

**AKORTLANABİLEN HARİCİ OPTİK SALINICILI  
YARI İLETKEN DİYOT LAZER KARAKTERİNİN  
İNCELENMESİ**

**BARIŞ POLAT**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK  
ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. İbrahim KÜÇÜKKARA**

**MERSİN  
ARALIK – 2014**

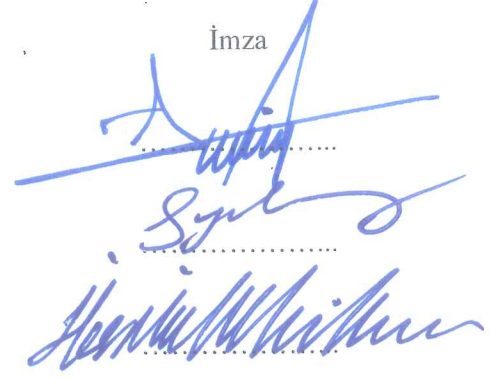
Barış POLAT tarafından Yrd.Doç.Dr.İbrahim KÜÇÜKKARA danışmanlığında hazırlanan “ Akortlanabilen Harici Optik Salımcılı Yarı İletken Diyot Lazer Karakterinin İncelenmesi ” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. A.Murat GİZİR

Yrd.Doç. Dr.Serdar YILMAZ

Yrd.Doç.Dr. İbrahim KÜÇÜKKARA

İmza



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23./01./2015.tarih ve 2015.02./...75..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
Doç.Dr.Mehmet KÜÇÜKASLAN  
Enstitü Müdürü

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

## AKORTLANABİLEN HARİCİ OPTİK SALINICILI YARI İLETKEN DİYOT LAZER KARAKTERİNİN İNCELENMESİ

BARIŞ POLAT

### ÖZ

1980’li yılların başında oda sıcaklığında çalışabilen ilk yarı-iletken diyot lazer (Lazer Diyotu, LD) üretildi. 1990’lı yılların sonlarına doğru diyot lazerler, akortlanabilir lazer sistemleri içinde yeni ve pek çok üstünlüğe sahip araçlar olarak, atomik araştırmalar konusu başta olmak üzere çok farklı temel bilim ve teknoloji alanında kullanılmaya başlandı.

LD, önüne konulan bir frekans seçici eleman yardımıyla Harici Optik Salıncılı Diyot Lazer (HOSDL) sistemi adını verdiğimiz ve tek bir atomu dahi kontrol edebilen hassas bir araç haline getirildi. 2001 yılında Bose-Einstein yoğunlaşmasına ait deneysel gösterimin HOSDL ile yapılması ve çalışmanın Nobel ödülü alması, bu lazer sistemin öneminin artmasına neden oldu.

HOSDL sistemleri başta atomların kuantum düzeylerinin kontrolü ve fiber optik haberleşme olmak üzere, pek çok temel ve uygulamalı araştırmanın önemli araçlarından birisi oldu. Ancak tarama aralıklarının birkaç nanometre ile sınırlı olması, mekanik, akustik ve ısıl değişimlere karşı hassas olmaları bu sistemlerin geliştirilmesi için önemli fırsatlar sunmaktadır. Yukarıda belirtilen iki sorunun çözümüne ilişkin bu tezin yaklaşımı; LD’yi  $-45/-47^{\circ}\text{C}$  ye kadar soğutabilen ve sistemi vakum ortamında çalıştırabilen, kullanımı kolay, çok işlevli bir platformdur.

**Anahtar kelimeler:** Harici optik salıncılı diyot lazer sistemleri, lazer spektroskopisi, lazer fiziği.

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. İbrahim Küçükpara, Mersin Üniversitesi, Fizik Ana Bilim Dalı.

## **RESEARCHING INTO TUNABLE EXTERNAL CAVITY SEMI CONDUCTOR DIODE LASER'S CHARACTERISTIC**

**BARIŞ POLAT**

### **ABSTRACT**

In the beginning of 1980's the first semiconductor laser diode (LD) working at room temperature was successfully operated. Two decades later, at the end of the 1990's diode lasers started to play very important role in the tunable lasers family with lots of new and useful features mainly in the atomic researches and in the different technologies.

An External Cavity Diode Laser (ECDL) system, consists mainly of a LD and a frequency selective element placed in front of it which, can control even a single atom. In the year 2001 Bose-Einstein condensation experiment successfully conducted with the aid of an ECDL system. Finally this experimental work won the Nobel Prize accordingly ECDLs took the attention from the different research fields including analytical chemistry, material science, quantum optics etc.

In the first place, ECDL systems were used in field of the quantum control of the atoms and as an applied fiber optic communication technology. But ECDL system had some important restrictions including sensitivity to mechanical, acoustic, thermal variations. More importantly this system's tuning ability is still restricted with a few nano-meter. Therefore, those drawbacks with the ECDL systems bring new research opportunities. This thesis's approach solving those problems; designing a platform that is running the LD down to -45/-47 Celsius under vacuum with the ease of use, practical and multi functional.

**Keywords:** External cavity diode laser systems (ECDLS), laser spectroscopy, laser physics.

**Advisor:** Assoc. Prof. İbrahim KÜÇÜKKARA, Department of Physics, University of Mersin

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteğini esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. İbrahim KÜÇÜKKARA'ya, yüksek lisans tez savunma sınavı jürilerim Prof. Dr. A. Murat GİZİR'e, Yrd. Doç. Dr. Serdar YILMAZ'a, Yrd. Doç. Dr. Evren DEĞİRMENCİ'ye ve Dr. Ali Can GÜNHAN'a, her konuda desteğiyle bana güç veren Doç. Dr. Ali Özgün OK'a, her konuda bana yardımcı olan fizik bölüm sekreterleri Mehmet ŞAHAN'a ve Sıdıka DİRİÖZSUN'a, maddi ve manevi destekleriyle beni bu günlerime getiren annem Kamile POLAT'a ve babam Kemal POLAT'a, her daim arkamda duran abim Savaş POLAT'a, laboratuarda her türlü desteği sağlayan, bilgilerini benden esirgemeyen, her konuda destekçim olan laboratuvar arkadaşım Sema BACANAK'a, çok sevdiğim can dostlarım Haydar Onur KOÇ'a, Emre GÜLCÜ'ye, İbrahim MÜNHAN'a, Hasan AYANOĞLU'na ve Çağdaş YILDIZ'a, Mersin Üniversitesi organik kimya laboratuvarında çalışan bana her konuda yardımcı olan dostlarım Özgür YILMAZ'a ve Yılmaz LEBA'ya, yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyen Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü Doç. Dr. Mehmet KÜÇÜKASLAN'a, Fen Bilimleri Enstitü Sekreteri Nazmiye GÖKÇEL'e, Fen Bilimleri Enstitüsü Öğrenci İşleri Sorumluları Aslan TUFAN'a ve Vedat TÜRAKÇI'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZ</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>4</b>
2.1. IŞIĞIN DALGA VE PARÇACIK YAPISI .....	4
2.2. LAZER İŞLEMİ.....	11
2.2.1. Radyasyonun Salınması ve Soğurulması .....	11
2.2.2. Einstein Bağlıntıları.....	15
2.2.3. Radyasyon Soğurulması.....	17
2.2.4. Nüfus Tersinmesi .....	21
2.2.4.1. Nüfus tersinmesinin elde edilmesi .....	23
2.2.5. Optik Geri Besleme .....	27
2.3. LAZER IŞIĞININ ÖZELLİKLERİ .....	30
2.3.1. Tek Renklilik .....	31
2.3.2. Yönlenebilirlik .....	32
2.3.3. Parlaklık .....	33
2.3.4. Eş evreli olma durumu (Eş evrelilik) .....	34
2.4. LAZERLERİN SINIFLANDIRILMASI .....	34

2.4.1. Boya Lazerler .....	35
2.4.2. Katı-Hal Lazerler .....	36
2.4.3. Gaz Lazerler .....	40
2.4.4. Sürekli Işımalı Lazerler ve Darbeli Lazerler .....	52
2.4.5. Yarı İletken Diyot Lazerler .....	55
2.5. TERMOELEKTRİK SOĞUTUCULAR (TEC, Peltier) .....	66
2.5.1. P-Tipi Elemanlar .....	67
2.5.2. N-Tipi Elemanlar .....	68
2.5.3. P-N Çifti .....	69
2.5.4. Termoelektrik Etkiler .....	70
2.5.4.1. Peltier Etkisi .....	70
2.5.4.2. Thomson Etkisi .....	71
2.5.4.3. Seebeck Etkisi .....	71
<b>3. MATERİYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>72</b>
3.1. HARİCİ OPTİK SALINICILI DİYOT LAZER (External Cavity Diode Laser, ECDL, HOSDL) SİSTEMİ TASARIMI .....	72
3.1.1. Sistemin Tasarlanması ve Kurulması .....	73
3.1.1.1. Lazer kafasının seçimi, dizayn edilmesi ve montajı .....	73
3.1.1.2. Termoelektrik soğutucuların (TEC, peltier) seçimi, sisteme entegre edilmesi ve sistemin simülasyonu .....	74
3.1.1.3. Isı havuzunun seçimi ve üzerine uygulanan işlemler .....	76
3.1.1.4. Vakumun sağlanması ve test edilmesi .....	78
3.1.1.5. Nem ölçümü ve nemin giderilmesi .....	79
3.1.1.6. Veri alınırken kullanılan cihazların, optik malzemelerin tanıtılması ve teknik özellikleri .....	80
3.1.2. Sistemin Çalıştırılması ve Performansı .....	92

<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>104</b>
4.1. HOSDL SİSTEMİ ÜZERİNDE OLUŞAN ISI MİKTARININ BULUNMASI VE LAZER PLATFORMUNUN 3 BOYUTLU GÖSTERİMİ.....	104
4.2. LAZERİN ÇIKIŞ IŞIĞININ KARAKTERİSTİĞİ.....	108
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>119</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>138</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>141</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Young'ın çift yarıktaki girişim deneyi.....	5
Şekil 2.2. Metal yüzeye düşürülen fotonların, elektron kopardığını gösteren Fotoelektrik olayı .....	7
Şekil 2.3. Compton saçılması.....	9
Şekil 2.4. İki enerji seviyeli sistem .....	13
Şekil 2.5. Uyarılmış soğurma .....	13
Şekil 2.6. Kendiliğinden yayımlama .....	13
Şekil 2.7. Uyarılmış yayımlama .....	14
Şekil 2.8. $\Delta x$ uzunluklu ve birim kesit yüzeyli bir hacmi geçen radyasyon .....	19
Şekil 2.9a. İki enerji seviyeli sistemin ısı dengesi sonrası nüfusu .....	22
Şekil 2.9b. İki enerji seviyeli sistemin nüfus tersinmesi sonrası nüfusu .....	22
Şekil 2.10a. Bir üç seviyeli sistemde pompalamadan önceki Boltzman dağılımı. ....	24
Şekil 2.10b. Bir üç seviyeli sistemde pompalamadan sonraki dağılım ve içerilen geçişler .....	24
Şekil 2.11a. Bir dört seviyeli sistemde pompalanmadan önceki enerji seviyelerinin nüfusu. ....	26
Şekil 2.11b. Bir dört seviyeli sistemde pompalanmadan sonraki enerji seviyelerinin nüfusu.....	26
Şekil 2.12. Sıkça kullanılan bazı lazer rezonatör ayna şekilleri. (Kesik çizgiler her bir durumda mod hacminin genişliğini belirtmektedir.).....	29
Şekil 2.13. Yakut lazerin yapısı .....	38
Şekil 2.14. Yakut lazerin enerji seviyeleri. ....	39
Şekil 2.15. Uyarılmadan sonra Helyum ve Neon atomlarının durumu.....	41
Şekil 2.16. Helyum Neon gaz lazerin pompalama gerilimi ile akım değişimi. ....	42
Şekil 2.17. Argon lazer tüpünün yapısı. ....	44
Şekil 2.18. Argon lazerin enerji seviyeleri.....	44
Şekil 2.19. Argon lazerin çok hatlı çalışma modu. ....	46
Şekil 2.20. CO <sub>2</sub> molekülünün yapısı ve titreşim şekilleri .....	47
Şekil 2.21. CO <sub>2</sub> gaz lazerin enerji seviyeleri.....	48
Şekil 2.22. Eksen akışlı tip CO <sub>2</sub> gaz lazerin yapısı. ....	49

Şekil 2.23. Eksen akışlı tip CO <sub>2</sub> gaz lazerin yapısı .....	51
Şekil 2.24. Üç düzeyli bir lazerin enerji şeması (neodim lazeri) .....	53
Şekil 2.25. Lazer oluşum şeması.....	54
Şekil 2.26. Dört düzeyli bir lazerin enerji şeması (yakut lazeri).....	54
Şekil 2.27. Yarı iletken diyot lazerin aktif bölge ve mod hacmini gösteren diyagram .....	57
Şekil 2.28. İdeal bir yarıiletken lazerin ışık çıkışı-akım karakteristiği .....	61
Şekil 2.29. Bir P-N eklem lazeri için frekansın fonksiyonu olarak yayılan (radyant) çıkış; (a) eşik altında (kendiliğinden salma), (b) eşikteki lazer modları ve (c) baskın lazer modunun eşik üzerinde olması durumu (ışınma ölçekleri (a) dan (c) ye şeklinde sıkıştırılmıştır) .....	62
Şekil 2.30. Peltier modülünün iç yapısı.....	67
Şekil 2.31. P tipi elemanın bağlantı biçimi. ....	68
Şekil 2.32. N tipi elemanın bağlantı biçimi.....	69
Şekil 2.33. P-N çiftinin bağlantı biçimi.....	70
Şekil 3.1. Kurulan HOSDL sisteminin şematik gösterimi .....	72
Şekil 3.2. Lazer kafasının 3 boyutlu gösterimi.....	73
Şekil 3.3. Kryotherm programının bilgisayar ekranındaki görünümü .....	76
Şekil 3.4. Alüminyum soğutucunun 3 boyutlu gösterimi .....	77
Şekil 3.5. Deneysel düzeneğin 3 boyutlu gösterimi .....	102
Şekil 4.1. Kurulan lazer platformunun 3 boyutlu gösterimi.....	107

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Tablo 2.1. Elektromanyetik spektrum .....	6
Tablo 2.2. Işığın dalga özelliği ile parçacık özelliğinin karşılaştırılması .....	10
Tablo 2.3. Lazer tiplerinin ürettikleri dalga boyu ve çıkış güçleri.....	35
Tablo 2.4. Yarı iletken diyot lazer çeşitleri.....	58
Tablo 3.1. Deneyde kullanılan termoelektrik soğutucular ve özellikleri .....	81
Tablo 3.2. Deneyde kullanılan optik güç ölçer sensörü ve özellikleri .....	82
Tablo 3.3. Deneyde kullanılan optik güç ölçer ve özellikleri .....	83
Tablo 3.4. Deneyde kullanılan fiber optik kablo ve özellikleri.....	83
Tablo 3.5. Deneyde kullanılan spektrometre ve özellikleri .....	84
Tablo 3.6. Deneyde kullanılan lazer kontrol ünitesi ve özellikleri .....	85
Tablo 3.7. Deneyde kullanılan güç kaynağı ve özellikleri.....	86
Tablo 3.8. Deneyde kullanılan diyot lazerler ve özellikleri .....	87
Tablo 3.9. Deneyde kullanılan vakum pompası ve özellikleri.....	88
Tablo 3.10. Deneyde kullanılan fanlar ve özellikleri .....	88
Tablo 3.11. Deneyde kullanılan nem ölçer ve özellikleri .....	88
Tablo 3.12. Deneyde kullanılan ısı ölçer ve özellikleri.....	89
Tablo 3.13. Deneyde kullanılan ısı ölçer ve özellikleri.....	90
Tablo 3.14. Deneyde kullanılan wedge window ve özellikleri .....	90
Tablo 3.15. Deneyde kullanılan piezo güç kaynağı, üç boyutlu piezo optik tutucu ve özellikleri.....	91
Tablo 3.16. Deneyde kullanılan ısı sensörü ve özellikleri .....	91
Tablo 4.1. Lazer kafası +60°C’deyken, lazer ışığının karakteristik verileri .....	108
Tablo 4.2. Lazer kafası +25°C’deyken, lazer ışığının karakteristik verileri .....	109
Tablo 4.3. Lazer kafası 0°C’deyken, lazer ışığının karakteristik verileri.....	110
Tablo 4.4. Lazer kafası -45°C’deyken, lazer ışığının karakteristik verileri .....	111
Tablo 4.5. Lazer kafası -47°C’deyken, lazer ışığının karakteristik verileri .....	112
Tablo 4.6. Lazer kafası -45°C’ye indirilirken, peltierlere verilen voltaj-akım, ısı havuzunun (platform) sıcaklığı ve lazer kafası sıcaklığı verileri .....	114
Tablo 4.7. Lazer kafasının sıcaklığını +60°C’den -45°C’ye değiştirerek, lazer ışığının sıcaklık değişimine karşı dalga boyu değişim verileri .....	114

Tablo 4.8. Lazer kafası  $-47^{\circ}\text{C}$ 'ye indirilirken, peltierlere verilen voltaj-akım, ısı havuzunun (platform) sıcaklığı ve lazer kafası sıcaklığı verileri ..... 116

Tablo 4.9. Lazer kafasının sıcaklığını  $+61^{\circ}\text{C}$ 'den  $-47^{\circ}\text{C}$ 'ye değiştirerek, lazer ışığının sıcaklık değişimine karşı dalga boyu değişim verileri ..... 117



## **1.GİRİŞ**

İlk diyot lazer 1962 yılında General Electric (GE) ve International Business Machines (IBM) şirketlerinin araştırma laboratuvarlarında çalıştırıldı. Bu lazerler GaAs temelli atmalı lazerlerdi ve kriyojenik sıcaklıklarda çalışabilen çok geniş hacimliydiler. Bundan dolayı da pratik kullanıma yatkın değillerdi. Oda sıcaklığında çalışabilen sürekli ışmalı ilk diyot lazer 1970 li yılların başında Bell firmasının laboratuvarlarında çalıştırıldı [1,2].

British Telecom (BT) ve AT&T Bell laboratuvarlarında 1980 li yıllarda harici optik salıncılı diyot lazer sistemleri konusunda önemli çalışmalar yapıldı. Elektronik haberleşme temelli bu firmaların eşevrelili optik haberleşme sistemleri konusuna olan ilgisi, diyot lazer teknolojisine yardımcı oldu. Bununla ilişkili olarak harici optik salıncılı lazer sistemlerinin de gelişmesine son derece önemli katkılarda bulundu. Harici optik salıncılı diyot lazer sistemlerine ve bu sistemlerin ışınlarına ait ilk kapsamlı makale, Fleming ve Moradian ın 1981 yılında yayınlandı [3]. 1980 li yılların sonuna gelindiğinde HOSDL sistemleri spektroskopisi ile ilgili çalışmaların ve ticari optik haberleşme sistemlerinin vazgeçilmez, sürekli gelişen ve gelecek vadeden test elemanları arasına girdi [3].

HOSDL sisteminin atom fiziği konusunda kullanılan diğer lazerlere üstünlüğünün olması ve özellikle son derece dar bant genişliğinde (100kHz) ışın yapabilmesi, 1990' lı yılların başında onu hassas atom-lazer etkileşmeleri ile ilgili araştırmalarda tercih edilen lazer türü haline getirdi [4]. Özellikle 1990 lı yılların sonlarına doğru lazer ile atomik soğutma araştırmalarında HOSDL lar, en önemli laboratuvar cihazları haline geldi. Sonuç olarak C. Wieman, E. Cornell, W. Ketterle, seyreltilmiş alkali gazlarda Bose-Einstein yoğunlaşmasının elde edilmesi ile ilgili çalışmalarıyla Nobel Ödülü aldılar. Bu çalışmada kullanılan temel araç, dar bantlı akortlanabilir HOSDL sistemiydi [5]. Bu tür lazer sistemlerinin temel özelliği, bir tek atomu kontrol edebilecek hassas bir frekans bant genişliğine sahip olmasıdır. Gelecekte malzeme bilimi, nano-teknoloji ve tek molekül spektroskopisi gibi yüksek teknolojinin sınırlarını zorlayan çalışmalarda HOSDL sistemlerinin daha da ön plana çıkması öngörülmektedir [6,7].

Günümüzde kullanılan HOSDL sistemlerinin:

- a) mekanik ve akustik etkilere karşı son derece duyarlı olmaları,
- b) diyot lazer bölgesinin ve optik seçici elemanların çeşitli ısasal değişikliklere bağlı olarak çıkış frekansının değişmesi,
- c) pek çok diyot lazer çeşidi bulunmasına rağmen, atomik rezonans frekansları konusunda optik bölgenin yeterli bir frekans bölgesini kapsayacak diyot lazerlerin bulunmaması,

zayıf yönlerini ve çözülmesi gereken problemleri göstermektedir [3].

Yukarıda ifade edilen son maddenin (c) çözümü için yaptığımız literatür taramasında, yalnızca referans [8]'de yer alan çalışmaya rastlanmıştır. Tezde yer alan HOSDL sisteminin tarama frekans aralığının genişletilmesi için, sistemdeki lazer diyotunun sıcaklığını oda sıcaklığının oldukça ötesine taşıyarak (-45/-47<sup>0</sup>C), yarı iletken çalışma sınırlarına kadar inilebileceği ve böylece tarama frekans aralığının genişletilebileceği fikri ortaya atılmıştır. Ancak bu kadar düşük sıcaklıkta ortamdaki nemin sistemdeki optik üzerinde ve dolayısıyla çıkış gücünde yarattığı olumsuz etki tam giderilebilmiş değildir. Ayrıca sözü edilen çalışmada yapılan hesaplamalarda, lazer diyotunu -45/-47<sup>0</sup>C'ye kadar soğutmak için kullanılması gereken termoelektrik soğutucuların (Thermoelectric Cooler, TEC) özel üretim olması ve sistemin ciddi bir ısı yalıtım malzemesi ile kaplanması gerektiği ifade edilmiştir. Böyle bir tasarımda lazer cihazının frekans taraması yapması da çok zor olmaktadır. Bu olumsuzluklar HOSDL sisteminin pratik kullanımını ciddi oranda olumsuz etkilemekte ve hatta olanaksız hale getirmektedir.

Yaptığımız literatür çalışmaları sonucunda, yukarıda saydığımız bu olumsuz durumları giderme konusunda yeni bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu olumsuzlukların giderilmesi konusunda, cihaz vakum içinde çalıştırılmıştır. Tezde yer alan, HOSDL sistemini vakum altında çalıştırılması, düşük maliyetli, kullanımı işlevsel bir platform tasarlanması, kurulması ve çalıştırılması konu alınmıştır.

Tez çalışmasının amacı, ait lazer diyotunu vakum ortamında  $-45/-47^{\circ}\text{C}$  de çalıştırarak, bu sistemin frekans tarama aralığını, oda şartlarındaki frekans tarama aralığının oldukça uzağına taşımaktır (16.5nm). Vakum ortamı, kendi tasarladığımız hava soğutmalı pratik kullanımlı lazer platformu ile sağlandı. Böylece, bu çalışma ile HOSDL sisteminin atom-foton etkileşimi altında yer alan kullanım alanlarının genişlemesine katkıda bulunulmuştur. Bu sistem kurulması ile bildiğimiz kadarıyla literatürde bulunmayan bir HOSDL sistemi tasarımı hayata geçirilmiş olmaktadır. Tezde tasarlanan bu sistem, nano-optik araştırmalarında, malzeme bilimi alanında, lazer spektroskopisinde, atomik araştırmalarda, kuantum girişimi konularında, akortlanabilir dar bantlı lazer ışık kaynağı gereksinimini karşılayacağı öngörülmektedir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. IŞIĞIN DALGA VE PARÇACIK YAPISI

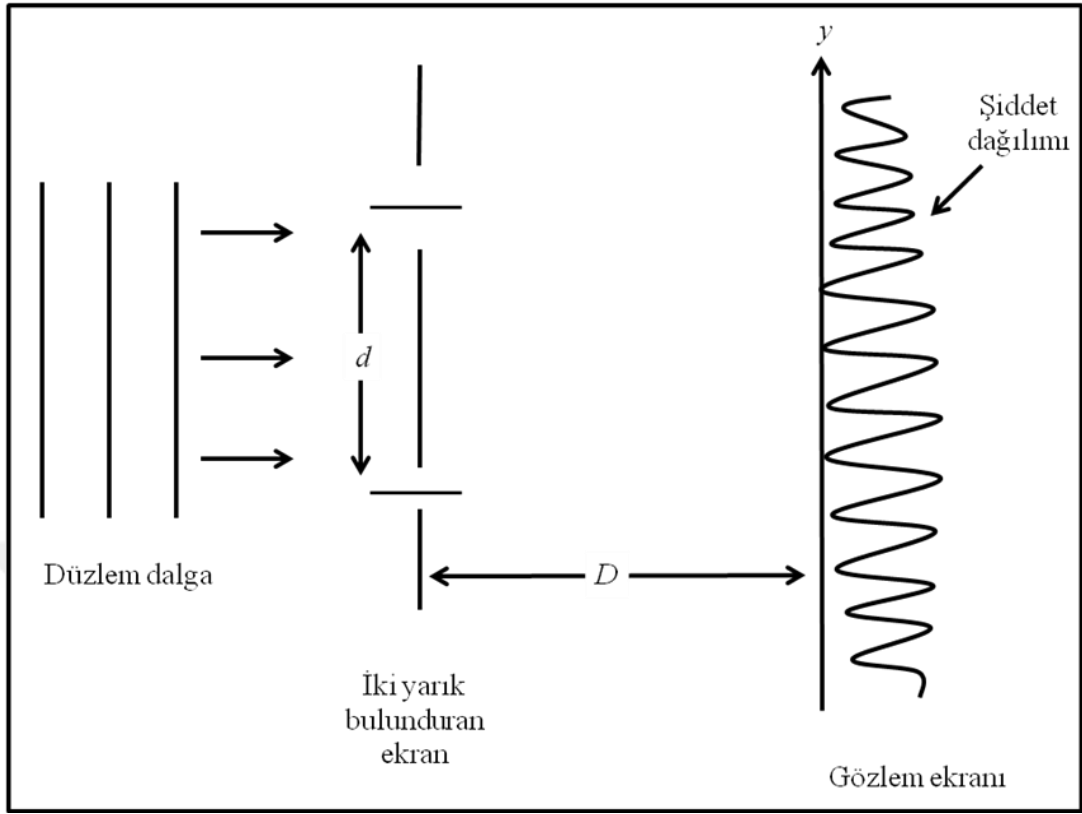
Canlıların görme işlemini gerçekleştirebilmesi ve gördüğü herşeyi ayırt edebilmesi için ışık şarttır. Işık, bir ışık kaynağından çıkarak bir nesneye çarpar veya yansımaya uğrayarak nesnelerin görülmesini ve ayırt edilmesi sağlamaktadır. Işık hızı simgesel olarak, Yunanca'da celeritas (hız) anlamına gelen bu kelimenin baş harfi olan "c" ile gösterilir [9].

Işığın anlaşılabilmesi ve ışığın özgül dalga-parçacık ikileminin ortaya atılması 17. yy.'a uzanmaktadır. Işığın anlatan teorilerden biri; Hooke ve Huygens'in "dalga teorisi", diğeri ise Newton'un "tanecik" teorisidir. Işığın daha iyi anlayabilmek adına ortaya atılmış teorilerin üzerine Young, Euler, Malus ve daha nice bilim insanları, Hooke ve Huygens'in yarattığı dalga teorisine katılarak, dalga teorisinin anlaşılmasına yardımcı oldular[10].

#### *Işığın dalga yapısı*

Işığın dalga yapısının olup olmadığı teorisi çok çabuk kabul edilen bir teori olmamıştır. Ses ve su dalgaları fiziksel dalgalar oldukları için ortama ihtiyaç duymaktadırlar. Ek olarak güneşten gelen ışık ışınlarının dalga hareketi yaptığı varsayılsa bile, herhangi bir nesneye çarptıklarında gölgelenmeler, görülmeyen köşeler ve bükülmeler çok net bir şekilde görülebilecekti. Daha sonra bu olayın, ışığın kırınımı olarak 1660'lı yıllarda Francesco Grimaldi tarafından bulunduğu görülebilecekti. Grimaldi ışığın dalga yapısını deneysel veriler ışığında gösterdi. Fakat bu verilere inanmayıp bilim adamları ışığın dalga yapısını reddetti. 1678'de Christian Huygens, Grimaldi'nin çalışmalarına ek bir çalışma yaparak, yansıma ve kırılma yasaları ile ışığın dalga teorisinin açıklanabileceğini göstermiştir [11].





Şekil 2.1. Young'ın çift yarıқта girişim deneyi [12].

İşğın dalga modeli 1801'de Thomas Young tarafından yapılan işğın girişim deneyiyle kanıtlanmıştır. Şekil 2.1'deki Young'ın çift yarıқта girişim deneyindeki dalga modelinde; aydınlatılma işlemi düzelemsel ve tek renkli bir dalga ile yapılmıştır. Gözlem yapabilmek için yarıkların arka taraflarına birer ekran konmuştur. Yarıklardan çıkan ışık ışınları üst üste binerek Şekil 2.1'deki girişim desenini oluşturmuşlardır [13].

Her yarık bir ışık kaynağı gibi davrandığı için işğın etrafında belirli noktalarda ışık dalgaları yıkıcı girişimi oluşturarak birbirini sönmüldürmüşlerdir. Parçacık teorisi bu durumu açıklamaya yetmemiştir. Beklenen birden fazla parçacığın üst üste gelerek daha büyük bir parçacığı oluşturmasıyken, akla uymayan sönmülenme olayı gerçekleşmiştir. Young'ın deneyinden sonra, girişim ve kırınım olaylarının, Augustin Fresnel tarafından deneysel çalışmaları yapılmıştır. Jean Foucault'un 1850'de, sıvı içerisindeki ışık hızının havadakinden daha az olduğunu göstermesiyle parçacık teorisinin yetersiz kaldığı anlaşılmıştır. [14].

1864 yılında Maxwell, elektromanyetiklik adına çıkarılan eşitliklerin genel birleştirilmesini sağlamış ve enine elektromanyetik dalgaların (TEM) olabilirliğini ortaya atmıştır. Bahsedilen bu enine dalgaların serbest (boş) uzayda ilerleme hızları;

$$c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (2.1)$$

İle verilmektedir.  $\mu_0$ ; serbest uzayın manyetik geçirgenliği,  $\epsilon_0$ ; serbest uzayın elektriksel geçirgenliğidir. Bu değerlerin deneysel olarak bir karşılığı bulunmakta ve bu değerler yerine koyulduğunda ışık hızı boşlukta yaklaşık 500nm dalga boyuna ve yaklaşık  $5 \times 10^{14}$ Hz frekansa sahip bir elektromanyetik dalga olduğu ortaya atılmıştır. Tablo 2.1’de de gösterilmiş olduğu gibi elektromanyetik dalgaların direkt olarak birbirlerine geçişi söz konusu değildir. Bu yüzden Tablo 2.1’e bakılarak hangi aralıklarda, hangi dalga çeşidinin yoğun olduğu tespit edilebilmektedir.

Tablo 2.1. Elektromanyetik spektrum.

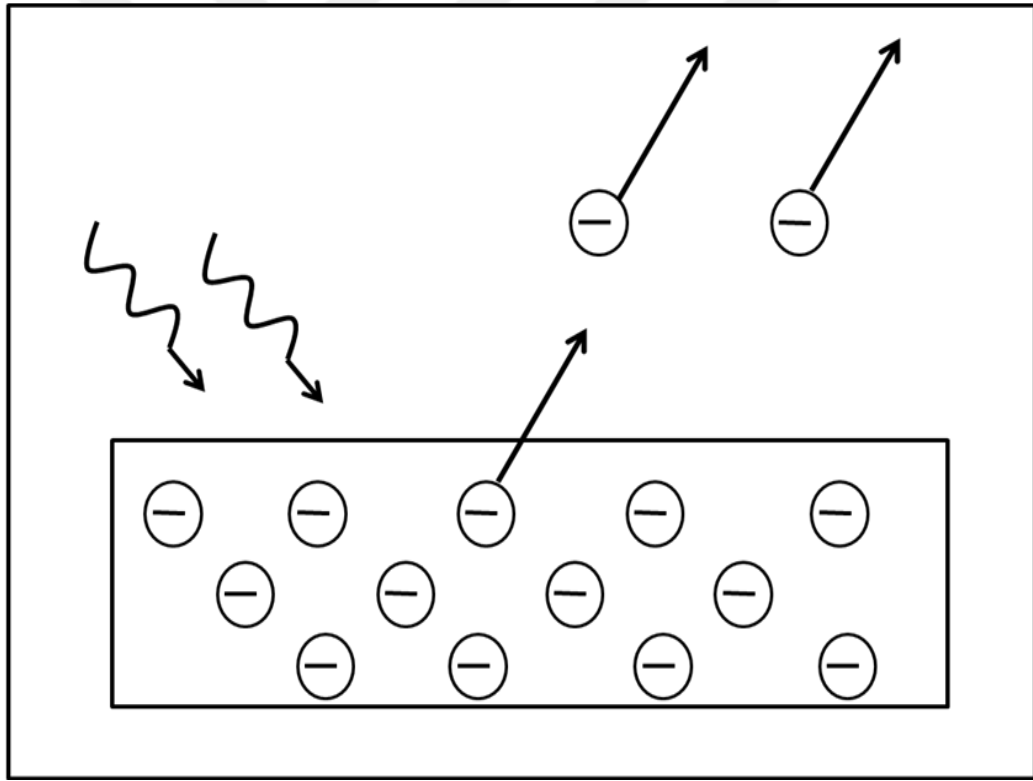
Radyasyon Tipi	Dalga Boyu	Frekans (Hz)	Kuantum Enerjisi (eV)
Radyo Dalgaları	100 km	$3 \times 10^3$	$1,2 \times 10^{-11}$
	300 mm	$10^9$	$4 \times 10^{-6}$
Mikrodalgalar	0,3 mm	$10^{12}$	$4 \times 10^{-3}$
Kızılötesi	0,7 $\mu\text{m}$	$4,3 \times 10^{14}$	1,8
Görünür	0,4 $\mu\text{m}$	$7,5 \times 10^{14}$	3,1
Moraltı	0,03 $\mu\text{m}$	$10^{16}$	40
X-Işınları	0,1 nm	$3 \times 10^{18}$	$1,2 \times 10^4$
Y-Işınları	1,0 pm	$3 \times 10^{20}$	$1,2 \times 10^6$

Maxwell teorisi, frekans aralığının geniş olduğu bölgelerde elektromanyetik dalganın üretiminin var olabileceğini ortaya koymuştur. 1887’de Hertz gözle görülmesi mümkün olmayan bir elektromanyetik dalga elde etmiştir. Hertz bunu, bir indüksiyon makarasının boşaltılmasıyla meydana gelen, belirli kıvılcım aralığı

boyunca yerleştirilmiş olan titreşen elektrik alanlar ile manyetik alanları, yaklaşık 10 m civarındaki dalga boyu ile gözlemlemiştir. Elektromanyetik spektrumun bir parçası olan Hertziyen dalgalar ve görünebilen ışık, 1pm'den 100km'ye kadar uzanan bölgelerde yer almaktadırlar (Bununla ilgili Tablo 2.1'e bakabilirsiniz)[10].

### *Işığın parçacık yapısı*

Işık 18. yüzyılın sonlarında, ışık kaynağından çıkan parçacıkların akışı olarak kabul görmüştür. Parçacıkların akışı ile temsil edilen bu teorinin öncüsü Isaac Newton'dur. Parçacık modeline göre ışığın hızı değişmeliydi. Işığın cam ve sıvıdaki hızı, havadakinden daha yüksek olmalıydı.



Şekil 2.2. Metal yüzeye düşürülen fotonların, elektron kopardığını gösteren Fotoelektrik olay [12].

Fotoelektrik olay, ışığın dalga-parçacık ikililiğinin parçacık kısmını kanıtlamış bir teoridir. Fotoelektrik olay, Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Bir ışık kaynağından çıkan yüksek enerjili elektromanyetik dalganın metal yüzeye

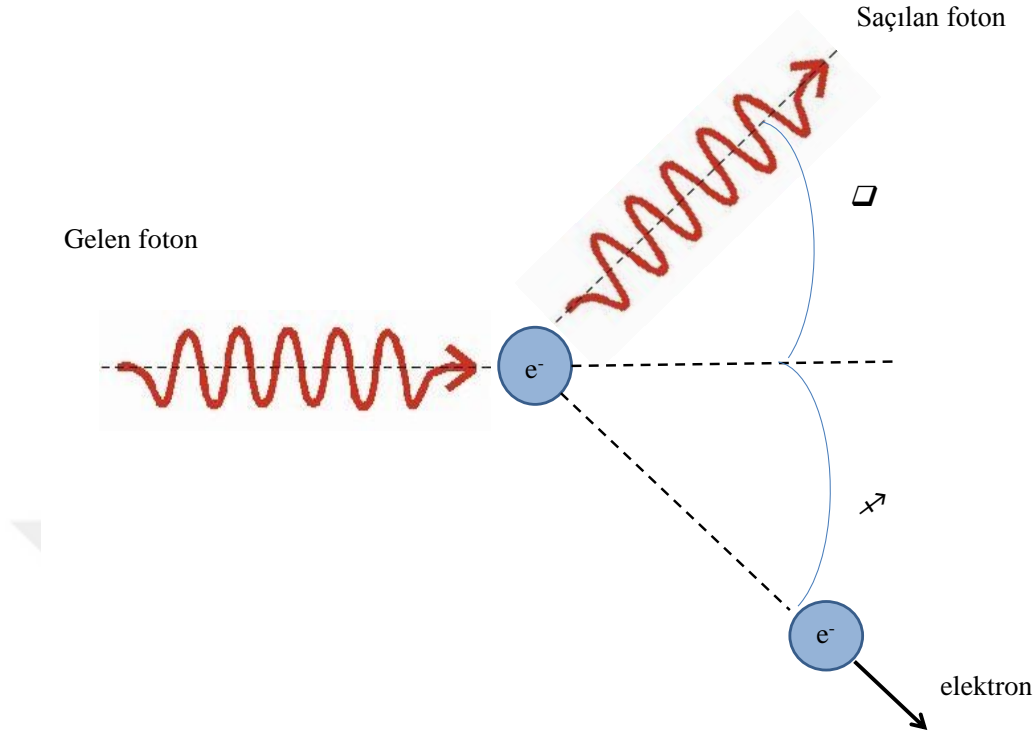
düşürülerek, metal yüzeyinden elektron koparması olayına fotoelektrik olay denmektedir. Yüksek enerjili elektromanyetik dalgaya maruz kalan metal yüzeyden kopan bu elektronlara *fotoelektron* denir.

1900'ün başında Max Planck, ışık ile enerji arasında bir ilişkinin olduğunu ortaya atmıştır. Fotoelektrik olayı gözlemleyerek, kara cisim ışıması ortaya atmıştır. Kara cisim ışıması olayında; herhangi bir cismin üzerine gelen tüm ışık ışınlarını bu cisim soğuruyorsa, bu cisme kara cisim denmektedir. Soğurulan bu ışınlar içerde hapsolmemalı sonuçta dışarıya tekrar verilmelidir. Devreye sıcaklık ve dalga boyu girmektedir. Kara cisim farklı sıcaklık ve dalga boylarında ışıma yapmaktadır. Bu kuramı ortaya atan kişi ise Max Planck'tır. Bu kuram sayesinde Max Planck kuantuma giriş yapmıştır. Işıma veya soğurma gibi olayların belirli sıcaklıklarda yapılabileceğini ayrıca bu olayların kuantum paketçikleri halinde oluşabileceğini ifade etmiştir. Kuantum paketçiklerini, bir dizi fotonlardan oluşan paketçikler olarak tanımlamıştır.

Kuantum paketçiklerinde bulunan fotonların belirli enerjilere sahip olduğunu düşünerek, eşitlik 2.1'i ortaya atmıştır.

$$E = h\nu \quad (2.1)$$

$E$ ; foton parçacıklarının enerjisi,  $h$ ; planck sabiti ve  $\nu$ ; frekanstır. Fotonun metal bir yüzeye etkileştiğinde, üzerinde bulundurduğu  $h\nu$  enerjisinin bir bölümünü elektron sökmek için, bir bölümünü de kinetik enerjiye (hareket enerjisi) harcamaktadır. Compton olayı da bu teörinin destekçisi olmuştur [15].



Şekil 2.3. Compton saçılması [12].

Compton saçılması olayında ışık ile elektron Şekil 2.3'teki gibi etkileşir. Etkileşme sonucu, ilk durumda durgun olan elektron hareket kazanmaya başlar ve belirli yönelimlerle hareketini sürdürür. Etkileşimden ötürü ışığın enerjisinde azalma olmaktadır ve ilk durumundan daha az bir enerjiyle farklı bir yönelimde yoluna devam etmektedir.

Compton saçılmasına göre;

- Momentum korunur.
- Foton, çarpışma sonucu yok olmaz.
- Enerji korunur.

Yani;

$$E_{gelen\ foton} = E_{saçılan\ foton} + E_{elektron} \quad (2.2)$$

Fotoelektrik olay ile Compton saçılması arasındaki farklar; Fotoelektrik olayda ışığın sökülen elektronlar tarafından soğurulması söz konusuysen, compton saçılmasında ışığın elektrona çarparak yön değiştirmesi, yani soğurulmaması söz konusudur. Compton saçılması momentum korunumu söz konusudur. Buradan yola çıkarak, ışık hareketi momentum korunumu ile açıklanabiliyorsa ışığın parçacık olabilmesi manası çıkarılmaktadır.

Işığın dalga özelliği ile parçacık özelliğinin kıyaslanması Tablo 2.2’de verilmiştir.

Işığın dalga ve parçacık özelliklerini kıyaslamak gerekirse; girişim ve kırınım olayları dalga özelliğinde rahatlıkla gözlenirken, parçacık özelliğinde bu olay gözlenmez. Enerji, frekans ve momentum korunumu dalga özelliğinde azken, parçacık özelliğinde fazladır. Dalga özelliğinde fotoelektrik ve Compton olaylarının oluşması güç iken, parçacık özelliğinde bu olaylar rahatlıkla görülebilmektedir.

Tablo 2.2. Işığın dalga özelliği ile parçacık özelliğinin karşılaştırılması [12].

Dalga özelliğinin artış yönü	Dalga boyu artış yönü → ← Frekans artış yönü	Parçacık özelliğinin artış yönü
<ul style="list-style-type: none"><li>• EMD kızıl bölgeye kayar.</li><li>• Dalga özelliği artar.</li><li>• Frekans azalır.</li><li>• Dalga boyu artar.</li><li>• Enerji azalır.</li><li>• Momentum azalır.</li><li>• Kırınım olayının gözlenmesi kolaylaşır.</li><li>• Girişim olayının gözlenmesi kolaylaşır.</li><li>• Fotoelektrik olayın gözlenmesi zorlaşır.</li><li>• Compton olayının gözlenmesi zorlaşır.</li><li>• Fotonların tek tek gözlenmesi güçleşir.</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>• EMD mavi bölgeye kayar.</li><li>• Parçacık özelliği artar.</li><li>• Frekans artar.</li><li>• Dalga boyu azalır.</li><li>• Enerji artar.</li><li>• Momentum artar.</li><li>• Kırınım olayının gözlenmesi zorlaşır.</li><li>• Girişim olayının gözlenmesi zorlaşır.</li><li>• Fotoelektrik olay gözlenir.</li><li>• Compton olayı gözlenir.</li><li>• Fotonlar tek tek gözlenebilir.</li></ul>

Işığın parçacık ve dalga yapısı, yapılması istenen deneylerin içeriğine bakılarak, bu iki önemli özelliğinden ayrı ayrı yararlanılabilmektedir. Enerji değişimiyle ilgili deneylerde, ışığın parçacık yapısından yararlanılırken, girişim ve kırınım gibi olayların gerçekleştiği deneylerde, ışığın dalga özelliğinden yararlanılabilmektedir.

## 2.2. LAZER İŞLEMİ

Lazer işlemine lazer kelimesinin anlamına bakarak başlamak doğru olacaktır. Lazer (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) İngilizce ismindeki kelimelerin baş harflerinin kısaltmasıdır. Türkçe karşılığı, “Radyasyonun Uyarılmış Salınımıyla Işığın Şiddetlendirilmesi” olarak literatürde yerini almıştır. 1917 yılında Einstein uyarılmış yayılımın gerekli olduğunu göstermiştir. T. H. Maiman ise bunu 1960 yılında ilk kez yakut üzerinde deneyler yaparak, optik frekans aralığında çalışabilen bir lazeri ortaya koymayı başarmıştır [16]. Lazerin ilgi çekici tarafı ise, temel çalışma ilkeleri ve yapımı basit olmasına karşın keşfedilme sürecinin bu kadar uzun yıllar sürebilmesidir. Öte taraftan, lazerin fiziği inanılmaz detayları içinde barındıran bir alandır. Bu alanın tezde bahsedilen kısımları, sadece oluşum hikayesinden ve fiziksel alt yapısından ibaret olmaktadır. İlk yakut lazer 1960 yılında Maiman tarafından başlangıç olarak literatüre geçtikten sonra, oldukça hızlı bir şekilde gelişimi gözlenmiştir. İlk etaplarda uygulamaya yönelik kullanılması biraz yavaş olsa da gündelik yaşamda kullanılan lazer radyasyonunun kullanıma alanlarıyla ilgili hemen her gün yeni bir yenilik (İnovasyon) ile karşılaşmaktayız. Bu kullanımların hangi temel prensipler altında toplandığından söz etmek gerekirse, lazerin prensipleri olan radyasyonun salınması ve soğurulması, Einstein bağıntıları, nüfus tersinmesi ve optik geri beslemeden bahsetmek doğru olacaktır.

### 2.2.1. Radyasyonun Salınması ve Soğurulması

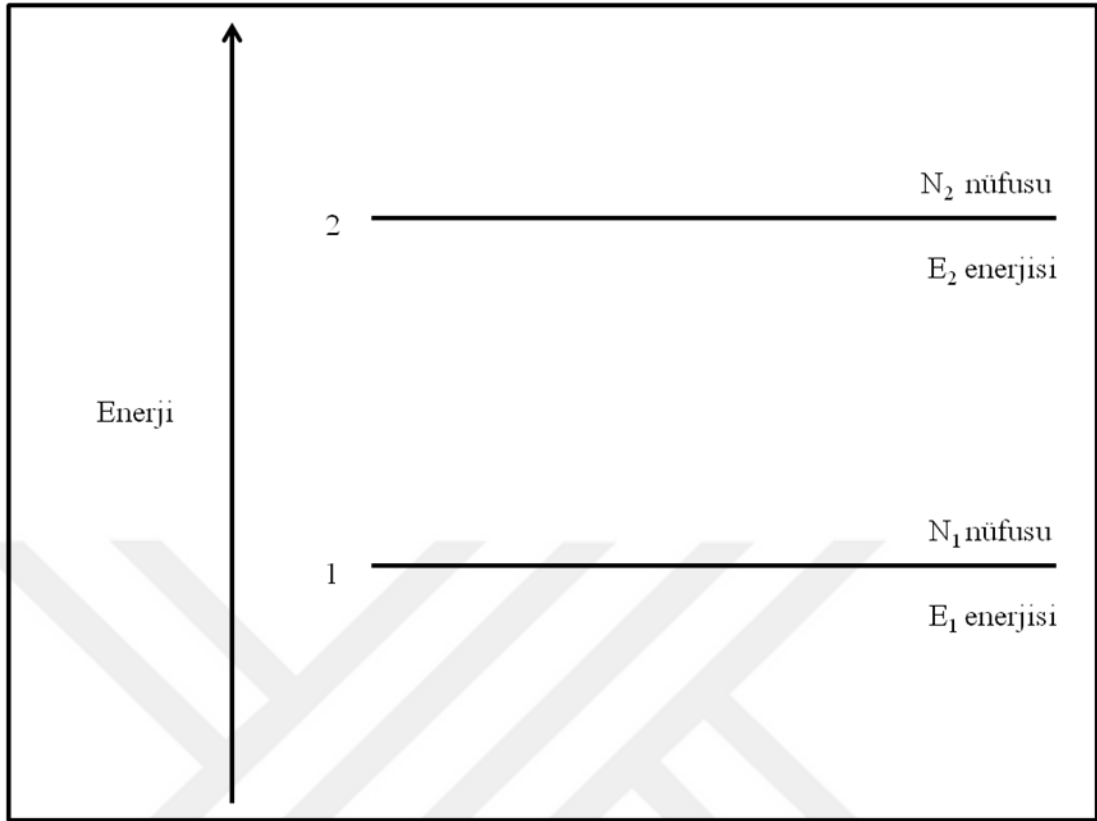
Radyasyonun soğurulup uyarılması olayı atomun elektronlarının hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Atomda bulunan elektronlardan biri iki enerji hali veya enerjisi arasında geçiş yapabilirse ortama ya foton salar veya soğurma işlemi uygular.

Bu durum, frekansı

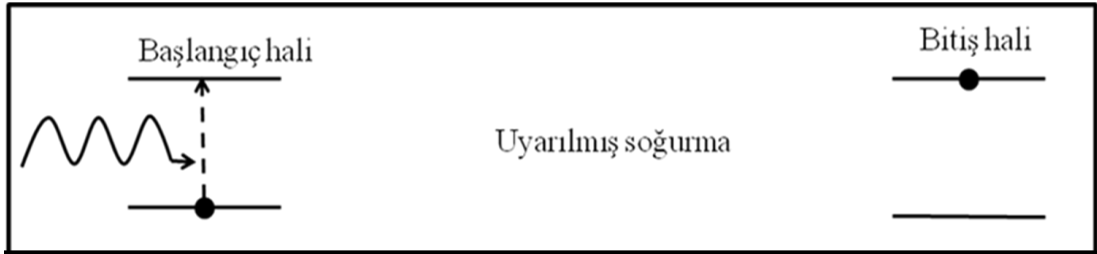
$$\frac{\Delta E}{h} = \nu \quad (2.3)$$

olan foton dalgasını göstermektedir. Burada  $\Delta E$ ; iki enerji seviyesi veya hali arasındaki enerjinin farkını temsil etmektedir. Atomik sistemdeki elektron geçişlerinin daha iyi anlaşılması için Şekil 2.4'te, elektronun iki enerji seviyesi arasındaki geçişi resmedilmektedir. Elektronun  $E_1$  gibi düşük enerji seviyesinde bulunduğunu düşünelim. Bu durumda  $E_2 - E_1$  düzeyinde bir enerjiye sahip fotonlar atomu uyardığında,  $E_1$  seviyesindeki elektron bir foton soğurarak bir üst enerji seviyesi olan  $E_2$  enerji seviyesine yükselir. Diğer bir görüş ise, elektronun başlangıçta  $E_2$  enerji seviyesinde olduğudur. Bu durumda ise, elektron  $E_1$  enerji seviyesine (Taban seviyesi) düşebilir ve düşme esnasında ortama foton salınımı yapar. Foton salınımı iki farklı yolla meydana gelebilir. Bunlardan ilki,  $E_2$  seviyesinde bulunan bir elektronun rastgele yollar ile taban seviyesi olan  $E_1$  düzeyine inmesidir. Bunun adına kendiliğinden salma denmektedir. Diğer bir yol ise,  $E_1$  taban enerji seviyesinde bulunan elektronun,  $(E_2 - E_1)$ 'li enerjiye sahip fotonlar tarafından tetiklenerek, bir üst enerji seviyesi olan  $E_2$  düzeyine çıkması işlemidir, buna da uyarılmış yayımlama denmektedir. Absorbe etme (soğurma) ve yayımlama (salma) işlemleri Şekil 2.5, Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Uyarılmış salmaya oranla kendiliğinden salma bir hayli büyük olduğu için normal şartlar altında uyarılmış salmayı gözlemlemek olanaksızdır.

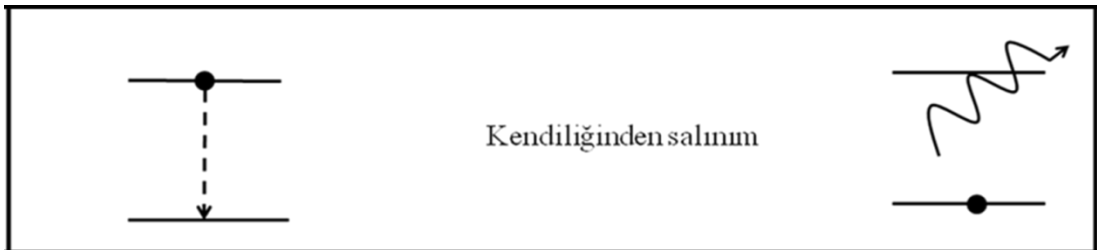




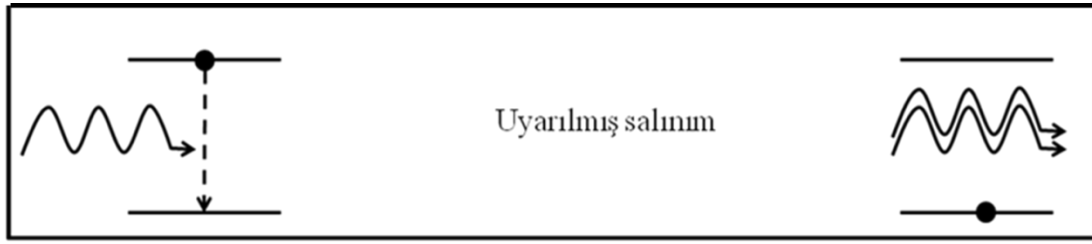
Şekil 2.4. İki enerji seviyeli sistem [12].



Şekil 2.5. Uyarılmış soğurma [12].



Şekil 2.6. Kendiliğinden yayımlama [12].



Şekil 2.7. Uyarılmış yayımlama [12].

Bir elektronun Şekil 2.1’de resmedildiği gibi, uyarılarak  $E_2$  enerji seviyesine geçiş yaptıktan sonra o seviyede kendiliğinden geçiş yapmadan önceki ortalama geçirdiği zamana, uyarılmış halin  $\tau_{21}$  ömrü denir. “21” alt indisi, hangi seviyeler arasında işlemin gerçekleştiğini anlatmaktadır. Belirli zaman aralığında bilinen özel bir atomun kendiliğinden yayılım yapma olasılığı,  $A_{21}$  olarak verilmektedir. Kendiliğinden  $E_2$  seviyesinden  $E_1$  seviyesine geçiş oranını göstermeye yarayan denklem ise

$$A_{21} dt = \frac{dt}{\tau_{21}} \quad (2.4)$$

ile verilmektedir. Özel bir atom seçmek yerine rastgele seçilmiş bir atomun kendiliğinden salma işlemini gelişi güzel yapacağı düşünüldüğünde, bir den fazla atomun yapacağı kendiliğinden salma, ortaya ahenkli olmayan bir dalga meydana getirmesi kaçınılmazdır. Bunun aksine uyarılmanın etkisindeki atomda n meydana gelen uyarılmış salma işleminde, uyardırma kullanılan fotonlar ile uyarıldıktan sonra salınan fotonlar, koherent (Eş fazlı) bir şekilde hareket edeceğinden, meydana gelecek olan dalga, ahenkli olmaktadır. Meydana gelen bu ahenkli dalgaların uyum içerisinde olmasının üç sebebi vardır. İlk sebep, dalgayı oluşturan radyasyonların aynı yönde ilerlemeleridir. İkinci sebep, yukarıda belirtildiği gibi eş fazlı olmalarıdır. Üçüncü sebep ise, dalgayı oluşturan fotonların, kutuplanmanın benzer hallerine sahip olmalarıdır. Bu durumdan çıkarılabilecek bir düşünce de şudur; uyarılmış salma ile ortaya çıkan dalganın genliği, şiddetlendirme işlemi uygulanmış atomların bulunduğu ortam boyunca geçilirken, arttırılabileceği anlamı taşımaktadır. Atomun fotonu soğurması veya foton ile uyarılması sonucu uyarılmış salma yapması eş çalışma ilkelerine sahiptirler. Uyarılmış soğurma, sadece atoma iki enerji seviyesi arasındaki enerji kadar bir enerjiyle uyarılma sağlandığında ortaya çıkmaktadır.

Buradan da anlaşılacağı üzere uyarılmış soğurma ile uyarılmış yayımlama birbirinin tersi olarak düşünülebilir.

### 2.2.2. Einstein Bağntıları

Einstein'm bir diğer gösterdiği önemli olay ise, yukarıda belirtilen üç ayrı işlemi tanımlamaya yarayan parametrelerin ve ısı dengesi sağlanmış bir sistemin  $E_1$ 'den  $E_2$ 'ye geçiş oranının, tersine geçiş ( $E_2$ 'den  $E_1$ 'e) oranına eşit olması zorundalığını göstermiştir [17].  $E_1$  enerji seviyesinde bulunan  $N_1$  sayıda atom, üst seviyeye geçiş veya soğurma oranı olarak, hem aynı frekansta bulunan foton sayısı ile orantılı hem de  $N_1$  atom sayısı ile orantılı olmaktadır.  $\nu$  frekansına sahip bir fotonun enerji yoğunluğu

$$\rho_\nu = N h \nu \quad (2.5)$$

ile verilmektedir. Denklemden yer alan  $N$ ; birim hacim başına düşen  $\nu$  frekanslı atom sayısını vermektedir. Buna bakılarak yukarı geçiş oranı  $N_1 \rho_\nu B_{12}$  olarak yazılmaktadır.  $B_{12}$  sabit bir sayıyı temsil etmektedir. Seviye 2'den seviye 1'e kendiliğinden geçiş oranına da  $N_2 A_{21}$  olmalıdır. Aşağıya geçiş oranının toplamını hesaplamak istediğimizde, oluşturulan (İndüklenen) ve kendiliğinden geçişle oluşturulanların birlikte düşünülmesiyle bu oran,  $N_1 \rho_\nu B_{21} + N_2 A_{21}$  olmaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi  $A_{21}$ ,  $B_{12}$  ve  $B_{21}$  sabitlerdir. Bu sabitler Einstein sabitleri olarak bilinirler. Bu sabitlerin aralarındaki bağıntılar aşağıda verilmektedir.

Yukarı ve aşağı yönde geçişlerin oranı, dengede olan bir sistem için eşit olacağı bilgisi bilinmektedir. Bu bilgiye dayanarak

$$N_1 \rho_\nu B_{12} = N_2 \rho_\nu B_{21} + N_2 A_{21} \quad (2.6)$$

ve buradan

$$\rho_\nu = \frac{A_{21}/B_{21}}{\frac{B_{12}N_1}{B_{21}N_2} - 1} \quad (2.7)$$

ile ifade edilebilmektedir. Bu düşünceye ek olarak ısı dengede bulunan bir sistemin farklı enerji seviyelerinde bulundurduğu nüfusun Boltzman istatistiksel dağılımı

$$N_j = \frac{g_j N_0 \exp(-E_j/kT)}{\sum g_i \exp(-E_i/kT)} \quad (2.8)$$

$N_j$ ;  $E_j$  enerji seviyesine ait nüfus yoğunluğunu temsil etmektedir.  $N_0$ ; toplam nüfusun yoğunluğunu temsil etmektedir.  $g_j$ ;  $j$ . enerji seviyesinin dejenerasyonudur. Buradan yola çıkarak

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{g_1}{g_2} \exp[(E_2 - E_1)/kT] = \frac{g_1}{g_2} \exp(h\nu/kT) \quad (2.9)$$

denklemini yazılabilmektedir. Denklem (2.7) ve (2.9)'u kullanarak

$$\rho_\nu = \frac{A_{21}/B_{21}}{\left[\frac{B_{12}g_2}{B_{21}g_1} \exp(h\nu/kT)\right] - 1} \quad (2.10)$$

ifadesi elde edilmektedir. Atomik sistemde atomların ısı dengede olmasından ötürü, kara cisim radyasyonuna eşit miktarda radyasyon artışı meydana getirilmelidir. Bu radyasyonun yoğunluğu

$$\rho_\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \left( \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1} \right) \quad (2.11)$$

ile verilmektedir [18].

Buradan denklem (2.10) ile (2.11) karşılaştırıldığında

$$g_1 B_{12} = g_2 B_{21} \quad (2.12)$$

ve

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \quad (2.13)$$

ifadeleri bulunmaktadır.

Denklem (2.12) ve (2.13) ifadeleri Einstein bağıntıları olarak adlandırılırlar.

Bu verilerden yola çıkarak, herhangi iki enerji seviyesi arasındaki kendiliğinden salma oranını hesaplamak istersek bu ifade

$$R = \frac{A_{21}}{\rho_{\nu} B_{21}} \quad (2.14)$$

ile verilmektedir. Yukarıdan da anlaşılacağı üzere kendiliğinden salma ile uyarılmış salma birbiriyle adeta yarış içerisinde. Açıkça görülüyor ki, eğer ışık demetinin şiddeti arttırılmak isteniyorsa, atomik sisteme uyarılmış soğurma ve kendiliğinden salma işlemlerinden daha fazla miktarda, uyarılmış salma yaptırılmamız gerekir. Bunu elde edebilmenin yolu, denklem (2.6) incelenerek bulunmaktadır. Oradan çıkartılan düşünce, eğer üst enerji seviyesindeki nüfus yoğunluğu olan  $N_2$ 'nin miktarının, alt seviye nüfus yoğunluğu olan  $N_1$ 'e göre arttırılırsa, ayrıca  $N_2$ 'de bulunan radyasyonun miktarının da artması sağlanırsa, uyarılmış salma işleminin diğer iki işleme göre miktarının fazlaşacağı sonucuna varılmaktadır. Lazer işleminin gerçekleşmesi "nüfus tersinmesinin" gerçekleşmesi gerekmektedir. Nüfus tersinmesi denilen olayın matematiksel karşılığı,  $E_2 > E_1$  olduğu durumda bile  $N_2 > (g_2/g_1)N_1$  şartının sağlanmasıdır. Bu durumu incelemeden önce radyasyon soğurulmasının daha iyi anlaşılması gerekmektedir.

### 2.2.3 Radyasyon Soğurulması

Eş evreli, birim yüzey kesit alanına sahip, soğurucu bir ortam içerisinden geçen ve mükemmel derecede tek renkli bir radyasyonun, ileri yönde düzgün yönelmiş bir demetini ele alalım.  $E_1$  ve  $E_2$  gibi belirttiğimiz iki enerji seviyesi arasında bulunan elektron geçişinde, sadece tek bir elektron geçişinin var olduğunu düşünelim. Demetin şiddetindeki değişme miktarı uzaklığın fonksiyonu olarak

$$\Delta I(x) = I(x + \Delta x) - I(x) \quad (2.15)$$

ile ifade edilmektedir.

$\Delta I(x)$ 'in alınan  $\Delta x$  mesafesine ve  $I(x)$  mesafesine bağlı olabilmesi için ortamın homojen olması gerekmektedir. Yani homojen bir ortam sağlandığındaki yazılması gereken ifade

$$\Delta I(x) = -\alpha I(x) \Delta x \quad (2.16)$$

bu şekilde olmalıdır.

Denklem (2.16)'da gösterilen  $\alpha$ ; orantılık sabiti (soğurma sabiti olarak bilinmektedir), (-); eksi işareti  $\alpha$  pozitif bir sayı değeri aldığıda soğurma durumu olacağı için sistemde, demet şiddetinde bir azalma meydana getirmektedir. Bu işaret onu simgelemektedir. Denklem (2.16)'yı diferansiyel şekilde yazmak istendiğinde

$$\frac{dI(x)}{dx} = -\alpha I(x) \quad (2.17)$$

ifadesine dönüşmektedir.

Bu ifadenin integrali alındığında

$$I = I_0 \exp(-\alpha x) \quad (2.18)$$

ifadesi bulunmaktadır.

Denklem (2.18)'deki  $I_0$ , gelen ışığın şiddetini temsil etmektedir.

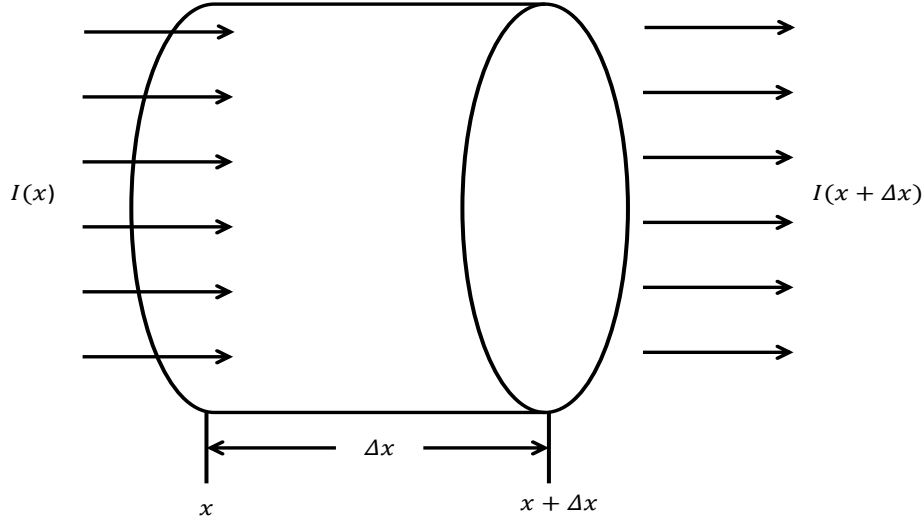
Soğurma katsayısına ayrıntılı bakılacak olursa, açık ve net bir şekilde şu söylenebilir ki, demetin radyasyonu soğurma derecesi,  $E_1$  enerji seviyesinde bulunan  $N_1$  nüfus yoğunluğuna sahip atomlar ile  $E_2$  enerji seviyesindeki  $N_2$  nüfus yoğunluğuna sahip atomların sayılarına bağlı olmaktadır. Soğurmanın maksimum olması üst seviyede bulunan  $N_2$  nüfusunun sıfır olmasıyla mümkündür. Soğurmanın minimum olup uyarılmış salmanın maksimum olması durumu da,  $N_1$  nüfus yoğunluğunun sıfır olması demektir. Bu durum bütün atomların üst enerji seviyesinde olduğu anlamına gelmektedir. Denklem (2.7)'de anlatılmakta olan indüklenmiş ve uyarılmış geçişler durumunu tekrar ele alalım. Işın demeti birim kesit yüzey alanıyla birlikte  $\Delta x$  mesafesini alırken demetten  $-dN/dt$  diye bilinen birim hacim başına düşen foton kaybının net oransal ifadesi

$$-\frac{dN}{dt} = N_1 \rho_\nu B_{12} - N_2 \rho_\nu B_{21} \quad (2.19)$$

olarak yazılabilmekte veya denklem (2.12) kullanılarak

$$-\frac{dN}{dt} = \left(\frac{g_2}{g_1} N_1 - N_2\right) \rho_\nu B_{21} \quad (2.20)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Foton kaybının net oranı Şekil 2.8’de de resmedilmektedir.



Şekil 2.8.  $\Delta x$  uzunluklu ve birim kesit yüzeyli bir hacmi geçen radyasyon.

Bu ifadeler ile saçılma kayıpları ihmal edilmektedir. Ayrıca, kendiliğinden salma işleminin yönlendirilmiş durumdaki demet için her yerde olabildiğini ve toplama baktığımızda etkisinin olmadığı, yani onun da ihmal edileceği anlamı çıkartılmaktadır.

Soğurma sabiti olan  $\alpha$  ile denklem (2.20)’de yer alan iki enerji seviyesindeki atom sayılarının farkını veren ifadeyi kullanarak, tek bir denklem haline getirmek mümkündür. Buradaki amaç ikisinin ilişkisini göz önüne sermektir. Bilindiği üzere birim yüzeyden birim zamanda geçen enerji, ışık demetinin şiddeti olarak tanımlanmaktadır. Bu ışık demeti şiddetinin matematiksel gösterimi, ortamda bulunan ışık hızının enerji yoğunluğu ile çarpımına yani

$$I = \rho c / n \quad (2.21)$$

ifadesinin sonucuna veya  $\nu$  frekansına sahip fotonlar ele alındığında

$$I_\nu = \rho_\nu c / n \quad (2.22)$$

ifadesinin sonucuna eşit olmaktadır.

Denklem (2.21) ve (2.22)'de yer alan  $c$ ; ışığın boşluktaki hızı,  $n$ ; ortamın kırılma indisidir. Bu durumda hacim elemanı olarak nitelendirilen  $x$  ile  $x + \Delta x$  sınırları içerisinde demetin içinde bulunan fotonların yoğunluğundaki değişme miktarı

$$-dN(x) = [I(x) - I(x + \Delta x)] \frac{n}{hv_{21}c} \quad (2.23)$$

olarak yazılmaktadır.  $\Delta x$ 'in yeteri kadar küçük olduğu düşünüldüğünde denklem (2.23)

$$-dN(x) = -\frac{dI(x)}{dx} \frac{\Delta xn}{hv_{21}c} \quad (2.24)$$

şeklinde de yazılabilmektedir. Buradan alacağımız bir  $dt (= \Delta x / (c/n))$  zaman içerisinde fotonların yoğunluğundaki düşme oranı

$$-\frac{dN}{dt} = \frac{dI(x)}{dx} \frac{1}{hv_{21}} \quad (2.25)$$

yazılmaktadır. Denklem (2.25)'de bulunan  $dI/dx$ 'i denklem (2.18)'de yerine yazıldığında

$$-\frac{dN}{dt} = -\alpha I(x) \frac{1}{hv_{21}} = -\alpha \rho_v \frac{c}{n} \frac{1}{hv_{21}} \quad (2.26)$$

ifadesi elde edilmektedir.

Denklem (2.19) ve (2.20)'i karşılaştırdığımızda

$$\alpha \rho_v \frac{c}{n} \frac{1}{hv_{21}} = \left( \frac{g_2}{g_1} N_1 - N_2 \right) \rho_v B_{21} \quad (2.27)$$

veya

$$\alpha = \left( \frac{g_2}{g_1} N_1 - N_2 \right) \frac{B_{21} hv_{21} n}{c} \quad (2.28)$$

elde edilmektedir.

Denklem (2.28)'den de anlaşıldığı üzere daha önce gösterildiği gibi,  $\alpha$  alt ve üst enerji seviyelerindeki atomların nüfus yoğunluklarının farkına bağlıdır. Atomik sistem ısıl denge durumundaysa, bu ortam için  $E_2 > E_1$  olacağından dolayı  $N_2$  daima



$(\frac{g_2}{g_1})N_1$ 'den küçük olacaktır. Bunun tersi olabilecek bir durum yaratılabilirse  $-\alpha x$ 'in pozitif olması için denklem (2.18)'den  $\alpha$  değerinin negatif olması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu durumda demetin şiddeti

$$I = I_0 \exp(kx) \quad (2.29)$$

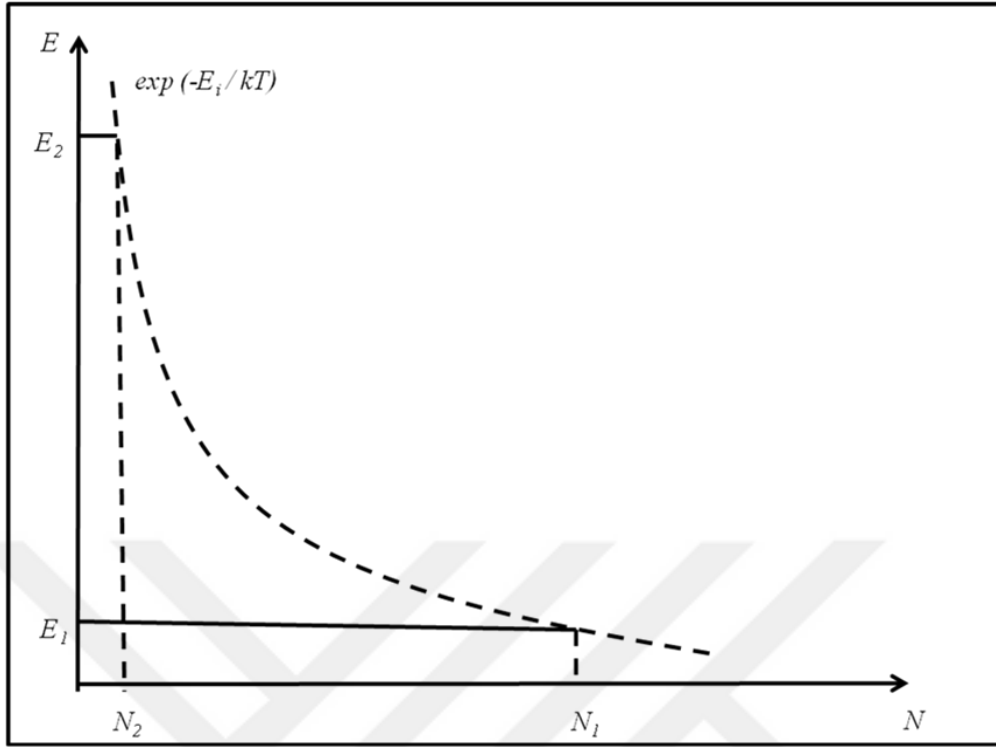
olmaktadır. Denklem (2.29)'da verilen ifade ölçüsünde ışığın şiddeti, ortamda ilerledikçe büyümeye uğrayacaktır.  $k$  ile ifade edilen nicelik "küçük sinyal kazanç katsayısı" olarak nitelendirilmektedir. Bu katsayı açıkça

$$k = (N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1) \frac{B_{21} h \nu_{21} n}{c} \quad (2.30)$$

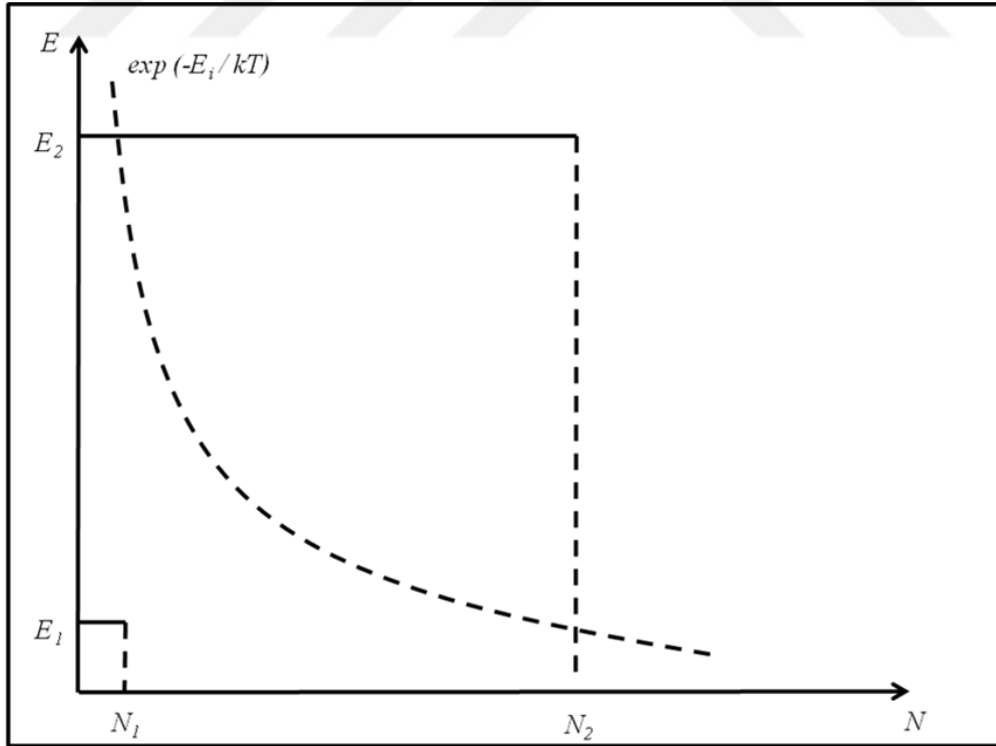
şeklinde yazılmaktadır.

#### 2.2.4. Nüfus Tersinmesi

İşğın şiddetlendirilmesi için gerekli olan nüfus tersinmesi olayının gerçekleşmesidir. Bu olay, atomik sistem içerisindeki farklı enerji seviyelerinde bulunan atomun, denge dışı bir dağılımını ifade etmektedir. Isıl olarak dengede olan sisteme uygulanmış olan Boltzman dağılımı (denklem (2.8)'de gösterilen) Şekil 2.9a'da gösterilmektedir. Sabit bir sıcaklık altında  $N_j$  azalmaktadır.  $kT$  ile  $E_2 - E_1$  farkına neredeyse eşitse ( $\approx 0.025\text{eV}$ ,  $T = 20^\circ\text{C}$ ), böyle bir durumda  $E_2$  seviyesinin  $E_1$  seviyesinin  $1/e$ 'sine veya  $0.37$ 'sine kadar yaklaşacağı bilinmektedir. Görünür bölgeye sınırları içerisinde radyasyon verecek bir enerji farkı için ( $2.0\text{ eV}$ ), üst enerji seviyesi nüfusunun, denklem (2.7)'den de hatırlandığı gibi ihmal edilebilir olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 2.9a. İki enerji seviyeli sistemin ısı denge sonrası nüfusu.



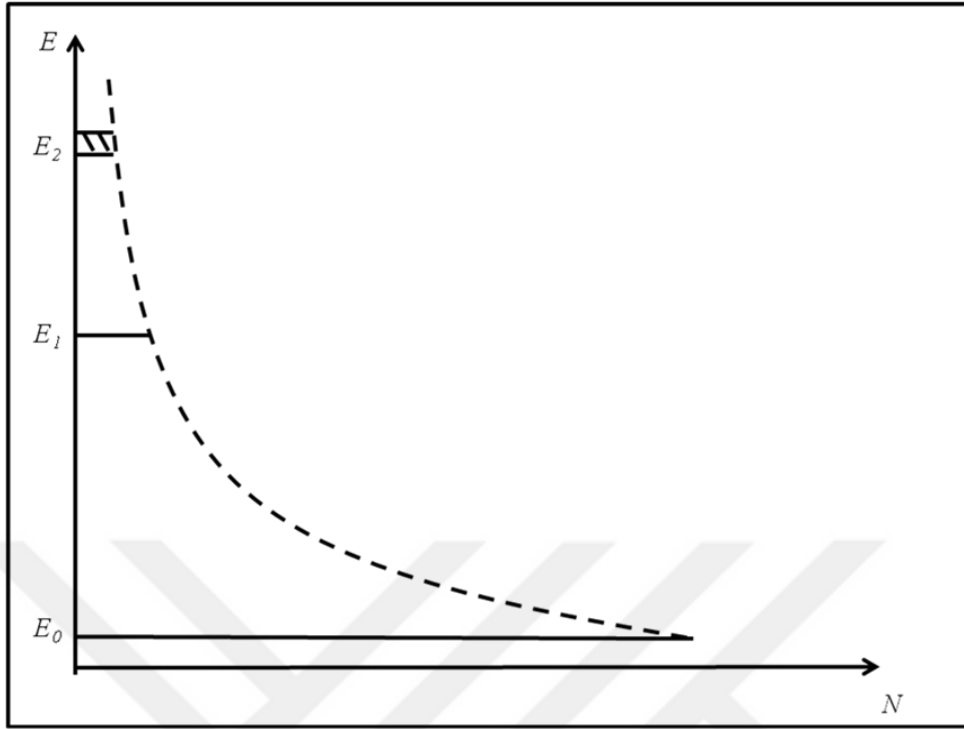
Şekil 2.9b. İki enerji seviyeli sistemin nüfus tersinmesi sonrası nüfusu.

Şekil 2.9b'den de açıkça görüldüğü üzere, nüfus tersinmesinin gerçekleşebilmesi için,  $E_1$  enerji seviyesinde nüfus yoğunluğunu  $E_2$  enerji seviyesine çıkarmak için, muazzam bir enerji ile  $E_1$  enerji seviyesindeki atomları uyarmak gerekmektedir. Bu uyarma işlemine “pompalama” adı verilmektedir. Bir çok lazer teknolojisi üzerine çalışan insanlar bu pompalamanın nasıl yapılacağı üzerine yoğunlaşmaktadır. Pompalamanın sistem için bir dezavantajı da ortamın ısı dengelerini bozmaktadır. Bu durum da bu konunun üzerinde durulması gerektiği sonucunu çıkarmaktadır. Pompalama yaparak nüfus tersinmesinin nasıl oluştuğuna bakmak, konuyu anlamak adına yarar sağlayacaktır.

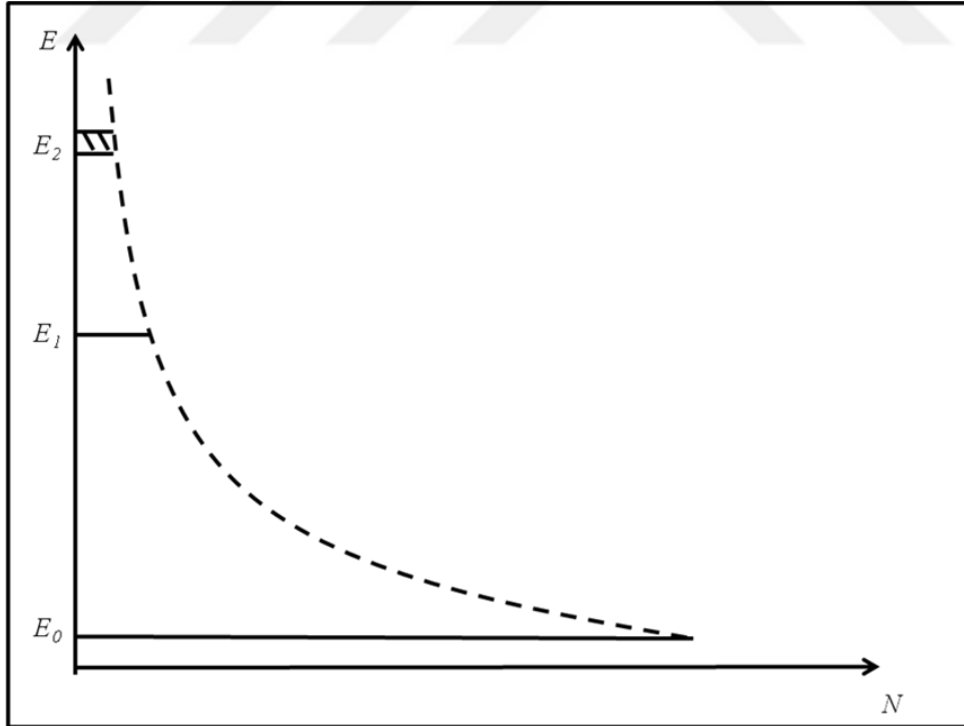
#### 2.2.4.1. Nüfus tersinmesinin elde edilmesi

Pompalama yöntemlerine göz atılacak olursa, bunlardan biri de uyarılmış soğurma. Uyarılmış soğurma, lazer olayının gerçekleşmesi için önceden planlanan enerji seviyelerini, yüksek miktarda aydınlatarak yani o enerji seviyelerine pompalama işlemi yapılarak gerçekleştirilmektedir.  $g_1 = g_2$  varsayımı kabul edildiğinde  $B_{12}$  ve  $B_{21}$  eşit olduğundan, atomlar alt enerji seviyesinden bir üst enerji seviyesine uyarıldıkları anda, daha ileri seviyelere uyarılmış soğurma ve salma olasılıkları eşitlenmiş olur. Bu duruma bakılarak, aydınlatmanın maksimum olabileceği durumlar ile bahsi geçen  $E_1$  ve  $E_2$  ikili enerji seviyelerine sahip sistemler için, her iki seviyede bulunan nüfus yoğunlukları için mükemmel olabilecek yaklaşım, nüfuslarının eşit olabileceği yaklaşımı olacaktır. Bu durumdan ötürü üçlü ve dörtlü enerji seviyelerine sahip sistemlere göz atmak gerekir. Bilindiği üzere atomik sistemlerde enerji seviyeleri çoklu bulunduğu için, bunu anlamak ve resmetmek daha kolay olmaktadır.

Bloembergen'in önermiş olduğu literatürde ilk olarak adlandırılan üç enerji seviyesine sahip sistem, Şekil 2.10a ve Şekil 2.10b'de gösterilmektedir [19].

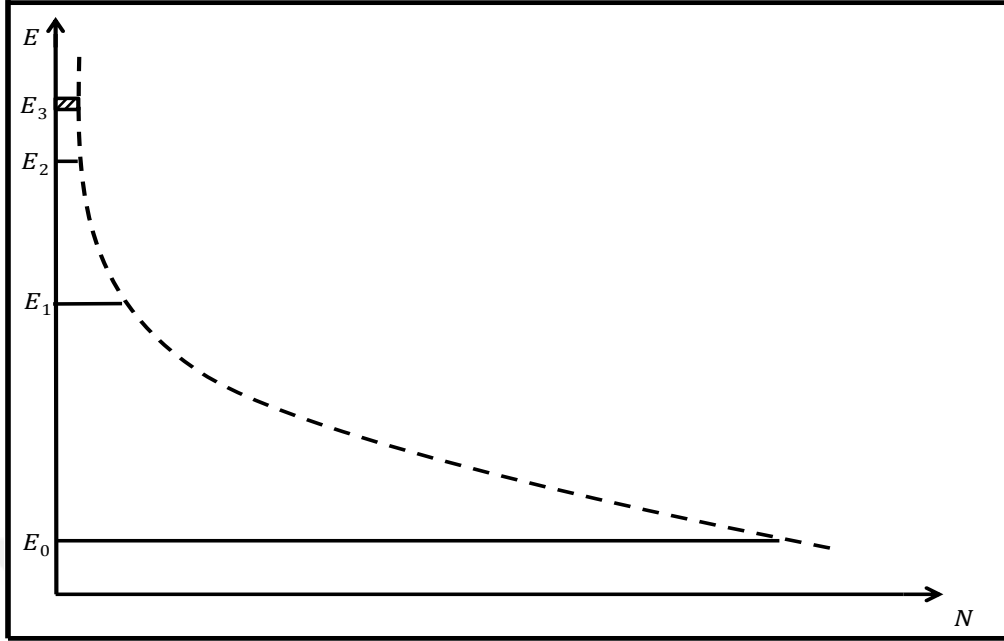


Şekil 2.10a. Bir üç seviyeli sistemde pompalamadan önceki Boltzman dağılımı.

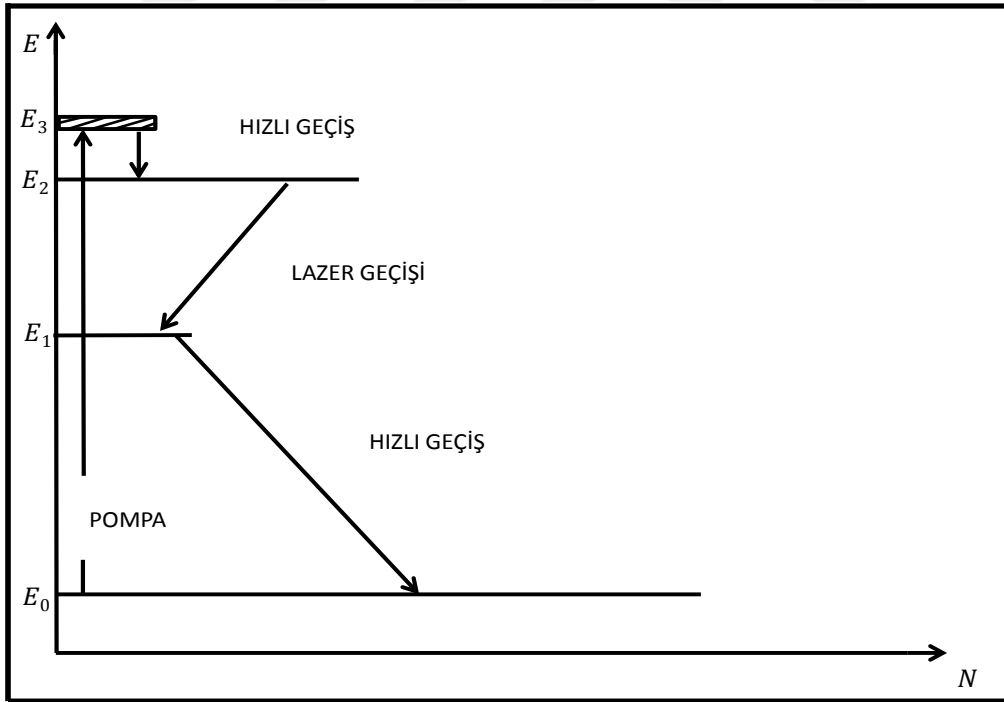


Şekil 2.10b. Bir üç seviyeli sistemde pompalamadan sonraki dağılım ve içerilen geçişler.

$E_0$ 'dan  $E_2$ 'ye elektronların çıkabilmesi için, yeteri miktarda  $E_0$  düzeyindeki atomların uyarılması (pompalanması) gerekmektedir.  $E_2$  ye çıkan elektronların foton salmadan  $E_1$ 'e düşmesi Şekil 2.10b'de görülmektedir. Bu sayede  $E_0$  ile  $E_1$  arasında nüfus tersinmesi elde edilmektedir. Normal şartlarda hızlı  $E_2$  ile  $E_1$  arasındaki geçiş hızlı olmalıdır, bu yüzden o geçiş hızlı geçiş olarak adlandırılmaktadır. Bu sayede  $E_2$  enerji düzeyinde sürekli yeni uyarılmalardan gelen elektronlar için yer açılmaktadır. İkinci ve birinci enerji düzeyleri arasındaki geçişe nazaran birinci enerji düzeyi ile taban enerji düzeyi dediğimiz sıfıncı enerji düzeyi arasındaki geçiş bir o kadar yavaş olmak zorundadır. Bu yavaş geçiş durumundan ötürü,  $E_1$  "yarı kararlı hal" gibi davranabilmektedir. Kendiliğinden salmanın küçük boyutlarda olması,  $E_1$  seviyesindeki atomların sayılarında artış sağlamaktadır. Sonuç olarak birinci enerji düzeyindeki nüfus yoğunluğu  $N_1$ ,  $N_0$ 'dan daha büyük olmakta ve nüfus tersinmesi işlemi başarılı olmaktadır. Pompalamada önemli olan kullanılacak enerji seviyelerinin bilinebilmesidir. Yani üçlü sistemde, en üst enerji seviyesinin birbirine oldukça yakın enerji seviyelerinden oluşması tercih edilen bir durumdur. Çünkü pompalama oranı arttırıldığında spektrumda yer alan birçok pompalama radyasyonu kullanılabilir hale gelmektedir. Durumun bu şekilde olsa bile, örneğin yakut lazeri benzeri üç seviye enerji düzeyine sahip lazerler, lazer geçişleri için sonlanma seviyesi olan  $E_0$ 'a inmeleri sebebiyle yüksek güçte pompalanmaya ihtiyaç duymaktadırlar. Bu durum, taban seviyesinde bulunan atomların yarısının veya yarısından biraz daha fazlasının üst seviyeye pompalanması anlamına gelmektedir. Bu yüzden Şekil 2.11a ve Şekil 2.11b'de görüldüğü üzere, dört seviyeli sistemler daha düşük pompalama gerekliliğine sahiptirler.



Şekil 2.11a. Bir dört seviyeli sistemde pompalanmadan önceki enerji seviyelerinin nüfusu.



Şekil 2.11b. Bir dört seviyeli sistemde pompalanmadan sonraki enerji seviyelerinin nüfusu.

Birinci enerji düzeyi olan  $E_1$  ile taban enerji düzeyi olan  $E_0$  arasındaki fark  $kT$ 'den büyükse, ısı dengesi sağlandığı takdirde  $E_1$ ,  $E_2$  ve  $E_3$  seviyelerindeki nüfus yoğunluğu oldukça küçük miktarlardadır. Bu durumdan çıkartılacak ilişki ise, atomun taban seviyesinden uyarılıp  $E_3$  seviyesine çıkartılması sonucu, hızlı geçiş olayıyla  $E_2$  seviyesine düşmektedir. Böylelikle  $E_2$  ile  $E_1$  seviyesi arasında çok hızlı bir şekilde nüfus tersinmesi oluşmaktadır. Daha büyük pompalama yapıldığında, üçlü sistemlerde  $E_2$  tavan seviyesi için bahsettiğimiz, tavan seviyesinin oldukça çok enerji seviyelerinden oluşması isteğini, dört seviyeli sistemlerin  $E_3$  tavan seviyesi düzeyi için de söylemek gerekir. Üst enerji seviyesinden aşağılara geçiş ( $E_3 \rightarrow E_2$ ,  $E_1 \rightarrow E_0$ ) ömürleri kısaysa  $E_2$  ve  $E_1$  arasında oluşan nüfus tersinmesi olayının orta büyüklükte bir pompalama yardımıyla devam ettirilmesi sağlanarak, sürekli bir lazer olayı basitçe gerçekleştirilebilmektedir. Lazerleme olayı için kullanılan pompalama sistemleri bir hayli karmaşıktır. Pompalama elbette sadece optik pompalama olarak düşünülmemelidir. Bunun yanı sıra elektriksel boşalma ya da elektron bombardımanı yapılması, kimyasal enerjinin serbest bırakımı ya da bir akımın geçirilmesi ile de pompalama yapılabilmektedir. Aslına bakılırsa lazer mekanizmalarında kullanılan ortam enerji seviyeleri de, pompalama sistemleri gibi karmaşık bir yapıya sahiptir. Olayın basit bir şekilde anlaşılması adına, üçlü veya dörtlü seviyeler kullanılarak anlatılmaktadır.

#### 2.2.5. Optik Geri Besleme

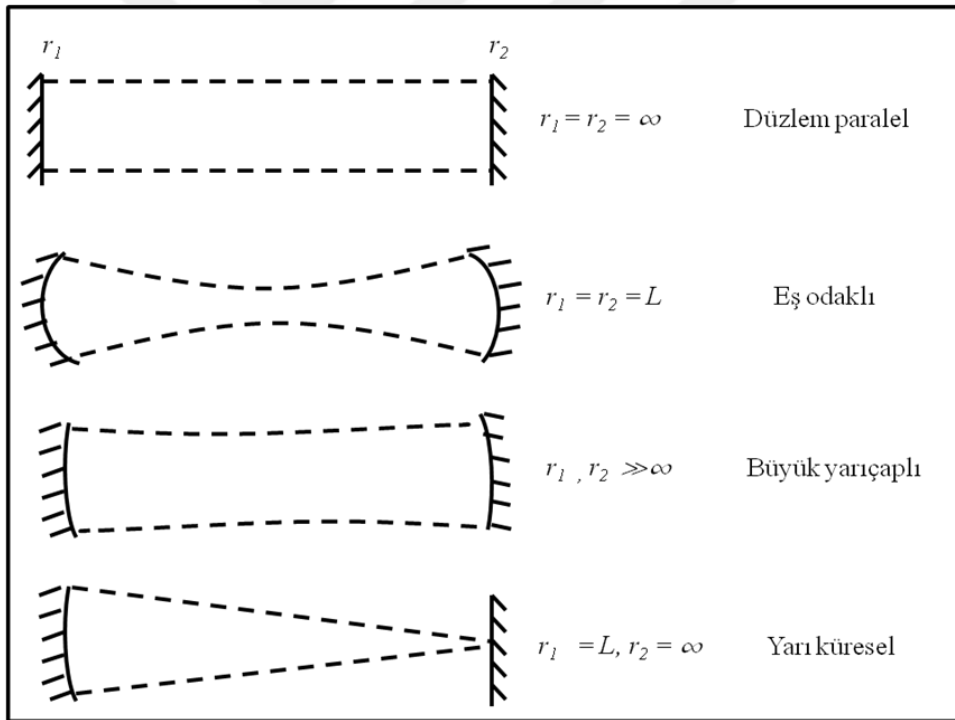
Lazer ismine bakıldığında bir yükseltici gibi gözükse de, aslında titreştirici gibi davranmaktadır. Bir elektronik titreştirici göz önüne alındığında, istenilen frekansa ayarlanma işlemi yükseltici bir pozitif geri besleme (Positive feedback) sağlanarak olmaktadır. Bu sayede sistem açıldığında, uygun çıkış frekansına ait herhangi bir gürültü sinyali şiddetlendirilmektedir. Şiddetlendirilmiş çıkış, girişe entegre edilerek tekrar besleme işlemi sağlanmaktadır. Bu adımlar uygulandıkça tekrar kuvvetlendirme olmaktadır ve böylece devam etmektedir. Buna ek olarak yükseltici, yüksek gerilim altında doyuma ulaşmaktadır. Böyle bir durumda ise, besleme geriliminden muazzam bir çıkış beklenilmemektedir.

Lazer içerisindeki optik geri besleme, Fabry-Perot rezonatörü olarak adlandırılan optiksel bir rezonatör ile sağlanmaktadır. Bu rezonatör geri besleme işlemini, bir çift ayna ve bu aynaların arasına kazanç ortamının yerleştirilmesiyle gerçekleştirmektedir. Salınmış olan fotonun sistem eksenine boyunca ilerlemesi sırasında, uygun enerji seviyelerinin arasındaki kendiliğinden geçişler sayesinde, başlangıç ivmelendirme işlemi gerçekleşmektedir. Ortamda bulunan sinyal, ortam boyunca kuvvetlendirilir ve aynalar yardımı ile geri beslenmektedir. Belli bir anda oluşan doyma işlemi, ortamın sinyal kazancının ortamdaki sinyalin bir tam döngü sırasında ortamda meydana gelen kayıplarla eşit hale gelmesiyle ortaya çıkmaktadır.

Optik rezonatör olarak bahsedilen optik geri besleme ortamı, aktif ortam olarak da bilinmektedir. Bu ortamın birim uzunluğu başına düşen kazancı çok düşüktür. Bir tam döngü sağladığında ışık demeti, sahip olacağı kazanç çok küçüktür. Aktif ortam içerisinde yer alan radyasyon, optik rezonatör görevini üstlenen iki paralel ayna arasında, mükemmel doğrultulmuş bir demet halinde ileri-geri hareket ettiği varsayıldığında, çoklu geçişlerdeki yükseltme oranı oldukça belirgin olmaktadır. Buna ek olarak, kırınımın da etkileri söz konusu olmaktadır. Bu etki sebebiyle, sonlu boya sahip aynalar ile mükemmel nitelikte düzeltilmiş ışık demetinin devamlı oluşturulabilmesi olanaksızdır. Aynalar arasında hareket eden radyasyonlar kırılarak aynanın köşelerine veya daha yukarılarına çıkmaktadır. Bu durumu engellemek adına konkav aynalar kullanılmaktadır. Lazer sistemlerinde, o sisteme uygun çok sayıda ayna eğriliklerine ve şekillenimlerine sahip aynalar kullanılmaktadır. Her tip aynanın analizini yapabilmek için kırınım teorisini dikkatli bir biçimde çalışmak gerekmektedir. Fakat optik geometride yer alan basit birkaç teknik ile sonuçlarının ne olabileceği hakkında fikri ortaya atmak mümkündür. Bu tekniklerden yola çıkarak bulunan sonuç, ışık demetini içinde barındıran, başlangıç durumunda aktif ortam eksenine küçük bir açı yapacak biçimde eğitilen aynaların kullanılmasının, sistemdeki radyasyonun şiddetlendirilmesinde faydalı olduğudur [20,21]. Bu tip rezonatörler, “kararlı rezonatörler” olarak bilinmektedirler. Sıkça kullanılan ayna düzenekleri Şekil 2.12’de gösterilmektedir. Elbette hepsi de kendine özgü avantaj ve dezavantaja sahip olmaktadır. Dezavantaja bir örnek verilecek olursa, örneğin düzlem paralel aynalar %100 paralel yapılamayacakları için yani



şekillenimleri tam olarak ayarlanamayacağı için sistem içerisinde, optik demet birkaç tur attıktan sonra rezonatör içerisinden ayrılarak sistemi terk etmektedir. Avantajı ise, optik demet, demetin rezonatör içerisine odaklanamamasından dolayı, lazer ortamı dediğimiz aktif ortamı maksimum derecede kullanmaktadır. Bu duruma geniş mod hacminde olma durumu denmektedir. Sonuç itibariyle aynaların sağlaması gereken şart,  $\lambda/100$  şartı olmaktadır. Konfokal ayna düzeninin ayarlanması düzlem paralelin aksine kolay bir düzendir fakat kullanılabilir aktif ortam düşünüldüğünde aktif ortam sınırlı olmaktadır. Aktif ortamın sınırlı olması mod hacminin küçük olduğu anlamına gelmektedir. Bazı tip lazerlerde örneğin gaz lazerleri, maksimum çıkışın gözlenmesi isteniyorsa, yarı çapı büyük bir rezonatör tercih edilmektedir. Tek fazlı yani maksimum demet ahengi isteniyorsa, yarı küresel ayna düzeneği tercih edilmektedir.



Şekil 2.12. Sıkça kullanılan bazı lazer rezonatör ayna şekilleri (Kesik çizgiler her bir durumda mod hacminin genişliğini belirtmektedir) [12].

Bazı sistemlerde kullanılan aynaların sistem içerisindeki şekillenimleri kararsız rezonatörler oluşturmaktadır. Bu tarz kararsız rezonatörler içerisinde ilerleyen ve minimum geliş açılara sahip demetler, iki ayna arasında birkaç kez

yansıma yaptıktan sonra sistemden ayrılmaktadırlar. Bu durum kayıpların çok fazla olduğu sonucunu çıkarmaktadır. Elbette bu durumun da faydalı özellikleri mevcuttur. Bu sistemler mod hacmini iyi derecede kullanmaktadırlar. Bu tip sistemlerde yüksek kayıplar mevcut olduğu için yüksek kazanç sağlayan sistemlerde rahatlıkla kullanılabilirler. Örneğin karbondioksit ortamında yüksek kazanç sağlandığı için, böyle bir ortamda lazer işlemi gerçekleşecekse, kararsız bir rezonatör kullanılabilir. Her zaman söylendiği gibi, lazer sistemlerinde kazançların düşük olması sebebiyle kayıpları minimum hale getirmek çok önemlidir. Kayıpların sebeplerinden biri de aynaların radyasyonu soğurmasıdır. Bu kaybı azaltabilmek için, aynalar yüksek mertebeli yansıtkan ve kat kat sürülmüş dielektrik malzeme ile kaplanmaktadır. Aynaların elektrik iletkenliğini arttırdığından ötürü, aynalara metalik kaplama yapılmamaktadır. Kaplama işlemi, çok katlı katmanlarda bir cam yüzey üzerine düşük ve yüksek kırılma indislerine sahip değişken dielektrik maddelerin, üst üste gelecek şekilde bir çeyrek dalga ( $\lambda/4$ ) miktarınca konulmasıyla yapılmaktadır. Ara yüzlerin değişken olması sebebiyle yüzler arasında faz değişimi olmaktadır. Bunun sayesinde ortamda içerisindeki tüm yansıyan radyasyon aynı fazda olmaktadır ve yapıcı bir şekilde birbiriyle etkileşmektedir. %100'e yakın (%99.9) bir yansıtkanlık sağlayabilmek adına, sisteme kaplama adı altında dahil edilen çoklu katmandaki katman sayısı, 20'nin üzerinde olmalıdır. Net olarak anlaşılacak bir şey vardır ki o da, aynaların verimli olabilmesi için sadece dar bir dalga boyu bölgesi seçilmesi gerekmektedir.

### 2.3. LAZER IŞIĞININ ÖZELLİKLERİ

Bilindiği üzere lazer sistemlerinde ortaya çıkan radyasyon, diğer ışık kaynaklarında ortaya çıkan radyasyonlardan farklı olmaktadır. Bunun nedeni lazerin kendine özgü özelliklerinde yatmaktadır. Lazerin temel özelliklerine bakılacak olursa;

- Tek renklilik
- Yönlenebilirlik
- Parlaklık

- Uyumluluk

başta gelmektedir.

### 2.3.1. Tek Renklilik

Işık bir radyasyondur ve her radyasyonun kendine özgü bir dalga boyu ( $\lambda$ ) ve frekansı ( $\nu$ ) vardır. Işık demetinin renginin tayin edilmesi, demeti oluşturan ışınların dalgalarının uzunluğuyla alakalıdır. Dalganın kendini tekrar ettiği mesafeye dalga boyu denmektedir. Her rengin bir dalga boyu aralığı olmaktadır. Fakat beyaz ışık içerisinde görünebilir tayftaki tüm renklerin çoğunu veya hepsini barındırdığı için, birçok dalga boyunu içermektedir. Lazer ışın demeti de bu bilgilere dayanarak bilinen bir dalga boyuna sahip olmaktadır [22]. Lazer ışığını bile düşündüğümüzde gerçek manada bir tek renkli (Monochromatic) ışık üretilememektedir. Bazı teknikler yardımı ile (Prizma, kırınım ızgarası vs.) lazer sistemlerinin bazı uygulamalarında dar banda sahip, hassas ışık demetleri elde edilmektedir. Buna örnek verecek olursak, Helyum-Neon lazerin yaydığı ışık demetinin rengi saf bir kırmızı renktir.

Lazer ışığının rengi büyük ölçüde tek renklidir [23]. Lazer ışık kaynaklarının üretmiş olduğu dalgalar, dar bir huni içerisinde aktif ortam eksenine boyunca yönelmiş halde hareket etmektedirler (Directionality). Işın demetinin içerisinde bulunan her bir dalga diğerleriyle uyum içerisinde. Bu uyum lazer ışığını oluşturan ışınların aynı fazda, aynı genlikte ve aynı dalga boyunda olduğunu göstermektedir. Işın demetinin aynı fazda olması durumuna uyumluluk (Eş fazlı olma, coherence) denmektedir. Şuan günümüzde bulunan lazer kaynaklarından elde edilen ışın demetleri tam olarak eş fazlı, tek renkli ve yönlendirilmiş değildir. Elbette diğer ışık kaynaklarına bakıldığı takdirde, çok uyumlu bir tablo sergilemektedir.

Lazer kaynağından çıkan ışığın dalga boyunun uzunluğunun dar bir dalga boyu sınırları içerisinde olması, üzerinde özel bir teknik uygulanarak bu durumun yaratıldığı fikriyle izah edilebilmektedir. Çoğu lazer kaynağının ürettiği ışık ışını, üzerinde birkaç frekansı taşıyan ışık demetinden oluşmaktadır. Bu frekansların miktarı, rezonans çukurunun (Aktif ortam) geometrik durumuna ve lazer ortamına

bağlı olmaktadır. Bu frekanslar genel olarak boylamsal (Longitudinal) modlar olarak tanımlanmaktadır.

Bir takım lazer mekanizmalarının ürettiği ışınlar içerisindeki farklı frekansların sayısı, 5000'e kadar çıkabilmektedir. Uygulamaya gelindiğinde bu tip lazer mekanizmaları, özel teknikler yardımıyla içerisinde bulundurduğu frekanslardan birine lazer ışığı kitlenerek (Laser mod locking), yalnızca o frekansta lazer ışığı çıkışı sağlanabilmektedir. Böylelikle mod frekanslarının arasındaki farklar çok küçük olmaktadır. Bu sayede bant genişliği de çok düşük olmaktadır. Frekanslar arasındaki fark

$$\Delta f = \frac{c}{2d_0} \quad (2.31)$$

ile hesaplanmaktadır [24]. Bu denklemde  $\Delta f$ ; birbirine en yakın olan modların arasındaki frekans farkı (Hz),  $C$ ; ışık hızı (m/s),  $d_0$ ; lazer çukurunun (Rezonans çukuru) içerisinde yer alan aynaların birbirine olan uzaklığıdır (m).

Bu denklem sayesinde modlar arasındaki frekans farklarının ne kadar olduğu bulanabilmektedir. Böylelikle ışığın saflığı, yani tek renkliliğe ne kadar yaklaştığı ortaya çıkarılmaktadır.

### 2.3.2. Yönlenebilirlik

Lazerlerin en önemli özelliklerin biri de yönlenebilirlikleridir. Lazer çeşitlerinden yarı iletken eklemine sahip lazerler dışındaki lazerler, meydana getirdikleri ışık ışınlarını, büyük ölçüde yönlü ve çok düşük genişleme (Dağılım) açısıyla ayarlı bir biçimde salınım yapmaktadırlar. Bu durum, lazer kaynağından çıkan ışık ışığının taşıdığı enerjinin kolaylıkla toplanması ve toplanan bu enerjinin bir noktaya odaklanabilmesi anlamına gelmektedir. Lazer dışı diğer geleneksel kaynaklar düşünüldüğünde, bu sistemlerde üretilen radyasyon  $4\pi sr$ 'lik bir katı açı içerisinde yayılmakta ve toplanabilme olayının gerçekleşmesi neredeyse imkansız olmaktadır. Fakat lazer demeti için bu durum söz konusu değildir. Çünkü lazer demetinin dağılım açısı o kadar küçüktür ki, lazerden çok uzakta bir yerde bile ışık demetinin toplanıp odaklanması sağlanabilmektedir. Önemli bir fizik kuralı olan

kırınım, dağılma mesafesini sınırlamaktadır. Kırınım limitinde radyan cinsinden dağılma açısı  $\theta$  ile verilmektedir.  $\theta$ 'nın karşılığı

$$\theta = \kappa \frac{\lambda}{D} \quad (2.32)$$

ile verilmektedir. Bu denklemde;  $D$ ; demetin ortaya çıktığı deliğin çapıdır,  $\kappa$ ; bir mertebesinde bir sayısal faktördür. Bu sayısal faktörün kesin değeri ışık demetinin doğasına bağlıdır. Eğer ışık demetinin mod içeriği ve çıkış ışık gücü artarsa, demetin dağılması da artma eğiliminde olmaktadır.

Gündelik hayattaki kullanımları bakımından özellikle gaz lazer demetlerinin yönlenebilme doğalarının mükemmel oluşu, delme ve tünel açma gibi işlemlerin gerçekleşmesinde, ayrıca büyük uçak ve gemi gibi araçların bir araya getirilmesinde tercih edilmektedirler [25].

### 2.3.3. Parlaklık

Lazer ışığının en önemli özelliği, diğer ışık kaynaklarından üretilen radyasyonlardan daha parlak olmasıdır. Parlaklık, birim alan başına yayınlanan güç ve birim katı açı olarak tanımlanmaktadır. Bazı durumlarda da "öz parlaklık" terimi söylenmektedir. Bu terim birim dalga boyu aralığı başına parlaklık miktarıdır ve birimi ( $Wm^{-2}sr^{-1}\Delta\lambda^{-1}$ ) ile verilmektedir. Bu birim birçok alanda farklı tanımlanmaktadır. Örneğin radyometride parlaklık, ışımaya olarak adlandırılmaktadır. Fakat lazer alanında parlaklık kavramı, yukarıda tanımladığımız şekilde kullanılmaktadır. Birim katı açı, demet içine dağıldığı koni ile tanımlanmaktadır. Bu sebepten ötürü, lazer sistemleri büyük ölçüde doğrultulmuş demetler içerisinde yüksek güçler üretebilmektedirler. Bu durumdan dolayı da oldukça yüksek parlaklığa sahip ışık kaynakları olmaktadır. Parlaklığın etkilendiği bir husus da fazlalık modlardır. Lazerin çıkış gücü arttırıldıkça modların sayısı da artmakta fakat belli bir andan sonra, parlaklık değişmemekte hatta neredeyse sabit kalmaktadır. Yüksek güce sahip lazer ışığı gücünü, birim alan başına dağıttığı takdirde, yüksek dereceli parlaklığı meydana getirmektedir. Bu lazer fiziği için çok önemli bir durumdur. Aynı zamanda yüksek dereceli parlaklık olayı, odaklandığı dairesel parlak çıkış noktasının boyutlarına da bağlıdır.

#### 2.3.4. Eş evreli olma durumu (Eş evrelilik)

Uyumluluğu tanımlarken üç önemli duruma bakılmaktadır. Frekans, faz ve dalga doğrultusu aynı olan iki dalga birbiriyle uyumludur (Coherence) denmektedir. Uyumlu dalgaların tipi sinüzoidaldir ve belli bir genlik ile belli bir dalga boyuna sahiptirler. Lazer sisteminin ürettiği lazer ışınları, sistemden ayrıldıktan sonra maksimum genlikleri ve dalga uzunlukları sabit kalmaktadır. Tutarlı olan iki dalga formunun dondurulmuş haline bakıldığında, dalga yapılarının sinüzoidal bir dalga formuna sahip oldukları görülmektedir. Yani iki dalgadan birisi durdurulduğunda eğer tepe noktası zirvede ise diğer dalganın tepe noktası da zirvede olmaktadır. Bu durum kısmi bir tutarlılıktır. Kısmi tutarlılığın bu anlatılan çeşidine de zamansal uyumluluk denmektedir. Bir diğer kısmi tutarlılık çeşidi ise, yan uyumluluktur. Yan tutarlı olarak bilinen bu dalgalara, lazer demetinin çıkışından yani lazer sisteminin önünden bakıldığında, bu dalgalar her zaman dikey çizgiler halinde görülmektedir. Fakat bunlar arasındaki mesafe her zaman sabit kalmaktadır [26].

Bu iki kısmi uyumluluk çeşidinin de bir araya geldiği duruma, uzaysal uyumluluk denmektedir. İki dalganın uzaysal uyumluluğu olabilmesi için, her iki dalga yayıldığı yön boyunca aynı fazda ve her yayılma yönüne dalga dikey durumda olması gerekmektedir. Bu durumu sağlayan dalgalara uzaysal uyumludurlar denmektedir. Dalgaların uyumluluk mesafelerini hesaplamak için

$$L_c = \frac{c}{BW} \quad (2.33)$$

denklemini verilmektedir. Bu denklemde  $C$ ; ışık hızı ( $m/s$ ),  $BW$ ; bant genişliği ( $MHz$ ),  $L_c$ ; uyumluluk mesafesidir.

#### 2.4. LAZERLERİN SINIFLANDIRILMASI

Lazer sistemleri, lazer ışını elde etmek için aktif bölgelerinde kullandıkları malzemelere göre sınıflandırılmaktadırlar.

- Boya lazerler
- Katı hal lazerler

- Gaz lazerler
- Yarı-iletken diyot lazerler

Tablo 2.3'te lazerlerin tipleri ve ürettiği lazer ışınının dalga boyları verilmektedir.

Tablo 2.3. Lazer tiplerinin ürettikleri dalga boyu ve çıkış güçleri.

Lazer Tipi	Dalga boyu, $\lambda$ (nm)	Çıkış Gücü (W)
He-Ne	632.8	$0.1 - 1 \times 10^{-3}$
Argon	488	0.3 - 50
He-Cd	441.6	0.01 - 0.2
Bakır (CVL)	510.5	10 - 100
CO <sub>2</sub>	10600	$0.2 - 45 \times 10^3$
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. Boya Lazerler

Sıvı gaz lazerler olarak da bilinen boya (Dye) lazerler, 190'dan 1100 nm'ye kadar uzanan çalışma bölgelerine sahiptirler. Boya lazerlerinin de kendi içerisinde ayrı tipleri mevcuttur. Bu değişik tipli boya lazerleri, sistemde kullanılan boyanın cinsine göre değişmektedir. Yüksek ışık yoğunluğuna sahip pompaların kullanıldığı boya lazer sistemlerinde, optik pompalamalı olarak çalışmaktadırlar [27]. Bu sistemlerde lazer ortamında kullanılan malzemeler, organik boyaların karışımları olmaktadır. Genel olarak yapılan, organik boyanın metil-alkol sıvısında erilmesini sağlamaktır. Bu sistemlerde kullanılan ve bu amaca uygun bir boya örneği vermek gerekirse, *Rhodamine 6G* veya *Xantene* verilebilir.

Boya lazerlerin en önemli özelliklerinden biri de istenilen frekans aralığında çalıştırılabilmesidir. Bu sistemin çok fazla moleküler yapısı olduğundan, içerisinde birçok elektron uyarılma seviyesi bulunmaktadır. Bu uyarılma seviyeleri de, çok sayıda titreşim seviyelerine sahiptirler. Bu sistemlerin üst üste binerek bir araya gelebilmektedirler. Dalga boyunun istenilen değerde olmasını sağlamak için, sistemdeki çukur içerisine bir alet yerleştirilmektedir. Yerleştirilen bu alet, üretilen lazer ışınının istenilen dalga boyunda dış ortama iletilmesini sağlamaktadır. Görünür ışık bölgelerindeki tayfın yakalanabilmesi bu sistemleri için mevcuttur. Bu tayfın yakalanabilmesi için kullanılan boya miktarları ve karışımları değiştirilmektedir. Yukarıda bahsedilen *Rhodamine 6G* yaklaşık 200nm bir bant genişliğine sahip kırmızı ışık bölgesi üzerine ayarlanabilmektedir [28].

Boya lazerlerin uyarılmış seviyeye uyarılmalarını sağlamak için başka bir lazer sistemi kullanılmaktadır. Soğurulma sağlandıktan sonra üzerine gönderilen lazer demetinin, üretilen dalga boyunun bağlı olduğu malzemeler adına geliştirilebilmekte olan renklerle çalışılması önem teşkil etmektedir. Çünkü bu şekilde lazer mekanizmasında seçilmiş olan enerji durumları ile tam çalışacak şekilde ayarlama sağlanabilmektedir. Bu duruma örnek vermek gerekirse, kanın renginin kırmızı olması nedeniyle herhangi bir cerrahi müdahalede kanın kırmızı rengi soğurma miktarı çok önemsiz boyutlarda olduğu için kırmızı ışık kullanılmamaktadır. Artık katı hal lazer sistemlerinde çalışma bölgelerinin oynanabilmesi, aktif ortamda kararsız boya moleküllerinin kullanıldığı boya lazerlerinin gözdeliğini düşürmüştür.

#### 2.4.2. Katı-Hal Lazerler

Genel itibari ile kristal veya cam gibi katı malzemedan yapılmış olan çubukların kullanıldığı lazer tipidir. Kullanılan çubuk, her iki tarafı parlatılmış bir silindir şeklindedir. Katı-hal diye adlandırılan kavram, yarı iletken malzemelerle alakası olmayan bir kavramdır. Lazerlerde katı-hal kavramı, ayrı bir olay olarak ele alınmaktadır. Lazer konusundaki katı-hal kavramı, esas alınan katı malzeme içerisine lazer malzemesinin yerleştirilmesi manasında kullanılmaktadır. Bu lazer sisteminde bahsedilen çubuk, cam veya kristal malzemedan meydana gelmektedir. Çoğu bu ana

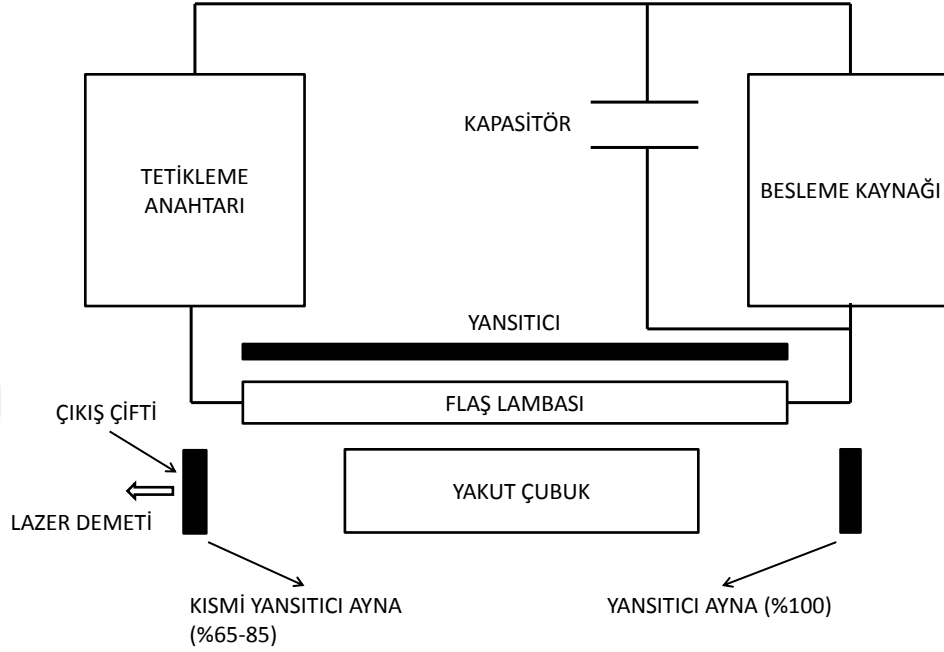


malzemeden oluşan çubuğa az miktarda da lazer malzemesi eklenmektedir. Ana malzemeye katılan iyonlar, bazı geçiş metallere (krom, nikel, kobalt) veya neodimyum ve erbiyum gibi nadir kullanılan malzemeler tarafından elde edilmektedir.

T. Maiman ilk lazeri mücevher olarak bilinen yakuttan yapmıştır. Yakut, cam gibi şeffaf ve berraktır. İçeriğine bakılacak olursa,  $Al_2O_3$ 'den meydana gelmektedir. Kırmızı rengi almasını sağlamak için, alüminyum oksit bileşiğine krom oksit ilave edilmektedir. Kırmızı rengin tonları bu krom oksitin koyulma oranıyla alakalıdır. Örneğin krom dioksit %0.05 oranında yakut lazere eklendiğinde, kristal çubuk pembe bir renk almaktayken , %0.5 oranında eklendiğinde (yüksek oranda krom dioksit manasına gelmektedir bu durum) krom dioksit, yakutun alışımlış göz alıcı kırmızı rengi ortaya çıkmaktadır. %0.05 oranında krom dioksit konulduğunda oluşan pembe renkli kristalin her bir  $cm^3$ 'ünde,  $1.6 \times 10^{19}$  kadar krom dioksit atomu bulunmaktadır.

Yakut lazerlerde kullanılan çubuğun boyu yaklaşık 6inç kadardır. Çok nadir durumlarda bu uzunluk değişebilir. Bunun sebebi yarı iletken teknolojisine dayanmaktadır. Bu teknolojiyle uzun çubuk elde etmek çok zordur. Çubuğun çapına değinecek olunursa, çap 1inç'e kadar olabilir. Çapın en fazla 1inç olarak meydana getirilmesinde de bir sebep vardır. Merkez pompalaması yerine bu sistemler yüzey pompalaması yaptıklarından, çap büyüdükçe pompalama işlemi zorlaşmaktadır. Bu nedenle çap bu miktara kadar en fazla büyütülmektedir. Şekil 2.13'te yakut lazerin iç yapısı verilmektedir. Yakut çubuğun iki yanında aynalar mevcuttur ve çubuğun iki yanı da parlatılmaktadır. Aynaların biri tam yansıtıcı (%100) ayna, diğeri ise çıkış aynası olarak bilinen, %65 ile %85 arasında yansıtma özelliğine sahip aynadır. Bu sistemlerde lazerleme olayından sorumlu kısım, alüminyum oksit kafes yapısında bulunan krom atomlarıdır. Bu atomlar flaş lamba sayesinde uyarılır ve 545.1nm bölgesinde bir bant oluşturmayı başaran enerjileri soğurmaktadırlar. Bunun üzerine Şekil 2.14'te gösterildiği gibi elektronlar, yakut lazerin enerji diyagramında bulunan  $E_1$  enerji seviyesinden (taban enerji seviyesi)  $E_3$  enerji seviyesine (tavan enerji seviyesi) yükselip, oradan da  $E_2$  enerji seviyesine geçmektedirler. Bu düşüşler özel isimler ile ifade edilmektedir.  $E_3$ 'ten  $E_2$ 'ye düşüş Fonon geçişi (radyasyonsuz geçiş)

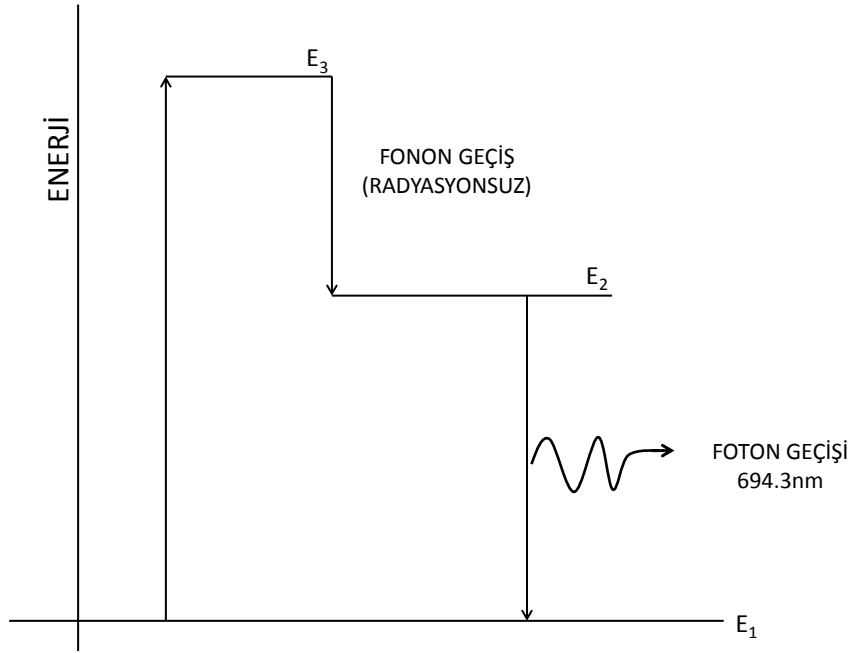
olarak bilinmektedir. Fonon geçişinde herhangi bir radyasyon çıkışı olmaz fakat enerji ortama ısı şeklinde bırakılmaktadır.



Şekil 2.13. Yakut lazerin yapısı.

Isıyı fiziksel açıdan bakarak açıklamak gerekirse, ısı, molekül ve atomların basit titreşimlerinden meydana gelmektedir. Bu nedenle Fonon geçiş fotonun salınmasına katkı sağlamamaktadır. Elektronlar fonon geçişin başlayacağı  $E_3$  seviyesinde, yaklaşık 3ms civarında kalabilmektedirler [29].

Yakut lazerlerde nüfus tersinmesini meydana getirecek olan alet, yakut lazerin yanında veya etrafına yerleştirilmiş durumda bulunan Ksenon flaş lambasıdır. Nüfus tersinmesi daha önce de bahsedildiği üzere,  $E_2$  seviyesinde bulunan nüfus yoğunluğunun,  $E_1$  seviyesinde bulunan nüfus yoğunluğundan fazla olması durumudur. Bu durumun meydana gelmesiyle, lazerleme olayının ortaya çıkması sağlanmaktadır.  $E_2$ 'den  $E_1$  enerji seviyesine düşerken elektronlar uyarılmış yayılım olarak ortaya çıkmaktadırlar.



Şekil 2.14. Yakut lazerin enerji seviyeleri.

Bütün lazer sistemlerinde olduğu gibi, bu sistemde de emisyon (yayılım) fotonlarının istikameti belli değildir. Yani fotonların yönelimleri her yöne olabilmektedir. Bu istikametlerin birbirine ağırlıkça baskınlığı bulunmamaktadır. Eğer bir istikametın diğerine ağırlıkça üstün olması isteniyorsa, lazer ortamı içerisine optik çukur eklenmektedir. Bu çukur sayesinde yayılım istikameti belirlenmekte ve oluşan darbenin yükseltilmesi sağlanmaktadır. Optik çukur ekseninde olmayan fotonlar eksenden sapan fotonlardır ve bu fotonlar zaman içerisinde kaybolmaktadır. Çukurdan kenara kaçmayı başaran fotonlardır. Ayna içerisinde tur atıp lazer ortamında ışığı şiddetlendiren fotonlar ise, optik çukurun eksenine paralel hareket edip aynaya çarpıp geri dönen fotonlardır. Uyarılmış elektron sayısı bu turu atan foton sayısının artmasıyla doğru orantılı olmaktadır. Aynalara çarpma işlemi yansıma olarak adlandırılmaktadır. Bu işlem devam ettikçe ışık demetinin darbe etkisi ve genişliği artmaktadır. Bu yansıyan fotonların bir kısmı, optik çukurdan kurtularak kısmi geçirgen dediğimiz yansıtıcı özelliği %100'ün altında olan aynadan çıkarak lazer ışını olarak ortama salınmaktadır. Örnek vermek gerekirse, yakut lazer yüksek yoğunluğa sahip yayılım yapmaktadır ve yaydığı ışık demeti, kırmızı renk

bandında ve 694.3nm dalga boyunda ışık ile uyum içerisinde olan bir lazer ışığı üretmektedir. Yakut lazerde bulunan üç seviyeli sistem diğer malzemelerden farklı bir sistem olarak bilinmektedir. Bu sistemde  $E_1$  toprak seviyesidir ve  $E_3$ 'de elektronların pompalandıktan sonra çıkabildikleri tavan seviyesidir.  $E_2$  ise, orta kararlılıkta olan geçici duraklama yeridir. Elektronlar bu üç yerde bulunabilmektedir. Ne olursa olsun  $E_3$  seviyesine ulaşmış bütün elektronlar tekrar  $E_1$  seviyesine tekrar düşmektedirler [30].

Buna nazaran diğer lazer sistemlerinin tümü dört seviyeli enerji diyagramlarına sahiptirler. Bu sistemlerin avantajları, toprak seviyesindeki elektronların uyarılmaları ile birlikte toprak seviyesinin yukarılarında bulunan enerji seviyelerindeki elektronlar da uyarılmaktadır. Bu sayede  $E_3$  seviyesine ulaşan elektronlar daha fazla olmaktadır. Bu durumda lazer ışığı üretmek için, dört seviyeli sistem üç seviyeli sisteme kıyasla, düşük pompalama enerjisine ihtiyaç duymaktadır.

Şekil 2.13'te gösterildiği gibi yakut lazerin çok basit bir gösterimi resmedilmektedir. Yapı içerisinde bulunan kapasitör darbe arası sürelerde doldurulmaktadır. Bu sayede tetikleme işlemi sağlanarak, flaş lamba tarafından boşaltma işlemi yapılmaktadır. Tetikleme bittikten sonra boşalan kapasitör güç kaynağı ile tekrar doldurulmaktadır. Pompalama tekrarı ise, saniyede 1-2 darbe gerçekleşecek kadar düşük bir hızla sahip olmaktadır.

#### 2.4.3. Gaz Lazerler

Bu tip lazerlerde kullanılan gaz çeşitleri; Neon, Argon, Neon-Kripton, Helyum ve bunların birleşimlerinden oluşan gazlardır. En yaygın olanları ise, Ksenon Flüor Lazer ( $XeF$ ) ve Argon Flüor Lazerdir.

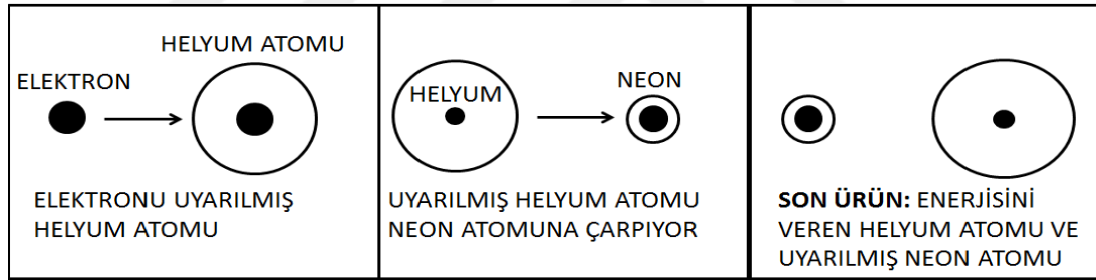
Yaydıkları ışığın dalga boyu aralığı ise, 630nm ile 1000nm arasında değişmektedir. Gaz lazerler hem sürekli hem de darbeli mod şeklinde çalıştırılabilmektedir. Yani ışığın radyasyon şekli sürekli mod veya darbeli mod olabilmektedir. Darbeli modda çalıştırılarak gaz lazerler, mor ötesi ışık bölgesinde muazzam bir güçte ışık demeti elde edilebilmektedir [31].

Gaz lazerleri üç ana başlıkta toplamak mümkündür. Bunlar;

- Etkisiz - Atom Gaz Lazerleri
- İyonlaştırılmış - Atom Gaz Lazerleri
- Moleküler Gaz Lazerleri

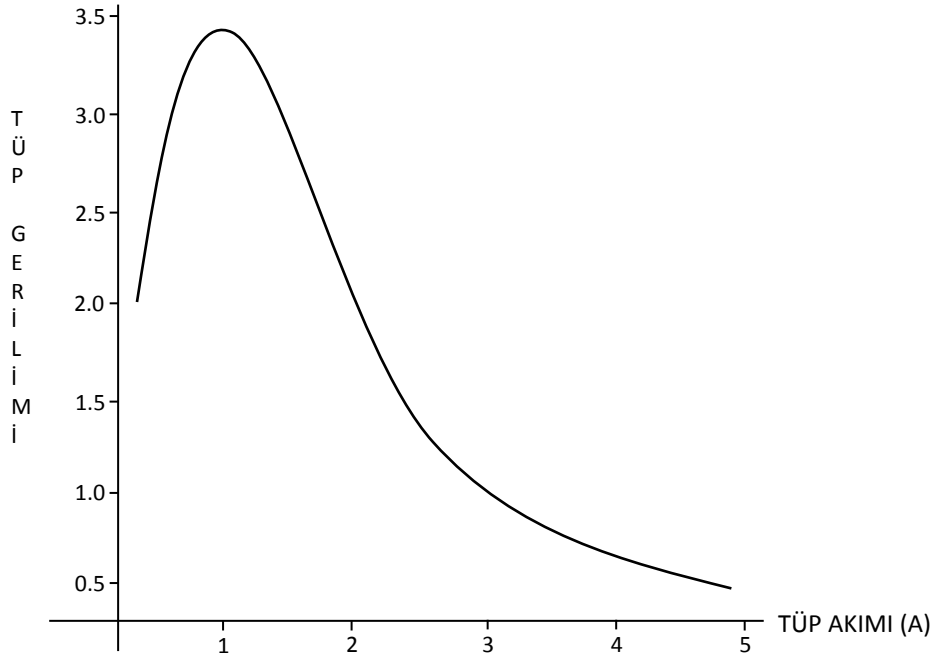
şeklinde olmaktadır.

Etkisiz (Nötral) - Atom Gaz Lazerin bilindiği gibi ilki Helyum-Neon Lazeridir. Eğitim ve sanayide vazgeçilmez bir lazer türüdür. 1961'de Ali Javan'ın icat etmiş olduğu bu lazer gaz lazerlerin önünü açmıştır. Bu lazer türünde kullanılan gaz karışımında bulunan helyum miktarı %90 ve neon miktarı %10 olmaktadır. Bu karışım bir torr (1mm-Hg kadar) basınç altında hazırlanmaktadır. Lazer malzemesi olarak adlandırılan, lazer ışığının üretilmesini sağlayan burada neondur. Mekanizmada pompalama yapıldıktan sonra pompalamadan doğan, Şekil 2.15'de gerçekleşen çarpışmalar ve bu sayede ortaya çıkan ürün sırası resmedilmektedir.



Şekil 2.15. Uyarılmadan sonra Helyum ve Neon atomlarının durumu.

Helyum (He) neon (Ne) gazı birleşiminde karışımın yüksek miktarı helyumdan oluştuğu için, elektronlar çoğunlukla helyum atomları ile çarpışmaktadırlar. Bu sayede uyarılan He atomları enerjilerini kaybederek Ne atomlarını uyarmada kullanılmaktadırlar. Bu durum sonucunda nüfus tersinmesi olacak kadar uyarılan Ne atomu meydana gelebilirse, bu andan itibaren uyarılmış yayılma başlayabilmektedir. Ne atomlarının uyarılmasıyla ortaya çıkan kendiliğinden yayılma 632.8nm, 3390nm ve 1150nm dalga boylarından herhangi birinde meydana gelmektedir. Genellikle He-Ne lazerin dalga boyu, 632.8nm dalga boylu ışın demeti verebilecek şekilde ayarlanmaktadır. He-Ne lazerin gerilim-akım karakteristiği Şekil 2.13'te gösterilmektedir [32].

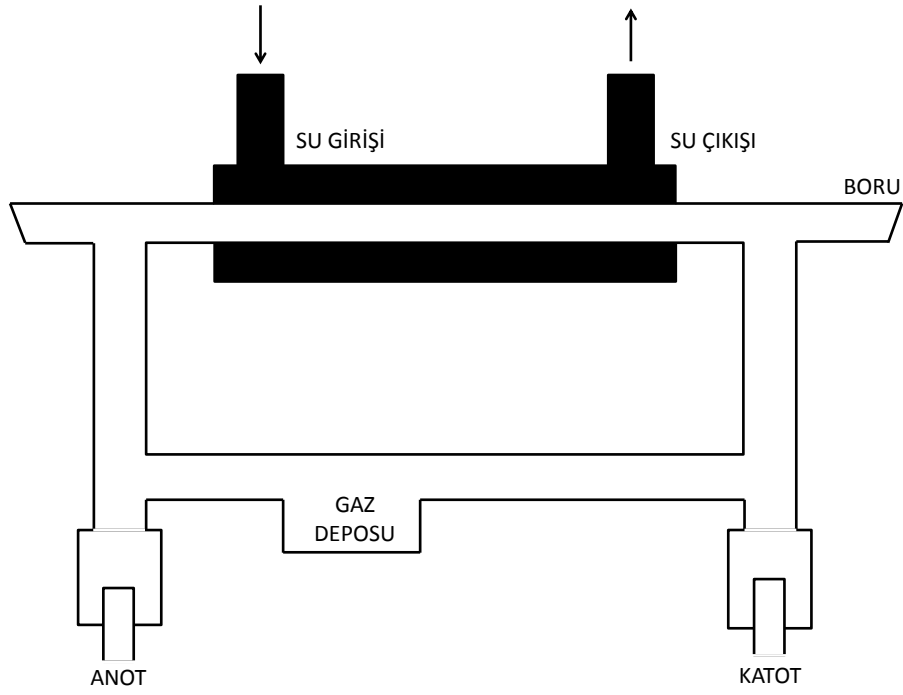


Şekil 2.16. Helyum Neon gaz lazerin pompalama gerilimi ile akım değişimi.

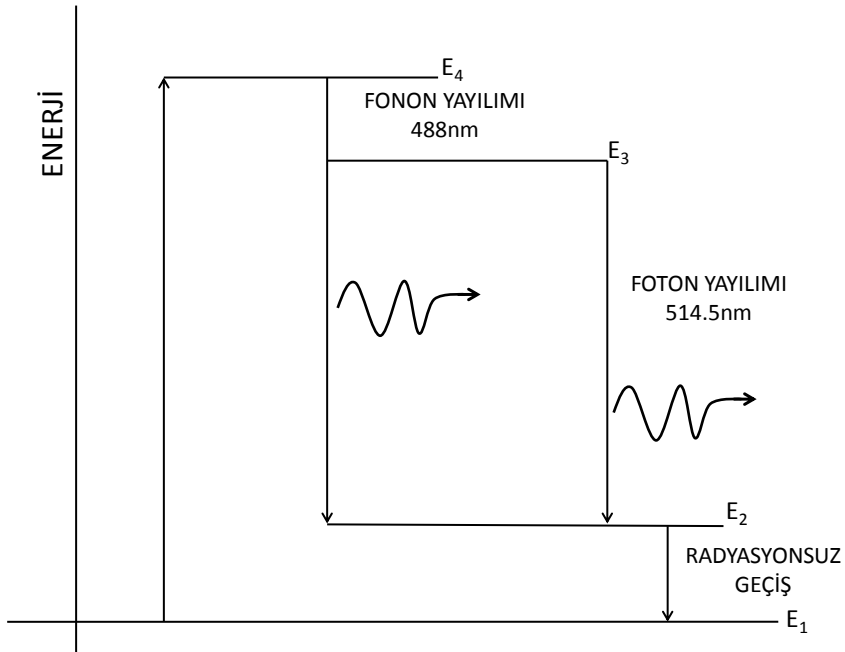
Şekil 2.16’da görüldüğü üzere, gerilim yükseldikçe akım önemsenmeyecek kadar küçüktür. Bozulma (Breakdown), gerilimin 3 ile 4kW aralığında bir değere ulaşması sonucu meydana gelmektedir. Akım bu bozulma noktasından sonra yükselmeye başlamaktadır. Lazerlere özgü parametrelerden biri olan plazma denilen olay, tüp içerisinde kırılma geriliminin olduğu anda meydana gelmektedir. Bu olay akımın artışına neden olmaktadır. Tüp birçok He-Ne lazer sistemlerinde, sistem 1 ila 1.5kW gerilime ulaştığında meydana gelen sızıntı akımından dolayı çalışmaya başlamaktadır. Diğer flüoresan tüplere benzer olarak, arkın meydana gelmesini takiben güç kaynağından gelen gerilimi, 1 ila 1.5kW aralığına indirmek için balast adında bir direnç uygulaması yapılmaktadır.

Bir diğer gaz lazer çeşidi, İyonlaştırılmış-Atom Gaz Lazerleridir. Bu tip lazerlerde argon gazı kullanılmaktadır. Argon lazerler olarak da bilinen bu lazerlerde, He-Ne lazerlerindeki etkisiz atomların kullanılmasına zıt olarak iyonlaştırılmış-atomlar kullanılmaktadır. Uyarılmış salma iyon seviyesinde gerçekleşmektedir. İki lazer tipi olan etkisiz ve iyonlaştırılmış gaz lazerlerin tasarımları ve çalışma koşulları farklıdır.

Bu tip lazerlerin en büyük farkı, uyarılma sürecindeki farklılıklar ve ne kadarlık bir güç desteğinin sağlandığıdır. İyonlaştırılmış-atom gaz lazerler, He-Ne gaz lazerine zıt olarak, yüksek akım düşük gerilim istemektedirler. İyonsal lazerler olarak da bilinen iyonlaştırılmış-atom gaz lazerlerinin delinme gerilimi 200-300V aralığında, akım değeri ise 5-50A aralığındadır. Bu tip lazerlerin pahalı olmasının nedeni de budur. Bu sistemi besleyecek gücün sağlanması yüksek maliyet gerektirmektedir. İyonsal gaz lazerlerin boru çapı 1 ila 3mm aralığında değişmekte ve kullanılan tüpün basıncı 0.5torr olmaktadır. Boru çapının bu denli küçük olması nedeniyle, her santimetre kareye oransal olarak yüzlerce amper akım şiddeti düşmesi söz konusudur. Güç kayıpları her sistemde olduğu gibi burada da mevcuttur. Bu kayıpları sistemden uzaklaştırmak için su soğutma işlemi uygulanmaktadır. Çapın küçük olması nedeniyle birim alana düşen akım şiddeti çok olacağından, tüp malzemesi zamanla aşınmaya uğramaktadır. Bu sebeple içerisinde gazın bulunan tüp, yüksek elektrik akımına dayanıklı malzemelerden yapılmaktadır. Bu lazerler ısı geçirgenliğine sahip lazerler oldukları için, ısıyı kolayca ortamdaki atabilmektedirler. Genel olarak iyonsal gaz lazerlerinin çıkış güçleri 1 ila 20W aralığındadır. Şekil 2.17’de argon gaz lazer tüpünün yapısı resmedilmektedir. Şekil 2.18’de de enerji seviyelerinin görünümü ve bu enerji seviyeleri arasındaki geçişler resmedilmektedir [33].



Şekil 2.17. Argon lazer tüpünün yapısı.

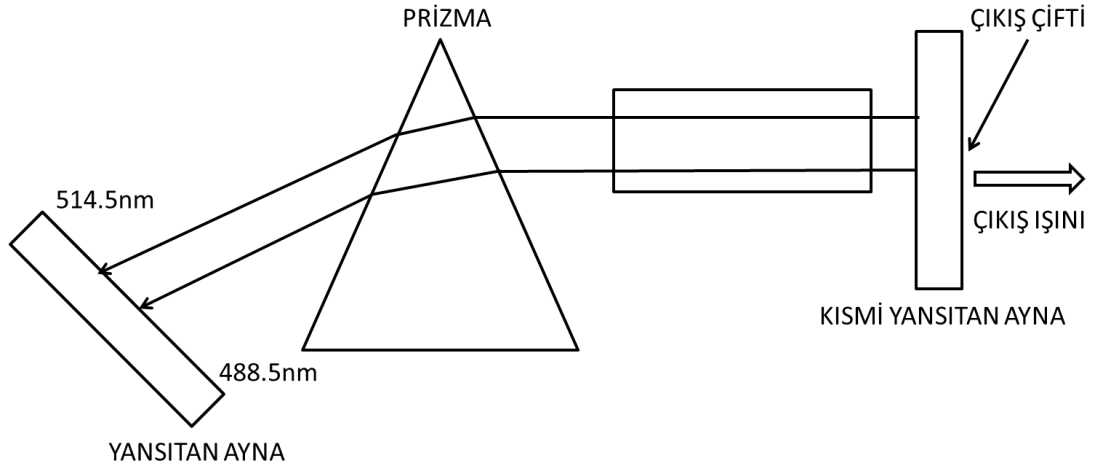


Şekil 2.18. Argon lazerin enerji seviyeleri.



İyonsal gaz lazerlerinde kullanılmakta olan argon gazı değişik frekanslarda ışıklar üretebilmektedir. Değişik frekansların tümünü oluşturabilecek şekilde argon lazerler çalıştırılabilmektedirler. Bu duruma *çoklu hat mod çalışması* denmektedir. İstenilen dalga boyu uzunluğuna lazer ayarlanabilmektedir. Bu ayarlamayı sağlayabilmek için prizmalar kullanılmaktadır. Prizma sistem içerisine dönebilme kabiliyeti olacak şekilde yerleştirilmektedirler. Işık demetinin prizmayla buluşması sonucunda dağılmaya uğraması söz konusu olmaktadır. Bu dağılma sayesinde, farklı dalga boylarında ışıklar farklı yollar ile sistemi terk etmektedirler. Sistem içerisindeki prizmanın davranışı, Şekil 2.19'da gösterilmektedir. Burada prizmadan çıkan ışınlar 488.5nm dalga boyuna sahip ışık ışınlarıdır. Prizmadan bu ışınların haricinde çıkacak olan farklı dalga boyuna sahip ışık ışınları aynalara çarpmamaktadır.

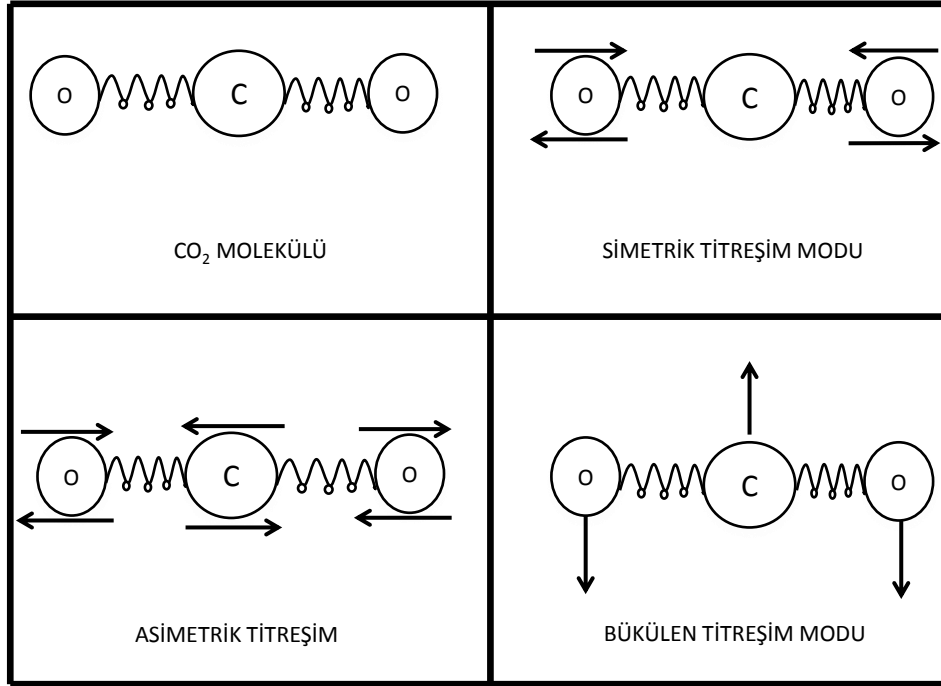
Çoğu iyonsal gaz lazerlerinde 514.5nm ve 488nm dalga boyları bir arada kullanılmaktadır. Bu durumda çıkış gücünün toplam ışık demetinin gücüne oranı, 2/3 olmaktadır. Bu tip lazerlerde argon gazından başka gaz çeşitleri de kullanılmaktadır. Bunlardan en bilineni Kripton soy gazıdır. Argon benzer olarak bu gaz da farklı dalga boylarına sahip ışık ışınları üretmektedir. Çoklu hat modunda çalıştırılabilen Kripton gazı ile üretilen ışık ışınlarının en fazla çıkış gücüne sahip olanı, 647.1nm dalga boylu ışık ışınıdır. Bir diğer bilinen ksenon soy gazıdır. Bu gaz ile elde edilen iyon gaz lazerleri darbe modunda çalıştırılan lazerlerdir. Bu lazerleri de farklı dalga boyu aralığında çalıştırmak mümkündür. Bu tip lazerler 539.5 ila 995nm aralığında dalga boyuna sahip ışık ışını üretebilecek şekilde çalıştırılabilmektedirler.



Şekil 2.19. Argon lazerin çok hatlı çalışma modu.

İyonsal gaz lazerlerin bir çok uygulamada kullanılmayı sağlayan en büyük özelliği, değiştirilebilir dalga boyuna sahip ışık ışını üretmekle birlikte, değiştirilebilir lazer çıkış gücüne sahip ışık ışını üretebiliyor olmalarıdır. Lazer enerji çıkışı, sisteme uygulanan elektrik girişinin kontrol edilmesiyle sağlanmaktadır [34]. Argon gazında oluşturulabilen yeşil ışık ışınının gücünü değiştirmek için, argon gazı içerisinde geçen elektrik akımının değişimini sağlamak gerekmektedir. Bu güç 10W'a kadar çıkarılabilmektedir. Bu durumdan ötürü, nüfus tersinmesinin oluşabilme derecesi de kontrol edilebilmektedir.

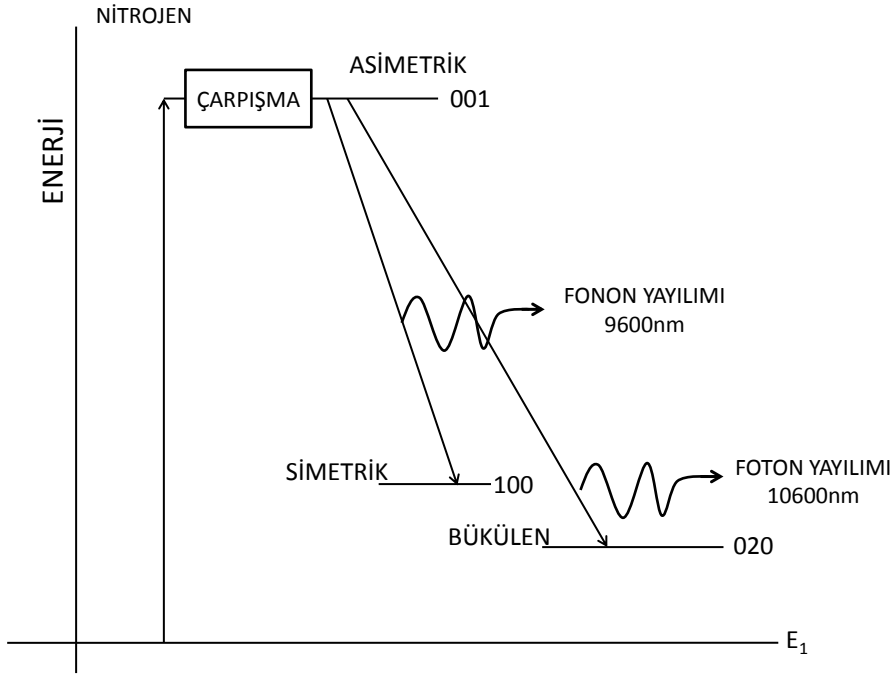
Gaz lazerlerin son türü olan lazer tipi, moleküler gaz lazeridir. Bu tip lazerlerin en yaygın olanı ise, 1964 yılında Patel tarafından icat edilen CO<sub>2</sub> lazeridir. Bu lazer ilk olarak Bell laboratuvarlarında çalıştırılmıştır. Bu lazerin o zamanki gücü 1mW, elektrik gücünün optik güce çevrim verimliliği ise %0.0001 idi. Karbon dioksite helyum ve nitrojen gazı eklenerek çıkış gücü 100W'a ve optik çıkış verimliliği de %6'ya yükseltilmiş bir lazer elde edildi. CO<sub>2</sub> lazerlerde lazerleme olayı, CO<sub>2</sub> moleküllerinin titreşiminden kaynaklanmaktadır. CO<sub>2</sub>'nin molekül yapısı ve titreşim biçimleri Şekil 2.20'de verilmektedir.



Şekil 2.20. CO<sub>2</sub> molekülünün yapısı ve titreşim şekilleri.

Şekil 2.20’de görüldüğü gibi moleküllerin titreşimleri bir veya birkaç modun kombinasyonu şeklinde olabilmektedir. Fakat her bir titreşimin kendine özgü bir rezonans frekansı vardır. Bu tip lazerlerde, titreşim seviyelerinde bulunan enerjinin iletimi, tıpkı elektron enerji seviyelerinde olduğu gibi, kesintili paketler halinde iletebilmektedir [31]. Titreşim modlarının her birinin kendine özgü enerji seviyeleri bulunmaktadır. Herhangi bir titreşim seviyesindeki enerjinin, diğer titreşim seviyesine geçişi sağlandığında, dış ortama bir foton salınımı gerçekleşmektedir.

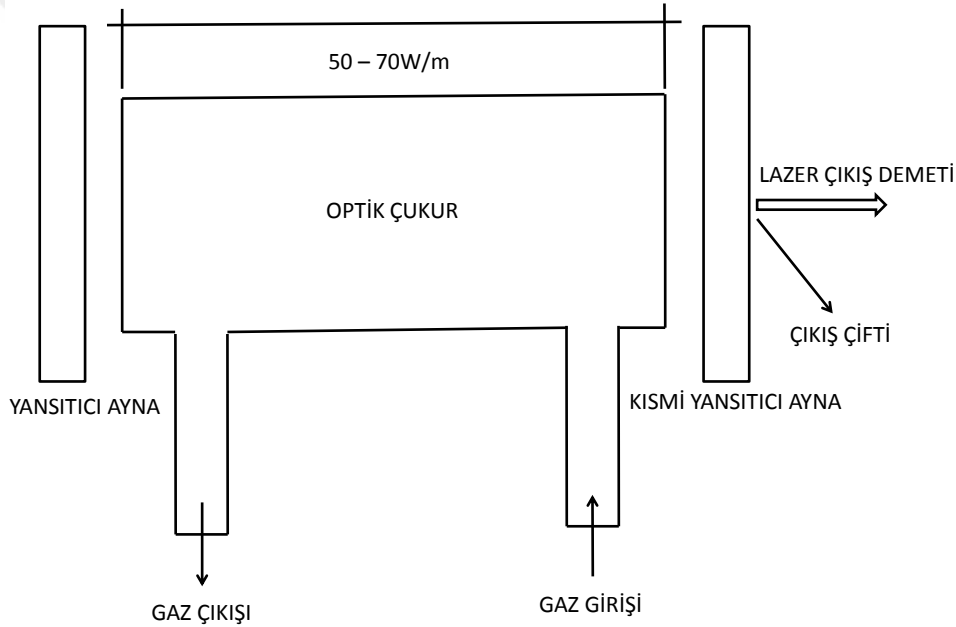
Şekil 2.21’de CO<sub>2</sub> gaz lazerinin enerji seviyeleri resmedilmektedir. Bu resimde görüldüğü gibi, enerji seviyeleri üç rakamlı bir sayı ile temsil edilmektedir. Bu rakamlardan birincisi; bükülen mod içerisindeki seviyeyi, üçüncü rakam ise; asimetrik (simetrik olmayan) mod içerisindeki birinci seviyeyi temsil etmektedir. Örnek vermek gerekirse, Şekil 2.21’e bakılarak, 100 sayısının ilk rakamı olan 1; simetrik titreşim modu içerisindeki birinci seviyeyi, 020 sayısının ikinci rakamı; bükülen titreşim modundaki ikinci seviyeyi ve 001 sayısındaki üçüncü rakam ise; asimetrik titreşim modundaki birinci seviyeyi temsil etmektedir.



Şekil 2.21. CO<sub>2</sub> gaz lazerin enerji seviyeleri

Karbon dioksit gaz lazerlerde iki geçişin önemi vurgulanmaktadır. Bunlardan birincisi; 001'den 100 enerji seviyesine geçiştir. Bu geçişin önemi, dalga uzunluğunun 9.6µm'ye ulaştığı kuvvetli bir ışık ışını elde edilmektedir. Bir diğer geçiş ise, 001'den 020 enerji seviyesine geçiştir. Bu geçiş sayesinde de 10µm dalga uzunluğuna sahip kuvvetli ışık ışını meydana gelmektedir (Willett 1974). Genellikle bu lazer tipinin tercih edileni, 10µm dalga uzunluğuna sahip olanıdır. Başta da sözü edildiği gibi, araştırmalar ışığında CO<sub>2</sub> gaz lazerlerinde lazerlemenin sadece CO<sub>2</sub> gazı ile yapılmasındansa, gazın içerisine nitrojen (N<sub>2</sub>) ve helyum (He) gazlarının karıştırılması, daha etkin lazerleme verimliliği yarattığını ortaya koymaktadır [35]. Tek atomlu olduğu için N<sub>2</sub> molekülleri, tek bir titreşim seviyesine sahip olmaktadır. Şekil 2.21'e bakıldığında nitrojenin enerji seviyesinin, 001 enerji seviyesindeki asimetrik titreşim moduna uygun olduğu görülmektedir. Bu tip lazerlerde N<sub>2</sub>'nin görevi He-Ne gaz lazerlerinde helyumun gazının üstlendiği rolün aynısıdır. 001 seviyesinde titreşmekte olan nitrojen atomları, üzerinde barındırdığı enerjiyi çarpışma yoluyla CO<sub>2</sub> atomuna aktarmaktadır. Sistem içerisinde bulunan N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> gaz karışımına, helyum gazının eklenmesinin sebebi de, CO<sub>2</sub> gaz lazerinin çıkış gücünü

arttırmak ve gaz karışımının serin tutulmasını sağlamaktır. CO<sub>2</sub> gaz lazerin çalışma prensibi gereği içerisinde bulunan gaz parçalanmaktadır. Bu parçalanma sonucunda güç kayıpları yaşanmaktadır. Bu durum yaşandığı için zaman içerisinde tüp içerisinde bulunan eski gaz boşaltılıp yerine yenisi konulmaktadır. Bu dolum ve boşaltım işi düşük güçlü ve yüksek güçlü CO<sub>2</sub> gaz lazeri için farklı olmaktadır. Eğer CO<sub>2</sub> gaz lazerinin gücü yüksek ise gaz kapalı bir sistem içerisinde döndürülerek doldurulmaktadır. Fakat düşük güçlü CO<sub>2</sub> gaz lazerinde eskijen tüp içerisindeki gaz direkt olarak havaya bırakılmaktadır. CO<sub>2</sub> gaz lazerinin eksen akışlı tipi olan lazer mekanizmasının iç yapısı Şekil 2.22’de gösterilmektedir.



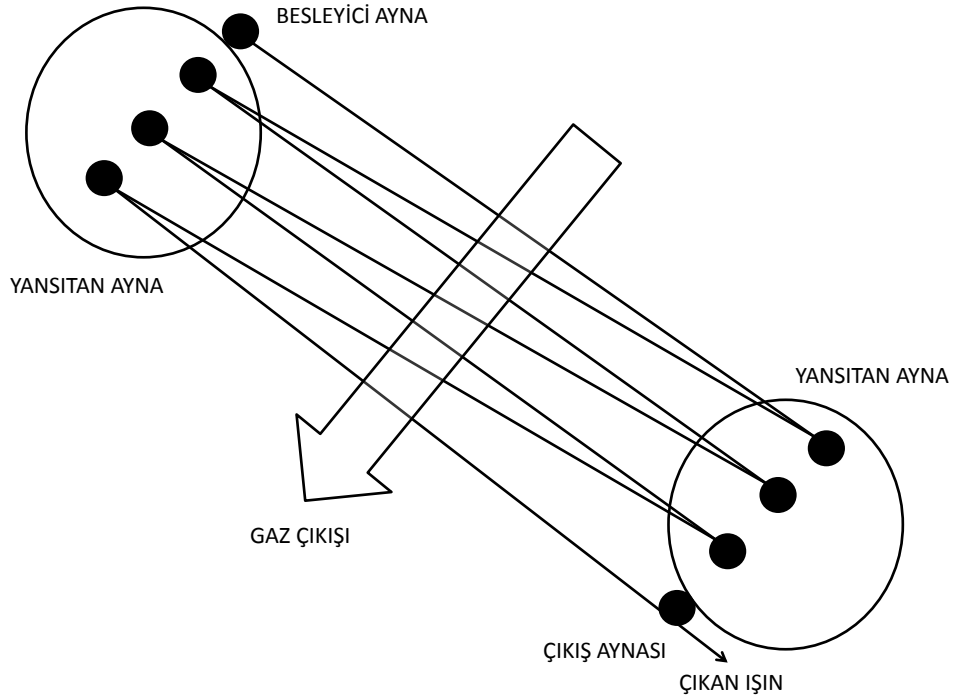
Şekil 2.22. Eksen akışlı tip CO<sub>2</sub> gaz lazerin yapısı

Gaz girişinden giren gaz tüp boyunca akmaya başlamaktadır. Akan gazın uyarılması, gaz tüpün sonuna geldiğinde olmaktadır. Gazın tüp içerisinde tüp eksenini boyunca akması nedeniyle, Eksen-Akışlı tip CO<sub>2</sub> gaz lazeri ismini almaktadır. Bu tip lazerler ilk başlarda 50ft<sup>3</sup>/h akış oranına sahiptiler ve 50 ila 70W/m güç sağlamaktaydılar. Ortalama çıkış güçleri ise 1000W civarındaydı. Bu tip lazerlerin gücü tüp uzunluğu artırılarak ve 8000W’a kadar çıkış gücü elde edilmektedir. 8000W çıkış gücüne sahip bir CO<sub>2</sub> gaz lazerinde kullanılan tüp uzunluğu, 750feet

olmaktadır. Bu muazzam güce sahip CO<sub>2</sub> gaz lazerinin en önemli sorunu ise ısınma sorunu olmaktadır. CO<sub>2</sub> gaz lazerinin iki tipi mevcuttur. Birincisi düşük eksen akışlı CO<sub>2</sub> gaz lazerler, ikincisi ise yüksek eksen akışlı CO<sub>2</sub> gaz lazeridir.

Bu tip lazer sistemlerinde gazın akış şiddeti çok önemlidir. Gaz akış şiddeti arttıkça lazerin çıkış gücü artmaktadır. Yüksek eksen akışlı gaz lazerler ile düşük eksen akışlı gaz lazerler arasındaki temel fark budur. Yüksek eksen akışlı gaz lazerleri 600W/m güç üretebilir ayrıca sistemi içerisinde 1000ft<sup>3</sup>/h şiddetinde gaz akışı sağlandığında 5000W çıkış gücü elde edebilirler. Bu tip lazerlerde gazın hareketi üç şekilde olmaktadır. İlk olarak gaz toplanmakta, daha sonra gaz soğutulmakta ve yeniden sisteme döndürülmektedir.

CO<sub>2</sub> gaz lazerlerde gaz akışının yüksek oranda olması için, çapraz akış kullanılmaktadır. Bu sistemi kullanan lazer tipi ise çapraz-akış gaz lazerleridir. Sistem içerisindeki uyarılmış gaz moleküllerin ömürleri 2ms civarındadır ve bu gazın aynalar arasında yansıtılması ile maksimum bir kullanım elde edilmektedir. Bu sistemlerde aynaların boyutları artırılarak, yansıyan ışın miktarının artırılması sağlanmaktadır. Küçük bir alanda yüksek güç elde etmek için, yansıtma yapısını bu şekilde kullanmak gerekir. Şekil 2.23'te çapraz-akış gaz lazerlerinin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.23. Eksen akışlı tip CO<sub>2</sub> gaz lazerin yapısı.

Uyarılma işlemi bittikten sonra, parçalanmış gaz molekülleri kimyasal katalizleme yönetimi ile yeniden inşa edilmektedir. Tekrar kullanılmak üzere inşa edilen gaz molekülleri ortama döndürülmektedir. Bu ilke ile çalışan bir CO<sub>2</sub> gaz lazerinden, sürekli dalga modunda (continuous wave (CW) mod) çalışırken 20kW'a kadar güç elde edilebilmektedir. CO<sub>2</sub> gaz lazerlerinin hepsi darbe modunda da çalışabilmektedir. CO<sub>2</sub> gaz lazerinin darbe modunda çalışabilmesi için, kısa kısa süreler ile elektrik darbeleri verilerek uyarılması sağlanmaktadır.

CO<sub>2</sub> gaz lazerinde darbe modu ile çok yüksek güçlere ulaşılabilir. Uygulamada bir çok sanayi uygulamaları darbe modunda çalışan lazeri tercih etmektedir. Bu yüzden CO<sub>2</sub> gaz lazerleri büyük ölçüde tercih edilmektedir. Bu modda çalışan gaz lazerler, Çapraz-Uyarılmalı-Atmosferik lazerler (*Transverse Excited Atmospheric lasers – TEA*) olarak adlandırılmaktadır. CO<sub>2</sub> gaz lazerlerinde uyarılmanın elektrik akımı ile yapılıyor olmasından dolayı, tüpe gerilim uygulayarak bu uyarılmanın daha etkin olması sağlanmaktadır. Çapraz uyarılmalı sistemlerde nitrojen gazının uyarılması daha düşük gerilimlerde olabilmektedir. Çoğu aksel akışlı gaz lazerlerinde uyarılma için gerekli olan gerilim milyon volt seviyesindedir.

Bu sistemlere 20 ila 50kW aralığında gerilim uygulanarak, yüksek alan gücü (field strengths) elde edilebilmektedir [35].

Çoğu CO<sub>2</sub> gaz lazerleri 1atm'den düşük basınç ortamlarında çalışmaktadırlar. Yukarıda belirtilen TEA gaz lazerleri ise 1atm basınç altında çalışmaktadırlar. TEA'nın içerisinde bulunan CO<sub>2</sub> gazı normal şartlar altındaki CO<sub>2</sub> gaz lazerinde olduğundan (0.5 ila 1torr arasında) farklı olarak daha yüksek basınçta olmaktadır. Bu durum sayesinde yüksek tepe gücü oluşmaktadır. Burada üretilen muazzam gücün, mikro saniyeler süren darbeler ile devamlılığı sağlanmaktadır. Ayrıca bu gücün değeri, megawatt'lar seviyesinde olmaktadır.

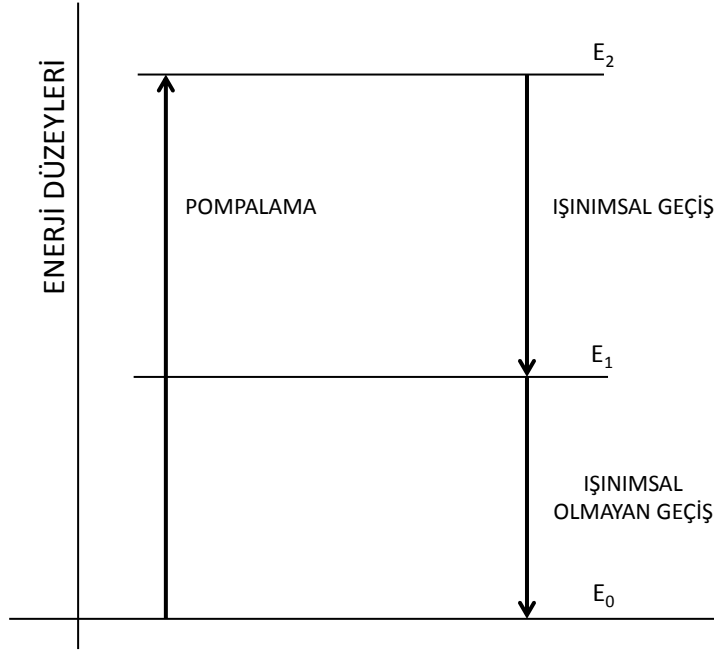
Sanayi uygulamalarında ortalama 45kW güce sahip bir CO<sub>2</sub> gaz lazerini, soğuk gaz karışımı teknolojisi kullanarak yapmak mümkündür. Bu sistemlerin gücünü 150kW'a çıkartarak askeri uygulamalarda kullanmak mümkündür. CO<sub>2</sub> gaz lazerinde daha önce bahsedildiği gibi gaz karışımı mevcuttur. Bu tip lazerlerde karışımın oranları CO<sub>2</sub>:N:He sırası ile 0.8:1:7 ile orantılı olmaktadır. Sistem içerisinde bu gazların her birinin görevi farklıdır. CO<sub>2</sub> gaz lazerinde nitrojen, CO<sub>2</sub> moleküllerinin yüksek enerji seviyelerine çıkarılmasını sağlamaktadır. Moleküller tavan seviyesine çıktıktan sonra tekrar toprak seviyesi denilen taban seviyesine düşerken, 10.6µm dalga boylu fotonlar yaymaktadırlar. Helyum gazı ise soğutma işleminden sorumludur ve düşük enerji seviyesindeki CO<sub>2</sub> moleküllerinin sıcaklığını azaltmaktadır. Bu lazerlerin çalışmasının detaylarını bulan bilim insanı Duley olmaktadır [34]. CO<sub>2</sub> gaz lazerinin sanayide kullanılma amacı; kesme, kaynatma ve yüzey işlemleri olmaktadır.

#### 2.4.4. Sürekli Işımalı Lazerler ve Darbeli Lazerler

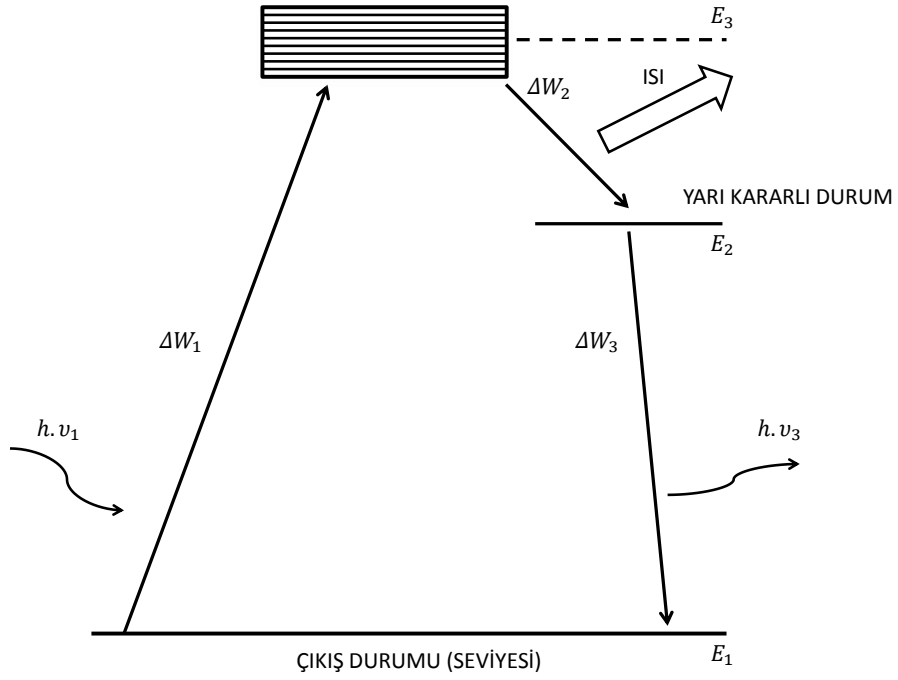
Sürekli lazerlerin temelinde yatan, sürekli olarak enerji pompalanmasına ihtiyaç duymalarıdır. Sürekli pompalanmanın sebebi nüfus tersinmesi olayının sürekliliği ve sabit bir şekilde korunabilmesi sağlanmaktadır. Şekil 2.24 ve Şekil 2.25'e bakıldığında, yakut lazerler gibi darbeli lazerlerde atomlar, soğurma bandından E<sub>2</sub> enerji seviyesine geçtiklerinde ciddi miktarda ısı çıkışı gözlenmektedir. Bu ısı çıkışını engellemek adına Şekil 2.26'da verildiği gibi bir lazer oluşum şemasına sahip elementlerin, etkin lazer ortamı olarak kullanılması gerekmektedir.



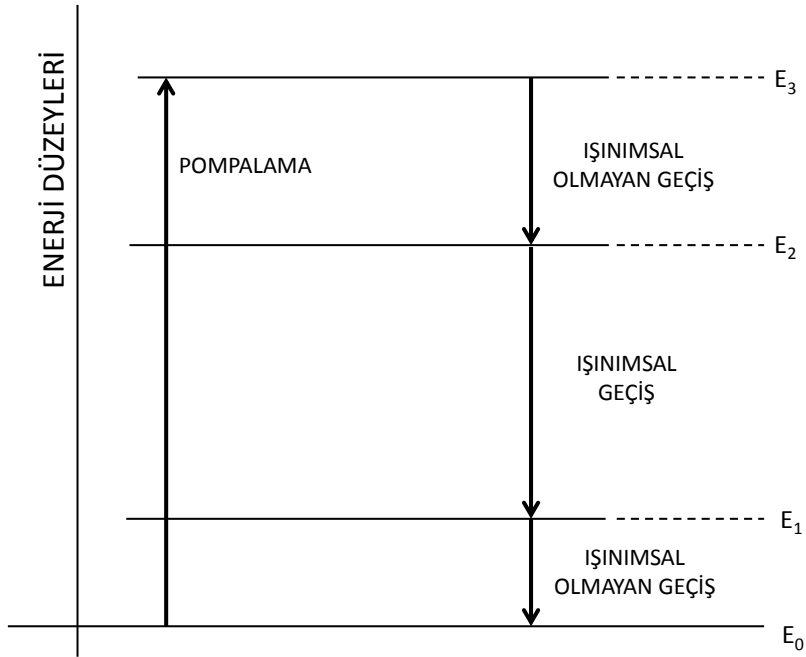
Bu tip elementlerin kullanılması durumunda lazerleme,  $E_1$  ile  $E_2$  arasında gerçekleşmektedir. Lazer ışığına herhangi bir fotonun katılması söz konusu olduğunda ise, bu fotonu yaymış olan atom bir süreliğine  $E_2$  seviyesinde kaldıktan sonra,  $E_1$  seviyesine düşmektedir.



Şekil 2.24. Üç düzeyli bir lazerin enerji şeması (Neodim lazeri).



Şekil 2.25. Lazer oluşum şeması (Yakut lazerinde Cr iyonları enerji bandına yükselirler ( $\Delta W_1$ ), buradan  $E_2$  seviyesine düşerler ( $\Delta W_1$ ), lazer ışını  $E_1$  ile  $E_2$  seviyeleri arasında oluşur ( $\Delta W_1 = h.v_3$ )).



Şekil 2.26. Dört düzeyli bir lazerin enerji şeması (Yakut lazeri).

Uyarılmış emisyonu sağlamak için,  $E_1$  ile  $E_2$  enerji seviyelerindeki nüfus yoğunluklarını tersine çevirmek gerekmektedir ( $N_1 > N_2$  iken  $N_1 < N_2$  olması sağlanmalıdır). İşgal edilme sayısı, taban enerji seviyesinde bulunan atomların diğer enerji seviyelerine geçerek o enerji seviyesini işgal etmesi yani doldurması manasında kullanılmaktadır. Atom sayısı birden çok olan sistemlerde (örnek vermek gerekirse, yakut lazerlerdeki Cr atomlarında veya boşaltma tüpü içerisindeki hidrojen atomlarında) işgal edilme sayısı enerji miktarı arttıkça azalmaktadır. Yani taban seviyesindeki atomların sayısı, diğer enerji seviyesindeki atom sayılarından fazla olmaktadır. Ayrıca herhangi bir enerji seviyesindeki işgal edilme sayısı, sözü edilen enerji seviyesi ne ise onun çıkış durumunun yüksekliği ile ters orantılıdır. Çok ufak enerji artışı bile, işgal edilme sayısında fazlaca düşüşe yol açmaktadır. Şekil 2.26'da  $E_1$  ile  $E_2$  enerji seviyelerinin işgal edilme sayıları,  $E_0$  taban enerji seviyesindekinden çok daha küçüktür. Bu durumda,  $E_1$ 'in işgal sayısı da  $E_2$ 'den fazla olmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus ise,  $E_1$  ile  $E_2$  arasındaki fark ile  $E_0$  ile  $E_1$  arasındaki farkın aynı olmadığıdır. Ayrıca  $E_1$  ile  $E_2$  enerji seviyeleri arasındaki işgal edilme sayılarını tersine çevirmek ve sabit tutabilmek için gerekli olan enerji miktarı  $E_0$  ile  $E_1$  enerji seviyeleri arasındakinden çok daha az olmaktadır.

Darbeli lazerler iki ana bileşen olan, darbe ve durma zamanlı mantığına dayanarak çalışan lazer tipidir. Bu iki önemli parametre programlanarak sistemin doğru çalışmasını sağlamaktadır. Ortalama lazer çıkış gücü ve darbe frekansı bu parametreler cinsinden ifade edilmektedir. Darbeli lazerler çalışma türü olarak süper darbe modunda çalıştıklarında darbe gücü, sürekli oluşturulan dalga gücünün 4 ila 5 katı kadar büyüklükte olmaktadır. Uyarmanın genliği ise daima %100'de tutulmaktadır [36].

#### 2.4.5. Yarı İletken Diyot Lazerler

Atom, çekirdek ve orbitallerden oluşmaktadır. Orbitalin en dışında valans (değerlik) bant bulunmaktadır. Valans bandı iletim bandından yasak bant ile ayrılmaktadır. Yasak bantta elektron bulunmamaktadır. En geniş bant valans bandı iken en dar bant iletim bandıdır. Valans bandının tamamı doluyken, iletim bandı

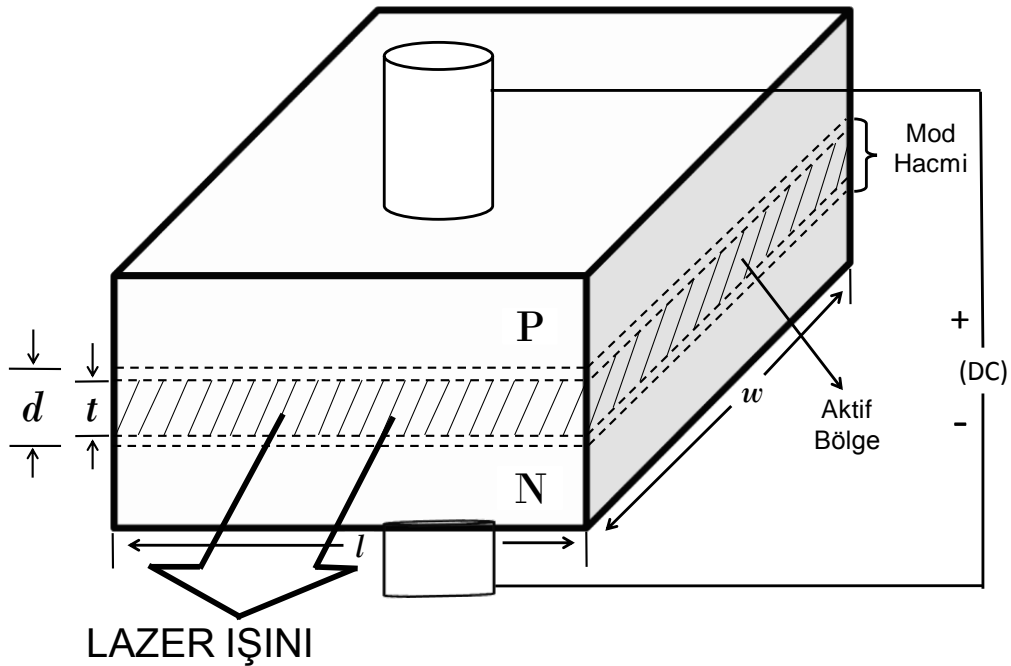
boştur. Boşluklar ve elektron sayıları birbirine eşittir. Valans bant elektronlardan ve boşluklardan oluşurken, iletim bandı çok az bir miktar elektron ile doludur.

Valans bantta bulunan elektronlar uyarılınca iletim bandına geçmektedirler. Burada elektronlar serbest hareket ederek, elektrik akımının iletimini sağlamaktadırlar. İletkenlik, serbest elektron sayısına bağlıdır. Elektronun seviye değiştirmesi için enerji kazanıp, kaybetmesi gerekmektedir. Valans yüzeyi elektronlarla tamamen doluyorsa bu yapıya yalıtkan, valans yüzeyinde çok az elektron varsa bu yapıya iletken denmektedir.

Yarı iletkenler elektrik iletkenliği bakımından iletkenlik bandı ile yalıtkanlık bandı arasında yer almaktadırlar. Yarı iletkenlerin valans yörüngelerinde dört elektron bulunmaktadır. Yarı iletkenlerin iletkenliği, iletkenlere göre  $10^{-10}$  mertebesinde daha azdır ve yalıtkanlara göre  $10^{14}$  mertebesinde daha fazladır. Yarı iletkenler üzerine herhangi bir ısı, ışık, manyetik etki veya elektriksel gerilim uygulanmadığı sürece, yalıtkanlıktır. Sözü edilen bu etkilerden biri veya bir kaçı yarı iletkeni etkilediğinde iletken hale geçmektedirler. Etkilerin yarı iletken üzerinden çekilmesiyle, yarı iletkenler tekrar yalıtkan hale geçmektedirler.

Elektronik elemanlarda yaygın olarak kullanılan yarı iletkenler germanyum ve silisyumdur. Bu yarı iletkenler devre elemanlarında saf olarak kullanılmamaktadırlar. Bu yarı iletkenler katkılanarak kullanılmaktadırlar. Katkılanmalarındaki amaç, değerlik bantlarının yukarıya çekilmesi sağlanırken iletkenlik bandının aşağı çekilmesi sağlanmaktadır. Valans bandının yukarı çekilmesi ile p-tipi yarı iletken oluşmaktadır. İletkenlik bandının aşağı çekilmesi ile de n-tipi yarı iletken oluşmaktadır. P-tipi yarı iletkende valans banttaki boşluklar, elektronlardan sayıca fazladır ve iletim bandı boştur. N-tipi yarı iletken, ortama az miktar elektron verilmesi ile oluşmaktadır ve elektron sayısı boşluk sayısından fazladır. P-tipi yarı iletken, ortama boşluk ilave edilerek oluşturulmaktadır.

N-tipi ve p-tipi malzemeler Şekil 2.27'deki gibi birleştirilince yarı iletken diyot lazerler ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.27. Yarı iletken diyot lazerin aktif bölge ve moda hacmini gösteren diyagram.

Yarı iletken diyot lazerler genellikle GaAs'den yapılmaktadırlar. Yarı iletken diyot lazerlerde lazerleme; taşıyıcı enjeksiyon, nüfus tersinmesi ve optik çukur ile ilişkilidir. Yarı iletken diyot lazere verilen gerilim sayesinde, P-tipi materyalde bulunan holler ve n-tipi materyalde bulunan elektronlar, jonksiyon denilen eklem birleşim yerine taşınmaktadır. Burada elektron ve boşluklar birleşmektedir. Buna taşıyıcı enjeksiyon denmektedir. Bir yarı iletken lazerde lazerleme olayı P-N eklemının birleşme yüzeyinde olmaktadır.

Nüfus tersinmesi, lazerleme ortamında lazerin bir turda kazancının kaybından fazla olması durumudur. P-N ekleminden oluşan yarı iletken diyot lazerin, ekleme dik bir şekilde kesilmesi ve kesilen yüzeylerin parlatılmasıyla ayna görevi görmesi sağlanmaktadır. Bu sayede ortam içerisindeki fotonlar güçlendirilmekte ve rezonans çukuru oluşmaktadır. Bu çukur optik rezonans çukuru olarak adlandırılmaktadır.

Yarı iletken diyot lazerin lazerleme mekanizmasının diğer lazer sistemlerine göre farklılığı, lazer siteminin kısmen geçirgen aynasının üzeri yansıma önleyici bir

malzeme ile kaplanmış olması ve geri besleme yardımıyla lazerleme işleminde, aynı frekansa sahip lazer ışığının üretilmeye zorlanmasıdır. Geri beslenen aktif ortam lazerleme işlemine katkıda bulunan lazer ışınlarıyla kazanç sağlayarak daha erken bir şekilde ve daha az akım ile lazerleme ortamından çıkmaktadır. Bu sayede eşik akım değeri azaltılmış olmaktadır. Bazı yarı iletken diyot lazer tipleri, dalga boyları ve sistemle ilgili bazı notlar Tablo 2.4'te verilmektedir.

Tablo 2.4. Yarı iletken diyot lazer çeşitleri.

<b>Bileşimler</b>	<b>Dalga boyu (nm)</b>	<b>Hakkında Notlar</b>
AlGaInP	630 – 680	Uzun dalga boylarında daha yüksek güç sağlar.
Ga <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P	670	Aktif bölgenin arasında bulunan bu bileşimin oda koşullarındaki ömrü uzundur.
Ga <sub>1-x</sub> Al <sub>x</sub> As	320 - 895	X değeri 0–0.45 aralığında değiştiğinde 720 nm'den küçük dalga boyuna sahip olanlarında yaşama ömrü çok kısadır.
GaAs	904	GaAs alt katmanı üzerinde düzgün örgü yapısına sahip sıkı tabakadan oluşur.

Tablo 2.4.'ün devamı.

$\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$	980	GaAs alt katmanı üzerinde düzgün örgü yapısına sahip sıkı tabakadan oluşur.
$\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$	1100 - 1650	Alt katman InP.
$\text{In}_{0,73}\text{Ga}_{0,27}\text{As}_{0,58}\text{P}_{0,42}$	1310	Çok büyük fiber haberleşme dalgaboyuna sahiptir.
$\text{In}_{0,58}\text{Ga}_{0,42}\text{As}_{0,9}\text{P}_{0,1}$	1550	Çok büyük fiber haberleşme dalgaboyuna sahiptir.
$\text{InGaAsSb}$	1700 - 4400	GaSb alt katmanı üzerinde, geliştirilebilir ve aralığı ayarlanabilir.
$\text{PbEuSeTe}$	3300 - 5800	Kriyojenik sıcaklıklarda çalışır.

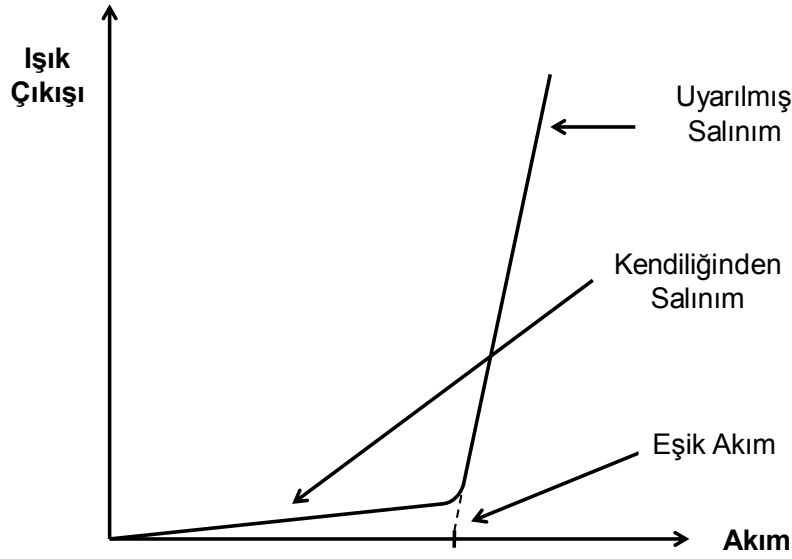
Tablo 2.4.'ün devamı.

PbSSe	4200 - 8000	Kriyojenik sıcaklıklarda çalışır.
PbSnTe	6300 - 29000	Kriyojenik sıcaklıklarda çalışır.
PbSnSe	8000 - 29000	Kriyojenik sıcaklıklarda çalışır.

Tezde soğutulması yapılan yarı iletken diyot lazer çeşidi, sürekli ışmalı (continuous wave, CW) çalıştırılabilen AlGaAs'dir. AlGaAs'nin bilinmesi gereken temel noktaları eşik akım değeri, gücü, optik yönelme boyu ve bu değerlerin sıcaklıkla değişimleridir.

Yarı iletken diyot lazere verilen, taşıyıcı enjeksiyonun taşıdığı akım, enjeksiyon akımıdır. Lazerleme işleminin başladığı akım değeri de eşik akımıdır. Eşik akımı, gücün verilen akım değeriyle Şekil 2.28'de belirtildiği gibi aniden değişime uğradığı andır.





Şekil 2.28. İdeal bir yarıiletken lazerin ışık çıkışı-akım karakteristiği.

Şekil 2.28'de uyarılmış salınımın ve kendiliğinden salınımın da hangi noktalarda olduğu gösterilmektedir. Sisteme eşik akımının altında bir akım uygulandığında, sistemle birlikte oluşan fotonların yayılımını, kararlı lazer ortamı soğurmaktadır. Fakat eşik akımının üzerinde bir akım uygulandığında, kip (mod) hacminde yeterince nüfus tersinmesi olacağından P-N eklemleri arasında kararlı, uyarılmış yayımlama meydana gelmektedir. Sisteme verilen enjeksiyon akımı lazerin sıcaklığını değiştirmektedir.

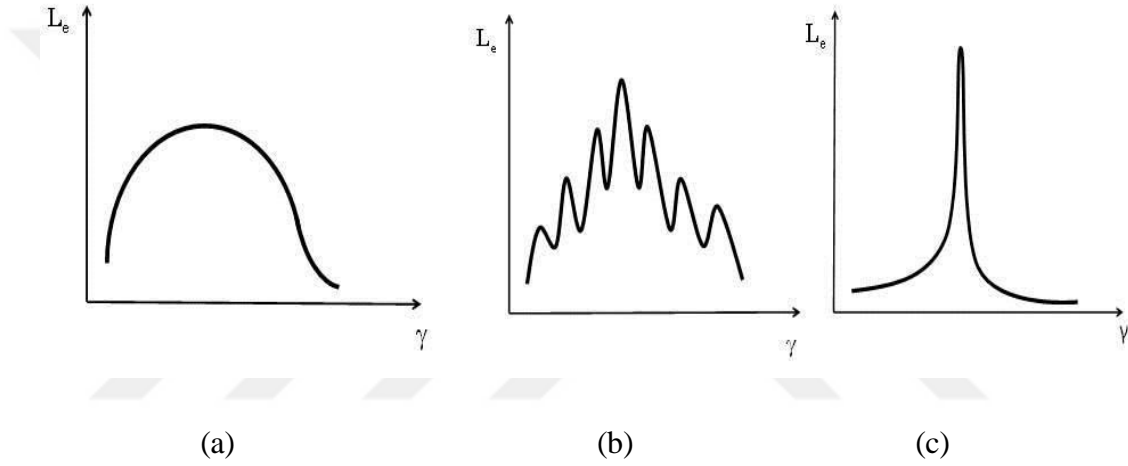
Bu ifade aşağıda verilen denklem (2.34) ile açıklanmaktadır

$$P_{DL} = IR^2 \sim mc\Delta T \quad (2.34)$$

$P$  lazerin gücü,  $I$  enjeksiyon akımı,  $R$  lazer sisteminin direnci,  $m$  etkin kütle ve  $c$  diyot lazerin özgül ısı kapasitesidir. Buraya bakılarak güç, akım ve sıcaklık arasındaki buna bağlı olarak da dalga boyu – sıcaklık arasındaki bağıntıları çıkarmak mümkündür. Dalga boyu, frekans değişimiyle orantılı olduğundan, lazere uygulanan enjeksiyon akımı ile ortaya çıkan lazerin frekansı arasında tipik bir frekans ayar oranı vardır ve bu oran yaklaşık olarak 4GHz/mA'dir. Enjeksiyon akımı akortlama parametrelerinden biridir. Hem lazer kovuğu kiplerini hem de lazer ortamındaki

kazanç miktarını değiştirebilmektedir. Lazer modlarının geçişlerinde lazerin dalga boyunda, merdivene benzer bir eğri ortaya çıkmaktadır ve bu durum enjeksiyon akımı ile açıklanabilmektedir.

Lazer kipler halinde ilerlediği için Şekil 2.29a, Şekil 2.29b ve Şekil 2.29c’de gösterilen durumlarda bulunmaktadır. Enjeksiyon akımı eşik altında, eşik üstünde ve bir kipe kilitlenmiş haldedir. Bu geçişler de “mode hopping” denilen modlar arası zıplama ile sağlanmaktadır. Bu zıplamanın sonucunda yukarıda bahsedilen, lazerin dalga boyunda merdivene benzer bir eğri ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.29. Bir P-N eklem lazeri için frekansın fonksiyonu olarak yayılan (radyant) çıkış; (a) eşik altında (kendiliğinden salma), (b) eşikteki lazer modları ve (c) baskın lazer modunun eşik üzerinde olması durumu (ışınma ölçekleri (a) dan (c) ye şeklinde sıkıştırılmıştır).

Şekil 2.29a’da lazer eşik akımının altında bir akıma maruz bırakıldığından, lazerleme işlemi sadece kendiliğinden yayımlanma durumuyla olmaktadır. Şekil 2.29b’de, eşik akımı verildiğinde lazerin alacağı moda durumları görülmektedir. Eğer Şekil 2.29c’de görüldüğü gibi lazer sistemine akım verilmeye devam edilirse, lazer ışığı bu modlardan birine kilitlenip, o frekans ve dalga boyuyla hareket etmektedir.

Eşik akım değerinin hesaplanması, Şekil 2.27’de belirtilen değerler üzerinden açıklanabilmektedir. Nüfus tersinmesinin gerçekleştiği yer  $t$  kalınlığındaki

bölgedir. Lazerin modlarına sıkıştırıldığı yer  $d$  kalınlığı ile belirlenmiş bölgedir.  $d$  kalınlığı dışında gerçekleşen lazerin modlarının soğurulma durumu söz konusudur.

Bu durum da, aktif bölgede kazanılan kazanca sınır koyan kayıptır. Matematiksel olarak  $dxlxw$  mod hacminde bu kayıp,  $t/d$  ile ifade edilmektedir.

Eşik şartı;

$$N_{th} = \left\{ N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1 \right\}_{th} = \frac{d}{t} \left\{ \frac{8\pi v_0^2 k_{th} \tau_{21} n^2 \Delta v}{c^2} \right\} \quad (2.35)$$

ifadesi elde edilmektedir.

Aktif bölgede bulunan taşıyıcı hollerin sayısı taşıyıcı elektronlara oranla daha fazla olduğu düşünülüp bu hollerin sayısı olan  $N_1$  'i ihmal etme yaklaşımında bulunmaktadır. Bu durumda elde edilecek ifade;

$$(N_2)_{th} = \frac{d}{t} \left\{ \frac{8\pi v_0^2 k_{th} \tau_{21} n^2 \Delta v}{c^2} \right\} \quad (2.36)$$

ifadesidir.

Diyot lazere uygulanan gerilim ve akım düşünüldüğünde birim yüzeyden geçen akım yoğunluğu  $JA/m^2$  olarak kabul edilmektedir. Bu durumda Şekil 2.26'da gösterilen aktif bölgenin  $t$  kalınlığındaki bölgesine yerleşen, saniye başına düşen elektron sayısı  $(J/et)$  elektron/ $m^3s$  ile verilmektedir. P-N eklemine tekrar enjeksiyon oranını verecek şekilde, hol ve elektron birleşmesini sağlayacak kadar elektronun iletim bandındaki denge sayı yoğunluğu  $N_2/T_e$  olmaktadır.  $T_e$ , elektronların ömürlerini ifade etmektedir. Bu durumda eşik akım yoğunluğu;

$$\frac{(J)_{th}}{et} = \frac{(N_2)_{th}}{\tau_e} \quad (2.37)$$

ifadesi ile elde edilmektedir.

Bu ifade denklem (2.36)'da yerine yazılırsa;

$$(J)_{th} = \frac{etd}{\tau_e t} \left( \frac{8\pi v_0^2 k_{th} \tau_{21} n^2 \Delta v}{c^2} \right) \quad (2.38)$$

ifadesi elde edilmektedir.

Bu ifadede yer alan  $k_{th}$  ;

$$k_{th} = \gamma + \frac{1}{2l} \ln \frac{1}{R_1 R_2} \quad (2.39)$$

Denklem (2.39), denklem (2.38)'de yerine yazıldığında;

$$(J)_{th} = \left( \frac{8\pi\nu_0^2 e d \tau_{21} n^2 \Delta\nu}{c^2 \tau_e} \right) \left[ \gamma + \frac{1}{2l} \ln \frac{1}{R_1 R_2} \right] \quad (2.40)$$

ifadesi elde edilmektedir.

$T_e/ T_{21}$  oranı genellikle  $\eta_i$  ile verilmektedir. Bu ifade kuantum verimi olarak adlandırılmaktadır. Uyarılmış salma ile yayılan güç;

$$P = \{A(J - J_{th})\} \eta_i \frac{h\nu}{e} \quad (2.41)$$

A, P-N eklemının alanıdır. Gücün bir kısmı lazerin içinde dağılmaya uğrayacak bir kısmı da P-N ekleminden dışarıya çıkmaktadır. Gücün lazer içinde dağılması  $\gamma$  ile, gücün kalan kısmının dışarı çıkması  $\frac{1}{2l} \ln \frac{1}{R_1 R_2}$  ile orantılı olmaktadır. Bu durumlar altında lazerin çıkış gücü;

$$P = \{A(J - J_{th})\} \eta_i \frac{h\nu}{e} \frac{\left[ \frac{1}{2l} \ln \frac{1}{R_1 R_2} \right]}{\left[ \gamma + \frac{1}{2l} \ln \frac{1}{R_1 R_2} \right]} \quad (2.42)$$

Kuantum verimi  $\eta_i$  ile gösterilirken harici diferansiyel kuantum verimi  $\eta_{ex}$  ile gösterilmektedir. Bu verim, enjeksiyon oranındaki artış sebebiyle fotonların çıkış oranındaki artış miktarı olarak bilinmektedir.

Verimin matematiksel ifadesi;

$$\eta_{ex} = \frac{d\left(\frac{P_o}{h\nu}\right)}{d\left(\frac{A}{e}[J - (J)_{th}]\right)} \quad (2.43)$$

ile verilmektedir.

Denklem (2.42)'ye bakılarak  $\eta_{ex}$  şöyle yazılabilmektedir;

$$\eta_{ex} = \eta_i \left[ \frac{\ln\left(\frac{1}{R_1}\right)}{\gamma l + \ln\left(\frac{1}{R_1}\right)} \right] \quad (2.44)$$

Denklem (2.44)'ün yazılabilmesi için  $R_1 = R_2$  olarak kabul edilmektedir. Denklem (2.45),  $\eta_{ex}$  'in  $l$ 'ye bağlılığını deneysel olarak ölçebilecek iç kuantum veriminin hesaplanabileceğini söylemektedir. Kullanılacak olan GaAs yarı iletken diyot lazer için  $\eta_i$  yaklaşık olarak 0.7 – 1.0 arasındadır. Lazere uygulanan gerilim  $V_f$  ise, gücün giriş değeri  $V_f AJ$  olmaktadır. Elektrik girişinin lazer çıkışına çevrilmesinde lazerin verimi de çok önemlidir. Bu verim, lazerlemenin ne kadar etkin ve kararlı olduğunu göstermektedir. Matematiksel olarak verim;

$$\eta = \frac{P_0}{V_f AJ} = \eta_i \left[ \frac{J - (J)_{th}}{J} \right] \left( \frac{hv}{eV_f} \right) \frac{\ln\left(\frac{1}{R_1}\right)}{\gamma l + \ln\left(\frac{1}{R_1}\right)} \quad (2.45)$$

ifadesi ile verilmektedir.

$eV_f \approx hv$  yaklaşımı kabul edildiğinde eşik akım yoğunluğunun çok üzerinde ( $J \gg (J)_{th}$ ), yani optimum çiftlenimin  $\left\{ \left( \frac{1}{l} \right) \ln \left( \frac{1}{R_1} \right) \gg \gamma \right\}$  sağlandığı yerde  $\eta$ ,  $\eta_i$  'ye yaklaşmaktadır. Bu durum  $\eta_i$ 'nin büyüklüğünü göstermektedir ( $\sim 0.7$ ). Böylelikle yarı iletken diyot lazerlerin yüksek güç verimliliğinde olduğu da görülmektedir. Nasıl ki sıcaklık değişimi, dalga boyunda 0.25nm/K mertebesinde bir değişime yol açıyorsa, lazer bir moddan diğer moda geçtikçe lazer kovuğunun optik yönelme boyu da yaklaşık olarak 0.06nm/K mertebesinde değişmektedir. Optik yönelme boyu  $nL$  ile temsil edilmektedir. Sıcaklığın etkisiyle ısıl büyümeye uğrayan optik yönelme boyu  $L$  ile temsil edilmektedir. Bu büyümenin matematiksel hesaplanması, aşağıda verilen denklem (2.46) ile yapılmaktadır.

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (2.46)$$

Burada  $\alpha$  lineer büyümenin ısıl katsayısıdır. Optik yönelme boyundaki  $L$  ifadesi denklem (2.35)'den bulunmaktadır.

Denklem (2.47)'den ise,  $n$  kırılma indisi hesaplanmaktadır. Sıcaklığa bağlı olarak lazer kovuğunun kırılma indisi  $n(T)$ 'dir.

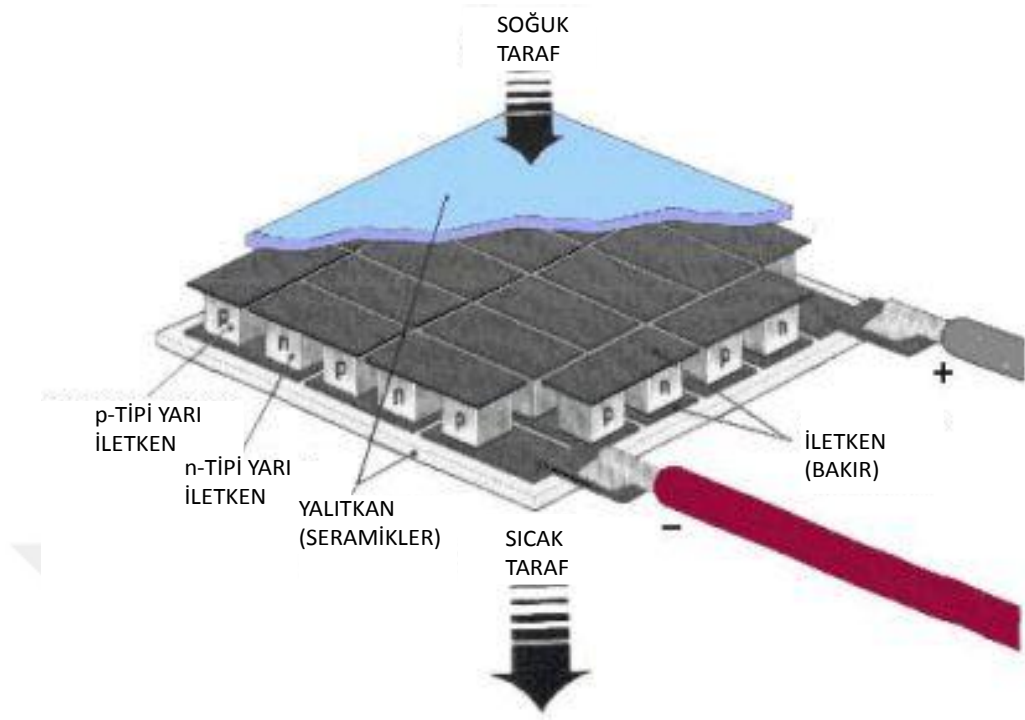
$$n(T) = n_0 + pT \quad (2.47)$$

$n_0$  mutlak sıfır indisi,  $p$  GaAs'nin karakteristik sabitidir ( $\sim 1.5E - 4/K$ ). Denklem (2.46)'da bulunan  $L$  ile denklem (2.47)'de bulunan  $n$  çarpılarak optik yönlendirme boyu hesaplanmaktadır.

## 2.5. TERMOELEKTRİK SOĞUTUCULAR (TEC, Peltier)

Termoelektrik elemanların yapısında p-tipi ve n-tipi yarı iletken maddeler bir dizi oluşturmak amacıyla birbirlerine ardışık olarak bağlanmaktadır. Burada amaçlanan ısı ve elektrik akımının şiddetini arttırmaktır. Bu yapı içerisinde elektron akımı zikzaklar çizerek ilerlerken, sürtünme etkisiyle tüm yapıya dik olan ısı akımını meydana getirmektedir.

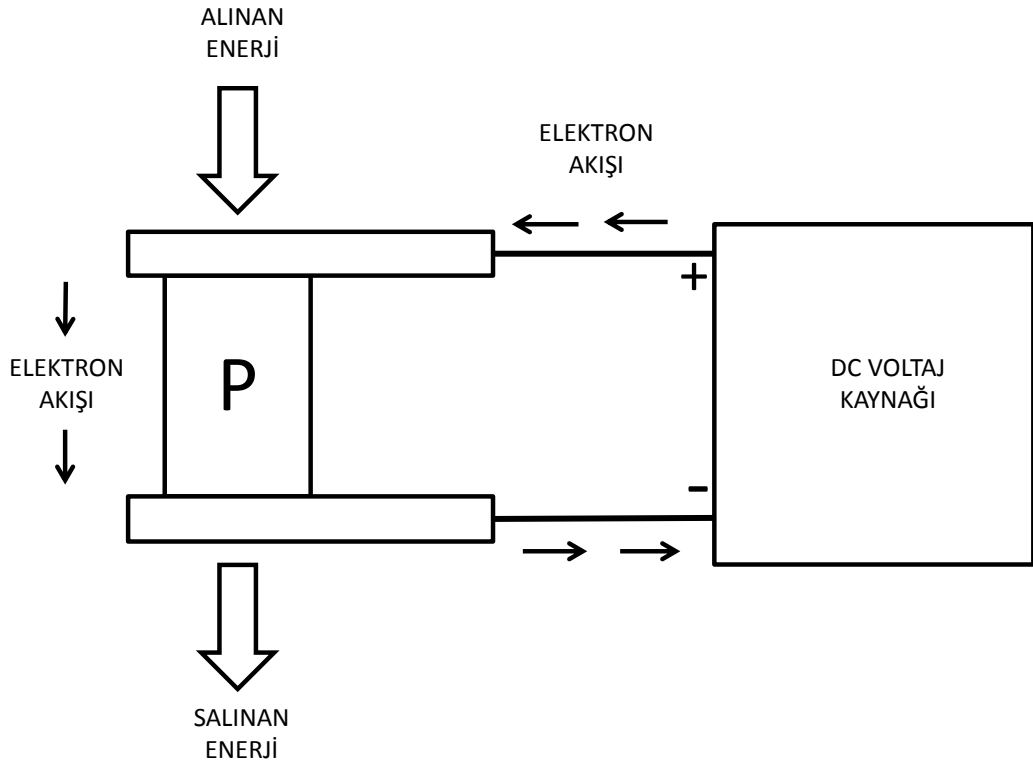
Peltierler üç temel etkiyle çalışmaktadırlar. Peltier etkisi, seebeck etkisi ve thomson etkisidir. Bu tezde üzerinde durulan peltier etkisidir. Peltier etkisinden meydana gelen ısınma ya da soğuma olayını gözlemleyebilmek için iki farklı metalden meydana gelen bir parça kullanılması gerekmektedir. Elde edilen ısı, Joule ısıyla karıştırılmamalıdır. Joule ısı, elektrik akımının şiddetinin karesiyle orantılıdır. Oluşan ısı akımı, malzemelerin termoelektriksel değerleri olan peltier değerlerinin farkına göre gerçekleşmektedir. Sıcaklık farkına göre değişkenlik gösteren değerler, laboratuvar ortamında her bir malzeme için hesaplanmaktadır. Peltier modülünün iç yapısı, Şekil 2.30'da gösterilmektedir.



Şekil 2.30. Peltier modülünün iç yapısı [37].

### 2.5.1. P-Tipi Elemanlar

Si, Ge gibi malzemeler 3 valans elektronu bulunan katkı maddeleriyle kovalent bağ kurarken eksi yüklü iyon haline gelirler ve atomik yapıları içerisinde elektron boşlukları oluşmaktadır. Elektrik akımı bu delikler tarafından taşınmaktadır. Isı yükü, delik akımıyla aynı yönde gerçekleşmektedir. N-tipi elemanla bağlantı yapıldığında ise ters yönde iletmedirler. P-tipi elemanın bağlantı biçimi Şekil 2.31’de gösterilmektedir.



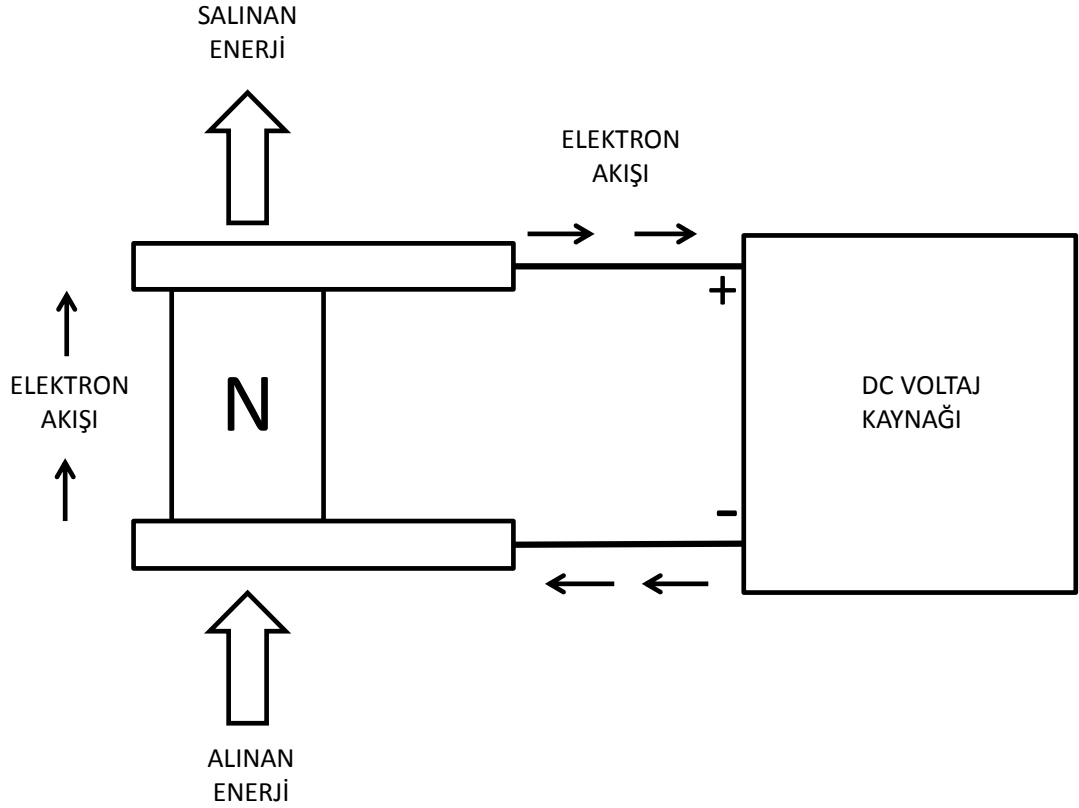
Şekil 2.31. P-tipi elemanın bağlantı biçimi.

### 2.5.2. N-Tipi Elemanlar

Kristal yapısı içerisinde serbest elektronun yarattığı negatif yükü sembolize etmektedir. N tipi malzeme içerisinde yük taşınımını bu elektronlar gerçekleştirmektedir. Malzeme içerisinde bol miktarda elektron hareket ederken, ısıyı da beraberinde taşımaktadır. Isı akımı elektron akımıyla beraber gerçekleşmektedir.



N-tipi elemanların bağlantı biçimi Şekil 2.32’de gösterilmektedir.

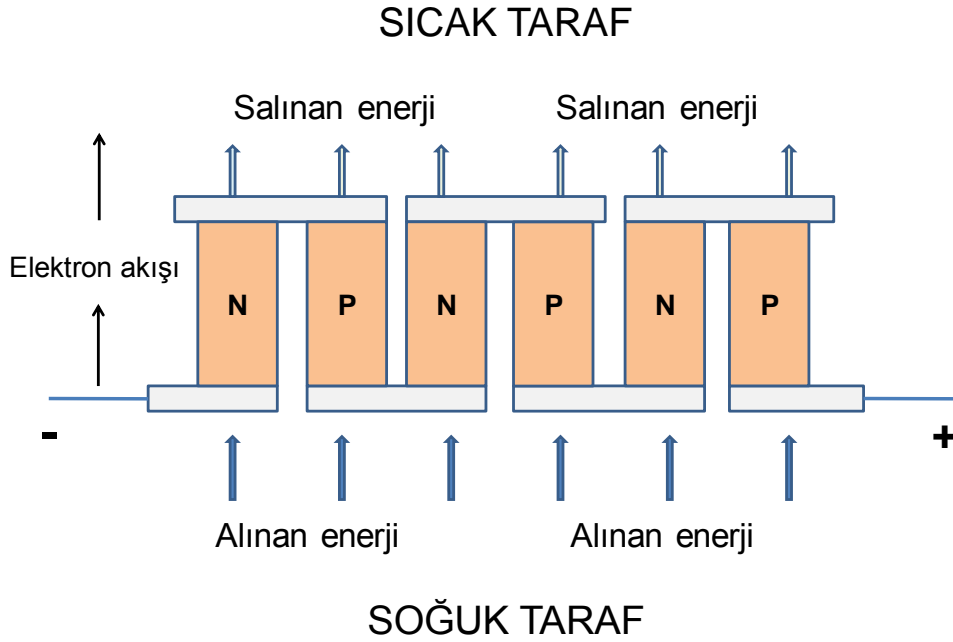


Şekil 2.32. N-tipi elemanın bağlantı biçimi.

### 2.5.3. P-N Çifti

Termoelektrik elemanların yapısında p-tipi ve n-tipi elemanlar bir dizi oluşturmak amacıyla birbirlerine ardışık olarak bağlanmaktadır. Bu bağlantı şeklinin temel amacı, ısı ve elektrik akımının şiddetini arttırmaktır. Bu yapı içerisinde elektron akımı zikzaklar çizerek ilerlerken ısı akımı tüm yapıya dik olacak şekilde gerçekleşmektedir.

P-N çiftinin bağlantı biçimi Şekil 2.33’de gösterilmektedir.



Şekil 2.33. P-N çiftinin bağlantı biçimi.

#### 2.5.4. Termoelektrik Etkiler

Farklı tipte malzemelerin birbirlerine bağlanması ve bir sıcaklık farkına maruz bırakılması veya malzemelere elektrik verilmesi sonucunda malzemeler üzerinde üç farklı termoelektrik etkiden bahsedilebilmektedir. Bu üç farklı etki, Seebeck, Peltier ve Thomson etkileri olarak isimlendirilmektedir.

##### 2.5.4.1. Peltier etkisi

Bir iletkenen elektrik enerjisi geçirildiğinde iki uç arasında sıcaklık farkı meydana gelmesi prensibine dayanmaktadır. Peltier etkisinden meydana gelen ısınma ya da soğuma olayını gözlemleyebilmek için iki farklı metalden meydana gelen bir modül kullanılması gerekmektedir. Elde edilen ısı, joule ısıyla karıştırılmamalıdır. Joule ısı, elektrik akımının şiddetinin karesiyle orantılıdır. Oluşan ısı akımı malzemelerin termoelektriksel değerleri olan peltier değerlerinin farkına göre

gerçekleşmektedir. Sıcaklık farkına göre değişkenlik gösteren değerler, laboratuvar ortamında her bir malzeme için hesaplanmaktadır.

#### 2.5.4.2. Thomson etkisi

Yukarıda anlatılan mekanizmaya göre işleyen termoelektrik etki, ısıtma, soğutma ya da enerji üretimi gibi alanlarda, özellikle güneş sisteminin derinlerine gönderilen sondalarda radyoizotop güç kaynaklı olarak kullanılmaktadır. Piyasada erişilebilen ve sistem üzerinde yerleştirilmiş olan termoelektrik modüller peltier olarak adlandırılmakta ve volt/amper değerlerine göre fiyatlandırılmaktadır. Seebeck ve peltier etkileri altında olan bir çubuk üzerinde elektrik akımı oluştuğu için zamanla ısı kazanmaktadır. Uygulanan soğuk ve sıcak yüzeyler ya da elektrik akımının yönü değiştirildiğinde ısı kaybetmeye başlamaktadırlar. Bu ısı alıp verme işlemine “thomson ısı” denilmektedir. Süper iletken malzemeler hariç tüm metaller bu davranıştaır.

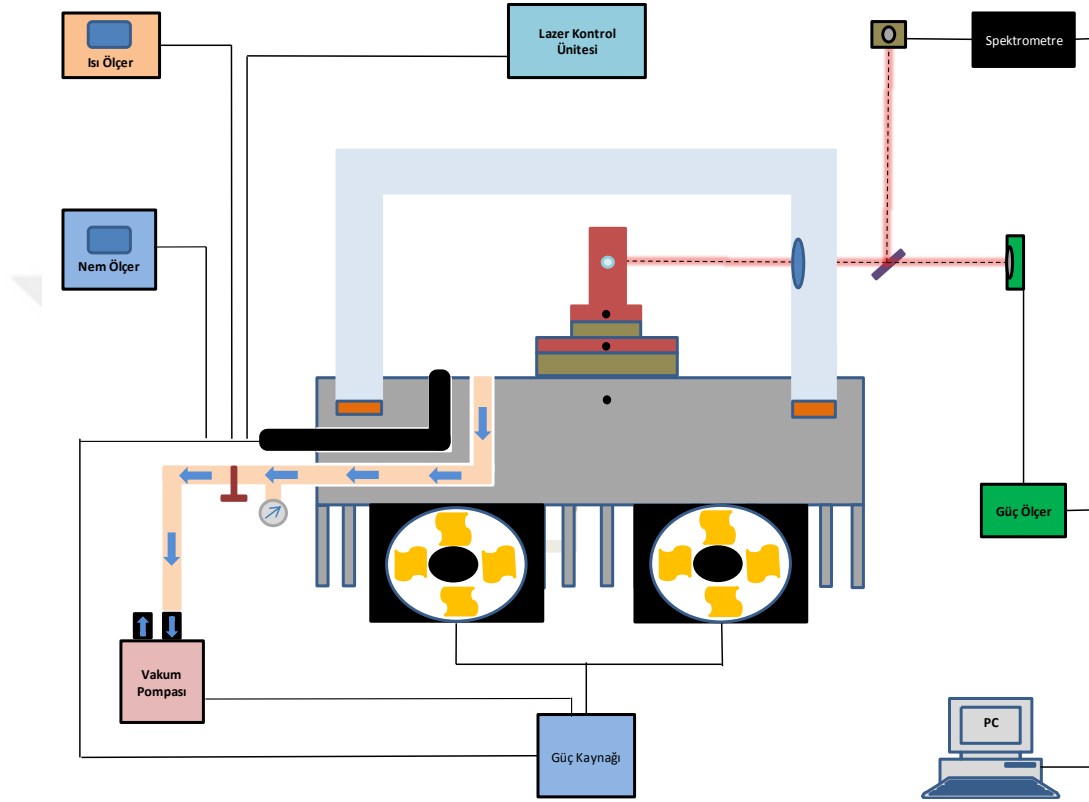
#### 2.5.4.3. Seebeck etkisi

İletken bir çubuğun iki ucuna sıcaklık farkı uygulandığı zaman soğuk ve sıcak tarafları arasında elektrik akımı meydana gelmesi olaydır. Deney düzeneğinde kullanılan modüller bu prensibe göre düzenlenip ve çalıştırılmaktadırlar. İki farklı yarı iletken malzemenin (P-N çifti) birbirine seri olarak birleştirilmesiyle oluşturulan devrede (peltier modül), yüzeylere farklı sıcaklıklar uygulanmak suretiyle bir elektrik gerilimi elde edilmektedir. Bu gerilim “seebeck voltajı” olarak da isimlendirilmektedir. Devreden ölçülen gerilim, malzemelerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. HARİCİ OPTİK SALINICILI DİYOT LAZER SİSTEMİ TASARIMI

Tezde kurulmuş olan HOSDL sistemi, şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1. Kurulan HOSDL sisteminin şematik gösterimi.

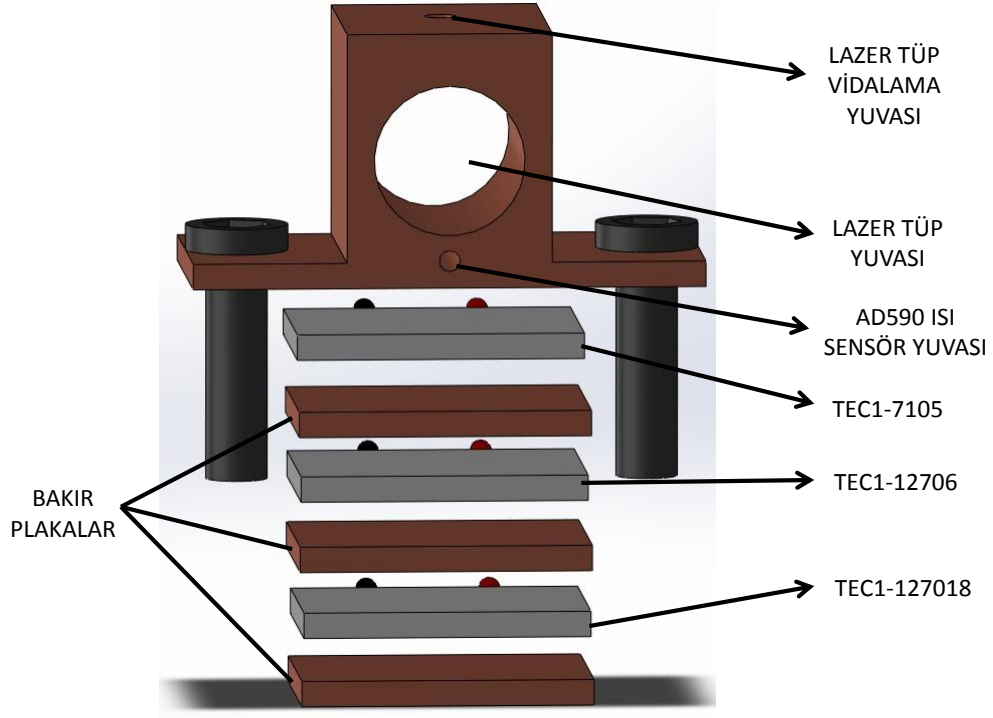
Şekil 3.1’den de görüldüğü gibi sistemde yer alan bileşenler; lazer kafası, ısı havuzu (montaj platformu), vakum sistemi, fanlar (hava soğutma sistemi), lazer kontrol ünitesi, spektrometre, güç ölçer, nem ölçer, ısı ölçer, bilgisayar, güç kaynağı ve lazer diyotudur.

Kurulan bu sistem iki ana başlıkta incelenmektedir.

- Sistemin Tasarlanması ve Kurulması
- Sistemin Çalıştırılması ve Performansı

### 3.1.1. Sistemin Tasarlanması ve Kurulması.

#### 3.1.1.1. Lazer kafasının seçimi, dizayn edilmesi ve montajı.



Şekil 3.2. Lazer kafasının 3 boyutlu gösterimi.

Lazer kafasının 3 boyutlu gösterimi, Şekil 3.2.'de gösterilmektedir. Lazer kafası sistemi; 3 peltierden, 3 bakır plakadan, 1 diyot lazer ve 1 diyot lazer tüpünden oluşturuldu. Bilgisayarda bulunan grafik çizme programlarından da yararlanılarak istenilen ölçülerde tasarlandı. Tasarlama işlemi, seçilen  $30 \times 30 \times 5 \text{ mm}^3$  ebatlarındaki peltierin, yüzeysel anlamda tümünü kapsayacak şekilde olmuştur. Peltierlerin kullanılmasıyla diyot lazerin hangi sıcaklıkta istenirse o sıcaklıkta optimize edilmesi sağlandı, ayrıca yüksek sıcaklıklara gelindiğinde diyot lazerin bozulma riski ortadan kaldırıldı. 3 peltier kullanıldığı için peltierler arasında sıcaklık etkisi oluştu. Peltierlerin daha performanslı çalışabilmesini sağlamak adına arasına ısı yayıcı bakır plaka koyularak bu sıcaklık etkisi azaltıldı. Sıcaklık ölçümü için bakır plakalara delikler açıldı. Ayrıca bu delikler, iki peltier arasında sıcaklık değerini okumamızı sağladı. Lazer kafası özellikle bakırdan yapıldı çünkü yoğunluğu ve ısıl iletkenliği alüminyuma göre daha fazla olduğundan ısıl kararlılık sağlamaktaydı. Lazer kafası

frezeleme, tesviye etme ve diş açma gibi işlemlerden geçirilerek, yarı iletken diyot lazerin lazer kafası içerisine geçebileceği şekle getirildi.

Lazer kafasının ölçüleri  $50 \times 40 \times 30 \text{mm}^3$  ebatlarında olacak şekilde ayarlandı. Ölçülerin bu denli küçük olmasıyla, soğutmak istediğimiz alanı ufaltarak soğutma gücünü daha verimli bir şekilde kullanıp, soğutma gücününün esas soğutulması gereken diyot lazere aktarılması sağlandı. Diyot lazerin girdiği yuva ise, üst peltierin yaklaşık 5mm üstünde olacak şekilde ayarlandı. Böylelikle peltierler ile etkileşimin hızlı bir şekilde olması sağlandı.

Montajlama işleminde, M6 vida girecek şekilde lazer kafasının yan taraflarından delikler açıldı ve ona göre plastik M6 vida kullanıldı. Metal M6 kullanmak yerine plastik M6 vidasının kullanılmasının nedeni, vibrasyonun etkisini azaltması ve lazer kafasıyla etkileştiği için ısı kararlılığına herhangi bir olumsuz etki oluşturmamasıdır.

Sıcaklıkla ilgili veri toplamak için ise Cem-DT172 ısıölçer kullanıldı. Isı ölçerden gelen üç ısı çift belirli noktalara yerleştirildi ve böylelikle verilerin hassas bir şekilde okunması sağlandı. Bu ısı çiftlerden biri, lazer kafasının zeminine açılan deliğe yerleştirildi. İkincisi, ısı havuzu olarak düşünülen alüminyum soğutucuya açılan deliğin içine yerleştirildi. Üçüncüsü ise, ortamın sıcaklığını ölçmek için dışarıda bırakıldı. Diyot lazerin koyulduğu yuvanın hemen üstüne AD-590 adında, lazer kontrol ünitesi ile sıcaklığı okunabilen ısı sensörünün girebileceği şekilde delik açıldı. Açılan bu deliğe yerleştirilen AD590 ısı sensörü sayesinde, diyot lazerin sıcaklığının okunması sağlandı. Bu okuma sayesinde lazer hangi sıcaklıkta, ne gibi davranış gösteriyor sorusuna karşılık bulmamızı sağladı. Diyot lazerin belirli sıcaklıklar arasında çalıştığı bilindiği için, AD590 ısı sensörü operasyon sıcaklığına gelip gelinmediğinin görülmesini sağladı.

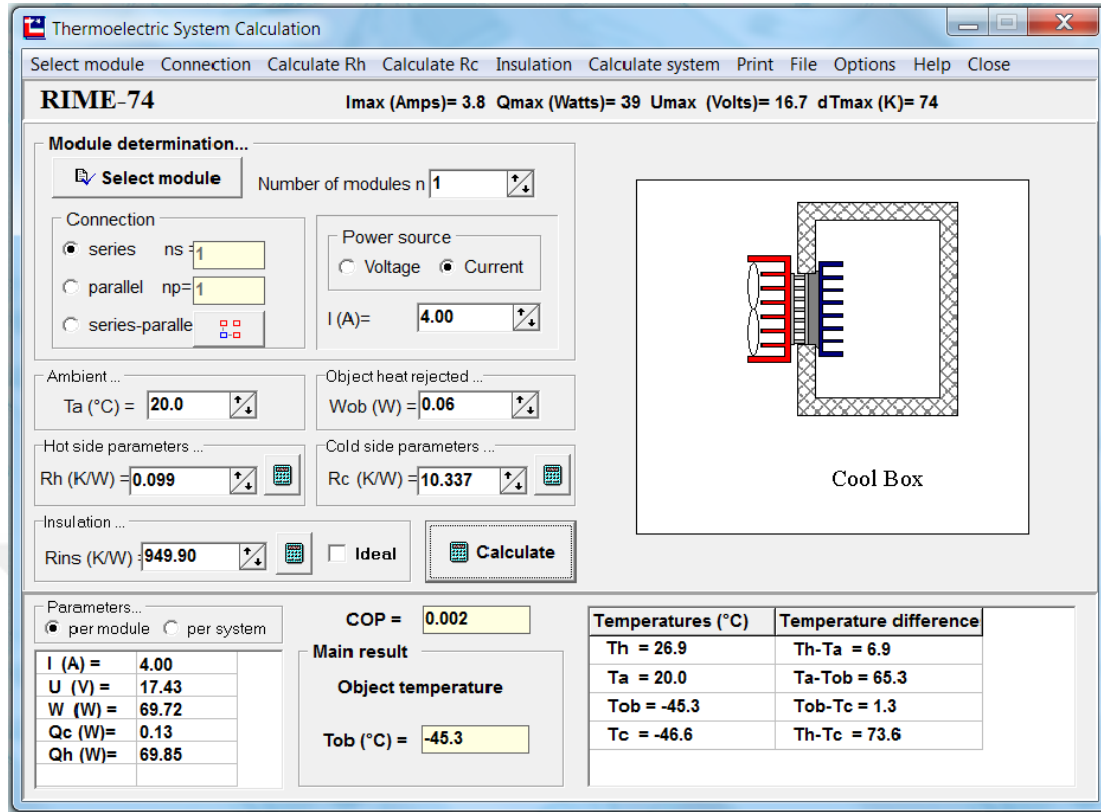
### 3.1.1.2. Termoelektrik Soğutucuların (TEC, Peltier) Seçimi, Sisteme Dahil Edilmesi ve Sistemin Simülasyonu

Lazer kafası sisteminde TEC1-7105 (üst peltier);  $30 \times 30 \times 4 \text{mm}^3$  ebatlarında, 4.60A akım çekeabilen, maksimum 8.50V voltaj verilebilen ve 22.8W soğutma

gücüne sahiptir. Onun altına yüzeysel anlamda bu peltieri kaplayacak ebatlarda (30x30x5mm<sup>3</sup>) plate dediğimiz bakır plaka konuldu. Plakanın altına TEC1-12706 (Orta peltier) dediğimiz peltier konuldu. Orta peltier; 40x40x4mm<sup>3</sup> ebatlarında, 9A çekebilen, 15.2V voltaj verilebilen ve maksimum 89.2W soğutma gücüne sahiptir. Onun altına yüzeysel anlamda bu peltieri kaplayacak ebatlarda (40x40x5mm<sup>3</sup>) plate dediğimiz bakır plaka konuldu. Bu plakanın altına da TEC1-127018 (Alt peltier) konuldu. Alt peltier; 50x50x4mm<sup>3</sup> ebatlarında, 18A çekebilen, 15.4V voltaj verilebilen ve maksimum 160W soğutma gücüne sahiptir. Bu peltierler özel sertifikalı olmadıkları için bu peltierlerin verimliliği yaklaşık %70'tir. Bu yüzden işlem yaparken peltier hesaplamalarında bu durum göz önünde bulunduruldu.

Lazer kafasının bileşenleri olan bakır plaka ve peltierler birbirlerine ısı pastası dediğimiz kimyasal madde ile tutturuldu. Alttaki peltiere de ısı pastası sürülerek alüminyum soğutucuyla termal etkileşimin artırılması sağlandı. Böylelikle, iki parçanın değme yüzeyi artırılıp, aradaki havanın orayı terk etmesi sağlandı. Hava bilindiği üzere standart bir nem tutucudan çok daha fazla nem tutma özelliğine sahiptir. Bu yüzden ısı pastası film gibi sürüldükten sonra bir çember çizer gibi bütün malzemeler çevrilerek aradaki havanın tahliyesi sağlandı ve havanın yerini ısı pastasının doldurması sağlandı.

Sistemin simülasyonu olarak da Kryotherm adlı programın, 01.03.2003 yılında üretilmiş olan 5. versiyonu kullanıldı. Kryotherm programının bilgisayar ekranındaki görünümü Şekil 3.3'te verilmektedir.



Şekil 3.3. Kryotherm programının bilgisayar ekranındaki görünümü.

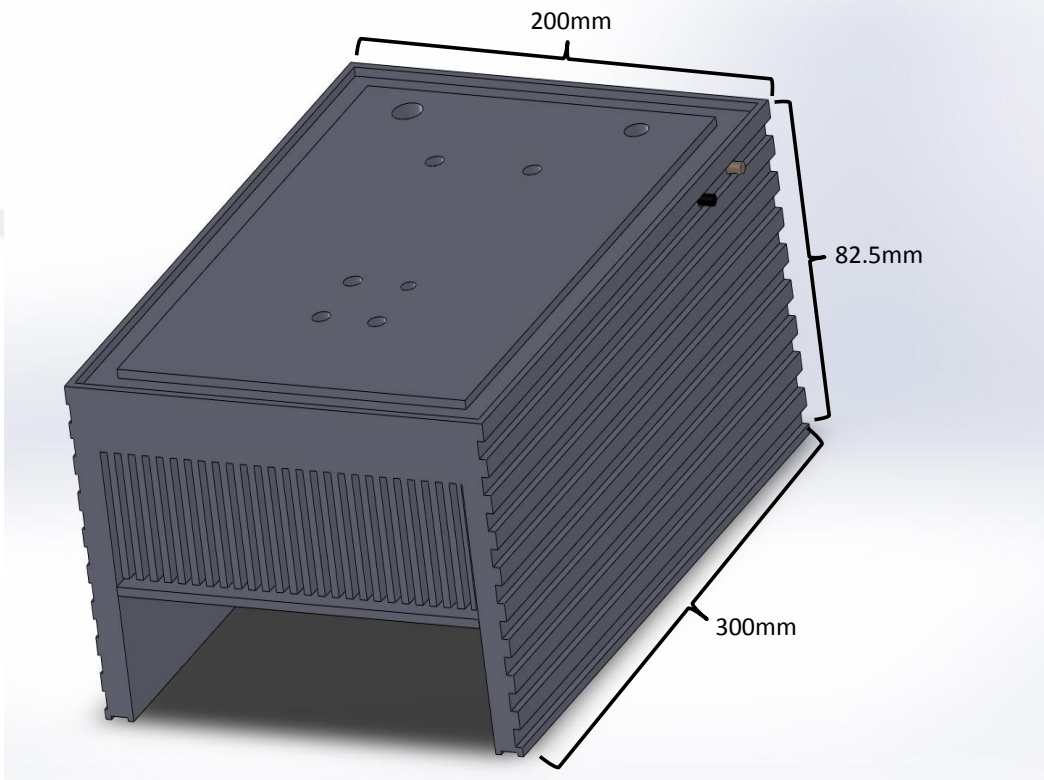
Bu program sayesinde, sistemin hangi şartlar altında ne kadar bir soğutma gücüne sahip olduğu araştırıldı. Böylelikle yalıtımla, nemin ne kadarını yok edebiliriz gibi önemli bir soru da çözümlenmiş oldu. Ayrıca ısı havuzu görevini de üstlenen alüminyum soğutucunun ne gibi ısıl kapasitede olması gerektiği, ebatsal anlamda ne olması gerektiği bu program yardımıyla anlaşıldı. Ona göre deney düzeneğinde gerekli değişiklikler yapıldı.

### 3.1.1.3. Isı havuzunun seçimi ve üzerine uygulanan işlemler

Isı havuzu  $300 \times 200 \times 82.5 \text{ mm}^3$  ebatlarında, yekpare, madde yoğunluğu düşük, yeterli ısı kapasitesine, yeterli ısıl dirence, yeterli ısıl iletkenliğe ve yeterli ısıl genişlemeye sahiptir. Maliyetin de bakıra göre düşük olması, ayrı bir avantaj sağladı. Burada kullanılan yekpare alüminyum soğutucu 6063 serisi olup ısıl iletkenliği  $0.48 \text{ cal/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ , elektriksel direnci ( $20^\circ\text{C}$ 'de)  $0.033 \text{ ohmm}^2/\text{m}$ , ısıl kapasitesi ( $25^\circ\text{C}$ 'de)  $24,2 \text{ J/mol.K}$ , ısıl genişmesi ( $250^\circ\text{C}$ 'de)  $23.1 \mu\text{m/m.K}$ , ısıl direnci  $1/0.48 \text{ J/mol.K}$ 'dir. 6063 serisi alüminyum soğutucunun açık hali  $\text{AlMgSi}0.5$ 'tir. Bu



alaşımın kimyasal bileşimleri; ağırlıkça Si: %0.20 – 0.60 , Mg: %0.45 – 0.90, Fe: %0.35 max., Ti: %0.10 max., Cr: %0.10 max., Cu: %0.10 max., Mn: %0.10 max., diğer: Herbiri %0.005, toplam %0.15 max. Özellikleri belirtilen alüminyum soğutucunun 3 boyutlu gösterimi Şekil 3.4.'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Alüminyum soğutucunun 3 boyutlu gösterimi.

Ayak açıklıkları, ayakların tırtıklı yapısı ısının rahatça üzerinde ilerlemesini sağlamakta, ısı kanalları da ısının dışarıya çıkışını kolaylaştırmaktadır. Üzerine tabii tutulan işlemler ise, vakum için kullandığımız akriliğin (plexiglass) et kalınlığında (20mm), 7mm derinliğinde yuva açıldı. Isı havuzu olarak görev yapacak alüminyum soğutucunun sıcaklık değişimini, düzenli bir şekilde ölçmek için ısı sensörü koyulacak kadar bir delik açıldı. Soğutucunun üzerine koyulacak olan plexiglass kapağın içinde diyot lazerin, ısı sensörünün, ısı çiftlerinin ve peltierlerin kablolarının kaldığı düşünüldüğünde, alüminyum soğutucunun altından M6 vida genişliğinde delikler açıldı ve kabloların saydam pnömatik hortum yardımıyla dışarı çıkartılması

sağlandı. Bir diğer yapılan işlem alüminyum soğutucunun yine yüzeyine M6 vidası genişliğinde delik açılıp vakum sisteminin oraya dahil edilmesi sağlandı. Vakum ortam yaratmada önemli etken olan akrilik kapak içerisindeki hava, o delik yardımıyla dışarı çıkartıldı.

#### 3.1.1.4. Vakumun sağlanması ve test edilmesi

Vakumun sağlanması için kullanılan malzemeler; plexiglass, epoksi yapıştırıcı (hızlı yapıştırıcı), kalıp silikon, pnömatik kablo, vakum saati, vana, vakum pompası ve eski buzdolabı pompasıdır. Öncelikle akrilik, vakum kapak yapılmak üzere dört parçaya kesildi. Bu parçalardan ikisi 120x100x20mm<sup>3</sup>, diğer ikisi 280x100x20mm<sup>3</sup>'tür. Parçaları doğru bir gönye ile yapıştırma işlemi yapıldı. Yapıştırma işlemi yaparken epoksi yapıştırıcı kullanıldı. Alüminyum soğutucunun yüzeyinde açılan 7mm'lik kanalın içine 2mm kalınlığında kalıp silikon konuldu ve üzerine epoksi sürüldü. Daha sonra akrilikten yapılan kapak, üzerinde epoksi yapıştırıcı bulunan kalıp silikona oturtuldu.

Vakum kapak akrilik bir malzeme olduğu için yansıtıcı bir özelliğe sahiptir. Bu özelliği nedeniyle lazer ışığının diyot lazer içerisine geri yansması söz konusudur. Bu yüzden lazer ışığının geri yansımaması için lazer ışığının vakum kapaktan geçtiği noktada, geri yansımayı önleyen açılı cam malzemenin (wedge window) girebileceği kadar bir delik açıldı. Açılı pencere vakum kapağa yerleştirildi. Ayrıca malzeme etrafı vakum sızdırmazlığının korunması adına silikon ile kaplandı.

Aynı şekilde kabloların çıkışında ve vakum hortumunun çıkışında da kullanılan deliğin, etrafı ve içi silikon ile dolduruldu. Ayrıca epoksi ile yapışması sağlandı. Peltierlerin kabloları, diyot lazerin kabloları ve sensörler, saydam pnömatik kablo ile alüminyuma açılan delikten dışarıya çıkarıldı. Yapılan bu işlem esnasında içeriye havanın girmesi problemiyle karşılaşmamak için, pnömatik hortum silikonla dolduruldu ve kablolar öylece twist yapılarak hep birlikte hortum içinden geçirildi. Soğutucunun giriş çıkış noktaları da epoksi yapıştırıcıyla ve silikonla kapatıldı.

Vakum için bir delik daha açıldı ve yine pnömatik hortum ile çekilen hava dışarıya çıkarıldı. Vakumun sızdırmazlık kontrolü ise sabunlu su yardımı ile kontrol edildi. Bu kontrolü yaparken vakum pompasının hava veren tarafının yeri değiştirilerek, kapak içerisine giden hortuma takıldı. Böylelikle kapak içerisine hava girişi sağlanmış oldu. Bu giriş olurken, epoksi ile yapıştırıp silikon ile daha da mukavemeti güçlü hale getirdiğimiz yapışma noktalarına (köşeler, kenar birleşimleri, alüminyum soğutucuya açılan kanal) sabunlu su sıkıldı. Sabunlu su eğer içerden dışarıya sızıntı varsa baloncuk çıkmasına, sızıntı yoksa baloncuk çıkmamasına sebep oldu. Böylelikle vakum kapağının sızdırmazlık testi sağlanmış oldu.

Sistem vakuma maruz bırakılmadan önce eski buzdolabı pompası ile sparkfun vakum pompası seri olarak bağlandı. Bu bağlantı sayesinde vakum yaklaşık olarak -740mm-Hg bandına kadar indi. Vakum sistemi başarılı bir şekilde sağlandıktan sonra, kurulan sistem vakuma maruz bırakıldı. İstenilen nem ve basınç değerlerine gelindiğinde, nem ve hava sızdırmazlığının sabit kalması için vana kapatıldı. Hangi basınç altında çalıştığımızın anlaşılabilmesi için de vakum saati, vakum sistemine dahil edildi. Böylelikle istenilen değerler altında deney tekrarlanabildi.

#### 3.1.1.5. Nem ölçümü ve nemin giderilmesi

Plexiglass içerisinde bulunan nemin ölçümü Cem DT-172 ile sağlandı. Nem değişiminin an be an gözlenmesi sağlandı. Nemin giderilmesi ise, silika jel takviyesiyle ve vakum pompası yardımıyla sağlandı.

Vakum pompası çalıştırılmadan önce içeride nem tutucu gibi davranan bakır plaka ve lazer yuvası önce ısıtıldı. Ortamın nemi bırakması sağlandı. Daha sonra vakum pompası ile içerideki hava çekilirken, nemin akrilik kapak içinden çıkarılması sağlandı. Ortamın bağıl neminden yola çıkılarak hesaplamalar yapıldı. Ortamda ne kadar nemin diyet lazer lensinde buğu yaratacağı bulundu. Böylelikle daha ne kadar nem alınması gerektiği bulunarak denemeler yapıldı.

Bu konuda bize yol gösteren bilgi ise, su buharı ile %100 doymuş havanın 1m<sup>3</sup>'ünde 24gr su molekülünün var olması bilgisiydi. Bu bilgiye dayanarak, ne kadar

bağlı nemde ne kadarlık bir su molekülü olduğu öğrenildi. Buna göre deneyin koşulları belirlendi.

Vakum pompası çalıştırılıp yeterli vakum sağlandığında, buna paralel olarak nem de yeterli düzeye gelmiş oldu. Bu düzeyde artık vakum pompasının basıncı düşürmesine gerek yoktu. Bu durumda vana yardımıyla vakum pompası kapatıldı. Böylelikle istenilen basınç ve nem altında  $-45$  ile  $60^{\circ}\text{C}$  ve  $-47$  ile  $+61^{\circ}\text{C}$ 'ler arasında ışığın karakter analizi (ışık karakterizasyonu) deneyi yapılabildi.

3.1.1.6. Veri alımında kullanılan cihazların, optik malzemelerin tanıtılması ve teknik özellikleri

Deneyde kullanılan optik araçlar ve cihazlar, güç ölçer, spektrometre, güç kaynağı, fanlar, lazer kontrol ünitesi, ısı ölçer, nem ölçer, peltierler, diyot lazer, vakum pompası, bilgisayar ve wedge window ile verilmektedir.

Deneyde kullanılan termoelektrik soğutucular ve özellikleri Tablo 3.1'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Deneyde kullanılan termoelektrik soğutucular ve özellikleri.

<b>TEC1-7105</b>	Ebatları $30 \times 30 \times 30 \times 4.0 \text{mm}^3$ , $V_{\text{max}}=8.50\text{V}$ , $I_{\text{max}}= 4.60\text{A}$ , $Q_{\text{max}}= 22.8\text{W}$ , $\Delta T_{\text{max}}= 68$ .
<b>TEC1-12706</b>	Ebatları $50 \times 50 \times 50 \times 3.4 \text{mm}^3$ , $V_{\text{max}}=15.4\text{V}$ , $I_{\text{max}}= 6\text{A}$ , $Q_{\text{max}}= 51.4\text{W}$ , $\Delta T_{\text{max}}= 68$ .
<b>TEC1-127018</b>	Ebatları $40 \times 40 \times 40 \times 3.8 \text{mm}^3$ , $V_{\text{max}}=15.4\text{V}$ , $I_{\text{max}}= 18\text{A}$ , $Q_{\text{max}}= 160\text{W}$ , $\Delta T_{\text{max}}= 68$ .

Deneyde kullanılan TEC1-7105, TEC1-12706 ve TEC1-127018 peltierleri, lazer kafasının sıcaklığını değiştirmede görev almaktadır.

Deneyde kullanılan optik güç ölçer sensörü ve özellikleri Tablo 3.2’de gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Deneyde kullanılan optik güç ölçer sensörü ve özellikleri.

<b>Optik Güç Ölçer Sensörü Thorlabs / S130A</b>	Boyutları 10 mm*10 mm sq.( 0.39" x 0.39"), silikon sensör, çalışma aralığı 400 – 1100nm, giriş açıklığı Ø 9.5mm (0.374" ), ND filtreye uzaklık 3.3mm ( 0.12" ), dedektöre uzaklık 5.8mm ( 0.23" ), optik güç aralığı 5mW – 500mW, Çözünürlük 100pW, optik anlamda zarar verecek eşik akım değeri 50W/cm <sup>2</sup> , ölçümün kesinliği +/- %5, operasyon sıcaklığı 5 <sup>0</sup> C ile 40 <sup>0</sup> C arasında.
---	---

Optik güç ölçer sensörü, lazer ışığını sinyal olarak güç ölçere gönderen cihazdır. Üzerindeki bir aparat yardımıyla sağa sola kaydırarak hem 5mW civarındaki güçler hem de 500mW civarındaki güçler ölçülebilmektedir.

Deneyde kullanılan optik güç ölçer ve özellikleri Tablo 3.3'te verilmektedir.

Tablo 3.3. Deneyde kullanılan optik güç ölçer ve özellikleri.

<b>Optik Güç Ölçer Thorlabs / PM100</b>	23°C’de (-5, +5°C), 30 dakika çalışması sonucunda oluşan voltaj değeri 7.5-15-30-60-120-240-480-1000Vpk aralığında değişmekte. 5Hz’den 1kHz’ye okumada kesinlik (-%0.1 , +%0.1 ), voltaj aralığındaki kesinlik (-%0.1 , +%0.1 ), (-10, +10mV). DC voltaj verilmekte. Maksimum sürekli voltaj girişi 1000Vpk (Vpk; sisteme verilebilecek en yüksek voltaj değeri, peak voltage) fakat 1 saniyeliğine 1500Vpk verilebilir. Giriş empedansı 1MΩ.
---	---

Optik güç ölçer, güç ölçer sensöründen gelen sinyalin ışığın çıkış gücü olarak ölçülmesinde ve usb yardımıyla ölçümün bilgisayara aktarılmasında görev almaktadır.

Deneyde kullanılan fiber optik kablo ve özellikleri Tablo 3.4’te verilmektedir.

Tablo 3.4. Deneyde kullanılan fiber optik kablo ve özellikleri.

<b>Fiber optik Kablo Thorlabs / FT400EMT</b>	Lens boyutu Ø400µm, nümerik açıklık 0.39, dalga boyu aralığı 400 – 2200nm, FT030 kablo (Ø3mm), uzunluğu 2m, kablonun kaplama çapı 425µm.
--	--

Fiber optik kablo, lazer ışığının spektrometreye ulaşmasını sağlamaktadır.

Deneyde kullanılan spektrometre ve özellikleri Tablo 3.5’te verilmektedir.

Tablo 3.5. Deneyde kullanılan spektrometre ve özellikleri.

<b>Thorlabs Spektrometre / SP1-USB</b>	Boyutları 4.4x3.6x2.0inches, CCD birleşme zamanı 1µs'den 200ms'ye, CCD duyarlılığı 300 V/(Ix.s), CCD pixel boyutu 7µm x 200µm (7µm aralıklarla), Veri gösterme durumu sürekli, 190Hz'e kadar veri güncelleme, X ekseninde 0-21301µm nokta ve Y ekseninde 0-10.000 birim bulunmaktadır.
--	--

Spektrometre, fiber optik kablodan gelen sinyali ışığın dalga boyu olarak ölçmeyi ve usb yardımıyla bilgisayara aktarmayı sağlamaktadır.

Deneyde kullanılan lazer kontrol ünitesi ve özellikleri Tablo 3.6'da verilmektedir.



Tablo 3.6. Deneyde kullanılan lazer kontrol ünitesi ve özellikleri.

<p><b>Lazer Kontrol Ünitesi Thorlabs Blueline / ITC510</b></p>	<p><b>Güç Kontrolü</b> <math>I_{PD}</math> monitör akımının aralığı <math>5\mu A \dots 2mA^{1)}</math>, çözünürlük <math>0.1\mu A</math>, doğruluk ayarı <math>\pm 2\mu A</math>, foto diyot ön gerilme voltajı <math>0 \dots 10V</math></p> <p><b>Lazerin Voltajı</b> Ölçme aralığı <math>0 \dots 10V</math>, çözünürlük <math>1mV</math>, doğruluk <math>\pm 20mV</math></p> <p><b>Lazer Diyotun Limit Akımı</b> Limit akımı ayarlama aralığı <math>0 \dots \geq 1A</math>, çözünürlük <math>0.1mA</math>, doğruluk <math>\pm 2.5mA</math></p> <p><b>TEC in Çıkış Akımı</b> Kontrol aralığı <math>-4A \dots +4A</math>, maximum çıkış gücü <math>32W</math>, uyumlu voltaj değeri <math>&gt; 8V</math>, <math>I_{TE}</math> (TEC'in akımı) için ölçülen çözünürlük <math>1mA</math> ve ölçülen doğruluk <math>\pm 20mA</math>, <math>U_{TE}</math> (TEC'in voltajı) için ölçülen çözünürlük <math>1mV</math> ve ölçülen doğruluk <math>\pm 40mV</math>, küçük dalgalanma ve kirlilik <math>&lt; 2mA</math></p> <p><b>TEC in Limit Akımı</b> Ayar aralığı <math>0 \dots \geq 4A</math>, çözünürlük <math>1mA</math>, ayar doğruluğu <math>\pm 0.05A</math>.</p> <p><b>Akım Kontrolü</b> <math>I_{LD}</math> lazer akım aralığı <math>0 \dots \pm 1A</math>, çözünürlüğü <math>0.1A</math>, doğruluğu <math>\pm 1mA</math>, küçük dalgalanma olmadan kirlilik (<math>10Hz \dots 10MHz</math>, rms) <math>&lt; 5\mu A</math>, küçük dalgalanma (<math>50Hz</math>, rms) <math>&lt; 3\mu A</math>, Geçişler <math>&lt; 1mA</math>, kısa süreli dalgalanmalar (<math>15s</math>, <math>0 \dots 10Hz</math>) <math>\leq 25\mu A</math>, sıcaklık katsayısı <math>\leq 50ppm/^{\circ}C</math></p>
--	--

Lazer kontrol ünitesi, TEC1-7105 üst peltieri ve diyot lazeri beslemekte kullanılmaktadır. Lazer kafasının hangi sıcaklıkta kalması isteniyorsa o sıcaklığa set etme (ayarlama) imkânı sağlayan bir cihazdır. Hatta PID kontrol dediğimiz kontrol yapabilme yeteneğiyle  $\pm 0.2$ 'lik bir hata payıyla istenen sıcaklığa sabitleme olanağı sağlamaktadır.

Deneyde kullanılan güç kaynağı ve özellikleri Tablo 3.7'de verilmektedir.

Tablo 3.7. Deneyde kullanılan güç kaynağı ve özellikleri.

<p><b>MCP lab electronics / M10-QS3020</b></p>	<p><b>Genel özellikler:</b> 0~30V, 20A.</p> <p><b>Sabit Voltaj Modu (CV):</b> Voltaj aralığı 0 dan maksimum voltaj değerine kadar verilebilir.</p> <p><b>Sabit Akım Modu (CC):</b> Akım aralığı 0 dan maksimum akım değerine kadar verilebilir.</p> <p><b>Görüntüleme Doğruluğu:</b> 3 dijital görüntüleme; <math>\pm 0.4\%</math> veya 4 dijital görüntüleme; <math>\pm 0.1\%</math>, devam etme zamanı <math>&lt;100\mu s</math>.</p>
--	---

Güç kaynağı, TEC1-12706 ve TEC1-127018 kodlu peltierlere akım ve voltaj sağlamaktadır. Deneyde kullanılan diyot lazerler ve özellikleri Tablo 3.8'de verilmektedir.

Tablo 3.8. Deneyde kullanılan diyot lazerler ve özellikleri.

<b>Diyot Lazer Single Mode Hitachi / HL6535MG</b>	Dalga boyu 658nm, minimum eşik akımı 55mA, maksimum eşik akımı 70mA, 80mW ta çalışabildiği en yüksek operasyon sıcaklığı 85 <sup>0</sup> C, en yüksek depolama sıcaklığı -40 ile 85 <sup>0</sup> C, lazerin gücü 80mW olması koşuluyla; operasyon voltajı 2.6 – 3V, operasyon akımı 135 – 170mA, lazer dalga boyu aralığı 652nm – 662nm.
<b>Diyot Lazer Single Mode Hitachi / HL6512MG</b>	Dalga boyu 658nm, minimum eşik akımı 30mA, maksimum eşik akımı 60mA, 70mW'ta çalışabildiği en yüksek operasyon sıcaklığı 70 <sup>0</sup> C, depolama sıcaklığı -40 ile + 85 <sup>0</sup> C, lazerin gücü 50mW olması koşuluyla; operasyon voltajı 2.1 – 3V, operasyon akımı 115 – 135mA, lazer dalga boyu aralığı 655nm – 662nm.

Single Mode diyot lazer, ışık karakterizasyonu incelenmek için kullanıldı.

Deneyde kullanılan vakum pompası ve özellikleri Tablo 3.9'da verilmektedir.

Tablo 3.9. Deneyde kullanılan vakum pompası ve özellikleri.

<b>Vakum Pompası Sparkfun / D2028B</b>	Voltaj değeri 12V, gücü 12W, 0 – 16 “Hg vakum aralığında.
--	---

Vakum pompası, akrilik kapak içerisindeki havanın çıkışını sağlamaktadır. Deneyde kullanılan fanlar ve özellikleri Tablo 3.10’da verilmektedir.

Tablo 3.10. Deneyde kullanılan fanlar ve özellikleri.

<b>Fanlar Akasa Viper / DFL142512L 02</b>	Boyutları 140x140x25mm <sup>3</sup> , Hızı 600 – 1600RPM, maksimum hava akışı 110.61CFM, maksimum durgun hava basıncı 3.12mm H <sub>2</sub> O, kirlilik düzeyi 12.5 – 26.01dB (A), maksimum voltaj 12V DC, 50.000 saat ömür.
---	--

Fanlar, hem montaj platformu hem de ısı havuzu olarak görev yapan alüminyum soğutucunun sıcaklığını, ortam sıcaklığında tutmada görev almaktadır.

Deneyde kullanılan nem ölçer ve özellikleri Tablo 3.11’de verilmektedir.

Tablo 3.11. Deneyde kullanılan nem ölçer ve özellikleri.

<b>Nem Ölçer Cem / DT-172</b>	Boyutları 94*50*32 mm, bağıl nem ölçme aralığı %0-100 , veri hafızası 32700 bağıl nem ve ısı okuma, doğru okuma (-%2 Rh, +%2 Rh), çözünürlüğü (-%0.1 Rh, +%0.1 Rh), sıcaklık ölçümü -40 ile 70 °C arasında.
-------------------------------	---

Nem ölçer, vakum kapağın içindeki nem ile ortamdaki nemin ölçülmesinde görev almaktadır.

Deneyde kullanılan ısı ölçer ve özellikleri Tablo 3.12’de verilmektedir.

Tablo 3.12. Deneyde kullanılan ısı ölçer ve özellikleri.

<b>Isı Ölçer CEM/DT-8891E</b>	<p><b>Genel Özellikler:</b> Operasyon sıcaklığı 0°C ile +50°C arasında, depolama sıcaklığı -10°C ile +50°C arasında.</p> <p><b>Sıcaklık Aralığı:</b> K tipi ısı çiftlerinde -200°C ile +1372°C arasında, IR sıcaklık -30°C ile +550°C arasında.</p> <p><b>SICAKLIK DOĞRULUĞU</b></p> <p>T1, T2, T3, T4 &gt;-100°C ise +/- [%0.15rgd+1°C], T1, T2, T3, T4 &lt;-100°C ise +/- [%0.5rgd+2°C], T1, T2, T3, T4 +/- [%0.5rgd+1°C], IR; IR&gt;-10°C +/- [%2.0rgd+2°C], IR &lt;-10°C +/-5°C, T1-IR; IR&gt;-10°C +/-[%2.0rgd+3°C], T2-IR; IR&lt;-10°C +/-6°C, IR-T3; IR&gt;-10°C +/- [%2.0rgd+3°C], IR&lt;-10°C +/-6°C.</p> <p><b>Görüntüleme Çözünürlüğü:</b> 0.1°C/°F/K&lt;1000,1°C/°F/K&gt;1000.</p>
-------------------------------	--

Isı ölçer, ortam sıcaklığını ve ısı havuzunun sıcaklığını ölçmede kullanılmaktadır.

Deneyde kullanılan bilgisayar ve özellikleri Tablo 3.13’te verilmektedir.

Tablo 3.13. Deneyde kullanılan bilgisayar ve özellikleri.

<b>Bilgisayar Asus / N55S</b>	Intel core i7 – 2670QM CPU 2.20 GHz, yüklü bellek 8 GB, 64 bit işletim sistemi, Nvidia 128 bit ekran kartı, 750 GB hard disk.
-------------------------------	---

Bilgisayar, deneyde alınan verilerin depolanmasında ve alınan verilerin grafiklerinin çiziminde görev almaktadır.

Deneyde kullanılan wedge window ve özellikleri Tablo 3.14’te verilmektedir.

Tablo 3.14. Deneyde kullanılan wedge window ve özellikleri.

<b>Wedge Window Thorlabs / Fuse Silika Window</b>	Ø1, 3mm çapında, geri yansıtma özelliğinin olmaması için AR-coated (yansıtma önleyici) ile kaplanmış.
---	---

Wedge Window, lazer çıkış ışığını vakum kapaktan, diyot lazer içerisine geri yansıtmadan çıkartan optik malzeme olarak görev almaktadır.

Deneyde kullanılan piezo güç kaynağı, üç boyutlu piezo optik tutucu ve özellikleri Tablo 3.15’te verilmektedir.

Tablo 3.15. Deneyde kullanılan piezo güç kaynağı, üç boyutlu piezo optik tutucu ve özellikleri.

<b>Piezo Güç Kaynağı ve Üç Boyutlu Piezo Optik Tutucu/ Thorlabs MDT693A</b>	Üç kanallı, max çıkış akımı 60 mA, voltajı 0-75 V.
---	--

Bu aletler hassas dalga boyu ölçümünde görev almaktadır. Optik tutucu, saydam kırınım ızgarasının kendi üzerine monte edilmesinde görev almaktadır.

Deneyde kullanılan ısı sensörü ve özellikleri Tablo 3.16’da verilmektedir.

Tablo 3.16. Deneyde kullanılan ısı sensörü ve özellikleri.

<b>Thorlabs Isı Sensörü/ AD590JF</b>	Lineer akım çıkışı $1\mu\text{A} / \text{K}$ , operasyon aralığı $-55^{\circ}\text{C}$ ’den $+150^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar, güç destekleme aralığı 4V’tan 30V’a kadar.
--------------------------------------	--

Isı sensörü lazer kafasının alt kısmında açılan deliğe konularak lazer kafası sıcaklığının an be an ölçülmesinde görev almaktadır.

### 3.1.2. Sistemin Çalıştırılması ve Performansı

Yarı iletken diyot lazerlerde dalga boyu değişimi 3 değişik yolla sağlanmaktadır. Bunlar;

- Lazer ışığının sıcaklığını değiştirmek,
- Diyot lazerin akımını değiştirmek,
- Diyot lazerin kovuşunu değiştirmektir.

Bu tezde yukarıda belirtilen üç durum konu alınarak deneyler kuruldu.

Deneylerde kullanılan, AD590JF ısı sensörü sayesinde lazer diyotun hangi sıcaklıkta olduğunu gösteren ayrıca lazer kafasının hemen altında yer alan üst peltier olarak tabir edilen termoelektrik soğutucunun akım kontrolünü lazer kontrol ünitesi sağlamaktadır. Lazer kontrol ünitesi ayrıca kendi içerisinde sıcaklık “set etme (sabitleme)” özelliğine sahip olup, üst peltierin (+) ve (-) uçlarını kontrol ederek lazer kafasının istenilen sıcaklıkta kalmasını sağlamaktadır. Sistemde en önemli yapılması gereken işlerden biri, lazer diyotunun sıcaklığını istenilen sıcaklık değerine set etmektir.

Deneylerde her sıcaklık değeri önceden belirlenip o sıcaklık lazer kontrol ünitesinden set etme sıcaklığı olarak ayarlanmaktadır. Öncelikle belirlenen sıcaklık noktasının aşırı üzerine veya aşırı altına düşüşler (overshoot, undershoot) olur, bir müddet sonra değişen sıcaklık değeri set edilen sıcaklık değerine ulaşmaktadır. Bu sıcaklık değerine daha çabuk ve daha az hata payıyla ulaşmak için P-I-D kontrol yapılması gerekmektedir.

Lazer kontrol ünitesi üzerinde manuel olarak ayarlanabilen P-I-D kontrol ünitesi bulunmaktadır. Bu imkan sayesinde neredeyse deneylerin tümünde P-I-D kontrol kullanıldığı için P-I-D kontrolden bahsetmek doğru olacaktır.

P-I-D kontrol, P (proportional); oransal, I (integral); toplamsal, D (derivative); türevsel kontrol manasına gelen kontrol mekanizmalarıdır. P-I-D kontrol,

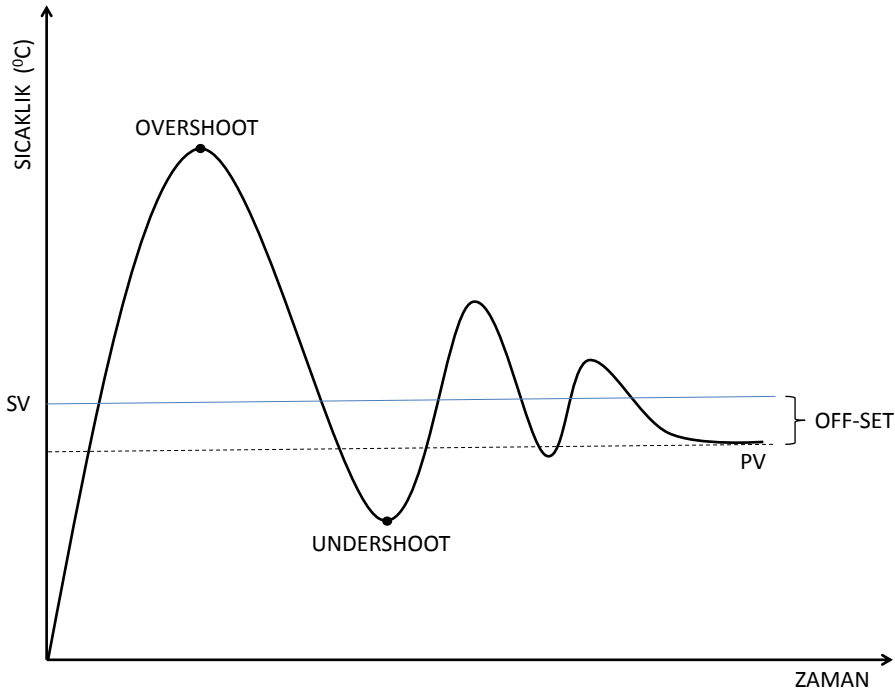


- P: Oransal kontrol
- PI: Oransal-integral kontrol
- PD: Oransal-türevsel kontrol
- PID: Oransal-integral-türevsel kontrol

olmak üzere dört şekilde incelenmektedir.

Ayarlanan yani set edilmesi istenen sıcaklık değerine set değeri, anlık sisteme ait olan sıcaklık değerine de aktüel değer denmektedir. Aktüel değer ile set değeri arasındaki fark hata olarak algılanmaktadır. Ayrıca bir diğer bilinmesi gereken P-I-D kontrol terimi off-set değeridir. Bir sistemde herhangi bir set sıcaklığı seçilmekte ve bu set sıcaklığı üzerinde yukarıya ve aşağıya salınımlar olmaktadır. Bu salınımlar neticesinde son olarak sistem istenilen değer altında bir değere set olursa bu kaymaya off-set denmektedir.

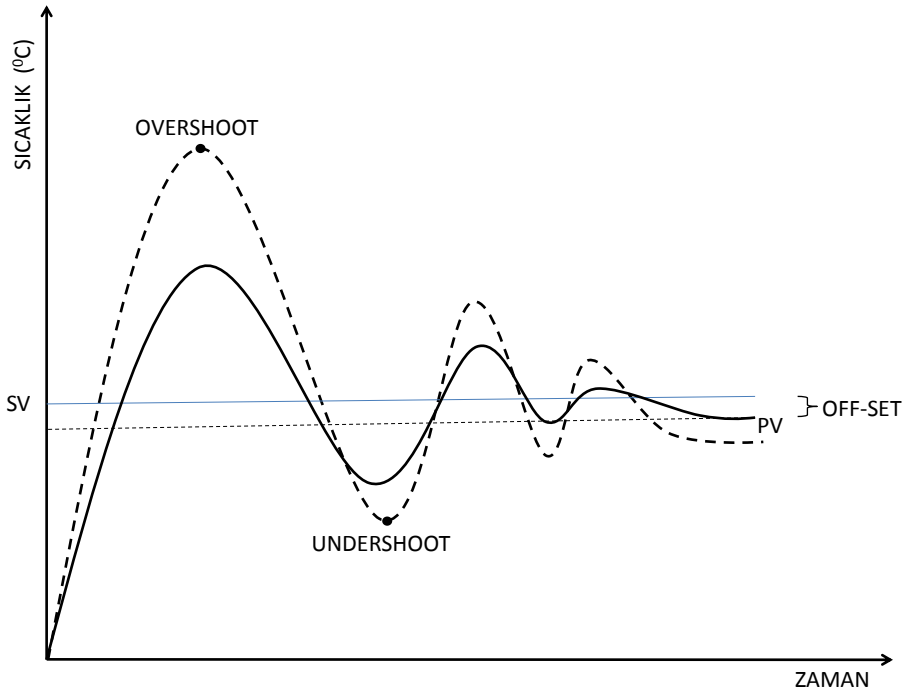
P oransal kontrol formunda, anlık hata ne ise onu belirli bir kat ile çarparak sistemin dalgalanması yani sistemin çıkışı kontrol edilmektedir. P oransal kontrol etkisindeki sistemin dalgalanması Grafik 3.1’de gösterilmektedir.



Grafik 3.1. P oransal kontrol etkisindeki sistemin dalgalanması.

Burada SV; herhangi bir sıcaklık verisi, PV; oransal kontrol sonucunda sabitlenen, istenilmeyen sıcaklık verisidir. Sistem sadece P kontrolüdeyken Grafik 3.1'den de anlaşıldığı gibi overshoot ve undershoot değerlerine sahip olmaktadır. Bu büyük dalgalanma, sistemin uzun süreler sonunda sıcaklık değerinin sabitleneceğini anlatmaktadır. Ayrıca sadece P kontrolünde setlenen sıcaklık verisine ulaşmak mümkün değil, onun yerine, set edilmesi istenen sıcaklık değerinin altında bir değere set edilmesi söz konusudur. Her zaman bir off-set durumu P kontrolünde mevcuttur.

Bu dalgalanmayı ve off-set durumunu önlemek için D kontrolüne ihtiyaç duyulmaktadır. Türevsel kontrol, değişimin etkisi manasına gelmektedir. Yani mevcut hata ile önceki hataların farkının sistem çıkışına etkisidir. PD kontrol etkisindeki sistemin dalgalanması Grafik 3.2'de gösterilmektedir.

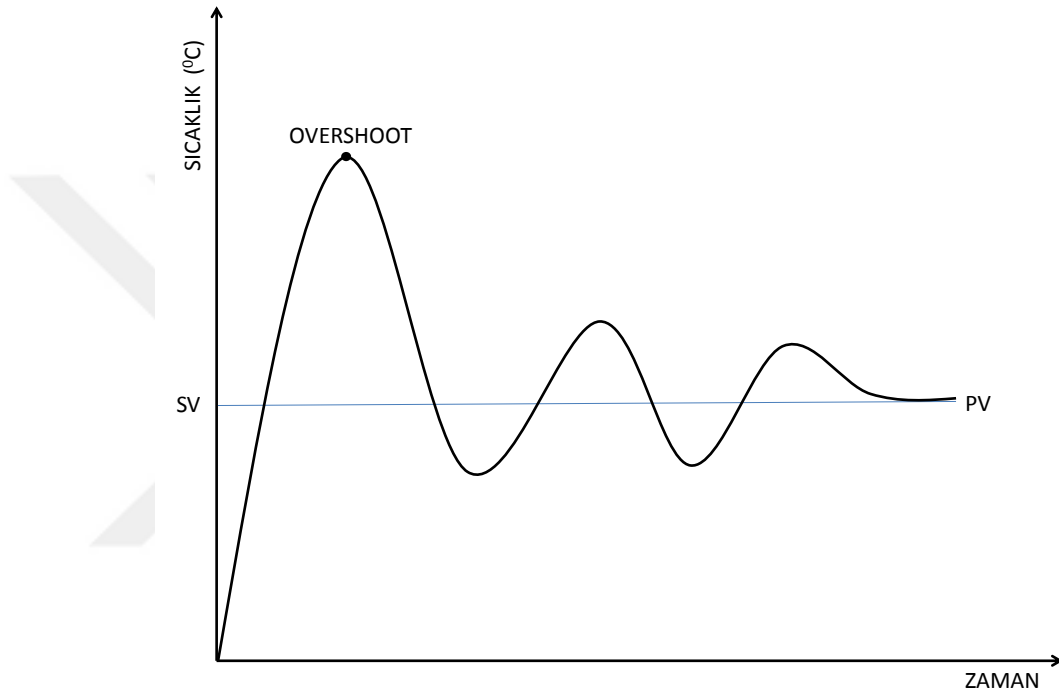


Grafik 3.2. PD kontrol etkisindeki sistemin dalgalanması.

Burada kesik çizgi ile gösterilen grafik, sistemin sadece P oransal kontrol altında olduğunu göstermektedir. Düz çizgi ile gösterilen grafik ise, sistemin PD oransal türevsel kontrol altında olduğunu göstermektedir. PD oransal –türevsel kontrolde, P kontrole göre daha küçük off-set değerine sahip olmaktadır, ayrıca D kontrolüne başvurulduğunda sistem daha hızlı bir şekilde set etme sıcaklığına ulaşmaya çalışmaktadır. Türevsel kontrol aktüel sıcaklığın set edilen sıcaklığa farkının türevini alma prensibiyle sistemi kontrol altına almaktadır. Bu türev alma işlemi sayesinde sistemin reaksiyon hızı da ölçülmüş olmaktadır. Ayrıca bu farkın türevinin alınmasıyla overshoot ve undershoot etkiler azaltılmış olmaktadır. Türevsel kontrolün en önemli noktası sisteme etkisini çok hızlı bir şekilde göstermesidir. Bu yüzden basınç, akış vb. kısa cevap süresi gerektiren sistemlerde tercih edilmez çünkü sistemde bulunan salınma tekrar bir anlık bir salınım yaratmaktadır.

Off-set durumunun ortadan kaldırılmasını sağlayacak birçok uygulamada tercih edilen kontrol sistemi ise PI oransal-integral kontrol sistemidir. Oransal kontrolde karşılaşılan sistemin off-set durumu, PI kontrol ile neredeyse ortadan kaldırılabilir (sıfıra indirebildikleri de mevcuttur). İntegral (toplamsal)

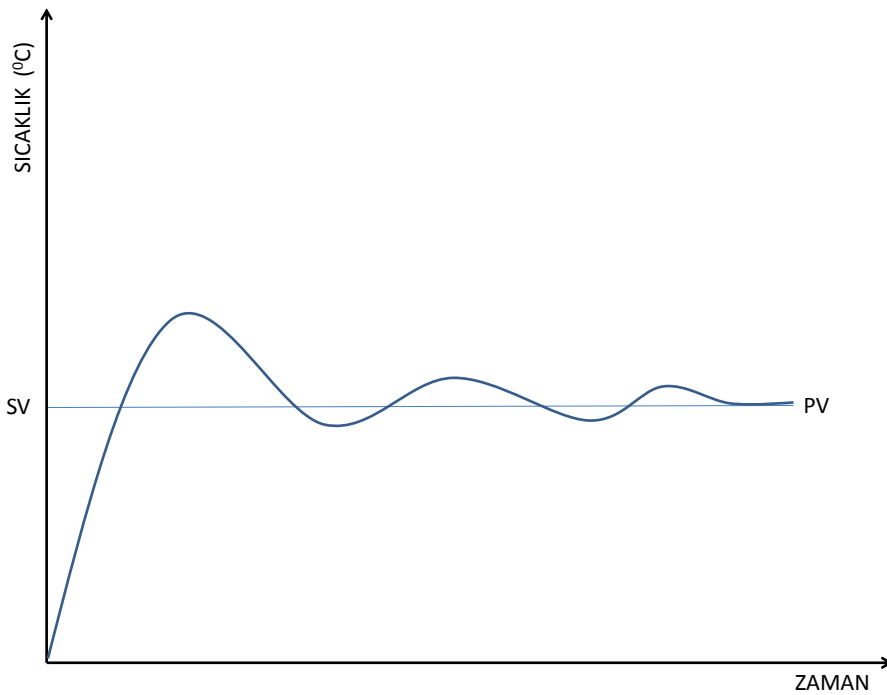
kontrolün birleşmesiyle bu sistemin çalışma prensibi, aktüel değer ile set edilmesi istenen sıcaklık değeri arasındaki fark sinyalinin zamana göre integrali alınarak sistem çıkışına etki etmesidir. Bu integralden çıkan değer fark değerine eklenerek ortada bir fark kalmaması sağlanmakta ve sistem çıkışı beklenen sıcaklık değerine oturtulmuş olmaktadır. PI kontrol etkisindeki sistemin dalgalanması Grafik 3.3'te gösterilmektedir.



Grafik 3.3. PI kontrol etkisindeki sistemin dalgalanması.

Grafik 3.3'ten de görüldüğü gibi, I kontrolü eklenmiş oransal kontrolde sistem çıkışı istenilen set etme değerine oturtulmaktadır. Sisteme verilen enerji sistemde bulunan integral kontrol sayesinde ihtiyaç doğrultusunda azaltılıp artırılarak sistemin set etme değerinden kayma miktarı ortadan kaldırılmaktadır. Bu nedenle SV denilen istenilen sıcaklık verisi ile off-setten dolayı oluşan istenmeyen sıcaklık verisi eşitlenmiş olmaktadır. Bu kontrolde dikkat edilmesi gereken husus tekrardan overshoot etkisinin oluşmasıdır. Uzun süreli set edilen değerde kalması istenen sistemlerde kullanılan bir kontrol sistemidir.

Yukarıda belirtilen P oransal kontrol, PD oransal-türevsel kontrol, PI oransal-integral kontrolün yeterli gelmediği proseslerde PID kontrol yapmak da mümkündür. Bu kontrol mekanizmasının kullanılmasındaki amaç, P oransal kontroldeki off-set değerinin I integral kontrol ile sıfırlamaktır, overshoot ve undershoot değerlerinin D türevsel kontrol ile minimuma indirilmesini sağlamaktır. Böylelikle çabuk bir şekilde overshoot etkisinden uzak ve off-set'i kaldırmış bir çıkış sistemi yaratılmış olmaktadır. PID kontrol etkisindeki sistemin dalgalanması Grafik 3.4'te gösterilmektedir.



Grafik 3.4. PID kontrol etkisindeki sistemin dalgalanması.

PID kontrol sisteminde P, I ve D parametreleri iyi hesaplanarak sisteme dahil edilmelidir. Tezde kullanılan lazer kontrol ünitesi sıcaklık kontrolünde görev aldığı için PID kontrolü kendi içerisinde barındıran bir sistemdir ve auto tune (otomatik ayarlama) ve self tune (el ile ayarlama) özelliğine sahiptir. Belirli bir zaman beklenildiğinde sistemin set edilmesi istenilen değere neredeyse +/- 0.05 gibi bir hata payıyla set edildiği görülmektedir. Fakat sistemin daha çabuk bir şekilde set edilmesi istenen değere ulaşması için manuel PID kontrol yapılmaktadır.

Deneilerin tümünde istenilen tüm set edilmesi istenen sıcaklık değerlerine ulaşırken PID kontrol yapıldı. Lazer kontrol ünitesinde P, I ve D kontrol butonlarının başlangıç konumu saat 7'yi gösterir şekildedir. Öncelikle sistem üzerinde çalışmalar yapılarak sistemin dalgalanma hareketleri gözlemlendi. P, I ve D butonlarının ne kadar çevrileceği bulundu. Daha sonra sistem açıldığında istenilen set etme sıcaklık değerine ulaşmak için P oransal kontrol butonu saat 9 civarına getirildi. Overshoot olmaması için aynı anda D oransal kontrolü devreye sokularak D türevsel kontrol butonu saat 9 civarına getirildi. Overshootun etkisinden çok çabuk bir şekilde kurtulan dalgalanmayı azaltan bu etkiden sonra yine aynı anda I integral kontrolü devreye sokularak, I integral kontrol butonu saat 9 civarına getirildi. Bu sayede de off-set kayma miktarı neredeyse sıfırlandı. Sonuç olarak her sıcaklık değeri +/- 0.01 hata payıyla set edilmiş oldu.

**Deney-1:** ~27mBAR vakum ortam içerisinde, 0 ila 135mA arasındaki akım değerleri altında çalıştırılan diyot lazerin karakterizasyonunu incelemek.

#### **Başlama Koşulları:**

Oda sıcaklığı: 25°C

Dış ortamın nemi: %24

Vakum kapağın iç nemi: %23

Lazer diyotunun sıcaklığı: 25°C

Platform sıcaklığı: 25°C

Diyot lazer cinsi: Hitachi HL6535MG – 658nm

Diyot lazere verilen akım: 0 ila 117mA arasında

#### **Deneyin Yapılışı:**

Deneye öncelikle vakum yapılarak ve 18V değerinde fanlara voltaj verilerek başlandı. Normal şartlarda 12V'ta çalıştırılması gereken fanlar, alüminyum soğutucunun ortam sıcaklığında kalmasını sağlamak için 18V'ta çalıştırıldı. Vakum

pompası ve eski kapalı çevrim buzdolabı gaz pompasını seri bağlayarak daha etkin bir vakumlama sağladığımız vakum sisteminde, -740mm-Hg kadar vakum yapılarak vakum vanası kapatıldı ve vakum kapak içerisinde kalan ~27mBAR'lık basınç değeri altında deney verileri alındı. Vakum sağlandıktan sonra lazer kafası üst sıcaklık limiti olan 60°C'ye ısıtıldı.

**Lazer kafasının sıcaklığını 60°C'ye ısıtmak için,** sadece üst peltierin 3.1A'de çalıştırılması yetti. Lazer kafasının sıcaklığı 60°C'ye geldiğinde, lazer kontrol ünitesi yardımıyla PID kontrol yapıldı ve kafa sıcaklığının 60°C'de sabitlenmesi sağlandı. Lazer kafası sıcaklığı 60°C'den 25°C'ye inerken, 5'er 5'er °C azaltılarak düşürüldü. Her 5°C inildiğinde PID kontrol yardımıyla lazer kafasının sıcaklığının istenilen değerde kalması sağlandı ve her sabitlenen sıcaklıkta lazer ışığına ait karakteristik bilgiler kaydedildi. Üst peltier ile lazer kafasının sıcaklığı, 60°C'den 25°C'ye 5'er 5'er °C azaltılarak veriler alındı. Bu veriler alınırken üst peltierin akımında herhangi bir değişiklik yapılmadı.

**+25°C den -20°C ye kadarki tüm sıcaklık değerlerine soğuturken lazer kafasını;** üst peltier 3.1A ve alt+orta peltierler üst peltierin ısınan tarafının direnç oluşturumaması ve ısıl birikmenin oluşmaması için 4V açılarak deneye başlandı. Değerler değiştirilmeden -20°C ye kadar inilebildi. +25°C'den -20°C'ye 5'er 5'er °C azaltılarak gidildiği için, her 5°C inildiğinde lazer kontrol ünitesi ile PID kontrol yapılarak lazer kafası istenilen sıcaklıkta sabitlenerek, lazer ışığının karakteristik verileri alındı.

**-25°C ye soğuturken lazer kafasını;** alt+orta peltierler ilk olarak 1V, üst peltiere ise 0.4A verilerek deneye başlandı. 5'er dakika ara ile alt+orta peltierlerin gerilimi 1'er V arttırıldı, üst peltierin akımı da 0.4'er A arttırıldı. Üst peltier 2A'ya ve alt+orta peltierler 5V'a geldiğinde bu sıcaklığa ulaşıldı. Lazer kontrol ünitesi sayesinde bu sıcaklığa sabitlenen lazer ışığının, karakteristik verileri alındı.

**-30°C ye soğuturken lazer kafasını;** alt+orta peltierler ilk olarak 1V, üst peltiere ise 0.4A verilerek deneye başlandı. 5'er dakika ara ile alt+orta peltierlerin gerilimi 1'er V, üst peltierin akımını da 0.4'er A arttırıldı. Üst peltier 2.4A'ya

geldiğinde ve alt+orta peltierler 6V'a geldiğinde bu sıcaklığa ulaşıldı. Lazer kontrol ünitesi sayesinde bu sıcaklığa sabitlenen lazer ışığının, karakteristik verileri alındı.

**-35° C ye soğuturken lazer kafasını;** alt+orta peltierler ilk olarak 1V, üst peltiere ise 0.4A verilerek deneye başlandı. 5'er dakika ara ile alt+orta peltierlerin gerilimi 1'er V, üst peltierin akımı da 0.4'er A arttırıldı. Üst peltier 2.8A'ya geldiğinde ve alt+orta peltierler 7V'a geldiğinde bu sıcaklığa ulaşıldı. Lazer kontrol ünitesi sayesinde bu sıcaklığa sabitlenen lazer ışığının, karakteristik verileri alındı.

**-40° C ye soğuturken lazer kafasını;** alt+orta peltierler ilk olarak 1V, üst peltiere ise 0.4A verilerek deneye başlandı. 10'ar dakika ara ile alt+orta peltierlerin gerilimi 1'er V, üst peltierin akımı da 0.4'er A arttırıldı. Üst peltier 2.4A'ya ve alt+orta peltierler 6V'a geldiğinde bu sıcaklığa ulaşıldı. 10'ar dakika arayla bu deneyin yapılmasının nedeni -40°C'ye kadar olan soğutmalarda platformdaki ısı birikme daha da arttığı için ısı birikmenin azaltılması sorunu, 10 dakika ara ile gerilim ve akım değerlerinin değiştirilmesiyle çözüldü. Lazer kontrol ünitesi sayesinde bu sıcaklığa sabitlenen lazer ışığının, karakteristik verileri alındı.

**-45° C ye soğuturken lazer kafasını;** alt+orta peltierler ilk olarak 1V, üst peltiere ise 0.3A verilerek deneye başlandı. 10'ar dakika ara ile alt+orta peltierlerin gerilimi 1'er V, üst peltierin akımı da 0.3'er A arttırıldı. Üst peltier 2.4A'ya ve alt+orta peltierler 8V'a geldiğinde bu sıcaklığa ulaşıldı. Lazer kontrol ünitesi sayesinde bu sıcaklığa sabitlenen lazer ışığının, karakteristik verileri alındı.

-45°C'ye inildiği ve bu değerde sistemin çalıştığı gözlemlendi. Bunun üzerine -47°C'de ne olacağıydı ve -47°C'ye inildi sistemin bu sıcaklık değerinde de çalıştığı gözlemlendi.

**-47° C ye soğuturken lazer kafasını;** alt+orta peltierler ilk olarak 1V, üst peltiere ise 0.3A verilerek deneye başlandı. 10'ar dakika ara ile alt+orta peltierlerin gerilimi 1'er V, üst peltierin akımı da 0.3'er A arttırıldı. Üst peltier 2.7A'ya ve alt+orta peltierler 9V'a geldiğinde bu sıcaklığa ulaşıldı. Lazer kontrol ünitesi sayesinde bu sıcaklığa sabitlenen lazer ışığının, karakteristik verileri alındı.



**Deney-2:** ~27mBAR vakum ortam içerisinde, 115mA sabit akım altında çalıştırılan diyot lazer önüne frekans seçici kırınım ağı konularak ışık karakterizasyonunu incelemek.

**Başlama Koşulları:**

Oda sıcaklığı: 25°C

Dış ortamın nemi: %24

Lazer diyotunun sıcaklığı: 25°C

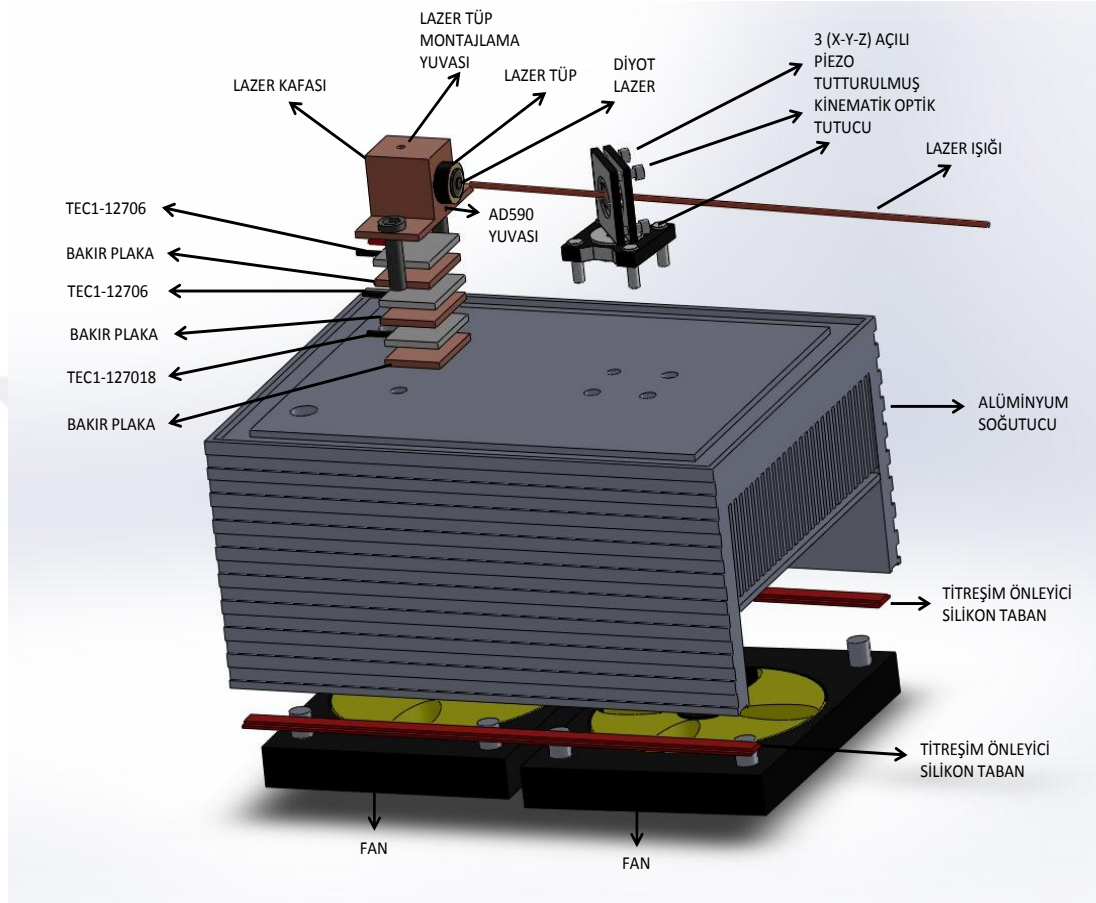
Platform sıcaklığı: 25°C

Diyot lazer cinsi: Hitachi HL6512MG – 658nm

Diyot lazere verilen akım: 115mA

## Deneyin Yapılışı:

Deney-2 düzeneğinin 3 boyutlu gösterimi Şekil 3.5'te verilmektedir.



Şekil 3.5. Deney-2 düzeneğinin 3 boyutlu gösterimi.

Kurulan sistemde, peltier düzeni (alt+orta peltier; TEC1-127018+TEC1-12706, üst peltier; TEC1-7105), lazer kafası, bakır plakalar, fanlar, titreşim engelleyici silikon tabanlar, alüminyum soğutucu, diyot lazer tüpü ve diyot lazer değiştirilmeden bu deneyde de kullanıldı. Sistem üzerinde kapak bulunmadığı için vakum sistemi devreden çıkarıldı.

Lazer kafası sıcaklığı 25°C'de tutulacağı için ısı havuzunda ısıl birikme ihmal edilebilir seviyede olacağından, fanlara 12V verilerek deneye başlandı. Ortam sıcaklığının 25°C olması dolayısıyla sadece üst peltier çalıştırıldı. Üst peltiere 1A verilerek ve lazer kombi kontrol ünitesiyle PID kontrol yapılarak lazer kafası sıcaklığı 25°C'de sabitlendi.

Bu değere ulaşıldığında matematiksel açı hesabı bilinen seçici geçirgen kırınım ızgarası,  $23.25^\circ$ 'lik açı ile diyot lazer önüne yerleştirildi [12]. Böylelikle harici olarak oluşturulan lazer kovuğu genişletilmiş oldu. Lazer kontrol ünitesi sayesinde diyot lazere 115mA verildi. Daha sonra kinematik optik tutucuya, X-Y-Z yöneliminde üç açılı hareket kabiliyeti sunan piezoelektrik malzeme tutturuldu. Kinematik tutucunun ortasına da kırınım ızgarası yerleştirildi. Piezoelektrik malzemeler piezo kontrol ünitesi sayesinde voltaj verilerek kırınım ızgarasının  $20^\circ$  ile  $23^\circ$  arasında tarama yapmasını sağladı. Bu tarama sırasında lazerin çıkış dalga boyundaki değişim gözlemlendi. Bu değişimi gözlemek için fiber optik kablo, spektrometre ve bilgisayar kullanıldı.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. HOSDL SİSTEMİ ÜZERİNDE OLUŞAN ISI MİKTARININ BULUNMASI VE LAZER PLATFORMUNUN 3 BOYUTLU GÖSTERİMİ.

Sistem üzerinde biriken ve sistemin çalışmasını etkileyen ısı birikim miktarı, aktif ve pasif ısı birikim miktarları olmak üzere iki şekilde incelenmektedir.

Aktif ısı birikim miktarı; diyot lazerlerin çalışması esnasında ortaya çıkan ısıyı temsil etmektedir. Bu tezde alınacak aktif ısı birikme parametresi, yarı iletken diyot lazerin yarattığı ısı birikmesine karşılık gelmektedir. Bu durumda teorik olarak, gücünün %30'unu ısıya dönüştürdüğü bilinen yarı iletken diyot lazerlerin, açığa çıkarttığı ısı miktarlarını, aktif ısı birikmesi olarak kullanmak mümkündür.

Aktif ısı birikim miktarının hesabını yapabilmek için aşağıdaki denklem (3.1) yararlanılmaktadır.

$$Q_{act} = V i \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'de bulunan olan  $Q_{act}$  (W); yarı iletken diyot lazerin elektriksel gücüdür.  $V$  (V); voltaj,  $i$  (A); akım, değerleridir. Teorik olarak, elektriksel gücün %30'u alınarak, aktif ısı birikim miktarı hesaplanmış oldu.

Pasif ısı birikim miktarı; ısı radyasyon, ısı iletim ve taşınım olmak üzere üç ana başlık altında toplanmaktadır. Isıl radyasyon, lazer kafası ve etrafındaki nesnelerin elektromanyetik ışınla yaparak ısı üretmesi prensibi ile açıklanmaktadır. Isıl iletim, sistem üzerinde montajda kullanılacak olan varsa metal vidaların ve metal pulların ısıları, sıcaklığı değiştirilmek istenen lazer kafasının üzerindeki yalıtımın ısı ve ısı ölçer sensörlerin ısıları, sisteme iletim yoluyla aktarılan ısı birikimi olarak açıklanmaktadır. Taşınım, ortamda bulunan havanın, ısıyı taşıyarak soğutmak/ısıtmak istediğimiz lazer kafasına ulaşmasıyla, istenmeyen ısının lazer kafasında birikmesi ile açıklanmaktadır.

Pasif ısı birikmesinin hesaplandığı matematiksel denklemler, denklem (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.5)'de verilmektedir.

$$Q_{rad} = F e s A (T_{amb}^4 - T_c^4) \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de bulunan  $Q_{rad}$  (W); ısı radyasyonunun sistemde biriktirdiği ısı miktarı,  $F$ ; biçim faktörü (en kötü şartlar altında alacağı değer 1),  $e$ ; yayılma faktörü (en kötü şartlar altında alacağı değer 1),  $s$  ( $W/m^2K^4$ ); Stefan-Boltzman sabiti,  $A$  ( $m^2$ ); soğutulan yüzeyin alanı,  $T_{amb}$  (K); ortam sıcaklığı,  $T_c$  (K); termoelektrik soğutucu'nun (TEC) soğuk kısmının sıcaklığıdır.

$$Q_{conv} = h A (T_{air} - T_c) \quad (3.3)$$

Denklem (3.3)'te bulunan  $Q_{conv}$  (W); taşınım ile biriken ısının miktarı,  $h$  ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ); taşınım ısı transfer katsayısı,  $A$  ( $m^2$ ); taşınım maruz kalan yüzün alanı,  $T_{air}$  ( $^\circ C$ ); ortamın sıcaklığı,  $T_c$  ( $^\circ C$ ); TEC'in soğuk yüzeyinin sıcaklığıdır.

$$Q_{cond} = \frac{A k \Delta T}{L} \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'te bulunan  $Q_{cond}$  (W); iletimden kaynaklı ısı birikmesi,  $k$  ( $W/m \text{ } ^\circ C$ ); malzemenin ısı iletkenliği,  $A$  ( $m^2$ ); malzemenin kesitsel alanı,  $L$  (m); ısı yolunun uzunluğu,  $\Delta T$  ( $^\circ C$ ); ısı yolu boyunca sıcaklık farkıdır.

Bu sistem içerisinde vakum işlemi yapıldığından dolayı kapaklı bir sistem söz konusudur. Dolayısıyla kapak içerisinde sadece taşınım ve iletimden kaynaklı bir ısı birikmesinin olduğu anlamını taşımaktadır. Böylelikle bu ortamdaki pasif ısı birikme miktarı, aşağıda gösterilen denklem (3.5) ile hesaplanabilmektedir.

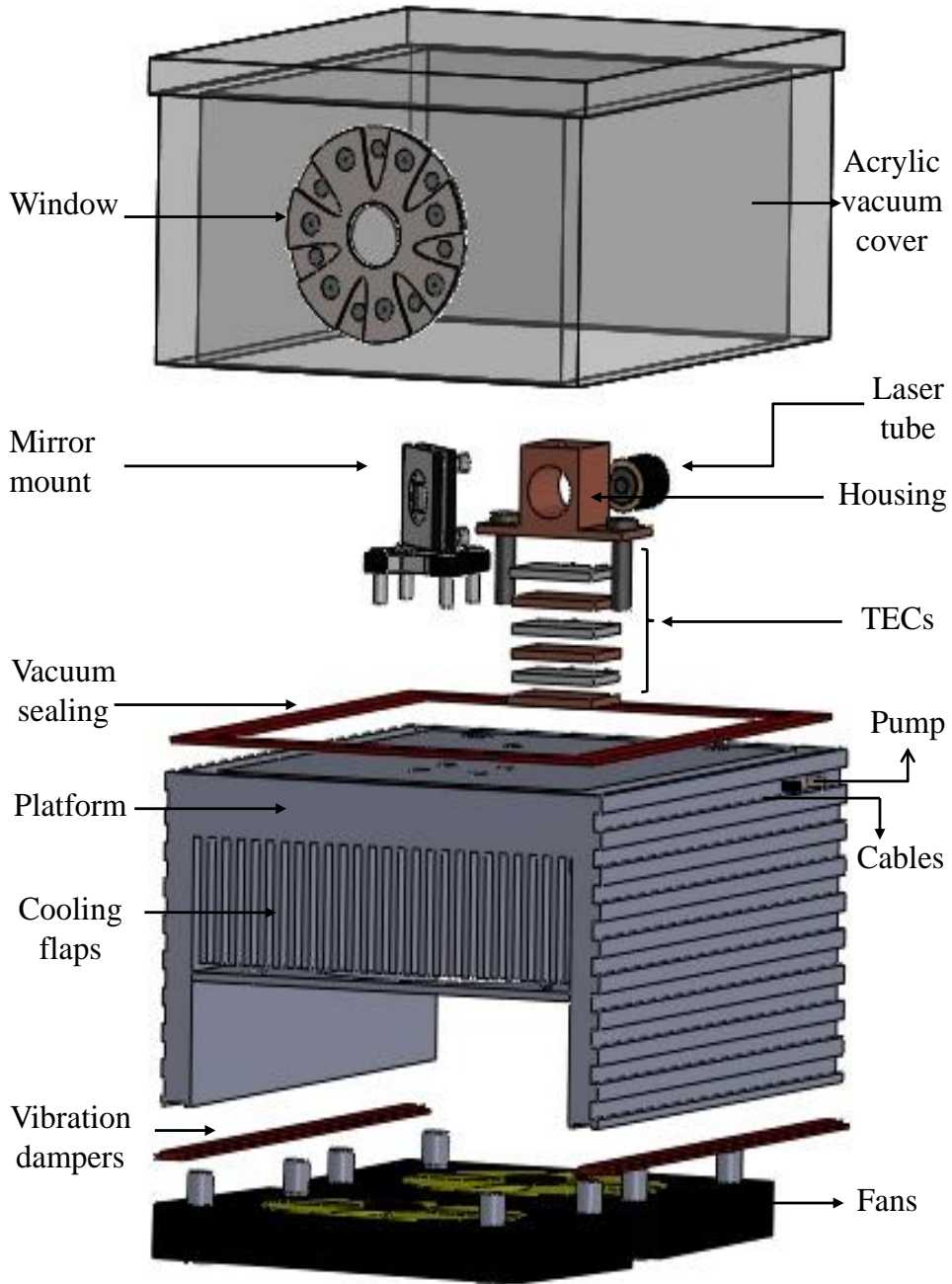
$$Q_{pas} = \frac{A x \Delta T}{\frac{x}{k} + \frac{1}{h}} \quad (3.5)$$

Denklem (3.5)'te bulunan  $Q_{pas}$  (W); kapak içerisindeki taşınım ve iletimden kaynaklı pasif ısı birikmesi,  $A$  ( $m^2$ ); kapağın toplam iç yüzeyi,  $x$  (m); yalıtımın kalınlığı,  $k$  ( $W/m \text{ } ^\circ C$ ); yalıtımın termal iletkenliği,  $h$  ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ); taşınım sıcaklık transfer katsayısı,  $\Delta T$  ( $^\circ C$ ); objenin sıcaklık değişimidir. Denklem (3.5)'te verilen  $h$  değeri serbest ısı taşınımı varsa  $2-25W/m^2 \text{ } ^\circ C$  aralığında değişmekte, dışardan bir etki ile ısı taşınımı varsa  $25-250W/m^2 \text{ } ^\circ C$  aralığında değişmektedir. Bu değer taşınımında kullanılan akışkanın, özelliklerine ve hızına bağlıdır. 1 atm basınç

altında ve ortamdaki serbest hava tarafından ısı taşınımının olduğu durumlarda  $h$  değeri  $21.7\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Sunulan proje önerisinde serbest hava ile ısı taşınımı sağlanmadı, fanlar yardımıyla ısı taşınımı (cebri konveksiyon) sağlandı. Kryotherm simülasyon programında yaptığımız ön çalışmalar ışığında görülen, cebri konveksiyon altında kurulan sistemdeki  $h$  değeri,  $192.3\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Bulunan bu değer literatürdeki beklenen değeri karşılar niteliktedir.

Teorik olarak bulunan tüm bu ısı birikmelerinin toplamı, sistemdeki istenmeyen ısı birikimini vermektedir. Teorik olarak yukarıda denklemleri verilen sistemin ısı birikim miktarı bulundu ve bu bulunan ısı birikim miktarının, sistemde oluşturacağı olumsuz etkilere karşılık verebilecek ölçülerde bir platform dizayn edildi.

Bu tezde kurulan lazer platformunun 3 boyutlu gösterimi, Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Kurulan lazer platformunun 3 boyutlu gösterimi.

Burada açılı cam (wedge window); lazer ışığının diyot lazer içerisine yansımısını engelleyen optik malzeme, akrilik vakum kapak (acrylic vacuum cover); vakum yapılırken optik malzemelerin olduğu ortamı dış ortandan ayıran, %90 ışık geçirgenliğine sahip akrilik kapak, ayna tutucu (mirror mount); ışık önüne koyulan kırınım ızgarasının tutucusu, lazer tüpü (laser tube); lazer diyotunun

konulduğu tüp, yuva (house); bakırdan meydana gelen, lazer tüpünün konulduğu yuva, termoelektrik soğutucular – peltierler (TECs); lazer diyotunun soğutulmasında/ısıtılmasında görev alan malzemeler, vakum sızdırmazı (vacuum sealing); vakum esnasında vakum kapağın altından hava giriş çıkışı engelleyen silikon malzeme, pompa (pump); vakum pompasının bağlandığı yer, kablolar (cables); kabloların çıktığı yer, platform; hem optik cihazların sabitlenmesini sağlayan hem de hava soğutmasında görev alan alüminyum malzeme, soğutma kanatçıkları (cooling flaps); alüminyum soğutucu üzerinde yer alan kanatçıkları, titreşim azaltıcı (vibration dampers); titreşimi minimuma indirmek için kullanılan silikon malzeme, fanlar (fans); hava soğutmasında görev alan elektronik malzeme.

#### 4.2. LAZER ÇIKIŞ IŞIĞININ KARAKTERİSTİĞİ.

Lazer kafası +60°C'deyken, lazer ışığının karakteristik verileri, Tablo 4.1'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Lazer kafası +60°C'deyken, lazer ışığının karakteristik verileri.

Diyot lazere sürülen akım (mA)	Optik çıkış gücü (mW)	Lazer çıkış dalga boyu (nm)
75	3,49	666,2
77	5,386	666,2
79	7,065	666,2
81	8,96	666,2
83	10,75	666,6
85	12,55	666,6
87	14,43	666,6
89	16,15	666,6
91	17,55	667,1



Tablo 4.1.'in devamı.

93	19,61	667,1
95	21,54	667,1
97	23,1	667,1
99	24,74	667,1
101	26,68	667,4
103	28,72	667,4
105	30,41	667,4
107	32	667,4
109	34	667,4
111	35,59	667,4
113	37,43	667,4
115	39,06	667,7
117	40,88	667,7

Lazer kafası +25°C'deyken, lazer ışığının karakteristik verileri, Tablo 4.2'de gösterilmektedir.

Tablo 4.2. Lazer kafası +25°C'deyken, lazer ışığının karakteristik verileri.

Diyot lazere sürülen akım (mA)	Optik çıkış gücü (mW)	Lazer çıkış dalga boyu (nm)
75	23,03	661
77	24,51	661
79	26,51	661,3
81	28,33	661,3
83	30,55	661,3
85	32,04	661,3
87	34,08	661,3
89	35,66	661,3

Tablo 4.2'nin devamı.

91	37,7	661,8
93	39,55	661,8
95	41,58	661,8
97	43,31	662,1
99	45,44	662,1
101	47,32	662,1
103	49,24	662,1
105	50,96	662,1
107	53,03	662,1
109	54,74	662,1
111	56,65	662,4
113	57,8	662,4
115	60,02	662,4
117	62,12	662,4

Lazer kafası 0°C'deyken, lazer ışığının karakteristik verileri, Tablo 4.3'te gösterilmektedir.

Tablo 4.3. Lazer kafası 0°C'deyken, lazer ışığının karakteristik verileri.

<b>Diyot lazere sürülen akım (mA)</b>	<b>Optik çıkış gücü (mW)</b>	<b>Lazer çıkış dalga boyu (nm)</b>
75	28,7	657,3
77	30,03	657,3
79	32,21	657,7
81	33,89	657,7
83	35,22	657,7
85	37	657,7
87	39,09	657,7

Tablo 4.3'ün devamı.

89	41,09	657,7
91	42,91	658
93	44,72	658
95	46,65	658
97	48,27	658
99	49,9	658
101	52,18	658
103	53,73	658,3
105	55,67	658,3
107	57,24	658,3
109	59,14	658,3
111	61,21	658,3
113	62,71	658,3
115	64,41	658,3
117	66,51	658,7

Lazer kafası  $-45^{\circ}\text{C}$ 'deyken, lazer ışığının karakteristik verileri, Tablo 4.4'te gösterilmektedir.

Tablo 4.4. Lazer kafası  $-45^{\circ}\text{C}$ 'deyken, lazer ışığının karakteristik verileri.

<b>Diyot lazere sürülen akım (mA)</b>	<b>Optik çıkış gücü (mW)</b>	<b>Lazer çıkış dalga boyu (nm)</b>
75	31	649,9
77	32,2	650,2
79	33,68	650,2
81	35,08	650,2
83	36,76	650,2

Tablo 4.4'ün devamı.

85	38,3	650,2
87	40,02	650,5
89	41,61	650,5
91	43,05	650,5
93	44,65	650,5
95	46,28	650,5
97	47,66	650,5
99	49,26	650,5
101	50,84	650,5
103	51,7	650,5
105	53,7	650,8
107	55,23	650,8
109	57,07	650,8
111	58,64	650,8
113	60,33	651,2
115	61,54	651,2
117	63,42	651,2

Lazer kafası  $-47^{\circ}\text{C}$ 'deyken, lazer ışığının karakteristik verileri, Tablo 4.5'te gösterilmektedir.

Tablo 4.5. Lazer kafası  $-47^{\circ}\text{C}$ 'deyken, lazer ışığının karakteristik verileri.

Diyot lazere sürülen akım (mA)	Optik çıkış gücü (mW)	Lazer çıkış dalga boyu (nm)
39	3,422	649
43	6,308	649,3
47	9,005	649,3
51	12,08	649,3

Tablo 4.5'in devamı.

55	14,83	649,4
59	17,76	649,4
63	20,41	649,4
67	23,65	649,4
71	26,54	649,8
75	29,48	649,8
79	32,41	649,8
83	34,8	649,8
87	37,81	650,1
91	40,67	650,1
95	43,37	650,4
99	47,51	650,4
103	50,33	650,4
107	54,05	650,7
111	57,14	650,7
115	61,31	650,7
119	64,35	650,7
123	67,74	651
127	70,81	651
131	74,43	651
135	76,9	651,5

Lazer kafası  $-45^{\circ}\text{C}$ 'ye indirilirken, peltierlere verilen voltaj-akım, ısı havuzunun (platform) sıcaklığı ve lazer kafası sıcaklığı verileri, Tablo 4.6'da gösterilmektedir.

Tablo 4.6. Lazer kafası  $-45^{\circ}\text{C}$ 'ye indirilirken, peltierlere verilen voltaj-akım, ısı havuzunun (platform) sıcaklığı ve lazer kafası sıcaklığı verileri.

<b>TEC1-127018 + TEC1-12706 Gerilim (V)</b>	<b>TEC1-127018 + TEC1-12706 Akım (A)</b>	<b>TEC1-7105 Akım (A)</b>	<b>Lazer kafası sıcaklığı (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Platform sıcaklığı (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>
0	0	0	25	25
1	0,88	0,3	7,64	25
2	2,18	0,6	-2,95	25
3	3,91	0,9	-13,35	25
4	5,16	1,2	-23,38	25
5	6,64	1,5	-32	26
6	8,14	1,8	-37,52	27
7	9,78	2,1	-42,1	28
8	11,23	2,4	-45,02	29

Lazer kafasının sıcaklığını  $+60^{\circ}\text{C}$ 'den  $-45^{\circ}\text{C}$ 'ye değiştirerek, lazer ışığının sıcaklık değişimine karşı dalga boyu değişim verileri Tablo 4.7'de gösterilmektedir.

Tablo 4.7. Lazer kafasının sıcaklığını  $+60^{\circ}\text{C}$ 'den  $-45^{\circ}\text{C}$ 'ye değiştirerek, lazer ışığının sıcaklık değişimine karşı dalga boyu değişim verileri.

<b>Lazer kafasının sıcaklığı (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Lazerin çıkış dalga boyu (nm)</b>
60	667,9
55	667,3
50	666,3
45	665,9
40	665,2
35	664,1

Tablo 4.7'nin devamı.

30	663,5
25	663
20	662,1
15	661,2
10	660,5
5	659,9
0	659
-5	658,2
-10	656,3
-15	656,3
-20	654,8
-25	654,6
-30	653,3
-35	652,7
-40	651,9
-45	651,3

Lazer kafası  $-47^{\circ}\text{C}$ 'ye indirilirken, peltierlere verilen voltaj-akım, ısı havuzunun (platform) sıcaklığı ve lazer kafası sıcaklığı verileri, Tablo 4.8'de gösterilmektedir.

Tablo 4.8. Lazer kafası  $-47^{\circ}\text{C}$ 'ye indirilirken, peltierlere verilen voltaj-akım, ısı havuzunun (platform) sıcaklığı ve lazer kafası sıcaklığı verileri.

<b>TEC1-127018 + TEC1-12706 Gerilim (V)</b>	<b>TEC1-127018 + TEC1-12706 Akım (A)</b>	<b>TEC1-7105 Akım (A)</b>	<b>Lazer kafası sıcaklığı (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Platform sıcaklığı (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>
0	0	0	25	19
1	1,05	0,3	5,88	19
2	2,4	0,6	-7,5	19
3	3,74	0,9	-19,46	19
4	5,24	1,2	-29,41	19
5	6,64	1,5	-36,32	20
6	8,24	1,8	-42,05	21
7	9,9	2,1	-45,53	21
8	11,38	2,4	-46,88	22
9	12,79	2,4	-47,01	23

Lazer kafasının sıcaklığını  $+61^{\circ}\text{C}$ 'den  $-47^{\circ}\text{C}$ 'ye değiştirerek, lazer ışığının sıcaklık değişimine karşı dalga boyu değişim verileri, Tablo 4.9'da gösterilmektedir.



Tablo 4.9. Lazer kafasının sıcaklığını  $+61^{\circ}\text{C}$ 'den  $-47^{\circ}\text{C}$ 'ye değiştirerek, lazer ışığının sıcaklık değişimine karşı dalga boyu değişim verileri.

Lazer kafasının sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Lazerin çıkış dalga boyu (nm)
61	668,2
57	667,7
53	667,1
49	666,5
45	665,9
41	665,2
37	664,4
33	664
29	663,4
25	662,9
21	661,9
17	661,2
13	661,2
9	660,1
5	659,9
1	659,3
-3	658,8

Tablo 4.9'un devamı.

-7	658
-11	657,4
-15	656,3
-19	654,8
-23	654,1
-27	653,5
-31	653,5
-35	652,7
-39	652,4
-43	651,9
-47	651,5

#### ***Deney-2'den çıkan bulgular;***

Bu değere ulaşıldığında matematiksel açı hesabı bilinen seçici geçirgen kırınım ızgarası,  $23.25^{\circ}$ 'lik açı ile diyot lazer önüne yerleştirilmesi gerekiyordu. Fakat kırınım ızgarasının diyot lazer karşısına merkezleme sorunuyla karşılaştığı için, kırınım ızgarası  $20^{\circ}$ 'ye konuldu. Bu açı değerinde görülen,  $23.25^{\circ}$ 'lik açı ile konulduğundaki beklenen değer aynısının çıkmasıydı. Beklenen değerden kasıt, eşik akımı kadar akım verilen diyot lazerin, 1mW optik çıkış gücü göstermesi beklenir. Dışardan harici optik salıncı ekleniyorsa, frekans seçici eleman gibi, o zaman eşik akımının 0.2/0.3mA altında bile 1mW'a ulaşılması mümkün olacaktır. Optik güç ölçer sayesinde bu açı değerlerinde diyot lazerin gücü kontrol edilerek, istenilen 1mW'a teorik olarak bilinen eşik akımının altında rastlandysa, optik salıncı doğru açı ile diyot lazer önüne konumlandırılmış ve lazer kovuğu genişletilmiş demektir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezin sonucunda ulaşılan sonuç iki ana sonuç bulunmaktadır. Birincisi, HOSDL sistemlerinde sistem üzerinde biriken ısı miktarının bulunup sistemin kurulmasıdır. İkincisi ise, lazerin dalga boyunun sıcaklıkla değişiminin gözlenmesidir.

### ***Sistemin ısı birikim hesabı;***

Isı birikim hesabı beş ana başlık altında bulunmaktadır.

- Radyasyondan kaynaklı ısı birikim miktarı
- İletimden dolayı ısı birikim miktarı
- Taşınımdan dolayı ısı birikim miktarı
- Aktif ısı birikmesi
- Pasif ısı birikmesi

### ***Aktif ısı birikim miktarı;***

Denklem (3.1)'den yararlanılarak bulundu.

$$Q_{act} = V i$$

ifadesinde,

$$V = 30V$$

$$i = 0.000348A$$

alındığında aktif ısı birikim miktarı  $Q_{act} = 0.01044W$  bulundu.

**Radyasyondan kaynaklı ısı birikim miktarı;**

Denklem (3.2)'den yararlanılarak bulundu.

$$Q_{rad} = F e s A (T_{amb}^4 - T_c^4)$$

ifadesinde,

$$F = 1$$

$$e = 1$$

$$s = 5.667 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$$

$$A = 0.0084065 m^2$$

$$T_{amb} = 298K$$

$$T_c = 223K$$

alındığında radyasyona bağlı ısı birikim miktarı,  $Q_{rad} = 2.6kW$  bulundu.

**Taşınmıdan dolayı ısı birikim miktarı;**

Denklem (3.3)'den yararlanılarak bulundu.

$$Q_{conv} = h A (T_{air} - T_c)$$

ifadesinde,

$$h = 21.7 W/m^2 C$$

$$A = 0.00761m^2$$

$$T_{air} = 25^{\circ}C$$

$$T_c = -50^{\circ}C$$

alındığında taşınmıdan kaynaklı ısı birikim miktarı  $Q_{conv} = 12.385W$  bulundu.

### **İletimden dolayı ısı birikim miktarı;**

Denklem (3.4)'ten yararlanılarak bulundu.

$$Q_{cond} = \frac{A k \Delta T}{L}$$

ifadesinde,

$$A = 3 \times 10^{-7} m^2$$

$$k = 386 W/m^{\circ}C$$

$$L = 0.012 m$$

$\Delta T = (T_{amb} - T_c) = 25 - (-50) = 75^{\circ}C$  ( $T_{amb}$ ; ortamın veya ısı havuzunun sıcaklığı,  $T_c$ ; TEC'in soğuk yüzeyinin sıcaklığı.)

alındığında iletimden kaynaklı ısı birikim miktarı  $Q_{cond} = 1 \times 10^{-4} W$  bulundu.

### **Pasif ısı birikim miktarı;**

Denklem (3.5)'ten yararlanılarak bulundu.

$$Q_{pas} = \frac{A x \Delta T}{\frac{x}{k} + \frac{1}{h}}$$

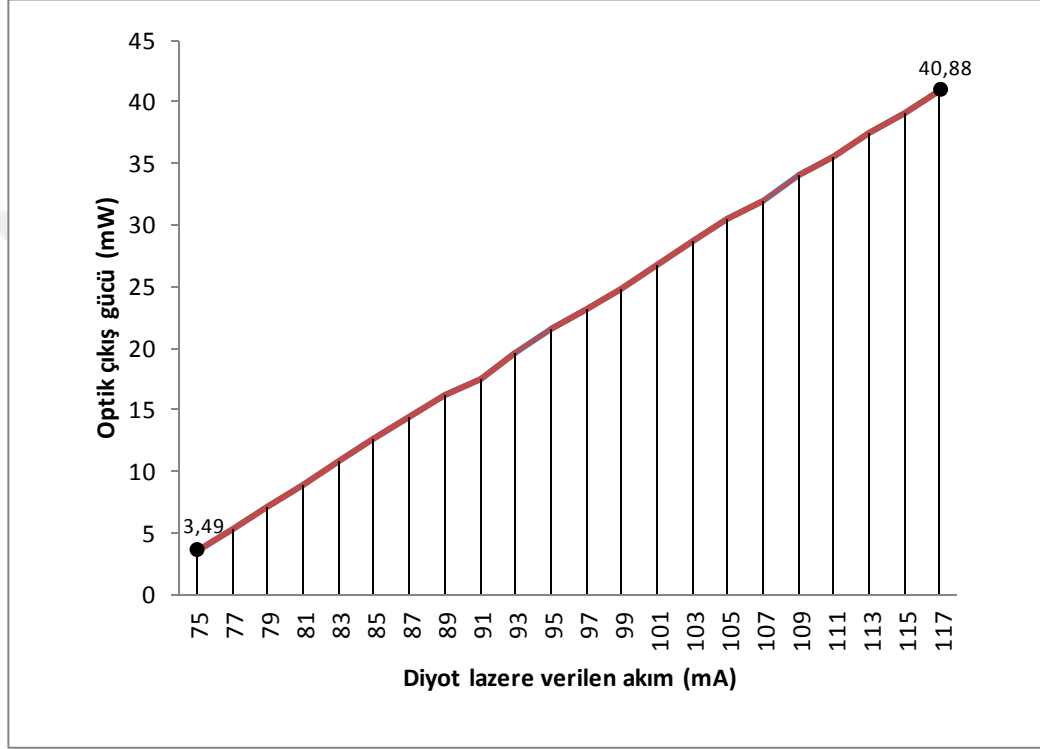
ifadesinde yer alan yalıtımın kalınlığı  $k$  değeri neredeyse 0'a yakın olduğundan çıkan  $Q_{pas}$  değeri ihmal edilebilecek kadar küçük çıktı. Bu yüzden sistemdeki ısı birikimde pasif ısı birikimi alınmadı.

O halde sistemdeki toplam ısı birikme  $Q_{top}$  ile gösterilirse;

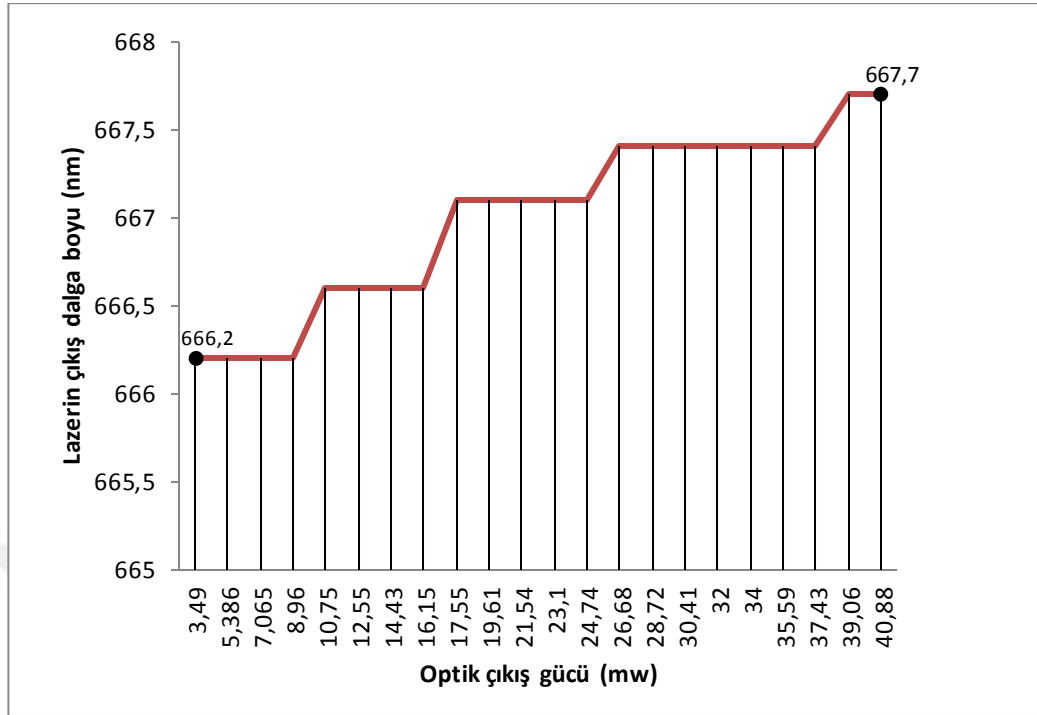
$$Q_{top} = 0.01044 + 12.385 + 1 \times 10^{-4} + 2600 = 2612.4 W \text{ bulundu.}$$

### ***Deney-1'den çıkan sonuçlar;***

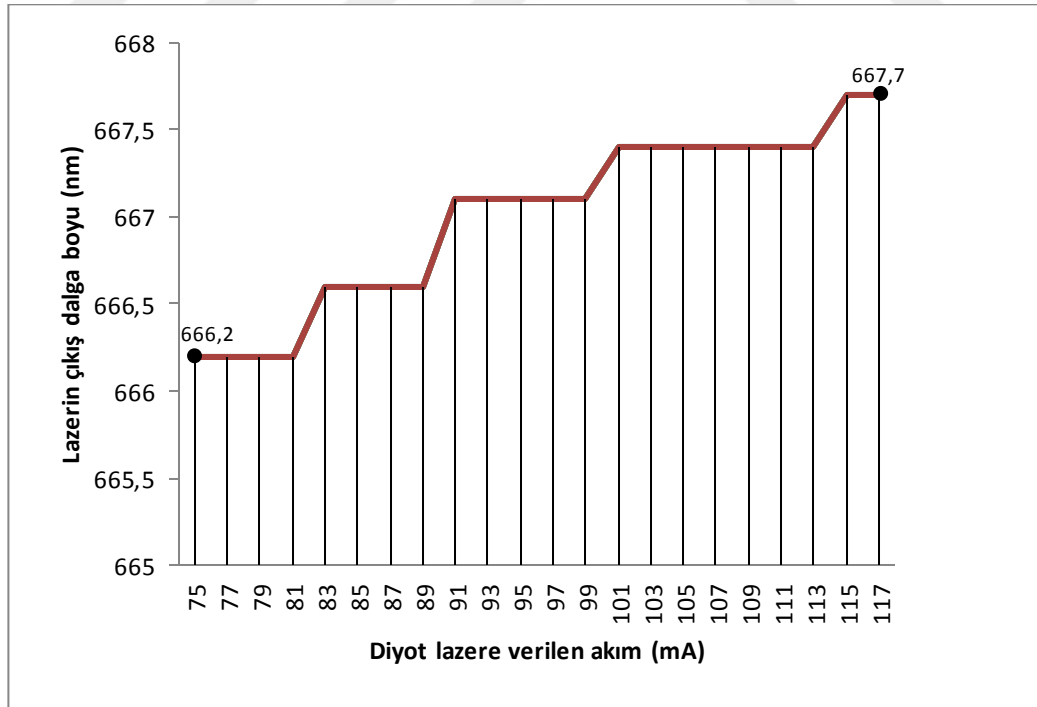
Lazer kafası +60°C'de sabit iken çizilen, diyot lazere verilen akıma karşılık optik çıkış gücü grafiği, optik çıkış gücüne karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği ve diyot lazere verilen akıma karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği, Grafik 5.1, Grafik 5.2 ve Grafik 5.3'te gösterilmektedir.



Grafik 5.1. Lazer kafası +60°C'de sabit iken, diyot lazere verilen akıma karşılık optik çıkış gücü grafiği.

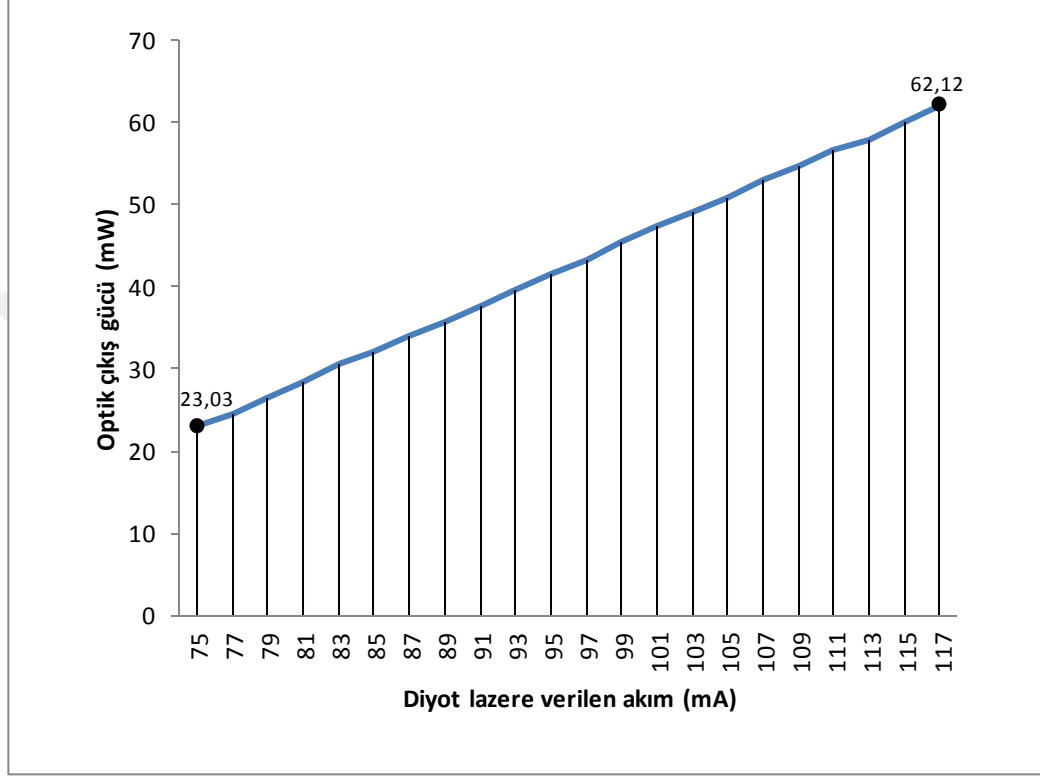


Grafik 5.2. Lazer kafası +60°C'de sabit iken, optik çıkış gücüne karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği.



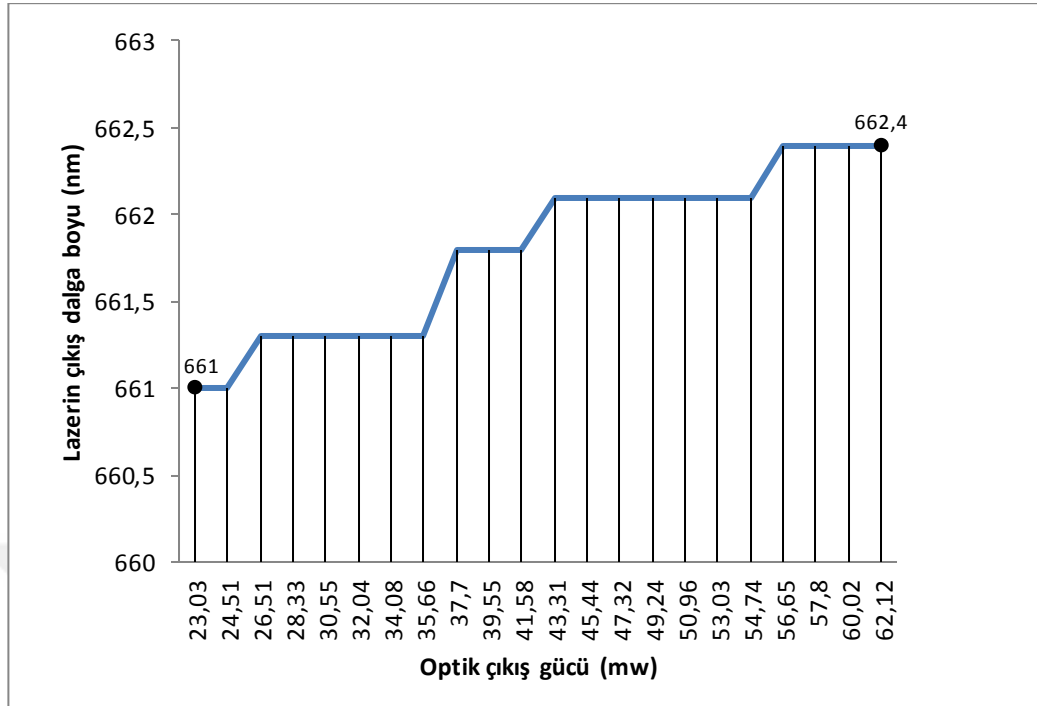
Grafik 5.3. Lazer kafası +60°C'de sabit iken, diyot lazere verilen akıma karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği.

Lazer kafası +25°C’de sabit iken çizilen, diyot lazere verilen akıma karşılık optik çıkış gücü grafiği, optik çıkış gücüne karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği ve diyot lazere verilen akıma karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği, Grafik 5.4, Grafik 5.5 ve Grafik 5.6’da gösterilmektedir.

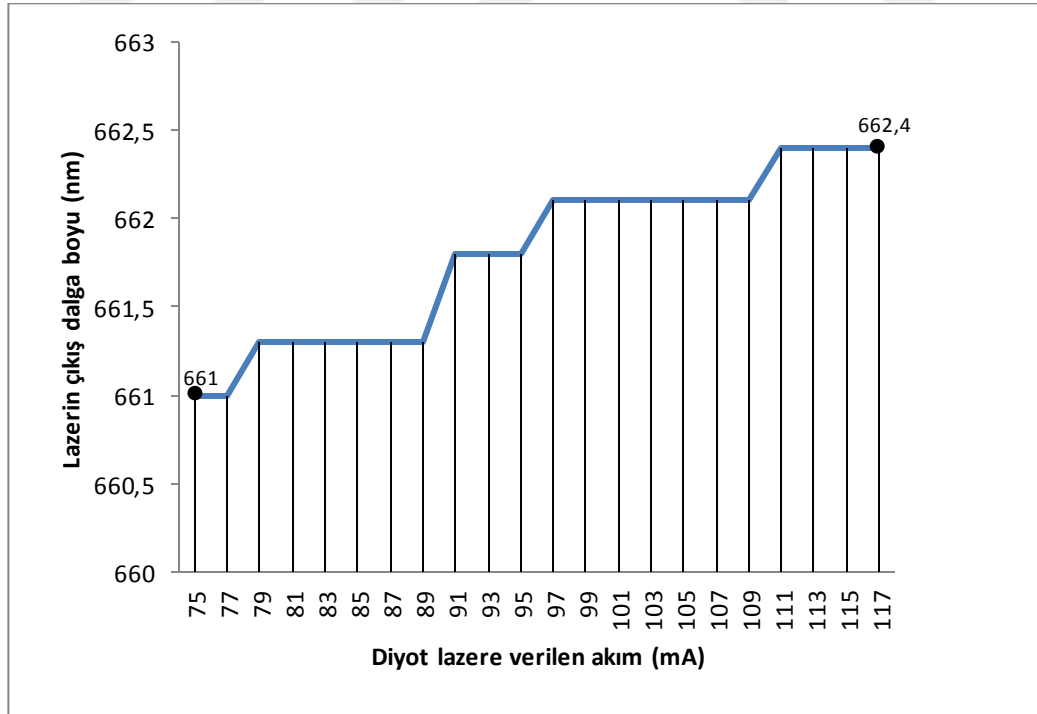


Grafik 5.4. Lazer kafası +25°C’de sabit iken, diyot lazere verilen akıma karşılık optik çıkış gücü grafiği.



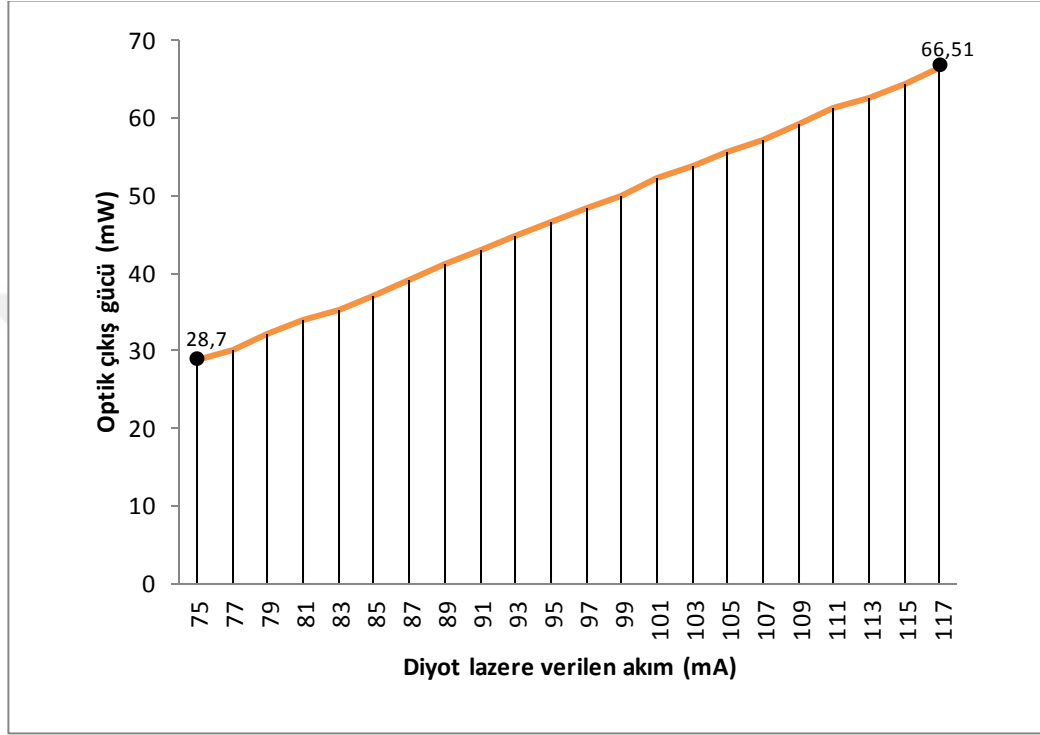


Grafik 5.5. Lazer kafası +25°C’de sabit iken, optik çıkış gücüne karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği.

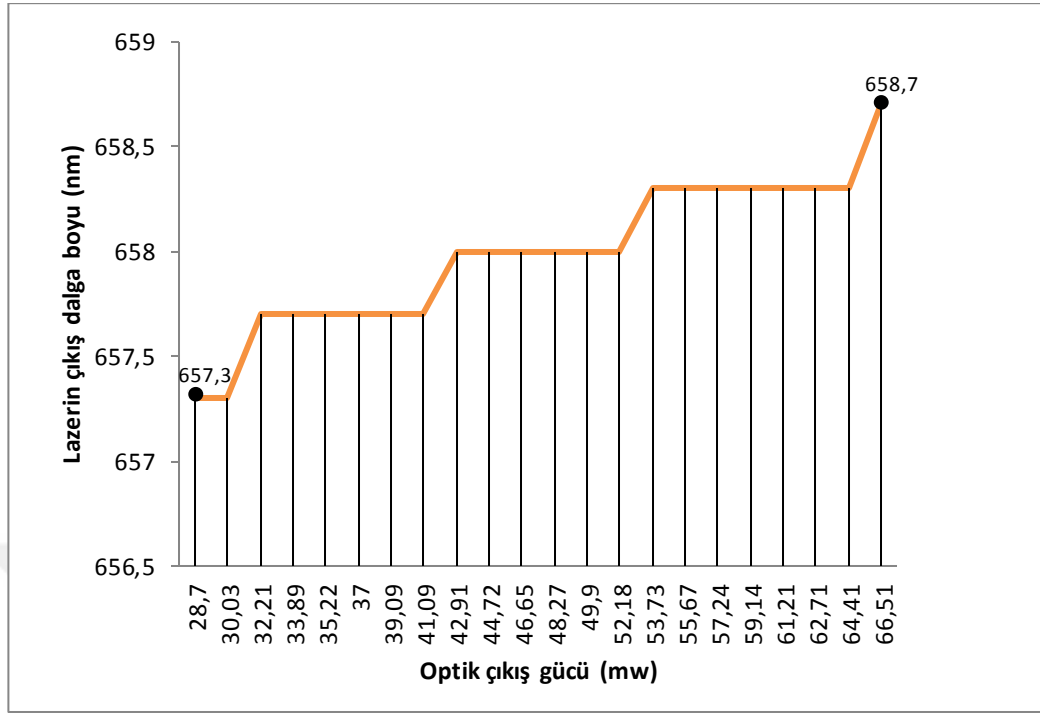


Grafik 5.6. Lazer kafası +25°C’de sabit iken, diyot lazere verilen akıma karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği.

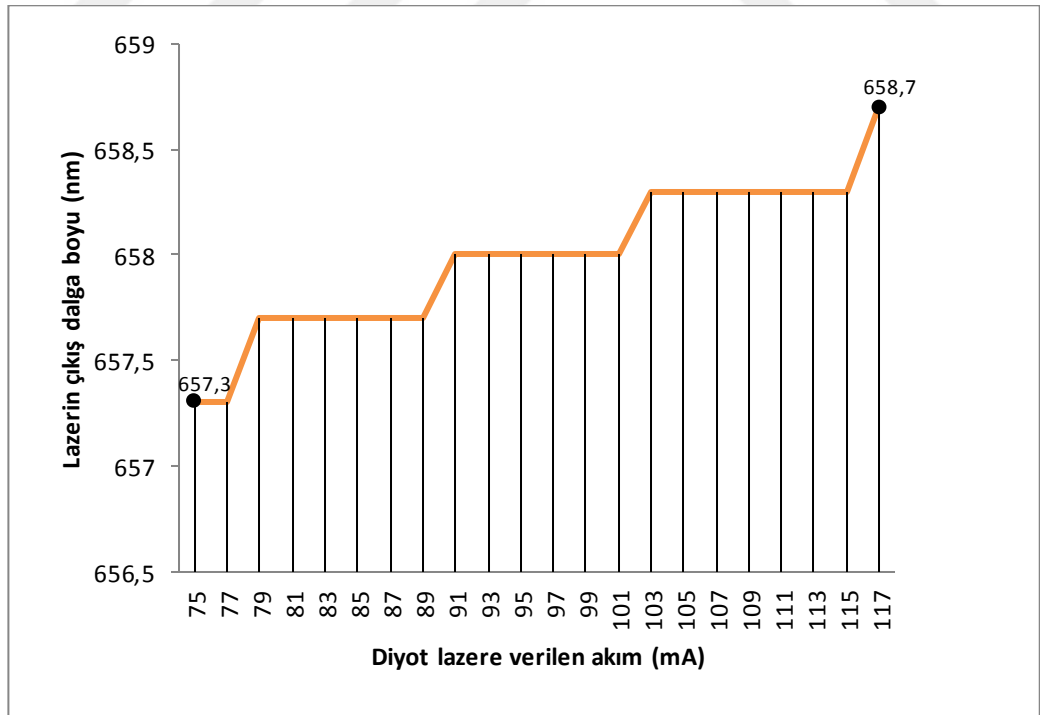
Lazer kafası 0°C’de sabit iken çizilen, diyot lazere verilen akıma karşılık optik çıkış gücü grafiği, optik çıkış gücüne karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği ve diyot lazere verilen akıma karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği, Grafik 5.7, Grafik 5.8 ve Grafik 5.9’da gösterilmektedir.



Grafik 5.7. Lazer kafası 0°C’de sabit iken, diyot lazere verilen akıma karşılık optik çıkış gücü grafiği.

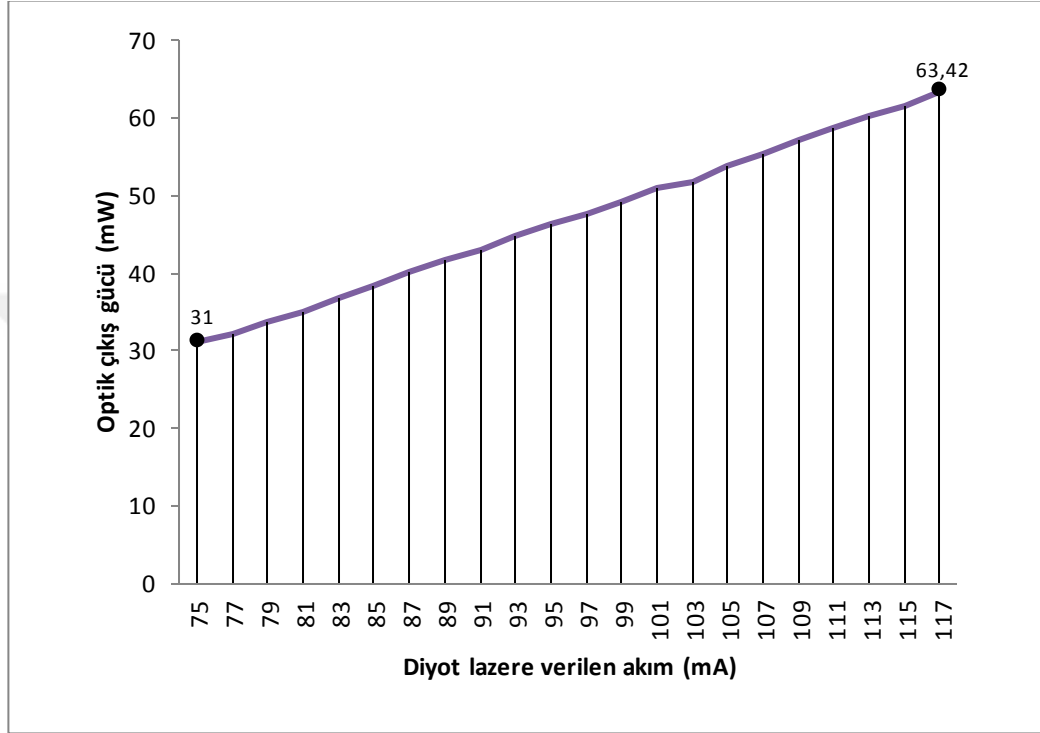


Grafik 5.8. Lazer kafası 0°C’de sabit iken, optik çıkış gücüne karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği.

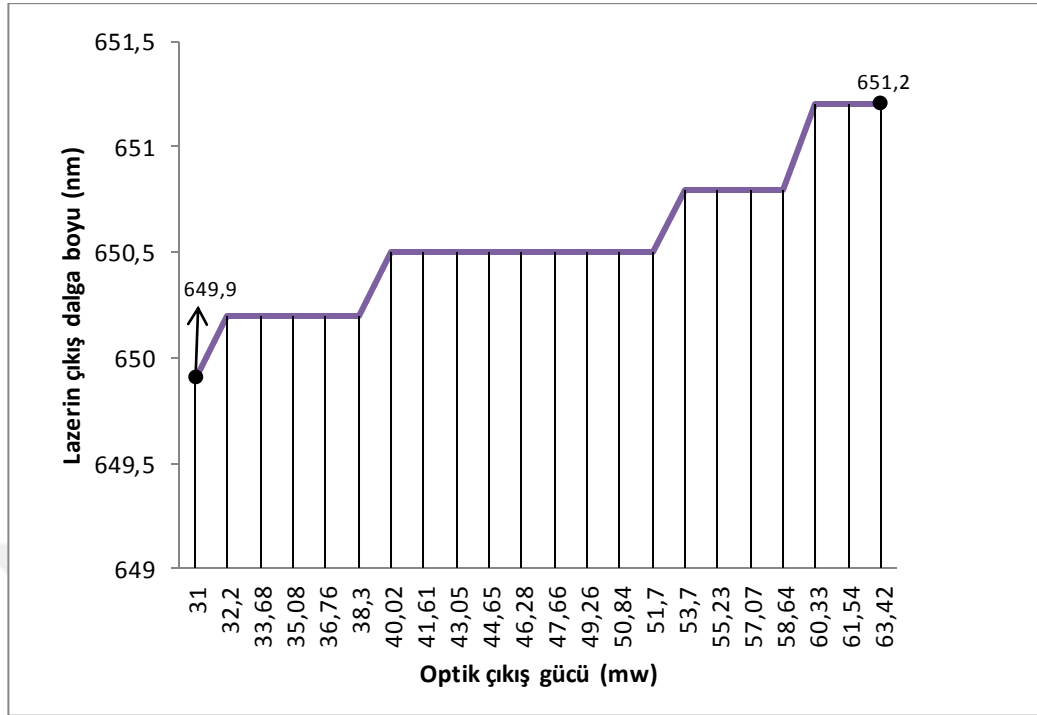


Grafik 5.9. Lazer kafası 0°C’de sabit iken, diyot lazere verilen akıma karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği.

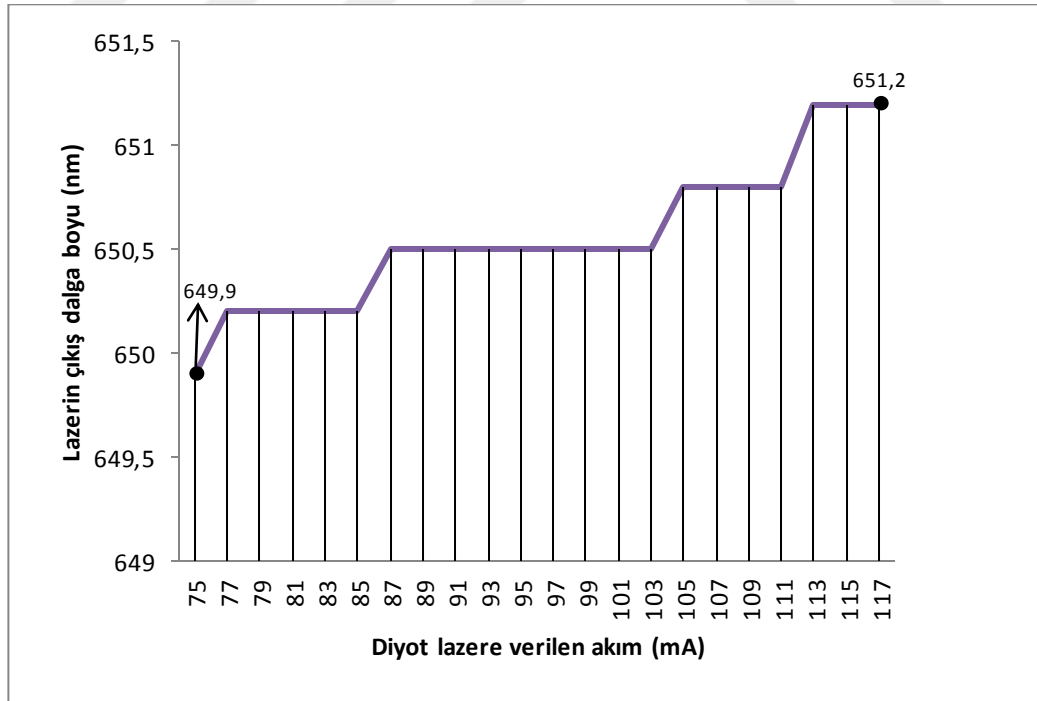
Lazer kafası  $-45^{\circ}\text{C}$ 'de sabit iken çizilen, diyot lazere verilen akıma karşılık optik çıkış gücü grafiği, optik çıkış gücüne karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği ve diyot lazere verilen akıma karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği, Grafik 5.10, Grafik 5.11 ve Grafik 5.12'de gösterilmektedir.



Grafik 5.10. Lazer kafası  $-45^{\circ}\text{C}$ 'de sabit iken, diyot lazere verilen akıma karşılık optik çıkış gücü grafiği.

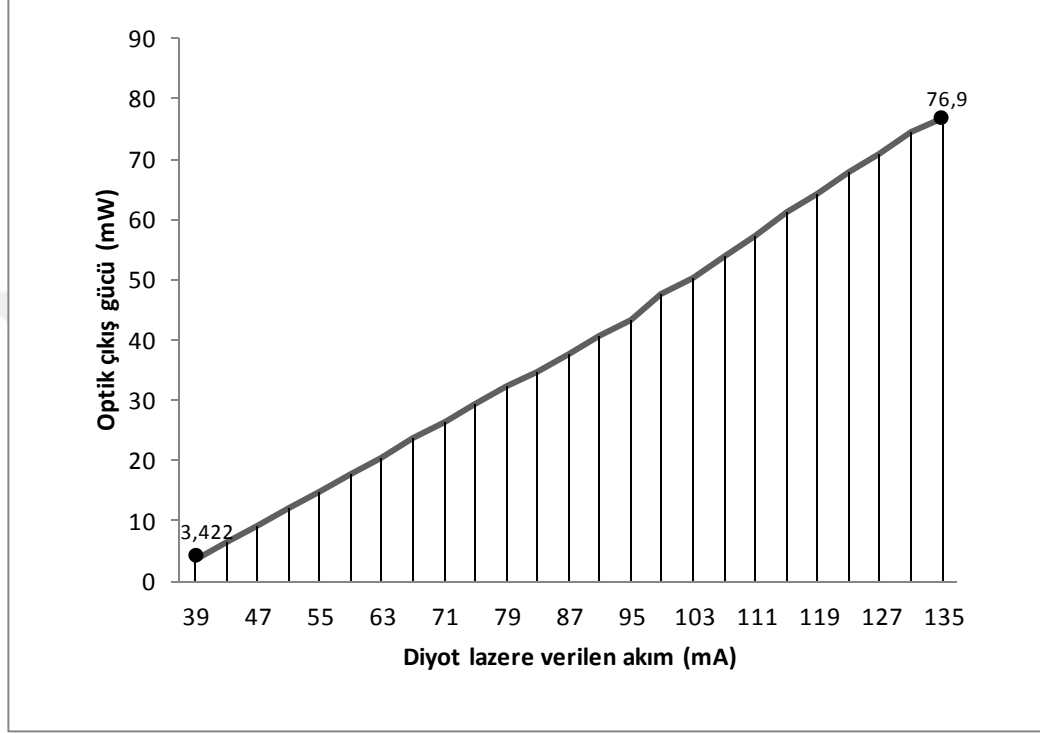


Grafik 5.11. Lazer kafası  $-45^{\circ}\text{C}$ 'de sabit iken, optik çıkış gücüne karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği.

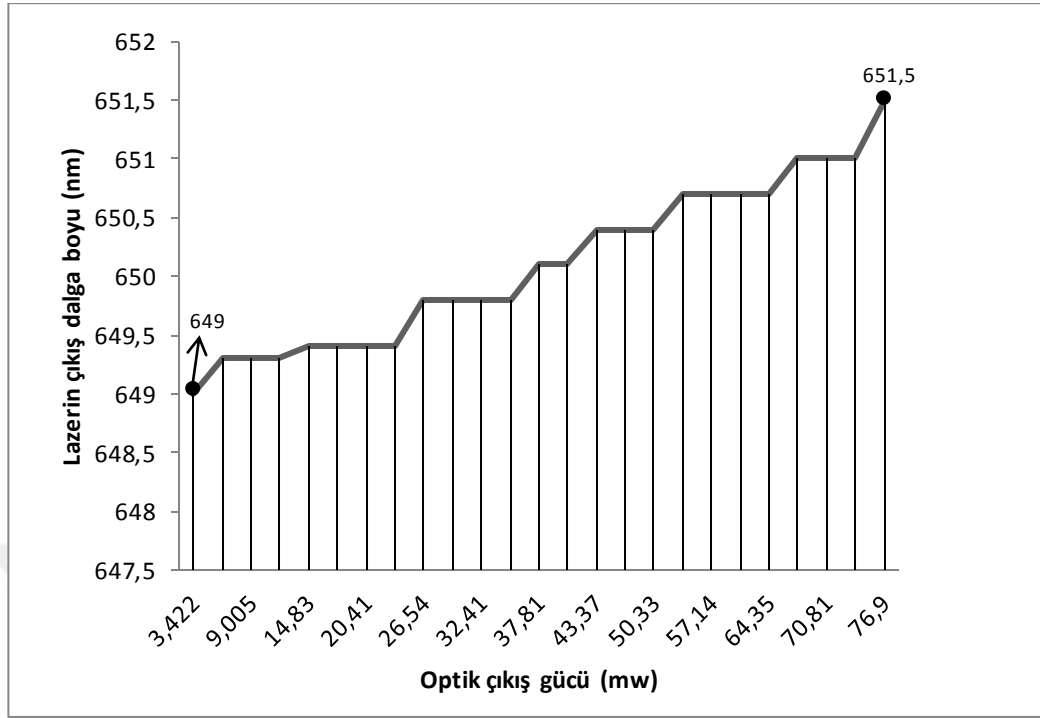


Grafik 5.12. Lazer kafası  $-45^{\circ}\text{C}$ 'de sabit iken, diyot lazere verilen akıma karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği.

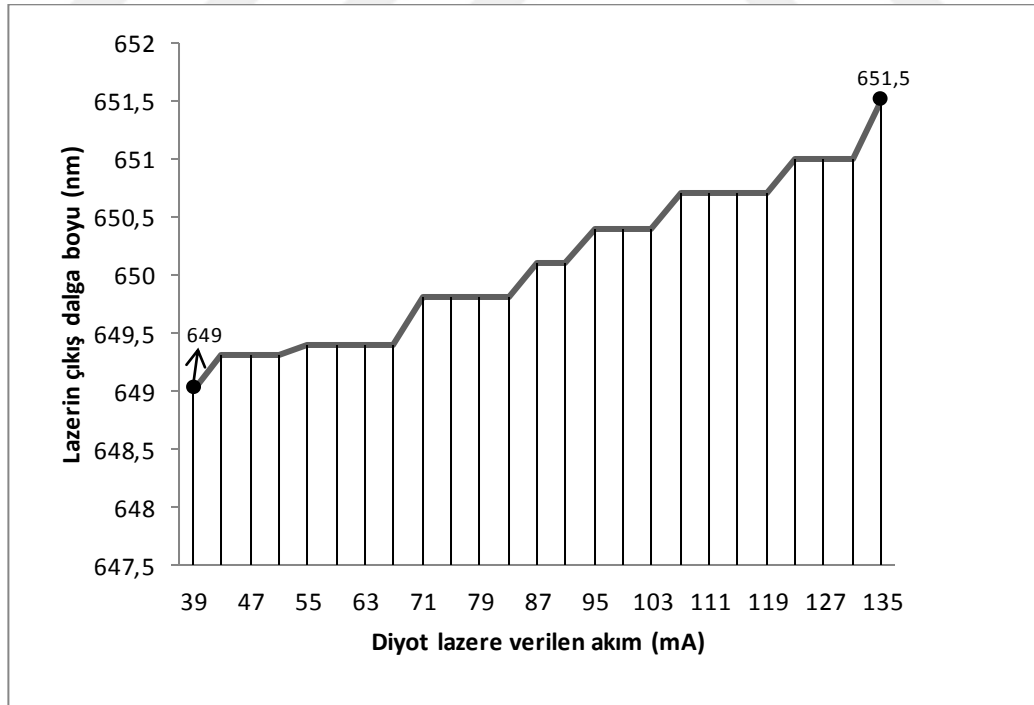
Lazer kafası  $-47^{\circ}\text{C}$ 'de sabit iken çizilen, diyot lazere verilen akıma karşılık optik çıkış gücü grafiği, optik çıkış gücüne karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği ve diyot lazere verilen akıma karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği, Grafik 5.13, Grafik 5.14 ve Grafik 5.15'te gösterilmektedir.



Grafik 5.13. Lazer kafası  $-47^{\circ}\text{C}$ 'de sabit iken, diyot lazere verilen akıma karşılık optik çıkış gücü grafiği.

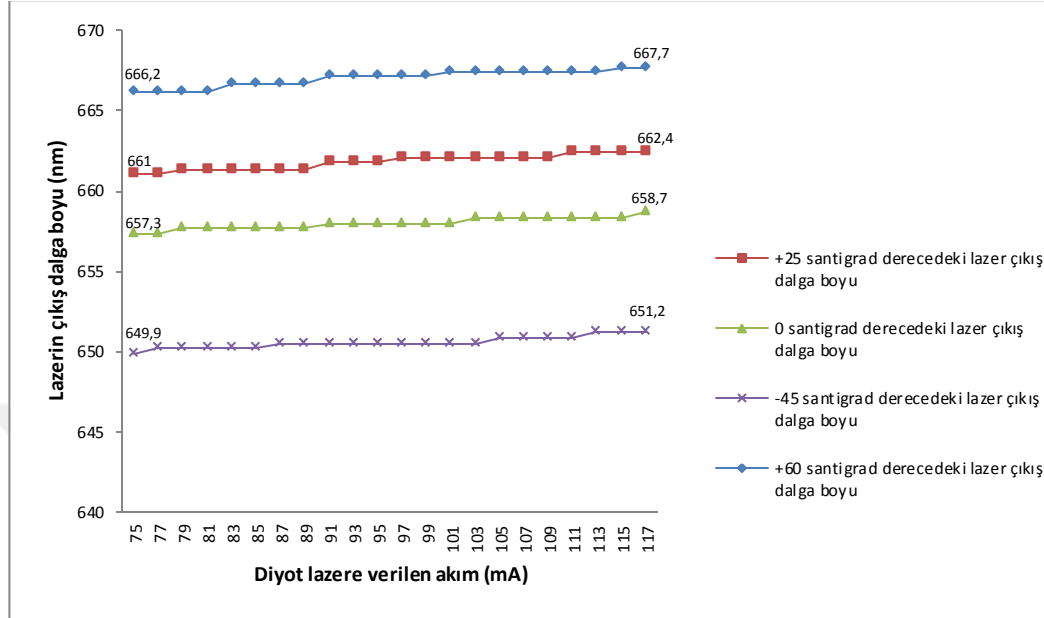


Grafik 5.14. Lazer kafası  $-47^{\circ}\text{C}$ 'de sabit iken, optik çıkış gücüne karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği.



Grafik 5.15. Lazer kafası  $-47^{\circ}\text{C}$ 'de sabit iken, diyot lazere verilen akıma karşılık lazer çıkış dalga boyu grafiği.

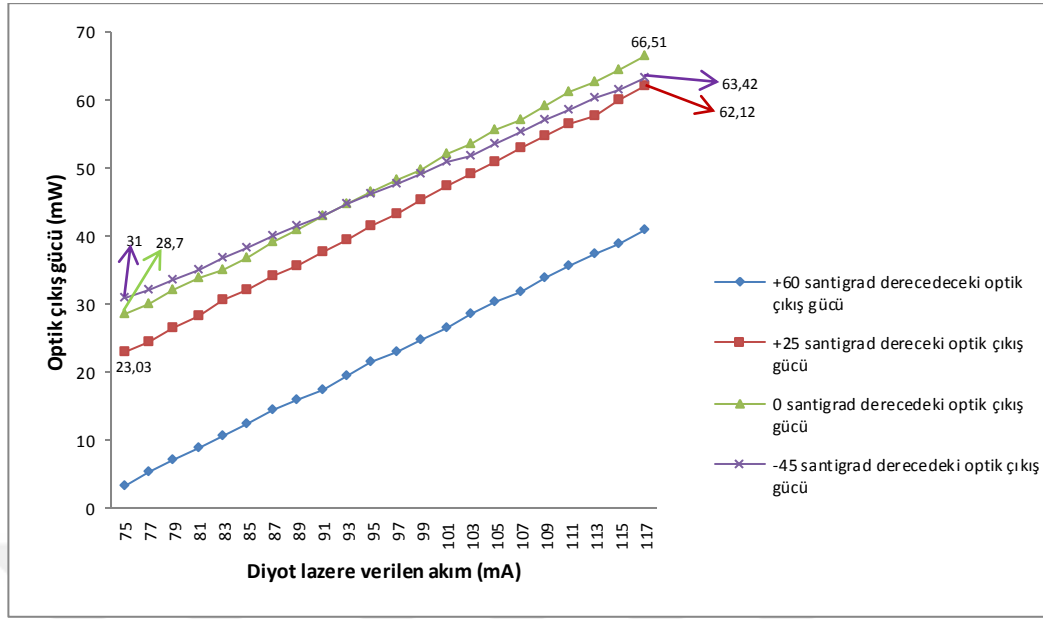
+60°C, +25°C, 0°C ve -45°C'deki diyot lazere verilen akıma karşılık dalga boyu grafiklerinin tek bir grafik üzerinde gösterimi, Grafik 5.16'da gösterilmektedir.



Grafik 5.16. +60°C, +25°C, 0°C ve -45°C'deki diyot lazere verilen akıma karşılık, lazerin çıkış dalga boyu grafiklerinin tek bir grafik üzerinde gösterimi.

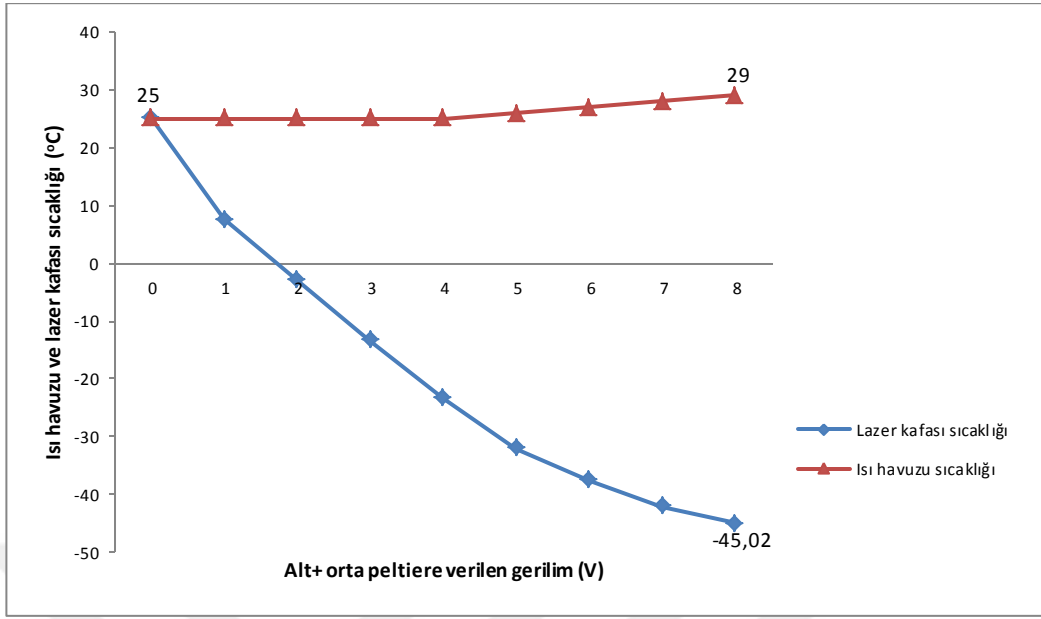
+60°C, +25°C, 0°C ve -45°C'deki diyot lazere verilen akıma karşılık optik çıkış gücü grafiklerinin tek bir grafik üzerinde gösterimi, Grafik 5.17'de gösterilmektedir.





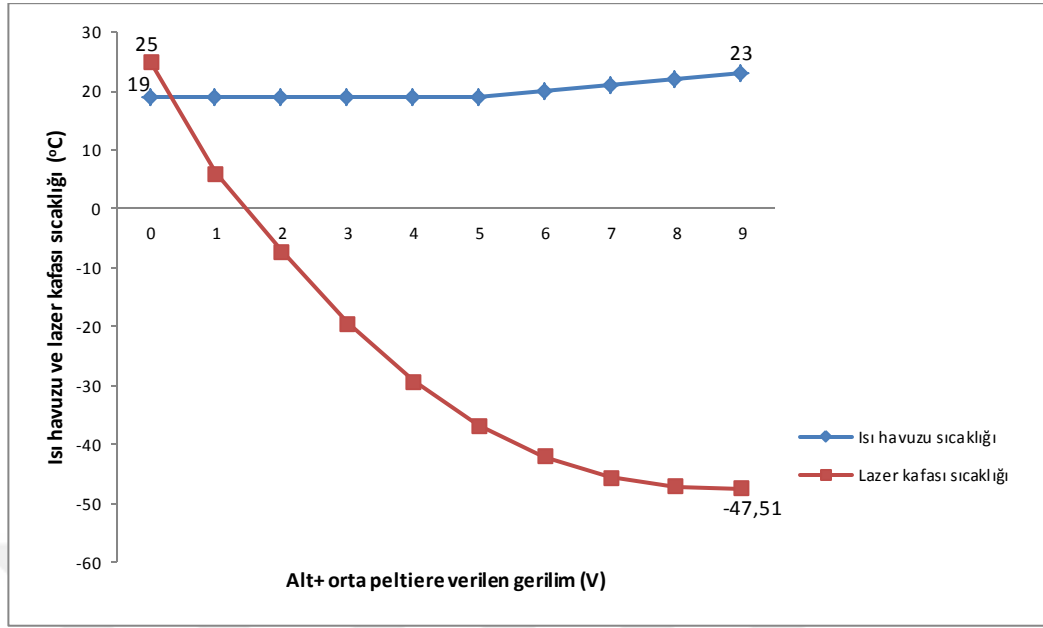
Grafik 5.17. +60°C, +25°C, 0°C ve -45°C'deki diyot lazere verilen akıma karşılık optik çıkış gücü grafiklerinin tek bir grafik üzerinde gösterimi.

Lazer kafası sıcaklığını -45°C'ye indirmek için, alt+orta peltiere verilen gerilime karşılık ısı havuzu ve lazer kafası sıcaklık değişimi, Grafik 5.18.'de gösterilmektedir.



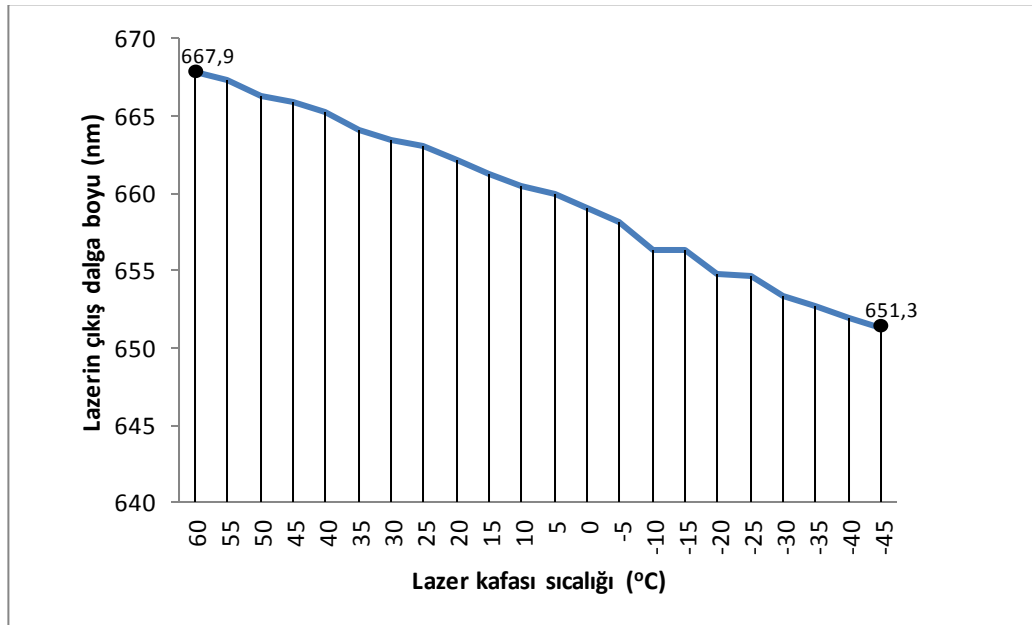
Grafik 5.18. Lazer kafası sıcaklığını  $-45^{\circ}\text{C}$ 'ye indirmek için, alt+orta peltiere verilen gerilime karşılık ısı havuzu ve lazer kafası sıcaklık değişimi grafiği.

Lazer kafası sıcaklığını  $-47^{\circ}\text{C}$ 'ye indirmek için, alt+orta peltiere verilen gerilime karşılık ısı havuzu ve lazer kafası sıcaklık değişimi, Grafik 5.19.'da gösterilmektedir.



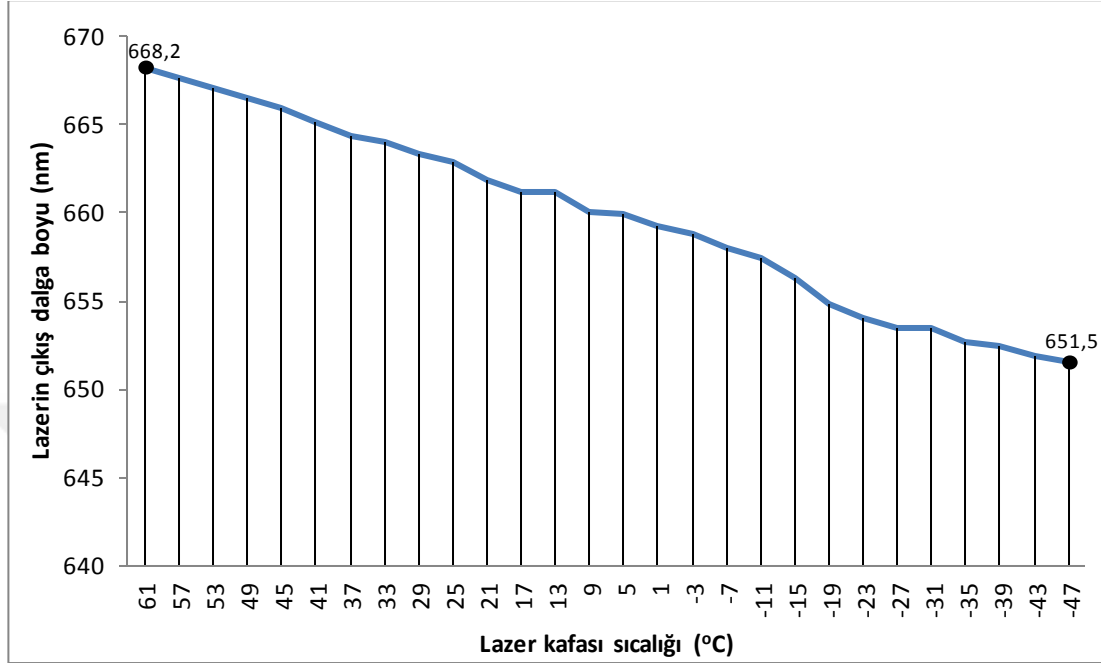
Grafik 5.19. Lazer kafası sıcaklığını  $-47^{\circ}\text{C}$ 'ye indirmek için, alt+orta peltiere verilen gerilime karşılık ısı havuzu ve lazer kafası sıcaklık değişimi grafiği.

Sabit 135mA akım altında  $+60^{\circ}\text{C}$ 'den  $-45^{\circ}\text{C}$ 'ye lazer kafası sıcaklığının değişimine karşılık lazer çıkış dalga boyu değişimi, Grafik 5.20'de gösterilmektedir.



Grafik 5.20. Sabit 135mA akım altında  $+60^{\circ}\text{C}$ 'den  $-45^{\circ}\text{C}$ 'ye lazer kafası sıcaklığının değişimine karşılık lazer çıkış dalga boyu değişimi.

Sabit 135mA akım altında  $+61^{\circ}\text{C}$ 'den  $-47^{\circ}\text{C}$ 'ye lazer kafası sıcaklığının değişimine karşılık lazer çıkış dalga boyu değişimi Grafik 5.21'de gösterilmektedir.



Grafik 5.21. Sabit 135mA akım altında  $+61^{\circ}\text{C}$ 'den  $-47^{\circ}\text{C}$ 'ye lazer kafası sıcaklığının değişimine karşılık lazer çıkış dalga boyu değişimi.

### **Deney-2'den çıkan sonuçlar;**

Tek kipli Hitachi HL6512MG (658nm) diyot lazer önüne harici optik salıncı görevi üstlenen, seçici kırınım ağı koyuldu. Bu kırınım ağı sayesinde optical feedback (optik geri besleme) sağlanarak diyot lazer gain curve (kazanç eğrisi) altındaki birden çok moddan birine kilitlendi (laser mod locking). Bu durumun modların bir moddan diğer moda zıplamasıyla oluştuğu bilindiğinden, literatürde bu duruma, mod hopping denmektedir. Mode hopping yaparak oda sıcaklığında lazer kazanç eğrisi içinden bir moda kilitlenmesi sayesinde o moddaki frekansa duyarlı bir atomla etkileşmesi sağlanabilecek bir HOSDL sistemi kurulmuş oldu. Bu sistem tek bir atomu bile titreştirebilecek boyutlardadır. Lazer kovuğunun (cavity) değişmesine büyümesine yol açan geçirgen kırınım ağı, eşik akımını da düşürmektedir. Cavity'nin de düşmesi sayesinde daha fazla tarama aralığına sahip bir sistem kurulmuş oldu. Kırınım ızgarası  $20^{\circ}$  ile  $23^{\circ}$  arasında çok yavaş bir şekilde el ile çevrilerek, fiber

optik kablo ve spektrometre sayesinde bilgisayarda dalga boyu değişimi gözlemlendi. Bu gözlem gösterdi ki, kırınım ağı diyot lazer önünde  $20^\circ$  ile  $23^\circ$ 'ler arasında çevrildiğinde, yaklaşık 3nm'lik dalga boyu tarama aralığı gözlemlendi.

### ***Sonuç kısmını özetlemek gerekirse;***

1990'lı yılların sonlarına doğru diyot lazerler, akortlanabilir lazer sistemleri içinde yeni ve pek çok üstünlüğe sahip araçlar olarak, atomik araştırmalar konusu başta olmak üzere çok farklı temel bilim ve teknoloji alanında kullanılmaya başlandı.

LD, önüne konulan bir frekans seçici eleman yardımıyla Harici Optik Salıncılı Diyot Lazer (HOSDL) sistemi adını verdiğimiz ve tek bir atomu dahi kontrol edebilen hassas bir araç haline getirildi.

HOSDL sistemleri başta atomların kuantum düzeylerinin kontrolü ve fiber optik haberleşme olmak üzere, pek çok temel ve uygulamalı araştırmanın önemli araçlarından birisi oldu. Ancak tarama aralıklarının birkaç nanometre ile sınırlı olması, mekanik, akustik ve ısıl değişimlere karşı hassas olmaları bu sistemlerin geliştirilmesi için önemli fırsatlar sundu. Yukarıda belirtilen iki sorunun çözümüne ilişkin yaklaşımımız; LD'yi  $-45^\circ\text{C}$ 'ye, hatta  $-47^\circ\text{C}$ 'ye kadar soğutabilecek ve sistemi vakum ortamında çalıştıracak, kullanımı kolay, çok işlevli bir platform üretilip bu platform üzerine diyot lazer dahil ederek, dahil edilen diyot lazerin ışık karakterizasyonunu incelemektir. Şuan gelinen noktada prototip olarak bu platformun prototip üretimi ve üzerine konulan diyot lazerin ışık karakterizasyonu yapıldı.

Kurulan bu sistemde amaçlanan; sisteme ait lazer diyotunu vakum ortamında  $-45/-47^\circ\text{C}$ 'de çalıştırarak, bu sistemin frekans tarama aralığını, oda şartlarındaki frekans tarama aralığının oldukça uzağına taşımaktır. Normal şartlarda seri üretim yarı iletken diyot lazerlerin akortlanabilme dalga boyu tarama aralığı, 6nm ile 8nm arasında iken, kurmuş olduğumuz sistem ile sıcaklığı değiştirilerek 16.5nm'lik bir dalga boyu tarama aralığına ulaşıldı. Vakum ortamı kendi tasarladığımız hava soğutmalı pratik kullanımlı lazer platformu ile sağlandı. Böylece, bu çalışma HOSDL sisteminin atom-foton etkileşimi altında yer alan kullanım

alanının genişlemesine katkıda bulunması beklenmekte. Bu çalışma ile bildiğimiz kadarıyla literatürde bulunmayan bir HOSDL sistemi tasarımı hayata geçirilmiş oldu.

Bu sistem, nano-optik araştırmalarında, malzeme bilimi alanında, laser spektroskopisinde, atomik araştırmalarda, kuantum girişimi konularında akortlanabilir dar bantlı lazer ışık kaynağı gereksinimini karşılayacağı öngörülmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] Galbacs G., “Review of Applications and Experimental Improvements Related to the Diode Laser Atomic Spectroscopy”, Appl. Spectros. Rev., (2006).
- [2] Hayashi I., Panish M.B., Foy, P.W., and Sumski, S., “Junction lasers which operate continuously at room temperature” Appl. Phys. Lett., 17, 109-111s., (1970).
- [3] Fleming, M.W. and Mooradian, A., “Spectral Characteristics of External Cavity Controlled Semiconductor Lasers”, IEEE J. Quantum Electron, (1981).
- [4] Ludeke R., Harris E.P., “ Tunable GaAs laser in an external dispersive cavity”, Appl. Phys., 20, 499-500s., (1972).
- [5] Zoorebedian P., Tunable Lasers Hand Book, edited by F. J. Duarte, Academic, London, (1995).
- [6] Wieman E., and Hollberg L., “Using diode lasers for atomic physics”, Rev. Sci. Instrum., 62 (1), 1-20s., (1991).
- [7] Wieman E., Pritchard and Wineland D. J., “ Atom cooling, trapping and quantum manipulation” Rev. Mod. Phys., (1999).
- [8] Fletcher C.S., Close J.D., Extended temperature tuning of an external cavity diode laser, Appl. Phys. B, 78, 305-313s., (2004).
- [9] Okur, İ., (Çeviri Editörü), “Lazerler”, Değişim Yayınları, İstanbul, 3-21s., (2006). [Milloni, P. W. and Eberly, J. H., “Lasers”, John Wiley & Sons, New York (1988).]
- [10] Okur İ., E.(Çeviri Editörü), “ Optoelektronik ”, Değişim Yayınları, İstanbul, 1-3s., (2000). [J. Wilson and J.F.B. Hawkes, “ Optoelectronics, 2<sup>nd</sup> ed. ” Prentice-Hall, United Kingdom (1989).]
- [11] Milloni, P. W. and Eberly, J. H., “Laser Physics”, John Wiley & Sons, New Jersey, 105-110s., (2008).
- [12] Bacanak, S., “Harici Optik Salmıclılı Yarı İletken Diyot Lazer Sistemlerinde Saydam Frekans Seçici Kırınım Ağı Kullanılması Ve Akortlama Özelliklerinin Araştırılması”, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s., (2014).
- [13] Milloni, P. W. and Eberly, J. H., “Laser Physics”, John Wiley & Sons, New Jersey, 1116-120s., (2008).
- [14] Hecht, E., “Optics, 3<sup>rd</sup> ed.”, Addison Wesley Longman, United States, 115-174s., (1998).
- [15] Verdeyan, J., “Laser Electronics, 3<sup>rd</sup> ed.”, Prentice Hall, New Jersey, 100-150s., (1995).
- [16] Maiman T.H., “Stimulated optical radiation in ruby masers”, Nature, 187-493s., (1960).

- [17] Einstein A., “Zur Quantentheorie der Strahlung”, *Phy. Z.*, 18-121s., (1917).
- [18] Fowles G.R., “Introduction to Modern Optics, 2<sup>nd</sup> ed.”, Holt Rinehart&Winston, (1975).
- [19] Bloembergen N., “Proposal for a new type of solid state maser”, *Phys. Rev.*, 105, (1957), 762.
- [20] Siegman, A.E., “Introduction to Masers and Lasers”, McGraw Hill, NY, 8.bölüm, (1971).
- [21] Li T. And Kogelnik H., “Resonator stability curves”, *Appl. Opt.*, 5-1550s. (1966).
- [22] O’Shea, D.C., Russell W. And Rhodes, William T., “Introduction to Lasers and Their applications. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Co., (1978).
- [23] Born, M., Wolf E., “Principle of Optics 6<sup>th</sup> ed.”, Pergamon Press, Oxford, (1980).
- [24] Siegman, A.E., “Lasers”, Mill Valley, CA University Science, (1986).
- [25] Ready J.F., *Industrial Applications of Lasers*, Academic Press, NY, (1978).
- [26] Wilson, J., Hawkes J.B.F, “Laser Principles and Applications”, Prentice Hall International, UK, (1987).
- [27] Sorokin, P.P, Lankard J.R., *IBM J. Research Development*, 10-162s., (1966).
- [28] Duarte, F.J., “Technology of Pulsed Dye Lasers”, *Dye Laser Principles*, Academic press, New York, (1990).
- [29] Kittel, C., “Introduction to Solid State Physics, 3<sup>rd</sup> ed.”, New York, Wiley, (1968).
- [30] Koehner, W., “Solid State Laser Engineering, 3<sup>rd</sup> ed.”, New York, springer-verlag, (1992).
- [31] Pollack, M.A., “Molecular Gas Lasers”, *Handbook of Lasers*, R.J.Pressly, ed., Chemical Rubber co., (1976).
- [32] Anderson, J.D., “Jr. Gas Dynamic Lasers An Introduction”, New York, Academic press, (1976).
- [33] Mc Clure, D.S., “Electronic Spectra of Molecules and Ions in Solids”, *solid state physics*, 9, 399-529s., (1959).
- [34] Tang, A., Lihan T., Thomas C., Cheug T., Paul Lee Choon Keat, “High Power Laser”, *A technology and Engineering Research Programme (TERP)*, (1999).
- [35] Duley, W.W., “CO<sub>2</sub> Lasers-Effects and Applications, London Academic press, 241s., (1976).
- [36] Karaaslan A., “Lazer İle Malzeme İşlemleri”, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 1-3s., (2009).



- [37] Adeyanju A.A. and Compton W., “Theoretical Determination of a Thermoelectric Module and Heat Sinks Sizing”, *International Journal of Electrical and Power Engineering*, 4, 66-72s., (2010).



## **ÖZGEÇMİŞ**

**Adı Soyadı:** BARIŞ POLAT

**Doğum Tarihi:** 24/10/1988

**Öğrenim Durumu:**

<b>Derece</b>	<b>Bölüm/Program</b>	<b>Üniversite</b>	<b>Yıl</b>
Lise	SÜPER LİSE (YDA)		2002-2006
Lisans	FİZİK	MERSİN ÜNİVERSİTESİ	2007-2012
Yüksek Lisans	FİZİK	MERSİN ÜNİVERSİTESİ	2012-2014