



Investigation of the effect of laser modification on some wood color characteristics

Cebrail Açık^{1*}, Ahmet Tutuş²

¹Onikişubat District Directorate of National Education, Kahramanmaraş, Türkiye

²Department of Forestry Industrial Engineering, Faculty of Forestry, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, 46050, Kahramanmaraş, Türkiye

Highlights:

- Wood surface laser modification
- Effect of laser surface modification on color change
- Effect of laser surface modification on gloss change

Keywords:

- Laser modification
- Surface color
- Surface gloss

Article Info:

Research Article

Received: 13.01.2023

Accepted: 09.12.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1233588

Correspondence:

Author: Cebrail Açık

e-mail:

cebrail46@hotmail.com

phone: +90 505 527 8670

Graphical/Tabular Abstract

In this study, material surfaces obtained from some wood species frequently used in the furniture industry were modified (carved) by applying different rates of laser engraving power and speed on a CNC laser machine with a carbon dioxide gas glass tube. Color differences after laser treatments were measured in the CIE L*a*b* color system. In line with the findings, the relationships between the dependent variables of color and gloss and the independent variables of wood type, laser engraving power and laser engraving speed were examined. The test samples on which the study was carried out are shown in Figure A. The beech tree test sample is shown in Figure A. (a), the walnut tree test sample is shown in Figure A. (b), and the poplar tree test sample is shown in Figure A. (c).

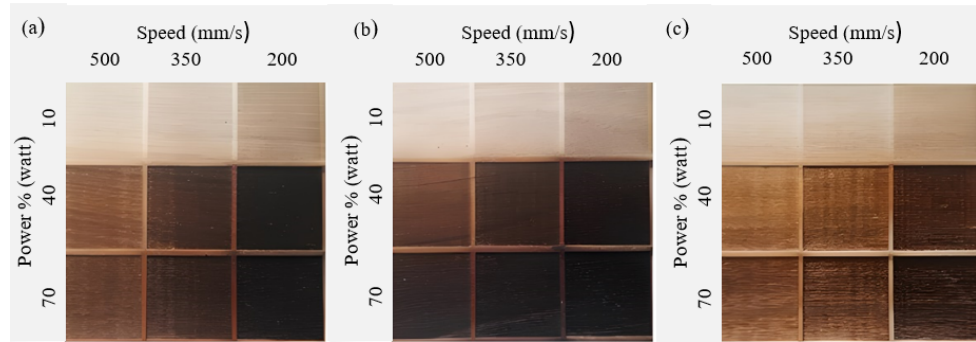


Figure A. Wood types (a) beech, (b) walnut, (c) poplar laser engraving examples

Purpose: Comprehensive explanations are needed during the color and gloss changes in laser treatment of surfaces of anisotropic biomaterials. On the other hand, the gloss feature, which is the result of laser modification of wooden surfaces, should not be neglected, although it is not as effective as color in surface visuals. In this study, it was tried to determine the general trends in color and gloss changes resulting from wood-laser surface modification on some wood species that are frequently used in the furniture and wood products industry. Color difference values related to the investigation of the effect of laser surface modification on color changes on wood surfaces were evaluated by applying correlation analysis. It was revealed whether the interactions of wood type, scraping speed and scraping power independent variables with ΔL^* , Δb^* , Δa^* color differences and ΔE^* total color difference dependent variables were statistically significant.

Theory and Methods: Three different tree species were used in this study. In the study, 10%, 40% and 70% laser power and engraving speeds of 200, 350 and 500 mm/s were applied to the wood samples in a CNC laser machine, taking into account the limitations in machine processing functions. For color measurements, the CIELAB color range is defined according to the principles specified in ASTM D 2244. The measurement was made in the brightness measuring device used in the experiment at 20/60/85°.

Results: In terms of total color difference in laser processes, walnut wood species was affected the most, while beech wood species was least affected. The laser engraving power variable positively affected the total color difference in this study, and the laser engraving speed negatively affected it. Laser modification reduced the untreated natural gloss value of all wood species. It weakened the brightness of the poplar wood species the most. The increase in the rate of laser engraving power decreased the brightness in all wood species and the increase in the rate of laser engraving increased the brightness.

Conclusion: According to the results of the research, statistically significant results could not be obtained between the wood type variable and ΔE^* and ΔL^* color variables, and between the scraping power variable and Δa^* color variable. Significant results were obtained among all other color variables. In addition, significant results were obtained in all parameters between the wood type, laser engraving power and laser engraving speed independent variables and the brightness variable.



Lazer modifikasyonunun bazı ahşap renk karakteristiklerine etkisinin araştırılması

Cebrail Açık^{1*}, Ahmet Tutuş²

¹Onikişubat İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü, Kahramanmaraş, Türkiye

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 46050, Onikişubat, Kahramanmaraş, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- lazer modifikasyonunda ahşap türü farkının renk ve parlaklık değişimine etkisi
- lazer modifikasyonunda gravür gücü farkının renk ve parlaklık değişimine etkisi
- lazer modifikasyonunda gravür hızı farkının renk ve parlaklık değişimine etkisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 13.01.2023

Kabul: 09.12.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1233588

Anahtar Kelimeler:

Anahtar kelimeler:
Lazer modifikasyon,
yüzey renk,
yüzey parlaklık

ÖZ

Bu çalışmada, mobilya endüstrisinde sık kullanılan bazı ahşap türlerinden elde edilmiş malzeme yüzeylerine karbondioksit gazlı cam tüplü CNC lazer makinesinde, farklı oranlarda lazer kazıma gücü ve hızı uygulanarak modifikasyon (kazıma) işlemi yapılmıştır. Lazer işlemlerinden sonra oluşan renk farklılıkları CIE L*a*b* renk sisteminde ölçülmüştür. Elde edilen bulgular doğrultusunda, renk ve parlaklık bağımlı değişkenleri ile ahşap türü, lazer kazıma gücü ve lazer kazıma hızı bağımsız değişkenleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, ahşap türü değişkeni ile Δa^* (sarı-mavi farkı) ve Δb^* (kırmızı-yeşil farkı) renk değişkenleri arasında istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. ΔL^* (siyah-beyaz farkı) ve ΔE^* (toplam renk farkı) renk değişkeni arasında anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Lazer kazıma gücü değişkeni ile ΔL^* , Δb^* ve ΔE^* değişkenleri arasında istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar, Δa^* değişkeni ile anlamsız sonuçlar ortaya çıkmıştır. Lazer kazıma hızı değişkeni ile ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔE^* değişkenleri arasında istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar bulunmuştur. Ahşap türü, lazer kazıma gücü ve lazer kazıma hızı bağımsız değişkenleri ile parlaklık değişkeni arasındaki tüm parametrelerde anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma sonucunda lazer yüzey modifikasyonu sırasında renk ve parlaklık değişimlerinin mobilya ve ahşap ürün endüstrisinde sık kullanılan ahşap türleri için ortak eğilimleri açıklanmaya çalışılmıştır.

Investigation of the effect of laser modification on some wood color characteristics

H I G H L I G H T S

- Effect of wood type difference on color and gloss change of laser surface modification
- Effect of engraving power difference on color and gloss change of laser surface modification
- Effect of engraving speed difference on color and gloss change of laser surface modification

Article Info

Research Article

Received: 13.01.2023

Accepted: 09.12.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1233588

Keywords:

Lazer modifikasyon,
surface color,
surface gloss

ABSTRACT

In this study, material surfaces obtained from some wood species frequently used in the furniture industry were modified (carved) by applying different rates of laser engraving power and speed on a CNC laser machine with a carbon dioxide gas glass tube. Color differences after laser treatments were measured in the CIE L*a*b* color system. In line with the findings, the relationships between the dependent variables of color and gloss and the independent variables of wood type, laser engraving power and laser engraving speed were examined. According to the research results, statistically significant results were obtained between the wood type variable and the color variables Δa^* (yellow-blue difference) and Δb^* (red-green difference). No significant results were obtained between the color variables ΔL^* (black-white difference) and ΔE^* (total color difference). Statistically significant results emerged between the laser engraving power variable and the variables ΔL^* , Δb^* and ΔE^* , while insignificant results emerged with the variable Δa^* . Statistically significant results were found between the laser engraving speed variable and the variables ΔL^* , Δa^* , Δb^* and ΔE^* . significant results were obtained in all parameters between the wood type, laser engraving power and laser engraving speed independent variables and the brightness variable. As a result of the study, it was tried to explain the common trends of color and gloss changes during laser surface modification for wood species that are frequently used in the furniture and wood products industry.

1. Giriş (Introduction)

Son yıllarda lazer teknolojisi, malzeme işlemenin ön saflarında yer almaktadır. Yakın gelecekte muhtemelen birçok geleneksel tekniklerin yerini alacağı düşünülebilir. Bilgisayarlı sayısal kontrollü (CNC) makine teknolojisiyle, üretimde insan gücü azalarak, yerini bilginin işlenmesine bırakmaya başlamıştır. Lazer teknolojinin yayılmasıyla temassız, hassas ve talaşsız üretim metodları oldukça yaygınlaşmıştır [1]. Ahşap yüzeylerinin işlenmesi eski çağlardan beri çeşitli mekanik tekniklerle yapılmıştır. Ancak son yıllarda lazer ve CNC teknolojinin gelişmesi ile bu teknikler yerini bilgisayar destekli sistemlere bırakmışlardır. Bu tekniklerden birisi de ahşap yüzeylerinin lazer ışınlarıyla yakılarak renklendirilmesidir. Lazerle ahşap yüzey işlemede en önemli konulardan birisi lazer ışınlarına karşı ahşap yüzeylerinin tepkime metodolojisini açıklayabilmektir. Ahşap yüzeyler üzerine lazer kazıma genellikle mobilya veya ahşap ürünün ticari ve estetik değerini arttırmak amacıyla yapılmaktadır. Bu teknik genel olarak iki gruba ayrılabilir, birincisi çeşitli vektörel karakterdeki motif ve desenlerin ahşap yüzeye aktarılmasıdır. İkincisi ise fotoğrafik karakterdeki görüntülerin ahşap yüzeye aktarılmasıyla daha kişisel görüntüler oluşturulmasıdır [4]. Ahşabın yapısı diğer mühendislik malzemelerine göre daha kompleks bir karaktere sahiptir. Ahşabın anatomik ve kimyasal özellikleri farklılığından dolayı ahşap yüzeyi kazındığında çok farklı renkte ve parlaklıkta yüzeyler elde edilir. Tasarlanan renk ve parlaklığı elde etmek için çeşitli akademik çalışmaların yapılması kaçınılmazdır.

Renk sadece çeşitli ağaç türlerinde değil, aynı ağaç türünde veya aynı ağaç gövdesinde dahi yerel değişiklikler gösterebilir. Ağaçlarda diri odun çoğunlukla sarımsı beyaz ve pembe tonlarda, öz odun ise hemen hemen beyazdan siyaha kadar çeşitli renklerde olabilir. Renk değişikliklerinin nedeni ekstraktif maddelerin bulunması ve bu maddelerin özellikleridir. Renk, lif yapısı ve görünüşü özellikleri ile birlikte, ağaç malzemenin dekoratif bakımdan kalitesini yükseltmektedir. Aynı ağaç gövdesinde renk farklılıklarına neden olan diğer bir faktör yoğunluğun ağacın her tarafında aynı olmaması ve bu bölgelerde ışığın farklı yansımalarıdır. Parlaklık ise ahşap yüzeyin ışığı yansıtma özelliğidir. Parlak veya mat görünüş, yüzeyin ışığı yansıtma özelliğine sahip olup olmaması ile değişmektedir. Parlaklık ahşap yüzeylerde renk verme ve iyi cilalanma kabiliyetinden ayrı bir özelliktir. Birçok ağaç türünde yüzey parlak değildir. Parlaklık, yüzeye gelen ışığın açısı ve yüzeydeki ağacın hücre tiplerine bağlı olarak değişmektedir [2].

Ahşabın yapısı ve özellikleri kullanımını belirler. Ahşap, selüloz, hemiselülozlar, lignin ve ekstraktiflerden oluşur. Bunların içeriği ve ilişkisi ahşabın pek çok özelliğini etkiler. En önemli özelliklerinden biri rengidir. Ahşap, elektromanyetik spektrumun genişlik aralığındaki dalga boylarını emebilir. Odun bileşenlerinin lazer ışınlarıyla bozulması ligninin kromoforik gruplarını oluşturacaktır. Bu yapılar ahşabın renk değişimlerinden sorumludur. Renk değişiklikleri çeşitli teknolojik lazer işlemleriyle elde edilebilir [3]. Lazer kazıma teknolojisi, lazer enerjisinin belirli bir dalga boyu için şeffaf olmayan bir malzeme üzerindeki çarpma noktasını ısıtan, odaklanmış bir radyasyon ışınının kontrollü olarak üretilmesinden oluşur. Işın profiline, sağlanan enerji miktarına, maruz kalma süresine ve temel malzemeye bağlı olarak, malzemenin yüzeyi farklı oranlarda etkilenir [4].

Ahşap yüzeylerinde lazer modifikasyonu ile renk tasarımı ilgili çalışmalar lazer teknolojinin yayılmasıyla özellikle son on yılda artmıştır. Vektörel olmayan fotoğraf karakterindeki farklı renk tonlarındaki görüntülerin, ahşap yüzeye lazer kazımayla transferi incelenmiştir [4]. Akçaağaç (*Acer pseudoplatanus*, L.) ve kayın (*Fagus orientalis* L.) ahşap yüzeyindeki renk değişimlerinin farklı

(Jcm-2) ışınlama dozlarına göre CIE L*a*b* renk sistemindeki değişimleri incelenmiştir [3]. Kavak ağacının lazerle kazınmasında tarama hızı, tarama gücü ve nozul yüksekliği parametrelerinin CIE L*a*b* renk sistemindeki değişimleri matematiksel modelleme yöntemiyle tepki yüzeyi metoduna (RSM) göre araştırılmıştır [5]. Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.) ve Norveç ladini (*Picea abies* L.) ahşap yüzeylerinin modifikasyonu için farklı Jcm-2 ışınlama dozlarında CO₂ lazerle kazınmış yüzeylerin polivinil asetat (PVAc) ve poliüretan (PUR) polimer tabakasıyla kaplandıktan sonra yapılaşma direncine etkileri incelenmiştir [6]. Kayın, dişbudak, ihlamur ve ladin ağaç türlerinden elde edilen numunelere farklı lazer ışını yoğunluğu ve yüzeydeki lazer noktalarının (points/inch) sayısına bağlı estetik değişiklikleri değerlendirmek için CIE L*a*b* renk ölçümleri yapılmıştır [7]. Ahşabın fotodegradasyonunu incelemek için iki farklı lazerle (KrF- ve XeCl-laser) kazıma yapılarak, ahşap yüzeyindeki değişimlerin DRIFT (Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform) spektroskopisi ve renk ölçümü ile lazer ışınımından sonra ısıtılardan kaynaklanan ahşap rengindeki değişiklikler araştırılmıştır [8]. Titrek kavak, ladin, çam, kırmızı kayın, meşe, kızılcağaç, huş, kontrplak ve MDF yüzeylerine farklı güç ve hız lazer kombinasyonları kullanılarak oluşan renk değişimleri görsel olarak incelenmiştir [9]. Çınar akçaağacı üzerinde farklı oranlardaki CO₂ lazer kazıma hızının etkisinin renk değişiklikleri CIE L*a*b* renk ölçümleri yapılarak incelenmiştir [10]. CO₂ lazer ışını güç çıkışı ve tarama hızının kayın ağacından elde edilen numunelerdeki yüzey pürüzlülüğü ve renk değişimlerine etkisi araştırılmıştır [11]. *Aspergillus niger* ve *Penicillium brevicompactum* küfleriyle modifiye edilmiş kayın ağacı yüzeylerinin farklı (J/8) radyasyon dozu ve güç kullanılarak CO₂ lazer ile modifikasyonunun etkileri CIE L*a*b* sisteminde incelenmiştir [12]. Kayın ağacı üzerinde farklı oranlardaki CO₂ lazer kazıma hızı ve ışınlama dozu (Joule) etkisinin renk değişiklikleri CIE L*a*b* renk ölçümleri yapılarak incelenmiştir [13]. Kayın ağacı yüzeyinin CO₂ lazer kazıma gücüne ve raster yoğunluğuna bağlı olarak renk, pürüzlülük ve dalgalılık parametrelerinin değişimi incelenmiştir [14]. Kireç (*Tilia vulgaris* L.) ağacının farklı oranlarda CO₂ lazer ışını ile ışınlama dozunun neden olduğu renk ve ağaç kimyasal bileşenlerindeki değişiklikler incelenmiştir [15]. CO₂ lazer ışın ışınımının neden olduğu ihlamur (*Tilia vulgaris* L.) ağacının renk ve ana ahşap bileşenlerindeki değişiklikler incelenmiştir [18].

Ahşabın lazer yüzey modifikasyonunun renk değişimlerine etkisi ile ilgili çalışmalar genellikle bir tür ahşap üzerine veya makine işlem parametrelerine yoğunlaşmıştır. Ancak anizotropik yapıdaki biyomalzemelerin yüzeylerinin lazerle işlenmesinde renk ve parlaklık değişimleri sırasında daha kapsayıcı açıklamalar gerekmektedir. Öte yandan lazer modifikasyon sonucu ahşap yüzeylerin parlaklık özelliği, renk kadar yüzey görsellerinde etkili olmasa da tamamen ihmal edilmemelidir. Bu çalışmada mobilya ve ahşap ürün endüstrisinde sıkça kullanılan bazı ahşap türleri üzerinden ahşap-lazer yüzey modifikasyonu sonucu oluşan renk ve parlaklık değişimlerinde genel eğilimler belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

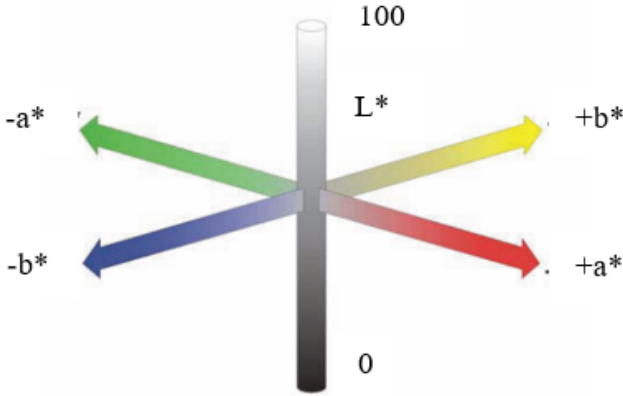
2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada üç farklı ağaç türü kullanılmıştır. Ahşap türlerinin %12 rutubet düzeyindeki hava kurusu halde yoğunlukları kayında 652 kg/m³, cevizde 619 kg/m³ ve kavakta 393 kg/m³ olarak ölçülmüştür. Örnekler, tesadüfî seçilen 1. sınıf ağaç malzemenin, düzgün lifli, budaksız, çatlaksız, renk ve yoğunluk farkı olmayan ve diri odun kısımlarından hazırlanmıştır. 100x100x20 mm ölçülerinde deney örnekleri kesilerek, radyal yüzeylerde liflere paralel yönde zımpara takozu ile 120 kum zımparaya perdah işlemleri yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan 130 watt güç çıkışlı, karbondioksit gazlı, su soğutmalı, 1,5 mm nozul çaplı, 10,6 µm dalga boyunda karbondioksit gazlı tüpü bulunan CNC lazer işleme makinesi kullanılmıştır. Lazer makinesi İstanbul’ da faaliyet gösteren AYKA makine firması tarafından üretilmiş, 60x90 cm çalışma tezgâhı bulunan orta ölçekli bir makinedir. Çalışmada ahşap örneklerine CNC lazer makinesinde, makine işlem fonksiyonlarındaki sınırlılıklar da dikkate alınarak, %10, %40 ve %70 oranında lazer gücü, 200, 350 ve 500 mm/s hızlarında kazıma hızı uygulanmıştır. Nozul yüksekliği 5mm sabit tutulmuştur. Aşağıda Şekil 1a’ da kayın deney örneği, Şekil 1b’ de ceviz deney örneği ve Şekil 1c’ de kavak gösterilmiştir.

2.2. Metot (Method)

Renk ölçümleri için ASTM D 2244’de belirtilen esaslara göre 1976 yılında Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından CIELAB renk aralığı tanımlanmıştır. Bu sistemde renk, x, y ve z ekseninde 3 boyut içinde bir nokta olarak temsil edilmektedir. CIE L*a*b* renk sisteminde, renklerdeki farklılıklar ve bunların yerleri L*, a*, b* renk koordinatlarına göre tespit edilmektedir. Burada, L* siyah-beyaz (siyah için L*=0, beyaz için L*=100) ekseninde, a* kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) ekseninde, b* ise sarı-mavi (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) ekseninde yer almaktadır. Şekil 2’de gösterilen renk alanında L* koordinatı dikey eksen (y), a* koordinatı yatay (x) eksenini ve b* koordinatı da (z) eksenini oluşturmaktadır.



Şekil 2. CIELAB koordinat sisteminde L*, a*, b* eksenlerinin yapısı
(Structure of axes L*, a*, b* in the coordinate system CIELAB) [3].

CIEL*a*b* renk sisteminde, iki renk arasındaki farkı hesaplamak için; $[\Delta E^* = (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ formülü kullanılmaktadır

(Kubovsky and Babiak, 2009). ΔL^* renk farklılıkları aşağıda (3) eşitliğindeki fomülle, Δa^* renk farklılıkları aşağıda (2) eşitliğindeki fomülle, Δb^* renk farklılıkları aşağıda (1) eşitliğindeki fomülle ve ΔE^* toplam renk farkı değerleri renk aşağıda Eş. 1-Eş. 4 eşitliğindeki formülle hesaplanmıştır.

$$\Delta b^* = b_i^* - b_r^* \quad (1)$$

$$\Delta a^* = a_i^* - a_r^* \quad (2)$$

$$\Delta L^* = L_i^* - L_r^* \quad (3)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (4)$$

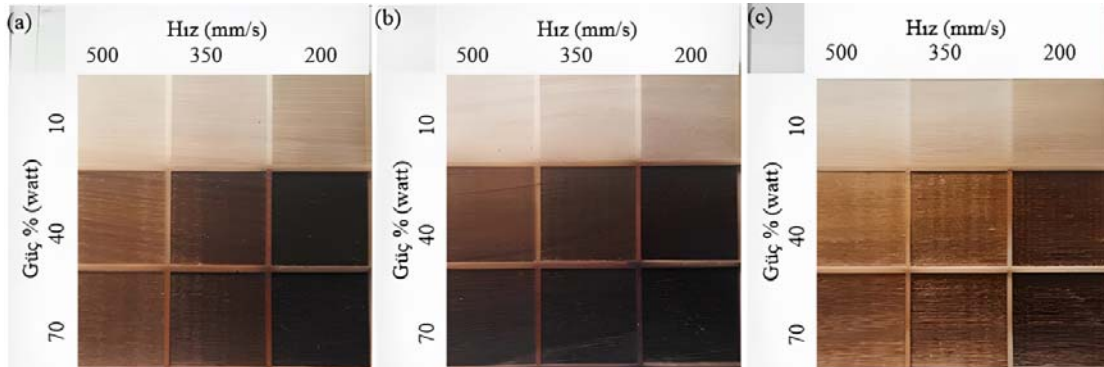
Burada *i* işlem uygulanmış deney ölçüm değerini, *r* işlem uygulanmamış referans değerini, ΔL^* L eksenindeki renk farklılığını, Δa^* a eksenindeki renk farklılığını, Δb^* b eksenindeki renk farklılığını, ΔE^* toplam renk farklılığını göstermektedir. Her bir deney parametresinden 3 adet örnek hazırlanmış ve 3 farklı ölçüm yapılmıştır. CIE L*a*b* renk ölçümleri, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Endüstri Bölümü kâğıt üretim laboratuvarında bulunan Datascolor Elrepho spektrofotometre ile D65 aydınlatma, 10° standart algılayıcı, d/0° geometri ve 5 mm ölçüm alanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Parlaklık ölçme cihazı her işlemde ve işlemlerden önce kalibre edilmiştir. Lazer yüzey modifikasyonunun ahşap yüzeylerindeki renk değişimlerine etkisinin araştırılmasına ilişkin renk farklılığı değerleri, korelasyon analizi uygulanarak değerlendirilmiştir. Ahşap türü, kazıma hızı ve kazıma gücü bağımsız değişkenlerinin ΔL^* , Δb^* , Δa^* renk farklılıkları ve ΔE^* toplam renk farkı bağımlı değişkenleri ile etkileşimlerinin istatistiksel anlamda önemli olup olmadığı ortaya konulmuştur. Etkisi önemli bulunan faktör etkileşimlerine kruskal-Wallis testi uygulanarak homojen gruplar tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, SPSS istatistik programı 22. versiyonu kullanılarak %95 güven düzeyi esas alınarak analiz edilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

3.1. Yüzey renk değişimlerine ait bulgular (findings of surface color changes)

Çalışmada farklı oranlarda lazer gücünde ve kazıma hızında lazer işlemi yapılmış farklı ahşap yüzeylerinin renk değişimine etkisini belirlemek amacıyla ölçümler yapılmıştır. İşlem yapılmamış yüzeylere göre işlem yapılmış yüzey değerlerinin farklarına ilişkin ortalama değerler Tablo 1’de verilmiştir.

Ahşap yüzeylerinde lazer kazıma sonrası işlem yapılmamış değerlere göre siyah-beyaz (ΔL^*) ekseninde siyah yönüne doğru en yüksek renk



Şekil 1. Ahşap türleri (a) kayın, (b) ceviz, (c) kavak lazer kazıma örnekleri
(Wood types (a) beech, (b) walnut, (c) poplar laser engraving examples)

değişimi cevizde, en düşük ise kavakta meydana gelmiştir. Bunun nedeni cevizdeki hücre çeper kalınlığının daha fazla olması ve hücre lümenlerinin daha küçük olmasından kaynaklanabilir. Çünkü sık dokulu hücre yapılarında lazer ışınlama sırasında daha fazla karbonlaşma olacağından renk değişimi siyah yönde daha fazla olacaktır. Cevizde siyah yönünde kayından daha fazla renk değişimi oluşmasının nedeni ceviz odununun lif oranının, kayın odununun lif oranından daha yüksek olmasından kaynaklanabilir. Ceviz odununun lif oranının (%48,7), kayın odununun lif oranından (%37,4) yaklaşık %40 oranında daha yüksek olduğu bildirilmiştir [2]. Ayrıca kalın çeperli ve odun maddesi oranı oldukça yüksek olan lif hücrelerinin (lif traheidleri ve libriform lifleri), huş ve çınar gibi yapraklı ağaçlar içerisinde yüksek oranda bulunduğunu, buna karşılık geniş lümenli trahe hücrelerinin ise oldukça az oranda bulunduğundan dolayı lif/trahe oranı huşa yüksek (%75/10) olduğundan yanma meydana geldiğini, kayında lif/trahe oranı düşük (%37/31) olduğundan aynı parametrelerde yanma oluşmadığı belirtilmiştir [16]. Öte yandan lif/trahe oranı yüksek (%75/6) çınar yapraklı akçaağaçta düşük hızda lazer kazıma işleminde yanma meydana geldiği açıklanmıştır [10]. Bu çalışmadaki cevizin lif/trahe oranı 48.7/21 düzeyindedir. Bu oran kayının lif/trahe oranından (%37/31) yaklaşık %100 daha yüksektir. Bu nedenle lazer kazıma kayına göre cevizde siyah rengin baskın olduğu değerlendirilmektedir.

Tablo 1. Lazerle işlenmemiş ve işlenmiş yüzeylerin renk farklarına ilişkin ortalama değerler (Average values for color differences between non-laser treated and machined surfaces)

Ahşap türleri	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Kayın	-35,91	3,90	2,43	37,57
Ceviz	-43,89	2,64	3,73	45,19
Kavak	-37,47	8,52	7,94	40,35

Ahşap yüzeylerinde lazer kazıma sonrası yeşil-kırmızı (Δa^*) ekseninde referans değerlere göre en yüksek renk değişimi kırmızı yönünde kavakta meydana gelmiştir. Ceviz ve kayında ise kırmızı yönde renk değişimi aymıdır. Referans kırmızılık değeri en düşük olan kavak masifi lazer işleminde kırmızı yönünde ani değişim göstermiştir. Bunun nedeni doğal kavak masifinin kimyasal içeriğindeki fazla miktarda bulunan ekstraktif maddelerin lazer ışınları ile reaksiyonundan kaynaklanabilir. Çünkü kavak masifinin ekstraktif madde miktarının (% 2.5) kayın masifinden (% 1.2) yaklaşık iki kat daha fazla olduğunu ve ekstraktif madde miktarının ahşap renk içeriğinde önemli rol oynadığı belirtilmiştir [2]. Ahşap yüzeylerinin lazer kazıma sonrası mavi-sarı (Δb^*) ekseninde referans değerlere göre en yüksek renk değişimi mavi yönünde kayında, en düşük ise kavakta meydana gelmiştir. Referans sarılık değerleri ile lazer kazıma işlemi sonrası sarılık renk değişimleri arasında ters orantılı bir renk değişim eğilimi oluşmuştur. Bunun nedeni ahşap türlerinin yoğunluklarından kaynaklanabilir. Çünkü yoğunluğu fazla ağaçlarda kalın hücre çeperleri lazer işleminde daha fazla karbonlaşma oluşturacağından renk değişimini sarıdan mavi yönüne doğru artırabilir.

Kayın ahşap yüzeyindeki renk değişimlerinin farklı (Jcm-2) ışınlama dozlarına göre CIE $L^*a^*b^*$ renk sistemindeki referans değerlere göre 58(Jcm-2) ışınlamada en fazla ΔL^* de, en az Δa^* da renk değişimi olduğu belirtilmiştir [3]. Bu çalışmada ise, referans değerlere göre kayında en fazla Δb^* de, en az Δa^* da renk değişimi olmuştur. Literatürdeki çalışmayla Δa^* renk değişiminde paralellik bulunurken, ΔL^* renk değişiminde paralellik bulunamamıştır. Bunun nedeni literatürdeki çalışmada lazer ışınlama dozu parametresine göre ölçüm yapılırken, bu çalışmada güç ve hız lazer işlem parametre çıktılarına göre renk ölçümü yapılmasından kaynaklanmış olabilir. Kavak ağacının lazerle kazınmasında tarama hızı, tarama gücü ve nozul yüksekliği parametrelerinin CIE $L^*a^*b^*$ renk sistemindeki

değişimlerinde ΔL^* değerlerinin negatif olduğunu, tarama hızı ve tarama aralığı arttıkça renk değişimlerinin azaldığını, tarama gücü arttıkça renk değişim miktarının arttığı belirtilmiştir [5]. Literatürdeki sonuçlar bu çalışmadaki tarama hızı ve tarama gücü parametrelerinin kavak ağacı yüzeyindeki renk değişimlerine etkisi bakımından örtüşmektedir.

Ahşap yüzeylerinin renk tasarımlarında en önemli verilerden birisi de toplam renk farkına ait bulgulardır. Çünkü imalatı yapılacak ürünün görsel estetik özelliği bu verilere göre oluşacaktır. Bu çalışmadaki ahşap türlerinin toplam renk değişimleri (ΔE^*) kayında 37.57, cevizde 45.19 ve kavakta ise 40.35 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre kayın ve kavakta yoğunluklarıyla ters orantılı olarak renk değişimi oluşmuştur. Ancak cevizde yoğunluğuna orana daha fazla bir değişim meydana gelmiştir. Bunun nedeni toplam renk değişimine ΔL^* parametresinin Δa^* ve Δb^* parametrelerinden daha fazla etki yapmasından kaynaklanabilir. Çünkü ahşap türlerinin tamamında ΔE^* ve ΔL^* oranlarında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Ahşap yüzeylerin lazerle kazınmasında tüm değişkenlerin birbirleriyle ilişkilerini gösteren korelasyon analizi sonuçları aşağıda Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Renk değişim parametrelerine ait korelasyon analizi sonuçları (Correlation analysis results of color change parameters)

Değişkenler	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	
Ahşap türü	r	0,035	-0,515*	-0,274*	-0,080
	p	0,755	0,000	0,013	0,477
	n	81	81	81	81
Güç (%)	r	-0,803*	-0,046	-0,602*	0,799*
	p	0,000	0,682	0,000	0,000
	n	81	81	81	81
Hız (mm/s)	r	0,395*	0,269*	0,351*	-0,391*
	p	,000	0,015	0,001	0,000
	n	81	81	81	81
ΔL^*	r	1,000	0,288*	0,829*	-0,996*
	p	-	0,009	0,000	0,000
	n	81	81	81	81
Δa^*	r	0,288*	1,000	0,648*	-0,264*
	p	0,009	-	0,000	0,017
	n	81	81	81	81

* $p < 0.05$, $0.71 < r < 0.999$ ise yüksek düzey, $0.300 < r < 0.700$ orta düzey, $0.01 < r < 0.299$ düşük düzey

Korelasyon analizi sonucuna göre ahşap yüzeylerinin lazerle kazınmasında, lazer kazıma gücü ile hem siyah-beyaz ekseninde ΔL^* bulguları arasında yüksek düzeyde ve negatif (siyah) yönde anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Ahşap yüzeylerin lazer kazınmasında lazer gücü arttıkça beyazdan siyaha doğru artış olmuştur. Bu durum lazer gücünün artmasıyla yüzeyde oluşan karbonlaşma ve yanıkların artmasından dolayıdır. Ahşap yüzeylerinin lazerle kazınmasında mavi-sarı eksenindeki Δb^* bulguları arasında yüksek düzeyde ve negatif (mavi) yönde anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Lazer gücünün artması aynı zamanda sarıdan maviye doğru renk değişimini de hızlandırmıştır. Öte yandan ahşap yüzeylerinin lazerle kazınmasında, lazer kazıma gücü ile yeşil-kırmızı eksenindeki Δa^* bulguları arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Kayın ağacı yüzeyine radyasyon dozu artırıldığında daha koyu, daha yeşil ve daha mavi yönde renk değişimi olduğu açıklanmıştır [12]. Literatürdeki lazer dozu parametre etkisi sonuçları ile bu çalışmadaki lazer gücü sonuçları tamamen örtüşmektedir.

Ahşap yüzeylerinin lazerle kazınmasında, lazer kazıma hızı ile hem siyah-beyaz eksenindeki ΔL^* bulguları, hem de mavi-sarı eksenindeki Δb^* bulguları arasında orta düzeyde pozitif yönde ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Ahşap yüzeylerin kazınmasında lazer hızı arttıkça

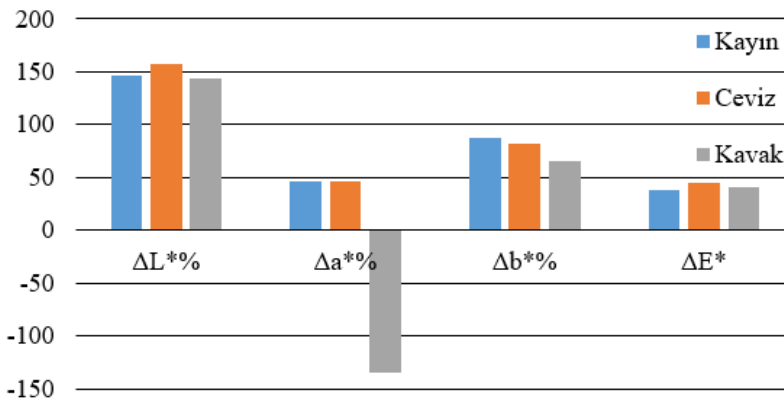
siyahtan beyaza doğru artış olmuştur. Bu durum lazer hızının artmasından dolayı yüzeyde oluşan karbonlaşma ve yanıkların azalmasından kaynaklanmaktadır. Lazer hızının artması aynı zamanda maviden sarıya olan değişimi de hızlandırmıştır. Öte yandan ahşap yüzeylerinin lazerle kazınmasında, lazer kazıma hızı ile yeşil-kırmızı eksenindeki Δa^* bulguları arasında pozitif yönde ve anlamlı düşük düzeyde bir ilişki bulunmuştur. Lazer hızının artması yeşile göre kırmızı rengi daha baskın yapmıştır. Bilindiği üzere lazer işlemlerinde, yüzeye etki bakımından genel olarak lazer işlem hızı ile işlem gücünün etkisi ters yöndedir. Yani güç-hız faktörlerinden birisini artırmak diğerini azaltmak anlamına da gelmektedir. Çünkü birim alana daha az hızda daha çok ışınlama yapılmış olacak ve daha çok güç uygulanmış olacaktır. Bu durumda daha çok yanma (karbonlaşma) meydana gelecektir. Sonuç olarak siyah-beyaz eksenindeki ΔL^* değerlerinde, güç ile siyah renk arasında ve hız ile beyaz renk arasında doğru orantılı bir renk değişimi tüm ağaç türleri için beklenen bir durumdur. Nitekim yukarıdaki bulgularda bu sonuçlar elde edilmiştir. Ancak güç-hız faktörlerinin yeşil-kırmızı eksenindeki Δa^* değerlerinin ve mavi-sarı ekseninde Δb^* değerlerinin etkilerini tahmin etmek zordur. Ayrıca bu eksenlerin ahşap türlerine göre nasıl bir eğilim göstereceğini de öngörmek zordur. Bu çalışmadaki korelasyon analizi sonuçlarına göre güç faktörünün artması veya hız faktörünün azalması durumunda, kırmızıya göre yeşili daha baskın, sarıya göre ise maviyi daha baskın duruma getirmiştir. Ahşap yüzeylerinin lazerle kazınmasında, siyah-beyaz eksenindeki ΔL^* bulguları ile yeşil-kırmızı eksenindeki Δa^* bulguları arasında düşük düzeyde pozitif yönde ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Siyah-beyaz eksenindeki ΔL^* bulguları ile mavi-sarı eksenindeki Δb^* bulguları arasında yüksek düzeyde pozitif yönde ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Yani ahşap yüzeylerin lazerle kazınmasında siyahtan beyaza doğru artan bir renk eğilimi, sarı ve kırmızı etkilerini de birlikte artırmaktadır. Öte yandan mavi ve yeşil renk etkilerini azaltmaktadır. Ahşap yüzeylerinin lazerle kazınmasında, yeşil-kırmızı eksenindeki Δa^* bulguları ile mavi-sarı eksenindeki Δb^* arasında orta düzeyde pozitif yönde ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Yani ahşap yüzeylerin lazerle kazınmasında yeşilden kırmızıya doğru artan bir renk eğilimi, maviden sarıya doğru baskınlığı da birlikte artırmaktadır. Ahşap yüzeylerinin lazerle kazınmasında, en önemli değişkenlerden birisi toplam renk farkıdır. Toplam renk farkı (ΔE^*) ile bu çalışmada kullanılan kayın, ceviz ve kavak ahşap türleri arasında anlamlı bir sonuç elde edilememiştir. Ancak elde edilen sonucun negatif yönlü olması, toplam renk farkına en çok etki zincirinin kayın-ceviz-kavak sıralamasında giderek azalan yönde olduğu belirlenmiştir. Lazer kazıma gücü toplam renk farkını (ΔE^*) pozitif yönde yüksek düzeyde anlamlı olarak etkilemiştir. Bu etkilemenin %64 ($r^2=0,638$) oranında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca lazer kazıma hızı toplam renk farkını (ΔE^*) negatif yönde anlamlı

olarak etkilemiştir. Bu etkilemenin %15 ($r^2=0,152$) oranında olduğu belirlenmiştir. CO₂ lazer ışını güç çıkışı ve tarama hızının kayın ağacından elde edilen deney yüzeylerindeki renk değişimlerine etkisinin de lazer gücünün pozitif yönde ve lazer hızının negatif yönde olduğu belirmişlerdir [11]. Bu açıklama literatürdeki birçok çalışma için ortak sonuçtur.

Ahşap yüzeylerinin lazerle kazınmasında, siyah-beyaz eksenindeki değişimler (ΔL^*) toplam renk farkını (ΔE^*) negatif yönde yüksek düzeyde ve anlamlı olarak etkilemiştir. Bu etkilemenin %99 ($r^2=0,992$) oranında ve bu çalışmadaki toplam renk farkını (ΔE^*) etkileyen en yüksek değişken olduğu belirlenmiştir. Yani toplam renk farkına en büyük etkiyi siyah eksen yönündeki değişimler yapmıştır. Nitekim çınar akçaağacı üzerinde farklı oranlardaki CO₂ lazer kazıma hızının en çok siyah-beyaz (ΔL^*) ekseninde olduğu bildirmiştir [10]. Yeşil-kırmızı (Δa^*) eksenindeki değişimler toplam renk farkını (ΔE^*) negatif yönde düşük düzeyde ve anlamlı olarak %7 ($r^2=0,069$) oranında etkilemiştir. Toplam renk farkını yeşil eksen kırmızı ekseninden daha fazla etkilemiştir. Mavi-sarı (Δb^*) eksenindeki değişimler toplam renk farkını (ΔE^*) negatif yönde yüksek düzeyde ve anlamlı olarak %63 ($r^2=0,628$) oranında etkilemiştir. Toplam renk farkına siyah ekseninden sonra en fazla etkiyi mavi eksen yönündeki değişimler yapmıştır. Ahşap yüzeylerinin lazer işlemi sonrası renk farklılıklarına ait değişim yüzdelik oranları ve toplam renk değişimi grafiği Şekil 3'de gösterilmiştir.

Ahşap yüzeylerin lazer kazınmasında, yukarıdaki korelasyon analizi sonucunda, anlamlı farkların olduğu değişkenlerde, değişkenin farklılık oluşturan ve oluşturmeyen gruplarını belirlemek için Kruskal-Wallis testi yapılmıştır. Ahşap türü, lazer kazıma gücü ve kazıma hızı bağımsız değişkenlerine ait renk değişikliği homojenlik grupları aşağıda Tablo 3'de verilmiştir.

Kruskal-Wallis testi sonucunda grup ortalamaları arasındaki verilere göre, istatistiksel olarak Δa^* ve Δb^* bağımlı değişkenlerinin ahşap türü grupları arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Δa^* değişkeninde kayın ve ceviz aynı homojenlik grubunda yer alırken kavak farklı bir grup oluşturmıştır. Yani yeşil-kırmızı ekseninde kayın ve ceviz aynı grupta yer almıştır. Bunun nedeni yoğunluklarının birbirine yakın olmasından olabilir. Çünkü kalın hücre çeperli ağaç türleri, ince hücre çeperli ağaç türlerinden birçok yönden farklılık gösterebilmektedir. Δb^* değişkeninde tüm ahşap türleri aynı homojenlik grubunda yer almıştır. Yani mavi-sarı renk ekseninde tüm ahşap türleri aynı grupta yer almıştır. ΔL^* , Δb^* ve ΔE^* değişkenlerinin lazer gücü grupları arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. ΔL^* ve ΔE^* değişkeninde % 40 ve % 70 lazer güçleri aynı homojenlik grubunda yer alırken %10 farklı bir grup oluşturmıştır. Bu durum düşük kazıma güçlerinde renk



Şekil 3. Ahşap yüzeylerinin referans renk özellikleri ve lazer işlemi renk farklılıkları (Reference color properties of wood surfaces and laser treatment color differences)

Tablo 3. Ahşap yüzeylerinin lazer kazımında renk değişimlerine ait grup ilişkileri
(Group relationships of color changes in laser engraving of wood surfaces)

Bağımsız değişkenler	Bağımlı Gruplar	ΔL^*		Δa^*			Δb^*			ΔE^*			
		<i>n</i>	<i>m</i>	<i>h</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>h</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>h</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>h</i>
Ahşap türü	Kayın	27	35,91	a	27	3,90	a	27	2,43	a	27	37,57	a
	Ceviz	27	-43,89	b	27	2,64	a	27	-3,73	a	27	40,35	b
	Kavak	27	-37,47	c	27	8,52	b	27	7,94	a	27	45,19	c
Güç (%)	10	27	-15,52	a	27	4,76	a	27	8,65	a	27	18,80	a
	40	27	-47,82	b	27	6,32	b	27	1,88	a	27	49,40	b
	70	27	-53,94	b	27	3,97	c	27	-3,90	a	27	54,92	b
Hız (mm/s)	500	27	-32,92	a	27	6,33	ab	27	6,03	ab	27	35,34	ab
	350	27	-38,30	a	27	5,25	abc	27	2,63	abc	27	40,07	abc
	200	27	-46,06	b	27	3,48	bc	27	-2,03	bc	27	47,07	bc

- Farklılık 0.05 önem derecesine göre. *m* ortalama, *h* homojenlik grubu

değişiminin farklılık oluşturamayacak kadar düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek ısıda renk değişimi daha fazla olmaktadır. Ahşap malzemenin maruz kaldığı ısı işlem oranının artması durumunda renk koyulaşması olacağı bildirilmiştir [17]. Δb^* değişkeninde tüm lazer güçleri aynı homojenlik grubunda yer almıştır. ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔE^* değişkenlerinin lazer hızı grupları arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. ΔL^* değişkeninde 500 mm/s ve 350 mm/s lazer hızları aynı homojenlik grubunda yer alırken 200 mm/s farklı bir grup oluşturmuştur. Δa^* , Δb^* ve ΔE^* değişkenlerinde 350 mm/s ile diğer hız grupları arasında bir farklılık bulunmazken, 200 mm/s ile 500 mm/s hız grupları farklı homojenlik grubu oluşturmuştur. Nitekim çınar yapraklı akçaağaçta yüzeyinde meydana gelen renk farklılıklarının 50 mm/s hızında malzemenin yandığı ve ölçüm yapılamadığı, 75 mm/s'ye kadar hızda, malzemede bozulma meydana geldiği 475 mm/s'den sonra renk açıklığında, birim zamandaki ışınlama yetersizliğinden dolayı aşırı bir artış olduğu rapor edilmiştir [10].

3.2. Yüzey parlaklık değişimlerine ait bulgular (Findings of surface gloss changes)

Ahşap masif malzemelerin işlem görmemiş doğal halde parlaklık değerleri kayında 34,35 cevizde 34,78 ve kavakta 45,05 olarak ölçülmüştür. Ahşap malzemelerin lazerle yüzeylerinin farklı kazıma hızı ve kazıma gücü parametrelerindeki parlaklık oranları da değişmiştir. Ahşap türü, kazıma hızı ve kazıma gücü bağımsız değişkenleri ile parlaklık değeri bağımlı değişkenleri arasındaki korelasyon analizi aşağıda Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Parlaklık değeri korelasyon analizi sonuçları
(Brightness value correlation analysis results)

Değişkenler	Ahşap türü	Güç (%)	Hız (mm/s)
<i>r</i>	-0,070	-0,814	0,237
<i>p</i>	0,459	0,000*	0,034*
<i>n</i>	81	81	81

* $p < 0.05$, $0.71 < r < 0.999$ ise yüksek düzey, $0.300 < r < 0.700$ orta düzey, $0.01 < r < 0.299$ düşük düzey

Korelasyon analizi sonucuna göre, parlaklık değerleri ile lazer kazıma gücü bulguları arasında yüksek düzeyde anlamlı ve olumsuz bir ilişki elde edilmiştir. Lazer kazıma gücü parlaklık değerlerini %66 ($r^2=0,662$) oranında etkilemiştir. Parlaklık değerleri ile lazer kazıma hızı bulguları arasında düşük düzeyde anlamlı ve olumlu bir ilişki elde edilmiştir. Lazer kazıma hızı parlaklık değerlerini %6 ($r^2=0,056$) oranında etkilemiştir. Ahşap yüzeylerin lazer kazımında, yukarıdaki korelasyon analizi sonucunda, değişkenin farklılık oluşturan ve oluşturmayan gruplarını belirlemek için Kruskal-Wallis testi yapılmıştır. Ahşap türü, lazer kazıma gücü ve kazıma hızı bağımsız değişkenlerine ait homojenlik grupları aşağıda Tablo 5'de verilmiştir.

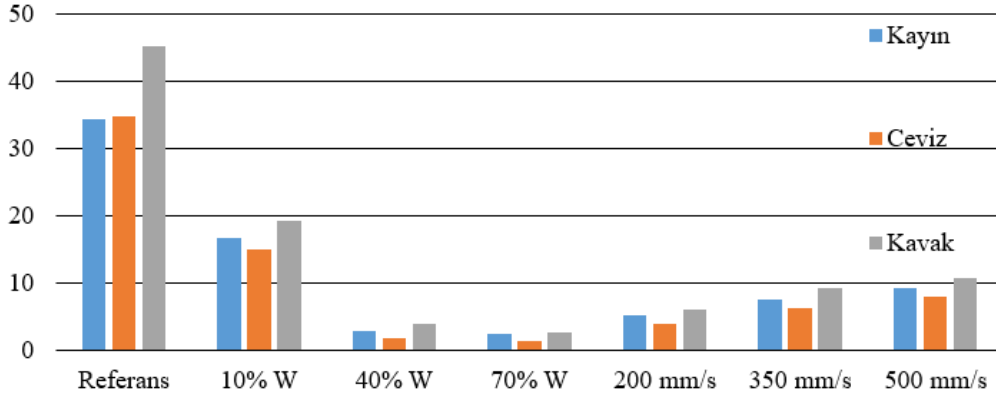
Tablo 5. Ahşap yüzeylerinin lazer kazımında parlaklık farklılıklarına ait grup ilişkileri
(Group relations of gloss differences in laser engraving of wood surfaces)

Bağımsız Değişkenler	Değişken Gruplar	Parlaklık		
		<i>n</i>	<i>m</i>	<i>h</i>
Ahşap türü	Kayın	27	7,28	ac
	Ceviz	27	6,00	b
	Kavak	27	8,56	ac
Güç (%)	10	27	16,92	a
	40	27	2,81	b
	70	27	2,11	b
Hız(mm/s)	500	27	9,26	ab
	350	27	7,63	abc
	200	27	4,95	c

m ortalama, *h* homojenlik grubu

Kruskal-Wallis testi sonucunda grup ortalama farklarındaki verilere göre, istatistiksel olarak parlaklık bağımlı değişkeninin ahşap türü grupları arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Parlaklık değişkeninde kayın ve kavak aynı homojenlik grubunda yer alırken ceviz farklı bir grup oluşturmuştur. Kazıma gücü oranı değişkeninde %40 ve %70 lazer güçleri aynı homojenlik grubunda yer alırken %10 farklı bir grup oluşturmuştur. Artan güç oranları parlaklığı düşürmüştür. Kazıma hızı oranlarında 500 mm/s ve 350 mm/s lazer hızları aynı homojenlik grubunda yer alırken 200 mm/s farklı bir grup oluşturmuştur. Ahşap yüzeylerinin lazer işlemi öncesi doğal (referans) parlaklık düzeyleri ve farklı lazer kazıma gücü ve kazıma hızları sonucu parlaklık değişim grafiği Şekil 4'de gösterilmiştir.

Ahşap yüzeylerinin lazer işlemi öncesi doğal (referans) parlaklık düzeyleri kayında 34,27 cevizde 34,78 ve kavakta 45,05 olarak ölçülmüştür. Ahşap yüzeylerinin lazer işlemi sırasında artan kazıma gücü oranları parlaklığı da düşürmüştür. Artan kazıma hızı oranları ise parlaklık değerini yükseltmiştir. Çünkü güç artımı sonucu renk koyulaşmasına maruz kalan yüzeyler ışığı daha az yansıtılmaktadır. Öte yandan daha güçlü kazımalarda ahşap yüzeylerdeki ilkbahar ve yaz odunu arasında katman farklılıkları artacağından yüzey pürüzlülükleri artmaktadır. Bu durumun parlaklık değerlerinin düşmesine neden olduğu söylenebilir. Bu ilişki kazıma hızı oranını artımında tersine yöndedir. Cevizin lazer modifikasyonunda parlaklığı daha çok zayıflamıştır. Bunun nedeni, lazer işlemlerinde cevizde daha fazla yüzey pürüzlülüğü oluşmasından kaynaklanabilir. Çünkü ceviz masifinin lazer işlemlerinde kavak ve kayından daha fazla yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu belirtilmiştir [16]. Pürüzlü yüzeyler ışığı daha az yansıttığından parlaklığı daha düşüktür [2]. Ayrıca yukarıda Şekil 3'de ΔL^* siyah yönüne renk değişiminin en yüksek cevizde meydana geldiği açıklanmıştır. Bu durumda koyu renkler ışığı daha az yansıtacağından parlaklık değerini düşürmüş olabilir.



Şekil 4. Ahşap yüzeylerinin referans parlaklık özellikleri ve lazer işlemi parlaklık değişimleri
(Reference brightness properties of wood surfaces and laser treatment brightness differences)

4. Simgeler (Symbols)

CNC	: Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (Computer Numerical Control)
ΔE^*	: Toplam renk farkı
ΔL^*	: Beyaz renk farkı
Δa^*	: Kırmızı renk farkı
Δb^*	: Sarı renk farkı
b_i^*	: İşlem görmüş sarı
b_r^*	: Referans sarı
a_i^*	: İşlem görmüş kırmızı
a_r^*	: Referans kırmızı
L_i^*	: İşlem görmüş beyaz
L_r^*	: Referans beyaz
mm	: Milimetre
s	: Saniye
W	: Uluslararası Standart Elektriksel Güç birimi

5. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada bazı ahşap türleri üzerinden farklı güç ve hızlardaki lazer yüzey modifikasyonu sonucu oluşan renk ve parlaklık değişimindeki genel eğilimler belirlenmeye çalışılmıştır. Lazer modifikasyon işlemi doğal ahşap yüzey renklerine göre en çok etkiyi siyah-beyaz (ΔL^*) ekseninde (negatif olarak siyah yönünde) yapmıştır. Ancak bu etki ahşap türlerinin yüzeyindeki doğal beyazlık rengine göre üç ahşap türünde paralel bir eğilimde değildir. Bu yönde en çok renk değişimi ceviz masifinde meydana gelmiştir. Ahşap yüzeylerinde lazer kazıma işlemi sonucunda en çok etkilenme ikinci sırada mavi-sarı ekseninde (Δb^*) gerçekleşmiştir. Tüm ahşap türlerinde lazer işlemi doğal sarılık rengine göre mavi yönüne doğru renk değişimini etkilemiştir. Bu etkileme ahşap türlerinin yüzeyindeki doğal sarılık rengine göre üç ahşap türünde de ters orantılı bir eğilimdedir. Bu yönde en çok renk değişimi en fazla kayın masifinde, en düşük kavak masifinde meydana gelmiştir. Lazer modifikasyon işlemi yeşil-kırmızı (Δa^*) ekseninde, doğal yüzey kırmızı renklerine göre kayın ve ceviz ahşap türleri için yeşil yönünde renk değişimi gerçekleştirirken, kavak için kırmızı yönünde gerçekleştirmiştir. Lazer işlemlerindeki toplam renk farkı bakımından en çok ceviz ahşap türü etkilenirken, en az kayın ahşap türü etkilenmiştir. Bu çalışmadaki toplam renk farkını lazer kazıma gücü değişkeni pozitif yönde, lazer kazıma hızı ise negatif yönde etkilemiştir. Ayrıca renk değişimlerine lazer lazıma gücünün lazer kazıma hızından etki kuvveti daha büyüktür.

Lazer modifikasyonu tüm ahşap türlerinin işlem görmemiş doğal parlaklık değerini düşürmüştür. Bu işlem ahşap türlerine göre en çok ceviz ahşap türünün parlaklığını zayıflatmıştır. Lazer kazıma gücü oranının artması tüm ahşap türlerinde parlaklığı düşürmüş ve lazer kazıma hızı oranının artması parlaklığı artırmıştır.

Kaynaklar (References)

1. Açık C., Tutuş A., Investigation of CNC laser processing performance of some wood species used in industrial product manufacturing, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 38 (1), 461-470, 2023.
2. Bozkurt Y., Erdin N., Ağaç teknolojisi, İstanbul üniversitesi Orman Fakültesi Ders kitabı, Yayın No:445 İstanbul, 372s, 2011.
3. Kubovsky I., Babiak M., color changes induced by CO₂ laser irradiation of wood surface, Wood Research 54 (3), 61-66, 2009.
4. Jurek M., Wagnerova R., Laser beam calibration for wood surface colour treatment, European Journal of Wood and Wood Products 79, 1097-1107, 2021.
5. Li R., Xu W., Wang X., Wang C., Modeling and predicting of the color changes of wood surface during CO₂ laser modification. Journal of Cleaner Production 183, 818-823, 2018.
6. Reinprecht L., Vidholdova Z., The Impact of a CO₂ Laser on the adhesion and mold resistance of a synthetic polymer layer on a wood surface, Forests, 12, 242,2-16, 2021.
7. Petutschnigg A., Stöckler M., Steinwendner F., Schnepf J., Gütl H., Blinzer J., Holzer H., Schnabel T., Laser treatment of wood surfaces for ski cores: an experimental parameter study, Advances in Materials Science and Engineering, Article ID 123085, 7 pages, 2013.
8. Mitsui K., Tolvaj L., Papp G., Bohus, J., Szatmari S., Berkesi O., Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment, Application of laser, Wood Research. 50, 1-8, 2005.
9. Teivonen A., Laser surgery system, Lahti University of Applied Sciences Degree Program in Materials Engineering pp. 23-35, 2016.
10. Petru A., Lunguleasa A., Colour influence of the laser raster speed on wood pyrography. Pro Ligno 13 (4), 508-515, 2017.
11. Gurau L., Petru A., Varodi A., Timar M.C., The influence of CO₂ laser beam power output and scanning speed on surface roughness and colour changes of beech (*Fagus sylvatica*). BioResources 12 (4), 7395-7412, 2017.
12. Vidholdova Z., Reinprecht L., Igar R., The Impact of laser surface modification of beech wood on its color and occurrence of molds. BioResources 12 (2), 4177-4186, 2017.
13. Katik F., Kubovsky I., Chemical changes of beech wood due to CO₂ laser irradiation. Journal of photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 222, 105-110, 2011.
14. Kudela J., Kubovsky I., Andrejko M., Surface properties of beech wood after CO₂ laser engraving. Coating, 10 (1), 77, 2020.

15. Kubovsky I., Kacık F., Colour and chemical changes of the lime wood surface due to CO₂ laser thermal modification. *Applied Surface Science*, 321, 261–267, 2014.
16. Açık, C., Endüstriyel ahşap ürün tasarımında CNC lazerle üretim parametrelerinin araştırılması ve uygulanması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora tezi, Kahramanmaraş, 2022.
17. Atılğan A., Peker H., Atar M., Application of environmentally friendly organic upper surface process material on wood and its effect on some surface properties. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37 (1), 107-120, 2022.
18. Kubovsky I., Kacık F., Colour and chemical changes of the lime wood surface due to CO₂ laser thermal modification. *Applied Surface Science*, 321, 261–267, 2014.

