



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 06.05.2023  
Kabul Tarihi : 17.08.2023

Received Date : 06.05.2023  
Accepted Date : 17.08.2023

### GELENEKSEL AHŞAP PİROGRAFI TEKNİĞİNİN MOBİLYA YÜZEYLERİNDE LAZER TEKNOLOJİSİ İLE İNOVASYONU

#### INNOVATION OF TRADITIONAL WOOD PYROGRAPHY WITH LASER TECHNOLOGY ON FURNITURE SURFACES

Cebrail AÇIK<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-1094-6946)

<sup>1</sup> Onikişubat İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü, Kahramanmaraş, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Cebrail AÇIK, cebrail46@hotmail.com

#### ÖZET

Bu çalışmada geleneksel bir ahşap yüzey süsleme yöntemi olan pirografi tekniğinin CNC lazer teknolojisi ile uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç için kavak ağacında elde edilen deney örnekleri üzerine geleneksel ahşap yakma makinesi ve CNC lazer makinesi ile 5 farklı oranda yakma gücü uygulanarak farklı tonlarda renkler elde edilmiştir. Elde edilen renk tonlarının beyazlık değerleri esas alınarak, her iki yöntem için sayısal modelleme yapılmıştır. Modelleme formülleri ve görsel değerlendirmeler yardımıyla iki ayrı yöntemle, aynı renkte ahşap ürün imal edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak geleneksel ahşap yüzey süsleme sanatı pirografi tekniğinin, CNC lazer teknolojisi ile uygulanabilirliği, karşılaştırılması, avantajları ve sınırlılıkları açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Pirografi, lazer, ahşap yakma

#### ABSTRACT

In this study, the applicability of the pyrography technique, which is a traditional wood surface decoration art, with CNC laser technology was investigated. For this purpose, different color tones were obtained by applying burning power at 5 different rates with conventional wood burning machine and CNC laser machine on experimental samples obtained from poplar wood. Numerical modeling was performed for both methods based on the whiteness values of the obtained color tones. Two different methods were used to produce wooden products of the same color with the help of modeling formulas and visual evaluations. As a result, the applicability, comparison, advantages and limitations of the traditional wood surface decoration art pyrography technique with CNC laser technology were tried to be explained.

**Keywords:** Pyrography, laser, wood burning

## GİRİŞ

Pirografi, yakarak ahşap yüzeyine yazı yazma ve şekil yapma sanatıdır. Pirografi terimi, Yunanca *pur* (ateş) ve *graphos* (yazı) kelimelerinden oluşmuş olup "ateşle yazmak" anlamına gelir. Bu sanatla meşgul olanlara da pirograf denir. Pirografi çalışmasında, genellikle kavak ağacından ince tablalar ya da tahta gibi benzer materyaller üzerine, özel aletler, ateş süngüsü ve hatta güneş ışığını belli bir noktada toplayan mercekler kullanılır. Önce bir gölgeleme yapılır, ardından da çalışma yapılacak konu-resim belirlenir. Gerisi havya ve sanatçının el becerisine kalmıştır. Pyrogravür şeklinde de isimlendirilen sanat, Türkiye’de yeteri kadar bilinmemektedir. Kendi gayretleriyle ahşap yakma sanatına can vermeye çalışan sayılı insan bulunmaktadır. Selçuklu’ da kullanılan pirografi sanatı, Osmanlı’da haberleşme aracı hâline gelmiştir. XIX. Yüzyılda Amerikalılar bu zanaatı sanata çevirmiştir. Batıda ders olarak okutulan ahşap yakma sanatı, Türkiye’de eğitimini vermek bir yana zanaatkarlar tarafından bile yeterince bilinmiyor (Kalaycı, 2014). Günümüze ulaşan en eski pirografi eserleri Peru ve Roma Britanya’sındandır. Bu eserler MS Birinci Yüzyıldan çok öncesine dayanmaktadır. Bu eserler, ahşap yüzeylere çeşitli kalınlık ve uç boyutlarında, ateşle ısıtılan metal çubuklar kullanılarak oluşturulmuştur. Orta Çağ’a gelindiğinde, sıcak kömürlere farklı şekilli uçları olan sivri uçlu küçük maşaların yerleştirilmesine izin veren, kapaklarında delikler olan küçük portatif odun sobaları yapılmıştır. Çalışmaya devam etmek için her zaman sıcak bir maşaya sahip olmak amacıyla birkaç maşa gerekmiştir. Bu odun yakma yöntemine "pokerwork" adı verilmiştir. 1900’lerde pirografi sanatının oluşmasını kolaylaştıran mekanik bir alet icat edildi. Aletin iğne kısmı platinden yapılmıştır ve bir iğne tutucuya vidalanarak bir grafik kalem oluşturulmuştur. Bir tüp benzinle doldurulmuştur. Tüp, benzin dumanlarını şişeden grafik kalemine zorlamak için elle veya ayakla sıkılabilen lastik bir top üzerinde devam etmiştir. Dumanlar iğne ucunda tutuşmuş ve bu iğneyi ısıtmaya devam etmiştir. Sonraki yıllarda ahşabı yakan kalem elektrikli hale geldiğinde pirografi işlemi çok daha verimli ve basit hale gelmiştir. Sanatçı artık odun yakma yerine, çalışmak için sıcaklık kontrollü bir alete sahip olmuştur. Bugün temelde aynı tür aracı kullanıyoruz. Pirografi zanaatı, Amerika Birleşik Devletleri’nde 1880’lerden 1920’lere kadar bir popülerite artışı yaşamıştır.

Pirografi için kullanılan malzemeler organikdir. Bunlar, deri, kemik, mantar, tahta gibi malzemelerdir. Deri üzerine pirografi, deri eşya endüstrisinde kullanıldığı gibi, hayvancılık endüstrisinde hayvanların işaretlenmesi için de kullanılmaktadır. Kemik üzerine pirografi kuyumculuk sektöründe kullanılmaktadır. Bu tip pirografi günümüzde giderek daha az kullanılmaktadır. Çünkü takı tasarımındaki trend mümkün olduğunca ışıltıya sahip olmaktadır. Pirografi, nesnelere ayrıcalık katan bir sanattır. Mantar üzerindeki pirografi, alkollü içecek endüstrisinde, özellikle şarap şişelerinin tıplarını işaretlemek için kullanılır. Bu yöntemi kullanmanın ana avantajı, ıslak koşullarda işaretlemenin silinmemesidir (Petru ve Lunguleasa, 2014).

Ahşap elde edilmesi zor ve pahalı olmasına rağmen, ahşap ürünlere olan talep artmaktadır. Ahşap eserlerin estetik değerini artırmak için lazer teknolojisi kullanılmaktadır. Pirografi için çizim hazırlığı, sanatçılar için zorlu bir iştir. Genellikle lazer teknolojisinde dönüştürülmemiş siyah bir görüntü ve doğal ahşap rengi olmak üzere yalnızca iki renk içerir. Dönüştürülen bir görüntü kullanıldığında, doğal ahşap ve siyah arasında yaklaşık 10 nüans içerebilir. Çünkü model, yalnızca iki renk ve bunların ton değerleri ile sade bir görüntü aracılığıyla sanatsal bir duyguyu temsil etmelidir. Klasik pirografi durumunda, gölgeler cihaz ucunun ısı sıcaklığı değiştirilerek yapılır. Malzemenin değişen ısı sıcaklığı çeşitli şekillerde yapılır. Alet ucu sıcaklığının değiştirilmesi, çalışma hızının değiştirilmesi veya diğer çalışma parametrelerinin değiştirilmesi ile değişik renk tonları elde edilir. Bazen bu parametrelerin yönetimi zordur. Ahşap anatomik olarak karmaşık bir malzeme olduğu için aynı çalışma parametreleri ile aynı rengi elde etmek zordur. Bunun için farklı çalışma parametrelerinde elde edilen renk şablonları kullanılmaktadır. Ahşap heterojen bir malzeme olduğundan, her bir eser için bu şablonların kullanılması tavsiye edilmektedir (Petru, 2015). Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, fotogerçekçi olmayan işleme (NPR), son yıllarda bilgisayar grafikleri araştırmalarında sıcak noktalardan biri haline gelmiştir. Bu alana giderek daha fazla önem verilmiştir. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında NPR, sanatçının çizim stiline yeniden üretilmesini vurgular. Pirografinin kendine has özellikleri vardır. Taşıyıcı yüzeyinde 3D kabartma efektleri oluşturulabilir. Renk koyu, açık kahverengi ve hatta siyahtır. Oyma işi zaman alıcıdır, tamamen elle yapılır ve karmaşık bir tasarımın her çizgisi ayrı ayrı çizilir. Pirografinin özelliklerine dayanarak, bilgisayarla çoğaltarak farklı pirografiler denenebilir. Bilgisayar destekli Pirografiler, dekoratif grafik tasarım, e-kart, reklam ve oyun, animasyon ve diğer alanlarda yaygın olarak kullanılabilir (Wang vd., 2010). Lazer yakma teknolojisi, enerjisi belirli bir dalga boyu için şeffaf olmayan bir malzeme üzerindeki çarpma noktasını ısıtan odaklanmış bir ışık ışınının kontrollü olarak üretilmesinden oluşur. Lazer yakma, malzemenin üst yüzeyden minimum derinliğe kadar çıkarılmasıdır. Lazer markalamadan farklı olan lazer yakma, bir nesneyi yakmak için lazer kullanma yöntemidir. Öte yandan lazer markalama, yüzeyi parçalamadan sadece yüzeyin rengini değiştirir. Ahşap Lazer işaretleyici/oyma makinesi,

adından da anlaşılacağı gibi, ahşap bir parça üzerine desenler veya kaligrafi yazıları yakmak için kullanılır. Makinenin prensibi, bir lazer modülü kullanarak malzemeyi aşındırmaktır. Lazerin geldiği yüzey parçalanarak bilgisayara girilen desenin kazınması sağlanır. Lazer yakma makinesi, çeşitli bilişim tabanlı donanım ve yazılım bileşenlerinden oluşur. Lazer yakma makinesinin çalışma modeli, minimum eğitimle ticari olarak kullanılabilir. Bu makine lazer markalamanın yanı sıra lazer gravür için de kullanılabilir (Sawant vd., 2022).

Literatürde, pirografi üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Lazer yakma sistemleri için ulaşılabilir renk tonlarının sayısını artıran gerekli veriler ve yöntemler incelenmiştir. Lazer yakma ve lazer karbonizasyon arasında uygun şekilde geçiş yaparak, bir ahşap yüzeyde daha fazla renk tonunu üretilebilirliği açıklanmıştır (Jurek ve Wagnerova, 2021). Pirografiye uygun malzemeler, pirografi aparatı ve çalışma kafaları olmak üzere üç kısımda olmak üzere ahşap pirografi imkânları araştırılmıştır. Ayrıca yakma yöntemlerinin ve ağaç işleme araçlarının bir sentezi yapılmış, her bir malzeme, araç ve kafa işi için avantajları ve dezavantajları sunulmuştur (Petru ve Lunguleasa, 2014). Lazer makinesi için hazırlanan orijinal görüntüye en yakın renk nüanslarına sahip görüntü dönüştürme yöntemi bulunmaya çalışılmış ve çok sayıda renk nüansına sahip yanmış bir görüntü elde etme yöntemleri önerilmiştir. Araştırılan parametre, farklı görüntü dönüştürme yöntemleri kullanılarak lazer teknolojisiyle renk üretimi yapılmış ve görüntü reproduksiyonundaki değişiklikler hem genel olarak hem de her bir renk için analiz edilmiştir (Petru, 2015). Pencere camından süzülen doğrudan güneş radyasyonuna maruz kalma sırasında pirografi sanatının uzun ömürlülüğü için herhangi bir fayda sağlayıp sağlamadıklarını görmek için iki basit yüzey kaplamasının uygulanması araştırılmıştır (Millis, 2017). Pirografi için sayısal görüntüye dayalı simülasyon denemeleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, renk aktarım algoritmasının yüksek hassasiyet, güçlü evrensellik ve daha hızlı hesaplama hızı gibi bazı avantajlara sahip olduğunu göstermektedir. İlk adım görüntüler arasındaki renk transferi, ikinci adım ise görüntü birleştirme ile pirografi tarzı tablolar çoğaltılmaya çalışılmıştır (Wang vd., 2010). Doğal ışığa maruz kaldığında üç farklı ahşap türüne uygulanan pirografi sanatının renk değişimi incelenmiştir. Numuneler, açıktan karanlığa farklı tonlar üretmek için bir sıcaklık aralığında kontrollü bir şekilde yakılmıştır. Farklı türler ve farklı sıcaklıklara maruz ahşaplar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Pirografinin, karamelleşme ve Maillard reaksiyonlarında birleşen, ağaç bileşenlerinin ısıl bozunması yoluyla oluşan, göç eden ekstraktif maddeler ile renkli reaksiyon ürünleri arasında geliştirilen birkaç işlemin sonucu olduğu açıklanmıştır. Farklı ağaç türüne odaklanan çalışmada, doğal ışığa maruz kalma sırasındaki pirografi örneklerini inceleyerek fotokimyasal sorunları pratik açıdan belirlenmiştir (Millis, 2013).

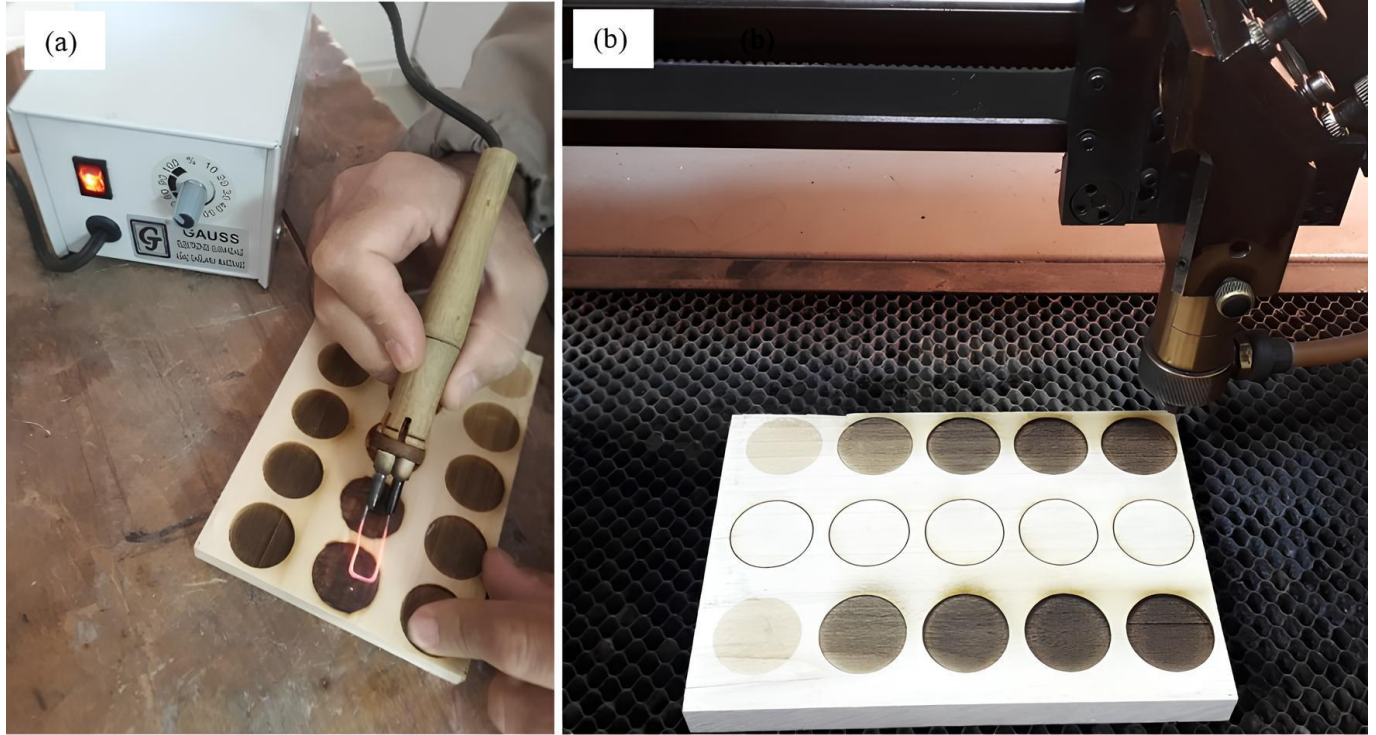
Ahşap yüzeylerinin işlenmesi ve süslenmesi eski çağlardan beri çeşitli mekanik tekniklerle yapılmıştır. Ancak son yıllarda lazer ve CNC teknolojinin gelişmesi ile bu teknikler yerini bilgisayar destekli sistemlere bırakmışlardır. Bu tekniklerden birisi de ahşap yüzeylerinin lazer ışınlarıyla yakılarak renklendirilmesidir. CNC Lazerle masif ahşap, kontrplak, lif levha yüzeylerine oyma işlemi yapılabilir. Lazer oyma işlemi, prensip olarak lazer kesmenin bir kesimdeki çentik genişliğinin aralıksız olarak devam ettirilmesidir. Yani mekanik kesimdeki CNC takım bıçağının oyma genişliğinde işlemin aralıksız devam ettirilerek talaş malzemenin kaldırılması gibidir. Ancak lazer oyma işlemi, oyma derinliği az ve sadece dikey doğrultudaki oymalar için verimlidir. CO<sub>2</sub> lazerler hemen hemen her organik malzemeyi kalıcı olarak markalamak için kullanılabilir. 10.6 µm'lik kızılötesi dalga boyu, ahşap yüzeyini yakar ve genellikle koyu bir kontrast oluşturur, boyalı yüzeyleri ve fotografik emülsiyonları markalar, etkili bir şekilde rengini değiştirebilir. Ahşap malzemelerin lazer ile markalanması, ilgili malzemenin yüzeyden uzaklaştırılması, koyu bir lazer markalamanın oluşan oyuk ve oluşturduğu gölge ile elde edilmesidir. Bu durumda malzemenin kendisi hafif bir karbonizasyona uğramaktadır (Açık, 2022).

Lazerle ahşap yüzey işlemede en önemli konulardan birisi, lazer ışınlarına karşı ahşap yüzeylerinin tepkime metodolojisini açıklayabilmektir. Ahşap yüzeyler üzerine lazer yakma genellikle mobilya veya ahşap ürünün ticari ve estetik değerini arttırmak amacıyla yapılmaktadır. Türkiye’de bu sanatların günden güne yok olmaması için çeşitli kurslar açılarak gençlere bu sanatın öğretilmesi ve sürdürülebilmesinin önemli olduğu, ayrıca ormanlık alanın bol olduğu bölgelerde bu sanatın öğretilerek insanlara bir geçim kaynağı olması ve bölgedeki işsizliği önlemesine katkı sağlayacağı, üretilen ürünlere hediyelik ve turistik eşya özellikleri katılarak turizme ve ülke ekonomisine katkı sağlayacağı vurgulanmıştır (Yanar vd., 2011). Ahşabın yapısı diğer mühendislik malzemelerine göre daha kompleks bir karaktere sahiptir. İstenilen pirografik görüntüyü elde etmek için çeşitli akademik çalışmaların yapılması kaçınılmazdır. Bu konuda yukarıdaki literatür incelemelerinde de görüldüğü gibi ulusal düzeyde bir akademik çalışmaya rastlanılamamıştır. Bu çalışmada geleneksel pirografi tekniği ile CNC lazer tekniğinin avantajları, dezavantajları ve birbirine dönüştürülebilirliği belirlenmeye çalışılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada %12 rutubet düzeyindeki hava kurusu halde yoğunluğu  $398 \text{ kg/m}^3$  olan kavak ağacı kullanılmıştır. Örnekler, tesadüfî seçilen 1. sınıf ağaç malzemenen, düzgün lifli, budaksız, çatlaksız, renk ve yoğunluk farkı olmayan ve diri odun kısımlarından hazırlanmıştır.  $20 \times 75 \times 150 \text{ mm}$  ölçülerinde deney örnekleri kesilerek, 120 kum zımpara ile perdah işlemleri yapılmıştır. Çalışmada lazerle pirografi için AYKA marka, 130 watt güç çıkışlı, karbondioksit gazlı, su soğutmalı, 1,5 mm nozul çaplı,  $10,6 \mu\text{m}$  dalga boyunda karbondioksit gazlı tüpü bulunan CNC lazer işleme makinesi kullanılmıştır. Ahşap örneklerine CNC lazer makinesinde, makine işlem fonksiyonlarındaki sınırlılıklar da dikkate alınarak, %10, %25, %40, %55 ve %70 oranında lazer gücü ve 300 mm/s sabit yakma hızı uygulanmıştır. Nozul yüksekliği 5 mm sabit tutulmuştur. Burada cihaz yakma hızı kapasitesi en yüksek 500 mm/s olduğundan optimum çalışma koşullarına göre sabit tutulmuştur. Ayrıca cihazda kullanılan odaklama merceğinin (2 inç) optimum verimli olabileceği mesafede nozul yüksekliği sabit tutulmuştur.

Geleneksel pirografi için GAUSS marka 50 watt gücünde sıcaklığı ayarlanabilen ahşap yakma (transformatör) makinesi kullanılmıştır. Çalışmada ahşap örneklerine yakma makinesinde, makine işlem fonksiyonlarındaki sınırlılıklar da dikkate alınarak, %70, %75, %80, %85 ve %90 oranında elektrik gücü uygulanmıştır. Her iki yöntem arasında yapılan karşılaştırmanın güvenli olabilmesi için, iki yöntemde de liflere paralel yönde işlemler yapılmıştır. Geleneksel pirografide yakma hızı el yordamıyla olarak sabit tutulmaya çalışılmıştır. Aşağıda Şekil 1.a' da geleneksel pirografi deney örneği hazırlanma aşaması, Şekil 1.b' de lazer pirografi deney örneği hazırlanma aşaması görülmektedir.



Şekil 1. (a) Geleneksel Pirografi Deney Örneği, (b) Lazer Pirografi Deney Örneği

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. Ahşap yüzeyindeki yanmalar sonucu oluşan renk farklılıklarında çok hassas olmayan çalışmalarda literatürde genellikle  $L^*$  değerleri esas alındığından, bu çalışmada  $L^*$  değerleri üzerinden hesaplamalar yapılmıştır (Millis, 2014). Deneyde kullanılan renk ölçüm cihazı, bir ışık kaynağı ve paralel veya birbirine yaklaşan ışık demetini deney alanına yönelten mercekle sistem, fotosel ve yansıyan ışık konisini alan alıcıdan meydana gelmiştir. Geleneksel yakma ve lazer işleme üst yüzey işlemleri ahşap yüzeylerindeki renk değişimlerine etkisinin araştırılmasına ilişkin renk farklılığı değerleri, regresyon analizi uygulanarak her parametrede 5 adet örnek kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, SPSS istatistik

programı 22. versiyonu kullanılarak %95 güven düzeyi esas alınarak matematiksel modelleme oluşturulmuştur. Yakma gücü bağımsız değişkenleri ile renk farklılığı bağımlı değişkeninin birbiriyle etkileşimi analiz edilmiştir. Matematiksel modelleme aşağıda (1)'deki regresyon denklemine göre hesaplanmıştır.

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X \quad (1)$$

Burada;

$\hat{Y}$ :Bağımlı değişken (Renk değeri),

$\beta_0$ :Sabit beta değeri,

$\beta_1$ :Bağımsız değişken (yakma gücü) beta değeridir.

CNC lazer makinesi CAD (Computer Aided Design) programı ve CAD'de yapılmış çizimleri makine kodlarına dönüştüren CAM (Computer Aided Manufacturing) programlarının yüklü olduğu bir bilgisayar donanımı ile çalışır. Bu çalışmada Manuel ve CNC lazerle ahşap yüzey süsleme işleminin regresyon modelleme yöntemiyle karşılaştırılabilirliğini belirlemek amacıyla bir vaka çalışması yapılmıştır. Ahşap kutu yüzeylerini oluşturan süsleme motifi yapılacak yakma yolları bir CAD programında çizilmiştir. Motif CNC lazer makinesinin yazılımındaki CAM programına vektörel olarak taşınmıştır. Motif tasarımı, kutuya göre ölçülendirilmiş üretim parametre değerleri belirlenerek üretim tasarımı tamamlanmıştır. Deneyde kullanılan kavak masifinden üretilen ahşap kutuya geleneksel ve CNC lazer işlemlerinin, tasarım ve üretim süreci işlem basamakları bulgular kısmında açıklanmıştır.

## BULGULAR

Çalışmada 50 watt gücünde geleneksel (Manuel) ahşap yakma makinesinde %70, %75, %80, %85 ve %90 elektrik gücünde kavak ahşap yüzeylerine yakma işlemleri yapılmıştır. Ayrıca çıkış gücü 130 watt'lık lazerle %10, %25,%40, %55 ve %70 oranında lazer gücünde 300 mm/s sabit yakma hızında lazer işlemi yapılmıştır. İşlem yapılmamış ve işlem yapılmış yüzey renk farklarına ilişkin ölçümler yapılmıştır. Ortalama değerler Tablo 1'de verilmiştir.

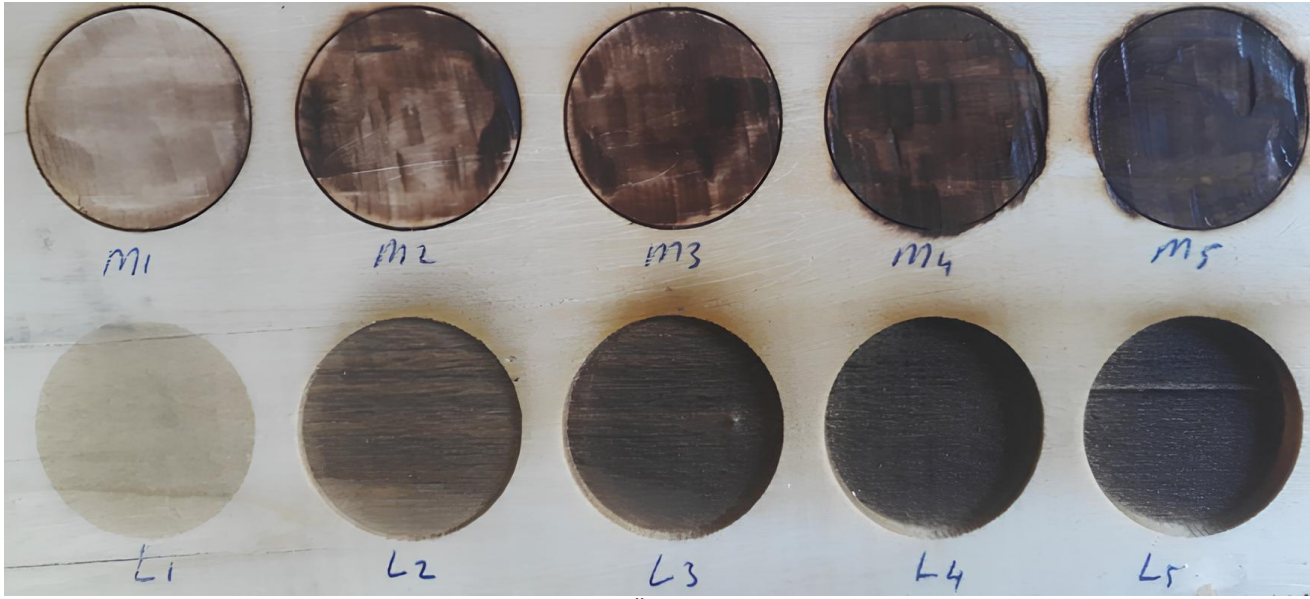
**Tablo 1.** İşlenmemiş ve İşlenmiş Yüzeylerin Renk Farklarına İlişkin Ortalama L\* Değerleri

Geleneksel pirografi			Lazer pirografi		
Güç (%)	Etki gücü (watt)	L*	Güç (%)	Etki gücü (watt)	L*
0	0	77,01	0	0	77,01
70	35	72,20	10	13	68,44
75	37,5	50,29	25	32,5	47,50
80	40	43,12	40	52	37,50
85	42,5	40,56	55	71,5	34,59
90	45	35,00	70	91	33,43

Hem geleneksel pirografide hem de lazer pirografide yakma gücünün artması yakma yüzeylerindeki L\* (beyazlık) değerlerini düşürmüştür. Bunu nedeni güç artımı sonucu yakma yüzeylerindeki karbonlaşmanın fazla olmasıdır. 5 farklı orandaki yakma sonucu geleneksel ve lazerle pirografi görüntüsü aşağıda Şekil 2'de görülmektedir. Şekil görsel olarak değerlendirildiğinde lazer pirografinin geleneksel pirografiye göre daha homojen ve mat bir görüntüye sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak geleneksel pirografideki heterojen yakma yüzeyinin el işçiliğindeki hassasiyete göre değişebileceği değerlendirilmektedir. Lazer pirografide az da olsa yakma yüzeylerindeki heterojen bir görüntü oluşmasının nedeninin ahşabın anatomik yapısındaki ilkbahar ve yaz odunu farklılıklarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Bu neden, geleneksel pirografi için de geçerlidir. Yani ısıyla temas eden ahşap yaz odunu hücreleri ilkbahar odunu hücrelerine göre daha sık dokulu olduğundan daha fazla yanma ve karbonlaşma meydana gelmektedir. Başka çalışmalarda da karbonlaşmanın lignin yoğunluğu fazla olan bölgelerde daha fazla olduğu açıklanmıştır (Millis, 2013). Bunun sonucu yüzeyde renk koyulaşması olarak ortaya çıkmaktadır. Öte yandan lazer pirografide yakma gücü arttıkça yakma yüzeyinin yakma yapılmamış yüzeye göre 2 mm 'ye kadar derinlik oluşturduğu saptanmıştır. Bu durum bazı pirografi çalışmalarında dezavantaj olabilir.

Kavak masif malzemelerin işlem görmemiş doğal halde beyazlık değerleri 77,01 olarak ölçülmüştür. Ahşap malzemelerin Manuel ve lazerle farklı yakma gücü parametrelerindeki renk koyuluk oranları da değişmiştir. Yakma

gücü bağımsız değişkenleri ile beyazlık ( $L^*$ ) değeri bağımlı değişkenleri arasındaki ilişkileri açıklayan regresyon analizi aşağıda Tablo 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Geleneksel Pirografi (Üst Sıra), Lazer Pirografi (Alt Sıra)

Tablo 2. Regresyon Analiz Sonuçları

Değişkenler	Beta( $\beta$ )	Kısmi Korelasyon( $pr$ )	Önem düzeyi
Manuel Kontrol sabiti	182,829	-	0,000
Manuel yakma Gücü	-1,682	-0,918	0,000
Lazer Kontrol sabiti	66,124	-	0,000
Lazer yakma gücü	-0,543	-0,894	0,000

Yukarıda Tablo 2’deki analiz sonuçlarına göre, Manuel yakma gücü, yakma yüzeyindeki siyah-beyaz eksenindeki beyazlık ( $L^*$ ) rengini olumsuz ve anlamlı olarak %84 etki büyüklüğünde ( $pr^2 = 0.842$ ) etkilemiştir. Lazer yakma gücü ise yakma yüzeyindeki beyazlık rengini olumsuz ve anlamlı olarak %80 etki büyüklüğünde ( $pr^2 = 0.0.799$ ) etkilemiştir. Yapılan araştırmalarda pirografi için ahşap yakma makinesinin (transformatör) lazerden daha fazla enerji tükettiği belirtilmiştir (Petru ve Lunguleasa, 2014).Yapılan regresyon analiz modelinin, %95 düzeyinde güvenilir olduğu ( $p < 0.05$ ) belirlenmiştir. Beyazlık renk değişimi Manuel pirografide %83 ( $R^2 = 0.723$ ) oranında, lazer pirografide ise %78 ( $R^2 = 0.784$ ) yakma gücü değişkenleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Kavak masifinin matematiksel modelleme sonuçlarına göre Manuel ve lazer pirografi renk karşılaştırmalarını yapabilmek ve beyazlık rengini tahmin etmek için, yukarıdaki Tablo 2’deki veriler kullanılarak aşağıdaki regresyon denklemi oluşturulmuştur. Pirografi için renk dönüşümlerinde teorik modelleme yöntemlerinin güvenilir yöntemlerden olduğu açıklanmıştır (Petru, 2015).

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1$$

$$L^* = 182,829 + (\text{Manuel yakma gücü} * -1,682)$$

$$L^* = 66,124 + (\text{lazer yakma gücü} * -0,543)$$

CNC (Bilgisayarlı sayısal kontrol) lazer makinesi, CAD (Computer Aided Design) programı ve CAD’de yapılmış çizimleri makine kodlarına dönüştüren CAM (Computer Aided Manufacturing) programlarının yüklü olduğu bir bilgisayar donanımı ile çalışır. Bu çalışmada Manuel ve CNC lazerle ahşap yüzey süsleme işleminin regresyon modelleme yöntemiyle karşılaştırılabilirliğini belirlemek amacıyla bir vaka çalışması yapılmıştır. Deneyde kullanılan kavak masifinden üretilen ahşap kutuya Manuel ve CNC lazer işlemlerinin, tasarım ve üretim süreci işlem basamakları aşağıda açıklanmıştır.

Ahşap kutu yüzeylerini oluşturan süsleme motifi yapılacak yakma yolları bir CAD programında çizilmiştir. Motif CNC lazer makinesinin yazılımındaki CAM programına vektörel olarak taşınmıştır. Motif tasarımı, kutuya göre ölçülendirilmiş üretim parametre değerleri belirlenerek üretim tasarımı tamamlanmıştır. Motif tasarımında yukarıdaki regresyon analizinde beyaz renk ( $L^*$ ) değerleri üzerinden hesaplama yapılmıştır. Kutu yüzeyindeki

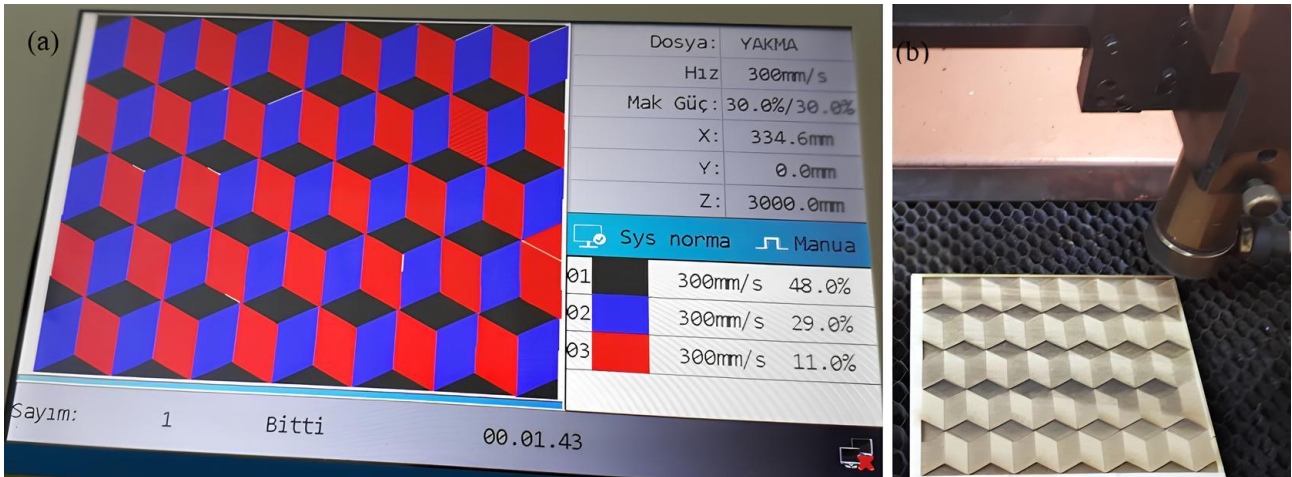
motif için birbirine kontras oluşturacak üç kademeli renk elde edilmesi hedeflenmiştir. Kavak masifinin işlem görmemiş doğal halde siyah beyaz eksenindeki beyaz değeri ( $L^*$ ) 77,01 olarak ölçülmüştür. Bu değer siyah yönündeki değişimi Tablo 1’de de görüldüğü gibi, deney çalışma sınırları içerisinde en düşük beyazlık değeri (33,43) %70 lazer yakma gücü parametresinde sağlanmıştır. En yüksek beyazlık değeri (72,20) ise Manuel %70 yakma gücü parametresinde elde edilmiştir. Hedeflenen üç beyazlık renk değeri, deney bulgularındaki maksimum ve minimum değerler arasındaki dağılıma göre 40, 50 ve 60 olarak belirlenmiştir. Lazer yakma hızı deney şartlarındaki gibi 300 mm/s ‘de sabit tutulmuştur. Kutu yüzeyine uygulanacak 3 farklı Manuel ve 3 farklı lazer güç parametresi yukarıdaki bulgulardan elde edilen Beyazlık ( $L^*$ ) yakma tonu regresyon formülünden aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Manuel değerler için;

$$L^*_1 / L^*_2 / L^*_3 = 182,829 + (\text{Manuel yakma gücü} * -1,682)$$
$$40/50/60 = 182,829 + (\text{Manuel yakma gücü} * -1,682)$$
$$(\text{Manuel yakma gücü} * -1,682) = 182,829 - (40/50/60)$$
$$(\text{Manuel yakma gücü}) = (142,829/132,829 / 122,829) / 1,682$$
$$L^*_1 / L^*_2 / L^*_3 = 84,9/78,9/ 73,02 \text{ olarak belirlenmiştir.}$$

Lazer değerler için;

$$L^*_1 / L^*_2 / L^*_3 = 66,124 + (\text{lazer yakma gücü} * -0,543)$$
$$40/50/60 = 66,124 + (\text{lazer yakma gücü} * -0,543)$$
$$(\text{lazer yakma gücü} * -0,543) = 66,124 - (40/50/60)$$
$$(\text{lazer yakma gücü}) = (26,124/16,124 / 6,124) / 0,543$$
$$L^*_1 / L^*_2 / L^*_3 = 48,1/29,3/11,2 \text{ olarak belirlenmiştir.}$$

300 mm/s yakma hızında beyazlık değeri 30,40 ve 50 öngörülen yakma işlemlerini yapabilmek için gerekli Manuel yakma güç oranları % 84,9, %78,9 ve %73 olarak belirlenmiştir. Lazer yakma güç oranları ise % 48,1, %29 ve %11,2 olarak belirlenmiştir. Elde edilen parametrelerle tasarlanan CAM tasarımı tamamlanarak üretim aşamasına geçilmiştir. Şekil 3.a’da lazer pirografi CAM programındaki üretime hazır hali ve Şekil 3.b’de işlenmiş yüzey gösterilmiştir.

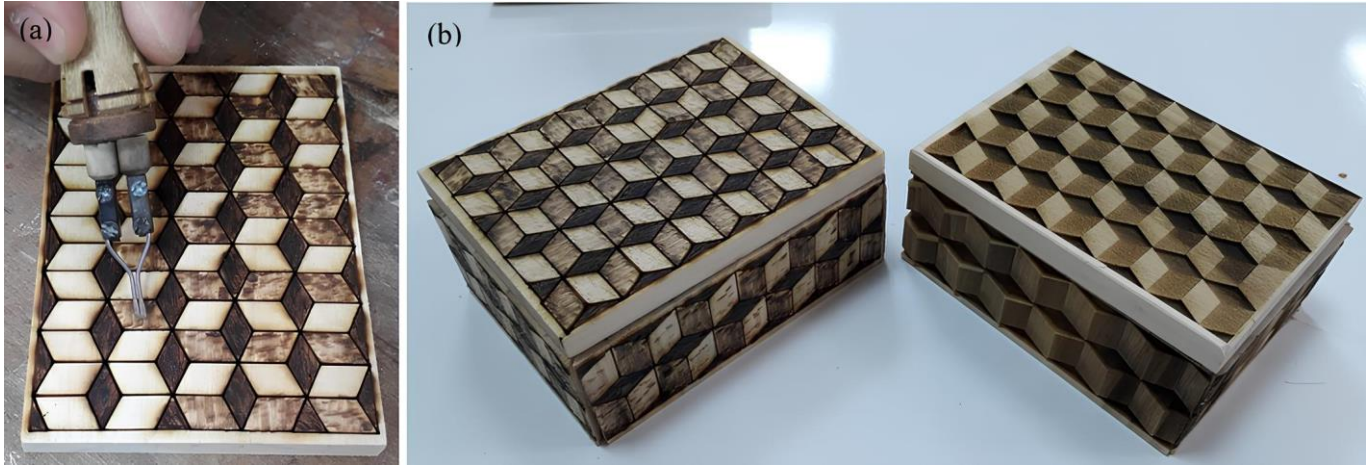


Şekil 3. (a) CNC Lazerle Ürün İmalat Tasarımı, (b) CAM Üretim Sonuçları

Aşağıda Şekil 4.a’da geleneksel pirografinin beyazlık değerlerini ( $L^*_1 / L^*_2 / L^*_3$ ) elde etmek için belirlenen % 84,9, %78,9 ve %73 watt güç oranlarında ahşap yakma makinesinde işlenen motifin yakma aşaması verilmiştir. Şekil 4.b’de üretimi tamamlanmış geleneksel ve lazer ahşap kutunun perspektifi gösterilmiştir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada geleneksel bir ahşap yüzey süsleme sanatı olan pirografi tekniğinin CNC lazer teknolojisi ile uygulanabilirliği, karşılaştırılması, avantajları ve sınırlılıkları açıklanmaya çalışılmıştır. Geleneksel pirografi tekniğinin, lazer pirografiyeye göre hazırlık aşaması tekil üretimler için daha avantajlı olabilmektedir. Çünkü geleneksel pirografide işlenecek motif, ahşap üzerine amatör yetenekle manuel markalama yöntemi ile yapılmaktadır. Lazer pirografide ise işlenecek objenin önce CAM sistemine vektörel bir karakter olarak aktarılması gerekmektedir.



Şekil 4. (a) Geleneksel Pirografi İşleme Aşaması, (b) Mamül Geleneksel ve Lazer Pirografi Ahşap Kutular

Bu durum hem kalifiye yeterlilik gerektirmekte hem de manuel markalamaya göre fazla zaman almaktadır. Ancak seri üretimlerde Bilgisayar destekli tasarımlar zaman açısından büyük bir avantajdır. Geleneksel pirografi aynı obje içerisinde farklı renk tonlarında daha bağımsız çalışmaya izin verirken, lazer pirografide her objenin içerisi sabit bir tonla renklendirilebilmektedir. Bu durum lazer pirografide geometrik motiflerde avantaj olabilirken, bitki, insan figürü vb. uygulamalarda dezavantaj oluşturabilmektedir. Lazerle pirografide motif tasarımı ve üretim parametre süreci iyi yönetilemez ise, daha koyu renkler elde edilmek istenirken yakma gücü artımından kaynaklanan oyma derinliğinden dolayı yüzeylerde katman farklılıkları dezavantaj olabilir. Ancak iyi bir tasarımda bu katman farkları yüzeye efekt bir görüntüyle daha zengin bir estetik katabilir. Genel olarak geleneksel pirografide daha heterojen ve karbonlaşmış yüzeyler, lazer pirografide ise daha homojen ve doğal ahşap rengine meyilli yüzeyler elde edilmektedir. Öte yandan hem geleneksel pirografide, hem de lazer pirografide matematiksel modelleme yönteminin uygulanabilir olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu iki yöntemin sayısal modellemeyle yaklaşık %4 ( $pr^2$  farkı) oranında bir sapmayla birbirine dönüştürülebilir olduğu sonucuna varılmıştır. İleriki çalışmalarda bu çalışmadaki bulgular referans alınarak, lazer pirografi tekniğinin geleneksel pirografiye göre ahşap türü veya lazer tipine göre uygulanabilirliği, maliyet, zaman vb. verimlilik yönünden karşılaştırılmaları araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Açık, C. (2022). Endüstriyel ahşap ürün tasarımında CNC lazerle üretim parametrelerinin araştırılması ve uygulanması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora tezi. 250s. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tarama.jsp>
- Jurek, M., & Wagnerova, R., (2022) Laser beam calibration for wood surface colour treatment. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79, 1097–1107. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01704-3>
- Kalaycı, Ü. (2014). Ahşap yakma (pirografi) sanatı ve bir usta. *Bizim Ahıska Dergisi*. 34, 19 [http://ahıska.org.tr/wp\\_pdf/sayi34/34\\_10.pdf](http://ahıska.org.tr/wp_pdf/sayi34/34_10.pdf)
- Millis, S., (2013). Understanding pyrography, the photochemistry of “scorched” decoration. *Proligno*, 9, 684-694.
- Millis, S., (2017). In search of a suitable coating for pyrography. *Proligno*, 13, 404-413.
- Petru, A. (2015). Image Conversion for laser pyrography. *Proligno*, 11. 646-653.
- Petru, A., & Unguleasa, A. (2014). The pyrography, from solar radiation to laser radiation. *Advances in Production, Automation and Transportation Systems*. 206-209.
- Sawant, A., Lonkar, S., & Srivastava, H. (2022). Wood laser marker/engraver. *International Journal of Scientific Research*. Volume - 11 | p.75-76. DOI: 10.36106/ijsr
- Wang, D., Jiang, J., & Zhou, S., (2010). Image Based simulation for pyrography style painting. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*. 4:1, 106-111.
- Yanar, A., Kayabaşı, N. & Er, B. (2011). Ordu ilinde üretilen ahşap ürünler ve motif özellikleri. *Art-e Sanat Dergisi*, 4 (8), DOI:10.21602/sgsfds.64349