



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Markalama ve kesme işlemleri için karbondioksit (CO₂) lazer makinesi tasarımı, üretimi ve test çalışmaları

Carbon dioxide (CO₂) laser machine design, production and test studies for marking and cutting processes

Yazar(lar) (Author(s)): Alper KÖLE¹, Yusuf AYAN², Nizamettin KAHRAMAN³

ORCID¹: 0000-0003-0646-5573

ORCID²: 0000-0002-0045-3777

ORCID³: 0000-0002-7152-3795

To cite to this article: Köle A., Ayan Y. ve Kahraman N., “Markalama ve Kesme İşlemleri İçin Karbondioksit (CO₂) Lazer Makinesi Tasarımı, Üretimi ve Test Çalışmaları”, *Journal of Polytechnic*, 27(2): 759-768, (2024).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Köle A., Ayan Y. ve Kahraman N., “Markalama ve Kesme İşlemleri İçin Karbondioksit (CO₂) Lazer Makinesi Tasarımı, Üretimi ve Test Çalışmaları”, *Politeknik Dergisi*, 27(2): 759-768, (2024).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1128630

Markalama ve Kesme İşlemleri İçin Karbondioksit (CO₂) Lazer Makinesi Tasarımı, Üretimi ve Test Çalışmaları

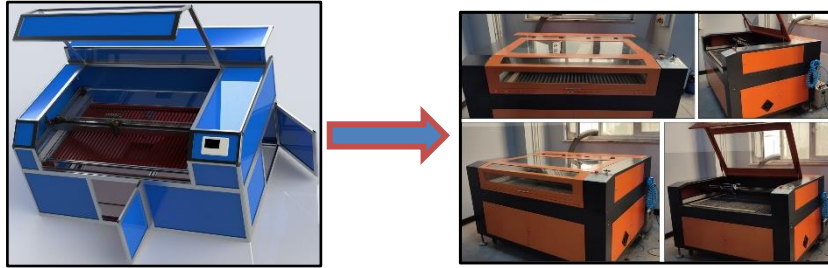
Carbon Dioxide (CO₂) Laser Machine Design, Production and Test Studies for Marking and Cutting Processes

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Lazer makinesinin 3B tasarımı, parça ve bileşenlerinin belirlenmesi
- ❖ Tasarımı yapılan makine ekipmanlarının kurulumu ve montajı
- ❖ Farklı tür malzemeler üzerinde deneme ve test çalışmaları

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Lazer makinesinin tasarımı ve üretimi yapılmış, farklı malzemeler üzerinde performansı araştırılmıştır. (The laser machine was designed and produced, and its performance was investigated on different materials)



Şekil. Tasarlanan ve üretilen makine /Figure. The machine designed and produced

Amaç (Aim)

Gelişmiş özelliklere sahip rezonatör donanımlı, lazer makinesini tasarlamak ve üretmek. (To design and manufacture a laser machine equipped with a resonator with advanced features)

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

3B tasarım, malzeme seçimi ve ekipmanlarının kurulumu ve imalat işlemleri. (3D design, material selection and equipment installation and manufacturing processes)

Özgünlük (Originality)

Yerli olarak geliştirilen rezonatörün lazer makine üzerine entegre edilmesi, yerli lazer işleme makinenin üretilmesi. (Integrating the domestically developed resonator on the laser machine, producing the domestic laser processing machine)

Bulgular (Findings)

Kauçuk, ahşap ve polimer malzemeler üretilen makineyle işlenebilmiştir. (Rubber, wood and polymer materials could be processed via the produced machine)

Sonuç (Conclusion)

Üretilen makine orta ölçekli mühendislik işlerinde kullanılabilir. (The produced machine can be used in medium scale engineering works)

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Markalama ve Kesme İşlemleri İçin Karbondioksit (CO₂) Lazer Makinesi Tasarımı, Üretimi ve Test Çalışmaları

Araştırma Makalesi / Research Article

Alper KÖLE¹, Yusuf AYAN^{2*}, Nizamettin KAHRAMAN¹

¹Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 09.06.2022 ; Kabul/Accepted : 09.12.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 30.01.2023)

ÖZ

Lazerler gelişiminden bu yana günlük hayatımızı kolaylaştırarak günümüz teknolojisindeki ilerlemede büyük bir etkiye sahip olmuştur. İmalat sanayi lazer teknolojisinden en büyük payı almış ve birçok imalat uygulamasında tercih edilen bir teknoloji haline gelmiştir. Lazerle neredeyse bütün malzeme türüne işlem yapılabilen ve lazer teknolojisi endüstride markalama, kazıma ve kesme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma markalama, kazıma ve kesme uygulamaları için düşük bütçeli bir CO₂ lazer makinesinin tasarlanmasını ve üretilmesini ele almıştır. Makinenin rezonatör, optik hareket, kesim kafası ve kontrol sistemleri dahil olmak üzere tüm ana bileşenleri, ilgili okuyucuların benzer bir sistemi uygulaması için etraflıca açıklanmıştır. Makinede bulunan rezonatör, ticari olarak mevcut benzer sistemlere kıyasla ekonomik ve uzun servis ömrüne büyük bir fayda sağlayan tekrarlı gaz dolumuna izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Üretilen makine, ilk malzeme listesinden ve ilgili üretim sürecinden kauçuk, ahşap ve plastik malzemeler için yukarıda bahsedilen son uygulama örneklerine kadar açıklanmıştır. Lazer makine sistemi şu anda Karabük Üniversitesi imalat mühendisliği bölümünde kuruludur ve lisans eğitimi ve öğretimi için kullanılmaktadır. Ayrıca makine reklam, hobi, orman ürünleri, tekstil, deri ve küçük ölçekli mühendislik işlerinde orta ölçekli işletmelerin kullanımı için yeterli kapasiteye sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Lazer, düşük bütçeli lazer makinesi, kesme, markalama, CO₂ lazer.

Carbon Dioxide (CO₂) Laser Machine Design, Production and Test Studies for Marking and Cutting Processes

ABSTRACT

Since its early development, lasers had big impact in today's technology advancement by facilitating our daily life. The manufacturing industry has taken the largest share of laser technology, and it has become a preferred technology in many manufacturing applications. Almost all material types can be processed with the laser and laser technology is widely used in industry for marking, engraving, and cutting processes. This article discusses designing and manufacturing of a low-budget CO₂ laser machine, for marking, engraving, and cutting applications. All major components of the machine including resonator, optical train, cutting head and control systems have been discussed in detail for interested readers to implement a similar system. The resonator on the machine was designed and manufactured to allow repeated gas filling which is a major benefit for economical and extended service life as compared to similar commercially available systems. The machine has been described from initial material list and manufacturing process involved, all the way to the final aforementioned application examples for rubber, wood, and plastic materials. The laser machine system is currently installed in Karabuk University's manufacturing engineering department and used for undergraduate teaching and learning. Furthermore, it is sufficient capacity for use in medium-sized operations in advertising, hobby, forest products, textile, leather, and small-scale engineering works.

Keywords: Laser, low-cost laser machine, cutting, marking, CO₂ laser.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Lazer teknolojisi günümüzde otomotiv, gemicilik, havacılık, askeri ekipmanlar, enerji endüstrisi ve tıp gibi birçok alanda kullanılmaktadır [1]. Bunlara ek olarak yarı iletken üretimi, elektronik, iletişim gibi uygulamalarda da yer edinmiştir [2]. Hobi amaçlı ahşap işleme,

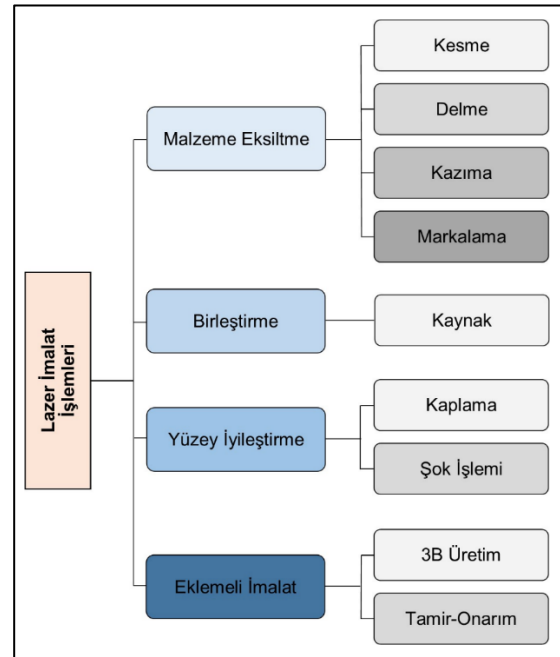
reklamcılık, eğlence gösterileri gibi alanlara da dahil olmuştur. Sanayide ölçme cihazlarında kullanımıyla çoğu durumda alternatifi olmayan bir teknoloji durumuna gelmiştir. Özellikle yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda kullanımı önem kazanmıştır. Görüleceği gibi lazer teknolojisi küçükten büyüğe birçok farklı amaç için günlük yaşamda yer edinmiştir. Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle beraber lazerin sanayide kullanımına bir yönelim olmuştur [3]. Geleneksel yöntemlere göre kullanımı bir alternatif veya zorunluluk

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : yusufayan@karabuk.edu.tr

teşkil eden lazer teknolojisi, birçok imalat işlemlerinde yer almıştır. Şekil 1’de lazerle yapılan imalat işlemleri gösterilmektedir. Lazer yöntemiyle, kesim işlemi kolay olmayan gevrek ve yumuşak malzeme türleri temas gerçekleşmeden, hızlı ve hassasiyeti yüksek bir şekilde işlenebilmektedir [4]. Metal, seramik ve kompozitler bunlardan bazılarıdır [5]. Günümüzde ekipman maliyetlerinin düşmesi ve özellikle CO₂ lazer teknolojisinin gelişmesiyle kağıt malzemelerinin lazerle işlenmesi de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [6]. Buna ek olarak kumaş, cam, deri, ahşap, mermer, köpük, kauçuk gibi malzemeler lazerle işlenebilmektedir [7]. Yakın zamanda beton malzemenin lazerle kesilebilme durumu da bir araştırma konusu olmuştur [8]. Bir başka örnek işlem olarak lazer delme ile bir parça üzerinde saniyede 450 adet delik açılabilirdiği söylenebilmektedir [9]. Lazer ışınının imalat sanayinde bir diğer önemli kullanımı birleştirme üzerinedir. Metal [10] ve plastikler [11], lazer ışın kaynağı ile birleştirilebilmektedir. Lazer kaynağının, geleneksel ark kaynak işlemlerine göre önemli üstünlükleri bulunmaktadır [12]. Lazerin temas olmadan uygulanması, gerekli şartlar sağlandığı takdirde ulaşılması zor kısımların kaynak işleminde fayda sağlayabilmektedir. Malzeme yüzey özelliklerini iyileştirmek için lazer yöntemleri kullanılabilir. Lazer ile yüzeylere temizleme [13] ve kaplama [14] işlemleri uygulanabilmektedir. Bununla beraber lazer parametrelerinin ayarlanması ile metalik yüzeylerin sertliği şok bilyalama ile artırılabilir. Örneğin lazer şok işlemi ile malzemenin yorulma, aşınma direnci ve gerilmeli yorulma direnci gibi mekanik özellikleri iyileştirilebilir [15]. Lazer ışını kullanılarak yapılan en önemli imalat işlemlerinde birisi de eklemeli imalat (Eİ). Günümüzde toz esasına dayanan lazer ile 3B üretim en yaygın kullanılan Eİ yöntemi olmuştur [16]. Bu yöntem geleneksel yöntemlerle üretimi zor olan yapıların üretimine olanak sağlamıştır. Örneğin 3B lazer Eİ yöntemiyle biyoyumlu gözenekli metal yapı üretilebilmiştir [17]. Lazer Eİ metoduna dayanan lazer onarım teknolojisi, zamandan ve ekonomik maliyetten tasarruf sağlamak için hasarlı bileşenlerin onarımında kullanılmaktadır [18].

Literatür çalışmaları kapsamında lazerle yapılan imalat işlemlerine yönelik çalışmalar incelenmiştir. Özellikle lazer kazıma ve kesme işlemleri üzerine yapılanlara yoğunlaşmıştır. Yin vd. [19], çok eksenli lazer kazıma makinelerinin, karmaşık yüzey içeren parçaların hassas işlenmesinde yaygın olarak kullanıldığını belirterek araştırmalarında çok eksenli lazer kazıma makine aparatları için parametre ölçümü ve kinematik analiz üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Wang vd. [20], STM32 kontrolcüsüne dayalı çalışan bir mikro lazer kazıma makinesi tasarımı ve uygulaması üzerine çalışma yürütmüşlerdir. Zhang vd. [21], çalışmalarında kablosuz lazer kazıma makinesinin tasarımını gerçekleştirmişlerdir. León vd. [22], CNC lazer ile köpük malzeme kesimi yapabilen bir tasarım uygulamışlardır. Lazer gücünün uygulanması ve kesme hızının değiştirilmesine dayanan bu tasarımla, kalitenin

arttırılabileceği, üretim maliyetlerinin azaltılabileceği ve parça imalatının hızlı ve doğru bir şekilde yapılabileceği belirtilmiştir. Genyu vd. [23], çalışmalarında lazer kullanarak dönen taşlama diskine teğetsel olarak V şeklinde kanal açma üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kotadiya vd. [24], lazer gücü, kesme hızı ve gaz basıncı gibi lazer kesim parametrelerini, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve üst çentik genişliğini göz önüne alarak optimize etmişlerdir. Rajaram vd. [25], CO₂ lazer ile kesilen 4130 çeliğinin kalitesini incelemeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Lazer gücü ve ilerleme hızının kerf genişliği, yüzey pürüzlülüğü kesim çizgisi sıklığı ve ısıdan etkilenen bölgenin (ITAB) boyutu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Choudhury ve Chuan [26] çalışmalarında, cam elyaf destekli plastik kompozitlerin geleneksel yöntemler işlenmesinin zor olduğundan bahsetmiş ve bu malzemenin lazer ile kesilmesine yönelik deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sun vd. [27], önceden işlenmiş trapez yivli HSLA-100 çelik alt tabakalar, üzerinde HSLA-100 ve nikel baz alaşımı (GH3536) tozlarını kullanarak lazer üretim metoduyla tamir işlemi uygulamışlardır. Tamir edilen yarıklarda iyi bir metalürjik birleştirme sağlayarak lazer ışını kullanılan imalat metotları ile geleneksel imalat yöntemlerini karşılaştırdıklarında lazer ışının kullanıldığı yöntemler diğer metotlara göre avantajlı olduğunu çalışmalarında vurgulamışlardır. Açık ve Tutuş [28] farklı ahşap ürünlerinin lazer ile kesilmesindeki performanslarını incelemeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yazılar kesme performansını ahşap malzemelerin yoğunluğu, anatomik yapısı ve kesim yönü farkının etkilediğini ve performansla ilişkili en büyük etkenin daha çok malzeme yoğunluğuyla ilgili olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 1. Lazerle yapılan imalat işlemleri (Laser manufacturing processes)

Lazer ışınının elde edilmesinden somut olarak kullanımı için birtakım bileşen veya ekipmanlar gereklidir. Bunların bir arada toplanmasıyla oluşturulan makineler geleneksel olanlardan farklı olarak karmaşık yapıda olup özel yetkinliklere sahip olması gerekebilmektedir. Örneğin bu makinelerde optik parçaların kullanımı zorunlu olmakta ve bunların üretimi yüksek teknolojiyle gerçekleşmektedir. Ayrıca makine bileşenleri genel olarak yüksek maliyetli parçalardır. Bunlardan dolayı lazer teknolojisinin kullanımını sağlayabilecek olan makine ve ekipmanlarının tasarımı ve üretimi de önemli bir konuyu oluşturmaktadır. Bu durumda işleve yönelik lazer kullanan makinelerin ekonomik olarak temin edilebilmesinin faydası büyük olacaktır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde genel olarak lazer ışını kullanımıyla farklı türden birçok malzeme işlenmiş ve genellikle işlem parametrelerinin ürünler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak ticari olarak temin edilebilen lazer işleme makineleri kullanılmıştır. Bu çalışmada yerli imkanlarla kesim, kazıma ve işaretleme işlemleri yapabilen yerli bir lazer işleme makinesi tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu makine düşük maliyetle üretilmesiyle birlikte tekrarlı gaz dolmu (şarj) ünitesi CO₂ rezonatöre sahip olmuştur. Bu şekilde kullanım ömrü dolan rezonatörün hurdaya çıkması önlenecek ve tekrar kullanılabilir olacaktır. Rezonatör gücü yaklaşık olarak 150 W değerindedir. Üretilen lazer kesim makinesi pleksi, mika, polyester, fiber, kompozit malzeme ve ahşap gibi birçok malzeme türünü kalınlıklarına göre işleyebileceği kabiliyetine sahip olmuştur. Bu şekilde imalat sanayiinde zengin kullanım alanı bulacağı düşünülmüştür. Ayrıca, çalışmalar sonucunda üretilen tezgah Karabük Üniversitesi bünyesine kazandırılmış, böylelikle eğitim-öğretim işlerinde ve araştırma çalışmalarında kullanılabilirliği sağlanmıştır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde benzer özelliklerde lazer işleme makinesinin tasarımı ve üretimi üzerine gerçekleştirilen bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Lazer teknolojisinin kullanıldığı bu çalışma hem benzer amaçlarla yapılacak olan makine üretimine referans olabilecek, hem de farklı amaçlar için lazer işleme makinesinin geliştirilmesi üzerine yapılacak olan diğer çalışmalara bir rehber olacaktır.

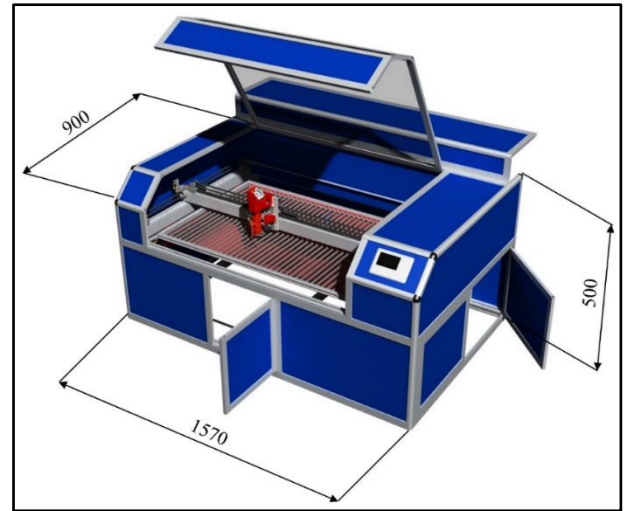
2. LAZER MAKİNESİ TASARIMI VE ÜRETİMİ (DESIGN AND PRODUCTION OF LASER MACHINE)

2.1. Makine Tasarımı (Machine Design)

Lazer işleme makinesinin üretilmesinden önce detaylı bir şekilde tasarımı yapılmış her bir parçası 3B olarak çizilmiştir. Başlangıçta makine genel boyutları ve dış görünümü için piyasada bulunan tezgahlar incelenmiş ve fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Buradan edinilen bilgiler ve yeni fikirlerle tasarımın nasıl olması gerektiği genel çerçevede belirlenmiştir. Tasarımda, makine bileşenlerinin boyutlarına göre montaj konumları belirlenmiş ve yerleştirme işlemleri için prosedür oluşturulmuştur. Bununla beraber civatalı birleştirmeler

için delik yerleri ve kaynaklı birleştirmelerin yapılacağı kısımlar tespit edilmiştir. Bunları gerçekleştirebilmek için genel olarak makine parçalarının katalog verilerinden faydalanılmıştır. Yeterli bilgi olmayan durumlarda ise önemli parçalar temin edilmiş, üzerinden ölçümler alınıp boyutları tespit edilerek buna göre tasarım değiştirilmiştir. Hareketli olan parçaların sorunsuz bir şekilde işlem yapılabilmesi için tasarım üzerinde gerekli mesafe düzenlemeleri yapılmış, buna göre bileşen boyutları düzenlenmiştir. Elektrik tesisatın geçeceği ve titreşim için izolasyon uygulanması gereken alanlar belirlenmiştir. Tasarım son haline gelinceye kadar tekrarlı olarak yenilenmiş ve son boyutlarını alması sağlanmıştır.

Makine genel boyutları ve bileşenlerinin montaj konumları belirlendikten sonra makinede kullanılacak mekanik ve elektrik-elektronik elemanların malzeme listesi hazırlanmıştır. Malzeme listesine makinede kullanılacak civata, somun ve pul gibi makine elemanları da eklenmiştir. Tüm bu işlemlerin ardından üretim için gerekli olan malzemeler belirlenmiş ve imalat planı oluşturulmuştur. 3B çizimi tamamlanarak, tasarımı oluşturulan ve dış boyutları belirlenen lazer makinesi Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Tasarlanan lazer makinesi ve dış boyutları (Designed laser machine and external dimensions)

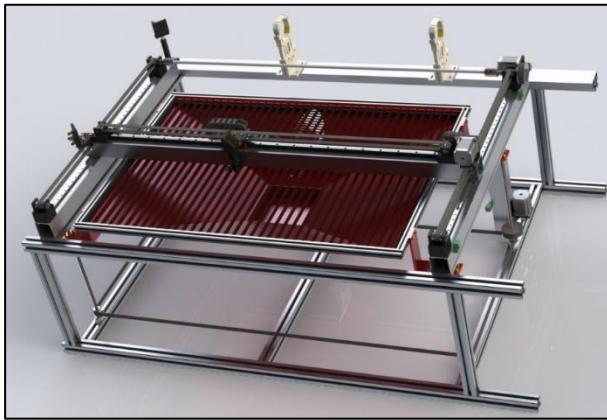
2.2. Konstrüksiyon Sistemi (Construction System)

Konstrüksiyon sistemi makine şasesi, taşıyıcı elemanlar ve sac kaplamalardan oluşmaktadır. Makine temelleri 20 mm x 20 mm x 2 mm boyutunda çelik profiller üzerine kurulmuştur, toplamda 18 m kadar profil malzeme kullanılmıştır. Çelik profiller kaynaklı imalat yöntemiyle gönyeli bir şekilde birleştirilmiştir. Makine çevresini kaplayan ve makine üzerinde zemin olarak kullanılan saclar ise S235JR çelik malzemedir seçilmiştir. Tasarımda belirlenen boyutlarda bu sac malzemeler lazer kesim yoluyla elde edilmiştir. Ayrıca bazılarında büküm işlemi uygulanmıştır. Makine üzerinde farklı bölgeler için toplamda 3 tam plaka kullanılmıştır. Plaka boyutları ise 1500 mm x 2000 mm x 2 mm’dir. Makineyi taşımak

ve hareket etmesini sağlamak için 250 kg kapasiteli 4 adet döküm tekerlek kullanılmıştır. Bununla beraber 4 adet sabitleme ayağı da bulunmaktadır.

2.3. Hareket Sistemi (Travel System)

Makine üzerinde bulunan lazer kesim kafası iki eksende hareket etmektedir. Hareketi sağlamak için her iki eksende birer adet step motor kullanılmıştır. Y eksenini hareket ettiren step motor makinenin arka kısmına yerleştirilmiştir. Motor ucuna T5 kasnak bağlanmış ve hareketi aktarmak üzere kısa bir kayış yardımıyla ikinci bir kasnağa bağlanmıştır. Y eksenini kolları arasındaki mesafeler uzun olduğu için hareketi aktarmada iki farklı mil kullanılmış bu şekilde Y eksenini hareketinin hassas bir şekilde gerçekleşmesi sağlanmıştır. Makine üzerinde eksenler üzerinde hareket edebilmek için lineer ray-araba sistemi kullanılmıştır. Lineer ray araba için SHN 20 A, ray için ise SH 20 numaralı parçalar seçilmiştir. Ray uzunluklarının hepsi yaklaşık olarak 1 m belirlenmiştir. Hareket sistemindeki ray, kasnak sistemi parçaları, yataklama elemanlarının hepsi 40 mm x 40 mm x 2 mm boyutunda alüminyum profil üzerine kurulmuştur. Bu profil ve üzerindeki ekipmanlar Y ekseninde sabit olup, X ekseninde ise hareketi gerçekleştirebilmek için arabalar üzerine kurulmuştur. Lazer kesim kafasının hareketi ise X ekseninde bulunan aksamlarla sağlanmıştır. Şekil 3'te hareket sisteminin tasarımı ve makine üzerindeki durumu gösterilmiştir.

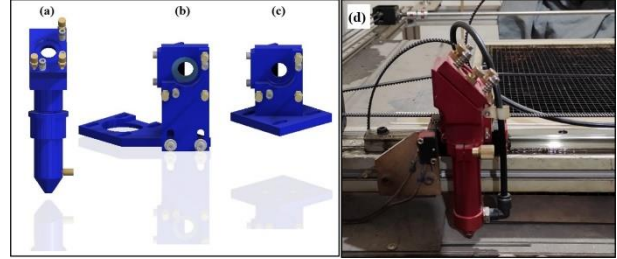


Şekil 3. Hareket sistemi ve parçalarının makine üzerindeki durumu (Demonstration of the travel system and its parts on the machine)

2.4. Lazer Kesim Kafası ve Ayna Tutucuları (Laser Cutting Head And Mirror Holders)

Şekil 4 a'da malzemelerin işlenmesinde kullanılacak olan ve tasarımı yapılan lazer kesim kafası gösterilmektedir. Şekil 4 b ve c'de ise ayna tutucuları gösterilmiştir. Bu parçaların tasarlanmasında piyasada bulunan benzer ürünlerde yararlanılmıştır. Ancak üzerinde boyutsal birtakım düzenlemeler uygulanmıştır. Bu parçaların hepsi AA6061 serisi alüminyum malzemelerden CNC freze işleme ile üretilmiştir. Üretim işlemlerinin ardından bu malzemeler, ısıya dayanıklı boya ile boyanmıştır. Şekil 4 d'de tasarıma göre üretilen lazer kesim kafasının

tezgaah üzerine eklenmiş durumu gösterilmektedir. Kesim kafası malzemelere markalama, oyma ve kesme işlemlerini uygulayan esas bileşendir. Kafa üzerinde ayrıca hava aktarımını sağlayan ekipmanlar bulunmaktadır. İşlem yapılacak malzeme kalınlığına göre kafa üzerinde bulunan ayar vidası ile yüksek ayarı yapılabilmektedir. Bu şekilde odak mesafesi istenilen düzeye getirilebilmektedir.



Şekil 4. Lazer kesim kafası ayna tutucuları ve kesim kafasının makineye eklenmiş durumu (Laser cutting head mirror holders and cutting head attached to the machine)

2.5. Elektrik-Elektronik Sistem (Electrical-Electronic System)

Makine üzerinde kullanılan elektrik-elektronik sistemler hareketi sağlayan step motor, motor sürücüsü, kontrol kartı ve güç kaynaklarından oluşmaktadır. X ve Y eksenini için birer adet 2,2 Nm tork kapasiteli Nema 23-57HS22 step motor kullanılmıştır. Motor sürücüler için ise DM556 model 2 Faz 50V 5,6 A kapasiteli sürücü seçilmiştir. Lazer işlemlerinin kontrolü için Ruida RDC6445G model yeni nesil lazer oyma ve kesme kontrol sistemi kullanılmıştır. Bu sistem 4 eksen kontrol kapasitesine sahip olup, üzerinde ethernet, USB gibi farklı iletişim türlerini barındırmaktadır. Ayrıca makine-insan iletişimini gerçekleştirebilmek için üzerinde 5 inç boyutunda bir ekran bulunmaktadır. Makine sistemlerinde gerekli enerjiyi sağlamak için iki farklı güç kaynağı kullanılmıştır. Bunlardan birincisi 24 V – 6 A kapasitesine sahiptir. Bu güç kaynağı lazer ışının elde edilmesi dışında gerekli tüm makine sisteminde ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılamak üzere kullanılmıştır. Diğer güç kaynağı ise lazer ışını için gerekli olan enerjiyi sağlamaktadır. Bu kaynak ise 50 kV - 38 mA çıkış gücüne sahiptir. Elektrik elektronik sistemler için kullanılan genel bileşenler yukarıda açıklanmıştır. Bunların yanı sıra eksen hareketlerinin sınırlandırılması için her eksen üzerine limit anahtarı kurulmuştur. Tüm makine sisteminin elektrik hattı için yaklaşık olarak 120 m uzunluğunda 1,75 mm'lik elektrik kablosu kullanılmıştır.

2.6. Rezonatör (Resonator)

CO₂ lazer işleme makinalarında temel bileşen olan rezonatör güç kaynağından alınan elektrik enerjisini lazer ışınına çeviren bir bileşendir. Rezonatörden alınan çıkış gücüne göre lazer makinesinin işlem yapabildiği ürün çeşitliliği ve işlenebilecek malzeme kalınlığı gibi

faktörler değişebilmektedir. Çalışmalar kapsamında üretilen lazer işlem makinesinde 150 W kapasiteye sahip yerli olarak üretilen rezonatör kullanılmıştır. Bu rezonatör (Model) 3K Laser Makine ve Bilişim Teknolojileri LTD. ŞTİ. tarafından tedarik edilmiştir. Tamamen yerli imkanlarla üretilen rezonatör muadillerine göre geliştirilmiş olan özellikler içermektedir. Ar-Ge ürünü olarak üretilen tekrarlı gaz dolmuş rezonatörü sökülebilir bir tasarıma sahiptir. Bu rezonatörle 1,5 kat daha fazla kullanım ömrü sağlanarak, rezonatör kaynaklı senelik maliyet % 40'a kadar düşürülmesi hedeflenmiştir. Rezonatör dışarıdan tekrarlı gaz doluma imkan verecek şekilde üretilmiştir. Bu özellik yeni ve özgün bir tasarım olmuştur. Mevcut lazer kesim tezgahlarında kullanılan rezonatörler kullanım ömrü dolduktan sonra hurdaya çıkmakta ve yenisiyle değiştirilmektedir. Çalışmada kullanılan rezonatörün tekrarlı gaz dolumu sayesinde hem hurdaya çıkması engellenecek hem de yeni ürün alımının önüne geçilmiş olacaktır. Mevcut durumda benzer nitelikli rezonatörler yıllık 8.000 ile 10.000 saat çalışma ömrüne sahiptir. Üretilen makinedeki rezonatörün ise yıllık 12.000 saat çalışması öngörülmüştür. Tekrarlı dolmuş özelliği sayesinde periyodik bakımlarda uygulanarak 5 sene boyunca 60.000 saatlik bir ömre sahip olması beklenmektedir. Ayrıca rezonatörün tüm parçaları sökülebilir niteliktedir. Bu sayede bakım ve servis işlemleri kolay bir şekilde gerçekleştirilecektir. Şekil 5'te makinede kullanılan rezonatörün makine üzerine montajlanması gösterilmiştir. Rezonatör makinenin arka kısmında kendisine ayrılan özel bölmeye 2 adet tutucu ile sabitlenmiştir. Böylelikle güvenli bir şekilde çalışması sağlanmıştır.



Şekil 5. Rezonatörün makine üzerine eklenmesi (Integration of the resonator on the machine)

2.7. Optik ve Yansıtıcı Sistemler (Optical And Reflective Systems)

Lazer rezonatörde üretilen ışın yansıtıcı aynalar vasıtasıyla lazer kesim kafasına ulaşmaktadır. Bu amaç

için 20 mm çapında 3 adet molibden ayna kullanılmıştır. Bunlardan ilki rezonatörün olduğu bölgeye yakın olarak bulunmakta olup, rezonatörden çıkan ışını ilk olarak yansıtma görevini görmektedir. İkinci ayna hareketli köprü üzerinde, üçüncüsü ise kesim kafasında bulunmaktadır. İkinci aynadan yansıyan lazer ışını kesim kafasına aktarılmakta buradan da kesime kafasında bulunan optik lense gönderilmektedir. Optik lens olarak 2,5 inç çapında ZnSe (çinko selenit) kullanılmıştır. ZnSe şeffaflığının yüksek olması ve lazer ışınını görünene yakın olarak iletmesinden dolayı tercih edilmektedir.

2.8. Yardımcı Sistemler (Subsystems)

Lazer işleme makinesi üzerinde bulunan yardımcı sistemler basınç düşürücü, hava motoru, soğutucu ünite ve emiş motoru bileşenlerinden oluşmaktadır. Hava motoru kesim kafasına hava aktarmak için kullanılmaktadır. Bu şekilde kesime hız kazandırılmakta, optik lens üzerinde is ve başka kirliliklerin oluşumu engellenmekte ve lazer işlemlerine yardımcı gaz kullanımı sağlanabilmektedir. Soğutucu ünite, rezonatörün yüksek ısıdan dolayı güç kaybını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bunun dışın soğutucu, lazer tüpünün ömrünü ve işlem performansını etkileyen temel bir bileşendir. Makinede CW 300 endüstriyel soğutucu kullanılmıştır. Lazer makinesinde kullanılan bir diğer yardımcı ekipman hava emiş motorudur. Bu bileşen, oyma ve kesme gibi işlemler esnasında ortamda meydana gelen duman, gaz ve toz gibi etkenleri tahliye etmede kullanılmaktadır. Makinede 750 W gücüne sahip salyangoz tip hava emiş motoru kullanılmıştır. Bunların dışında yardımcı ekipmanlara ek olarak makine üzerinde şartlandırıcı olarak nitelendirilen bir hava regülatörü kullanılmıştır. Şartlandırıcı hava basıncının ayarlanmasını sağlamaktadır. Ayrıca havadaki nem tutmaya yardımcı olur. Böylelikle makinede bulunan sistemlere ve özellikle optik lens gibi önemli elemanlara havadan kaynaklı nemin ulaşması engellenir.

2.9. Makine Üretimi (Fabrication of The Machine)

Önceki kısımlarda makine tasarımı anlatılmış, üretilen lazer işleme makinesinde kullanılmış olan mekanik, elektrik-elektronik, yardımcı ve optik sistemler gibi ana bileşenler hakkında bilgiler verilmiştir. Makine üretimine ilk olarak şase kurulumundan başlamıştır. Tasarımdaki boyutlara göre uygun ölçülere getirilen çelik profiller kaynaklı imalat yöntemiyle birleştirilmiştir. Ardından makine bileşenlerinin montaj yerleri belirlenmiş ve bu bileşenlerin yerleştirilmesi için gereken yerlere destek sacları monte edilmiştir. İkinci olarak hareket sistemi bileşenlerinin montaj aşamasına geçilmiştir. Hareket sisteminin taşıyıcı parçası olan alüminyum kutu profiller makine üzerine eklenmeden önce dışarıda işlem görmüştür. Burada, üzerinde eksen hareketlerinin gerçekleşeceği rayların montajı için delikler açılmış ve raylar profil üzerine birleştirilmiştir. Kayış kasnak sistemi parçaları da profile eklenmiştir. Hareket sistemi parçaları profil üzerine eklenirken

rayların doğrusallığının korunması sağlanmış, eksen kaçıklıklarının olmamasına dikkat edilmiş ve bunlar için özel önlemler alınmıştır. İlk olarak Y hareket eksen parçalarının montaj işlemi tamamlanmış daha sonra köprü hareketinin olduğu X eksen bileşenleri montajlanmıştır. X ekseninde bulunan arabalar yarı monte vaziyette profile eklenmiştir. Daha sonra tezgah üzerindeki raylara oturmasının sağlanması ve ince ayarlarla birlikte tam montajı sağlanmıştır. Ayna tutucuların montaj delikleri de bu işlemlerle birlikte açılmış ve ardından makine ve eksen üzerine yerleştirilmiştir. Makinenin inşa halinden bir görüntü Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Makine inşa halinden bir resim (An image of the machine building)

Hareket sistemi mekanik parçalarının tezgah üzerine eklenmesinden sonra step motorları sabitleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada ayno zamanda kasnak bağlantıları yapılmıştır. Motor mili ve eksen profili üzerindeki bulunan kasnağın hizalama ayarları gerçekleştirilmiştir. Her iki eksene de bunların uygulanmasının ardından kayışların bağlanması aşamasına geçilmiştir. Kayış hareketlerinin sorunsuz bir şekilde olması sağlanmış ve Y eksen hareketinin denge ayarları yapılmıştır. Bu aşamalardan sonra hareket sisteminin tüm parçalarının tezgah üzerine eklenmesi tamamlanmış, hareket sisteminin elektrik-elektronik donanımlarının kurulumuna geçilmiştir.

Elektrik-elektronik sistemin kurulumunun ilk aşamasında sürücüler, güç kaynakları, kontrol kartı, limit anahtarları gibi elemanlar tasarımda belli yerlerine monte edilmiştir. Bu aşamadan sonra kablolama işlemleri yapılmıştır. Motorların sürücülere bağlantısı, sürücülerin kontrol kartına, kontrol kartından kontrol paneline, limit anahtardan kontrol kartına, lazer güç ünitesi kontrol kartına olan kablolama işlemleri yapılmıştır. Burada gerekli durumlarda sisteme güç verilmiş ve hareket sisteminin çalıştırılması sağlanarak geri beslemeli birtakım düzenlemeler yapılmıştır. Kontrol paneli yarı monte şeklinde makine üzerine eklenmiştir. Acil durdurma butonu, lazer akım gücü göstergesi gibi elemanların bağlantısı yapılmıştır. Step motorların ayarlamaları ve kesme kafasının makine üzerinde ilerleme hassasiyeti ayarlanmıştır.

Hareket sistemi ve elektrik-elektronik sistemin kurulumunun ardından lazer rezonatörün montaj aşamasında geçilmiştir. Rezonatör, kendi boyutlarında üretilen iki adet tutucu ile tezgahın arka kısmına

bağlanmıştır. Ardından rezonatöre yakın olan ilk yansıtıcı aynanın montajı yapılmış, daha sonra sırasıyla diğer aynalarla beraber kafa kısmında bulunan optik lensin yerleştirilmesi sağlanmıştır. Ardından makinede bulunan yardımcı sitemleri bağlantısına geçilmiştir. Soğutma ünitesinin rezonatör bağlantısı, hava motorun pinomatik aksamları, emiş motoru ve şartlandırıcı ekipmanlarının kurulumu tamamlanmıştır.

Makinede bulunan tüm sistemlerin kurulumunun ardından lazer ışınının oluşmasını sağlamak ve kalibrasyon çalışmalarını yapmak üzere rezonatör çalıştırılmıştır. Işın oluşumunda kullanılacak olan gazın verimliliğiyle beraber ışın gücünün lazer güç ölçer ile ölçülmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'de lazer güç ölçer ile ışın gücünün ölçülmesi örnek olarak gösterilmiştir. Bu işlem ile sistemde ve kesim kafasına kadar yönlendirilen ışında herhangi bir güç kaybı olmadığı doğrulanması sağlanmıştır. Ayrıca ölçümler ile hedeflenen dalga boyu ve ışın çapı hesaplanmıştır. Işın üreticiden çıkan ışının otokolimatör ile aynaların merkezlerinden kesim kafasına gelebilmesi için gereken düzenlemeler ve ince ayarlar yapılmıştır. Otokolimatör yardımıyla rezonatörün çıkış lensinden itibaren, ışının geçeceği tüm aynaların sırasıyla birbirlerine odaklanması sağlanmıştır. Elde edilecek ışının 130 W güçte 10,6 µm dalga boyunda olması, ışın çapının 8 mm olarak odak lensine gelmesi ve lensten geçtikten sonra konikleşerek mikron seviyelerine inmesi başarı kriterleri olarak belirlenmiştir. Çalışmalarda bu kriterlere ulaşıldığı görülmüştür. Hedef olarak belirlenen dalga boyunun başarısı rezonatör üzerinde kullanılacak olan lens sayesinde belirlenmiştir. Kullanılan lens yalnızca 10,6 µm dalga boyundaki ışınları aktif ortama taşımaktadır.



Şekil 7. Lazer güç metre ile güç ölçümü (Power measurement with laser power meter)

Çalışmalar sonucunda imalat işlemleri tamamlanan lazer işleme makinasının görüntüsü Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Üretilen lazer işleme makinesi (The manufactured laser processing machine)

3. DENEME VE TEST ÇALIŞMALARI (EXPERIMENTS AND TEST STUDIES)

Makine üretiminin tamamlanmasından sonra deneme ve test çalışmalarına geçilmiştir. Bunun için kauçuk, ahşap (MDF plaka) ve plastik (pleksi) olmak üzere üç farklı malzeme grubu seçilmiştir. Tezgaah gücü ve kapasitesi dolayısıyla hedef ürünlerin temelini oluşturduğu için bu malzemeler üzerinde işlemlerin yapılması uygun görülmüştür. Lazer işlemleri için kazıma/oyma ve kesmenin yanı sıra parametre belirleme çalışmaları yapılmıştır. Her bir farklı malzeme için sonuçlar ayrı başlıklarda verilmiştir.

3.1. Kauçuk Malzeme İşlemleri (Process of Rubber Material)

Üretilen lazer kesim tezgahında kauçuk malzeme üzerinde işlem yapılabilirliğini göstermek amacıyla 3,5 mm kalınlığında malzeme, farklı geometrik şekiller içeren kesim işlemine tabi tutulmuştur. Bu malzeme başarılı bir şekilde kesilebilmiştir. Çizelge 1’de kauçuk malzeme kesme parametreleri ve Şekil 9’da kesim işlemi sonucu malzemeler gösterilmektedir.

Çizelge 1. Kauçuk malzeme işleme parametreleri
(Parameters of processing rubber)

Kesme hızı (mm/sn)	30
Kesme gücü (W)	80-85
Yardımcı gaz basıncı (bar)	2

Şekil 9 incelendiğinde yıldız haricindeki diğer şekillerin başarılı bir şekilde kesilebildiği görülmektedir. Yıldız

şeklinin kesme derinliği boyunca kesit yüzeyinde boyutsal düzensizlikler meydana gelmiştir. Bu şeklin keskin köşeler içermesi lazer kesim kafasının daha dar açılarda çalışma gerekliliğini doğurmuştur. Kesim esnasında ısı etkisi altında kalan bölgelerin yıldız şeklinin geometrisi sebebiyle daha fazla kesişmesinden dolayı, ısı birikimi artmış ve termal çarpımalardan dolayı düzensizlikler meydana gelmiştir. Kesme parametrelerinin benzer geometrideki işlemler için yeniden düzenlenmesiyle bu durumun önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Yıldız dışındaki diğer şekillerin kenarları dijital kumpas ile ölçüldüğünde, bilgisayar ortamında çizilen gerçek ölçülerine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu durumlar genel olarak değerlendirildiğinde üretilen lazer makinesiyle sınırlandırılmış kalınlıkta kauçuk malzemelerin başarılı bir şekilde işlenebileceği anlaşılmıştır.

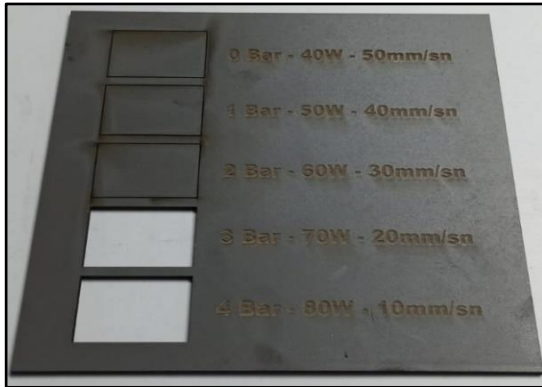


Şekil 9. Kauçuk malzeme geometrik şekil kesim örneği
(Cutting example of rubber geometric shape)

3.2 Ahşap (MDF) Malzeme İşlemleri (Process of Wood (MDF) Material)

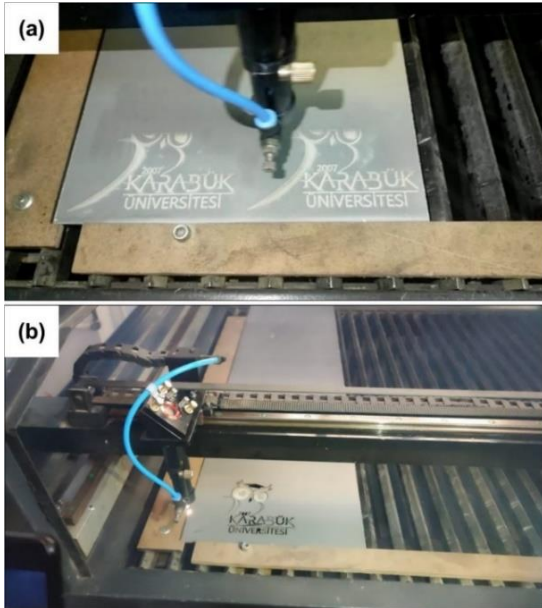
Ahşap malzemenin işlenmesi örneğinde 3 mm kalınlığına sahip MDF plaka kullanılmıştır. Test çalışmalarına öncelikle parametre belirlemeyle

başlanılmıştır. Şekil 10'da MDF malzeme ile yapılan parametre çalışmasında kullanılan değerler ve örnek kesimin sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi ilk üç parametrede kesim işlemi başarısız olmuş ancak oyma işlemi yapılabilmektedir. 4. ve 5. parametrelerde kesim işlemi gerçekleştirilemiştir. Bu iki parametre kıyaslandığında 4. parametrenin daha başarılı olduğu anlaşılmıştır. 5. parametre kullanılarak gerçekleştirilen kesimin arka kısımlarında et kalınlığının son bölgelerinde yanma oluşumu gözlemlenmiştir. Bu durum daha yüksek basınç ve daha yüksek lazer gücü kullanıldığından dolayı meydana gelmiştir. Bu bakımdan ileriki örnek kesimlerinde 4. parametre değerleri referans alınmıştır.



Şekil 10. MDF parametre çalışması (Parameter study of MDF)

Şekil 11 a, MDF malzemede yapılan kazıma, b, ise kesme işlemini göstermektedir. Görüleceği gibi üretilen lazer makinesiyle resimler MDF malzeme üzerine kazıma suretiyle başarılı bir şekilde işlenebilmektedir. Ayrıca bilgisayar destekli edinilen kesme verileriyle MDF malzemenin başarılı bir şekilde iki boyutlu istenilen geometride işlenebildiği görülmüştür.



Şekil 11. MDF kazıma ve kesme işlemi esnasından örnekler (Examples during the engraving and cutting of MDF)

Şekil 12'de MDF malzemesi üzerinde kesim işlemi yapılan geometrik şekiller gösterilmektedir. Tüm şekiller verilen ölçülerde başarılı bir şekilde kesilebilmiştir. Kauçuk malzemenin aksine MDF malzemesindeki yıldız şekli hatasız bir şekilde elde edilmiştir. Dijital kumpasla alınan ölçümler, bilgisayar ortamındaki çizim ölçüleriyle kıyaslandığında birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bütün bunlar değerlendirildiğinde belirli kalınlıktaki MDF malzemeleri istenilen ölçülere yakın bir şekilde üretilen lazer makinesiyle işlenebilmektedir



Şekil 12. MDF geometrik şekil kesim örneği (Cutting example of MDF geometric shape)

3.3 Plastik (Pleksi) Malzeme İşlemleri (Process of Plastic (Plexiglass) Material)

Günümüzde pleksi malzeme son derece geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Şeffaf bir cam yerine, genellikle akvaryumlar, denizaltılardaki görüntüleme portları, otomobil lensleri, spor pistlerinde seyirci koruması, uçak pencereleri, polis araçları, deniz feneri lensleri ve daha fazla uygulama için kullanılabilir. Ayrıca bazı ameliyatlar, dişçilik malzemeleri ve gözlükler de dahil olmak üzere bir dizi tıbbi alanda tercih edilmektedirler [29].

Yukarıda bahsedildiği gibi pleksi malzeme günümüzde önemli bir yer edinmiştir. Üretilen lazer makinesinin pleksi malzemeyi işleme kabiliyeti incelenmiştir. Çalışmalarda 5 mm kalınlığında plaka kullanılmıştır. Öncelikle parametre belirleme çalışması yapılmıştır. Şekil 13'te görüleceği gibi 5 farklı parametre kullanılmış parametre değerleri de kesim işlemi uygulanan bölgenin yan tarafına kazınmıştır. Pleksi malzeme kesim işleminde ilk 4 parametrede istenen sonuç alınamamış tam kesme sağlanamamıştır. 4. parametrede kesime yaklaşılmış ancak son kısımda işlenememiş malzeme kalmıştır. İlk 3 parametrede ise kazıma işlemi gerçekleştirilmiştir. 5. parametrede kesim işlemi başarılı bir şekilde sağlanmıştır.



Şekil 13. Pleksi parametre çalışması (Parameter study of plexiglass)

Şekil 14'te pleksi malzeme ile geometrik şekil kesim örneği ve kesilen parçalar gösterilmiştir. Keskin ve dar açılı kesme işlemlerinin gerçekleştiği yıldız şeklinde istenilen sonuç alınmıştır. Diğer şekillerde kumpas ile ölçümler sonucunda istenilen boyutlara ulaşılmıştır. Bu bakımdan üretilen lazer makinesiyle günümüzde önemli bir kullanım alanı bulmuş olan belirli kalınlıktaki pleksi malzemelere sorunsuz bir şekilde işlem yapılabilmektedir.



Şekil 14. Pleksi geometrik şekil kesim örneği (Cutting example of plexiglass geometric shape)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada orta ölçekli işlemlerde kullanılmak üzere bir lazer makinesinin 3B tasarımı yapılmış ve üretilmiştir. Tasarım ve üretim işlemleri tamamen yerli imkanlarla gerçekleştirilmiştir. Lazer makinesinde yerli olarak temin edilen 150 W gücünde tekrarlı dolmuş özelliğine sahip bir rezonatör kullanılmıştır. Bu bakımdan makinenin yerlilik seviyesine önemli katkı sağlanmıştır. Üretilen makine üzerinde farklı malzemelerle çeşitli kazıma ve kesme işlemleri yapılmıştır. Çalışmada çıkarılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Üretilen makine ile kauçuk malzemeler genel olarak sorunsuz bir şekilde işlenebilmektedir. Ancak yapılan örnek geometrik şekil kesim işlemlerinde, yıldız

şeklinde var olan keskin köşe ve dar açı durumlarından dolayı, kesilen malzemede bazı şekilsel düzensizlikler görülmüştür. Bu durumun uygun parametrik çalışmaların yapılmasıyla giderilebileceği veya aynı parçanın daha büyük ölçekli kesimi yapıldığında düzelebileceği sonucuna varılmıştır.

- 3 mm MDF plaka için belirlenen kesim parametrelerinde istenilen boyutlara çok yakın parçalar kesilebilmiştir. MDF plaka için gerçekleştirilen kazıma işlemleri de başarılı sonuçlar vermiştir. Bilgisayar destekli kesim dosyasıyla görüntüsü alınan nesne MDF üzerine tercih edilen şekilde işlenebilmiştir.
- Son zamanlarda önemli kullanımlara sahip olan polimer esaslı pleksi malzeme üzerinde test çalışmaları yapılmıştır. 5 mm kalınlığında pleksi malzeme MDF örneğinde olduğu gibi istenilen boyutlara yakın ölçülerde kesilebilmiştir. Ayrıca pleksi malzemeye uygulanan kazıma işlemleri de olumlu sonuçlar vermiştir.
- Çalışmalarda üretilen makinenin reklamcılık, hobi, orman ürünleri, tekstil, deri ve küçük ölçekli mühendislik çalışmalarında kullanılabilme potansiyeli bulunabileceği sonucuna varılmıştır.
- Yapılan tasarım ve üretim işleri sonrasında benzer sınıfta bulunanlara göre daha gelişmiş özelliklere sahip markalama, kazıma ve kesme işlemi yapabilen bir lazer makinesi, Karabük Üniversitesi'ne kazandırılmıştır. Böylelikle ileri teknoloji konusuna dahil olan lazer makinesi, eğitim-öğretim işlerinde ve araştırmalarda kullanılabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar bu çalışmayı KBÜBAP-21-YL-058 numaralı proje ile destekleyen Karabük Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma ve Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederler.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI

(DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Alper KÖLE: Makine tasarımı ve üretimini gerçekleştirdi. / Performed machine design and fabrication.

Yusuf AYAN: Makine kurulumu ve test çalışmalarında görev aldı. / Performed machine setup and test studies.

Nizamettin KAHRAMAN: Test düzeninin oluşturulması ve sonuçların değerlendirilmesinde görev aldı. / Designed test procedure and evaluating the results.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Aniszewska M., Maciak A., Zychowicz W., Zowczak W., Mühlke T., Christoph B., Lamrini S., and Sujecki, S., "Infrared laser application to wood cutting", *Materials*, 13(22): 5222, (2020).
- [2] Knowles M. R. H., Rutterford G., Karnakis D., and Ferguson A., "Micro-machining of metals, ceramics and polymers using nanosecond lasers", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 33(1–2): 95–102, (2007).
- [3] Yurdakul M., Tükel T., İç Y. T., Ülke İ., Balcı A. ve Güneş, S., "Bir imalat firmasında en iyi ürün kalitesi için lazer ile kesim parametrelerinin eniyilenmesi", *Journal of Turkish Operations Management*, 6(1): 977–996, (2022).
- [4] Yüce C., "Paslanmaz Çelik Malzemelerin Fiber Lazer ile Kesiminde Proses Parametrelerinin Optimizasyonu", *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(2): 685–696, (2019).
- [5] Genna S., Menna E., Rubino G., and Tagliaferri V., "Experimental investigation of industrial laser cutting: The effect of the material selection and the process parameters on the kerf quality", *Applied Sciences*, 10(14): 4956, (2020).
- [6] Stepanov A., Saukkonen E., and Piili H., "Possibilities of Laser Processing of Paper Materials", *Physics Procedia*, 78: 138–146, (2015).
- [7] <https://elenlaser.com/co2-laser-applications>, "CO2 Laser Applications", (2022).
- [8] Nagai K. and Shimizu K., "Using a high-power fibre laser to cut concrete", *Applied Sciences*, 11(10): 4414, (2021).
- [9] Schmidt M., Zäh M., Li L., Dufflou J., Overmeyer L., and Vollertsen F., "Advances in macro-scale laser processing", *CIRP Annals*, 67(2): 719–742, (2018).
- [10] Uyguntürk E., Kahraman N., Durgutlu A., ve Gülenç B., "Titanyum boruların lazer kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve kaynak bölgesinin karakterizasyonu", *Politeknik Dergisi*, 24(1): 255–262, (2021).
- [11] Rao M., "Applications of CO2 laser in medicine", *International Journal of Advances in Pharmacy, Biology and Chemistry*, 2(3): 501–506, (2013).
- [12] Çelebi A., "Deformation and microstructural analysis of fiber laser and TIG welding of thin Ti6Al4V sheet by coordinate measurement machine (CMM)", *Journal of Polytechnic*, 23(4): 1183–1188, (2020).
- [13] Sezer H. K., "Short Review on Laser Texturing and Cleaning Carbon Fibre Composites for Aerospace Applications", *Journal of Polytechnic*, 19(4): 623–631 (2016).
- [14] Barış M., Şimşek T., ve Akkurt A., "Co₂B nanopartikülleri ile kaplanmış S235JRC karbon çelik malzemelerin farklı kesme yöntemleri ile işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 22 (1): 169–177, (2019).
- [15] Wu J., Zhao J., Qiao H., Hu X., and Yang Y., "The new technologies developed from laser shock processing", *Materials*, 13(6): 1453, (2020).
- [16] Yang H., Li S., Li Z., and Ji F., "Experimental and numerical study on the packing densification of metal powder with gaussian distribution", *Metals*, 10(11): 1401, (2020).
- [17] Balcı A., Aycan M. F., Usta Y. ve Demir T., "Seçimli lazer ergitme ile Ti6Al4V ELI alaşımından üretilen trabeküler metal yapıların basma ve basma-kayma dayanımlarının incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 24(3): 903–914, (2021).
- [18] Sui S., Chen J., Zhang R., Ming X., Liu F., and Lin X., "The tensile deformation behavior of laser repaired Inconel 718 with a non-uniform microstructure", *Materials Science and Engineering: A*, 688: 480–487, (2017).
- [19] Yin Z., Liu Q., Sun P., and Ding J., "Kinematic analysis and parameter measurement for multi-axis laser engraving machine tools", *Machines*, 9(10): 237, (2021).
- [20] Wang Z., Xu L., and Su X., "The design and implementation of the micro laser engraving machine based on STM32", *2016 International Conference on Education, Management and Computer Science (ICEMCE, 2016)*, Shenyang, China, 673–638, (2016).
- [21] Zhang Y., Feng B., and Sang S., "Design of intelligent wireless laser engraving machine", *Journal of Physics: Conference Series*, 2216(1): 012005, (2022).
- [22] Leon P., Aguilar D., Maldonado F., Vargas N., and Fernandez C., "Foamy CNC laser cutting machine", *2016 IEEE International Conference On Automatica (ICA-ACCA)*, Curicó, Chile, 1–6, (2016).
- [23] Genyu C., Yi W., YanBo P., and Yanyi W., "Fiber laser CNC tangential turing V-shaped concave diamond grinding wheel system based on machine vision technology", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(9–12): 4077–4090, (2019).
- [24] Kotadiya D. J., Kapopara J. M., Patel A. R., Dalwadi C. G., and Pandya D. H., "Parametric analysis of process parameter for Laser cutting process on SS-304", *Materials Today: Proceedings*, 5(2): 5384–5390, (2018).
- [25] Rajaram N., Sheikh-Ahmad J., and Cheraghi S. H., "CO2 laser cut quality of 4130 steel", *International Journal of Machine Tools And Manufacture*, 43(4): 351–358, (2003).
- [26] Choudhury I. A. and Chuan P. C., "Experimental evaluation of laser cut quality of glass fibre reinforced plastic composite", *Optics and Lasers in Engineering*, 51(10): 1125–1132, (2013).
- [27] Sun G. F., Yao S., Wang Z. D., Shen X. T., Yan Y., Zhou R., and Ni Z. H., "Microstructure and mechanical properties of HSLA-100 steel repaired by laser metal deposition", *Surface and Coatings Technology*, 351: 198–211, (2018).
- [28] Açık, C. ve Tutuş, A., "Endüstriyel ürün imalatında kullanılan bazı ahşap türlerinin CNC lazerle işlenebilme performanslarının araştırılması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(1): 461–470, (2023).
- [29] <https://www.archdaily.com/943049/what-is-plexiglass-the-protective-plastic-many-are-using-to-combat-viral-spread>, "What is plexiglass? The protective plastic many are using to combat viral spread", (2022)