



Investigation of CNC laser processing performance of some wood species used in industrial product manufacturing

Cebrail Açık*^{ID}, Ahmet Tutuş^{ID}

Department of Forestry Industrial Engineering, Faculty of Forestry, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, 46050, Kahramanmaraş, Türkiye

Highlights:

- The effect of wood density difference on laser processing
- Effect of wood cutting direction on laser processing
- Effect of wood anatomical structure on laser processing

Keywords:

- Woodworking
- CNC
- Laser

Article Info:

Research Article
Received: 23.08.2021
Accepted: 11.02.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.986215

Acknowledgement:

The authors thank Kahramanmaraş Sütçü İmam University Scientific Research Projects Coordination Unit (BAP) (Project No: 2019/5-10 D)

Correspondence:

Author: Cebrail Açık
e-mail: cebrail46@hotmail.com
phone: +90 505 527 8670

Graphical/Tabular Abstract

In this study, a total of 6 different tree species, 3 types of deciduous trees and 3 types of coniferous trees, were used. The effects of laser cutting directions, density and anatomical structure perpendicular to the fibers, parallel to the fibers and transverse to the fibers on the laser processing performance of each wood species were investigated. In the study, the samples were cut in 3 different ways. The section parallel to the fibers is shown in Figure A. (a) below, the perpendicular section is shown in Figure A. (b) below, and the section transverse to the fibers is shown in Figure A. (c) below.

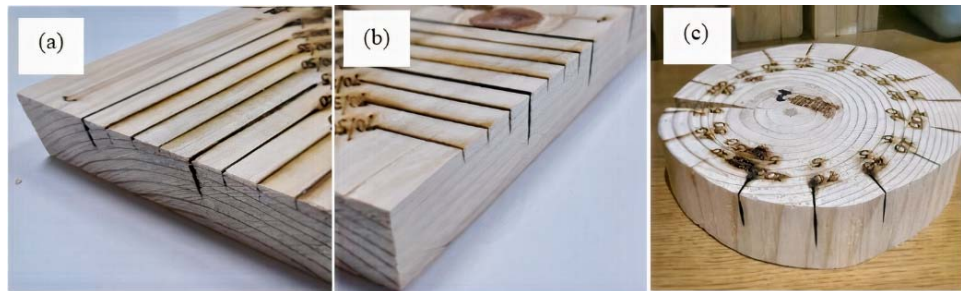


Figure A. (a) Cut parallel to the fibers, (b) Cut perpendicular to the fibers, (c) transverse cut

Purpose:

In this study, CNC laser processing performances of some native wood species grown in Turkey, which are frequently used in the manufacture of industrial products, were investigated. In line with the findings, suggestions were made for the industrial wood product manufacturing sector.

Theory and Methods:

In the study, laser cutting depths were measured by applying cutting process with 70% watt power, 5 mm/s speed and 5 mm nozzle height in a CNC laser machine with 130 watt carbon dioxide laser tube to the experimental samples obtained from different woods. Intersect parallel to the fibers is the intersection in which the laser beam axis is perpendicular to the fibers and the feed speed direction (cutting motion) is parallel to the fibers. Crossing perpendicular to the fibers is the type of intersection where the laser beam axis and the feed speed direction (cutting motion) are perpendicular to the fibers.

Results:

As a result, the highest laser processing performance was obtained from laser cutting of wood materials with low density, summer wood participation rate in the annual ring and low cell wall thickness in the direction perpendicular to the fibers..

Conclusion:

Density differences, cutting direction differences and anatomical structure differences of wood species, respectively, affected the laser processing performance.



Endüstriyel ürün imalatında kullanılan bazı ahşap türlerinin CNC lazerle işlenebilme performanslarının araştırılması

Cebrail Açıık*^{ID}, Ahmet Tutuş^{ID}

Kahramanmaraş Sütcü imam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 46050, Kahramanmaraş, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Ahşap yoğunluk farkının lazerle işlemeye etkisi
- Ahşap kesim yönünün lazerle işlemeye etkisi
- Ahşap anatomik yapısının lazerle işlemeye etkisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 23.08.2021
Kabul: 11.02.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.986215

Anahtar Kelimeler:

Ahşap işleme,
CNC,
lazer

ÖZ

Bu çalışmada endüstriyel ürün imalatında sıkça kullanılan, Türkiye’de yetişen bazı yerli ahşap türlerinin, CNC lazerle işlenebilme performansları araştırılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, endüstriyel ahşap ürün imalat sektörüne yönelik önerilerde bulunulmuştur. Araştırmada 130 watt gücünde karbondioksit gazlı tüple çalışan CNC lazerle, deney örneklerine %70 watt lazer gücü ve 5 mm/s lazer kesim hızı uygulanmıştır. 3 tür yapraklı ağaç ve 3 tür iğne yapraklı ağaç olmak üzere toplam 6 farklı ağaç türü kullanılmıştır. Her bir ahşap türünün liflere dik, liflere paralel ve liflere enine yönde lazer kesim yönlerinin, yoğunluğunun ve anatomik yapısının lazer işleme performansına etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak en yüksek lazer işleme performansı, düşük yoğunluklu, yıllık halkadaki yaz odunu iştirak oranı ve hücre çeper kalınlığı az olan ahşap malzemelerin, liflere dik yönde lazer kesimlerinden elde edilmiştir.

Investigation of CNC laser processing performance of some wood species used in industrial product manufacturing

H I G H L I G H T S

- The effect of wood density difference on laser processing
- The Effect of wood cutting direction on laser processing
- The Effect of wood anatomical structure on laser processing

Article Info

Research Article
Received: 23.08.2021
Accepted: 11.02.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.986215

Keywords:

Woodworking,
CNC,
Laser

ABSTRACT

In this study, CNC laser processing performances of some native wood species grown in Turkey, which are frequently used in the manufacture of industrial products, were investigated. In line with the findings, suggestions were made for the industrial wood product manufacturing sector. In the study, 70% watt laser power and 5 mm/s laser cutting speed were applied to the experimental samples with a CNC laser working with a 130 watt carbon dioxide gas tube. A total of 6 different tree species, 3 types of deciduous trees and 3 types of coniferous trees, were used. The effects of laser cutting directions, density and anatomical structure perpendicular to the fibers, parallel to the fibers and transverse to the fibers on the laser processing performance of each wood species were investigated. As a result, the highest laser processing performance was obtained from laser cutting of wood materials with low density, summer wood participation rate in the annual ring and low cell wall thickness in the direction perpendicular to the fibers.

1.Giriş (Introduction)

Ahşap; insan hayatının doğumundan başlayarak ölümüne kadar, tüm yaşam sürecinde yer alan sıcak dokulu ve çevre dostu önemli bir endüstriyel üründür. Bugün yeryüzünde 120.000 çeşit bitki mevcut olduğu, bunlardan ağaç, çalı ve bambular olmak üzere 20.000 kadarıyla endüstriye yönelik ahşap hammaddesi üretildiği bildirilmektedir [1]. Ahşap hammaddesinin 10.000'nin üzerinde farklı kullanım yeri bulunduğu ve insanlık tarihinde kullanılan ilk hammaddelerden birisi olduğu söylenebilir [2].

Herhangi bir malzemenin işlenebilir özelliklerini bilmek, onun en iyi şekilde değerlendirilebilmesi için önemlidir. Söz konusu ağaç malzeme olduğunda karakteristik özelliklerinin bilinmesi daha da önem kazanmaktadır. Çünkü ağaç malzeme, diğer ana mühendislik malzemelerinden daha karmaşık ve anizotropik bir yapıdadır [2]. Öte yandan lazer işleme parametreleri çok yönlü bir süreç olduğundan, ahşap mekanizmasını derinlemesine karakterize etmek esastır. Daha yüksek verim elde etmek için, uygun işleme parametre kombinasyonunu keşfetmek büyük bir zorunluluktur [3]. Lazer kesim, lifler arasındaki bağı yakarak koparma anlamına geldiğinden, masif malzemenin lif yapısı işleme amacına uygun doğrultuda incelenmelidir.

Ahşap, hücre adı verilen çok sayıda küçük birimlerden meydana gelmiştir. Odunsu bir hücrede dışta hücre çeperi, çeper üzerinde bir hücreden diğer hücreye besi suyu akışını sağlayan çok küçük açıklıklar (geçitler) ve ortada hücre boşluğu (lümen) bulunmaktadır. Hücreler çeşitli şekillerde bir araya gelerek odun kitlesini oluştururlar [5]. Ahşap anatomisinde ağacın enine kesitinde açık ve koyu halkalar halinde görülebilen bir yıl içerisinde oluşan farklı yapıdaki odun tabakalarına, ilkbahar odunu ve yaz odunu denmektedir. Bu iki tabaka yoğunluk, renk ve yapısal özellikleri yönünden birbirinden ayrılabilirler. İğne yapraklı ağaçlarda ilkbahar ve yaz odunu tabakaları kolayca ayırt edilirken, geniş yapraklı ağaçlarda bu her zaman mümkün olmamaktadır. Ağaçlarda yıllık halkanın koyu renkli kısmını meydana getiren yaz odunu tabakası kalın çeperli, radyal çapları daha küçük ve lümenleri küçük hücrelerden oluşmaktadır. Yıllık halkanın açık renkli kısmı olan ilkbahar odunu tabakasındaki hücreler ise, ince çeperli ve büyük lümenlidir. Aşağıda Şekil 1a'da ağacın yıllık halkalarının gövdenin enine kesitindeki konumu, Şekil 1b'de yıllık halkalardaki hücrelerin konumu, Şekil 1c'de ise her bir hücreye ait çeper ve lümen boşluk yapıları görülmektedir [2].

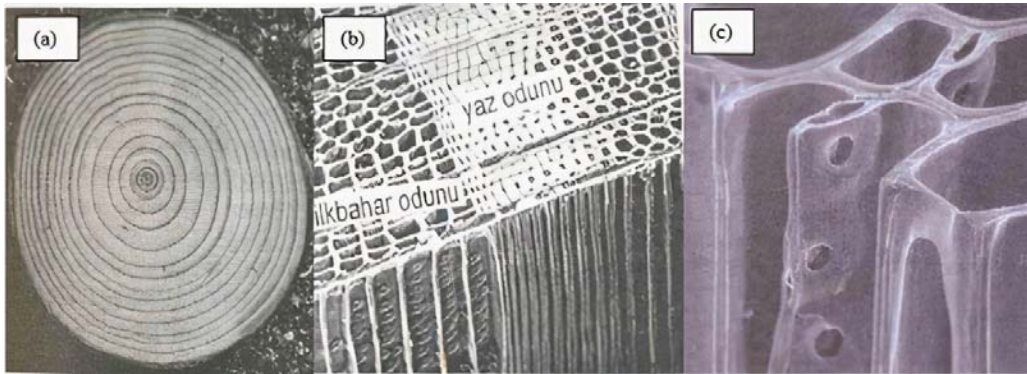
Ahşabın mekanik kesim işlemi, lifler arasındaki yapıyı zayıflatarak tahrip etme esasına dayanır. Talaşlı kesimde biçme, rendeleme, profil açma, delme vb. işlemlerinde olduğu gibi, kesimden sonra atık talaş ortaya çıkar. Ayrıca mekanik kesimde, kesme veya soyma kaplamada

olduğu gibi talaşsız kesim de yapılabilir. Mekanik kesimde bütün kesici ağızlarının yapısı kama prensibine dayanır. Kama prensibi, herhangi bir cisme uygulanan mekanik kuvveti küçük bir alanda (kesici ağız) toplayarak kuvvetin etkisini artırma esasına dayanır [6].

Lazer kesim prensibi ise, uyarılmış radyasyon yayınıyla herhangi bir cisme uygulanan ışık kuvvetini küçük bir alanda toplayarak kuvvetin yakma etkisini artırmaya dayanır. Yani mekanik kesimdeki keskin bir bıçak, lazer kesimde tam yoğunlaştırılmış (inceltilmiş) lazer ışını temsil eder. Aynı şekilde mekanik kesimde olduğu gibi lazer kesim de, lifler arasındaki yapıyı zayıflatarak tahrip etme (yakma) esasına dayanır. Lazer kesim daha çok mekanik kesimdeki testerele kesime benzer. Ancak doğal veya kimyasal yapısı bozulmamış testere atık talaşı yerine, lazer ışını kesim çentiğindeki talaşı kimyasal dönüşümle (karbonlaşma) buharlaştırmak suretiyle kaldırır. Bu benzerliklerden dolayı kesim parametrelerindeki besleme hızı, malzeme yoğunluğu, kesim işgücü gibi faktörler her iki kesimde de aynı etkiyi gösterebilir.

Son yıllarda lazer teknolojisi, malzeme işlemenin ön saflarında yer almaktadır. Yakın gelecekte muhtemelen testereyle kesme gibi geleneksel tekniklerin yerini alacağı düşünülebilir [7]. Bilgisayarlı sayısal kontrollü (CNC) makine teknolojisiyle, üretimde insan gücü azalarak, yerini bilginin işlenmesine bırakmaya başlamıştır. Lazer teknolojisinin yayılmasıyla temassız, hassas ve talaşsız üretim metotları oldukça yaygınlaşmıştır.

Dünyada lazer 1960'larda keşfedilmiştir. Gelişmiş ülkelerde lazer teknolojisi çelik, metal, fiber, plastik vb. Endüstrilerde geniş uygulama alanları bulmuş ve bu malzemelerin lazerle işlenmesi araştırılmıştır. Bunun yanında ahşap malzemelerin, üretim sektörlerindeki önemi açıktır. Lazer, ahşap sektörüne sonradan girmiş olmakla beraber, hızla yayılarak sadece ahşap işlemeyle lazer makineleri üretilir olmuştur. Bu gelişmeler lazerle ahşap işlemeye yönelik akademik çalışmaları ihtiyaç haline getirmiştir [8]. Bu konu ile ilgili literatürdeki bazı çalışmalar incelenmiştir. Kontrol plakların farklı kesme koşulları altında lazerle kesilmesine odak uzaklığı, kesme hızı ve gücüne ait en uygun kesme parametreleri [9], lazer gaz ve hava basıncının lazer kesime etkisi [10], lazerle ahşap işleme ışın gücü, mod, polarizasyon ve stabilite, optik yönleri, odak noktasının konumu, besleme hızı, gaz püskürtme destek sistemi ve iş parçası kalınlığı, malzeme yoğunluğu ve nem içeriğinin etkileri [11], lazer gücünün, kesme hızının ve yıllık halka sayısının kesme çentiğinin üst ve alt notlardaki çentik genişliğine etkisi [12], farklı lazer güç ve hız kombinasyonlarının, bazı ahşap ve ahşap esaslı kompozit malzemelerin lazer oyma (kazıma) özellikleri [13], konularında araştırmalar yapılmıştır. Ancak bu çalışmalarda bulgu ve açıklamalar çoğu zaman, kullanılan malzeme yönünden tekil kalarak,



Şekil 1. Ahşabın anatomik yapı elemanları (Elements of the anatomical structure of wood)

kullanıcılar açısından önemli olan malzeme ve işlem parametreleri bütüncül bir yaklaşımla yeterli derecede açıklanmamıştır. Bu çalışmada ise, endüstriyel üretimde sıkça kullanılan 6 adet farklı ahşap türünden elde edilen malzemelerin yoğunluk, kesim yönü ve anatomik yapı farkının CNC lazerle işleme performanslarına etkisi araştırılarak, ortak sonuçlar açıklanmaya çalışılmış, dünyada hızla gelişen akıllı endüstriyel üretim sistemlerine, ahşap ürün tasarımcı ve imalatçıların adaptasyonunun desteklenmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot (Materials And Method)

2.1. Materyal (Materials)

Çalışmada 3 tür yapraklı ağaç ve 3 tür iğne yapraklı ağaç olmak üzere toplam 6 farklı ağaç türü kullanılmıştır. Ahşap türlerinin %12 rutubet düzeyindeki hava kuru halde yoğunlukları kayında 0.652 g/cm³, göknarda 0.651 g/cm³, cevizde 0.619 g/cm³, sedirde 0.567 g/cm³, sarıçamda 0.441 g/cm³ ve kavakta 0.393 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Ağaçların düzgün gövdelerinden elde edilen göğüs seviyesinden itibaren 100 cm uzunluktaki gövde kısmından örnekler alınmıştır. Yaklaşık 25 cm çapındaki tomrukların kapak tahtası alındıktan sonraki diri odun kısımları kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan 130 watt güç çıkışlı, karbondioksit gazlı, su soğutmalı, 1,5 mm nozul çaplı ve 10,6 µm dalga boyunda CNC lazer işleme makinesi kullanılmıştır. Bu makinenin aşağıda Şekil 2a'da dış görünüşü, Şekil 2b'de kesme aşaması gösterilmiştir. Ayrıca çalışmada

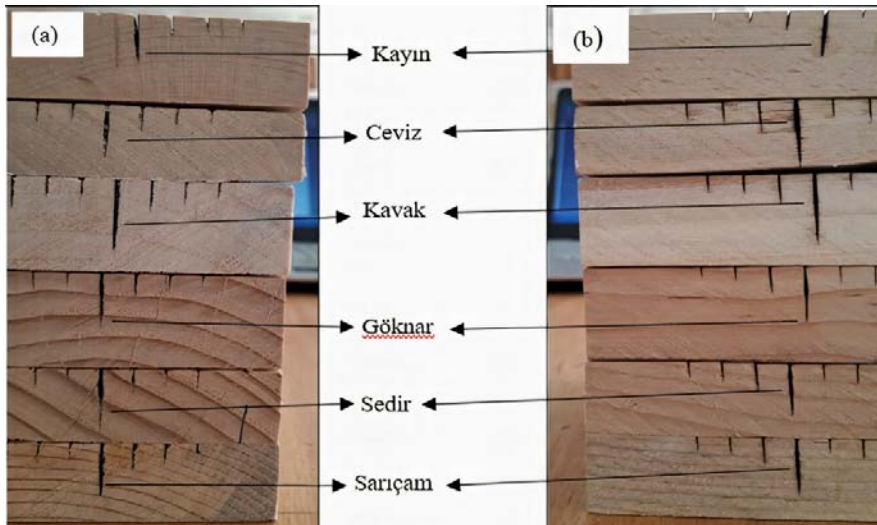
lazer kesim derinliklerini ölçmek için 0,02 mm hassasiyetli dijital derinlik ölçüm aleti ve büyüteç (5x) kullanılmıştır.

2.2. Metot (Method)

Çalışmada ahşap örneklerine lazer tüpü bulunan CNC lazer makinesinde, makine işlem fonksiyonlarındaki sınırlılıklar da dikkate alınarak, %70 watt gücünde, 5 mm/s hızında ve 5 mm nozul yüksekliğinde sabit parametrelerde kesme işlemi uygulanarak, sadece malzeme parametreleri üzerinden çalışma yapılması hedeflenmiştir. %70 watt gücün tercih edilme nedeni, bu çalışmadaki makinede her ne kadar 130 watt 'lık tüp kullanılsa da, genel olarak bu kapasitedeki güç kaynağına sahip CNC makinelerinde 100 watt'lık tüpler kullanılmaktadır. 100 watt'lık tüplerde giriş-çıkış güç miktarı maksimum düzeyde 90-100 watt aralığında olduğundan, bu çalışmadaki 130 watt 'lık tüpün yaklaşık %70'ini karşılayarak literatüre uyumluluk gözetilmiştir. 5 mm/s hızın tercih nedeni, ahşap malzemenin yanmadan kesilebileceği en düşük hızla, en yüksek kesim derinliği elde edilmeye çalışılarak ölçümlerdeki hata payının en aza indirgenmesi gözetilmiştir. 5 mm nozul yüksekliğinin tercih edilme nedeni ise, lazer parametre ayarlarında genel olarak uygulanan beklenen ortalama kesim derinliğinin yaklaşık yarısı referans alınmıştır. Bu parametrelerdeki deney örneklerinin liflere paralel yönde kesim görüntüleri aşağıdaki Şekil 3a'da, liflere dik yönde kesim görüntüleri Şekil 3b'de gösterilmiştir. Liflere paralel kesiş, lazer ışını eksenin liflere dik, besleme hız yönünün (kesim hareketinin) liflere paralel olduğu kesiş şeklindedir. Bu kesim şekli



Şekil 2. Çalışmada kullanılan CNC lazer makinesi (CNC laser machine used in the study)



Şekil 3. Ahşap örneklerinin lazer kesimleri (Laser cuttings of wood samples)

şağıda Şekil 4a'da gösterilmiştir. Liflere dik kesiş, lazer ışını ekseninin ve besleme hız yönünün (kesim hareketinin) liflere dik olduğu kesiş şeklindedir. Bu kesim şekli aşağıda Şekil 4b'de gösterilmiştir. Liflere enine kesiş, lazer ışın ekseninin lifler yönünde, besleme hız yönünün (kesim hareketinin) liflere göre enine yönde olduğu kesim şeklindedir. Bu kesim şekli aşağıda Şekil 4c'de gösterilmiştir. Liflere enine yönde kesim derinliği ölçümlerinde yapraklı ağaç masiflerinde (ceviz, kayın, kavak) ilkbahar odunu ile yaz odunu arasındaki farklar lazer kesim çentiğinin boyutları açısından ayırt edilemez olduğundan rastgele ölçü alınmıştır. İğne yapraklı ağaç masiflerinde (sarıçam, göknar, sedir) ise yaz odunu ve ilkbahar odunu kısmından ayrı ayrı kesim yapılarak ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Her bir örnek türünden 3'er adet hazırlanarak ölçümler tekrarlanmıştır.

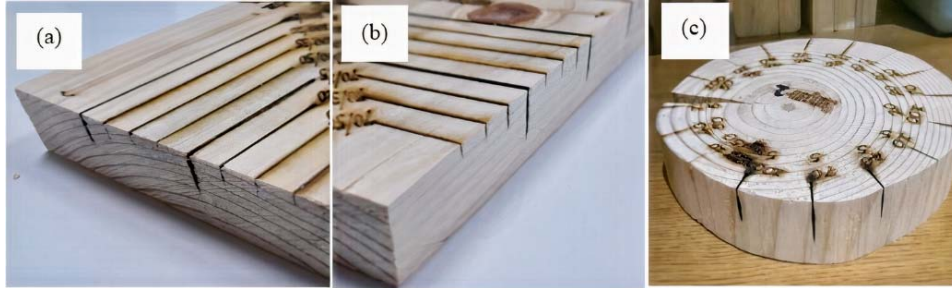
3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Ahşap örneklerinin liflere paralel, liflere dik ve liflere enine yönlerine uygulanan lazer kesiminde, elde edilen lazer kesim derinlikleri ve ahşap malzemelerin yoğunlukları aşağıda Tablo 1'de gösterilmiştir.

Ahşap türlerinden kayın, ceviz ve kavak yapraklı ağaç türlerinde, tüm kesim yönlerinin birbirine yakın lazer kesim performansına sahip olduğu, sayısal olarak en iyi performansı sırasıyla liflere dik, liflere paralel ve liflere enine yönde gösterdiği belirlenmiştir. Bu sıralama üç ağaç türü için de geçerlidir. Göknar ve sedir iğne yapraklı ağaçlarının en iyi lazer kesim performansı liflere dik yönlerde gerçekleşirken, sarıçamda liflere paralel yönde elde edilmiştir. Sarıçamdaki bu farklılığın sayısal olarak tolera sınırları içinde olduğu değerlendirilebilir. İğne yapraklı ağaçların tamamında enine yöndeki lazer kesimlerinde, ilkbahar odunu kısımlarının lazer kesim performansı, yaz odunu kısımlarından daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu durum, ilkbahar ve yaz odunu bölgelerinin hücresel yapı farkından

dolayı beklenen bir durumdur. İlkbahar ve yaz odunu kesim derinlikleri farklarının sayısal değerleriyle, ağaç türlerinin yoğunlukları arasında ters orantılı bir ilişki elde edilmiştir. Ancak bu ilişki ilkbahar ve yaz odunu lazer kesim derinlikleri ortalamasında devam etmemiştir. Başka çalışmalarda da ilkbahar ve yaz odunu farklılıklarının artmasının daha karmaşık bir lazer kesim düzeni oluşturacağı belirtilmiştir [8]. Ahşap türlerinin liflere dik yönde, liflere paralel yönde ve liflere enine yönde lazer kesim derinlikleri yapraklı ağaçlar için aşağıda Şekil 5a'da ve iğne yapraklı ağaçlar için Şekil 5b'de gösterilmiştir.

Genel olarak ahşap malzemelerin lazer kesim performansları sırasıyla liflere dik yönde, liflere paralel yönde ve liflere enine yönde olarak sıralanmıştır. Tüm ahşap malzeme türlerinin ortalama değerlerine göre endüstriyel üretimlerde en çok işlem yapılan, liflere paralel yöndeki kesim performansı, liflere enine yönünde kesim performansından %13 daha fazla, liflere dik yönde kesim performansından ise %5 daha az olduğu saptanmıştır. Ahşabın liflere enine yöndeki sertlik direncinin fazla olmasından dolayı [1], paralel ve dik yöndeki kesim derinliklerinden daha az kesim performansı gösterdiği değerlendirilmektedir. Ahşap malzemelerde liflere paralel yöndeki ısı iletkenliği liflere dik yönden yaklaşık 2,5 kat daha fazladır [1]. Literatürde yüksek termal iletkenliğe sahip malzemelerin lazerle kesilme işlemi esnasında, ısının kesim bölgesinden malzemeye doğru hızla yayılmaya başladığı, bu yüzden esas kesme noktasında yüksek kesim gücünün zayıfladığı belirtilmiştir [15, 16, 18]. Bu teorisinin ahşap malzeme içinde geçerli olduğu, ısının daha fazla yayılması kesim noktasındaki odaklanmayı zayıflattığından, liflere paralel yönde kesim performansını düşürdüğü değerlendirilmektedir. Başka bir çalışmada, liflere paralel yöndeki ısı iletkenliğinin fazla olmasının, bu yönde hareket eden bir ısı kaynağında, liflere dik yönden daha az ısı iletim kaybı oluşturduğu ve bundan dolayı daha derin lazer kesimlerin yapıldığı açıklanmıştır. Ayrıca liflere paralel yönde birim

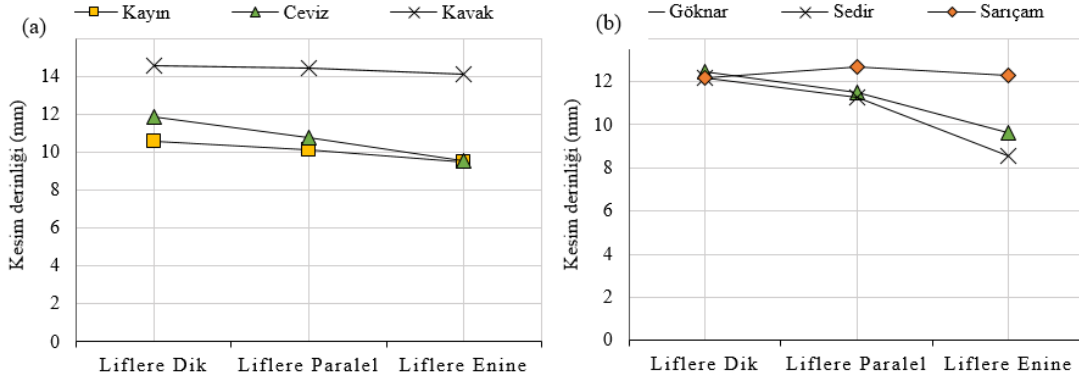


Şekil 4. Ahşap örneklerinin lazerle kesiş yönleri (Laser cutting directions of wood samples)

Tablo 1. Malzemelerin kesiş yönlerinin lazer kesim derinlikleri (Laser cutting depths of cutting directions of materials)

Yapraklı Ağaçlar	Yoğunluk (g/cm ³)	Kesim Derinliği (mm)				Ortalama
		Liflere Dik	Liflere Paralel	Liflere Enine	Ortalama	
Kayın	0,652	10,6	10,1	9,4	10,05	
Ceviz	0,619	11,9	10,8	9,5	10,75	
Kavak	0,393	14,6	14,4	14,1	14,38	
Ortalama	0,554	12,36	11,78	11,04	11,72	

İğne Yapraklı Ağaçlar	Yoğunluk (g/cm ³)	Kesim Derinliği (mm)					Ortalama
		Liflere Dik	Liflere Paralel	Liflere Enine		Ortalama	
				İlkbahar O.	Yaz O.		
Göknar	0,651	12,4	11,5	12	7,2	9,6	11,19
Sedir	0,567	12,2	11,2	9,2	7,8	8,5	10,66
Sarıçam	0,441	12,2	12,7	12,6	11,8	12,2	12,38
Ortalama	0,553	12,28	11,82	11,29	8,98	10,13	11,41



Şekil 5. Ahşap türleri kesiş yönlerinin lazer kesim derinlikleri (Wood species laser cutting depths of cutting directions)

hacimdeki yoğunluğun, liflere dik yönden daha az olduğu ve bundan dolayı liflere paralel lazer kesimlerde daha derin lazer kesimlerin elde edildiği belirtilmiştir [14]. Ancak literatürdeki tespit, bu çalışmadaki bulgularla örtüşmemektedir. Çünkü ısı iletkenliğinin fazla olduğu liflere paralel yönde hareket eden bir ısı kaynağında, ısı iletim kaybı daha az değil, ısı odaklanması dağıldığı için daha çok olur ve kesimi zayıflatır. Ayrıca aşağıda Şekil 8 ve Şekil 9'da ahşabın hücre yapısı incelendiğinde, liflere paralel hareket eden bir kesim hareketinin, liflere dik yönden daha az bir yoğunlukla karşılaştığı söylenemeyeceği gibi, daha fazla sertlik direnciyle karşılaşacağından kesimin zorlaşabileceği değerlendirilmektedir. Tüm ahşap malzemelerin liflere dik yönde, paralel yönde ve enine yönde kesim derinliği ortalamaları aşağıda Şekil 6'da verilmiştir.



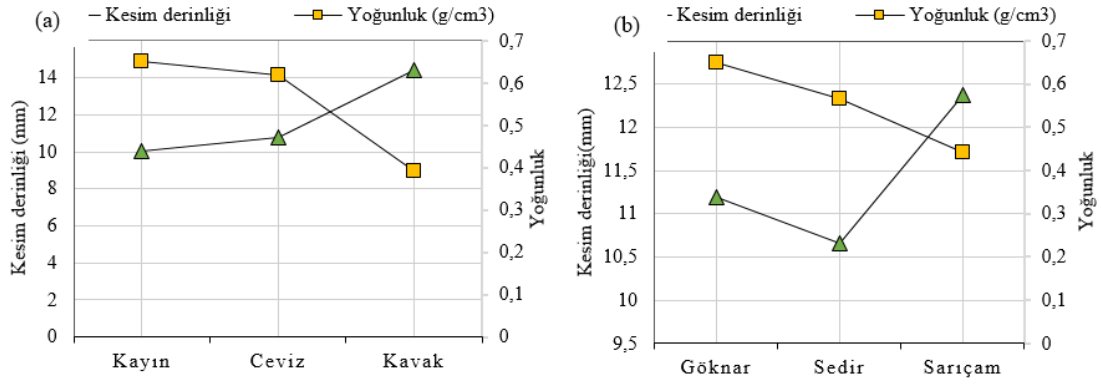
Şekil 6. Ahşap türlerinin ortalama lazer kesim derinlikleri (Average laser cutting depths of wood species)

Ahşap türlerinin yoğunluk ile kesim derinliği ortalama değerleri arasında sedir masif haricinde ters orantılı bir eğilim ilişkisi görülmektedir. Sedir masifindeki istisnai durumun yukarıdaki Tablo 1 incelendiğinde, liflere enine yöndeki ilkbahar odununun oldukça düşük lazer kesim performansından kaynaklandığı görülmektedir. Başka bir çalışmada, sedir odununda yoğunluk faktörü ile mekanik özellikler arasında genç odun kısmında pozitif-çok zayıf bir ilişki olduğu bu durumun ekstraktif maddelerle alakalı olduğu, ekstraktif maddelerin yoğunluğu artırdığı fakat mekanik özellikleri aynı derecede artırıcı etkisinin olmadığı açıklanmıştır [17]. Bu çalışmadaki sedir masifinin, göknar ve sarıçama göre yoğunluğa oranla daha az lazer kesim performansı göstermesinin nedeninin, içerisinde bolca bulunan ve yoğunluğunu oldukça artıran ekstraktif kimyasal maddelerle, lazer ışının yetersiz reaksiyonundan kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Ahşap türlerinin yoğunluk ile lazer kesim derinliği arasındaki ters orantı ilişkisinin doğruluğu, literatürdeki birçok çalışmada da tespit edilmiştir [10, 12, 14]. Ancak bu ilişkinin her ahşap türü için sayısal olarak aynı oranda olduğu söylenemez. Ahşap türlerinin üç kesim yönündeki ortalama lazer kesim derinlikleri ile yoğunluk ilişkisi yapraklı ağaçlar için aşağıda Şekil 466

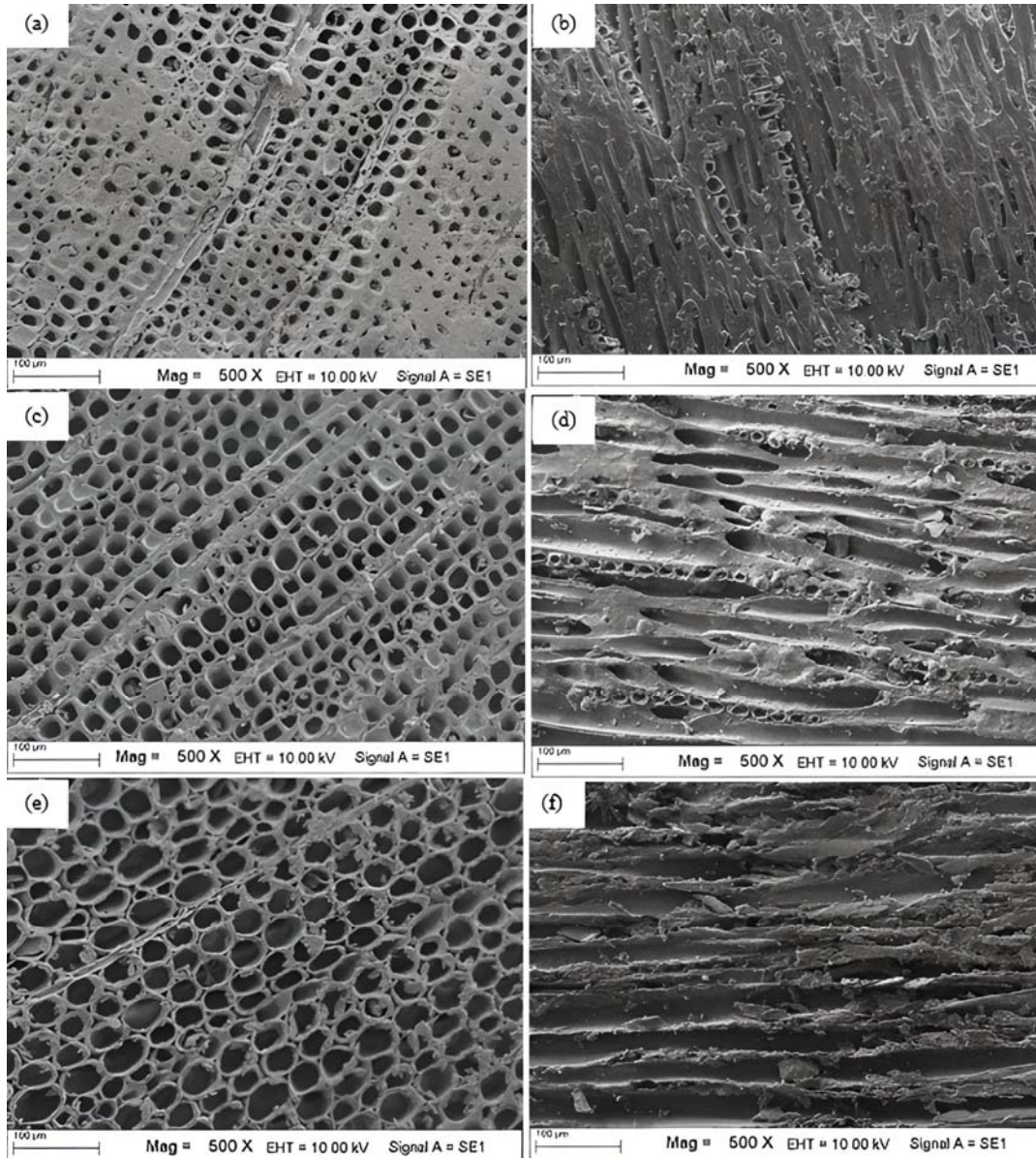
7a'da ve iğne yapraklı ağaçlar için Şekil 7b'de gösterilmiştir. Yukarıdaki Tablo 1'de de görüldüğü gibi, 3 adet yapraklı ahşap türünün ortalama yoğunluğunun 0,554 gr/cm³ ve tüm parametrelerdeki ortalama kesim derinliğinin 11,72 mm olduğu, 3 adet iğne yapraklı ahşap türünün ortalama yoğunluğunun 0,553 gr/cm³ ve tüm parametrelerdeki ortalama kesim derinliğinin 11,41 mm olduğu belirlenmiştir. En yüksek yoğunluğa sahip kayının yoğunluğu, genel yoğunluk ortalamasından %18 daha fazla, kesim derinliği ise genel kesim derinliği ortalamasından %14,2 daha azdır. Aynı şekilde en düşük yoğunluğa sahip kavağın yoğunluğu genel yoğunluk ortalamasından %29 daha düşük, kesim derinliği ise genel kesim derinliği ortalamasından %22,7 daha fazladır. Ahşap türleri arasındaki en yüksek ve en düşük yoğunluk arasındaki fark %47, en yüksek ve en düşük kesim derinliği arasındaki fark ise %36,9'dur. Yoğunluk ve kesim derinliği ilişkisinin ters orantılı sonucunun aynı olmamasının nedeninin, yani yaklaşık %10'luk bu iki fark oranının, ahşap türlerinin anatomik yapı farklılıklarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

İğne yapraklı ağaçların anatomik yapılarının %90-95'ini oluşturan traheid hücrelerinin yapıları gereği, göknar, sedir ve sarıçam ağaçlarının hücre yapısı birbirine benzediği gibi, kayın, ceviz ve kavak yapraklı ağaçları da yaklaşık %70-80'ni oluşturan trahe ve lif yapıları gereği, birbirine benzer bir hücre yapısı oluşturmuştur. Bu hücrelerin yıllık halkalarda bulunma durumları da farklıdır. İğne yapraklı ağaçlardan elde edilen ahşap malzemelerin zımpara yapılmış enine kesit görüntüleri, liflere dik lazer kesim görüntüleri ve liflere paralel lazer kesim SEM (taramalı elektro mikroskop) görüntüleri aşağıdaki Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8a'da göknar liflere dik kesimi, Şekil 8b'de göknar liflere paralel kesimi, Şekil 8c'de sedir liflere dik kesimi, Şekil 8d'de sedir liflere paralel kesimi, Şekil 8e'de sarıçam liflere dik kesimi, Şekil 8f'de sarıçam liflere paralel kesimi gösterilmiştir. Bu şekil incelendiğinde;

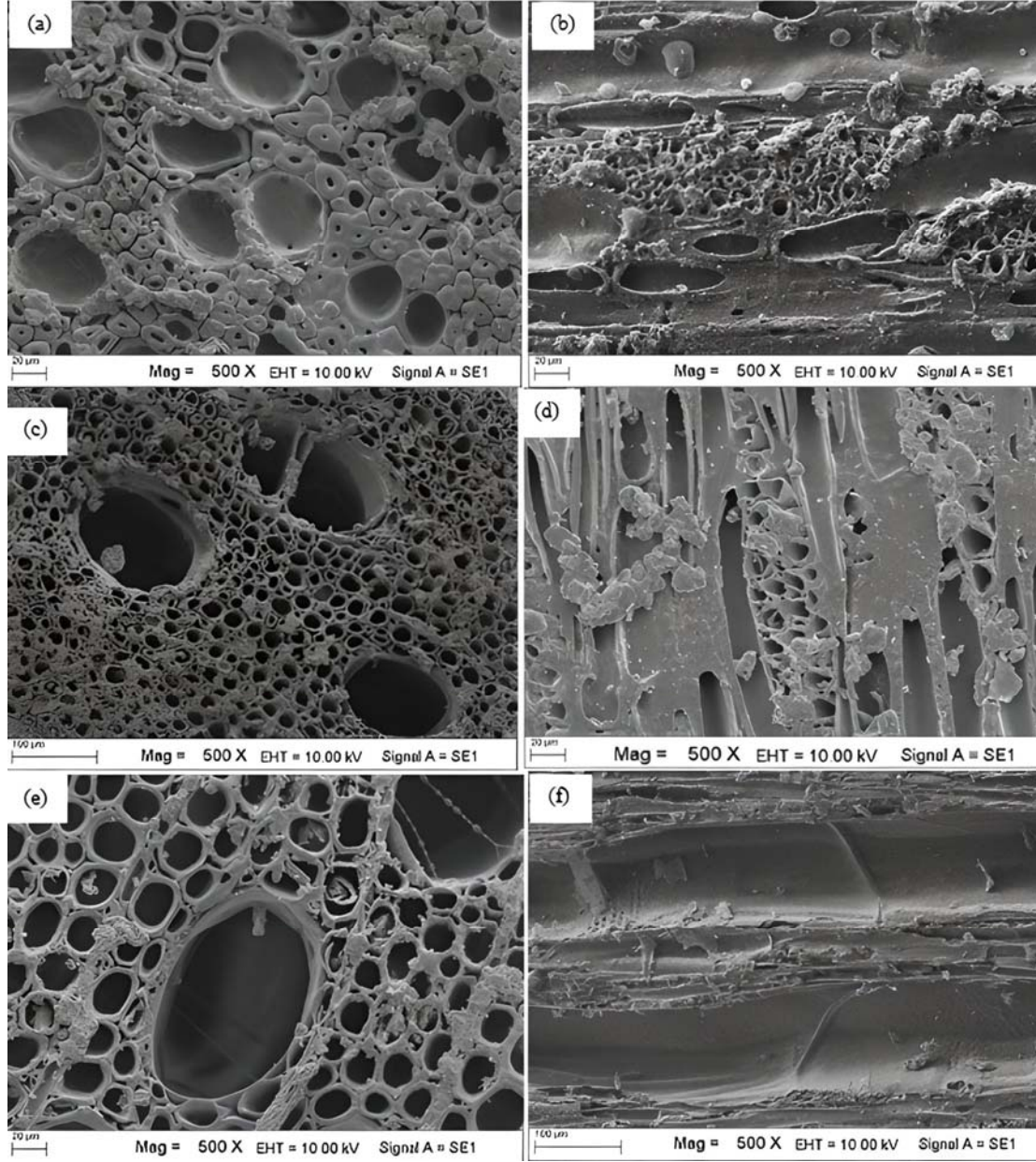
Göknar masifinin enine kesitinde görüldüğü üzere, sedir ve sarıçama göre yıllık halkadaki yaz odunu iştirak oranının daha fazla olması, yoğunluğunun da fazla olmasına neden olmuştur. Ancak bu yoğunluk artımı, lazer kesimini olumsuz olarak daha az oranda etkilediğinden, yoğunluğa bağlı en yüksek lazer kesim performansı sayısal olarak göknar masifinde elde edilmiştir. Sarıçam masifinin liflere paralel lazer kesim görüntüsünde, hücre çeperlerinin düzgün bir kesim yüzeyi oluşturmadığı, lazer kesimde hava basıncıyla gelen lazer ışınının, lümen boşluğunda önceden bulunan gazlara uyguladığı ısı ve basınç sonucu, geniş lümenli ve zayıf bir hücre çeperi yapısında, mikro kırılma veya çatlamalara neden olduğu değerlendirilmektedir. Bu durum sarıçamın göknar ve sedire göre, hücre çeperinin daha zayıf olduğunu göstermekle birlikte, yoğunluğunun da düşük olmasını sağlamıştır. Bu yoğunluk azalımı lazer kesim performansını da olumlu olarak etkilediğinden, lazer kesim derinliği olarak en fazla sarıçamda elde edilmiştir.



Şekil 7. Ahşap türlerinin yoğunluk ve lazer kesim derinliği ilişkisi (Relationship between wood species density and laser cutting depth)



Şekil 8. İğne yapraklı ağaç türlerinin kesit görüntüleri (Cross-section images of coniferous tree species)



Şekil 9. Yapraklı ağaç türlerinin kesit görüntüleri (Cross-section images of leafy tree species)

Sedir masifi ise, hem yıllık halkadaki yaz odunu iştirak oranı, hem de hücre çeper kalınlığı ve lümen boşluğu çapına paralel olarak, göknar ve sarıçam arasında bir yoğunluğa sahip olduğundan dolayı, anatomik özellikleriyle orantılı sayılabilecek bir lazer kesim performansı gösterememiştir. Bu durumda içerisinde hücrelerde bulunan ekstraktif maddelerin olumsuz etkisinden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.

İğne yapraklı ağaçlarda yoğunluk ve lazer kesim performansında yıllık halka yapısı daha çok etkili olurken, yapraklı ağaç türlerinde hücre yapılarının daha etkili olduğu belirlenmiştir. Ancak yapraklı ağaçlardaki bu hücre farkına bağlı etkilemenin, iğne yapraklı ağaçlardaki yıllık halkalar kadar farklar oluşturmadığı söylenebilir. Yapraklı ağaçlardan elde edilen ahşap malzemelerin zımpara yapılmış enine kesit görüntüleri, liflere dik lazer kesim ve liflere paralel lazer kesim SEM (taramalı elektro mikroskop) görüntüleri aşağıdaki Şekil 9'da verilmiştir. Kayın liflere dik kesimi Şekil 9a'da, kayın liflere

paralel kesimi Şekil 9b'de, ceviz liflere dik kesimi Şekil 9c'de, ceviz liflere paralel kesimi Şekil 9d'de, kavak liflere dik kesimi Şekil 9e'de, kavak liflere paralel kesimi Şekil 9f'de gösterilmiştir. Bu şekil incelendiğinde;

Yapraklı ağaç türlerinden kayın ahşap türünün ceviz ve kavağa göre, hücre çeperlerinin oldukça kalın, trahe ve lümen çaplarının da oldukça dar olması, yüksek yoğunluklu olmasını sağlamıştır. Bu yoğunluk artımı, birim hacimdeki yakılması gereken madde miktarını artırdığından dolayı kayının sayısal olarak bu çalışmada kullanılan en az kesim derinliğine sahip ahşap türü olmasına neden olmuştur.

Kavak ahşap türünün kayın ve cevizle göre yaz odunu iştirak oranının az, hücre çeperlerinin ince, trahe ve lümen çaplarının oldukça geniş, birim alandaki trahe sayısının fazla ve dağınık olması yoğunluğunun düşük olmasını sağlamıştır. Bu yoğunluk azalımı birim hacimdeki yakılması gereken madde miktarını azalttığından dolayı, yukarıda

Şekil 7a'da görüldüğü gibi, kavak ahşap türünün yoğunluğa bağlı lazer kesim performansını ortalama eğilimin içinde tutmakla birlikte, matematiksel olarak bu çalışmada kullanılan en fazla kesim derinliğine sahip ahşap türü olmasını sağlamıştır.

Ceviz masifi ise, hem trahe çapı ve dağılımı, hem de hücre çeper kalınlığı ve lümen boşluğu çapına paralel olarak, kayından daha az, kavaktan ise daha fazla bir yoğunluğa sahiptir. Yukarıda Şekil 7a'da görüldüğü gibi, yoğunluğa bağlı lazer kesim performansını ortalama eğilimin içinde kalmakla birlikte, ceviz ahşap türü sayısal olarak beklenen düzeyde bir lazer kesim performansı göstermiştir.

Yukarıdaki açıklamalarda görüldüğü gibi ahşap malzemelerin lazer kesim performansları doğrudan yoğunluklarına orantılanamamaktadır. Çünkü ahşabın yıllık halka yapısı, kesim yönü, hücrelerin gövdedeki bulunuş şekli, kimyasal yapısı, renk, parlaklık, yüzey pürüzlülüğü, ısı iletimi gibi oldukça çok ve karmaşık etkenlerden dolayı, ahşap malzemelerin lazer ışını ile olan reaksiyonlarına bağlı olarak, lazer işleme performanslarının değişebildiği literatürdeki bazı çalışmalarda da açıklanmıştır [10, 12, 14]. Ahşap deney örneklerinden elde edilen lazer kesim derinliği değerleri ile yoğunluk ve kesim yönü ilişkilerini istatistiksel olarak belirlemek için pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Değişkenler ve lazer kesim derinliği ilişkisi (Relationship between variables and laser cutting depth)

Değişkenler (Yapraklılar)	n	*p	**r
Yoğunluk	27	0,000	-0,901
Kesim yönü	27	0,228	0,240

Değişkenler (İğne Yapraklılar)	n	*p	**r
Yoğunluk	27	0,041	-0,396
Kesim yönü	27	0,000	0,719

* $p < 0,05$

** $0,71 < r < 0,99$ ise yüksek düzeyde ilişki,

$0,30 < r < 0,70$ orta düzeyde ilişki

$0,01 < r < 0,29$ düşük düzeyde ilişki

Yukarıdaki Tablo 2'de görüldüğü gibi, yapılan korelasyon analizi sonucuna göre, yapraklı ağaç türlerinde lazer kesim derinliği ile yoğunluk arasında olumsuz ve anlamlı olarak yüksek düzeyde bir ilişki elde edilmiştir. Yoğunluk değişkeni lazer kesim derinliğindeki değişimi %66 ($r^2=0,656$) düzeyinde etkilemiştir. Lazer kesim derinliği ile kesim yönü arasında, olumlu ve anlamsız olarak düşük düzeyde bir ilişki elde edilmiştir. Bu ilişkinin pozitif yönü enine yönle başlayıp, paralel yönle devam ederek ve dik yönde tamamlanmaktadır. İğne yapraklı ağaç türlerinde lazer kesim derinliği ile yoğunluk arasında

olumsuz ve anlamlı olarak orta düzeyde bir ilişki elde edilmiştir. Yoğunluk değişkeni lazer kesim derinliğindeki değişimi %16 ($r^2=0,156$) düzeyinde etkilemiştir. Lazer kesim derinliği ile kesim yönü arasında ise olumlu ve anlamlı olarak yüksek düzeyde bir ilişki elde edilmiştir. Kesim yönü değişkeni lazer kesim derinliğindeki değişimin %52'sini ($r^2=0,516$) etkilemiştir.

Ahşap masiflerin lazer kesiminde, yukarıdaki korelasyon analizi sonucunda, anlamlı farkların olduğu değişkenlerde, değişkenin farklılık oluşturan ve oluşturmayan gruplarını belirlemek için tek yönlü varyans analizi Duncan testi yapılmıştır. Elde edilen istatistiksel sonuçlar aşağıda Tablo 3'de verilmiştir. Buna göre yapraklı ağaçların yoğunluğa bağlı lazer kesiminde, kayın ve ceviz arasında anlamlı bir farklılık bulunmazken, kavak masifi farklı bir grup oluşturmuştur. İğne yapraklı ağaçların kesim yönüne bağlı lazer kesiminde, paralel ve dik yönde kesimler arasında anlamlı bir fark bulunmazken, enine yönde kesim farklı bir grup oluşturmuştur. Ayrıca Yoğunluğa bağlı lazer kesimde, göknar ile sedir ve sarıçam arasında anlamlı bir fark bulunmazken, sedir ile sarıçam aralarında farklı gruplar oluşturmuşlardır.

4. Simgeler (Symbols)

CNC	: Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
μm	: Mikrometre
mm	: Milimetre
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
s	: Saniye
Watt	: Uluslararası Standart Elektriksel Güç birimi
n	: Örnek sayısı
p	: Önem düzeyi (Anlamlılık)
r	: İlişki düzeyi
m	: Ortalama
sd	: Standart sapma
g	: homojenlik grubu

5. Sonuçlar (Conclusions)

Endüstriyel üretimde sıkça kullanılan 6 adet farklı ahşap türünden elde edilen malzemelerin yoğunluk, kesim yönü ve anatomik yapı farkının CNC lazerle işleme performanslarına etkisi araştırılarak, ortak sonuçlar açıklanmaya çalışılmıştır. Ahşap türlerinin lazer kesim performansını sırasıyla en fazla yoğunluk farkları, kesim yönü farkları ve anatomik yapı farkları etkilemiştir. Ahşap türlerinin lazer işleme performansları daha çok yoğunluklarıyla ilişkili olmakla birlikte, sadece yoğunluklarına bağlı olmayıp anatomik yapılarına da bağlıdır. Yoğunluğa bağlı kalmaksızın, en yüksek lazer işleme performansı sırasıyla kavak, sarıçam göknar, ceviz, sedir ve kayın ahşap türlerinde

Tablo 3. Ahşap türlerinin lazer kesim grup ilişkileri (Laser cutting group relationships of wood species)

Yapraklılar Yoğunluk Değişkeni Grupları (gr/cm^3)	n	m	sd	g
Kayın (0,652)	9	9,98	0,68	a
Ceviz (0,613)	9	10,78	1,26	a
Kavak (0,393)	9	14,42	0,88	b

İğne Yapraklılar Kesim Yönü Değişkeni Grupları	n	m	sd	g
Enine	9	9,95	0,46	a
Paralel	9	11,78	0,29	b
Dik	9	12,50	0,20	b

İğne Yapraklılar Yoğunluk Değişkeni Grupları (gr/cm^3)	n	m	sd	g
Sedir (0,567)	9	10,66	1,69	a
Göknar (0,651)	9	11,15	1,34	ab
Sarıçam (0,441)	9	12,41	0,73	b

elde edilmiştir. Ahşap türlerinin kesiş yönüne göre lazer kesim performansı genel olarak en fazla sırasıyla, liflere dik yönde, liflere paralel yönde ve liflere enine yönde elde edilmiştir. Bu sıralama sedir haricinde her bir tür için de geçerlidir. Ayrıca iğne yapraklı ağaç türlerinde kesiş yönü farklılıkları, lazer işleme performansını, yapraklı ağaç türlerinden daha çok etkilemiştir. Ahşap türlerinden anatomik yapısı yıllık halka içerisinde yaz odunu iştirak oranı az, hücre çeperi kalınlığı ince ve hücre lümen boşluğu veya trahe çapı geniş olanların lazer kesim performansları daha yüksektir. Üretim sektörü için, mukavemetin önemli olmadığı durumlarda lazer işlemede yoğunluğu düşük ahşap türlerinin kullanılması, lazerle seri üretime yönelik bilgisayar destekli üretimde objelerin mümkün olduğu kadar liflere dik kesime uygun tasarlanması, daha homojen ve kararlı lazer işleme için yapraklı ağaç türlerinin tercih edilmesi önerilmiştir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından (Proje No: 2019/5-10 D) desteklenmiştir.

Kaynaklar (References)

- Örs, Y., Keskin, M., Ağaç malzeme bilgisi, KOSGEP Ders kitabı, Ankara, 183, 2001.
- Bozkurt, Y., Erdin, N., Ağaç teknolojisi, İstanbul üniversitesi Orman Fakültesi Ders kitabı, Yayın No:445 İstanbul, 372, 2011.
- Guo, X., Deng, M., Hu, Y., Wang, Y., Ye, T., Morphology, mechanism and kerf variation during CO₂ laser cutting pine wood, Journal of manufacturing, 68 (part A), 13-22, 2021.
- Merchant, V. E., The Influence of Cutting Assist Gas and Pressure on the Laser Cutting of Lumber Products, International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, 128, 1995.
- Gürtekin, A., Oğuz, M., Mobilya ve dekorasyon gereç bilgisi, Temel Ders Kitabı, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara, 402, 2002.
- İlhan, R., Burdurlu, E., Baykan, İ., Ağaç İşlerinde Kesme Teorisi Ve Mobilya Endüstri Makineleri, Ders Kitabı, Hacettepe Üniversitesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Ankara, 420, 1990.
- Gaff, M., Razaci, F., Sikora, A., Hysek, S., Sedlecky, M., Ditommaso, G., Corleto, R., Kamboj, G., Sethy, A., Vališ, M., Ripa, K., Interactions of Monitored Factors Upon Tensile Glue Shear Strength on Laser Cut Wood, Composite Structures, 234 (111679), 2020.
- Açık, C., Tutuş, A., The Effect of Traditional And Laser Cutting on Surface Roughness Of Wood Materials Used In Furniture Industry, Wood Industry and Engineering, 2 (2), 45-50, 2020.
- Gabdrakhmanov, A.T., Bobrishev, A.A., Shafigullin, L.N., Application of the laser cutting of wood-containing materials in construction, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 481- 012045, 2019.
- Yusoff, N., A Study on Laser Processing of Wood. Loughborough University Doctoral Thesis. 281, 2006.
- Barnekov, V.G., McMillin, C.W., Huber, H.A., Factors influencing laser cutting of wood, Forest Products Research Society Forest Prod. J., 3 (1), 55-58, 1986.
- Kubovsky, I., Kristak, L., Suja, J., Gajtanska, M., Igaz, R., Ruziak, I., Reh, R., Optimization of Parameters for the Cutting of Wood-Based Materials by a CO₂ Laser, Multidisciplinary digital Publishing Institute (MDPI) Coatings, 10 (8113), 2020.
- Teivonen, A., Laser Surgery System. Lahti University of Applied Sciences Degree Program in Materials Engineering, 23-35, 2016.
- Cherif, M., Precision Cutting of Hardwoods By Using A High Energy Carbon Dioxide Laser. Michigan State University Institute of Science. Metallurgy Mechanics and Materials Science. Master's Thesis, 81, 1990.
- Ürgüplü, S., Köksal, M., Lazer İle Kesme İşlemlerinde Kesim Kalitesine Etki Eden Parametreler ISITES (Akademik platform) sy: (865-874) Valencia –Spain, 2015.
- Çolpan, M., H., Lazer Gücünün Fonksiyonu Olarak Lazer Yüzey İşleme Üzerine Bir Çalışma, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 76 sayfa, Konya 2008.
- Bal, B. C., Bektaş, İ., Kaymakçı, A., Sedir (*Cedrus Libani A.Richard*) Odununun Bazı Önemli Mekanik Özellikleri ve Bu Özelliklerin Tam Kuru Yoğunlukla İlişkisi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu 26-28 Ekim, Kahramanmaraş, 2011.
- Tekaüt İ., Experimental investigation of the effects of cutting parameters on the cutting surface quality and heat affected area (HAZ) width in plasma arc cutting processes, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 35 (3), 1509-1518, 2020.