

## Farklı delme ön işlemleri sonrası Avrupa melezi ve Doğu ladini odunlarının basınç direnci ve bazı fiziksel özelliklerindeki değişiklikler

### *Changes in some physical properties and compressive strength of European larch and Caucasian spruce woods after different incising pretreatments*

Davut BAKIR 

Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Artvin

#### Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: [10.17474/artvinofd.1179285](https://doi.org/10.17474/artvinofd.1179285)

Sorumlu yazar / Corresponding author

Davut BAKIR

[davut.bakir23@artvin.edu.tr](mailto:davut.bakir23@artvin.edu.tr)

Geliş tarihi / Received

23.09.2022

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

17.10.2022

Kabul Tarihi / Accepted

19.10.2022

Elektronik erişim / Online available

28.10.2022

#### Anahtar kelimeler:

*Biyolojik delme*

*Lazer delme*

*Mekanik delme*

*Doğu ladini*

*Avrupa melezi*

*Fiziksel özellikler*

#### Keywords:

*Bioincising*

*Laser incising*

*Mechanical incising*

*Caucasian spruce*

*European larch*

*Physical properties*

#### Özet

Farklı delme (insizing) ön işlemleri emprenyesi güç odun türlerinin permeabilitesini artırmak için uygulanan teknolojik yöntemlerdir. Son zamanlarda farklı delme ön işlemlerinin odunun fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana getirdiği değişikliklerin belirlenmesine yönelik büyük bir ilgi söz konusudur. Çünkü uygulanan tüm delme ön işlemlerinden sonra odunun fiziksel özelliklerinin olumsuz yönde değişmemesi ve mekanik özelliklerde düşüş olmaması önemlidir. Bu nedenle *Picea orientalis* (L.) *Peterm* and *Larix decidua* Mill. diri odun örneklerinin bazı fiziksel özellikleri ve liflere paralel basınç direnci üzerinde mekanik, biyolojik ve lazer delme ön işlemlerinin etkileri incelendi. Uygulanan her ön işlemde sonra meydana gelen ağırlık kayıpları, yoğunluk, liflere paralel basınç direnci ve hacimsel genişleme ve daralma değerleri değerlendirildi. Elde edilen sonuçlara göre; hem ladin hem de melez diri odun örneklerinde en yüksek ağırlık kayıpları (ladin: 9.82%; melez: 8.47%) biyolojik delme uygulanmış örneklerde gözlenirken en düşük ağırlık kayıpları (ladin: 1.12%; melez: 1.66%) ise mekanik delme uygulanmış örneklerde gözlemlendi. Melez odununda hacimsel daralma ve genişleme lazer delme ön işlemi neticesinde azalmıştır. Fakat ladin odununda uygulanan tüm delme ön işlem grupları ile kontrol örnekleri arasında önemli bir fark bulunamamıştır. Lazer delme uygulanan melez odun örneklerinde yoğunluk azalmasına rağmen ladin odun örneklerinde uygulanan tüm ön işlemler ile kontrol örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Diğer taraftan, ladin ve melez odun örneklerinde liflere paralel basınç direnci ise lazer ve biyolojik delme sonrasında azalmıştır.

#### Abstract

Different incising pretreatments are technological processes to improve the permeability of refractory wood species. In recent years, there has been an increasing interest in determining the changes in the physical and mechanical properties of wood as a result of different incising processes. Because it is important that the physical properties of wood do not change negatively and there is no weakening in the mechanical properties after all incising pretreatments. Therefore, the effects of mechanical, biological, and laser incising pretreatments on some physical properties and compressive strength parallel to the grain of *Picea orientalis* L. and *Larix decidua* Mill. sapwood samples were studied. The weight losses occurred in the samples, density, compressive strength parallel to the grain, and volumetric shrinkage and swelling values of the woods were evaluated after every pretreatment. According to the results, the highest weight losses (spruce: 9.82%; larch: 8.47%) were observed in the bioincised samples, and the lowest weight losses (spruce: 1.12%; larch: 1.66%) occurred in the mechanically incised samples in both spruce and larch sapwoods. The volumetric shrinkage and swelling in larch decreased laser incising pretreatments, however, there was no significant difference among all incising pretreatment groups in spruce. The density decreased laser incised larch wood samples, however, no statistically significant change in the spruce wood samples was observed in all incising pretreatments. On the other hand, the compressive strength parallel to the grain in spruce and larch wood samples decreased after laser incising and bioincising.

## GİRİŞ

Odun, biyotik (mantarlar, böcekler, bakteriler, deniz zararlısı organizmaları) ve abiyotik (ultraviyole ışınlar, yangın, kimyasallar ve mekanik etkiler) faktörler tarafından bozulabilen ve ayrışabilen doğal bir malzemedir. Çeşitli kimyasal maddeler kullanılarak uygulanan emprenye işlemi, odun ve odun ürünlerinin bu

tür zararlı faktörlere karşı korunması ve kullanım ömrünün uzatılması için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Odunun yüksek geçirgenliği, emprenye maddelerinin daha iyi nüfuz etmesi ve yüksek retensiyon seviyelerine ulaşılması için gerekli bir özelliktir (Wang ve DeGroot 1996, Watanabe ve ark. 1998, Lehringer ve ark. 2010, Ahmed ve ark. 2012, Panigrahi ve ark. 2018). Çoğu ağaç türünün diri odun kısımları başarılı bir şekilde

emprenye edilebilirken (ladin ve melez gibi bazı emprenyesi güç ağaç türleri hariç), öz odun için geleneksel emprenye yöntemlerinin uygulanması daha zordur (Wang ve DeGroot, 1996). Avrupa ladin (*Picea abies* (L.) H. Karst.) gibi gymnosperm odunlarında bulunan kenarlı geçitler, komşu traheidler arasındaki sıvıların taşınmasında hücre içi akış yollarını oluştururlar (Lehringer ve ark. 2010). Ladin odununda traheid hücre çeperlerindeki bu kenarlı geçitlerin aspirasyona uğraması nedeniyle emprenye işlemi zorlaşmaktadır (Matsumura ve ark. 1999, Messner ve ark. 2003, Yıldız ve ark. 2012, Durmaz ve Yıldız 2016, Panigrahi ve ark. 2018). Bu nedenle emprenyesi güç ağaç türlerinin geçirgenliğinin (permeabilitesinin) artırılması ormancılık sektörü için büyük önem taşımaktadır. Hem emprenyesi güç ağaç türlerinin hem ağaçların öz odun kısımlarının geçirgenliğini artırmak için sektörde uygulanan çözüm metotlarından birisi de farklı delme yöntemlerinin kullanılmasıdır. Delme ön işlemleri emprenye uygulama süreçleri esnasında düşük geçirgenliğe sahip odunlarda hücre içi sıvı akışını iyileştirir (Nath ve ark. 2020a ve 2020b, Bakir 2022). Emprenyesi güç ağaç türlerine ait odunların minimum retensiyon ve penetrasyonunu sağlamak için emprenye uygulamalarından önce çeşitli delme ön işlemlerine tabi tutulmaları tavsiye edilir (Islam ve ark. 2007).

Biyolojik delme, emprenyesi güç ağaç türlerinin emprenye edilebilirliğini iyileştirmeye yönelik bir stratejidir. Bu işlemin etkinliği kullanılan mikroorganizmaların odunun gözenekli yapısını nasıl değiştirdiğine bağlıdır (Tajrishi ve ark. 2021). Odunun permeabilitesini artırmak için bakteriler (Ünlügil 1972, Clausen 1995, Kobayashi ve ark. 1998a ve 1998b, Hansmann ve ark. 2002, Pánek ve Reinprecht 2011, Yıldız ve ark. 2012, Tajrishi ve ark. 2021), enzimler (Durmaz ve ark. 2015) ve mavi renk mantarları (Lehringer ve ark. 2010, Danihelová ve ark. 2018) kullanılmıştır. Orman ürünleri endüstrisinde, odun çürüklük mantarları tarafından gerçekleştirilen kontrollü çürütmenin etkisi yıllardır araştırılmaktadır (Fuhr ve ark. 2012a ve 2012b, Fuhr ve ark. 2013, Schubert ve ark. 2013, Gilani ve ark. 2014, Schubert ve ark. 2014, Gilani ve Schwarze 2015, Emaminasab ve ark. 2016, Dale ve ark. 2019, Chang ve ark. 2020, Bakir ve ark. 2021a ve 2021b, Tajrishi ve ark. 2021, Bakir ve ark. 2022, Bakir 2022).

Emprenyesi güç ağaç türlerinin mekanik olarak delinmesi ve emprenye edilebilirliği üzerine yapılan çalışmalar genellikle emprenye işlemine tabi tutulmuş odunun penetrasyon ve retensiyon seviyelerine (Perrin 1978,

Morris 1995, Winandy ve ark. 1995, Kartal 2002, Bakir 2022) ve mekanik özellikler üzerine etkilerine odaklanmıştır (Winandy ve Morrell 1998, Winandy ve ark. 2022). Öte yandan, lazer delme ile ilgili çalışmalar odunun geçirgenliğini artırma (Ruddick 1991), lazer ışınlarının odunun anatomik özelliklerine etkisi (Wang ve ark. 2013, Nath ve ark. 2020a ve 2022), lazer delmenin odunun direnç özellikleri üzerindeki etkisi (Suzuki ve ark. 1996, Morrell ve ark. 1998, Kortsalioudakis ve ark. 2015) ve odun dokusunun lazer ışın ısısından etkilenen bölgelerinin kimyasal özelliklerinin incelenmesi (Barcikowski ve ark. 2006, Wang ve ark. 2013) üzerinde odaklanmıştır.

Biyoteknolojik yöntemler ve lazer uygulamaları ile mikro düzeyde yapılmış birçok güncel bilimsel çalışma bulunmasına ve emprenyesi güç ağaç türlerinin geçirgenliğini artırmaya yönelik çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen farklı ön delme yöntemlerinin farklı ağaç türü odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, üç farklı delme ön işlemi uygulanmış ve uygulanan ön işlemlerin iki adet farklı emprenyesi güç ağaç türünün boyutsal stabilitesinin iyileştirilmesi üzerindeki etkinlikleri ve liflere paralel basınç direnç değerleri karşılaştırılmıştır.

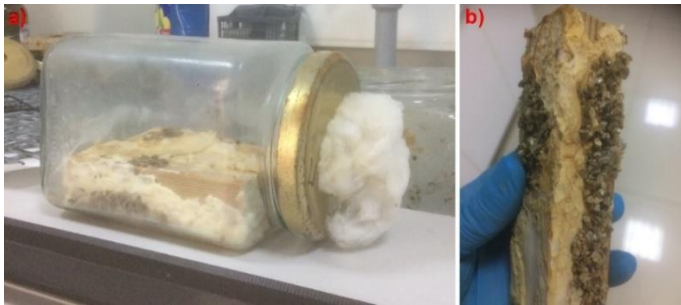
## MATERYAL VE METOT

### Test Materyalleri

Çalışmada kullanılan herhangi bir kusur içermeyen, fırın kurusu diri odun örnekleri, emprenyesi güç doğal ağaç türlerini temsilen Türkiye'nin Artvin ilinde yetişen Doğu ladininden (*Picea orientalis* (L.) Peterm), emprenyesi güç egzotik ağaç türlerini temsil etmesi bakımından ise Rusya'nın Krasnoyarskiy Kray bölgesinde Karabula'da yetişen Avrupa melezinden (*Larix decidua* Mill.) seçilmiştir. Tüm odun örnekleri 120 mm × 30 mm × 30 mm (uzunluk × genişlik × yükseklik) boyutlarında kesilmiştir. Her bir ağaç türünden toplam 40 adet örnek (10 adet kontrol, 10 adet mekanik delme, 10 adet lazer delme, 10 adet biyolojik delme) kullanılmıştır. Örnekler, odunun kendi içerisindeki doğal değişkenliğinin herhangi bir etkisini en aza indirmek için gövde boyunca aynı yıllık halkalara denk gelecek şekilde seçilmiştir. Tüm örnekler radyal ve teğet yönler esas alınarak biçilmiştir. Biyolojik delme işlemlerinde *Physisporinus vitreus* (Pers.) P.Karst. (FP 103669-T) beyaz çürüklük mantarı kullanılmıştır.

## Biyolojik Delme Ön İşlemi

Biyolojik delme ön işlemlerinden önce, odun örnekleri 2 hafta boyunca 20 °C ve %65 bağıl nemde iklimlendirme odasında tutulmuştur. Biyolojik delme ön işlemlerinde BS EN 113-1 (2020) standardı kapsamında kullanılan Kolle kültür şişelerinden daha büyük bir hacme ihtiyaç duyulduğu için 170 mm × 100 mm × 100 mm (uzunluk × genişlik × yükseklik) boyutlarına sahip cam kavanozlar kullanılmıştır. *P. vitreus* inkübasyon işlemlerinde kullanılan kavanozların metal kapakları önce bir delgi (punch) aleti ile daire şeklinde delinmiştir. Delik, iklimlendirme kabinindeki mantarların hava ve nem ihtiyacını daha kolay karşılamak amacıyla kalaycı pamuğu ile tıkanmıştır. Odun örnekleri doğrudan önceden mantar ile aşılansın %4 malt-agar (MEA) besin ortamı içeren cam kavanozlara yerleştirilmiştir. Kavanoz içindeki ortamın nemini mantar gelişimi için uygun koşullarda tutmak amacıyla steril edilmiş ıslak vermikülit eklenmiştir. Hava kurusu haldeki diri odun örnekleri, yaklaşık %10'luk bir ağırlık kaybı sağlamak için 26°C'de ve %75 bağıl nemde 8 hafta boyunca *P. vitreus* FP 103669-T beyaz çürüklük mantarına maruz bırakılmıştır. Literatürde, biyolojik delme işlemi neticesinde odunda meydana gelen %10'dan daha az ağırlık kayıplarındaki direnç azalmalarının önemsiz olduğu belirtilmektedir (Schwarze ve ark. 2006, Humar ve ark. 2012, Fuhr ve ark. 2013). İnkübasyon periyotlarının etkinliğinin sağlanması ve *P. vitreus* mantarının uygun şekilde gelişmesi, tüm koşulların (besi ortamı, sıcaklık, su aktivitesi, oksijen ve pH) uygun olmasına bağlıdır. Homojen bir biyolojik delme işlemi, miseller tarafından örnek yüzeylerinin tamamen kaplanmasına bağlıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Cam kavanozlarda *P. vitreus* mantarının odun örneklerindeki a) heterojen ve b) homojen kolonizasyonunun görüntüleri.

Biyolojik delme öncesi ve sonrasında fırın kurusu örnekler tartılarak biyolojik delme neticesinde meydana gelen yüzde ağırlık kayıpları denklem 1'e göre hesaplanmıştır.

$$WL (\%) = \{(W_0 - W_1) / W_0\} \times 100 \quad (1)$$

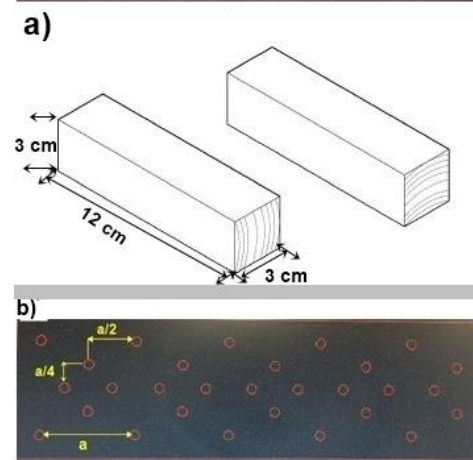
WL: Örnekte meydana gelen ağırlık kaybı (%),

$W_0$ : Ön işlem öncesi örneğin fırın kurusu ağırlığı (g),

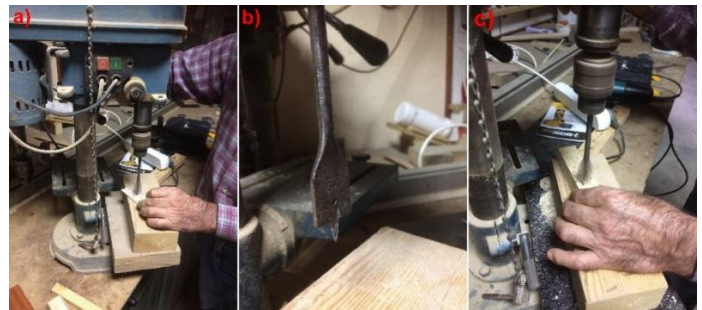
$W_1$ : Ön işlem sonrası örneğin fırın kurusu ağırlığı (g).

## Mekanik Delme Ön İşlemi

Bazı Doğu ladini ve Avrupa melezi odun örnekleri, aynı delme yoğunluk modeli (10.000 insizyon/m<sup>2</sup>) esas alınarak (Şekil 2), örneklerin radyal ve teğet yüzeyleri delme derinliği (10 mm) ve çapı (2 mm) olacak şekilde mekanik olarak sağlanmıştır (Şekil 3). Mekanik delme ön işlemlerinden önce, odun örnekleri 2 hafta boyunca 20 °C ve %65 bağıl nemdeki bir iklimlendirme odasında tutulmuştur.



Şekil 2. Mekanik ve lazer delme modelinde radyal ve teğet yüzeyleri üzerindeki (a) lateral ve boyuna yönlerde açılan delikler arasındaki mesafelerin (b) görüntüsü.



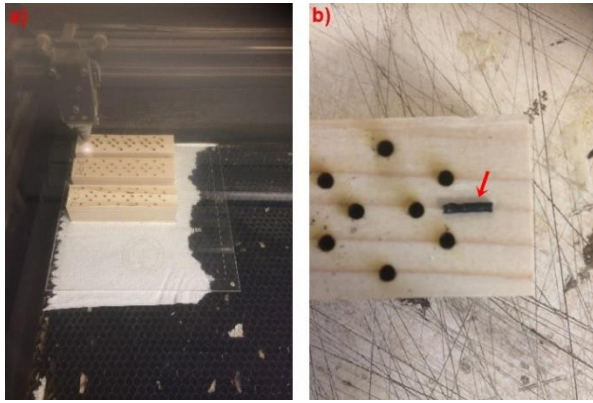
Şekil 3. Tüm mekanik delme operasyonları için bir ahşap yüzey kalıbın hazırlanması (10.000 insizyon/m<sup>2</sup>) (a), matkap ucunun derinliği (10 mm) (b) ve matkap ucu ile odun örneklerinin delinmesi (c).

Mekanik delme öncesi ve sonrasında fırın kurusu örnekler tartılarak mekanik delme işlemi neticesinde meydana gelen yüzde ağırlık kayıpları denklem 1'e göre hesaplanmıştır.

## Lazer Delme Ön İşlemi

Delikler, bir CO<sub>2</sub> lazer (VLS6.60, Universal Laser Systems, Scottsdale, AZ, ABD) ile Doğu ladini ve Avrupa melezi

odun örneklerinin radyal ve teğet yüzeylerinde, ışınlama süresi 60 W'lık bir güçle, hız ayarı 4.0 ve 30 mm yükseklik olacak şekilde delinmiştir. Şekil 4'te gösterildiği gibi tüm örnekler için aynı delme modeli kullanıldı. Delme yoğunluğu hem mekanik hem de lazer delme ön işlemleri için aynı olacak şekilde (10.000 insizyon/m<sup>2</sup>) tasarlanmıştır (Şekil 2b). Tüm delikler 10 mm derinlik ve 2 mm çap esas alınarak delinmiştir. Deliklerin içerisinde lazerle yakma sonucu kömürleşmiş olan kısımlar (karotlar) ince uçlu bir cımbız ile çıkarılarak uzaklaştırılmıştır (Şekil 4) (Islam ve ark. 2008).



Şekil 4. Odun örneklerinin CO<sub>2</sub> lazerle delinmesi (a) ve lazerle delinen odunun yanmış veya kömürleşmiş halde çıkarılmış olan karot-merkezi ekirdek kısımları (ok) (b).

Lazer delme öncesi ve sonrasında fırın kurusu örnekler tartılarak lazer delme işlemi neticesinde meydana gelen yüzde ağırlık kayıpları denklem 1'e göre hesaplanmıştır.

### Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Çeşitli delme yöntemleri ile ön işleme tabi tutulan odun örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinde bazı değişiklikler meydana gelmektedir. Bu çalışmada birbirinden farklı ön işlemlere tabi tutulan Doğu ladini ve Avrupa melezi odun örnekleri üzerinde yoğunluk, basınç direnci ile genişleme ve daralma özelliklerindeki değişiklikler araştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan örneklerden (120 mm × 30 mm × 30 mm) elde edilen 30 x 20 x 20 mm (boyuna x radyal x teğet) boyutlarındaki örnekler üzerinde yoğunluk, daralma ve genişleme testlerini içeren fiziksel özellikler belirlenmiştir. Örnekler üzerindeki genişleme ve daralma ölçümleri, suya daldırılmadan önce ve sonra üç farklı işaretlenmiş konumda 0.01 mm hassasiyetle bir kumpas yardımıyla yapılmıştır. Örneklerin genişleme ve daralma değerleri sırasıyla TS ISO 13061-16 (2021) ve TS ISO 13061-14 (2021) standartları kullanılarak belirlenmiştir. Örnek

yoğunluklarını (nem içeriği = %12) belirlemek için odun örneklerinin ağırlıkları tartılmış, boyutları ölçülmüştür. Örneklerin yoğunlukları TS ISO 13061-2 (2021)'e göre hesaplanmıştır. Liflere paralel basınç direnç testi ise TS ISO 13061-17 (2019) standardına göre yapılmıştır.

### İstatistiksel Analizler

İstatistiksel değerlendirmelerde çeşitli gözlem gruplarını karşılaştırmak için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Uygulamalarda incelenen özelliklerin ortalama değerleri arasındaki farklılıkların tespitinde Tukey testi kullanılarak %95 güven düzeyi esas alınmıştır. ANOVA ve Tukey testleri, JMP 5.0 istatistik yazılımı (SAS Institute, Cary, NC, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### Ağırlık Kayıpları (%)

Farklı delme ön işlemlerinden sonra Doğu ladini ve Avrupa melezi diri odun örneklerinde meydana gelen ağırlık kayıplarındaki farklılıkların karşılaştırılmış sonuçları aşağıda verilmiştir. Çalışmada kullanılan hem ladin hem de melez diri odunlarında biyolojik, mekanik ve lazerle delme ön işlemleri arasında önemli bir fark belirlenmiştir. Ancak her iki odun türü üzerinde gerçekleştirilen aynı ön işlemler birbirleriyle karşılaştırıldığında ise lazerle delme ön işlemleri arasında fark olmasına rağmen mekanik ve biyolojik delme ön işlemleri arasında önemli bir fark bulunamamıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1'de gösterildiği gibi, uygulanan farklı ön işlemlerden sonra ladin ve melez diri odun örneklerindeki ağırlık kayıpları, biyolojik delme uygulanmış örneklerde lazer ve mekanik delme uygulanan örnekler nazaran daha yüksek bulunmuştur. Bu durum biyolojik delme işlemlerinde mantar hüflerinin tüm odun dokusunu sararak tüm kısımların etkilenmesinden, mekanik ve lazerle delme işlemlerinde ise odun dokusunun sadece işlem uygulanan belirli kısımlarının etkilenmesinden kaynaklanmaktadır. Başka bir ifadeyle empenyesi güç ağaç türü odun dokularında lazer ve mekanik delme işlemleri sonucu, yerel ve daha yüzeysel-derin olmayan delikler oluşurken, biyolojik delme işlemlerinde mantar hüfleri çok daha derinlere ulaşabilmektedir. Lazerle delme ön işlemleri, melez örneklerinde ladin örneklerine nazaran daha fazla ağırlık kaybına neden olmuştur. Nath ve ark. (2020a) çalışmalarında odunun anatomik yapısının ve yoğunluğunun eşit CO<sub>2</sub> lazer gücünde gerçekleştirilen delme işlemleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu

**Çizelge 1.** Biyolojik, mekanik ve lazer delme ön işlemleri öncesi ve sonrası Doğu ladini ve Avrupa melezi örneklerinde oluşan ağırlık kayıpları ile fiziksel ve mekanik özellikler.

Odun türleri	Ön işlem	AK (%)	BD (N/mm <sup>2</sup> )	D <sub>0</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	D <sub>12</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Fiziksel özellikler							
						Daralma (%)				Genişleme (%)			
						Teğet	Radyal	Boyuna	Hacimsel	Teğet	Radyal	Boyuna	Hacimsel
Doğu ladini	Kontrol (ön işlem uygulanmamış)	----	23.04	0.40	0.42	7.34	6.75	3.17	16.35	7.94	7.28	3.30	19.58
		----	(2.24)abc	(0.02)c	(0.02)c	(1.33)ab	(1.80)abc	(1.55)a	(1.56)ab	(1.53)ab	(2.10)abc	(1.65)a	(2.22)bc
	Mekanik delme	1.12	21.08	0.41	0.44	8.86	5.37	2.97	16.32	9.76	5.69	3.07	19.56
		(0.37)d	(2.23)bc	(0.01)c	(0.01)c	(2.21)ab	(1.27)c	(0.72)a	(1.83)ab	(2.57)ab	(1.43)c	(0.76)a	(2.54)bc
Avrupa melezi	Lazer delme	4.02	14.90	0.42	0.45	10.18	5.52	3.08	17.76	11.34	5.86	3.20	21.62
		(0.87)c	(1.70)e	(0.01)c	(0.01)c	(0.86)ab	(1.26)bc	(1.52)a	(1.49)ab	(1.07)ab	(1.41)bc	(1.64)a	(2.19)abc
	Biyolojik delme	9.82	16.37	0.38	0.40	7.25	6.65	2.51	15.59	7.84	7.14	2.58	18.51
		(0.70)a	(2.55)de	(0.01)c	(0.01)c	(1.36)ab	(1.45)abc	(0.75)a	(1.68)b	(1.56)ab	(1.65)abc	(0.79)a	(2.33)c
Avrupa melezi	Kontrol (ön işlem uygulanmamış)	----	25.82	0.62	0.64	8.50	9.10	2.58	19.01	9.37	10.07	2.65	23.50
		----	(1.02)a	(0.01)a	(0.01)a	(2.68)ab	(2.33)a	(0.75)a	(1.41)a	(3.25)ab	(2.84)a	(0.79)a	(2.14)a
	Mekanik delme	1.66	25.07	0.60	0.62	6.99	8.71	2.00	16.80	7.55	9.57	2.04	20.22
		(0.37)d	(1.69)ab	(0.02)a	(0.02)a	(1.59)b	(1.73)ab	(0.42)a	(1.55)ab	(1.84)b	(2.05)ab	(0.44)a	(2.23)abc
Avrupa melezi	Lazer delme	6.82	19.97	0.53	0.55	7.90	6.62	2.14	15.85	8.61	7.10	2.20	18.86
		(0.98)b	(2.21)cd	(0.07)b	(0.07)b	(1.98)ab	(0.72)abc	(1.24)a	(1.26)b	(2.32)ab	(0.83)abc	(1.31)a	(1.79)c
	Biyolojik delme	8.47	20.59	0.59	0.60	10.51	6.87	2.38	18.69	11.79	7.45	2.44	22.98
		(0.79)a	(4.17)cd	(0.05)ab	(0.05)ab	(2.17)a	(2.59)abc	(0.70)a	(0.34)a	(2.74)a	(2.99)abc	(0.74)a	(0.51)ab

AK: Örneklerde meydana gelen ağırlık kaybı; BD: Liflere paralel basınç direnci; D<sub>0</sub>: Fırın kurusu yoğunluk; D<sub>12</sub>: Hava kurusu yoğunluk

Parantez içindeki değerler standart sapmalardır. Her sütunda aynı harfler Tukey testine göre örnekler arasında istatistiksel bir fark olmadığını göstermektedir (p ≤ 0.05).

belirtmişlerdir. Dahası, Fukuta ve ark. (2016) ile Nath ve ark. (2020b) ise çalışmalarında daha yoğun odunların delinmesi veya kesilmesinin çok daha zor olduğunu bildirmişlerdir. Bu yüzden lazer ön delme işlemleri neticesinde yoğunluğu yüksek olan odun türlerinde ağırlık kayıplarının daha yüksek olması muhtemeldir.

Nath ve ark. (2020b), yüzeysel erime veya erozyon (ablasyonun) neticesinde yüzeyden yapı malzemesi eksilmesinin CO<sub>2</sub>-TEA (Enine Uyarım Atmosferik) lazer kullanılarak delinmiş çamın düşük yoğunluklu ilkbahar odununda yaz odununa göre daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Bu durumda çalışmada kullanılan melez odunundaki düşük yoğunluklu ilkbahar odunu tabakası oranının yüksek olabileceğini, ladin odununda ise yaz odunu tabakası oranının daha yüksek olabileceğini akıllara getirmektedir.

### Yoğunluk

Uygulanan tüm delme ön işlemlerinden sonra ladin ve melez diri odun örneklerinin fırın kurusu ve hava kurusu yoğunluk değerlerindeki farklılıklar karşılaştırılmıştır. Tüm delme ön işlemleri neticesinde ladin diri odun örneklerinin hem hava kurusu hem de fırın kurusu yoğunluk değerleri arasında önemli bir fark bulunamamasına rağmen mezlede sadece lazerle delme uygulanan örnekler ile diğer delme ön işlemleri ve kontrol örnekleri arasında önemli bir fark bulunmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1 incelendiğinde uygulanan farklı delme ön işlemlerinden sonra melez diri odun örneklerinin fırın kurusu ve hava kurusu yoğunluk değerleri, lazer delme uygulanmış örneklerde kontrol ile biyolojik ve mekanik delme uygulanan örneklerle nazaran daha düşük bulunmuştur. Bununla beraber lazer delmenin mezlede ladine nazaran odun yoğunluğunun düşmesinde daha etkili olduğu belirlenmiştir. Avrupa melezinin ortalama odun yoğunluk değeri (515 ila 560 kg/m<sup>3</sup>) (Karlıman ve ark. 2005), Doğu ladininkinden (401 ila 425 kg/m<sup>3</sup>) daha yüksektir (Bozkurt ve ark. 1993). Odun anatomisi ve yoğunluğun ön işlemler neticesinde açılan delik derinliğini, çapını ve daireselliğini etkileme neticesinde hücre içi akış yollarını da etkileyerek insizyon (delinme) verimliliğinde rol oynamakla (Nath ve ark. 2022) beraber odun yoğunluğunda önemli düşüşlere neden olacak olan odun dokusundan çıkarılarak uzaklaştırılan kömürleşmiş karot miktarının artması üzerinde de rol oynayabileceği düşünülmüştür. Nath ve ark. (2020a), ilkbahar odunu ve yaz odunu varlığının CO<sub>2</sub> lazerle delme sırasında delinme özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu

bildirmişlerdir. Nath ve ark. (2020b), yüzeysel erime veya erozyon (ablasyonun) neticesinde yüzeyden yapı malzemesi eksilmesinin CO<sub>2</sub>-TEA (Enine Uyarım Atmosferik) lazer kullanılarak delinmiş çamın düşük yoğunluklu ilkbahar odununda yaz odununa göre daha fazla olduğunu bununla beraber daha düşük dalga boylu bir lazerin, yoğunluğu yüksek olan odunlarda daha iyi bir delme işlemi sağladığını bildirmişlerdir. Ayrıca melez diri odunu, ladin diri odunundan daha yüksek reçine/ekstraktif madde içeriğine sahiptir (Lüxford 1953, Wu ve Hu 1997, Wagner 2010). Kısacası, melez diri odununda yoğunluğun yüksek olmasında kısmende olsa etkili olan ve ladine nazaran çok daha fazla bulunan reçinelerin veya bazı ekstraktif maddelerin yüksek ısıdaki lazer delme işlemleri esnasında sıcaklığın artmasıyla odun yapısından uzaklaşarak mezlede yoğunluğun azalmasına neden olduklarına inanılmaktadır (Gündüz ve ark. 2009).

### Liflere Paralel Basınç Direnç Değerleri

Uygulanan tüm delme ön işlemlerinden sonra ladin ve melez diri odun örneklerinin liflere paralel basınç direnç değerleri arasındaki farklılıklar karşılaştırılmıştır. Mekanik delme uygulanan örneklerin liflere paralel basınç direnç değerlerindeki düşüşler önemsiz bulunmasına rağmen lazer ve biyolojik delme uygulanan örneklerin liflere paralel basınç direnç değerlerindeki düşüşler önemli bulunmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1 incelendiğinde ladin ve melez diri odun örneklerinin liflere paralel basınç direnç değerleri, biyolojik ve lazer delme uygulanmış örneklerde kontrol ile mekanik delme uygulanan örneklerle nazaran daha düşük bulunmuştur. Lazer ve biyolojik delme sonrası meydana gelen ağırlık kaybı artışına bağlı olarak liflere paralel basınç direnç değişimindeki düşüşün her iki odun türünde de yüksek çıktığı görülmektedir. Fakat tüm delme ön işlemleri neticesinde ladinde belirlenen yoğunluk değişiminin önemsiz olması bunun aksine liflere paralel basınç direnç değerlerindeki düşüşün biyolojik ve lazer delme uygulanan örneklerde önemli olması düşündürücüdür. Liflere paralel basınç direnç değerlerindeki düşüşün ligninden kaynaklı olduğu bilgisi göz önüne alındığında, biyolojik delme uygulanan ladin ve melez örneklerinde lignin tüketiminin önem arz ettiği bir mantar ve lazer ışın aktivitesinden söz edilebilir. Eş zamanlı (II. Tip) beyaz çürüklükle beraber seçici beyaz çürüklük (I. Tip)'de yapabilen yani selektif delignifikasyon özelliğine sahip *P. vitreus* mantarının (Lehringer ve ark. 2010, Schubert ve Schwarze 2011; Fuhr ve ark. 2013, Schubert ve ark. 2013, Gilani ve Schwarze 2015) lignin içeren odun hücre elemanlarını daha fazla degrades ettiği

düşünülmektedir. Bununla beraber yüksek ısıdaki lazer delme işlemleri esnasında sıcaklığın artmasıyla boyutsal stabilite iyileşir ve mantar degradasyonuna karşı direnç artar. Ancak mekanik performans azalır (Gündüz ve ark. 2009). Ayrıca mekanik delme uygulanan ladin ve melez örneklerinde çoğunlukla odunun liflere paralel basınç direncinde önemli rol oynamayan madde veya bileşenlerin tahrip olduğu söylenebilir. Bu tespitlerin doğru bir şekilde yapılabilmesi içinde *P.vitreus* mantarının ve lazer ışınlarının odunun anatomik özellikleri üzerindeki etkisine yönelik mikroskobik çalışmalara ve lignin-şeker analizi gibi kimyasal çalışmalara da ihtiyaç vardır.

### Genişleme ve Daralma

Çizelge 1’de farklı delme ön işlemleri uygulanan ladin ve melez odun örneklerinin hacimsel daralma ve genişleme değerlerindeki farklılıklar karşılaştırılmıştır. Tüm delme ön işlemleri neticesinde ladin diri odun örneklerinin hem hacimsel daralma hem de hacimsel genişleme değerleri arasında önemli bir fark bulunamamasına rağmen mezlede sadece lazerle delme uygulanan örnekler ile biyolojik delme işlemi ve kontrol örnekleri arasında önemli bir fark bulunmuştur.

Çizelge 1 incelendiğinde ladin ve melez odununun fiziksel özellikleri teğet, radyal ve boyuna kesitlerde genellikle değişiklik göstermemiştir. Ayrıca hiçbir delme ön işleminin ladinde hacimsel daralma ve genişleme değerlerini artırıcı veya azaltıcı bir etki göstermediği anlaşılmaktadır. Mezlede ise lazer delme işleminin hacimsel daralma ve genişlemeyi azaltıcı etki gösterdiği, biyolojik ve mekanik delme işlemlerinin ise hacimsel daralma ve genişlemeyi etkilemediği tespit edilmiştir. Yani lazer delme işlemi melez odununun higroskopikliğini azaltmıştır. Lazer etkisiyle odun ısıtıldığında fiziksel ve kimyasal özellikleri kalıcı olarak değişikliğe uğrar ve yapısı yeniden şekillenir. Özelliklerde gözlenen bu değişiklikler, esas olarak hemiselülozların bozulmasından dolayı meydana gelir. Odun dokusunda ısıtma işlemi esnasında sıcaklık arttıkça değişiklikler de devam eder. Sonuç olarak nem absorpsiyonunun azalması nedeniyle genişleme azalır, biyolojik dayanıklılık artar, renk koyulaşır, odundan bazı ekstraktif madde tipleri akıp uzaklaşır, pH düşer, ısı yalıtım özellikleri iyileşir ve odunun yoğunluğu azalır (Gündüz ve ark. 2009). Hemiselülozların bozunması odunun higroskopik davranışını değiştirir. Rutubet emilimi azalır ve oduna nüfuz eden herhangi bir su, kolayca emilemediği için hızla buharlaşır ve bu değişikliklerde odunun hacimsel daralma ve genişlemesine ve mantara karşı direncinin iyileşmesine katkıda bulunur (Gündüz ve ark. 2009). Bu sonuçlarda

melez gibi reçine ve ekstraktif madde içeriği yüksek emprenyesi güç ağaç türlerinden elde edilecek ve boyutsal stabilitenin önemli olduğu kullanım alanlarında değerlendirilecek ağaç malzemelerde uygulanacak en uygun delme ön işlemlerinden birinin lazerle delme olabileceğini akıllara getirmektedir.

### SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlara göre mekanik delme ön işleminin diğer delme ön işlemlerine nazaran odunun ağırlık ve yoğunluğunda önemsiz kayıplara neden olması ve liflere paralel basınç direnç değerlerinde önemsiz düşüşlere sebep olmasından dolayı direncin önemli olacağı bazı kullanım yerlerinde kullanılması düşünülen emprenyesi güç bazı ağaç türlerinde öncelikli olarak tercih edilebileceği anlaşılmıştır. Boyutsal stabilitenin önemli olduğu kullanım alanlarında tercih edilecek ağaç malzemelerde ise lazer delme ön işleminin seçilmesinin daha uygun olacağı tespit edilmiştir. Böylece emprenyesi güç ağaç türlerinde uygun ön işlemlerin dikkatli bir şekilde seçilmesiyle sektörde çok fazla tercih edilmeyen bazı türlerin performansları iyileştirilebilir ve bu sayede bahsedilen türlerin kullanım alanları artırılabilir.

Diğer bir taraftan mevcut sonuçlar literatürde uygulanan farklı delme ön işlemleri neticesinde bozulan odun dokusundaki kimyasal bileşen ve maddelerin çeşit ve miktarlarının farklı olabileceği sonucunu da akıllara getirmektedir. Tüm bunların hassas ve güvenilir bir şekilde açıklanabilmesi ve yorumlanabilmesi için çeşitli delme ön işlemlerine tabi tutulan emprenyesi güç farklı ağaç türleri üzerinde gerçekleştirilecek kapsamlı anatomik ve kimyasal çalışmalara ihtiyaç vardır.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışma AÇÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (Proje no: 2021.F11.02.02) tarafından finansal olarak desteklenmiştir. Ayrıca, Orman Ürünleri Laboratuvarı (USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, USA)’ndan *Physisporinus vitreus* mantarının temin edilmesinde yardımcı olan Bayan Rita Rentmeester’e çok teşekkür ederim.

### KAYNAKLAR

Ahmed SA, Sehlstedt-Persson M, Karlsson O, Morén T (2012) Uneven distribution of preservative in kiln-dried sapwood lumber of Scots pine: Impact of wood structure and resin allocation. *Holzforschung* 66(2): 251-258, DOI 10.1515/HF.2011.126

- Bakir D, Dogu D, Kartal SN (2021a) Anatomical structure and degradation characteristics of bioincised oriental spruce wood by *Physisporinus vitreus*. Wood Material Science & Engineering, DOI: 10.1080/17480272.2021.1964594
- Bakir D, Dogu D, Kartal SN, Terzi E (2021b) Evaluation of pit dimensions and uptake of preservative solutions in wood after permeability improvement by bioincising. Wood Material Science & Engineering. DOI: 10.1080/17480272.2021.2014956
- Bakir D, Kartal SN, Terzi E, Dogu D (2022) The effects of bioincising by *Physisporinus vitreus* on CuO retention and copper element leaching in oriental spruce wood. Maderas. Ciencia y Tecnología 24(27): 1-23, DOI: 10.4067/s0718-221x2022000100427
- Bakir D (2022) Effects of different incising pretreatments in improving permeability in two refractory wood species. Bioresources 17(3): 5021-5037, DOI: 10.15376/biores.17.3.5021-5037
- BS EN 113-1 (2020) Durability of wood and wood-based products. Test method against wood destroying basidiomycetes. BSI Standards Publication, London, England.
- Chang L, Rong B, Xu G, Meng Q, Wang L (2020) Mechanical properties, components and decay resistance of *Populus davidiana* bioincised by *Coriolus versicolor*. J. Forestry Res. 31(5):2023-2029, DOI: 10.1007/s11676-019-00972-3
- Clausen CA (1995) Bacterial associations with decaying wood: A review. International Biodeterioration & Biodegradation 37(1-2): 101-107, DOI: 10.1016/0964-8305(95)00109-3
- Dale A, Morris PI, Uzunovic A, Symons P, Stirling R (2019) Biological incising of lodgepole pine and white spruce lumber with *Dichomitus squalens*. European Journal of Wood and Wood Products 77(6): 1161-1176, DOI: 10.1007/s00107-019-01471-2
- Danihelová A, Reinprecht L, Spišiak D, Hrčka R (2018) Impact of the Norway spruce sapwood treatment with the staining fungus *Sydowia polyspora* on its permeability and dynamic modulus of elasticity. Acta Facultatis Xylogiae Zvolen 60(1): 13-18, DOI: 10.17423/afx.2018.60.1.02
- Durmaz S, Yıldız UC, Yıldız S (2015) Alkaline enzyme treatment of spruce wood to increase permeability. BioResources 10(3): 4403-4410, DOI: 10.15376/biores.10.3.4403-4410
- Durmaz S, Yıldız UC (2016) Increasing the permeability of spruce sapwood (*Picea orientalis* L.) with enzymatic treatment. Artvin Coruh University Journal of Forestry Faculty, 17(1):32-37, ISSN:2146-1880, eISSN: 2146-698X
- Emaminasab M, Tarmian A, Pourtahmasi K, Avramidis S (2016) Improving the permeability of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) containing compression wood by *Physisporinus vitreus* and *Xylaria longipes*. International Wood Products Journal 7(3): 110-115, DOI: 10.1080/20426445.2016.1155788
- Fuhr MJ, Stührk C, Münch B, Schwarze FWMM, Schubert M (2012a) Automated quantification of the impact of the wood decay fungus *Physisporinus vitreus* on the cell wall structure of Norway spruce by tomographic microscopy. Wood Science and Technology 46(4):769-779, DOI: 10.1007/s00226-011-0442-y
- Fuhr MJ, Stührk C, Schubert M, Schwarze FWMM, Herrmann HJ (2012b) Modelling the effect of environmental factors on the hyphal growth of the basidiomycete *Physisporinus vitreus*. Journal of Basic Microbiology 52(5):523-530, DOI: 10.1002/jobm.201100425
- Fuhr MJ, Schubert M, Stührk C, Schwarze FWMM, Herrmann HJ (2013) Penetration capacity of the wood-decay fungus *Physisporinus vitreus*. Complex Adaptive Systems Modeling 1:1-15, DOI: 10.1186/2194-3206-1-6
- Gilani MS, Boone MN, Mader K, Schwarze FWMM (2014) Synchrotron X-ray micro-tomography imaging and analysis of wood degraded by *Physisporinus vitreus* and *Xylaria longipes*. Journal of Structural Biology 187(2):149-157, DOI: 10.1016/j.jsb.2014.06.003
- Gilani MS, Schwarze FWMM (2015) Hygric properties of Norway spruce and sycamore after incubation with two white rot fungi. Holzforschung 69(1):77-86, DOI: 10.1515/hf-2013-0247
- Gündüz G, Aydemir D, Karakaş G (2009) The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties. Materials and Design 30 (10): 4391-4395, DOI:10.1016/j.matdes.2009.04.005
- Hansmann C, Gindl W, Wimmer R, Teischinger A (2002) Permeability of wood – A review. Wood Research 47(4):1-16
- Islam N, Ando K, Yamauchi H, Kobayashi Y, Hattori N (2007) Passive impregnation of liquid in impermeable lumber incised by laser. Journal of Wood Science 53(5):436-441, DOI: 10.1007/s10086-006-0878-0
- Islam N, Ando K, Yamauchi H, Kobayashi Y, Hattori N (2008) Comparative study between full cell and passive impregnation method of wood preservation for laser incised Douglas fir lumber. Wood Science and Technology 42(4): 343-350, DOI: 10.1007/s00226-007-0168-z
- JMP Statistical Software (2020) JMP 1989-2007: Version 5.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. <https://www.capterra.com/p/151815/JMP-Statistical-Software/>
- Kartal SN (2002) Effects of incising on treatability and leachability of CCA-C- treated eastern hemlock. Forest Products Journal 52(2): 44-48
- Kobayashi Y, Iida I, Imamura Y, Watanabe U (1998a) Improvement of penetrability of sugi wood by impregnation of bacteria using sap-flow method. Journal of Wood Science 44(6): 482-485, DOI: 10.1007/BF00833414
- Kobayashi Y, Iida I, Imamura Y, Watanabe U (1998b) Drying and anatomical characteristics of sugi wood attacked by bacteria during pond storage. Journal of Wood Science 44(6):432- 437, DOI: 10.1007/BF00833406
- Lehringer C, Hillebrand K, Richter K, Arnold M, Schwarze FWMM, Millitz H (2010) Anatomy of bioincised Norway spruce wood. International Biodeterioration & Biodegradation 64(5):346-355, DOI: 10.1016/j.ibiod.2010.03.005
- Matsumura J, Booker RE, Donaldson BGRLA, Mikajiri N, Matsunaga H, Oda K (1999) Impregnation of radiata pine wood by vacuum treatment II: effect of pre-steaming on wood structure and resin content. Journal of Wood Science, 45(6):456-462
- Messner K, Bruce A, Bongers HP (2003) Treatability of refractory wood species after fungal pre-treatment. In The First European Conference on Wood Modification. Ghent, Belgium. pp 389-401
- Morris PI (1995) Pacific silver fir is the more treatable component of hem-fir from coastal British Columbia. Forest Products Journal 45(9):37-40
- Nath S, Waugh DG, Ormondroyd GA, Spear MJ, Pitman AJ, Sahoo S, Curling SF, Mason P (2020a) CO<sub>2</sub> laser interactions with wood tissues during single pulse laser-incision. Optics and Laser Technology 126, article no. 106069, 1-21, DOI: 10.1016/j.optlastec.2020.106069
- Nath S, Waugh DG, Ormondroyd GA, Spear M, Pitman A, Curling S, Mason P (2020b) Laser incising of wood: A review. Lasers in Engineering 45(4-6):381-403
- Nath S, Waugh DG, Ormondroyd GA, Spear MJ, Curling SF, Pitman AJ, Mason P (2022) Percussion Nd:YAG laser-incision of radiata pine: Effects of laser processing parameters and wood anatomy. Lasers in Manufacturing and Materials Processing 9(2):173-192, DOI: 10.1007/s40516-022-00169-3
- Pánek M, Reinprecht L (2011) *Bacillus subtilis* for improving spruce wood impregnability. BioResources 6(3):2912-2931, DOI: 10.15376/biores.6.3.2912-2931



- Panigrahi S, Kumar S, Panda S, Borkataki S (2018) Effect of permeability on primary processing of wood. *Journal of Pharmacognosy Phytochemistry*, 7(4):2593–2598
- Perrin PW (1978) Review of incising and its effects on strength and preservative treatment of wood. *Forest Products Journal* 28(2): 27-33
- Ruddick JNR (1991) Laser incising of Canadian softwood to improve treatability. *Forest Products Journal* 41(4):53-57
- Schubert M, Stührk C, Fuhr MJ, Schwarze FWMR (2013) Agrobacterium-mediated transformation of the white-rot fungus *Physisporinus vitreus*. *Journal of Microbiological Methods* 95(2):251-252, DOI: 10.1016/j.mimet.2013.09.001
- Schubert M, Stührk C, Fuhr MJ, Schwarze FWMR (2014) Imaging hyphal growth of *Physisporinus vitreus* in Norway spruce wood by means of confocal laser scanning microscopy (CLSM). *Holzforschung* 68(6):727-730, DOI: 10.1515/hf-2013-0183
- Suzuki K, Teduka Y, Ando K, Hattori N, Kitayawa S, Kato H, Nagao H, Tanaka T (1996) Laser incising of wood, the effect of incising density on bending strength of sugi square lumber (in Japanese). in: *Proceedings of the 46<sup>th</sup> Annual Meeting of the Japanese Wood Research Society*, Kumamoto, Japan, pp.130.
- Tajrishi IZ, Tarmian A, Oladi R, Humar M, Ahmadzadh M (2021) Biodegradation and microscale treatability pattern of loblolly pine heartwood bioincised by *Bacillus subtilis* and *Physisporinus vitreus*. *Drvna Industrija* 72(4):365-372, DOI: 10.5552/drvind.2021.2034
- TS ISO 13061-17 (2019) Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Küçük kusursuz odun numuneleri için deney yöntemleri – Bölüm 17: Liflere paralel basınç altında nihai gerilimin belirlenmesi, TSE, Ankara
- TS ISO 13061-2 (2021) Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 2: Fiziksel ve mekanik deneyler için yoğunluğun belirlenmesi, TSE, Ankara
- TS ISO 13061-14 (2021) Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Küçük kusursuz odun numuneleri için deney yöntemleri - Bölüm 14: Hacimsel daralmanın belirlenmesi, TSE, Ankara
- TS ISO 13061-16 (2021) Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Küçük kusursuz odun numuneleri için deney yöntemleri - Bölüm 16: Hacimsel genişlemenin belirlenmesi, TSE, Ankara
- Ünlügil HH (1972) Penetrability and strength of white spruce after ponding. *Forest Products Journal* 22: 92-100
- Wang JZ, DeGroot R (1996) Treatability and durability of heartwood. *National Conference on Wood Transportation Structures*. Madison, WI, USA. pp 252-260
- Wang Y, Ando K, Hattori N. (2013) Changes in the anatomy of surface and liquid uptake of wood after laser incising. *Wood Science and Technology* 47(3):447-455, DOI: 10.1007/s00226-012-0497-4
- Watanabe U, Imamura Y, Iida I (1998) Liquid penetration of precompressed wood VI: Anatomical characterization of pit fractures. *Journal of Wood Science* 44(2):158-162, DOI:10.1007/BF00526263
- Winandy JE, Morrell JJ, Lebow ST (1995) Review of the effects of incising on treatability and strength. in: *Proceedings of Wood Preservation in the 90's and Beyond*, Savannah, GA, USA, pp.65- 69
- Winandy JE, Morrell JJ (1998) Effects of incising on lumber strength and stiffness: Relationships between incision density and depth, species, and MSR grade. *Wood and Fiber Science* 30(2):185-197
- Winandy JE, Hassan B, Morrell JJ (2022) Review of the effects of incising on treatability and strength of wood. *Wood Material Science and Engineering* DOI: 10.1080/17480272.2022.2028008
- Yıldız S, Çanakçı S, Yıldız ÜC, Özgenç Ö, Tomak ED (2012) Improving of the impregnability of refractory spruce wood by *Bacillus licheniformis* pretreatment. *BioResources* 7(1): 565-577