

Isıl İşlemin Doğu Ladini ve Dişbudak Odunlarında Kimyasal Bileşenler Üzerine Etkisi

The Effect of Heat Treatment on Chemical Components in Oriental Spruce and Narrow-leaved Ash Woods

Ömer ÖZYÜREK^{1*}, Ayhan AYDIN²

¹Düzce Üniversitesi, Ormanlık Meslek Yüksekokulu, Malzeme Ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Kâğıt Teknolojisi Programı, Düzce

²Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekân Tasarımı Programı, Düzce

Eser bilgisi/Article info

Araştırma makalesi/Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1967072

*Sorumlu yazar/Corresponding author

Ömer ÖZYÜREK

e-mail: omerozyurek@duzce.edu.tr

Gönderilme tarihi/Submission date

09.06.2026

Kabul tarihi/Acceptance date

10.07.2026

Yayınlanma tarihi/Publication date

07.08.2026

Anahtar kelimeler:

Doğu ladini

Dişbudak

Isıl işlem

Kimyasal özellikler

Keywords:

Ash

Chemical properties

Heat treatment

Oriental spruce

Öz

Bu çalışmada Dar Yapraklı Dişbudak (DYD) ve Doğu Ladini (DL) odunlarında ısı işlemin kimyasal bileşenler üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla Türkiye’de doğal olarak yetişmekte olan ağaç türleri, yetiştirme ortamından ilgili standarta göre seçilmiş ve ısı işlem sürecine kadar hazırlanmıştır. Ardından hazırlanan çalışma ağaçları ThermoWood® yöntemi ile 190°C (TW1) ve 212°C (TW2) sıcaklıkta 1 saat ısı işleme tabi tutulmuştur. Daha sonra odun örnekleri öğütülerek kimyasal analizler için hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan odun örneklerinin kuru madde, rutubet, holoselüloz, α-selüloz, lignin, aseton çözünürlüğü ve kül tayini ilgili standartlara göre gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre DYD ve DL odunlarında kontrol örnekleri için kuru madde (KM), rutubet (R), holoselüloz (HLS), alfa-selüloz (α-S), hemiselüloz (HMS), klason lignini (KL), kül miktarı (ASH) ve aseton çözünürlüğü (AS) miktarlarının sırası ile yüzde şeklinde 94.0 ve 93.4; 6.38 ve 7.03; 87.1 ve 82.8; 51.2 ve 56.5; 35.9 ve 26.8; 24.1 ve 29.7; 0.27 ve 0.28; 1.88 ve 0.96 olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte ısı işlem (HT) uygulanmış odun örneklerinde her iki ağaç türünün temel bileşenleri olan HLS, KL, HMS ve α-S miktarlarında kontrol örneklerine göre önemli değişiklikler olduğu görülmektedir. Kontrol örneklerine göre en yüksek azalma TW2 örneklerinde olmak üzere HLS’da DYD’da %29.63, α-S’da DL odununda 16.46 ve HMS’da ise DYD odununda %54.31 olarak meydana geldiği görülmektedir. Klason lignin miktarı HT görmüş örneklerde kontrol örneklerine göre her iki ağaç türünde artmış, en yüksek artış ise DYD odunu TW2 örneğinde %47.30 şeklinde gerçekleşmiştir.

Abstract

This study investigated the effect of heat treatment on the chemical components of Narrow-leaved Ash and Oriental Spruce wood. For this purpose, tree species naturally growing in Türkiye were selected from their growing environment in accordance with the relevant standards and prepared for the heat treatment process. Subsequently, the prepared study trees were subjected to heat treatment at 190°C (TW1) and 212°C (TW2) for 1 hour using the ThermoWood® method. Afterwards, the wood samples were ground and prepared for chemical analysis. Dry matter, moisture content, holocellulose, alpha-cellulose, lignin, acetone solubility, and ash content of the wood samples prepared within the scope of the study were determined according to the relevant standards. According to the study results, the percentages of dry matter (DM), moisture (R), holocellulose (HLS), alpha-cellulose (α-S), hemicellulose (HMS), Klason lignin (KL), ash content (ASH), and acetone solubility (AS) in Narrow-leaved Ash and Oriental Spruce wood control samples were determined as 94.0 and 93.4; 6.38 and 7.03; 87.1 and 82.8; 51.2 and 56.5; 35.9 and 26.8; 24.1 and 29.7; 0.27 and 0.28; and 1.88 and 0.96, respectively, as percentages for the control samples. However, in heat-treated (HT) wood samples, significant changes were observed in the amounts of HLS, KL, HMS, and α-S, which are the main components of both tree species, compared to control samples. Compared to control samples, the highest decrease was observed in samples treated with 212°C HT, with a decrease of 29.63% in Narrow-leaved Ash wood in HLS, 16.46% in Oriental Spruce wood in α-S, and 54.31% in Narrow-leaved Ash wood in HMS. Klason lignin content increased in HT-treated samples in both tree species compared to control samples, with the highest increase of 47.30% in Narrow-leaved Ash wood treated with 212°C HT. Compared to control samples, the highest decrease was observed in TW2 samples, with 29.63% in DYD wood in HLS, 16.46% in DL wood in α-S, and 54.31% in DYD wood in HMS. Klason lignin content increased in HT-treated samples in both tree species compared to control samples, with the highest increase occurring in DYD wood of the TW2 sample at 47.30%.

GİRİŞ

Devletler gittikçe artan çevre bilinci ve doğayı daha yaşanabilir hale getirme sürecinde çeşitli endüstriyel üretim alanlarında daha çok çevre dostu materyal ve yöntemlerin kullanılmasını teşvik etmeye çalışmakta ve stratejik planlamalar yapmaktadır. Örneğin Türkiye’de bu kapsamda ağaç malzemenin çevresel ve sağlık gibi avantajları nedeni ile günümüzde mobilya üretimi ve yapı inşası için kullanımını artırmak adına çalışmalar yapılması ve kamuoyunda farkındalık oluşturulması teşvik edilmektedir (Anonim, 2026). Teşvik kapsamında öncelikle olarak kamu binaları başta olmak üzere, yapılarda ahşap malzeme kullanımının yaygınlaştırılması için gerekli düzenlemeler yapılması, katma değeri yüksek işlenmiş masif mobilya ve yapısal ahşap malzeme üretiminin desteklenmesi ve odun hammaddesinin öncelikli olarak masif halde kullanılması istenmektedir. Bunun yanında birçok ilave uygulamanın yapılması da planlar dâhilinde önerilmektedir.

Günümüzde ağaç malzemeye dayalı olan ve toplumların gereksinimlerini karşılayan endüstriyel üretim yöntemleri dikkate alındığında, arz ve talep dengesini sağlayabilmek için ağaç malzemenin sadece masif halde kullanımının yeterli olmadığı görülmektedir. Bu nedenle masif oduna alternatif birçok ağaç kökenli ürün de üretilmektedir. Öte yandan masif oduna ikame birçok odun kökenli malzemelerde kullanılan kimyasallarda ise insan ve çevre sağlığını tehdit eden faktörlerin de devreye girdiği bilinmektedir. Ulusoy ve Peker (2019)’ e göre kimyasallar birçok kullanım yerinde ağaç malzeme yapısını kolayca bozabilecek faktörlerin varlığına karşı onun dayanımını artırma zorunluluğundan kaynaklanmaktadır. Ulusoy ve Peker (2019) çalışmalarında odunu koruma önlemlerinin amacının oduna zarar veren organizmalara karşı elverişsiz yaşam koşullarının oluşturulmasının amaçlandığını belirtmekle birlikte, ahşabı kimyasal metotlarla korumak için kullanılan kimyasallardan dolayı çevre kirliliği problemlerinin oluştuğunu ifade etmektedirler. Ayrıca biyotik ve abiyotik zararlılara karşı koruyan emprenye maddelerinin az da olsa çevreye yayılması halinde insanlara ve diğer canlılara zararlı olabildiğini bildirmektedirler. Çalışmada ilave olarak toksik maddelerden dolayı çürüme riski yüksek toprakla temas eden ahşap uygulamalarının önem kazandığı belirtilmektedir. Çünkü odun zararlılarına karşı yüksek oranda toksik olan bu kimyasalların bir kısmının bazı durumlarda çevreye ve canlılara da etkileri olabilmektedir. Buna rağmen halen var ve gelişmekte olan bazı üretim yöntemleri çevre dostu üretim teknikleri için cesaret vermekte olup işlemler çevre ve insan sağlığını ön plana çıkaran bir üretim yöntemi olarak dikkati çekmektedir (Cao vd., 2022).

Isıl işlem metodunun ana fikri kimyasal reaksiyonların hız kazandığı 150°C’nin üzerindeki sıcaklıklarda ahşabın ısı ile muamelesine dayanmaktadır (Johansson, 2005). Standart metninde ısı işlem görmüş ağaç malzemeyi, hücre çeper bileşenleri ve fiziksel özellikleri 160°C’den daha yüksek sıcaklığa ve oksijen mevcudiyeti azaltılmış şartlara maruz bırakılarak değiştirilmiş odun olarak tanımlar (TS CEN/TS 15679, 2010). Günümüzde ısı işlem uygulamaları denilince ThermoWood, PlatoWood-Lignius-Lambowood-Retification process (Retiwood)-New Option wood-Le Bois Perdure, Hot Oil treatment (OHT)-Menz Holz, Calignum, Thermabolite, Huber Holz, Wood Treatment Technology (WTT) ve Westwood gibi metotlar akla gelmektedir. (Sundqvist, 2004; Tjeerdsma, 2006).

Ağaç malzeme ısı işlemi, son yıllarda önemli ölçüde artmış ve bazı ahşap özelliklerini iyileştirmek için endüstriyel bir süreç olarak büyümeye devam etmektedir. Başlangıçta ısı işlem görmüş ağaç malzemelerde denge rutubeti, boyutsal kararlılık, dayanıklılık ve mekanik özellikleri üzerine yapılan çalışmaların, daha sonra kütle kaybı, ıslanabilirlik, ahşap rengi ve kimyasal dönüşümler şeklinde genişlediği ve ardından kalite kontrolü, modelleme ve iyileştirmelerin nedenlerini incelemeye odaklandığı görülmektedir (Esteves ve Pereira, 2009). Böylece çok sayıda ağaç türü çalışılmış bulunmakla birlikte, yine de bir çok ağaç türü için ısı işlem sonrası meydana gelen değişimlerin ortaya konması hususunda geniş bir çalışma alanı bulunduğu da aşıkardır.

Literatür incelendiğinde ısı işlem sonrasında ağaç malzemenin gerek fiziksel gerekse mekanik özelliklerinde önemli değişimlerin bildirildiği görülmektedir. Örneğin Cao vd. (2022) çalışmalarında ısı işlemin; boyutsal kararlılığı, biyolojik

dayanıklılığı, ahşap rengini ve akustik özelliklerini iyileştirdiğini, bununla birlikte ahşabın mekanik özelliklerinin azaldığını bildirmektedirler. Çalışmada önemli bir not olarak ısıtma işlemi uygulanan ağaç malzemeler ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle kimyasal bileşenlerin çalışma kapsamı dışında tutulduğu belirtilmektedir. Böyle olmasına rağmen bir başka çalışmada ısıtma işlemi ile ağaç malzemelerin gerek fiziksel gerekse mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin, esas olarak ısıtma işleminin onun kimyasal bileşenleri olan selüloz, hemiselüloz ve ligninde yaptığı etkiden kaynaklandığı ifade edilmektedir (Kocaefe vd., 2009; Korkut ve Kocaefe, 2008). Bu nedenle bir çok çalışmada ısıtma işleminin ağaç malzemesinin kimyasal yapısı üzerinde olan etkisi de araştırma konusu olmuş bulunmaktadır.

Isıtma işlemi konusunda en temel kaynaklardan biri olan ThermoWood® Handbook (2003)'de belirtildiği üzere kimyasal özelliklerinin birçoğunun kalıcı olarak değiştiği ifade edilmektedir. Değişimin esas olarak hemiselülozların termik bozunmasından kaynaklandığı ve sıcaklık kademeli olarak artırıldıkça değişikliklerin de devam ettiği vurgulanmaktadır (Anonim, 2026). Başlangıçta odun ana bileşenleri olan lignin, hemiselüloz ve selüloz ile ilgili elementleri bir arada tutan bağ yapısı üzerinden yapılan araştırmalar (Sjöström, 1993; Hill, 2007; Boonstra, 2008), ardından bileşenlerin ısıtma işleminden sonrası miktarlarındaki değişim miktarlarının belirlenmesi şeklinde devam etmiştir (Yıldız, 2002; Mohareb vd., 2012; Esteves vd., 2022; Carneiro vd., 2023; Gašparík vd., 2024; Özyürek, 2026).

Aytin vd. (2022) ısıtma işleminin ağaç malzemesindeki fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişime etkisini inceledikleri çalışmalarında Dişbudak ve Doğu Ladini odunlarında ısıtma işlemi sıcaklığındaki artışa bağlı olarak önemli değişikliklerin olduğunu belirtmektedirler. Aynı çalışmada ağaç malzemesinde temel hücre bileşenlerini ağırlıklı olarak oluşturan elementlerden karbon (artma) ve oksijende (azalma) ısıtma işlemi ile birlikte kontrol örneklerine göre yüzde olarak önemli miktarda değişimlerin olduğu bildirilmektedir. Dolayısı ile hem fiziksel hem de mekanik özelliklerdeki değişimden başlıca sorumlu kimyasal bileşenlerin ısıtma işlemi ile birlikte iki ağaç türündeki değişim miktarlarının bilinmesi konunun daha iyi anlaşılması için büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada Türkiye'de doğal olarak yetişmekte olan ve oldukça yaygın ve geniş kullanım alanı bulunan Dar Yapraklı Dişbudak ve Doğu Ladini ağaçlarının ThermoWood® ile modifikasyonu sonrası kimyasal yapılarında hücre çeperi ana bileşenleri bazında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Şahin ve Güler (2015) çalışmalarında odun kalitesi yetişmekte olan coğrafi bölgeye göre değişen Dar Yapraklı Dişbudak (*Fraxinus angustifolia*) (DYD) ağacının cadde ve sokaklarda dekoratif ağaç olarak kullanılmakla birlikte, odunu mobilya endüstrisi, kaplama, lambri, kontrplak, spor aletleri, parke, gemilerin iç kısımlarında, bükme sandalye ve koltuk yapımında kullanıldığını bildirmektedirler. Aynı çalışmada DYD'nin hava kurusu yoğunluk değerinin ortalama 0.70 g/cm³, hacimsel daralma miktarının %14.55 ve liflere paralel yönde basınç direnci ortalama 54 N/mm² olarak verilmektedir (Şahin, 2013).

Çalışmada kullanılacak bir diğer ağaç ise Doğu Ladini (*Picea orientalis*) (DL) odunu yumuşak ve orta ağırlıkta, yoğunluğu 0.45 gr/cm³'tür. Çalışması azdır, güç empenye edilir. Yapı malzemesi, gemi ve maden direği, mobilya, uçak yapımı, yıllık halkaları dar olan kusursuz kısımları müzik aletlerinde, kimyasal ve mekanik odun hamuru, ambalaj talaşı, lif ve yonga sanayinde kullanım alanı bulmaktadır. Doğu ladininin bazı özellikleri hava kurusu yoğunluk değeri 0.45 gr/cm³ (Çaliova, 2011), hacimsel daralma miktarı %12.47 (Aytin vd., 2022) ve liflere paralel basınç direnci 45 N/mm² (Aydın ve Çolak, 2003) olarak verilmektedir.

Çalışma kapsamında ilk olarak DYD ve DL odunu örneklerine ThermoWood® ile iki farklı sıcaklık ile işlem uygulanmış ve kontrol örnekleri ile birlikte her bir ağaç türünden 3'er (üç) adet varyasyon oluşturulmuştur. Daha sonra kimyasal analizler için TAPPI T257 sp-14 (2014) standart yöntemine göre örnekler hazırlanarak rutubet, lignin, holoselüloz, hemiselüloz, α-selüloz ve kül miktarı ile aseton çözünürlükleri belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarının literatürde önemli bir boşluğu dolduracağı, daha sonra yapılacak çalışmalar için ise başlangıç noktası olabileceği düşünülmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışmada kullanılan Dar Yapraklı Dişbudak (*Fraxinus angustifolia*) ağaçları Sakarya Orman Bölge Müdürlüğü Hendek Orman İşletme Müdürlüğü'nden, Doğu Ladini (*Picea orientalis*) Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Düzköy İşletme Şefliği'nden temin edilmiştir. Ağaçların seçiminde TS 4176 (1984)'e göre hareket edilmiş olup, herhangi bir doğal büyüme kusuru olmayan, alındıkları bölgeyi en iyi temsil edebilecek bireyler olmalarına dikkat edilmiştir. Seçilen ağaçlar dipten itibaren 1.30 m yükseklikten sonra 2 m'lik gövde kısımlarına ayrılmış ve her parça üzerinde gerekli işaretlemeler yapılmıştır.

Isıl İşlem

ThermoWood® ile yapılan ısıtma işlem uygulamasında, fabrikanın üretim programına uygun olarak DYD ve DL odunu örneklerine 190 °C (TW1) ve 212 °C'de (TW2) 1 saat ısıtma işlem uygulanarak 2 farklı varyasyon oluşturulmuştur. Isıtma işlem varyasyonlarının uygulandığı üretim programları Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Dar yapraklı dişbudak ve DL ağaçlarına ait varyasyonlar

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Kısaltma
-	-	Kontrol
190	1	TW1
212	1	TW2

Holoselüloz ve Alfa-selüloz Tayini

Odunsu materyalden delignifikasyon sonucu geriye kalan kısım holoselüloz olarak isimlendirilmektedir. Dolayısıyla holoselüloz deyince odundaki tüm polisakkaritler akla gelmektedir. Bu çalışmada odun örneklerinin holoselüloz tayini Wise ve Karl tarafından geliştirilen asitlendirilmiş sodyum klorit yöntemine göre yapılmıştır (Wise ve Karl, 1962). Bu yöntemde sodyum klorit (NaClO_2), asetik asidin tesiriyle aktif yükseltgen olan kloriti (ClO_2) serbest bırakır. Böylece lignin yükseltgenerek, suda çözünebilen türevlerine dönüşür ve çözeltiye geçer. Karbonhidratlar ise bu işlem sırasında değişmez ve holoselüloz olarak çözünmeden kalır. DL odunu örnekleri holoselüloz ve lignin tayini öncesinde ekstraksiyona uğratılmıştır.

Odun örneklerinde alfa-selüloz tayini, TAPPI T 203 cm-22 (2022) standardına göre gerçekleştirildi. Hemiselülozlar ise holoselüloz miktarından az miktarda olan beta ve gama-selüloz göz ardı edilerek alfa-selüloz miktarı çıkarılarak hesaplanmıştır.

Klason Lignin Tayini

Odun örneklerinde lignin tayini Laboratory Analytical Procedures (LAP) of the National Renewable Energy Laboratory (NREL) yöntemine göre yapılmıştır. Lignin tayini öncesinde ibrelili tür olan Doğu Ladini örnekleri ön ekstraksiyona tabii tutulmuştur. Bu yöntemde göre fırın kurusu ağırlığı 0.3 gr olarak tartılan odun örneği dikkatlice cam tüplere konulmuştur. Daha sonra her tüpe 3 mL %72'lik sülfürik asit ilave edilmiş ve vortekste iyice karıştırılarak örneklerin asitle homojen bir şekilde karışması sağlanmıştır. Cam tüpler 30 ± 3 °C'ye ayarlanmış bir su banyosuna yerleştirilir ve 60 ± 5 dakika bekletilir. Karıştırma işlem her 5 ila 10 dakikada tekrarlanmıştır. Süre sonunda tüpler su banyosundan çıkarılmış ve 10 mL'lik erlenmayere alınmıştır. Daha sonra üzerine otomatik büret kullanarak 84.00 ± 0.04 mL deiyonize su ekleyerek asidi %4

konsantrasyona seyreltilmiştir. Tüplerin ağzı alüminyum folyo ve bantla kapatılıp otoklava yerleştirilir. Kapalı numuneleri genellikle sıvıların ayarlandığı 121°C'de bir saat boyunca otoklavlanır. Otoklav döngüsü tamamlandıktan sonra, kapakları çıkarmadan önce hidrolizatların yavaşça oda sıcaklığına yakın bir sıcaklığa soğumasını beklenir. Otoklavlanmış hidroliz çözeltisini, önceden darası alınmış porozitesi 3 olan krozelerden süzülerek 105±2 °C'deki etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Desikatörde soğutulup tartılmış ve kalıntı miktarından gidilerek lignin yüzdesi hesaplanmıştır (Sluiter vd., 2011).

Aseton Çözünürlüğü

Odunda büyük oranda bulunan asıl bileşenlerinin yanında, oran olarak oldukça az olmalarına karşın çeşitlilik açısından oldukça zengin olan ekstraktif maddeler de bulunmaktadır. Yağ asitleri, reçine asitleri, tanenler, fenolik bileşikler, boyar maddeler, terpenler, nişasta gibi maddeler polar ya da apolar çözücüler yardımı ile odundan kolayca ekstrakte edilebilirler. Bu çalışmada incelenen örneklerde bulunan ekstraktif maddelerin yüzdesi aseton çözünürlüğü ile belirlenmiştir. Ekstrakt içeriği, her numuneden yaklaşık 2 g ve 150 mL aseton kullanılarak ardışık Soxhlet ekstraksiyon yöntemiyle belirlendi. Ekstraksiyon, ilk sifondan itibaren toplamda en az 24 sifonlama yapılarak en az 6 saat boyunca devam ettirildi. Ekstrakt içeriği, fırında kuru oduna göre TAPPI T 204 cm-17 (2017) "Solvent Extracts of Wood and Pulp" standardına göre belirlenmiştir.

Kül Tayini

Odunda bulunan inorganik bileşikler, bu materyalin 575±25 °C'de yakılması sonucunda kül olarak tayin edilmektedir. Kül tayini, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Laboratory Analytical Procedure (LAP) (Sluiter vd., 2005)'e göre yapılmıştır. Yapılan analizlerin doğruluğunu teyit etmek amacı ile tüm analizlerde her bir örnek için iki tekrar yapılmıştır.

BULGULAR

ThermoWood® ile ısı işlem uygulanan Dar Yapraklı Dişbudak (*Fraxinus angustifolia*) ve Doğu Ladini (*Picea orientalis*) odunu örneklerinde kül miktarı (ASH), aseton çözünürlüğü (AS), lignin (KL), holoselüloz (HLS), hemiselüloz (HMS) ve alfa-selüloz (α -S) miktarlarına ait ortalama değerler kuru madde (KM) ve rutubet (R) miktarları ile birlikte Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Dar yapraklı dişbudak ve DL odununda kimyasal bileşen miktarları

Ağaç Türü	Varyasyon	Kimyasal bileşenler (%)							
		KM	R	HLS	α -S	HMS	KL	ASH	AS
DYD	Kontrol	94.0±0.09	6.38±0.10	87.1±0.14	51.2±0.09	35.9±0.11	24.1±1.04	0.27±0.08	1.88±0.02
	TW1	96.2±0.79	4.01±0.86	75.6±0.25	47.6±0.45	28.0±0.35	23.8±1.07	0.58±0.04	2.83±0.03
	TW2	95.4±0.36	4.84±0.40	61.8±0.20	45.4±1.33	16.4±0.77	35.5±0.17	0.49±0.04	3.48±0.07
DL	Kontrol	93.4±0.01	7.03±0.01	82.8±0.36	56.5±0.37	26.8±0.36	29.7±0.27	0.28±0.01	0.96±0.04
	TW1	93.4±0.46	7.11±0.53	74.3±0.76	48.6±0.11	25.7±0.44	29.4±1.22	0.29±0.00	1.29±0.01
	TW2	94.1±0.76	6.24±0.85	71.3±0.10	47.2±0.04	24.1±0.07	31.1±0.42	0.27±0.00	0.99±0.03

Çizelge 2'de görüldüğü üzere kimyasal analizleri sonucu KM, R, HLS, α -S, HMS, KL, ASH ve AS miktarlarının DYD ve DL ağaçları kontrol örneklerinde sırası ile %94.0 ve %93.4; %6.38 ve %7.03; %87.1 ve %82.8; %51.2 ve %56.5; %35.9 ve %26.8; %24.1 ve %29.7; %0.27 ve %0.28; %1.88 ve %0.96 olduğu belirlenmiştir. Literatüre göre DYD alfa-selüloz miktarının uyumlu, lignin oranının daha yüksek ve HLS miktarının ise daha düşük olduğu görülmektedir (Şahin, 2013). Şahin (2013) çalışmasında DYD odunu ana kimyasal bileşenlerinden, α -selüloz oranı %50-52, lignin içeriği %21-22 ve holoselüloz oranının %76-80 arasında değiştiğini bildirmektedir. Literatürdeki Yıldız vd. (2006) tarafından yapılan bir çalışmaya göre

selüloz ve HMS miktarların daha yüksek, lignin miktarının ise daha düşük olduğu görülmektedir. Yine aynı çalışmada DL’de selülozun %54.12, HMS’un %21.43 ve ortalama ligninin %24.37 olduğu görülmektedir (Yıldız vd., 2006). Değişik zamanlarda aynı ağaç türleri üzerinde olsa bile meydana gelen farklılıklar olabileceği, bunun da ağacın büyüme çevresi, iklim, coğrafi bölge, toprak yapısı ve analiz metotlarındaki farklılıklar gibi şartlardan kaynaklanabilecek olduğu bildirilmektedir (Özyürek, 2026).

Holoselüloz, Alfa-selüloz ve Hemiselüloza Ait Bulgular

Isıl işlem ve ısı işlem sıcaklığı ile birlikte her iki ağaç türünün de özellikle temel bileşenleri olan HLS, KL, HMS ve α -S miktarlarında önemli değişiklikler olduğu görülmektedir. Çizelge 2’e göre HLS miktarı her iki ağaç türünde de azalmış olduğu, kontrol örneklerine göre en fazla azalmanın iki ağaç türünde de 212 °C (TW2)’de sırası ile DYD ve DL olmak üzere yüzde %29.6 ve %13.8 şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. Benzer şekilde α -S miktarlarında da ısı işlem ile azalma meydana gelmiş olup, kontrol örneklerine göre en yüksek azalma TW2’de sırası ile DYD ve DL olmak üzere %11.3 ve %16.5 değerlerini almış bulunmaktadır. Genel olarak kontrol örneklerine göre en yüksek azalma ise DYD odununda ve TW2’de %54.3 olarak HMS’da meydana geldiği görülmektedir.

Lignine Ait Bulgular

Çizelge 2’ye göre KL miktarının her iki ağaç türünde de artmakla birlikte DYD odununda kontrol örneği ile TW1 arasında önemli bir fark olmadığı anlaşılmaktadır. Kontrol örneklerine göre en yüksek KL artışı DYD odunu TW2’de %47.3 şeklinde gerçekleşmiştir. Buna karşılık DL odununda aynı varyasyonlar arasındaki artışın çok daha düşük %4.71 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum özellikle DYD odunundaki yüksek oranda HMS kaybından ileri gelmektedir.

Kuru Madde, Rutubet, Kül Miktarı ve Aseton Çözünürlüğüne İlişkin Bulgular

Kimyasal analizler öncesi çalışma örneklerinin KM ve R miktarları belirlenmiştir. Buna göre kuru madde miktarının en yüksek olduğu varyasyon DL ağacında en yüksek ısı işlem sıcaklığının olduğu TW2, DYD ağacında ise TW1 örneğinde, en düşük ise her iki ağaç türünde de kontrol örneklerinde olduğu anlaşılmıştır. Literatür örneklerinde de görülecek olduğu üzere ısı işlem görmüş ağaç malzemelerde rutubet içeriği azalmakta ve kuru madde miktarı artmaktadır.

TARTIŞMA

Isıl işlemin ağaç malzemede kimyasal bileşenlerin oransal olarak değişmesine yol açtığı, ısı işlem sıcaklığındaki artışın bu değişimde önemli rol oynadığı bilinmektedir (Yıldız, 2002; Mohareb vd., 2012; Esteves vd., 2022; Carneiro vd., 2023; Gaşparík vd., 2024; Özyürek, 2026). Çalışmamızda DL ve DYD ağaçları örneklerine ait varyasyonlara (V) yapılan holoselüloz (HLS), alfa selüloz (α -S), hemiselüloz (HMS), Klason lignini (KL), kuru madde (KM,) aseton özünürlüğü (AS), kül (ASH) ve rutubet (R) analizlerine ilişkin ortalamalara ait çoklu varyans analizi Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3. Doğu ladini ve DYD ağaçlarının kimyasal analizlerine ait çoklu varyans analizi sonuçları

Faktör	F	df1	df2	Önem
HLS	268.937	2	9	0.000
α -S	17.768	2	9	0.001
KL	2.987	2	9	0.101
AS	300.594	2	9	0.000
ASH	7.333	2	9	0.013
KM	4.117	2	9	0.054
HMS	23.080	2	9	0.000
R	4.13	2	9	0.054

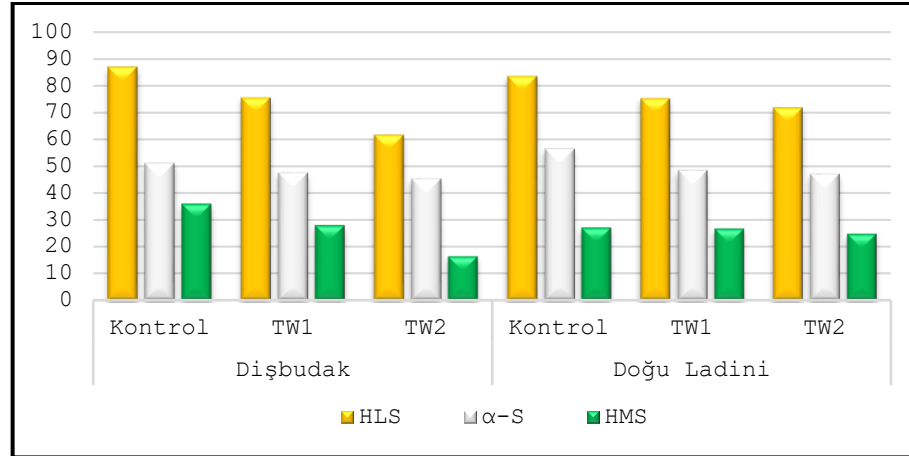
Çizelge 3'e göre verilen çoklu varyans analizi sonuçlarının daha iyi anlaşılabilmesi için her iki ağaç için ısı işlem sonrasındaki aritmetik ortalama (AO) yüzde değerleri ile varyans analizi standart sapma (SS) sonuçları ve homojenlik grupları (HG) alfabetik olarak Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Doğu ladini ve DYD ağaçlarının kimyasal analizlerine ait AO, SS ve çoklu varyans analizi sonuçları

V	HLS			α -S			HMS			KL		
	AO	SS	HG	AO	SS	HA	AO	SS	HG	AO	SS	HG
Kontrol	66.9	2.07	A	46.30	3.10	A	31.54	5.17	B	27.02	3.38	A
TW1	75.45	0.65	B	48.08	0.68	B	27.36	0.99	B	26.52	3.45	A
TW2	85.37	5.89	C	53.83	1.51	C	20.59	4.99	A	33.45	2.37	B

V	AS			KM			R			ASH		
	AO	SS	HG	AO	SS	HG	AO	SS	HG	AO	SS	HG
Kontrol	1.41	0.52	C	93.71	0.33	A	6.70	0.38	A	0.27	0.06	A
TW1	2.05	0.88	B	94.76	1.77	A	5.55	1.97	A	0.38	0.17	A
TW2	2.23	1.43	C	94.76	0.99	A	5.53	1.11	A	0.43	0.13	A

Çizelge 4'e göre HLS, α -S, HMS, KL gibi temel hücre çeperi bileşenlerinin ısı işlem örnekleri ve AS'nde kontrol örnekleri arasında farklılıklar olduğu, ısı işlemle birlikte bileşenlerin oransal miktarlarında değişim meydana geldiği görülmektedir. Değişimlerin daha iyi anlaşılabilmesi için ağaç türlerinin kendi içlerinde ısı işlem ve kontrol örneklerine göre meydana gelen farklarla ilgili bulgulara ait değerler her bir bileşen için ayrı ayrı olmak üzere grafikler (Şekil1, Şekil 2 ve Şekil 3) halinde irdelenmiştir. Hloloşelüloz, α -S ve HMS'da ısı işlem ile birlikte ortaya çıkan değişimlere ait sonuçlar Şekil 1'de grafik halinde verilmiştir.

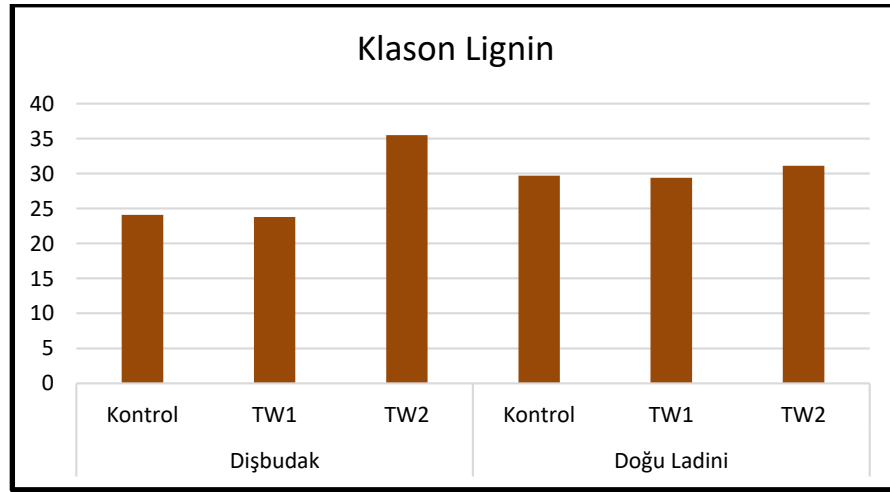


Şekil 1. Isıl işlem sonrası HLS, α -S ve HMS değişim miktarları

Şekil 1'deki grafiğe göre DYD odununda α -S'un, DL odununda ise HMS'daki değişimin azalma şeklinde olmak ile birlikte yataya yakın seyrettiği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte DYD odununda dramatik bir HMS azalması ve bunu destekleyen HLS azalması belirgin bir şekilde görülmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar literatür ile uyumluluk göstermektedir. Yıldız vd. (2006) 200°C ve 10 saat süre ısı işlem yaptıkları DL'de selüloz miktarının kontrol örneklerine göre %6.89 azaldığını, HMS'un ise aynı şartlarda eser miktarda kaldığını rapor etmektedirler. Pena vd. (2009) çalışmalarında ısı işlem uyguladıkları DL'de kontrol örneğinde %44.9 olan selüloz miktarının 190°C ve 8 saat ısı işlemde %44, 210°C ve 8 saat ısı işlemde 44, 230°C ve 8 saatte % 43.6 ve 245°C'de %39.5 olduğunu bildirmektedirler. Aynı çalışmada HMS miktarının sıcaklık artışı ile birlikte azaldığını ve 210°C'ta ortalama %13'lere kadar düştüğünü belirtmektedirler. Sikora vd. (2018) *Picea abies* L. ve *Quercus robur* F. odunlarında selüloz, HMS ve HLS miktarlarını 2-3 saatlik ısı işlem sonrasında 180 ve

210°C’lerde sırası ile olmak üzere %48.16 ve %48.68; %25.38 ve %18.16; %73.54 ve %66.84 olarak tespit edildiğini bildirmektedirler. Çalışmada *Picea abies* L. odununda kontrol amaçlı verilen 20°C’deki değerlere göre selüloz miktarının 210°C’de %4.23 arttığı buna karşılık, HMS miktarının ise %37.40 kadar azaldığını ifade etmektedirler. Benzer şekilde çalışmalarında *Quercus robur* F. odununda kontrol örneğine göre selüloz miktarının 210°C’da %7.0 arttığını, HMS miktarının ise aynı şartlarda %58.8 azaldığını belirtmektedirler. Literatür çalışmalarının sonuçlarına göre ısı işlem ile ağaç malzemede elde edilen en temel olumlu özelliklerden biri olan boyut stabilitesindeki iyileşmenin HMS’un önemli bir kısmının ısı işlem ile birlikte uzaklaşması gösterilmektedir. Literatür çalışmalarındaki sonuçlara benzer şekilde gerçekleştirilen bu çalışmada da ısı işlem ile birlikte odun bileşenlerinden en yüksek kaybın HMS’da olduğu görülmekte ve literatür ile uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.

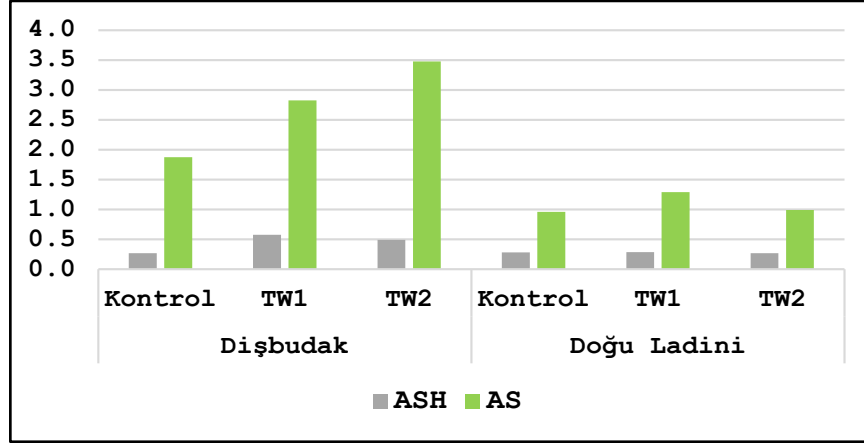
Her iki ağaç türüne ait ve ısı işlem ile birlikte ortaya çıkan KL değişimlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, sonuçlar Şekil 2’de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 2. Isıl işlem sonrası KL değişim oranları

Çalışma sonuçları literatür ile benzerlik göstermekte, literatürde de ısı işlem sonrasında yapılan analizler odun yapısındaki lignin miktarının oransal olarak arttığını göstermektedir. Yıldız vd. (2006) DL ile yaptıkları çalışmalarında kontrol örneklerinde %24.37 olarak buldukları lignin miktarının sırası ile olmak üzere 150°C, 180°C ve 200°C ile 6 ve 10 saat sürelerde %28.6 ve %28.6; %30.55 ve %32.21; %34.03 ve %39.40 şeklinde bulmuşlardır. Çalışma sonuçlarına göre en yüksek değişim 200°C ve 10 saat süre ısı işlem yapılan örnekler ile kontrol örnekleri arasında ve %61.67 kadar oransal artış gerçekleşmiştir.

Sikora vd. (2018) çalışmalarında analiz ettikleri *Picea abies* L. ve *Quercus robur* F. odunlarında lignin miktarının kontrol örneklerine göre 210°C’da sırası ile olmak üzere %8.88 ve %18.43 oransal olarak arttığını bulmuşlardır. Gaff vd. (2023) ısı işlemin African padauk (*Pterocarpus soyauxii*), merbau (*Intsia bijuga*), mahogany (*Entandrophragma utile*), veiroko (*Milicia excelsa*) ağaç türlerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında dört ağaç türünde de ligninin oransal miktarında artış meydana geldiğini bulmuşlardır. Şekil 3’de DL ve DYD odunlarına ilişkin ASH ve AS miktarları grafik halinde verilmiştir.



Şekil 3. Doğu Ladini ve DYD odunları ASH ve AS miktarlarının ısı işlem sonrası değişimleri

Çizelge 1 ve Şekil 3’de görüldüğü üzere DYD odununda kül miktarı ısı işlem ile birlikte arttığı halde, DL odununda neredeyse aynı kalmakta, hatta çok az da olsa azaldığı görülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye’de doğal yetiştirme ortamlarından TS 4176 (1984)’e göre alınan Dar Yapraklı Dişbudak ve Doğu Ladini odunlarında 190°C (TW1) ve 212°C (TW2) iki farklı ısı işlem varyasyonu sonrası temel kimyasal bileşenler olan holoselüloz, alfa-selüloz, hemiselüloz ve lignin ile kül miktarı ve aseton çözünürlükleri incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre ısı işlemin odunun temel kimyasal bileşenlerini etkilediği, bu etkinin uygulanan sıcaklığa bağlı olarak değişmekte olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda sıcaklık artışı ile birlikte temel kimyasal bileşenlerdeki değişim de artmıştır.

Isıl işlem, her iki ağaç odununda da holoselüloz olarak bilinen hemiselüloz ve alfa-selüloz bileşenlerini yüzde olarak azaltmıştır. Azalma karakteri incelendiğinde selülozdaki kayıpların her iki ağaç türünde daha düşük olduğu özellikle Dar Yapraklı Dişbudakta hemiselüloz kaybının oldukça yüksek gerçekleşmiştir. Holoselülozdaki azalmanın da hemiselülozdaki bu kayıplardan ileri geldiği anlaşılmıştır. Isıl işlemin hemiselüloz üzerindeki etkisi göz önüne alındığında daha sağlıklı veriler elde edebilmek adına %1 lik NaOH çözünürlüğünün yapılmasının değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

Öte yandan diğer önemli temel bileşen olan lignin ise hemiselülozların aksine davranış göstermiş ve ısı işlem sonrası odun içerisinde oransal olarak artmıştır. Dar Yapraklı Dişbudak odunundaki lignin artışının Doğu Ladinine göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Aseton çözünürlüğü kontrole kıyasla Dar Yapraklı Dişbudak odununda sıcaklığın artmasıyla kademeli bir şekilde artarken Doğu Ladinde bu artışın daha sınırlı olduğu görülmüştür. Kül miktarı Dar Yapraklı Dişbudak odununda ısı işlemle bir miktar artarken Doğu Ladinde neredeyse aynı kalmıştır.

Her iki ağaç türü de içermiş oldukları yüksek holoselüloz ve alfa-selüloz içerikleri nedeniyle bu türlerin biyoyakıt üretiminde potansiyel hammadde olarak değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Anonim. (2026). <https://kutuphane.tarimorman.gov.tr/vufind/Record/1263710>, Erişim Tarihi: 27.05.2026.

Aydın, İ., & Çolak, S. (2003). Buharlama işlemi yapılmış ladin (*Picea orientalis* L.) odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler. *Kafkas Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1-2 (63-67).

- Aytin, A., Uygur, I., Demirci, T., & Akgül, İ. (2022). The effect of cryogenic treatment on some chemical, physical, and mechanical properties of Thermowood® Oriental spruce, *BioResources* 17(4), 6983-6996. <https://doi.org/10.15376/biores.17.4.6983-6996>
- Boonstra, M.J. (2008). *A two-stage thermal modification of wood* (Ph.D. Dissertation in Cosupervision). Ghent University and Université Henry Poincaré, Nancy-Fransa.
- Cao, S., Cheng, S., & Cai, J. (2022). Research progress and prospects of wood high-temperature heat treatment technology. *BioResources*, 17(2), 3702-3717. <https://doi.org/10.15376/biores.17.2.Cao>
- Carneiro, A.C.O., Carvalho, A., Freitas, T.P., Demuner, I., Marcia, A., Guimarães, D., Araújo, S.O., Castro, V.R., & Zanuncio, A.J.V. (2023). FTIR spectroscopy and technological characterization of heat treated *Fraxinus excelsior* wood. *CERNE*, 29, e-103264. <https://doi.org/10.1590/01047760202329013264>
- Çaliova, Z. (2011). *The effect of Heat- treatment on some mechanical and physical properties of Alder and Oriental Spruce* (Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Esteves, B., & Pereira, H. (2009). Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources*, 4(1), 370-404.
- Esteves, B., Ayata, U., Cruz-Lopes, L., Brás, I.P., Ferreira, J.M.F., & Domingos, I. (2022). Changes in the content and composition of the extractives in thermally modified tropical hardwoods, *Maderas-Ciencia Y Tecnologia*, (24), 22, 1-14. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2022000100422>
- Gaff, M., Kubovský, I., Sikora, A., Kačíková, D., Kubovsky, M., & Kačík, F. (2023). Impact of thermal modification on color and chemical changes of African Padauk, Merbau, Mahogany, and Iroko wood species. *Reviews on Advanced Materials Science*, 62(1), 20220277. <https://doi.org/10.1515/rams-2022-0277>
- Gašparík, M., Zeidler, A., Výbořová, E., Kačíková, D., & Kačík, F. (2024). Chemical changes of polysaccharides in heat-treated European beech wood, *J. Wood Sci* 70, Article 38. <https://doi.org/10.1186/s10086-024-02151-3>
- Hill, C.A. (2007). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. John Wiley & Sons.
- Johansson, D. (2005). *Strenght and colour response of solid wood to heat treatment* (Licentiate Thesis). Luleå Teknoloji Üniversitesi, Department of Skellefteå, Sweden.
- Kocaefe, D., Sandor P., & Yaman, B. (2008). Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen. *BioResources*, 3(2), 517-537.
- Korkut, S., & Kocaefe, D. (2009). Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormanlık Dergisi*, 5(2), 11-34. <https://izlik.org/JA35HM47EW>
- Mohareb, A., Sirmah, P., Pétrissans, M., & Gérardin, P. (2012). Effect of heat treatment intensity on wood chemical composition and decay durability of *Pinus patula*. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(4), 519-524. <https://doi.org/10.1007/s00107-011-0582-7>
- Özyürek, Ö. (2026). Effect of heat treatment and cryogenic treatment on chemical components of Rowan (*Sorbus torminalis* L.) Wood. *BioResources*, 21 (2), 4939-4952. <https://doi.org/10.15376/biores.21.2.4939-4952>
- Sikora, A., Kačík, F., Gaff, M., Vondrová, V., Bubeníkov, T., & Kubovský, I. (2018). Impact of thermal modification on color and chemical changes of spruce and oak wood, *Journal of Wood Science*, 64, 406-416. <https://doi.org/10.1007/s10086-018-1721-0>
- Sjöström, E. (1993). *Wood Chemistry, Fundamentals and Applications*. (2 Ed.) Academic Press.
- Sluiter, A., Hamnes, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., & Templeton, D. (2005). *Determination of Ash in Biomass: Laboratory Analytical Procedure (LAP)* (NREL/TP-510-42622). National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA.
- Sluiter, A., Hamnes, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., & Crocker, D. (2011). *Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass: Laboratory Analytical Procedure (LAP)* (NREL/TP-510-42618), National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA.
- Sundqvist, B. (2004). *Colour changes and acid formation in wood during heating* (Doctoral Thesis). Lulea Technology University, Skellefteå, Sweden.
- Şahin, H.İ. (2013). *Isıl işlemin doğal ve plantasyon ormanlarında yetişen dişbudak özelliklerine etkisi* (Doktora Tezi). Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Şahin, H., & Güler, C. (2015). Hızlı gelişen dar yapraklı dişbudak (*Fraxinus angustifolia* vahl) odununun orman ürünleri endüstrisinde değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 3(1), 357-365. <https://izlik.org/JA56DU39HW>
- TAPPI T412 om-11. (2011). *Moisture in pulp, paper, and paperboard*. TAPPI Press, Atlanta, GA, USA. Technology. McGraw Hill, New York, NY, USA.
- TAPPI T257 sp-14. (2014). *Sampling and preparing wood for analysis*. TAPPI Press, Atlanta, GA, USA.
- TAPPI T204 cm-17. (2017). *Solvent extractives of wood and pulp*. TAPPI Press, Atlanta, GA, USA.
- TAPPI T203 cm-22. (2022). *Alpha-beta and gamma cellulose in pulp*. TAPPI Press, Atlanta, GA, USA.
- Thermowood Handbook. (2003). *Finnish ThermoWood Association*. Helsinki, Finland. https://asiakas.kotisivukone.com/files/en.thermowood.palvelee.fi/downloads/tw_handbook_080813.pdf, Erişim Tarihi: 17.07.2026.
- Tjeerdsmä, F.B. (2006). *Heat treatment of wood- thermal modification, Coford Seminar on Wood Modification: Opportunities and Challenges*, Dublin, Ireland.
- TS 4176. (1984). *Taking sample trees and laboratory samples from homogeneous stands to determine the physical and mechanical properties of wood*. Ankara, Türkiye: TSE.
- TS CEN/TS 15679. (2010). *Heat treated timber-terms and characteristics*. Ankara, Türkiye: TSE.
- Ulusoy, H., & Peker, H. (2019). Ağaç malzeme de emprenye ve çevresel önemi, *Setscı Conference Proceedings*, 4, 582-584.
- Wise, L.E., & Karl, H.L. (1962). *Cellulose and hemicellulose*, in: *Pulp and Paper Science and Technology*, McGraw Hill, New York, NY, USA.
- Yıldız, S. (2002). *Physical, mechanical, technological, and chemical properties of beech and spruce wood treated by heating* (Ph. D. Dissertation). Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye.
- Yıldız, S., Gezer, E.D., & Yıldız, Ü. (2006). Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. *Building and Environment*, 41 (12), 1762-1766. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.017>