

**LAZER IŖIĐININ TEORİK VE DENEYSEL OLARAK
KARAKTERİZASYONU İLE OTOMATİK ODAK
NOKTASI BELİRLEME**



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LAZER IŞIĞININ TEORİK VE DENEYSEL OLARAK
KARAKTERİZASYONU İLE OTOMATİK ODAK NOKTASI BELİRLEME**

Aydoğan ATAKAN
0000-0002-6011-2077

Prof. Dr. Muhitdin Ahmetoğlu
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
OPTİK VE FOTONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır.

TEZ ONAYI

Aydoğan ATAKAN tarafından hazırlanan “Lazer Işığının Teorik ve Deneysel Olarak Karakterizasyonu ile Otomatik Odak Noktası Belirleme” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Optik ve Fotonik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Muhitdin Ahmetoğlu

Başkan : Prof. Dr. Muhitdin Ahmetoğlu İmza
0000-0002-9555-6903
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Optik ve Fotonik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Hakan KÖÇKAR İmza
0000-0002-4862-0490
Balıkesir Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü Çağış Kampüsü 10145 Balıkesir
Tel: +90 (266) 6121278
e-mail: hkockar@balikesir.edu.tr

Üye : Doç.Dr. Umut AYDEMİR İmza
0000-0001-5396-4610
Uludağ Üniversitesi, Elektrik Elektronik
Mühendisliği
Tel.: (224) 275 5262
e-mail: umutaydemir@uludag.edu.tr

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

../../....

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

02/08/2021

Aydoğan ATAKAN

ÖZET

Yüksek Lisans

LAZER IŞIĞININ TEORİK VE DENEYSEL OLARAK KARAKTERİZASYONU İLE OTOMATİK ODAK NOKTASI BELİRLEME

Aydoğan ATAKAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Optik ve Fotonik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Muhitdin Ahmetoğlu

Son yıllarda ve endüstri 4.0 platformu ile birlikte , yüksek güçlü lazerlerin kaynak, düzeltme, kazıma, kesme gibi malzeme işleme için bir araç olarak kullanımında önemli bir gelişme olmuştur. Gauss ışın yardımıyla malzeme üzeri eritilerek malzeme şekillendirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bir ısı kaynağı olarak kullanılabilen Gauss lazer ışını, içinden lazer ışınının geçtiği ve arkasından lensin odak noktası etrafında minimum bir ışın demetine yakınsadığı bir lens tarafından odaklanır. Merceğin odak noktasındaki bu yoğunlaşmış enerji ile bilinen herhangi bir materyali ısıtmak, eritmek ve buharlaştırmak mümkündür. Lazer malzeme işleme alanındaki araştırmalar, faz değişimi olan ve olmayan durumları ortaya koymuş ve çeşitli ışınlama veya kaynak koşulları hem teorik hem de deneysel olarak incelenmiştir.

Bu bağlamda termal kesim yöntemleri iki kategoride incelenebilir:

Bunlar (1) ısı işleme ve (2) frekans değişimiyle malzeme üzerinde buharlaştırma metoduna bağlı olarak incelenebilir. Bu çalışmada endüstriyel bir kesim kafası yardımıyla CW yani sürekli bir lazer kaynağı ile ideal kalitede malzeme kesim yöntemleri üzerine çalışılmaktadır. Lens odak noktasının yüzeyin üstünde veya altında olma durumuna göre , minimum ışın yarıçapı ve ışın sapma oranı gibi odaklanma parametrelerinin etkisi araştırılmaktadır. Bu araştırmalar neticesinde elde edilen karakterize edilmiş ışın filtrelenip otomatik odak bulucu sistemi geliştirilmiştir. Belirlenen odak değerleri otomatik olarak lazer kesim sistemine uygulanabilir özelliktedir.

Anahtar Kelimeler: Işın Saati, Lazer Metal Kesim, Otomatik Odak, Odak Noktasının Belirlenmesi, Lazer Işık Analizi

2021, xiv + 75 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

AUTOMATIC FOCUS POINT DETERMINATION BY THEORETICAL AND EXPERIMENTAL CHARACTERIZATION OF LASER LIGHT

Aydoğan ATAKAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Optical and Photonics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Muhitdin Ahmetoğlu

In recent years and with the industry 4.0 platform, there has been a significant development in the use of high-power lasers as a tool for material processing such as welding, trimming, engraving, cutting. With the help of Gauss beam, the material is formed by melting the material. The Gaussian laser beam, which can be used as a heat source, is focused by a lens through which the laser beam passes and then converges to a minimum beam of light around the focal point of the lens. With this concentrated energy at the focal point of the lens, it is possible to heat, melt and vaporize any known material. Research in laser material processing has revealed states with and without phase change, and various irradiation or welding conditions have been studied both theoretically and experimentally.

In this context, thermal cutting methods can be examined in two categories:

These can be studied depending on the method of (1) heat treatment and (2) evaporation on the material with frequency variation. In this study, with the help of an industrial cutting head, CW, that is, a continuous laser source, and ideal quality material cutting methods are studied. Depending on whether the lens focal point is above or below the surface, the effect of focusing parameters such as minimum beam radius and beam deflection rate is investigated. The characterized beam obtained as a result of these researches was filtered and an automatic focus finder system was developed. The determined focus values are automatically applicable to the laser cutting system.

Key words: BeamWatch, Laser Metal Cutting, Auto Focus, Determination of Focus Point, Laser Light Analysis

2021, xiv + 75 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca, bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman yol gösteren, desteğini hiç esirgemeyen çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Muhitdin AHMETOĞLU' na çok teşekkür ederim.

İş hayatım ile okul hayatım arasındaki dengeyi sağlamama yardımcı olan yöneticilerime ve bana destek olan iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan değerli ailem ve desteğini esirgemeyen aynı zamanda meslektaşım olan eşime teşekkürlerimi sunarım.

Aydoğan ATAKAN
02/08/2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1.Lazer.....	3
2.2. Lazer Teknolojisinin Tarihçesi	4
2.3.Lazer Çalışma Prensipleri	7
2.3.1.Uyarılmış Işıma ve Nüfus Terslemesi.....	8
2.4. Lazer Türleri.....	14
2.4.1. Fiber Lazerler	15
2.4.2.Fiber Lazer Rezonatörleri	17
2.4.3. Fiber Lazer Sistemi Analizi ve Modellenmesi.....	20
2.4.4.Fiber Lazerlerde Odağın Tanımı.....	22
2.5.Işın Kalite Faktörü (M^2).....	24
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	30
3.1. Lazer Kesim Tezgahı	30
3.2. BeamWatch Temassız Işın Profilleyici Cihazı	34
3.2.1.Rapor Paneli	36
3.2.2.Şerit Görüntüleme	37
3.2.3.Ölçülü Ekran Paneli	38
3.2.4.Tek Boyutlu Profil Paneli	39
3.2.5.Çift Boyutlu Profil Paneli	40
3.2.6.Hizalama Artı Göstergesi Ekranı	41
3.2.7.Sonuçları Görüntüleme Paneli	42
3.2.8.Sonuç Ekranı	46
3.2.9.Grafik Ekranı.....	49
3.3. Yöntem	50
4. BULGULAR.....	56
4.1. Sabit Lazer Gücü - Değişken Z Yüksekliği Ölçümleri ve Analizi.....	56
4.2. Değişken Lazer Gücü - Sabit Z Yüksekliği Ölçümleri ve Analizi.....	58
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	67
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	75

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
H	Manyetik alan
$\rho(h\nu)$	Foton alanının varlığında soğurma
E	Elektrik alan
f_0	CCD transfer darbelerinin frekansı
ε_0	Boşluğun elektriksel geçirgenliği
N	Ortamdaki elektron yoğunluğu
A	Einstein Katsayısı A. ortam
B	Einstein Katsayısı B. ortam
n_g	Grup indisi
V_g	Grup Hızı
ω	Açısal frekans
t	Zaman
V	Potansiyel enerji
x	Konum
ε_0	Boşluğun elektriksel geçirgenliği
ρ	Işın toleransı
λ	Dalga boyu
c	Işık hızı
∇	Rotasyonel
μ_0	Boşluğun manyetik geçirgenliği

θ	Işın Sapması
Z	Rayleigh Aralığı
w_0	Işın belindeki ışın yarıçapı
M^2	Işın kalite faktörü
D	Odaklanmamış ham lazer ışın çapını
f	Mercek ile en küçük odak noktası arasındaki mesafe
df	Odak noktası boyutu
Z	Rayleigh Aralığı
Kısaltmalar	Açıklama
yy	Yüzyıl
eV	Elektron Volt
CCD	Charge Coupled Device (Yük Aktarım Cihazı)
MOS	Metal Oxide Semiconductor (Metal Oksit Yarı İletken)
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor (Tamamlayıcı Metal Oksit Yarı İletken)
VGA	Görüntü Grafik Sıralaması (Video Graphics Array)
YAG	Neodymium katı hal lazeri
CO2	Karbondioksit gazı
VCSEL	Dikey Kavite Yüzey Emitleyici Lazer (vertical cavity surface emitting laser)
BPP	Biyofiziksel profil
FBG	Fiber Bragg Izgara (Fiber Bragg Grating)
ISO	International Organization of Standardization (Uluslararası standartlar organizasyonu)
SNR	Sinyal gürültü oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2. 1. Lazer Işığı	4
Şekil 2. 2. Lazer Işık Kaynakları.....	6
Şekil 2. 3. Optik olarak pompalanan basit bir lazerin kurulumu.	8
Şekil 2. 4. Enerji Seviyesi Geçişleri.....	8
Şekil 2. 5. Uyarılmış Enerji Seviyeleri.....	9
Şekil 2. 6. Uyarılmış Enerji Seviyelerinin Soğurma ile Yorumlanması	9
Şekil 2. 7. Uyarılmış Enerji Seviyelerinin Soğurma Yapısı.....	10
Şekil 2. 8. Lazerde Kayıplı Ortam	10
Şekil 2. 9. Lazerde Kazançlı Ortam	11
Şekil 2. 10. Optik Rezonans Kovuğu Gösterimi	12
Şekil 2. 11. Enerji Bant Aralığında Kazanç Eğrisi.....	12
Şekil 2. 12. Rezonans kovuğunun frekanslar için getirdiği kısıtlama (izin verilen frekanslar)	13
Şekil 2. 13. Rezonans kovuğunun frekanslar için getirdiği kısıtlama (izin verilen frekanslar)	13
Şekil 2. 14. Led-Lazer Işıklarının Rezonans Kovuğundaki Yapıları	14
Şekil 2. 15. Lazer ışığının fiber kablo içerisindeki ilerleyişi	16
Şekil 2. 16. Tek yönlü pompalanan fiber lazerin şeması	17
Şekil 2. 17. Rezonatör yapısında kullanılan bir fiber kablo kesiti	18
Şekil 2. 18. Çift katmandan oluşan bir lazerde ışın yayılımının etkisi	18
Şekil 2. 19. Endüstriyel yüksek güce sahip lazerlerin optik yapısı.....	19
Şekil 2. 20. 975 nm'de çekirdek pompalı bir Yb katkılı tek modlu fiber lazerin fiber boyunca optik güçler ve uyarma yoğunlukları.....	21
Şekil 2. 21. 1080 nm'de lazerleme için bir fiber Bragg ızgarası	22
Şekil 2. 22. Lazer ışığının odaklanması	23
Şekil 2. 23. Düşük ışın kalitesine sahip bir lazer ışını.	25
Şekil 2. 24. Ölçülen kostikten ışın kalitesinin hesaplanması.	26
Şekil 2. 25. Örnek M^2 faktörü hesaplama tablosu.....	28
Şekil 3. 1. Lazer Kesim Tezgahı.....	30
Şekil 3. 2. Lazer Kesim Sistemi	32
Şekil 3. 3. CNC Lazer Kesim İşlemi.....	34
Şekil 3. 4. BeamWatch Cihazı	35
Şekil 3. 5. BeamWatch Cihazı Rapor Paneli	37
Şekil 3. 6. Şerit Görüntüleme Menü Alanı.....	38
Şekil 3. 7. Ölçülü Ekran Paneli	38
Şekil 3. 8. Tek Boyutlu Profil Paneli	39
Şekil 3. 9. Çift Boyutlu Profil Paneli	40
Şekil 3. 10. Hizalama Artı Göstergesi Ekranı	41
Şekil 3. 11. Sonuç Ayar Ekranı	42
Şekil 3. 12. Sonuç Sekmesi	43
Şekil 3. 13. Sonuç Yüzey Alan Tipleri	43
Şekil 3. 14. Sonuç Bölümleri	44
Şekil 3. 15. İstatistik Seçimleri	45

Şekil 3. 16. Etkinleştirilmiş istatistiklerin tamamına örnek şekil.	45
Şekil 3. 17. Sonuçların Nasıl Görüneceğine İlişkin Ayar Sayfası	46
Şekil 3. 18. Örnek Sonuç Grafik Paneli	49
Şekil 3. 19. BeamWatch Düzenek Simulasyonu Gösterimi.....	51
Şekil 3. 20. Lazer Işın Profili Yöntemiyle Odak Noktası Belirlenmesi.....	51
Şekil 3. 21. Fabrikasyon Lazerde Dinamik Odaklama Sistemi Şeması.....	53
Şekil 3. 22. Gauss ışınının ince bir mercekten iletilmesi.	54
Şekil 3. 23. Aktif hareket edebilen bir odaklama sistemiyle lazer ışının iletilmesi.	55
Şekil 4. 1. Fabrikasyon Lazerde Sabit 1Kw Güç ve 30mm Z eksen Mesafesi Grafikleri.....	56
Şekil 4. 2. Fabrikasyon Lazerde Sabit 1Kw Güç ve 25mm Z eksen Mesafesi Grafikleri	57
Şekil 4. 3. Fabrikasyon Lazerde Sabit 1Kw Güç ve 20mm Z eksen Mesafesi Grafikleri	57
Şekil 4. 4. Fabrikasyon Lazerde Sabit 1Kw Güç ve 15mm Z eksen Mesafesi Grafikleri	58
Şekil 4. 5. Fabrikasyon Lazerde 0.5Kw Güç ve 15mm Z eksen Mesafesi Grafikleri.....	59
Şekil 4. 6. Fabrikasyon Lazerde 1Kw Güç ve 15mm Z eksen Mesafesi Grafikleri.....	60
Şekil 4. 7. Fabrikasyon Lazerde 1.5Kw Güç ve 15mm Z eksen Mesafesi Grafikleri.....	60
Şekil 4. 8. Fabrikasyon Lazerde 2Kw Güç ve 15mm Z eksen Mesafesi Grafikleri.....	61
Şekil 4. 9. Malzemenin pozisyonuna göre sapma açısındaki durum. (a) Odak mesafesinde duran mazleme; (b) Odak mesafesinin önünde yer alan mazleme; (c) Odak mesafesinin arkasında yer alan malzeme. LS: Işık üretici, BS: Işık ayırıcı mekanizma, QW: Çevrek Dalga Plaka Görseli, OL: Lens, S: Malzeme, BP: Işın karakterizasyon profilleyici	62
Şekil 4. 10. Numune konumuna göre 3D yerleşim ışın izleme sonuçları. Örnek, (a) odak mesafesinde; (b) odak mesafesinin ön kısmında; ve (c) odak mesafesinin arka kısmında.	64
Şekil 4. 11. İlave edilen aynalı odak sabitleyici sistemin gösterimi. BLP: Bloklayıcı panel.	66
Şekil 4. 12. Yüklü CCD kameranın ölçüm limitleri (a) Optimizasyonu sağlanmış lazer gücü; (b) endüstriyel yüksek mukavemetli lazer gücü; ve (c) düşük lazer gücü.	66
Şekil 4. 13. Polarizör ile birlikte kullanılan yarım dalga plakasına bağlı lazer güç kontrol mekanizmasının yapısı (HWP)	67
Şekil 5. 1. Örnek malzeme pozisyonuna göre hesaplanan ışın çağındaki değişim.	68
Şekil 5. 2. Belirli süre aralıklarla yapılan delme işleminin görselleri.	69
Şekil 5. 3. Belirli süre aralıklarla yapılan delme işlemi grafiği.	70
Şekil 5.4. Örnek malzemenin konumuna bağlı olarak yapılan yayılma çapındaki değişimin sistem üzerindeki etkisi.	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1. BeamWatch Cihazı Teknik Özellikleri.....	35
Çizelge 3. 2. BeamWatch ünitesinin içindeki Kamera Görüş Alanı.....	36
Çizelge 3. 3. Kamera Görüş Alanları	41
Çizelge 3. 4. Kamera Bölge Sınırları	42

1.GİRİŞ

Yüksek yoğunluklu, doğru yönlendirmeli ve basit lazer ışınlarının optik enerjisi, yüksek güç gerektiren lazer işlemlerinin çeşitli görevlerini gerçekleştirmek için kullanılır. Bazı durumlarda ise lazer işlemede odak olması gereken mesafe dışına çıkabilmektedir . Buda kesim kalitesinde problemlere yol açmakta, endüstriyel ortamda istenmeyen sonuçlara sebebiyet vermektedir.

Lazer işlemede kusurlu odaklanma, yüzeyde düşük kaliteli ve kusurlu mikro desenler üretir. Bu nedenle, hassas bir şekilde konumlandırmak için otomatik bir odak denetim sisteminin oluşturulması gerekmektedir.

Bu sebeple işleme sırasında çalışma yüzeyinde lazer odaklama sistemi giderek daha önemli hale gelmiştir . Çünkü hassasiyet, gelişmişlik ve üretkenlik için bu konu önem arz etmektedir.

Çeşitli makaleler ve teknik şemalar, yüksek hassasiyet için yeni teknikler üretmeyi amaçlamıştır. Geniş bir yelpazede uygulanan farklı koşullarda yüksek hızlı lazer odak sistemleri endüstriyel ve bilimsel uygulamalarda yer almaktadır. Bu zamana kadar bu konunun çözümüne ilişkin bir çok yöntem çalışılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir;

- Işın profil ölçüm metoduyla odak referanslama sistemi
- Düzlemsel olmayan yüzeyler üzerinde doğrudan lazer litografi sistemi
- İki fotonlu bir üretece bağlı cihaz (CCD) kamera kullanarak lazer mikro işleme sistemi
- Dak pozisyonunda lazer üretim performansı ve çeşitli odak dışı pozisyonlarda
- Lazer güçleri ve kırınımlı ışın örnekleyicileri
- Zaman gecikmesini kullanarak uzaktan algılama ve
- Entegrasyon (TDI) CCD kameraları ve fotonik kuvvet mikroskobu
- Odak offset ile iş parçası konumu, tayini için dört kadranlı fotodiyot kullanımı

Sistemde iki akromatik kombinasyon ile odak konumunu tespit etmek için ikiye bölünmüş bir lazer ışını kullanılır. Fakat sistemde aşağıdaki yer alan malzemelere gereksinim vardır;

- Lens
- İki silindirik lens düzeneği
- Ayarlanabilir bir optik yakınlaştırma sistemi
- Yüksek hızlı optik dönen difüzör

Fakat system her ne kadar kararlı görünse de, endüstriyel bir lazer düzeneğinde kararlı ve sistematik bir ortam sağlanamamaktadır. Yapılan tüm deneylerde ve düzeneklerde odak aralığı çok kısıtlı boyutlarda iyileştirilebilmektedir . O yüzden öncelikli olarak yüksek güçlerde ayrıntılı analiz ve buna bağlı çözüm geliştirme zorunluluğu doğmaktadır.

Bu tezde, beamwatch tarafından kurulan inceleme cihazı ile kısa süredeki bir lazer ışıması sırasında , iki lazer kaynağı kullanarak yerinde gerçek zamanlı odak algılamak için sistem önerilmiştir.

Odak kombinasyonlarını algılayabilen bir mercek sistemi, farklı monokromatik yapıda mercek düzeneği ve bunların fonksiyonuna bağlı dinamik odaklama sistemi üzerinden geliştirmeler sağlanmıştır. Sistem, fabrikasyon lazerini otomatik ve hassas bir şekilde hareket ettirir ve bulur. Mikro delikler imal etmek için lazer işleme sırasında gerçek zamanlı olarak hedef yüzeye odaklanır.Yaklaşık 0.1 nm'lik bir boyut değişimini algılamayı hedeflemektedir. Önerilen yöntem, yeniden üretilebilirliği ve esnekliği ön plana almaktadır.

Yukarıda system uyarınca teorik model ile deneysel sonucun tutarlı olduğuna bakılmaktadır. Teknik, özellikle lazer işleme ve odak kontrolü için önemli bir kilometre taşını işaret etmektedir. Tüm bu iyileştirmelerdeki ana hedef, termal işleme sistemlerinde esnekliği, kesim kalitesini ve iş gücünü minimuma indirmektir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1.Lazer

Uyarılmış Radyasyon Emisyonu ile Işık Amplifikasyonu (lazer) tutarlı, yakınsak ve tek renkli bir elektromanyetik radyasyon ışınıdır.

CO₂ lazer, yüksek ortalama ışın gücüne, daha iyi verime ve kızılötesi bölgede 10,6 µm dalga boyuyla iyi ışın kalitesine sahiptir . Seramikler tarafından optimum absorpsiyon için idealdir. Bununla birlikte, ayna kullanan bir ışın transfer yöntemi gerektirdiğinden, esnekliği, fiber optik kablo kullanan Nd: YAG lazer gibi katı hal lazeri kullanmaktan daha düşüktür.

Katı hal lazeri, seramikler tarafından optimum absorpsiyonu garanti etmez, ancak yine de hem seramik hem de metallerin işlenmesine uygulanabilir ve kolay ışın aktarımı avantajına sahiptir. Bir diyot lazeri ayrıca ışın aktarımını ve profil kontrolünü kolaylaştıran fiber aktarımı kullanır. Katı hal lazerleri, CO₂ lazerleri tarafından işlenmesi zor olan yüksek yansıtıcı malzemeler tarafından absorbe edilebilen daha kısa dalga boyuna (1.064 µm) sahiptir. Aynı zamanda mükemmel enerji verimliliğine, güç kaynağı başına yüksek lazer çıkışına sahiptirler ve bu nedenle son çalışmalarda aktif olarak kullanılmaktadırlar.

Excimer lazer bir gaz lazeridir. Excimer terimi, yalnızca uyarılmış bir durumda var olan iki özdeş türün bir bileşiğinden "uyarılmış dimer" den gelir. Excimer kompleksleri, ultraviyole ile ultraviyole yakın spektrumda 0,193 ila 0,351 µm arasında değişen çıktı dalga boyuna sahip argon florür (ArF), kripton florür (KrF), ksenon klorür (XeCl) ve ksenon florür (XeF) içerir.

Lazerler ayrıca lazer emisyonunun süresiyle de karakterize edilir - sürekli (CW) veya darbeli lazer. CW lazerleri sabit bir ortalama ışın gücü ile çalışırken, darbeli modda lazerler genellikle birkaç yüz mikrosaniye ile birkaç milisaniye arasında bir darbeye sahiptir. İşleme parametreleri daha etkili bir şekilde kontrol edilebildiğinden, darbeli lazerler, seramiklerin işlenmesi için sürekli dalga lazerlere göre daha uygundur.



Şekil 2. 1. Lazer Işığı (Hughes Aircraft Company 2013)

2.2. Lazer Teknolojisinin Tarihçesi

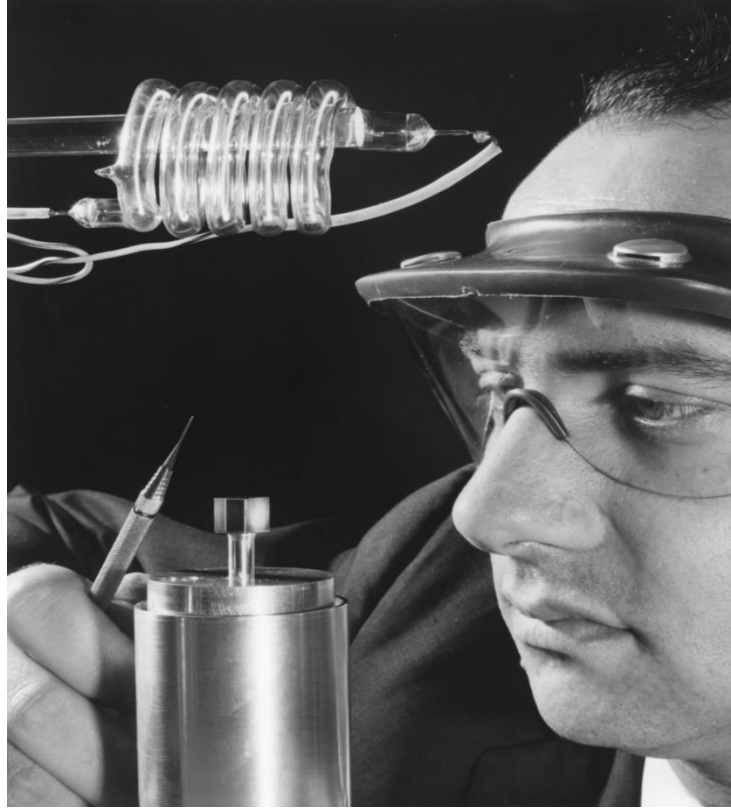
Lazer, Albert Einstein'ın 1916'da yaptığı, uygun koşullar altında atomların, kendiliğinden veya ışıkla uyarıldığında fazla enerjiyi ışık olarak serbest bırakabileceği önerisinin bir sonucudur. Alman fizikçi Rudolf Walther Ladenburg ilk kez 1928'de uyarılmış emisyonu gözlemledi, ancak o zamanlar pratik bir kullanımı yok gibi görünüyordu.

1951'de Charles H. Townes, o zamanlar New York City'deki Columbia Üniversitesi'nde, mikrodalga frekanslarında uyarılmış emisyon üretmenin bir yolunu düşündü. 1953'ün sonunda, "uyarılmış" (aşağıdaki Enerji seviyeleri ve uyarılmış emisyonlar) amonyak moleküllerini saf bir mikrodalga frekansı yaydıkları rezonant bir mikrodalga boşluğuna odaklayan çalışan bir cihaz gösterdi. Townes, cihazı "uyarılmış radyasyon emisyonuyla mikrodalga amplifikasyonu" için bir maser olarak adlandırdı. Aleksandr Mikhaylovich Prokhorov ve P.N.'den Nikolay Gennadiyevich Basov. Moskova'daki Lebedev Fizik

Enstitüsü, maser operasyonu teorisini bağımsız olarak tanımladı. Üçü de çalışmaları için 1964 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaştı.

1950'lerin ortalarında yoğun bir maser araştırması patlaması izledi, ancak ustalar düşük gürültülü mikrodalga amplifikatörler ve atomik saatler gibi yalnızca sınırlı bir uygulama alanı buldular. 1957'de Townes, kayınbiraderi ve Columbia Üniversitesi'ndeki eski doktora sonrası öğrencisi Arthur L. Schawlow'a (daha sonra Bell Laboratuvarlarında) maser eylemini kızılötesi veya görünür ışığın çok daha kısa dalga boylarına genişletmeye çalıştıklarını önerdi. Townes ayrıca, kendi lazer fikirlerini hızla geliştiren Columbia Üniversitesi'nden bir yüksek lisans öğrencisi olan Gordon Gould ile tartışmalar da yaptı. Townes ve Schawlow, Physical Review'un 15 Aralık 1958 sayısında ufuk açıcı bir makalede “optik maser” için fikirlerini yayınladılar. Bu arada Gould, lazer kelimesini icat etti ve bir patent başvurusu yazdı. Townes veya Gould'un lazerin "mucidi" olarak kabul edilip edilmeyeceği bu nedenle yoğun bir tartışma konusu haline geldi ve yıllarca süren davalara yol açtı. Sonunda, Gould 1977'den başlayarak kendisine milyonlarca telif hakkı kazandıran bir dizi dört patent aldı.

Townes-Schawlow önerisi, birkaç grubun lazer yapmayı denemesine yol açtı. Gould'un önerisi, gizli bir askeri sözleşmenin temeli oldu. Başarı önce California, Malibu'daki Hughes Araştırma Laboratuvarlarında farklı bir yaklaşım benimseyen Theodore H. Maiman'a geldi. Bir sentetik yakut kristalindeki krom atomlarını harekete geçirmek için bir fotoğrafçının flaş lambasından parlak darbeler ateşledi, bu malzeme seçti çünkü ışığı nasıl emdiğini ve yaydığını dikkatle incelemiş ve lazer olarak çalışması gerektiğini hesaplamıştı. 16 Mayıs 1960'da bir yakut çubuktan yaklaşık bir parmak ucu büyüklüğünde kırmızı pulslar üretti. Aralık 1960'da Bell Labs'tan Ali Javan, William Bennett, Jr. ve Donald Herriott, helyum ve neon karışımından sürekli bir kızılötesi ışın üreten ilk gaz lazerini yaptılar. 1962'de Robert N. Hall ve New York, Schenectady'deki General Electric Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ndeki meslektaşları ilk yarı iletken lazeri yaptı.



Şekil 2. 2. Lazer Işık Kaynakları (Hughes Aircraft Company 2013)

Lazerler, belki de bilim kurgunun “ısı ışınları” na benzerliklerinden dolayı halkın hayal gücünü çabucak yakalarken, pratik uygulamaların geliştirilmesi yıllar aldı. Irnee D’Haenens adlı genç bir fizikçi, Maiman ile yakut lazer üzerinde çalışırken, cihazın "problem arayan bir çözüm" olduğu konusunda şaka yaptı ve çizgi lazer camiasında yıllarca oyalandı. Townes ve Schawlow, lazer ışınlarının temel araştırmada kullanılmasını ve havadan veya uzay yoluyla sinyal göndermesini bekliyorlardı. Gould, birçok malzemeyi kesebilen ve delebilen daha güçlü ışınlar tasarladı. Michigan Üniversitesi'ndeki iki araştırmacı Emmett Leith ve Juris Upatnieks'in ilk üç boyutlu hologramları (holografiye bakınız) yapmak için lazerleri kullandıkları 1963 sonlarında önemli bir erken başarı elde etti.

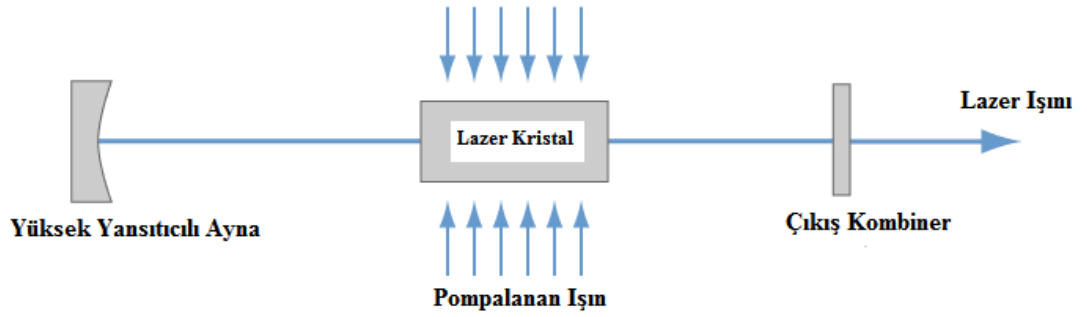
Helyum-neon lazerler, geniş ticari uygulamalara sahip ilk lazerlerdi. Kızılötesi ışın yerine görünür bir kırmızı ışın üretecek şekilde ayarlanabildikleri için, hizalama, ölçme, inşaat

ve sulama için düz çizgiler yansıtmanın hemen kullanıldığını buldular. Kısa bir süre sonra göz cerrahları, gözü kesmeden ayrılmış retinaları tekrar yerine kaynaklamak için yakut lazerlerden gelen darbeleri kullanıyorlardı. Lazerler için ilk büyük ölçekli uygulama, 1970'lerin ortasında geliştirilen ve birkaç yıl sonra yaygınlaşan süpermarketlerde otomatik ödeme için lazer tarayıcıydı. Bunu kısa süre sonra kişisel bilgisayarlar için kompakt disk müzik çalarlar ve lazer yazıcılar izledi.

Lazerler, çeşitli uygulamalarda standart araçlar haline gelmiştir. Lazer işaretçiler amfilerdeki sunum noktalarını vurgular ve lazer hedef belirleyicileri akıllı bombaları hedeflerine yönlendirir. Lazerler, tıraş bıçakları kaynak yapar, üretim hatlarındaki nesnelere dokunmadan desen yazar, istenmeyen tüyleri giderir ve beyazlatıcı dövmelemler yapar. Uzay sondalarındaki lazerli uzaklık ölçerler, Mars'ın ve asteroit Eros'un yüzeylerini benzeri görülmemiş ayrıntılarla şekillendirdi. Lazerler, laboratuvarlarda fizikçilerin atomları, mutlak sıfır derecesinin çok küçük bir kısmına kadar soğutmalarına yardımcı oldu.

2.3.Lazer Çalışma Prensibi

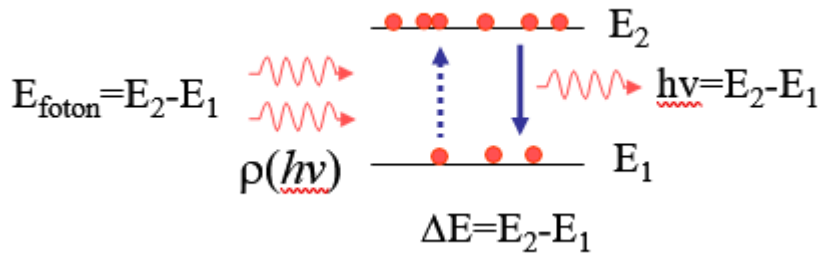
Cam levhalar ve ana amplifikatör, düşük enerjili lazer darbesini hapseder. Cam amplifikatörün her iki ucundaki aynalar, fotonların camda ileri ve geri hareket etmesine neden olarak daha fazla elektronun daha düşük enerjili hale geçmesine ve fotonlar yaymasını sağlar. Bu işlem sayesinde ayna dalga boyunda ve aynı yönde çok sayıda **foton** elde edilir. Bununla birlikte, kazanç ortamı dolaşımdaki ışığı yükseltebilir, böylece kazanç yeterince yüksekse kayıpları telafi edebilir. Kazanç ortamı, bir miktar harici enerji kaynağı gerektirir - "pompalanması" gerekir, ör. ışık (optik pompalama) veya elektrik akımı (elektrik pompalama → yarı iletken lazerler) enjekte ederek. Lazer amplifikasyonunun prensibi uyarılmış emisyonudur.



Şekil 2. 3. Optik olarak pompalanan basit bir lazerin kurulumu. (Tuba 2014)

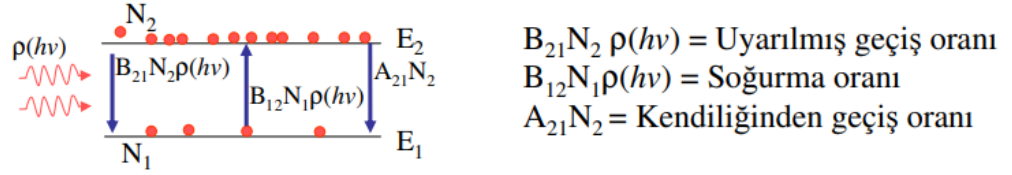
2.3.1.Uyarılmış Işıma ve Nüfus Terslemesi

Lazerlerin çalışma prensibini anlamak için enerjileri E_1 ve E_2 olan iki enerji seviyesini göz önüne alabiliriz. Enerji seviyelerindeki elektron yoğunluklarının sırası ile N_1 ve N_2 olduğunu, bu sistemin aynı zamanda foton alanı içinde olduğunu düşünmeliyiz.



Şekil 2. 4. Enerji Seviyesi Geçişleri (Tuba 2014)

$\rho(h\nu)$ foton alanının varlığında soğurma ve kendiliğinden geçişin yanı sıra lazer olayı için kritik olan uyarılmış geçişin oluşmasıdır.



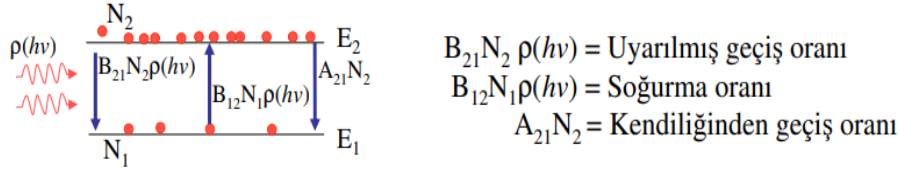
Foton alanı durumunda $\Rightarrow \frac{\text{Uyarılmış geçiş oranı}}{\text{Kendiliğinden geçiş oranı}} = \frac{B_{21}N_2 \rho(h\nu)}{A_{21}N_2} = \frac{B_{21}}{A_{21}} \rho(h\nu) \dots\dots 1$

Uyarılmış geçişi soğurmadan fazla yapmak için $N_2 > N_1$

$\Rightarrow \frac{\text{Uyarılmış geçiş oranı}}{\text{Soğurma oranı}} = \frac{B_{21}N_2 \rho(h\nu)}{B_{12}N_1 \rho(h\nu)} = \frac{B_{21}N_2}{B_{12}N_1} \dots\dots 2$

Şekil 2. 5. Uyarılmış Enerji Seviyeleri (Tuba 2014)

Lazer için 1 (uyarılmış geçişin kendiliğinden geçişe oranı) ve 2 nolu (uyarılmış geçişin soğurmaya oranı) eşitliklerin değerini mümkün olduğu kadar büyük tutmak gerekir. 1 nolu şart ($\rho(h\nu) \uparrow$) rezonans kovuğu ile, 2 nolu şart ($N_2 > N_1$) ise dış pompalama ile gerçekleştirilir.



Şekil 2. 6. Uyarılmış Enerji Seviyelerinin Soğurma ile Yorumlanması (Tuba 2014)

Denge durumunda ;

$$B_{12}N_1 \rho(h\nu) = A_{21}N_2 + B_{21}N_2 \rho(h\nu)$$

B_{12} , A_{21} , B_{21} : Einstein katsayıları

Isıl denge durumunda ve siyah cisim ışıma denklemini kullanarak

$$B_{12} = B_{21}$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{C^3} = \frac{8\pi n}{\lambda^3} \quad (2.1)$$

(Kendiliğinden geçiş (A_{21}) / Uyarılmış geçiş (B_{21}))

Lazer olayı için A_{21}/B_{21} oranını küçük tutmak gerekir. Bu oran dalga boyunun küpü ile ters orantılı (frekans ile doğru) olduğu için yüksek frekanslarda (gama-ışınlarında) lazer yapmak teknik olarak daha zordur.

2.3.2.Kazanç Ortamı ve Optik Kovuklar

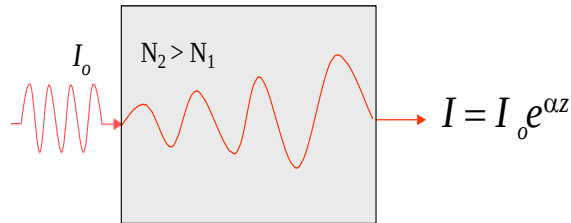
Nüfus terslemesi $N_2 > N_1$ (Pompalama)

$$I = I_o e^{+\alpha z} \quad (2.2)$$

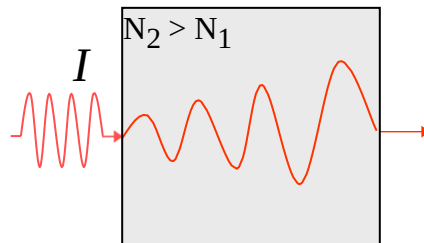
Salınım (osilasyon) olabilmesi için kazancın kayıplardan daha büyük olması gerekmektedir.

$$I - I_o \geq \delta I \quad (2.3)$$

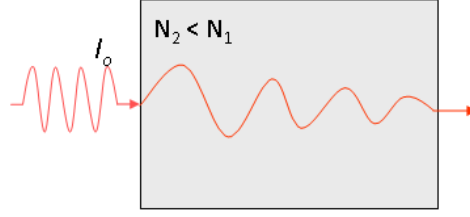
$2\alpha L \ll 1$ olması durumunda ;



Şekil 2. 7. Uyarılmış Enerji Seviyelerinin Soğurma Yapısı (Tuba 2014)

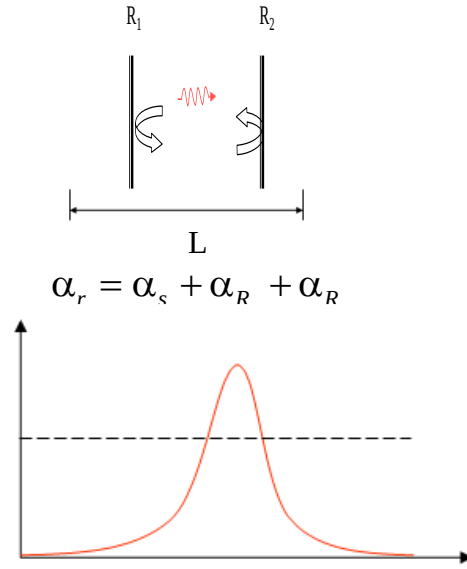


Şekil 2. 8. Lazerde Kayıplı Ortam (Tuba 2014)



Şekil 2. 9. Lazerde Kazançlı Ortam (Tuba 2014)

Dış enerji (elektrik, optik vs) $\longrightarrow$ $N_2 > N_1$



Kazanç Eğrisi

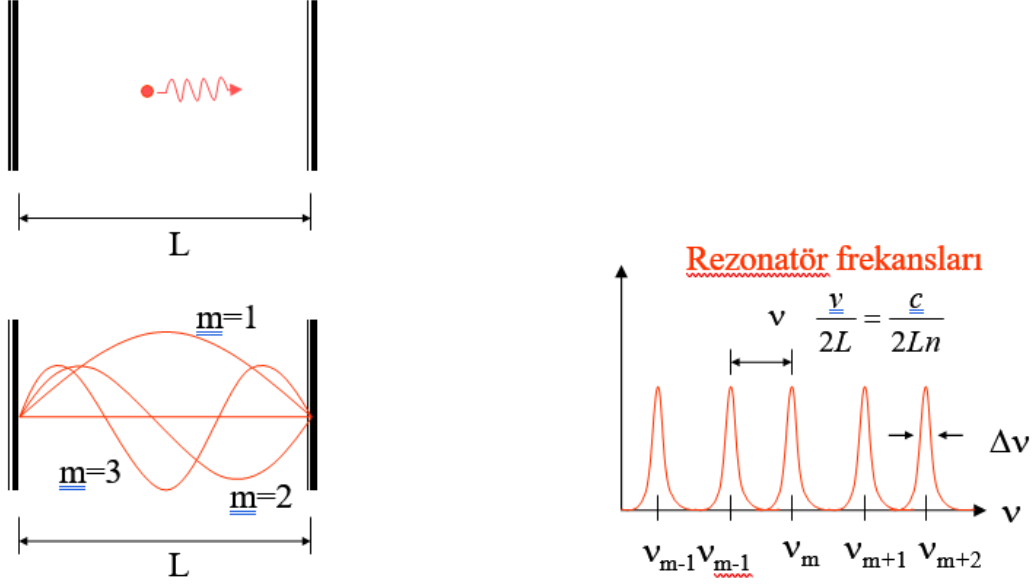
$$e^{-2\alpha_r L} = R_1 R_2 e^{-2\alpha_s L} \quad (2.4)$$

α_r =toplam kayıp katsayısı (birim uzunluk başına)

α_s =saçılma ve soğurma kayıpları

α_R =aynalaradaki yansımalarından kaynaklanan kayıp

Bunun için rezonans kovuğu (resonant cavity) kullanılır. Bu rezonans kovuğu sayesinde foton alanı $\rho(h\nu)$ sürekli artırılır. Bu kovuk fotonu yansıtacak bir ayna olabilir.

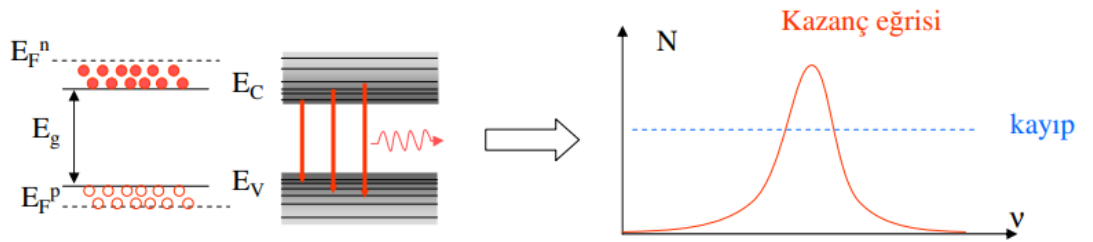


Şekil 2. 10. Optik Rezonans Kovuğu Gösterimi (Tuba 2014)

$$m = \frac{2L}{\lambda} = \frac{2Ln}{\lambda_0} \quad (2.5)$$

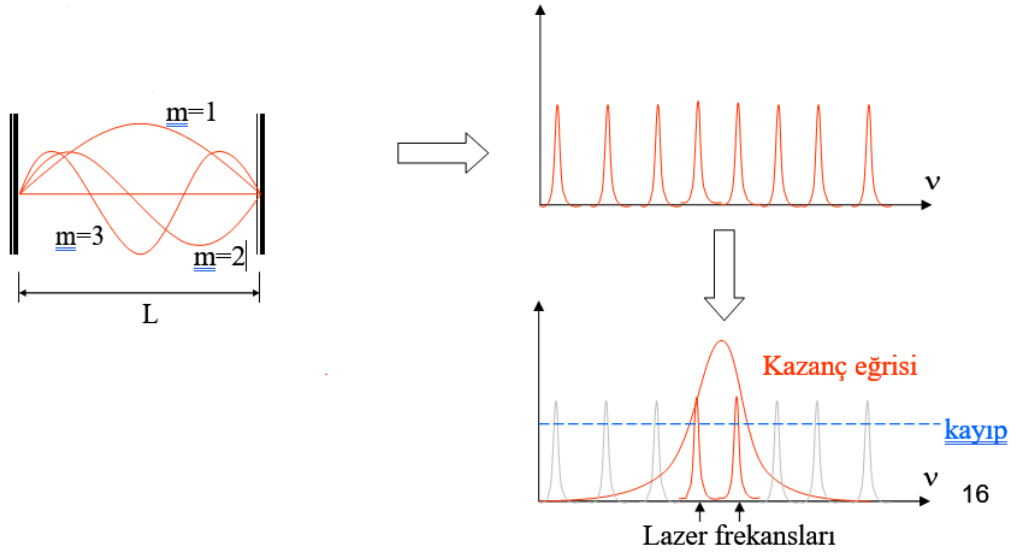
λ = rezonatör ortamında dalgaboyu

λ_0 = boşluktaki dalgaboyu



Şekil 2. 11. Enerji Bant Aralığında Kazanç Eğrisi (Tuba 2014)

Enerjisi bant aralığı civarında dağılmış elektron geçişlerinden kaynaklanan fotonlar var. Bu enerjilerden (frekanslardan) hangisinin başat olacağını rezonans oyuğu belirler.



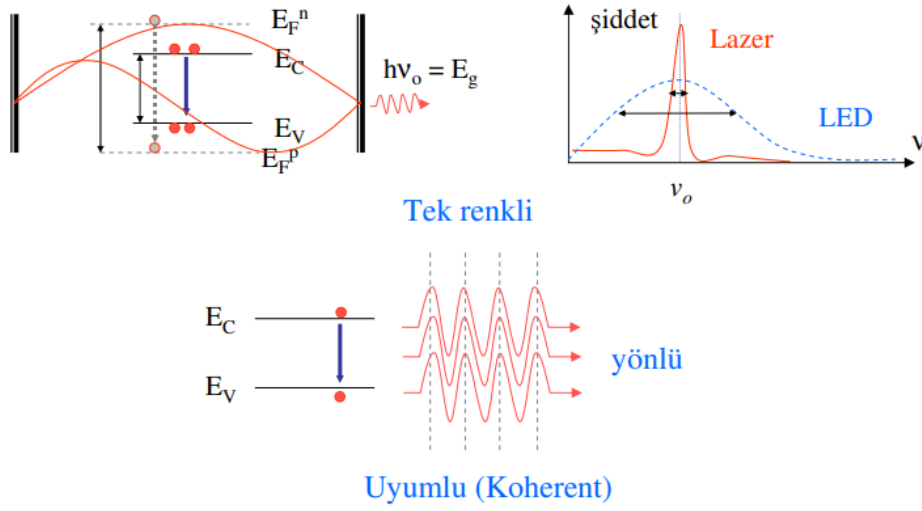
Şekil 2. 12. Rezonans kovuğunun frekanslar için getirdiği kısıtlama (izin verilen frekanslar) (Tuba 2014)

Lazer olayında, LED'den farklı olarak uygun foton rezonans kovuğu içinde kendini klonlayarak çoğaldığı için çıkan fotonların özellikleri aynıdır.

Işık:

- Uyumlu (koherent)
- Tek renkli (monokromatik)
- Yönlü

- Kutuplu



Şekil 2. 14. Led-Lazer Işıklarının Rezonans Kovuğundaki Yapıları (Tuba 2014)

2.4. Lazer Türleri

Lazer teknolojisi, çok çeşitli lazer kazanç ortamları, optik elemanlar ve tekniklerin geniş bir yelpazesini kullanan oldukça çeşitli bir alandır. Yaygın lazer türleri şunlardır:

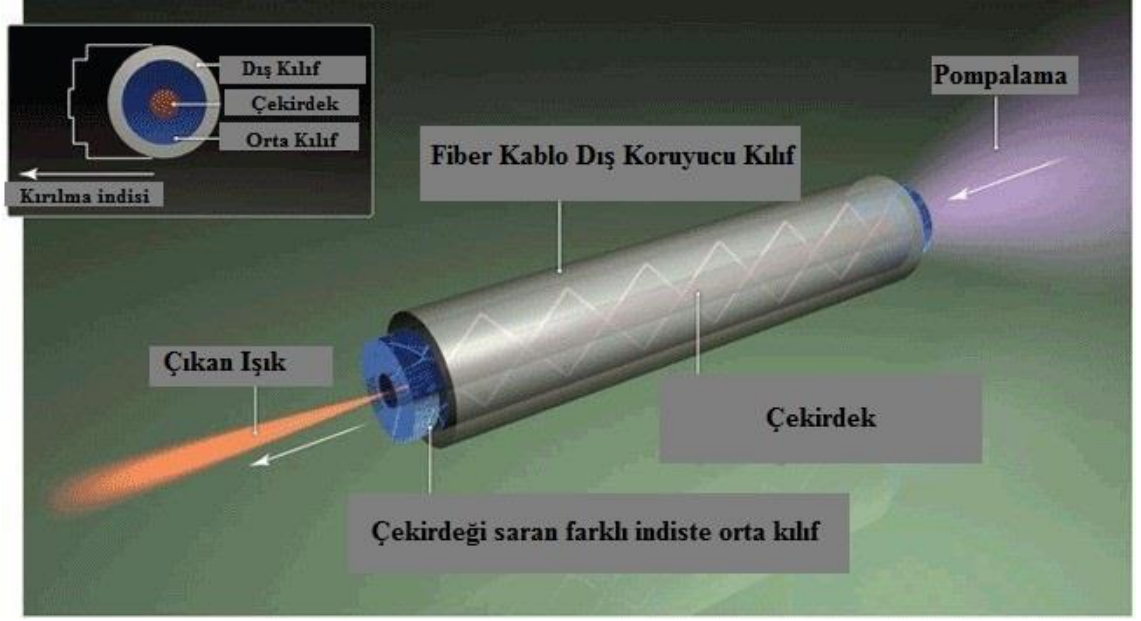
- Yarı iletken lazerler (çoğunlukla lazer diyotlar); elektrikle (veya bazen optik olarak) pompalanan, çok yüksek çıkış güçleri üreten (ancak tipik olarak düşük ışın kalitesinde) veya iyi uzamsal özelliklere sahip düşük güçler (örneğin CD ve DVD oynatıcılarda uygulama için) veya çok yüksek darbe tekrarlama oranlarına sahip darbeler (örneğin telekom uygulamaları için). Özel tipler, kuantum kademeli lazerleri (orta kızılötesi ışık için) ve yüzey yayan yarı iletken lazerleri (VCSEL'ler ve VECSEL'ler) içerir; ikincisi de yüksek güçlerle darbe üretimi için uygundur.
- Solid-State Lazerler (katkılı izolatör lazerleri) ; deşarj lambaları veya lazer diyotlarla pompalanan, yüksek çıkış güçleri üretebilir veya çok yüksek ışın kalitesi sağlayabilirler. Spektral saflık ve / veya stabilite (örn. Ölçüm için amaçlar) veya pikosaniye veya femtosaniye süreli ultra kısa darbeler üretirler. Kazançlarının maksimum olarak kullanılabileceği malzemeler; Nd: YAG, Nd: YVO4, Nd: YLF, Nd: cam, Yb: YAG, Yb: cam, Ti: safir, Cr: YAG ve Cr: LiSAF'tır. Özel bir tür iyon katkılı cam lazerler ise şunlardır:

- Fiber lazerler ; fiber çekirdekte bazı lazer aktif iyonlarla katkılanan optik cam içeren lazer sistemleridir. Fiber lazerler, yüksek ışın kalitesiyle son derece yüksek çıkış güçleri (kilovata kadar) elde edebilir, geniş çapta dalga boyu ayarlanabilir çalışma, dar hat genişliğinde çalışma vb. olanaklar sağlayabilmektedirler.
- Gaz lazerleri

2.4.1. Fiber Lazerler

Lazer teknolojisinin kullanımını daha iyi hale getiren fiber lazer; içerisinde doğada nadir bulunan iterbiyum, neodimyum, disprozium, paraseodim ve tulyum gibi elementler barındıran lazer türü olarak birçok sektörde en çok kullanılan çözüm olmayı başardı. Lazer kullanımında pompalanan diyot lazeri, CO2 lazeri gibi yerleşik yöntemleri geri plana iten fiber lazerler; önemli bir sıçrama sağlamıştır. Nadir toprak elementleri ile katkılı bir optik fiber sistemi ile çalışan bu lazerler; geleneksel yapılarda olduğu gibi gazı merkezinde bulundurmaktadır. Ancak bu gazı silika camdan yapılmış normal bir fiber ile değiştirmektedir. Elbette bu oluşan lif yapısına da nadir toprak elementlerinden küçük bir kısım eklenir. Bu nadir toprak katkılı yapı, fiber içine yerleştirilir.

Fiber lazerler, normal bir lazerde var olan lazer ışınını hareket ettirmek için bir optik fiber kullanımını ve etrafına sıçramak için aynaların kullanımını daha hassas hale getirmiştir. Bu hassasiyet ile kararlı bir lazer kullanımı sağlanır. Hassas bir hizalama gerektiren ve harekete ile darbeye duyarlı olan lazerlerin aksine fiber lazer; herhangi bir montaj hattının çarpmalarını, darbelerini, titreşimlerini ve genel uyumsuzluğunu kaldırabilecek yapıdadır.

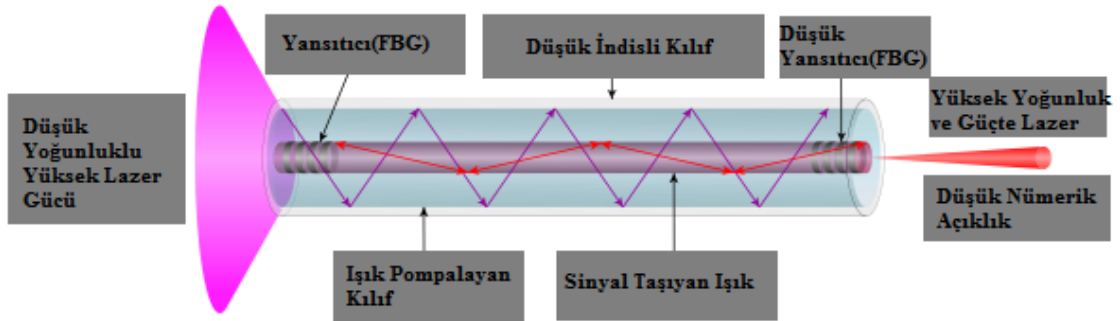


Şekil 2. 15. Lazer ışığının fiber kablo içerisindeki ilerleyişi (RP-photonic 2015)

Fiber lazer; galvanizli çelik, alüminyum, alüminyum alaşımı, titanyum alaşımı, bakır, pirinç, demir ve neredeyse tüm metal malzemelerin kesilmesinde kullanılabilir. Aynı zamanda fiber lazer uygulaması yapılabilecek sektörler arasında; sac işleme, havacılık, elektronik, elektrikli ev aletleri, metro aksesuarları, otomobiller, gıda makineleri, tekstil makineleri, inşaat makineleri, hassas aksesuarlar, gemiler, metalurji ekipmanları, asansörler, ev aletleri, el sanatları hediyeleri, dekorasyon, reklam, metal dış işleme, mutfak işleme ve diğer imalat ve işleme endüstrilerini kolayca sayabiliriz.

- En önemlisi fiber lazer, diğer lazerlere göre daha ekonomiktir. Son derece yüksek elektro-optik dönüşüm verimliliği olan bu lazer, aynı zamanda enerji tasarrufu sağlar ve çevre koruma konusunda başarılıdır.
- Diğer lazer türlerine göre kullananlar için oldukça pratiklik elde edilmesini sağlar. Çalışma yürütülecek parçanın hazırlanmasını sağlayacak fiber lazer makinelerinin hassasiyeti yüksektir. Bu hassasiyet oranı 0.03 mm'den daha azdır. Bu nedenle farklı işlemlere gerek kalmadan malzemenin hazır olmasını sağlar. Personelin iş yükü hem azalacak hemde hazırlama zamanı kısıllacaktır.

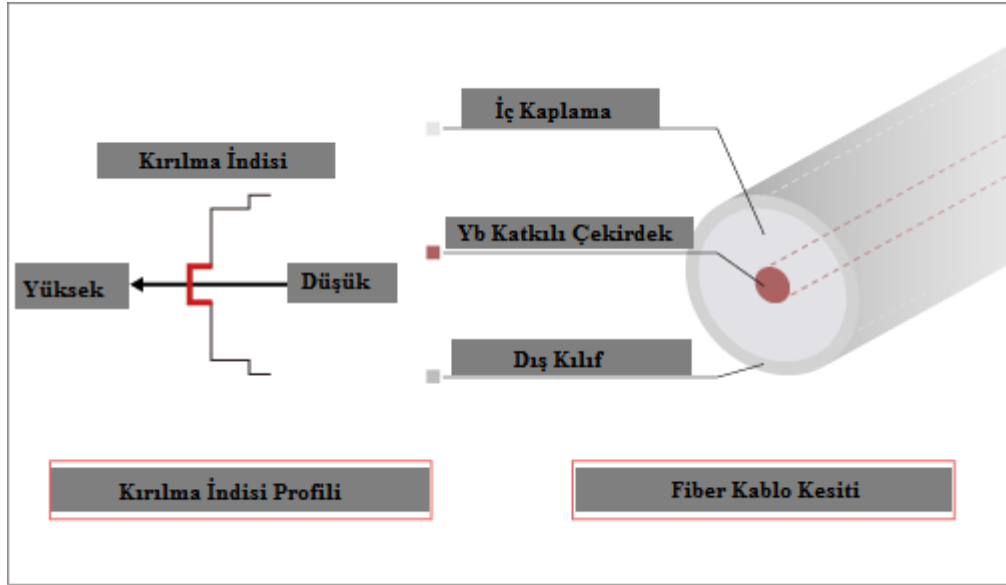
- İşleme malzemeleri ve kalınlığının çok geniş olması fiber lazer için sorun olmaz. Paslanmaz çelik, bakır alüminyum, karbon çeliği, alüminyum alaşımı vb. malzemeler için fiber lazer sorunsuz iş görmektedir.
- Fiber lazer makinelerinde kesme hızı dakikada 100 metreye ulaşabilmektedir. Bu durum da ekonomik olarak daha verimli bir çalışmayı getirir. Küçük bir iş parçasını tamamlama verimliliği, sadece birkaç saniyedir. Geleneksel ekipmanlar ile fiber lazer makinesi karşılaştırılırsa, çok daha hızlıdır.
- Fiber lazer ışın kalitesi çok yüksektir. Bu durum da; küçük odak nokta, ince kesme hatları, yüksek iş verimliliği ve daha iyi işleme kalitesi getirir.
- Aynı güç ile çalışan CO2 lazer makinesine göre iki kat daha fazla hız elde edilir.
- Düşük kullanım maliyeti vardır. Güç tüketimi, üretim maliyetlerinden tasarruf sağlayan CO2'den bile daha düşüktür. Bakım maliyeti de düşüktür.



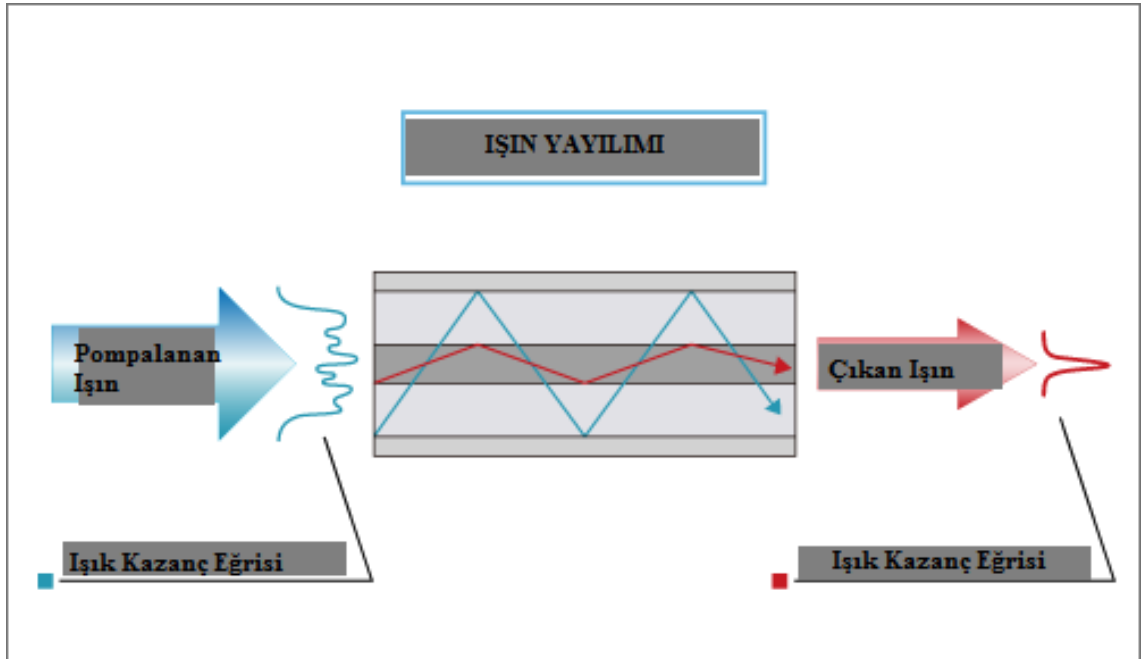
Şekil 2. 16. Tek yönlü pompalanan fiber lazerin şeması (RP-photonic 2015)

2.4.2.Fiber Lazer Rezonatörleri

Fiber lazer rezonatörleri, ideal olarak yapılandırılmış güç kaynaklarıdır. Kompakt, yüksek elektriksel ve optik verimlilik, güvenilirlik, mükemmel ışın kalitesi ve yüksek tepe enerjisi ile optik fiberlerin içindeki belirli dalga boyunu yükselterek kullanılabilir hale getirmektedirler.



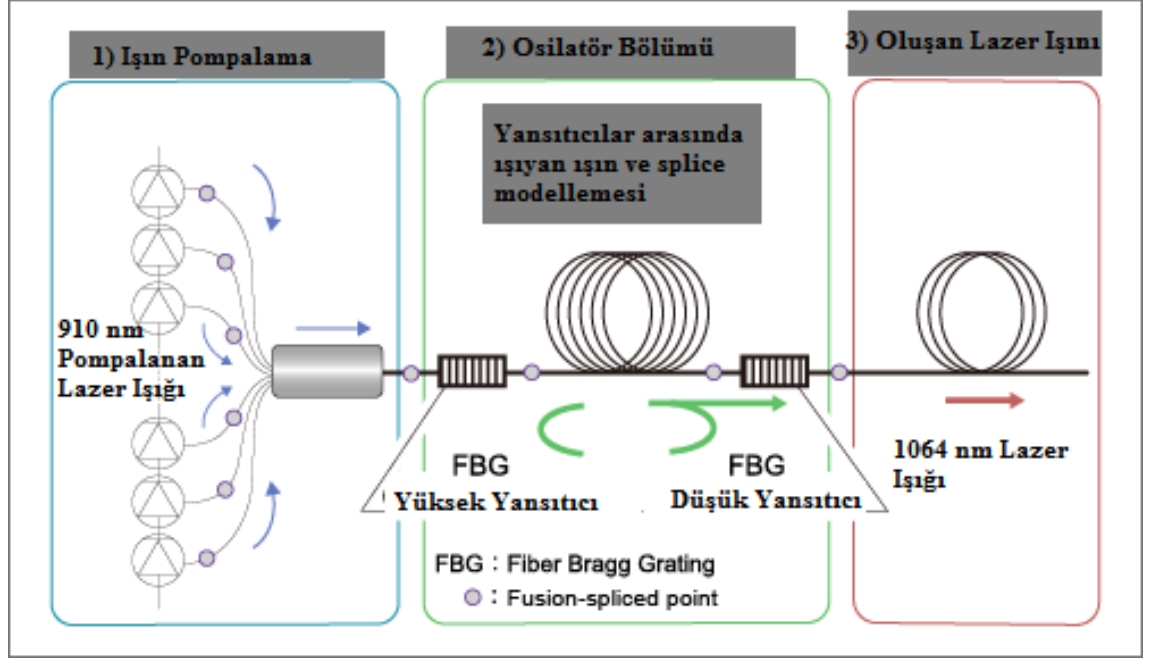
Şekil 2. 17. Rezonatör yapısında kullanılan bir fiber kablo kesiti (Fujikura 2016)



Şekil 2. 18.Çift katmandan oluşan bir lazerde ışın yayılımının etkisi (Fujikura 2016)

Şekil 2.18, çift kaplı bir fiberin yapısını ve ışın yayılımının ışık yoğunluğu profilini göstermektedir. Pompa ışığı, Yb katkılı merkez çekirdek ve iç kaplama boyunca yayılır. Ancak dış kaplama ve dış çekirdek sınırında toplam iç yansıma ile çekirdeklerde

sınırlandırılmıştır. Lazer ışığı, iç kaplama ve merkez çekirdek sınırındaki toplam iç yansıma nedeniyle Yb katkılı merkez çekirdekte yayılır. Pompa ışığı Yb katkılı merkez çekirdek boyunca yayılırken, Yb iyonları harekete geçer.



Şekil 2. 19. Endüstriyel yüksek güce sahip lazerlerin optik yapısı. Optik devre üç ana bölüme oluşur: (1) Pompa bölümü, (2) Osilatör bölümü ve (3) Işın dağıtım bölümüdür. (Fujikura 2016)

Pompa bölümünde (1), pompalanan lazer diyotlarından (LD'ler) gelen lazer ışığı, optik fiberlerden geçerek bir pompa birleştiriciye geçer. Pompa birleştirici, çoklu LD'lerden gelen pompa ışığını tek modlu bir optik fibere bağlar.

Osilatör bölümünde (2), pompa birleştiriciden gelen pompa ışığı, Şekil 2.19'da gösterildiği gibi çift kaplı bir fiber (aktif fiber) boyunca yayılır. Pompa ışığı Yb iyonlarını uyarır ve FBG'ler (Fiber Bragg) tarafından güçlendirilir. FBG'ler, yüksek ve düşük yansıtma özelliğine sahip aynalar görevi görür. Lazer ışığı, düşük yansıtma özellikli FBG'den yayılır.

Işın verme bölümü (3), lazer ışığını Osilatör bölümünden (2) bir işlem kafasına veya bir ışın bağlayıcısına geçiren bir optik fiberden oluşur.

2.4.3.Fiber Lazer Sistemi Analizi ve Modellenmesi

Bir fiber lazer modellemesinde istenilen yapıya uygun sistem geliştirmek oldukça karmaşık ve farklı yaklaşımlar içermektedir:

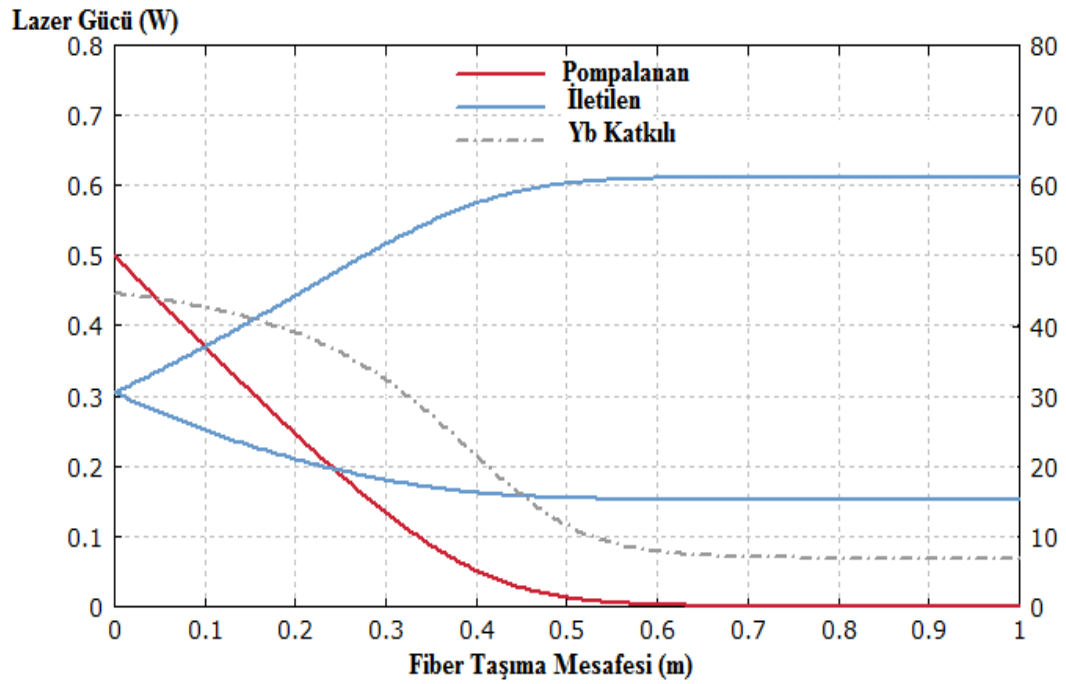
Endüstriyel bir fiber lazer tasarımında kayıpların minimum olduğu bir sistem hedeflenmektedir. Buna bağlı olarakta maksimum kazanç sağlayacak bir sistem düşünülmektedir.

Fiber lazerlerde pompalama gücünü maksimuma çıkarmak için maksimum doygunluk seviyelerinde çalışılmaktadır. Artan doygunluk seviyesine göre ise fiber lazerler katmanlı yapıya bürünürler. Buda sistemi oldukça karmaşık bir hale dönüştürmektedir. Maksimum kazancın hedeflendiği bu sistemlerde osilatör kuvvetlendiricileri kullanılmaktadır. Bununla bir dezavantajı yüksek güç tüketimine yol açmasıdır. Tüm bu etkenlerden dolayı bir fiber lazer modellemesi basit analitik verilere dayandırılmaz. Yüksek analitik bir yapı ve bunun neticesinde kuvvetli bir teoriye dayandırılması gerekmektedir. Olası lazer performansını hesaplamak, zararlı etkileri analiz etmek, prototip ve ürün tasarımlarını optimize etmek için bir tür fiber simülasyon yazılımıyla gerçekleştirilen sayısal simülasyonlar gereklidir:

- Aktif lazer iyonlarının enerji seviyeleri üzerindeki farklı davranışlarını ifade etmek amacıyla iyon hız denklemleri kullanılabilir.
- Fiber üzerindeki farklı katsayılardaki modların analitik çözümü ve hesaplaması amacıyla bir mod çözücü yöntem kullanılabilir.
- Fiber üzerindeki ışının karakteristik yapısı göz önüne alınarak sayısal ışın yayılımı hesaplanabilir. Örneğin, çift kaplı fiberlerin pompa kaplamaları dahil olmak üzere çok modlu fiberler için bu konu incelenebilir.
- Fiber boyunca lazer aktif iyonların optik yoğunlukları ve uyarma yoğunlukları için kendi kendine tutarlı bir çözümle birlikte lazerlerin ve amplifikatörlerin sabit durumunu hesaplamak için rafine algoritmalar gereklidir. (Optik yoğunlukların ve uyarma yoğunluklarının karşılıklı olarak birbirini etkilediğini unutmadan işlem yapılmalıdır.)
- Dinamik modeller; örneğin darbe amplifikasyonunu ve Q anahtarlama hesaplamak için kullanılır.

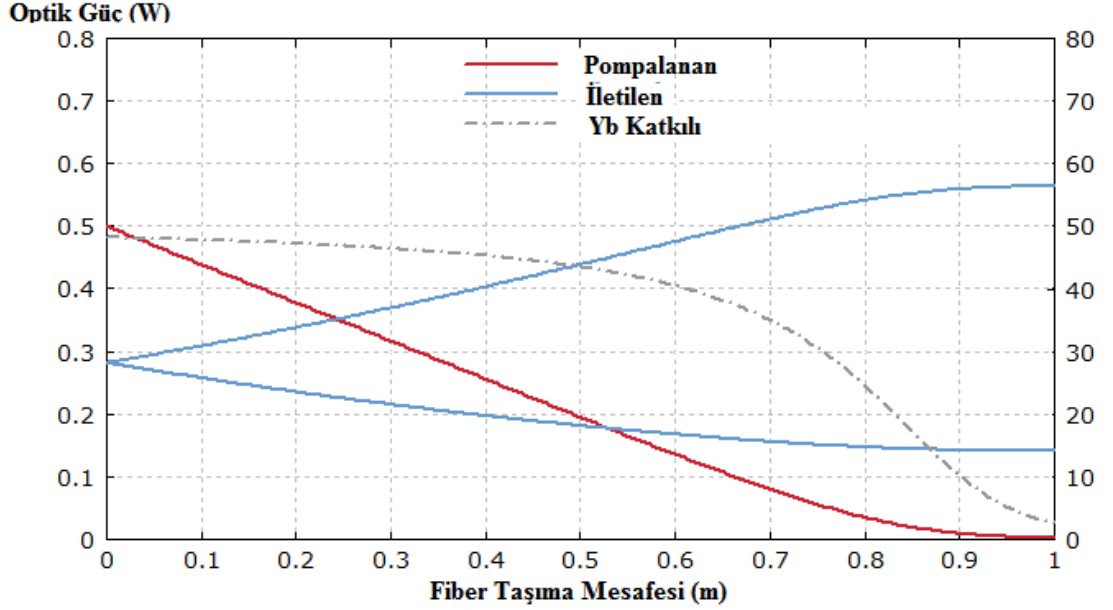
- Fiberlerde ultra kısa darbe yayılımı; lazer kazancı, sınırlı kazanç bant genişliği, kromatik dağılım, çeşitli doğrusal olmayan yayılımlar vb. Gibi etkenlerin etkisi altında sayısal olarak simüle edilebilir.

Basit fiber lazerlerin bile şaşırtıcı özelliklerine bir örnek olarak, Şekil 2.20, bir Yb katkılı tek modlu fiber lazerin fiber boyunca optik güçleri ve uyarma yoğunluklarını gösterir. 1030nm de ve yeterli doygunluğa ulaşmamış bir iletim sisteminde grafik kararsız ve doğrusal olmayan etkilerle donanmıştır. Fakat sistem ne zaman ki doygunluğa ulaşır ve neticesinde neredeyse doğrusal olarak iletim grafiği göstermektedir. Burada 1080nm de ölçümler esas alınmıştır. Grafıklara bakıldığında çok net bir şekilde saptanabilmektedir. Lif biraz fazla uzundur ve sağ tarafta hafif sinyal geri emilimine neden olur. İşlem neticesinde yapılan emilim sonucunda sonuç grafiğinde güçte kayıplar meydana gelmiş olabilmektedir. Fakat bu kötü bir sonuç değil aksine oluşan kayıp neticesinde bolca uyarılan iterbiyum taneciklerini göz önünde bulundurmak gerekmektedir.



Şekil 2. 20. 975 nm'de çekirdek pompalı bir Yb katkılı tek modlu fiber lazerin fiber boyunca optik güçler ve uyarma yoğunlukları. (RP-photonics 2015)

Şekil 2.21, de görüleceği üzere kesit alanı pompalamada ve sinyal iletiminde önemli rol oynamaktadır. 1080nm den düşük kesitlerde iletim epey yavaşlayacaktır. Tabi burada iletimin yavaşlamasına etken olarak sadece kesit alanı düşünülmemelidir. Rezonatörden kaynaklı kayıplarda bu hususta önemli rol oynamaktadır. Onun yanı sıra ortamın termal etkisi de ön plandadır. Belirli dalga boyunda ve belirli ısı doygunluğuna ulaşmamış bir sistemde sağlıklı bir iletimden söz edilemez.



Şekil 2. 21. 1080 nm'de lazerleme için bir fiber Bragg ızgarası (RP-photonic 2015)

Son durumda elyaf uzunluğu 0.7 m'ye düşürülürse, eksik pompa emilimi nedeniyle çıkış gücünde orta derecede bir azalma beklenebilir. Fiber boyunca yaklaşık %50'lik Yb uyarma yoğunluğu, lazer eşiğine ulaşmak için yeterli olmayacaktır. Tüm bunların neticesinde lazer kesit alanı ne kadar değişirse değişsin, belirli dalga boyu aralıklarında iletim devam edecektir . Sadece belirli bir limitin altına inmesi durumunda pompalanma durma seviyesine yaklaşacak ve iletim sıkıntıları görünmeye başlayacaktır.

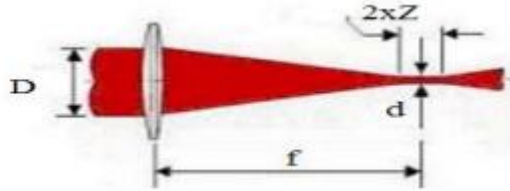
2.4.4.Fiber Lazerlerde Odağın Tanımı

Katı hal lazerinde ışını yönlendirmek için genellikle fiber optik kablolardan yararlanılır. Işık kablusunda paralel demet halinde yayımlanan lazer ışınıni biçimlendirmek için ise kolimatörler kullanılır. Lazer ışını ışın kablосundan ve kolimatörden geçtikten sonra, bir

odaklama merceği paralel ışın demetini iş parçası yüzeyine odaklar. CO2 lazerlerin dağıtımı için fiber optik kablo kullanılmaz. Bu yüzden lazer kaynağından yayılan ışın doğrudan mercek ile malzeme yüzeyine odaklanır. Lazer kesme işleminin gerçekleşmesi, yüksek güçlü lazer ışığının malzemeyi kesmek için oluşturulması gereken güç yoğunluğunun sağlanabileceği küçük bir noktaya odaklanmasını gerektirir. Merceğin odaklama mesafesi odak noktasının boyutunu ve ayrıca tatmin edici bir kesme için odak derinliğini belirler.

Lazer ışığının odak yeteneği Şekil 2.22’de resmedilmiştir. “Z” odak derinliğini (Rayleigh uzunluğu) ifade eder. Denklem 2.6’ da ise odak noktası boyutunu (d_f) belirleyen parametreleri göstermektedir. Burada, “f” mercek ile en küçük odak noktası arasındaki mesafeyi, “D” odaklanmamış ham lazer ışın çapını, “ λ ” lazer ışını dalga boyunu belirtir. Odak mesafesi ayrıca odak noktası boyutu gibi benzer parametrelere bağlıdır. Genellikle küçük bir odak çapı, kısa bir odak mesafesi ile bağdaştırılır.

$$d_f = \frac{4\pi}{\pi} \cdot \frac{f}{d} \cdot \frac{1}{k} = \frac{4\lambda}{\pi} \cdot \frac{f}{D} \cdot M^2 \quad (2.6)$$



Şekil 2. 22. Lazer ışığının odaklanması (ISITES 2015)

63 mm “f” değerine sahip mercekler, kalınlığı 4 mm’den az olan malzemelerin kesimi için, küçük odak boyutu, paralel ve dar bir kerf aralığı sağladıkları için tercih edilmektedirler. Daha uzun odak mesafesi daha kalın malzemelerin kesilmesinde kullanılır. Odak mesafesi uzadıkça sistem kararlılığı artmakta ölçüm değerleri derinlik kazanmaktadır. Yüksek kalitede bir lazer ışını, odak noktası boyutundan taviz vermeden, ancak daha uzun mesafeli bir mercek kullanılarak mümkün olur. Kesme uygulamalarında mercek seçimi için kritik faktörler, odak nokta boyutu ve odak derinliğidir. Bu yüzden odak mesafesi, kesilecek malzemenin kalınlığına göre optimize edilmelidir.

Malzeme Yüzeyine Bağlı Odak Pozisyonu , Odak pozisyonu optimum kesme kalitesini sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Malzeme kalınlığındaki farklılıklar, odak değişikliği ve lazer ışın yoğunluğunda çeşitlenmelere yol açar. Oksijen destekli kesimde maksimum kesme hızları, ışının odak yüzeyi ince levhalar için düzlem yüzeyi ve kalın levhalar için tabandan levha kalınlığının üçte biri kadar yüksekte ayarlandığında başarılabilir. Fakat asal (inert) bir gazın kullanıldığı kesimlerde optimum pozisyonlar alt yüzeye yakın yerlerdir. Çünkü gaz akışının kerf aralığına ve ergimiş metalde daha geniş bir alana nüfuz etmesi, daha geniş bir kerf meydana getirir. Asal gaz kullanılarak yapılan kesimlerde daha geniş bir ağızlık çapı kullanılır. Eğer odak düzlemi malzemeye çok yüksek veya çok alçak pozisyonlandırılırsa, kerf genişliği ve cüruf tabakası büyür ve kesme için gerekli güç yoğunluğu sağlanamaz hale gelir.

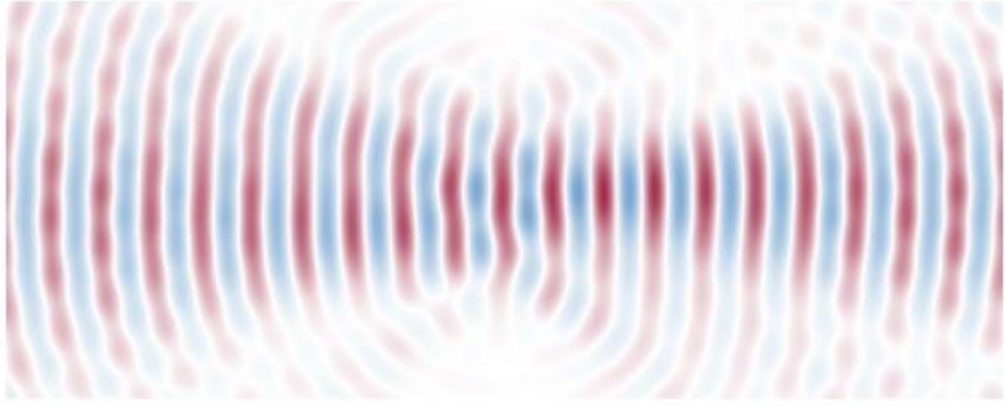
2.5. Işın Kalite Faktörü (M^2)

Lazer ışın kalitesi , ışının optik analizinde önemli bir yer tutmaktadır . Sapma açısı ve ışığın bel çapına bağlı olarak yüzeye düşen enerji miktarını ifade etmekte kullanılmaktadır. Bunlara bağlı olarak da ışının yüzey üzerine ne derecede odaklandığı saptanabilir ve yorumlanabilmektedir. Işın kalitesini ölçmenin en yaygın yolları şunlardır:

- Işın parametresi ürünü (BPP), yani ışın belindeki ışın yarıçapının uzak alan ışın sapma açısı ile çarpımı .
- Aynı dalga boyuna sahip kırınım sınırlı bir Gauss ışını için ışın parametresi çarpımının karşılık gelen ürüne bölünmesi olarak tanımlanan M^2 faktörü

Düşük BPP veya M^2 faktörü değerleri, yüksek ışın kalitesi anlamına gelir.

Yüksek huzme kalitesine sahip ışını bir mercekle odaklamak, dalga cephelerinin düzlem olduğu yerde bir odak elde etmesine izin verecektir. Dalga cephelerinin farklılıklarından dolayı odak noktası zor belirlenebilmektedir. Kayıplar ve bu kayıplara bağlı ıraksama görünebilmektedir.



Şekil 2. 23. Düşük ışın kalitesine sahip bir lazer ışını. (ISITES 2015)

M^2 formülü gereği çok farklı yapıda ve karakterde ışın elde edilebilmektedir. Değişken sapma açısıyla en yüksek ışın kalitesi ya da M^2 nin 1 olduğu durumda koşulları ve sınırları belirlenmiş standart bir Gauss ışını elde edilebilir. Öte yandan, özellikle bazı yüksek güçlü lazerler (örneğin, katı hal yığın lazerler ve diyot çubukları gibi yarı iletken lazerler) 100'den fazla veya hatta 1000'in çok üzerinde çok büyük bir M^2 'ye sahip olabilir. Katı hal lazerlerinde, bu genellikle kazanç ortamında termal olarak indüklenen dalga cephesi bozulmalarının ve / veya lazer kristalindeki etkili mod alanı ile pompalanan alanın uyumsuzluğunun bir sonucudur. Halbuki endüstriyel ortamda kullanılan yüksek güçlü lazer güç üreteçlerinde düşük ışın kalitesi beklenmemektedir. Ancak birden fazla mod ile uyarılan sistemlerde bu tip kalite düşümleri ve kayıplar ne yazık ki gözlemlenmektedir. Buda tamamen kullanılan rezonatördeki çok modlu yapıdan kaynaklanmaktadır.

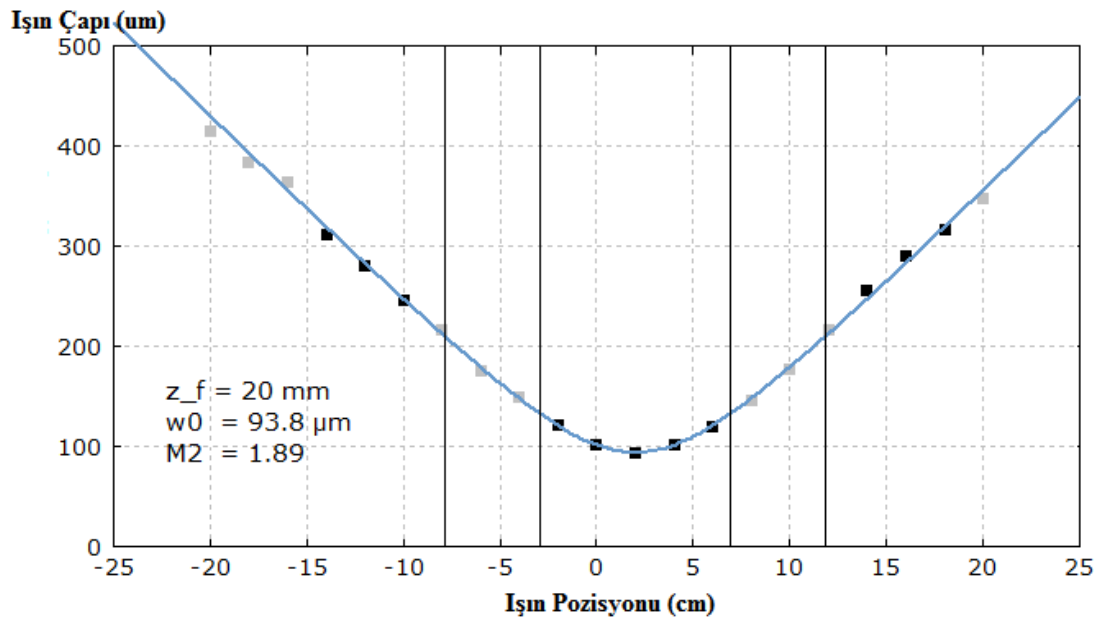
Kırınım sınırlı bir ışının odak noktasında (ışın yarıçapının minimuma ulaştığı konumda), optik dalga cepheleri düzdür. Dalga cephelerinin herhangi bir şekilde karıştırılması, bir kazanç ortamındaki termal etkiler, açıklıklarda kırınım veya parazitik yansımalar ışın kalitesini bozabilir. Monokromatik ışınlar için, ışın kalitesi prensipte eski haline getirilebilir, ancak distorsiyonların durağan olduğu durumlarda bile pratikte bu genellikle zordur.

Bir rezonant olmayan mod temizleyici veya bir mod temizleyici boşluk ile bir lazer ışınının ışın kalitesini bir dereceye kadar iyileştirmek mümkündür. Ancak bu, bir miktar optik güç kaybına yol açar.

Belirli bir ışın gücüne sahip sistemde ışın kalitesi buna bağlı olarak değişmektedir. Buna bağlı olarak da ışının parlaklığı ve yüzey alandaki yoğunluğu belirlenebilmektedir.

Bazen ışın belinden o ışının sabit yoğunluğu üzerinden sonuçlara varılmak istenebilir. Iraksama ve sapmalarında dahil olabildiği bu sistemde maalesef ki ışının yüzey alandaki yoğunluğunu tespit etmek mümkün olmamaktadır. Çünkü ışın yapısı gereği farklı formlarda görünebilmektedir. Çok tepeli ve düşük M^2 değerli ,yüksek sapmasına bağlı yüksek M^2 değerli olabilmektedir.

Bazı lazer uygulamalarında sabit ışın yoğunluğu ve sabit lazer gücüyle işlem yapılmak istenebilir. Litografi bunlardan bir tanesidir. Fakat burada M^2 hesabı çok önem arz etmemekte basit bir uzaysal düzlemde sabit değişkenlere bağlı sonuca kolay yoldan ulaşılabilir.



Şekil 2. 24. Ölçülen kostikten ışın kalitesinin hesaplanması. (ISITES 2015)

Bir kurulu düzenekteki ışın profilini analiz etmek için kullanılan bazı elektronik cihazlar mevcuttur. Üzerlerindeki hareket mekanizmaları sayesinde ışın profilini farklı noktalarda ölçümleyerek bağıl fonksiyon hesaplamalarında kullanılabilirler. Farklı ölçüm prensiplerine dayanan ışın profilleyicileri; CCD ve CMOS kameralar veya dönen bıçak kenarları veya yarıklar, izin verilen ışın yarıçapı ve optik güç aralıkları, dalga boyu aralığı, artefaktlara duyarlılık, vb. konularda önemli ölçüde farklılık gösterir. Kameralar Gauss şeklindeki ışınlar için hassas olabilirken, kamera tabanlı sistemler genellikle karmaşık ışın şekilleri için daha uygundur.

Bir detektörü ışın boyunca hareket ettirmek yerine, herhangi bir hareketli parçadan kaçınmak için bir uzaysal ışık modülatörü kullanılabilir .

Işın kalite faktörü veya ışın yayılma faktörü olarak da adlandırılan M^2 faktörü, bir lazer ışınının ışın kalitesinin ortak bir ölçüsüdür. ISO Standardı 11146 [4] 'e göre, λ / π 'ye bölünen ışın parametresi ürünü olarak tanımlanır; ikincisi, aynı dalga boyuna sahip kırınlımla sınırlı Gauss ışını için ışın parametresi ürünüdür. Başka bir deyişle, yarı açılı ışın sapması ;

$$\theta = M^2 \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad (2.7)$$

θ : Işın Sapması

w_0 : ışın belindeki ışın yarıçapı

λ : dalga boyu

Işın sapması, ışının bel kısmından uzağa, yani uzak alan denen alanda ne kadar hızlı genişlediğinin bir ölçüsüdür. Işın sapmasının düşük olduğu durumlarda ışın kalitesinden ve yayılım kabiliyetinden söz edilebilir. Buradaki amaç düşük sapma değerine sahip ışınları ıraksama metodu yardımıyla yüksek uzaklıklara iletebilme esasına dayanmaktadır. Kullanılacak malzeme tipinin içeriğindeki indis değerlerine bağlı olarak düşük sapmaya sahip ve sabit yayılım yarıçapındaki bir ışık efektif indeks metodu kullanılarak çok uzun mesafelerde ışıyabilir .Bu düzeneğin genel olarak fiber optik

haberleşme sistemlerinde temel taşı olarak kullanılmaktadır. Yüzey alana düşen düşük ışık miktarıyla yani minimum enerji maksimum ulaşımın hedeflendiği noktalarda ön plana çıkmaktadır.

Kırınım sınırlı bir ışının M^2 faktörü 1'dir ve bir Gauss ışınıdır. Daha küçük M^2 değerleri fiziksel olarak mümkün değildir.

Bir lazer ışınının M^2 faktörü, ışının belirli bir ışın sapma açısı için odaklanma derecesini sınırlar, bu genellikle odaklama merceğinin sayısal açıklığı ile sınırlanır. Bir lazer sisteminin optik gücünün yanı sıra ışın kalite faktörü o sistemin parlaklığında önemli rol oynamaktadır.

IŞIN KALİTE HESAP TABLOSU			
Dalga Boyu	1064 nm		
M2 Değeri	1	calc	(from BPP)
Işın Üretim Değeri	0.339 mm mrad	calc	(from M^2)
Işın Odak Genişliği	1 mm	calc	(using the BPP)
Yarım Açı Diverjansı	339 µrad	calc	(using the BPP)

Şekil 2. 25. Örnek M^2 faktörü hesaplama tablosu (ISITES 2015)

Dairesel simetrik olmayan ışınlar için, M^2 faktörü, ışın eksenine ve birbirine dik iki yön için farklı olabilir.

M^2 , ışın kalitesini ölçmektedir. Ancak sadece ışın kalitesiyle sınırlı değildir onun yanı sıra ışın analizi ve yorumlanmasında da önemli rol oynamaktadır.

M^2 ölçümlerinde hatalar ise ;

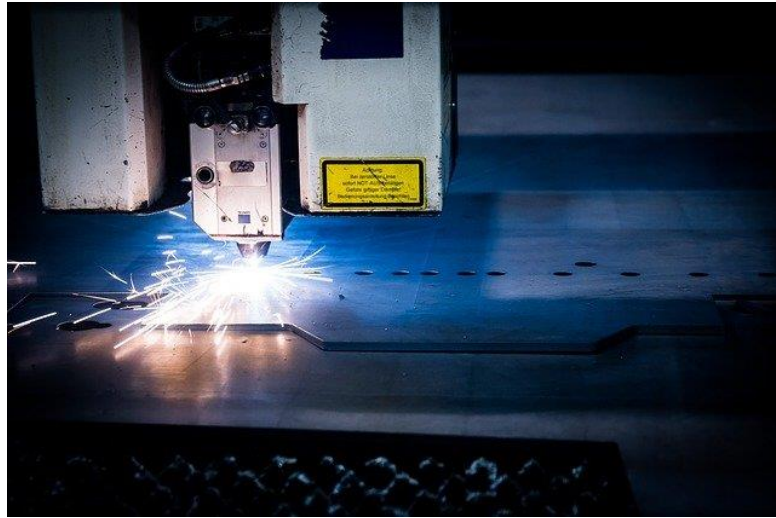
Maalesef, ISO 11146 standardının temel ayrıntıları M^2 ölçümlerinde sıklıkla gözlenmez, bunun sonucunda yanlış M^2 değerleri elde edilir ve hatta yayınlanır. Işın kostiği esas alınarak yapılan ölçümlerde sıkça yapılan bazı hatalar aşağıda açıklanmıştır:

- Işın yarıçapı, ışın profillerinin tümü Gauss'a yakın olmasa da, tam yoğunluk profiline dayalı olmayan basit bir kriterle ölçülür. Sadece Gauss şeklindeki ışın şekilleri için bu tür basit ölçüm yöntemlerine izin verilir. Bunun haricindeki sistemler için yoğunluk dağılım grafiğinin ikinci momentumuna dayanan $D4\sigma$ metodu kullanılabilir.
- Işın yarıçapını ölçmede kullanılan CCD kameranın kendine özgü bir çözünürlüğü vardır. Bu noktada ideal bir ölçüm yapılması hedefleniyorsa piksel başına düşen ışın yoğunluğu ön plandadır. Şayet bir piksele düşük ışık yoğunluğu düşüyorsa ölçüm zorlaşmaktadır.
- Kamera görüntüleri, gerçekten lazer ışınına ait olabilecek (ve o zaman kaldırılmaması gereken) veya kaldırılması gereken bir artefakt olan bir miktar arka plan yoğunluk seviyesi sergileyebilir. Bu arka plandaki yoğunluğu optimize etmek için siyah bir perdeleme yöntemi ya da farklı indirgeme metotları kullanılmalıdır.
- Kamera ölçüm sistemlerinde ışın yoğunluğu önemli bir konu teşkil etmektedir. Bu değer yüksek ya da düşük olabilir. Yüksek olması durumunda merkezde yer alan pikseller yüksek kazançlı hale dönüşebilir ve ışın yarıçapı çok büyük olur. Çok düşük yoğunluklar için, yoğunluk arka plan sorunları daha ciddi hale gelebilir.
- Işın yarıçapları odaktan yeterince uzakta ölçülmediği durumlar olabilir. Bu uygulamada, ışınli bel nispeten büyük yapıldığında zor olabilir, bu da uzun bir Rayleigh uzunluğuna ve doğru bir ölçüm için buna uygun olarak büyük alan gereksinimlerine yol açar.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Lazer Kesim Tezgahı

Lazer kesimi, farklı malzeme kalınlıklara sahip metal ve metal olmayan malzemelerin kesildiği bir kesme yöntemidir. İşlemin temelini, yönlendirilen, form verilen ve odaklanan lazer ışını oluşturur. Lazer ışını iş parçasına isabet ettirilerek malzemenin, erime veya buharlaşma sıcaklığına kadar ısıtılması sağlanır. Lazer gücünün tamamı, genelde yarım milimetre çaptan daha küçük bir çapa sahip bir noktaya odaklanır. Bu noktaya ısı iletimiyle akacak ısıdan daha fazla ısının verilmesiyle, lazer ışını malzemeyi tamamen delip geçer; kesme işlemi başlamıştır. Diğer yöntemlerde büyük takımlar sac üzerine yoğun bir güç uygularken, lazer ışını işini temassız bir şekilde halleder. Bu sayede de ne takım üzerinde bir aşınma söz konusu olur, ne de iş parçası deformasyona uğrar ya da zarar görür.



Şekil 3. 1. Lazer Kesim Tezgahı (Mühendistan 2019)

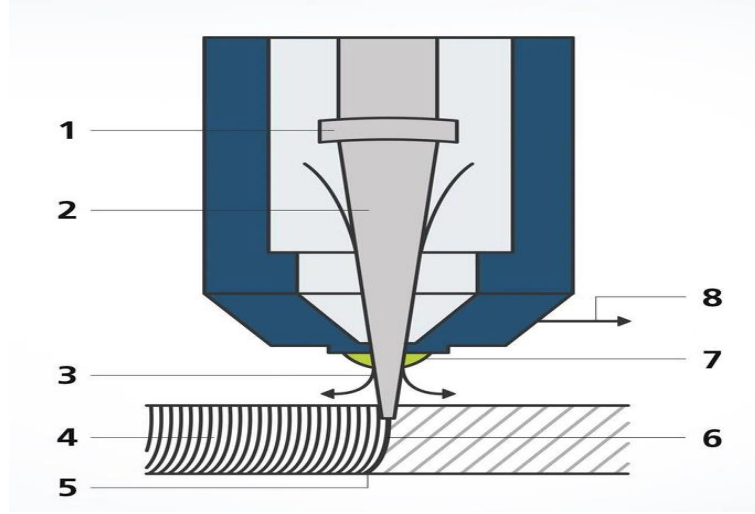
Lazer kesimin sunduğu avantajlar ise ;

- Malzeme çeşitliliği; çelikten alüminyuma, paslanmaz çelikten renkli saca, hatta plastik, cam, ahşap ya da seramik gibi metal olmayan malzemelere kadar, endüstriyel işlemede kullanılan tüm standart malzemeler lazer ile güvenli ve kusursuz bir şekilde kesilebilir. Takımla, 0.5 ile 30 milimetre arasında çok farklı sac kalınlıkları kesilebiliyor. Malzeme yelpazesinin bu denli geniş oluşu, hem

metal hem de metal olmayan malzemelerle gerçekleştirilen uygulamalarda kullanılan kesme araçları arasında lazeri bir numara yapmaktadır.

- Kontur özgürlüğü; odaklanmış lazer ışını, malzemeyi sadece yerel olarak ısıtır ve iş parçasının geri kalanında termik yüklenme oluşmaz ya da minimum düzeyde oluşur. Böylece oluşturulan kerf genişliği ile odaklanmış lazer ışını genişliği arasındaki fark çok düşük olur ve karmaşık ve filigran konturlar bile düz ve çapaksız bir şekilde kesilebilir. Uygulamaların büyük bir çoğunluğunda kesim işlemi sonrasında başka işleme gerek kalmaz. Sunduğu esneklik sayesinde bu kesim yöntemi, küçük parti büyüklüklerinde, yüksek varyasyon çeşitliliğinde ya da prototip imalatında sıkça başvurulanan bir yöntemdir.
- Ultra kısa palslarla yüksek kaliteli kesim kenarları; Ultra kısa palsli lazerler, neredeyse her türden malzemeyi, ısı etkisinin fark edilemeyeceği kadar kısa sürede buharlaştırır. Böylelikle ortaya eriyik yarığının oluşmadığı, yüksek kaliteli kesim kenarları çıkar. Bu yüzden lazer, örneğin tıp teknolojisi alanındaki stentler gibi filigran ve metal ürünlerin üretimi için son derece uygundur. Ekran üretimi alanında ultra kısa palsler, kimyasal olarak sertleştirilmiş cam kesiminde kullanılır.

Lazer kesim işlemi ise ; lazer kesiminin temelini, odaklanan lazer ışını ve iş parçası arasındaki etkileşim oluşturur. İşlemin güvenli ve hassas bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için lazer ışınında ve çevresinde çeşitli bileşen ve yardımcı araçlardan faydalanılmaktadır. Bunları aşağıdaki çizimde görebilirsiniz.



Şekil 3. 2. Lazer Kesim Sistemi (Mühendistan 2019)

1. Odaklama tertibatı: Mercek ve ayna kullanımıyla lazer ışınının işlem alanına odaklanması sağlanır.
2. Lazer ışını: İş parçasına isabet eden lazer ışını, parça eriyene ya da buharlaşana dek parçayı ısıtır.
3. Kesme gazı: Ortaya çıkan eriyik kesme gazı kullanılarak kesme yarığından uzaklaştırılır. Gaz, memeden lazer ışınıyla koaksiyal bir şekilde çıkar.
4. Kesim izleri: Lazer kesiminde kesim kenarında tipik bir iz deseni oluşur. Kesme hızının düşük olduğu uygulamalarda söz konusu izler, lazer ışınına hemen hemen paralel gider.
5. Eriyik: Lazer ışını - odaklanmış lazer ışığı - kontur boyunca yönlendirilir ve malzemeyi yerel olarak eritir.
6. Kesim yüzeyi: İş parçası üzerindeki kerf genişliği ile odaklanmış lazer ışını genişliği arasındaki fark çok düşüktür.
7. Meme: Lazer ışını ve kesme gazı kesme memesi içinden geçerek iş parçası üzerine ulaşır.
8. Kesme yönü: Kesme kafasının ya da iş parçasının belli bir yönde hareket ettirilmesiyle kerf oluşur.

Lazer ışınının odaklanması özel bir mercek veya eğimli bir ayna ile yapılabilir ve bu lazer kesme kafasında gerçekleşir. Işın, odak noktasının şekli ve o noktadaki enerjinin yoğunluğu mükemmel şekilde yuvarlak ve tutarlı olacak ve nozzule içerisinde ortalananak şekilde tam olarak odaklanmalıdır. Geniş ışını tam noktaya odaklayarak, o noktadaki ısı yoğunluğu yükseltilir.

Yüksek güç yoğunluğu, hızlı ısıtma, eritme ve malzemenin kısmen veya tamamen buharlaştırılmasına neden olur. Yumuşak çeliği keserken, lazer ışınının ısısı tipik bir “oksijen yakıtı” yakma işlemini başlatmaya yeterlidir ve oluşan bu yüksek kesiciliğe sahip ışın, metali kolaylıkla kesebilmektedir. Paslanmaz çelik veya alüminyum kesilirken, lazer ışını materyali basitçe eritir ve eritilmiş metali kırpmak için yüksek basınçlı azot kullanılır.

Bir CNC lazer kesici üzerinde, lazer kesme başlığı kesilmesi istenilen metal parça üzerinde hareket ederek kolaylıkla kesebilir. Kapasitif bir yükseklik kontrol sistemi, bölme ucu ile kesilen plaka arasındaki mesafeyi korur. Bu mesafenin önemi kesim kalitesi açısından önemlidir çünkü odak noktası iyi ayarlanmadığı takdirde kesimden verim alınamaz . Kesim kalitesi, odak noktasını plakanın yüzeyinin hemen üstünden, yüzeyde veya yüzeyin hemen altından kaldırarak veya düşürerek arttırılabilir veya azaltılabilir. Kesme kalitesini de etkileyen pek çok parametre vardır, ancak tüm bu parametreler doğru bir şekilde kontrol edildiğinde lazer kesim işlemi kaliteli, güvenilir ve kusursuz olmaktadır.



Şekil 3. 3. CNC Lazer Kesim İşlemi (Kutluca 2017)

3.2. BeamWatch Temassız Işın Profilleyici Cihazı

BeamWatch, lazer ışınına temas etmeden ışın ölçümlerine izin veren, lazer endüstrisinin ilk tamamen parazitsiz ışın izleme sistemidir. Ölçümler, ışın demetinin Rayleigh saçılımını yandan görüntüleyerek, geleneksel kameralar kullanılarak alınır, bu da BeamWatch'i yüksek güçlü lazerlerin ölçümleri için ideal hale getirir. Ophir- Spiricon 100 kilovata kadar ışınları ölçmüştür.

BeamWatch, kamera görüş alanında (FOV) ışın kostiği boyunca birden çok profilin eşzamanlı ölçümlerini sağlar. Ölçüm hızı, aşağıdakilerin gerçek zamanlı olarak belirlenmesine izin veren video hızlarında çalışır:

- Odak noktası genişliği ve konumu
- Odak kayması
- Yüzeye bağlı ışın ağırlık merkezi
- M^2 hesaplaması
- Rayleigh uzunluğu

- Göreceli güç analizi

Gerçek zamanlı performans, lazer başlatma sırasında dinamik odak kaymasının ölçülmesine de izin verir. Teknik, ışın yayılırken havadaki oksijen ve nitrojen molekülleri tarafından lazer ışığının Rayleigh saçılmasına dayanır. Bu dağınık ışığın ölçümü, lazer ışınının gözlemlenen görünüm yönünde eşdeğer bir yarık taramasını sağlar. Saçılan ışık, geleneksel CCD'ler ve görüntü yakalama sistemleri kullanılarak ölçülür. BeamWatch, veri toplama, analiz ve görüntüleme için standart kişisel bilgisayarlara GigE bağlantısına sahiptir.



Şekil 3. 4. BeamWatch Cihazı (BeamWatch 2020)

Çizelge 3. 1. BeamWatch Cihazı Teknik Özellikleri (BeamWatch 2020)

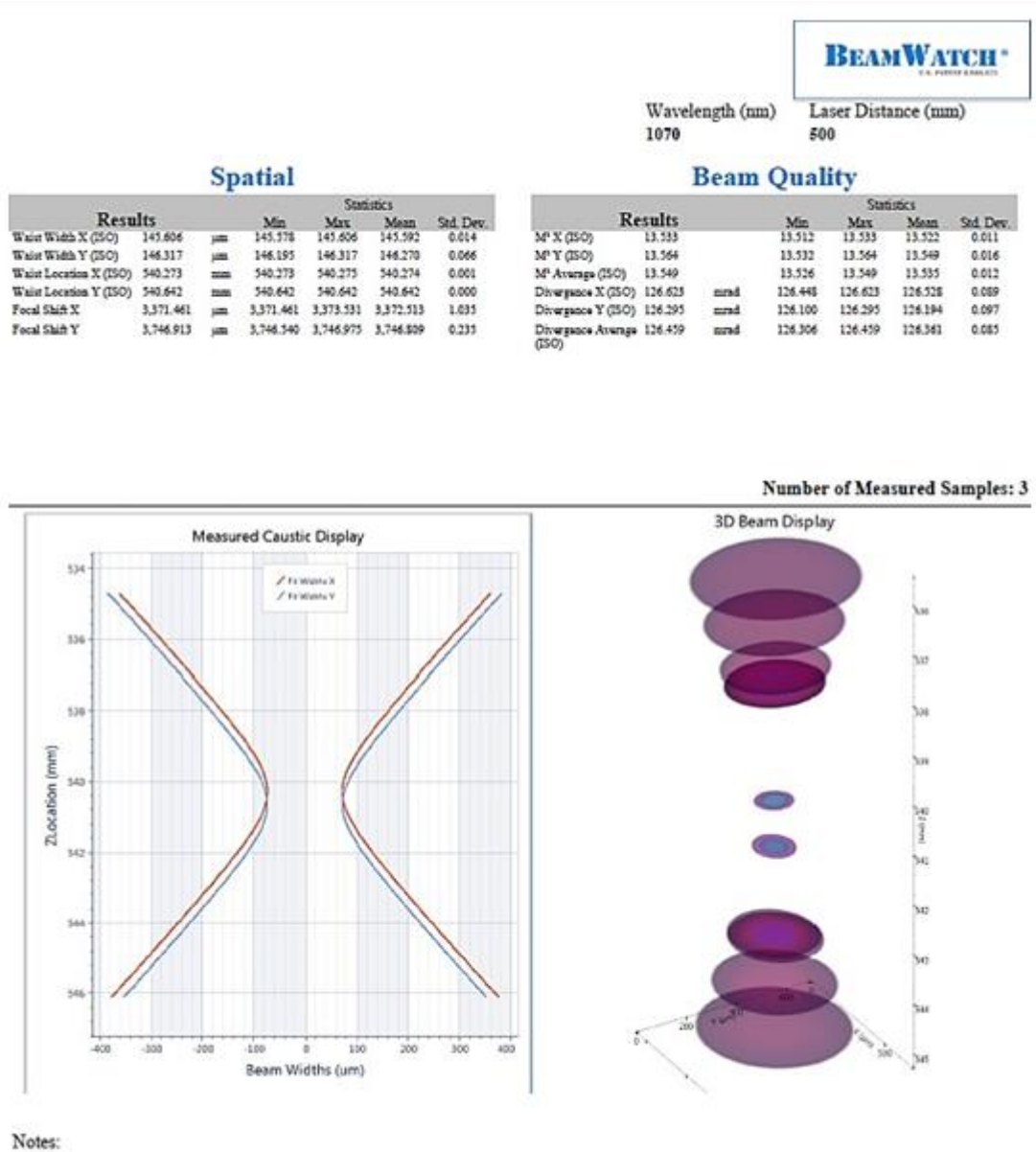
Dalga Boyu	980 – 1080 nanometers
Minimum Güç yoğunluğu	~2 Megawatts/cm ²
Minimum Odak Genişliği SP90390 SP90391	155 microns 55 microns
Maksimum Işın Çapı entrance/exit	12.5 millimeters
Bilgisayar Bağlantısı	GigE Ethernet
Güç	12 Volts DC, 1.67 Amps max
Partikül Temizleme	~10 SLPM (35 PSI / 2.5 BAR) Air, Nitrogen, or Argon. 1/4" hose fitting included.

3.2.1.Rapor Paneli

Rapor özelliği, geçerli çerçeveden alınan verileri içeren bir PDF dosyası oluşturur. Rapor, tüm etkinleştirilen sonuçları ve istatistikleri, ölçülen kostik uyum çizelgesini ve enterpolasyonlu 3D görüntüyü içerir. Notlar paneline girilen notlar, raporun alt kısmında yer alır.Seçildiğinde ise Windows Gezmini açılır. Kaydetme konumunu ve dosya adını girilir, ardından rapor kaydedilir ve varsayılan PDF görüntüleme programında otomatik olarak açılır.

Çizelge 3. 2. BeamWatch ünitesinin içindeki Kamera Görüş Alanı (BeamWatch 2020)

BeamWatch ünitesinin içindeki Kamera Görüş Alanı	
SP90390 (Dual Axis)	32.17mm x 8.55mm
SP90391 (Dual Axis)	11.26mm x 2.99mm



Şekil 3. 5. BeamWatch Cihazı Rapor Paneli (BeamWatch 2020)

3.2.2.Şerit Görüntüleme

Görünümler şeridi, görüntüleme alanındaki pencereleri açıp kapatmak için bir yol sağlar. 3D Işın Ekranı yalnızca çift eksenli birimlerle görülebilir.

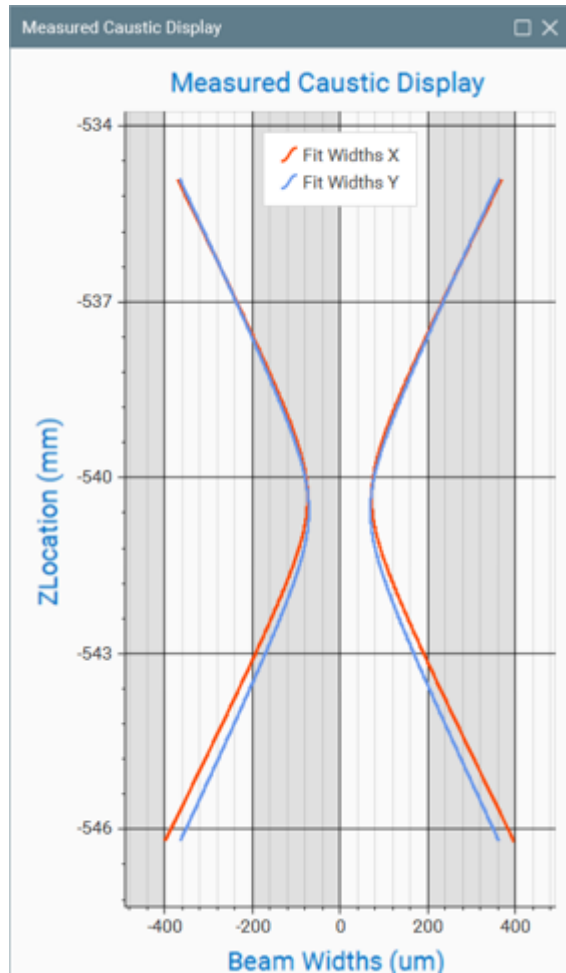
Not olarak; Arabellekteki boş çerçeveler (veri toplamadan önce veya sonra), görünüm pencerelerinin hiçbirinde hiçbir şey görüntülenmez.



Şekil 3. 6. Şerit Görüntüleme Menü Alanı (BeamWatch 2020)

3.2.3.Ölçülü Ekran Paneli

Ölçülen Kostik Ekranı arasında geçiş yapmak için Ölçülen Kostik Ekran simgesi seçilir ardından aşağıda görünen ekran açılacaktır .



Şekil 3. 7. Ölçülü Ekran Paneli (BeamWatch 2020)

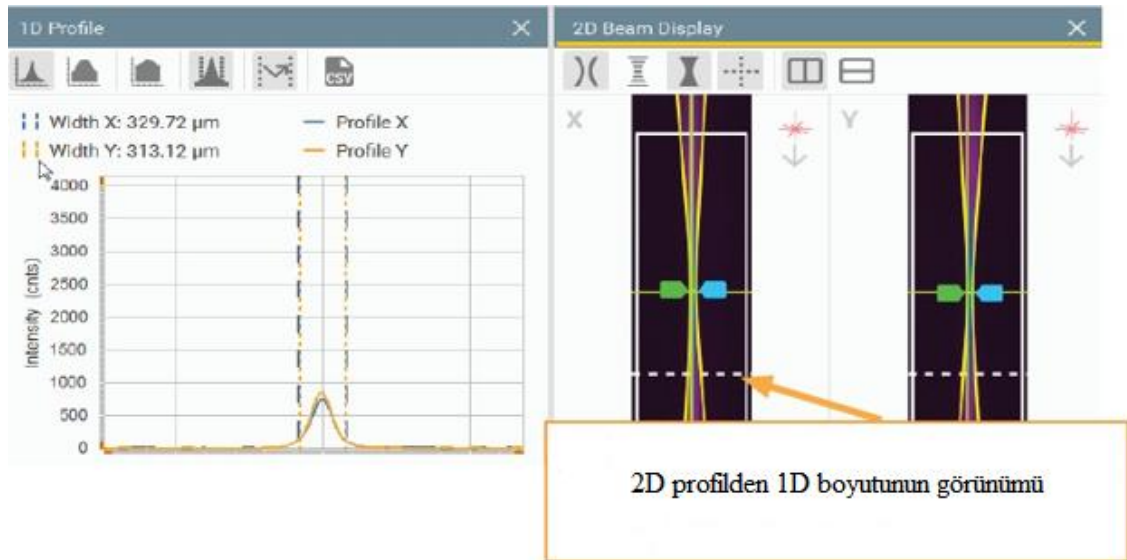
Ölçülen Kostik Ekran, 2D Işın Ekranında görülen ölçülen kostiğin ayrı bir görüntüsünü gösterir. Işının ağırlık merkezi yatay eksende 0'da ve dikey eksen ışının Z eksenidir. X ve Y eksenlerini temsil eden çift eksenli birimlerle iki kostik görüntülenir. Bu çizgiler, mevcut olabilecek herhangi bir astigmatizmayı gösterebilir.

3.2.4.Tek Boyutlu Profil Paneli

1D Profil penceresine geçiş yapmak için paneldeki 1D Profil simgesini seçin. Bu 1D profil, 2D profil imleç konumunda tarama yarığı eşdeğer profilini gösterir. Çift eksenli bir birimle iki eksen görüntülenirken, profiller 1D Profil penceresinde ağırlık merkezleriyle hizalanmış olarak üst üste gelir. Bu, ışında astigmat olup olmadığını görsel olarak belirlemeye yardımcı olabilir.

Yatay eksen, ışın (lar) ın merkezinde sıfır olmak üzere 2D Işın Ekranındaki ROI'nin genişliğidir. Dikey eksen, verilerin ham piksel sayılarıdır. Ölçek, 1D Profil kontrolleri ile değiştirilebilir.

Bu ekran, fare tekerleğini kullanarak yakınlaştırıp uzaklaştırabilir ve yakınlaştırıldığında, fareyi görüntüleme alanının içine sürükleyerek kaydırılabilir.



Şekil 3. 8. Tek Boyutlu Profil Paneli (BeamWatch 2020)

3.2.5.Çift Boyutlu Profil Paneli

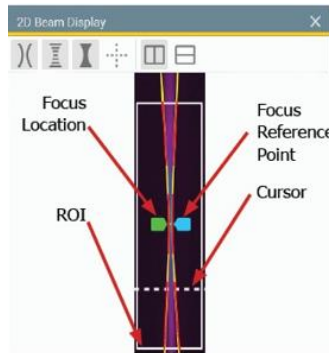
2D Beam Display penceresine geçiş yapmak için paneldeki 2D Beam Display simgesini seçin. Görüntüde, uydurulmuş kostik, ışın görüntüsü ve ham veriler etkinleştirilir.

Yeşil İşaretçi (Sol) geçerli Odak Konumudur. Işının odağı değiştikçe bu çizgi sürüklenir. Mavi İşaretçi (Sağ) Odak Referans Noktasıdır. Bu işaret, SNR 10'dan büyük olduğunda ilk hesaplanan ışın genişliği konumunda ayarlanır ve veri toplamaya başladıktan sonra yakıcı bir uyum bulunur. Sonuçlar penceresinde Sıfırla'yı seçerek bu konumu bir sonraki geçerli ışın genişliği konumuna sıfırlayabilirsiniz.

Beyaz kenarlık, sonuçları hesaplamak için ilgi bölgesidir (ROI), bu da en doğru sonuçların elde edilmesini sağlar. Bu bölge her zaman dikdörtgendir ve ışının etrafına otomatik olarak çizilir.

Beyaz noktalı çizgi, imleç konumudur. 1D Profil ekranı, imleç konumunda tarama yarığı eşdeğer profilini gösterir. Profili o konumda görüntülemek için imleci ışın boyunca herhangi bir konuma tıklayıp ve sürükleyebilirsiniz. İmleç Genişliği sonucu, seçilen ışın genişliği yöntemini kullanarak imlecin konumundaki ışın genişliğini bildirir.

Bu ekran, fare tekerleğini kullanarak yakınlaştırıp uzaklaştırabilir ve yakınlaştırılmışsa, fareyi görüntüleme alanının içine sürükleyerek kaydırılabilir.



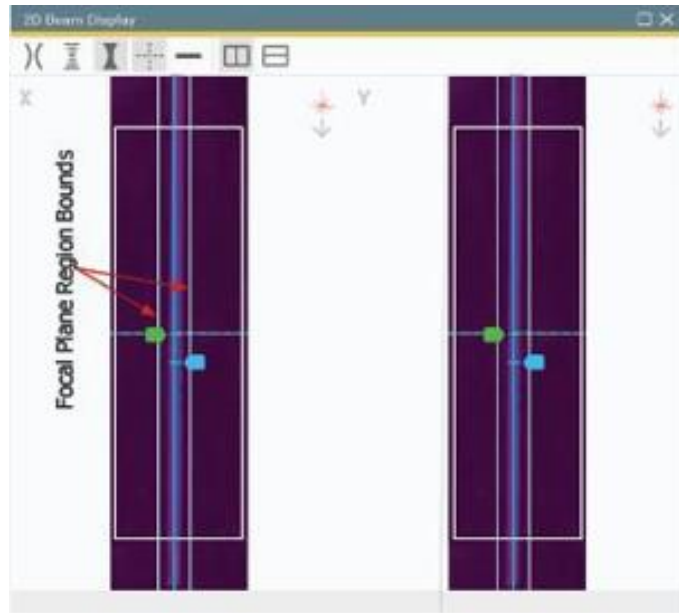
Şekil 3. 9. Çift Boyutlu Profil Paneli (BeamWatch 2020)

Çizelge 3. 3. Kamera Görüş Alanları (BeamWatch 2020)

Ürün	Görüş Alanı
BeamWatch AM SP90470	11.26mm x 2.99mm
BeamWatch STD (High Mag) SP90391	11.26mm x 2.99mm
BeamWatch STD (Low Mag) SP90390	32.17mm x 8.55mm

3.2.6.Hizalama Artı Göstergesi Ekranı

Etkinleştirildiğinde, hizalamaya yardımcı olmak için iki ek çizgi görünür. Bu dış dikey çizgiler Odak Düzlem Bölgesi'nin sınırlarını belirtir. En iyi sonuçlar için her iki görünümde de ışını bu sınırlar içinde hizalanabilir.



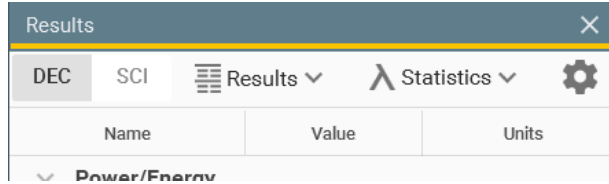
Şekil 3. 10. Hizalama Artı Göstergesi Ekranı (BeamWatch 2020)

Çizelge 3. 4. Kamera Bölge Sınırları (BeamWatch 2020)

Ürün	Bölge Sınırları
BeamWatch AM SP90470	$\pm 350\mu\text{m}$
BeamWatch STD (High Mag) SP90391	$\pm 350\mu\text{m}$
BeamWatch STD (Low Mag) SP90390	$\pm 1000\mu\text{m}$ (1mm)

3.2.7.Sonuçları Görüntüleme Paneli

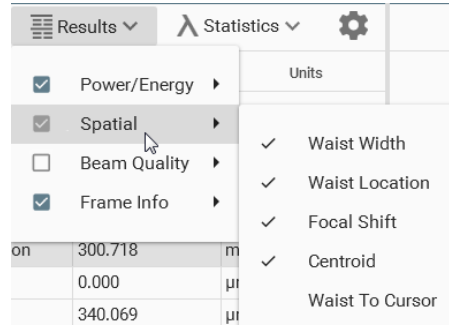
Sonuç grupları, hangi sonuç öğelerinin etkinleştirileceğini seçen açılır kontrollere sahiptir. Sonuçlar penceresinin her bölümü aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3. 11. Sonuç Ayar Ekranı (BeamWatch 2020)

Sonuç ayarları, sonuçlar penceresinin üst kısmında bulunur ve hangi sonuçların görünür olacağını özelleştirmenize olanak tanır.

- Ondalık gösterim; Ondalık gösterimde görüntülenecek değerleri değiştirir.
- Bilimsel gösterim; Bilimsel gösterimde görüntülenecek değerleri değiştirir.
- Sonuç Seçimi; Sonuçlar açılır menüsünü seçip ve hangi sonuçların etkin veya devre dışı olduğunu seçmek için bir sonuç grubunun üzerine gelinerek bakılabilir.

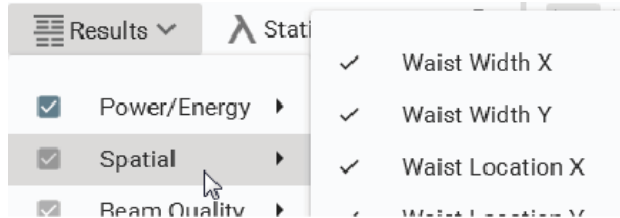


Şekil 3. 12. Sonuç Sekmesi(BeamWatch 2020)

Gri bir onay kutusu, bazı sonuçların etkinleştirildiğini gösterir. Tüm sonuçları etkinleştirmek için seçilebilir.

Boş bir onay kutusu hiçbir sonucun etkinleştirilmediğini gösterir. Tüm sonuçları etkinleştirmek için seçilebilir.

Mavi bir onay kutusu, tüm sonuçların etkinleştirildiğini gösterir. Tüm sonuçları kapatmak için seçilebilir.



Şekil 3. 13. Sonuç Yüzey Alan Tipleri (BeamWatch 2020)

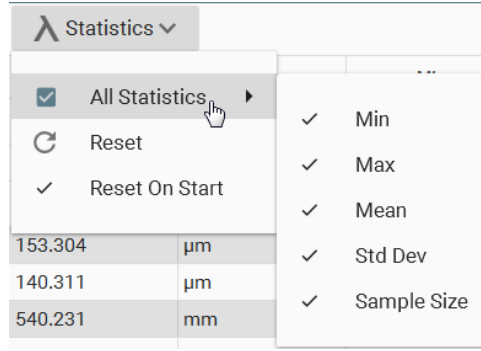
Çift eksenli BeamWatch'a bağlandığında, Uzamsal ve Işın Kalitesi grupları X ve Y için ayrı sonuç öğeleri içerir; burada tek eksenli BeamWatch ile sonuçlar yoğunlaştırılarak tek bir sonuç gösterilir.

Name	Value	Units
▼ Power/Energy		
Relative Power	14,092.647	cnts
▼ Spatial		
Waist Width	438.301	µm
Waist Location	300.718	mm
Focal Shift	0.000	µm
Centroid	340.069	µm
Waist To Cursor	-16.913	µm
Width At Cursor	438.303	µm
Beam Tilt	10.528	mrاد
Rayleigh Length	9,889.981	µm
Cursor Location	300.701	mm
▼ Beam Quality		
M ²	14.258	
K	0.070	
BPP	4.856	mm mrاد
Divergence	44.318	mrاد
> Frame Info		

Şekil 3. 14. Sonuç Bölümleri (BeamWatch 2020)

Sonuç maddeleri, belirli sonuçların bulunmasına yardımcı olan, kendi kendini tanımlayan adlarla mantıksal bölümlere ayrılmıştır.

- Güç / Enerji
- Mekansal
- Işın Kalitesi
- Çerçeve Bilgisi



Şekil 3. 15. İstatistik Seçimleri (BeamWatch 2020)

Sonuçlara hangi istatistiklerin dahil edileceğini ve nasıl çalıştıklarını kontrol etmek için İstatistikler açılır menüsünü seçebilirsiniz.

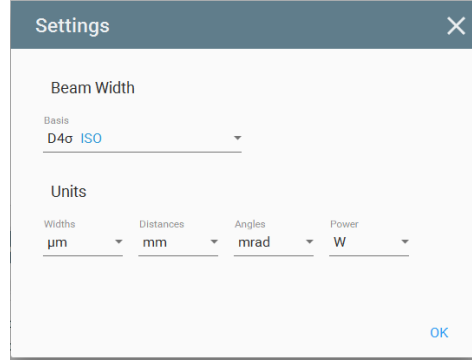
- Tüm İstatistikler Sekmesi; İstatistikler açılır menüsünü seçin ve tek tek istatistikleri seçmek için Tüm İstatistiklerin üzerine gelebilirsiniz. İstatistikler, sonuçlarla aynı şekilde onay kutusu tıklanarak toplu olarak etkinleştirilebilir ve kapatılabilir.
- Sıfırla; Sıfırla'yı seçmek tüm istatistikleri sıfırlar. Ayrıca odağı sıfırlar.
- Başlangıçta Sıfırla; Canlı Oynatma veya Dosya Oynatma her yapıldığında tüm istatistikleri sıfırlar.

Results

DECSCIResultsStatistics

Name	Value	Units	Min	Max	Mean	Std Dev	Sample Size
Spatial							
Waist Width X	1,100.453	µm	1,091.724	1,104.619	1,098.684	2.328	80.000
Waist Width Y	1,125.599	µm	1,121.196	1,126.642	1,124.721	1.019	80.000
Waist Location X	108.474	mm	108.260	108.576	108.419	0.067	80.000
Waist Location Y	108.179	mm	108.157	108.195	108.176	0.009	80.000
Focal Shift X	32.998	µm	-181.213	134.902	-21.685	66.553	80.000
Focal Shift Y	14.979	µm	-7.194	31.260	11.786	8.517	80.000
Beam Quality							
M² X	221.068		216.326	223.245	219.444	1.366	80.000
M² Y	310.511		308.765	312.453	310.803	0.795	80.000

Şekil 3. 16. Etkinleştirilmiş istatistiklerin tamamına örnek şekil. (BeamWatch 2020)



Şekil 3. 17. Sonuçların Nasıl Görüneceğine İlişkin Ayar Sayfası (BeamWatch 2020)

- Işın Genişliği; Sonuçları hesaplamak için ışın genişliği yöntemini belirlemek için açılır menüyü seçebilirsiniz. $D4\sigma$ ve %13.5 Peak yöntemleri arasında seçim yapabilirsiniz. Yalnızca $D4\sigma$, ISO sonuçları üretilir.
- Birimler; Sonuçlar için ölçü birimlerini ayarlayabilirsiniz. Her ölçü birimini değiştirmek için Genişlikler, Mesafeler, Açılar ve Güç açılır menüsünü seçebilirsiniz.

3.2.8.Sonuç Ekranı

BeamWatch içinde bulunan tüm sonuçların tanımı mevcuttur. Bazı sonuçlar özeldir ve bazıları çift eksenli X ve Y eksenleri için çoğaltılmıştır. Bazı sonuçlar belirli birimlere özeldir. Bu sonuçlar aşağıdaki simgelerle belirtilir:

- Tüm Birimlerin Gösterimi
- Yalnızca BeamWatch Standard Gösterimi
- Yalnızca Çift Eksen Gösterimi
- Yalnızca BeamWatch AM Gösterimi

Güç / Enerji :

Relative Power; Işının her bir dilimindeki ortalama sayım sayısıdır. Bir güç ölçer bağlıysa, bu Mutlak Güç olur. (BeamWatch yalnızca Juno ve EA-1 güç ölçerlerle uyumludur.)

İmleç Güç Yoğunluğu; İmleç konumunda hesaplanan güç yoğunluğudur. (Yalnızca BeamWatch bir güç ölçere bağlı olduğunda kullanılabilir.)

Ortama Bağlı Birimler :

- Bel Genişliği; Seçilen ışın genişliği temel yöntemi kullanılarak hesaplanan bel genişliği.
- Bel Genişliği Ort.; X ve Y Bel Genişliği sonuçlarının ortalaması.
- Bel Konumu; Kullanıcı referans noktasından itibaren belin konumu.
- Bel Konumu Ort. (Yalnızca Çift Eksen); X ve Y Bel Konumu sonuçlarının ortalaması.
- Çalışma Düzlemi; Belin çalışma düzleminde konumu.
- Çalışma Düzlemi Ort.; X ve Y Çalışma Düzlemi-Bel sonuçlarının ortalaması.
- Odak Kayması; Odak noktasının odak referansından uzak olduğu mesafedir. Negatif Odak Kayması, BeamWatch 2D ekranında gösterildiği gibi odak noktası konumunda yukarı doğru bir kaymayı gösterir.
- Odak Kayması Ort.; X ve Y odak kaymalarının ortalaması.
- Centroid; Kamera sensör dizisinin merkezinden hesaplanan ağırlık merkezine olan mesafe.
- Centroid Avg; X ve Y centroid sonuçlarının ortalaması.
- İmleç; Bel konumu ile imleç konumu arasındaki mesafe.
- İmleç-Bel Ort.; X ve Y İmleç-Bel sonuçlarının ortalaması.
- Merkez-Bel; Bel konumu ile dedektörün merkezi arasındaki mesafe.
- Merkez-Bel Ort. (Yalnızca Çift Eksen); X ve Y Merkez-Bel sonuçlarının ortalaması.
- Çalışma Düzlemi-İmleç; Baskı tablasından imlece olan mesafe.
- İmleç Genişliği; Geçerli imleç konumunda hesaplanan genişlik.
- İmleç Genişliği Ort.; X ve Y İmleç Genişliği sonuçlarının ortalaması.
- Çalışma Düzlemi Genişliği ; Çalışma düzleminde hesaplanan ışın genişliği.

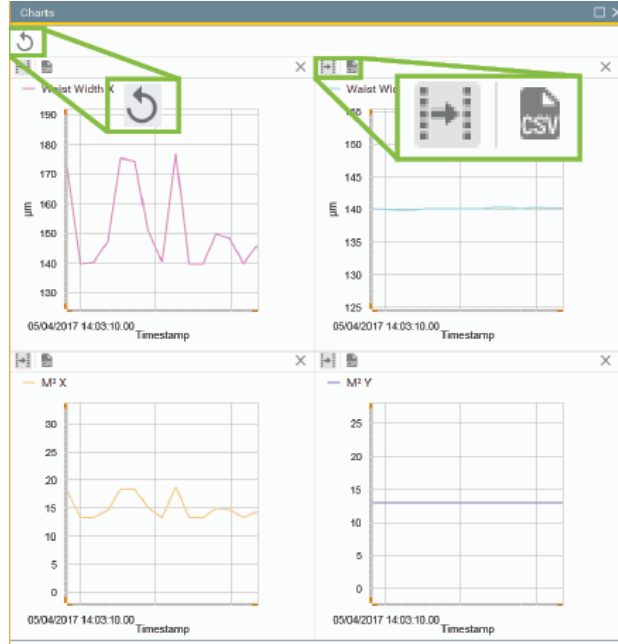
- Çalışma Düzlemi Genişliği Ort.; X ve Y Çalışma Düzlemi Genişliği sonuçlarının ortalaması.
- Eliptiklik; Hesaplanan X ve Y ışın genişliklerinin imleçteki oranı (min / maks).
- Işın Eğimi; Işının giriş açıklığına girdiği açı.
- Rayleigh Uzunluğu; Belden ışın enine kesit alanının bel bölgesindeki alandan 2 kat daha büyük olduğu mesafedir.
- Rayleigh Uzunluğu Ort.; X ve Y Rayleigh Uzunluğu sonuçlarının ortalaması.
- İmleç Konumu; Kullanıcı tarafından girilen referans noktasından imlece olan mesafe.

Işın Kalitesi :

- M^2 ; TEM00 Gauss ışın demetine (≥ 1) kıyasla dalga boyuna bağlı bir ışın odaklanabilirliği ölçüsüdür. Sonuç < 1 , ancak > 0.9 ise, hücreler bir sorun olabileceğini belirten kırmızı görünür. Sonuç < 0.9 ise, hesaplanamayacağını belirten bir kısa çizgi görünür.
- M^2 Ortalama; TEM00 Gauss ışınına (≥ 1) kıyasla ışın odaklanabilirliğinin X ve Y ortalama dalga boyuna bağlı ölçüsü.
- K; TEM00 Gauss ışınına (> 0 ve ≤ 1) kıyasla ışın odaklanabilirliğinin dalga boyuna bağlı bir ölçüsü.
- K Ortalama; TEM00 Gauss ışınına (> 0 ve ≤ 1) kıyasla ışın odaklanabilirliğinin X ve Y ortalama dalga boyuna bağlı ölçüsü.
- BPP; Işın odaklanabilirliğinin dalga boyundan bağımsız bir ölçüsü.
- BPP Ortalama; Işın odaklanabilirliğinin X ve Y ortalama dalga boyundan bağımsız ölçüsü.
- Diverjans; Işının uzak alan tam açısı iraksaması.
- Diverjans Ortalaması; Işının uzak alan tam açısı diverjansının X ve Y ortalaması.

3.2.9.Grafik Ekranı

Bel genişliği Grafikler penceresini değiştirmek için paneldeki Grafikler simgesini seçebilirsiniz. Daha fazla grafik açıldıkça, pencerede bir döşeme deseni oluşturulur. Aşağıda gösterilen görselde dört tablo oluşturulmuştur.



Şekil 3. 18. Örnek Sonuç Grafik Paneli (BeamWatch 2020)

Her sonuç grafikte gösterilebilir. Bir grafik kapatılırsa veriler silinir. Kaydedilmiş bir dosyayı yüklerken, grafik verileri otomatik olarak geri yüklenmez, ancak Dosya Oynatmada çerçeve arabelleği aracılığıyla oynatılarak yeniden oluşturulabilir.

- Otomatik Ayar Aralığı; Bu düğme etkinleştirildiğinde, grafik otomatik olarak tüm veri noktalarına uyacak şekilde ayarlanır. Devre dışı bırakıldığında, zaman eksenini boyunca kaydırmak için grafik alanına tıklayabilir ve sürükleyebilirsiniz. Otomatik Ayar, her bir grafik için ayrı ayrı etkinleştirilebilir / devre dışı bırakılabilir.
- CSV olarak dışa aktar; Her belirli grafiğin verilerini virgülle ayrılmış değerler biçimlendirilmiş bir dosyaya aktarır.

- Sıfırla; İstedığınız zaman tüm grafikleri sıfırlamak için bu anlık düğmeyi seçin. Sonuçlar penceresindeki Sıfırla düğmesi seçiliyse grafikler de sıfırlanacaktır.

3.3. Yöntem

Bu tez çalışmasındaki yöntem; ilk olarak bir lazer ışığının karakterizasyonu esas alınarak, teorik kısmı incelenmiştir. Deneysel olarak ise öncelikle BeamWatch cihazıyla ışın analizi yapılmış ve ideal Z yüksekliğinde odak belirleme aralığı saptanmaya çalışılmıştır. Ardından analizini ve karakterizasyonunu sağladığımız bu ölçüm sisteminde kurduğumuz optik düzenek ile, belirlenen aralıkta ideal odak noktası tespit edilmeye çalışılmıştır. Tezin bu bölümünde, yapılan işlemler sırasıyla ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır.

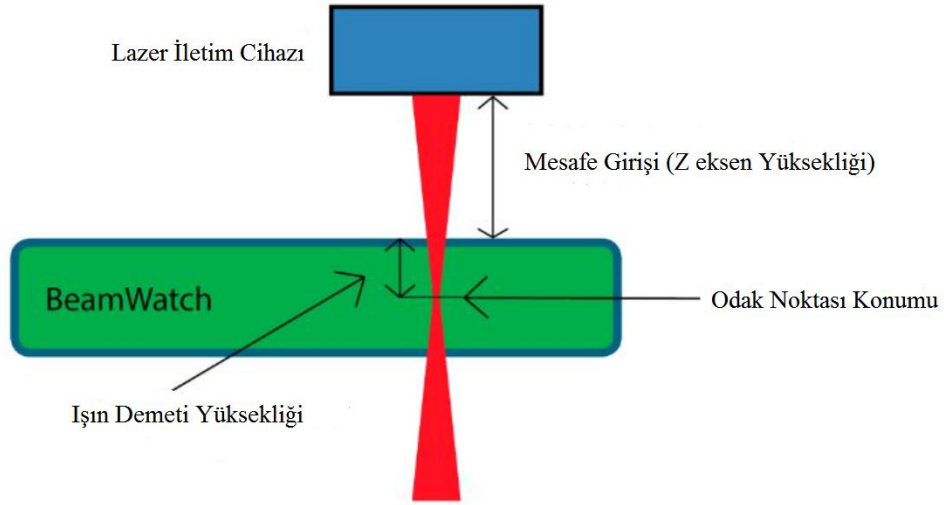
İlk adımda; güç kaynağından gelen bir lazer ışınının, gücü sabit tutularak değişken Z yüksekliklerinde ölçümleri alınmıştır . Lazer gücü sabit tutulmuş ve buna bağlı M^2X , M^2Y , WAIST WIDTH X , WAIST WIDTH Y tabloları oluşturulmuştur . Çift ve tek boyutlu görüntü işlemleri alınmış ve yorumlanmıştır. Karakterizasyonu belli ve modellemeye uygun bir lazer odak ölçüm ortamı oluşturulması hedeflenmiştir.

M^2X : X eksen ışın kalite faktörü.

M^2Y : Y eksen ışın kalite faktörü.

WAIST WIDTH X: X ekseninde ışın beli genişliği.

WAIST WIDTH Y: Y ekseninde ışın beli genişliği.

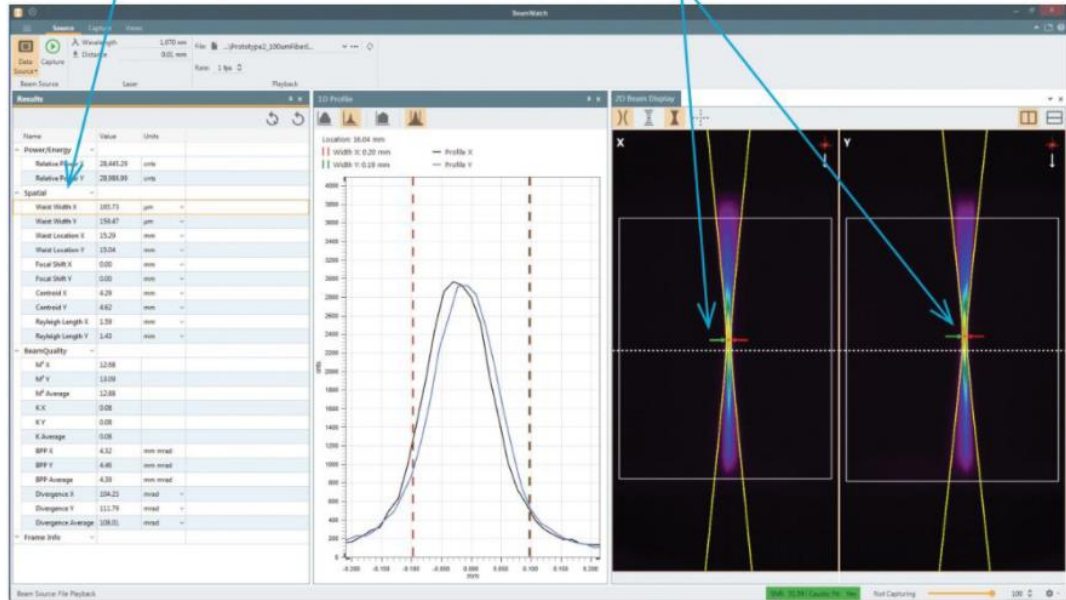


Şekil 3. 19. BeamWatch Düzenek Simulasyonu Gösterimi

Lazer işlemede, çalışma yüzeyinde odak konumunun, yani minimum ışın çapı ile ilişkili konumun dikkatlice korunması, üretim sürecinde çok önemli bir adımdır.

Odak Noktası Boyutu

X ve Y Eksen için Odak Noktası Pozisyonu



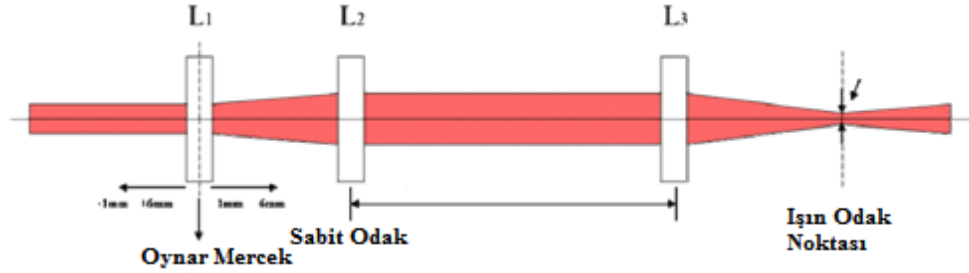
Şekil 3. 20. Lazer Işın Profili Yöntemiyle Odak Noktası Belirlenmesi

Çalışmamda odak konumunu daha hızlı ve kesin olarak belirlemek için yeni bir teknik geliştirilmiştir. Standart piyasada kullanılan yöntem, bir ışın kılavuzunu kullanarak ışın merkez yarıçapını minimuma indirmeyi hedeflemektedir. Ancak burda örnek malzeme pozisyonuna yönelik iyileştirmeler bulunmadığı için yüksek oranda doğruluk sağlayamamaktadır. Bunların haricinde ise 2 farklı yöntem daha mevcuttur. Bunlardan ilki; bir masa çalışma düzeneği üzerine kurulan lazer optik sistemiyle başlayıp örnek malzeme pozisyonuna değiştirerek elektromanyetik ölçüm esasına dayanmaktadır. Fakat bu yöntemde ışının Gauss özelliği gereği tutarlılık sağlaması oldukça güçtür. Çünkü optik bir düzenekte elektriksel ölçümler dönüşüm gerektireceği için bağıl hata faktörü yüksek çıkmaktadır. Diğer ikinci bir yöntem ise; eğimli bir yüzeyde ana odak sistemiz ve yardımcı odak merkezleme sistemine dayanmaktadır. Buradaki ana problem örnek malzemenin konumundan kaynaklanmaktadır. Ana odak sistemi malzeme yüzeyindeki kırınımına bağlı hesap sağlarken yardımcı sistem geri dönüşüyle ilişiginden söz etmektedir. Fakat eğim ışın içine girdiği için malzeme pozisyonu geometrisini sağlamak çok zor bir işlemdir. Bu yönüyle bu önermelerin tamamı düşük doğruluk sağladığı için kullanıma elverişli yöntemler değildir.

Bu zorlukların üstesinden gelmek için çalışmamda; bir ayna, bir ışın ayırıcı ve bir şarja bağlı ölçüm sistemi(BeamWatch) kullanarak ölçülen bir yüzey üzerinde odak konumunu elde etmek için bir geri bildirim sistemi sunulmaktadır. Burada kademeli ölçüm esas alınarak algoritmik bir doğrulama sistemi geliştirilmiştir. Öncelikle beamwatch ile ideal güç ve mesafe bileşeni alınıp ardından örnek malzeme üzerindeki minimum ışın çapı teorisine dayanmaktadır. Hem hareket ettirilebilir hem de yüzey koşul faktörünün minimuma indirgenebildiği bu sistemde optik düzeneğin maksimum hassasiyetle kullanılabilmektedir. Bu noktada numuneyi kontrol etme kapasitesi nedeniyle, önerilen sisteme "odak bulucu" denir.

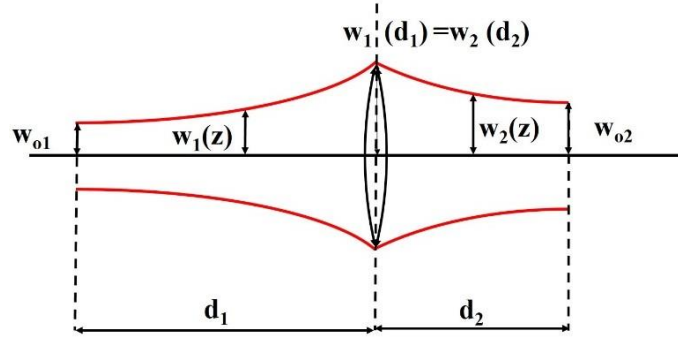
İkinci adım olarak; karakterizasyonu belli olan ve ölçüme uygun bu koşullarda , odak belirleme aralığı ve gücü tespit edilen düzeneğin, ideal odak noktasına ulaşmak hedeflenmiştir.

Lazer ışınının durumundaki değişiklikler, işleme kalitesinde değişikliklere yol açtığı için bu tür bir izleme gereklidir. Tüm bunların neticesinde bir dezavantaj mevcuttur. Bu dezavantaj, kullanılan lazer güç kaynağının endüstriyel yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Değer büyük olduğu için yüzdelik hassasiyet oranı güçle orantılı olarak artmaktadır.



Şekil 3. 21. Fabrikasyon Lazerde Dinamik Odaklama Sistemi Şeması.

Sistem odak uzaklığı f_1 olan hareketli bir negatif mercek L_1 ve odak uzaklığı f_2 olan sabit bir pozitif mercekten L_2 oluşur. Bu sistemde lens L_2 'nin konumu sabittir, lens L_1 ise hareket ettirilebilir. Başlangıçta iki mercek, Şekil 2.3.36 'da gösterildiği gibi, sistemden geçen bir odaklanmış lazer ışınının daha geniş bir açıklıkla paralel hale gelmesini sağlayacak şekilde düzgün bir şekilde düzenlenmiştir. Pozitif mercek ile objektif mercek arasındaki mesafe odaklanmış mesafedir. Odaklanmış ışın daha sonra odak uzaklığı f olan bir objektif merceğinden (OL) (L_3) geçer ve bu merceğin, görüntü sensörü üzerindeki objektif merceğinden f uzaklıkta olan odak düzlemine odaklanır. Görüntü sensörünün bu konumuna sıfır noktası denir. Negatif lens L_1 başlangıç konumundan uzağa hareket ettirildiğinde, dinamik odaklama sisteminden giden lazer ışını artık odaklanmış değildir, bunun yerine lenslerin L_2 ve L_3 düzlemleri arasındaki bir düzleme odaklanır. Sonuç olarak, ışın nihayet görüntü sensörünün objektif lensin f odak düzlemi olmayan başka bir düzlemine odaklanır. Böylece, lazer odak noktasını yakalamak için görüntü sensörü sıfır noktasından uzaklaştırılır. Lens L_1 başlangıç noktası etrafında kaydırıldığında, lazer odak noktası, başlangıç odak konumu olarak tanımlanan sıfır noktası etrafında hareket ettirilir. Bu sistemin amacı, yüksek yoğunluklu lazerle kademeli bir yüzey üzerinde işleme sırasında keyfi pürüzlülüğe sahip bir hedef numune yüzeyine kesin olarak odaklanmaktır.



Şekil 3. 22. Gauss ışınının ince bir mercekten iletilmesi.

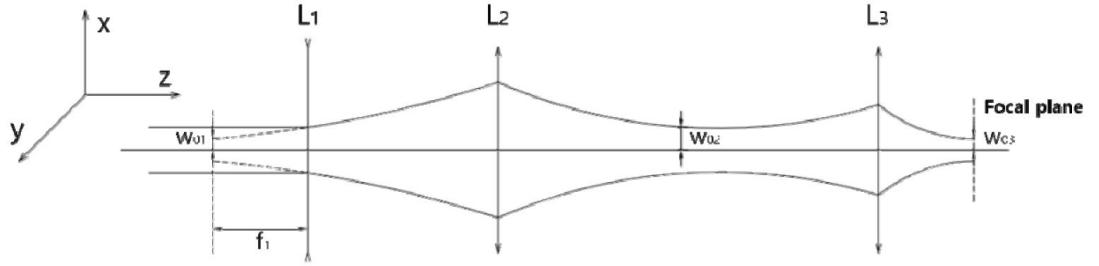
İlk olarak, uzaklaşan bir ışının ince bir mercekten geçtiği ve merceğin arkasında birleştiği basit bir model açıklanmaktadır. Işın orta noktası w_{01} , ondan d_1 uzaklıkta olan ve odak uzaklığı f olan ince kenarlı merceğe sahip bir düzenden oluşmaktadır. Şekil 2.3.37'de gösterildiği gibi, ışın orta noktası w_{02} olan merceğe d_2 uzaklıkta bir görüntü elde edilmektedir. Ayrıca ışını oluşturan dalga cephelerinin ışın genişliği ve eğrilik yarıçapı tanımlarına göre, ışın genişliği şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{C^3} = \frac{8\pi n}{\lambda^3} \quad (3.1)$$

$W(z)$ 'nin $w_1(z)$ veya $w_2(z)$ olduğu yerde w_{01} , w_{02} ve $z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$ Rayleigh aralığını ifade etmektedir.

$\frac{\pi w_{01}^2}{\lambda f}$ denkleminde dayanarak Şekil 3.23 görsel gereği aşağıdaki denkleme varılabilir :

$$\frac{d_2}{f} = 1 + \frac{\frac{d_1}{f} - 1}{\left(\frac{d_1}{f} - 1\right)^2 + \left(\frac{\pi w_{01}^2}{\lambda f}\right)^2} = \frac{d_1}{d_1 - f} \rightarrow d_2 = \frac{d_1 f}{d_1 - f} \quad (3.2)$$



Şekil 3. 23. Aktif hareket edebilen bir odaklama sistemiyle lazer ışının iletilmesi.

Ayrıca (3.3) denklemi kullanılarak ışın orta noktası şu şekilde hesaplanabilir :

$$w_{01}^2 + \left(\frac{\lambda f_1}{\pi w_{01}} \right)^2 = w_0^2 \quad (3.3)$$

$$w_{01}^2 + \left(\frac{\lambda(h - f_1)}{\pi w_{01}} \right)^2 = w_{02}^2 + \left(\frac{\lambda f_2(h - f_1)}{\pi w_{02}(h - f_1 - f_2)} \right)^2 \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} w_{02}^2 + \left(\frac{\lambda}{\pi w_{02}} \left(f + f_2 - \frac{f_2(h - f_1)}{h - f_2 - f_1} \right) \right)^2 \\ = w_{03}^2 + \left(\frac{\lambda}{\pi w_{03}} \left(f \frac{f_2^2 - f(h - f_1 - f_2)}{f_2^2} \right) \right)^2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

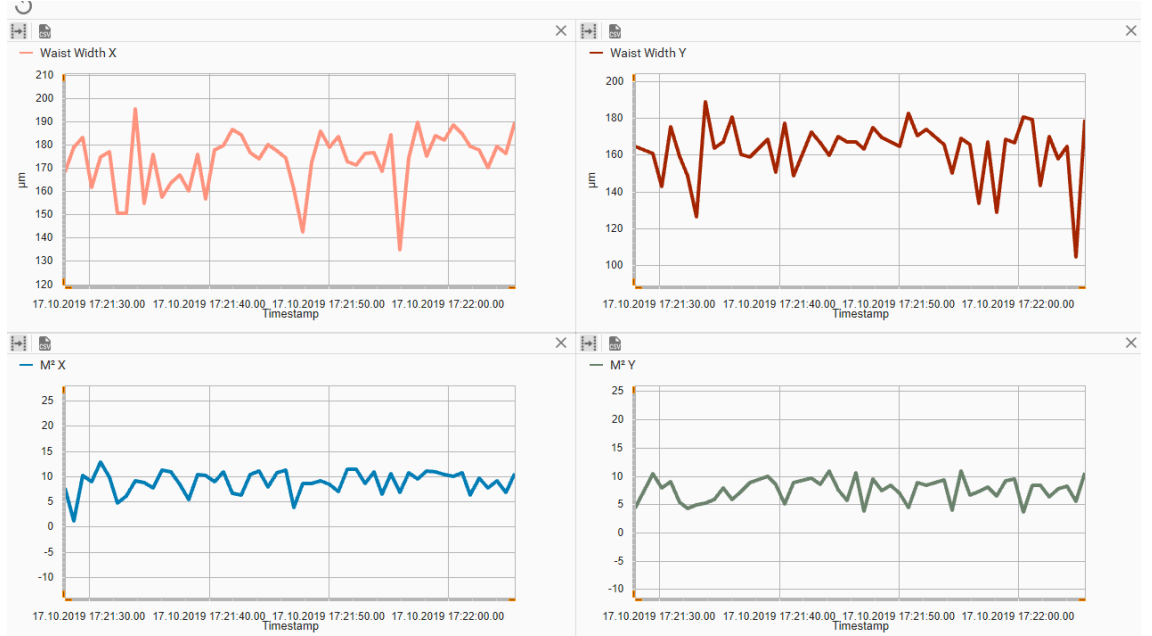
Lazer ışınının ışın yarıçapı w ile belirli bir noktadaki ışınması aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$I = \frac{c \epsilon_0 E_0^2}{\pi w^2} e^{-\frac{2(x^2 + y^2)}{w^2}} \quad (3.6)$$

c denklemdeki ışık hızına karşılık gelmektedir, E_0 ise denklemdeki elektromanyetik alan ifadesidir. X, y, z ise denklemdeki kartezyen eksenlerin koordinatlarını ifade etmektedir. Denklem genel itibariyle ile ışın huzmesinin aynı zamandaki ışığın spot boyutuna bağlı olduğunu göstermektedir. $L1$ lens pozisyonuna göre ışın spot boyutundaki değişiklikler incelenecektir.

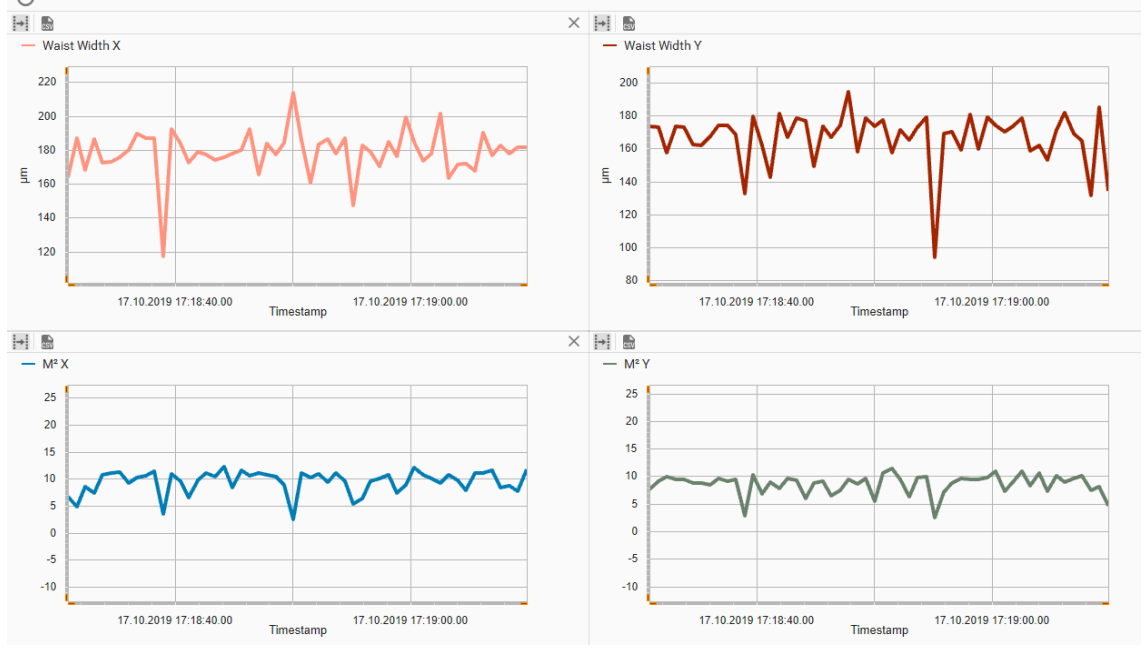
4. BULGULAR

4.1. Sabit Lazer Gücü - Değişken Z Yüksekliği Ölçümleri ve Analizi



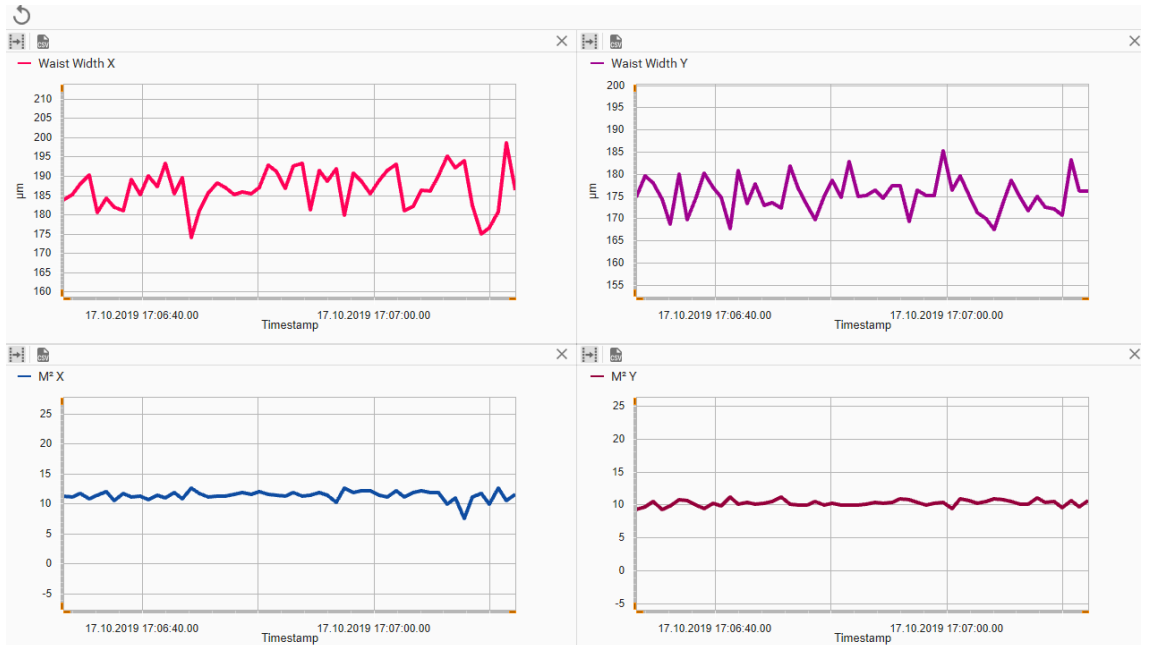
Şekil 4. 1. Fabrikasyon Lazerde Sabit 1Kw Güç ve 30mm Z eksen Mesafesi Grafikleri

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere, 1Kw lazer gücünde Z mesafesi 30mm den örnek alınmış olup ışığın yüzey alandaki kalite faktörü stabilitesi sağlanamamıştır.



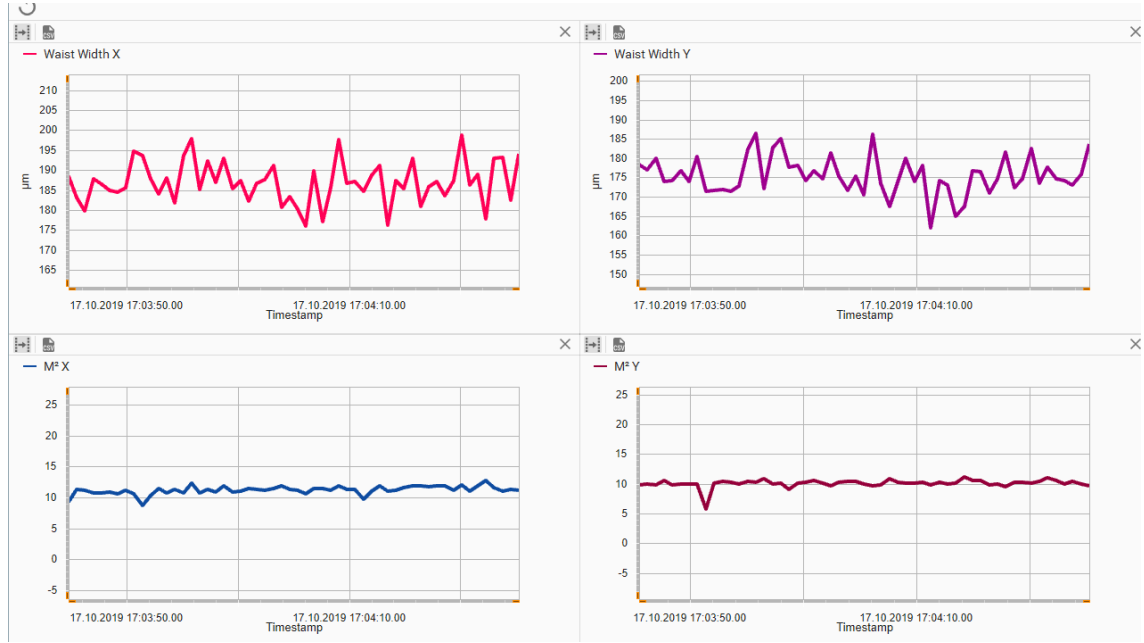
Şekil 4. 2. Fabrikasyon Lazerde Sabit 1Kw Güç ve 25mm Z eksen Mesafesi Grafikleri

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere, 1Kw lazer gücünde Z mesafesi 25mm den örnek alınmış olup ışığın yüzey alandaki kalite faktörü stabilitesi sağlanamamıştır.



Şekil 4. 3. Fabrikasyon Lazerde Sabit 1Kw Güç ve 20mm Z eksen Mesafesi Grafikleri

Şekil 4.3'te görüldüğü üzere, 1Kw lazer gücünde Z mesafesi 20mm den örnek alınmış olup ışığın yüzey alandaki kalite faktörü stabilitesi sağlanmaya başlanmıştır .



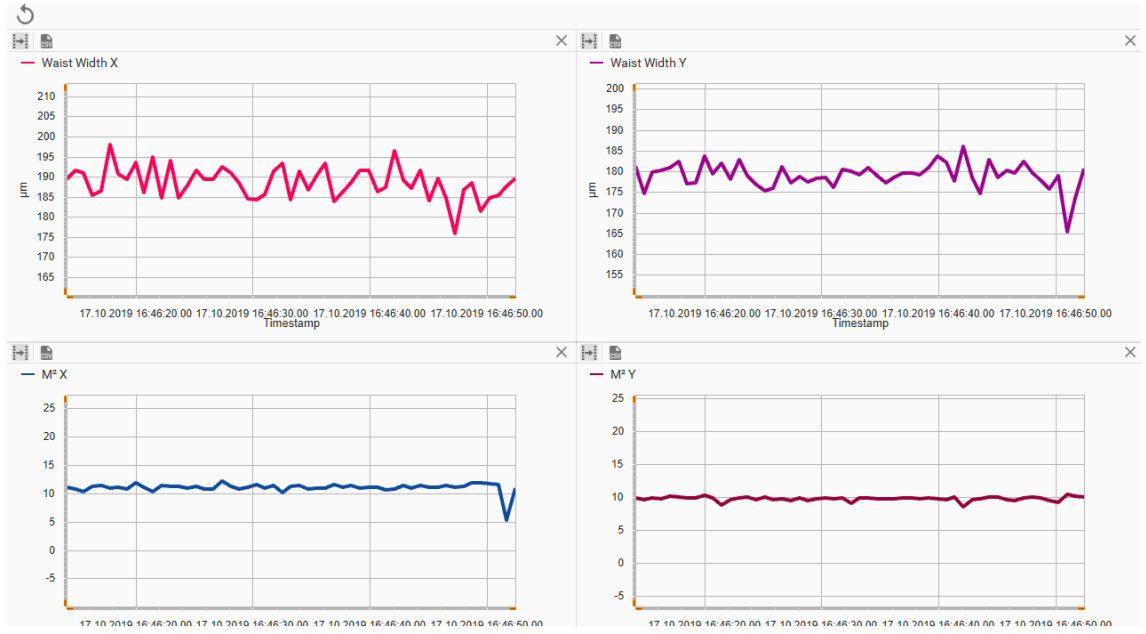
Şekil 4. 4. Fabrikasyon Lazerde Sabit 1Kw Güç ve 15mm Z eksen Mesafesi Grafikleri

Şekil 4.4'de görüldüğü üzere, 1Kw lazer gücünde Z mesafesi 15mm den örnek alınmış olup ışığın yüzey alandaki kalite faktörü stabilitesi Şekil 4.3'e benzer grafiklerde sağlanmaya devam etmiştir.

Bu ölçümlerin sonucunda BeamWatch ile ölçüm, en uygun 1 kw güç ve 15-20mm aralığında Z eksen mesafesinde sağlanmaktadır . Burada ideal yükseklik saptanmış olup bir sonraki kısımda sabit Z eksen mesafesi ve değişken güçler ile analiz gerçekleştirilecektir.

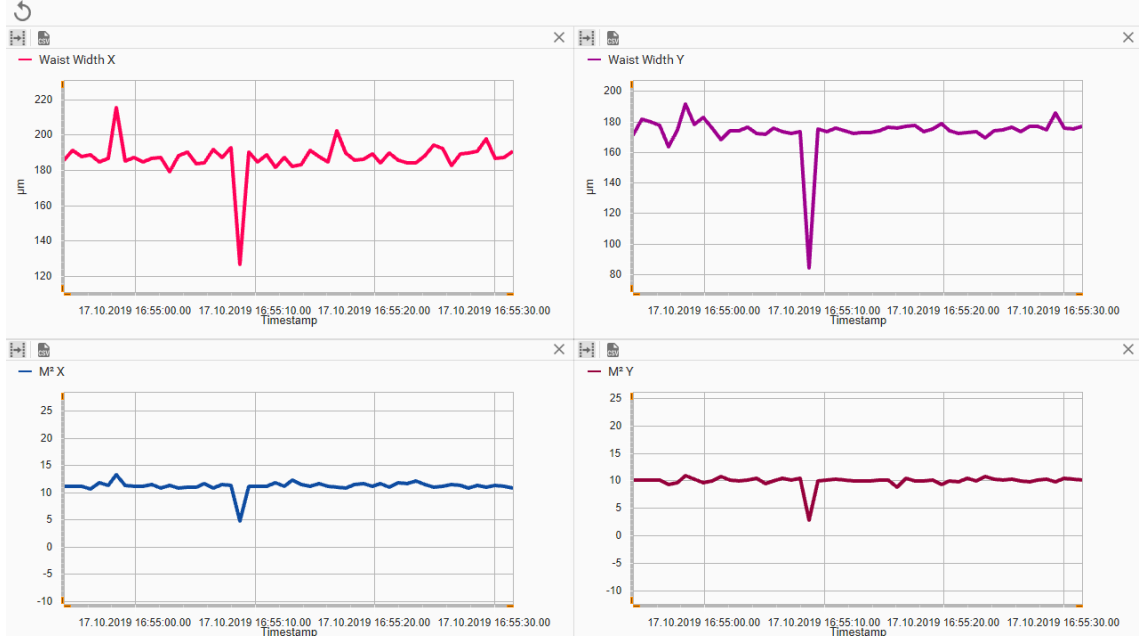
4.2. Değişken Lazer Gücü - Sabit Z Yüksekliği Ölçümleri ve Analizi

Ölçümlerin bu kısmında önceki başlıkta saptadığımız Z yüksekliği referans alınarak değişken güç değerlerinde ölçümler yapılmıştır . Bu ölçümlerin sonucunda ideal güç ve Z mesafesinde tutarlı sonuçların elde edilmesi hedeflenmiştir.



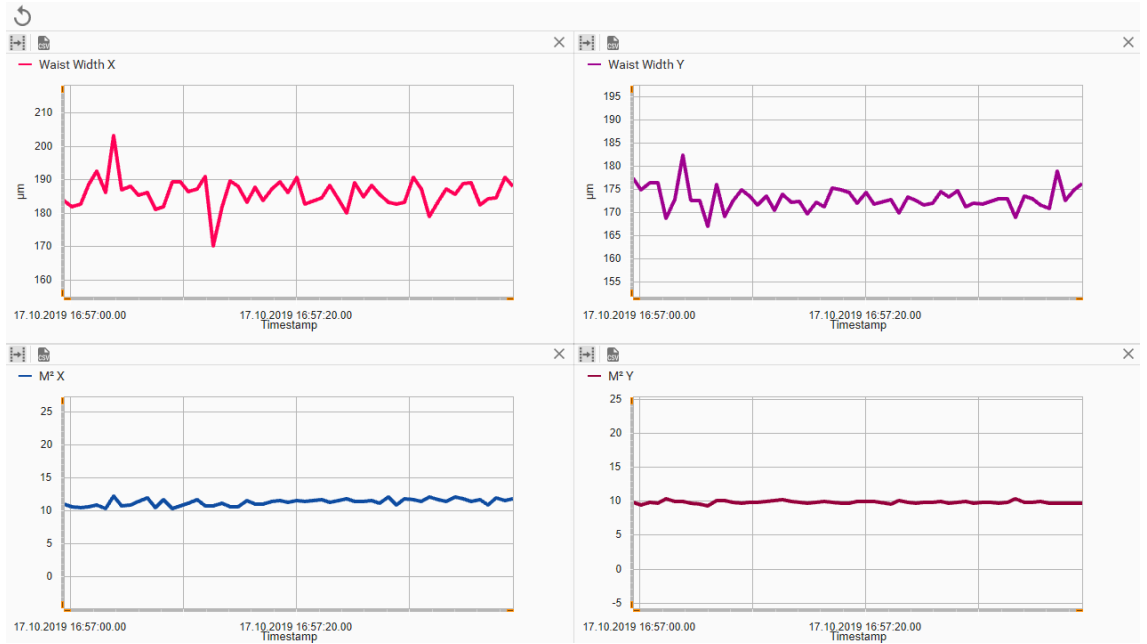
Şekil 4. 5. Fabrikasyon Lazerde 0.5Kw Güç ve 15mm Z eksen Mesafesi Grafikleri

Şekil 4.5’ te 0.5Kw güç ile 15mm Z eksen mesafesinde ölçüm alınmıştır. Ancak grafikte de görüldüğü üzere yüzey alanda anlık pik değerleri saptanmıştır . Uzun süreli 0.5Kw güç akışında bu tip anlık ölçüm hatasına sebep olacak güç değişimleri bozulmalara yol açabilir o yönüyle 0.5Kw güç BeamWatch cihazı için kontrol edilebilir düzeyde değildir .



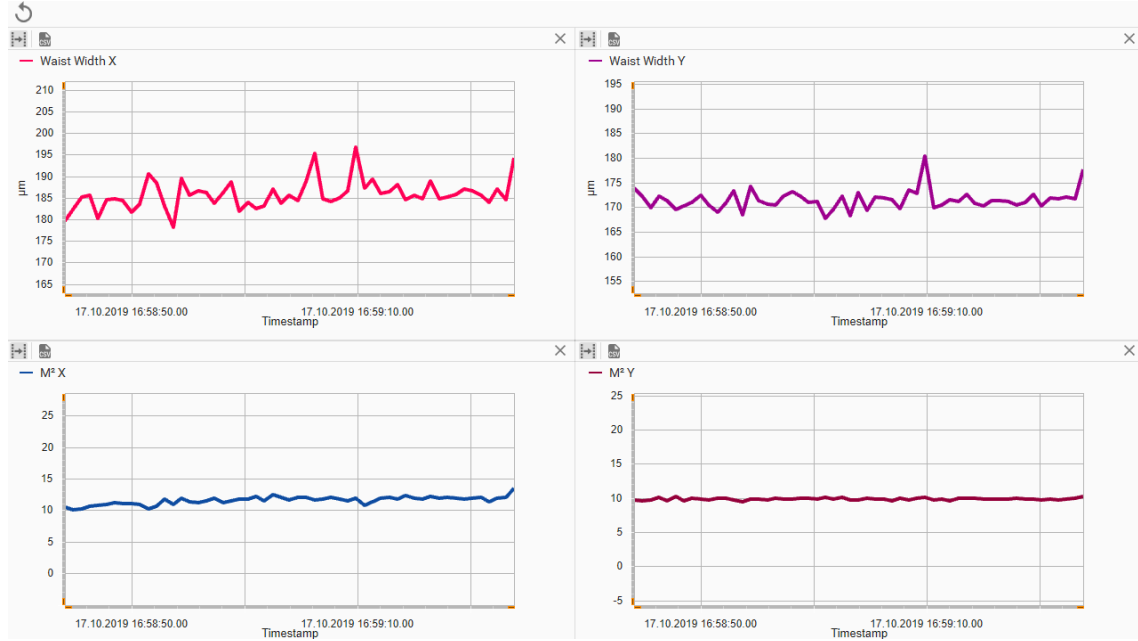
Şekil 4. 6. Fabrikasyon Lazerde 1Kw Güç ve 15mm Z eksen Mesafesi Grafikleri

Şekil 4.6’ da 1Kw güç ile 15mm Z eksen mesafesinde ölçüm alınmıştır. Fakat 0.5Kw ölçümünde olduğu gibi anlık olarak yüzey alanındaki güçte efektif sapmalar görülmüştür . Bu yönüyle 1Kw güç değerinde ölçüm doğru sonuçlar yansıtmamaktadır.



Şekil 4. 7. Fabrikasyon Lazerde 1.5Kw Güç ve 15mm Z eksen Mesafesi Grafikleri

Şekil 4.7’ de 1.5Kw güç ile 15mm Z eksen mesafesinde ölçüm alınmıştır. Yüzey alana düşen güç stabilleşmeye başlamıştır. Bu yönüyle kabul edilebilir. Geneline bakıldığında kararlı bir grafik görülmektedir.

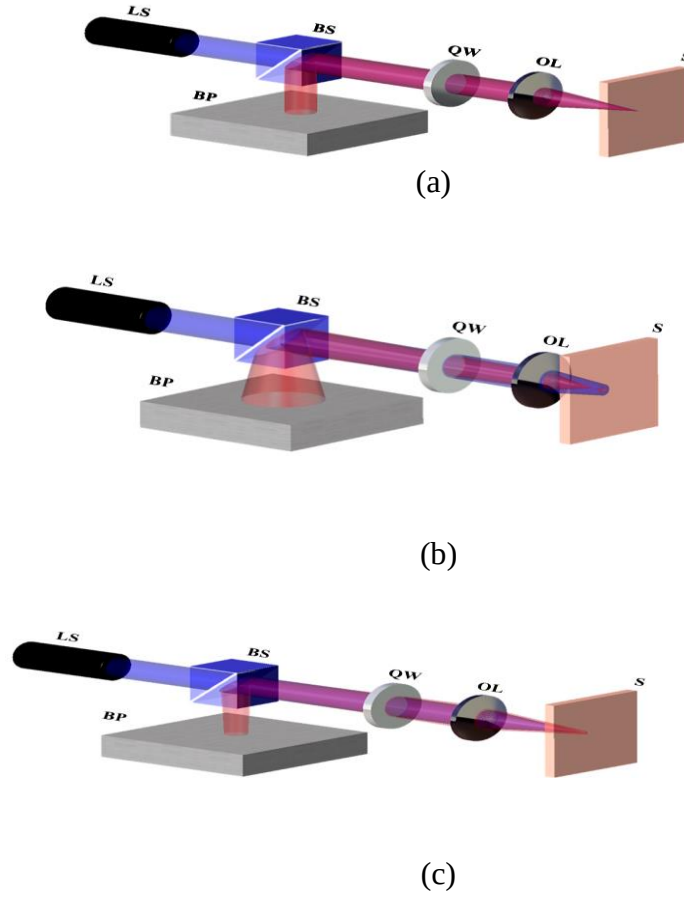


Şekil 4. 8. Fabrikasyon Lazerde 2Kw Güç ve 15mm Z eksen Mesafesi Grafikleri

Şekil 4.8’ de 2Kw güç ile 15mm Z eksen mesafesinde ölçüm alınmıştır. Ölçüm sonucu 1.5kW güç ile benzer yapıda olup kullanılabilir düzeydedir. IPG güç kaynağının maksimum çıkış kapasitesini yansıtmaktadır.

2 konu başlığı altında ayrı ayrı ölçümler alınmıştır. Burada ulaşılmak istenen sonuç, BeamWatch cihazı toleransları içerisinde kararlı bir aralık belirlemektir. Yukarıdaki görsellerde görüldüğü üzere 15-20mm Z eksen mesafesinde ve 1.5-2kW güç değerlerinde BeamWatch ile sabit bir odak noktası saptanabilmektedir . Fakat bu çevre koşulları, cihazın bağıl hataları ve ortam göz önünde bulundurulduğunda sağlıklı bir ölçüm olmayıp optimize edilmesi gereken bir durumdur .Sistemin bu kısmında aşağıdaki ince kenarlı merceklerden oluşan optik yapı dahil edilmiş ve sistem optimize edilerek net odak noktasının bulunması hedeflenmiştir.

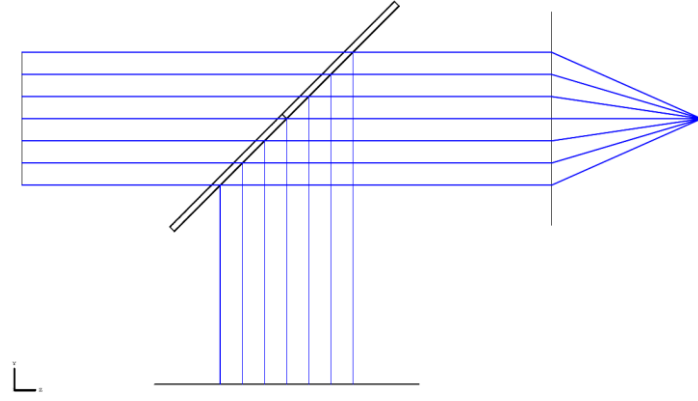
Şekil 4.9'da yer alan ıraksama açısı ve CCD kameranın spot boyutundaki değişim örnek malzemenin pozisyonuna göre değişiklikler göstermektedir. Şekil 4.9.a – 4.9.c, numunenin sırasıyla odak pozisyonunda, odak pozisyonunun önünde ve odak pozisyonunun arkasında olduğu durumları göstermektedir. Lazer ışını örnek malzeme üzerine düşmeden önce farklı yollar kat etmektedir. Bunlardan ilki olan ışın ayırıcına girip düzenlenmiştir. Sonrasında çeyrek dalga plakasında ışın odağı idealleştirilmeye çalışılmış ve son olarak da odaklama merceğinden geçerek süzülen ışın ideal forma dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Burada kullanılan plakalardaki malzeme ise silikon içeren bir yapıdadır. Optimal yansıtma için tüm malzeme yüzeyleri önceden cilalanmıştır.



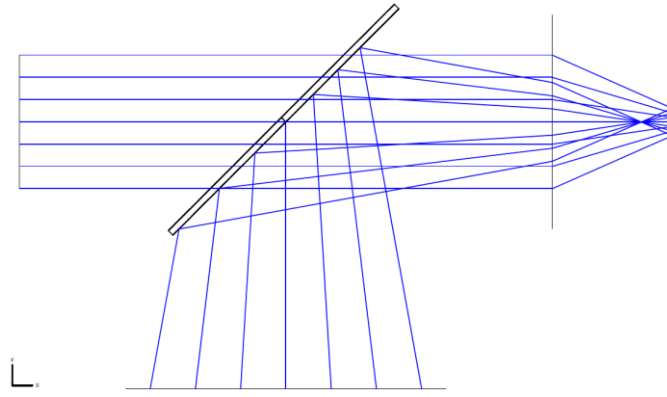
Şekil 4. 9. Malzemenin pozisyonuna göre sapma açısındaki durum. (a) Odak mesafesinde duran malzeme; (b) Odak mesafesinin önünde yer alan malzeme; (c) Odak mesafesinin arkasında yer alan malzeme. LS: Işık üretici, BS: Işık ayırıcı mekanizma, QW: Çeyrek Dalga Plaka Görsele, OL: Lens, S: Malzeme, BP: Işın karakterizasyon Profilleyici.

Yüke bağlı cihaz (CCD) kameraları, gelen bir ışının ışın profilini ölçebilen bir dizi fotodiyotlu optik sensörlerdir ve bu nedenle genellikle "ışın profilleri" olarak adlandırılır. Kullandığımız CCD kameranın ışın boyutunu ifade etmemiz gerekmektedir. Onun için ışın boyutu ifadesi D olarak kullanılmaktadır. Örnek malzeme soldan sağa hareket ettirildiğinde ise kullandığımız D değeri lineer olarak azalmaktadır. Şekil 4.9.a'da gösterildiği gibi, numune odak konumunda bulunur; bu nedenle, yansıyan ışınlar paraleldir ve CCD kamerada ışın boyutu $D = D_{\text{focus}}$ olacak şekilde ölçülür. Şekil 4.9.b'de, numune odak konumunun önünde yer almaktadır; bu nedenle, yansıyan ışınlar birbirinden uzaklaşır ve D , D_{focus} 'tan daha büyüktür. Şekil 4.9.c'de, görüleceği üzere malzeme odak noktasının arka kısmında bulunmaktadır. Bu yüzden sistemden yansıyan ışınlar toplanmaktadır. Düzenek incelendiğinde ise D değerinin D_{focus} değerinden küçük olduğu ölçülmektedir.

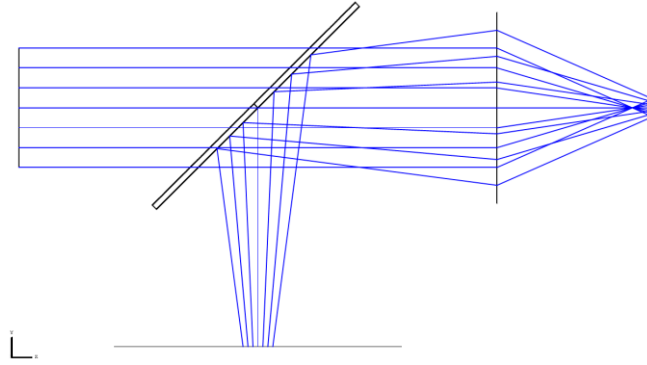
Şekil 4.10, BeamWatch ile elde edilen numune pozisyonuna göre ışın izleme sonuçlarını göstermektedir. Beklendiği gibi, örnek odak konumuna yerleştirildiğinde yansıyan ışınlar paraleldir ve örnek odak konumunun önündeyken birbirinden uzaklaşırlar. Ayrıca, örnek odak konumunun arkasına yerleştirildiğinde yakınsak ışınlar CCD kameraya girer.



(a)



(b)



(c)

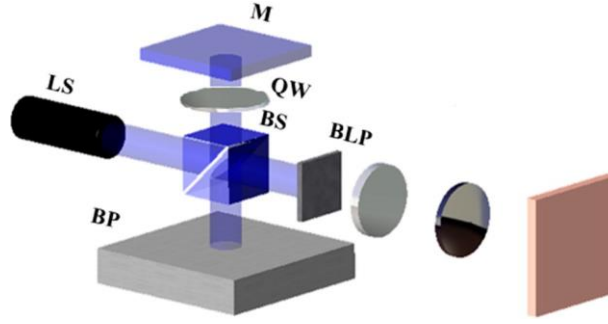
Şekil 4. 10. Numune konumuna göre 3D yerleşim ışın izleme sonuçları. Örnek, (a) odak mesafesinde; (b) odak mesafesinin ön kısmında; ve (c) odak mesafesinin arka kısmında.

Numune odak konumundayken elde edilen nokta boyutu D_{focus} 'u belirleyerek numunenin odak konumunda olup olmadığını keşfedebiliriz. D_{focus} 'u belirlemek için,

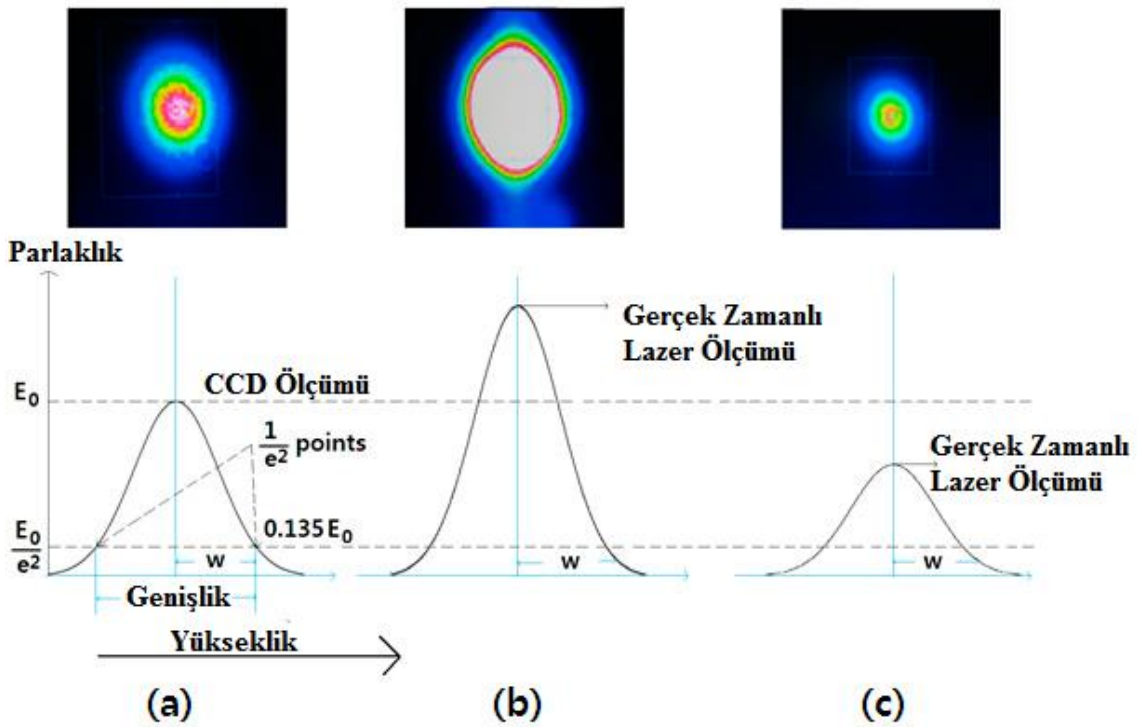
Şekil 4.10'da gösterildiği gibi, ışın ayırıcı yüzeyine paralel olarak bir ayna ve bir çeyrek dalga plakası yerleştirilir (ışın profilinin karşısındaki tarafa) ve odaklama merceğine bir engelleme plakası takılır. Ardından Dfocus üzerine bazı ekleme ve çıkarmalar ile ideal bir sonuç elde edinilmeye çalışılır. Bunun için ise ayırıcıdan çıkan ışın ayna tarafından yansıtılarak CCD kamerada ölçümü sağlanır. Burada ışın boyutu önem arz etmektedir. Şayet ışın boyutu Dfocus denildiği taktirde odaklama mercek sistemimiz yanında yer alan engelleme plakası çıkarılarak örnek malzeme hareket ettirilir. Işın boyutu odak konumunda olduğu anlaşılana kadar örnek malzeme hareket ettirilmektedir. Burada ışın prolörü önemli görev almaktadır. Şayet eksen boyunca yapılmayan ve termal çevre birimlerdeki değişimler CCD kamera ölçümlerinde bozunmaya yaratacağı için düzenek sabit tutulmalı ve ölçümlerin stabilitesinden emin olunmalıdır.

Yukarıda da belirtildiği gibi ölçüm epey hassas bir nokta olduğu için CCD ölçüm hassasiyeti ön plandadır. Burada ölçümler sonucundaki örnek malzeme üzerinde nokta, bize ışın yarıçapını vermektedir. Burada ise lazer ışın boyutu lazer gücüyle orantılı olarak değişebilmektedir. Ki bu önerme lazer ışınının Gauss olmasıyla ilişkilidir. Burada güç artmaya başladığında kenar yüzeylerde ışıma düşmekte ölçüm netlik kazanmaktadır. Hesaplamalarımızdaki tutarlılığı saptamayabilmek için ışın çapını hesap etmemiz gereklidir. Sistemdeki ışın çapı ise maksimum ışın yoğunluğunun $1 / e^2$ 'sine ($1 / e^2 = 0.135$) olduğu ışın merkez mesafesinde gözlemlenmektedir. Asıl önemli noktalardan biri ise CCD kamera ile bu teorilere dayalı lazer ışın boyutunun ideal olarak ölçülmesidir. Bu yüzden lazer ışın gücünü muhakkak optimum bir seviyede tutmak gerekmektedir.

Işın tüm bu önermeler doğrultusunda, ışın ayırıcı üzerinden iletmeye başlanmıştır. Ardından polarizasyonu sağlanmıştır. Çeyrek dalga plakası üzerinden geçmeye başladığında ise polarizasyon dairesel olarak sağlanmıştır. Tüm bu ilerlemeler sonucu ise örnek malzeme üzerine düşen ışın tekrar geri yansıtılmıştır. Gelen ışın ile yansıyan ışın bu bağlamda birbirinin direk tersleridir. Son olarak ise geri yansıyan ışın çeyrek dalga plakası üzerinden ayırıcıya girip CCD kamerasıyla direk ölçümleri alınmıştır. Herhangi bir lazer gücü üzerinde kayıp yaşanılmadan ölçüm tamamlanmıştır. Şekil 4.11, de tüm bu durumların ifadeleri ve gösterimleri yer almaktadır.



Şekil 4. 11. İlave edilen aynalı odak sabitleyici sistemin gösterimi. BLP: Bloklayıcı panel.

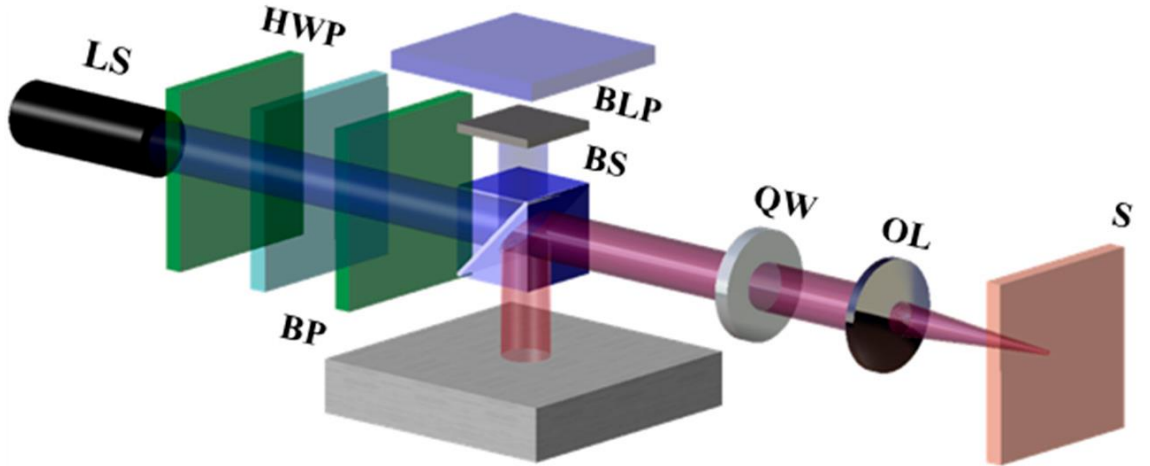


Şekil 4. 12. Yüklü CCD kameranın ölçüm limitleri (a) Optimizasyonu sağlanmış lazer gücü; (b) endüstriyel yüksek mukavemetli lazer gücü; ve (c) düşük lazer gücü.

Şekil 4.12.a – c, Yukarıdaki şekil CCD kameradan alınan farklı lazer güç değerindeki ölçümleri ifade etmektedir. Lazer ışın boyutları a dan c ye düşme eğilimindedir. Ayrıca, Şekil 4.12.a' da gösterildiği gibi, lazer gücünü optimize etmek için, bir polarizör ve yarım dalga plakası içeren bir lazer güç kontrol cihazı kullanıldı. Işın ayırıcı ve ayna arasındaki Z mesafesi başta 100 mm olarak düşünülmüştür; odak ayırıcı arasındaki mesafe ise 300 mm olarak hesaplanarak işlem yapılmıştır; ve Şekil 4.13' te yer alan ışın Profilleyici odak sistemi mekanizması ise 800 mm uzağında yer almaktadır. Böylelikle benzer lazer gücüne

bağlı olarak farklı ışın spot hesaplamaları yapılabilir ve ölçülebilmektedir. Bu, lazer ışını boyutunun doğru ölçümünü elde etmek için lazer ışınının tepe değerinin CCD kameranın eşik değerine ayarlanması gerektiği anlamına gelir.

Hedeflenen yapı ise ışığın örnek malzeme üzerindeki odak konumunu saptamaktır. Bu amaçla, numuneyi hareket ettirmek için bir mikro aşama kullandık. Başlamak için rastgele bir konum seçtik ve bunu eksenin orijini olarak tanımlandı. Ardından örnek malzemeyi yerleştirmek için bir odak mesafesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu mesafeye ise l denilebilir . Ayna tarafından yansıtılan ışın, ışın ayırıcısından geçirildi ve ardından ışın profilleyicisi tarafından ölçüldü; bu ışın yatay yönde 1.988 mm, dikey yönde 2.222 mm olarak ölçülmüştür. Fakat burada önemli bir husus vardır. Kullanılan ışın tam manasıyla bir Gauss ışın profili sergilemediği için yatay ve dikey boyutlarda farklılıklar gösterebilmektedir. Bu sebeple iki eksen için ortalama bir değer belirlenmiş ve bu değer D_{mirror} olarak ifade edilmiştir.

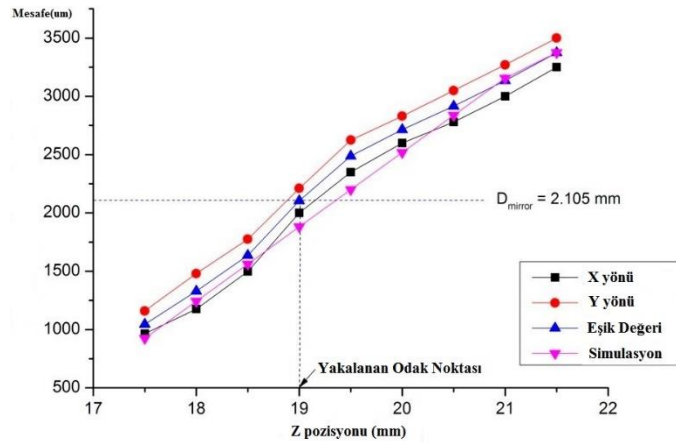


Şekil 4. 13. Polarizör ile birlikte kullanılan yarım dalga plakasına bağlı lazer güç kontrol mekanizmasının yapısı (HWP)

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Şekil 5.1, örnek malzeme pozisyonuna göre hesaplanan ışın çağındaki değişimi ifade etmektedir. Malzemenin gerçek pozisyonunu ölçmek zor olacağı için referans bir nokta belirlenmiş ve malzeme ile bu referans noktası arasındaki mesafe göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 5.1'in yatay eksenindeki değerler bu mesafeyi ifade etmektedir. Çünkü odaklanmanın, Z eksenin 19 mm aralığında odağın 2.10 değerlerinde sağlandığı gözlemlenmiştir.

Ortalama ışın çapına bağlı aşağıdaki gibi bir grafik elde edilmiştir. Burada simülasyon ve teori göz önünde bulundurulmuştur. Fakat örnek malzeme yapısına bağlı ve çevresel etkilere bağlı olarak grafikte de görüleceği üzere mor çizgi(simülasyon) ve mavi çizgi gerçek zamanlı olması gereken değerler arasında farklılıklar gözlemlenmiştir. İdeal koşullar altında bu ölçümler tam yansıtıcı bir örnek malzeme üzerinden CCD kamerayla analizlere bağlı gelişmektedir. Fakat bizim deneyimizde bu ortamı sağlamak epey güç bir durum teşkil etmektedir. O yüzden örnek malzeme yüzeyi tamamen temizlenmiş ve ortam ısısı sabit tutularak termal etkiler minimuma indirilmiştir . Tüm bu işlemler sonucunda ise örnek malzeme üzerinden alınan optik hizalaması yüksek sistem ile CCD ölçümleri referans alınmış ve imalattan ya da ortam koşullarına bağlı etkiler minimize edilmeye çalışılmıştır.

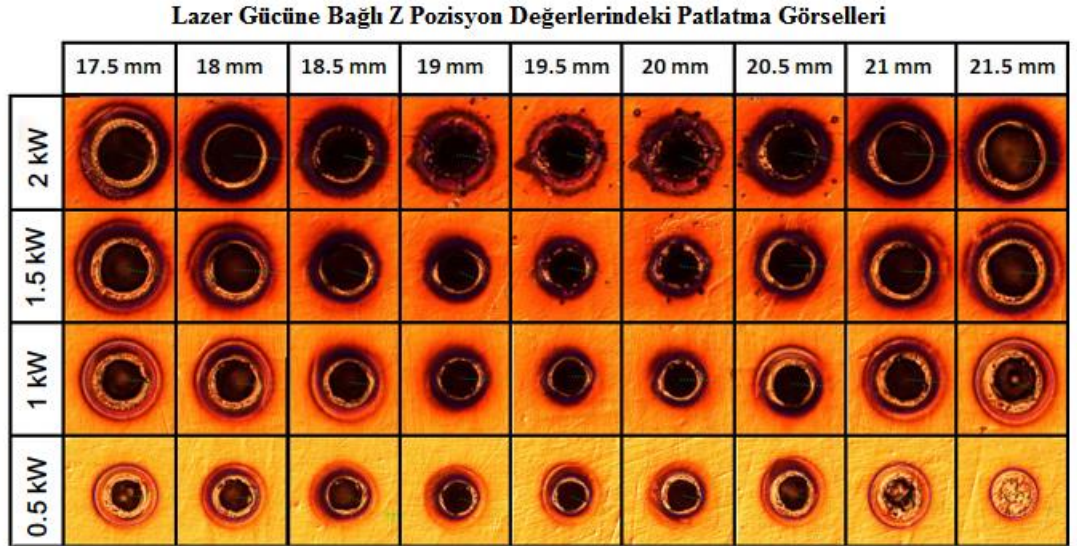


Şekil 5. 1. Örnek malzeme pozisyonuna göre hesaplanan ışın çağındaki değişim

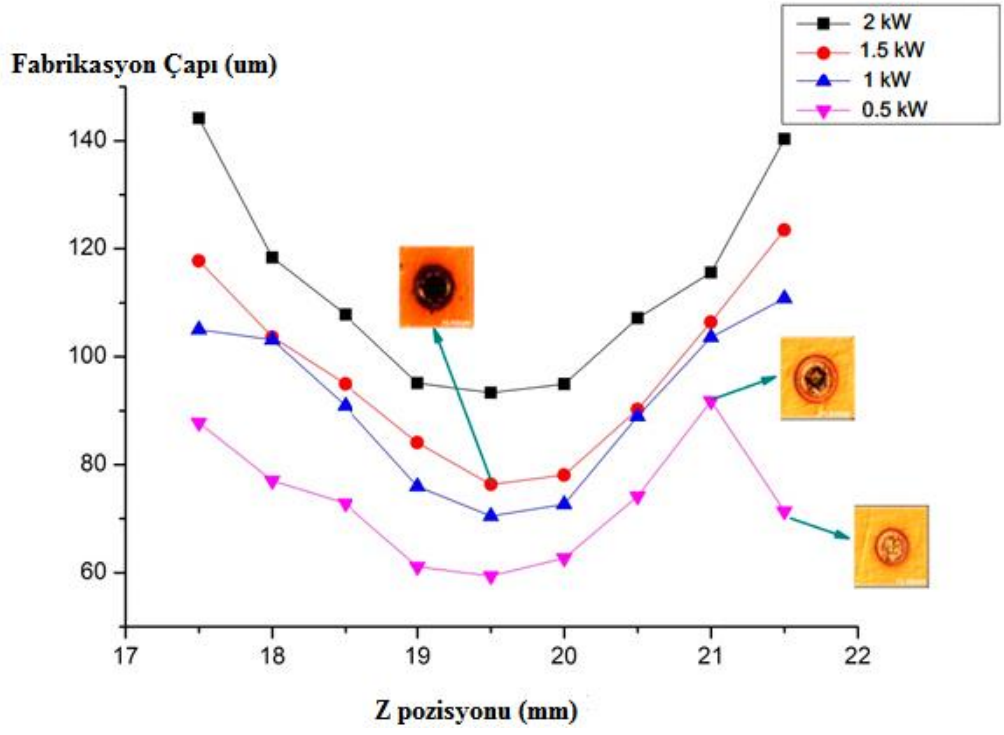
Şekil 5.2 ve 5.3, örnek malzeme Z eksen yönünde hareket ettirildiğinde belirli süre aralıklarla yapılan delme işleminin görselleri ve grafiğini ifade etmektedir. Şekil 5.2, değişken odak mesafelerinde örnek malzeme üzerindeki ışın izlerini ifade etmektedir. Uygulanılan lazer güç değerleri 0.5 kW, 1 kW, 1.5 kW ve 2 kW olup; güç kaynağı tarafından uygulanılan darbe süresi 10 Ns; frekans yineleme oranı 50 kHz; tüm parametreler neticesinde işleme süresi 0.1 ms; ve odak uzunluğu 80 mm dir.

Uygulamaya en elverişli çap, 19.5 mm'lik Z eksen odak pozisyonunda sağlandı; bu yüzden ölçüm neticesinde tüm sistem 19.5 mm üzerinden hesaplanmaya başlandı. Tasarlanılan odak bulucu sistem ise 19 mm hesap etmiştir. Böylelikle 0.5 mm lik bir kabul edilebilir ve uygulamaya uygun bir değerdir.

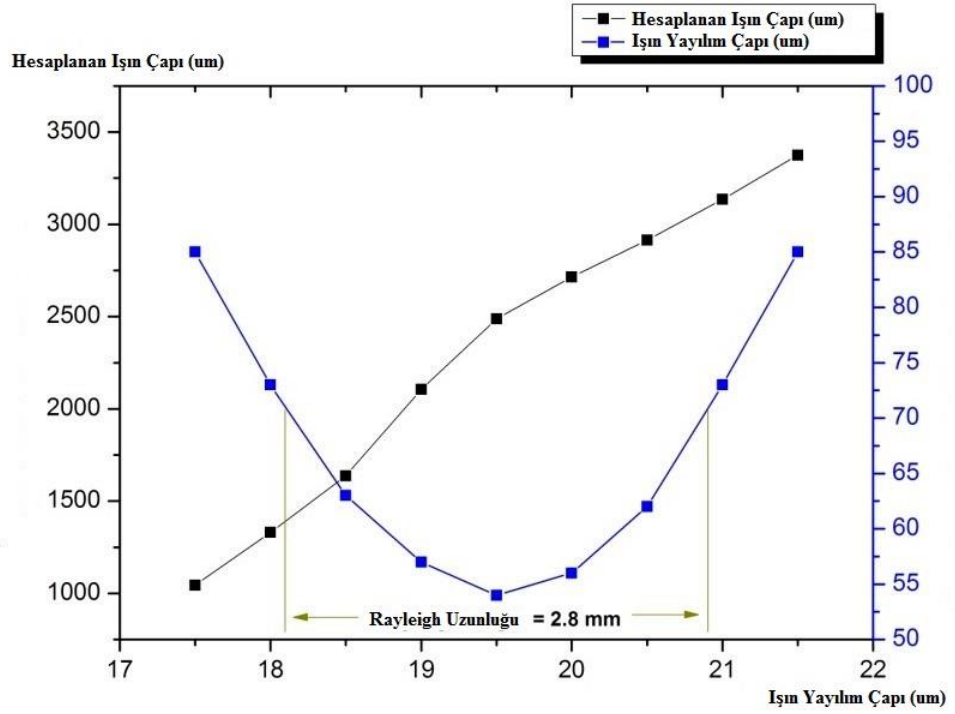
Şekil 5.4, Örnek malzemenin konumuna bağlı olarak yapılan yayılma çapındaki değişimin sistem üzerindeki etkisini ifade etmektedir. CCD kamera ile ışın boyutu ölçümleri alınmıştır. Örnek malzeme Z eksen boyunca hareket ettirilmiş ve ışın yayılma profili izlenmiştir. Mavi çizgi takip edildiğinde ise ışık merkez noktasındaki lazer ışık çapı 0.054 mm olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 2. Belirli süre aralıklarla yapılan delme işleminin görselleri.



Şekil 5. 3. Belirli süre aralıklarla yapılan delme işlemi grafiği.



Şekil 5. 4. Örnek malzemenin konumuna bağlı olarak yapılan yayılma çapındaki değişimin sistem üzerindeki etkisi.

Rayleigh uzunluğunu 2,8 mm olarak hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılabilir:

$$z = \pm \frac{\lambda M^2}{\pi} \sqrt{\rho^2 - 1} \left(\frac{f}{w_L} \right)^2 \quad (5.1)$$

burada z , Rayleigh uzunluğunu temsil eder, ρ ışın toleransını temsil eder, w_L giriş ışın çapını temsil eder ve M^2 , ışın kalite faktörünü temsil eder. $\rho = 1.9$, $\lambda = 1064$ nm, $M^2 = 10$, $f = 98$ mm ve $w_L = 3.92$ değerlerinde çıkmaktadır. Rayleigh aralığı 2.75 mm belirlenen bir sistemde 0.4 mm mertebesinde bu hatalar normal karşılanmaktadır. Çünkü sistemimizde üretilen güç yoğunluğu yine aynı sistemimizdeki enerji yoğunluğunu sağlamaktadır. Yukarıda da görüleceği üzere Rayleigh uzunluğu, dalga boyu ve odak uzaklığına bağlı olmakta ve artış göstermektedir. Tüm bunlara ilişkin olarak dalga boyu ve odak uzaklığındaki artış, Rayleigh uzunluğunu doğrudan etkilemekte ve ölçüm hata oranlarıyla arasındaki artış sebebiyle ölçümlerimizin tutarlılığını arttırmaktadır. Bu ifadenin tam tersi de sistemimiz için geçerli olmaktadır.

Sonuç olarak; lazer güç kaynağından gelen lazer ışığı, kesim kafasından geçerek beamwatch ışın ölçüm cihazı üzerine odaklanmıştır. Ardından ışın karakterizasyonu, stabilitesi ve yüzey alana düşen ışık miktarı sapmaları göz önünde bulundurularak ölçümler alınmıştır. Son olarak ise görsellerde de ifade edildiği gibi filtrelerden geçirilmiş ve odak noktası belirlenmiştir. Gömülü bir ağaç yapısı ile odak noktaları yazdırılıp otomatik bir sistem dahilinde lazer metal işleme tezgahlarında kullanılabilir bir yapıya dönüştürülmüştür.

KAYNAKLAR

- Antt, M., Villeb, H., Jormab, 2012.** V. Precise online auto-focus system in high speed laser micromachining applications. *Phys. Procedia*, 39, 807–813.
- BeamWatch, 2019.** High-Power-Beam-Profiling. <https://www.ophiropt.com/laser--measurement/beam-profilers/products/High-Power-Beam-Profiling/BeamWatch/>- (Eriřim tarihi: 18 řubat 2019).
- Gbur, G. Visser, 2003.** T.D. Can spatial coherence effects produce a local minimum of intensity at focus? *Opt. Lett.*, 28, 1627–1629.
- Hsu, W.Y., Lee, C.S., Chen, P.J., Chen, N.T., Chen, F.Z., Yu, Z.R., Kuo, C.H., Hwang, 2009.** C.H. Development of the fast astigmatic auto-focus microscope system. *Meas. Sci. Technol.*, 20, 045902.
- Joglekar, A.P., Liu, H., Spooner, G.J., Meyhöfer, E., Mourou, G., 2003.** Hunt, A.J. A study of the deterministic character of optical damage by femtosecond laser pulses and applications to nanomachining. *Appl. Phys. B*, 77, 25–30.
- Lazerpol, 2015.** Lazer Teknolojisinin Tarihçesi. <https://lazerpol.com/lazer-kesimin-tarihcesi/>-(Eriřim tarihi: 09 Haziran 2019).
- Lerman, G.M., Levy, 2007.** U. Tight focusing of spatially variant vector optical fields with elliptical symmetry of linear polarization. *Opt. Lett.*, 32, 2194–2196.
- Liang, Y.Y., Tian, F., Luo, J.B., Yang, 2006.** G.G. Design of high precise focusing system in laser direct writer. *J. Phys. Conf. Ser.* 48, 1031–1036.
- Luo, J., Liang, Y., Yang, 2012.** G. Realization of autofocusing system for laser direct writing on non-planar surfaces. *Rev. Sci. Instrum.*, 83, 053102.
- Nantel, M., Sue-Chu-Lam, K., Grozdanovski, 2003.** D. New autofocusing system for laser micromachining. *Proc. SPIE*, 4976, 582–592.
- RP-Photonics, 2016.** Lazer Çalışma Prensibi ve Yüzey Alana Düşen Enerji Hesabı. https://www.rp-photonics.com/m2_factor.html/-(Eriřim tarihi: 11 Kasım 2019).
- Steen, W.M., Mazumder, 2010.** *J. Laser Material Processing*, Springer, New York, NY, USA, Chapter 2.
- Tuba, 2014.** Microsoft PowerPoint - bolum-15-optoelektronikdevreelemanlari-1. https://acikders.tuba.gov.tr/pluginfile.php/1077/mod_resource/content/1/Bolum-15.pdf/-(Eriřim tarihi: 17 Mayıs 2019).
- Yang, G.G., Shen, 1998.** Y. Laser direct writing system and its lithography properties. *Proc. SPIE*, 3550, 409–418.

Zhan, Q., Leger, 2002. J. Focus shaping using cylindrical vector beams. *Opt Express*, 10, 324–331.

Zhang, Z. Pu, J. Wang, 2008. X. Focusing of partially coherent Bessel-Gaussian beams through a high-numerical-aperture objective. *Opt. Lett.*, 33, 49–51.

EKLER

EK 8 TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aydoğan ATAKAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 22.03.1992

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Ahmet Vefik Paşa Anadolu Lisesi

Lisans : Uludağ Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Durmazlar Mak. San. Ltd .Şti.

İletişim (e-posta) : aydogan_atakan@hotmail.com

Yayınları :