013). EN ISO 17225-1 (2021)'e göre odun yongalarının ve kabuk lif karışımlarına ait sınıflandırmaya göre elde edilen değerler açısından SA ve SC örnekler A0.7 grubuna, SB örneği ise A1.0 grubuna ortalama olarak mürver odunu değeri A0.7 grubuna girmektedir. EN ISO 17225-2 (2021)'de ticari ve konutsal kullanım amacıyla üretilecek peletlerde kül miktarının, A1 sınıfı için %0,7'den düşük, A2 sınıfı için %1.2'den düşük olması gerektiği belirtilmektedir. Aynı standartta, endüstriyel uygulamalar için I1 sınıfının %1,0'dan düşük olması beklenmektedir. Bu standarda göre, kara mürver odunu ortalama değer olarak A1 ve I1 sınıfının değerlerini karşıladığı görülmektedir.

Lignoselülozik hammaddelerin biyoenerjide kullanımı sırasında açığa çıkan ısı değerleri, doğrudan içerdiği elementler (C, H, O, N ve S) arasındaki bağlara bağlıdır. Bu noktada bir hammaddenin bu oranlarının bilinmesi ile ısı değerleri hesaplanabildiği için elementel analiz

biyoenerji çalışmalarında oldukça önem arz etmektedir (Kayışoğlu Aktaş, 2023). Kara mürver odunu örneklerinin elementel analiz sonuçları Tablo 5’te verilmiştir. EN ISO 17225-1 (2021)’e göre yapraklı ağaç odunları, önemli olmayan miktarda kabuk ve yaprak içerse bile, C oranı %48-52 arasında, H oranı %5,9-6,5 arasında, O oranı %41-45 arasında ve N oranı ise %0,1’den % 0,5’e kadardır. Bu noktada, elde edilen verilere göre genel olarak kara mürver odunu bu aralıkları karşılamaktadır. EN ISO 17225-2 (2021)’deki azot oranlarına göre ticari kullanımlar için A1 sınıfı için maksimum %0,3, A2 sınıfı için maksimum %0,5 ve B sınıfı için ise maksimum %1,0 olabilir. Buradan yola çıkılarak mürver odunu örnekleri A2 sınıfına uygundur.

Tablo 5. Mürver odunu örneklerinin elementel analiz sonuçları

	(N) %	(C) %	(H) %	(O)%
SA	0,359	48,512	6,284	44,845
SB	0,143	47,002	6,267	46,588
SC	0,539	48,391	6,090	44,980
Ortalama	0,347	47,968	6,214	45,471
Std sapma	0,198	0,839	0,107	0,970

Yapılan ICP-OES analizi sonucu mürver odununda araştırılan elementlerin sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Tablo 6’ya göre mürver odununun bünyesinde arsenik (As), bakır (Cu) ve kobalt (Co) elementleri cihazın minimum tespit miktarının altında kalmıştır. Ağır metallerin ve minerallerin birikiminde çevresel faktörler etkili olduğu için bu beklenen bir durumdur. Örneğin, çınar yapraklı akçaağacın biyoindikatör olarak kullanımı üzerine yapılan bir çalışmada odunda, Cd ve kurşun (Pb) elementlerinin tespit edilemediği ve detaylı analizde odunların bazı yıllara tekabül eden yıllık halkalarından alınan örneklerde Co ve krom (Cr) elementlerinin tespit edilemediği gözlemlenmiştir (Turkyılmaz vd., 2018). Turkyılmaz vd., (2019) yaptıkları çalışmada meşe odununda Pb elementini ve detaylı analizlerde bazı yıllara gelen yıllık halkalarda da Cd elementinin de tespit edilemediği belirtmişlerdir.

Tablo 6. Analiz edilen elementlerin ICP-OES sonuçları (ppm)

	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe	Co	Al
SA	-	0,3618 (0,003)	0,9727 (0,012)	-	1,4875 (0,040)	0,5980 (0,010)	0,5824 (0,103)	8,6895 (0,943)	-	1,6981 (0,677)
SB	-	0,3464 (0,004)	0,1887 (0,015)	-	1,7192 (0,065)	0,3794 (0,010)	0,3526 (0,004)	3,599 (0,101)	-	0,8634 (0,030)
SC	-	0,3571 (0,006)	0,2031 (0,009)	-	1,6303 (0,051)	0,5885 (0,016)	0,8330 (0,007)	3,8363 (0,069)	-	1,4679 (0,017)
Ortalama	-	0,3551 (0,008)	0,4548 (0,449)	-	1,6123 (0,117)	0,5220 (0,124)	0,5893 (0,240)	5,3749 (2,873)	-	1,3431 (0,431)

Tablo 6’da krom (Cr) elementinin, SA örneğinde (0,9727 ppm) SB ve SC örneklerine (0,1887 ve 0,2031) göre çok yüksek olduğu, benzer şekilde demir (Fe) elementinin SA örneğinde (8,6895 ppm) bariz bir şekilde yüksek olduğu gözlemlenmektedir. SB örneğinin ise çinko (Zn) elementinin (0,3794 ppm), manganez (Mn) elementinin (0,3529 ppm) ve alüminyum (Al) elementinin (0,8634 ppm), SA ve SC örneklerine göre en düşük olduğu gözlemlenmektedir. Bunlara ek olarak kadmiyum (Cd) elementinin (0,3464-0,3618 ppm), Pb’nin değerlerinin (1,4875-1,7192 ppm) örnekten örneğe göre değişim gösterse de birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yetişme yerindeki çevresel koşullar ve kirliliğin ağır metal ve mineral element birikiminde oldukça önemli bir yeri olduğunu ve lignoselülozik bir hammadde olarak kara mürver odunun biyoindikatör olarak kullanılabilirliğini göstermektedir (Akarsu vd., 2019; Cetin vd., 2019; Istanbul vd., 2023; Turkyilmaz vd., 2018; Turkyilmaz vd., 2019; Yigit, 2019).

4. Sonuçlar ve Öneriler

Kara mürver türünün tarımsal faaliyetler kapsamında büyük alanlarda üretime alınması durumunda, çiçek ve meyvesiyle gelir getirici bir tür olması ve ayrıca bu organlardaki etken maddelerin özütlerden elde edilerek katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülebilmesi sayesinde bölgesel kalkınma açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen hedef faaliyetler sonucunda üretilecek kara mürver odununa ait lif özellikleri incelenmiş; liflerinin ortalama lif boylarının uzunluğu 1168,37 μm , ortalama lif genişliğinin 22,84 μm , ortalama lümen genişliğinin 13,57 μm ve ortalama hücre çeper kalınlığı değerinin 4,63 μm olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen veriler üzerinde yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda, Kastamonu il merkezinden temin edilmiş (SA ve SC) numuneler ile Kastamonu Araç ilçesinden temin edilen örnekler arasında anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir ($p \leq 0,05$). Kara mürver odunu yüksek lignin oranı (% 28,57) ve düşük kül oranı (% 0,65) ile biyoenerji ve kompozit malzeme üretiminde değerlendirilme potansiyeli mevcut olduğunu göstermektedir.

Ayrıca holoselüloz oranı ve ortalama lif boyutları ile birlikte literatürde yapraklı ağaçlar için verilen genel değerlere yakın olması, bu ağaç türünün lif levha endüstrisi alanında değerlendirilme potansiyelinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra, bu türün biyoindikatör olarak kullanılarak hava kirliliğinin ve kirlilik kaynaklı ağır metal birikiminin (Cd: 0,3551 ppm, Cr: 0,4548 ppm, Pb: 1,6123 ppm, Zn: 0,5220 ppm, Mn: 0,5893 ppm, Fe: 5,3749 ppm, Al: 1,3431 ppm) tespit ve değerlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Tarımsal faaliyetler sonucu açığa çıkacak lignoselülozik biyokütlenin pelet üretiminde değerlendirilme potansiyeline sahip olması, mürver odunun çok amaçlı kullanım olanaklarına sahip olduğunu göstermektedir. Bu

doğrultuda kara mürver türü odununun sürdürülebilirliğinin yüksek ve farklı endüstriyel alanlarda değerlendirilebilir olduğu kanaatine varılmıştır.

Kara mürverin kontrollü tarımla üretiminin teşvik edilmesi, elde edilen asli ve yan ürünlerin değerlendirilmesi konusunda sanayi ile işbirliğinin teşviki önerilmektedir. Ayrıca bölge halkının türün ekonomik ve ekolojik potansiyeli konusunda bilinçlendirilmesi, yaygınlaştırma ve eğitim faaliyetleriyle desteklenmesi, bölgesel kalkınma, istihdam ve sürdürülebilir doğal kaynak yönetimi açısından da önemli katkılar sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmanın bir kısmı 5th Bioenergy Studies Sempozyumu bildiri özetleri kitabında özet olarak yayınlanmıştır. Bu çalışma TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Programları Başkanlığı (BİDEB) tarafından 2209/A programı kapsamında 1919B012107657 başvuru numarası ile desteklenmiştir. Bu çalışmanın yürütülmesindeki desteği için TÜBİTAK BİDEB’e teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Yazar 1: Proje Yürütücüsü; Kaynaklar; Araştırma; Analiz; Yazma

Yazar 2: Proje Danışmanı; Kaynaklar; Araştırma; Analiz; Yazma

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Abuamoud, M.M.M., Ateş, S., Durmaz, E. (2018). Comparison of some anatomical, chemical and fibrous characteristics of Turkish Pine (*Pinus brutia* Ten.) sampled from different regions. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 18(1), 75-82. <https://doi.org/10.17475/kastorman.364592>
- Alkan, Ç., Eroğlu, H., Yaman, B. (2003). Türkiye’deki bazı odunsu angiospermae taksonlarının lif morfolojileri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 5(5), 102-108.
- Akarsu, H., Çetin, İ.Z., Jawed, A.A., Aisha, A.E.S.A., Cesur, A., Keskin, R. (2019). *Fraxinus excelsior* L.’da bazı ağır metal konsantrasyonlarının organel ve trafik yoğunluğuna bağlı değişimi. *Uluslararası Mühendislik Tasarım ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 24-30.

- Akbulut, M., Ercisli, S., Tosun, M. (2009). Physico-chemical characteristics of some wild grown European elderberry (*Sambucus nigra* L.) genotypes. *Pharmacognosy magazine*, 5(20), 320-323. <http://dx.doi.org/10.4103/0973-1296.58153>
- Ates, S., Ni, Y., Akgul, M., Tozluoglu, A. (2008). Characterization and evaluation of *Paulownia elongata* as a raw material for paper production. *African journal of biotechnology*, 7(22), 4153-4158.
- Bektaş, İ., Tutuş, A., Eroğlu, H. (1999). A study of the suitability of Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) for pulp and paper manufacture. *Turkish journal of Agriculture and Forestry*, 23(9), 589-598.
- Cafourek, J., Gaff, M., Gašparík, M., Slávik, M., Macků, J. (2016). Properties and use of biomass from reclaimed land in the North Bohemian Basin. *Wood Research*, 61(5), 777-790.
- Csorba, V., Magdolna, T. Ó. T. H., Laszlo, A. M., Kardos, L., Kovács, S. (2020). Cultivar and year effects on the chemical composition of elderberry (*Sambucus nigra* L.) fruits. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(2), 770-782. <https://doi.org/10.15835/nbha48211873>
- Çetin, M., Sevik, H., Aricak, B., Ozturk, A., Özer Genc, C., Aisha, A.E.S.A., Jawed, A.A., Aljama, A.M.O., Alrabiti, O.B.M. (2019). The investigation of the changing in concentration of some heavy metals in seeds, leaves, and branches because of traffic density: A case study of *Acer platanoides*. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 5(2), 83-92.
- Demirbaş, A. (2003). Fuelwood characteristics of six indigenous wood species from the Eastern Black Sea region. *Energy Sources*, 25(4), 309-316. <https://doi.org/10.1080/00908310390142343>
- EN, (2021). *EN ISO 17225-1, Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 1: General requirements*. Geneva, European Committee For Standardization.
- EN, (2021). *EN ISO 17225-2, Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 2: Graded wood pellets*. Geneva, European Committee For Standardization.
- Huang, J., Liu, W., Qiu, X., Tu, Z., Li, J., Lou, H. (2021). Effects of sacrificial coordination bonds on the mechanical performance of lignin-based thermoplastic elastomer composites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1450-1458. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.188>
- Istanbulu, S.N., Sevik, H., Isinkaralar, K., Isinkaralar, O. (2023). Spatial distribution of heavy metal contamination in road dust samples from an urban environment in Samsun, Türkiye. *Bulletin Of Environmental Contamination and Toxicology*, 110(4), 78. <https://doi.org/10.1007/s00128-023-03720-w>
- İstek, A., Tutuş, A., Gülsoy, S.K. (2009). Sahil çamı odununun lif morfolojisi ve kağıt özellikleri üzerine ağaç yaşının etkisi. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 1-5.
- Kayışoğlu, B., Aktaş, T. (2023). *Biyokütle Enerjisi Dönüşüm Teknolojileri*. Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kırcı, H. (2003). *Kağıt Hamuru Endüstrisi Ders Notları*. Trabzon, KTÜ, Orman Fakültesi Yayınları.
- Kiaei, M., Samariha, A. (2011). Fiber dimensions, physical and mechanical properties of five important hardwood plants. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(11), 1460-1463. <https://dx.doi.org/10.17485/ijst/2011/v4i11.8>
- Kiaei, M., Tajik, M., Vaysi, R. (2014). Chemical and biometrical properties of plum wood and its application in pulp and paper production. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 16(3), 313-322.
- Kozakiewicz, P., Dadon, M., Marchwicka, M. (2021). Investigation of selected properties of the black elder wood (*Sambucus nigra* L.). *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Forestry and Wood Technology*, 116, 28-38.
- Merev, N., Gerçek, Z., Serdar, B., Bak, F. E., Birtürk, T. (2005). Wood anatomy of some Turkish plants with special reference to perforated ray cells. *Turkish Journal of Botany*, 29(4), 269-281.
- Moody, J. (2019). *The Elderberry Book: Forage, Cultivate, Prepare, Preserve*. New Society Publishers.
- Olgun, Ç., Özkan, O.E., Vurdu, H. (2012, Ekim) Kastamonu'da yetişen mürver türlerinin botanik ve kullanım özellikleri. Kastamonu'nun Doğal Zenginlikleri Sempozyumu (s. 46-49) Kastamonu, Kastamonu Üniversitesi.
- Osman, A. G., Avula, B., Katragunta, K., Ali, Z., Chittiboyina, A. G., Khan, I. A. (2023). Elderberry extracts: Characterization of the polyphenolic chemical composition, quality consistency, safety, adulteration, and attenuation of oxidative stress-and inflammation-induced health disorders. *Molecules*, 28(7), 3148. <https://doi.org/10.3390/molecules28073148>
- Pekgözlü Kılıç, A., Gülsoy, S. K., Ayçiçek, Y. (2017). Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) odununun lif morfolojisi ve kimyasal yapısı üzerine ağaç gövde yüksekliğinin etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(2), 74-81. <https://doi.org/10.24011/barofd.342069>
- Seven, T., Can, B., Darende, B.N., Ocak, S. (2018). Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 91-103.

- Spearin, W.E., Isenberg, I.H. (1947). The maceration of woody tissue with acetic acid and sodium chlorite. *Science*, 105(2721), 214-214.
- TAPPI, (1988a). *TAPPI Test Method T 204 om-88: Solvent extractives of wood and pulp*. TAPPI Test Methods, Atlanta, GA, TAPPI.
- TAPPI, (1988b). *TAPPI Test Method T 222 om-88: Acid-insoluble lignin in wood and pulp*. TAPPI Test Methods, Atlanta, GA, TAPPI.
- TAPPI, (1993a). *TAPPI Test Method T 203 om-93: Alpha-, beta- and gamma – cellulose in pulp*. TAPPI Test Methods, Atlanta, GA, TAPPI.
- TAPPI, (1993b). *TAPPI Test Method T 207 om-93: Water solubility of wood and pulp*. TAPPI Test Methods, Atlanta, GA, TAPPI.
- TAPPI, (1993c). *TAPPI Test Method T 212 om-93: One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp*. TAPPI Test Methods, Atlanta, GA, TAPPI.
- TAPPI, (1993d). *TAPPI Test Method T 211 om-93: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 °C*. TAPPI Test Methods, Atlanta, GA, TAPPI.
- Tarasov, D. (2013). *Comparative analysis of wood pellet parameters: Canadian case study*. Master Thesis, Lakehead University, Natural Resources Management Faculty, Thunder Bay, Canada.
- Turkyilmaz, A., Sevik, H., Isinkaralar, K., Cetin, M. (2018). Using *Acer platanoides* annual rings to monitor the amount of heavy metals accumulated in air. *Environmental monitoring and assessment*, 190(578), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6956-0>
- Turkyilmaz, A., Sevik, H., Isinkaralar, K., Cetin, M. (2019). Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 5122-5130. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3962-2>
- Tutus, A., Çiçekler, M. (2016). Evaluation of common wheat stubbles (*Triticum aestivum* L.) for pulp and paper production. *Drvna industrija*, 67(3), 271-279. <https://doi.org/10.5552/DRIND.2016.1603>
- Tutuş, A., Çiçekler, M., Yemşen, B., Kara, S.B., Sözbir, T. (2021). Kenevir (*Cannabis sativa* L.) saplarından kağıt hamuru ve kağıt üretiminin araştırılması. *Turkish Journal of Forestry*, 22(3), 311-317. <https://doi.org/10.18182/tjf.958584>
- URL-1: <https://kastamonu.tarimorman.gov.tr/Haber/1557/Kastamonu-Ilinde-Murver-Yetistirciligi-Icin-Calismalar-Basladi>, (Erişim tarihi: 24 Mayıs 2025)
- Walia, Y. K. (2013). Chemical and physical analysis of *Morus nigra* (Black mulberry) for its pulpability. *Asian Journal of Advanced Basic Sciences*, 1(1), 40-44.
- Wise, L.E., Murphy, M., D'Addieco, A.A. (1946). Chlorite holocellulose, its fractionation and bearing on summative wood analysis and on studies on the hemicelluloses. *Paper Trade Journal*, 122(2), 35-43.
- Yadav, R., Kumar, D., Ansari, T. (2022). Wood fiber characteristics of underutilized poplar species and comparison with *P. deltoides* in terms of their pulp and paper quality. *The Journal of Biomedical Research & Environmental Sciences*, 3(11): 1433-1439. <https://doi.org/10.37871/jbres1617>
- Yigit, N. (2019). Determination of heavy metal accumulation in air through annual rings: the case of *Malus floribunda* species. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(2), 2755-2764. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1702_27552764
- Yigit, N., Mutevelli, Z., Sevik, H., Onat, S.M., Ozel, H.B., Cetin, M., Olgun, C. (2021). Identification of some fiber characteristics in *Rosa* sp. and *Nerium oleander* L. wood grown under different ecological conditions. *BioResources*, 16(3), 5862-5874. <https://dx.doi.org/10.15376/biores.16.3.5862-5874>
- Yurdakurban, F., Gençer, A. (2019). Kraft yöntemiyle aynı pişirme şartlarında sarıçam ve titrek kavak odunu yongalarından elde edilen kâğıt hamurunun verimi ve kâğıt özelliklerinin karşılaştırılması. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(1), 129-135. <https://doi.org/10.24011/barofd.447207>