



**St-37 VE St-52 SAC MALZEMELERİN LAZERLE
KESİLMESİNDE İŞLEME PARAMETRELERİNİN
KESİM KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Rümeysa CEBECİ

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Halil DEMİR**

**St-37 VE St-52 SAC MALZEMELERİN LAZERLE KESİLMESİNDE
İŞLEME PARAMETRELERİNİN KESİM KALİTESİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Rümeysa CEBECİ

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

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Halil DEMİR**



**KARABÜK
Ocak 2021**

Rümeysa CEBECİ tarafından hazırlanan “St-37 VE St-52 SAC MALZEMELERİN LAZERLE KESİLMESİNDE İŞLEME PARAMETRELERİNİN KESİM KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil DEMİR

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Öğr. Gör. Dr. Barış ÖZLÜ

Tez Danışmanı, Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 08/01/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA (A.Ü)

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.”

Rümeysa CEBECİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

St-37 VE St-52 SAC MALZEMELERİN LAZERLE KESİLMESİNDE İŞLEME PARAMETRELERİNİN KESİM KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Rümeysa CEBECİ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Barış ÖZLÜ

Ocak 2021, 83 sayfa

Bu çalışmada endüstride geniş bir kullanım alanı bulunan ve kalınlıkları aynı olan St-37 ile St-52 sac malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemelerin lazer ile kesilmesinde işleme parametrelerinin (kesme hızı, basınç ve frekans) kerf genişliği, çapak yüksekliği ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kesme parametresi olarak, dört farklı kesme hızı (10, 16, 22, 28 mm/s), dört farklı frekans (500-1500-2500-3500 Hz) ve dört farklı basınç (0,8, 0,9, 1, 1,1 bar) seçilmiştir. 4 mm iş parçası kalınlığı, 800 W lazer gücü, %100 güç yoğunluğu, 5" lens, 0,8 mm odak noktası uzaklığı ve 2 mm nozul çapı sabit tutulmuştur. Yardımcı gaz olarak oksijen kullanılmıştır. Kesme işleminden sonra numunelerin önce kerf genişliği ve daha sonra çapak yüksekliği ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İşleme parametrelerinin (kesme hızı, frekans, basınç) kerf genişliği ve çapak yüksekliğine olan etkileri incelenmiştir.

Ölçümler sonrasında numuneler giyotin makinesi kullanılarak kesilmiş ve 128 adet dikdörtgen numune elde edilmiştir. Daha sonra numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Alınan veriler sonucunda işleme parametreleri ile kerf genişliği, çapak yüksekliği ve yüzey pürüzlülüğü arasında ilişki kurulmuştur. Elde edilen veriler grafiklere dönüştürülerek yorumlanmıştır. Basınç değerinin artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde bir artış tespit edilmiştir. Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerinde azalma meydana gelmiştir. Sabit basınçta kesme hızının artmasıyla birlikte çapak yükseklik değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Sabit kesme hızında basıncın artması ile çapak yükseklik değerlerinde bir azalma gözlemlenmiştir. Basınç değerlerinin artırılması ile kerf genişliğinde bir artış meydana gelmiştir. Diğer taraftan kesme hızındaki artışın kerf genişliğinin azalmasına yol açtığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Lazer kesim, St-37 ve St-52 sac malzeme, yüzey pürüzlülüğü, kerf genişliği, çapak yüksekliği.

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PROCESSING PARAMETERS ON CUTTING QUALITY IN LASER CUTTING OF St-37 AND St-52 SHEET METAL MATERIALS

Rümeysa CEBECİ

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Barış ÖZLÜ

January 2021, 83 pages

In this study, St-37 and St-52 sheet materials, which are widely used in the industry and have the same thickness, were used. The effects of processing parameters (cutting speed, pressure, and frequency) on kerf width, dross height and surface roughness in laser cutting of these materials were investigated. Four different cutting speeds (10, 16, 22, 28 mm/s), four different frequencies (500-1500-2500-3500 Hz) and four different pressures (0.8, 0.9, 1, 1.1 bar) were selected as the cutting parameter. 4 mm workpiece thickness, 800 W laser power, 100% power density, 5" lens, 0.8 mm focal point distance and 2 mm nozzle diameter were kept constant. Oxygen was used as an auxiliary gas. After cutting, first kerf width and then dross height measurements of the materials were carried out. The effects of processing parameters (cutting speed, frequency, pressure) on kerf width and Dross Height were investigated. After the

measurements, the samples were cut using a guillotine machine and 128 rectangular samples were obtained. Then the surface roughness values of the samples were measured. As a result of the data received, the relationship between the processing parameters and kerf width, dross height and surface roughness was established. The resulting data were converted into graphs and interpreted. An increase in surface roughness values was detected with an increase in pressure value. As the cutting speed increased, surface roughness value decreased. With the increase in cutting speed at constant pressure, dross height values decreased. An increase in kerf width has occurred with increasing pressure values. On the other hand, it was observed that the increase in cutting speed caused a decrease in kerf width.

Key Word : Laser cutting, St-37 and St-52 sheet material, surface roughness, kerf width, dross height.

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Tez alıőmam sırasında ok değerli bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gsterici ve destek olan, yardımlarını esirgemeyen değerli danıőman hocam Sayın Prof. Dr. Halil DEMİR'e teőekkürü bir bor bilirim.

Değerli yardım ve katkıları ile deney numunelerinin hazırlanmasından tez yazımı tamamlanana kadar her aőamada bana yardımcı olan ve yol gösteren, desteğini esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Barış ÖZLÜ 'ye en içten teőekkürlerimi sunarım.

Numunelerin lazer ile kesim aőamasında yardımları için Tektem Makina San.ve Tic. A.Ő. alıőanlarına teőekkürlerimi sunarım.

Maddi, manevi desteğini ve sevgisini hiçbir zaman eksik etmeden her zaman yanımda olup beni bu yaőıma kadar getiren çok kıymetli anneme ve her zaman yanımda olup beni destekleyen değerli eőime teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	11
LAZER.....	11
3.1. LAZER IŞINI.....	11
3.1.1. Lazerin Tarihçesi	11
3.1.2. Lazerin Tanımı ve Çalışma Prensibi	13
3.1.2.1. Kendiliğinden Emisyon	14
3.1.2.2. Yutma.....	15
3.1.2.3. Uyarılmış Emisyon	15
3.1.3. Lazer Işının Üretilmesi	16
3.1.4. Lazer Işını Özellikleri	17
3.1.4.1. Tek renklilik.....	17
3.1.4.2. Koherent (Uyumluluk) Özelliği	17
3.1.4.3. Yoğunluk.....	17

	<u>Sayfa</u>
3.1.4.4. Yönlendirilebilirlik (Paralellik)	18
3.2. LAZER ÇEŞİTLERİ	18
3.2.1. Katı Lazerler	18
3.2.2. Yarı İletken Lazerler	18
3.2.3. Boyar Madde Lazerler	19
3.2.4. Gaz Lazerler	19
3.3. ENDÜSTRİYEL LAZER TÜRLERİ	19
3.3.1. Nd:YAG Lazer	19
3.3.2. Karbondioksit Lazeri	20
3.4. LAZERLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	22
3.5. LAZER UYGULAMA ALANLARI	22
3.6. MALZEMELERİN LAZER İLE KESİLEBİLME KABİLİYETLERİ	24
3.6.1. Çelikler	24
3.6.2. Paslanmaz Çelikler	24
3.6.3. Alüminyum	25
3.6.4. Bakır ve Pirinç	25
3.6.5. Titanyum	25
3.6.6. Metal Dışı Malzemeler	25
BÖLÜM 4	26
LAZER İLE KESME	26
4.1. LAZER İLE KESME İŞLEMİ	26
4.2. LAZER İLE KESME YÖNTEMLERİ	27
4.2.1. Lazer Işını ile Yakarak Kesme	27
4.2.2. Lazer Işını ile Eriterek Kesme	28
4.2.3. Lazer Işını ile Buharlaştırarak Kesme	28
4.3. LAZER İLE KESME GAZLARI	29
4.3.1. Oksijen	29
4.3.2. Basıncılı Hava	29
4.3.3. Azot ve Argon	29
4.4. LAZER KESME PARAMETRELERİ	30
4.5. LAZER İLE KESİM AVANTAJLARI	31

	<u>Sayfa</u>
4.6. LAZER İLE KESİM DEZAVANTAJLARI	31
BÖLÜM 5	33
ÇELİKLER	33
5.1. YAPI ÇELİKLERİ	37
5.1.1. St-37 Çeliği.....	37
5.1.2. St-52 Çeliği.....	38
BÖLÜM 6	40
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
6.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER	40
6.2. LAZER TEZGAHI.....	41
6.3. YÖNTEM.....	42
6.4. DENEY PARAMETRELERİ	44
6.5. KERF GENİŞLİĞİ ÖLÇÜMÜ.....	44
6.6. ÇAPAK YÜKSEKLİĞİ ÖLÇÜMÜ.....	44
6.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ.....	45
BÖLÜM 7	47
DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLAR	47
7.1. KERF GENİŞLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	51
7.2. ÇAPAK YÜKSEKLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	59
7.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	67
BÖLÜM 8	74
SONUÇ VE ÖNERİLER	74
8.1. SONUÇLAR	74
8.2. ÖNERİLER	76
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Kendiliğinden emisyon	14
Şekil 3.2. Tahrik edilmiş yutma	15
Şekil 3.3. Uyarılmış emisyon	15
Şekil 3.4. Lazer prensibi	16
Şekil 3.5. Lazer demetinin uyumluluğu	17
Şekil 3.6. Nd:YAG lazer rezonatörü	20
Şekil 3.7. CO ₂ lazer tezgahının şematik gösterimi	21
Şekil 4.1. Lazer kesmenin şematik diyagramı	26
Şekil 4.2. Lazer ışını ile yakarak kesme.....	27
Şekil 5.1. Alaşımli çeliklerin gösterimi (St-37)	36
Şekil 5.2. Alaşımli çeliklerin gösterimi (St-52)	37
Şekil 6.1. SUNTOP ST-FC3015 marka CNC lazer tezgahı.	41
Şekil 6.2. Kullanılan numune ölçüleri a), numuneler üzerinden ölçüm yapılan konumlar b).....	42
Şekil 6.3. Kesme işleminden görünüm a) Ön yüz, b) Arka yüz.....	43
Şekil 6.4. ISM-PM200SA dijital mikroskop.....	45
Şekil 7.1. St-37 siyah sac malzemenin 500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.....	52
Şekil 7.2. St-52 siyah sac malzemenin 500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.....	53
Şekil 7.3. St-37 siyah sac malzemenin 1500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.....	54
Şekil 7.4. St-52 siyah sac malzemenin 1500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.....	55
Şekil 7.5. St-37 siyah sac malzemenin 2500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.....	56
Şekil 7.6. St-52 siyah sac malzemenin 2500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.....	57
Şekil 7.7. St-37 siyah sac malzemenin 3500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.....	57
Şekil 7.8. St-52 siyah sac malzemenin 3500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.....	58

Şekil 7.9. St-37 siyah sac malzemenin 500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.....	60
Şekil 7.10. St-52 siyah sac malzemenin 500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.....	61
Şekil 7.11. St-37 siyah sac malzemenin 1500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.....	62
Şekil 7.12. St-52 siyah sac malzemenin 1500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.....	63
Şekil 7.13. St-37 siyah sac malzemenin 2500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.....	64
Şekil 7.14. St-52 siyah sac malzemenin 2500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.....	64
Şekil 7.15. St-37 siyah sac malzemenin 3500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimler.....	65
Şekil 7.16. St-52 siyah sac malzemenin 3500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.....	66
Şekil 7.17. St-37 siyah sac malzemenin 500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.....	68
Şekil 7.18. St-52 siyah sac malzemenin 500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.....	68
Şekil 7.19. St-37 siyah sac malzemenin 1500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.....	69
Şekil 7.20. St-52 siyah sac malzemenin 1500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.....	69
Şekil 7.21. St-37 siyah sac malzemenin 2500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.....	70
Şekil 7.22. St-52 siyah sac malzemenin 2500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.....	71
Şekil 7.23. St-37 siyah sac malzemenin 3500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.....	72
Şekil 7.24. St-52 siyah sac malzemenin 3500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Lazer gelişiminin tarihçesi	11
Çizelge 3.2. Işığın dalga boylarına göre sınıflandırılması	16
Çizelge 3.3. Lazerlerin karşılaştırılması	22
Çizelge 5.1. Çeliklerin alaşımlı sayılabilmesi için içerebilecekleri elementlerin alt sınırları	36
Çizelge 6.1. Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal özellikleri.	40
Çizelge 6.2. Deneysel malzemelerin mekanik özellikleri	40
Çizelge 6.3. SUNTOP ST-FC3015 lazer tezgahının özellikleri.	41
Çizelge 6.4. Lazer kesme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri	44
Çizelge 6.5. Mitutoyo Surface SJ-210 model yüzey pürüzlülük test cihazı ve özellikleri.	46
Çizelge 7.1. Deneyler sonucunda elde edilen veriler	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

W : lazer gücü

P : gaz basıncı

ON : odak noktası

F : kesme ilerlemesi

mm/s : kesme hızı

μm : mikrometre

nm : nanometre

W : watt

kW : kilowatt

MPa : megapascal

mN : milinewton

Hz : hertz

$^{\circ}\text{C}$: santigrat derece

N : azot

C : karbon

Mn : mangan

Fe : demir

P : fosfor

S : kükürt

Si : silisyum

Cr : krom

Ni : nikel

Mo : molibden

λ : dalga boyu

KISALTMALAR

- AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
- ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
- ISO : Uluslararası Standartlar Organizasyonu
- CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
- DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
- YMK : Yüzey Merkezli Kübik
- SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
- ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
- TS : Türk Standardı
- Al₂O₃ : Alüminyum Oksit

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Son yıllarda teknolojinin hızla gelişmesi ve ihtiyaçların giderek artmasına bağlı olarak lazer teknolojilerinde de önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Lazer teknolojisi savunma ve uzay teknolojilerinde, elektronik ve bilgisayar sektörlerinde, ölçme, muayene ve analizlerde, imalat sektöründe ve tıp biliminde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Mühendislik dalında ise kesme, delme, kaynak ve markalama gibi birçok işlemde bu teknoloji tercih edilir. Yöntemde enerji kaynağı olarak lazer ışınımı kullanılır ve bu ışınımın malzeme üzerine yoğunlaşması ile işlem gerçekleşir. Endüstriyel alanda en yaygın kullanılan lazer türleri karbondioksit (CO₂) lazeri ve katı hal lazeri olan Nd:YAG lazeridir. Lazer yöntemi ile kalıp maliyetleri ortadan kaldırılmış ve minimum fire ile hızlı kesim yapılması mümkün hale gelmiştir [1].

Karbondioksit lazer tezgahlarında, karbondioksit gazına elektrik akımı verilmesi ile lazer ışını elde edilir. Helyum ve azot gibi gazlar, verimi düşük olan karbondioksit lazerine ilave edilerek verim arttırılır. Lazer ışını ile farklı tezgahlar kullanılması ile yapılan kesim işlemlerine lazer ile kesim adı verilir. Lazer ışınının elde edilmesinin kolaylaştırılması ile lazerin kullanım alanı artmıştır [2].

Lazerin farklı tezgâhlarda uygulanabilirliği ile 24 saat üretim yapılabilir hale gelmiştir. Bu sayede seri üretim sağlanmıştır. Lazer ile yapılan kesme işlemlerinde kalıp ve aparat kullanılmadığından maliyetten tasarruf sağlanmış olur. İşlemler sırasında iş yükü makinelerde olduğundan operatör kaynaklı hayatalar en alt seviyeye indirilmiş olur [3].

Lazer ile kesme yöntemi ile sac, ahşap, alüminyum, paslanmaz sac malzemeler, nikel alaşımları gibi malzemelerin tamamı yüksek kesme kalitesi ve kesme hızlarında kesilebilmektedir. Lazer kesme yönteminde bir bilgisayar sistemi ile programlama

yapılabildiğinden birçok farklı şekildeki parçanın bu yöntemle kesilebilmesi mümkün hale gelmekte ve işlem kısa sürelerde gerçekleştirilebilmektedir. Ancak lazer kesim yöntemi ile yapılan işlemlerde kaliteli sonuçlar elde edilmek isteniyorsa uygun lazer kesim tezgahı seçilmesi ile birlikte uygun işleme parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir [4].

Bu çalışmada üretim sektöründe oldukça geniş bir kullanım alanı bulunan St-37 ve St-52 sac malzemelerin lazer yöntemi kullanılarak kesilmesi incelemiştir. Kesme parametrelerinin (kesme hızı, basınç ve frekans), kerf genişliği, çapak yüksekliği ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri araştırılmıştır. Bu çeliklerin CO₂ lazer tezgahlarında daha hızlı bir biçimde, daha yüksek verimlilik ve daha iyi yüzey kalitesi ile ekonomik bir biçimde kesilmesi için ideal kesme parametreleri belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Durukan ve arkadaşları çalışmalarında endüstride kullanımına sıkça rastlanan 4 ve 6 mm kalınlığa sahip AISI 304 paslanmaz çelik malzeme kullanmışlardır. Bu malzemeden CO₂ lazer kesim tezgahında, belirli ölçülere sahip üçgen, kare ve dairesel şekle sahip numuneler kesmişlerdir. Araştırmada kullanılan kesme ilerlemesi (F), odak noktası (ON), gaz basıncı (P) ve lazer gücü (W) gibi kesme parametrelerinin numunelerin boyutsal doğruluğu üzerine olan etkileri incelenmiştir. Numunelerin boyutsal doğruluğuna etki eden parametreler sırasıyla lazer gücü, kesme ilerlemesi ve odak noktası olmuştur [5].

Öncel, çalışmasında medikal implant ürün üretiminde yaygın olarak kullanılan 316L paslanmaz çelik malzemeden çekilmiş olan tüpü kullanmıştır. Bu malzeme lazer kesim, su jeti ile kesim, metal testeresi ile kesim, plazma kesim, otojen kesim, tel erozyonla kesim, avuç işi taşlamayla kesim olmak üzere farklı kesme yöntemleri kullanılarak kesilmiştir. Kesme işlemleri sonrasında numuneler incelenmiş ve kesme işleminin malzemenin yapısına etkileri incelenmiştir. İncelenen numunelere normalizasyon tavlaması uygulanmış ve numuneler yeniden incelemeye alınmıştır. Tavlamanın etkileri gözlemlenmiş ve elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Tüm bu incelemelerin sonucunda homojen tane boyutu sağlaması, oksit meydana getirmemesi, kesme yüzeyinin düzgünlüğü ve hassas bir kesme sağlaması sebebiyle lazer kesimin implant üretiminde en uygun yöntem olduğu tespit edilmiştir [6].

Salem ve arkadaşları karbon oranı çok düşük olan ince paslanmaz çelik plakaları malzeme olarak seçmişlerdir. Bu plakalardan elde etmiş oldukları numuneler Nd:YAG lazer kullanılarak sürekli mod ile kesilmiştir. Deneyler sırasında lazer tarama hızı, yardımcı gaz, güç ve basınç değişken parametre olarak belirlenmiştir. Kesme

işleminin ardından çeşitli testler uygulanmış ve birtakım sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ideal kesme parametreleri 337 W güç, yardımcı gaz olarak 5 bar basınçta kullanılmak üzere O₂ ve 1100-1500 m/dak lazer tarama hızı olarak belirlenmiştir [7].

Yılbaş, çalışmasında paslanmaz çelik levhaları malzeme olarak tercih etmiştir. Paslanmaz çelik levhalardan elde edilen numuneler kesme hızı, lazer puls frekansı, levha kalınlığı ve yardımcı gaz basıncı parametre olarak belirlenerek CO₂ lazer işlemi ile işlenmiştir. Bu parametrelerin kesme kalitesine olan etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak her bir parametrenin kesme işlemine olan etkisinin belirgin olduğu ve bu parametrelerin lazer ile kesmede önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir [8].

Khaled, çalışmasında yüksek akma dayanımına ve yüksek korozyon direncine sahip HSLA çeliğini CO₂ lazer ile kesme yöntemi yardımıyla kesme işlemine tabi tutmuştur. 1000 dev/dk kesme hızı ile, 1500 W güce sahip AMADA FANCUAF 2000E- LC 2415 ALPHA III Lazer Makinesi kullanılarak kesme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma geniş bir kullanım alanına sahip bu çeliğin lazer ile kesilmesinde sağlanabilecek avantajların belirlenmesi ve lazer ile kesimin diğer kesme yöntemlerine göre üstünlüklerinin tespit edilmesi için yapılmıştır. Sonuç olarak bu yöntemin kullanılmasıyla elde edilen kesim yüzeylerinin kalitesinin daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Verimlilikte artış meydana gelmiş ve malzeme tüketiminde azalma gözlemlenmiştir [9].

Çalığülü, deneylerinde piyasada geniş bir kullanım yelpazesine sahip AISI 304 östenitik paslanmaz çelik, AISI 430 ferritik paslanmaz çelik ve AISI 1010 düşük karbonlu çelik kullanmıştır. Çelikler AISI 430+AISI 1010, AISI 304 + AISI 1010, AISI 430 + AISI 304 olacak şekilde kaynak parametreleri olan kaynak gücü (2000, 2250, 2500 W), ilerleme hızı (100, 200, 300 cm/dk) ve koruyucu gaz (argon, helyum) değiştirilerek birleştirilmiştir. Birleştirme işlemleri tamamlandıktan sonra çeşitli deney ve testler ile incelemeler gerçekleştirilmiştir. İnceleme sonuçlarına göre tüm birleşmelerde kaynak gücü ile ilerleme hızının artması sonucu mikrosertlik değerlerinin arttığı, kaynak gücü arttıkça doğru orantılı olarak ITAB genişliğinin arttığı, ilerleme hızı arttıkça ise ters orantılı olarak dikiş bölgesi ve ITAB genişliğinin

azaldığı tespit edilmiştir. İlerleme hızının artması ile çekme dayanımının azaldığı, kaynak gücünün artması ile de arttığı belirtilmiştir. Bu malzemelerin birleştirilmesinde ideal parametreler AISI 430-AISI 1010 malzemelerinin kaynağında kaynak gücü 2250 W, ilerleme hızı 200 cm/dk, AISI 430-AISI 304 malzemelerinin kaynağında kaynak gücü 2500 W, ilerleme hızı 100 cm/dk, AISI 304-AISI 1010 malzemelerin kaynağında kaynak gücü 2500 W, ilerleme hızı 100 cm/dk olarak belirlenmiştir ve tüm birleştirmelerde ideal koruyucu gazın helyum olduğu tespit edilmiştir [10].

Uslan, çalışmasında yumuşak demir malzemedan elde ettiği numunelerin CO₂ lazer ile kesilmesini ve kesme işleminin gerçekleşmesi esnasında kesme aralığında oluşan değişimi incelemiştir. Çalışmanın sonucunda kesme aralığına lazer gücünün kesme hızından daha çok etki ettiği tespit edilmiştir [11].

Saydam, yapmış olduğu çalışmada ileri teknoloji sanayilerinde çok yaygın bir kullanım alanına sahip olan silikonun lazer ile delinme sürecine etkileyen parametreleri tespit etmeye çalışmıştır. Bütünleşik devreler, güneş pilleri, sensörler gibi birçok alanda silikonu kullanabilmek için küçük boyutlu delikler elde etmek gerekmektedir. Bu delik delme işlemi farklı birçok yöntem ile yapılabilirken üretimin daha hızlı olmasına olanak sağlaması ve oluşturulan deliklerin kalitelerinde artış meydana getirmesi sebebiyle lazer ile delme işlemi diğer yöntemlere göre üstünlük sağlamaktadır. Saydam, bu çalışmada silikon malzemelerin lazer ile delinmesi sırasında delme işlemine etkileyen lazer parametrelerinin neler olduğunu ve bu parametrelerin etkilerini tespit etmeyi amaçlamıştır. Sonuç olarak silikon yüzeylerde delik oluşturma işlemini etkileyen lazer parametreleri tespit edilmiştir [12].

Kallek, çalışmalarında 9, 14, 18 ayar altın alaşımlarını incelemiştir. Çalışmalar boyunca kuyumculuk sektörü için lehimleme ve lazer kaynağının mukayesesi yapılmıştır. Altın alaşımları bu iki yöntemle birleştirilmiş ve sonrasında mikroyapı, renk analizi, sertlik gibi özelliklerin incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların sonucunda lazer ile kaynak için en önemli parametrelerin puls zamanı ve yarıçapı, frekans ve voltaj olduğu tespit edilmiştir. Lazer kaynak parametrelerinin uygun bir şekilde seçilmesi sonucu kaynak bölgesi boyutlarının ve şeklinin kontrolünün sağlandığı anlaşılmıştır. 9, 14, 18 ayar altın alaşımları için ideal kaynak parametreleri

tespit edilmiştir. Lazer kaynağının yüksek yüzey kalitesi, daha küçük ITAB, kısa kaynak zamanı, yüksek mukavemet ve otomasyona olan uygunluk gibi sebeplerden üstünlük sağladığı belirlenmiştir [13].

Ghany ve Newishy çalışmalarında 1,2 mm kalınlığa sahip östenitik paslanmaz çelik plakaları malzeme olarak seçmişlerdir. Plakalar Nd:YAG lazer kullanılarak kesme işlemine tabi tutulmuştur. Uygulamalar sırasında oksijen ve nitrojen olmak üzere iki farklı yardımcı gaz kullanılmış ve paslanmaz çelik plakaların kesimi sırasında kullanılması gereken ideal kesim parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda kesme hızı, darbe frekansı ve lazer gücünün kesme kalitesini etkilediği tespit edilmiştir [14].

Ürgüplü ve Köksal, çalışmalarında kesme işleminde kullanılan lazer sistemleri ve kesme parametrelerinin yapılan işleme ve kesilen ürünün kalitesine olan etkilerini incelemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda lazer ile kesme işleminde yüzey pürüzlülüğünün minimum, hassasiyetin maksimum olması gibi birçok özelliği sağlayabilmek amacıyla kesme parametrelerinin ideal değerlerde olması gerektiğine karar vermiş aksi takdirde ürün kalitesinde bozulma olacağı, üretim maliyetinin artacağı ve ürün kayıplarının artacağını belirlemiştir [15].

İloğlu, çalışmasında CO₂ lazer kesim tezgahında farklı özelliklere sahip çok sayıda çelik numuneye kesme işlemi uygulamıştır. Kesme parametrelerini değiştirerek her parametre ile dört farklı kesim işlemi uygulamıştır. Daha sonra kesme işlemlerinde meydana gelen farklılıkları ve ortaya çıkan sonuçları değerlendirmiştir. Her parametrenin her malzeme de aynı sonuçlara neden olmadığına ve uygun parametrelerin seçilmesi sonucunda istenilen özelliklere sahip malzemelerin üretilmesinin mümkün olduğu sonucuna varmıştır [16].

Al-Qaisy, çalışmasında yüksek yoğunluklu polietilen HDPE boru kullanmıştır. Çalışmada yaygın bir kullanım alanına sahip PE100 boru tipi tercih edilmiştir. Borulara karbondioksit lazer kesim makinesiyle, üç farklı gaz (hava, N₂ ve O₂) ile üç farklı geometriye sahip (kare, dikdörtgen, üçgen) delik açılmıştır. Delme işlemi sonrasında ITAB, kesme kalitesi, yüzey pürüzlülüğü gibi değerler detaylıca

incelenmiştir. Lazer kesme işleminin kalitesi ve bu malzemelerde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneysel sonuçlarda lazer kesim performansına çeşitli faktörlerin etki etmekte olduğu ancak en önemli faktörün çentik genişliği, yüzey pürüzlülüğü ve diklik olduğu belirlenmiştir. HDPE boru için lazer kesimin iyi bir kalite sağladığı, bu yöntem ile düzgün yüzeyler elde edildiği tespit edilmiştir [17].

Akkurt ve arkadaşları çalışmalarında havacılık ve makine imalat sanayi gibi alanlarda sıklıkla kullanılan AA2024 alüminyum alaşımlarını kullanmışlardır. Bu alaşımlardan elde edilen numuneler lazer kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirme işlemleri sırasında ışın güç yoğunluğu, darbe enerjisi ve lazer gücü gibi parametreler değiştirilerek bu parametrelerin kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ile mekanik özellikler açısından ideal parametreler belirlenmiştir [18].

Candan, çalışmasında geniş bir uygulama alanına sahip olan polikarbonatlar ve polimer kompozitleri malzeme olarak kullanmıştır. Bu malzemelerden hazırlanan numunelere uzun ve kısa atım süreli lazer kullanılması ile mikro boyutlara sahip delikler delinmiştir. Atım süresi ve enerjisi ile dalga boyu gibi lazer parametrelerinin, malzemelere delinen delikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu etkilerin tespit edilmesi ile malzemelerin kullanılacağı alana uygun bir biçimde işlenmesi için ideal parametreler tespit edilmiştir [19].

Pınarcıoğlu, çalışmasında şekillendirilebilirlik kabiliyeti ve sünekliği yüksek 304 kalite östenitik çelik ile St-37 malzemelerini lazer ve gaz eritme yöntemi kullanarak kesme işleminde, kesme parametrelerinin malzemeye etkilerini deneysel olarak irdelemiştir. Lazer kesme işlemi için kesme hızı, yardımcı gaz basıncı ve lazer gücü kesme parametresi olarak belirlenmiş ve her defasında bu parametrelerden ikisi sabit biri değiştirilmesi suretiyle işlem yapılmıştır. Gaz eritme işlemi için ise kesme hızı ve gaz basıncı seçilmiş ve biri sabit bırakılıp biri değiştirilerek kesme işlemi yapılmıştır. Kesme işlemi sonrasında kesme parametrelerinin ITAB genişliği ve sertliğine olan etkileri tespit edilmiş, yüzey kalitesi hakkında çıkarımlar yapılmıştır. Her iki yöntemde de kesme parametresi değerlerinin seçiminin kesme kalitesini en çok etkileyen öğelerden biri olduğu anlaşılmıştır. Parametreler uygun tercih edilmediğinde yüzey

kalitesinin kötüleşmesi ve hatta parçanın kesme işleminin gerçekleştirilememesi gibi sonuçlar ile karşılaşmıştır [20].

Öner, çalışmasında 1 mm, 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıklara sahip olmak üzere 304 paslanmaz çelik sac malzeme kullanmıştır. Karbondioksit lazer kesim tezgahında farklı kesme parametreleri ile kesme işlemi yapılmıştır. Lazer gücü 1000, 1200, 1400 ve 1600 W olarak, lazer kesme hızı ise 200, 250, 300, 350 mm/dk olarak seçilmiştir. Güç yoğunluğu %100 alınmış, 7,5" kafa ve 1,5 mm çapında lüle kullanılmıştır. Lazer puls frekansı 100, 500, 1000, 15000 Hz olmak üzere değiştirilmiştir. Yardımcı gaz olarak azot belirlenmiştir. Kesme işleminin ardından numuneler incelenmiş ve bu parametrelerin kesme üzerine olan etkisi saptanmıştır. Güç ve hız yükseltildiğinde yüzey kalitesinde iyileşme olduğu, ilerlemede meydana gelen artış sonucu kesme aralığında azalma olduğu, malzeme kalınlığındaki artışla ise kesme aralığında artış meydana geldiği belirtilmiştir [21].

Mungan, çalışmasında lazerle kesme yöntemleri ve lazer kesim tezgahlarını incelemiştir. Lazer kesim tezgahlarının teknik açıdan özellikleri anlatılmış ve kesme parametreleri ile kesilebilen malzemeler geniş bir şekilde açıklanmıştır. Yöntem kullanılarak kesilebilen yumuşak çelik, alüminyum ve paslanmaz çelik malzemeler için kesme parametreleri tablo olarak ortaya koyulup birbiri ile mukayese edilmiştir [1].

Durmuş, çalışmasında Al99, AlCu4SiMg ve AlMg1SiCu alaşımları matris malzemesi olarak, SiC parçacıkları ise destek öge olarak seçmiştir. Çalışmada alüminyum matrisli kompozitler CO₂ lazer kaynağı kullanılarak birleştirilmiş ve birleştirme sonrası kaynak bölgesinde meydana gelen özellikler incelenmiştir. Sonuçta lazer kaynağı kullanılarak birleştirilmesi hedeflenen numunelerin kalınlığının cihazın gücüne bağlı olduğu, kompozit parçalardan yoğunluğu yüksek olanların daha rahat kaynaklandığı ve kompozit olmayan malzemelerin kompozit malzemelerden daha kolay kaynaklandığı tespit edilmiştir [22].

Arcan, çalışmasında St-44 yapı çeliğini kullanmıştır. Deneylerinde karbondioksit lazer kesim sistemini, lazer ışını ile kesme parametreleri olan lazer ışını odak konumunu,

kesme gazı basıncını, hızı ve bu kesme parametrelerinin iç yapı, sertlik gibi özelliklere etkilerini incelemiştir. Deneyler sonucunda lazer kesme işlemlerinde kesme parametresi değerlerinin uygun bir biçimde seçilmesi sonucunda iyi bir yüzey kalitesi ve minimum ITAB genişliği elde edilebileceği anlaşılmıştır [23].

Uzungörür, çalışmasında havacılık sektöründe yaygın olarak yer alan Inconel 718 sac malzeme kullanmıştır. Bu malzeme CO₂ lazer yöntemi ile kesilmiştir. İşlem esnasında lazer gaz basıncı, lazer kesme gücü ve lazer giriş gücü sabit parametreler, kesme gazı basıncı ve ilerleme hızı ise değişken parametreler olarak alınmıştır. Kesme işlemi sonrasında kesme parametrelerinin kerf genişliği, yüzey pürüzlülüğü ve mikroyapı üzerinde meydana getirdiği etkiler incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, Inconel 718'in CO₂ lazer tezgahında kesiminin yapılması için ideal kesme parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. 0,8 bar kesme gazı basıncında gerçekleştirilen kesme işleminde ortalama kerf genişliği değerlerinin diğerlerinden daha düşük olduğu saptanmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü kesme gazı basıncının 1,6 bar, kesme hızınının 6 m/dak olduğu durumda elde edilmiştir [24].

Çetin, çalışmasında DP600 ve DP1000 çelikleri kullanmıştır. Numuneler farklı parametreler kullanılarak Sisma SWA300 lazer kaynak makinası ile alın alına birleştirilmiştir. Güç, ışın çapı, frekans ve darbe süresi parametreleri değişken parametreler olarak belirlenmiştir. DP600-DP600, DP1000-DP1000 ve DP600-DP1000 şeklinde kaynaklar meydana getirilmiştir. Kaynaklı numunelere mekanik ve mikroyapı özellikleri açısından ideal parametrelerin bulunması amacıyla mikro sertlik ve çekme testi uygulanmış, kaynak bölgeleri incelenmiştir. Sonuç olarak iki adet farklı çelik lazer kaynağı ile başarılı bir şekilde birleştirilmiş ve farklı değerler ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte malzemenin yapısına bağlı olarak mekanik davranış değişiklikleri farklılıklar göstermektedir [25].

Erdoğan, çalışmasında St-37 sac malzemeyi kullanmıştır. CO₂ lazer tezgahlarında farklı parametreler kullanılması ile delme işlemi yapılmıştır. İşleme parametresi olarak parça kalınlığı 1.2-4 mm, odaklama mesafesi (-4), (-2) inç, lazer gücü 2500-4000 W, lazer frekansı 500-1200 Hz ve yardımcı gaz basıncı 8-14 bar olarak belirlenmiştir. İşlemler sonucunda ısı tesiri altındaki bölge, yeniden katılaştıran bölgelerin büyüklüğü

ve çap ölçümü ile işleme parametrelerinde yapılan değişikliklerin, delik kalitesine olan etkileri tespit edilmiştir. İdeal işleme parametreleri belirlenmiştir [2].

Bagger ve Olsen çalışmalarında 1.8 mm kalınlığa sahip G 260 standartlı levhaları 2,6 kW lazer kesim makinesi ile darbeli ve sürekli işın kullanarak kesmişlerdir. Kesme işlemleri sırasında 5" ve 7.5" odak mesafeli lensler kullanılmıştır. Hız, basınç ve odak mesafesi değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Deneyler sonucunda minimum yüzey pürüzlülüğü ile kaliteli yüzeyler elde etmek için uygun parametreler tespit edilmiştir [26].

Rao ve arkadaşları çalışmalarında malzeme olarak 1 mm kalınlığa sahip titanyum levha kullanmışlardır. Titanyum levha darbeli mod ile alışan CO₂ lazeri kullanılarak kesilmiştir. Kesme işlemi sırasında argon, helyum ve azot yardımcı gazlarının işleme olan etkileri incelenmiştir. Helyum gazının titanyum levhaların kesilmesinde diğer gazlardan daha etkili ve başarılı olduğu sonucuna varılmıştır [27].

BÖLÜM 3

LAZER

3.1. LAZER IŞINI

3.1.1. Lazerin Tarihiçesi

Lazerin başlangıcı 1917 yılında Albert Einstein tarafından önerilen uyarılmış ışınım teorisine dayanmaktadır. Ortaya atılan bu teori günümüze dek sürekli geliştirilmiş ve çok sayıda farklı lazer türü üretilmiştir. Lazerin tarihsel gelişimi Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Lazer gelişiminin tarihçesi [28].

LAZER GELİŞİMİNİN TARİHÇESİ		
Tarih	Adı	Başarılan
1916	Albert Einstein	Işığın yayılma teorisi. Uyarılmış ışımaya kavramı.
1928	Rudolph W Landenburg	Uyarılmış ışımaya varlığının kanıtlanması ve negatif soğurma.
1940	Valentin A Fabrikant	Sayı yoğunluğu tersiniminin olma olasılığı.
1947	Willis E Lamb R C Retherford	Hidrojen spektrumunda indüklenmiş ışımaya şüphesi. Uyarılmış ışımaya ilk gösterimi.
1951	Charles H Townes	Kolombiya üniversitesinde MAZER (Microwave Amplification of Stimulated Emission of Radiation) keşfi-Uyarılmış ışımaya dayanan ilk alet ile 1964 Nobel ödülünü kazandı.

Çizelge 3.1. (devam ediyor).

1951	Joseph Weber	Maryland üniversitesinde MAZER bağımsız olarak keşfedildi.
1951	Alexander Prokhorov Nikolai G Basov	Moskova'da Lebedev laboratuarlarında MAZER bağımsız olarak keşfedildi. 1964 Nobel ödülünü kazandı.
1954	Robert H Dicke	"Optik Bomba" patenti. Atımlı sayı yoğunluğu tersinimine dayanan süper-ışınma ve "Moleküler Kuvvetlenme ve Üretim Sistemi" için parçalı Fabry-Perot rezonans çemberi.
1956	Nicolas Bloembergen	Harvard Üniversitesinde üç-seviyeli katı hal MAZER tasarımı.
1957	Gordon Gould	Bir LAZER tanımlayan ilk doküman. 1970'lerde patent şartlarında yaratıldı.
1958	Arthur L Schawlow Charles H Townes	"Optik MAZER"i tanımlayan ilk ayrıntılı makale. Kolombiya üniversitesinde yapılan ilk lazer keşfi ile üretildi.
1960	Arthur L Schawlow Charles H Townes	LAZER patent No. 2,929,922.
1960	Theodore Maiman	Yakut (ruby) kristali ile yapılan ilk çalışan LAZER'in keşfi. 16 Mayıs 1960, Hughes Araştırma Laboratuarları.
1960	Peter P Sorokin Mirek Stevenson	İlk Uranyum LAZER – Yapılan lazerlerin ikincisi. Kasım 1960 IBM Laboratuarları.
1961	A G Fox and T Li	Bell Laboratuarlarında optik rezonatörlerin teorik analizleri.
1961	Ali Javan William Bennet Jr. Donald Herriot	Bell Laboratuarlarında Helyum Neon (HeNe) LAZER'in keşfi.
1962	Robert Hall	General Elektrik Laboratuarlarında yarı-iletken LAZER'in keşfi.
1964	J E Geusic H M Markos L G Van Uiteit	Bell Laboratuarlarında ilk çalışan Nd:YAG LAZER'in keşfi.

Çizelge 3.1. (devam ediyor).

1964	Kumar N Patel	Bell Laboratuvarlarında CO ₂ LAZER'in keşfi.
1964	William Bridges	Hughes Laboratuvarlarında Argon İyon LAZER'in keşfi.
1965	George Pimentel J V V Kasper	Kaliforniya Üniversitesi Berkley'de ilk kimyasal LAZER
1966	William Silfvast Grant Fowles and Hopkins	Utah Üniversitesinde ilk metal buhar LAZER - Zn/Cd
1966	Peter Sorokin, John Lankard	IBM Laboratuvarlarında ilk boya lazer etkisinin gözlenmesi.
1969	G M Delco	Otomobil uygulamaları için üçlü lazerlerin ilk endüstriyel donanımı.
1970	Nikolai Basov's Group	Moskova Lebedev Laboratuvarlarında Xenon (Xe) ile yapılan ilk Excimer LAZER.
1974	J J Ewing and Charles Brau	Avco Everet Laboratuvarlarında ilk nadir gaz halojenür excimer.
1977	John M J Madey's Group	Stanford Üniversitesinde ilk serbest elektron lazeri.
1980	Geoffrey Pert's Group	İngilterede Hull Üniversitesinde X-ışını lazer etkisinin ilk raporu.
1981	Arthur Schawlow Nicolas Bloembergen	Lineer olmayan optik ve spektroskopide yapılan çalışma için Nobel fizik ödülü.
1984	Dennis Matthew's Group	Lawrence Livermore Laboratuvarlarında X-ışını lazer gözleendiği ilk olarak rapor edildi.

3.1.2. Lazerin Tanımı ve Çalışma Prensibi

Lazer bir ışık kaynağıdır. Lazer İngilizce “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiaton” kelimelerinin baş harflerinin alınması ile oluşturulmuş ve uyarılmış ışın yayılımı ile ışığın güçlenmesi anlamına gelmektedir. Türkçe'ye lazer olarak uyarlanmıştır. Lazerler Einstein'ın ortaya atmış olduğu uyarılmış ışımaya ilkesine

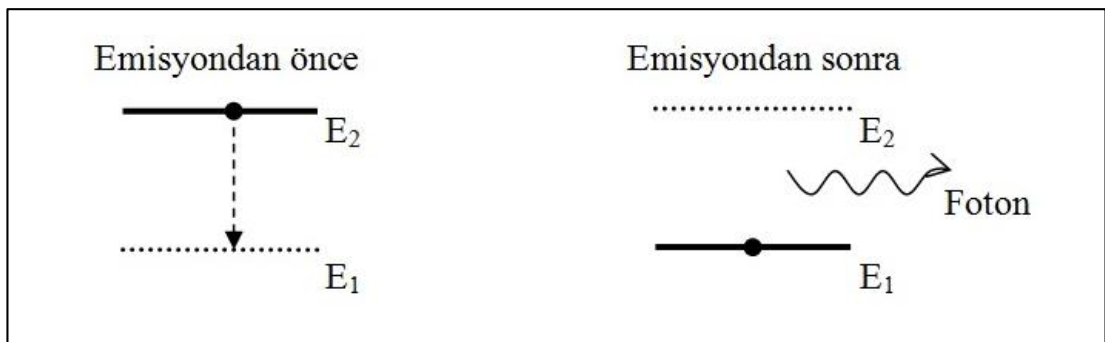
dayanarak çalışır [29]. Atomun dışarıdan uyarılmasının sonucu olarak etrafa yaydığı fotonlar sayesinde lazer ışını elde edilir.

3.1.2.1. Kendiliğinden Emisyon

Bir maddenin bulunduğu seviyeden daha yüksek bir enerji seviyesine çıkması yalnızca aşağıdaki şartlardan birinin sağlanması ile gerçekleşir. Bu şartlar;

1. Isıtma,
2. Basınç uygulama,
3. Bir ışık demetinin etkisinde bırakılma,
4. Hızlandırılmış elektronlar ile bombardıman etme,
5. Hızlandırılmış parçacıklar ile bombardıman etme.

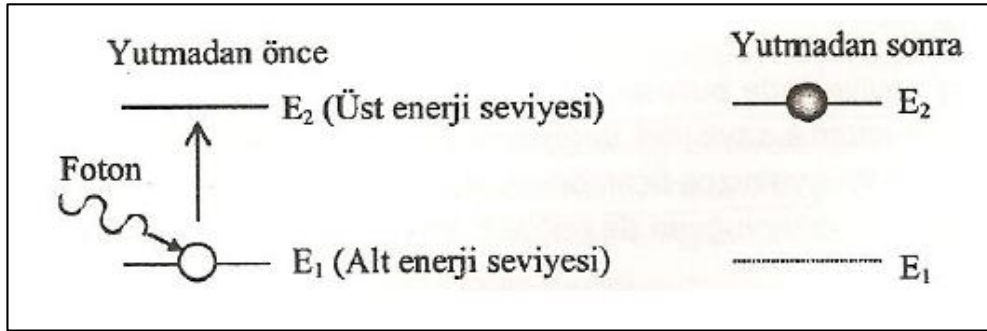
Yukarıdaki şartlardan herhangi birinin sağlanması sonucu uyarılan ve üst enerji seviyesine (E_2) çıkarılan atom bu durumda kararsız halde olduğundan yarı kararlı olan alt enerji seviyesine (E_1) kendiliğinden geçmek isteyecektir. Atom E_2 enerji seviyesinden E_1 enerji seviyesine geçiş sırasında sahip olduğu E_2-E_1 kadar enerji farkını ortama bırakır ve böylece kararlı hale geçer. Ortama bırakılan enerji foton olarak yayılacaktır. Bu olaya kendiliğinden emisyon adı verilir [30,31].



Şekil 3.1. Kendiliğinden emisyon [32].

3.1.2.2. Yutma

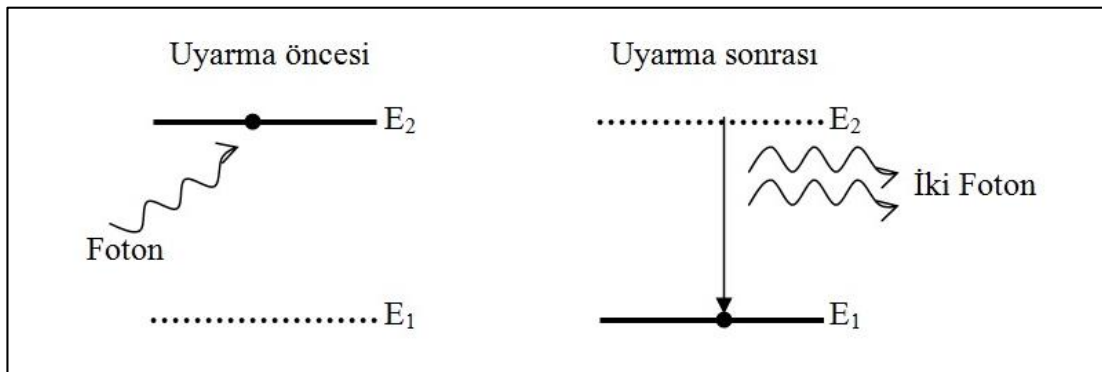
Atomlar normalde E_1 seviyesinde kararlı halde bulunmaktadırlar. Ancak dışarıdan müdahale yapılması ile bir elektromanyetik dalganın çarpması sonucu fotonun enerjisi atom tarafından yutulur. Enerjinin yutulması atom E_2 seviyesine yükselir. Bu olaya yutma adı verilir [29].



Şekil 3.2. Tahrik edilmiş yutma [33].

3.1.2.3. Uyarılmış Emisyon

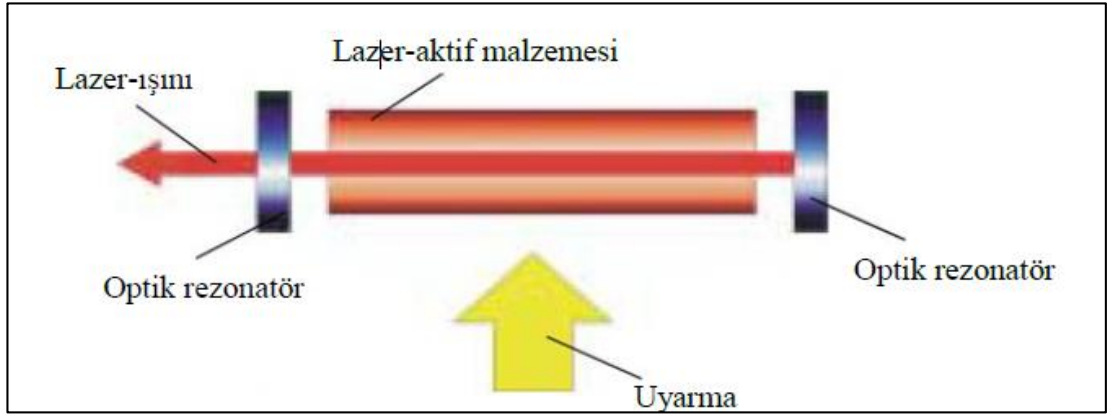
Atom uyarılmış ise bir an önce kararlı konuma geçmek isteyecektir. Enerjisini atarak kararlı hale geçmesi sırasında ortama foton yayar. Bu olay kendiliğinden gerçekleşirse ortama bırakılan foton rastgele bir yayılım izler. Bu durum istenmeyen bir durumdur. Ancak üst enerji seviyesi (E_2) düzeyinde bulunan bir atoma atomik frekansı kendisiyle aynı olan bir foton çarptırılması durumunda ortaya çıkan foton çarpan foton ile aynı doğrultuda, enerjide, fazda ve aynı yönde olur. Bu olaya uyarılmış emisyon denir [33].



Şekil 3.3. Uyarılmış emisyon [33].

3.1.3. Lazer Işının Üretilmesi

Lazer sistemlerinde temel eleman rezonans hücresidir. Rezonans hücresinin bir kısmında tam yansıtımlı diğer bir kısmında ise kısmi yansıtımlı olmak üzere iki adet ayna bulunur. Bu hücrenin içerisi katı veya sıvı bir madde ile doldurulur. Lazer aktif ortamının uyarılması sonucu ortamdaki enerji atomlara ulaşır. Enerji alarak üst enerji seviyesine ulaşan atomlar kararsız hale geçerler ve kararlı hale yani alt enerji seviyesine inmek için fazla enerjiyi foton olarak yayarlar. Yayılan fotonlar tam yansıtımlı aynalardan yansyarak diğer fotonların çıkmalarına sebep olurlar ve foton sayısı belirli bir düzeye ulaştığında kısmi geçirgen aynaya dik olarak gelen fotonlar bu aynadan geçerek lazer ışını oluştururlar [29,34].



Şekil 3.4. Lazer prensibi [35].

Lazerler dalga boylarına göre farklı şekilde adlandırılmaktadır [33].

Çizelge 3.2. Işığın dalga boylarına göre sınıflandırılması [33].

Özellik	Dalga Boyu Aralığı	Özellik	Dalga Boyu Aralığı
Uzak kızıl ötesi	10-1000 μm	Mor ötesi	200-400 nm
Orta kızıl ötesi	1-10 μm	Vakum mor ötesi	100-200 nm
Yakın kızıl ötesi	0.7-1 μm	Aşırı mor ötesi	10-100 nm
Görülebilir	400-700 nm	X ışını	20-30 nm

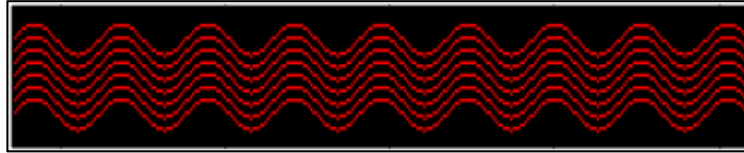
3.1.4. Lazer Işını Özellikleri

3.1.4.1. Tek renklilik

Rezonatörden çıkan dalgaların fazları aynı olduğundan ve her foton kendi ile aynı özelliklere sahip bir foton ürettiğinden gelen foton ile enerjisi, frekansı ve yönü aynı olan foton çıkışı meydana gelir. Sahip olunan bu frekans değeri bir dalga boyuna karşılık geldiğinden ışın tek renkli olarak elde edilir ve bu çizgi genişliği oldukça dardır. Lazer kovuklarında meydana gelen salınımın yalnızca rezonans frekansında olması lazer çizgi genişliğinin daha fazla daralmasına neden olur. Bu sebeple lazer ışıkları dalga boyu bakımından saftır ve bu özelliklerine tek renklilik adı verilir [36].

3.1.4.2. Koherent (Uyumluluk) Özelliği

Koherent yani uyumluluk özelliği bütün ışık dalgalarının zaman ve uzaklık açısından birbirlerine yapışık bir biçimde hareket etmesi olarak tanımlanabilir [33]. Yönü, fazı ve frekansı birbiri ile aynı olan iki dalga uyumlu olan dalgalar şeklinde ifade edilir. Lazer ışınları birbiri ile uyumlu ışınlardır. Her foton diğer foton ile senkronize bir biçimde hareket eder.



Şekil 3.5. Lazer demetinin uyumluluğu [19].

3.1.4.3. Yoğunluk

Uyarılmış emisyon ile foton yayan atomların, tüm fotonları paralel şekilde eş fazlı olarak yaymalarından dolayı lazerden alınan ışığın yoğunluğu yüksektir. Optik boşlukta birbirini takip eden yansımaların sonucunda lazer ışığının yoğunluğu artar. Lazer demeti çok yüksek bir ışık üretir. Lazerler dışındaki tüm ışıklar lazer ile kıyaslandığında zayıf kalırlar [37].

3.1.4.4. Yönlendirilebilirlik (Paralellik)

Lazer ışınının en önemli özelliklerinden birisi de dağılmaz olması ve bu sayede yön verilebilmesidir. Uyarılan atomlar her yöne hareket etmek yerine belirli yönlerde hareketlerini gerçekleştirirler. Bu sayede lazer ışını parlak olur. Yönlendirilebilirlik özelliğinden faydalanılarak fiber optik teknolojisi ve haberleşme teknolojisi geliştirilmiştir [38].

3.2. LAZER ÇEŞİTLERİ

3.2.1. Katı lazerler

Katı lazerlerde uygun bir malzeme kullanılarak yapılan bir çubuk bulunur. Bu çubuğun uçları düz ve birbirine paralel olacak şekilde parlatılmış ve lazer ışığının yansımısını sağlamak amacı ile ayna ile kaplanmıştır. Pompalayıcı lambadan gelen ışığın çubuğa girmesini sağlamak amacıyla çubuğun yan çeperi saydam olarak tasarlanmıştır. Pompalayıcı lamba çubuğun yanına yerleştirilmiş, çevresine sarılmış ya da bir ayna kullanılarak çubuğa odaklanması sağlanmış olabilir. İlk lazerde, yapay bir gök yakut kristali olan pembe yakut kullanılmıştır. Daha sonrasında ise birçok toprak elementi kullanılmıştır. Bu elementlerin en yaygın olanı neodimdir. Neodim lazerden binlerce wattlık güç elde edilebilmektedir [39].

3.2.2. Yarı İletken Lazerler

Yarı iletken lazerlerde iki adet yarı iletken olan madde farklı türlerden katkılanmış ve düz bir bitişim oluşturmak üzere yan yana getirilmiştir. Bu sistemden şiddeti yüksek olan bir elektrik akımı geçirilmesi durumunda lazer ışığı meydana getirilir. Bu tip lazerler sağladıkları birçok avantaj nedeniyle uzaklık ölçümlerinde ve iletişimde kullanılmaktadırlar [40].

3.2.3. Boyar Madde Lazerler

Bazı organik boyarmaddeler üzerlerine düşen ışığı farklı bir renk ile yeniden yayımlarlar. Boyarmaddeler dezavantajları olmasına rağmen geniş bir frekans aralığı içinde ayarlanabilme özelliği göstermelerinden dolayı lazerde kullanılırlar. Boyar madde lazerlerde etkin ortam, sıvı çözelti halindeki organik moleküllerden oluşur [40].

3.2.4. Gaz Lazerler

Gaz lazerlerde etkin ortam genellikle bir gaz karışımından meydana gelmektedir. Karışımda yer alan bileşenlerden biri, uyarımını çarpışmalar ile diğerine aktarır. En yaygın kullanılan gaz lazerler güçleri zayıf olmasına rağmen helyum-neon lazerleridir. İyon lazerlerin etkin malzemesi ise iyonlaştırılmış bir gaz olan gaz lazerleridir ve en yaygın kullanılanı argon lazerleridir.

Karbondiyoksit lazerinde CO₂ moleküllerinin temel elektron durumundaki titreşim-dönme geçişlerinden faydalanılır. Gaz karışımı helyum, azot ve karbondiyoksitten oluşur. Uyarma karbondiyoksit moleküllerine azot moleküllerinden aktarılır. Karbondiyoksit lazerleri %10 ile %15 değerleri arasında değişen yüksek bir verime sahiptir [39].

3.3. ENDÜSTRİYEL LAZER TÜRLERİ

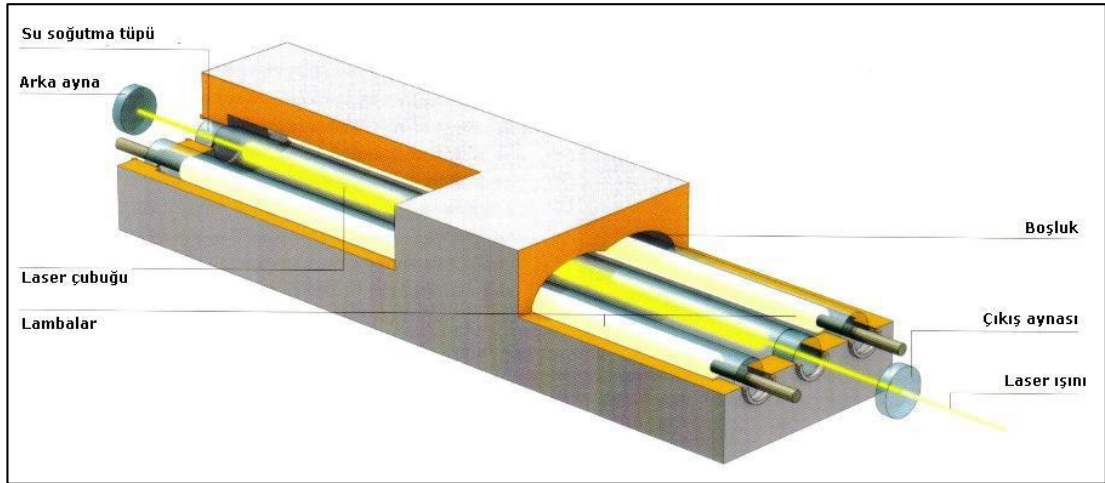
Endüstriyel olarak gaz lazerleri ve katı lazerler olmak üzere iki farklı lazer grubu kullanılır. Katı hal lazerler olan Nd:YAG ve gaz lazer olan CO₂ lazerleri malzeme işlemede yaygın olarak kullanılırlar.

3.3.1. Nd:YAG Lazer

Nd:YAG lazer Neodimyum safsızlığı içerisinde camsı katı itriyum alüminyum lal taşından meydana gelir. Katı hal lazerlerinden en yaygın kullanılanı Nd:YAG lazerdir. Bu lazer türünde etkin ortam neodimyum iyonları ve itriyum-alüminyum-granat

kristallerinden oluşan bir çubuktur. Bu çubuk ile ışın elde edilir. Çubuğun boyunda meydana gelen artış ile elde edilen enerji de artar.

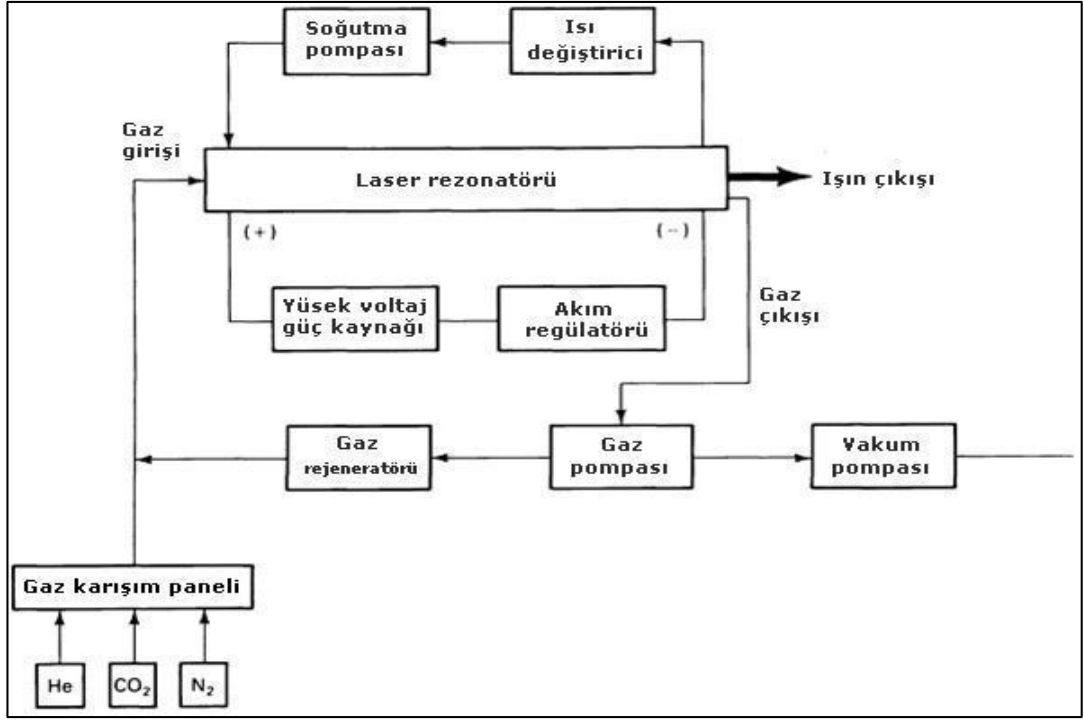
Lazer malzemesi iki yandaki iki adet lamba ile uyarılır. Bu sistemlerde malzemeler yansıtma özelliği yüksek olan ve ışığı malzeme üzerine yoğun şekilde yansıtması için elips şeklinde bulunan bir boşluğun içinde bulunurlar. Elipste üç farklı odak noktası yer alır. Lambalar dış iki noktada, lazer malzemesi ise iç odak noktada bulunur. Bu sistem ile ışık yansır ve tekrar malzeme üzerinden geçişi gerçekleşir. İşlemler sırasında ısınma meydana geldiğinden malzemeler içinden soğutucu suyun geçtiği borular ile çevrili olur [41].



Şekil 3.6. Nd:YAG lazer rezonatörü [41].

3.3.2. Karbondioksit Lazeri

Lazer ışını, kesme gazı, elektrik enerjisi ve soğutma ünitesi bağlı olan bir lazer ışını üreticinde, rezonatörde üretilir. Sistemde elektrik, kimyasal veya nükleer kaynaklar ile elde edilen enerji, özel frekansta elektromanyetik bir ışına dönüştürülür.



Şekil 3.7. CO₂ lazer tezgahının şematik gösterimi [41].

Rezonatör, yapıları küresel olan biri tam yansıtıcı diğeri ise kısmi geçirgen iki aynadan oluşur. Lazer tezgahlarının en önemli parçalarından biri de rezonatördür. Lazerlerin tümü aynı rezonatör dizaynı ile üretilmemiştir. Bir rezonatör dizaynında 4 ana faktör bulunmaktadır. Bunlar;

1. Lazer gaz karışımı: Karbondioksit, azot ve helyum gazlarının karışım içerisinde bulunma oranları lazer işlemleri için önemli bir etkidir. %5,5 CO₂, %29 N₂ ve %65,5 He kullanılması durumunda ideal gaz karışımının sağlandığı belirlenmiştir.
2. Pompa kaynağı: Alternatif akım veya direk akım lazer gazını pompalamak için kullanılabilir.
3. Soğutma: Lazer gazı işlem sırasında yüksek derecede ısındığından dolayı etkili bir şekilde soğutulmalıdır. Çok yüksek sıcaklıklarda işlem gerçekleştirilemediği için lazer gazı sürekli olarak akışkan gaz veya difüzyon ile soğutulur.
4. Rezonatörün şekli ve büyüklüğü: Rezonatör boşluğunun hacminde meydana gelen artış ile üretilen lazer gücünün büyüklüğü de artar [41].

Yüksek güç seviyelerinden dolayı CO₂ lazerleri malzeme işleme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.4. LAZERLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Lazer çeşitlerinin bakım maliyetleri kıyaslandığında direk diyot lazerlerin maliyetlerinin diğerlerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. CO₂ ve Nd:YAG lazerlerin bakım periyotları yaklaşık olarak 1000-2000 saat arasında değişmektedir. Tüm lazerler içinde en verimlisi %50 verimliliğe sahip diyot lazerlerdir. CO₂ lazerin verimliliği %10, Nd:YAG lazerin %5, diyot pompalı Nd:YAG lazerin verimliliği ise %15'e kadar çıkabilmektedir [42,43].

Çizelge 3.3. Lazerlerin karşılaştırılması [42].

Parametre	Direk Diyot	Nd:YAG (DP)	CO ₂
Verimliliği	%50-%60	%3-%5	%8-%10
Dalga boyu	0.8 µm - 0.98 µm	1.06 µm	9.4-10.8 µm
Ortalama Yoğunluğu	103-106	105-107	103-108
Maksimum Güç [kW]	Sınırsız	5	50
Servis	Çok az	1000 (2000)	2000
Yenileme [saat]	Lazer bakımı [10,000]	Lambalar hariç (8,000)	Yok
Işının taşınması	Lensler, fiber	Lensler, fiber	Aynalar
Yatırım [\$/W]	65	180 / (250)	70
Yenilenmesi/tekrar onarılması [\$/W]	20-25	Yok	Yok

3.5. LAZER UYGULAMA ALANLARI

Lazerler endüstride, haberleşmede, tıp ve askeri alanlarda ve bilimsel araştırmalarda yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Endüstride

1. Malzemeleri çok hassas bir biçimde kesme, delme, lehimleme ve şekil verme işlemlerinde,
2. Yüzey sertleştirmede,

3. Uzun ve yüksek olan yapıların düzgünlük ölçümlerinde,
4. Yeni madde analizlerinde,
5. Chip üretiminde hat kalınlıklarının 0,25 µm'den az olarak desenlendirilmesinde kullanılır.

Tıp alanında

1. Zarar görmüş dokuların keserek alınmasında,
2. Kanamanın durdurulmasında,
3. Yaraların iyileştirilmesinde,
4. Göz retinasında meydana gelen zedelenmelerin giderilmesinde kullanılır.

Haberleşmede

1. Yeryüzü ve uydular arası haberleşme sistemlerinde,
2. Dünya üzerindeki haberleşme ağlarında,
3. Yüksek yoğunluğa sahip ses ve görüntü bilgilerinin depolanmasında kullanılır.

Askeri alanlarda

1. Lazerli silahların üretiminde,
2. Hedef saptama, mesafe ölçme işlemlerinde kullanılır.

Bilimsel araştırmalarda

1. Çok hassas bilimsel ölçümlerde,
2. Malzemelerin kimyasal olarak analiz edilmesinde kullanılır.

Gösteri, eğlence ve reklam sektöründe

1. CD, DVD çalarların ve okuyucuların üretilmesinde,
2. Eğlence mekanlarında ışık gösterilerinde kullanılır [44].

3.6. MALZEMELERİN LAZER İLE KESİLEBİLME KABİLİYETLERİ

3.6.1. Çelikler

Karbonlu ve alaşımlı çeliklerin tamamı 20 mm'yi aşan kalınlıklarda ise oksijen yardımcı gazıyla kesildiğinde iyi sonuçlar elde edilir. Kesme bölgesi genişliği 0,1 mm iken ITAB genişliği 0,1-0,3 mm arasında değişir. Kesme yüzeyleri pürüzsüz ve düz olur. Kesme işleminin oksijen kullanılarak yapılması ile kesim kenarlarında oksitlenme meydana gelir. 4 mm'ye kadar olan kalınlıklarda ise kesme gazı olarak azot gazı kullanılır. Bu işlemde kesim kenarlarında oksitlenme görülmez ancak kesme işlemi oksijen ile kesmeye göre daha yavaş gerçekleşir.

Alaşım yüzdesi yüksek olan malzemeleri kesmek düşük alaşımlı malzemeleri kesmekten daha zordur. Ancak ITAB bölgesi daha geniş ve daha sert olmasına rağmen yüksek alaşımlı çelikler daha iyi kesme sonuçları verir [45].

Oksit oluşumu daha düşük kesme kalitesine neden olacaktır. Ayrıca çeliklerin kesilmesinde gerilmelerin giderilmesi de önemli bir kriterdir [46].

3.6.2. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelik malzemeler lazer ile kolayca kesilebilir. Eğer işlemlerde oksitli kenarlar oluşması önemli değil ise oksijen ile kesimleri gerçekleştirilebilir. Ancak oksitsiz ve çapaksız, kaynağa hazır yüzeyler elde etmek ve daha hızlı bir şekilde kesme işleminin gerçekleşmesi isteniyorsa azot kullanılır [45].

5 mm'den daha kalın paslanmaz çelikleri azot kullanarak çapaksız bir biçimde delmek için odak pozisyonunun ayarı gerekmektedir. Odak noktasının ayarının yeniden yapılması daha temiz bir delmeye olanak sağlar [46].

3.6.3. Alüminyum

Alüminyum alaşımları yüksek ısı iletkenlik ve yüksek yansıtma özelliklerine sahip olmalarından dolayı 6 mm kalınlığa kadar lazer ışını ile kesilebilir. Bu malzemelerin sürekli mod kullanılarak kesilmesi tavsiye edilir. Azot ile kesildiklerinde daha temiz bir kesme yüzeyi elde edilir. Bu malzemelerin kesme hızı paslanmaz çeliklere göre %25 daha yavaştır [45,46].

3.6.4. Bakır ve Pirinç

Bu malzemelerin ısı iletkenlik ve yansıtma özellikleri alüminyumdan daha fazladır. Bu sebeple bakır kesme gazı olarak oksijen seçilmesi durumunda 3 mm'ye kadar kesilebilir. Pirinç ise azot kullanılması durumunda 3 mm'ye kadar kesilebilir [46].

3.6.5. Titanyum

Titanyum 7 mm'ye kadar azot gazı kullanılarak kesilebilir. Kesme işleminde oksijen gazı kullanımı da bir alternatiftir ancak titanyum oksijen ile reaksiyona girdiğinden yüksek besleme hızlarında kullanıma uygundur [46].

3.6.6. Metal Dışı Malzemeler

Metal dışı malzemelerin çoğunda aynı kesme teknikleri uygulanır. Çelik malzemelerin kesilmesi işlemlerinde olduğu gibi oksitlenme reaksiyonu meydana gelmediğinden kullanılan yardımcı gaz buharlaşan malzemeyi uzaklaştırmak için kullanılır.

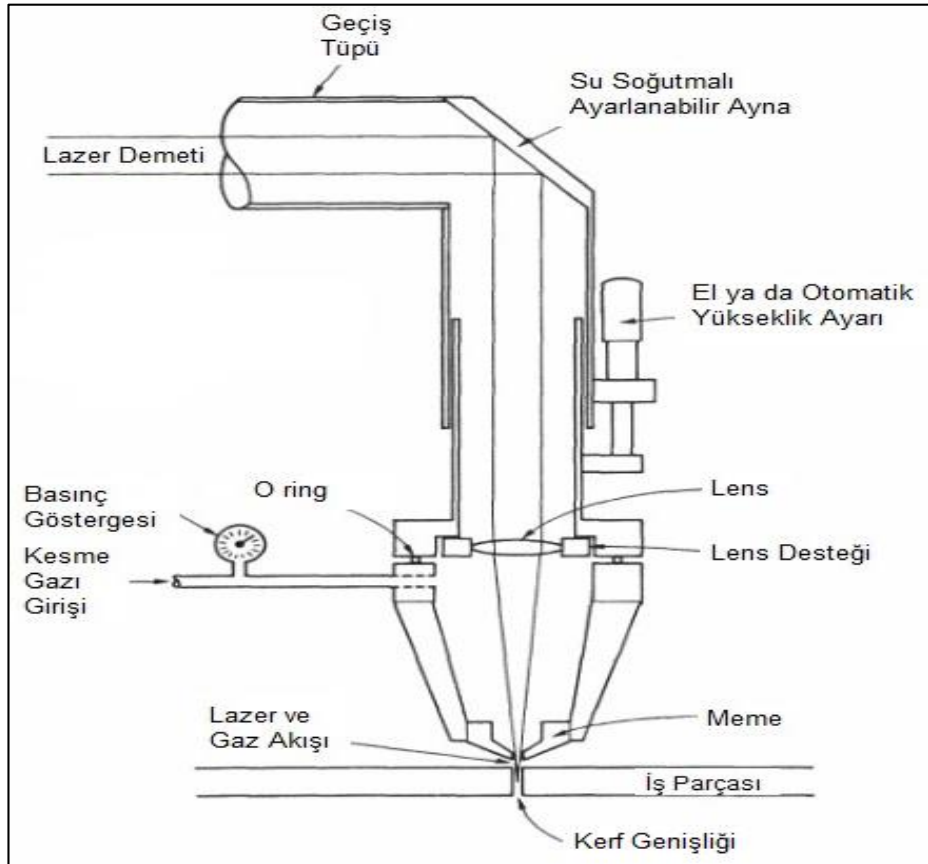
Seramiklerin kesilmesinde 1 mm kalınlık için 0,5 m/dk hız kullanılması ile çok düzgün kesme yüzeyleri elde edilir. Ahşap malzemeler 25 mm'den daha yüksek kalınlıklarda rahatlıkla kesilebilir. Akriliklerde ise 50 mm'yi geçen kalınlıklar kolayca kesilebilir. Kuartz ve camda bu kalınlık değeri 5 mm ve üzeridir [45].

BÖLÜM 4

LAZER İLE KESME

4.1. LAZER İLE KESME İŞLEMİ

Lazer ile kesme işlemlerinde lens yardımıyla odaklanan yüksek yoğunluktaki lazer ışını parça üzerine çarptırılır ve çarpan ışın malzemenin erimesine veya buharlaşmasına neden olur. Işının parçayı delmesiyle kesme işlemi gerçekleşir. Lazer ışını parça boyunca malzemeyi eriterek ilerler. İşlemler sırasında eriyen malzeme yardımcı basınçlı bir gaz kullanılarak kesilen bölgeden uzaklaştırılır [41].



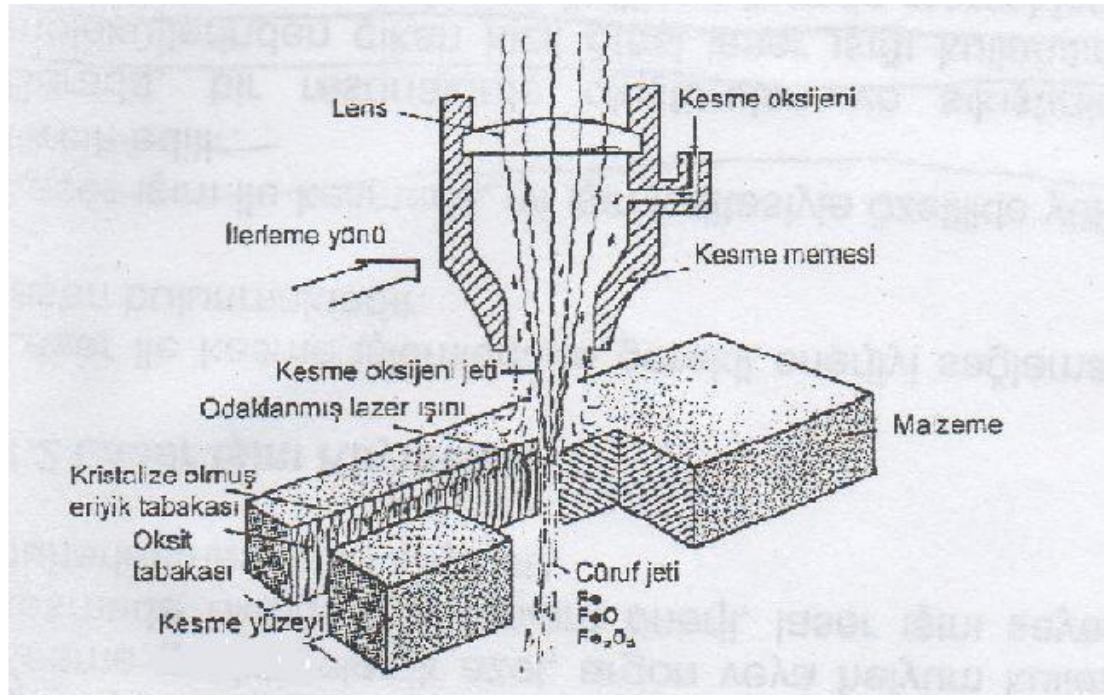
Şekil 4.1. Lazer kesmenin şematik diyagramı [47].

4.2. LAZER İLE KESME YÖNTEMLERİ

Lazer ile kesim üç farklı yöntem ile gerçekleştirilebilir.

4.2.1. Lazer Işını ile Yakarak Kesme

Lazer ışını ile yakarak kesme işlemlerinde malzeme, yüzeyine odaklanan lazer ışını yardımı ile tutuşma sıcaklığına getirilir. Kesme işlemi sırasında kullanılan kesme oksijeni malzemenin kesim kenarını oksitler ve yakar. Ayrıca oksijenin yakıcı özelliği ile kesim için gerekli olan enerjinin %40'ı sağlanmış olur. Kesme oksijeninin kinetik etkisi ile akışkan cüruf uzaklaştırılır ve kesme kenarı oluşturulur. İşlemlerde düşük lazer gücü ile yüksek kesme hızlarına çıkılması, oksijen tarafından meydana gelen ekzotermik reaksiyon ile gerçekleşir [48,49].



Şekil 4.2. Lazer ışını ile yakarak kesme [6].

İşlemlerde malzemenin kesilebilmesi için bazı şartları sağlaması gerekmektedir.

1. Malzeme oksitlenebilen malzeme olmalıdır ve yüksek sıcaklıkta eriyen oksitler oluşturmamalıdır.

2. Malzemenin tutuşma sıcaklığı, erime sıcaklığının altında olmalıdır.
3. Yanmanın sonucunda ekzotermik reaksiyon oluşmalıdır.

Yakarak kesme ile diğer yöntemlere göre daha ince malzemeler kesilebilir ve kesme hızı daha yüksektir. Yöntem kesim kenarlarında oksidasyona sebep olabilir. Ayrıca yöntemde kesme işlemi tamamlandıktan sonra ilave işlemlere gerek olmaktadır [50].

4.2.2. Lazer Işını İle Eriterek Kesme

Lazer işını ile eriterek kesme işlemlerinde kesilecek iş parçası malzemesinin tüm et kalınlığı eritilir ve gaz işının kinetik enerjisi kullanılarak kesme yüzeyinden uzaklaştırılır. Kesme gazı olarak azot, argon, basınçlı hava veya helyum kullanılır. Eriyen malzemede herhangi bir reaksiyon oluşmaz. Titanyum malzemeler ise bu konuda istisnadır. Titanyum malzemelerin reaksiyona girme eğilimleri yüksek olduğundan bu malzemelerin kesiminde argon gazı kullanılması gerekmektedir. Yöntemde toplam enerji lazer işını ile kesme bölgesinde sağlanır ve malzemenin erimesi için kullanılır. Bu yöntem ile yapılan kesme işlemleri sonrasında ek işlemlere gerek yoktur ve paslanmaz çelikler ile yapılan kesme işlemlerinde apaksız bir kesme kenarı oluşur. Yöntemin dezavantajı ise yüksek bir gaz tüketimi olması ve yakarak kesme işlemi ile kıyaslandığında kesme hızının daha düşük olmasıdır [48,49].

4.2.3. Lazer Işını İle Buharlaştırarak Kesme

Lazer işını ile buharlaştırarak kesme işlemlerinde, odaklanan yüksek şiddete sahip lazer işını ile kesilecek olan iş parçası malzemesinin tüm et kalınlığı kendiliğinden buharlaşır. Buharlaşan malzeme genleşmenin etkisi ve lazer işınının yüksek kinetik enerjisi ile kesme yüzeyinden uzaklaştırılır. Yöntemde kesme gazı olarak azot, helyum veya argon kullanılır. Temiz bir kesim yüzeyi elde edilir ve ısı tesiri altındaki bölge oldukça dardır. Bu yöntem ile eriterek kesme yönteminden daha fazla malzeme kaldırılır. Etkin bir kesme işlemi gerçekleştirmek için yüksek güç yoğunluğu gerekmektedir [48,49].

4.3. LAZER İLE KESME GAZLARI

Lazer ışını kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde kesmenin verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için seçilen lazer ile kesme yöntemine uygun olarak kesme gazı seçilmelidir.

4.3.1. Oksijen

Lazer ile yakarak kesme işlemlerinde kullanılan oksijenin saflığı kesim kalitesine, çapak oluşumuna ve cüruf birikimine büyük oranda etki etmektedir. Oksijenin saflığındaki çok düşük oranda meydana gelen bir azalma bile kesme hızında önemli derecede bir düşüşe neden olur. Oksijenin saflığı arttıkça kesme hızı da artar. Oksijenin saflığının %99,5 veya üzerinde olduğu durumlarda bile uygun şartlar sağlanmadığında cüruf birikimi oluşabilir [50].

4.3.2. Basınçlı Hava

Basınçlı hava ince sac malzemelerin kesiminde kullanılabilir. Havanın içerisinde %80 oranında azot bulunduğundan hava kullanılarak yapılan kesme işlemleri eriterek kesme işlemleridir. Erimiş metalin kesme bölgesinden uzaklaşması için hava basıncının 5-6 bar arasında olması gerekmektedir [50].

4.3.3. Azot ve Argon

Eriterek ve buharlaştırarak kesme işlemlerinde erimiş veya buharlaşmış malzemenin kesme bölgesinden uzaklaştırılması için düşük reaksiyon hızına sahip gazlar kullanılması gerekmektedir. Bu işlemler için en uygun gazlar azot veya argondur. Kullanılan bu gazlar ile kesme yarığında yanma oluşumu engellenir ve kesme bölgelerinin oksit içermesi engellenir. Bu sayede kesme işleminden sonra ilave işlemlere gerek kalmaz [50].

4.4. LAZER KESME PARAMETRELERİ

Güç sabitliği

İyi bir kesim işlemleri yapılması ve kesme sonucunda istenen değerlerin iyi bir biçimde elde edilebilmesi için kesim sırasında lazer gücünün sabit olması gerekmektedir. Lazer ışını oluşumuna başladıktan 5-10 dakika sonra sabit bir çıkış gücü elde edilir. Lazer gücü belirli bir zaman geçtikten sonra düşüşe geçeceğinden düzenli aralıklar ile kontrollerin yapılması gerekmektedir [51].

Işın Profili

Elde edilebilir fokus çapı lensin odaklama mesafesine bağlıdır. 2,5 inç lenste 0,12 mm'den küçük, 5 inç lenste ise 0,2 mm'den küçük odaklama çapına izin verilebilir [51].

Uzaklaşma Açısı

Lazer üreticisi birbirine paralel şekildeki demetlerden oluşur. Bu paralelliğın kesin bir paralellik olmaması sebebiyle lazer ışını küçükte olsa genişler. Işığın kırılma açısı sabit ışın özellikleri ve ışın çapı sağlayabilmek nedeniyle mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır [51].

Odaklama Noktası

İyi bir kesim kalitesi için gerekli olan koşullardan biri de doğru odaklama noktası belirleyebilmektir. Sac malzemelerin yakarak kesme işlemlerinde odaklama noktası 6 mm'ye kadar olan kalınlıklarda yüzeyde, 8 mm ve üzerindeki kalınlıklarda ise sac yüzeyinin üzerinde olmalıdır [51].

Lüle Ayarı ve Lüle Ağzı

Lens ile odaklanan lazer ışını lülenin merkezine denk gelmelidir ve lazer ışını 0,05 mm'den daha fazla kaçık olmamalıdır. Doğru lüle seçimi kesme işleminin kalitesi için önemli bir parametredir. Çarpma sonucu lüle ağzında meydana gelen ovalleşme ile kesme işlemi kusurlu bir şekilde gerçekleştirilmiş olur. Bu nedenle lüle ağzı kontrol edilmelidir [51].

4.5. LAZER İLE KESİM AVANTAJLARI

1. Kontrolü ve otomasyonu kolaydır.
2. 3 boyutlu malzemelerin kesme işlemi yapılabilir.
3. İşleme esnasında malzemeye ısı geçişi azdır.
4. Köşelerde daha iyi sonuçlar elde edilir.
5. Kalınlıkları ve geometrileri birbirinden farklı olan malzemeler aynı anda kesilebilir.
6. Kalıp maliyeti bulunmaz.
7. Düşük maliyetlidir.
8. Yüksek kesme hızlarında kesim yapılabildiğinden işleme süresi kısadır.
9. Çok küçük çaplara odaklanabilir.
10. Çok hassas işleme gerçekleştirilir.
11. CAD/CAM programları kullanılması sebebiyle malzemedен yüksek seviyede kazanç sağlanır.
12. Metal olmayan malzemeler, çok sert, gevrek veya sünek malzemeler işlenebilir.
13. Takım aşınması yoktur.
14. İşleme sırasında parçaya temas yoktur [52,53].

4.6. LAZER İLE KESİM DEZAVANTAJLARI

1. Bakım ve kurulum maliyeti yüksektir.
2. Kör delik açılmaz.
3. Lazer ışını parlak yüzeylerden yansır.
4. Programlama bilgisi ve nitelikli eleman gerektirir.

5. Isıl işlem sebebiyle malzemede kimyasal değişimler ve bozulmalar meydana gelir.
6. Kalınlık/ap oranı sınırlıdır [21,52].

BÖLÜM 5

ÇELİKLER

Çelikler temel alaşım elementi olan demir (Fe) ve karbon (C) alaşımıdır. Çeliklerin yapılarında bulunan karbon (C) miktarı, çeliklerin mekanik özelliklerini en çok etkileyen faktördür. Karbon oranıyla çeliğin çekme ve akma dayanımı artmakta, fakat darbelere karşı dayanma gücü ve şekillenebilirliği azalmaktadır. Bu durumda alaşım elementleri olan nikel (Ni), manganez (Mn), krom (Cr), molibden (Mo), vanadyum (V) ve niyobyum (Nb) düşük oranlarda katılarak tokluk artırılabilir [54]. Çeliğe ilave edilen alaşım elementleri ve bu alaşım elementlerinin etkileri aşağıda verilmektedir.

Karbon (C)

Karbon çelik için gerekli olan ve mekanik özelliklerini en çok etkileyen ana alaşım elementidir. Çelik içerisinde bulunan karbon (C) oranının fazla olması, çeliğin daha sert ve mukavemetinin daha yüksek olmasına sebep olur. Ancak çeliğin ihtiva ettiği karbon (C) miktarı %0,8'e kadar olursa akma sınırı ve çekme gerilmesi değeri artar. Bu değerden sonra çelikte kırılma meydana gelir ve ısıl işlem sonunda kalıntı östenit nedeniyle sertlik değerinde daha fazla artış meydana gelmez [55].

Mangan (Mn)

Çeliğin dayanımını arttırmak ve sünekliğini azaltmak için mangan eklenir. Mangan aynı zamanda kaynak kabiliyetini, dövme ve sertleştirmeyi de artırır [55].

Silisyum (Si)

Silisyum, oksijen giderici olarak kullanıldığından ve döküm çeliklerinde akılcığı arttırmasından dolayı çelik içerisinde yer alır. Çelik malzemelerin yapısında bulunan silisyum oranı azaldıkça, tufal oluşumunda artış meydana gelir [55,56].

Kükürt (S)

Çeliğin içerisine ihtiva edilen kükürt elementinin akma ve çekme mukavemetine etkisi yok denecek kadar azdır. Kükürt elementi, otomat çeliklerinde talaşlı imalat işlemleri sırasında şekillendirilebilirliği arttırması sebebiyle kullanılmaktadır. Bunun dışında istenmeyen bir alaşım elementidir [55].

Fosfor (P)

Fosfor, çeliğin akma ve çekme dayanımını, sertliğini ve talaşlı imalat işlemlerindeki şekillendirme kabiliyetini arttırırken, darbe dayanımını ve sünekliğini azaltmaktadır [55].

Krom (Cr)

Çelik içerisinde en çok kullanılan alaşım elementidir. Krom çeliğin sertleşme kabiliyetini arttırmakta, aşınma, korozyon ve oksidasyon direnci sağlamaktadır [55].

Nikel (Ni)

Nikel çeliğin darbe tokluğunu ve dayanımını arttırır. Tane küçültme özelliğine sahiptir. Çeliğin sahip olduğu sıcaklık direncini arttırırken, paslanmaya karşı daha fazla dayanıklılık göstermesine sebep olur. Nikel krom ile birlikte kullanılırsa malzemenin sertleşme miktarında, sünekliğinde ve yorulma direncinde artış gerçekleşir [55].

Molibden (Mo)

Molibden yalnız başına çelikte çok fazla tercih edilmez ancak krom, nikel ya da her ikisiyle beraber yaygın bir şekilde olarak kullanılmaktadır. Molibden çeliğin akma ve çekme dayanımını, kaynak edilebilirliğini artırır [55].

Vanadyum (V)

Vanadyum elementi çelik malzemelerin yüksek sıcaklıklara dayanımını ve sertlik derinliğini artırır [55,56].

Wolfram (W)

Wolfram elementi çelik ile birlikte kullanıldığında kesici takımların kullanılma zamanlarını ve kenarlarının sertliğini arttırmaktadır. Bununla birlikte çelik malzemelerin tokluğunu, yüksek sıcaklıklara dayanım direncini ve sertleşebilme kabiliyetini artırır [55,56].

Niyobyum (Nb)

Niyobyum elementi akma sınırını artırır ve tane inceltici bir etkiye sahiptir. Çelik içerisine ihtiva edilmesi durumunda çeliğin direncini arttırmaktadır [55].

Titanyum (Ti)

Tane küçültme etkisine sahip olan titanyum elementi karbür yapıcı özelliği sayesinde sertliği artırır [55].

Alüminyum (Al)

En çok deoksidanı bu alaşım elementi sağlamaktadır. Alüminyum elementinin tane küçültücü etkisinin yanında darbe tokluğu ve akma dayanımı artırıcı etkisi de bulunmaktadır [56].

Bakır (Cu)

Bakır elementi çeliğin korozyon dayanımı ile çekme ve akma dayanımını artırır. Fakat şekillenebilirliğin, elastikiyet ve sünekliğin ise azalmasına sebep olmaktadır [55].

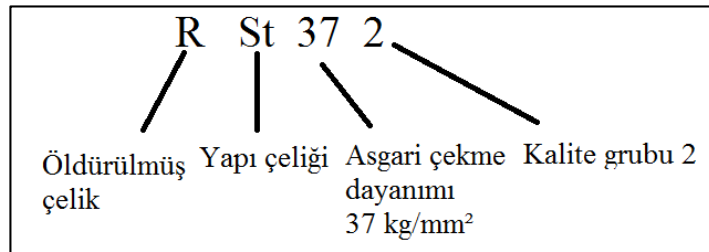
Azot (N)

Azot elementi çeliğin mekanik dayanımını, sertliğini ve korozyona direncini arttırmasına karşın yaşlanmanın oluşmasına neden olmaktadır [56].

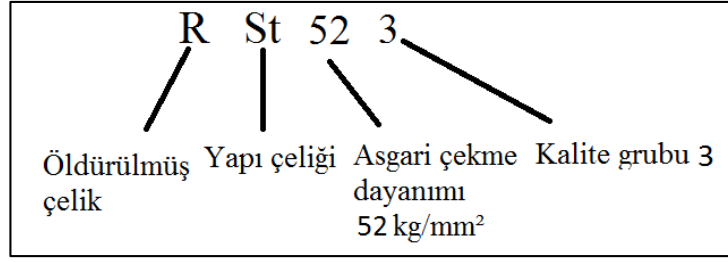
Çizelge 5.1. Çeliklerin alaşımlı sayılabilmesi için içerebilecekleri elementlerin alt sınırları [56].

Element	Alt sınır (% ağırlık)
Alüminyum (Al)	0,10
Bakır (Cu)	0,40
Krom (Cr)	0,30
Kurşun (Pb)	0,40
Mangan (Mn)	1,60
Molibden (Mo)	0,08
Nikel (Ni)	0,30
Silisyum (Si)	0,50
Titanyum (Ti)	0,05
Vanadyum (V)	0,10

Çeliklerin kodlanmasına ilişkin örnek Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Alaşımlı çeliklerin gösterimi (St-37) [54].



Şekil 5.2. Alaşımli çeliklerin gösterimi (St-52) [54].

5.1. YAPI ÇELİKLERİ

Çelik üretiminde en büyük orana sahip çelikler genel yapı çelikleridir. Çekme dayanımına göre ifade edilen yapı çelikleri, öncelikli olarak çekme dayanımları ve akma sınırı değerleri dikkate alınarak köprü yapımında, kaynaklı çelik yapı imalatında, basınçlı kap ve donanımlarında, çelik konstrüksiyonlarda ve taşıt ile makine imalatı gibi birçok alanda çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu çelikler genellikle alaşımsız çelik olarak bilinirler ve mekanik özellikleri yapısındaki karbon oranına bağlı olarak ortaya çıkar. Ancak başta fosfor ve azot olmak üzere, silisyum, kükürt, mangan ve bakır elementleri de epeyce etkilidir [57].

Yapı çeliklerinin içerisine eklenen elementler kaynak kabiliyetini ve dayanımı artırır. Yapı içerisinde karbonun artması çeliğin sertleşmesine sebep olur. Kaynaklanma yeteneğinin ve sünekliğin azalması karbon miktarının artmasıyla doğru orantılıdır. Krom, kolombiyum, vanadyum ve molibden, düşük oranlarda kullanıldığında çeliğe atmosferik korozyon dayanımı ve tokluk kazandıran elementlerdir. Yapı çeliğinin sertliği dayanımıyla bağlantılı olması ve iyi kaynaklanabilirlik özelliğinin de göstergesi olması sebebiyle önemlidir [58].

5.1.1. St-37 Çeliği

St-37 çelikleri, DIN 17100 standardına göre 37 kgf/mm² çekme dayanımına sahip olan çeliklerdir. Bu çelikler çelik konstrüksiyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar. Başındaki "St" ifadesi Almanca çelik anlamındaki "stahl" kelimesinden kısaltılmıştır [59].

İçerisinde çok az oranlarda oksijen, silisyum, azot, fosfor ve mangan gibi elementleri bulduran alaşımlardır. Çeliklerin mekanik özellikleri üretim sırasında gösterilen özene ve içerisinde bulunan karbon miktarına göre değişir. Son dönemlerde demir-çelik endüstrisinde üretilen çeliklerin çoğunluğu alaşımsız çeliklerdir. Alaşımsız çelikler kolay şekillendirilebilir ve ucuzdurlar. Bu çeliklerin sertleşme yetenekleri oldukça zayıftır. Sertleştirme işleminden sonra parçalarda çarpılma, iç gerilme ve çatlama gibi hatalar meydana gelebilir. Her parçada sertleştirme işlemi yapılamaz. Kalın kesitli parçalar ince kesitli parçalar gibi istenilen düzeyde sertleştirilemezler [59].

Yapılarında bulunan karbon oranına göre çelikler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

1. Alaşımsız (Sade karbonlu) çelikler,
2. Düşük karbonlu çelikler (%0,05-0,3 C),
3. Orta karbonlu çelikler (%0,3-0,8 C)
4. Yüksek karbonlu çelikler (%0,8-1,7 C)

Karbon oranı düşük olan çelikler sertleştirilemezler ama bu çeliklerin uygun yöntemlerle yüzeylerinin sertleştirilmesi muhtemeldir. Orta karbonlu çelikler ısı işlemlere oldukça duyarlıdır. Dirençleri düşük karbonlu çeliklere göre daha iyidir, daha sert ve dayanıklıdır. Süneklikleri ise düşük karbonlu çeliklere yakın ve hatta onlara oranla daha azdır [60].

Bu çelikler sanayi sektöründe, iş makineleri imalatında, köprü ve demiryollarında, kara ve demir yolu araçları imalatında, zemin altyapı projelerinde, depolama tanklarında, gemi yapımında, denizde yapılan dalgakıranlarda, konteyner imalatı gibi alanlarda kullanılmaktadırlar [61,62].

5.1.2. St-52 Çeliği

St-52 çelikleri çok özel bir yapı çeliğidir. Karbon oranı (%0,2'den az) düşüktür. St-52 çelikleri, DIN 17100 standardına göre çekme dayanımı 52 kgf/mm² olan yapı çeliği türüdür [64]. Bu çelikler köprü ve demiryollarında, gemi yapımında, basınçlı kap ve

donanımlarında, geçici ve kalıcı zemin altyapı projelerinde, denizde yapılan dalgakıranlarda, endüstriyel binalarda, şehirlerarası elektrik kabloları taşıyan direklerde ve çok amaçlı sosyal tesisler gibi alanlarda kullanılmaktadırlar [64]. St-52 çelikleri genellikle alaşımsız çelik olarak bilinirler [65].

Çelik konstrüksiyonlarda St-52 levha parçaların birbirleriyle veya diğer çelik parçalarla birleştirilmeleri kaynak ya da civata ile yapılmaktadır. Kaynak yöntemi, levha kalınlığı, kaynak parametreleri ve kaynağın soğuma şartlarına bağlı olarak kaynak bölgesinde çok değişik mikroyapılar meydana gelmektedir [66,67].

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada, St-37 ve St-52 sac malzemelerinin lazer ile kesilmesinde işleme parametrelerinin (kesme hızı, basınç ve frekans) kerf genişliği, yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliği üzerindeki etkileri incelenmiştir.

6.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere St-37 ve St-52 sac malzemeler seçilmiştir. Bu malzemeler Sakarya Dörtüol Sanayi Bölgesi'nden temin edilmiştir. 130x390x4 mm ölçülerindeki sac malzemeler kullanılmıştır. Deneyde kullanılan sac malzemelerin kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal özellikleri.

Kimyasal Bileşim (%)								
Malzeme Cinsi	C	P	S	Mn	Si	Cu	Al	N
St-37	0,17	0,045	0,045	1,4	0,30	-	-	0,009
St-52	0,2	1.035	0,035	1,6	0,5	0.25-0.40	0,02	-

Çizelge 6.2. Deneysel malzemelerin mekanik özellikleri.

Malzeme Cinsi	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
St-37	235	350-480	25
St-52	355	490-630	20

Bu çalışmada lazer ile kesme işleminde, boyutları 130x390x4 mm olan sac malzemeler sekiz farklı plaka şeklinde kullanılmıştır. Her bir plaka için lazer gücü, lazer ışınının odak noktası ve basınç sabit tutulmuş, frekans ve kesme hızı parametreleri

değiştirilerek lazer ile kesme işlemi gerçekleştirilmiştir.

6.2. LAZER TEZGAHI

Bu deneysel çalışmada numuneleri hazırlamak için 800W lazer gücü üretebilen “SUNTOP ST-FC3015” lazer tezgâhı kullanılmıştır (Şekil 6.1). Deneyselerde kullanılan CNC lazer kesim tezgâhının teknik özellikleri Çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.3. SUNTOP ST-FC3015 lazer tezgâhının özellikleri.

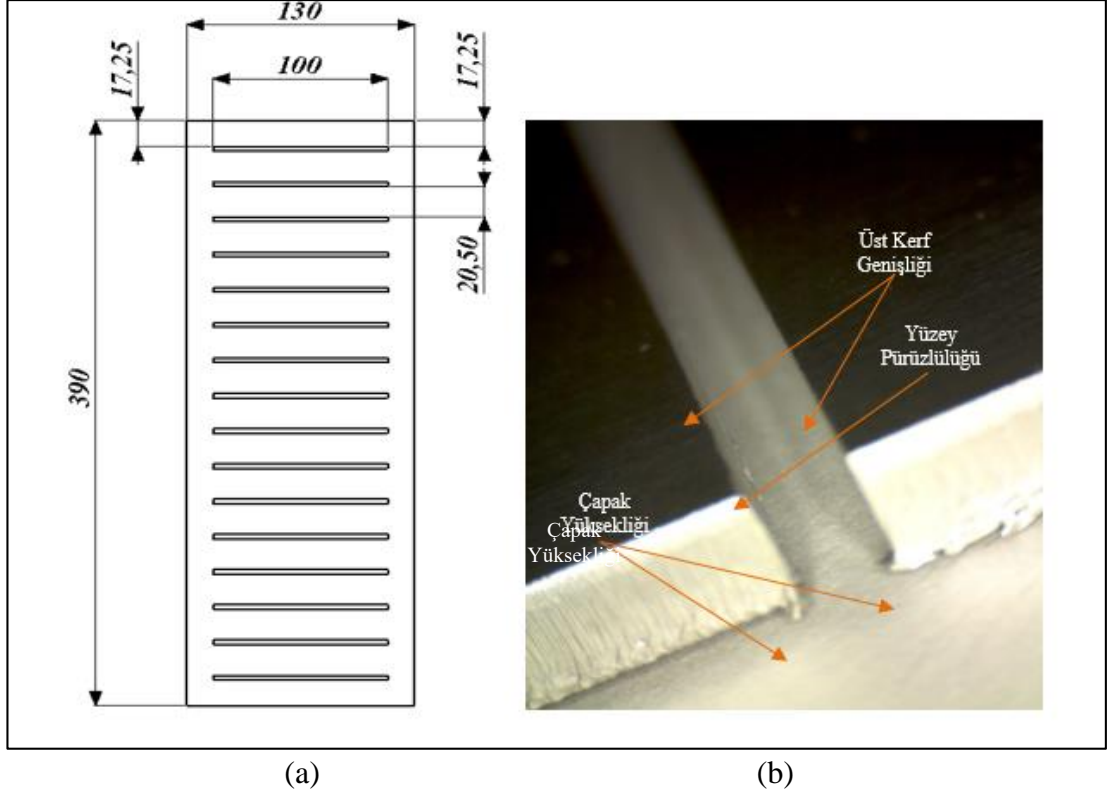
Tezgâh Modeli		Birim	SUNTOP ST-FC3015
Maksimum lazer gücü		W	800
Lazer dalga boyu		nm	1064
Etkili işleme alanı		mm	1500x3000
Tekrarlama hassasiyeti		mm	± 0.03
Z eksen rotası		mm	120
İvmelenme değeri		G	1
Maksimum yükleme ağırlığı		kg	500
Makine bütün ağırlığı		kg	3500
Maksimum kesme kalınlığı	Karbonlu Çelik	mm	10
	Paslanmaz Çelik	mm	6



Şekil 6.1. SUNTOP ST-FC3015 marka CNC lazer tezgâhı.

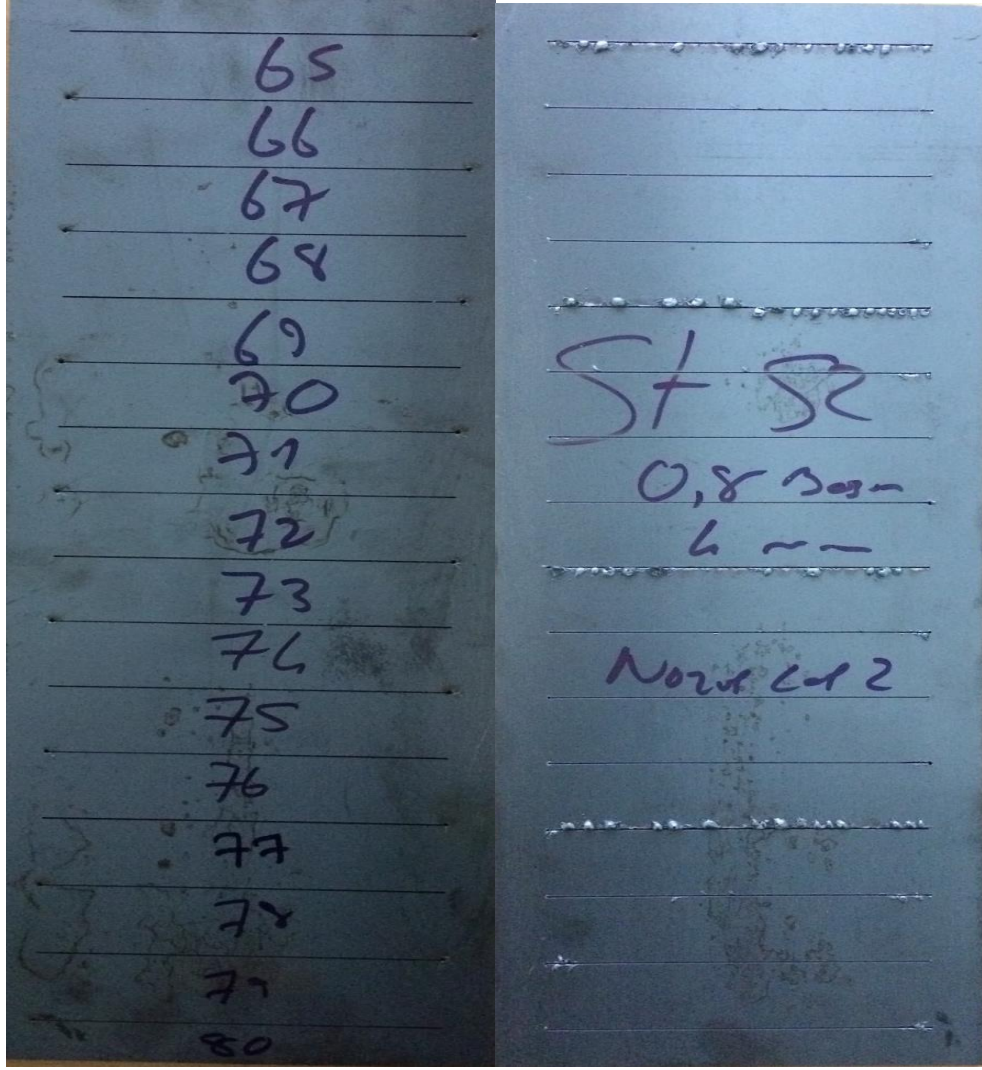
6.3. YÖNTEM

4 mm kalınlığa sahip St-37 ve St-52 olmak üzere iki farklı sac malzemededen elde edilen numunelerde, Şekil 6.2’de belirlenen ölçülerde, sırasıyla kesme parametrelerini değiştirmek suretiyle kesikler oluşturulmuştur.



Şekil 6.2. Kullanılan numune ölçüleri a), numuneler üzerinden ölçüm yapılan konumlar b).

Kesme işlemi sırasında oksijen gazı kullanılmıştır. 800 W lazer gücü, 5" lens, %100 güç yoğunluğu ve 2 mm nozul çapı tercih edilmiştir. Şekil 6.3’te görüldüğü gibi 20,5 mm aralıklarla lazer ile kesikler oluşturulmuş, daha sonra her bir kesik üzerine numaralandırma işlemi yapılmıştır. Her sac malzeme için 16 adet farklı kesme parametresi kullanılması ile kesikler oluşturulmuştur. Toplam sekiz farklı plakada 128 adet kesik elde edilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 6.3. Kesme işleminden görünüm a) Ön yüz, b) Arka yüz.

Kesme işleminden sonra numunelerin önce kerf genişliği ve daha sonra çapak yüksekliği ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İşleme parametrelerinin (kesme hızı, frekans, basınç) kerf genişliği ve çapak yüksekliğine olan etkileri incelenmiştir. Ölçümler sonrasında numuneler giyotin makinesi kullanılarak kesilmiş ve 128 adet dikdörtgen numune elde edilmiştir. Daha sonra numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür.

6.4. DENEY PARAMETRELERİ

İş parçası parametresi olarak kalınlığın ve lazer parametresi olarakta lazer kesme gücü, nozul çapı ve odak noktasının sabit tutulduğu, basınç, frekans ve kesme hızının ise değişken olduğu deneyler yapılmıştır. Lazer gücü 800W, nozul çapı 2 mm, odak noktası ise 0,8 mm olarak belirlenmiştir. Lazer kesme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Lazer kesme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri.

Kesme Parametreleri	Seviler			
	1	2	3	4
Kesme Hızı, (mm/s)	10	16	22	28
Frekans (Hz)	500	1500	2500	3500
Basınç (bar)	0,8	0,9	1	1,1

6.5. KERF GENİŞLİĞİ ÖLÇÜMÜ

Lazer ile kesme yöntemi kullanılarak kesimi gerçekleştirilen numunelerde kesmenin kalitesini belirlemek amacıyla öncelikli olarak kerf genişlik tespiti yapılmıştır. Kerf genişliği ölçümü Şekil 6.4'te görseli verilen Insize marka ISM-PM200SA model 1600x1200 çözünürlüğe sahip dijital mikroskop yardımı ile numunelerin kesimine başlanan noktadan ilk olarak 5 mm ve sonrasında 30 mm olacak şekilde aralık bırakmak suretiyle, dört ayrı noktadan alınan ölçümler ile gerçekleştirilmiştir.

6.6. ÇAPAK YÜKSEKLİĞİ ÖLÇÜMÜ

Talaşlı imalat işlemlerinde çapak yüksekliği maliyet ve üretilen ürünün kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Lazer ile gerçekleştirilen işleme yöntemleri düşünüldüğünde ise çapak yüksekliği araştırılması gereken ve araştırılması güç olan bir parametredir. Bu sebeple çapak yüksekliği ölçümü Şekil 6.4'te görseli bulunan 1600x1200 çözünürlüğü bulunan markası Insize modeli ISM-PM200SA olan dijital mikroskop ile numunelerin kesme işlemine başlanılan noktadan 5 mm ve sonra 30 mm

boşluklar bırakılarak belirlenen dört ayrı noktadan (Şekil 6.2-b) alınan ölçüler ile yapılmıştır.




Şekil 6.4. ISM-PM200SA dijital mikroskop.

6.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ

Yüzey pürüzlülüğü ölçümü Çizelge 6.5'te özellikleri ve görseli bulunan, otomatik kalibrasyon yapma kabiliyetine sahip, 17,5 mm tarama boyu bulunan, DIN, ISO, ANSI parametreleri ölçebilen, Mitutoyo Surface SJ-210 model yüzey pürüzlülük test cihazı yardımıyla, her bir ölçme işlemi sonrasında cihaza yeniden kalibrasyon yapılması ile ve kesimi gerçekleştirilen numunelerin yüzeylerinden dört ayrı noktadan tespit edilen pürüzlülük değerlerinin aritmetik ortalaması alınması ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.5. Mitutoyo Surface SJ-210 model yüzey pürüzlülük test cihazı ve özellikleri.

Tarama ucu	2 μm	 The image shows the Mitutoyo Surface SJ-210 surface roughness tester. It consists of a white handheld unit with a color LCD screen displaying various parameters such as Ra, Rz, and Rq. A black cable connects the unit to a separate, dark-colored probe assembly with a fine tip.
Tarama boyu	17,5 mm	
Ölçüm aralığı	360 μm	
Hareket	17.5 mm	
Ağırlık	500g	
Ölçüm kuvveti	0,75 mN	
Ölçüm metodu	İndüksiyon yöntemi	
Kızak yarı çapı	40 mm	
Ölçüm uzunluğu	1.75 mm, 5.6 mm, 17.5 mm	

BÖLÜM 7

DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, St-37 ve St-52 sac malzemelerinin lazer ile kesme işleminin gerçekleştirilmesi esnasında yüksek bir öneme sahip olan basınç, frekans ve kesme hızı gibi kesme parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğü, çapak yüksekliği ve kerf genişliği değerlerine etkileri tespit edilmiştir. Kesme parametresi olarak, dört farklı kesme hızı (10, 16, 22, 28 mm/s), dört farklı frekans (500-1500-2500-3500 Hz) ve dört farklı basınç (0,8, 0,9, 1, 1,1 bar) kullanılarak lazer kesme deneyleri yapılmıştır.

St-37 ve St-52 sac malzemelerinin her biri için 128 farklı parametre kullanılarak deneyler yapılmıştır. Kesme işlemlerinde kesme hızı, frekans ve basınç gibi işleme parametreleri giriş faktörleri, kerf genişliği, yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliği de çıkış faktörleri olarak belirlenmiştir.

Lazer ile kesme işlemi sonucunda elde edilen veriler, grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler, Çizelge 7.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Deneyler sonucunda elde edilen veriler.

Deney No	Malzeme Cinsi	Basınç (bar)	Frekans (Hz)	Kesme Hızı (mm/s)	Kerf Genişliği (mm)	Çapak Yüksekliği (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)
1	St-37	0,8	500	10	0,27	0,43	5,21
2		0,8	500	16	0,23	0,37	4,17
3		0,8	500	22	0,24	0,29	3,46
4		0,8	500	28	0,16	0,21	3,01
5		0,8	1500	10	0,28	0,55	4,95
6		0,8	1500	16	0,26	0,47	3,9
7		0,8	1500	22	0,22	0,44	3,22

Çizelge 7.1. (devam ediyor).

8	St-37	0,8	1500	28	0,21	0,41	2,94
9		0,8	2500	10	0,36	0,72	3,98
10		0,8	2500	16	0,28	0,62	2,86
11		0,8	2500	22	0,27	0,57	2,89
12		0,8	2500	28	0,23	0,43	2,69
13		0,8	3500	10	0,37	0,97	3,39
14		0,8	3500	16	0,33	0,81	2,39
15		0,8	3500	22	0,29	0,67	2,26
16		0,8	3500	28	0,26	0,54	1,86
17	St-37	0,9	500	10	0,33	0,34	6,38
18		0,9	500	16	0,26	0,31	5,22
19		0,9	500	22	0,19	0,24	4,82
20		0,9	500	28	0,22	0,16	3,56
21		0,9	1500	10	0,36	0,46	5,71
22		0,9	1500	16	0,29	0,43	4,52
23		0,9	1500	22	0,26	0,37	3,35
24		0,9	1500	28	0,24	0,34	3,12
25		0,9	2500	10	0,39	0,66	4,39
26		0,9	2500	16	0,33	0,59	3,89
27		0,9	2500	22	0,28	0,44	3,14
28		0,9	2500	28	0,27	0,34	2,96
29		0,9	3500	10	0,41	0,88	4,31
30		0,9	3500	16	0,35	0,69	3,2
31		0,9	3500	22	0,36	0,59	2,9
32		0,9	3500	28	0,29	0,46	2,66
33	St-37	1	500	10	0,37	0,22	8,37
34		1	500	16	0,31	0,17	6,32
35		1	500	22	0,33	0,13	5,54
36		1	500	28	0,25	0,11	3,65
37		1	1500	10	0,4	0,41	6,92
38		1	1500	16	0,37	0,36	5,03
39		1	1500	22	0,34	0,25	3,58
40		1	1500	28	0,28	0,16	3,17
41		1	2500	10	0,45	0,57	5,72
42		1	2500	16	0,41	0,48	4,42
43		1	2500	22	0,43	0,37	3,53
44		1	2500	28	0,31	0,26	3,09
45		1	3500	10	0,48	0,71	5,21
46		1	3500	16	0,36	0,62	3,86
47		1	3500	22	0,37	0,5	3,09
48		1	3500	28	0,33	0,41	2,89
49	St-37	1,1	500	10	0,44	0,18	9,08

Çizelge 7.1. (devam ediyor).

50		1,1	500	16	0,36	0,14	7,39
51		1,1	500	22	0,38	0,1	5,96
52		1,1	500	28	0,29	0,09	4,27
53		1,1	1500	10	0,42	0,38	7,96
54		1,1	1500	16	0,43	0,33	6,19
55		1,1	1500	22	0,42	0,2	4,71
56		1,1	1500	28	0,32	0,13	3,57
57		1,1	2500	10	0,49	0,49	6,22
58		1,1	2500	16	0,46	0,41	5,31
59		1,1	2500	22	0,41	0,22	3,72
60		1,1	2500	28	0,36	0,14	3,26
61		1,1	3500	10	0,52	0,58	5,91
62		1,1	3500	16	0,47	0,43	4,21
63		1,1	3500	22	0,46	0,24	3,44
64		1,1	3500	28	0,38	0,16	3,06
65		St-52	0,8	500	10	0,27	0,57
66	0,8		500	16	0,21	0,49	5,67
67	0,8		500	22	0,2	0,37	4,33
68	0,8		500	28	0,14	0,26	2,63
69	0,8		1500	10	0,3	0,72	6,06
70	0,8		1500	16	0,29	0,57	4,97
71	0,8		1500	22	0,21	0,45	3,21
72	0,8		1500	28	0,17	0,35	2,4
73	0,8		2500	10	0,32	0,79	5,32
74	0,8		2500	16	0,29	0,61	4,48
75	0,8		2500	22	0,24	0,56	3,05
76	0,8		2500	28	0,21	0,42	2,29
77	0,8		3500	10	0,35	0,94	4,32
78	0,8		3500	16	0,3	0,84	3,55
79	0,8		3500	22	0,27	0,79	2,63
80	0,8		3500	28	0,22	0,61	2,08
81	St-52	0,9	500	10	0,29	0,51	7,76
82		0,9	500	16	0,27	0,43	7,11
83		0,9	500	22	0,22	0,29	5,92
84		0,9	500	28	0,16	0,19	4,08
85		0,9	1500	10	0,34	0,56	7,49
86		0,9	1500	16	0,31	0,49	6,34
87		0,9	1500	22	0,25	0,43	4,19
88		0,9	1500	28	0,22	0,22	3,51
89		0,9	2500	10	0,37	0,62	6,93
90		0,9	2500	16	0,35	0,54	5,34
91		0,9	2500	22	0,28	0,49	4,82

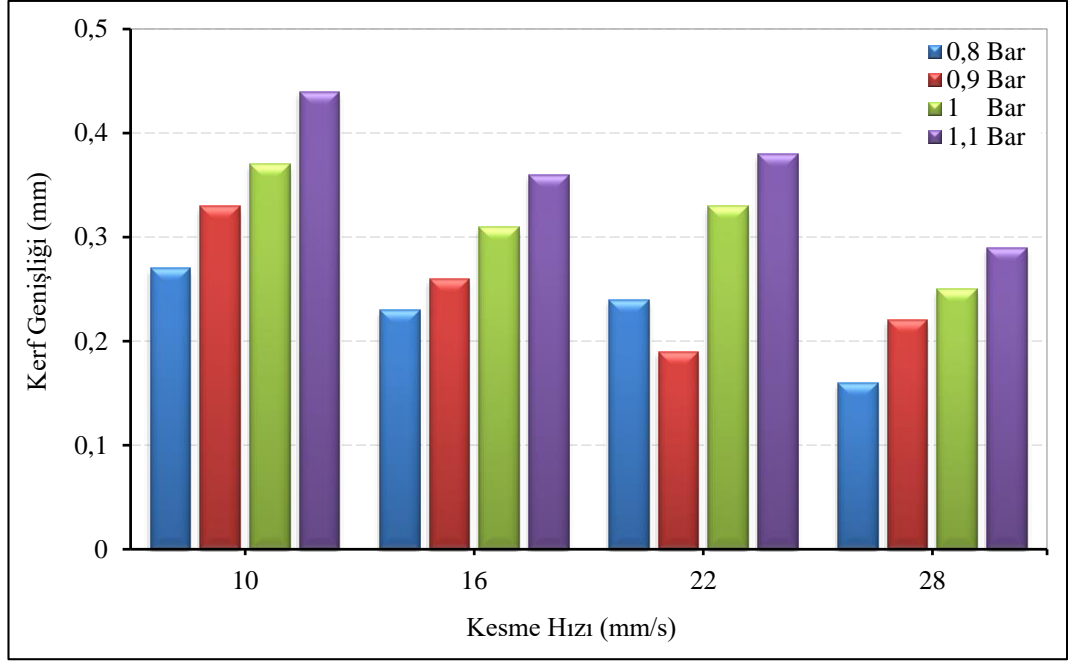
Çizelge 7.1. (devam ediyor).

92		0,9	2500	28	0,23	0,27	3,22
93		0,9	3500	10	0,4	0,88	5,81
94		0,9	3500	16	0,32	0,82	5,24
95		0,9	3500	22	0,29	0,61	4,73
96		0,9	3500	28	0,25	0,45	3,17
97	St-52	1	500	10	0,33	0,47	8,92
98		1	500	16	0,3	0,38	8,08
99		1	500	22	0,24	0,18	7,31
100		1	500	28	0,22	0,1	5,13
101		1	1500	10	0,37	0,52	8,09
102		1	1500	16	0,35	0,43	7,48
103		1	1500	22	0,29	0,28	7,17
104		1	1500	28	0,25	0,19	4,95
105		1	2500	10	0,39	0,58	7,98
106		1	2500	16	0,37	0,44	6,96
107		1	2500	22	0,32	0,39	6,19
108		1	2500	28	0,26	0,23	4,45
109		1	3500	10	0,42	0,78	7,64
110		1	3500	16	0,36	0,63	5,51
111		1	3500	22	0,32	0,56	5,89
112		1	3500	28	0,28	0,42	4,07
113		St-52	1,1	500	10	0,38	0,46
114	1,1		500	16	0,31	0,34	8,7
115	1,1		500	22	0,26	0,11	8,6
116	1,1		500	28	0,25	0,07	6,86
117	1,1		1500	10	0,4	0,48	8,82
118	1,1		1500	16	0,38	0,37	8,08
119	1,1		1500	22	0,31	0,21	7,84
120	1,1		1500	28	0,3	0,12	5,8
121	1,1		2500	10	0,42	0,53	8,56
122	1,1		2500	16	0,38	0,41	7,4
123	1,1		2500	22	0,36	0,26	6,55
124	1,1		2500	28	0,28	0,15	4,97
125	1,1		3500	10	0,46	0,64	8,21
126	1,1		3500	16	0,38	0,59	5,81
127	1,1		3500	22	0,36	0,45	6,01
128	1,1		3500	28	0,34	0,28	4,31

7.1. KERF GENİŞLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

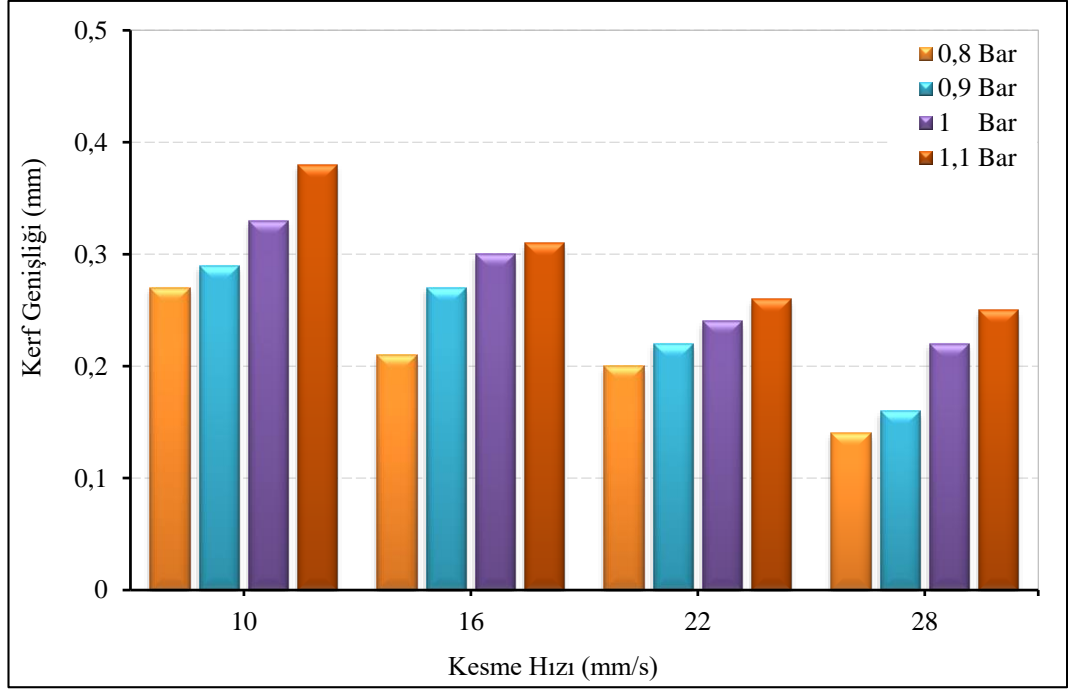
Bu deneysel çalışmada St-37 ve St-52 sac malzemelerinin lazerle işlenmesinde kerf genişliği değeri, kesme işleminin başladığı noktadan kesme işleminin bittiği noktaya kadar farklı noktalardan alınan ölçümlerin ortalama değerleri ile belirlenmiştir. Deneyler iki farklı malzeme cinsi, dört farklı basınç, dört farklı kesme hızı ve dört farklı frekans değeri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda sabit frekansta kesme hızı ve basıncın kerf genişliklerine etkileri Şekil 7.1-7.8'de verilmiştir.

St-37 sac malzemenin, 500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işlemi sonucunda elde edilen kerf genişliği sonuçları Şekil 7.1'de verilmiştir. 500 Hz frekansta, 0,8 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında kerf genişliği 0,27 mm olarak ölçülmüştür. Kesme hızının 16 mm/s çıkarılmasıyla yapılan deneyde kerf genişliği, 10 mm/s kesme hızına göre %14,81 oranında azalarak 0,23 mm olarak ölçülmüştür. 22 mm/s kesme hızında yapılan deneyde kerf genişliği değeri, 16 mm/s kesme hızına göre %4,35 oranında artarak 0,24 mm olarak ölçülmüştür. 28 mm/s kesme hızı kullanıldığında ise bu oran, 16 mm/s kesme hızına göre %30,43 azalarak en düşük kerf genişliği değeri, 0,16 mm olarak ölçülmüştür. En yüksek kerf genişliği değeri ise 10 mm/s kesme hızında ve 1,1 bar basınçta 0,44 mm olarak tespit edilmiştir. Kesme hızının sabit tutulduğu deneylerde basınç değerinin artması ile kerf genişliklerinde düzenli bir artış görülmektedir.



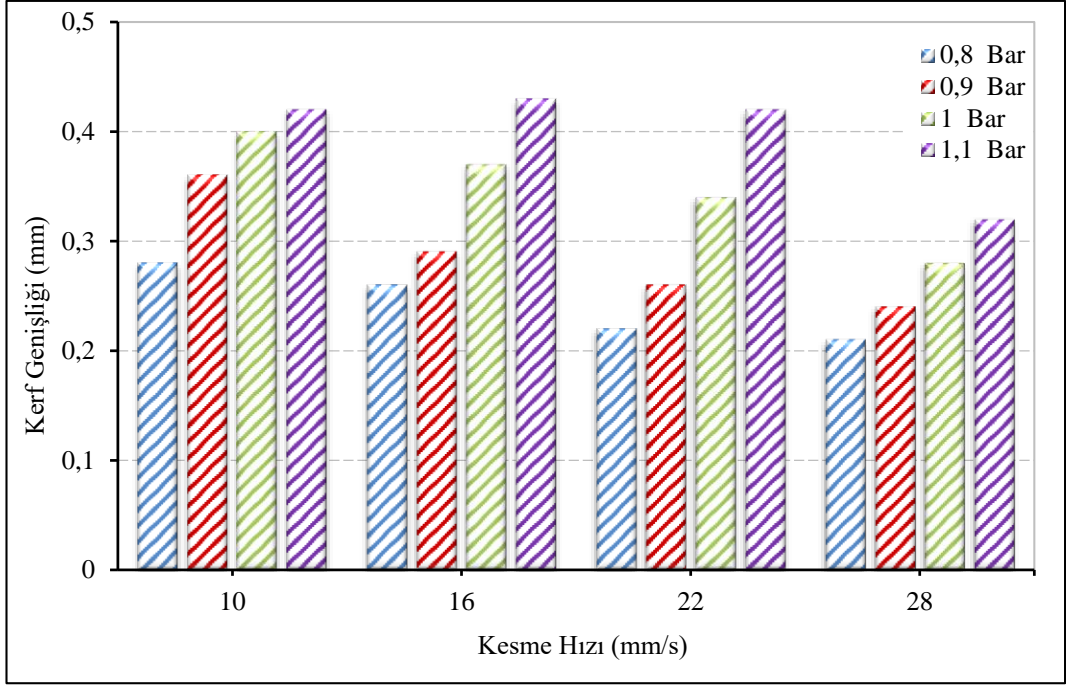
Şekil 7.1. St-37 sac malzemenin 500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.

St-52 sac malzemenin, 500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işleminin sonucunda elde edilen kerf genişliği sonuçları Şekil 7.2’de verilmiştir. En düşük kerf genişliği değeri, 500 Hz frekansta, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınç değerinde 0,14 mm olurken, kesme hızınının 10 mm/s düşürülmesi ve basıncın 1,1 bar’a çıkarılması ile %171,42 artarak 0,38 mm ile en yüksek kerf genişliği değeri ölçülmüştür. Sabit basınçta kesme hızının artmasıyla birlikte kerf genişliklerinde azalma görülmüştür. Sabit kesme hızında ise basıncın artması ile bütün kesme hızı değerlerinde kerf genişliklerinde düzenli bir artış tespit edilmiştir.



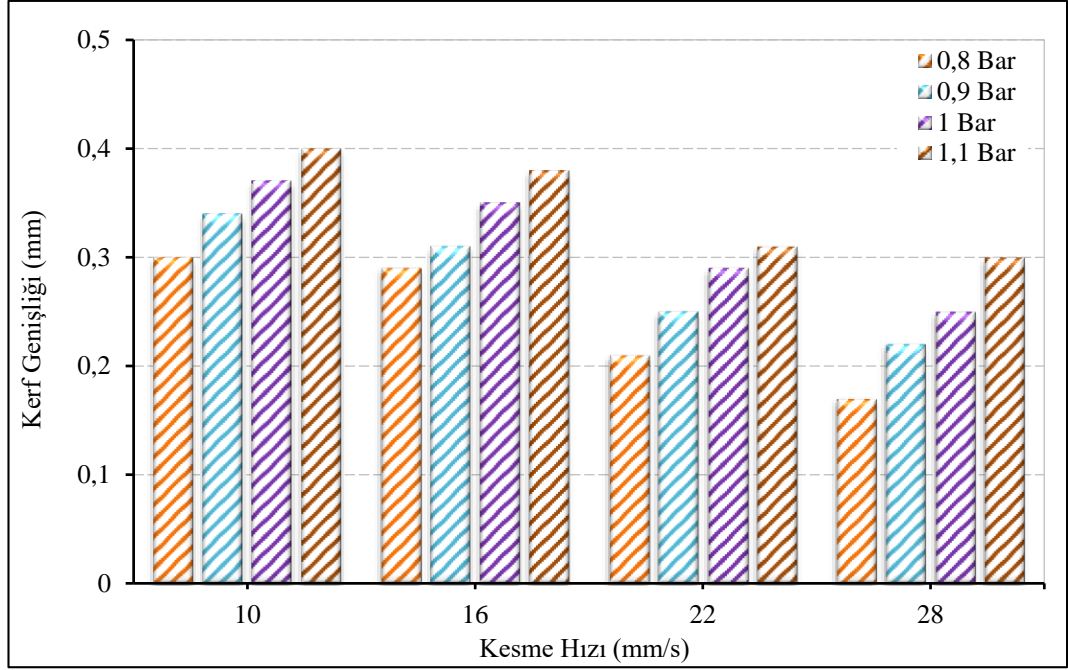
Şekil 7.2. St-52 sac malzemenin 500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.

St-37 sac malzemenin, 1500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işlemi sonucunda elde edilen kerf genişliği sonuçları Şekil 7.3'te verilmiştir. En düşük kerf genişliği değeri, 1500 Hz frekansta, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınç değerinde 0,21 mm olarak ölçülmüştür. 1,1 bar basınçta, 10 mm/s kesme hızında yapılan deneyde ise kerf genişliği değeri 0,42 mm olarak ölçülmüştür. 1,1 bar basınçta, 16 mm/s kesme hızında yapılan deneyde 10 mm/s kesme hızına göre kerf genişliği değeri %2,38 oranında artarak en yüksek kerf genişliği değerinin 0,43 mm olduğu tespit edilmiştir. 1,1 bar basınçta, 22 mm/s kesme hızında yapılan deneyde kerf genişliği değerinin 16 mm/s kesme hızına göre %2,33 oranında azaldığı ve 0,42 mm olduğu görülmüştür. 1,1 bar basınçta, 28 mm/s kesme hızında ise bu oran 16 mm/s kesme hızına göre %25,58 oranında azalarak kerf genişliği değeri 0,32 mm olarak ölçülmüştür. Sabit kesme hızında basıncın artmasıyla birlikte kerf genişliğinde düzenli bir artış meydana gelmektedir.



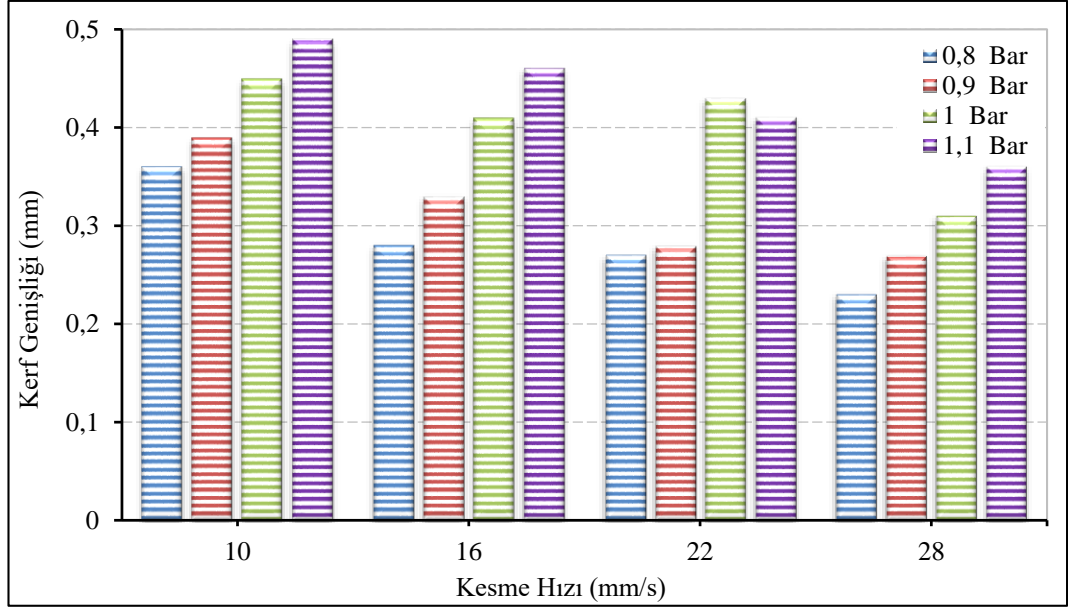
Şekil 7.3. St-37 sac malzemenin 1500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.

St-52 sac malzemenin, 1500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işleminde elde edilen kerf genişliği sonuçları Şekil 7.4'te verilmiştir. 1500 Hz frekansta, 0,8 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında kerf genişliği 0,30 mm ölçülürken, 0,9 bar basınçta kerf genişliği %13,33 (0,34 mm), 1 bar basınçta kerf genişliği %23,33 (0,37 mm) ve 1.1 bar basınçta kerf genişliği %33,33 (0,40 mm) oranlarında artmıştır. En düşük kerf genişliği değeri, 1500 Hz frekansta, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınç değerinde 0,17 mm olurken, kesme hızının 10 mm/s düşürülmesi ve basıncın 1,1 bar'a çıkarılması ile %135,29 artarak 0,40 mm ile en yüksek kerf genişliği değeri ölçülmüştür. Sabit kesme hızında basınç değerlerinin artmasıyla birlikte kerf genişliklerinde düzenli bir artış görülmüştür. Basıncın sabit kalmasıyla birlikte kesme hızı arttıkça kerf genişliklerinde düzenli bir azalma tespit edilmiştir.



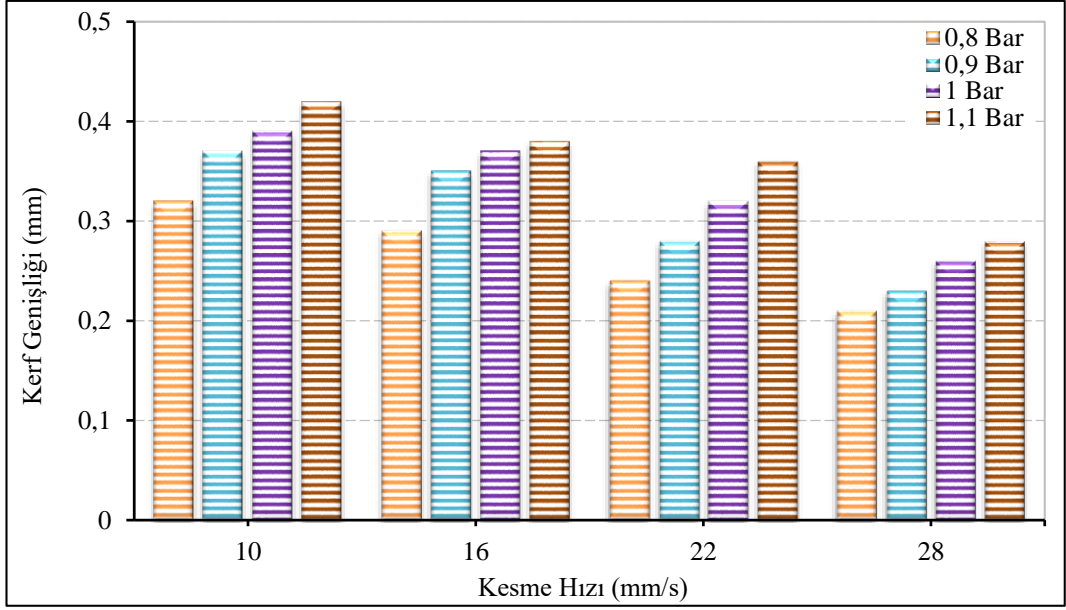
Şekil 7.4. St-52 sac malzemenin 1500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.

St-37 sac malzemenin, 2500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işlemi sonucunda elde edilen kerf genişliği sonuçları Şekil 7.5'te verilmiştir. 2500 Hz frekansta, 10 mm/s kesme hızı ve 1 bar basınçta kerf genişliği 0,45 mm olarak ölçülmüştür. Bu kerf genişliği değeri 1 bar basınçta, 16 mm/s kesme hızı ile yapılan deneyde %8,9 oranında azalarak 0,41 mm olarak tespit edilmiştir. 1 bar basınçta, 22 mm/s kesme hızında yapılan deneylerde ise bu değer 16 mm/s kesme hızında elde edilen değere oranla %4,88 artarak 0,43 mm olarak ölçülmüştür. Yine 1 bar basınçta, 28 mm/s kesme hızında yapılan deneylerde ise kerf genişliği değeri 22 mm/s kesme hızına göre %27,9 oranında azalarak 0,31 mm olmuştur. En düşük kerf genişliği değeri, 2500 Hz frekansta, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınç değerinde 0,23 mm olurken, kesme hızının 10 mm/s düşürülmesi ve basıncın 1,1 bar'a çıkarılması ile %113,04 oranında artarak 0,49 mm ile en yüksek kerf genişliği değeri ölçülmüştür. 1 bar basınç haricindeki tüm basınç değerlerinin sabit kalmasıyla kesme hızında meydana gelen artış ile kerf genişliklerinde azalma tespit edilmiştir.

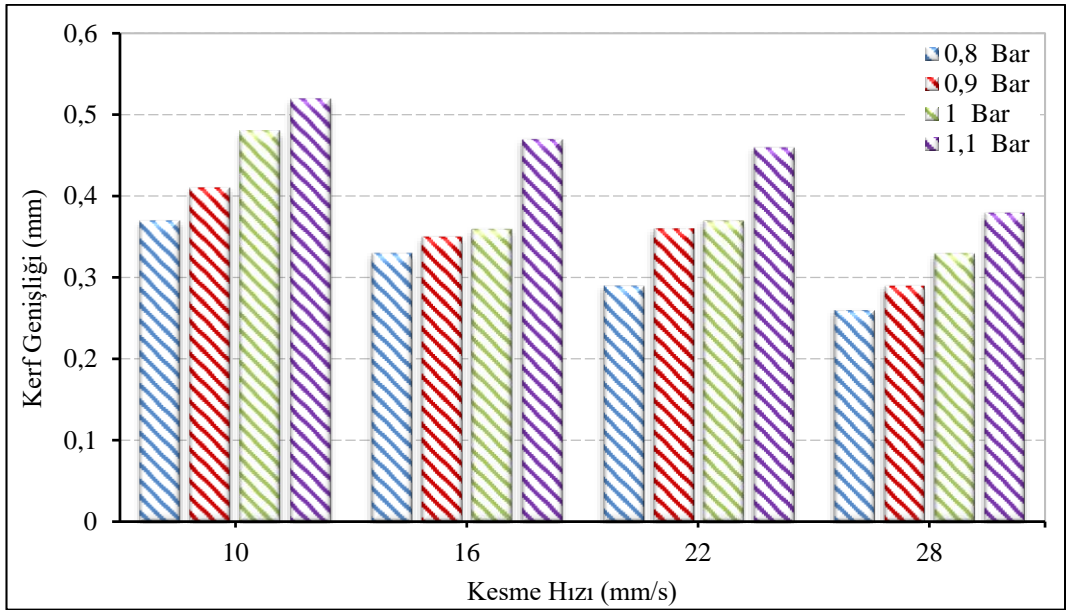


Şekil 7.5. St-37 sac malzemenin 2500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.

St-52 sac malzemenin, 2500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işleminin sonucunda elde edilen kerf genişliği sonuçları Şekil 7.6'da verilmiştir. 2500 Hz frekansta, 10 mm/s kesme hızı ve 0,8 bar basınçta kerf genişliği 0,32 mm ölçülürken, basınç değerlerinin ortalama %12,5 (0,9 bar), %25 (1 bar) ve %37,5 (1,1 bar) oranlarında artırılması ile kerf genişliği değerlerinde sırası ile %15,62 (0,37), %21,88 (0,39) ve %31,25 (0,42) oranlarında artış görülmüştür. En düşük kerf genişliği değeri, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınç değerinde 0,21 mm olurken, kesme hızının 10 mm/s düşürülmesi ve basıncın 1,1 bar'a çıkarılması ile %100 oranında artarak 0,42 mm ile en yüksek kerf genişliği değeri ölçülmüştür. Sabit kesme hızında basınç değerlerinin artmasıyla birlikte kerf genişliklerinde düzenli bir artış görülmüştür. Basıncın sabit kalmasıyla birlikte kesme hızı arttıkça kerf genişliklerinde düzenli bir azalma tespit edilmiştir.



Şekil 7.6. St-52 sac malzemenin 2500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.

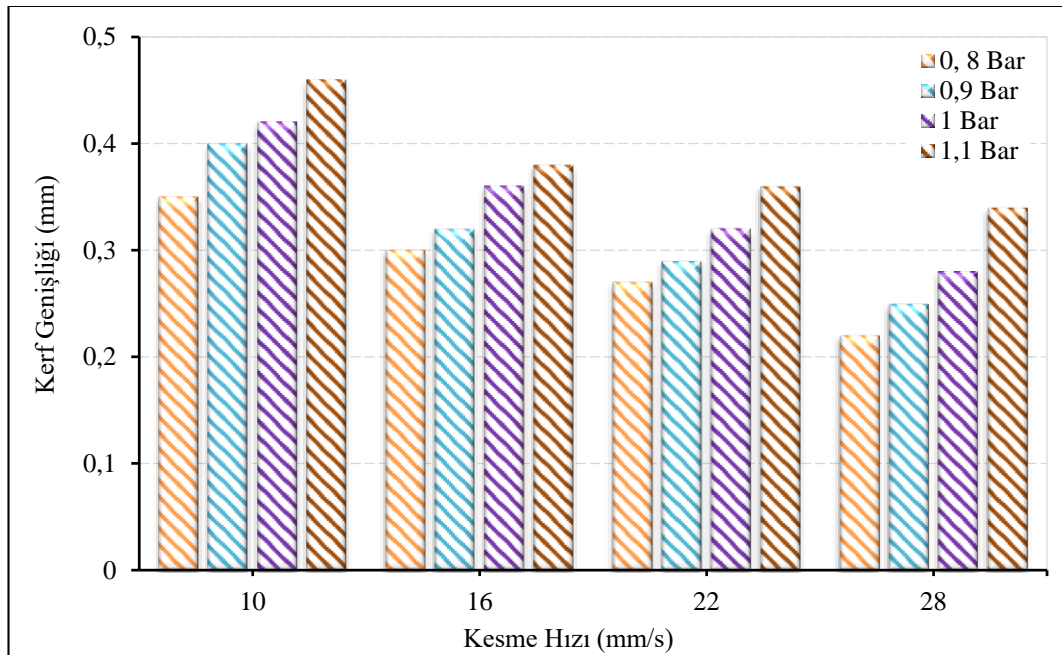


Şekil 7.7. St-37 sac malzemenin 3500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.

St-37 sac malzemenin, 3500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işlemi sonucunda elde edilen kerf genişliği sonuçları Şekil 7.7'de verilmiştir. 3500 Hz frekansta, 0,8 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında kerf genişliği 0,37 mm olurken, basınç değerlerinin % 12,5 (0,9 bar), % 25 (1 bar) ve % 37,5

(1,1 bar) oranlarında artırılması ile kerf genişliği değerlerinde sırası ile %10,81 (0,41), %29,73 (0,48), ve %40,54 (0,52) oranlarında artış meydana gelmiştir. En düşük kerf genişliği değeri, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınç değerinde 26 mm olurken, kesme hızının 10 mm/s düşürülmesi ve basıncın 1,1 bar'a çıkarılması ile %100 artarak 0,52 mm ile en yüksek kerf genişliği değeri ölçülmüştür. Bütün kesme hızı parametrelerinde basıncın artması ile kerf genişliklerinde düzenli bir artış görülmüştür.

St-52 sac malzemenin, 3500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işlemi sonucunda elde edilen kerf genişliği sonuçları Şekil 7.8'de verilmiştir. 3500 Hz frekansta, 0,8 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında kerf genişliği değeri 0,35 mm olurken, basınç değerlerinin 0,9, 1 ve 1,1 bar'a çıkarılması ile kerf genişliği değerleri artarak sırası ile 0,40 mm, 0,42 mm ve 0,46 mm olarak ölçülmüştür. En düşük kerf genişliği değeri, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınç değerinde 0,22 mm olurken, kesme hızının 10 mm/s düşürülmesi ve basıncın 1,1 bar'a çıkarılması ile %109,09 oranında artarak 0,46 mm ile en yüksek kerf genişliği değeri ölçülmüştür. Bütün kesme hızı değerlerinde basıncın artmasıyla birlikte kerf genişliklerinde düzenli bir artış görülmüştür. Basıncın sabit kalmasıyla birlikte kesme hızı arttıkça kerf genişliklerinde düzenli bir azalma tespit edilmiştir.



Şekil 7.8. St-52 sac malzemenin 3500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı kerf genişliği değişimleri.

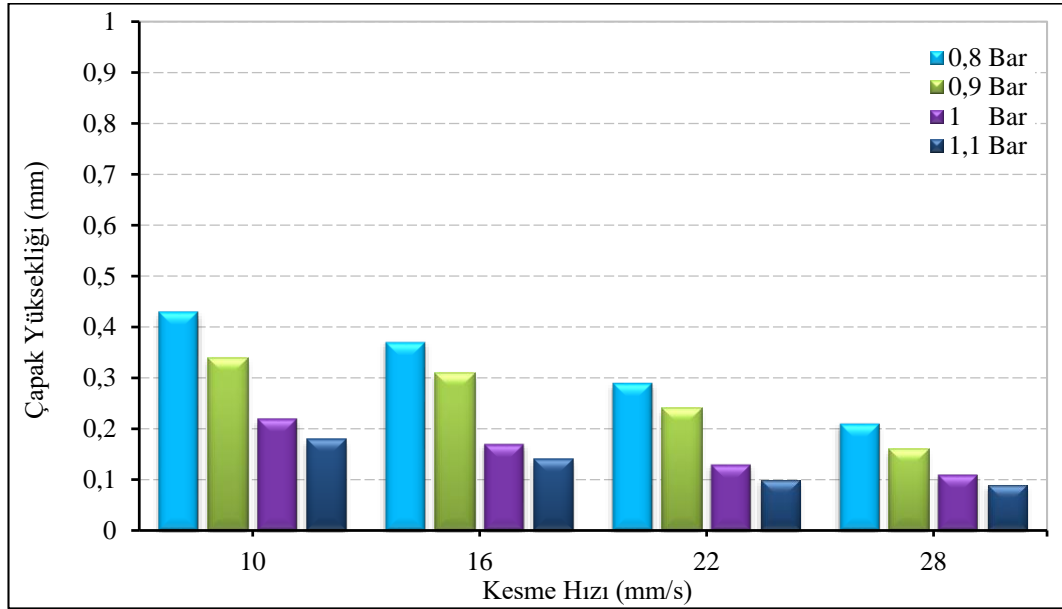
Bütün kesme hızı değerlerinde basıncın artması ile kerf genişliklerinde artış meydana gelmiştir. Örneğin, St-52 sac malzemenin 2500 Hz frekansta, 16 mm/s kesme hızında, basınç değerlerinin 0,8, 0,9, 1 ve 1,1 bar'a kadar çıkarılması ile kerf genişlikleri artarak sırası ile 0,28 mm, 0,33 mm, 0,41 mm ve 0,46 mm değerleri ölçülmüştür. Yapılan deneylerde basınç değerlerinin artırılması daha büyük kerf genişliğinin oluşmasına neden olmuştur. Diğer taraftan kesme hızındaki artışın kerf genişliğinin azalmasına yol açtığı görülmüştür, bu da literatürle paralellik arz etmektedir [68]. Bütün grafikler incelendiğinde, en küçük kerf genişliği St-52 sac malzemedede 500 Hz frekansta, 0,8 bar basınçta ve 28 mm/s kesme hızında 0,14 mm olarak ölçülmüştür. En büyük kerf genişliği ise St-37 sac malzemedede, 3500 Hz frekansta, 1,1 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında 0,52 mm olarak ölçülmüştür.

Bu sonuçlar çerçevesinde; St-37 sac malzeme için en küçük kerf genişliği; frekans değeri 500 Hz, basıncı 0,8 bar ve kesme hızı 28 mm/s olan işleme parametrelerinde 0,16 mm iken en büyük kerf genişliği ise 3500 Hz frekansta, 1,1 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında 0,52 mm olarak tespit edilmiştir. St-52 sac malzemesi için en küçük kerf genişliği; frekans değeri 500 Hz, basıncı 0,8 bar ve kesme hızı 28 mm/s olan parametrelerde 0,14 mm iken en büyük kerf genişliği değeri ise 3500 Hz frekansta, 1,1 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında 0,46 mm olarak ölçülmüştür.

7.2. ÇAPAK YÜKSEKLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Lazer ile kesik elde etme işleminde dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise çapak oluşumudur. Çapak oluşumu lazer ile kesme işlemlerinde, parçanın geometrik özelliklerine ve çeşidine bağlı olarak birçok parametreden etkilenmektedir. İmalat açısından çapak oluşum parametrelerini iyi bir şekilde anlayabilmek oldukça karmaşık bir durumdur. Fakat, çapak oluşumunu var olan yöntemlerle yorumlayabilmek düşünce oluşturması açısından oldukça önemlidir [69]. Bu sebeple, lazer ile kesik elde etme işlemi sonrasında, kesik oluşumlarının çapak yükseklik değerleri ölçülmüş ve işleme parametrelerinin çapak oluşumlarına etkisi hakkında fikir oluşturulmaya çalışılmıştır.

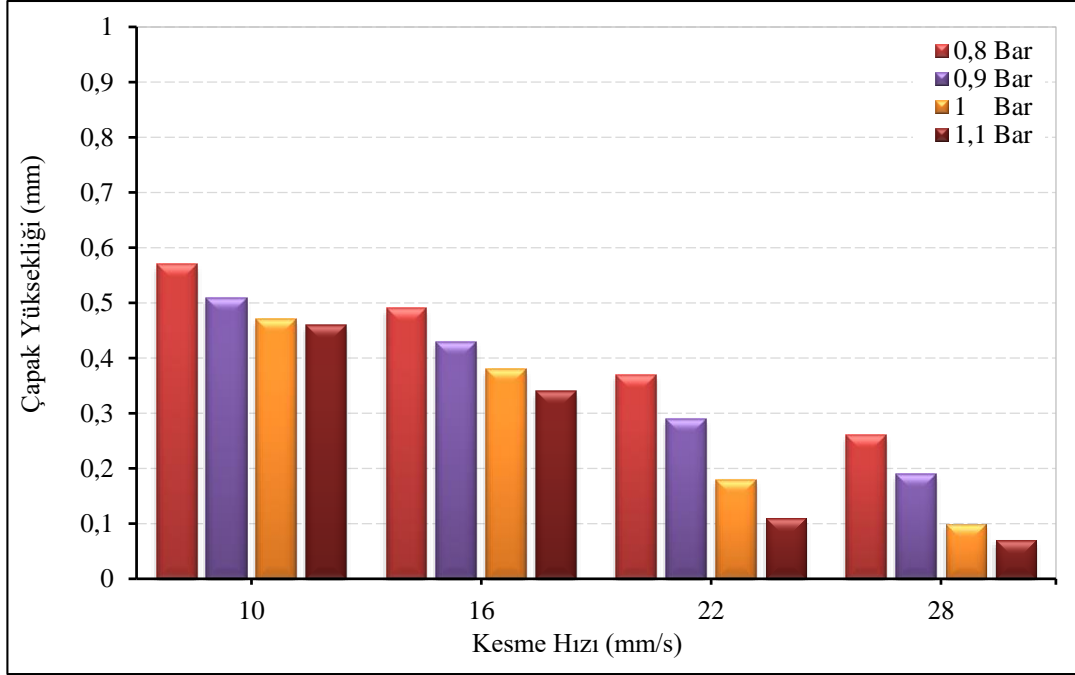
St-37 sac malzemenin 500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesinin çapak oluşum miktarına etkileri Şekil 7.9’da verilmiştir. 500 Hz frekansta, 1,1 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında çapak yüksekliği değeri 0,18 mm olurken, 16 mm/s kesme hızında bu değer %22,22 oranında azalarak 0,14 mm olarak ölçülmüştür. Çapak yüksekliği, 22 mm/s kesme hızında 16 mm/s kesme hızına oranla %28,57 azalarak 0,10 mm olarak tespit edilmiştir. 28 mm/s kesme hızında ölçülen çapak yüksekliği değeri ise 22 mm/s kesme hızında ölçülen değere oranla %10 oranında azalarak 0,09 mm ile en düşük çapak yüksekliği değeri ölçülmüştür. En yüksek çapak yüksekliği değerinin 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 0,43 mm olduğu görülmüştür. Basınç ve kesme hızlarının artması ile birlikte çapak yükseklik değerlerinde azalma meydana gelmiştir.



Şekil 7.9. St-37 sac malzemenin 500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.

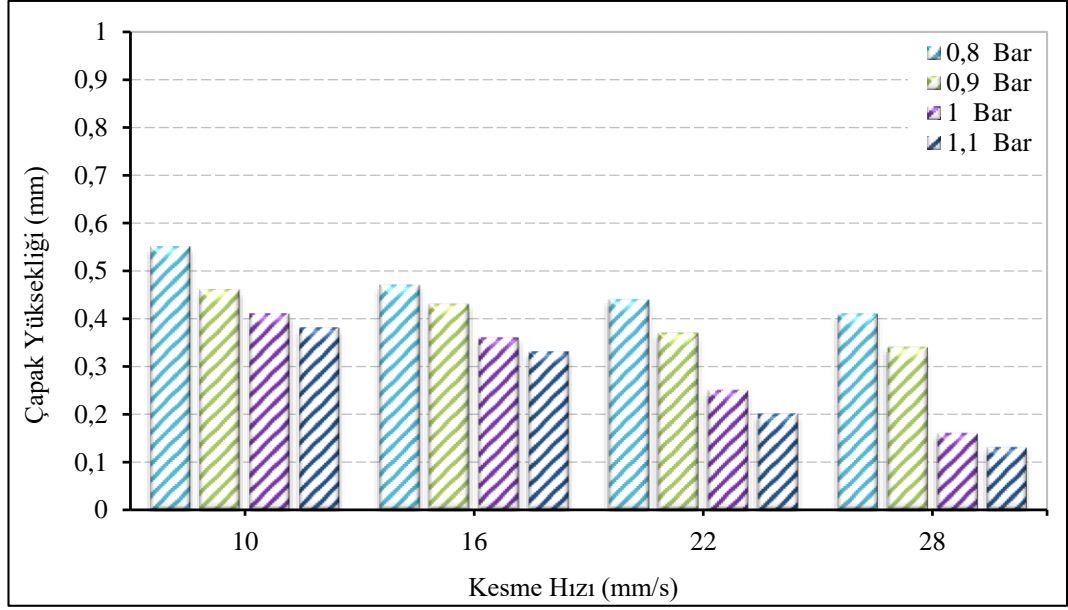
St-52 sac malzemenin 500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesinin çapak oluşum miktarına etkileri Şekil 7.10’da verilmiştir. 500 Hz frekansta, 1,1 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında çapak yüksekliği değeri 0,46 mm olurken, 16 mm/s kesme hızında bu değer %26,09 oranında azalarak 0,34 mm olarak ölçülmüştür. Çapak yüksekliği değeri, 22 mm/s kesme hızında 16 mm/s kesme hızında elde edilen değere oranla %67,65 oranında azalarak 0,11 mm olarak tespit edilmiştir. 28 mm/s kesme hızında ölçülen çapak yüksekliği değeri ise 22 mm/s kesme

hızında ölçülen değere oranla %36,36 azalarak 0,07 mm ile en düşük çapak yüksekliği değeri ölçülmüştür. En yüksek çapak yüksekliği değeri, 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 0,57 mm olarak tespit edilmiştir. Kesme hızı ve basınç değerleri arttıkça çapak yükseklik değerlerinde yüksek oranlarda düşüş olduğu görülmüştür.



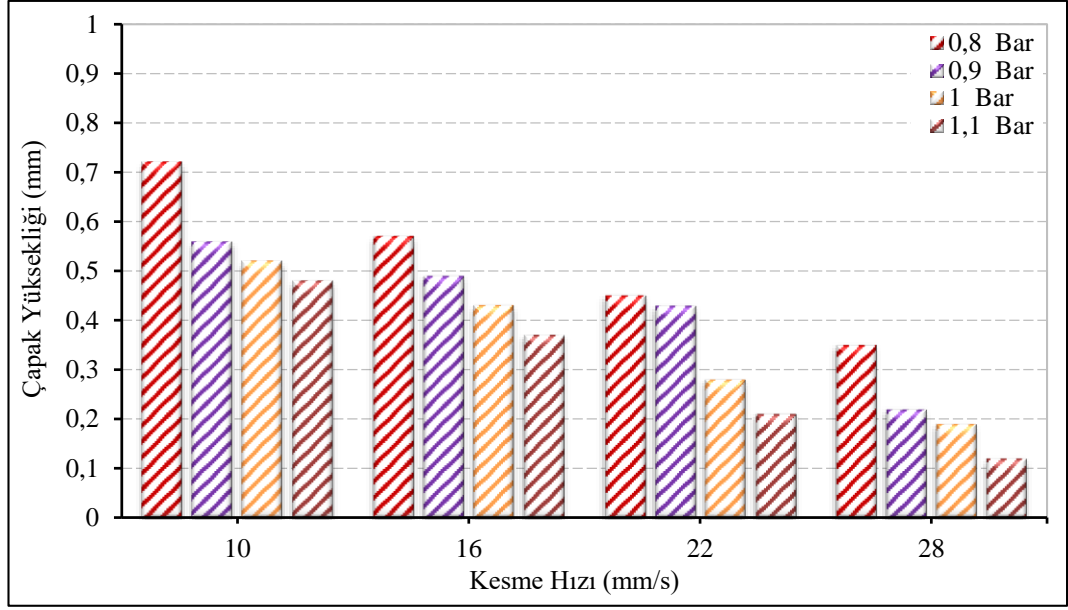
Şekil 7.10. St-52 sac malzemenin 500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.

St-37 sac malzemenin 1500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesinin çapak oluşum miktarına etkileri Şekil 7.11’de verilmiştir. 1500 Hz frekansta, 1,1 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında çapak yüksekliği değeri 0,38 mm olurken, 16 mm/s kesme hızında bu değer %13,16 oranında azalarak 0,33 mm olarak ölçülmüştür. Çapak yüksekliği değeri, 22 mm/s kesme hızında 16 mm/s kesme hızında ölçülen değere göre %39,39 oranında azalarak 0,2 mm olarak tespit edilmiştir. 28 mm/s kesme hızında ölçülen çapak yüksekliği ise 22 mm/s kesme hızında ölçülen değere oranla %35 oranında azalarak 0,13 mm ile en düşük çapak yüksekliği değeri ölçülmüştür. En yüksek çapak yüksekliği değeri, 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 0,55 mm olduğu tespit edilmiştir. Kesme hızı ve basınç değerlerinin artması sonucu çapak yüksekliklerinde yüksek oranlarda düşüş olduğu görülmüştür.



Şekil 7.11. St-37 sac malzemenin 1500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.

St-52 sac malzemenin 1500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesinin çapak oluşum miktarına etkileri Şekil 7.12’de verilmiştir. 1500 Hz frekansta, 1,1 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında çapak yüksekliği değeri 0,48 mm olurken, 16 mm/s kesme hızında bu değer %22,92 oranında azalarak 0,37 mm olarak ölçülmüştür. Çapak yüksekliği değeri, 22 mm/s kesme hızında 16 mm/s kesme hızında tespit edilen değere oranla %43,24 azalarak 0,21 mm olarak ölçülmüştür. 28 mm/s kesme hızında ölçülen çapak yüksekliği ise 22 mm/s kesme hızında ölçülen değere oranla %42,86 oranında azalarak 0,12 mm ile en düşük çapak yüksekliği değeri ölçülmüştür. En yüksek çapak yüksekliği değerinin 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 0,72 mm olduğu görülmüştür. Kesme hızı ve basınç değerlerinin artması ile çapak yüksekliklerinde yüksek oranlarda düşüş olduğu görülmüştür.

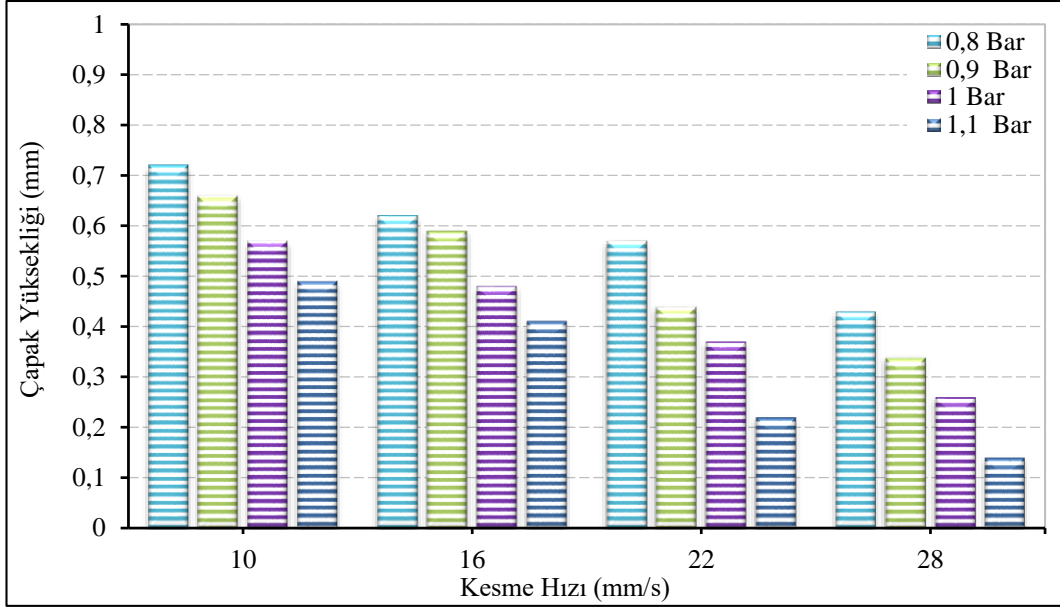


Şekil 7.12. St-52 sac malzemenin 1500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.

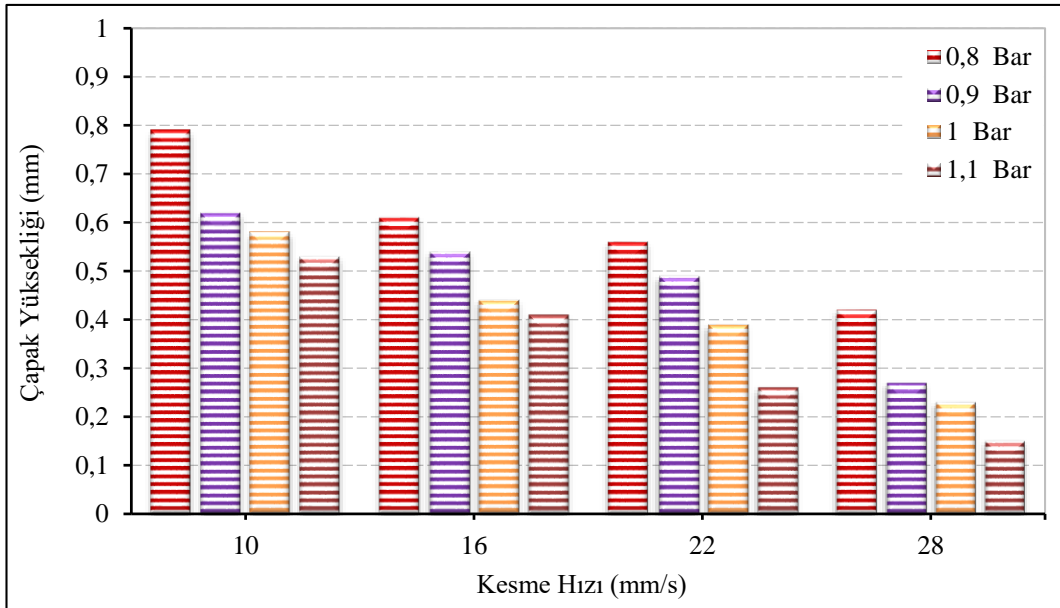
St-37 sac malzemenin 2500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesinin çapak oluşum miktarına etkileri Şekil 7.13'te verilmiştir. 2500 Hz frekansta, 1,1 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında çapak yüksekliği değeri 0,49 mm olurken, 16 mm/s kesme hızında bu değer %16,33 oranında azalarak 0,41 mm olarak ölçülmüştür. Çapak yüksekliği değeri, 22 mm/s kesme hızında 16 mm/s kesme hızına oranla %46,34 azalarak 0,22 mm olarak tespit edilmiştir. 28 mm/s kesme hızında ölçülen çapak yüksekliği değeri ise 22 mm/s kesme hızında ölçülen değere oranla %36,36 azalarak 0,14 mm ile en düşük çapak yüksekliği değeri ölçülmüştür. En yüksek çapak yüksekliği değerinin 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 0,72 mm olduğu tespit edilmiştir. Kesme hızı ve basınç değerleri arttıkça çapak yüksekliklerinde yüksek oranlarda düşüş olduğu görülmüştür.

St-52 sac malzemenin 2500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesinin çapak oluşum miktarına etkileri Şekil 7.14'te verilmiştir. 2500 Hz frekansta, 1,1 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında çapak yüksekliği değeri 0,53 mm olurken, 16 mm/s kesme hızında bu değer %22,64 oranında azalarak 0,41 mm olarak ölçülmüştür. Çapak yüksekliği değeri, 22 mm/s kesme hızında 16 mm/s kesme hızına göre %36,59 oranında azalarak 0,26 mm olarak tespit edilmiştir. 28 mm/s kesme hızında ölçülen çapak yüksekliği değeri ise 22 mm/s kesme hızında ölçülen değere

oranla %42,31 oranında azalarak 0,15 mm ile en düşük çapak yüksekliği değeri ölçülmüştür. En yüksek çapak yüksekliği değerinin, 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 0,79 mm olduğu ölçülmüştür. Kesme hızı ve basınç değerleri arttıkça çapak yüksekliklerinde yüksek oranlarda düşüş olduğu görülmüştür.

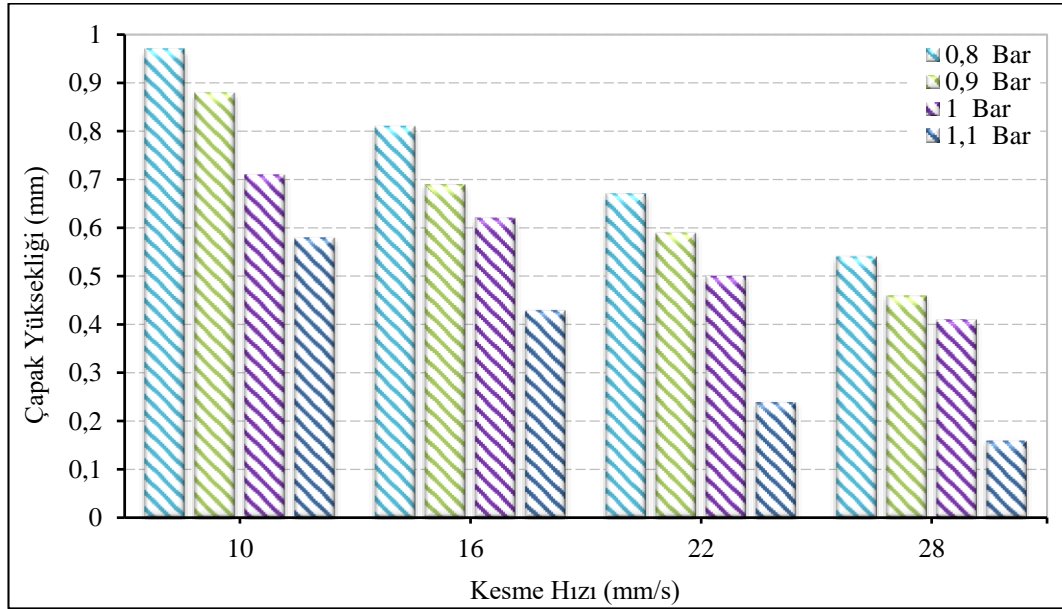


Şekil 7.13. St-37 sac malzemenin 2500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.



Şekil 7.14. St-52 sac malzemenin 2500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.

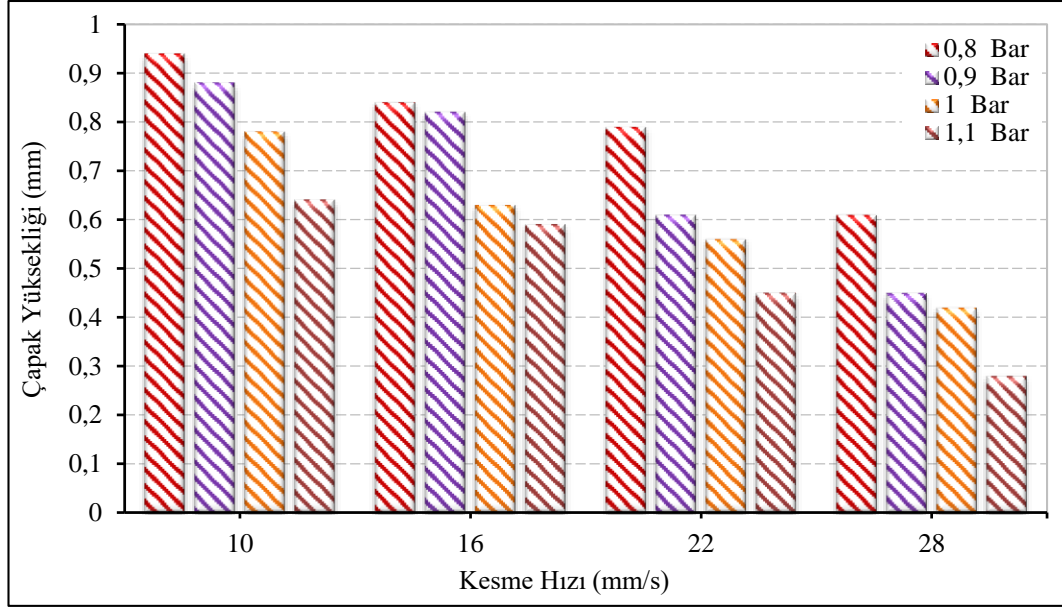
St-37 sac malzemenin 3500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesinin çapak oluşum miktarına etkileri Şekil 7.15'te verilmiştir. 3500 Hz frekansta, 1,1 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında çapak yüksekliği değeri 0,58 mm olurken, 16 mm/s kesme hızında bu değer %25,86 oranında azalarak 0,43 mm olarak ölçülmüştür. Çapak yüksekliği değeri, 22 mm/s kesme hızında 16 mm/s kesme hızına göre %44,19 oranında azalarak 0,24 mm olarak tespit edilmiştir. 28 mm/s kesme hızında ölçülen çapak yüksekliği değeri ise 22 mm/s kesme hızında ölçülen değere oranla %33,33 azalarak 0,16 mm ile en düşük çapak yüksekliği değeri ölçülmüştür. En yüksek çapak yüksekliği değerinin, 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 0,97 mm olduğu tespit edilmiştir. Kesme hızı ve basınç değerleri arttıkça çapak yüksekliklerinde yüksek oranlarda düşüş olduğu görülmüştür.



Şekil 7.15. St-37 sac malzemenin 3500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.

St-52 sac malzemenin 3500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesinin çapak oluşum miktarına etkileri Şekil 7.16'da verilmiştir. 3500 Hz frekansta, 1,1 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında çapak yüksekliği değeri 0,64 mm olurken, 16 mm/s kesme hızında bu değer %7,81 oranında azalarak 0,59 mm olarak ölçülmüştür. Çapak yüksekliği değeri, 22 mm/s kesme hızında 16 mm/s kesme hızına göre %23,73 oranında azalarak 0,45 mm olarak ölçülmüştür. 28 mm/s kesme hızında ölçülen çapak yüksekliği değeri ise 22 mm/s kesme hızında ölçülen değere

oranla %37,78 oranında azalarak 0,28 mm ile en düşük çapak yüksekliği değeri ölçülmüştür. En yüksek çapak yüksekliği değerinin, 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 0,94 mm olduğu tespit edilmiştir. Kesme hızı ve basınç değerleri arttıkça çapak yüksekliklerinde yüksek oranlarda düşüş olduğu görülmüştür.



Şekil 7.16. St-52 sac malzemenin 3500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı çapak yüksekliği değişimleri.

Grafikler genel olarak değerlendirildiğinde, sabit basınçta kesme hızının artmasıyla birlikte çapak yükseklik değerlerinde düzenli bir azalma tespit edilmiştir. Bununla birlikte, sabit kesme hızında basıncın artması ile ise çapak yükseklik değerlerinde bir azalma söz konusudur.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde St-37 sac malzemenin lazer ile kesilmesinde en düşük çapak yüksekliği değeri, basıncın 1,1 bar, frekansın 500 Hz ve kesme hızının 28 mm/s olduğu işleme parametrelerinde 0,09 mm olarak ölçülmüştür. En yüksek çapak yüksekliği değeri ise basıncın 0,8 bar, frekansın 3500 Hz ve kesme hızının 10 mm/s olduğu işleme parametrelerinde 0,97 mm olarak tespit edilmiştir. St-52 sac malzemenin lazer ile kesilmesinde en düşük çapak yüksekliği değeri, basıncın 1,1 bar, frekansın 500 Hz ve kesme hızının 28 mm/s olduğu işleme parametrelerinde 0,07 mm olarak ölçülmüştür. En yüksek çapak yüksekliği değeri ise basıncın 0,8 bar, frekansın

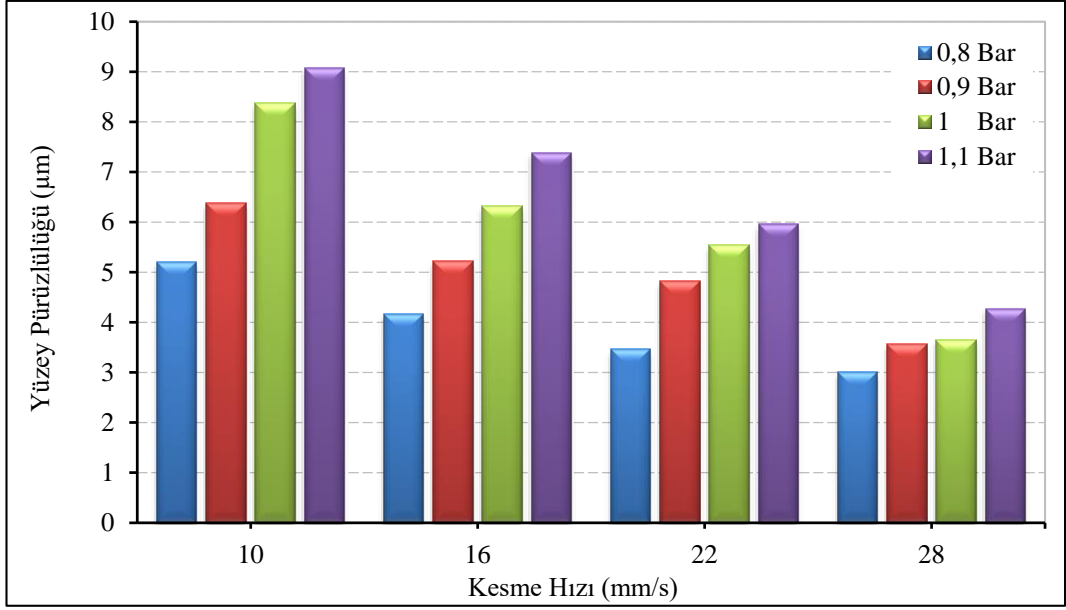
3500 Hz ve kesme hızının 10 mm/s olduğu işleme parametrelerinde 0,94 mm olarak tespit edilmiştir.

7.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

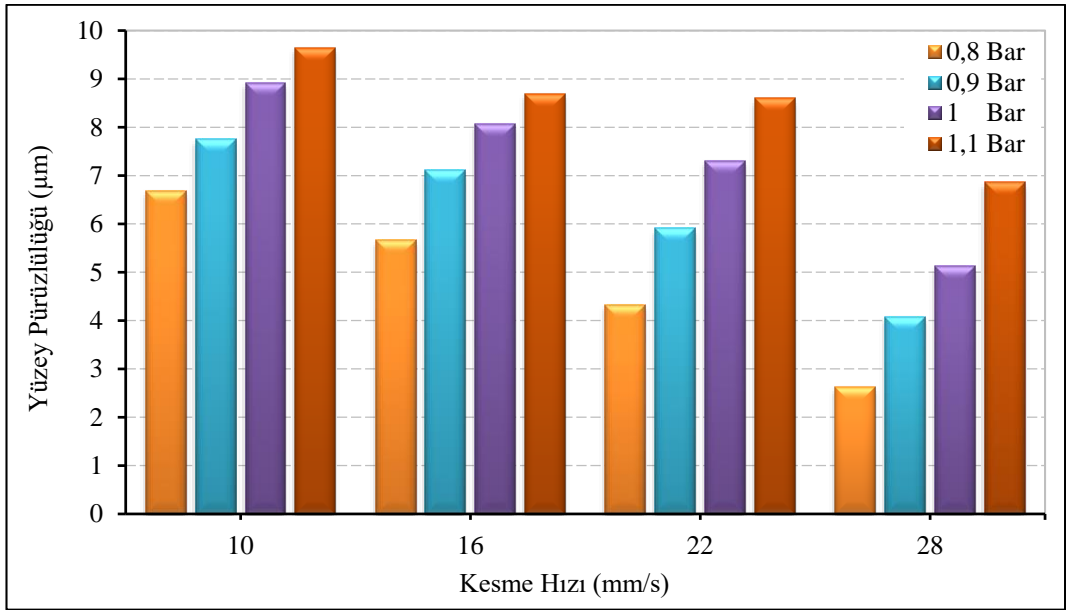
Talaşlı imalat yöntemi ile işlenmiş numunelerin diğer önemli bir ölçütü yüzey kalitesidir. Talaşlı imalattan çıkan numunenin yüzey kalitesi, kullanılacağı yerdeki işlevine bağlıdır. Yüzey pürüzlülüğü; öncelikli olarak frekans, basınç ve kesme hızına bağlı olarak değişebilmektedir. Bu çalışmada imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan St-52 ve St-37 sac malzemelerin lazer ile kesme işlemlerinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir.

St-37 sac malzemenin 500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 7.17’de verilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 3,01 µm olarak ölçülmüştür. 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta yüzey pürüzlülük değeri 5,21 µm olurken, basıncın 1,1 bar’a çıkarılması ile bu değer %74,28 oranında artarak en kötü yüzey pürüzlülük değeri 9,08 µm olarak tespit edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün tüm basınç değerlerinde iyileştiği tespit edilirken, basıncın artmasıyla tüm kesme hızı değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmektedir.

St-52 sac malzemenin 500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 7.18’de verilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 2,63 µm olarak ölçülmüştür. 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta yüzey pürüzlülük değeri 6,69 µm olurken, basıncın 1,1 bar’a çıkarılması ile bu değer %44,24 oranında artarak en kötü yüzey pürüzlülük değeri 9,65 µm olarak tespit edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün tüm basınç değerlerinde iyileştiği tespit edilirken, basıncın artmasıyla tüm kesme hızı değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmektedir.



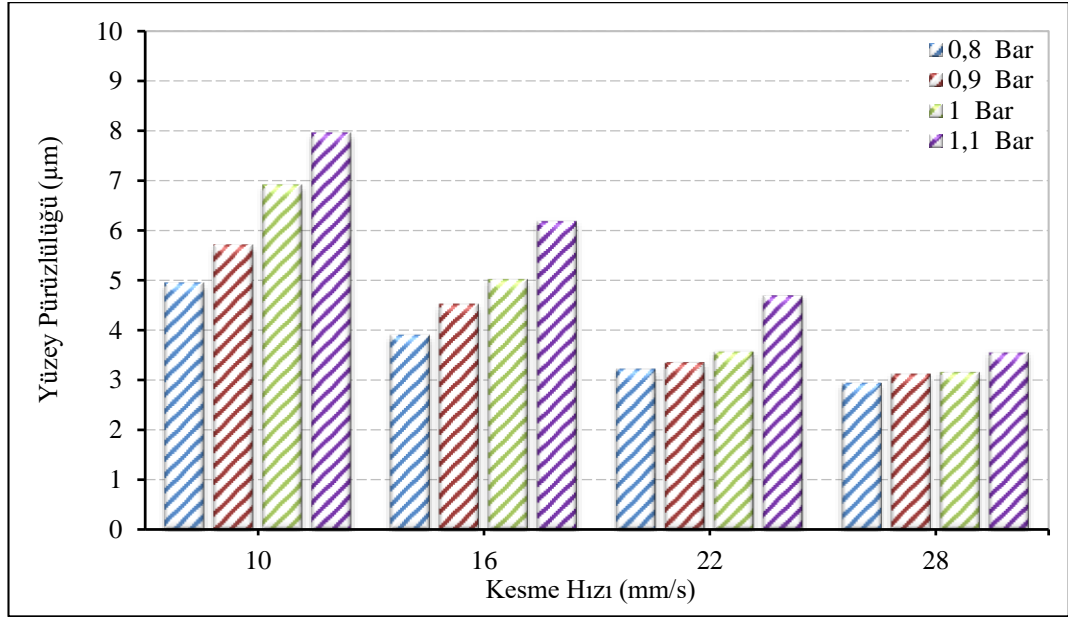
Şekil 7.17. St-37 sac malzemenin 500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.



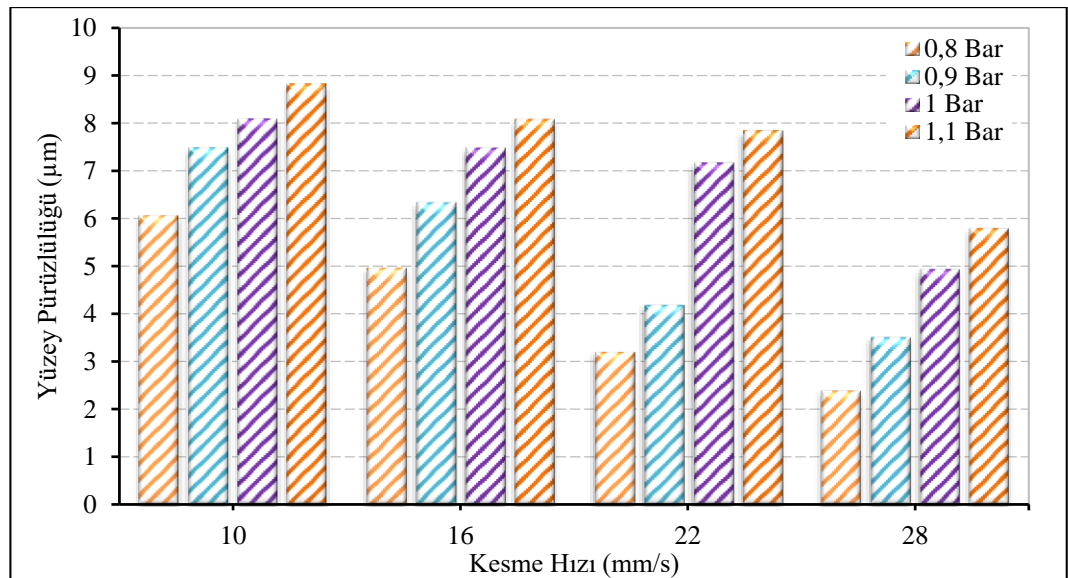
Şekil 7.18. St-52 sac malzemenin 500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.

St-37 sac malzemenin 1500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 7.19'da verilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 2,94 µm olarak ölçülmüştür. 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta yüzey

pürüzlülük değeri 4,95 μm olurken, basıncın 1,1 bar'a çıkarılması ile bu değer %60,80 oranında artarak en kötü yüzey pürüzlülük değeri 7,96 μm olarak tespit edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün tüm basınç değerlerinde iyileştiği tespit edilirken, basıncın artmasıyla tüm kesme hızı değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmektedir.

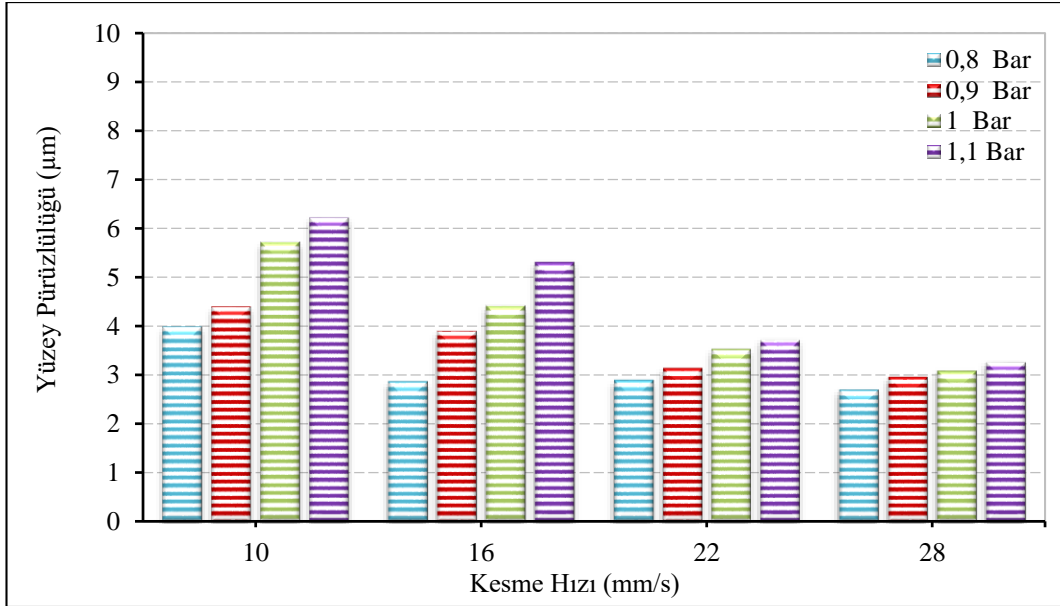


Şekil 7.19. St-37 sac malzemenin 1500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.



Şekil 7.20. St-52 sac malzemenin 1500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.

St-52 sac malzemenin 1500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 7.20’de verilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 2,4 μm olarak ölçülmüştür. 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta yüzey pürüzlülük değeri 6,06 μm olurken, basıncın 1,1 bar’a çıkarılması ile bu değer %45,54 oranında artarak en kötü yüzey pürüzlülük değeri 8,82 μm olarak tespit edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün tüm basınç değerlerinde iyileştiği tespit edilirken, basıncın artmasıyla tüm kesme hızı değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmektedir.

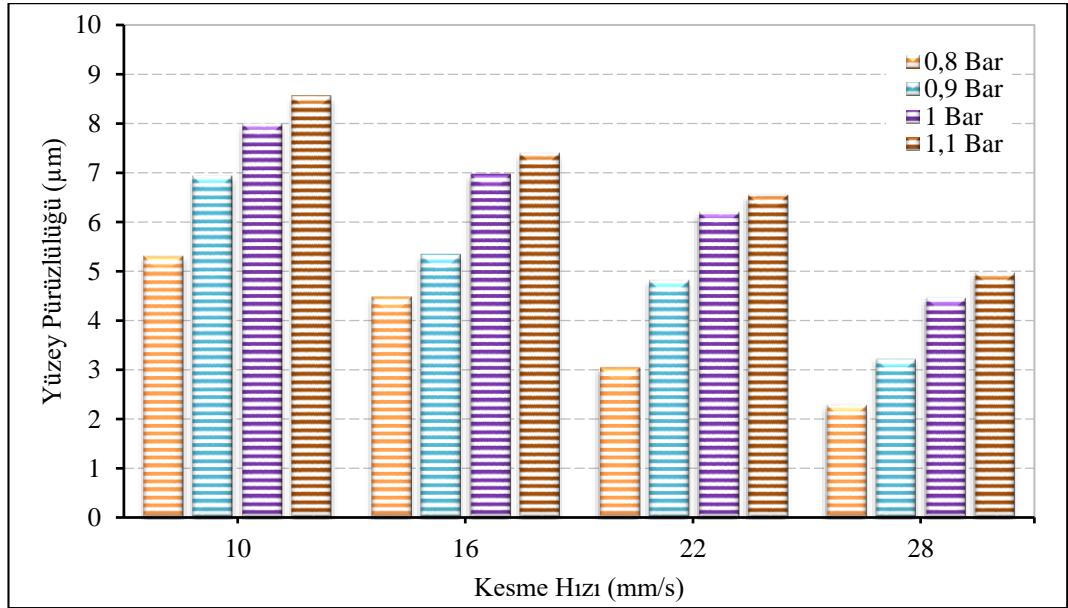


Şekil 7.21. St-37 sac malzemenin 2500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.

St-37 sac malzemenin 2500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 7.21’de verilmiştir. Kesme hızının 10 mm/s ve basıncın 0,8 bar olduğu deneylerde yüzey pürüzlülüğü 3,98 μm olarak ölçülmüştür. Bu değer 16 mm/s kesme hızında %28,14 azalarak 2,86 μm olmuştur. 22 mm/s kesme hızında yapılan deneyde 16 mm/s kesme hızında yapılan deneye oranla yüzey pürüzlülük değeri %1,05 artarak 2,89 μm değeri ölçülmüştür. 28 mm/s kesme hızında yapılan deneyde pürüzlülük değeri 22 mm/s kesme hızında yapılan deneye oranla %6,92 azalarak 2,69 μm ile en iyi yüzey pürüzlülük değeri tespit edilmiştir. 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta yüzey

pürüzlülük değeri 3,98 μm olurken, basıncın 1,1 bar'a çıkarılması ile bu değer %56,28 oranında artarak en kötü yüzey pürüzlülük değeri 6,22 μm olarak ölçülmüştür. Basıncın artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün tüm kesme hızı değerlerinde kötüleştiği tespit edilmiştir.

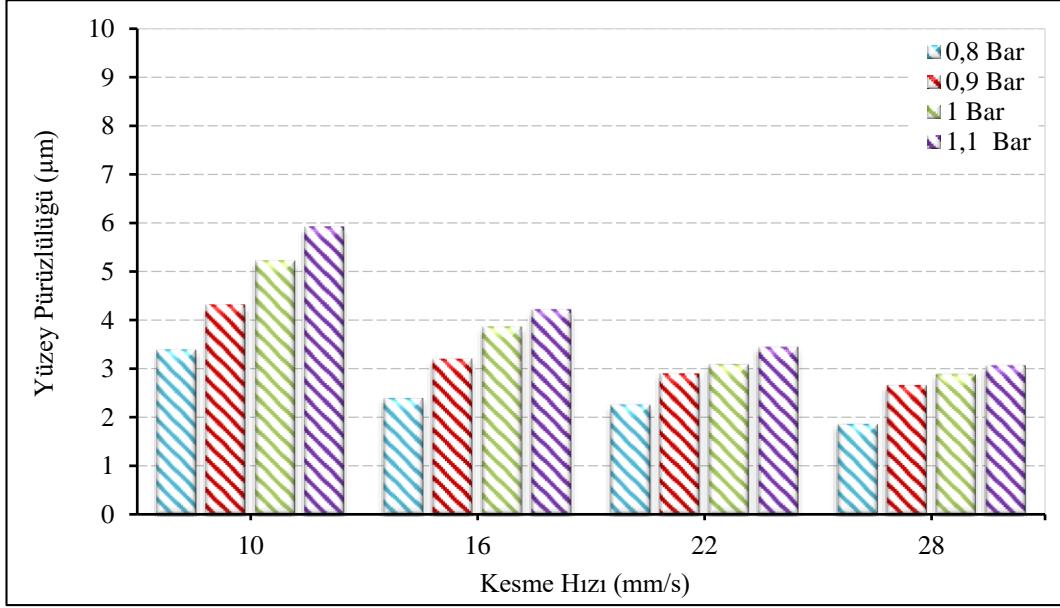
St-52 sac malzemenin 2500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 7.22'de verilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 2,29 μm olarak ölçülmüştür. 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta yüzey pürüzlülük değeri 5,32 μm olurken, basıncın 1,1 bar'a çıkarılması ile bu değer %60,90 oranında artarak en kötü yüzey pürüzlülük değeri 8,56 μm olarak tespit edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün tüm basınç değerlerinde iyileştiği tespit edilirken, basıncın artmasıyla tüm kesme hızı değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmektedir.



Şekil 7.22. St-52 sac malzemenin 2500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.

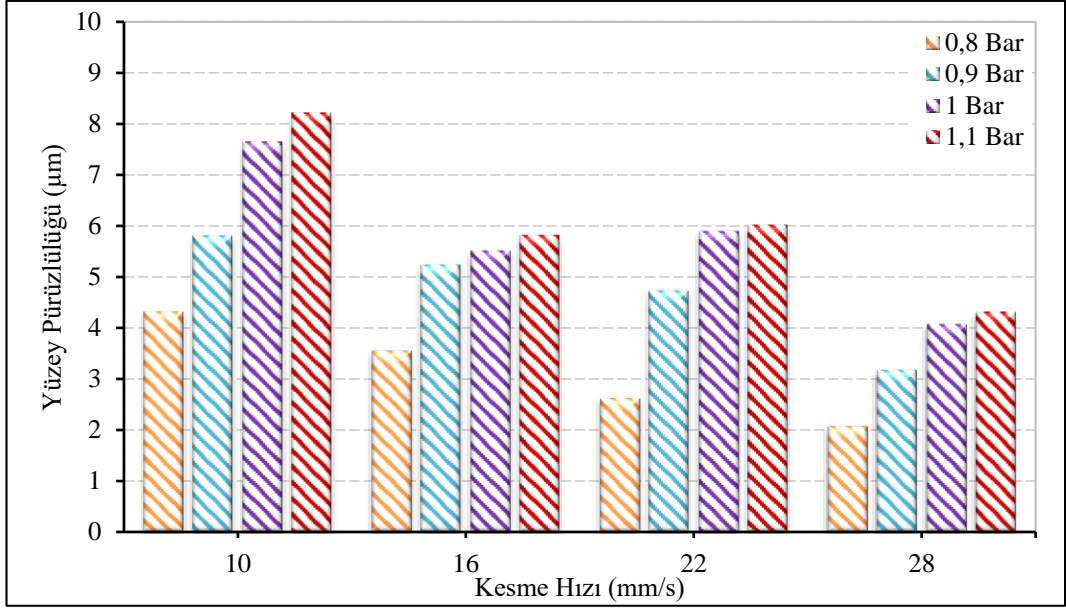
St-37 sac malzemenin 3500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 7.23'te verilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 1,86 μm olarak ölçülmüştür. 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta yüzey

pürüzlülük değeri 3,39 μm olurken, basıncın 1,1 bar'a çıkarılması ile bu değer %74,34 oranında artarak en kötü yüzey pürüzlülük değeri 5,91 μm olarak tespit edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün tüm basınç değerlerinde iyileştiği tespit edilirken, basıncın artmasıyla tüm kesme hızı değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmektedir.



Şekil 7.23. St-37 sac malzemenin 3500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.

St-52 sac malzemenin 3500 Hz frekansta, dört farklı kesme hızı ve dört farklı basınç değeri ile kesilmesi işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 7.24'te verilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri, 28 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta 2,08 μm ölçülmüştür. 10 mm/s kesme hızında ve 0,8 bar basınçta yüzey pürüzlülük değeri 4,32 μm olurken, basıncın 1,1 bar'a çıkarılması ile bu değer %90,05 oranında artarak en kötü yüzey pürüzlülük değeri 8,21 μm olarak ölçülmüştür. Kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün tüm basınç değerlerinde iyileştiği tespit edilirken, basıncın artmasıyla tüm kesme hızı değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmektedir.



Şekil 7.24. St-52 sac malzemenin 3500 Hz frekansta kesme hızı ve basınca bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri.

Grafikler genel olarak değerlendirildiğinde, kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün tüm basınç değerlerinde iyileştiği tespit edilirken, basıncın artmasıyla tüm kesme hızı değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmektedir.

Her bir grafik incelendiğinde St-37 sac malzeme için en iyi yüzey pürüzlülük değeri 3500 Hz frekansta, 0,8 bar basınç ve 28 mm/s kesme hızında 1,86 µm olurken, en kötü yüzey pürüzlülük değeri 500 Hz frekansta, 1,1 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında 9,08 µm olarak tespit edilmiştir. Elde edilen en iyi ile en kötü yüzey pürüzlülük değeri arasındaki fark %388,17 olarak bulunmuştur. St-52 sac malzeme için en iyi yüzey pürüzlülük değeri, 3500 Hz frekansta, 0,8 bar basınç ve 28 mm/s kesme hızında 2,08 µm olurken, en kötü yüzey pürüzlülük değeri, 500 Hz frekansta, 1,1 bar basınçta ve 10 mm/s kesme hızında 9,65 µm olarak ölçülmüştür. Elde edilen en iyi ile en kötü yüzey pürüzlülük değeri arasındaki fark %363,94 olarak bulunmuştur.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

Lazer ile kesme işleminde uygun işleme parametrelerinin seçimi kesme kalitesi açısından çok önemlidir. Bu deneysel çalışmada endüstride yaygın olarak kullanılan St-37 ve St-52 sac malzemelerinin lazer ile kesme işlemi sonucu işleme parametrelerinin kerf genişliği, çapak yüksekliği ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir. Lazer kesme gücünün ve malzeme cinsinin sabit olduğu, frekans, kesme hızı ve basıncın değişken olduğu 128 farklı parametre ile deneyler yapılmıştır. Yapılan bu deneysel çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

1. St-37 sac malzemesi için en düşük kerf genişliği 0,8 bar basınçta, 28 mm/s kesme hızında ve 500 Hz frekans değerinde 0,16 mm ölçülürken, en büyük kerf genişliği 1,1 bar basınçta, 10 mm/s kesme hızında ve 3500 Hz frekans değerinde 0,52 mm olarak ölçülmüştür.
2. St-52 sac malzemesi için en düşük kerf genişliği 0,8 bar basınçta, 28 mm/s kesme hızında ve 500 Hz frekans değerinde 0,14 mm ölçülürken, en büyük kerf genişliği 1,1 bar basınçta, 10 mm/s kesme hızında ve 3500 Hz frekans değerinde 0,46 mm olarak ölçülmüştür.
3. St-37 sac malzemesi için en düşük çapak yüksekliği 1,1 bar basınçta, 28 mm/s kesme hızında ve 500 Hz frekans değerinde 0,09 mm ölçülürken, en büyük kerf genişliği 0,8 bar basınçta, 10 mm/s kesme hızında ve 3500 Hz frekans değerinde 0,97 mm olarak ölçülmüştür.

4. St-52 sac malzemesi için en düşük çapak yüksekliği 1,1 bar basınçta, 28 mm/s kesme hızında ve 500 Hz frekans değerinde 0,07 mm ölçülürken, en büyük kerf genişliği 0,8 bar basınçta, 10 mm/s kesme hızında ve 3500 Hz frekans değerinde 0,94 mm olarak ölçülmüştür.
5. St-37 ve St-52 sac malzemelerinde frekans değerleri arttıkça çapak yüksekliklerinde artış görülmektedir.
6. St-37 sac malzemesi için en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,8 bar basınçta, 28 mm/s kesme hızında ve 3500 Hz frekans değerinde 1,86 mm ölçülürken, en büyük kerf genişliği 1,1 bar basınçta, 10 mm/s kesme hızında ve 500 Hz frekans değerinde 9,08 mm olarak ölçülmüştür.
7. S-37 sac malzemedede, kullanılan tüm kesme hızı ve basınç değerlerinde frekansın artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün iyileşme tespit edilmiştir.
8. St-52 sac malzemesi için en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,8 bar basınçta, 28 mm/s kesme hızında ve 3500 Hz frekans değerinde 2,08 mm ölçülürken, en büyük kerf genişliği 1,1 bar basınçta, 10 mm/s kesme hızında ve 500 Hz frekans değerinde 9,65 mm olarak ölçülmüştür.
9. St-37 ve St-52 sac malzemelerin lazerle kesilmesinde, basıncın artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde bir artış tespit edilmiştir. Kesme hızı ve frekansın arttırılması ile yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma tespit edilmiştir.
10. Lazer ile kesme işleminde, sabit basınçta kesme hızının artmasıyla birlikte çapak yükseklik değerlerinde bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, sabit kesme hızında basıncın artması ile çapak yükseklik değerlerinde bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.
11. St-37 sac malzemenin lazer ile kesilmesinde basıncın ve kesme hızının sabit kalması ve frekansın artması ile çapak yüksekliği ve kerf genişliği değerlerinde bir artış tespit edilmiştir.

12. St-52 sac malzemenin lazer ile kesilmesinde basıncın ve kesme hızının sabit kalması ve frekansın artması ile çapak yüksekliği ve kerf genişliği değerlerinde bir artış tespit edilmiştir.

8.2. ÖNERİLER

1. İşleme parametrelerinden olan kesme hızının, belirgin bir şekilde her bir işleme çıktısı (kerf genişliği, çapak yüksekliği ve yüzey pürüzlülüğü) üzerinde arttırıcı bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu tespite göre paslanmaz çeliklerin lazer ile kesilmesinde kesme hızının mutlaka uygun değerlerde kullanılması gerektiği belirlenmiştir.
2. Yapılan çalışma ile elde edilen yüzeyler SEM mikroskobu ile incelenerek numunelerin mikroyapı değişimleri gözlemlenebilir.
3. Bu çalışmada, kullanılan parametrelerin değerlerinin değiştirilmesi ile farklı kombinasyonlar oluşturularak karşılaştırma yapılabilir. Bu çalışmada 4 mm kalınlığa sahip malzemelerin kesme işlemi yapılmıştır fakat farklı kalınlıkta malzemeler kullanılması ile deneyler yapılabilir.
4. Numunelerin yüksek sıcaklıklara maruz kalmasından dolayı meydana gelen ITAB bölgeleri ve sertlik değişimleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Mungan, M. C., “Lazer ile kesme ve endüstriyel uygulamaları” Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antakya, 1-2, 8-52 (2006).
2. Erdoğan, Ş., “Lazerle delmede işleme parametrelerinin delik kalitesine olan etkisinin deneysel araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 37-38, 41-98 (2007).
3. Tunç, M., “CO₂ Lazer kesim tezgahlarında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-2 (2015).
4. Stournaras, A., Stavropoulos, P., Salonitis, K. and Chryssolouris, G., “An investigation of quality in CO₂ laser cutting of aluminum”, *CIRP Journal Of Manufacturing Science And Rechnology*, 2, 61-69 (2009).
5. Durukan Z., Motorcu, A.R., Güllü, A., “AISI 304 çeliğini farklı geometrilere lazerle kesmede parametrelerin boyutsal doğruluk üzerine etkilerinin modellenmesi”, *Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29 (3): 505-515 (2014).
6. Öncel, L., “316L çelik esaslı implantların çeşitli kesilme yöntemleri ile kesilmesinin ve kesim sonrası tavlama işlemlerinin mikroyapısal karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, 69-109 (2009).
7. Salem, H.G., Mansour, M.S., Badr Y., Abbas W.A., “CW Nd:YAG laser cutting of ultra low carbon steel thin sheets using O₂ assist gas”, *Journal of Materials Processing Technology*, 196:64-72 (2008).
8. Yılbaş, B.S., “Study of parameters for CO₂ laser cutting process”, *Materials and Manufacturing Processes*, 13(4): 517-536 (1998).
9. Matoug, K.S.A., “Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çeliklerin lazerle kesilebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kastamonu, 44-58 (2019).

10. Çalığülü, U., “AISI 304-430 paslanmaz-AISI 1010 çelik çiftlerinin lazer yöntemi ile kaynağında birleşme özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı**, Elazığ, 84-143 (2009).
11. Uslan, İ., “CO₂ laser cutting kerfs width variation during cutting”, **J. Engineering Manufacture**, 219: 571-577 (2005).
12. Saydam, A., “Çeşitli lazer parametrelerinin silikon malzeme delme sürecine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı**, İstanbul, 39-53 (2015).
13. Kallek, M., “Brazing and soldering in the jewellery industry using laser technology”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**, İstanbul, 38-110 (2009).
14. Ghany K.A. and Newishy M., “Cutting of 1.2 mm thick austenitic stainless steel sheet using pulsed and CW Nd:YAG laser”, **Journal of Materials Processing Technology**, 168, 438-447 (2005).
15. Ürgüplü, M., Köksal, M., “Lazer ile kesme işlemlerinde kesim kalitesine etki eden parametreler”, **International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science**, Valencia-Spain, 866-874 (2015).
16. İloğlu, M.E., “Farklı özelliklerdeki çelik malzemelerin lazer ile kesilmesinde elde edilen kesme aralığının karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Teknoloji Anabilim Dalı**, Ankara, 96-122 (2010).
17. Al-Qaisy, S.J.S., “CO₂ lazeri kullanılarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) boruların kesilebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı**, Kastamonu, 27-61 (2019).
18. Akkurt, A., Şık, A., Ovalı, İ., “AA2024 alüminyum alaşımlarının lazer kaynağında kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 18(1): 37-45 (2012).
19. Candan, L., “Karbon-fiber takviyeli kompozitler ve polikarbonat malzemelerin lazerle delme parametrelerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı**, Kocaeli, 60-80 (2008).
20. Pınarcıoğlu S., “304 Ostenitik paslanmaz çelik ile St37 malzemenin gaz ergitme ve lazer yöntemleriyle kesilmesinde işleme parametrelerinin etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**, İstanbul, 51-81 (2010).

21. Öner, U., “Lazerle kesme parametrelerinin kesme aralığı ve yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 22-43 (2007).
22. Durmuş, H., “CO₂ lazer kaynağıyla birleştirilmiş alüminyum matriksli kompozitlerin kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, **Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**, Manisa, 72-117 (2006).
23. Arcan A., “Lazer ışını ile metallerin kesilmesine etki eden parametrelerin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**, İzmir, 52-70 (2011).
24. Uzungörür, M., “Inconel 718 sac malzemelerin lazer ile kesilmesinde işleme parametrelerinin etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**, Eskişehir, 18-61 (2015).
25. Çetin, Ş., “Lazer kaynağı ile birleştirilmiş yüksek mukavemetli çelik sacların mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**, Bursa, 35-115 (2019).
26. Bagger, C., Olsen, F.O., “Pulsed node laser cutting of sheets for tailored blanks”, **Elsevier**, 131-135 (2001).
27. Rao., T., Kumar, H., Nath, A., “Processing of concretes with a high power CO₂ laser”, **Elsevier**, 345-356 (2005).
28. İnternet: “Lazer nedir?”, <http://www.diyadinnet.com/YararliBilgiler-1262> (2020).
29. Özcan M., “Değişik Malzemelerin İşlenmesinde Kullanılan Nd:YAG Lazerleri İçin Etkin Bir Güç Kaynağının Tasarımı Ve Uygulanması”, Doktora Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 9-17 (2003).
30. Loudon, R., “The quantum theory of light, 1st ed.”, **Clarendon Press**, Oxford, 43-55 (1973).
31. Yariv, A., “Quantum electronics, 1st ed.”, **John Wiley and Sons**, New York, 56-78 (1989).
32. Shawlow, A.L., Thownes, C.H., “Infrared and optical masers”, **Physical Review**, 112 (6): 84-94 (1958).
33. Tarakçıoğlu, N., Özcan, M., “Lazerler ve materyal işleme uygulamaları”, **Atlas Yayın**, İstanbul, 3-128 (2004).

34. Gürbüz, R. “Lazer ve uygulama alanları”, Cilt 30, *Mühendis ve Makine*, 22-23 (1989).
35. Vatandaş, Ö.G., “Lazer bindirme kaynaklı enine iç perde takviyeli hibrid profillerin dayanım ve ömür analizleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, İzmir, 7 (2010).
36. Akman, E., “Ti6Al4V Titanyum Alaşımlarının atımlı Nd:YAG lazeri kullanılarak kaynak edilmesi ve kaynak parametrelerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmit, 3 (2006).
37. Çolpan, M. H., “Lazer gücünün fonksiyonu olarak lazer yüzey işleme üzerine bir çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı*, Konya, 45-51 (2008).
38. Goca, N., “Optik”, Çeviri: Çakır, C., *Kültür Eğitim Vakfı*, 392-438 (1996).
39. Karaarslan, A., “Lazer ile malzeme işlemleri”, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul (2009).
40. Çelik S., “Lazerlerin, tıpta ve özellikle göz tedavisindeki uygulamaları”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, 16-22 (1998).
41. Buchfink, G., “The laser as a tool”, *Vogel Buchverlag*, Würzburg (2007).
42. Haag, M., Rudlaff, T., “Assessment of different high power diode lasers for materials processing”, *Proceedings of the SPIE*, Vol. 3097, 583-591 (1997).
43. Ehlers, B., Herfurth, H.J., Heinemann, S., “Hardening and welding with high power diode lasers”, *Proceedings of SPIE*, 63-70 (2000).
44. Kurt, M., “Plastik malzemelerin (Ptfе ve Pom) lazer ile kesilme özelliklerinin deneysel incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, İstanbul, 28-29 (2006).
45. Handbook Committee, “Forming and Forging”, ASM Metals Handbook, Volume 14, *ASM International* (1993).
46. Tanrıverdi M.A. “Çelik malzemelerin lazer ile kesilmesinde kesme bölgesinin yapı ve özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 15, 10-14 (1995).
47. Webb, C.E. and Jones, J.D.C., “Handbook of laser technology and applications”, Volume III: Applications, *Institute of Physics Publishing*, Bristol and Philadelphia, 1179 (2004).

48. Mair, H., “Abgrenzung der thermischen schneidverfahren laserstrahlschneiden, plasmaschneiden und autogenes brennschneiden nach technischen und wirtschaftlichen gesichtspunkten”, Schweissen und Schneiden 94, DVS-Berichte Band 162, *DVS-Verlag Dusseldorf*, 48-61 (2004).
49. Dickmann, K., “Laserstrahlschneidens”, *Schweiben & Schneiden (50)*, 7, 422-423 (1998).
50. Anık, S., Öğür, A., Vural, M., “Lazer ışını ile kesme”, *Termik kesme teknolojisi*, İstanbul, (1996).
51. Özel M., “Lazer kesim teknolojisi ve endüstrideki uygulamaları”, Araştırma Projesi, *Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Manisa, 13-18 (2005).
52. İnternet: Lazer Kesim “Lazerle kesim tezgahları” <http://www.lazerkesim.net/lazerkesim/lazer-kesim> (2009).
53. Metiner H. “Lazerin çalışma prensipleri”, *Aselsan*, Ankara, 1-3, 4-5 (1995).
54. Oğuz, B., "Malzeme Bilgisine Giriş", *Oerlikon*, 1-8 (1989).
55. Pınar, A. M., Güllü, A., “Dairesellik hatası ölçümünde kullanılan yöntemlerin incelenmesi”, *Journal of Polytechnic*, 10(2): 137-144 (2007).
56. İnternet: Has Çelik, “Çelik Kataloğu”, <http://www.hascelik.com/teknik-katalog/index.html?dilID=1/> (2018).
57. Yıldırım, D., “2205 Dupleks paslanmaz çelik ile S355J2 genel yapı çeliğinin birleştirilebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 12-15 (2018).
58. Piroğlu, F., Uzgider, E., Vural, M., Çağlayan, Ö.B., “Geçmişten Bugüne Yapı Çeliği ve Önemli Yapısal Özellikleri”, *Tmh - Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426 - 4 (2003).
59. Çalığülü, U., Türkmen, M., Çanakçı, A. ve Gökdaş, M., “PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen OPTİM 700 MC-St37 malzemelerinin X-Ray radyografisi”, *The 1st International Engineering and Technology Symposium*, Batman (2018).
60. Yıldırım, M. M., Pakdil, M., Doğantan, Z. S. ve Çakan, A., “Mühendislik Malzemeleri I”, *Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları*, Yayın No: 9, 140-141 (2001).
61. Baeslack, B., “Welding brazing and soldering”, *ASM Metals Handbook*, Vol.6, Materials Park, OH (1993).
62. Craig, E., “The plasma arc welding a review”, *Welding Journal*, 67 (2): 19-25 (1998).

63. İnternet: Sacsatis, “St52”, <http://www.sacsatis.com/index.php/saccesitleri/diger-celikler/item/13-st52-nedir> (2017).
64. Şık A., “Yapı çeliğinin (St 52-3) MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının çekme dayanımı özelliklerine etkisi”, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (1): 9-15, (2006).
65. İnternet: Hascometal, “Yapı çelikleri”, <http://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=71> (2020).
66. Yavuz, N., Özcan, R., Polat, F.G., “Tozaltı kaynak bağlantısının sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve mekanik analizi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10 (2): 14-15 (2005).
67. Kurtulmuş, M., Fidaner, O., Yükler, A.İ., “Normalize St52 Çeliklerin Ultrasonik Muayenesi”, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15, Karabük (2009).
68. Muhammad, N., Whitehead, D., Boor, A., & Li, L., “Comparison of dry and wet fibre laser profile cutting of thin 316l stainless steel tubes for medical device applications”, *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 2261-2267 (2010).
69. Bahçe, E., Kılıçkap, E., Özel, C., “Al-5005’in delinmesinde delme parametrelerinin çapak oluşumuna etkisinin araştırılması”, 2. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, 242-250 (2010).

ÖZGEÇMİŞ

Rümeysa CEBECİ, 1995 yılında Kocaeli’nde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kocaeli’nde tamamladı. 2013 yılında Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği bölümünde öğrenimine başlayıp 2018 yılında mezun oldu. Halen özel bir firmada Üretim Müdürü olarak çalışmaktadır. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu Yüksek Lisans Programına devam etmektedir.

İletişim Bilgileri:

Adres : Hacı Hızır Mah. Mehmet Bodur Sok. No:4 Kat:2
İzmit/KOCAELİ

E-posta : rumeysaa.03@hotmail.com