

**520 NM DALGA BOYLU HARİCİ OPTİK GERİ BESLEMELİ
DİYOT LAZER SİSTEMİ İÇİN ÇİZGİSEL GEOMETRİLİ HACİM
FAZLI KİRİNİM IZGARALI LAZER KOVUĞU TASARLANMASI,
KURULMASI ve ÇALIŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZÜLFÜ DOĞAN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANOTEKNOLOJİ ve İLERİ MALZEMELER
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
HAZİRAN - 2019**

**520 NM DALGA BOYLU HARİCİ OPTİK GERİ BESLEMELİ
DİYOT LAZER SİSTEMİ İÇİN ÇİZGİSEL GEOMETRİLİ HACİM
FAZLI KIRINIM IZGARALI LAZER KOVUĞU TASARLANMASI,
KURULMASI ve ÇALIŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZÜLFÜ DOĞAN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANOTEKNOLOJİ ve İLERİ MALZEMELER
ANABİLİM DALI**

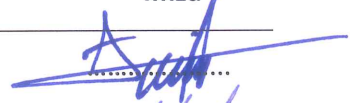


Danışman

Dr. Öğretim Üyesi İbrahim KÜÇÜKKARA

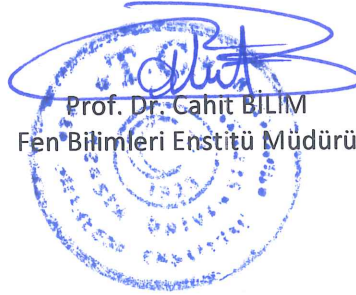
**MERSİN
HAZİRAN - 2019**

ONAY

Zülfü DOĞAN tarafından Dr. Öğretim Üyesi İbrahim KÜÇÜKKARA danışmanlığında hazırlanan "520nm Dalga Boylu Harici Optik Geri Beslemeli Diyot Lazer Sistemi İçin Çizgisel Geometrilili Hacim Fazlı Kırınım Izgaralı Lazer Kovuğu Tasarlanması, Kurulması ve Çalıştırılması" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 28 Haziran 2019 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Prof.Dr. A. Murat GİZİR	
Üye	Doç.Dr. Muharrem KUNDURACI	
Üye	Dr.Öğr.Üyesi İbrahim KÜÇÜKKARA	

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19.07.2019 tarih ve 2019.29/954 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara 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 ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi

beyan ederim.

ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

28 Haziran 2019 / 28 June 2019

İmza / Signature



Zülfü DOĞAN

ÖZET

520 NM DALGA BOYLU HARİCİ OPTİK GERİ BESLEMELİ DİYOT LAZER SİSTEMİ İÇİN ÇİZGİSEL GEOMETRİLİ HACİM FAZLI KIRINIM IZGARALI LAZER KOVUĞU TASARLANMASI, KURULMASI ve ÇALIŞTIRILMASI

Bu tezde yer alan konuda; oda sıcaklığında Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarası (HFHKİ) kullanarak harici optik salıncılı diyot lazer sistemi, tasarlamak, kurmak, çalıştırmak ve test etmektir. Ayrıca kurulacak olan lazer sisteminin, birçok deneysel araştırma çalışmalarında (Yüksek Çözünürlük Spektroskopisi, Atom Fiziği, Kuantum Girişimi) ve farklı disiplinlerde (Kimya, Biyoloji, Elektrik ve Makine Mühendisliği, Malzeme Bilimi vb.) kullanılması amaçlanmıştır. Lazerin ilk çalıştırıldığı 1960'lı yılların başlarından itibaren yarı-iletken lazerler biliniyordu. Ancak kriyojenik sıcaklıklarda çalıştırılabiliyorlardı ve pratik kullanımlar için uygun değildiler. 1980'li yılların başında oda sıcaklığında çalışabilen ilk diyot lazer ticari kullanıma uygun hale getirildi ve fiber-optik haberleşmede kullanılmaya başlandı. Bant genişliğinin azaltılarak atom ve spektroskopi araştırmalarında kullanımı fikri 1990'lı yılların başından itibaren yoğunlaştı. Fakat tarama aralığı oldukça sınırlı ve bant genişliğinde yeterli değildi. Diyot lazerlerin önüne frekans seçici eleman koyulur ve bu sayede harici bir kovuk oluşturularak bant genişliğinin daraltılması sağlanır. Böyle sistemlere Harici Optik Salıncılı Diyot Lazer (HOSDL) sistemleri olarak isimlendirilir. HOSDL için yapılan yenilikler deney sırasında olumsuzluklara yol açmaktadır. Bu olumsuzlukların en önemlileri; tarama sırasında kip atlaması ve ışın sapmasıdır. Bu tezde, HOSDL sistemlerinin kritik zayıf yönlerini geliştirmek için bu çalışma konusu belirlenmiştir. Bu sistemde geliştirmek istediğimiz yönler; frekans bant genişliğinin daraltılması, dalga boyu tarama aralığının genişletilmesi, dalga boyunun kararlı hale getirilmesidir. Tasarımımız sayesinde yukarıdaki sorunlar hakkında da iyileşme sağlayacak şekilde bir yöntem izlemekteyiz. Ayrıca tasarladığımız platform üzerine kurulacak harici kovuk için yeni bir frekans seçici eleman olan Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgara kullanılacaktır. Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgaralar geçtiğimiz yıllarda litografik tekniklerin (lazer litografisi, elektron-ışın litografisi vb.) geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarasının frekans seçici eleman olarak kullanma amacımız; Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgaraların 0.1 nm altındaki değerlerde spektral cevaplar verebilmesi ve 0.10'ın altındaki açı değerlerine karşılık gelen alanı tarayabilme özelliğine sahip olabilmesidir. Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgaralar ışığın neredeyse %100'ünü kırınıma uğratabilmesi, çok dar bant genişliğine ve tam merkezi frekans değerine sahip bir tayfsal filtre gibi davranmaktadırlar. Ayrıca bu özellikler literatüre konu olmuş birçok uygulama için de çok büyük önem arz etmektedir. Bu uygulamalara örnek olarak; spektral analiz alanında farklı dalga boylu ışıkların birleştirilmesi, sinyal algılaması ve güçlerinin birleştirilmesi, dalga boyu seçicinin yönelimi ve anahtarlanması vb. gibi örneklemeler yapılabilir. Bu özelliklerin sistem içerisinde iyileştirme yapabileceği bir diğer sorun da ışığın sapması sorunudur. Sistem içerisinde Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgara frekans seçici eleman kullanılarak tarama sırasındaki ışın sapmasının da önüne geçileceği öngörülmektedir. Çalışmanın sonuçlanmasıyla oluşturulacak olan sistem; optik telekomünikasyon alanında, lazer spektroskopisi aracılığıyla çevre, biyoloji, toksikoloji ve tıp araştırmalarında görev alacağı öngörülmektedir. Ayrıca bu türlü araştırmalarda maliyetin önemli bir kısmını oluşturan lazer kaynağı, kendi imkânlarımızla yapılmış olacaktır. Böylelikle bu konularla ilgili bundan sonraki projelerin proje maliyetlerinin düşürüleceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atom Fiziği, Fizik, Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgara (HFHKİ), Harici Optik Salıncılı Diyot Lazer (HOSDL), Kuantum Etkileşim, Lazer Fiziği

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi İbrahim KÜÇÜKKARA, Mersin Üniversitesi, Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

DESIGNING, CONSTRUCTING AND WORKING A LASER BEAM WITH A DIFFRACTION GRATING WITH VOLUME PHASE WITH LINEAR GEOMETRY FOR 520 NM WAVELENGTH EXTERNAL OPTICAL FEEDBACK DIODE LASER SYSTEM

We are aiming at designing, constructing, running and testing a tunable External Cavity Diode Laser (ECDL) system by using a VPHG working at room temperature. The system planned to be constructed is used in various research fields; high resolution spectroscopy, atomic physics, quantum interference and other applied disciplines (laser chemistry, biology, electrical and mechanical engineering etc.) Semiconductor diode lasers were known since the first laser shone in 1960. However, they are not suitable for practical use because they need for cryogenic temperature environment to be run. In the beginning of 1980s the first commercial laser diode was run at the room temperature that was manufactured for fibre-optic telecommunication industry and optical data storage. The idea of reducing the bandwidth and using it in the atomic and spectroscopy experiments as a coherent source was at the beginning of 1990s. However, the tuning capacity was very restricted and the bandwidth was not enough for the accurate atomic and spectroscopic research. Frequency selective element is placed in front of diode laser and thus it is provided that it is narrowed of bandwidth by producing external cavity. These kinds of systems are named as External Cavity Diode Laser (ECDL) Systems. Making innovations for ECDL cause problems during the experiment. The most important types of these problems are beam scattering and mode hopping during the scanning so in presented project, this working topic is determined for improving critical weaknesses of ECDL systems. Aspects we want to improve in this system are narrowed frequency bandwidth, expanded tuning range scanning wavelength and stabilized wavelength. Due to our design, we follow a method will be able to recovery about above problems. Also VPHG as a new frequency selective will be used for external cavity will be constructed on our platform. In recent years, VPHGs has developed with improving lithography technics (laser lithography, electron-beam lithography etc.). Our aim using VPHG as a frequency selective element is that VPHGs can give spectral response at level below 0.1 nm and have scanning feature field corresponding to angel levels below 0.1°. VPHGs behave as a spectral filter having diffracting efficiency approximately %100 of beam, narrow bandwidth and central frequency level. Also these features are important for many applications being mentioned to literature. Some of these applications can be given such as combining beams with different wavelength at spectral analysis field, rotating and switching of wavelength selective, etc. The other problem will be able to improve these features in this system is beam scattering problem. It is foreseen that scattering beam during the scanning will be prevented by using VPHG in this system. It is foreseen that the system presented in project will participated in optic telecommunication field, environment-biology-toxicology and medicine investigations via laser spectroscopy. Also at these kinds of investigations, laser source formed an important piece of cost will be producing with our opportunities. In this way it is foreseen that project costs of next projects related with these subjects will be reduced.

Key Words: Atom Physics, Physics, Volume Phase Holographic Grating (VPHG), External Cavity Diode Laser (ECDL), Quantum Manipulate, Laser Physics

Advisor: Assoc. Prof. İbrahim KÜÇÜKKARA, Department of Nanotechnology and Advanced Materials, University of Mersin, Mersin.

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın konusunu veren, deney düzeneğinin hazırlanması, ölçülerin alınması ve tezin yazılıőında yardımcı olan Dr. Öğretim Üyesi İbrahim KÜÇÜKKARA'ya ve yüksek lisans tez savunma sınavı jüri üyelerim Prof. Dr. Murat GİZİR'e ve Doç. Dr. Muharrem KUNDURACIYA'ya, teşekkür ederim. Ayrıca benim için değerli olan ve bitirme çalışmam boyunca gerek maddi gerekse manevi desteklerini esirgemeyen annem Makbule DOĞAN'a ve babam Feyzi DOĞAN'a, her zaman yanımda olan abim Özgür DOĞAN'a, her konuda bana destek olan ablalarım Azize DOĞAN'a ve Pınar DOĞAN'a, laboratuvarında her türlü desteği sağlayan değerli büyüğüm Sabit DEDE'ye ve bu çalışmanın hayata geçirilmesinde gerekli desteği sağlayan üniversitemizin BAP birimine en içten sevgi, minnet ve teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	ii
ONAY	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR ve SİMGELER	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1. Işığın Doğası	3
2.2. Lazer Işığının Özellikleri	8
2.2.1. Tek Renklilik	8
2.2.2. Eş Evrelilik	9
2.2.3. Parlaklık	9
2.2.4. Yönlenebilirlik	10
2.3. Lazer İşlemi	10
2.3.1. Radyasyon Madde Etkileşimi	12
2.3.2. Einstein Bağıntısı	13
2.3.3. Optik Geri Besleme	14
2.3.4. Nüfus Tersinmesi	16
2.4. Lazerin Sınıflandırılması	19
2.4.1. Katı Hal Lazerleri	20
2.4.2. Boya Lazerleri	20
2.4.3. Gaz Lazerleri	20
2.4.4. Yarı İletken Diyot Lazerler	21
2.5. Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarası	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM	25
3.1. Harici Optik Salıncılı Diyot Lazer Sistemi	25
3.1.1. Sistemin Tasarlanması ve Kurulması	25
3.1.1.1. Lazer Sistemi	26
3.1.1.2. Frekans Seçici Eleman Sistemi	27
3.1.1.3. Montaj Platformu	28
3.2. Sistemin Çalıştırılması ve Test Edilmesi	29
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	34
4.1. Frekans Seçici Elemanın Açısının Değişimine Bağlı Olarak Değişen Dalga Boyu Tarama Aralığının İncelenmesi	34
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	43

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.4.1. Lazer tiplerinin ürettikleri dalga boyu ve çıkış gücü	20



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Young'ın çift yarıқта girişim deneyi	4
Şekil 2.2. Fotoelektrik olay	6
Şekil 2.3. Yakut lazerin yapısı	11
Şekil 2.4. Lazeri oluşturan temel elemanlar	12
Şekil 2.5. Harici optik geri beslemeli lazer diyot	14
Şekil 2.6. Lazerlerde kullanılan salıncı ayna çeşitleri	15
Şekil 2.7. İki enerjili sistemin ısı dengedeki nüfus durumu	16
Şekil 2.8. İki enerji seviyeli sistemin nüfus tersinmesi sonrası nüfusu	17
Şekil 2.9. Üç enerji seviyeli sistemde pompalama olmadan önceki Boltzman dağılımı	18
Şekil 2.10. Üç enerji seviyeli sistemde pompalama olduktan sonraki Boltzman dağılımı	19
Şekil 2.11. a) Littrow düzenlemeleri, b) Littman-Metcalf düzenlemeleri	22
Şekil 2.12. a) Klasik yüzey kabartmalı ızgara, b) Hacim fazlı holografik geçirgen ızgara	23
Şekil 3.1. Tasarlanan deney düzeneği	26
Şekil 3.2. Lazer sistemi	26
Şekil 3.3. Frekans seçici eleman sistemi	27
Şekil 3.4. Montaj platformu	28
Şekil 3.5. Deney düzeneğine ait geometri	29
Şekil 3.6. Kurulan deney düzeneğinin genel görünümü (a- Yandan görünüm, b-Üstten görünüm)	29
Şekil 3.7. Deney aparatları	30
Şekil 3.8. Deney düzeneğindeki elemanlar arasındaki mesafe	31
Şekil 3.9. ITC 510 Lazer kontrol ünitesi	32
Şekil 3.10. Optik güç ölçer	32
Şekil 4.1. Dalga boyu tarama aralığının birinci değeri	34
Şekil 4.2. Frekans seçici elemanın -5° döndürülmesiyle, lazer ışık dalga boyunun lazer ışık şiddetine karşılık gelen değişimi	35
Şekil 4.3. Dalga boyu tarama aralığının ikinci değeri	35
Şekil 4.4. Frekans seçici elemanın 2° döndürülmesiyle, lazer ışık şiddetinin lazer ışık dalga boyuna karşılık gelen değişimi	36
Şekil 4.5. Dalga boyu tarama aralığının ortanca değeri	36
Şekil 4.6. Frekans seçici elemanın 358.50° döndürülmesiyle, lazer ışık şiddetinin lazer ışık dalga boyuna karşılık gelen değişimi	37
Şekil 4.7. Frekans seçici elemanın iki uç sınır değerlerinin karşılaştırılması	38
Şekil 4.8. Frekans seçici elemanın üç farklı değerlerinin karşılaştırılması	38
Şekil 4.9. Dalga boyu genişliği	39

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
ECDL	External Cavity Diode Laser
HFHKL	Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgara
HOSDL	Harici Optik Salıncılı Diyot Lazer
VPHG	Volume Phase Holographic Grating



1. GİRİŞ

Diyot lazerler ilk olarak 1962'de General Electric (GE) ve International Business Machines (IBM) şirketlerine ait laboratuvarlarda çalışılmıştır. Bu lazerlerin çalışabilmesi için çok düşük sıcaklıklara inmek gerekliydi ve büyük hacimli lazerlerdi. Oda sıcaklığında ve sürekli ısıya yapma özellikli ilk diyot lazer 1970 yılında Bell firmasının laboratuvarında çalıştırıldı [1,2].

1980'li yıllarda harici optik salıncılı diyot lazerler alanında önemli çalışmalar British Telecom (BT) ve AT&T Bell firmaların laboratuvarlarında yapılmaya başlandı. Elektronik haberleşme alanındaki gelişmeler bu firmaların eş evreli optik haberleşme sistemi alanında çalışma yoğunluğu ile yükselişe geçti. **Harici Optik Salıncılı Diyot Lazer (HOSDL)** sistemleri ile ilgili ilk makale Fleming ve Moradian'a ait ve 1981 yılında yayınlandı [3]. 1980'li yılların sonlarına doğru gelindiğinde ise HOSDL sistemlerinin spektroskopi ile ilgili çalışmaların ve ticari optik haberleşme sistemlerinin vazgeçilmez, sürekli gelişen ve gelecek vadeden test elemanları arasına girdi [3].

1990'lı yılların başında HOSDL sisteminin dar bant genişliğinde ışıma yapma özelliği, diğer lazer türlerine üstünlük sağlaması ve hassas atom-lazer etkileşmeleri ile ilgili araştırmalarda tercih edilen lazer türü haline getirdi [4]. Gelecekte malzeme bilimi, nanoteknoloji ve tek molekül spektroskopisi gibi yüksek teknolojinin sınırlarını zorlayan çalışmalarda HOSDL sistemlerinin daha da ön plana çıkması öngörülmektedir [5,6].

Littrow ve Littman-Metcalf yöntemi ile şekillendirilmiş HOSDL sistemlerinde, kırınım ızgaralarının görevi dalga boyunun seçimini yapmaktır [7,8]. Bu lazer çeşitleri yüksek hassasiyette lazerler olup mekanik ve titreşim hassasiyeti gerektiren lazer sistemleridir. Bu yüzden sistem içerisine yerleştirilecek olan hareketli tutucular iyi ayarlanmalıdır. Özellikle kırınım ızgarası veya geri besleme için yaylı kinematik tutucu kullanıldığında, mekanik ve titreşim hassasiyeti daha da artmaktadır [9].

HOSDL sistemlerinin harici geri beslenme kaynaklarından bazıları şunlardır: Geçirimli kırınım ızgarası, yansıtıcı kırınım ızgarası, Fiber-Bragg kırınım ızgarası ve **Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarası (HFHKI)**. Bu tezde konu olarak **Volume Phase Holographic Grating (VPHG)** olacaktır. HFHKI'lar eş fazlı iki alan arasındaki girişim deseninin 3-boyutlu resmidir [10]. Üç boyut karakteri olması; kırıcılık etkisinin yüksek oluşu, aynı anda aynı alanı kaplama özelliği, çok katlı bulunabilmeyi sağlamaktadır. HFHKI ince ve kalın malzemelerden üretilmektedir ve kalın malzemedeki HFHKI'lar de Bragg seçiciliği görülmüştür [11]. Kogelnik kalın hologramlar üzerine çiftlenmiş bir dalga analizi ile çalışmalar yapmıştır [12]. Çalışmalarında yüksek kırınım etkisinin başarılması gereken önemli bir kriter olduğunu görmüş ve hologram yapımında kullanılacak malzemenin kırıcılık indisine sahip, kaybı minimum, absorpsiyon deseni olmayan...

özelliklere sahip olması gerektirdiğini belirlemiştir. HFHKI'lar hemen hemen %100 kırıcılık etkili, çok dar bant genişlikli ve tam merkezi frekanslı tayfsal filtre gibi davranış göstermektedir [13].

HFHKI'lar Bragg yansıtıcılar olup, bu ızgaralar dış kaynaklı kirliliklere karşı korumalıdır. Iızgaralar için önemli bir diğer kriter de spektral çözünürlüktür. HFHKI'ların spektral çözünürlüğü dalga boyu ile doğru orantılı olup, etkileşim mesafesi ile ters orantılıdır [13,14].

HFHKI'lar klasik kırınım ızgaralarından farklı olarak ortamın kırıcılık indisine bağlı değildirler. Bu durum HFHKI'ların geri beslemeyi herhangi bir vakum altında veya yalıtıma gereksinim duymaksızın kendi tarafından sürekli ve daha uzun süre gerçekleştirmesine olanak sağlar [15,16].



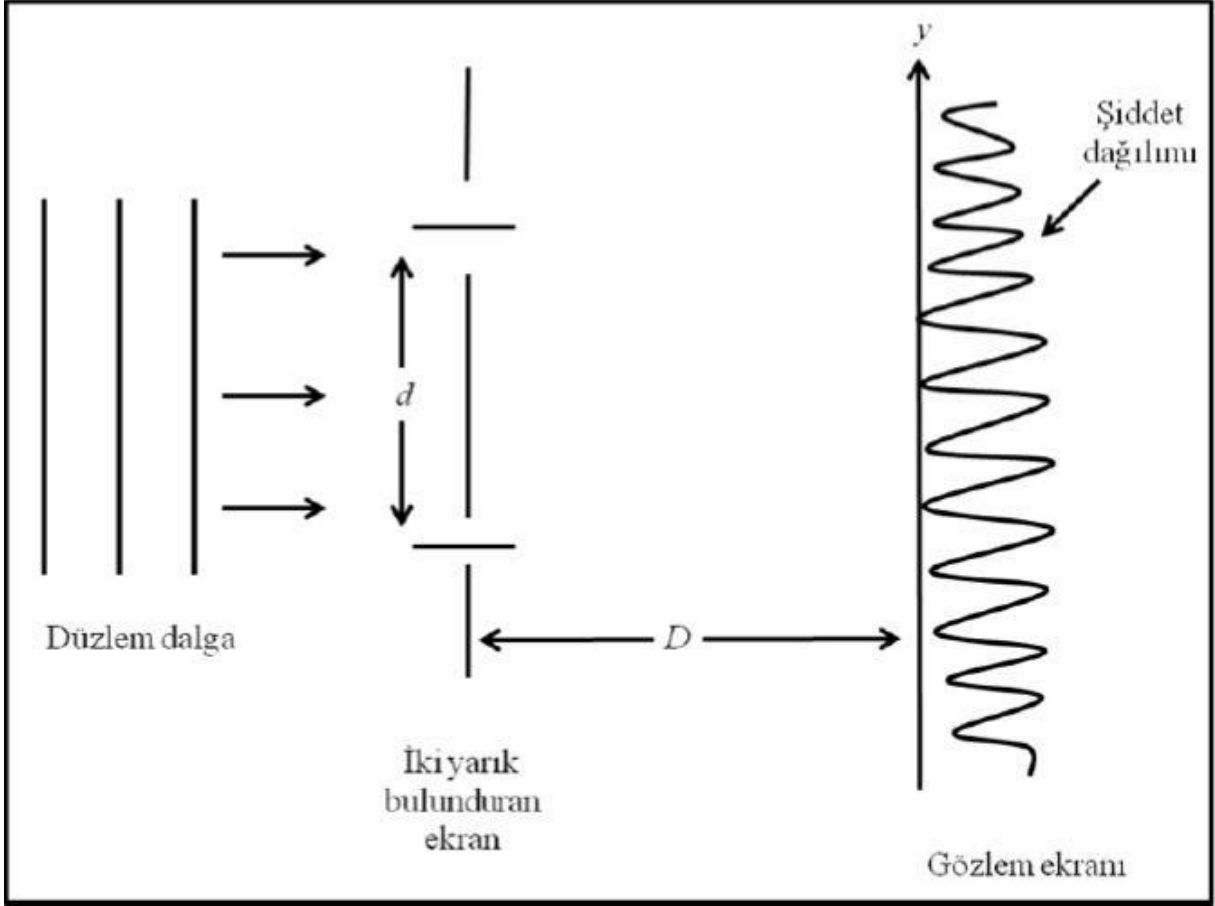
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Işığın Doğası

Işığın doğası ve yapısı çok eski zamanlardan günümüze araştırma konusu olmuştur. Işık ile ilgili ortaya çeşitli teoriler atılmıştır. Bu teorilerden bazılarında ışık parçacık özellik taşıdığı, diğer bir teoriye göre de ışığın dalga formunda olduğuydu. Daha sonraları ortaya atılan modern teorilere göre de ışığın her iki teoriyi de kapsadığı anlaşılmıştır. İlk olarak Yunanlılar tarafından ışığın bir parçacık olduğu görüşü ortaya atılmıştır. Işık kaynağından çıkan ışığın, gözlemcinin gözüne çarparak cismin algılanmasını sağlayan küçük parçacıklı yapılar olduğu düşünülmüştü. Bu düşünceden yola çıkarak Newton, parçacıklı yapıların ışığın yansımaları ve kırılması olaylarını daha net açıklamada kullandı. Işık hızı "c" harfi ile gösterilir [17].

17. yüzyılda Huygens, ışığın dalga karakterini açıklamak için kırılma ve yansıma özelliklerinden faydalandı. Huygens'in ışık hakkında ileri sürdüğü dalga teorisine göre ışık dalgaları bir ortamda yayılırken dalganın ulaştığı her bir nokta yeni bir dalga kaynağı gibi davranır ve yeni dalgalar yayınlar. Huygens ilkesi adı verilen bu kabul ışığın yayılması, yansımaları, kırılması, girişim ve kırınım olaylarını başarılı bir şekilde açıklayabilmektedir. Dalga yüzeyi kavramını göz önüne alarak Huygens ilkesi şu şekilde ifade edilir. "Bir kaynaktan yayınlanan dalgaların dalga yüzeyi üzerindeki her nokta ikinci kaynak adı verilen yeni bir küresel dalga merkezi gibi davranır. Bu ikinci kaynakların verdiği küresel dalga yüzeylerinin zarfı bir sonraki dalga yüzeyini oluşturur." Ancak bu teorisin kabul görmesi zaman aldı. Aynı dönemlerde Grimaldi tarafından ışığın kırınımını kanıtlayan deneyler bazı bilim adamları tarafından kabul edilmeyip, Newton'un parçacık teorisi kabul görmüştür [18].

İlk olarak İngiliz fizikçi Thomas Young, 1801 yılında ışık demetlerinin girişim yapabileceklerini ispat ederek ışığın dalga doğasını net bir biçimde ifade etti. İki kaynak yakınlarındaki, belirli bir noktada bulunan ışık dalgalarının yıkıcı girişim etkisiyle birbirleri söndürmesiydi. Bu davranışın açıklaması parçacık teorisi ile yapılamıyordu. Çünkü iki veya daha çok parçacığın bir araya gelerek birbirlerini yok edebilecekleri bir alternatif yoktu. Bu sebepten dolayı, Young deneyinde sözü edilen girişim olayının daha açık anlaşılabilmesi Huygens ilkesi ile mümkündür. Daha sonraları Fresnel ve Foucault gerçekleştirdikleri deneylerle parçacık teorisinin yetersizliğini ispatlamış oldu [19].



Şekil 2.1. Young'ın çift yarıktaki girişim deneyi [20]

Tek renkli bir ışık kaynağının önüne konulan perdedeki delikten geçen birbirlerine çok yakın ışınlar, D aralığına aynı uzaklıkta olan iki deliğe düşerler. Bunun sonucunda bu deliklerde aynı fazda ve aynı frekanslı iki ışık kaynağı oluştururlar. Kaynaklardan çıkan dalgalar girişim deseni oluştururlar. Kaynakların uzağındaki bulunan perde üzerinde girişim saçakları olarak bilinen aydınlık ve karanlık saçaklar görülürler [21].

1873 yılında Maxwell, ışığın çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalga formunda ve yaklaşık olarak hızının 3.10^8 m/s olduğunu görüşünü savunmuştur. Bir diğer ifadeyle bunun anlamı; deneysel hata sınırlarında ışık hızına eşitti. 1887'de Hertz yaptığı çalışmalar neticesinde elektromanyetik dalga oluşturmayı ve algılamayı başararak, Maxwell'in teorisini deneysel olarak desteklemiştir. Ayrıca bu dalgaların bütün karakteristik özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Serbest uzayda elektromanyetik dalgaların hızı [21];

$$c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (1)$$

ile ifade edilir. Burada; μ_0 : manyetik geçirgenlik, ϵ_0 : elektriksel geçirgenliktir.

Elektromanyetik dalganın frekansı boşluktaki değerini dielektrik ortamlarda korur. Yani fotonun enerjisinde değişim olmaz. En basit yapıdaki elektromanyetik dalga harmonik, kutuplanmış bir dalgadır.

Elektromanyetik dalgaların özellikleri [22]:

- Birbirlerine dik elektrik ve manyetik alanlardan oluşan enine dalgalardır.
- Kutuplanabilir özellikli olup, manyetik alanda sapmaya uğramaz.
- Kırılmaya uğradıklarından, buldukları ortamda hızları değişir. Boşluktaki hızı,

ışık hızına eşittir ($c=299792452$ m/s).

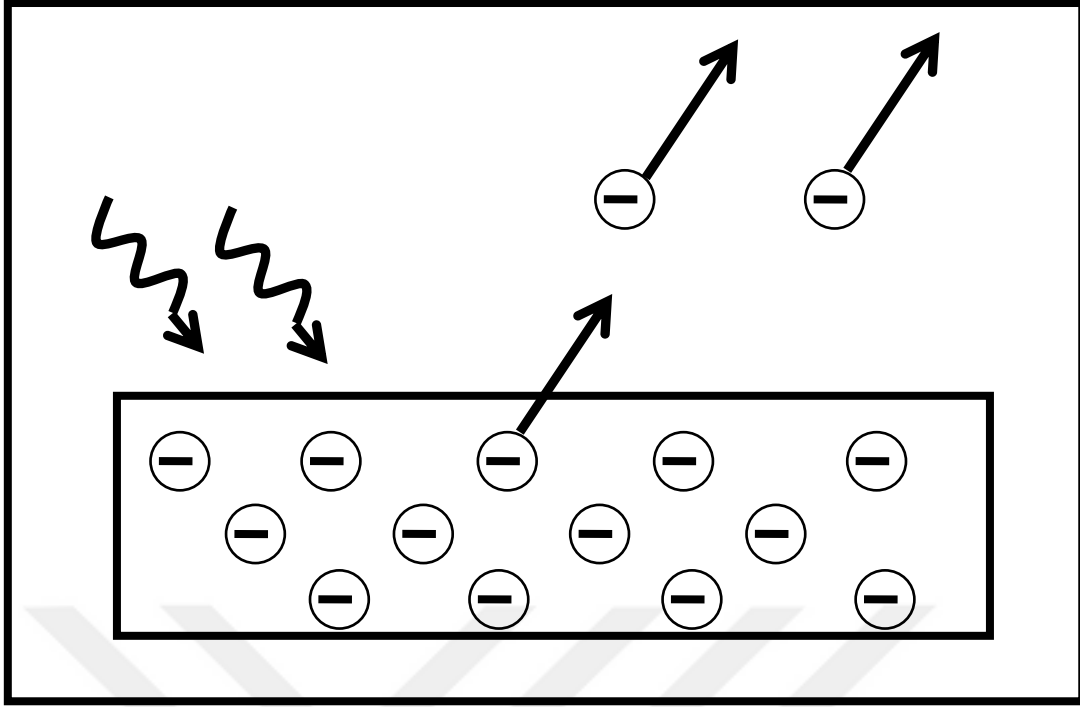
- Enerji taşırlar, taşıdıkları enerjiyi çok uzun menzillere iletebilirler.
- Dalganın frekansı ve dalga boyu ters orantılıdır. Küçük frekanslı dalgalar dalga

teorisinin varsayımına göre, yüksek frekanslı dalgalar ise tanecik teorisinin yaklaşımına göre davranırlar.

Elektromanyetik dalgaları, dalga boyu veya frekansa göre sınıflandırmak mümkündür. Dalga boyunun farklı olması ve frekansın farklı olması anlamını taşır. Elektromanyetik spektrumu oluşturan dalgalar şu şekilde sınıflandırılır. *Radyofrekans dalgaları, mikrodalgalar, kırmızıötesi (infrared) radyasyonlar (IR), görünür ışık, morötesi (ultraviyole) radyasyonlar, x-ışınları, Y-ışınları.*

Maxwell'in çalışmaları neticesinde, elektromanyetik ışıma bir dalga olayı olduğu kesinlik kazandı. Işımanın tanecik veya parçacık özelliklerini gösteren diğer olaylar şu şekilde sıralanabilir: *fotoelektrik olay, siyah cisim ışıması, Compton olayı.*

H. Hertz 1887'de elektromanyetik dalgaların özelliklerini araştırırken, metal üzerine düşen mor ötesi ışığın iki elektron arasındaki ışığın çıkışını kolaylaştırdığını keşfetti. Fotoelektrik olay, absorpsiyon ve emisyon olaylarını açıklamak için, ışığın dalga özelliği yetersiz kalır ve tanecik özelliği tanımlanmıştır. Buna göre elektromanyetik ışıma enerji taşıyan ve foton denilen taneciklerden oluşmuştur. Metal yüzeyine gelen ışık elektron koparır. Buna **fotoelektrik olay** denir. Fotoelektrik olayı, klasik fizik ile açıklamak mümkün değildir.



Şekil 2.2. Fotoelektrik olay [23]

Fotoelektrik olay gözlemlerinde;

- Gelen ışığın şiddeti arttıkça kopan elektron sayısı artar.
- Gelen ışığın frekansı arttıkça kopan elektronların kinetik enerjisi artar;

elektronların kinetik enerjisi ışığın şiddetine bağlı değildir.

Fotoelektrik olaya göre ışık tanecik gibi davranır.

20. yüzyılın başında Planck, sıcak cisimlerden yayılan ışınımı anlamak için ışığın parçacık teorisini tekrar ele aldı. Cisimler atomlardan meydana gelmiştir ve titreşen atomlar ışımaya yaparlar. Herhangi bir sıcaklıktaki bir cismin elektromanyetik ışımaya yaptığı bilinir. Buna **termal ışımaya** denir. Işınımın spektrumu, sıcaklığa ve malzemenin özelliklerine bağlıdır. Düşük sıcaklıklarda yayılan enerji, çoğu düşük frekansta kırmızı altı ışınımı biçimindedir. Ancak sıcaklık artarken yüksek frekanslarda daha fazla enerji yayılır [24]. Isıtılan bir cisim önce kırmızı, sonra koyu kırmızı, daha yüksek sıcaklıkta beyaz, çok daha yüksek sıcaklıklarda maviye dönüşür. Yani ısıtılan cismin frekansı artar, dalga boyu küçülür.

İdeal bir cisim, tüm frekanslarda absorpsiyon ve emisyon yapan cisimdir. Buna **siyah cisim** denir. Siyah cisim üzerine düşen ışının tamamını soğuran bir sistemdir. Siyah cismin yaydığı elektromanyetik ışımaya da **siyah cisim ışımaya** denir.

Cisimler belirli bir yüksek sıcaklığa kadar ısıtıldığında, tüm dalga boylarında elektromanyetik ışımaya yapmaya başlar. Bir diğer deyişle, mutlak sıfırdan yüksek sıcaklıktaki bütün cisimler elektromanyetik ışımaya yaparlar. Bu da ısı enerjisini doğurur.

Bir katı cisim ısıtıldığında, o cismin; ışımaya şiddeti artar ve dalga boyu daha küçük dalga boyuna kayar. Klasik fizik bu gözlemi açıklayamaz çünkü klasik fizik, siyah cisim ışımalarını sadece büyük dalga boylarında açıklayabilir.

Planck, akkor halindeki katıların yaydığı ışınları incelemiştir. Planck, kara cisim ışımalarının rezonatörler tarafından yayıldığını öne sürdü. Buna göre; Rezonatörler atomik boyutta yüklü titreşicilerdi ve rezonatörler sadece belirli değerlerde enerjiler yayabilirdi.

Anahtar nokta, enerji düzeylerinin kuantize olmuş olmasıdır. Yani ancak belirli ve kesikli değerler alabilmesidir. Enerjinin kuantize olması ilkesine dayanarak Planck yasası; dalga boyuna bağlı olarak ve frekansın fonksiyonu olarak iki şekilde yazılabilir.

Siyah cisim ideal bir cisimdir. Şöyle ki;

1. Üzerine düşen bütün ışıkları absorblar.
2. Her dalga boyunda ışımaya yaparlar.
3. Işıma şiddeti ve spektrumu sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık arttıkça dalga boyu artar.

Kara cisim, bütün dalga boylarındaki ışımaya absorblayabilen ideal bir cisimdir. İçi oyuk bir cisim ideal absorblamaya iyi bir örnektir.

Elektromanyetik ışınımın tanecik doğasını ortaya koyan bir başka deney 1923 yılında Compton tarafından yapıldı. Compton bu çalışmada bir deneysel bloktan x-ışınlarının saçıldığını inceledi. Compton olayı; ışığın kuantum teorisi, durgun kütleli bir parçacığın bir fotonla çarpışması şeklinde düşünülür. Compton olayı bir γ -ışının çok zayıf olarak bağlı bir elektronla çarpışmasıdır. Gelen foton, gelen fotona kıyasla çok daha zayıf veya serbest bir elektron ile çarpışarak enerjisinin bir kısmını kaybeder ve geliş doğrultusundan sapar. Compton olayı; elektronun bağlanma enerjisinin, gelen fotonun enerjisinin yanında ihmal edilecek kadar küçük olduğu durumlarda baskın olarak meydana gelir. Compton olayı dış tabaka elektronlarında daha baskındır.

19. yüzyılın sonlarına kadar geçen zamanda elektromanyetik teori ışık olaylarını açıklayabilen en doğru teori olarak kabul görmüştü. Ancak 20. yüzyılın başlarında keşfedilen fotoelektrik olay, siyah cisim ışımaları, Compton olayı ve x-ışınları gibi olayları açıklamada Maxwell'in elektromanyetik teorisi tek başına yeterli olmamıştır. Bu olaylara en iyi açıklamayı getirebilmek adına yapılan çalışmalar sonucunda Kuantum teorisi oluşmuştur [25]. Kuantum teorisine göre ışık, foton adı verilen enerji paketlerinden oluşur. Bir ışık fotonunun enerjisi: $h = 6.62 \times 10^{-34}$ j.sn Planck sabiti, ν ise ışığın frekansı olmak üzere $h\nu$ ye eşittir.

Enerji taşıyan fotonların enerjisi:

$$E = h\nu \left(\nu = \frac{c}{\lambda} \text{ olduğundan} \right) E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Işıkla ilgili ortaya atılan bütün teoriler neticesinde ışığın ikili doğaya sahip olduğu sonucu kabul gördü.

1. Işığın dalga karakteri ile olan olaylar (kırılma, yansıma, girişim, kırınım, polarizasyon).
2. Dalga teorisi ile açıklamanın yetersiz olduğu, fakat kuantum teorisinin ışığa verdiği tanecik karakteri ile ilgili olaylardır (fotoelektrik olay, siyah cisim ışıması, compton olayı, x-ışınlarının oluşumu).

Işık hem bir dalga hem de bir parçacık karakterine sahiptir. Kuantum teorisinde ışığın bu iki karakterinin birleştirilmesiyle de Broglie hipotezinin gelişimine katkı sağlamıştır.

2.2. Lazer Işığının Özellikleri

Lazer için teorik temel ilk olarak Einstein tarafından 1916 yılında, atomların ışığı soğurması ve yayımlaması ile ilgili çalışmada öngördüğü uyarılmış yayımlama kavramı ile ortaya çıkmıştır.

Lazeri sıradan ışık kaynaklarından ayıran yaydığı ışığın özellikleridir. Lazer ışığının özellikleri, yayılan radyasyonun dalga boyuna bağlıdır. Işığın dalga boyu ve frekansı birbirleriyle uyum içindedirler. Bu sebepten dolayı diğer ışık kaynaklarından farklı özelliktedir. Sıradan ışık kaynaklarının yaydığı ışık, kaynak atomlarının yayınladığı dalgalar ile oluşur. Bu dalgaların fazları gelişigüzel değerler alır. Bu nedenle sıradan ışık kaynaklarının yaydığı ışık inkoherenttir. Lazer ışığı tek renklidir, eş evrelidir (eş fazlıdır, uyumcudur da denir), sıradan ışık kaynaklarına göre çok daha parlaktır ve bütünlüğü çok fazla bozulmadan yani dağılmadan çok uzun mesafelere gidebilir yani yönlenebilirdir.

2.2.1. Tek Renklilik

Işığın kendine has bir dalga boyu (λ) vardır. Dalga boyu; ışık dalgasının art arda gelen maksimum veya minimumları arasındaki doğrusal uzaklıktır ve birimi uzaklık birimidir (cm, nm). Bir dalganın, kendisini tekrarlayan birimleri arasındaki mesafesi dalga boyu olarak tanımlanır. Enerji seviyelerinin ve dalga boylarının sonlu genişlikleri söz konusudur. Lazer ışığının önemli bir özelliği $\Delta\lambda$ genişliklerinin küçük olmasıdır. Lazer ışınları çok saf renklere sahiptirler. Her renk kendine ait dalga boyuna sahiptir. Bir spesifik dalga boyundan tek bir renk oluşur. Lazer ışın demeti tek bir dalga boyuna sahiptir [26]. Hiçbir ışık tek renkli değildir ancak bu kritere en yakın olan ışık lazer ışığıdır. Bu durum göz önüne alındığında, lazerler büyük ölçüde tek renklidir denilebilir.

2.2.2. Eş Evrelilik

Lazerin bir diğer optiksel önemli özelliği de eş evreli (eş fazlıdır, uyumcudur da denir) oluşudur. Sıradan ışık kaynaklarında ışık yayılımı, atomlar uyarılmadan kendiliğinden yayılım ile gerçekleşir. Bu durum ele alındığında kendiliğinden yayılım ile ışık yayan sıradan ışık kaynakları için eş fazlılık farklı yollarla yapılması mümkündür. Eş fazlılık; ışık kaynağı ve bir delik veya dar bant filtresi kullanılarak elde edilebilir.

Lazer ışığının tabiatı gereği eş fazlılık ve dar bantlı bir ışık çıkışı normaldir. Fotonlar, dalga (faz) formunda yayılırlar. Faz, bir dalga şekli döngüsündeki zamanın bir noktasını ifade eder. Bir foton ile ilişkili dalganın tepesi ya da çukuru, başka bir foton ile ilişkili dalga üzerinde aynı zamanda meydana geldiğinde, fazda oldukları söylenir [27].

Lazer ışın demetini oluşturan her dalga, birbirleriyle uyumlu olduklarında aynı fazda ve aynı dalga boyundadırlar. Ancak günümüzde kullanılan lazerlerden elde edilen ışın demetleri tam olarak uyumlu değildirler. Sıradan ışık kaynaklarına göre kıyaslanırsa uyumlu oldukları görülmektedir.

2.2.3. Parlaklık

Parlaklık, bir lazer ışınının ve genel olarak herhangi bir ışık kaynağının en önemli özelliğidir. Bu özelliği daha iyi kavrayabilmek için, belirli bir optik sistem üzerinden herhangi bir ışık kaynağının bir görüntüsünü oluşturuyorsak ve nesnenin ve görüntünün aynı ortamda olduğunu varsayılır [28].

Orta güçte bir lazer ışını, en parlak diğer ışık kaynaklarından daha büyük mertebeler olan bir parlaklığa sahiptir. Bu, esas olarak lazer ışınının çok yönlü özelliklerinden kaynaklanır. Diğer bir deyişle, bir merceğin odak düzleminde üretilen tepe yoğunluğunun, geleneksel bir kaynağıyla karşılaştırıldığında bir lazer ışını için daha büyük olabileceği anlamına gelir. Böylece, lazer ışınının odaklanmış yoğunluğu çok büyük değerlere ulaşabilir.

Bir kaynaktan gelen ışığın spektral parlaklığı (β_v);

$$\beta_v = P_v / A \Delta\Omega \Delta\nu$$

ya da;

$$\beta_v = P_v / \lambda^2 \Delta\nu \quad (3)$$

ifadesiyle verilir.

Lazerin bu önemli özelliği; spektroskopik çalışmalarda, ışık madde etkileşiminin konu olduğu tüm alanlarda ve optikte yer edinmiştir. Lazerler günümüzde ev araç-gereçlerinden ticari uygulamalara ve elektronik endüstrisinde geniş kapsamlı kullanım alanlarına sahiptir.

2.2.4. Yönlenebilirlik

Lazer ışığının katı açısının küçük olması, doğrusal bir yol izlemesini sağlar. Fotonlar paralel olarak ilerlediklerinden, lazer cihazından yayıldıkça çok az dağılırlar. Bu özellik, aktif ortamın bir rezonant boşluğa yerleştirilmiş olmasının doğrudan bir sonucudur. Böylelikle ışık demetinin sahip olduğu enerji kontrol edilebildiği gibi istenilen bölgeye odaklama yapmaya olanak sağlar. Sıradan ışık kaynakları belli bir açıyla dağılır ve bir noktadan sonra etkisini kaybederler [29].

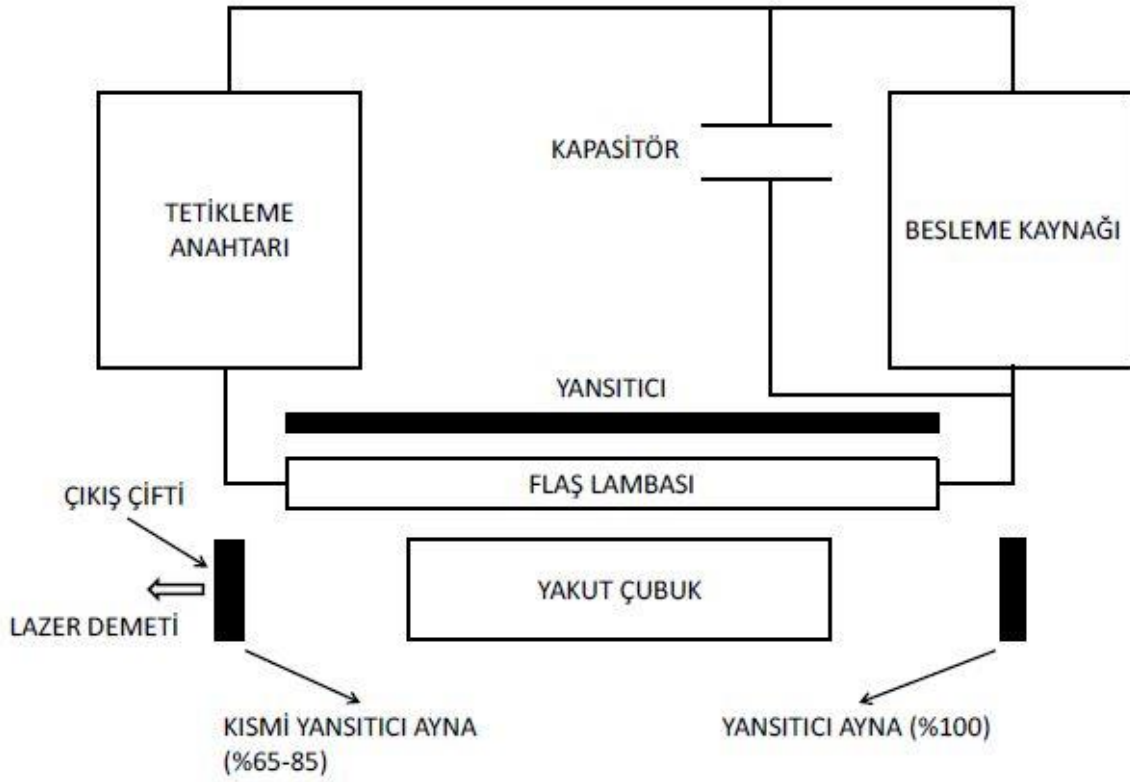
Yönlenebilirliği açıklamanın en iyi yolu, kırınım olayını anlamakla sağlanır. Kırınım olayı karakteristik bir olaydır. Bir ışık demeti dar bir fandan geçirilirse ışığın doğrultusunda θ açısı kadar sapma olur. θ sapma açısı ışığın λ dalga boyuna ve fanın D çapına bağlıdır.

$$\theta \approx \lambda/D \quad (4)$$

2.3. Lazer İşlemi

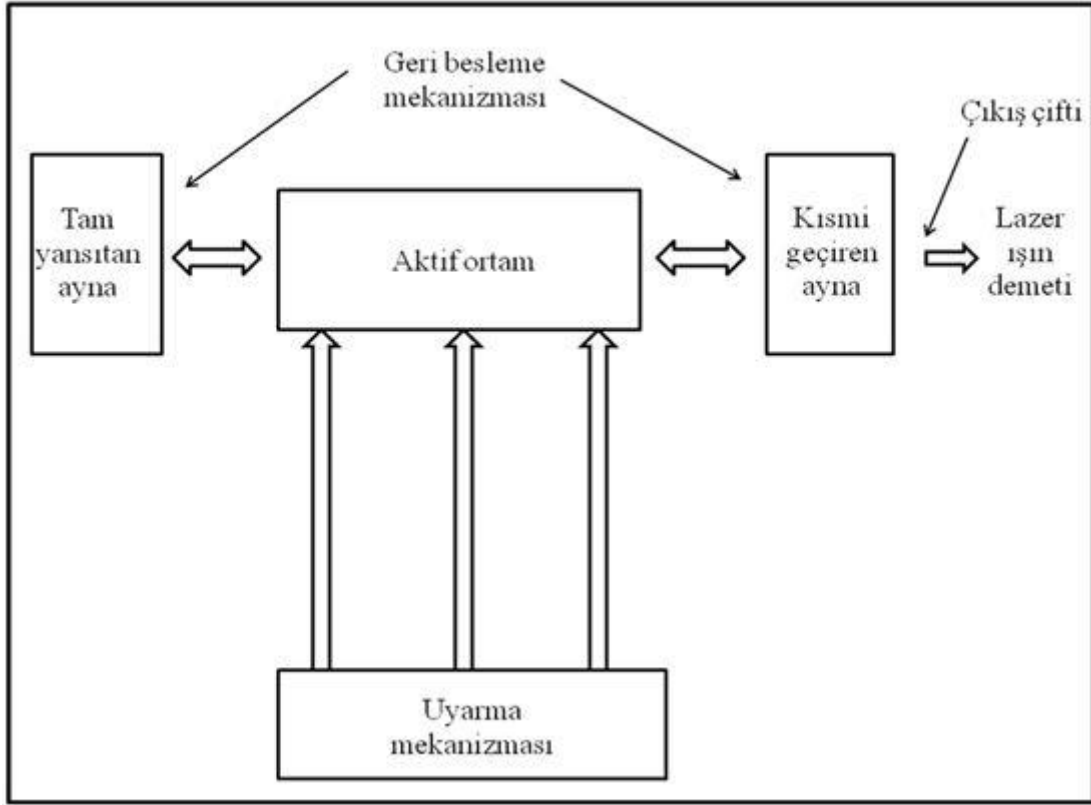
Lazer (**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation); Radyasyonun Uyarılmış Emisyonuyla Işık Yükseltme kelimelerinin baş harfleri kullanılarak dilimize girmiştir. Lazer fikri Albert Einstein' nin 1916 yılında yaptığı atomların ışığı soğurması ve yayımlaması ile ilgili çalışmada öngördüğü uyarılmış yayımlama kavramı ile ortaya çıktı.

Lazerler üzerine ilk çalışma 1960 yılında T. H. Maiman tarafından yapılmıştır [30]. Maiman; çalışmasında, bir yakut kristal ve iki aynalı bir sistemde, 694.3 nm dalga boylu kırmızı ışık yayan yakut lazer kullanmıştır.



Şekil 2.3. Yakut lazerin yapısı [20]

Zaman içinde lazerlerin geliştirilmesiyle optik bilimine olan ilgi artmıştır. Günümüzde de lazerin gelişimi halen devam etmektedir. Lazer ışını oluşturana temel etkenler şunlardır. Geri besleme görevi gören iki ayna (biri tam yansıtıcı diğeri kısmi yansıtıcı), uyarma mekanizması ve aktif ortamdır.



Şekil 2.4. Lazeri oluşturan temel elemanlar [23]

Lazer işlemini şu şekilde özetlenebilir: İstenilen elektromanyetik spektrum içinde aktif ortamın olması, ortamda nüfus tersinmesinin gerçekleştirilmesi ve son olarak da geri beslemenin sağlanması gerekmektedir [18].

2.3.1. Radyasyon Madde Etkileşimi

Işık ile madde arasındaki etkileşim Einstein tarafından 1916 yılında; *uyarılmış soğurma*, *uyarılmış yayılım* ve *kendiliğinden yayılım* olarak açıklamıştır.

Bir atom, pozitif yüklü bir çekirdek ve çekirdeğin etrafını saran negatif yüklü elektronlardan oluşur. Bir ya da daha fazla elektron enerji alarak çekirdekte kopabilirler. Bu olayın sonucunda serbest elektronlar ve pozitif iyonlar kalır. Bohr prensibine göre elektronlar, çekirdek etrafında belli bir düzene göre dizilirler. Bir atomun en kararlı durumu, *alt (temel) düzeyi* olarak kabul edilir. Alt düzey dışında kalan diğer durumlar *uyarılmış düzeyi* 'dir. Atomun uyarılma seviyelerine göre enerji düzeylerini oluşturur. Bu durum doğrudan atomun iyonlaşma düzeniyle ilgilidir [31].

Madde ve ışığın etkileşimini anlayabilmek için maddenin yapısı ele alıp, geniş çaplı incelemek gerekmektedir. Çalışmalarda ilk önce molekül ve atomlarla karşılaşılır. Bu nedenle

atom ve molekül yapılarının çok iyi anlaşılması gerekmektedir. Atom ve molekül yapıları ancak onların yaydığı veya soğurduğu ışınları incelenerek belirlenebilir. Atom ışınım geçişini; soğurma, kendiliğinden salma, zorla salma olmak üzere üç farklı yolla gerçekleştirir [31].

Elektromanyetik dalgaların, atomun elektronlarına enerji kazandırması olarak basit biçimde ifade edilebilir. Bu durumda; atomdaki elektron, temel halden üst enerji seviyesine sıçrama yapar. Elektron, ortama foton salınım ya da soğurma yapar. Frekansı;

$$\Delta E = h\nu \quad (5)$$

olan fotonun dalgasını ifade eder. Burada;

ΔE : iki enerji seviyesi arasındaki farkı, h : Planck sabiti, ν : f , frekans şeklinde ifade edilir.

Herhangi bir enerji seviyesinde bulunan atom, dış etkilere karşı muhafaza edilebilse hızlıca foton verip alt enerji seviyesine iner. Buna **kendiliğinden salma** denir. Fotonun frekansı uygun olması durumunda, atomu etkileyerek alt enerji seviyelerine düşerek eşit foton salınımı yapar. Bu olaya da **zorla salma** veya **etkiyle salma** denir.

2.3.2. Einstein Bağıntısı

Einstein, ışık ve madde etkileşiminde ifade ettiği üç önemli olayın gelme ihtimalinin bir sonucu olarak, bu olayları Einstein katsayıları ile ilişkilendirdi. Diğer bir ifadeyle: Birinci enerji düzeyinden ikinci enerji düzeyine çıkış (E_1' 'den E_2' 'ye) ile ikinci enerji düzeyinden birinci enerji düzeye inişin (E_2' 'den $E_1'e$) birbirlerine eşit olması gerektiğidir [18]. Frekansı ν olan bir fotonun enerji yoğunluğu;

$$\rho_\nu = N h \nu \quad (6)$$

denklemleri ile verilir. Burada;

ρ_ν : Enerji yoğunluğu, N : frekansı ν olan bir foton sayısı ve h : Planck sabitidir.

Bu ifadeye göre, fotonun birinci enerji düzeyinden ikinci enerji düzeyine çıkış oranı $N_1 \rho_\nu B_{12}$ ile belirlenirken, fotonun ikinci enerji düzeyinden birinci enerji düzeyine geçiş oranı $N_2 \rho_\nu B_{21}$ ile belirlenir. Her iki ifadede verilen B_{12} ve B_{21} Einstein sabitidir. Fotonun ikinci enerji düzeyinden birinci enerji düzeyine kendiliğinden geçiş oranı da $N_2 A_{21}$ olur.

Toplam salınım oranları:

$$N_2 \rho_\nu B_{21} + N_2 A_{21} \quad (7)$$

ile verilir.

Salınım oranı ile soğurum oranının eşitliği:

$$N_1\rho_\nu B_{12} = N_2\rho_\nu B_{21} + N_2A_{21} \quad (8)$$

denklemi ile verilir ve buradan ρ_ν yalnız bırakılırsa:

$$\rho_\nu = \frac{A_{21}/B_{21}}{\frac{B_{12}N_1}{B_{21}N_2} - 1} \quad (9)$$

şeklinde elde edilir.

Einstein, ısı dengesi sağlanmış olan bir sistem için A ve B katsayıları arasındaki ilişki kurmayı aşağıdaki denklem (10) ve denklem (11) ile başarmıştır.

$$g_1 B_{12} = g_2 B_{21} \quad (10)$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \quad (11)$$

Bu verilerden faydalanılarak herhangi iki enerji düzeyi arasındaki kendiliğinden salma oranını veren ifade, denklem (12)'deki gibidir.

$$R = \frac{A_{21}}{\rho_\nu B_{21}} \quad (12)$$

2.3.3. Optik Geri Besleme

Lazerler, temelinde titreyciler gibi davranırlar. İstenilen frekansta ayarlama yapabilmek, pozitif geri besleme ile mümkündür. Böylece şiddetlendirilmiş çıkış ışını, girişle tekrar birleşerek kuvvetlendirilmiş olur.

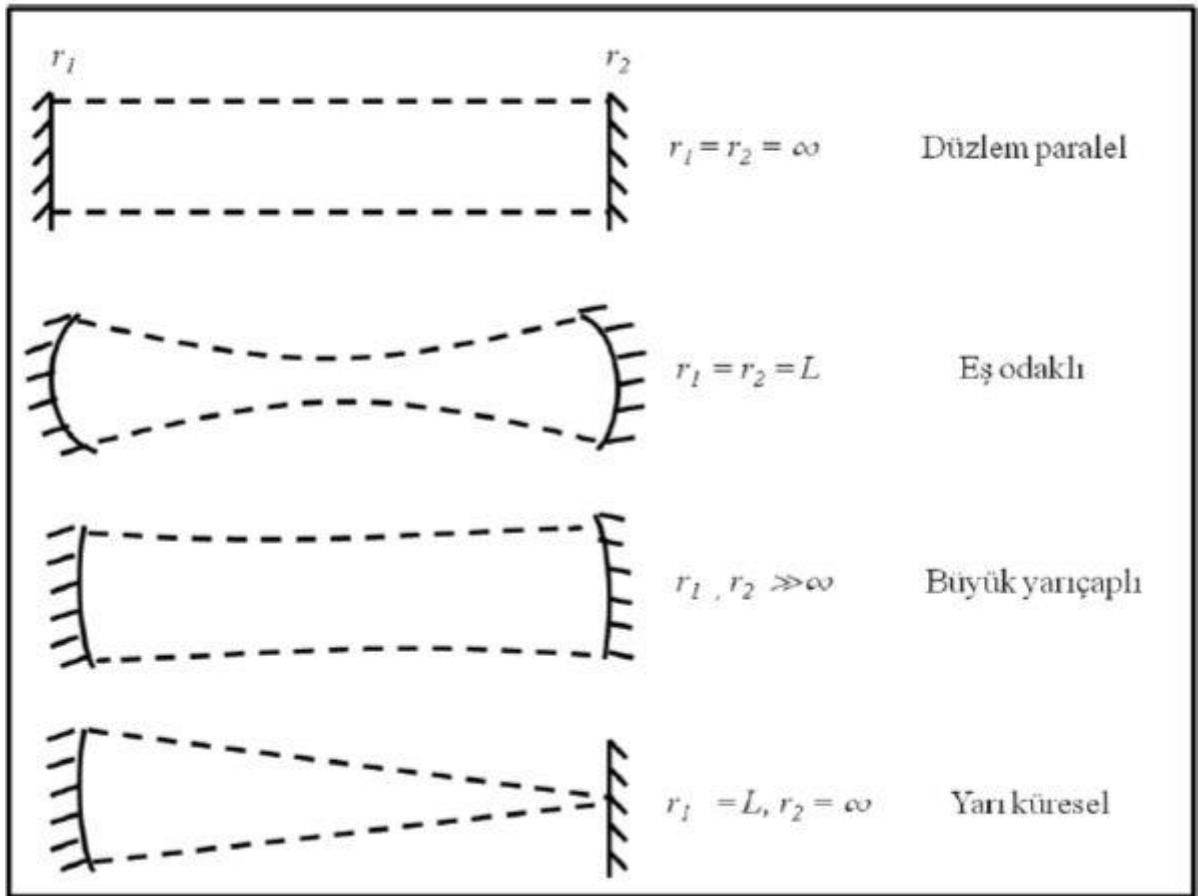


Şekil 2.5. Harici Optik Geri Beslemeli Lazer Diyot

Lazerlerde geri besleme, Fabry-Perot olarak adlandırılan rezonatör tarafından sağlanır. Rezonatör; iki ayna arasındaki kazanç ortamı ile elde edilir. Salınan fotonun sistem içerisinde geçişi ile kendiliğinden salınım sağlanır ve ilk ivmelenme meydana gelir. Sinyal ortam boyunca kuvvetlenir ve aynalar yardımı ile geri besleme gerçekleşir. Ortamdaki kazanç, tüm döngü bitiminden sonraki kayıplara eşit olmasıyla doyuma erişir [18].

Aktif ortamda demet halindeki ışığın, optik rezonatör görevi gören iki ayna arasında salınım yaptığını düşünülürken, aynalardaki kırınım ve soğurma gibi fiziksel olayların olması, ışın demetinde kayıplar meydana getirir. Bu durum göz önüne alındığında, kusursuz özellikte ışığın sürekli oluşturulabilmesi imkansızdır. Aynalar arasında salınan ışığın kırılmasını telafi etmek için konkav aynalar kullanılmaktadır. Diğer bir kayıp olan soğurmayı da engellemek için ayna yüzeylerine yansıtıcı özellikteki kaplamalar kullanılır. Bu işlemler sayesinde, kayıplar en aza indirilmiştir olur.

Sistemin kayıplarının en aza indirilmesiyle, en yüksek optik geri besleme sağlanmış olur. Kayıplar ile kazançlar eşitlendiğinde ışın demeti doyuma ulaşır ve daha şiddetli lazer ışını elde edilmiş olur.

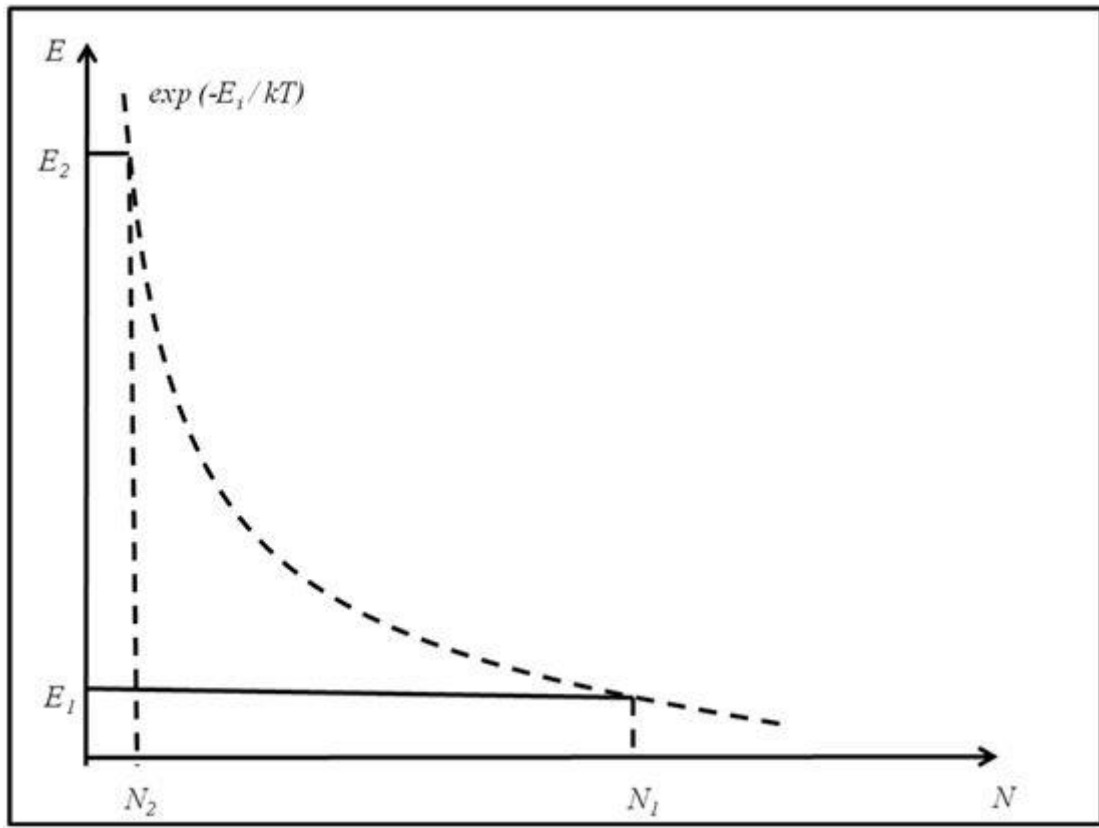


Şekil 2.6. Lazerlerde kullanılan salıncı ayna çeşitleri [20]

Yukarıdaki Şekil 2.6.'da gösterilen dört farklı aynanın olumlu ve olumsuz özellikleri vardır. Lazer boşluğu orantılı olduğunda, geri besleme mekanizmasının kalitesi artar. Böylece sürekli ve şiddetli lazer ışığı elde edilmiş olur.

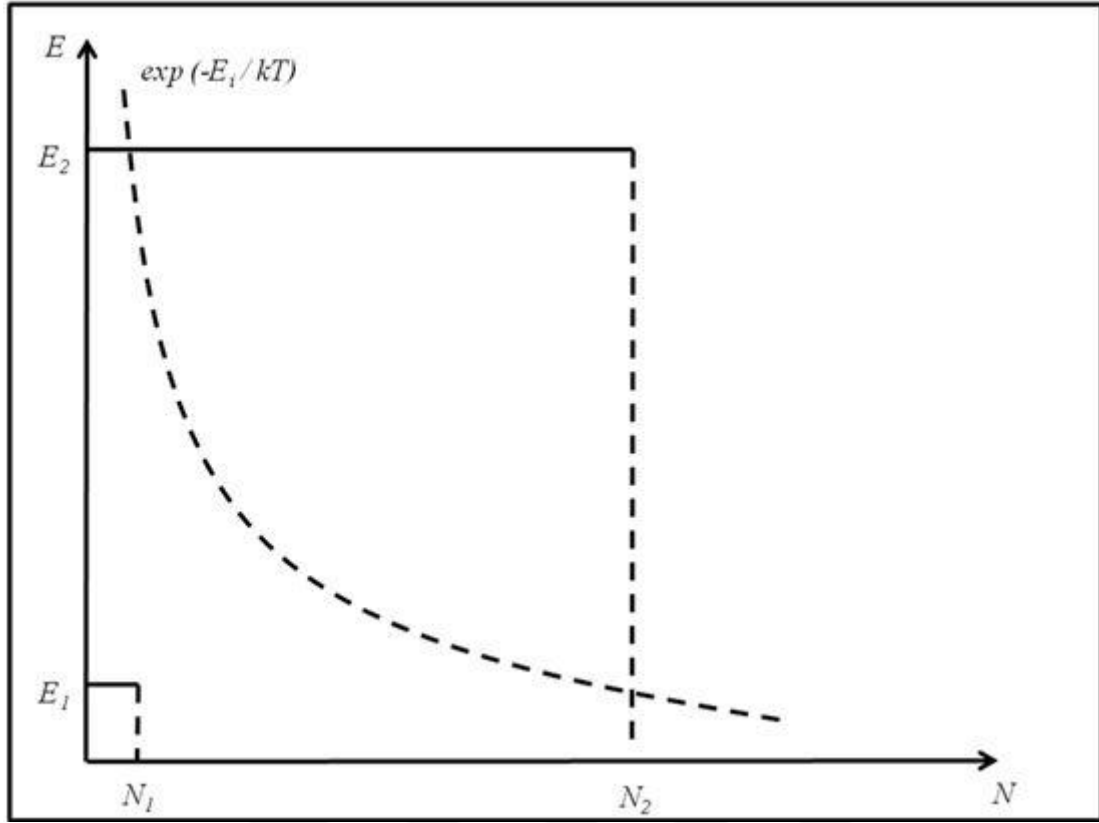
2.3.4. Nüfus Tersinmesi

Lazer ortamındaki elektronlar, sistem içindeki farklı enerji düzeyleri ile ilişkilidir. Elektronlar enerji kazanarak üst enerji seviyelerine çıkarlar. Isıl dengesi sağlanmış sisteme uygulanan Boltzman denkleminin uygulanmasıyla (Şekil 2.7.) elde edilmiş olur.



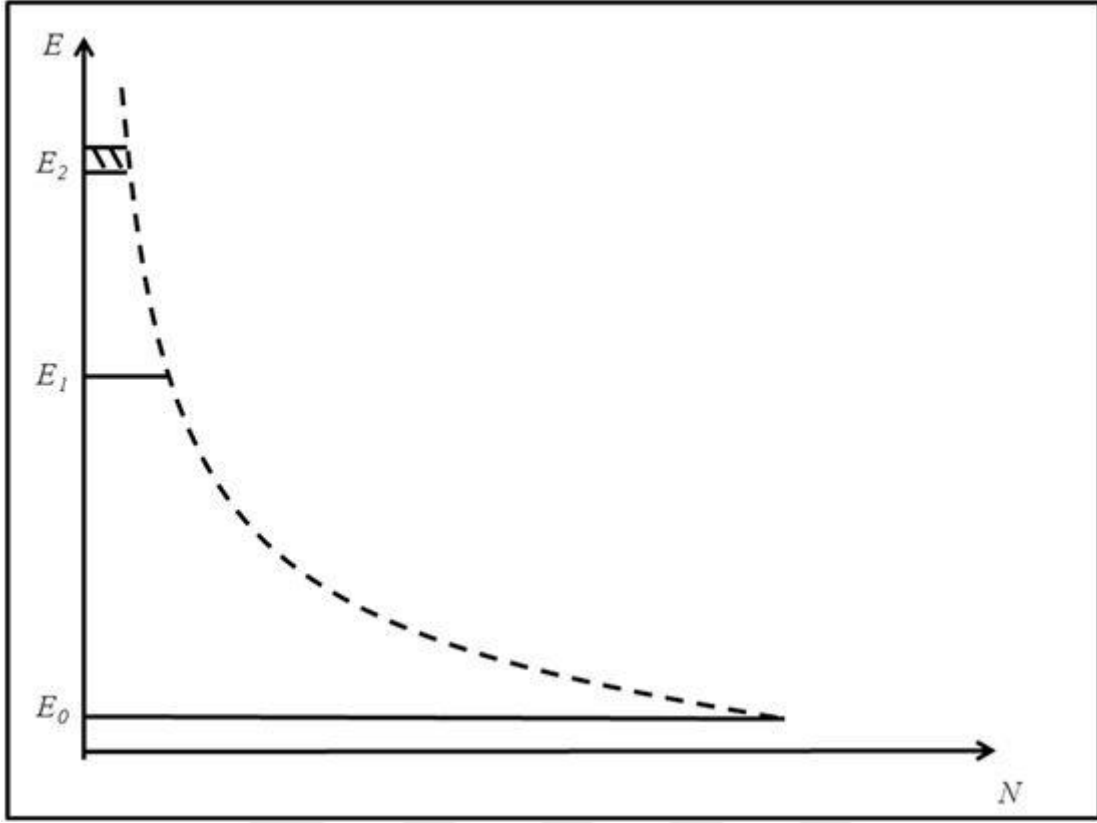
Şekil 2.7. İki enerjili sistemin ısıl dengedeki nüfus durumu [23]

E₁ ve E₂ enerji seviyelerine bakılarak, E₁'in enerji seviyesindeki nüfus durumunun E₂'den daha fazla olduğu yorumu yapılabilmektedir.



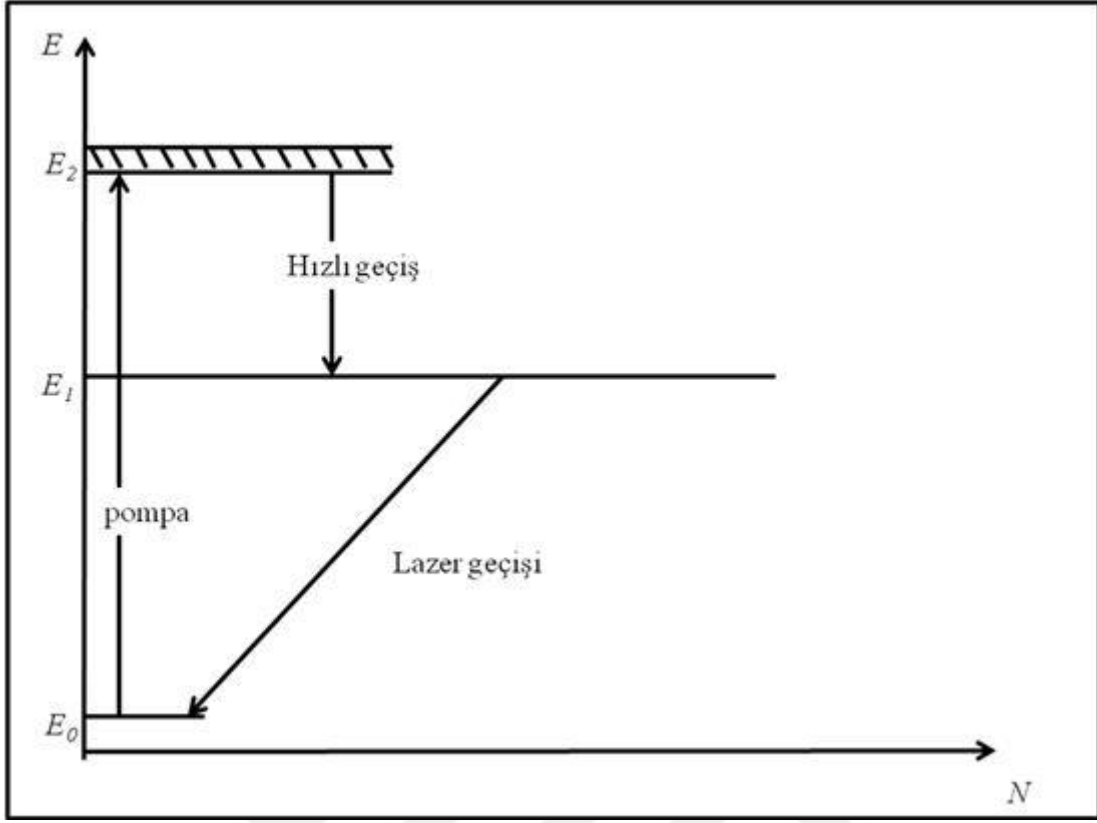
Şekil 2.8. İki enerji seviyeli sistemin nüfus tersinmesi sonrası nüfusu [23]

Lazere pompalama işlemiyle çok yüksek enerji vererek, E_1 enerji düzeyindeki atomların uyarılarak E_2 enerji düzeyine çıkartılması sağlanır. Böylece nüfus tersinmesi olayı gerçekleştirilmiş olur. Şekil 2.8.'de görülen; E_1 enerji düzeyindeki nüfusun yoğunluğu N_1 'in, E_2 enerji düzeyindeki nüfus yoğunluğundan N_2 'den daha küçük olduğu görülmektedir. Pompalama işlemi ile bu durum tersine çevrilerek nüfus tersinmesi gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 2.9. Üç enerji seviyeli sistemde pompalama olmadan önceki Boltzman dağılımı [23]

Benzer işlem ikiden fazla olan enerji düzeyleri için de geçerlidir. Şekil 2.9.'da üç enerji düzeyinin pompala olmadan sahip oldukları enerji düzeyleri gösterilmektedir. E_0 'ın enerji düzeyindeki nüfus yoğunluğu diğer iki enerji düzeylerinin nüfus yoğunluklarından daha fazladır. E_1 ve E_2 enerji düzeylerinin nüfus yoğunlukları üst düzeylere çıkıldıkça azalmaktadır. Bunun nedeni pompalama işleminin olmamasıdır.



Şekil 2.10. Üç enerji seviyeli sistemde pompalama olduktan sonraki Boltzman dağılımı [23]

Elektronların E_0 enerji düzeyinden E_2 enerji düzeyine pompalanması için yeterli miktarda atomların uyarılması gereklidir. Pompalanarak atomlara enerji kazandırılır ve üst enerji düzeyine çıkarlar. Elektronların E_2 enerji düzeyinden E_1 enerji düzeyine ışık salmadan düşmesiyle E_1 'den E_0 'a nüfus tersinmesi sağlanır. Normal şartlarda E_2 'den E_1 'e düşüş hızlı olur bu sayede E_2 'den gelen sürekli uyarmalardan gelen elektronlar için yer açılır. Bunun aksine E_1 'den E_0 'a geçiş çok daha yavaş olur. Bunun sonucu olarak E_1 enerji düzeyi yarı kararlıdır.

2.4. Lazerlerin Sınıflandırılması

Lazerin keşfinden itibaren çok fazla lazer türü bulunmasına rağmen yaygın olarak kullanılan birkaç lazer türü vardır. Bu lazerler; aktif ortama ve dalga boyu gibi kriterlere göre sınıflandırmaktadır. Lazerler; *katı hal lazerler*, *boya lazerler*, *gaz lazerler* ve *yarı-iletken diyot lazerler* olarak dört ana grupta sınıflandırılmaktadır [31].

Tablo 2.4.1 Lazer tiplerinin ürettikleri dalga boyu ve çıkış gücü [20]

Lazer Tipi	Dalga Boyu, λ (nm)	Çıkış Gücü
He-Ne	632.8	0.1 – 1×10^{-3}
Argon	488	0.3 - 50
He-Cd	441.6	0.01 – 0.2
Bakır (CVL)	510.5	10 – 100
CO ₂	10600	0.2 – 45×10^3
Excimer	248	40 – 120
Boya (Rh6G)	577	10 – 100
Yarı-iletken	800	1 – 40
Nd:YAG	1064.1	6000
Nd:Cam	1062.3	850

2.4.1. Katı Hal Lazerleri

Her iki ucu parlatılıp silindir halini almış çubukların kullanıldığı ve katı malzemeden oluşmuş, 532nm – 1064nm dalga boyuna sahip lazer türüdür (örneğin Nd: YAG). Katı hal lazerleri en güçlü çıkışa sahip lazer türleridir.

İlk katı hal lazer T. Maiman tarafından yakuttan yapılmıştır [32]. Maiman'ın çalışması sonunda lazerlere olan ilgi artmış. Bu lazerlerin uzun ömürlü olması, yüksek pik güçleri üretmeye imkan sağlaması sayesinde günümüzde de halen kullanılmaktadır.

2.4.2. Boya Lazerleri

Sıvı içinde çözünmüş aktif boyalar olup, dalga boyuna bağlı olarak farklı boyalar kullanılır. Sistemde kullanılan boyanın türüne bağlı olarak kendi aralarında farklı kategorilere ayrılırlar. Boya bir sıvı ortam içerisinde eriyik halde olduğundan sıvı lazerleri olarak da anılırlar. Boya lazerlerin 320 – 1000 nm dalga boyu arasında istenilen dalga boyu üretimini sağlaması ve 10 nm gibi hassas aralıkta olarak sağlaması önemli avantajları arasındadır [28].

Boya lazerler olarak taranabilen (akortlanabilen) lazer grubunda bulunur. Boya lazerleri başka bir lazer tarafından pompalanmaya gereksinim duymaları, yüksek maliyetli ve ebatlarının büyük olması istenmeyen durumlar arasındadır. Bu lazerlerin içinde bulunan frekans değiştirici düzenek sayesinde lazerlerin frekansları değiştirilebilmektedir.

2.4.3. Gaz Lazerleri

CO₂, Helyum, Argon, Neon ve Neon-Kripton gibi gazların bulunduğu ortamdan elektriğin geçmesiyle oluşan lazer tipidir. Bu lazer türü 630 – 1000 nm dalga boyu arasında değişmektedir [33]. Gaz lazerler sürekli modda çalışabildiği gibi darbedi modda da çalışma inkarı sağlamaktadır.

Bu lazer türünü darbeli modda çalıştırılarak mor ötesi ışık bölgesinde son derece yüksek güçte ışık demetinin elde edilmesine olanak sağlar [34].

Gaz lazerler, araştırma laboratuvarlarından sanayiye kadar çok geniş çaplı kullanıma sahip olan lazer türüdür. Ayrıca dar bant genişlikli olmaları sayesinde pompalama gereği yoktur.

2.4.4. Yarı İletken Diyot Lazerler

Yarı iletken lazerlerin en yaygın olanı, iki kutuplu (p-n) diyot lazerlerdir. Elektrik akımına bağlı olarak çalışır ve p-n eklemelerinin birleşiminden oluşur. Yarı iletken malzemelerde pozitif yük taşıyıcıları deliklere ve negatif yük taşıyıcıları da elektronların yerine gelirler. Dışardan herhangi bir gerilim uygulanmadan eklem (birleşme) noktaları yakınındaki yükler harekete geçerler. P-katkılı tarafa delikler, n-katkılı tarafa da elektronların enjekte edilmesiyle yük taşıyıcılar p-n birleşme noktasında birleşirler. Yarı iletken malzemelerin böyle atomik özelliği sahip olmaları, periyodik cetvelde III-V. grupta bulunan elementlerin kombinasyonları için geçerlidir.

Yarı iletken diyot lazerlerde optik kazanç, delik ve elektronların bir yarı iletken p-n eklemine bağlanarak elektriğin direkt olarak ışığa dönüşümdür. Bu işlem son derece verimli ve diğerlerine göre daha basit ve etkisi yüksektir. Yarı iletken malzemelerin kırılma indislerinin çok yüksek olması, bazı gerekli kaplamalara gerek duyulmadan ayna görevi görürler.

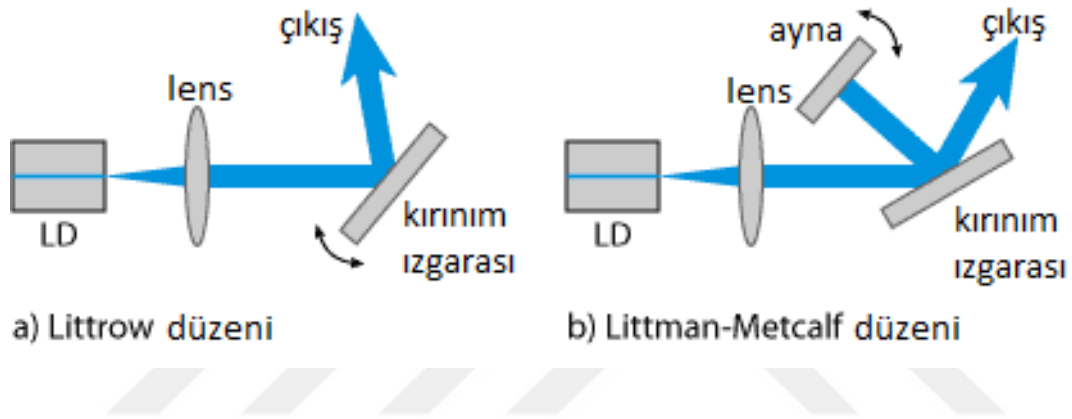
Lazer diyotlarda yapılan en fazla çalışmalar AlGaAs lazerler üzerine yapılmıştır. Bu lazerler üzerine yapılan çalışmalar, diğer lazer türleri için zemin hazırlamıştır. Sonraki zamanlarda GaAs lazerlerin geliştirilmesi, AlGaAs lazerlerine alternatif olmuştur [35].

Diyot lazerler, Optik Parametrik Osilatörler (OPO), boya lazerler olarak taranabilen (akortlanabilen) lazer grubunda bulunur. OPO ve boya lazerleri başka bir lazer tarafından pompalanmaya gereksinim duymaları, yüksek maliyetli ve ebatlarının büyük olması istenmeyen durumlar arasındadır. Bu lazerlerin içinde bulunan frekans değiştirici düzenek sayesinde lazerlerin frekansları değiştirilebilmektedir. Diyot lazerlerin çalışma mantığı ise; yarı iletken diyotlarda olduğu gibi p-n malzemelerinin birleşmesinden oluşmaktadır. Tipik bir diyot lazerin aktif ortam boyutu $10\mu\text{m} - 100\mu\text{m} - 500\mu\text{m}$ boyutlarındadır. Opto-elektronik devreler ile uygulamalarında, fiber optik iletişimde yaygın kullanımı, pratik kullanımı, kompakt oluşu, verimlilik ve maliyetinin düşük olması gibi önemli özelliklere sahip olması ile diğer lazer türlerine göre büyük avantajlara sahip lazer türüdür. Yarı iletken lazerler günümüzde ev araç-gereçlerinden ticari uygulamalara ve elektronik endüstrisinde geniş kapsamlı kullanım alanlarına sahiptir.

Taranabilen lazerler; toplayıcı mercek, frekans seçici ve optik geri besleme elemanlarından oluşur. Bu sisteme ait olan toplayıcı merceğin görevi; lazer ışığının sapma

açısında azaltma yoluyla paralel ışık demeti elde etmektir. Bir frekans seçici türü olan kırınım ızgarası ise hem lazer ışınının yaklaşık üçte birini ızgara aracılığıyla lazer ortamının içine doğru yansıtarak geri-besleme yapar hem de frekans seçici görevini üstlenir.

Diyot lazer diğer lazer türlerine göre oldukça avantajlıdır. Fakat spektroskopi ve atom fiziği gibi saf ışık ($<1\text{ MHz}$) gerektiren kullanımlar için bazı düzenlemelere gereksinim duyulur. Diyot lazerlerin bu tür alanlarda etkin olarak kullanılabilmesi için, harici optik geri besleme ile bant genişlikleri azaltılır ve kırınım ızgarası gibi elemanlar ile de hassas frekans seçimi (akortlama) yapılabilir. Genellikle bu tür harici optik düzenlemeler Şekil 2.11.'de verilen Littrow ya da Littman-Metcalf düzenlemeleri ile yapılır. Bu çeşit lazer sistemlerine Harici Optik Salıncılı Diyot Lazer (HOSDL) ya da Harici Optik Geri Beslemeli Diyot Lazer sistemleri denir.



Şekil 2.11. a) Littrow düzenlemeleri [36], b) Littman-Metcalf düzenlemeleri [37]

HOSDL sistemleri, taranabilen lazer sistemleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bu lazer sistemi ile kaba tarama ve ince tarama olarak iki farklı tarama yapılabilir.

1. Kaba tarama; akımın ve sıcaklığın değişimine bağlı olarak lazer çıkışının dalga boyu değişiminin sağlanmasıdır.
2. İnce tarama; lazer diyotunun önünde bulunan frekans seçici eleman yardımı ile lazer diyotunun seçilen frekansta salınım yapmaya zorlanması ilkesine dayanır.

HOSDL sistemleri, diğer taranabilen lazerlere göre çok daha ucuz maliyetli, az enerji gereksinimi olan ve küçük boyutlu lazerlerdir. Ancak geliştirilmesi gereken bazı önemli eksiklikleri de vardır. HOSDL sisteminin yetersiz kaldığı ve çözüm bulunması gereken yönler aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

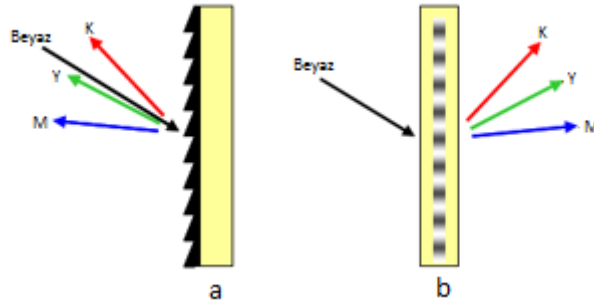
- Tarama sırasında çıkış ışınının yer değiştirmesi,
- Akustik ve mekanik etkilere karşı hassas oluşu,
- Isısal değişimlere maruz kalarak çıkış frekansında değişimlerin olması,
- Optik bölgenin atomik rezonans bölgesi kapsayan frekans alanının olmaması,

2.5. Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarası

Bu tezde yeni bir frekans seçici olarak kullanılan Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarası (HFHKI) (Volume Phase Holographic Grating, VPHG) kullanılarak, HOSDL sistemlerinde karşılaşılan "tarama sırasında çıkış ışınının yer değiştirmesi" sorununa çözüm bulunması hedeflenmektedir. Hacim fazlı holografik kırınım ızgarası saydam olmasının yanı sıra, genellikle kabartma yansıtıcı ızgaralar gibi davranırlar. Böylece bu tür elemanlar saydam oldukları için tarama sırasında ışın sapması oluşturmazlar. Bu durum da geri besleme işlemi sabit bir kısmi geçirgen ayna ile sağlanır.

Bir Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarası, genellikle iki renkli jelatin olmak üzere iki katmanlı berrak cam veya erimiş silis arasında sızdırmaz ve geçirgen malzeme tabakasında oluşturulur. Geliş ışığının fazı periyodik diferansiyel sertliği olan optik olarak kalın filminden geçerken değiştirilmesinden dolayı "Hacim Faz" olarak isimlendirilir.

Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarası 0.1nm altındaki değerlere spektral cevap verebildiği gibi 0.1°'nin altındaki açı değerlerine karşılık gelen bölgeyi tarama özelliğine, ışığın hemen hemen tamamını kırınıma uğratabilme, dar bant genişliğine sahip olması gibi birçok etkiye sahiptir. Aşağıdaki Şekil 2.12.'de klasik yüzey kabartmalı ızgara ile Hacim Fazlı Holografik Geçirgen Izgara şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.12. a) Klasik yüzey kabartmalı ızgara, b) Hacim fazlı holografik geçirgen ızgara [38]

Hacim holografik yapısındaki kırınım ızgaraları, en iyi optik performansa sahip olmasının yanı sıra, çevresel etkilere karşı sağlamlık ve küçük yapısı ile olumlu özelliklere sahiptir.

Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarası imalatı için harcanan maliyet tutarı aynı boyuttaki yüzey kabartma ızgaralarına oranla daha yüksek olsa da Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgaraların performansı daha yüksek, daha dayanıklı ve uzun ömürlü olma özellikleri göz önüne alındığında birçok uygulamada daha az maliyetli ve daha yüksek performanslı sistemler tasarlanmasına yardımcı olurlar.

Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgaralar 300 çizgi/mm ile 6000 çizgi/mm aralığında çizgi frekansı yapabilmektedir. Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgaralar diğer kırınım ızgaralara göre tasarımı, verimi ve bant genişliği yönünden diğer bütün kırınım ızgaralarından daha yüksek performans gösterir. Ayrıca prizmalar ile birlikte kullanıldıklarında yüksek dağılım sağlama özelliğine sahiptir.

Klasik kırınım ızgarası, mikroskobik yüzey kabartmalı yapıda olması nedeniyle çevresel etkilere karşı daha hassas ve kırılğan yapıdadır. Örneğin insan eli ile temasa girerse, ızgarada genellikle bozulmalar oluşur. Hacim fazlı kırınım ızgaraları ise çevresel etkilere çok daha dayanıklı, mekanik etkilere karşı daha dirençli ve kirlendiğinde temizlenebilirler.

Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgaralarına ait iletim geometrisi, yansıtmalı ızgaralarla çözülemeyen etkili ve yüksek performanslı düzenekleri sağlar. Normalde yansıtmalı kırınım ızgaraları Littrow düzeneğinde çalışarak, kırılmış/dağınık ışığın kaynağına doğru geriye yansıtmaktadır. Bazı uygulamalarda bu durum yararlı olabilir, ancak birçoğunda sistemin performansı sınırlanır. Bunun aksine, bir Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgaranın iletim geometrisi giriş ve çıkış/dağınık bölgeleri ızgaralı düzlemin karşı taraflarına yerleştirir.

Geçirgen ızgara, giriş ve çıkışın dedektör veya fiber gibi bağımsız optikler ve bileşenler tarafından çalıştırılmasını sağlar. Görüntüleme optiği ızgaraya çok yakın konumlandırılabilir, böylece mercek boyutunun kayıplarını minimuma indirir. Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgaralı tasarımın kullanılması hacim fazlı holografik kırınım ızgaralarının polarizasyon duyarsız olmasından dolayı, polarizasyon bölme sistemi konfigürasyonlarına olan ihtiyacı ortadan kaldırabilir ve bileşen sayısını ve paket boyutunu daha da azaltabilir.

Sonuç olarak, bir Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgaranın etrafında tasarlanan bir sistemin,

- Daha iyi optik performans sunması,
- Geleneksel bir yansıma ızgarasının etrafında tasarlanandan daha küçük,
- Daha hafif ve daha ucuz

olabileceğidir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Harici Optik Salıncılı Diyot Lazer Sistemi

Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarası, Harici Optik Salıncılı Diyot Lazer sistemlerindeki harici salıncı olarak kullanılacaktır ve geleneksel olarak yaygın kullanımı olan Littrow ve Littman-Metcalf düzenleri kullanılmamıştır. Bunun nedenleri başlıca şu şekilde sıralanabilir: Işın sapmasının önlenmesi, dar bant genişliği sağlanması nedeni ile klasik kırınım ızgaralarına üstünlük kurması, çok yüksek spektral çözünürlüğe sahip olması, isteğe bağlı olarak üretilmesi sayede sistem için gerekli olan hassasiyette üretim mümkün kılınmıştır.

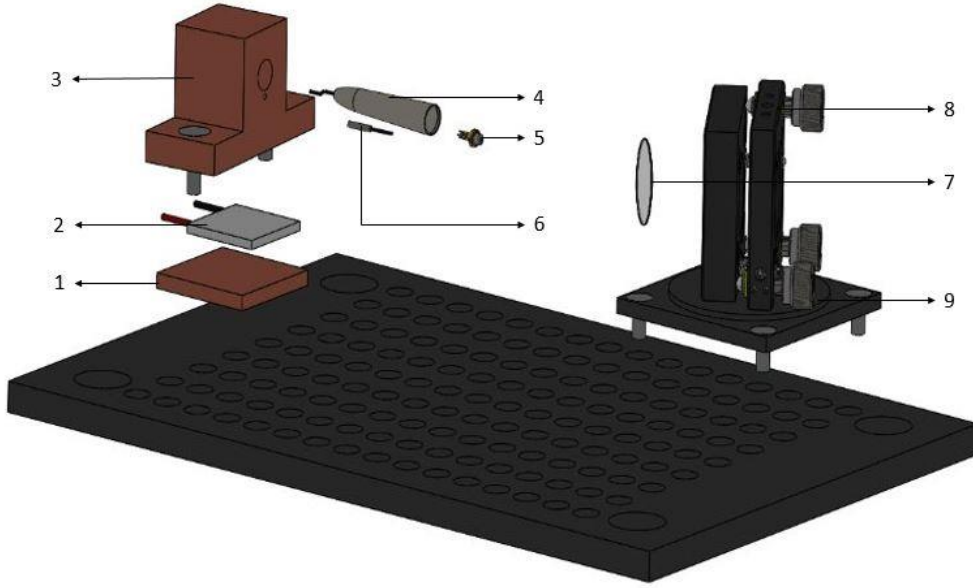
Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgaralarının diğer kırınım ızgaralarına üstünlükleri göz önünde bulundurulduğunda, optik performansları yüksek, daha küçük ve maliyeti düşük oldukları için bu çalışmada tercih sebebidir.

Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarası kullanılarak harici optik salıncılı diyot lazer sistemi tasarlamak, tasarıma ait deney düzeneği kurmak, deneyi gerçekleştirmek ve test etmeyi amaçlanmıştır. Kurulan deney sistemi sayesinde birçok bilimsel çalışmalara alt yapı hazırlığı sağlanması ve diğer disiplinlere de ışık tutması hedeflenmiştir.

Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarası kullanımı ile HOSDL sistemlerinin yetersiz olduğu; ışın sapmasının giderilememesi ve dar bant genişliğinin sağlanamaması gibi problemlerin çözümüne katkı sağlayacak sistem elde edilmiş olacaktır.

3.1.1. Sistemin Tasarlanması ve Kurulması

Sisteme ait bileşenler; Lazer sistemi, frekans seçici eleman sistemi, montaj platformu olarak üç ana başlıkta toplanmaktadır. Tasarladığımız çalışmanın şematik görünümü Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Tasarlanan deney düzeneği

Deney düzeneği bileşenleri şunlardır: 1) Bakır plaka, 2) Termoelektrik soğutucu (TEC, peltier), 3) Lazer kafası, 4) Lazer tüpü, 5) Yarı iletken diyot lazer, 6) AD590 ısı sensörü, 7) Hacim fazlı holografik ızgara (VPHG), 8) Piezo kontrollü kinematik optik tutucu, 9) Ölçekli ayna tutucu

3.1.1.1. Lazer Sistemi

Lazer sistemi; bakır plaka, termoelektrik soğutucu (TEC, peltier), lazer kafası, lazer tüpü, yarı iletken diyot lazer ve AD 590 ısı sensöründen oluşmaktadır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Lazer sistemi

Lazer kafasının en altında $40 \times 40 \times 5$ mm³ ebatlarında ısı dağıtma amacıyla bakır plaka kullanılacaktır. Bakır plakanın üzerinde $30 \times 30 \times 5$ mm³ boyutlarında, maksimum 8.50 volt verilebilen, 4.60 amper maksimum akım değerine ve 22.80 watt soğutma gücüne sahip TEC1-7105 kullanılacaktır. TEC1-7105 peltierin üzerine $30 \times 30 \times 40$ mm³ boyutlarında bakır lazer kafası konulacaktır. Yarı iletken diyot lazerin beslenmesini ve akım korumasını sağlamak üzere, diyot lazer ile uyumlu lazer tüpü kullanılacaktır. Kurulacak sistemde karakteristiği incelenecek ışık kaynağı olarak, 520 nm dalga boylu yarı iletken diyot lazer kullanılacaktır. Lazer kafasının üzerine iki adet delik açılacaktır. Deliklerden biri lazer tüpü ve bu tüp içerisindeki yarı iletken diyot lazer için kullanılacaktır. Diğer delik ise, AD590 ısı sensörü için kullanılacaktır. AD590 ısı sensörü, lazer kafasının sıcaklığını anlık takip etmek için kullanılacaktır. Lazer kafasına iki adet M6 delikler açılacaktır. Bu delikler sayesinde lazer sisteminin montaj platformuna sabitlenmesi sağlanacaktır.

3.1.1.2. Frekans Seçici Eleman Sistemi

Frekans seçici eleman sistemi; piezo kontrollü kinematik optik tutucu, Volume Phase Holographic Grating (VPHG), ölçekli ayna tutucu plakadan oluşmaktadır (Şekil 3.3.).

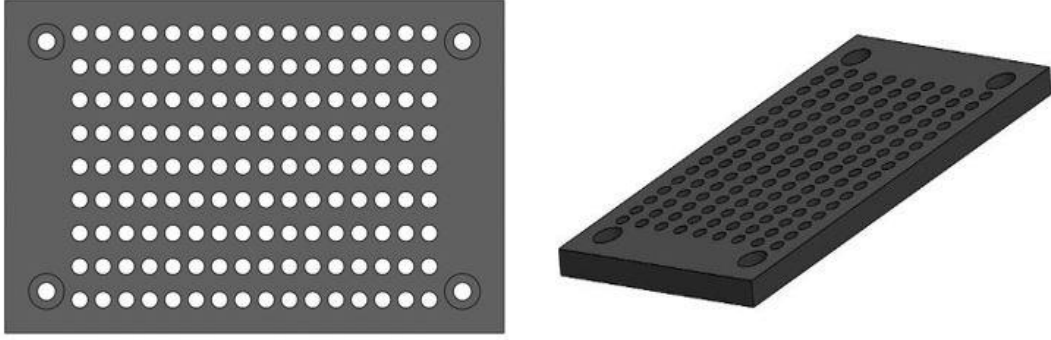


Şekil 3.3. Frekans seçici eleman sistemi

Piezo kontrollü kinematik optik tutucu sayesinde yarı iletken diyot lazerden gelecek ışığın dağılması engellenerek, paralel ışık demeti elde etmeyi sağlanacaktır. Düzenegın en altında bulunan ölçekli ayna tutucu plaka ile piezo kontrollü kinematik optik tutucunun hangi açı değerinde olacağı belirlenecektir.

3.1.1.3. Montaj Platformu

Montaj platformunun şematik görünümü Şekil 3.4.'de gösterildiği gibidir.



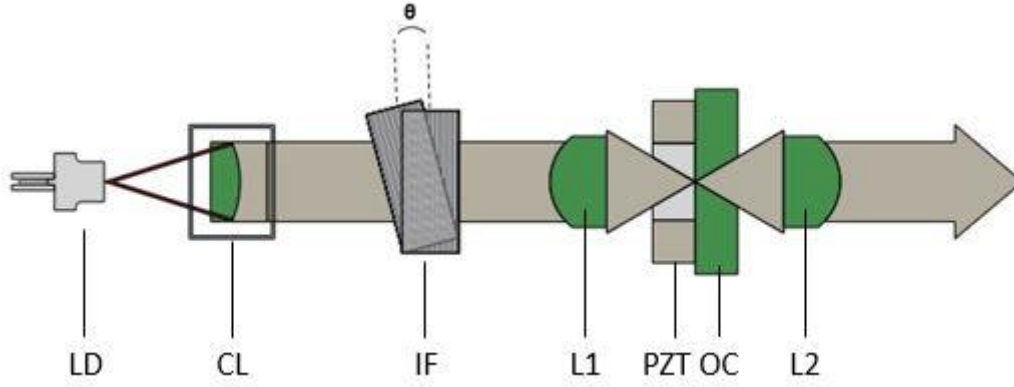
Şekil 3.4. Montaj platformu

Kurulacak sisteme ait montaj bileşenleri; lazer kafası montajı ve frekans sistemi bileşenlerinin montajıdır.

Lazer kafası, termoelektrik soğutucu ve bakır plakanın montajı yapılırken; lazer kafası en üstte, bakır plaka en altta olacak şekilde montajlama yapılacaktır. Lazer kafası üzerindeki üst deliğe lazer tüpü, lazer tüpünün içindeki yuvaya da yarı iletken diyot lazer yerleştirilerek yapılacaktır. Lazer kafasının altındaki küçük deliğe ısı sensörü montajı yapılacaktır. Lazer kafasının her iki ucundaki delikler yardımıyla montaj platformuna sabitlenecektir.

Frekans seçici elemanlara ait bileşenlerin montajında, piezo kontrollü kinematik optik tutucunun üzerine ölçekli ayna tutucu plaka yerleştirilecektir. Ölçekli ayna tutucu plakanın tam merkezine de Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarası yerleştirilecektir. Piezo kontrollü kinematik optik tutucu köşelerinde bulunan deliklerle montaj platformuna sabitlenecektir.

Deney sisteminin geometri Şekil 3.5.'de gösterildiği gibidir.

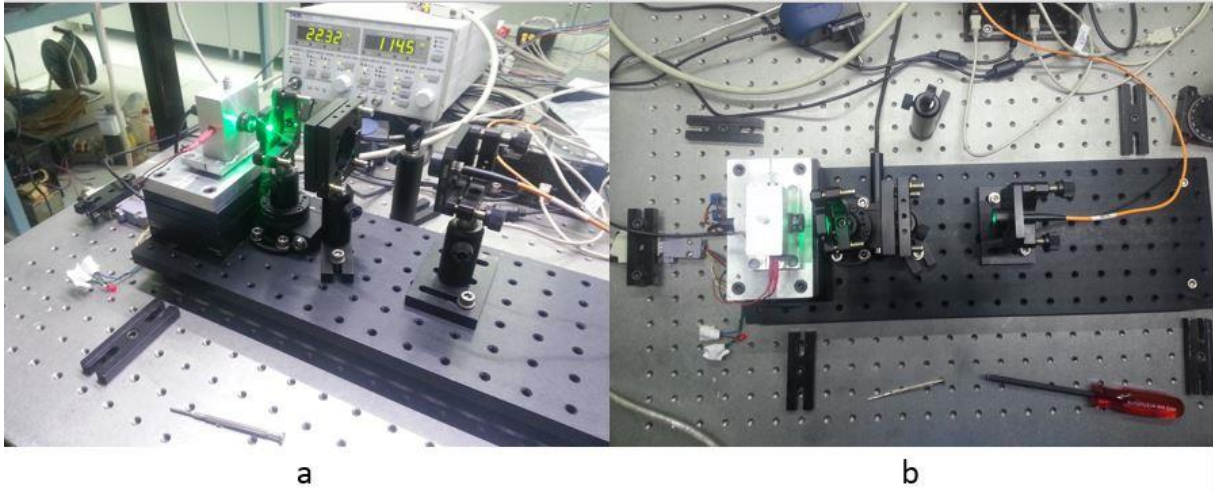


Şekil 3.5. Deney düzeneğine ait geometri

Düzeneğe ait geometri bileşenleri şunlardır: *LD: Laser Diode, CL: Collimating Lens, IF: Interference Filter, L₁: Cateye Lens, PZT: Multi-layer ring-shaped piezoelectric translator, OC: Partially transmitting output coupler, L₂: re-collimating Lens*

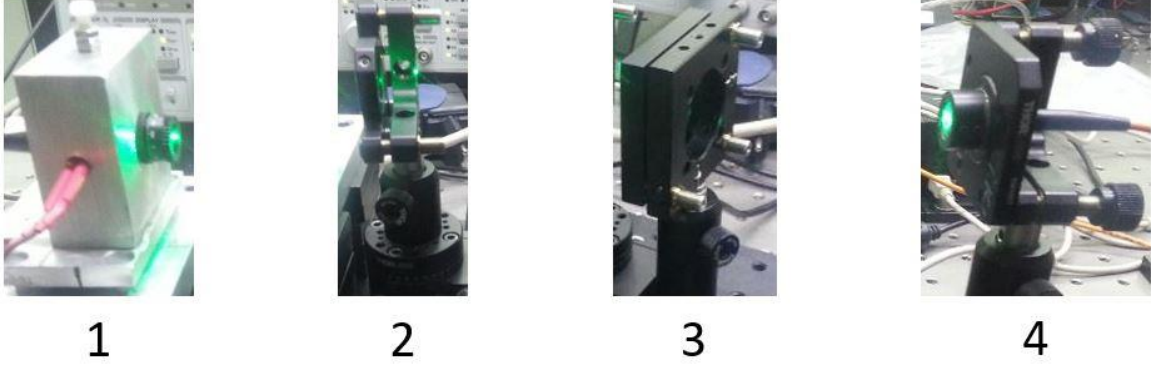
3.2. Sistemin Çalıştırılması ve Test Edilmesi

Deney düzeneğinin iki farklı resmi Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kurulan deney düzeneğinin genel görünümü (a- Yandan görünüm, b- Üstten görünüm)

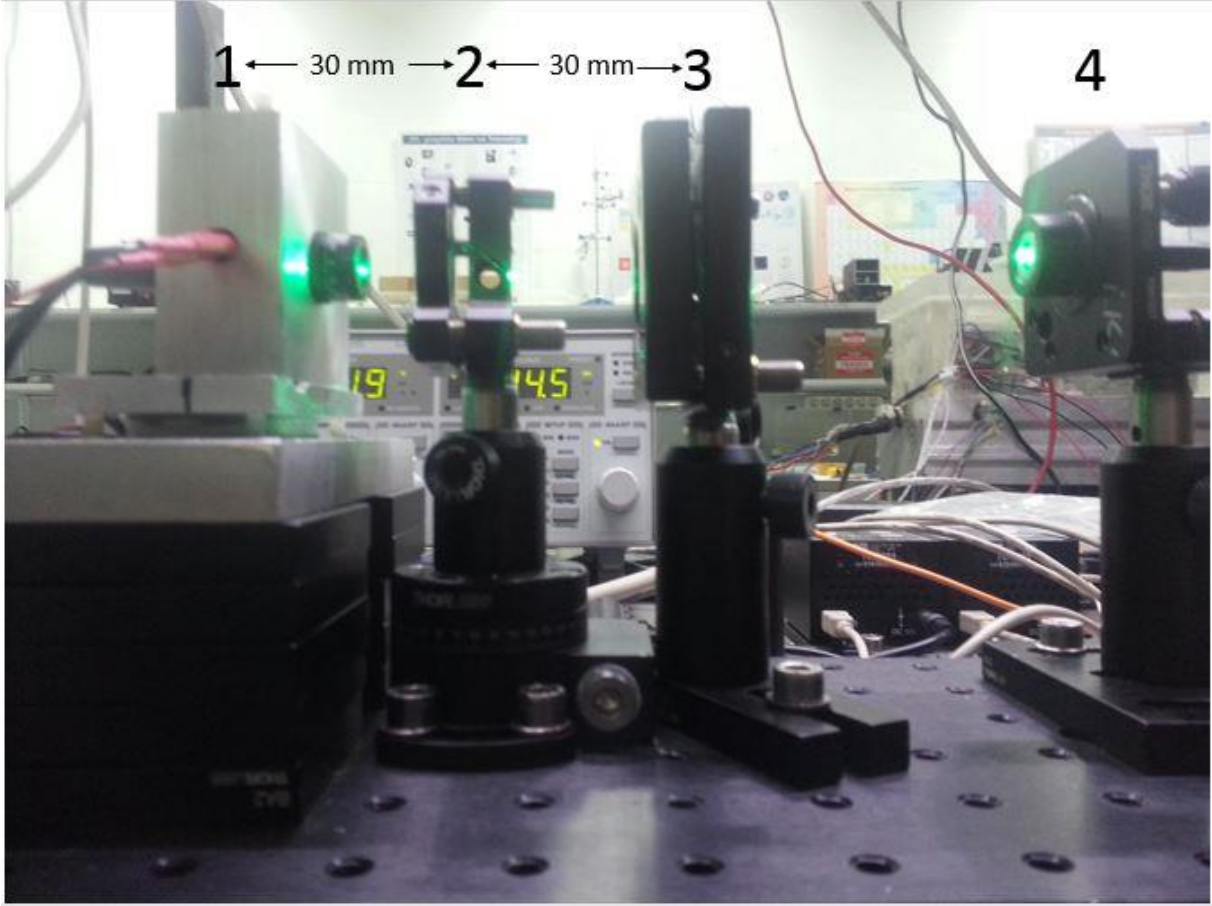
Deney düzeneğini oluşturan elemanların her biri ayrı ayrı Şekil 3.7.'de ifade edilmiştir.



Şekil 3.7. Deney aparatları

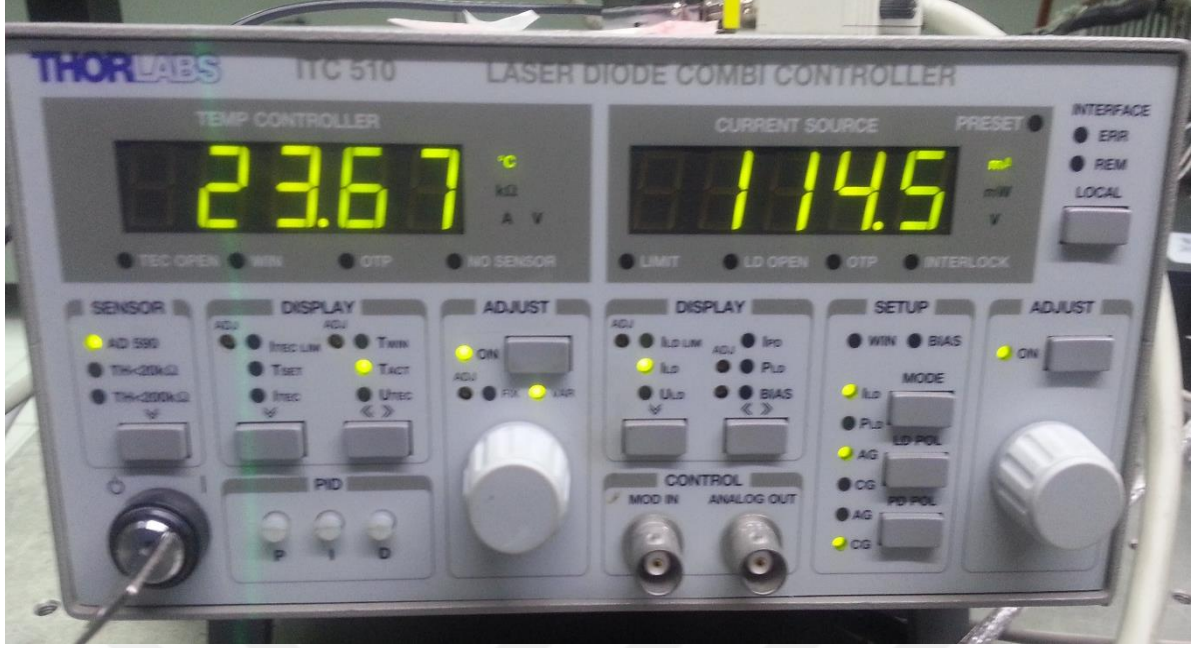
Şekil 3.7.'deki numaralar şunları ifade etmektedir; 1: *Lazer Sistemi (diyet lazer tüpü, 520 nm dalga boylu diyet lazer, AD590 ısı sensörü ve peltierden oluşmaktadır)*, 2: *Frekans Seçici Eleman (Hacim Fazlı Holografik Kırınım Izgarası)*, 3: *Cateye Lens (Gelen ışını toplamak için kullanılmıştır)*, 4: *Spektrometre Fiber*

Kurulan deney düzeneğinde; lazer kafası ile frekans seçici eleman ve frekans seçici eleman ile de lens arasındaki mesafe 30'ar mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.8. Deney düzeneğindeki elemanlar arasındaki mesafe

Deney düzeneğinde kullanılan ITC 510 Lazer Kontrol Ünitesi, peltierleri besleyerek sabit oda sıcaklık kontrolü sağlanmıştır. Aynı cihaz sayesinde sabit akım kontrolü de kararlı hale getirilmiştir. ITC 510 Lazer Kontrol Ünitesi Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. ITC 510 Lazer kontrol ünitesi

Lazer ışığının çıkış gücünü ölçmek için kullanılan Optik Güç Ölçer PM100 Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Optik güç ölçer

Ayrıca kurulan düzeneğindeki fiber optik kablo, lazer ışığını spektrometreye iletir. Spektrometre de fiber optik kablonun iletmediği sinyali alıp, ışığın dalga boyunu ölçer ve bilgisayara aktarır. Deneyinde kullanılan güç kaynağı sayesinde, sabit voltaj ve sabit akım değerleri sağlanmıştır.

Kurulan deney düzeneğini oluşturan elemanların hizalanması, sistemden alınan verilerin sağlamlığını artırır. Lazer diyot ile kısmi yansıtıcı arasındaki ışın gidiş-gelişi geri besleme için önem taşır. Yansıtıcı elemandan geri dönen ışını, ölçüleri: 100 µm - 10 µm gibi çok dar bir bölgeye döndürmek oldukça zordur. Bu yüzden diyotun lazerleme akım değeri sabitlenir ve yansıtıcı yüzey hareket ettirilerek geri besleme sağlanmış olur.

Lazer diyot ve yansıtıcı eleman arasında harici kovuk oluşturulur. Bu kovuğun kısa tutulması mekanik vibrasyonlara karşı korunma sağlar.

Kurulan deney sistemine ait veri ölçümleri için gereken sıcaklık ve akım değerleri, Kombi Kontroller tarafından P-I-D (Oransal-İntegral-Türevsel-İntegral) ayarlaması yapılarak gerçekleştirilir. Çalışılan sıcaklık değeri 25 °C ve akım değeri de 115 mA olarak ayarlanmıştır.

Deney:

Frekans seçici elemanın açısının değişimine bağlı olarak değişen dalga boyu tarama aralığının incelenmesi.

Başlama Koşulları:

Oda sıcaklığı: 25°C

Lazer diyotunun sıcaklığı: 25°C

Diyot lazer cinsi: L520P50 – 520 nm

Diyot lazere verilen akım: 115 mA

Frekans seçici eleman: Thorlabs GH13-24V; Vis. Holographic Grating; 2400 çizgi/mm;
12,7 mm x12,7 mm x 6 mm

Motor adımı: 0.001°

Max hız: 0.1 derece/s

Deneyin Yapılışı:

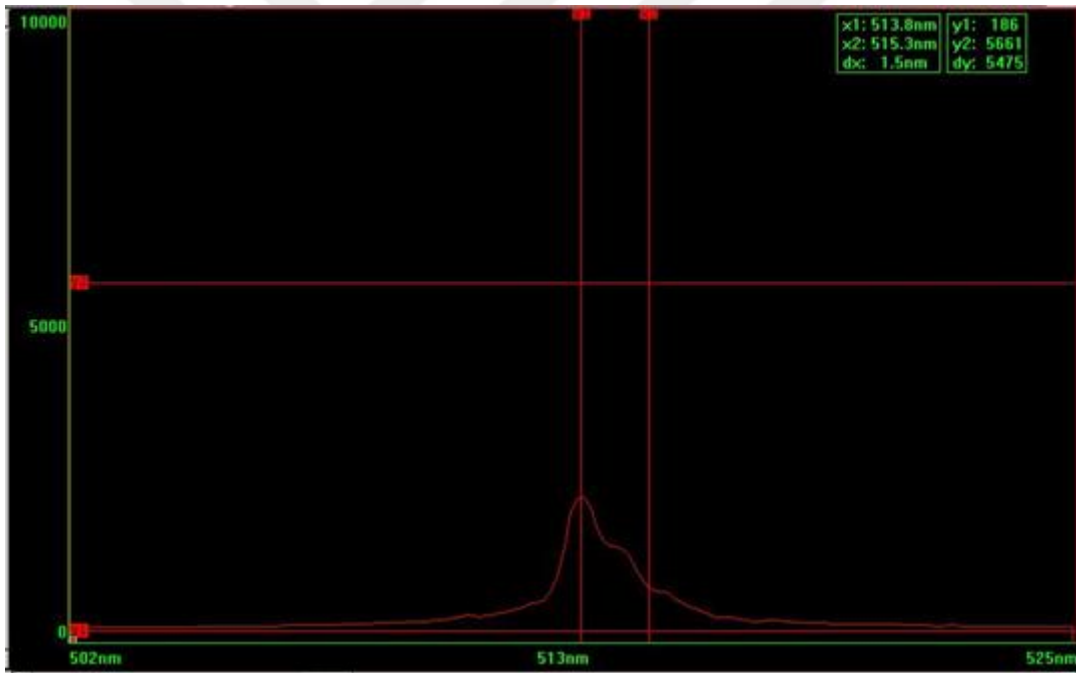
Deneyde sabit sıcaklık ve akım değerlerinin sağlanması için peltier ve lazer diyot, ITC 510 Lazer Kontrol Ünitesine bağlandı. Düzeneğin en altında bulunan ölçekli ayna tutucu plaka ile piezo kontrollü kinematik optik tutucunun deneyde kullanılan açı değeri belirlendi ve kırınım ızgarası bu sisteme sabitlendi. Lazer kontrol ünitesi açılarak sabit oda sıcaklığı olan 25°C ayarlanıp diyot lazer için de 115 mA'lık akım verilmiştir. Frekans seçici eleman birinci ölçümde; 355° (ya da -5°), ikinci ölçümde; 2° ve üçüncü ölçümde de orta değer olarak belirlenen 358,50° (ya da -1,5°) 'ye konumlandırılarak optik geri besleme sağlanmıştır. Bilgisayar aracılığıyla belirlenen açı değerlerine karşılık gelen dalga boyundaki değişimin gözlemlendi.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Frekans Seçici Elemanın Açısının Değişimine Bağlı Olarak Değişen Dalga Boyu Tarama Aralığının İncelenmesi

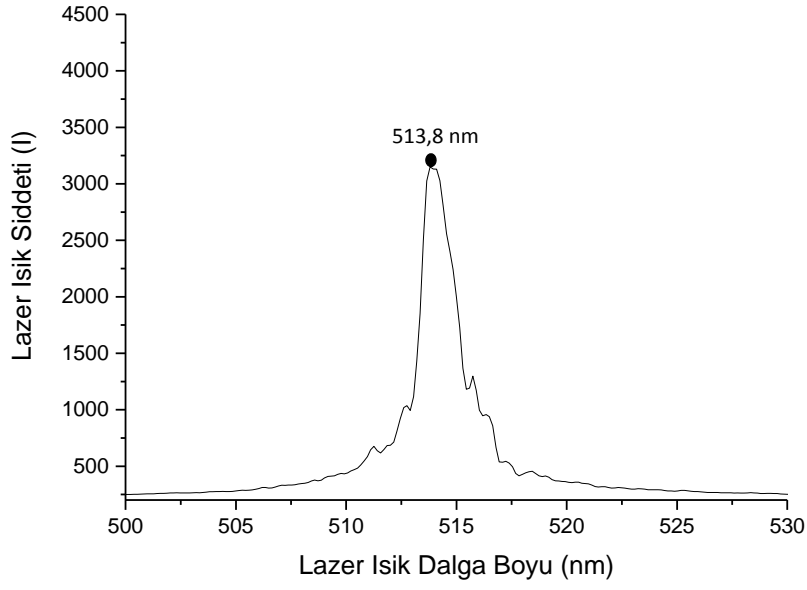
Optik geri beslemenin sağlanması için frekans seçici eleman, diyot lazer önüne önce 355° 'ye (ya da -5° 'ye), sonra 2° 'ye ve en son olarakta iki uç açısı değerinin ortanca noktası olan $358,50^\circ$ (ya da $-1,5^\circ$) 'ye konumlandırıldı. Dalga boyundaki pik oluşumu toplamda yedi derecelik bölgeye karşılık gelmiştir. Böylece yedi derecelik tarama aralığı olarak referans bölgemiz elde edilmiş oldu ve bu sayede harici boşluk genişletilmiş oldu. Frekans seçici elemanın konumu piezo kontrollü optik tutucunun X-Y-Z yönünde hareketi ile sağlandı.

Tarama için 355° başlangıç açısı değeri olarak belirlendi. Dalga boyu tarama aralığı Şekil 4.1.'de görüldüğü gibidir.



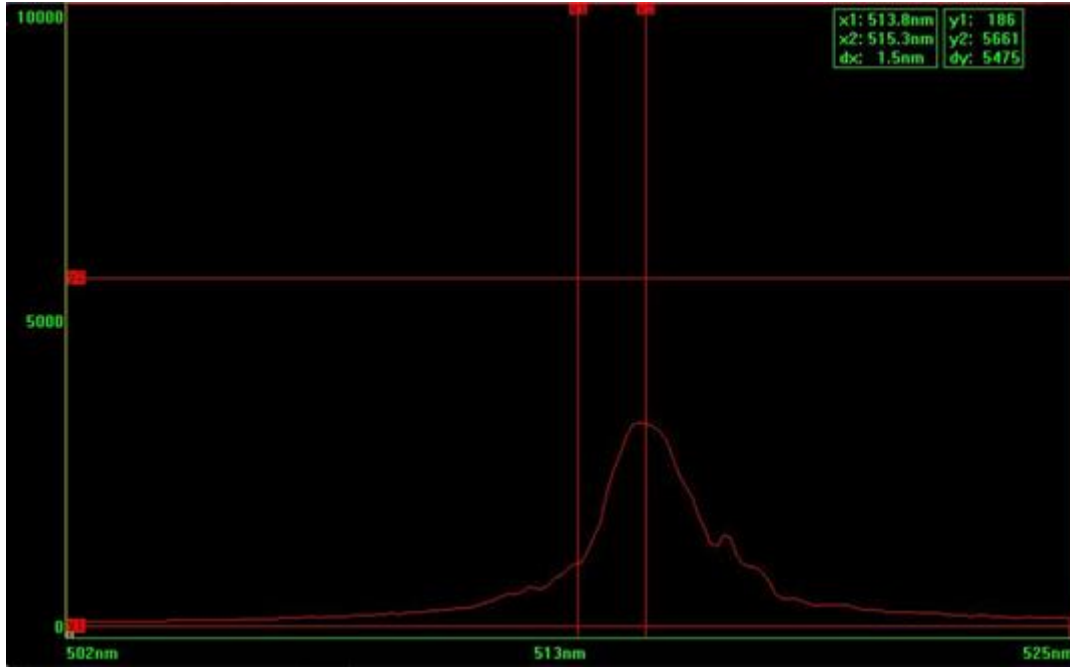
Şekil 4.1. Dalga boyu tarama aralığının birinci değeri

Sabit oda sıcaklığında yapılan deneyde, frekans seçici elemanın 355° (ya da -5°) döndürülmesiyle, lazer ışık dalga boyunun lazer ışık şiddetine karşılık gelen değişim grafiği Şekil 4.2.'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



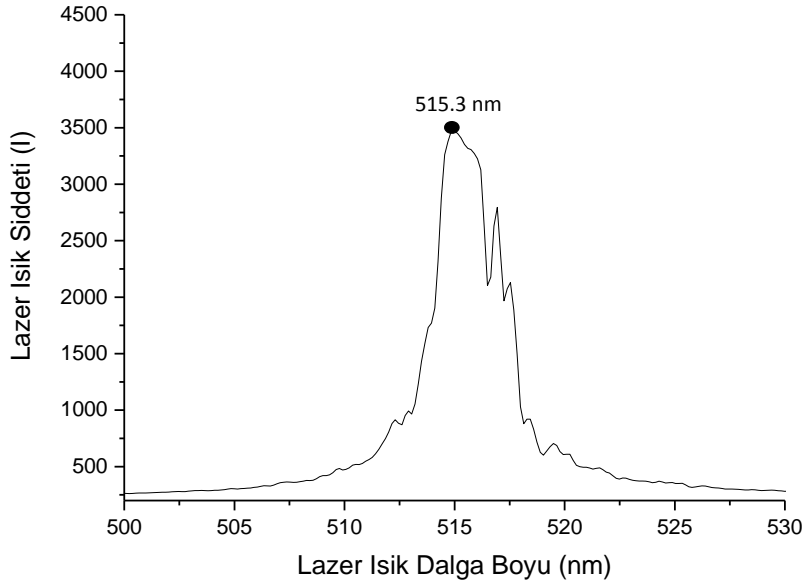
Şekil 4.2. Frekans seçici elemanın -5° döndürülmesiyle, lazer ışık dalga boyunun lazer ışık şiddetine karşılık gelen değişimi

Tarama için 2° ikinci açı değeri olarak belirlendi. Dalga boyu tarama aralığı Şekil 4.3.'de görüldüğü gibidir.



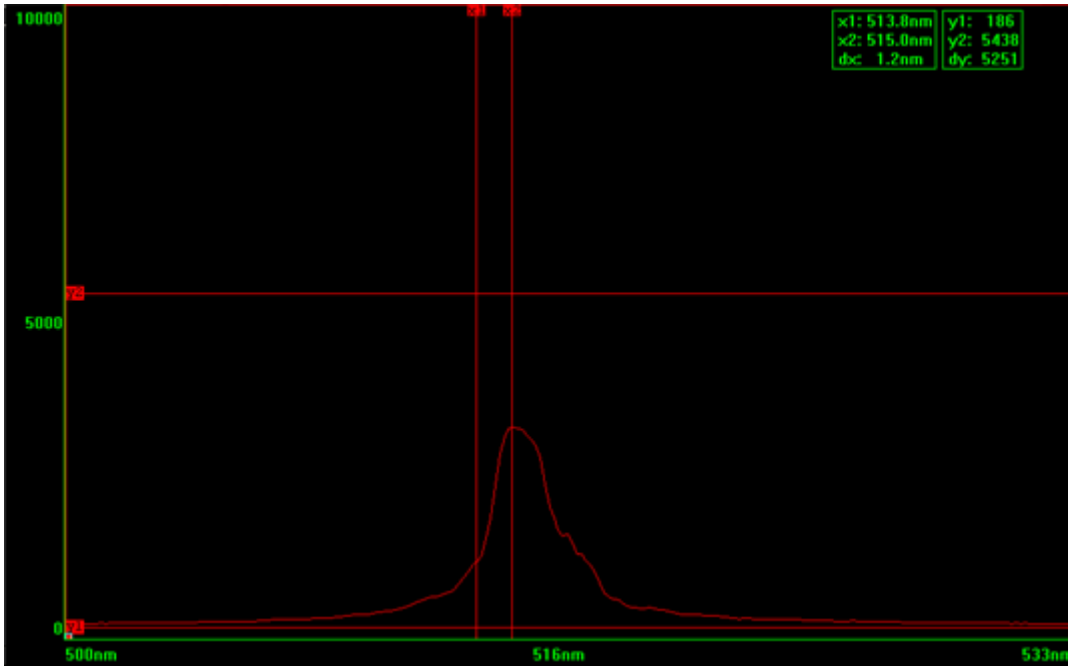
Şekil 4.3. Dalga boyu tarama aralığının ikinci değeri

Frekans seçici elemanın 2° döndürülmesiyle, lazer ışık dalga boyunun lazer ışık şiddetine karşılık gelen değişim grafiği Şekil 4.4.'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



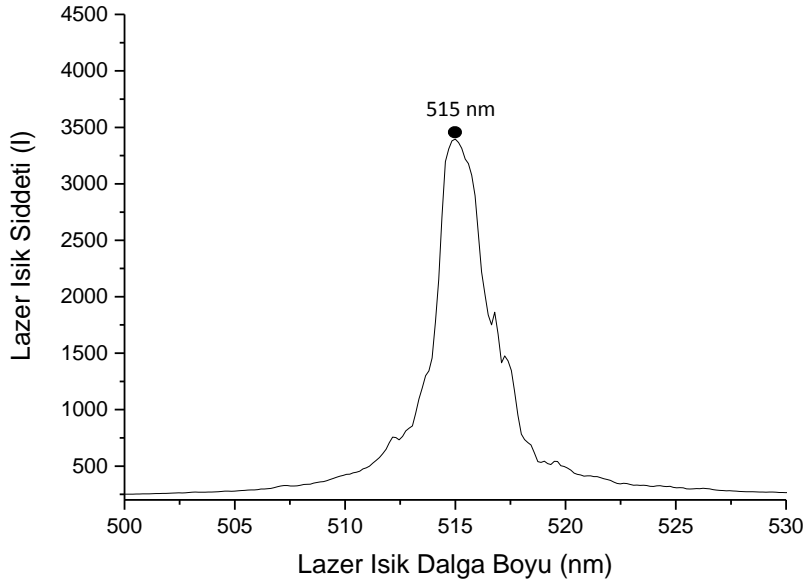
Şekil 4.4. Frekans seçici elemanın 2° döndürülmesiyle, lazer ışık şiddetinin lazer ışık dalga boyuna karşılık gelen değişimi

İki uç açısı değerinin orta noktası olan $358,50^\circ$ 'lik açısı değerinin karşılığı olan dalga boyu tarama aralığı Şekil 4.5.'de görülmektedir.



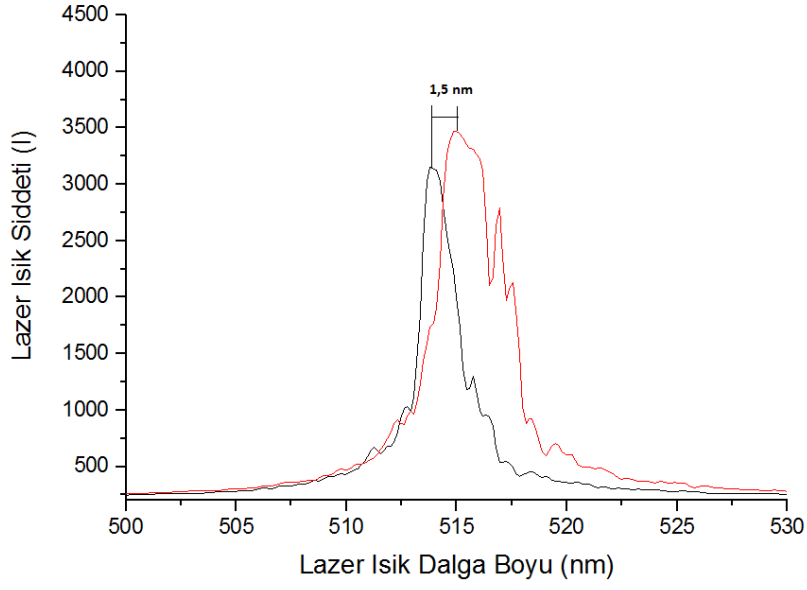
Şekil 4.5. Dalga boyu tarama aralığının ortanca değeri

Frekans seçici elemanın, iki uç değerin orta noktası olan 358.50° döndürülmesiyle, lazer ışık dalga boyununun lazer ışık şiddetine karşılık gelen değışim grafiği Şekil 4.6.'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



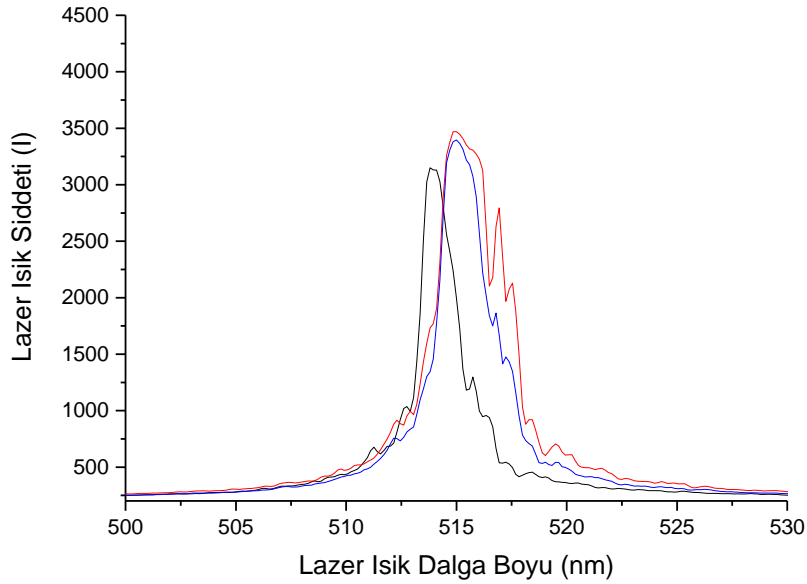
Şekil 4.6. Frekans seçici elemanın 358.50° döndürülmesiyle, lazer ışık şiddetinin lazer ışık dalga boyuna karşılık gelen değışimi

Frekans seçici elemanın 355° döndürülmesi sonucu elde edilen grafik ile 2° döndürülmesi sonucu elde edilen grafiğin karşılaştırılması Şekil 4.7.'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



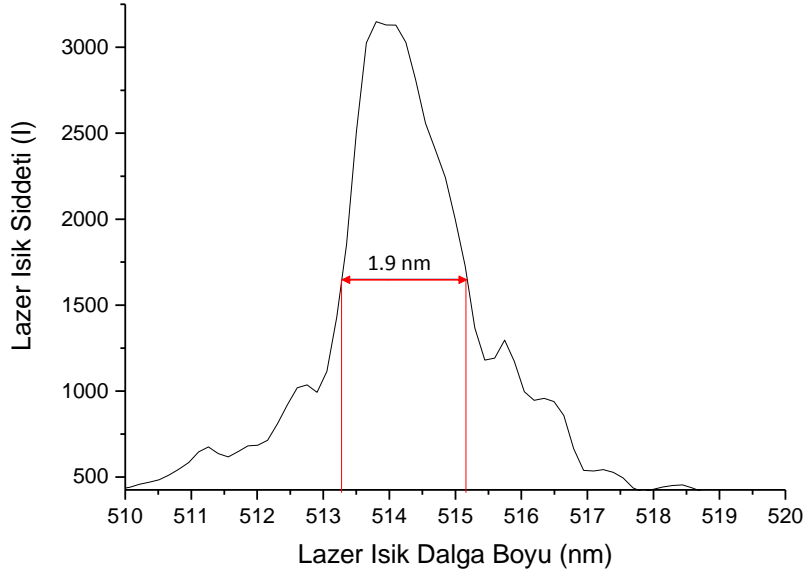
Şekil 4.7. Frekans seçici elemanın iki uç sınır değerlerinin karşılaştırılması

Frekans seçici elemanın 355° , 2° ve $358,50^\circ$ döndürülmesi sonucu elde edilen üç farklı grafiğin karşılaştırılması Şekil 4.8.'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.8. Frekans seçici elemanın üç farklı değerlerinin karşılaştırılması

Ölçümlerden elde edilen verilerin sonucuna göre, lazer ışığının dalga boyu genişliği 1,9 nm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Dalga boyu genişliği

Deneyde kullandığımız spektrometrenin ölçüm sınırı 2 nm'dir. Bu durum göz önüne alındığında, çıkan sonucun tutarlı bir değer olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; frekans seçici elemanın açısının değişimine bağlı olarak değişen dalga boyu tarama aralığı gözlemlenmiştir.

L520P50 – 520 nm diyot lazer önüne hacim fazlı holografik kırınım ızgarası belirli aç değerleriyle konumlandırıldı ve optik geri besleme sağlandı. Oda sıcaklığında yapılan çalışmada, diyot lazer – atom etkileşimi sayesinde harici optik salıncılı diyot lazer sistemi kurulmuş oldu. Kırınım ızgarası; 355° (ya da -5°), 2° ve $358,50^\circ$ (ya da $-1,5^\circ$) aç değerlerine bilgisayar aracılığıyla döndürüldü. Deney verileri, fiber optik kablo aracılığıyla alınıp bilgisayarda gözlemlendi.

Bulgulardan elde edilen sonuçlarına göre; frekans seçici elemanın toplam 7° 'lik hareketi sonunda bu lazerin 1,5 nm'lik tarama aralığı olduğu tespit edildi.

Bu çalışmanın; ilerde yapılması mümkün olan, hassas lazer sistemleri, nano-optik yapılar, malzeme bilimi gibi alanlara entegre edilebileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Galbacs, G. (2006). *Applied Spectroscopy Reviews. A Review of Applications and Experimental Improvements Related to Diode Laser Atomic Spectroscopy*. 41, 259-303. doi: 10.1080/05704920600620378
- [2]. Wang, W., Major, A., Paliwal, J. (2012). *Applied Spectroscopy Reviews. Grating-Stabilized External Cavity Diode Lasers for Raman Spectroscopy*. 47, 116-143. doi: 10.1080/05704928.2011.631649
- [3]. Nasim, H., Jamil, Y., (2014). *Optics & Laser Technology* (ss. 56:211-222).
- [4]. M. W. Fleming, and A. Mooradian, (1981). *IEEE J. Quant. Electron*, QE-17, (1), 44-59.
- [5]. R. Wyatt and W. J. Devlin, (1981). *Electron. Lett.* 19, (3), 110-112.
- [6]. C. E. Wieman, and L. Holberg, (1991). *Rev. Sci. Instrum.* 62, 1.
- [7]. Ye, C., (2004). *Tunable External Cavity Diode Lasers, edited by K. W. Tjan, (ss. 125-130)*. USA: Texas A & M University.
- [8]. Zoorebedian, P., (1995). *Tunable Lasers Hand Book, edited by F. J. Duarte*, London: Academic.
- [9]. Daniel, J., Thompson and Robert, E., Scholten. (2012). *Narrow linewidth tunable external cavity diode laser using wide bandwidth filter*. 83, 023107. doi:10.1063/1.3687441
- [10]. J, W, Goodman., (1996). *Introduction to Fourier Optics*. New York: McGraw-Hill.
- [11]. W. L. Bragg, (1942). "The X-ray microscope," *Nature*, vol. 149, p. 470.
- [12]. H. Kogelnik, (1969). "Coupled wave theory for thick hologram gratings," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 48, pp. 2909-2947.
- [13]. Gregory J. Steckman, Wenhai Liu, René Platz, Dominic Schroeder, Christophe Moser, and Frank Havermeier, (2007). *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol. 13, No. 3.
- [14]. T. Hieta, M. Vainio, C. Moser, E. Ikonen, (2009). *Optics Communications*, 282, 3119-3123.
- [15]. H. Talvitie, A. Pietilainen, H. Ludvigsen, E. Ikonen, (1997). *Rev. Sci. Instrum.*, 68, 1.
- [16]. X. Baillard, A. Gauguier, S. Bize, P. Lemonde, Ph. Laurent, A. Clairon, P. Rosenbusch, (2006). *Optics Communications*. 266, 609. doi: 10.1016/j.optcom.2006.05.011
- [17]. Akkoyun, S., Bayram, T., (2016). *Fizik ve Geometrik Optik 1 ve 2 (ss. 13)*. Ankara: Seçkin.
- [18]. J. Wilson and J.F.B. Hawkes, Prentice-Hall United Kingdom (1989). *Optoelektronik (İ. Okur, Çev.)* (ss. 1,204,176,185) İstanbul: Değişim yayınları.
- [19]. Milloni, P. W. and Eberly, J. H., (2008). *Laser Physics*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- [20]. Polat, B. (2015). *Akortlanabilen Harici Optik Salıncılı Yarı İletken Diyot Lazer Karakterinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin*.
- [21]. Jenkins, F., A., White, H., E., (1985) *Fundamentals of Optics 14th ed.* (ss. 262, 423-434). Singapore: Fong & Sons Printers Pte Ltd.
- [22]. Goca, N., (1993). *Optik (C. Çakır, Çev.)*. (ss. 27-34). İstanbul: Aktif.
- [23]. Bacanak, S. (2014). *Harici Optik Salıncılı Yarı İletken Diyot Lazer Sistemlerinde Saydam Frekans Seçici Kırınım Ağı Kullanılması Ve Akortlama Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin*.
- [24]. Aydın, R., (2016). *Lazer ve Temel Uygulamaları*. Ankara: ODTÜ
- [25]. Zettili, N., (2009). *Quantum Mechanics Concepts and Applications 2nd ed.* Jacksonville: Jacksonville State University.
- [26]. Tarakçıoğlu, N., Özcan, M., (2004). *Lazerler ve Materyal İşleme Uygulamaları* (ss. 16). İstanbul: Atlas.
- [27]. J. Wilson and J.F.B. Hawkes, (1989). *Laser Principles and Applications*. United Kingdom: Prentice Hall International
- [28]. Svelto, O., (1976). *Principles of Lasers 5th ed.* (C., H., David, Çev.) (ss. 11). England: Springer Science+Business Media.
- [29]. Freeman W. H. (1969). *Lasers and Light*, Chapter 4, Scientific Amerika, San Fransisco.
- [30]. Maiman T., H., (1960). *Stimulated Optical Radiation in Ruby Masers*. *Nature*, 187-493.
- [31]. Pedrotti, F., L., Pedrotti, L., S., Pedrotti, L., M., Addison-Wesley USA (2007). *Optik 3th ed.* (M. Özdemir, Çev.) (ss. 131-135, 575) Ankara: Palme yayınları.
- [32]. Hecht, E., (1998). *Optics 3th ed.* (ss. 575). New York: Addison Wesley

- [33]. Du, J., (2000). *Laser Welding of Ultra Thin Stainless Steel 316L Sheets*. Mechanical, Material and Aerospace Engineering in the Colloge of Engineering and Computer Science at the University of Central Florida, Orlando
- [34]. Weber, M., J., (1999). *Handbooks of Laser Wavelengths*. USA: Crc Press
- [35]. Yıldırım, R. (1996). Optik Geri Beslemeli Yariletken Lazer Diyodun Volterra Serisi İle Modellenmesi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- [36]. C. J. Hawthorn *et al.*, (2001). "Littrow configuration tunable external cavity diode laser with fixed direction output beam", *Rev. Sci. Instrum.*,72 (12), 4477.
- [37]. K. Liu and M. G. Littman, (1981). "Novel geometry for single-mode scanning of tunable lasers", *Opt. Lett.* 6 (3), 117.
- [38]. Kaiser Optical Systems, 11.10.2017 tarihinde http://www.kosi.com/na_en/products/holographic-gratings/vph/intro-to-vph-for-transmission.php adresinden erişildi.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Zülfü DOĞAN

Doğum Tarihi : 12.03.1988

E-mail : zulfu1988@hotmail.com

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Fizik	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2010-2015
Yüksek Lisans	Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler	Mersin Üniversitesi	2016-2019