



**MARKALAMA VE KESME İŞLEMLERİ İÇİN
KARBONDİOKSİT (CO₂) LAZER MAKİNESİ
TASARIMI VE ÜRETİMİ**

Alper KÖLE

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN**

**MARKALAMA VE KESME İŞLEMLERİ İÇİN KARBONDİOKSİT (CO₂)
LAZER MAKİNESİ TASARIMI VE ÜRETİMİ**

Alper KÖLE

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN**

**KARABÜK
Nisan 2022**

Alper KÖLE tarafından hazırlanan “MARKALAMA VE KESME İŞLEMLERİ İÇİN KARBONDİOKSİT (CO₂) LAZER MAKİNESİ TASARIMI VE ÜRETİMİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/04/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Yakup KAYA (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Alper KÖLE

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MARKALAMA VE KESME İŞLEMLERİ İÇİN KARBONDİOKSİT (CO₂) LAZER MAKİNESİ TASARIMI VE ÜRETİMİ

Alper KÖLE

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Nisan 2022, 56 sayfa

Lazer, gelişimiyle beraber günlük yaşamımızı kolaylaştıran ve fayda sağlayan bir terim olarak karşımıza çıkmıştır. Küçükten büyüğe birçok ihtiyaç için vazgeçilmez bir teknoloji durumuna gelmiştir. Lazer teknolojisinden en büyük payı imalat endüstrisi almış, birçok imalat uygulamalarında kullanılan ve tercih edilen bir teknoloji olmuştur. Lazer kullanan imalat işlemlerinin başında ise hemen hemen tüm malzeme türüne işlem yapılabilen markalama, oyma ve kesme işlemleri gelmektedir. Bu işlemler lazer makineleri olarak nitelendirilen imalat sistemleriyle yapılırlar. Bu makineler genellikle ithalat yoluyla temin edilmektedirler.

Bu çalışmada yerli imkanlar kullanılarak markalama, kazıma, oyma ve kesme işlemi yapabilen düşük bütçeli bir CO₂ lazer makinesi üretilmiştir. Makinenin benzerlerinden en önemli farkı üzerinde tekrarlı gaz dolumuna izin veren şarj üniteli yerli rezonatör

kullanımıdır. Makinenin öncelikle 3B tasarımı yapılmış, malzeme listesi ve imalat süreci belirlenerek üretim işlemlerine geçilmiştir. Orta ölçekli işlemlerde kullanılabilir olan makine başarılı bir şekilde üretilmiştir. Üretimden sonra kauçuk, ahşap ve plastik türünden malzemelere işlem yapılarak performansı incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda bahsedilen malzemelere üretilen makineyle, lazer ile kazıma ve kesme işlemlerinin başarılı bir şekilde yapılabilir olduğu görülmüştür. Üretilen lazer işlem makinesinin reklamcılık, hobi, orman ürünleri, tekstil, deri ve küçük ölçekli mühendislik çalışmalarında kullanılabilir potansiyeli bulunmaktadır. Ayrıca üretilen makine Karabük Üniversitesi bünyesine kazandırılmış, ileri imalat yöntemlerinden olan lazerin eğitim-öğretim işlemlerinde ve bilimsel çalışmalarda kullanılabilirliği sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Lazer, lazer makinesi, kesme, markalama, CO₂ lazer.

Bilim Kodu : 91511

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

CARBON DIOXIDE (CO₂) LASER MACHINE DESIGN AND MANUFACTURING FOR MARKING AND CUTTING PROCESSES

Alper KÖLE

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Manufacturing Engineering**

Thesis Advisor

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

April 2022, 56 pages

With its development, laser has emerged as a term that facilitates and benefits our daily life. It has become an indispensable technology for many needs from small to large. The manufacturing industry has taken the largest share of laser technology, and it has become a preferred technology in many manufacturing applications. At the beginning of the manufacturing processes using lasers are marking, engraving, and cutting processes that can be processed on almost all material types. These processes are performed with manufacturing systems called laser machines. These machines are generally supplied by import.

In this study, a low-budget CO₂ laser machine that can mark, engrave, engrave, and cut using domestic resources has been produced. The most important difference of the machine from its counterparts is the use of a domestic resonator with a charging unit

that allows repeated gas filling. First of all, the 3D design of the machine was made, the material list and manufacturing process were determined, and the production processes were started. The machine, which can be used in medium-sized operations, has been produced successfully. After production, rubber, wood, and plastic materials were tested and their performance was examined. As a result of the studies, it has been seen that the laser engraving and cutting processes can be done successfully with the machine produced for the mentioned materials. The produced laser processing machine has the potential to be used in advertising, hobby, forest products, textile, leather, and small-scale engineering works. In addition, the machine produced was provided to Karabük University, and it was ensured that the laser, which is one of the advanced manufacturing methods, could be used in education-teaching processes and scientific studies.

Key Word : Laser, laser machine, cutting, marking, CO₂ laser.

Science Code : 91511

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Çalışmaların yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Arő. Gör. Dr. Yusuf AYAN'a teşekkür ederim.

Bu alıőma Karabük Üniversitesi Bap Koordinatörlüğü'nce KBÜBAP-21-YL-058 nolu proje ile desteklenmiőtir. İlgili kuruma teőekkürlerimi bir borç bilirim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LAZER VE LAZER İŞLEMLERİ.....	3
2.1. LAZER	3
2.2. LAZERLE YAPILAN İMALAT İŞLEMLERİ	5
2.2.1. Malzeme Eksiltme	7
2.2.1.1. CO ₂ Lazer Kesim	10
2.2.2. Birleştirme	11
2.2.3. Yüzey İyileştirme.....	12
2.2.4. Eklemeli İmalat (Eİ)	14
2.3. LAZER KESİM PARAMETRELERİ.....	16
2.3.1. Kesme Hızı	16
2.3.2. Lazer Gücü.....	16
2.3.3. Odak Çapı	17
2.3.4. Yardımcı Gaz.....	17
2.3.5. Nozul-Parça Mesafesi	17
2.3.6. Nozul Çapı	17
2.3.7. Malzeme Özellikleri	18

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	19
LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	19
BÖLÜM 4	25
LAZER MAKİNESİ TASARIMI VE ÜRETİMİ	25
4.1. MAKİNE TASARIMI.....	25
4.1.1. Konstrüksiyon Sistemi.....	26
4.1.2. Hareket Sistemi.....	27
4.1.3. Lazer Kesim Kafası ve Ayna Tutucuları	28
4.1.4. Elektrik-Elektronik Sistem	30
4.1.5. Rezonatör	31
4.1.6. Optik ve Yansıtıcı Sistemler	33
4.1.7. Yardımcı Sistemler	34
4.2. MAKİNE ÜRETİMİ	36
BÖLÜM 5	41
DENEME VE TEST ÇALIŞMALARI.....	41
5.1. KAUCUK MALZEME İŞLEMLERİ	42
5.2. AHŞAP (MDF) MALZEME İŞLEMLERİ	43
5.3. PLASTİK (PLEKSİ) MALZEME İŞLEMLERİ.....	46
BÖLÜM 6	48
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Normal ışık ile lazer ışınının karşılaştırılması.	4
Şekil 2.2. Lazer türleri ve uygulama alanları.	5
Şekil 2.3. Lazerle yapılan imalat işlemleri.	6
Şekil 2.4. Lazer kesimin şematik gösterimi.	8
Şekil 2.5. Lazerle yapılan kazıma işlemi.	9
Şekil 2.6. Lazer makinesi çalışma prensibi.	10
Şekil 2.7. Lazer ışını kaynak yöntemi.	12
Şekil 2.8. Lazerle kaplama işlemi.	13
Şekil 2.9. Lazer şok işlemi.	14
Şekil 2.10. Lazerle gerçekleştirilen Eİ işlemi ve makinası.	15
Şekil 4.1. Lazer makinesinin tasarımı ve dış boyutları.	26
Şekil 4.2. Lazer makinesinin üst kısmının imalat aşamasından görüntü.	27
Şekil 4.3. Lineer ray ve araba örnekleri.	28
Şekil 4.4. Hareket sistemi ve parçalarının makine üzerindeki durumu.	28
Şekil 4.5. Lazer kesim kafası ve ayna tutucuları.	29
Şekil 4.6. Lazer kesim kafasının tezgah üzerine eklenmiş hali.	29
Şekil 4.7. Step motor ve sürücü.	30
Şekil 4.8. Makinede kullanılan Ruida kontrolcü.	30
Şekil 4.9. Makinede kullanılan güç kaynakları.	31
Şekil 4.10. Tasarımı yapılan rezonatör.	32
Şekil 4.11. Rezonatörün makine üzerine eklenmesi.	33
Şekil 4.12. Optik lens ve yansıtıcı aynalar.	34
Şekil 4.13. Hava motoru.	34
Şekil 4.14. Soğutucu ünite.	35
Şekil 4.15. Hava emiş motoru.	35
Şekil 4.16. Makinede kullanılan şartlandırıcı.	36
Şekil 4.17. Makine inşa durumu.	37
Şekil 4.18. Eksen hareket kayışlarının kurulumu.	38

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.19. Lazer rezonatörün makine üzerindeki görünümü.	39
Şekil 4.20. Lazer güç metre ile güç ölçümü.	40
Şekil 4.21. Üretimi tamamlanan lazer makinesi.	40
Şekil 5.1. Geometrik şekil kesim ölçüleri.	41
Şekil 5.2. Kauçuk malzeme geometrik şekil kesim örneği.	42
Şekil 5.3. MDF malzeme parametre çalışması.....	44
Şekil 5.4. MDF malzeme kazıma ve kesme işlemi esnasından örnekler.	45
Şekil 5.5. MDF malzeme geometrik şekil kesim örneği.....	45
Şekil 5.6. Pleksi malzeme parametre çalışması.	46
Şekil 5.7. Pleksi malzeme geometrik şekil kesim örneği.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO ₂	: karbondioksit
Al	: alüminyum
Mg	: magnezyum
Mn	: mangan
Zr	: zirkonyum
Cu	: bakır
m	: metre
mm	: milimetre
A	: amper
mA	: miliamper
V	: volt
kV	: kilovolt
W	: watt
kW	: kilowatt
µm	: mikrometre
ZnSe	: çinko selenit

KISALTMALAR

Eİ	: Eklemeli İmalat
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
SLE	: Seçici Lazer Ergitme
NC	: Numerical Control (Sayısal Kontrol)
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
3B	: Üç Boyutlu
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Lazer teknolojisinin farklı türleriyle birlikte değişen amaçlara yönelik uyarlanabilmesi sayesinde, bu teknoloji günümüzde küçükten büyüğe birçok farklı alanda yer edinmiştir. Lazer teknolojisi ev veya ofis ortamında kullanılan nokta işaretleyicilerden, endüstride devasa metal yapıların bileşenlerinin elde edilmesine kadar birçok farklı amaç için kullanılabilir. Bununla beraber tıp alanında tedavi ve cerrahi amaçlı kullanılabilir veya ölçme teknolojisinde yüksek doğrulukta çalışabilen cihazların temel unsuru olarak bulunabilir. Kısacası lazer teknolojisi keşfedildiğinden ve geliştirilmesinden bu yana sağladığı faydalar sayesinde günlük hayattaki işlerde tercih edilen ve hayatı kolaylaştıran bir teknoloji olmuştur. Bu bakımdan bu teknolojinin daha ileri işler için geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Lazer ışınının elde edilmesinden somut olarak kullanımı için birtakım bileşen veya ekipmanlar gereklidir. Bunların bir arada toplanmasıyla oluşturulan makineler geleneksel olanlardan farklı olarak kompleks yapıda olup ve özel yetkinliklere sahip olması gerekebilmektedir. Örneğin bu makinelerde optik parçaların kullanımı zorunlu olmakta ve bunların üretimi yüksek teknoloji gerektirmektedir. 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.

Endüstride lazer teknolojiyle polimer, ahşap, seramik, deri ve metal gibi birçok farklı malzeme türüne işlem yapılabilir. Bu malzemelerin arasında metallerin daha yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Metallerin diğer malzemelerin kullanıldığı üretim sistemleri için genel olarak temel yapı elemanı niteliğiyle yer edinmesi durumu da yüksek oranda kullanımına ayrı bir katkı sağlamıştır. Metal işlerinde lazer

teknolojisi; kaynak (birleştirme), kesme, kazıma, işaretleme, 3B üretim, yüzey işlemlerini iyileştirme gibi birçok farklı amaç için kullanılabilir. Polimer ve ahşap gibi malzemeler için ise genel olarak kazıma, oyma ve kesme maksadıyla işlemler yapılabilir. Örneğin pleksi malzemeler lazer ile kesilerek istenilen boyutlara getirilebilir. Çoklu sayıda benzer malzemelerin kesilerek çeşitli birleştirme yöntemleriyle bir araya getirilmesiyle de daha büyük yapılar elde edilebilir. Kazıma işlemleriyle parça üzerine istenilen şekil ve yazılar lazer ile işlenerek bu parçalar hobi ve reklamcılık gibi alanlarda kullanılabilir. Bu işlemler çoğu zaman kazıma, oyma ve kesme işlemlerini tek bir makinede gerçekleştirebilen ve isteğe göre işlem parametrelerinin değiştirildiği lazer makineleriyle yapılmaktadır.

Bu çalışmada yerli imkanlarla kesim, kazıma ve işaretleme işlemleri yapabilen yerli bir lazer kesim makinesi üretilmiştir. Bu makine piyasada bulunan benzer sınıfta mevcut lazer tezgahlarından bazı farklı yönler ve en önemlisi düşük maliyetle üretilme özelliğine sahip olmuştur. Tezgah üzerinde tekrarlı gaz dolmu (şarj) ünitesi CO₂ rezonatörü kullanılmıştır. Bu şekilde kullanım ömrü dolan rezonatörün hurdaya çıkması önlenerek ve tekrar kullanılacaktır. Rezonatör gücü yaklaşık olarak 150 W değerindedir. Üretilen lazer kesim makinesi pleksiglas mika, polyester, fiber, kompozit malzeme ve ahşap gibi birçok malzeme türünü kalınlıklarına göre işleyebilme 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. Tezin kapsam ve içeriği ise bir sonraki paragraf altında açıklanmıştır.

2. bölümde lazer konusunda genel bilgiler verilmiş, lazer türleri, kullanım alanları ve lazer ile yapılan işlemler açıklanmıştır. 3. bölümde tez çalışmaları kapsamında incelenen ve lazer konusunda yapılan literatür çalışmaları özetlenmiştir. 4. bölümde tez konusunu oluşturan makinenin tasarım ve üretim işlemleri anlatılmıştır. 5. bölümde üretim işlemleri tamamlanmış makine ile yapılan deneme ve test çalışmaları açıklanmıştır. 6. bölümde çalışma süresince elde edilen sonuçlar genel hatlarıyla özetlenmiştir.

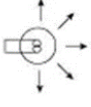
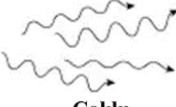
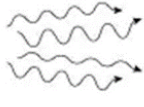
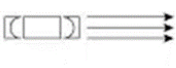


BÖLÜM 2

LAZER VE LAZER İŞLEMLERİ

2.1. LAZER

Lazer teriminin İngilizce karşılığı “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” sözcüklerinin baş harflerinden oluşan “Laser” kelimesidir. Işığın, uyarılmış radyasyon yayını ile kuvvetlendirilmesi anlamına gelmektedir [1]. Lazerin temeli 1917 yılında Einstein’in uyarılmış ışık yayını kuramına dayanarak atılmış ve 20. yüzyılın en önemli buluşlarından birisi olmuştur [2]. Lazer ışını: Saf ve tek bir ışık dalga boyuna sahiptir, yayılmadan ilerleyen paralel bir ışındır ve tek tip ışık evresinde oluşmaktadır [3].

Şekil 2.1’de sıradan ışık ile lazer ışının karşılaştırılması gösterilmektedir. Sıradan ışık kaynakları her yöne dağılan ışık dalgaları yayarlar. Lazerler ise ışık dalgalarının neredeyse hiç yayılmadan düz bir çizgide birlikte hareket ettiği yüksek yönlülüğe sahip ışık demeti yaymaktadırlar. Floresan veya ampul gibi kaynaktan gelen sıradan ışık genellikle beyaz gibi görünen ve birkaç rengin karışımından oluşmaktadırlar. Ancak bir lazer ışınındaki ışık dalgalarının tümü aynı renktedir (tek renklilik). Lazer ışını içindeki ışık dalgaları ilerledikçe, tutarlılık olarak bilinen bir özellik olan mükemmel senkronizasyon tepeleri ve dipleri ile salınırlar. İki lazer ışını birbirinin üzerine bindirildiğinde, her bir ışındaki ışık dalgalarının tepe ve dik noktaları, bir girişim deseni oluşturmak için birbirini düzgün bir şekilde güçlendirir [3].

	Yöne bağıllık (ışık dalgaları düz çizgide hareket eder)	Tek renklilik	Demet
Sıradan ışık	 Elektrik lambası	 Çoklu farklı dalga boyu	
Lazer ışını	 Lazer	 Tek dalga boyu	 İniş çıkış hizalaması

Şekil 2.1. Normal ışık ile lazer ışınının karşılaştırılması [3].

Lazer ışının elde edildiği kaynak ortamına ve ışın karakteristiklerine göre farklı çeşitleri bulunmaktadır. Farklı tür lazerler ise amaca yönelik farklı uygulamalarda yer edinmiştir. Örneğin metallerin lazer ile kesim işlerinde günümüzde daha çok katı hal fiber ve gaz türü CO₂ lazer tipleri kullanılmaktadır. Tıp alanında argon lazeri daha çok göz hastalıklarında, CO₂ lazeri mikro cerrahide, Nd:YAG tümör tedavisi ve endoskopide tercih edilebilmektedir [1]. Şekil 2.2’de bazı lazer türleri, özellikleri ve uygulama alanları gösterilmektedir.

Lazer teknolojisi günümüzde otomotiv, gemicilik, havacılık, askeri ekipmanlar, enerji endüstrisi ve tıp gibi bir çok alanda kullanılmaktadır [4]. Bunlara ek olarak yarı iletken üretimi, elektronik, iletişim gibi uygulamalarda da yer edinmiştir [5]. 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. Teknolojiye bağlı olarak lazer uygulamaları da gelişmiş ve ilerlemesine yönelik yeni araştırmalar da devam etmektedir.

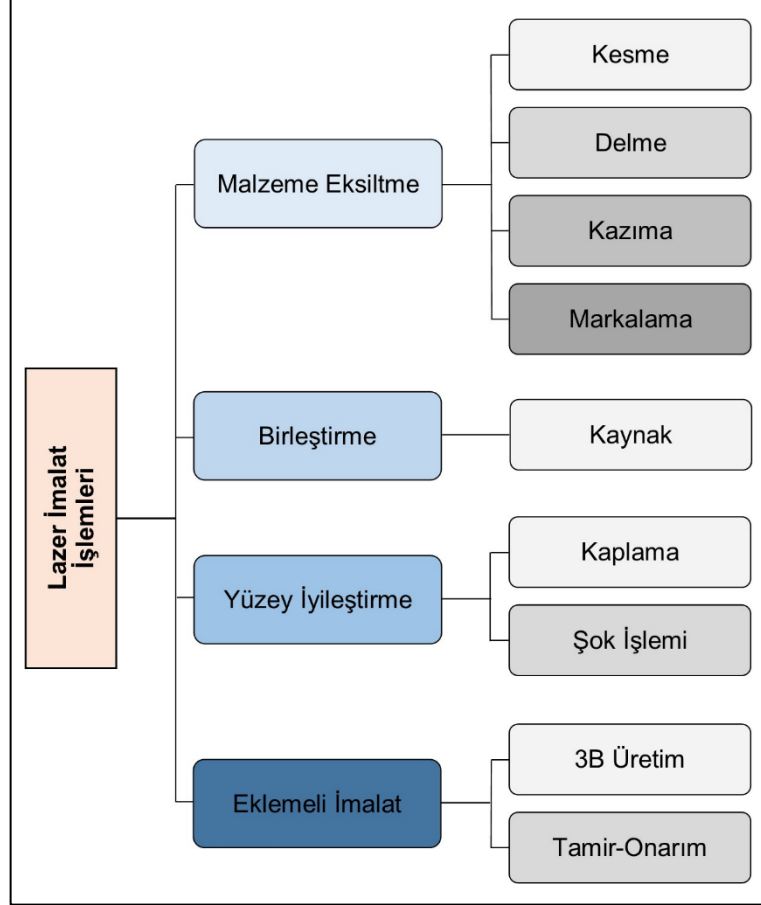
Lazer Türü	Lazer Tipi	Dalga Boyu (Nanometre)	Uygulamalar
Gaz	Helyum-Neon	Kırmızı/tek renk 632,8	<ul style="list-style-type: none"> Optik eksen ayarlaması Ayarlı mesafe ölçümü
	Argon İyon	Maviden yeşile çok yönlü	<ul style="list-style-type: none"> Optik eksen ayarlaması Lazer baskı Yüksek hız kamerası ışık kaynağı
	Karbon	Kızılötesi 10,6	<ul style="list-style-type: none"> Metal kaynağı Ergitme Malzeme işleme
	Excimer	Ultraviyole 126'dan 351'e	<ul style="list-style-type: none"> Polimer mikro işleme Akademik çalışmalar
	Azot	Ultraviyole 337	<ul style="list-style-type: none"> Düşük bütçeli UV lazer
Katı-Hal	Ruby	Kırmızı 694,3	<ul style="list-style-type: none"> Halografi
	YAG	Kırmızı 1064	<ul style="list-style-type: none"> Metal mikro işleme Akademik çalışmalar Yüksek hız kamerası ışık kaynağı
	Glass	Kızılötesi 1,06 dan 1,08'e	<ul style="list-style-type: none"> Halografi
	Nd (Nd: YAG, YLF, YV04, YAIO3)	1064 1047 1053	<ul style="list-style-type: none"> Optik eksen ayarlaması Lazer uyarlı mikro işleme Sahne gösterisi ışık kaynağı
	Titanyum: Safir	660'dan 1180'e	<ul style="list-style-type: none"> Değişken dalga boylu lazer
	Fiber	1050'den 1620'ye	<ul style="list-style-type: none"> Uzun mesafe iletişim Yüksek sıcaklık işlemleri
Metal	Helyum-Kadmiyum	Mavi Beyaz	<ul style="list-style-type: none"> Tıp Lazer baskı
	Bakır Buharı	Çift-Dalga boyu 511-578	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek hız kameraları Metal mikro işleme
	Altın Buharı	Kırmızı	<ul style="list-style-type: none"> Tıp Yüz tedavisi
Yarı İletken (Diyod)	Yarı iletken	Kırmızıdan kızılötesine	<ul style="list-style-type: none"> İletişim Katı hal lazer uyarlama ışık kaynağı Yüksek hız kamerası ışık kaynağı Metal işleme Lazer işaretçi optik alıcı ışık kaynağı
Sıvı	Boyar	300'den 1200'e	<ul style="list-style-type: none"> Değişken dalga boylu lazer

Şekil 2.2. Lazer türleri ve uygulama alanları [3].

2.2. LAZERLE YAPILAN İMALAT İŞLEMLERİ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle imalat endüstrisinde kullanılan farklı tür malzemelerin boyutsal doğruluğunun yüksek, işleme toleranslarının düşük ve ekonomik bir şekilde işlenmesi bir hedef olmuştur. Lazer kullanılarak işleme metodu geleneksel olanlarla kıyaslandığında kalite ve maliyetler açısından bu bağlamda öne

çıkılmaktadır. Lazer yöntemiyle kesim işlemi kolay olmayan gevrek ve yumuşak malzeme türleri temas gerçekleşmeden, hızlı ve hassasiyeti yüksek bir şekilde işlenebilmektedir [6]. Şekil 2.3'te lazerle yapılan imalat işlemleri şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Lazerle yapılan imalat işlemleri.

Lazerin imalat sanayisinde birçok farklı amaca yönelik kullanıldığı bilinmektedir. Özellikle bir malzemenin istenilen boyutlara getirilmesi için üzerinden fazla olan malzemenin uzaklaştırılarak eksiltme yapılması gerektiği durumlarda tercih edildiği görülmektedir. Bunların başında lazer ile kesim işlemi gelmektedir. Kalınlığı küçük ve büyük olan birçok farklı malzeme türü lazer kullanılarak tam ölçüsüne yakın bir şekilde kesilebilmektedir. Lazerin bilgisayar destekli tezgahlarda kullanılması sayesinde, parça üzerindeki boyutları ve konum doğruluğunun önemli olduğu durumlarda delik delme işlemi yapılabilmektedir. Ayrıca çoklu delik delme işleminde delikler arası mesafeler doğru ve tam bir şekilde ayarlanabilmektedir.

Oyma ve kazıma teknikleri de lazer imalat işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu şekilde parça üzerinde kanal açılabilen veya ince bir yol oluşturularak kısmi bir şekilde malzeme eksiltme işlemi yapılabilmektedir. Lazer gücünün işlenen parça türüne göre kesmeye göre daha düşük tutulduğu durumlarda parça üzerine markalama işlemi uygulanabilmektedir. Bilgisayar destekli kullanımı sayesinde lazerle iki boyutlu şekiller, resimler bir motif olarak, düşük miktarlarda malzeme kaldırmak suretiyle parçanın istenilen konumuna aktarılabilir.

Lazer ışınının imalat sanayinde bir diğer önemli kullanımı birleştirme üzerinedir. Metal [7] ve plastikler [8], lazer ışın kaynağı ile birleştirilebilmektedir. Lazerin temas olmadan uygulanması, gerekli şartlar sağlandığı takdirde ulaşılması zor kısımların kaynak işleminde fayda sağlayabilmektedir.

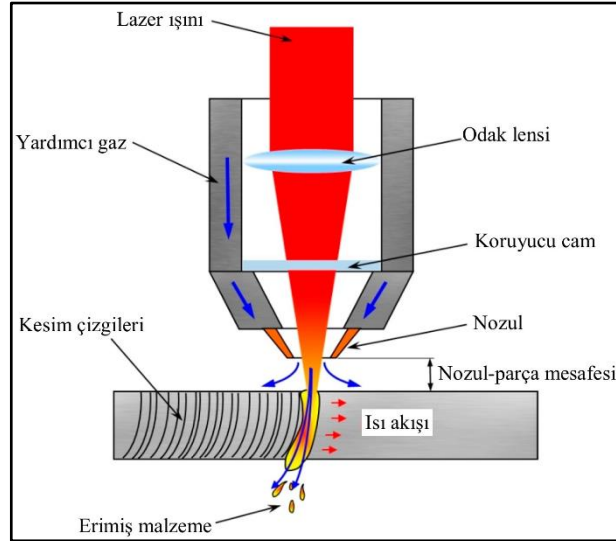
Malzeme yüzey özelliklerini iyileştirmek için lazer yöntemleri kullanılabilir. Lazer parametrelerinin ayarlanması ile metalik yüzeylerin sertliği şok bilyalama ile artırılabilir. Bununla beraber yüzeylere alaşımlama, temizleme ve kaplama işlemleri uygulanabilir.

Günümüzde lazer ışının kullanılarak yapılan en önemli imalat işlemlerinde birisi de eklemeli imalattır (Eİ). Toz veya tel esaslı hammaddeler lazer ışın kafasının önceden belirlenen yol ile aksel hareketiyle kısmi sinterleme/ergitme yapılarak karmaşık şekilli parçaların üretimine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemle ayrıca tamir onarım işlemleri de yapılabilir. Lazer esasına dayanan Eİ tekniği farklı birçok uygulama için önemli bir yer edinmiştir.

2.2.1. Malzeme Eksiltme

Son zamanlarda lazer ışını ile kesme işlemi farklı sac malzemelerin kesilmesinde endüstride en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir [9]. Lazer ile kesme işlemi yüksek hızlı, doğru ölçüde işlem ve düşük maliyet gibi nedenlerden dolayı bir çok imalat sanayinde geniş bir uygulama alanı bulmaktadır [10]. Lazer kesme işlemi ile geniş aralıkta sertlik ve yoğunluk değerlerine sahip malzemeler hızlı ve pürüzsüz bir

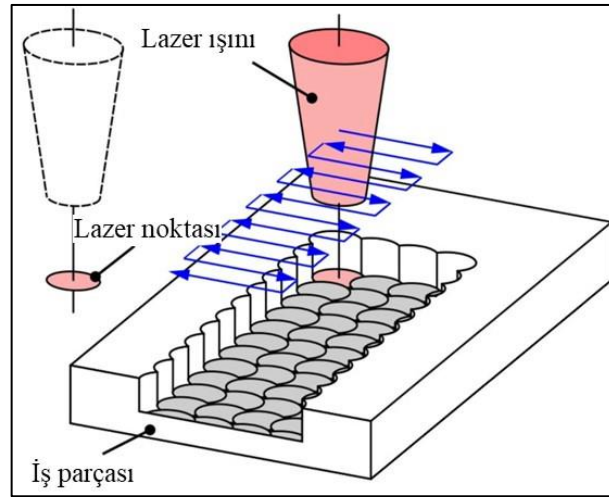
şekilde kesilebilmektedir [11]. Metal, seramik ve kompozitler bunlardan bazılarıdır [9]. Günümüzde ekipman maliyetlerinin düşmesi ve özellikle CO₂ lazer teknolojisinin gelişmesiyle kağıt malzemelerinin lazerle işlenmesi de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [12]. Buna ek olarak kumaş, cam, deri, ahşap, mermer, köpük, kauçuk gibi malzemeler lazerle işlenebilmektedir [13]. Yakın zamanda beton malzemenin lazerle kesilebilme durumu da bir araştırma konusu olmuştur [14]. Lazer ile kesilen parçalar genellikle daha sonra ekstradan bir işleme gerek duymaksızın, kesim işlemi tamamlandıktan hemen sonra kullanılabilir [15]. Günümüzde 30 kW ve daha yüksek güçte bulunabilen lazer kesim makinalarıyla 100 mm kalınlığında saclar kesilebilmektedir [16]. Şekil 2.4'te lazer kesim işleminin şematik prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Lazer kesimin şematik gösterimi [9].

Lazer ile delme havacılık sanayisinde (soğutucu delikleri), otomobil endüstrisinde (enjeksiyon nozulu) ve elektrik-elektronik devrelerinde, geleneksel yöntemlere göre daha verimli olmasından dolayı yaygın bir kullanım alanı bulunmaktadır. En büyük avantajlarından birisi de iletken ve iletken olmayan malzemelerin birden çok malzeme katmanında delme yeteneğidir. Örnek bir işlem olarak lazer delme ile bir parça üzerinde saniyede 450 adet delik açılabilirdiği söylenebilmektedir [17].

Lazer kazıma, kalıcı, derin işaretleri kazımak için malzemeleri buharlaştıran bir işlemdir. Lazer ışını, malzemenin yüzeyinden katmanları kaldırarak işaretleri kesen bir keski görevi görür. Lazer, buharlaşma için gereken yüksek ısıyı üretmek için büyük enerji seviyeleriyle lokalize bölgelere çarpar. Lazer kazıma teknolojisi, tipik olarak, çeşitli aşınma veya yüzey işlemlerine maruz kalacak metal iş parçalarını kazımak için kullanılır. Süblimleşmeyi elde etmek için, lazer kazıma sistemi, malzemenin yüzeyinin milisaniyeler içinde buharlaşma sıcaklığına ulaşmasına izin verecek kadar yeterli enerji üretmelidir. Süblimasyon için gereken aşırı sıcaklıklar göz önüne alındığında, lazer kazıma makineleri oldukça güçlü araçlardır [18].

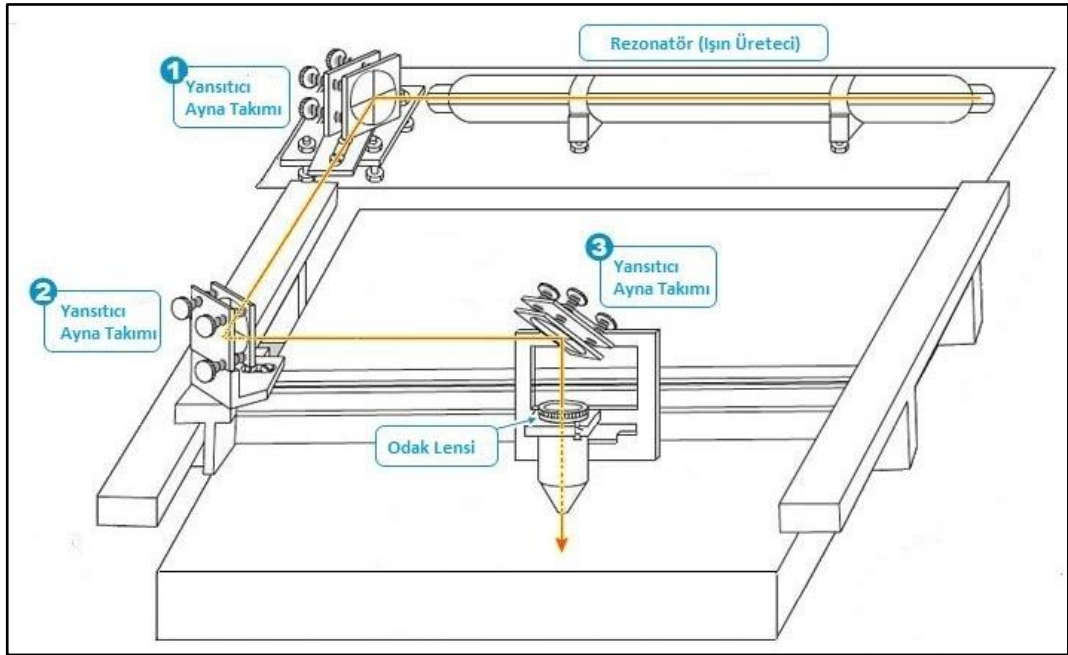


Şekil 2.5. Lazerle yapılan kazıma işlemi [19].

Lazer markalamada bir lazer kaynağından çıkan ışın ile parça yüzeyinin üzerinde iz bırakılır. Markalama işlemin süresince ışınla temas eden kısım yanma suretiyle renk değiştirir veya buharlaşarak malzeme yüzeyinden uzaklaşır. İz derinliği lazerin gücüne ve işleme hızına bağlı değişebilmektedir. Lazer ışınının markalama yapılan kısımdan tekrarlı bir şekilde geçirilmesiyle iz derinliği artırılabilir [20]. Lazer markalama, reklamcılık, etiketleme, tekstil, elektronik ürün, medikal ürün, mutfak ürünleri, mücevherat, bijuteri ve hediyelik eşya gibi birçok sektörde kullanım alanı bulabilmektedir [21].

2.2.1.1. CO₂ Lazer Kesim

Tez çalışması kapsamında üretilen makinede CO₂ gaz esaslı lazer kullanılacaktır. CO₂ lazerinin yüksek seviyeli gücünden dolayı kesme ve kaynak gibi sanayi işlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. CO₂ lazeri aynı zamanda cerrahi işlemler içinde çok kullanışlıdır [8]. Bu lazer şu şekilde çalışmaktadır: CO₂ gazının içerisinde yüksek gerilimde elektrik akımı geçirilir ve bu sayede yüksek yoğunlukta ışık demeti elde edilir. Bu ışık demeti rezonatör olarak adlandırılan kısımda gerçekleşir. Bu ışık demeti optik aynalar aracılığı ile kesme kafasına yansıtılır. Kesime yardımcı olması amacıyla yüksek basınçta gaz, kesilen malzemenin cinsine göre püskürtülür [22]. CO₂ lazeri azot, helyum, karbondioksit, ksenon veya bazı durumlarda su buharı ve hidrojen karışımlarını içeren gaz karışımlarından oluşur [23]. Lazer kesim makinesinin tipik çalışma prensibi Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Lazer makinesi çalışma prensibi.

CO₂ lazer kızılötesi bölgede 10,6 µm dalga boyuna sahip olup, ışın gücü fazla, verimliliği iyi ve ışın kalitesi yüksektir. İnce sacların yüksek hızda kesilmesi işlemi için çok uygundur [24]. CO₂ Lazeri; malzeme işleme için en yüksek ortalama gücü sunan lazer tiplerindedir. Diğerleriyle karşılaştırıldığında CO₂ lazer türü birçok

endüstriyel uygulamada ve seri üretimde farklı malzemelerin işlenmesini mümkün kılar [25]. Endüstriyel lazer türlerinin en güçlüsü olan CO₂ lazer ile genel olarak kontur kesim ve derin nüfuziyet kaynak işlemleri uygulanır [11]. CO₂ lazer kesim makineleri geniş kullanım alanı, doğru ölçülerde kesim, yüksek hız, güvenli ve sağlıklı ve düşük maliyet gibi özelliklerinden dolayı tercih edilebilirler [26].

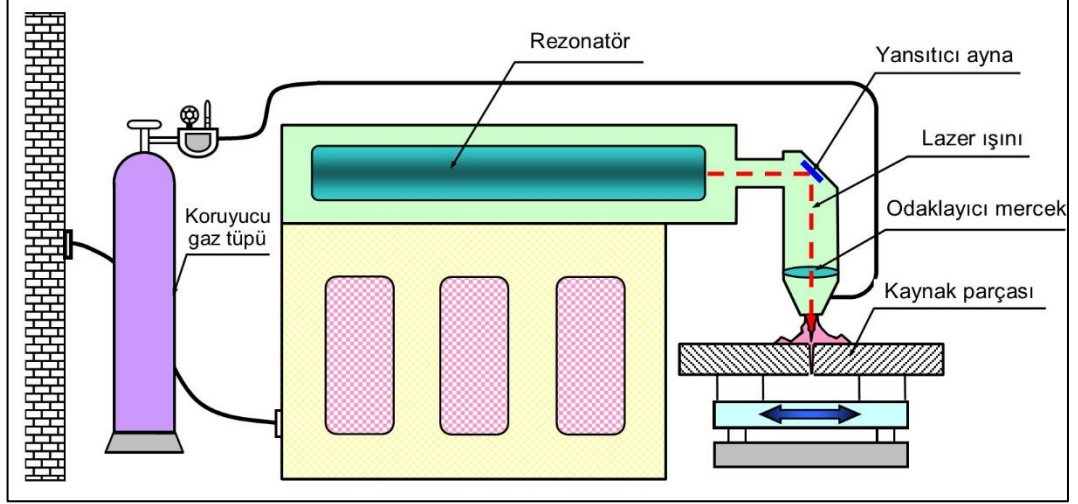
CO₂ lazer kesimin genel olarak avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 0,025 mm kadar incelikte ve esnek malzemeler çarpılma olmadan kesilebilir.
- Kesim yapılan kenarlar nispeten pürüzsüz ve yaklaşık olarak yüzeye diktir.
- Kesim sonrası şekillendirme veya temizleme işlemlerine gereksinim duyulmaz.
- Dar bir kesim genişliği ve ısıdan etkilenmiş bölgelerden dolayı kesme modellerine yakın olarak kesme işlemi yapılabilir ve böylece malzeme tasarrufu sağlanmış olur.
- Lazer ile kesme işlemi kolay kontrol edilebilir ve otomatik ekipmanlarla uygulanabilir.
- Çoğu kesme işlemleri için fikstülemeye gerek duyulmaz.
- Pres zımbası ve kesme işlemlerinde kullanılan aparatlara ihtiyaç duyulmadığından aşınma sorunları gözlemlenmez.
- Köpük kauçuk gibi çok yumuşak malzemeler ve seramik gibi çok sert malzemeler bu yöntemle kesilebilir.
- Kompozit malzemeler kenarlarda yırtılma olmadan kesilebilir.
- Su jeti ve plazma kesim işlemlerine göre önemli derecede düşük gürültüye sahiptirler [27].

2.2.2. Birleştirme

Lazer ışını, birleştirme maksadıyla kaynaklı imalat işlemlerinde kullanılabilir. Uygun parametreler dahilinde birçok farklı malzeme lazer ışın kaynağı ile başarılı bir şekilde birleştirilebilir. Kaynak işlemleri için 1 kW - 10 kW arasında lazer gücüne sahip makineler tercih edilmektedir [28]. Lazer ışın kaynağında genel olarak

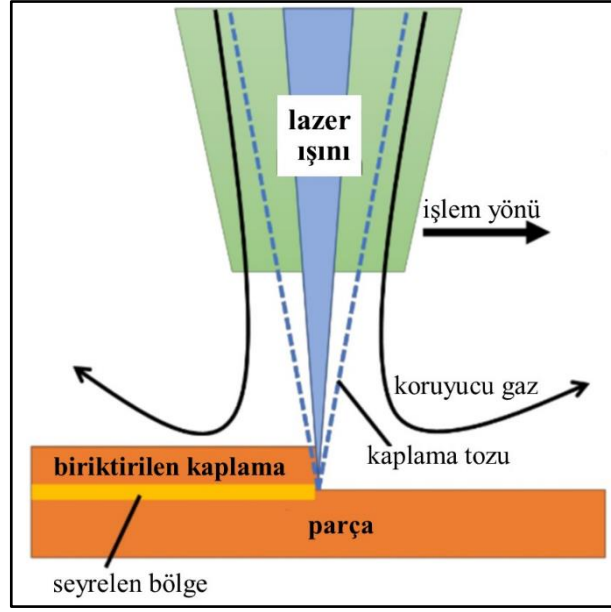
CO₂ ve Nd:YAG lazer türleri ile kullanılmaktadır. Punta ve nüfuziyet kaynağı olarak iki farklı şekilde uygulanabilmektedir [11].



Şekil 2.7. Lazer ışını kaynak yöntemi [11].

2.2.3. Yüzey İyileştirme

Yüksek güç seviyelerinde lazer kaynağı kullanılarak 0,05 mm-2 mm boyutlarında ince bir tabaka ile malzeme üzerine kaplama yapılabilmektedir. Kaplama yapılacak malzeme yüksek miktarda ergime sıcaklığına sahip olsa bile lazer ile ergitilebilir, tel/toz malzemesi lazer ile birlikte kullanılarak üzerleri kaplanabilmektedir [29]. Lazer ile kaplamanın en önemli avantajlarından birisi güçlü ara yüzey bağı oluşturmasıdır. Bununla beraber, serbest biçim yüzeylere işlem yapabilme, yüzey kalitelerini bölgesel olarak değiştirebilme ve kapsamlı malzeme grubuna hitap edebilme gibi diğer avantajlarından dolayı lazer kaplama çok yönlü bir imalat işlemi tekniği olmuştur [17]. Kaplama işlemlerinden sonra yüzey özellikleri iyileştirilmiş yapılar elde edilebilmektedir. Şekil 2.8'de lazer ile yapılan kaplama işlemi şematik olarak gösterilmiştir.

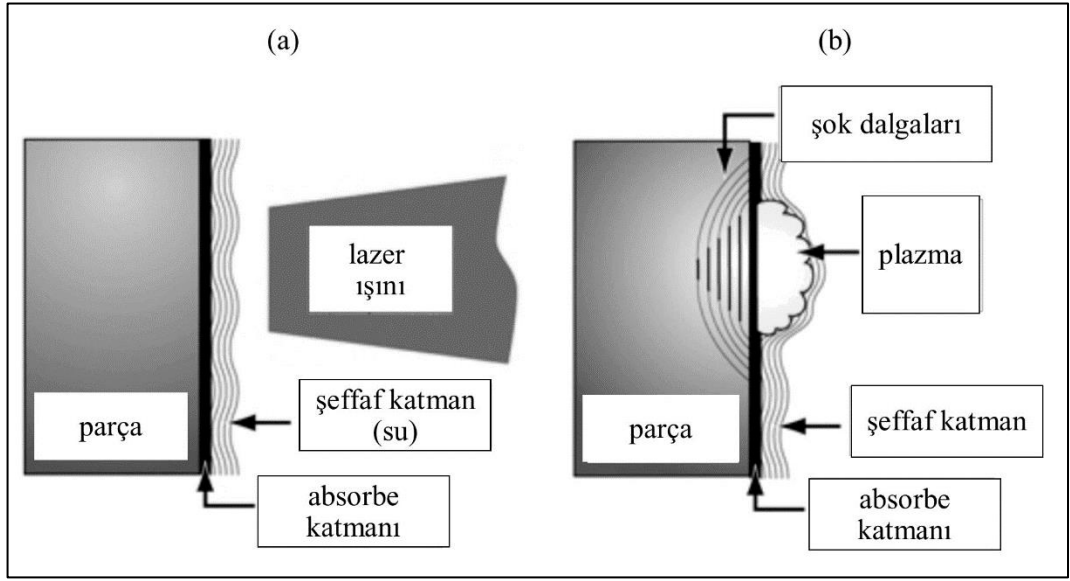


Şekil 2.8. Lazerle kaplama işlemi [30].

Lazer şok işleme, malzemelerin yüzey tabakasını güçlendirmenin, pürüzlendirmenin yanı sıra temizleme için nispeten yeni ve gelecek vaat eden bir yüzey işleme teknolojisidir. Potansiyel uygulamaları, havacılık ve otomotiv endüstrilerine yöneliktir. Metalik bir yüzeyi çok kısa bir sürede (birkaç nanosaniye) ışınlamak için yüksek enerjili darbeli bir lazer kullanılır. Metal yüzey yüksek enerjili lazer darbesi ile ışımlandığında, malzemenin yüzeyi ısıtılır, buharlaştırılır ve bir plazma oluşturur. Bu plazma genişledikçe, metale yoğun bir şok dalgası yayılır. Şok dalgaları, şu metalurjik etkilerden birini veya bunların kombinasyonunu üretebilir: Nokta kusurlarının oluşumu, dislokasyon, ikizler, faz dönüşümleri ve çökeltme [31]. Lazer şok işlemi ile malzemenin yorulma, aşınma direnci ve gerilmeli yorulma direnci gibi mekanik özellikleri iyileştirilebilir [32].

Şekil 2.9' da lazer şok işleminin prensibi şematik olarak gösterilmiştir. İşlenen malzemenin yüzeyi, lazer şok işleminden önce lazer enerjisini soğuran bir tabaka olarak siyah bir boya ile ve şeffaf bir tabaka (örneğin su veya cam) ile kaplanabilir (Şekil 2.9 a). Lazer ışını kaplanmış numuneye çarptığında, lazer ışını enerjisinin emilmesi nedeniyle siyah boya ısıtılır ve anında buharlaşır. Buhar, kalan lazer ışını radyasyonunu emer ve plazma üretir (Şekil 2.9 b). Hızla genişleyen plazma, malzemeye bir şok dalgası olarak yayılan yüksek bir yüzey basıncı oluşturur. Şok

dalgası, yüzeyin altına nüfuz eden ve işlenen malzemenin yüzeyini güçlendiren artık basma gerilmesi indükleyebilir. Lazer ışınına karşı şeffaf bir malzeme kullanılarak bu sıcak plazmanın genişmesi, doğrudan ablasyonda meydana gelen serbest genişlemeye kıyasla geciktirilebilir ve böylece basıncın büyüklüğü kontrol edilebilir. Bu etki, mikroyapısal değişikliklere neden olabilir, yüksek dislokasyon yoğunluğuna neden olabilir, malzemenin pürüzlülük yüzeyi üzerinde etki yaratabilir ve ayrıca malzemenin işlenmiş yüzeyine bir basma artık gerilmeleri getirebilir [33].

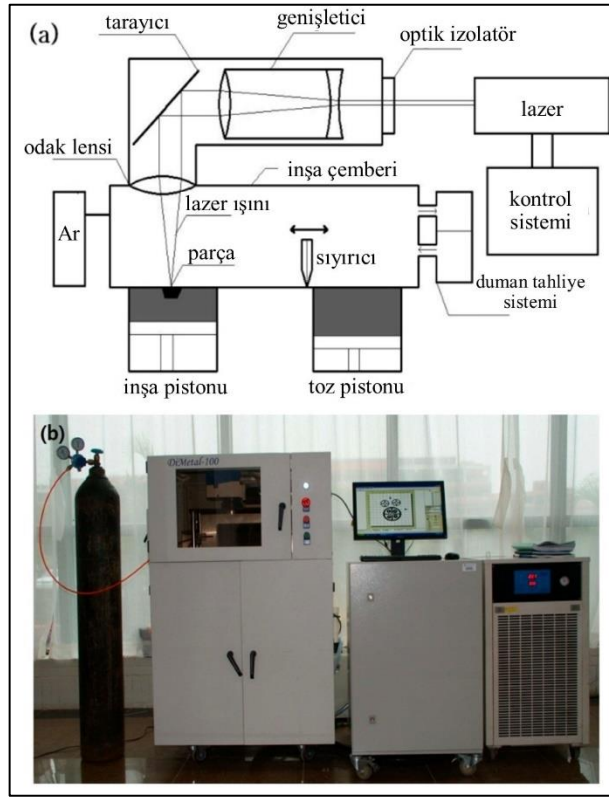


Şekil 2.9. Lazer şok işlemi [33].

2.2.4. Eklemeli İmalat (Eİ)

Lazer teknolojisinin gelişmesi Eİ işlemlerinde kullanılabilirliğine olanak sağlamıştır. Günümüzde toz esasına dayanan lazer ile 3B üretim en yaygın kullanılan Eİ yöntemi olmuştur [34]. Şekil 2.10 a'da lazer ile gerçekleştirilen Eİ işleminin şematik olarak prensibi, b'de ise Eİ makinesinin resmi gösterilmektedir. Seçici lazer sinterleme (SLS) ve seçici lazer ergitme (SLE) yöntemleri lazer ve toz esaslı Eİ yönteminin en çok bilinen iki uygulamasıdır. İkisi arasındaki tek fark SLS işleminde tozların kısmi olarak, diğerinde ise tamamen ergimesi şeklinde olmasıdır. SLS yöntemiyle düşük yoğunluk ve zayıf mekanik özellikler görülebilirken, SLE metodunda daha yoğun bir malzeme ve daha iyi mekanik özellikler elde edilebilmektedir [30].

Şekil 2.10'da gösterildiği gibi üretim işlemi, alt katmanın monte edilmiş bir piston tarafından aşağı doğru hareket ettirilmesi ve bir katman kalınlığında boşluk bırakılarak tekrar devam etmesi şeklinde gerçekleşir. Yeni bir katman üretiminde, bir toz dağıtıcısı belirli bir miktarda tozu eşit şekilde yayar. XY eksenindeki tarama aynaları ve odak lensi tarafından kontrol edilen ve yönlendirilen lazer ışını tozu eriterek ilk katmanı oluşturur. Daha sonra, alt katman, bir sonraki katmanın oluşumu için başka bir katman kalınlığına doğru aşağı doğru hareket eder. Tasarlanan parça, bahsedilen bu adımların tekrarlanması suretiyle üretilir [30].



Şekil 2.10. Lazerle gerçekleştirilen Eİ işlemi ve makinası [35].

Lazer Eİ metoduna dayanan lazer onarım teknolojisi, zamandan ve ekonomik maliyetten tasarruf sağlamak için hasarlı bileşenlerin onarımında kullanılmaktadır. Lazerle tamir edilen bileşenlerin mikroyapısı ve mekanik özellikleri orijinal dövme parçalardan farklı olabilmektedir [36]. Ancak, bir onarım yöntemi olarak kullanılan lazer işlemiyle, daha yüksek geometrik doğruluk ve daha iyi yüzey kalitesi elde edebilir [37].

2.3. LAZER KESİM PARAMETRELERİ

Lazer kesim kullanan üreticilerin özel kaygısı, yüksek güçlü lazer kesim işlemiyle üretilen yüksek kaliteli bileşenlerle üretkenliği en üst düzeye çıkarmaktır. Ancak, ürün kalitesini ve verimliliği artırmak için lazer parametrelerinin malzeme üzerindeki etkileri önemli konular olarak düşünülmelidir. Yüksek hassasiyet ve kaliteli prosesi sürdürmek için prosese uygulanan lazer parametreleri düzgün seçilmelidir, ancak parametrelerin etkisini tahmin etmek zordur. Ayrıca birçok üretici, prosese uygun lazer parametresini belirlemek için çok fazla zaman ve çaba harcamaktadır [38]. Bu bakımdan lazer kesim parametrelerinin etkileri bilmek işlemi gerçekleştirme ve sonuçlar açısından önem taşımaktadır. Aşağıda lazer kesim parametreleri ve etkileri açıklanmıştır.

2.3.1. Kesme Hızı

Kesme hızı lazer kesim kafasının eksen hareketi boyunca ilerleme hızı olarak tanımlanabilmektedir. Düşük kesme hızı ısının tesir ettiği alandaki ısı girdisini arttıracaktır. Kalın parçaların işlenmesinde bu bakımdan düşük kesme hızları kullanılabilir. Kesme hızının düşük olması durumunda ise kesim kalitesi etkilenebilmektedir. Bu bakımdan kesme hızı malzeme cinsine ve kalınlığına göre uygun seçilmelidir.

2.3.2. Lazer Gücü

Lazer makinelerinin kapasitesi genellikle üretebildiği lazer ışını gücüne dayanarak nitelendirilir. Uygulama esnasında lazer gücü kesme hızına bağlı değişiklik gösterebilir. İşlem yapılacak olan malzeme kalınlığı, türü ve kaplama özellikleri gibi etkenler lazer gücünün farklı olarak ayarlanmasını gerektirebilir. Örneğin kalınlığı az olan parça ile fazla olan parçada kullanılacak lazer gücü aynı olmayacaktır. Yetersiz güçte kesme işlemi gerçekleşemez [39].

2.3.3. Odak apı

Odak apı küıldüke lazer ışınının genişliği daralmaktadır. Odak apı kerf genişliğini etkilemektedir. Kesim kafasında bulunan merceğin mesafesi değiştirilerek odak yüksekliği ayarı değiştirilebilir. Lazer kesme esnasında yüksek hızlara çıkabilmek ve malzeme yüzeyine yük güç iletebilmek için odak çapı mümkün mertebe en az seçilmesi gerekmektedir [39] .

2.3.4. Yardımcı Gaz

Kesim işleminde kullanılan gaz türü ve basıncı kesme işlemini etkileyen unsurlardır. Malzeme cinsine göre uygun gaz seçilmesi gereklidir. Asal gaz türleri ergiyen metalin kesme bölgesinden atılmasını sağlar. Oksijen türü gazlar ekzotermik reaksiyona girer. Gaz akışıyla optik sistemleri ergiyik sıçrantılarına karşı korunmaktadır. Yardımcı gazlar aynı zamanda dar bir ITAB oluşturmak için soğuma sağlamaktadırlar [39].

2.3.5. Nozul-Parça Mesafesi

Lazer kesim için iş parçası yüzeyi ile nozul arasındaki boşluk, durma mesafesi olarak da adlandırılır. Bu mesafe, gazın akış modelinden büyük ölçüde etkilenir. Dar bir durma mesafesi, lens hasarının yayılma riskinden bağımsız olarak istikrarlı bir kesme ortamı sağlar [40].

2.3.6. Nozul apı

Nozul, gazın lazer ışını ile eş eksenli olmasını sağlayarak kesme gazını kesme bölgesine iletir ve eriyik havuzundaki türbülansı en aza indirmek için iş parçası yüzeyindeki basıncı stabilize eder. Nozul tasarımı, özellikle deliğın tasarımı, kesme gazı jetinin şeklini ve dolayısıyla kesimin kalitesini belirler. 0,8 mm ile 3 mm arasında değişen nozul çapı malzeme ve plaka kalınlığına göre seçilmektedir. Odaklanmış lazer ışınının küçük boyutu nedeniyle, lazerle kesme sırasında oluşturulan kesim çentiği genellikle nozul çapından daha küçüktür. Sonuç olarak, nozul tarafından oluşturulan

gaz jetinin yalnızca bir kısmı, yüksek bir gaz basıncının kullanılmasını gerektiren yarığa nüfuz eder [41].

2.3.7. Malzeme Özellikleri

Lazer, yumuşak çelik, titanyum ve paslanmaz çelik gibi metallerin yanı sıra seramik, cam, ahşap, kağıt ve plastik gibi metalik olmayan malzemeleri içeren çok çeşitli mühendislik malzemelerini kesmek için kullanılır. Metallerin kesilmesi, malzemeyi eritmek için daha yüksek güç yoğunlukları gerektirir, ancak metal olmayanların kesilmesi için daha düşük güç yoğunlukları gerekir. Metal yüzeye çarpan odaklanmış lazer radyasyonu, metal yüzey tarafından kısmen emilir ve kısmen yansıtılır. Metal yüzeyin yansıtıcılığı tarafından belirlenen, emilen lazer gücünün fraksiyonu, kısmen malzemenin optik özelliklerinin sıcaklığa bağlılığından ve kısmen de yüzey görünümündeki, metalürjik fazdaki değişikliklerden dolayı malzeme ısındıkça değişir. Malzemenin termal ve fiziksel özellikleri, doğrudan lazer-malzeme kombinasyonunun yanı sıra proses parametrelerinin seçilmesinde önemlidir [41].

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Literatür çalışmaları kapsamında lazerle yapılan imalat işlemlerine yönelik çalışmalar incelenmiştir. Özellikle lazer kazıma ve kesme işlemleri üzerine yapılanlara yoğunlaşmıştır. Bununla beraber ulaşılabilirlik dahilinde lazer makine tasarımı ve ürün geliştirmeye yönelik gerçekleştirilenlerde araştırılmıştır. Literatürde incelenen çalışmalarda yapılanlar aşağıda özetlenmiştir.

Yin vd. [42], çok eksenli lazer kazıma makinelerinin, karmaşık yüzey içeren parçaların hassas işlenmesinde yaygın olarak kullanıldığını belirtmişlerdir. Yüksek kalitede işleme yapılabilmede ise kullanılan makine kinematik model doğruluğunun önemli bir etken olduğuna değinmişlerdir. Bu bakımdan araştırmalarında çok eksenli lazer kazıma makine aparatları için parametre ölçümü ve kinematik analiz üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Wang vd. [43], STM32 kontrolcüsüne dayalı çalışan bir mikro lazer kazıma makinesi tasarımı ve uygulaması üzerine çalışma yürütmüşlerdir. Ürettikleri makineye geleneksel bir lazer oyma makinesinin sahip olduğu işleme özelliklerini, düşük maliyet, yüksek hassasiyet ve kararlı yapı olması niteliğini kazandırmışlardır. Yaklaşık 0,01 mm hassasiyetinde 80 mm x 80 mm gravür alanında işlem yapabilen karton, mantar pano, deri gibi malzemelere oyma işlemi uygulayabilen bir makine üretmişlerdir.

Zhang vd. [44], çalışmalarında kablosuz lazer kazıma makinesinin tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Tasarladıkları sistem kablosuz bağlantı ile veri iletmekte ve bir tarayıcı kontrol yazılımı olarak kullanılmaktadır. Bu şekilde zahmetli olan donanım bağlantısı ve sürücü yazılımı kurulumu ortadan kalkmaktadır. Tasarım NC (numerical control: sayısal kontrol) teknolojisi ve görüntü işleme teknolojisinin kapsamlı bir

şekilde kullanarak oyma işleminin doğru bir şekilde gerçekleştirebilmektedir. Uyguladıkları tasarıma ölçeklendirilebilme özelliği sağlamışlar lazer modülünün ekstrüzyon kafasına dönüştürülmesiyle 3B yazıcı olma özelliği kazandırılabilceğini belirtmişlerdir.

Hao ve Chen [45], lazer markalama makinasının modelleme optimizasyon tasarımı üzerine bir çalışma gerçekleştirmişler bu işlemi bir yazılımla 3B tasarım yaparak ve render işlemi uygulayarak gerçekleştirmişlerdir. Tasarım makinenin görünüm optimizasyonu ve işlevsel entegrasyonuna odaklanmaktadır. Uyguladıkları tasarımda ürünün görünümü, insan-makine ilişkisi ve renk iyileştirilmiştir. Çalışmalarının lazer markalama makinesi tasarımı için bir referans kaynağı olabileceğini belirtmişlerdir.

León vd. [46], CNC lazer ile köpük malzeme kesimi yapabilen bir tasarım uygulamışlardır. Lazer gücünün uygulanması ve kesme hızının değiştirilmesine dayanan bu tasarımla, kalitenin artırılabilceği, üretim maliyetlerinin azaltılabilceği ve parça imalatının hızlı ve doğru bir şekilde yapılabilceği belirtilmiştir.

Huang vd. [47], lazer kesim makineleri için lazer esaslı iki boyutlu konturlama hatalarını azaltabilen bir sistemin geliştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Dinamik konturlama hatası makine takımlarıyla ilişkili besleme ve sürüş sisteminin komut eğrilerinin takibince uygulanan gerçek işleme yoluyla komut verilen yol arasındaki fark olarak tanımlanabilmektedir. Bu hata, dış yükler, sürtünme, atalet momenti, besleme hızı, hız kontrolü ve servo kontrolü gibi birçok faktörden meydana gelebilmektedir. Yazarlar çalışmalarında kontur hatalarını azaltmak için sabit frekanslı lazer diyot ve yüksek doğrulukta temassız ölçüm yapabilen konum sensörü kullanan bir optik metod benimsemişlerdir. Bu metotla konturlama doğruluğunda yüksek ilerleme hızlarında % 80'in üzerinde bir iyileşme bulmuşlardır.

Genyu vd. [48], çalışmalarında lazer kullanarak dönen taşlama diskinde teğetsel olarak V şeklinde kanal açma üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu işlemi aynı zamanda görüntü işleme teknolojisi kullanarak desteklemişler bu şekilde ölçü hatalarını azaltmak istemişlerdir. Çalışmaları sonucunda makine izleme metoduyla

derinlik hatası yaklaşık % 50, genişlik hatası ise önemli derecede azaltılmıştır. Yazarlar ayrıca deneysel çalışmalar sonucunda geometrik profili algılayan sistem ile verimli ve hızlı bir şekilde boyutsal doğruluğu yüksek işlem yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Martinov vd. [49], lazer ile hibrit çalışan CNC sisteminin tasarım ve konsept yönlerini örneklendiren bir çalışma yürütmüşlerdir. Çok amaçlı işler için kullanılacak hibrit sistem ile imalat ekipmanlarının azaltılabileceği ve iş parçasını yeniden fikstürleme gerekliliğini ortadan kaldırabileceği belirtilmiştir. Yazarlar bu şekilde verimliliği yüksek imalat işlemlerinin gerçekleştirilebileceğini vurgulamışlardır.

Tez konusu lazer kesim tezgahının imalatı üzerine yoğunlaşmış olsa da lazerin kullanımı ve lazer kesim konularında geçmişte yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda yüksek oranda araştırmacıların üretici firmalardan satın aldıkları veya temin ettikleri lazer kesim tezgahları kullanılmış ve farklı malzemelerle deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Örneğin Zhou ve Mahdavian [50], çalışmalarında farklı tür metalik olmayan malzemelerin kesilmesinde 60 W'lık düşük güçte bir CO₂ lazerin özelliklerini incelemişlerdir. Plastik, ahşap, mdf ve kauçuk gibi çeşitli malzemeler iş parçası üzerinde farklı lazer gücü ve kesme hızlarıyla kesilmiştir. Çalışma lazer kesim ile metalik olmayan farklı tür malzemelerin kesilebileceğinin gösterilmesine örnek teşkil etmektedir.

Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği başka bir çalışmada Manjoth vd. [51], lazer kesim işleme parametrelerinin kompozit malzemeler için yüzey pürüzlülüğü ve hacimsel malzeme çıkarma oranının boyutsal doğruluğu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrelerin sırasıyla kesme hızı (% 56,38), duruş mesafesi (% 41,03) ve gaz basıncı (% 2,6) olduğunu belirtmişlerdir. Hacimsel malzeme çıkarımı için en önemli parametrelerin sırasıyla gaz basıncı (% 42,32), kesme hızı (% 33,60) ve durma mesafesi (% 24,06) olduğunu ifade etmişlerdir. Boyutsal hata için ise, en önemli parametrelerin sırasıyla duruş mesafesi (% 53,34), kesme hızı (% 34,12) ve gaz basıncı (% 12,53) olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Diğer bir çalışmada Durukan vd. [52], 4400 watt gücünde CO₂ lazer kesim tezgahıyla 4 ve 6 mm kalınlığında 304 paslanmaz çelik levha malzemesini farklı

geometrik şekillerde kesmiş, lazer kesme hızı ve lazer ışını gücünün kesim işlemine olan etkisini incelemişlerdir.

Kotadiya vd. [10], lazer gücü, kesme hızı ve gaz basıncı gibi lazer kesim parametrelerini, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve üst çentik genişliğini göz önüne alarak optimize etmişlerdir. Deneysel parametrelerin analizi ve optimizasyonu için farklı bir deney tasarım tekniğini uygulamışlar ve lazer gücünün, kesme hızı ve gaz basıncına göre daha etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Bahsedilen bu çalışmalarla: Lazer kesim işleminde lazer gücü, kesme hızı, gaz basıncı gibi parametrelerin üretilen parçaları doğrudan etkilediği ve lazer kesim işlemi için önemli parametreler olduğu anlaşılmıştır.

Lazer ve su jeti ile kesimin kıyaslamasının bulunduğu bir diğer çalışmada; Hock vd. [53], lazer ve su jeti kullanarak paslanmaz çelik ve pirinç malzemeler üzerinde karmaşık geometrik şekillerin kesimini yapmışlardır. Su jeti ile yapılan kesme işleminde küçük çentik genişliği ile cürumsuz kesim yapılırken kesim bölgesinin ısıdan etkilenmediği, lazer ile kesim yapıldığında ise küçük miktarda çapak oluşumu ve değişen çentik genişliği ile kesim bölgesinin ısıdan etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Su jetiyle kesimin lazer kesime göre daha temiz ve cürumsuz olmasına karşın aynı parametrelere sahip kesme işlemi için gereken sürenin önemli ölçüde daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Rajaram vd. [54], 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. Çalışmaları sonucunda lazer gücünün kerf genişliği ve ITAB boyutunda önemli bir etken olduğunu, ilerleme hızının ise lazer gücünden sonra etkileyen ikincil parametre olduğu bulmuşlardır. Düşük ilerleme hızında daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri ve daha az kesme çizgi sıklığı elde etmişlerdir.

Choudhury ve Chuan [55] çalışmalarında, cam elyaf destekli plastik kompozitlerin geleneksel yöntemler işlenmesinin zor olduğundan bahsetmiştir. Bu zorluğu frezeleme

esnasında takımın sürekli olarak işlemeye tepkisi büyük ölçüde değişen matris ve fiber malzemeleriyle karşılaşması durumu şeklinde örneklendirmiştir. Yazarlar temassız malzeme kaldırma niteliğinin olduğu lazer ile işleminin bir alternatif olduğunu belirterek, çalışmalarında tek ve çift pasolu kesim prensibiyle cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzemenin lazer kesim kalitesini deneysel olarak araştırmışlardır. Kesme işlemlerinde nozul çapı, malzeme kalınlığı ve kesme hızı değiştirilmiş bu parametrelerin kesme yüzeyi pürüzlülüğü ve kerf genişliğine olan etkileri incelenmiştir. Çalışmaları sonucunda çift pasolu işlemde daha düşük kerf genişliği elde edilmiş, tek pasoluda ise daha iyi yüzey bitirme sağlanmıştır. Nozul çapının kerf genişliği ve yüzey pürüzlülüğünde önemli bir etken olduğunu bulmuşlar daha küçük nozul çapında daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Günümüzde lazer kullanılarak yapılan eklemeli imalat işleminin giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Froend vd. [56], fiber lazer ışının eğritme gücünü ve tel sürme tertibatı kullanarak 5087 alüminyum alaşımının (AlMg4.5 MnZr) tel bazlı lazer ile metal birikimi için proses geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda ön ısıtmanın gözeneklilik ve bozulmayı azaltma açısından faydalı olduğunu belirtmişlerdir. Eklemeli imalat ile ilgili yapılan başka bir çalışmada; Choi vd. [57], CO₂ lazer kaynağı ile toz yerine tel kullanarak daha yüksek birikim oranı sağlamışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmada lazer gücü, kaynak hızı vb. işlem parametrelerinin mikro yapı, sertlik ve gerilme mukavemeti üzerine olan etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, toz yerine özlü tel kullanıldığında malzeme sarfiyatının azaldığı ve birikim oranının arttığını rapor etmişlerdir. Sun vd. [37], 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.

Riveiro vd. [58], tarafından yapılan çalışmada; iki farklı besleme sistemi kullanılarak (subsonik ve süpersonik jetler) tipik bir Al-Cu alaşımının lazerle kesilmesi sırasında kenar kalitesi ve yüzey yapısı üzerindeki yardımcı gazların (argon, azot, oksijen ve hava) etkisini incelemişlerdir. Yeni süpersonik kesme kafalarının, geleneksel kesme

kafalarından daha üstün kesme performansı gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Ivarson vd. [59], farklı alaşım elementlerinin lazer-oksiyen kesim işlemi üzerinde olan etkilerini değerlendiren deneysel bir araştırma sunmuşlardır. Malzemenin kimyasal bileşimindeki küçük değişikliklerin genel lazer-oksiyen kesim işleminde büyük değişikliklere yol açabileceğini bu değişikliklerin ise kesme kenarı pürüzlülüğü ve / veya kesimin altındaki yapışkan cürufta farklılıklar olabileceğine değinmişlerdir.

Geçmişte yapılan çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda aşağıda belirtilen çıkarımlar yapılmıştır:

- Lazer teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak son zamanlarda metallerin kesme, kaynak ve eklemeli imalat gibi önemli konularında lazer tekniklerinin kullanımını artmaktadır.
- Farklı tür malzemeler lazer kesim kullanılarak kesilebilmektedir.
- Metallerin lazerle kesimi işleminde malzeme bünyesindeki küçük kimyasal bileşim farklılıkları ürün bünyesinde büyük değişikliklere yol açabilmektedir.
- Metal kesmede kullanılan lazerlerin çoğu ticari olarak temin edilmektedir.
- Çalışmaların birçoğu farklı lazer işlemlerine bağlı değişen parametreler kullanılarak bu parametrelerin ürünlere olan etkisi üzerinde gerçekleşmiştir.
- Önceki yapılan çalışmalarda genellikle lazer kesim sonucu elde edilen ürünlerin boyutları, yüzey kalitesi, yüzey pürüzlülüğü ve yüzeyde meydana gelen kalıntılar gibi durumlar incelenmiştir.

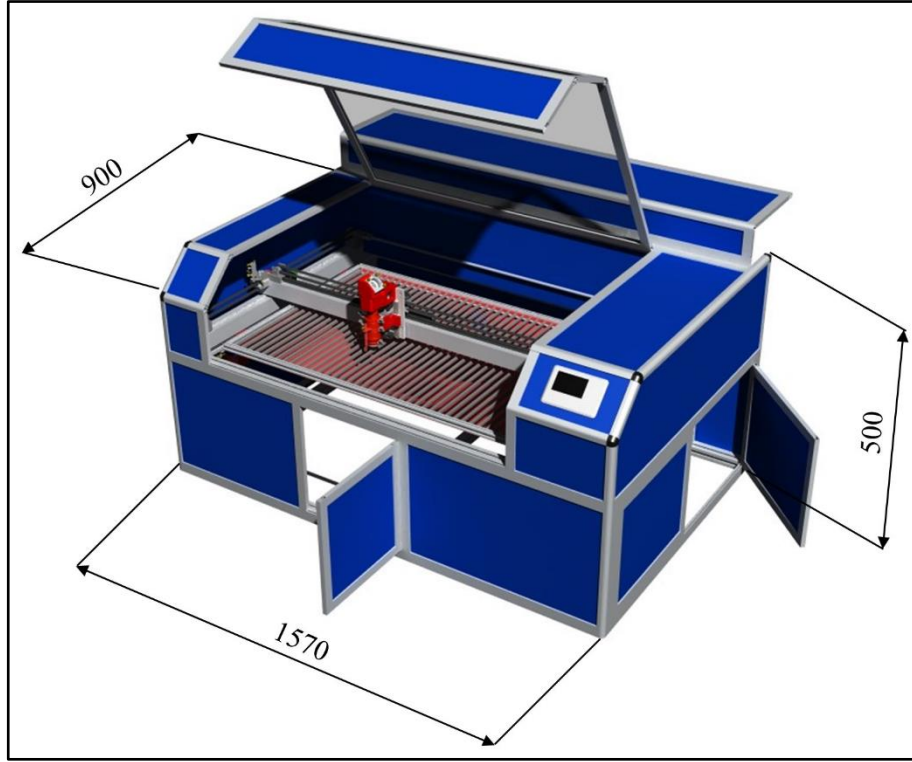
BÖLÜM 4

LAZER MAKİNESİ TASARIMI VE ÜRETİMİ

4.1. MAKİNE TASARIMI

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 faydalanmıştır. Yeterli bilgi olmayan durumlarda ise önemli parçalar temin edilmiş, üzerinden ölçümler alınarak boyutları tespit edilmiş ve buna göre tasarım değiştirilmiştir. Hareketli olan parçaların sorunsuz bir şekilde işlem yapabilmesi 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 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Lazer makinesinin tasarımı ve dış boyutları.

4.1.1. Konstrüksiyon Sistemi

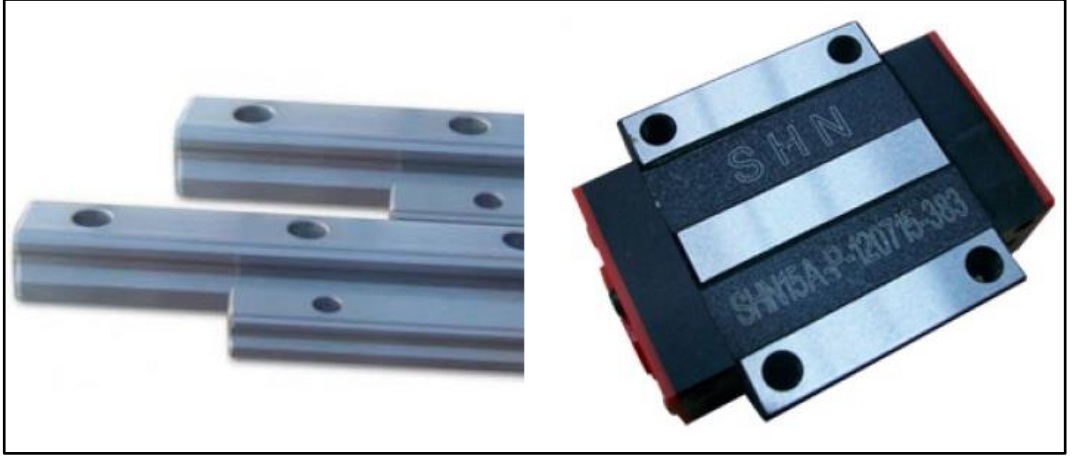
Konstrüksiyon sistemi makine şasesi, taşıyıcı elemanlar ve sac kaplamalardan oluşmaktadır. Makine temelleri 20 mm x 20 mm x 2 mm boyutunda çelik profiller üzerine kurulmuştur, toplamda 18 m boyunda profil malzeme kullanılmıştır. Çelik profiller kaynaklı imalat yöntemiyle gönyeli bir şekilde birleştirilmiştir. Makine çevresini kaplayan ve makine üzerinde zemin olarak kullanılan saclar ise S235JR çelik malzemeden seçilmiştir. Tasarımda belirlenen boyutlarda 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. Şekil 4.2'de lazer makinesinin üst kısmının üretim esnasındaki resmi gösterilmiştir.



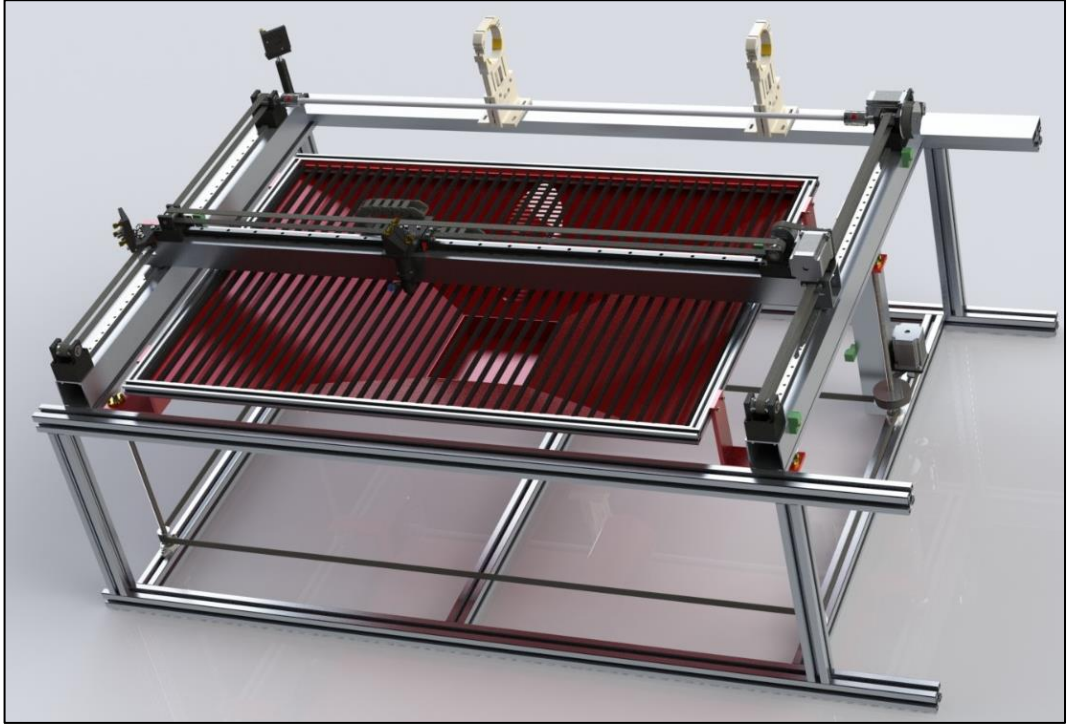
Şekil 4.2. Lazer makinesinin üst kısmının imalat aşamasından görüntü.

4.1.2. Hareket Sistemi

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 olması 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 4.3'te makine üzerinde kullanılan ray ve arabanın örnekleri gösterilmiştir. Şekil 4.4'te hareket sisteminin tasarımda, makine üzerindeki durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Lineer ray ve araba örnekleri [60].

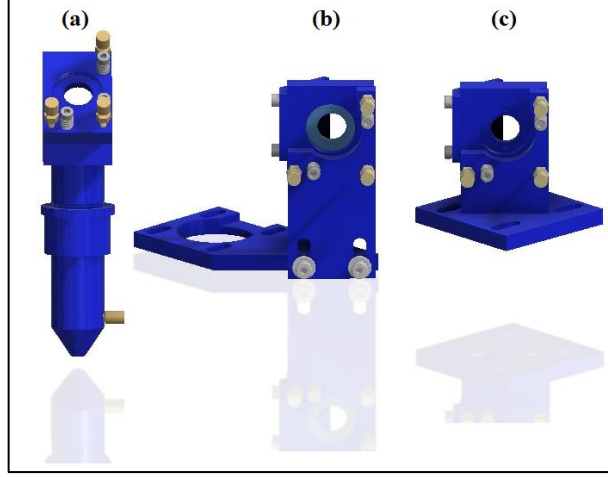


Şekil 4.4. Hareket sistemi ve parçalarının makine üzerindeki durumu.

4.1.3. Lazer Kesim Kafası ve Ayna Tutucuları

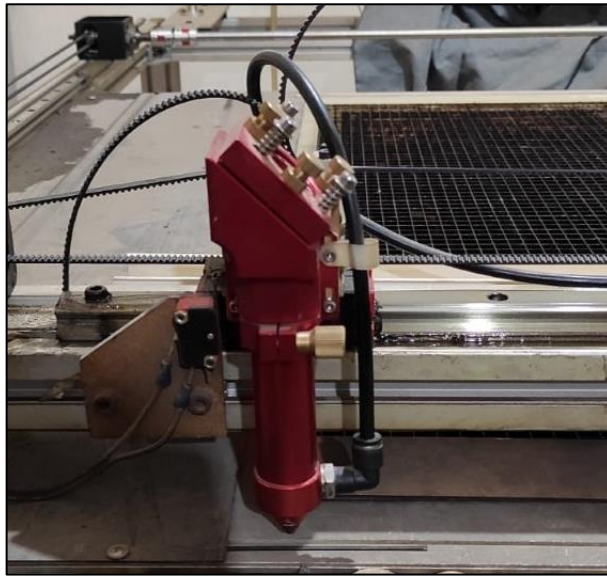
Şekil 4.5 a'da malzemelerin işlenmesinde kullanılacak olan ve tasarımı yapılan lazer kesim kafası gösterilmektedir. Şekil 4.5 b ve c'de ise ayna tutucuları gösterilmiştir. Bu parçaların tasarlanmasında piyasada bulunan benzer ürünlerde yararlanılmıştır. Ancak üzerinde boyutsal birtakım düzenlemeler uygulanmıştır. Bu parçaların hepsi AA6061

serisi alüminyum malzemelerden CNC freze işleme ile üretilmiştir. Üretim işlemlerinin ardından bu malzemeler, ısıya dayanıklı boya ile boyanmıştır.



Şekil 4.5. Lazer kesim kafası ve ayna tutucuları.

Şekil 4.6’da tasarıma göre üretilen lazer kesim kafasının tezgah 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 4.6. Lazer kesim kafasının tezgah üzerine eklenmiş hali.

4.1.4. Elektrik-Elektronik Sistem

Makine üzerinde kullanılan elektrik-elektronik sistemler hareketi sağlayan step motor, motor sürücü, 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. Şekil 4.7’de makine üzerinde kullanılan motor ve sürücü gösterilmektedir.



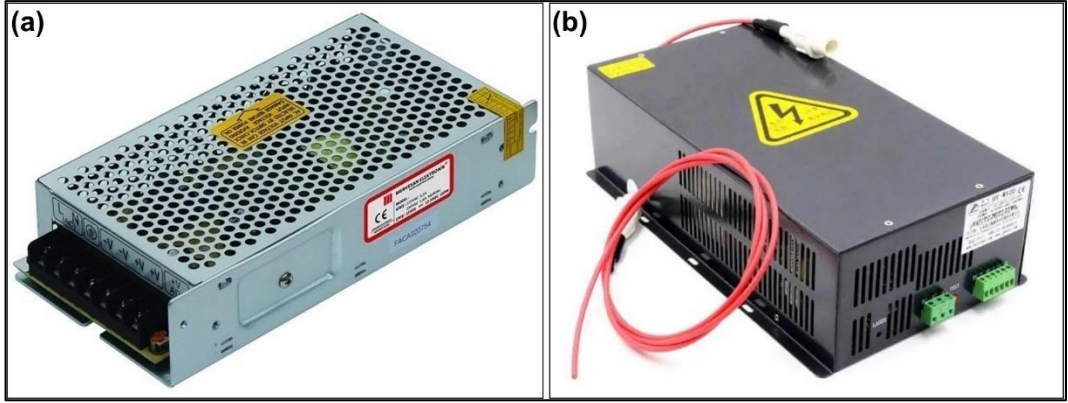
Şekil 4.7. Step motor ve sürücü [61,62].

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 barındırmaktadır. Makinede kullanılan kontrol kartı ve paneli Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Makinede kullanılan Ruida kontrolcü [63].

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. Makine kullanılan her iki güç kaynağı Şekil 4.9'da gösterilmiştir (a), makine sistemi [64] ve b) lazer ışını [65] için).



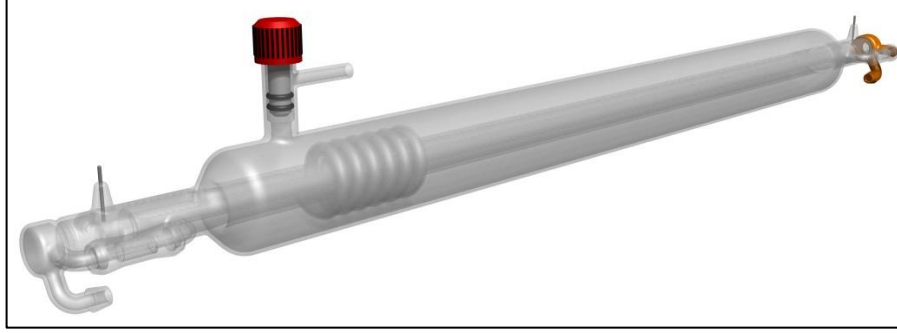
Şekil 4.9. Makinede kullanılan güç kaynakları [64,65].

Elektrik elektronik sistemler için kullanılan genel bileşenler yukarıda açıklanmıştır. Bunların yanı sıra eksen hareketlerinin sınırlandırılması için her eksen üzerine limit anahtarları kurulmuştur. Tüm makine sisteminin elektrik hattı için yaklaşık olarak 120 m, 1,75 mm'lik elektrik kablosu kullanılmıştır.

4.1.5. Rezonatör

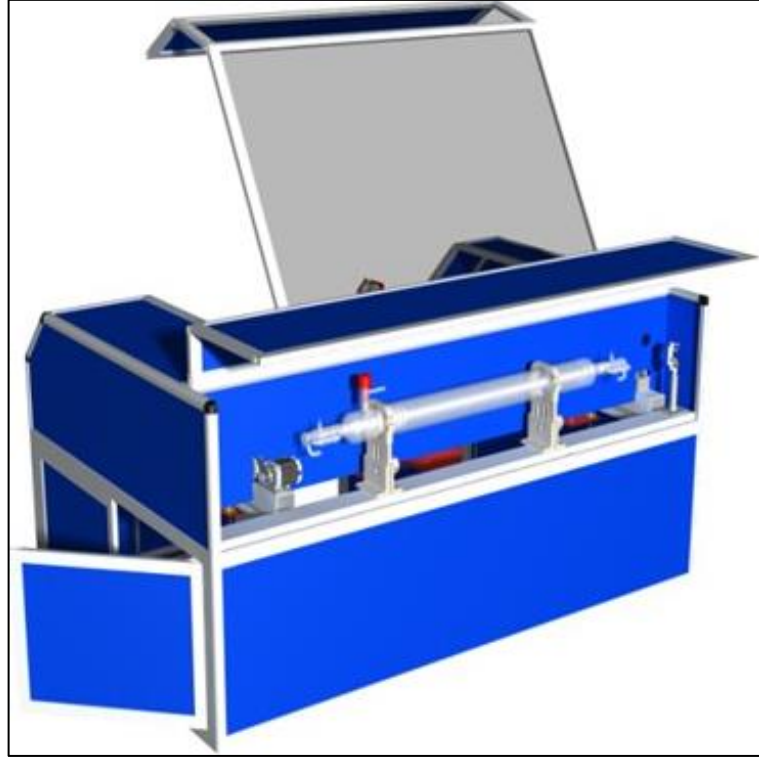
CO₂ lazer işleme makinalarında temel bileşen olan rezonatör güç kaynağından alınan elektrik enerjisini lazer ışınına çeviren bir bileşendir. Rezonatörden alınan çıkış gücüne göre lazer makinesinin işlem yapabildiği ürün çeşitliliği ve işlenebilecek malzeme kalınlığı gibi faktörler değişebilmektedir. Çalışmalar kapsamında üretilen lazer işleme makinesinde 150 W kapasiteye sahip yerli olarak üretilen rezonatör kullanılmıştır. Bu rezonatör tez yazarı Alper KÖLE tarafından, TEYDEB 1512 programı kapsamında kurulan 3K Laser Makine ve Bilişim Teknolojileri LTD. ŞTİ. firmasınınca üretilmiştir. Tamamen yerli imkanlarla üretilen rezonatör muadillerine göre

geliştirilmiş olan özellikler içermektedir. Bu rezonatörün tasarımı Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Tasarımı yapılan rezonatör.

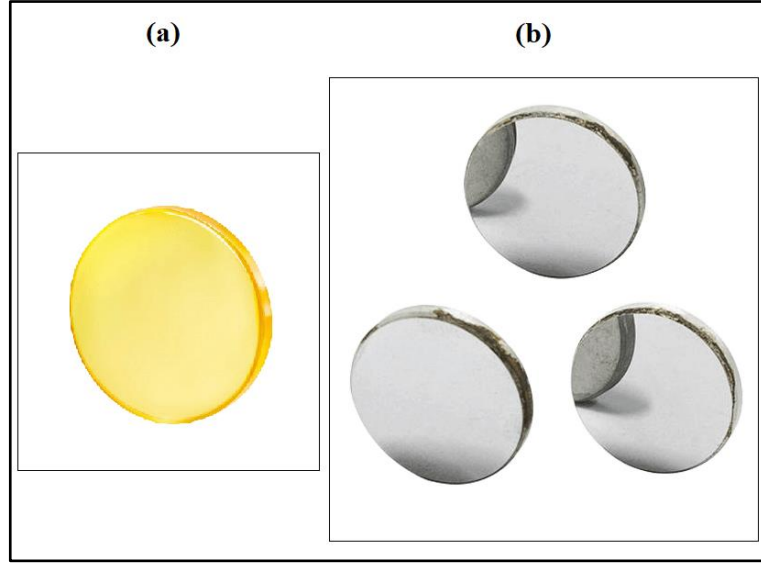
Ar-Ge ürünü olarak üretilen şarj tekrarlı gaz dolmuş rezonatörü sökülebilir bir tasarıma sahiptir. Bu rezonatörle 1.5 kat daha fazla kullanım ömrü sağlanarak, rezonatör kaynaklı senelik maliyet % 40'a kadar düşürülmesi hedeflenmiştir. Rezonatör dışarıdan tekrarlı gaz dolmuş imkanı verecek şekilde üretilmiştir. 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 dolmuş 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. Tez kapsamında kullanılacak 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 gerçekleşecektir. Şekil 4.11'de 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 4.11. Rezonatörün makine üzerine eklenmesi.

4.1.6. Optik ve Yansıtıcı Sistemler

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. Şekil 4.12’de makinede kullanılan ayna ve lens gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Optik lens ve yansıtıcı aynalar [66].

4.1.7. Yardımcı Sistemler

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 olması sağlanabilmektedir. Şekil 4.13'te makinede kullanılan QDHWOEL 160 W hava motoru gösterilmektedir.



Şekil 4.13. Hava motoru [67].

Soğutucu ünite, rezonatörün yüksek ısıdan dolayı güç kaybını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bunun dışın soğutucu, lazer tüpünün ömrünü ve işlem performansını etkileyen temel bir bileşendir. Şekil 4.14'te makinede kullanılan CW 300 soğutucu gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Soğutucu ünite [68].

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 Şekil 4.15'te gösterilen, 750 W gücüne sahip salyangoz tip hava emiş motoru kullanılmıştır.



Şekil 4.15. Hava emiş motoru [69].

Yukarıda bahsedilen yardımcı ekipmanlarına ek olarak makine üzerinde şartlandırıcı olarak nitelendirilen bir hava regülatörü kullanılmıştır. Şartlandırıcı hava basıncının ayarlanmasını sağlamaktadır. Ayrıca havadaki nemi tutmaya yardımcı olur. Böylelikle makinede bulunan sistemlere ve özellikle optik lens gibi önemli elemanlara havadan kaynaklı nemin ulaşması engellenir. Şekil 4.16'da makinede kullanılan şartlandırıcı gösterilmektedir.



Şekil 4.16. Makinede kullanılan şartlandırıcı [70].

4.2. MAKİNE ÜRETİMİ

Bir önceki kısımda makine tasarımı hakkında bilgiler verilmiş, 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 eksenini parçalarının montaj işlemi tamamlanmış daha sonra köprü hareketinin olduğu X eksenini 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 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Makine inşa durumu.

Hareket sistemi mekanik parçalarının tezgah üzerine eklenmesinden sonra step motorları sabitleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada kasnak bağlantıları yapılmıştır. Motor mili ve eksen profili üzerindeki bulunan kasnağın hizalama ayarları yapılmıştır. Her iki eksene de bunların uygulanmasının ardından kayışların bağlanması aşamasına geçilmiştir. Kayış hareketlerinin sorunsuz bir şekilde olması sağlanmış ve Y eksenini hareketinin denge ayarları yapılmıştır. Eksen kayışlarının kurulumu esnasındaki bir görüntü Şekil 4.18’de verilmiştir. Bu aşamalardan sonra hareket sisteminin tüm parçalarının tezgah üzerine eklenmesi tamamlanmış, hareket sisteminin elektrik-elektronik donanımlarının kurulumuna geçilmiştir.

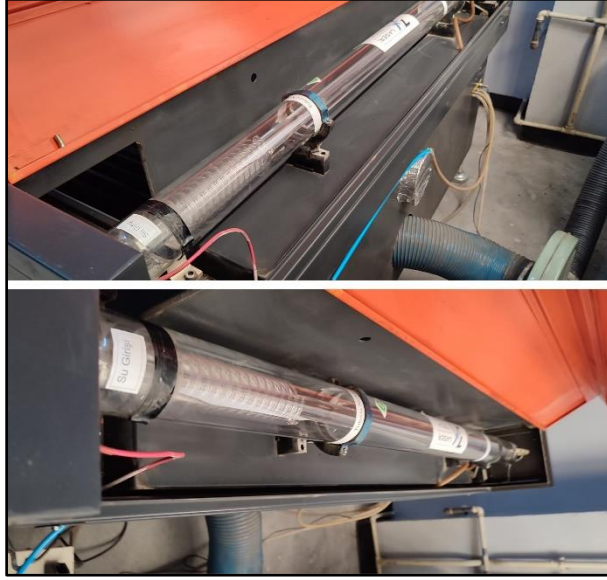


Şekil 4.18. Eksen hareket kayışlarının kurulumu.

Elektrik-elektronik sistemin kurulumunun ilk aşamasında sürücüler, güç kaynakları, kontrol kartı, limit anahtarları gibi elemanlar tasarımda belli olan yerlerine monte edilmiştir. Bu aşamadan sonra kablolama işlemleri yapılmıştır. Motorların sürücülere bağlantısı, sürücülerin kontrol kartına, kontrol kartından kontrol paneline, limit anahtarından 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. Bu işlemlerin ardından elektrik-elektronik bileşenlerin kurulumu tamamlanmıştır.

Hareket ve elektrik-elektronik sistemin kurulumunun ardından lazer rezonatörün montaj aşamasında geçilmiştir. Rezonatör, kendi boyutlarında üretilen iki adet tutucu ile tezgahın arka kısmına bağlanmıştır. Şekil 4.19'da rezonatörün makine üzerine montajlanmış durumu gösterilmektedir. 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 sistemleri bağlantısına geçilmiştir. Soğutma ünitesinin rezonatör bağlantısı, hava motorun pinomatik aksamları, emiş motoru ve şartlandırıcı ekipmanlarının kurulumu tamamlanmıştır.



Şekil 4.19. Lazer rezonatörün makine üzerindeki görünümü.

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 4.20'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 4.20. Lazer güç metre ile güç ölçümü.

Çalışmalar sonucunda imalat işlemleri tamamlanan lazer işleme makinasının görüntüsü Şekil 4.21’de verilmiştir.



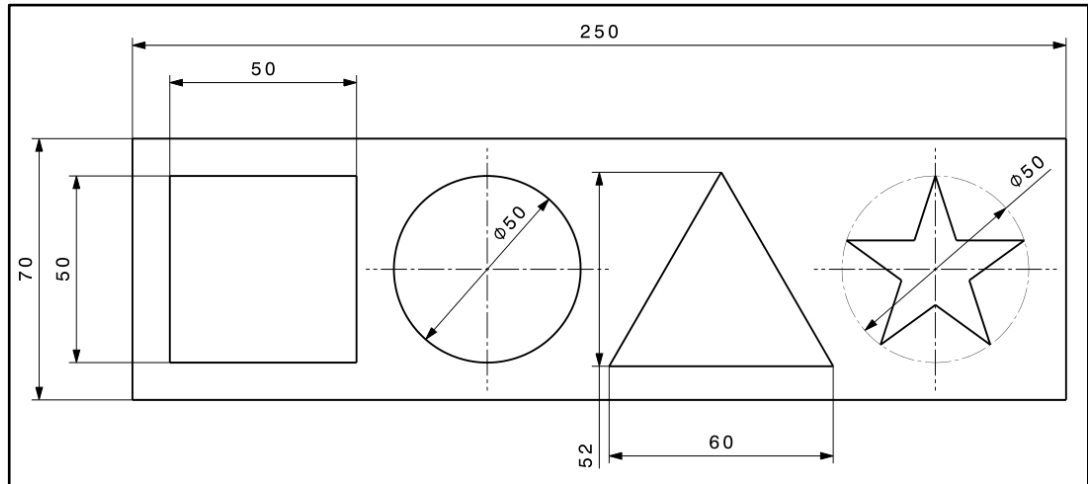
Şekil 4.21. Üretimi tamamlanan lazer makinesi.

BÖLÜM 5

DENEME VE TEST ÇALIŞMALARI

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. Tezgah 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.

Test çalışmalarında Şekil 5.1'de ölçüleri verilen geometrik şekiller, üretilen lazer makinesiyle kesim işlemine tabi tutulmuştur. Kesim işlemlerinden sonra elde edilen parçaların boyutları dijital kumpasla ölçülmüş, sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 5.1. Geometrik şekil kesim ölçüleri.

Metalik malzemeler üzerinde deneme çalışmaları yapılamamıştır. Üretilen makineyle metal malzemelere işleme durumu sınırlıdır. Metal kesim işleminin yapılabilmesi için makine üzerinde birtakım revizyonlar uygulanmalıdır. Makinenin rezonatörü, kullanılan kontrolcü programı, kesim kafası, lazer güç kaynağı gibi temel parçalarının yenilenmesi gereklidir. Yardımcı sistemlerinden soğutma sistemi ve yardımcı gaz türü değiştirildiği takdirde metal kesim özelliği kazandırılabilir. Ancak bu durumları sağlamının daha fazla maliyet getireceği unutulmamalıdır.

5.1. KAUÇUK MALZEME İŞLEMLERİ

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. Şekil 5.2'de kesim işlemi sonucu malzemeler gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Kauçuk malzeme geometrik Şekil kesim örneği.

Şekil 5.2 incelendiğinde yıldız haricindeki diğer Şekillerin başarılı bir Şekilde kesilebildiği görölmektedir. Yıldız Őeklinin keskin köşeler içermesinde dolayı lazer

kesim kafasının çok dar açılarda çalışma gerekliliğini doğurmuştur. Bu bakımdan malzeme üzerindeki ısı birikimi fazlaşmış ve ısı iletkenliği az olduğu için kalınlık boyunca boyutlarda tutarsızlık olmuştur. Daha büyük boyutlardaki kesimlerde bu durumun görülmesinin azalacağı düşünülmektedir. Yıldız dışındaki diğer şekillerin kenarları dijital kumpas ile ölçüldüğünde, bilgisayar ortamında çizilen gerçek ölçülerine çok yaklaştığı görülmüştür. Bu durumlar genel olarak değerlendirildiğinde üretilen lazer makinesiyle sınırlandırılmış kalınlıkta kauçuk malzemelerin başarılı bir şekilde işlenebileceği anlaşılmıştır.

5.2. AHŞAP (MDF) MALZEME İŞLEMLERİ

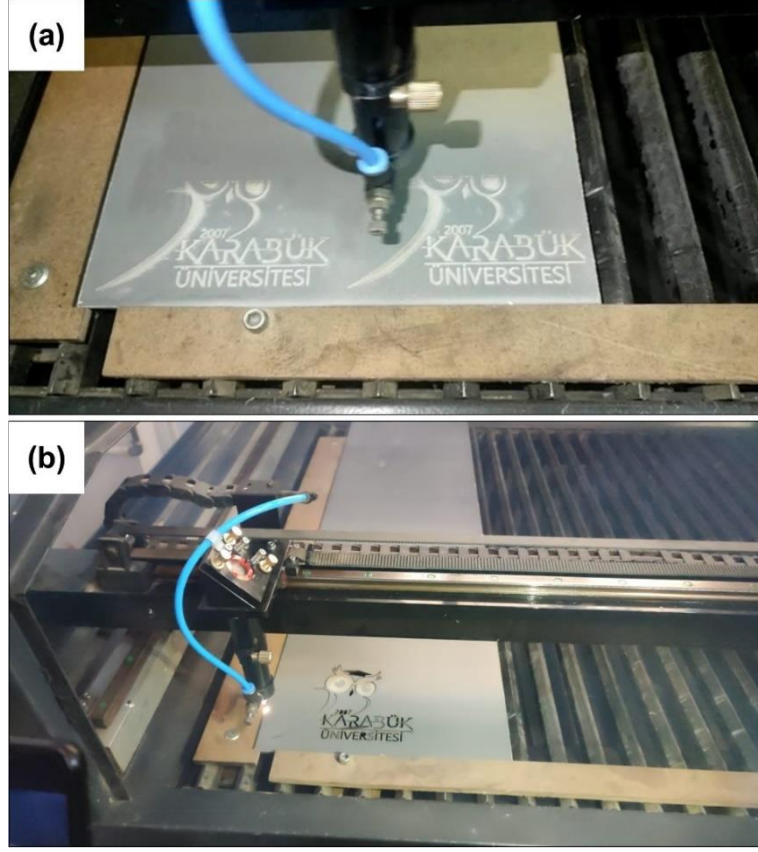
Ahşap malzemenin işlenmesi örneğinde 3 mm kalınlığına sahip MDF plaka kullanılmıştır. Test çalışmalarına öncelikle parametre belirlemeyle başlanılmıştır. Şekil 5.3'te MDF malzeme ile yapılan parametre çalışmasında kullanılan değerler ve örnek kesimin sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi ilk üç parametrede kesim işlemi başarısız olmuş ancak oyma işlemi yapılabilmektedir. 4. ve 5. parametrelerde kesim işlemi gerçekleştirilebilmiştir. 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 5.3. MDF malzeme parametre çalışması.

Şekil 5.4 a, MDF malzemedeki 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 5.5'te 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 5.4. MDF malzeme kazıma ve kesme işlemi esnasından örnekler.



Şekil 5.5. MDF malzeme geometrik şekil kesim örneği.

5.3. PLASTİK (PLEKSİ) MALZEME İŞLEMLERİ

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 fazlası uygulama için kullanılabilir. Ayrıca bazı ameliyathane, dişçilik malzemeleri ve gözlükler de dahil olmak üzere bir dizi tıbbi alanda tercih edilmektedirler [71].

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 5.6'da görüleceği gibi 5 farklı parametre kullanılmış parametre değerleri de kesim işlemi uygulanan bölgenin yan tarafına kazınmıştır. Pleksi malzeme kesim işleminde ilk 4 parametrede istene sonuç alınamamış tam kesme sağlanamamıştır. 4. parametrede kesime yaklaşılmış ancak son kısımda işlenememiş malzeme kalmıştır. İlk 3 parametrede ise kazıma işlemi gerçekleşmiştir. 5. Parametrede kesim işlemi başarılı bir şekilde sağlanmıştır.



Şekil 5.6. Pleksi malzeme parametre çalışması.

Şekil 5.7’de 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 5.7. Pleksi malzeme geometrik şekil kesim örneği.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

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 dolun 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 yapılarak düzeltilebileceği sonucuna varılmıştır.
- 3 mm MDF plaka için belirlenen kesim parametrelerinde istenilen boyutlara yakın parçalar kesilebilmiştir. MDF plaka için gerçekleştirilen kazıma işlemleri de başarılı sonuçlar vermiştir. Bilgisayar destekli kesim dosyasıyla görüntüsü alınan nesne MDF üzerine tercih edildiği gibi 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.

Çalışmalarda çıkarılan genel sonuçlar yukarıdaki gibidir. Bir sonraki çalışmalarda yapılabilecekler hakkında aşağıda bazı önerilerde bulunulmuştur.

- Üretilen makine metaller ve alaşımları üzerinde işlem yapılabilirliğini sınırlı kılmıştır. Bir sonraki çalışmalarda tezgah bileşenlerinde yapılabilecek değişikliklerle metal kesimini gerçekleştirebilen ve yerli rezonatör kullanan yeni makineler yapılabilir.
- Lazerle işlem yapıldıkça malzeme kalınlığı boyunca nozul-parça mesafesi değişeceğinden bu mesafeyi korumak için hareketli kafa tasarımı ve üretimi yapılabilir. Böylelikle lazerle kazıma ve kesme işlemlerinde işlenen parça kalitesi açısından daha verimli sonuçlar elde edilebilir.
- İmkanlar çerçevesinde bir sonraki çalışma, makineye uzaktan kontrol sisteminin eklenmesi şeklinde gerçekleştirilebilir. Bu şekildeki sistemle iş güvenliği iyi derecede artırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Boyraz, İ. ve Yıldız, A., "Lazer çeşitleri ve yüksek yoğunluklu lazer kullanımı", *Çağdaş Tıp Dergisi*, 6 (1): 104-109 (2016).
2. Bozkurt, A., "ESD ile sert faz kaplanmış titanyum alaşımlarının ve çeliklerin lazer ile işlenmesi ve karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 16 (2018).
3. İnternet: Keyence Co., "Glossary, Laser Marking Terms", https://www.keyence.com/ss/products/markig/markig_central/study/glossary.jsp (2022).
4. 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).
5. 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).
6. 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).
7. Kumar, H., Ganesh, P., Kaul, R., Rao, B. T., Tiwari, P., Brajpuriya, R., Chaudhari, S. M., and Nath, A. K., "Laser welding of 3 mm thick laser-cut AISI 304 stainless steel sheet", *Journal Of Materials Engineering And Performance*, 15 (1): 23–31 (2006).
8. Rao, M., "Applications of CO₂ laser in medicine", *International Journal Of Advances In Pharmacy, Biology And Chemistry* 2: (3) 501-506 (2013).
9. 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).
10. 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).

11. Kahraman, N. ve Gülenç, B., "Modern Kaynak Teknolojisi ve Kaynak İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği", Genişletilmiş 4. Baskı, *EPAMAT Basım Yayın*, Ankara, 210-211 (2020).
12. Stepanov, A., Saukkonen, E., and Piili, H., "Possibilities of laser processing of paper materials", *Physics Procedia*, 78: 138–146 (2015).
13. İnternet: Elenlaser, "CO2 Laser Applications", <https://elenlaser.com/co2-laser-applications> (2022).
14. Nagai, K. and Shimizu, K., "Using a high-power fibre laser to cut concrete", *Applied Sciences*, 11 (10): 4414 (2021).
15. Çırak, B. ve Durukan, Z., "Lazerle kesmenin deneysel analizi ve yapay sinir ağları yöntemi ile modellenmesi", *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (1): 1 (2014).
16. Adelman, B., Schleier, M., and Hellmann, R., "Laser cut interruption detection from small images by using convolutional neural network", *Sensors*, 21 (2): 655 (2021).
17. Schmidt, M., Zäh, M., Li, L., Duflou, J., Overmeyer, L., and Vollertsen, F., "Advances in macro-scale laser processing", *CIRP Annals*, 67 (2): 719–742 (2018).
18. İnternet: LASERAX, "How Does Laser Engraving Work?", <https://www.laserax.com/blog/how-laser-engraving-work> (2022).
19. Nikolidakis, E., Choreftakis, I., and Antoniadis, A., "Experimental investigation of stainless steel SAE304 laser engraving cutting conditions", *Machines*, 6 (3): 40 (2018).
20. Dönmez, M. B., "Titanyumun lazerle işlenmesinde deformasyonun deneysel olarak incelenmesi ve ısıl analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 17 (2019).
21. İnternet: Speed Lazer Markalama, "Lazer markalama nedir?", <https://lazermarkalamaci.com/lazer-markalama-nedir/> (2022).
22. Toptaş, U. M., "İnce tane yapı çelikleri ve zırh çeliklerinin lazerle kesimi ve parametre optimizasyonu", *Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre Ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, 447–458 (2015).
23. İnternet: AZOOPTICS, "Carbon Dioxide Lasers - Properties and Applications", <https://www.azooptics.com/Article.aspx?ArticleID=473> (2022).
24. Çavdar, K. ve Tanrısever, T., "Farklı malzemelerin lazerle kesilmesi", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (2): 79-100 (2013).

25. Eltawahni, H. A., Benyounis, K. Y., and Olabi, A. G., "High power CO2 laser cutting for advanced materials – review", *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, (2016).
26. İnternet: Senfeng Laser, "Ten Advantages of CO2 Laser", http://www.sfcnclaser.com/Article/TenAdvantagesofCo2La_1.html (2018).
27. İnternet: Acceleron Inc., "What Is a CO2 Laser and Advantages of CO2 Laser Beam Cutting", <https://acceleron.wordpress.com/2011/04/04/what-is-a-co2-laser-and-advantages-of-co2-laser-beam-cutting/> (2022).
28. Alpar, T., Çelenk, O., ve Çavdar, K., "Yüksek mukavemetli çeliklerde lazer kaynağı uygulamaları", *Uludağ University Journal Of The Faculty Of Engineering*, 26 (3): 1139–1158 (2021).
29. Dindar, Ç., Altay, M., ve Aydın, H., "Lazer kaplama prosesi ve proses parametreleri: derleme çalışması", *Uludağ University Journal Of The Faculty Of Engineering*, 26 (2): 723–736 (2021).
30. Mahmood, M., Bănică, A., Ristoscu, C., Becherescu, N., and Mihăilescu, I., "Laser coatings via state-of-the-art additive manufacturing: a review", *Coatings*, 11 (3): 296 (2021).
31. Kusinski, J., Kac, S., Kopia, A., Radziszewska, A., Rozmus-Górnikowska, M., Major, B., Major, L., Marczak, J., and Lisiecki, A., "Laser modification of the materials surface layer – a review paper", *Bulletin Of The Polish Academy Of Sciences: Technical Sciences*, 60 (4): 711–728 (2012).
32. Wu, J., Zhao, J., Qiao, H., Hu, X., and Yang, Y., "The new technologies developed from laser shock processing", *Materials*, 13 (6): 1453 (2020).
33. Rozmus-Górnikowska, M., "Surface modifications of a Ti6Al4V alloy by a laser shock processing", *Acta Physica Polonica A*, 117 (5): 808–811 (2010).
34. 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).
35. Wang, D., Wang, Y., Wu, S., Lin, H., Yang, Y., Fan, S., Gu, C., Wang, J., and Song, C., "Customized a Ti6Al4V bone plate for complex pelvic fracture by selective laser melting", *Materials*, 10 (1): 35 (2017).
36. 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).
37. 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).

38. Son, S. and Lee, D., "The effect of laser parameters on cutting metallic materials", *Materials*, 13 (20): 4596 (2020).
39. Tükel, T., "Lazer ile kesim parametrelerinin deney tasarım yöntemi ile en iyilenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 12-17 (2020).
40. Mushtaq, R. T., Wang, Y., Rehman, M., Khan, A. M., and Mia, M., "State-of-the-art and trends in co2 laser cutting of polymeric materials—a review", *Materials*, 13 (17): 3839 (2020).
41. İnternet: Bell Laser, "Laser Cutting Parameters", <https://cdn.thomasnet.com/ccp/30498769/185895.pdf> (2022).
42. 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).
43. 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*, Shenyang, China, (2016).
44. Zhang, Y., Feng, B., and Sang, S., "Design of intelligent wireless laser engraving machine", *Journal Of Physics: Conference Series*, 2216 (1): 012005 (2022).
45. Hao, X. and Chen, J., "Modeling Optimization design of laser marking machine", *Proceedings Of The 2015 International Conference On Arts, Design And Contemporary Education*, Moscow, Russia, (2015).
46. 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).
47. Huang, H.-L., Jywe, W.-Y., and Cho, M.-C., "Development of a simple laser-based 2D contouring accuracy compensation system for the laser cutting machine", *Optik*, 126 (23): 3616–3623 (2015).
48. 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).
49. Martinov, G. M., Ljubimov, A. B., Grigoriev, A. S., and Martinova, L. I., "Multifunction numerical control solution for hybrid mechanic and laser machine tool", *Procedia CIRP*, 1: 260–264 (2012).
50. Zhou, B. H. and Mahdavian, S. M., "Experimental and theoretical analyses of cutting nonmetallic materials by low power CO2-laser", *Journal Of Materials Processing Technology*, 146 (2): 188–192 (2004).

51. Manjoth, S., Keshavamurthy, R., and Kumar, G. S. P., "Optimization and analysis of laser beam machining parameters for Al7075-TiB₂ in-situ composite", *IOP Conference Series: Materials Science And Engineering*, 149: 012013 (2016).
52. Durukan, Z., Motorcu, A. R., ve Güllü, A., "AISI 304 çeliğini farklı geometrilerde lazerle kesmede parametrelerin boyutsal doğruluk üzerine etkilerinin modellenmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29 (3): 505-515 (2014).
53. Hock, K., Adelman, B., and Hellmann, R., "Comparative study of remote fiber laser and water-jet guided laser cutting of thin metal sheets", *Physics Procedia*, 39: 225–231 (2012).
54. 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).
55. 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).
56. Froend, M., Riekehr, S., Kashaev, N., Klusemann, B., and Enz, J., "Process development for wire-based laser metal deposition of 5087 aluminium alloy by using fibre laser", *Journal Of Manufacturing Processes*, 34: 721–732 (2018).
57. Choi, D.-S., Lee, S. H., Shin, B. S., Whang, K. H., Song, Y. A., Park, S. H., and Jee, H. S., "Development of a direct metal freeform fabrication technique using CO₂ laser welding and milling technology", *Journal Of Materials Processing Technology*, 113 (1–3): 273–279 (2001).
58. Riveiro, A., Quintero, F., del Val, J., Boutinguiza, M., Wallerstein, D., Comesaña, R., Lusquiños, F., and Pou, J., "Laser cutting of aluminum alloy Al-2024-T3", *Procedia Manufacturing*, 13: 396–401 (2017).
59. Ivarson, A., Powell, J., and Siltanen, J., "Influence of alloying elements on the laser cutting process", *Physics Procedia*, 78: 84–88 (2015).
60. İnternet: Şahin Rulman, "Lineer Ray ve Lineer Arabalar", <https://www.sahinrulman.com/ray-ve-arabalar/> (2022).
61. İnternet: Şahin Rulman, "Step Motor Nema 23 - 57HS22", <https://www.sahinrulman.com/step-motor-nema-23-22nm> (2022).
62. İnternet: Kartal Otomasyon, "DM556 Step Motor Sürücü", <https://www.kartalotomasyon.com.tr/urun/dm556-step-motor-surucu> (2022).
63. İnternet: RuiDa Controller, "RuiDa Controller RDC6445G/S", <https://www.ruidaccontroller.com/rdc6445s/> (2022).

64. İnternet: Elektrik Market, "Trafolar", <https://www.elektrikmarket.com.tr/urun/mervesan-24v-metal-kasali-ic-mekan-ac-dc-smps-adaptor-mt-150-24> (2022).
65. İnternet: Parlak Lazer, "Lazer Güç Kaynağı", <https://parlaklazer.com/lazer-guc-kaynagi/> (2022).
66. İnternet: Lazerpol, "Lazer Lens ve Aynaları", <https://lazerpol.com/urunler/lazer-lens-ve-aynalari/> (2022).
67. İnternet: Aliexpress, "QDHWOEL 160W Air Compressor", <https://www.aliexpress.com/item/4001179597111.html> (2022).
68. İnternet: DBK d.o.o., "Industrial Water Chiller CW300", <https://shop.dbk.si/en/industrial-water-chiller-cw300-for-cooling-laser-tube> (2022).
69. İnternet: Lazerpol, "Salyangoz Hava Emiş Motoru 750W", <https://lazerpol.com/urun/salyangoz-hava-emis-motoru-750w/> (2022).
70. İnternet: Hırdavatçesitleri, "Havalı Şartlandırıcılar", <https://www.hirdavatcesitleri.com/urun/troy-sartlandirici-filtre-regulator-1-4-n-pt> (2022).
71. İnternet: ArchDaily, "What Is Plexiglass? The Protective Plastic Many Are Using to Combat Viral Spread", <https://www.archdaily.com/943049/what-is-plexiglass-the-protective-plastic-many-are-using-to-combat-viral-spread> (2022).

ÖZGEÇMİŞ

Alper KÖLE Ankara’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Türk-Alman Mesleki Eğitim Merkezinde Elektrik Bölümü’nden çıraklık ve kalfalık belgelerini alarak mezun oldu. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü’nde öğrenime başladı. 2016 yılında TÜBİTAK 2209-A programı kapsamında “Karbondioksit Lazer Rezonatör (Işın Üretici)” başlığı altında prototip rezonatör üretimi konusunda çalıştı. 2017 yılında bu proje ile TÜBİTAK tarafından düzenlenen Üniversiteler Arası Proje Yarışması’nda ürün geliştirme kategorisinde “İkincilik Ödülü” almaya layık görüldü. 2017 yılında lisans eğitimini tamamlayarak, iyi derece ile mezun oldu. 2017 yılında MAN TÜRKİYE A.Ş firmasında AR-GE mühendisi olarak göreve başladı. Makine Mühendisleri Odası’ndan gelen davet üzerine konu hakkında bir yayını bulunmaktadır. (Köle ve Kahraman, 2018). 2018 Eylül ayında TÜBİTAK TEYDEB 1512 programı kapsamında 3K Laser Makine ve Bilişim Teknolojileri LTD. ŞTİ. firmasını kurdu.