

**VAKUM ORTAMINDA, DÜŞÜK SICAKLIKLI,
TARANABİLEN HARİCİ OPTİK GERİ BESLEMELİ DİYOT
LAZER SİSTEMİ PLATFORMUNUN TASARLANMASI,
KURULMASI VE ÇALIŞTIRILMASI.**

DOKTORA TEZİ

BÜLENT HARUN KILIÇ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
AĞUSTOS- 2021**

**VAKUM ORTAMINDA, DÜŞÜK SICAKLIKLI,
TARANABİLEN HARİCİ OPTİK GERİ BESLEMELİ DİYOT
LAZER SİSTEMİ PLATFORMUNUN TASARLANMASI,
KURULMASI VE ÇALIŞTIRILMASI.**

DOKTORA TEZİ

BÜLENT HARUN KILIÇ
ORCID ID: 0000-0003-3211-7476

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

Danışman
Doç. Dr. Hüseyin MUTLU
ORCID ID: 0000-0002-4770-2873

2. Danışman
Dr. Öğretim Üyesi İbrahim KÜÇÜKKARA
ORCID ID: 0000-0001-5932-8412

**MERSİN
AĞUSTOS - 2021**

ÖZET

VAKUM ORTAMINDA, DÜŞÜK SICAKLIKLI, TARANABİLEN HARİCİ OPTİK GERİ BESLEMELİ DİYOT LAZER SİSTEMİ PLATFORMUNUN TASARLANMASI, KURULMASI VE ÇALIŞTIRILMASI

Yarıiletken lazer diyotları, endüstriyel ve bilimsel uygulamaların farklı alanlarında yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Kompakt olmaları, daha büyük kazanç eğrisi özelliği, kullanım kolaylığı, düşük maliyet ve yüksek elektrik - lazer güç dönüşümü verimine bağlı olarak diğer lazer türlerine göre büyük avantajlara sahip olduklarından giderek önem kazanmaktadır.

Diyot lazerlerin taranabilir olması ise, spektral özellikleri (çoğunlukla spektral saflık) ve sürekli ayarlama aralığı, birçok atomik fizik ile ilgili deney ve uygulamalarda önemli özelliktir. Dar band genişliğine sahip lazer, metroloji ve atomik saatler, lazer soğutma ve yakalama, Elektromanyetik Kaynaklı Şeffaflık (EIT, Electromagnetically Induced Transparency), kuantum girişim etkileri ve yüksek çözünürlüklü spektroskopi deneyleri için kullanılan temel cihazdır.

Bununla birlikte, birçok uygulama için bir soliter diyot lazeri, daha büyük bant genişliği, ışın sapması, zayıf frekans stabilitesi ve geri yansımalarla karşı hassasiyeti nedeniyle gereklilikleri karşılayamaz. Bu dezavantajlara rağmen bir lazer diyotunun spektral performansı, diod çıkışının önüne bir frekans seçim elemanı yerleştirilerek bir dış oyuk oluşturularak önemli ölçüde geliştirilebilir. Bu optik geri bildirim tekniği ile ışının bazı bölümleri, yansıtılan dalga boyundaki dâhili boşluk ışınını zorlayarak lazer diyotuna geri yansır. Harici boşluklu bir diyot lazer (HOSDL) sistemi, geri bildirim olmaksızın çalışan lazerden çok daha iyi spektral saflık gösterir. HOSDL tabanlı sistemlerde en yaygın harici boşluk türü, birinci sıra kırınım demetinin bir frekans seçim elemanı tarafından tekrar lazere geri yansıtıldığı Littrow konfigürasyonudur. Birçok HOSDL, sadeliği ve kullanım kolaylığı nedeniyle Littrow konfigürasyonunda bulunan yansıtıcı kırınım ızgarası esasına dayanmaktadır. Daha güçlü geri besleme yoğunluğu nedeniyle, bu yöntem hat genişliğini önemli ölçüde azaltır ve çıkış ışınının yoğunluğunu stabilize ederken, hassas dalga boyu taramasına izin verir. Ancak böyle basit bir tasarımın önemli dezavantajları vardır. Her şeyden önce, dalga boyu tarama işlemi sırasında, çıkış ışını orijinal konumundan sapar. İkinci olarak mod-hop (Ani optik frekans sıçraması) serbest ayar aralığı sınırlıdır.

Bir iletim kırınım ızgarası, ışın yönlü değişim problemini ortadan kaldırdığı için iyi bir alternatiftir. Ancak bu durum, daha az kararlılığa ve daha geniş hat genişliğine yol açan daha zayıf geri yansıma pahasına kazanılır. Daha güçlü geri besleme ile birlikte, daha uzun boşluk uzunluğu, çizgi (hat) genişliğini azaltır. Ancak maksimum mod-hop da serbest tarama aralığı için daha kısa boşluk şarttır. Ayrıca, geri besleme ve frekans seçimi için ayrı optik elemanlar (örneğin ayna ve girişim filtresi) kullanmak mümkündür, ancak mod-hop serbest ayarının karmaşıklığını artırır.

Sonuç olarak, daha dar hat genişliği ve daha geniş mod-hop, serbest ayar aralığına sahip bir HOSDL sistemi için en çok istenen özelliklerdir, ancak aynı zamanda her iki kullanışlılığı da ele almak mümkün değildir. Dahası, bir iletim frekansı elemanı için dar hat genişliği ve mod-hop serbest ayar aralığı arasındaki etkileşim, çözümü daha karmaşık hale getirmektedir. Diğer bir alternatif, lazer diyodun mümkün olan en düşük sıcaklıkta çalıştırmaktır. Bu, lazer diyotdaki kuantum gürültüsünü, mod-hop ayar aralığından ödün vermeden daha dar bir hat genişliğini sağlayarak azaltacaktır. Ayrıca, yukarıda bahsedilen problemler, HOSDL sistemlerinin iyileştirilmesi konusunda hesaba katılmamış olan bir başka husustur. Diyot lazerler büyük sayılabilecek üretim toleranslarına sahiptir. Bu nedenle, aynı tipteki lazer diyotlar dalgaboyu, güç, eşik, ışın kolu ebadı, ışın sapması, ışın işaretleme olarak farklı davranabilir. Bu büyük toleranslar, lazerin performanslarını iyileştirmek için kullanılabilir.

Bugün yarı iletken diyot lazer sistemleri çeşitli alanlarda kullanılmaktadır ve çoğunlukla bunların üretimi telekomünikasyon endüstrisine bağlıdır. Buna paralel olarak, bunların seri

üretimi fiyatları aşağı çekmektedir. Bununla birlikte, 395nm ila 1570nm dalga boyu aralığını kapsayan, hali hazırda temin edilebilen, düşük maliyetli ve seri üretilen lazer diyotların sürekli bir ayar hattı yoktur. Özellikle, lazerle ilgili spektroskopi eksik spektral kapsama için en büyük dezavantajlardan biri olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, vakum altında (1 mbar), ultra soğuk (217 K), nemden arındırılmış, ayarlanabilir, HOSDL sistemi tasarlıyor ve üretiyoruz.

Anahtar Kelimeler: Lazer fiziği, Termoelektrik soğutucu, Harici optik salımlı diyot lazerler, Kaskat termoelektrik soğutucu sistemler, Lazer spektroskopi, Taranabilen lazerler.

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin MUTLU, Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.



ABSTRACT

DESIGNING, ESTABLISHING AND WORKING TUNABLE EXTERNAL CAVITY DIODE LASER SYSTEM PLATFORM WITH OPTICAL FEEDBACK UNDER LOW TEMPERATURE AND VACUUM.

Semiconductor laser diodes have found widespread use in different fields of industrial and scientific applications. They are becoming increasingly important as they have major advantages over other lasers types due to their compactness, larger gain curve feature, ease of use, low cost and high electrical to laser power conversion efficiency.

If a tuneable diode laser is in question, its spectral characteristics (mainly spectral purity) and continuous tuning range are the primary interests for many atomic physics related experiments and applications. A narrow linewidth tuneable laser is the principle device for use in: metrology and atomic clocks, laser cooling and trapping, Electromagnetically Induced Transparency (EIT, Electromagnetically Induced Transparency) and some other phenomenon based on quantum interference effects and high resolution spectroscopy experiments.

However, for many applications, a solitary diode laser cannot meet the requirements due to its larger bandwidth, beam divergence, poor frequency stability and sensitivity to back reflections. Despite those drawbacks spectral performance of a laser diode can be significantly improved by constructing an external cavity placing a frequency selection element in front of the diode output. With this optical feedback technique, some portions of the beam reflected back into the laser diode by forcing the internal cavity lasing at the reflected wavelength. An external cavity diode laser (ECDL) system shows much better spectral purity than the laser running without feedback. In the ECDL based systems the most common external cavity type, is the Littrow configuration in which the first order diffracted beam is reflected back to the laser by a frequency selection element. Many ECDLs are based on the reflective diffraction grating found in the Littrow configuration for its simplicity and ease of use. Due to stronger feedback intensity this method substantially reduces the linewidth and stabilises the intensity of output beam while allowing coarse and fine wavelength tuning. But such a simple design has important disadvantages. First of all, during the wavelength scanning process, the output beam deflects from its original position and secondly the mod-hop free tuning range is limited.

A transmission diffraction grating is a good alternative since it removes the beam directional variation problem. But this is gained at the expense of weaker back reflection leading to reduced stability and larger linewidth. Along with stronger feedback, longer cavity length reduces the linewidth. But for a maximum mod-hop free scan range, shorter cavity is essential. It is also possible to use separate optical elements (e.g. mirror and interference filter) for feedback and frequency selection but it adds to the complexity of the mode-hop free tuning.

Consequently, for an ECDL system with narrower linewidth and wider mod-hop free tuning range are the most desirable features but it is not possible to handle both usefulness at the same time. Moreover, for a transmission frequency element the interplay between narrow linewidth and mod-hop free tuning range makes the solution more complicated. Another alternative is to run the laser diode at the possible lowest temperature. This will reduce the quantum noises in the laser diode bringing narrower linewidth without sacrificing mod-hop free tuning range. Besides, the problems mentioned above there is another issue that hasn't been taken into the account on the improvement of the ECDL systems. Diode lasers have larger manufacturing tolerances compared with the other types of lasers. Therefore, laser diodes of the same type may behave differently, in wavelength, power, threshold, beam arm size, beam divergence, beam pointing. Those large tolerances can be utilised improving the performances of the laser.

Today semiconductor diode laser systems are used in various fields and mostly their production depends on the telecommunication industry. Correspondingly, their mass production brings the prices down. However, readily available, low cost and mass produced laser diodes covering the wavelength range from 395nm to 1570nm do not have a continuous tuning line. Particularly, for laser related spectroscopy incomplete spectral coverage is being one of the major drawbacks.

In this thesis study, we design and construct ultra-cold (217K), dehumidified, tunable, ECDL system under vacuum (1 mbar).

Keywords: Laser physics, Thermoelectric cooler, External cavity diode laser, Cascade thermoelectric cooler systems, Laser spectroscopy, Tunable lasers

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin MUTLU, Department of Mechanical Engineering, University of Mersin, Mersin.



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca manevi desteklerini hiç esirgemeyen anneme (Allah rahmet eylesin), babama, tezin hazırlanmasında göstermiş oldukları katkılardan dolayı danışman hocam sayın Doç. Dr. Hüseyin MUTLU'ya, bana lazer laboratuvarını açarak çalışmalarına destek olan yardımlarını hiç esirgemeyen ikinci danışmanım Dr. Öğretim Üyesi İbrahim KÜÇÜKKARA'ya, Laboratuar çalışmalarında desteklerini esirgemeyen arkadaşım araştırmacı Barış POLAT'a, 2018-3-TP3-3083 kodlu destekleri ile Mersin Üniversitesi BAP Birimine, Makine Mühendisliği bölüm sekreterliğine, Fen Bilimleri Enstitüsü Sekreteri ve personeline şükranlarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	ii
ONAY	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	x
TABLolar DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
KISALTMALAR ve SİMGELER	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	2
2.1. Işığın Yapısal Nitelikleri ve Işık Kuramları	3
2.1.1. Işığın Dalga Kuramı	3
2.1.2. Işığın Parçacık Kuramı	3
2.2. Lazerler	6
2.2.1. Lazer IşığI Elde Edilmesi, Diyot Lazer ve Optik Geri Beslemeli Diyot Lazer	7
2.2.2. Lazer Işığının Özellikleri	7
2.2.3. Ortam Türüne Göre Lazerler	11
2.2.4. Işıma Türüne Göre Lazerler	12
2.3. Yarı-İletken Diyot Lazerlerin Çalışma İlkeleri	13
2.4. Taranabilen (Tunable) Lazerler	14
2.5. Harici Optik Salınlımlı Diyot Lazerler (HOSDL)	15
2.6. Termoelektrik Soğutucular [TEC, Peltier]	17
2.6.1. Termoelektrik Yapı, Parametreler ve Performans İlişkileri	18
2.6.1.1. Termoelektrik Yapı	18
2.6.1.2. Termoelektrik Soğutucu Parametreleri	19
2.6.1.3. Termoelektrik Soğutucu Performans İlişkileri	19
2.6.1.3.1. Soğutma Gücü, Yüzey Sıcaklık Farkı Grafiğİ	20
2.6.1.3.2. Elektrik Akımına Göre Soğutma Gücü, Yüzey Sıcaklık Farkı Grafiğİ	20
2.6.1.3.3. Farklı TEC'lerin Aynı Isıl Yükteki Yüzey Sıcaklık Farkları Grafiğİ	21
2.6.1.3.4. Termoelektrik Soğutucu Çalışma Sınırları	21
2.6.2. Termoelektrik Malzemelerin Çalışması	22
2.6.2.1. Termoelektrik Soğutucuların Seri ve Paralel Bağlanması	24
2.6.2.2. Termoelektrik Soğutucuların Isısal Olarak Seri Bağlanması (Kaskat)	26
2.6.3. Çalışma Şartlarına Göre TEC'lerin Kullanım Ömrü	27
2.6.4. Termoelektrik Soğutucuların Diğer Soğutma Sistemleri ile Kıyaslanması	28
3. MATERYAL ve YÖNTEM	29
3.1. Sistemin Tasarlanması	29
3.1.1. Kabinin Taşınması Gereken Yapısal Özellikleri	29
3.1.2. Lazer Kafasının Tasarlanması ve İmalatı	31
3.1.3. Kabinin Taşınması Gereken Elektriksel ve Veri Transfer Özellikleri	32
3.2. Deney Tasarımında Kullanılan Ölçüm ve Kontrol Cihazları	35
3.2.1. Işın Karakterizasyonu Ölçüm ve Kontroller	35
3.2.2. Lazer Kontrol Ünitesi	35
3.2.3. TEC Kontrol Ünitesi	36
3.2.4. Sıcaklık ve Nem Kontrol Ünitesi	36
3.2.5. Servo-Motor ve Kontrol Ünitesi	37
3.2.6. Optic Spectrometre	38
3.2.7. Sıcaklık Ölçüm Cihazı	38
3.2.8. Fan Kontrol Ünitesi	39

	Sayfa
3.2.9. Vakum Kontrol Ünitesi	40
3.3. Sistemin Kurulması	41
3.3.1. Taban Termoelektrik Soğutucu, Serpantin ve Soğutucu Fan Montajı	41
3.3.2. Blok (Aluminyum Blok) Termoelektrik Soğutucu Montajı	42
3.3.3. Lazer Kafa ve Lazer Termo Elektrik Soğutucu Montajı	43
3.3.4. Kırınım Izgarası ve Açısal Motor Kontrol Ünitesi Montajı	43
3.3.5. Nem ve Kabin İçi Sıcaklık Kontrol Cihaz Montajı	44
3.3.6. Vakum Basınç Manometresi ve Vakum Pompa Bağlantı Vanası Montajı	45
3.4. Platformun Matematiksel Modellemesi	45
3.4.1. Lazer Kafa Soğutma Yüğü Hesabı	45
3.4.2. Kaskat TEC'lerin Soğutma Etkisinin (COP) Hesaplanması	47
3.4.3. Kaskat TEC'lerde Olan Maksimum Isıl Direnç Hesabı	48
3.4.4. Taban TEC'den Sıcaklığın Atmosfere Atılması İçin Gereken Isıl Direnç Hesabı	49
3.5. Platformun Çalıştırılması	52
3.5.1. Platformun Mekanik Bağlantıları ve Çalıştırılması	52
3.5.2. Platformun Elektrik Bağlantıları ve Çalıştırılması	53
3.5.3. Platformun Veri Kabloları Bağlantısı ve Çalıştırılması	54
3.6. Platforma Lazer'in ve Lazerleme İçin Harici Optik Düzeneğin Kurulması, Çalıştırılması	54
3.6.1. Lazer'in Lazer Kafasına Montajı	55
3.6.2. Geri Besleme Ünitesinin Kurulması	56
3.6.3. Lazerlemenin Elde Edilmesi	57
44. BULGULAR ve TARTIŞMA	60
4.1. Kaskat Termoelektrik Soğutucuların Performans Testleri	60
4.2. Platform Üzerinde Lazer Uygulama Deneyleri	72
4.2.1. Atmosfer Şartlarında Lazerin Güç ve Dalga Boyu İncelemesi	72
4.2.2. Yaklaşık 1 mBar Civarında, -50 °C Sıcaklıkta (Combi Controller Cihazının Maksimum Desteklediği Sıcaklık Değeri) Lazer Işığının İncelemesi	75
4.3. Platformda Oluşan Isıl Yüklerin ve Sistemden Atılmasının Teorik Sonuçları	83
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	92
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	97

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. HOSDL sisteminde karşılaşılan problemlerin tez çalışması ile çözümlenmesi	1
Tablo 2.1. Işık kaynaklarının kıyaslanması	9
Tablo 2.2. Lazer'in kullanıldığı örnek sektörler ve uygulama alanları	10
Tablo 2.3. Lazer diyot dalga boyları	14
Tablo 2.4. Darbeli akortlanabilir ışık kaynağı için dalgaboyu kapsama alanı	15
Tablo 2.5. Sürekli akortlanabilir lazerler için dalgaboyu kapsama alanı	15
Tablo 3.1. PM-100 Optik güç ölçer	35
Tablo 3.2. ITC 510 Lazer diyot kontrol ünitesi (ITC-510 Thorlabs)	36
Tablo 3.3. Sıcaklık ve nem ölçü aleti (TSP-01 Thorlabs)	37
Tablo 3.4. DT 8891E Katolog değerleri	39
Tablo 3.5. Platformda kullanılan TEC'ler için katolog değerleri	48
Tablo 4.1. Birinci kaskat TEC deney sonuçları	61
Tablo 4.2. İkinci kaskat TEC deney sonuçları	62
Tablo 4.3. Üçüncü kaskat TEC deney sonuçları	64
Tablo 4.4. Dördüncü kaskat TEC deney sonuçları	65
Tablo 4.5. Beşinci kaskat TEC deney sonuçları	67
Tablo 4.6. Altıncı kaskat TEC deney sonuçları	68
Tablo 4.7. Yedinci kaskat TEC deney sonuçları	70
Tablo 4.8. Lazer kafa'nın kütle ısı transfer etkisi ($Q_{Kütle}$)	83
Tablo 4.9. Lazer kafanın iletim yolu ile olan ısı transfer etkisi (Q_{iletim})	83
Tablo 4.10. Lazer kafanın taşınım yolu ile olan ısı transfer etkisi ($Q_{Taşınım}$)	84
Tablo 4.11. Lazer kafanın ışıınım yolu ile olan ısı transfer etkisi ($Q_{Işınım}$)	84
Tablo 4.12. Lazer diyot'dan gelen elektrik kaynaklı ısı transfer etkisi (Q_{Lazer})	85
Tablo 4.13. Lazer TEC'den gelen elektrik kaynaklı ısı transfer etkisi (Q_{TEC})	85
Tablo 4.14. Toplam lazer kafasının soğutma yükü (Q_T)	85
Tablo 4.15. Kaskat TEC'lerin tamamının toplam COP değerleri. ($\emptyset$)	86
Tablo 4.16. Taban TEC'de olan maksimum ısı direnç hesabı. ($R_{ısı hav.max}$)	86
Tablo 4.17. Kanatçıklar arası boşluklar (b)	87
Tablo 4.18. Isı havuzu kanat kesit alan hesabı (A_c)	87
Tablo 4.19. Isı havuzu kanatçık çevresi hesabı (P)	87
Tablo 4.20. Isı havuzu kanatçık yüzey alanı hesabı (A_f)	88
Tablo 4.21. Isı havuzu kanatçıklar arası alan hesabı (A_b)	88
Tablo 4.22. Isı havuzu temel alan hesabı (A_t)	88
Tablo 4.23. Kanatçıklar arası hava hızı hesabı (V)	89
Tablo 4.24. Hava için 1 Atm, 298 K şartlarında Prandtl sayısı (Pr)	89
Tablo 4.25. Reynolds sayısı (Re_e)	89
Tablo 4.26. Kanal Reynolds sayısı (Re^*)	90
Tablo 4.27. İdeal Nusselt sayısı (Nu_i)	90
Tablo 4.28. Ortalama ısı transfer katsayısı (h)	90
Tablo 4.29. Genel yüzey verimliliği hesabı (η_0)	91
Tablo 4.30. Isı havuzu ısı direnç hesabı (R_{hs})	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Fotoelektrik olayda metal yüzeye gelen ışığın elektronları koparması	4
Şekil 2.2. Compton saçılmasında saçılan ışık ve kopan elektron	4
Şekil 2.3. Girişim olayında ekranda oluşan aydınlık ve karanlık bölgeler	5
Şekil 2.4. Kırınım olayında dar aralıktan geçen dalganın her yöne saçılması	5
Şekil 2.5. Yüzeye çarpan parçacık da olsa dalga da olsa yansımanın gözlenmesi	6
Şekil 2.6. Kırınım olayında ışının doğrultusunun değişmesi	6
Şekil 2.7. Eş evreli lazer ışığı	8
Şekil 2.8. Işık demetinin odaklanabilirliği	9
Şekil 2.9. Tek eklemli p-n yarıiletken lazer tasarımı	13
Şekil 2.10. Çok eklemli yarı-iletken lazer tasarımı	14
Şekil 2.11. Littrow konfigürasyon harici optik geri beslemeli diyot lazer	16
Şekil 2.12. Zamana bağlı olarak frekans varyasyonlarının ana sebepleri	17
Şekil 2.13. Termoelektrik tarihsel gelişimi	17
Şekil 2.14. Seebeck ve Peltier etkisi	18
Şekil 2.15. Termoelektrik soğutucu yapısı	18
Şekil 2.16. TEC Performans grafiği	20
Şekil 2.17. Farklı elektrik akımlarında TEC'lerin ısı yük ve yüzey sıcaklık farkları	21
Şekil 2.18. Farklı soğutma yüklerine sahip TEC'lerin aynı ısı yüküne karşılık gelen yüzey sıcaklık farklılıkları	21
Şekil 2.19. Giriş gücüne göre performanslı çalışma aralığı	22
Şekil 2.20. Termoelektrik malzemelerin çalışma prensibi	22
Şekil 2.21. Termoelektrik soğutucuların çalışma prensibi ve fiziksel parametreler	23
Şekil 2.22. Termoelektrik malzemelerde doğru ve ters polarite	23
Şekil 2.23. N Tipi yarı iletkenlerin paralel bağlanması	24
Şekil 2.24. N Tipi yarı iletkenlerin seri bağlanması	24
Şekil 2.25. N-P Tipi yarı iletken çiftinin seri bağlanması	25
Şekil 2.26. N-P Tipi yarı iletken çiftinin seri dizisi	25
Şekil 2.27. Kaskat termoelektrik soğutucular	26
Şekil 2.28. Kaskat termoelektrik soğutucuların ulaşabileceği dTmax değerleri	26
Şekil 2.29. Ortam sıcaklığı ve termoelektrik soğutucu çalışma ömrü	27
Şekil 2.30. Ortam sıcaklıklarına göre termoelektrik soğutucu yüzeyler arası sıcaklık farkı (dT) değerleri	27
Şekil 3.1. Kabin alt ve üst kapak bağlantıları	29
Şekil 3.2. Vakum penceresi bağlantısı, vakum pompası bağlantı vanası, elektrik ve veri bağlantı konnektörü	30
Şekil 3.3. Harici optik salınımlı diyot lazer sistem kabini görünüş resimleri	31
Şekil 3.4. Lazer kafa tasarımı	32
Şekil 3.5. Kabin içi ve dışı elektrik bağlantı soketleri	33
Şekil 3.6. Kabin içi ve dışı veri bağlantı soketleri	33
Şekil 3.7. Lazer ve harici optik geri besleme ünitesi kontrol devresi	34
Şekil 3.8. Optik güç ölçer	35
Şekil 3.9. Lazer diyot kombi kontrolör (ITC-510 Thorlabs)	36
Şekil 3.10. Sıcaklık ve nem ölçü aleti (TSP-01 Thorlabs)	37
Şekil 3.11. DC servo motor sürücüsü	37
Şekil 3.12. DC Motor (açısal hareket)	37
Şekil 3.13. USB 2.0 Optik spektrometre	38
Şekil 3.14. DT 8891E K Tipi sıcaklık ölçüm cihazı	38
Şekil 3.15. DC ayarlı güç kaynağı	40
Şekil 3.16. Vakum pompası	40
Şekil 3.17. Taban peltier, soğutucu petek, fan ve kablo bağlantıları	41
Şekil 3.18. Blok termoelektrik soğutucu ve alüminyum blok montajı	42

	Sayfa
Şekil 3.19. Lazer kafa ve lazer termoelektrik soğutucu montajı	43
Şekil 3.20. Kırınım ızgarası ve açılal motor kontrol ünitesi	44
Şekil 3.21. Nem ve sıcaklık kontrolü montajı	44
Şekil 3.22. Manometre ve vakum basınç vana montajı	45
Şekil 3.23. Vakum sisteminin bağlantısı ve çalıştırılması	52
Şekil 3.24. Vakum manometresi ve ortam sıcaklık - nem ölçümü	53
Şekil 3.25. Termoelektrik soğutucular ve fan enerji bağlantıları	53
Şekil 3.26. K tipi sensörler ve sıcaklık ölçümleri	54
Şekil 3.27. Görünür ışık dalga boyu ve renk dağılımı	55
Şekil 3.28. Deneysel amaçlı seçilen 658nm dalga boylu lazer`in katalog değerleri	55
Şekil 3.29. Lazer Diyot`un özel kılıf ve soğutucu alüminyum kafaya montajı	56
Şekil 3.30. Geri besleme ünitesi yerleşimi	57
Şekil 3.31. Geri besleme ünitesi yerleşimi	57
Şekil 3.32. Lazerlemenin elde edilmesi	58
Şekil 3.33. Lazerleme için kombi kontrolör ayarları	59
Şekil 4.1. Birinci kaskat TEC deney sonuçları grafiğı	61
Şekil 4.2. İkinci kaskat TEC deney sonuçları grafiğı	63
Şekil 4.3. Üçüncü kaskat TEC deney sonuçları grafiğı	64
Şekil 4.4. Dördüncü kaskat TEC deney sonuçları grafiğı	66
Şekil 4.5. Beşinci kaskat TEC deney sonuçları grafiğı	67
Şekil 4.6. Altıncı kaskat TEC deney sonuçları grafiğı	69
Şekil 4.7. Yedinci kaskat TEC deney sonuçları grafiğı	71
Şekil 4.8. Deney başlangıcı ortam sıcaklığı	72
Şekil 4.9. Lazerlemenin elde edildiğı kombi kontrolör ayarları	73
Şekil 4.10. Lazer çıkış dalgaboyu (Spectra yazılım verileri)	73
Şekil 4.11. Lazer çıkış dalgaboyu (Spectra yazılım ekran görüntüsü)	74
Şekil 4.12. Kırınım Iızgarası dönme açısı (0°)	74
Şekil 4.13. Lazer çıkış gücü (0.41 mW)	74
Şekil 4.14. Kırınım Iızgarası dönme açısı (23.49°)	75
Şekil 4.15. Lazer çıkış gücü (1.42 mW)	75
Şekil 4.16. ~1 mbar basınç değeri	76
Şekil 4.17. % 0 Nem ölçümü	76
Şekil 4.18. Fan güç beslemesi	76
Şekil 4.19. Taban TEC güç beslemesi	76
Şekil 4.20. Blok TEC güç beslemesi	77
Şekil 4.21. Lazer kafa TEC güç beslemesi	77
Şekil 4.22. 25 °C`de, Atmosfer basıncında, eşik akımında lazer ışık gücü	78
Şekil 4.23. 25 °C`de, Atmosfer basıncında, eşik akımında, harici geri beslemeli lazer ışık gücü	78
Şekil 4.24. -50.03 °C , ~1 mbar basınç değeriinde, eşik akımında lazer ışık gücü	78
Şekil 4.25. 25 °C `de lazer dalga boyunun görüntüsü	79
Şekil 4.26. 25 °C`de, harici optik geri besleme uygulanmış lazer ışını spektrum görüntüsü	79
Şekil 4.27. -50.03 °C sıcaklık, ~1 mbar vakum basıncı şartlarında lazer dalga boyu görüntüsü	80
Şekil 4.28. Kırınım ızgarası hassas akortlama	81
Şekil 4.29. Kırınım ızgarası minimum ve maksimum lazerleme açıları arası dalga boyu değışimi	82
Şekil 4.30. Kırınım ızgarası geri besleme açıları açıları arasındaki minimum ulaşılabilen dalga boyu	82

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simgesi	Tanım
LED	Işık yayımlı diyot (Light Emitting Diode)
LAZER, LASER	Uyarılmış radyasyon emisyonu ile ışığın şiddetlendirilmesi, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
ND:YAG	Neodimiyum katkılı yttrium alüminyum garnet
TEC	Termoelektrik soğutucu (Thermoelectric Cooler)
COP	Performans katsayısı (Coefficient of Performance)
HOSDL, ECDL	Harici Optik Salımlı Diyot Lazer, External Cavity Diode Laser
DC	Doğru Akım (Direct Current)
EIT	Elektromanyetik kaynaklı şeffaflık, (Electromagnetically Induced Transparency)
OPO	Optik parametrik osilatörler

1. GİRİŞ

Harici optik salınlı diyot lazer (HOSDL) sistemleri sürekli ışımaya ve tarama özelliğine sahip lazer çeşididir [1, 2]. HOSDL, diyot lazer önüne harici bir kovuk oluşturmak için koyulan frekans seçici elemanın diyot lazer çıkış ışığının band genişliğini daraltmayı hedefler. Bu lazerin ilk uygulaması 1980 lerde başlamıştır. Haberleşme ağırlıklı çalışan firmaların, diyot lazerlerin gelişmesinde büyük katkıları olmuştur [3]. 1980'li yılların sonunda HOSDL sistemleri spektroskopi alanında da kendini göstermiş ve 100 kHz dar band genişliğine ulaşarak bu frekanslarda ışıma yapma özelliği ile diğer lazer tiplerine göre tercih edilebilirliği ön plana çıkmıştır [3, 4]. HOSDL sistemleri 1990'lı yıllarda, özellikle lazer ile atomik soğutma çalışmalarında, önemi bir hayli artmıştır. HOSDL sistemi ile tek bir atomu dahi kontrol edilebilen dar band genişliğine sahip lazer ışığı elde edilmiştir [5, 6]. Bu ışık eldesi, bilim insanlarına (C. Wieman, E. Cornell, W. Ketterle, "Seyreltilmiş Alkali Gazlarda Bose-Einstein Yoğuşmasının Elde Edilmesi") Nobel Ödülü almalarını sağlamıştır [7].

HOSDL sistemlerinde birçok problem ile karşılaşılmaktadır [3]. Bu tez çalışmasında çözümlenen problemlerin bazıları Tablo 1.1. de verilmiştir.

Tablo 1.1. HOSDL sisteminde karşılaşılan problemlerin tez çalışması ile çözümlenmesi.

Problem	Çözüm
Mekanik ve akustik etkilere karşı yüksek derecede duyarlı olması.	Aluminyum blok kapalı sistem oluşturulması ve platform ayaklarının vibrasyon önleyici ile sabitlenmesi.
Diyot lazerin aktif bölgesinin ve frekans seçici elemanlarının hassas ısısal değişikliklerde lazer çıkış frekansını değiştirmesi.	Kapalı sistemin vakumlanması (%0 RH, ~1mbar). Lazer kafa sıcaklığının termoelektrik soğutucularla (TEC) sabit tutulması.
HOSDL çıkış ışınlarının yetersiz frekans tarama aralıklarının olması.	Bu problemin çözümü iki farklı akortlama yapılarak gerçekleştirilmiştir. 1- Kaba akortlama (Akım ve sıcaklık değiştirilerek) 2- Hassas akortlama (Frekans seçici eleman ile akortlama)

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Optik biliminin tarihsel gelişimi 3 döneme ayrılabilir.

Birinci dönem; Işığın kaynağı, görme, yansıma ve kırılma ile ilgili incelemelerinin gerçekleştiği dönem MÖ 500 ile MS1650 yılları arasındaki dönem

İkinci dönem; Optik ile ilgili çözüm önerilerinin şekillendiği 1650 den 1895 yılları arası

Üçüncü dönem; Çağdaş bilim kuramları temelli araştırma ve keşiflerinin yapıldığı 1895 sonrası dönem [8].

Bugün bile çözümlenememiş bir konu olan ışığın doğası konusu tarih boyunca ışık hakkında zıt görüşlerin öne sürülmesine neden olmuştur [8].

İnsanın nasıl gördüğü sorusu, aslında göz ve görülen nesne arasındaki bağın ne ile ve nasıl kurulduğu sorularının yanıtlanmasını gerektirmektedir. Göz ile nesne arasındaki bağ ışıktır. Bu konuda tartışma yoktur. İkinci kısım tartışmalıdır. Işıklar ya gözden ya nesneden çıkacaktır.

Antik çağdan başlayarak ışığın kaynağı konusunda 3 farklı görüş öne sürülmüştür.

Nesneışın (intromission) Kuramı: Nesne göze ışın ya da veri gönderir (Leukkippos ve öğrencisi Demokritos, MÖ 460; İbn-i Sina, 980-1037; İbn-i Rüşd, 1126-1198; İbn-el Heysem, 965-1039; Kemalüddin el-Farisi, -1320)

Gözişin (extramission) Kuramı: Göz nesneye ışın veya güç gönderir (Alkmeon, MÖ 5.yy; Platon, MÖ427-347; el-Kindi 801-873, Farabi 872-950)

Ortamcı (mediumistic) Kuram: Bağlantıyı aradaki ortam kurar (Aristoteles, MÖ384-322; Galenos) [8].

Sonraki dönemde doğrudan görme, yansıma aracılığıyla görme ve kırılma aracılığıyla görme üzerinde geometrik ve deneysel çalışmalar ile görme merkezli olarak çalışmalar geliştirilmiştir.

12. yy dan sonra Batı Dünyasında optik çalışmalar, İslam dünyasından yapılan çeviri faaliyetleriyle ivme kazandı. Albertus Magnus (1193-1280) Ortamcı Kuramını, Roger Bacon (1214-1294), John Pecam (1220-1292) Gözişin Kuramını, Witelo (13.yy) Nesneışın Kuramını savunmuşlardır [8].

Takiyüddin İbn Ma'ruf (1521-1585) ışığın bir töz (cevher-kendisi var olan) değil, bir ilinek (araz-bir başka şey ile var olan) olduğunu ileri sürmüştür [8].

Leonardo da Vinci (1452-1519) bugünkü anlamda bir dalga modeli geliştirmiş olmasa da ışığın doğasını dalga olarak kabul etmiştir [8].

Yine ışığın kaynağının nesne olması ve sonlu bir hızla yayılması doğruluklarını bir arada savunma da Leonardo'ya aittir [8].

Işık ile ilgili asıl çalışmalar 19. YY'da etkisini göstermiştir. Fakat aynı zamanda konunun fiziksel açıklamaları ile ilgili çalışmaların ilişkilendirildiği kabuller 17. YY'a dayandırılmaktadır. Bu yüzyılda ışığın doğasına ilişkin iki temel varsayım geliştirilmiştir.

- Işık yayıldığı ortamı kaplayan bir dalga hareketidir (Huygens)
- Işık, ışıklı nesnelerce fırlatılan parçacık oluşumudur (Newton) [8].

Işığın elde edilmesi, yayını ve kayıt altına alınması olaylarını inceleyen bilim dalı optiğin, bilim dünyasına tam anlamı ile girmesi, elektronikten, nükleer fizikten ve diğr pek çok bilim dalından sonra mümkün olmuştur. 1960 yılında lazerin pratikte yaşama geçirilmesi, 1970`li yıllardan itibaren düşük-kayıplı fiber optiğin geliştirilmesi ve son olarak 1980`li yıllarda yarı iletken optik aygıtların günlük yaşama girmesi ile modern teknoloji ve onun ürünleriyle yaşam tamamen değişmeye başlamıştır. Optik ve optiğe dayalı teknolojiler, bilim, tıp ve teknolojinin tüm dallarında hızla gelişerek, günümüz uygarlığına en büyük katkıyı yapmış ve yapmaya devam edecektir. İnsanlık için çok önem taşıyan bu gelişmeleri değerlendiren Birleşmiş Milletler (BM), 2013 yılında almış olduğı kararla, 2015 yılını “Uluslararası Işık ve Işığa Dayalı Teknolojiler yılı” olarak kabul etmiştir [9]. Alınan bu karar, Işık ve ışık teknolojilerinin bilimsel ve teknolojik katkısını ve tüm araştırma kurumlarının bu alanlarda daha yoğun çaba harcamalarının önemini işaret etmektedir.

2.1. Işığın Yapısal Nitelikleri ve Işık Kuramları

Işık üzerindeki ilk gözlem ve araştırmalarda ışığın, madde olarak katı, sıvı, gaz halinin içinde yayıldığı gibi, herhangi bir madde olmaksızın boşlukta da yayılma özelliğı göstermektedir. Boşlukta ışığın yayılma hızı, yaklaşık saniyede 300.000 km dir [10]. Hiçbir maddenin, ışaretin veya dalganın hızının ışık hızını geçemeyeceğı 20. YY. başından beri kabul edilmiş olan bir bilimsel değerlendirmedir.

2.1.1. Işığın Dalga Kuramı

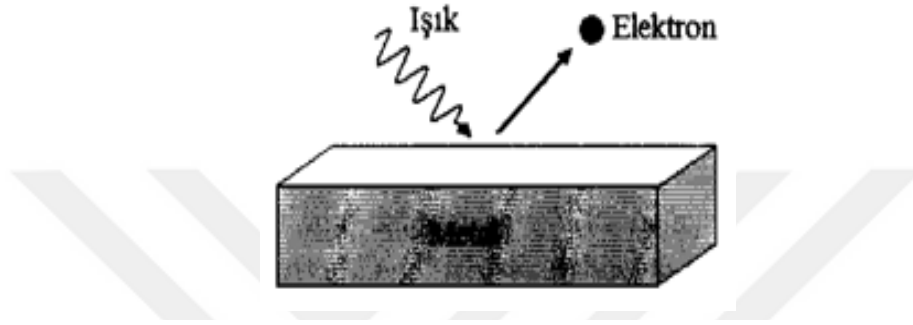
Işığın dalga modeli 17. Yüzyılın sonlarına doğru Christian Hygens tarafından ortaya atılmıştır. Bu modeldeki ışık dalgaları elektromanyetik dalgalardır ve ışık hızı (c) ile hareket ederler. Bu modelde hareket eden dalgalar küçük dalga paketçikleri şeklinde kümelenmişlerdir. Bu küçük dalga paketçikleri kuantumlu tanecikli özellik gösterir. Yani ışığın enerjisi, ancak belirli bir en küçük enerji değerinde veya bu değerin tam katları şeklinde olabilir. Işık dalgalarının bu küçük paketlerine, ışık kuantası ya da foton denir [11].

2.1.2. Işığın Parçacık Kuramı

Parçacık modeli 17. Yüzyılın sonlarında Sir İsaac Newton tarafından ileri sürölmüştür. Bu modele göre ışık, yüksek hızlarda hareket eden çok küçük parçacıklardan oluşmuştur. Hız değeri o kadar büyüktür ki, ışık parçacıkları bir saniyede dünyanın çevresini yaklaşık 7.5 kez dolaşabilir. Bu değr 300.000 km/s `ye karşılık gelen hız büyüklüğüdür. Günümüzde ışık parçacıklarına foton ismi verilmektedir [11] .

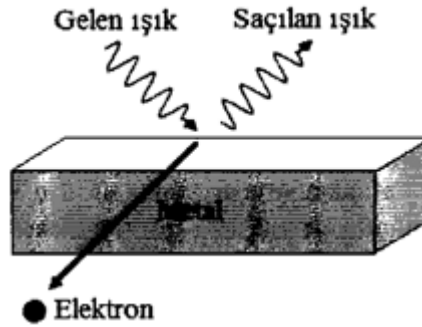
Işığın parçacık özelliğini kanıtlayan olaylar:

Fotoelektrik olay: Bir metal üzerine gönderilen ışığın, Şekil 2.1'deki gibi metalden bir elektronun kopmasına neden olduğu gözlenmiştir. Bu olay fotoelektrik olayı olarak bilinir. Gelen ışığın enerjisi, metaldeki elektronları atomdan koparmaya yetecek kadar büyük olmalıdır. Bir parçacık olan elektronun bir etki ile atomdan kopmasının yolu, ona bir başka parçacıkla vurmaktır [11].



Şekil 2.1. Fotoelektrik olayda metal yüzeye gelen ışığın elektronları koparması [11].

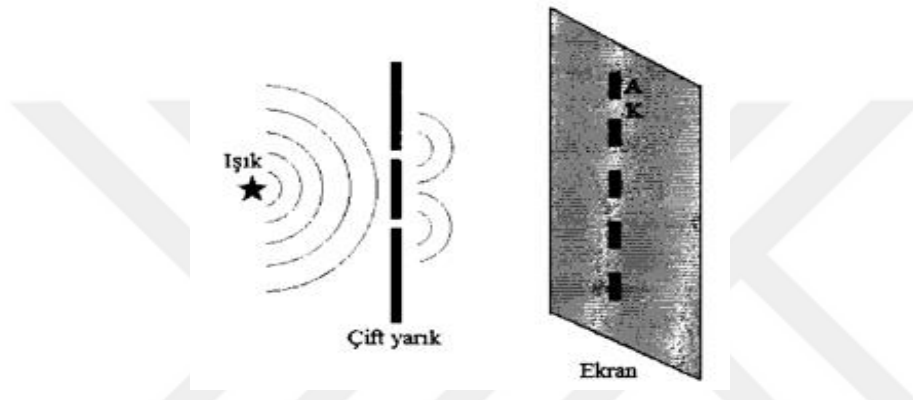
Compton saçılması: Fotoelektrik olaydaki işleyişe benzer bir olaydır. Metale gelen ışık, bir elektron kopmasına neden olurken, tamamen ortadan kaybolmaz. Elektronu koparan ışık, o noktadan enerjisi azalarak saçılmaya uğrar. Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi E_{ilk} enerjili foton, elektron ile etkileşerek enerjisinin bir miktarını elektrona aktarır ve E_{son} enerjisi ile saçılır ($E_{ilk} > E_{son}$) [11].



Şekil 2.2. Compton saçılmasında saçılan ışık ve kopan elektron [11].

Işığın dalga özelliğini kanıtlayan olaylar:

Girişim olayı: İki ya da daha fazla dalganın, herhangi bir noktada birbirlerini kuvvetlendirmesi ya da yok etmesi olayına, girişim denir. Farklı ışık kaynaklarından bir yüzeye düşen ışığın, belirli şartlar altında kimi zaman daha parlak kimi zaman daha karanlık bölgeler oluşturması, ışığın ancak dalga özelliği ile açıklanabilecek bir olaydır. Aydınlık parçacıklar olan fotonların, bir noktada karanlık bölge oluşturması elbetteki düşünülemez. Şekil 2.3.'te iki küçük yarıktan geçen ışınların ekranda oluşturdukları aydınlık (A) ve karanlık (K) bölgeler görülmektedir [11].



Şekil 2.3. Girişim olayında ekranda oluşan aydınlık ve karanlık bölgeler [11].

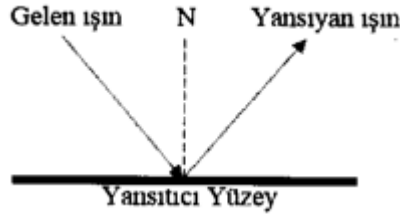
Kırınım Olayı: Dalgalar kendi boylarına yakın ya da kendi boylarından daha küçük aralıklardan geçerken, ilerleme doğrultularından saparak, aralık noktasından her yöne doğru saçılmaya uğrarlar. Bu olay kırınım olayı olup, ışık içinde gözlenen bir olaydır. Şekil 2.4.'de aralığa doğrusal gelen dalgaların, kırınıma uğrayarak dairesel şekilde her yana yayılması gösterilmiştir [11].



Şekil 2.4. Kırınım olayında dar aralıktan geçen dalga'nın her yöne saçılması [11].

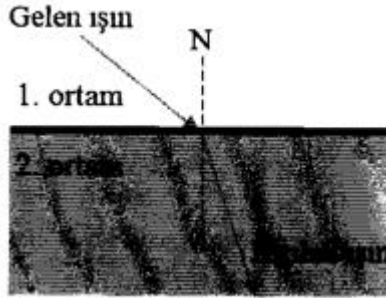
Işığın hem dalga hem parçacık özelliğini kanıtlayan olaylar.

Yansımada: Işığın, ayna veya parlak yüzeylerden yansması gözlemlenmiş olup, bu gözlem ile ışığın parçacık ve dalga olduğu sonucu çıkarılmıştır. Şekil 2.5.'de yansıtıcı bir yüzeye gelen ışığın yansması gösterilmiştir [11].



Şekil 2.5. Yüzeye çarpan parçacık da olsa dalga da olsa yansımanın gözlenmesi [11].

Kırılma: Işık herhangi bir ortamdan diğer farklı bir ortama dik olarak gelmediği sürece, yolunda bir miktar sapma, kırılma meydana gelerek yoluna devam eder. Şekil 2.6.'da görülen bu kırılma olayı hem parçacık hem de dalga özellikleri ile açıklanabilir [11]



Şekil 2.6. Kırınım olayında ışının doğrultusunun değişmesi [11].

Günümüzde ışığın ve tüm parçacıkların, hem dalga hem de parçacık özelliği gösterdiği bilinmektedir. Uygun şartlar altında kimliğini parçacık gibi gösteren ışık, diğer başka uygun şartlarda ise dalga gibi davranır [11].

2.2. Lazerler

Lazerler çeşitli yöntemlerle elde edilen bir ışık kaynağıdır. Bunlardan biriside; Yarı-İletken Diyot Lazerlerdir. Yakın bir tarihi geçmişe sahip olan diyot lazerlerin, yapılan araştırmalar ile (Optik geri besleme gibi.) performansı artırılmıştır. Bu performans artışına rağmen, lazer üzerindeki performansı etkileyen problem olarak görünen çevresel etkenler, diyot lazer üzerine daha fazla araştırma ve geliştirmelere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

2.2.1. Lazer Işığı Elde Edilmesi, Diyot Lazer ve Optik Geri Beslemeli Diyot Lazer

Lazer bir ışık kaynağıdır. Fakat onu diğer sıradan ışık kaynaklarından ayıran, ışığının özellikleri ve onu üretme şeklidir. Lazer kelimesi bu özel ışığın oluşturulma işleminin baş harflerinden türetilmiştir. Radyasyonun uyarılmış salınması yoluyla ışığın şiddetlendirilmesine LAZER (Laser – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) denir [12]. Her madde atomlardan ve moleküllerden oluşmaktadır. Madde içinde bulunan moleküller ve atomlar titreşim hareketi yaparlar. Bunların etraflarındaki yük taşıyıcıları, dışardan bir etkiyle harekete geçirilirse, bulundukları enerji seviyesinden bir üst enerji seviyesine geçerler. Tekrar alt enerji seviyelerine geçerken almış oldukları bu enerjiyi ışık olarak verirler. Normal ışığın işlenerek özelleştirildiği; yani ışık dalgalarının eşevreli (uyumcul, koharent, ahenkli), yaklaşık tek renkli (monokromatik) ve dar bant genişliğine sahip olduğu özel bir ışık kaynağıdır [10].

Sıradan ışık kaynaklarının (mum alevi, akkor ampul, floresan, güneş vb) ışımaları kaynak içerisindeki atomların tamamen gelişigüzel yönde titreşmesinden ve uyarılmasından sonra tesadüfi bir şekilde ışıma yapmasından oluşur. Oysa lazer ışık kaynakları böyle değildir. Lazer işleminin olduğu ortam içindeki atomlar birbirleri ile faz ilişkisi içinde ve yayımladıkları fotonlar, birbirlerine faz ve dalga boyu (ya da diğer bir deyişle enerji ve frekans) açısından bağlıdırlar. Parçacıklarının birbirleri ile faz ilişkisinin bulunduğu böyle durumlara eşevrelilik denir.

2.2.2. Lazer Işığının Özellikleri

1- Eşevrelilik:

Eşevrelilik, dalgaların birbirleri ile etkileşme biçimleri nedeni ile önemli bir özelliktir. Işık dalgaları aynı anda uzayda aynı hacmi doldurabilirler. Dalgalar aynı anda uzayda aynı hacmi doldurdıklarında birleşerek, tek tek dalgaların toplamından oluşan ve toplam dalga olarak adlandırılan yeni bir dalga oluştururlar. Eğer dalgalar eşevresiz ise, yani dalga tepeleri ve çukurları üst üste gelmiyorsa, dalgalar birbirlerini yok edebilirler. Sonuçta ortaya çıkan toplam dalga, kendini oluşturan dalgalardan daha zayıf olabilir. Ya da dalgaların tümünün tepeleri ve çukurlarının üst üste geldiğini düşünürsek, üst üste gelen toplam dalganın oluşturduğu genlik kendini oluşturan dalgaların genliğinden daha büyük olur. Bu dalgalardan çıkan ışık daha parlak olur. Lazer ışığında gerçekleşen olayda tam olarak budur. Dalgalar birbirleri ile aynı evrededir ve bu yüksek eşevrelilik lazer ışığının yoğun ve parlak olmasını sağlamaktadır [Şekil 2.7.]. Eşevrelilik durumu toplam dalga genliğini artırdığı için bir tür şiddetlendirme (amplifikasyon) işlemi olarak kabul edilebilir [10].



Şekil 2.7. Eş evreli lazer ışığı [10].

2- Tek renklilik:

Güneş ışığını oluşturan Gökkuşağının renkleri bize normal ışık kaynağı olan güneş ışığının çok renkli bir ışık olduğunu göstermektedir. Diğer normal ışıklarda (mum, ampül, yıldızlar) ışık kaynağına göre farklı renkteki çok sayıda ışığın birleşmesinden oluşur. Lazerlerin ürettiği ışık ise tek renklidir ve lazer çıkış rengi özelliğini korur. Hangi ortamdan geçerse geçsin, gökkuşağı tarzı farklı renklerde bir ışık oluşturmaz. Bunun anlamı, salıncılarda (rezonatörde) oluşturulan boyuna ya da enine kiplerin (modların) frekans dağılımının mümkün olduğunca tek düze yani aynı frekans değerine sahip olması tercih edilir [10].

3- Çizgi genişliği (Bant genişliği):

Tek renklilik ışığın saflığı ile ilgilidir. Bu saflığı bozan durumlar olduğu gibi ışığın saflığının da bir ölçüsü vardır. Bu ölçü çizgi genişliği (bant genişliği) olarak adlandırılır.

4- Yönlendirilebilirlik:

Hiçbir ışık kaynağı, mercek veya aynaların yardımı ile veya onlar olmaksızın kesin tanımlı ve minimum açısal yayılmaya sahip bir demet üretemez. Lazer kovuğu çıkış aynası üzerine düşen ışık demetindeki her nokta birbirine oldukça paraleldir. Bu, lazer kovuğunun her iki yanındaki aynaların çok düzgün yapılanmasından kaynaklanmaktadır. Tek kipli bir lazer demeti rezonans kovuğunun geometrik tasarımından ve uyarılmış yayınının ikiz fotonlar üretmesi yüksek dereceli yönlülüğün gerçekleşmesini sağlar [13].

5- Parlaklık:

Lazer demetinin büyük ölçüde yönlendirilebilirliğinden dolayı tipik bir lazerin ışıması için parlaklık (birim alana düşen güç) sıradan elektromanyetik radyasyon kaynaklarından çok daha

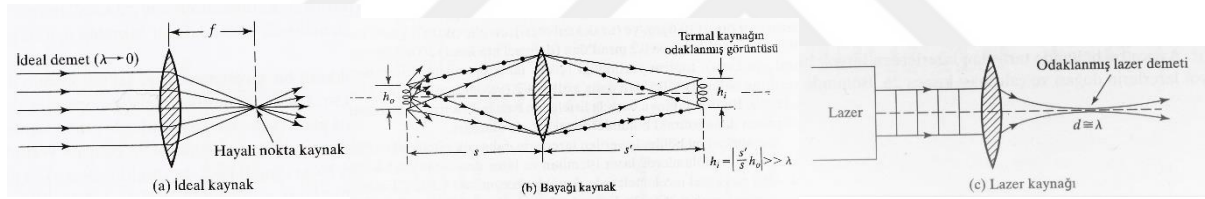
büyüktür. Lazerlerin cinsine göre değişmesi ile birlikte, 1 metre mesafedeki parlaklık diğer ışık kaynaklarına göre kıyaslanamayacak kadar büyüktür [13].

6- Darbeli çalışma:

Lazerler, birçok uygulama alanında, sürekli dalga özelliği ile sabit ışıma şeklinde değil de bir femto-saniye (fs) mertebelerinde periyotlarla kesintili ışıma yapmaları istenir. Lazer enerjisinin kontrolü, malzeme işleme uygulamaları, uçuş zamanı uzaklık ölçümleri, sistemlerin özelliklerindeki hızlı değişimlerin takip edilmesi gibi uygulamalarda faydalı bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır [13].

7- Odaklanabilirlik:

İyi bir odaklanabilirlik için ışık kaynağından gelen ışık demetinin enine doğru bir uzanımına sahip olması gerekir. Lazer dışı kaynaklardan gelen ışık demetinin önemli bir kısmı küçük bir noktaya odaklanamaz. Lazer ışık demeti ise enine uzanımının küçük olması, yüksek derecede bir yönlülüğe sahip olması bir merceğin demetteki bütün gücü almasına ve merceğin odak noktasında yoğunlaşmasına sebep olur (Şekil 2.8.) [13].



Şekil 2.8. Işık demetinin odaklanabilirliği [13].

Lazerler kendi aralarında lazer ortamın fiziksel özelliklerine göre ya da yaptıkları ışımanın özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. Lazerlerin çalışma ortamının yapısına göre sınıflandırılmada katı lazerler, boya (sıvı) lazerler, gaz lazerler ve yarı-iletken diyot lazerler olarak dört çeşit lazer türü vardır. Işıma türüne göre ise darbeli (pulsed), sürekli ışımalı (continuous wave, cw) ve taranabilir (tunable) lazerler olarak alt gruplar oluşturulabilir.

Konvensiyonel ışık kaynakları ile lazer ışığının kıyaslanması Tablo 2.1. de verilmiştir.

Tablo 2.1. Işık kaynaklarının kıyaslanması [14].

Konvensiyonel ışık kaynağı	Lazer ışık kaynağı
Konvensiyonel ışık kaynakları kendiliğinden yayılım yapar.	Lazer ışığı uyarılmış yayımlama yapar.

Farklı dalga boylarına sahip fotonlardan oluşmuş elektromanyetik dalgaların karışımıdır. Aynı dalga boylu fotonlardan oluşmaktadır.

Tek renkli değildir. Bu sebeple saf ışık kaynağı değildir. Tek renkli (monokromatik) bir ışık kaynağıdır. Bu sebeple saf ışık kaynaklarıdır.

Spektral olarak düzensiz hareketli, geniş bir ışık kaynağıdır. Bu sebeple yalnızca birkaç metre bozulmadan ilerleyebilir. Lazer ışığı yönü belirli ve tutarlı bir dağılım gösterir. Bu sebeple yüzlerce metre bozulmadan ilerleyebilir.

Odaklanma hassasiyeti düşüktür. Hassas odaklanma gösterir(<1 µm)

Normal sıradan ışık bölgesel aydınlatmalar için kullanılmaktadır. Lazer ışığı ise odaklanma, güç ve mesafenin önem kazandığı alanlar için kullanılmaktadır. Günümüzde lazerlerin kullanıldığı sektörler ve uygulama alanları aşağıda birkaç örnekle açıklanmış ve bu örnekler yeni uygulama alanlarının da oluşması ile hızla gelişmektedir (Tablo 2.2.)[14][15].

Tablo 2.2. Lazer'in kullanıldığı örnek sektörler ve uygulama alanları.

Sektörler	Proses	Uygulama	Lazer Türü
İmalat sanayisinde malzeme üretiminde ve işlenmesinde	Lazerli ayırma ve talaş kaldırma.	Delme, kesme, oyuk açma, mayın tarama vb.	Nd:YAG, CO ₂
Ölçmede, muayenede ve analizlerde	Lazerle ölçüm	Uzunluk, kalınlık, konturlar, yuvarlaklık, Ovallık, kat edilen mesafe, titreşim, malzeme içerik analizleri	Diyot Lazer, Nd:YAG
Kumanda kontrol tekniğinde.	Lazerle uzaktan kontrol (on-line)	Temassız kontrol	Diyot lazer

Kozmetik ve sağlık	Lazerle ısıtma	Diş operasyonları ile göz operasyonları, cilt tedavisinde	Diyot lazer, Eksimer, Argon florür
Savunma sanayinde	Lazerin silah olarak kullanılması	Silah üretimi	Nd:YAG, Erbiyum cam
Gösteri, eğlence ve reklam sektöründe	Lazer tarama	Lazerli ışık gösterileri, CD, DVD çalarlarda	Diyot Lazer
İletişimde ve haberleşmede	Lazer sinyalleriyle kodlama	Fiber optik kablolar kullanılarak uzak mesafelere aktarılması	Diyot lazer

2.2.3. Ortam Türüne Göre Lazerler

1- Katı hal lazerler

Katı hal lazerler, ana maddesi kristal veya cam olan, lazer malzemesi olarak ilave edilen geçiş metalleri (krom, nikel, kobalt gibi) iyonlardan elde edilir. Yakut lazer ilk geliştirilen lazer tipidir. İlerleyen dönemlerde Nd:YAG (Yttrium-Aluminium-Garnet ana malzeme ve lazer malzemesi olarak Neodimyum,Nd) lazerlerin geliştirilmesi ile katı hal lazerlerin endüstride kullanımı hızla artmıştır. Burada alüminyum oksit kristali yerine İttriyum, alüminyum ve garnet (lal taşı) kullanılmaktadır. Yakut lazere göre sert, kolay parlatılabilir ve iyi ısıl geçirgenliğe sahip özelliklerinin olmasının yanında, çubuğun, imalat zorluklarından dolayı istenildiği kadar uzun üretilmemesi ve pahalı olması bir dezavantajdır [16].

2- Sıvı (Boya) lazerleri

Sıvılar hem katı hem de gazlara göre bir takım avantajlara sahiptir. Katıların, optik homojenliği sağlama alınarak hazırlanmaları zordur ve eğer ısıtılırlarsa kalıcı hasar kolayca elde edilebilir. Gazlarda bu problem yoktur, fakat aktif atom yoğunluğu oldukça azdır. Birçok farklı sıvı lazerleri geliştirilmiştir. Bunların en önemlileri boya (dye) lazerleridir. Belli dalga boylarında

taranabilmeleri (tuning) sebebiyle bir avantaja sahiptirler. Bu özellik spektroskopi ve kimyasal reaksiyon çalışılmasında oldukça önem kazanmaktadır[12].

3- Gaz lazerleri

Lazer ışınının üretiminde uyarıcı olarak kullanılan madde gaz formundadır. Kapalı sızdırmaz bir kap içerisindeki gaz, tüp şeklindeki bu kabın üzerinde bulunan elektrodlarla uyarılarak lazer ışını elde edilmektedir. Gaz lazerler atomik; helyum-neon (He-Ne) ve argon-iyon (Ar^+) lazerleri, moleküler; karbondioksit (CO_2) lazeri olarak geliştirilmiştir [13]. Karbondioksit lazerler yüksek güçlü çıkış vermesinden dolayı, endüstride malzeme işleme amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.

4- Yarı-iletken diyot lazerler

Yarı iletken lazerler yapı olarak led diyotlara benzerler. Led diyotlardan farkı ışık olarak daha güçlü tek renk ve eş evreli olmasıdır. Yarıiletken diyot lazer, güçlü ve yoğun hale getirmek için Si, In, Ga, As, GaAs gibi katkı maddeler kullanılır. Diyot lazerler genellikle galyum arsenid ve bunların alüminyumu kapsayan formları ile değiştirilerek elde edilir. En yaygın tip diyot lazer Ga A/AS den yapılanıdır [17].

Diyot içine elektronlar enjekte edilmek suretiyle boşluklarla birleşmesi ve elektronlardaki aşırı enerji ile foton yaymasını sağlarlar. Bu fotonlar lazer akımını meydana getirir.

Diyot lazerler P ve N tipi yarı iletkenlerden oluşur. Bu tarz lazerlerde p ve n tipi malzemelerin bağlantı uçlarına voltaj uygulandığında negatifden pozitif doğru elektron akışı sağlanmış olur. Bu akış ile elektronlar enerjilerini kaybeder. Netice olarak foton yayarlar. Bu fotonların elektronlara tekrar çarpmasıyla foton üretiminin artmasına neden olur. tekrar elektronlara çarparak, bu elektronların daha çok foton üretmesine sebep olurlar. Fotonların yeterli sayıya ulaşması demek lazerlemenin elde edilmesi demektir. [17].

Diyot lazerler imalatlarındaki optik özelliklerine göre endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır [17].

2.2.4. Işıma Türüne Göre Lazerler

1- Darbeli lazerler:

Bu lazerlerin ışımaları çok kısa aralıklı atmalar şeklinde olur. Atma uzunluğu nano-saniye (10^{-9}) sn ile atto-saniye (10^{-18}) sn aralığında dır. Nd:YAG lazerleri çok kullanılan darbeli lazerlere iyi bir örnektir. Ayrıca son yıllarda geliştirilen femto-saniye (10^{-15} sn) lazerleri de ticari olarak bulunmaktadır.

2- Sürekli ışımalı (Continuous wave, cw) lazerler:

Bu tür lazerler isminden de anlaşılacağı gibi enerji yoğunluğu zamana göre değişmeyen ışıma yaparlar. Bu lazerlere en önemli örnek yarı-iletken diyot lazerlerdir. Bazı durumlarda ışımaları özel elektronik sistemler kullanılarak darbeli hale getirilebilmekle birlikte genellikle 20ns altında çalıştırılmazlar. Ayrıca bu durumda darbe ışıma enerjileri 10^{-9} J gibi çok küçük ve kullanımı sınırlı olan bir değere denk gelecektir. Son dönemlerde belirli sayıda diyot lazerin bir araya getirilmesi ile oluşturulan diyot lazer dizini (diode laser array) şeklinde lazerler de vardır. Böyle bir tasarım diyot lazerlerin düşük güçlerini artırmak oldukça etkin bir yöntemdir.

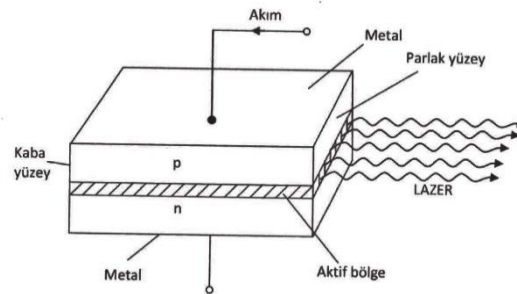
3- Taranabilen (Akortlanabilir, tunable) lazerler:

Bu tür lazerlerin ışıma dalgaboyları değiştirilebilir. Taranabilme kelimesi lazer ışımasının dalga-boyunun (ya da frekansının) değiştirilerek bir atomun belirli bir enerji seviyesine denk gelecek rezonans oluşturulma işlemini ifade eder. Genellikle taranabilen lazerler boya lazerleri, optik parametrik osilatörler (OPO) ve yarı-iletken diyot lazer grubundan oluşurlar [18].

2.3. Yarı-iletken Diyot Lazerlerin Çalışma İlkeleri

Lazer teknolojisi olarak kullanılan en yaygın lazer tipi verimlilik açısından, yapısal olarak küçük olması ve maliyet olarak çok düşük olması ve kolay montaj yapılabilmesi diğer lazerlere göre üstünlükleridir [9].

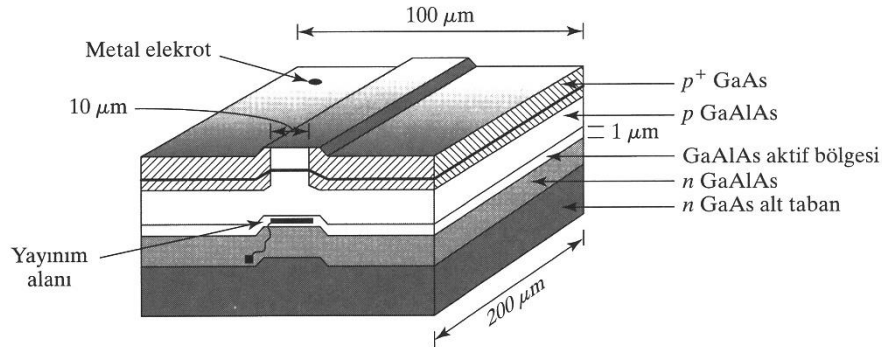
Lazer diyot en temel yapı itibarı ile aktif ortamı oluşturan bir P-N eklemidir (Şekil 2.9.). P-tipi ve N-tipi maddeler arasındaki eklem bölgesi lazer emisyonunun çıkış bölgesi olup, optikçe aktif bölgedir. Bu temel yapı itibarıyla lazer diyot, tek başına çok kullanışlı değildir.



Şekil 2.9. Tek eklemlili p-n yarıiletken lazer tasarımı [9].

Lazer diyotların verimli bir lazer olarak kullanılması daha karmaşık tabakalı yapıya sahip bir sistemi gerektirmektedir (Şekil 2.10). Bu yapıyı elde etmek için nüfus tersinmesi ve optik geri beslemenin oluşması gerekmektedir. Uyarılma elde etmek için, birçok uyarılmış elektron ve

boşlukların bir arada bulunduğu bir bölme oluşturulmuştur. Bu uyarma işlem için p-n olarak oluşturulmuş ekleme gerilim uygulanır ve lazer ışını elde edilmiş olur [12].



Şekil 2.10. Çok eklemlili yarı-iletken lazer tasarımı [13].

Diyot lazerler, farklı yarı-iletken malzemeler kullanılması (Tablo 2.3.) ve diyotu pompalayan enjeksiyon akımının değiştirilmesi ile farklı dalga boyları ve lazer çıkış parlaklığı elde edilebilir.

Tablo 2.3. Lazer diyot dalga boyları [13].

Malzeme	GaN	AlGaInP	GaAlAs	InGaAsP	Sb mixtures
Dalga Boyu	400-480	600-690	750-900	1200-2000	2000-4000

2.4. Taranabilen (Tunable) Lazerler

Taranabilen eşevreli ışık, bilimsel uygulamalar, teknoloji ve endüstri de geniş kapsamlı kullanılmaktadır. Taranabilen eşevreli ışığın yaygın olarak kullanıldığı ilk lazerler boya (dye) lazerlerdir. Atom fiziği [15-17], Spektroskopi [18,19], İzotop ayırma [19-21], Foto-Kimya [22], Malzeme Teşhisi [22], Uzaktan Algılama [22-24], Tıp [25] gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Son yıllarda, eşevreli ışık kaynakları olarak, taranabilen, OPO (Optical Parametric Oscillator) ve Yarı-iletken Lazerler (Tunable Semiconductor Lasers), geliştirilmiştir [6].

Çoğunlukla, taranabilen eşevreli ışık kaynakları lazerler olsa da, taranabilen eşevreli ışık kaynağı olarak Optik Parametrik Osilatörler (OPO) nüfus tersinmesi içermez. Bu yüzden OPO'lar lazer benzeri eşevreli ışık kaynakları sınıfına girerler. Güçlü bir lazer tarafından pompalama işlemi uygulanarak ışının dalga boyu değiştirme düzenekleri ile tarama sağlanır.

Taranabilir darbeli, eşevreli ışık kaynakları ve sürekli ışımalı taranabilir lazerler için (Tablo 2.4.-2.5.) spektral kapsama alanları verilmiştir [6].

Tablo 2.4. Darbeli akortlanabilir ışık kaynağı için dalgaboyu kapsama alanı [6].

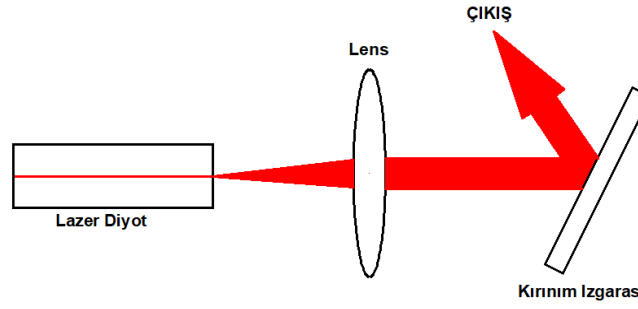
Kaynak	Dalgaboyu aralığı
<i>Dye lasers</i>	320 – 1200 nm
<i>Ti³⁺ : Al₂O₃ laser</i>	660 – 986 nm
<i>Cr³⁺: BeAl₂O₄ laser</i>	701 – 818 nm
<i>OPO</i>	
<i>BBO</i>	0.41 – 2.7 μ m
<i>Free-electron lasers (FELs)</i>	2 μ m – 1mm

Tablo 2.5. Sürekli akortlanabilir lazerler için dalgaboyu kapsama alanı [6].

Kaynak	Dalgaboyu aralığı
<i>Dye lasers</i>	320 – 1000 nm
<i>Ti³⁺ : Al₂O₃ laser</i>	710 – 870 nm
<i>Semiconductor lasers :</i>	
<i>InGaAsP/InP</i>	55nm at 1500nm
<i>InGaAsP/InP</i>	1255 – 1355 nm
<i>GaAlAs</i>	815 – 825 nm
<i>GaAlAs</i>	20 nm at 780nm

2.5. Harici Optik Salınımlı Diyot Lazerler (HOSDL) [External Cavity Diode Laser (ECDL)]

Harici Optik geri beslemeli diyot lazerler sürekli ışımalı taranabilen bir lazer türüdür. Bu sistem diyot lazerin kovuğunun çok kısa olmasından kaynaklanan lazer çıkışının spektral özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla, 1990 lı yılların başında atomik manipülasyonlar (örn. Kuantum girişimi etkileri, lazer soğuma) ve hassas spektroskopik işlemler amacı ile geliştirilmiştir. Diyot lazerin bant genişliği lazer çıkışının önüne harici bir optik geri besleme elemanı yerleştirilerek kovuk uzunluğunun artırılması yoluyla bant genişliğinin düşürülmesi esasına dayanır. En temel harici optik geri besleme yapısı Littrow düzenlemesi olarak bilinen yapıdır ve (Şekil 2.11.) de verilmiştir. Bu düzende geri besleme elemanı, aynı zamanda frekans seçici eleman olarak kullanılmıştır.



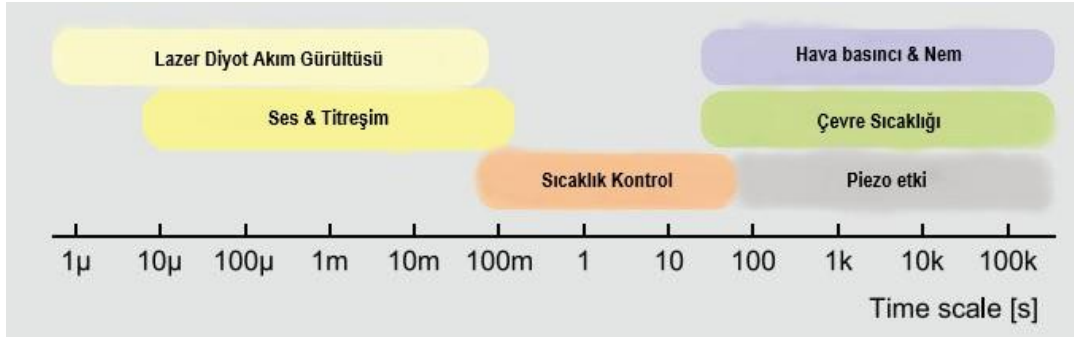
Şekil 2.11. Littrow konfigürasyon harici optik geri beslemeli diyot lazer.

Bu tür deneyler ve işlemler için lazer bant genişliği 1MHz'in altında olmalıdır. Ancak diyot lazerlerin bant genişliği binlerce kat daha fazladır (GHz mertebesinde). Bant genişliğinin başlıca nedeni tipik bir diyot lazer çipinin kovuk uzunluğunun 300-500µm civarında bir uzunluğa sahip olmasındandır. Ayrıca 10x100x500µm'lik bir hacimde lazer işleminin oluşması, sıcaklık, akustik, elektrik ve mekanik etkiler duyarlı bir yapı oluşmasına neden olmaktadır.

1960 yılında kullanılan Fabry-Perot rezonatörlerle çok modlu çıkış elde edilmiştir [8,9]. Ancak bu çalışmalar 1970 li yılların sonlarında pratik uygulamalarda yer alabilmiştir. Bu çalışmaları, aynalarla yansıtma, tek mod seçimi, oda sıcaklığında yarı-iletken lazerlerle kararlılık ve taranabilme çalışmaları takip etmiştir [10]. Yarı-iletken lazerler ve eşevreli ışık kaynağı kullanan optik sistemlerde bant genişliği oldukça önemlidir [11,12]. Sistem kaynaklı gürültü, performansa etki eden faktör olarak gözükmemektedir [13]. Elektronik ve optik teknolojisinde de olan gelişmeler, sistemde mevcut olan frekans gürültüsü, kayma, zayıflama ve mod gibi unsurlar üzerinde yapılan çalışmalarla optik geri besleme sistemlerinin geliştirilmesi ile birlikte lazer diyot'un bant genişliğini kilohertz seviyelerine düşürülebilmektedir. Böylece kuantum gürültüsü çok düşük seviyelere indirilebilmiştir [13].

Son yıllarda yapılan çalışmalar, lazer ışını üzerinde oluşturulan optik kazanç ortamını, normal atmosferik şartlarda veya dışına çıkararak, sıcaklık, akustik, elektromanyetik, mekanik etkilerin yok edildiği veya minimize edildiği ortamlara dönüştürme amaçlıdır [26-56].

Yapacağımız çalışma ile, yukarıda belirtilen, 1 MHz altına inilen çalışmalara ek olarak (Şekil 2.12.) de belirtildiği gibi, lazer ışınına etki eden ses, titreşim, hava basıncı, nem, çevre sıcaklık etkisi gibi faktörler ve bu parametrelerin zamana göre değişimi etkilerinin daha düşük değerlerde kontrol altına alınarak, kilohertz mertebelerinde dalga boylu, daha hassas (düşük bant genişliğine sahip, saf) lazer ışını elde edilmesi hedeflenmektedir.

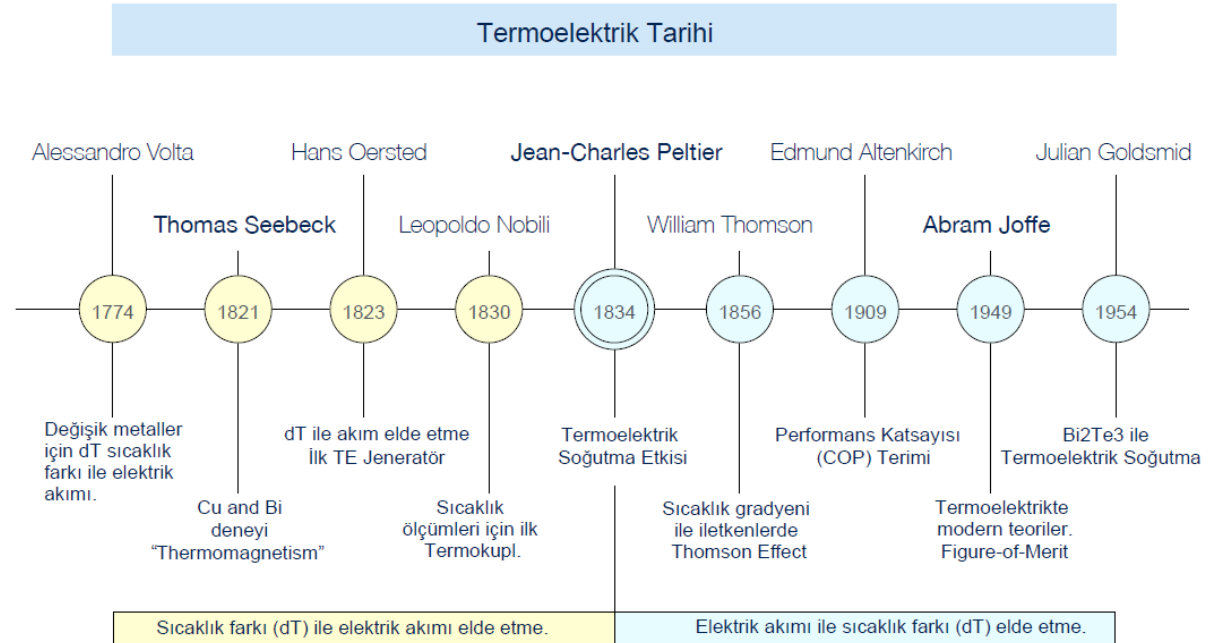


Şekil 2.12. Zamana bağlı olarak frekans varyasyonlarının ana sebepleri [14].

Diyot lazerlerin diğer lazer tiplerine göre, kompakt yapılarının çok çok küçük, üretim ve kurulum maliyetlerinin benzerlerine kıyasla çok az ve kolay olması, yapılacak bu tez çalışmasının sonucu olarak, bilimsel çalışmanın haricinde, hasas analitik lazer spektroskopisi, nano bilim, nano optik uygulamalarda, kuantum girişimi etkilerine dayanan öncü çalışmalarda ve bu alanların pratik uygulamalarında büyük katkı sağlayacaktır.

2.6. Termoelektrik Soğutucular [TEC, Peltier]

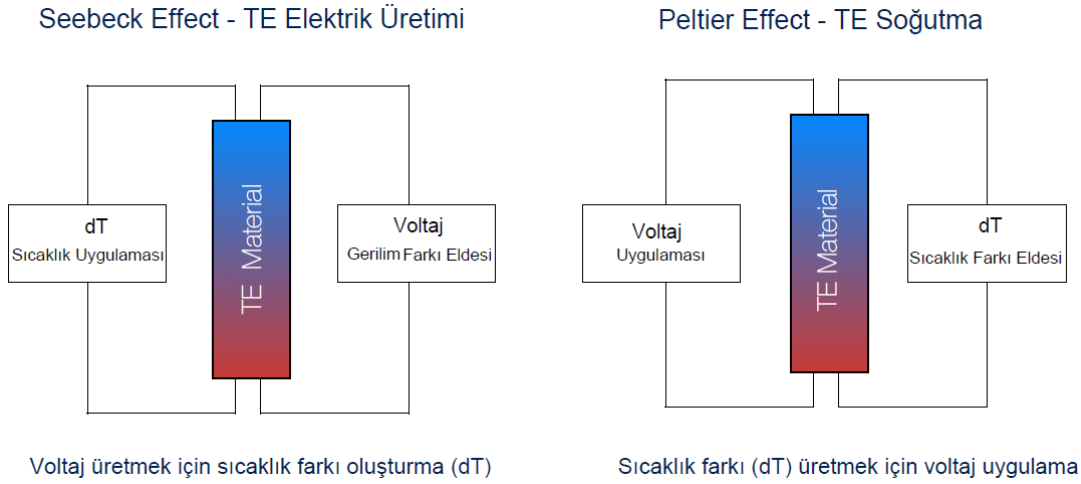
Günümüz endüstrisinde kullanılan Termoelektrik Sistemlerin tarihi, özellikle 1821 ve 1834 yılları bilim insanları, Thomas Seebeck ve Jean Peltier'e uzanmaktadır (Şekil 2.13.).



Şekil 2.13. Termoelektrik tarihsel gelişimi [57].

1821 yılında yapılan çalışmalarda; iki farklı birleştirilmiş metalin birleşim noktalarına uygulanan sıcaklık değişimi metaller arasında bir gerilim farkına sebep olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 2.14. Seebeck etkisi).

1834 yılında yapılan çalışmalarda; Seebeck etkisinin tam tersi olarak, bir çift çevresinden akım geçirildiğinde bir bağlantı noktası ısınırken diğer bağlantı noktasında soğuması olayı gözlemlenmiştir (Şekil 2.14. Peltier etkisi).

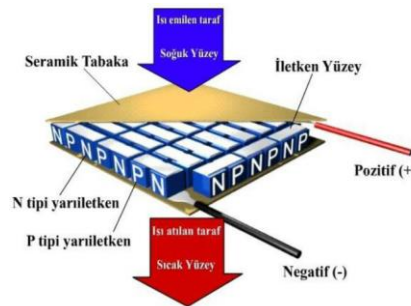


Şekil 2.14. Seebeck ve Peltier etkisi [57].

2.6.1. Termoelektrik Yapı, Parametreler ve Performans İlişkileri

2.6.1.1. Termoelektrik Yapı

Termoelektrik soğutucular (TEC, Thermo Electric Cooler) iki ince küçük seramik plaka arasına sıkıştırılmış bir dizi P ve N katkılı Bizmut-Tellürit yarıiletken malzemelerden üretilmektedir. İki taraftaki seramik malzemeler elektrik yalıtımını sağlarlar. TEC'in N tipi malzemesinde elektron sayısı fazla iken, P tipi malzemesinde ise elektron sayısı azdır. P ve N bir çift oluşturur. Termoelektrik çiftler elektriksel olarak seri ve termal olarak paraleldir. Bir termoelektrik modül, bir ila birkaç yüz çift içerebilir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Termoelektrik soğutucu yapısı [58].

Elektronlar bir iletken bağlantı aracılığıyla P tipi malzemeden N tipi malzemeye geçerken termal enerjiyi emen (soğuk taraf) daha yüksek bir enerji durumuna geçer. Malzemenin kafesi boyunca devam eden elektronlar, bir elektrik bağlantı aracılığıyla N tipi malzemeden P tipi malzemeye akar, daha düşük bir enerji durumuna düşer ve ısı olarak ısı alıcıya (sıcak taraf) enerji bırakır.

Termoelektrik akımın yönüne bağlı olarak ısıtmak ve soğutmak için kullanılabilir. Termoelektrik soğutucular, hem ısıtma hemde soğutma gerektiren bir uygulamada (Lazer kafasının soğutulması ve lazer ışınının hizalanması için gerekli olan sabit sıcaklığını sağlanması.) tercih edilen bir yapıdır.

2.6.1.2. Termoelektrik Soğutucu Parametreleri

TEC'lere uygulanan ve TEC'lerden elde edilen fiziksel büyüklükler ve bunlardan elde edilen türetilmiş büyükler aşağıda çıkarılmıştır.

T_c = Soğuk yüzeyin sıcaklık değeri [$^{\circ}\text{C}$]

T_h = Sıcak yüzeyin sıcaklık değeri [$^{\circ}\text{C}$]

$dT = T_h - T_c$ [$^{\circ}\text{C}$] Soğuk ve sıcak yüzey arasındaki sıcaklık farkı [$^{\circ}\text{C}$]

Q_c = Termoelektrik soğutucunun soğuk tarafından pompalandığı ısı miktarı [Watt]

Q_h = Termoelektrik soğutucunun sıcak tarafından pompalandığı ısı miktarı [Watt]

I = Elektrik besleme parametresi [Akım]

U = Elektrik besleme parametresi [Volt],

$P = UI$ [Elektriksel Güç]

$COP = Q_c / P$ [Boyutsuz] Coefficient of Performance, Performans katsayısı. Soğutma sistemleri için verimlilik değeri.

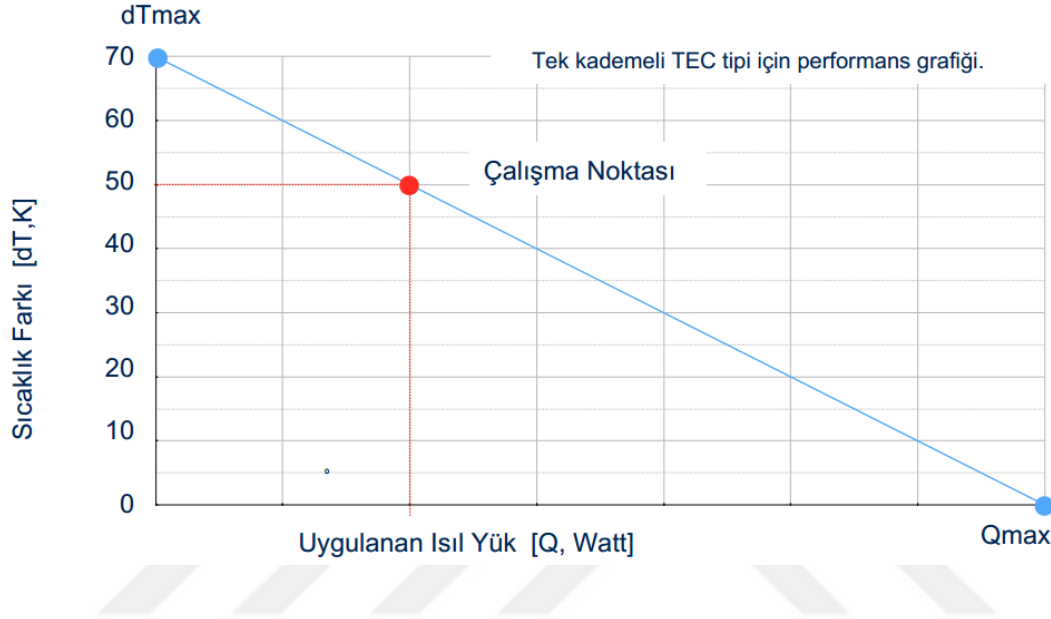
2.6.1.3. Termoelektrik Soğutucu Performans İlişkileri

Termoelektrik Soğutucular üzerine uygulanan elektriksel parametrelerin değişkenliği, bulunduğu ortamın fiziksel çalışma şartlarının değişkenliği (Sıcaklık, nem), yüzeylerdeki ısı transferini etkileyecek etkenlerin yeterli sağlanamamasından kaynaklanan TEC'lerin verimsiz hale dönüşmesi TEC'lerin performansını etkileyen faktörlerdir. Bunlara ilişkin bazı deneyler neticesi oluşturulan grafiksel çalışmalar aşağıda açıklanmıştır.

2.6.1.3.1. Soğutma Gücü, Yüzey Sıcaklık Farkı Grafiği.

Termoelektrik soğutucuların güç değerlerine göre ideal çalışma şartlarının oluşturacağı dT yüzey sıcaklık farkları değerleri (Şekil 2.16.).

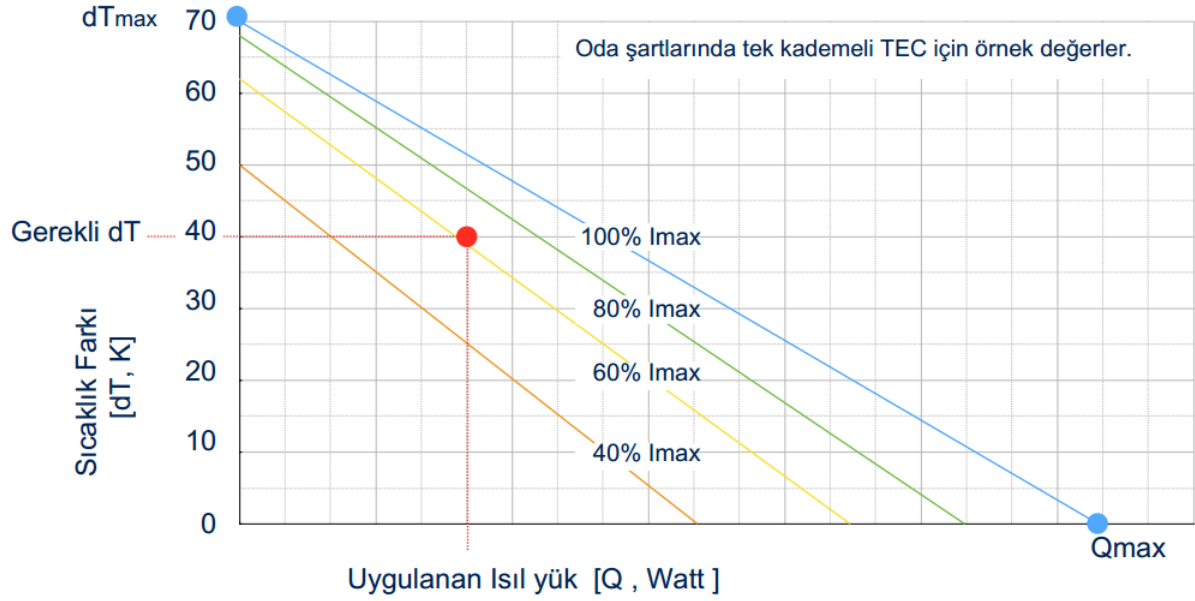
Bir termoelektrik soğutucudan elde edilecek sıcaklık farkına göre termoelektrik soğutucunun sağlamış olduğu soğutma yükü ters orantılı olarak değişmektedir. Elde edilecek soğutma yükü arttıkça yüzeyler arası sıcaklık değeri düşmektedir.



Şekil 2.16. TEC Perormans grafiği [57].

2.6.1.3.2. Elektrik Akımına Göre Soğutma Gücü, Yüzey Sıcaklık Farkı Grafiği.

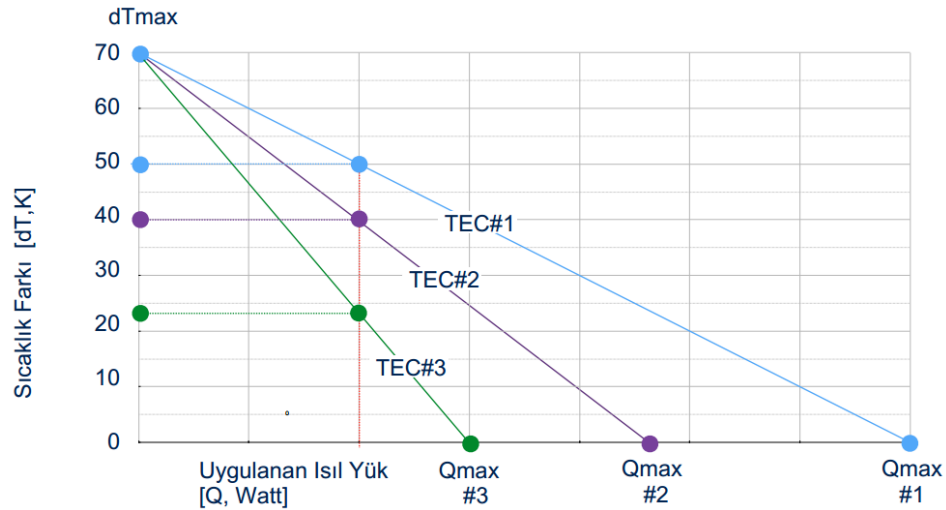
Termoelektrik soğutuculara uygulanan elektrik akımına göre soğutma yükü ile yüzeyler arası sıcaklık farkı aşağıda grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 2.17.).



Şekil 2.17. Farklı elektrik akımlarında TEC'lerin ısı yük ve yüzey sıcaklık farkları grafiği. [57].

2.6.1.3.3. Farklı TEC'lerin Aynı Isıl Yükteki Yüzey Sıcaklık Farkları Grafiği.

Belirli bir ısı yük için farklı TEC'lerin göstermiş olduğu yüzey sıcaklık farklılıkları aşağıda grafikte gösterilmiştir (Şekil 2.18.).

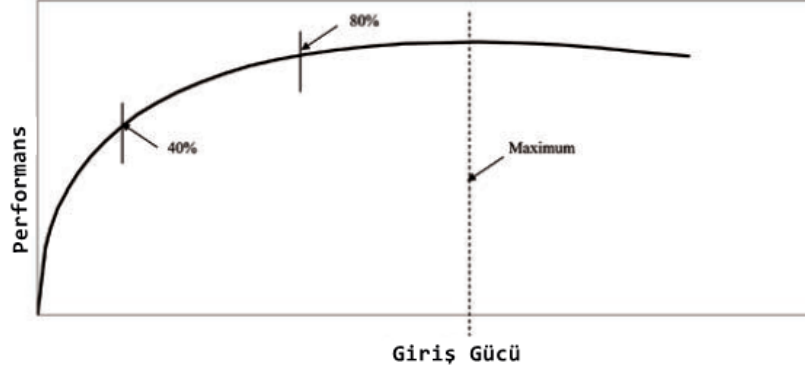


Şekil 2.18. Farklı soğutma yüklerine sahip TEC'lerin aynı ısı yüküne karşılık gelen yüzey sıcaklık farklılıkları grafiği. [57].

2.6.1.3.4. Termoelektrik Soğutucu Çalışma Sınırları

Termoelektrik cihazlar için Performans-Giriş Gücü grafiği çizildiğinde, sistemin belli değerlerden sonra sınır değerlerine kadarki olan çalışma şartlarının, verilen enerjiye göre alınan enerjinin çokta verimli olmadığı gözükmemektedir. Minimum giriş enerjisinden alınacak olan performans değeri düşük olacağı gibi maksimum değerlerde çalışmakta performans olarak

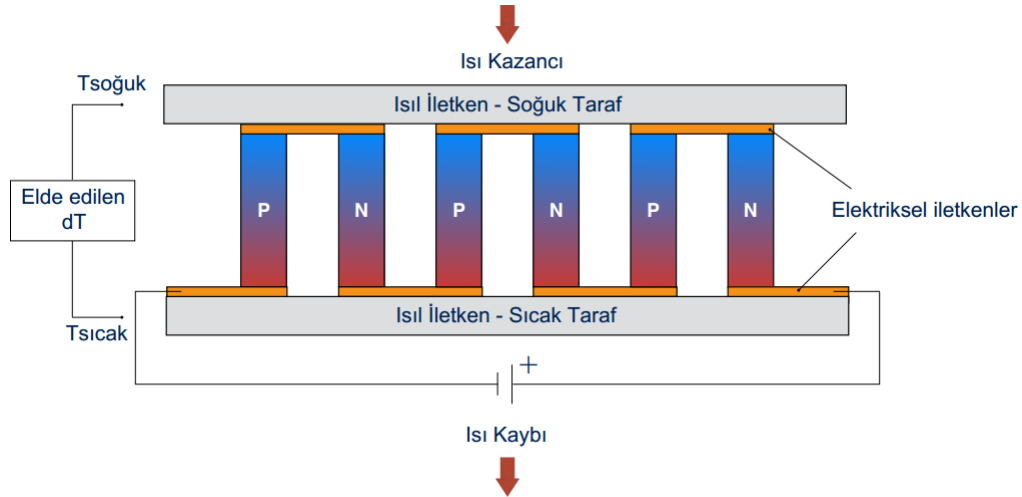
verimli olmayacaktır. Grafikte görüldüğü gibi, TEC'lerin çalışmasında giriş akım ve gerilim değerleri %40 ila %80 arasında olması TEC'lerin performansı açısından doğru olacaktır (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Giriş gücüne göre performanslı çalışma aralığı [59].

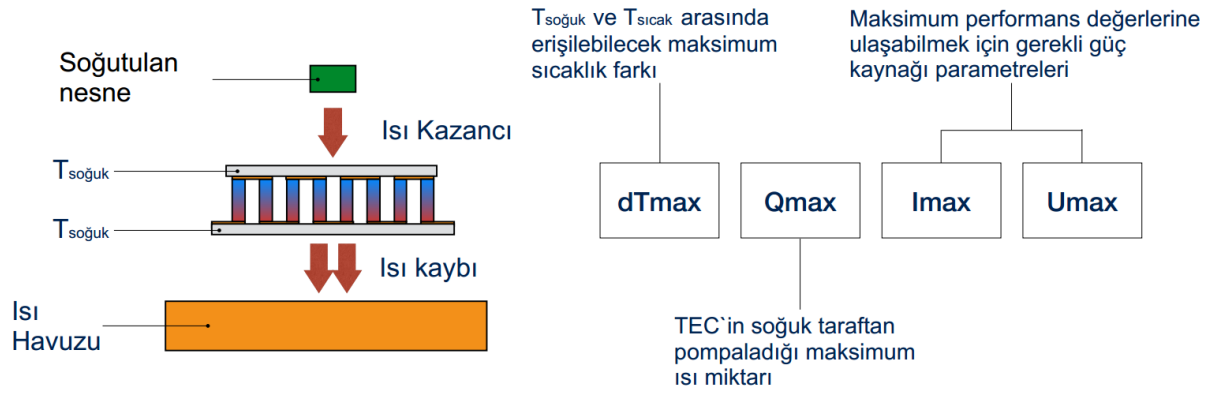
2.6.2. Termoelektrik Malzemelerin Çalışması

Termoelektrik Soğutucular bir ısı pompası gibi çalışırlar. Uygulanan DC elektrik enerjisiyle soğuk taraftan aldığı ısıyı sıcak taraftan atmak suretiyle iki yüzey arasında dT sıcaklık farkı oluştururlar (Şekil 2.20.).



Şekil 2.20. Termoelektrik malzemelerin çalışma prensibi [57].

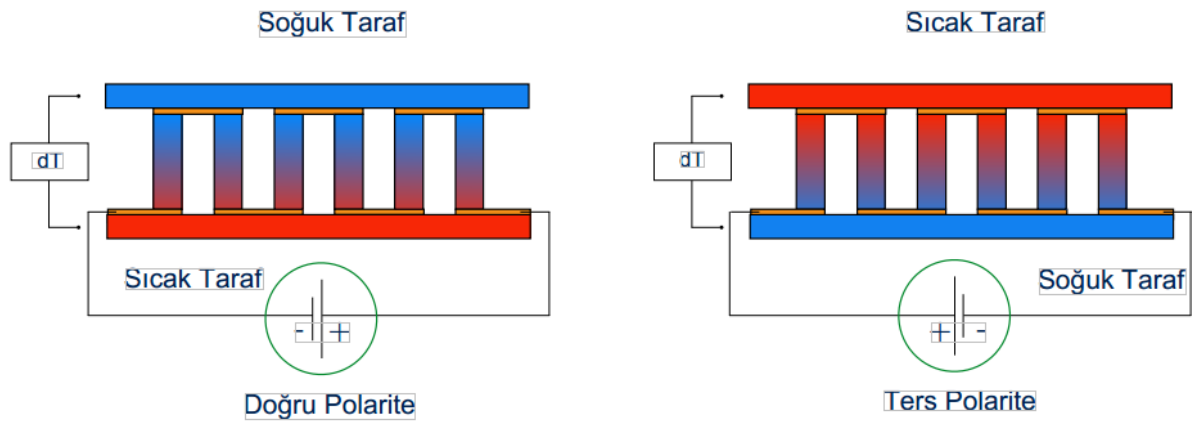
Termoelektrik soğutucular için, çalışma değerleri olarak, üzerine uygulanacak maksimum elektriksel güç için I_{max} (maksimum uygulanabilecek akım değeri), U_{max} (maksimum uygulanabilecek gerilim değeri), Q_{max} (maksimum soğutma yükü), dT_{max} (Sıcak ve soğuk yüzey arasındaki fark) fabrikasyon değerler olarak kullanıcıya sunulur (Şekil 2.21.).



Şekil 2.21. Termoelektrik soğutucuların çalışma prensibi ve fiziksel parametreler [57].

Termoelektrik soğutucularda elektrik akımının yönünü değiştirilmesi (Polarite değiştirme) ile sistemin ters çalışması soğuk tarafın sıcak, sıcak tarafın soğuk olması sağlanabilir.

Elektrik kontrolünün çok rahat yapılması, bu sıcak ve soğuk tarafın değişmesine hızlı bir şekilde olanak sağlamış olur (Şekil 2.22.).

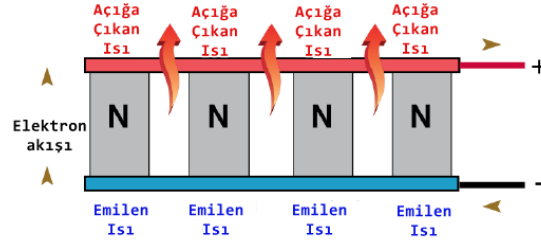


Şekil 2.22. Termoelektrik malzemelerde doğru ve ters polarite [57].

2.6.2.1. Termoelektrik Soğutucuların Seri ve Paralel Bağlanması

Tek bir N tipi yarı iletkenle termoelektrik soğutucu elde edilebilir. Fakat bununla kayda değer bir ısı pompalama sağlanamaz. Enerji kaynaklarının seri ve paralel bağlanarak akım ve gerilim değerleri artırılabilir. Dolayısı ile Termoelektrik kaynağının ısı üretimi de bu doğrultuda artacaktır.

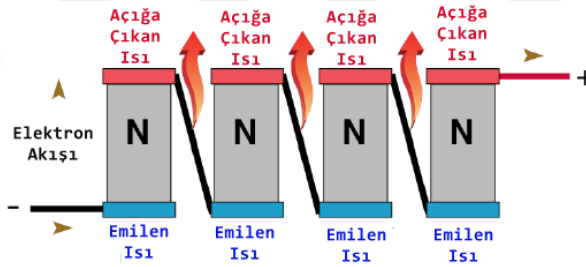
Burada sadece N tipi yarı iletkenlerin paralel bağlanması (Şekil 2.23.), çok küçük voltaj değerlerinde çok büyük akım değerlerine ihtiyaç duyulması, pratik uygulama da pek uygun bir seçenek olmamaktadır.



Şekil 2.23. N Tipi yarı iletkenlerin paralel bağlanması [60].

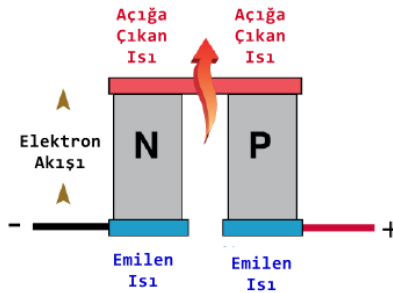
Örnek: Sıradan bir termoelektrik cihazında tek bir N tipi yarı iletkene 60mV uygulandığında 5 A akım çekmektedir. 254 adet N tipi yarı iletkenin paralel bağlanması ile 60 mV'lık bir gerilim uygulamasına karşılık çekilen akım 1270 Amper gibi bir değere ulaşacağı için buna uygun gerilim kaynağı bulmak veya kullanmak pratik olmayacaktır.

N tipi yarı iletkenlerin seri bağlanması cihaz bağlantılarındaki ara bağlantıların termal kısa devre oluşturmalarına sebep olduğu için bu tip bağlantılarda pratikte pek kullanım kolaylığı sağlamamaktadır (Şekil 2.24.).



Şekil 2.24. N Tipi yarı iletkenlerin seri bağlanması [60].

N ve P tip yarı iletkenleri bir çift halinde düzenleyerek, tüm ısıyı aynı yönde hareket ettirecek bir seri devre uygulamak pratik olarak en kullanışlı bir yöntem olmaktadır (Şekil2.25.).



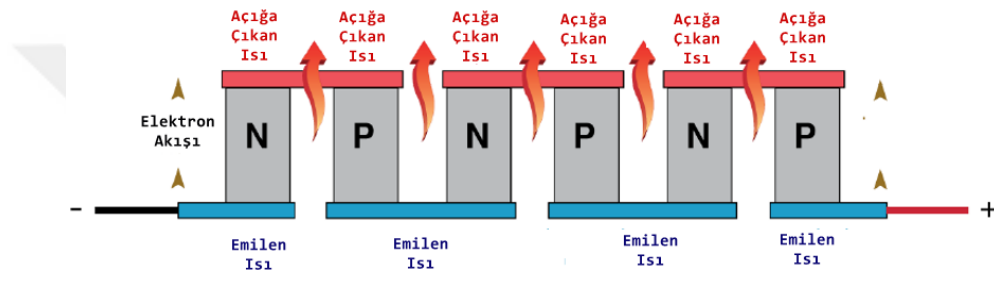
Şekil 2.25. N-P Tipi yarı iletken çiftinin seri bağlanması [60].

Şekil 2.25.`de gösterildiği gibi, pozitif voltaj potansiyeline bağlı P tipi yarı iletkenin serbest (alt) ucu ve benzer şekilde voltajın negatif tarafına bağlanan N tipi yarı iletkenin serbest (alt) ucu ile bir termoelektrik çift oluşturulmaktadır.

P malzemesindeki pozitif yük taşıyıcıları, pozitif voltaj potansiyeli tarafından itilir ve negatif kutup tarafından çekilir; N malzemesindeki negatif yük taşıyıcıları (elektronlar) aynı şekilde negatif potansiyel tarafından itilir ve voltaj kaynağının pozitif kutbu tarafından çekilir.

Böylece elektronlar, voltaj kaynağının negatif kutbundan, N yarı iletken boyunca, bakır sekme bağlantısı boyunca, P yarı iletken boyunca ve kaynağın pozitif kutbuna sürekli olarak akar.

Bu arada yük taşıyıcılar ve ısı, yarı iletkenler içinden, şekilde görüldüğü gibi aşağıdan yukarıya akar. TE 'çiftinin' bu özelliklerini kullanarak, pratik termoelektrik modüller oluşturmak için birçok yarı iletkeni dikdörtgen dizilerde bir araya getirmek mümkündür (Şekil 2.26).

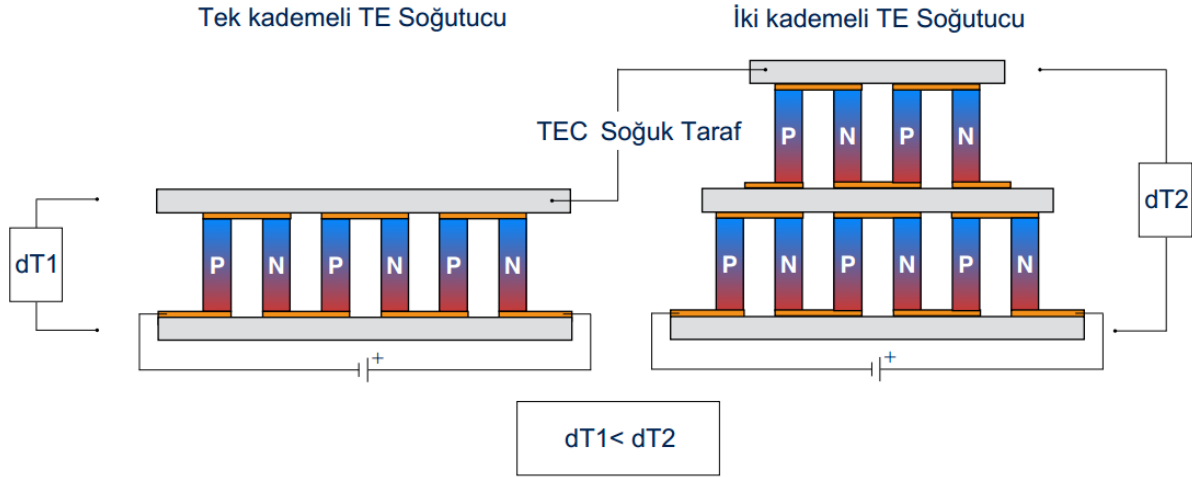


Şekil 2.26. N-P Tipi yarı iletken çiftinin seri dizisi. [60].

Bu cihazlar sadece kayda değer miktarda ısı pompalamakla kalmaz, aynı zamanda seri elektrik bağlantıları ile yaygın olarak bulunan DC güç kaynakları için uygundur. Bu nedenle, şu anda kullanımda olan en yaygın TE cihazları - 254 alternatif P ve N tipi yarı iletkeni birbirine bağlayan - 12 ila 16 VDC beslemeden çalışabilir ve yalnızca 4 ila 5 amper (60 mV'da 1270 amper yerine) çekebilir.

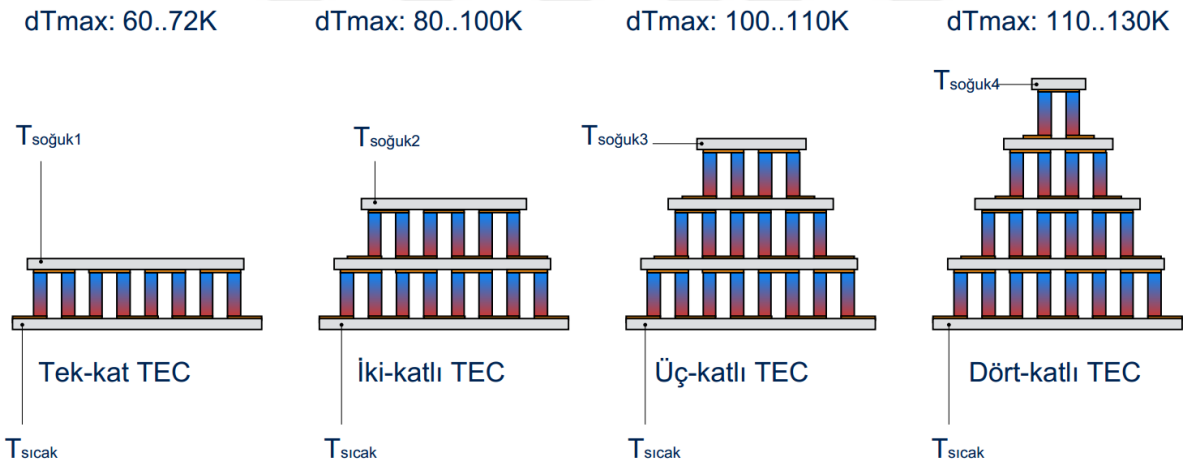
2.6.2.2. Termoelektrik Soğutucuların Isısal Olarak Seri Bağlanması (Kademeli-Kaskat)

Termoelektrik soğutucuların, ΔT olarak, soğuk ve sıcak yüzey arasındaki fark maksimum güçte çalışacağı varsayımı ile maksimum 70 °C civarındadır. Soğutma sistemlerinde daha düşük sıcaklıklara inmek, bir başka deyişle sıcaklık farkını artırma ihtiyacı, birden fazla soğutma sistemini birbirleri ile ısısal olarak seri bağlama yöntemini geliştirmiştir (Şekil 2.27).



Şekil 2.27. Kaskat termoelektrik soğutucular [57].

Termoelektrik soğutucularda da kaskat adı verilen bu yöntem, iki, üç, dört hatta beş termoelektrik soğutucunun birbirleri ile seri bağlanması ile 120 °C civarında sıcaklıklara kadar fabrikasyon olarak imal edilmektedir (Şekil 2.28).

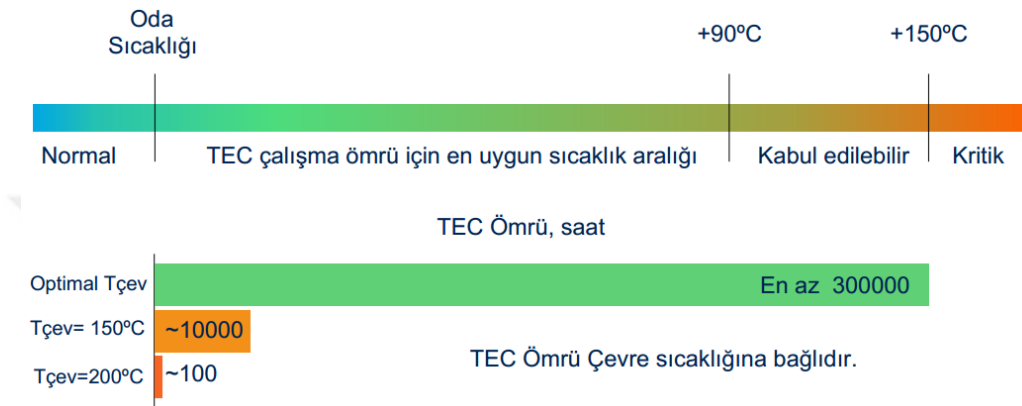


Şekil 2.28. Kaskat termoelektrik soğutucuların ulaşabileceği dT_{max} değerleri [60].

Fabrikasyon imalat haricinde, elde bulunan tek kat termoelektrik soğutucuların, birbirlerine ısı transferini iyi sağlaması için seramik yüzeylere termal macun sürmek suretiyle birbiri üzerine montaj edilmesi ile de kaskat sistemler elde edilebilir. Böyle bir uygulamada fabrikasyon üretilen sisteme göre mutlaka verim düşüklüğü olacaktır. Burada yapılması gereken uygulamalardan bir tanesi de kullanılan her bir kademe değişiminde ısısını rahatlıkla atabilmesi için kademeler arası kullanılan termoelektrik soğutucuların soğutma güç değerlerini iyi belirlemek gerekir.

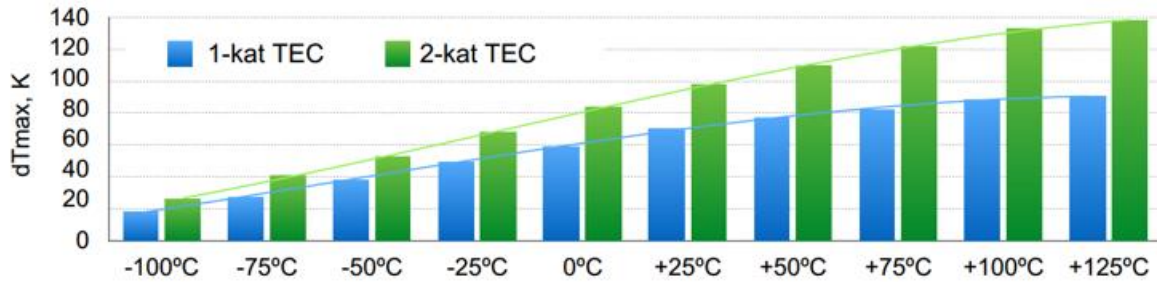
2.6.3. Çalışma Şartlarına Göre TEC'lerin Kullanım Ömrü.

TEC'lerin çalışma ömrü her ne kadar elektriksel parametrelere bağlı olsada, bu parametrelere bağlı olarak TEC'lerin ürettiği sıcaklık ve bu sıcaklığın atılması için gerekli olan çevre sıcaklık değerleride TEC ömrü için önemli birer faktördür. TEC'lerin en uzun ömürle çalışacağı ortam sıcaklık değeri 90°C sıcaklık bandına kadar olan sıcaklık değeri fabrikasyon olarak uygun görülmektedir. Bu değerin üzerindeki sıcaklıklar TEC'lerin kullanım ömürlerini kısaltacaktır (Şekil 2.29.).



Şekil 2.29. Ortam sıcaklığı ve termoelektrik soğutucu çalışma ömrü [60].

Çevre sıcaklıklarının etkisinin, termoelektrik soğutucuların dT çalışma sıcaklık farklarını nasıl etkilediği, yapılan ölçümlerle oluşturulan grafik çalışmalarda, hem tek katlı hem de çift katlı termoelektrik soğutucular için gösterilmiştir (Şekil 2.30.).



Şekil2.30. Ortam sıcaklıklarına göre termoelektrik soğutucu yüzeyler arası sıcaklık farkı (dT) değerleri [60].

2.6.4. Termoelektrik Soğutucuların Diğer Soğutma Sistemleri ile Kıyaslanması.

- Termoelektrik soğutucuların hareketli parçası yoktur; katı hal yapıları daha yüksek güvenilirlik, daha düşük bakım ve daha düşük genel işletme maliyetleri ile sonuçlanır.
- Katı hal yapısı ayrıca Termoelektrik soğutucuların herhangi bir yönde monte edilmesini sağlar.

- Kompakt form faktörü, onları boyut kısıtlamalarının olduğu uygulamalar için uygun hale getirir.
- Termoelektrik soğutucular ortamın çok altında soğutabilir. Vakum ortamında çok kademeli termoelektrik soğutucu kullanılarak cihaz -100°C sıcaklığa ulaşabilir.
- Termoelektrik soğutucular, ısı transferinin yönünü değiştiren polariteyi basitçe tersine çevirerek ısıtma ve soğutma yapabildikleri için (sabit durumda $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar) hassas sıcaklık kontrolü sağlayabilirler. Bu yetenek, onları hem soğutma hem de ısıtma gerektiren uygulamalar için uygun hale getirir.
- Termoelektrik soğutucular, tehlikeli CFC'ler kullanmadıkları veya elektriksel gürültü üretmedikleri için de çevre dostudur.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

Taranabilen harici optik geri beslemeli diyot lazer sistemi tasarım ve kurulumu için gerekli olan materyaller, bu materyallerin özellikleri, imatlatları, montajlarının yapılması çalıştırılması ve teorik olarak matematiksel incelenmesi yapılmıştır.

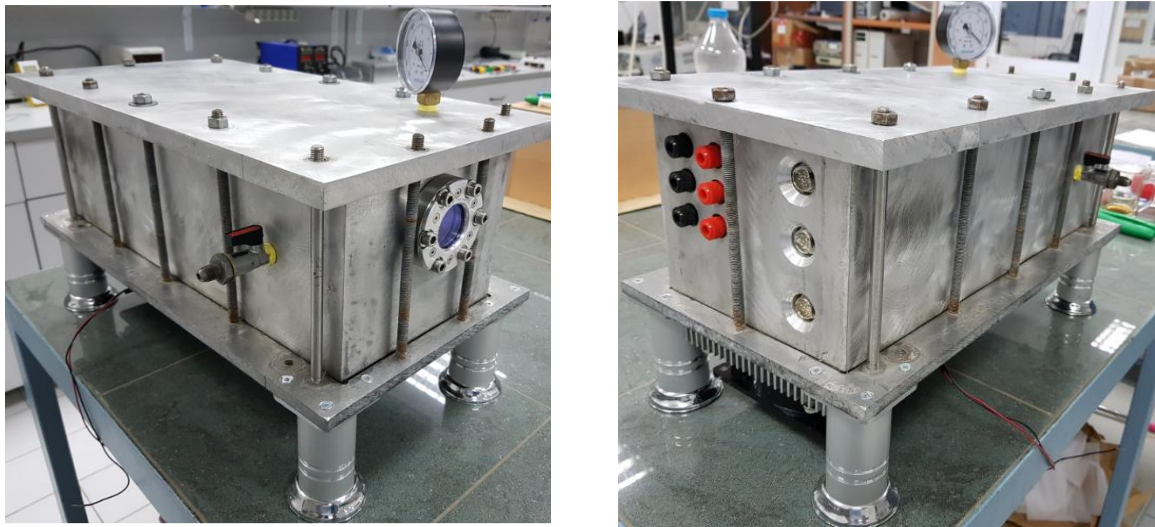
3.1. Sistemin Tasarlanması

Diyot Lazer sistemi, düşük sıcaklık, sıfır nem ve vakum ortamında çalıştırılacağı için, buna uygun kabin ortamı oluşturmak gerekmektedir. Bu fiziksel değerlere ulaşabilmek için kabin içerisine yerleştirilecek olan cihazların (Diyot Lazer, Kırınım Izgarası, Termoelektrik Soğutucular, Sensörler) dış ortamla olan enerji ve veri bağlantıları büyük önem arz etmektedir.

Sistemin çalışması esnasında meydana gelecek olan fiziksel değişimleri kontrol altında tutmak için malzeme seçimleri, ortam kontrol elemanları ve ölçüm sistemleri aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1. Kabinin Taşınması Gereken Yapısal Özellikleri.

Kabin vakum basıncını sağlamak için sızdırmaz olması gerekmektedir. Kabin içerisindeki nemin alınması ve negatif basınçta (1 mbar civarında vakum ortamında) çalışmak için kabinin alt ve üst kapakları içerisine conta kanalları açılmıştır. Alt ve üst kapak, saplamalarla birbirlerine çektirmek suretiyle contalar sıkıştırılarak kapak sızdırmazlığı sağlanmıştır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Kabin alt ve üst kapak bağlantıları.

Lazer ışınının dış ortama iletileceği vakum penceresinin sızdırmazlığında kabin ve vakum penceresi arasına yerleştirilen O-Ring conta ile sağlanmıştır (Şekil 3.2.).

Vakum manometresi ve vakum pompa bağlantı vanası kabin üzerine vidalı bağlantı yapılmış, sızdırmazlığı da gazlar için kullanılan teflon bant ile sağlanmıştır (Şekil 3.2.).

Bir diğer sızdırmazlığın önemli olduğu kısımda, veri ve enerji bağlantılarının yapıldığı konnektör bağlantılarıdır. Kabin üzerinde açılan soket yuvaları, konnektör ve açılan yuva arasına yerleştirilen O-ring contalarla sızdırmazlık sağlanmıştır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Vakum penceresi bağlantısı, vakum pompası bağlantı vanası, elektrik ve veri bağlantı konnektörü.

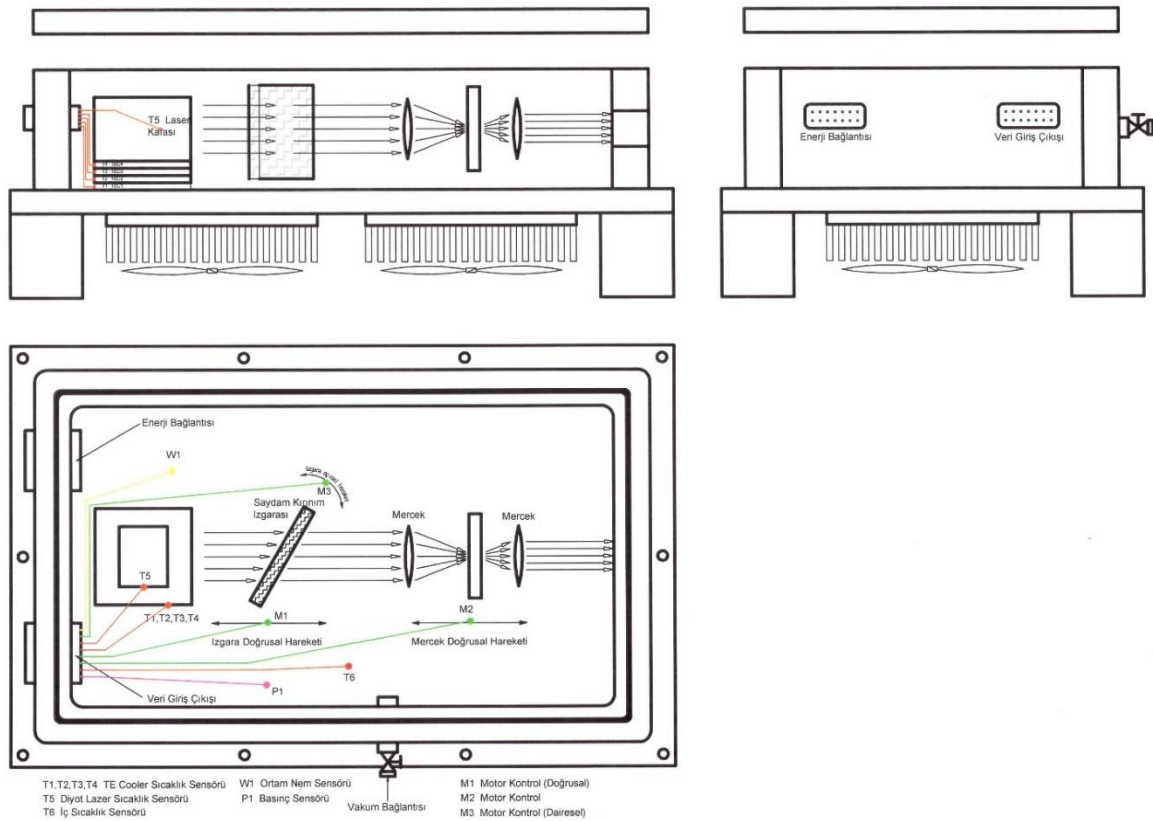
Lazer diyotun performanslı çalışması, lazer diyotun yerleştirildiği kafanın üzerindeki ısıl yükün atılması ile mümkün olmaktadır. Bu ısıl yük içinde TEC'ler kullanılmıştır. TEC'lerin çalışma prensibi gereği; Elektrik enerjisi verildiğinde, bir yüzü soğurken diğer yüzü ısınmaktadır. TEC'lerin performanslı çalışması ısınan yüzeyinin sıcaklığının atılması nispetinde diğer yüzey de soğutma performansı elde edilmesidir. Isınan yüzün ısıl yükünün atılmaması, Termoelektrik Soğutucunun sadece performans kaybı değil yanmasına da sebep olacaktır. Bu ısınan yüzeyin de kabin dışına atılması için kabin malzemesi olarak ısıl iletkenliği iyi olan aynı anda kabin üzerinde çeşitli mekanik işlemler (Talaş kaldırma, yüzey işleme, delme, vidalı bağlantılar) yapılacak olması sebebiyle mukavemet açısından 7075 serisi alüminyum malzeme tercih edilmiştir [61]. Gövde üzerinde biriken ısıl yükte, gövde altına yerleştirilen fan yardımı ile dış ortama atılmaktadır.

Harici Optik Geri Beslemeli Diyot Lazer (HOSDL) Sistemi; Lazer ışık kaynağı olarak Lazer Diyot, lazer ışığının güçlendirilmesi için tasarlanan Harici Optik Geri Besleme Düzeneginden oluşmaktadır.

Bu düzeneklerin çalışabilmesi için kabin yapısında; Lazer kılıfının sabitleneceği bir lazer kafası ve ışının hizalanabilmesi için alüminyum blok (yükseltiyi sağlayacak şekilde) monte

edilmiştir. Geri besleme ünitesinin (kırınım ızgarası) lazer ışını geri baslayacak açıya ulaşabilmesi için açısal hareketini sağlayacak motor düzeneği monte edilmiştir.

Bu karmaşık düzeneğin gerek ilk, gerekse deneysel çalışmalar aşamasında montaj-demontaj zorluğu dikkate alınarak, kabin ölçüleri 400x150x140 mm iç ölçülerinde olacak şekilde, 15mm et kalınlığına sahip levhaların kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ile imal edilmiştir. Alt ve üst kapatma işlemleri 420x170x10 mm levhaların birbirlerine M8 saplama ile montajlanmasıyla yapılmıştır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Harici Optik Salınımlı Diyot Lazer Sistem kabini görünüş resimleri.

3.1.2 Lazer Kafasının Tasarlanması ve İmalatı

Lazer diyot'un lazerleme esnasında ortam fiziksel şartlarından, özellikle sıcaktan etkilenmesinden dolayı, yerleştirileceği kafa, lazer diyotun sabit sıcaklıkta tutulabilecek şekilde tasarlanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Malzeme olarak hem ısı transferi açısından iyi iletken olması hemde korrozyon açısından diğer metallere göre avantajlı olması ve mekanik olarak işlenebilirliğinin daha kolay olması nedeniyle alüminyum malzeme seçilmiştir (Şekil 3.4.).



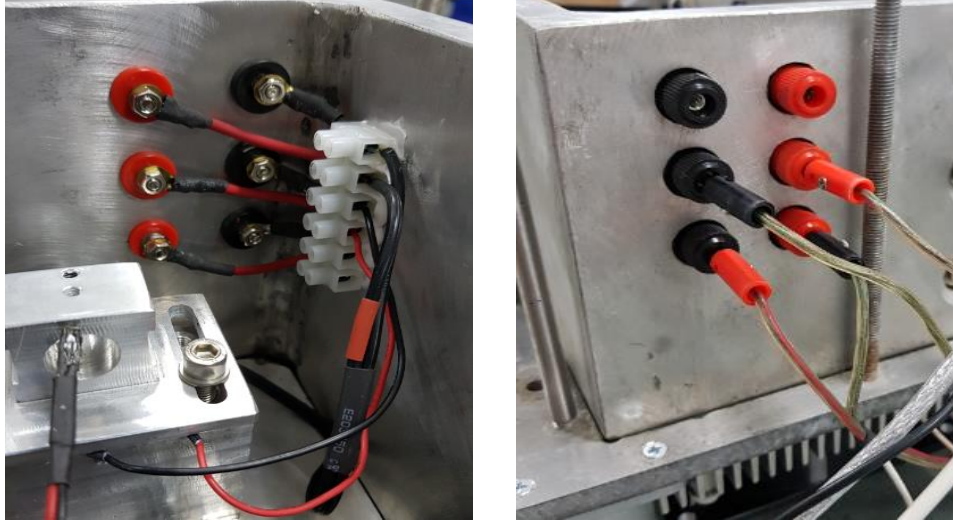
Şekil 3.4. Lazer kafa tasarımı

Lazer kafanın soğutulması için altına termoelektrik soğutucu monte edilecektir. Termoelektrik soğutucunun sıcak tarafı blok ile soğuk tarafıda lazer kafası ile ısı transferi yapacaktır. Lazer kafası ile bloğun birbirleri ile ısı transferi yapmaması için lazer kafasının bloğa montajı plastik vidalar ile yapılmıştır (Şekil 3.4.).

Diyot lazerin sıcaklığını ölçmek için kafa üzerinde, lazer diyota mümkün olduğunca yakın olacak şekilde, sıcaklık sensörünün yerleştirileceği delik açılmış ve bu delikten sıcaklık kontrolü yapılarak lazer kafasını sabit tutacak kontrol ünitesine sinyal gönderilmesi sağlanmıştır.

3.1.3. Kabinin Taşınması Gereken Elektriksel ve Veri Transfer Özellikleri.

Kabin içerisinde bulunan Termoelektrik Soğutucular elektrik enerjisi ile çalışan cihazlardır. Bu cihazların farklı gerilim ve akım değerleri ile çalışmalarından dolayı hepsine farklı güç kaynakları ile kabin üzerinde montajı yapılan soketlerden enerji beslemesi yapılmaktadır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Kabin içi ve dışı elektrik bağlantı soketleri.

Kabin içerisinde bulunan Lazer Diyot, Kırınım Izgarası dairesel motor sürücüsü elektrik bağlantıları ve veri kontrol değerleri, sıcaklık sensörleri(termokupl), veri değerleri, nem sensörü ve kabin içi sıcaklık sensörü veri değerleri, 9 pinli 3 adet IP 68 özellikli konnektörle kabin içi ve dışı arasında iletişim sağlamaktadır (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Kabin içi ve dışı veri bağlantı soketleri.

Bir lazer ve harici geri besleme sistemi, ultra soğuk, yaklaşık 1 mbar vakum ve sıfır nem şartları için platform oluşturulması, bu platformda bulunan tüm cihazların kontrol edilmesi ve sonuçların ölçülmesi Şekil 3.7'deki resimdeki gibi bir tasarım ile ideal olarak yapılacaktır. Bu tasarım gerçekleştirilmiştir.

3.2. Deney Tasarımında Kullanılan Ölçüm ve Kontrol Cihazları.

Tasarlanan platformda istenilen şartlarda lazer ışınının elde edilmesi için kullanılan besleme, kontrol ve ölçü aletleri aşağıda çıkarılmıştır.

3.2.1. Işın Karakterizasyonu Ölçüm ve Kontroller.

Optik güç ölçerler (Şekil 3.8.). Lazer ışınının gücünü ölçmektedir. Normalde güç ölçmenin yanı sıra eşik akımında iken lazere yapılan Harici Geri Besleme'nin ani güç değişimini görmek (lazerlemenin ani artması) lazerlemenin belirlenmesinde büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Cihaz özellikleri Tablo 3.1`de verilmiştir.



Şekil 3.8. Optik güç ölçer.

Tablo 3.1. PM-100 Optik güç ölçer.

Veri girişi	Analog çıkış
Foto-diyot akım Aralığı: 0.1nA - 4mA	Voltaj Aralığı: 0 - 4.095V
Isı sensör voltaj Aralığı: 1µV - 10mV	Hassasiyet: 12 bit (1mV)
Doğruluk : ±1% (console)	Güç Aralığı: 0.001V/mW - 1000V/mW,
Hassasiyet: 16 to 24 bit (ΣΔA/D Converter)	

3.2.2. Lazer Kontrol Ünitesi.

Lazer kontrol ünitesi (Şekil 3.9.) ile lazerin elektriksel değerleri olan akım, gerilim ve lazer kafasının sıcaklık değerleri kontrol altında tutulacaktır. Lazer ışınının, üzerine gelen elektrik akımı ve ortamın etkisinden kaynaklanan sıcaklık değişimi ile ışın karakterizasyonu bozulmaktadır. Bu bozulmayı önlemek ve lazer ışını kararlı halde tutmak için bir sıcaklık sensörü (AD590) ile sıcaklığı tespit edilmekte ve lazer kafasının altında bulunan TEC hem sıcak hemde soğuk çalıştırmak suretiyle lazer ışınının sıcaklığı set edilen sıcaklık değerinde sabit tutulmaktadır. Ayrıca lazer üzerindeki gerilim ve akım değerleride sınırlanarak istenilen değerde sabitlenebilmektedir. Cihaz özellikleri Tablo 3.2`de verilmiştir.



Şekil 3.9. Lazer diyot kombi kontrolör (ITC-510 Thorlabs).

Tablo 3.2. ITC 510 Lazer diyot kontrol ünitesi (ITC-510 Thorlabs).

Akım Kontrol	Güç Kontrol
Lazer akım aralığı I_{LD} : 0..... ± 1 A	Monitör akım aralığı I_{PD} : 5 μ A ... 2 mA
Ayar hassasiyeti (Manual/Remote): 100 μ A/15 μ A	Ayar hassasiyeti (Manual/Remote): 0.1 μ A/0.03 μ A
Ölçü hassasiyeti (Manual/Remote): 100 μ A/10 μ A	Ölçü hassasiyeti (Manual/Remote): 0.1 μ A/0.01 μ A
Hassasiyet : ± 1 mA	Hassasiyet : ± 2 μ A

3.2.3. TEC Kontrol Ünitesi.

Lazer kafasını soğutan TEC'in kontrolü lazer kombi kontrolör tarafından yapılmaktadır. Bu TEC'in atmış olduğu ısının dış ortama atılması için kullanılan diğer kaskat olarak tasarlanmış TEC'lerin (TEC1, TEC2....) enerji beslemeleri ayrı ayrı ayarlı güç kaynaklarından sağlanmıştır. Sistemde kullanılan TEC lerin maksimum çalıştığı güçteki akım değerlerini karşılayacak şekilde 0-30 V ayarlı DC elektrik güç kaynakları kullanılmıştır.

3.2.4. Sıcaklık ve Nem Kontrol Ünitesi.

Platform içerisindeki nem'in lazer kafası üzerinde buzlanmaya sebep olacağı için sistem vakumlanmakta ve nemin platform dışına atılması sağlanmaktadır. Vakumlama sonucu sistem içerisindeki kalan nemin takibi için Sıcaklık ve nem ölçü aleti kullanılmıştır(Şekil 3.10.). Sıcaklık ve nem ölçü aleti ile platform içi sıcaklık ve nem değerleri ölçülerek platform dışına bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Nem değeri istenilen değere ulaştığı zaman vakumlama sonlandırılacak ve platformun vakum vanası kapatılarak dış ortamla irtibatı kesilecektir. Sıcaklık ve nem sensörünün özellikleri Tablo 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.10. Sıcaklık ve nem ölçü aleti (TSP-01 Thorlabs).

Tablo 3.3. Sıcaklık ve nem ölçü aleti (TSP-01 Thorlabs).

	Sıcaklık Ölçümü	Bağıl Nem Ölçümü
Çalışma Aralığı	-40 °C to +125 °C 1)	0 % to 100 % RH
Birim	°C, K, °F	% RH
Doğruluk	±1 °C (-10 to +70 °C) ± 0.3°C (25 °C)	± 1 % RH (20% to 80 % RH) ± 3 % RH (0-20% and 80-100 % RH)
Hassasiyet	0.05 °C	0.1 %

3.2.5. Servo-Motor ve Kontrol Ünitesi.

Servo-Motor kontrol ünitesi (Şekil 3.11) ile platform içerisinde bulunan motor (Şekil 3.12) üzerindeki tablaya yerleştirilmiş kırınım ızgarasının açısal hareketlerinin kontrolü sağlanmaktadır.



Şekil 3.11 DC servo motor sürücüsü (TDC 001 Thorlabs).
Durum ve hız kontrol
Çift yönlü 4 hızlı hız kontrol.
Trapezoidal hız profili



Şekil 3.12. DC Motor (Açısal hareket) (CR1Z7 Thorlabs).
Çalışma Aralığı:360° Sürekli dönüş
Dişli Oranı: 256:1
Min. Artış: 2.19 arcsec
Hız Aralığı:6 deg/sec - 22 arcsec/sec

3.2.6. Optic Spectrometre.

Optik Spektrometre ile kurulan HOSDL tasarımından çıkan lazer ışığının dalga boyu değerleri ölçülüp, bilgisayar ortamına aktarılarak grafiklerle takip edilmesi sağlanmaktadır (Şekil 3.13.).

SPx-USB



Optical Head:

Spectral Range:	SP1-USB	⇒ 400 to 800nm
	SP2-USB	⇒ 500 to 1000nm
CCD Integration Time:	1 µs to 200ms	
CCD Sensitivity:	300V/(lx·s)	
CCD Pixel Size:	7 µm x 200 µm (7 µm pitch)	
Dimensions (LxWxH):	3.6x2.6x1.0 Inches	
Weight:	0.70 kg	

Şekil 3.13. USB 2.0 Optik spektrometre.

3.2.7. Sıcaklık Ölçüm Cihazı.

TEC'lerin sıcak ve soğuk tarafındaki sıcaklık değerleri, K tipi Termocouple ile ölçülmekte ve sıcaklık değişimleri takip edilmektedir (Şekil 3.14.). Ölçü aletinin özellikleri Tablo 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.14. DT 8891E K Tipi sıcaklık ölçüm cihazı.

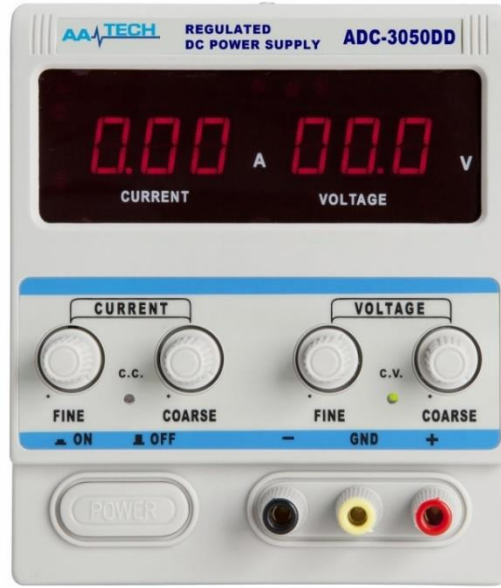
Tablo 3.4. DT 8891E Katolog değerleri.

Specifications:				
	Range	Basic Accuracy	8891E	
Type K	-200°C to 1372°C		T1,T2,	
	(-328°F to 2501°F)			
	Above-100°C (-148°F)			±[0.15%rdg+1°C(1.8°F)]
	Blow -100°C (-148°F)			±[0.5%rdg+2°C(3.6°F)]
IR temperature	-30°C to 550°C		IR	
	(-22°F to1022°F)			
	Above-10°C(14°F)			±[2.0%rdg+2°C(3.6°F)]
	Blow -10°C(14°F)			±5°C(9.0°F)
Type K-Type Ktemperature		±[0.5%rdg+1°C(1.8°F)]	T1-T2, T3-T4	
Type K-IR temperature	IR temperature	±[2.0%rdg+3°C(3.6°F)]	T1-IR,	
	Above-10°C(14°F)	± 6°C(9.0°F)	T2-IR	
	IR temperature			
	Blow -10°C(14°F)			
IR-Type K temperature	IR temperature	±[2.0%rdg+3°C(3.6°F)]	IR-T3, IR-T4	
	Above-10°C(14°F)			
	IR temperature	± 6°C(9.0°F)		
	Blow-10°C(14°F)			

Specifications:			
	Range	Basic Accuracy	8891E
Type K	-200°C to 1372°C		T1,T2,
	(-328°F to 2501°F)		
	Above-100°C (-148°F)	±[0.15%rdg+1°C(1.8°F)]	
	Blow -100°C (-148°F)	±[0.5%rdg+2°C(3.6°F)]	
IR temperature	-30°C to 550°C		IR
	(-22°F to1022°F)		
	Above-10°C(14°F)	±[2.0%rdg+2°C(3.6°F)]	
	Blow -10°C(14°F)	±5°C(9.0°F)	
Type K-Type Ktemperature		±[0.5%rdg+1°C(1.8°F)]	T1-T2, T3-T4
Type K-IR temperature	IR temperature	±[2.0%rdg+3°C(3.6°F)]	T1-IR, T2-IR
	Above-10°C(14°F)		
	IR temperature	± 6°C(9.0°F)	
	Blow -10°C(14°F)		
IR-Type K temperature	IR temperature	±[2.0%rdg+3°C(3.6°F)]	IR-T3, IR-T4
	Above-10°C(14°F)		
	IR temperature	± 6°C(9.0°F)	
	Blow-10°C(14°F)		

3.2.8. Fan Kontrol Ünitesi.

Fan devir kontrolü, sıcaklık sensörleri ile hissedilen değerler doğrultusunda, yüksek hassasiyetli ayarlı güç kaynağı ile gerilim ayarlaması yapılarak sağlanacaktır (Şekil 3.15). Cihazın çalışma gerilim 0-30 volt, çıkış akımı 0-5 amper değerlerindedir.



Şekil 3.15. DC ayarlı güç kaynağı.

3.2.9. Vakum Kontrol Ünitesi.

Nem sensörü ve basınç sensörlerinden alınan değerlerle vakum pompasının çalışması kontrol edilecektir. Bağıl nem'in % 0 olduğu ve ~1mbar basınç değerine ulaşıldığı noktada vakum pompası durdurulacak ve platformun vakum vanası kapatılacaktır.

2 kademeli, 142 l/m kapasiteli vakum pompası kullanılmıştır (Şekil 3.16.).



Şekil 3.16. Vakum pompası.

3.3. Sistemin Kurulması

3.3.1. Taban Termoelektrik Soğutucu, Serpantin ve Soğutucu Fan Montajı

Ulaşılması düşünülen minimum soğukluğa erişebilmek için 3 aşama soğutma hedeflenmiştir. Ortam sıcaklığına ısı transferi yapılacak olan üçüncü aşama soğutma için kullanılacak olan Termoelektrik Soğutucu, kabin alt kısmında yerleşeceği yüzeyin, çok ince zımparalanıp keçe ile parlatıldıktan sonra araya termal macun sürülerek yerleştirilmiştir.

Termoelektrik Soğutucunun sıcak tarafının sıcaklığının atılması için 300x150x30 mm Alüminyum soğutucu, taban ile arasında Termoelektrik soğutucu kalacak şekilde vidayla sabitlenmiştir. Alüminyum soğutucu üzerindeki sıcaklığında ortama ısı transferini hızlandırmak için 140x140x38 24V aksiyal fan monte edilmiştir.

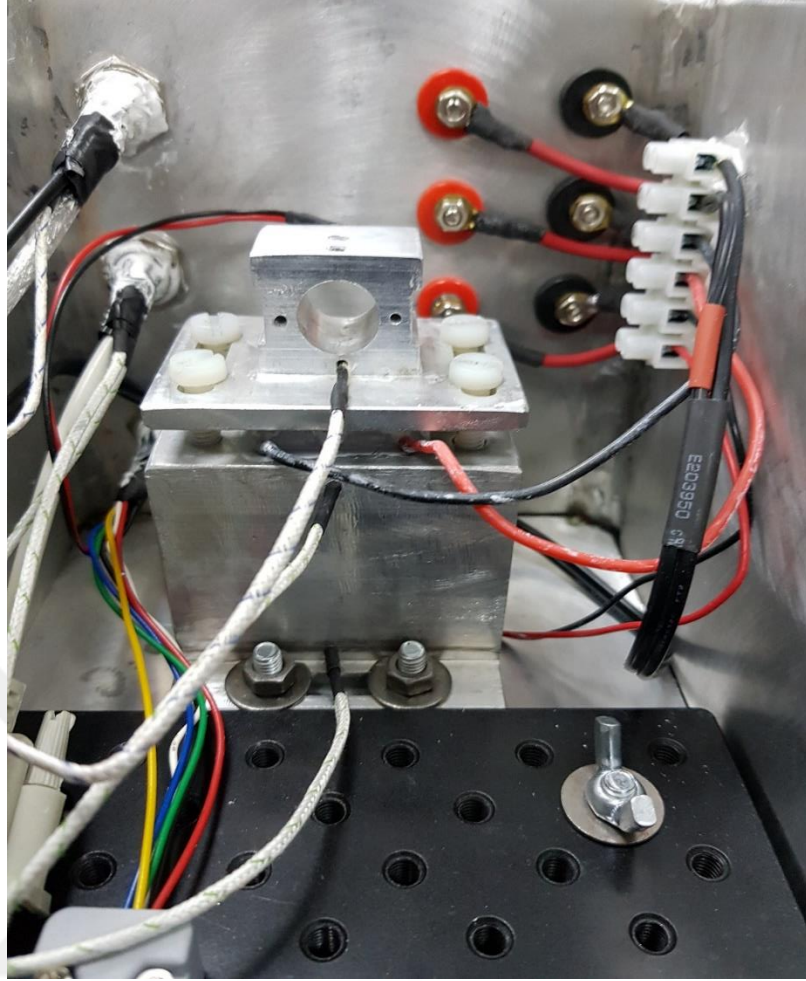
Taban Termoelektrik Soğutucu ve Soğutucu Fan için gerekli olan elektrik beslemeleri, taban alüminyum plaka üzerine montajlanmış soketlere bağlanmış, güç kaynağından gelen sökölüp takılabilen jak'larla yapılmaktadır (Şekil 3.17.).



Şekil 3.17. Taban peltier, soğutucu petek, fan ve kablo bağlantıları.

3.3.2. Blok (alüminyum blok) Termoelektrik Soğutucu Montajı

İkinci aşama soğutma, Kabin içerisinde yerleştirilmiş olan lazer kafasına kabin içerisinde bir yükseklik sağlayan 50x50x60 mm boyutlarında bir alüminyum blok ile kabin iç tabanı arasına yerleştirilen Termoelektrik Soğutucu ile yapılmaktadır. İkinci Termoelektrik Soğutucu Taban Termoelektrik Soğutucuya sıcaklığını atacak şekilde kabin içi taban yüzeyine, Termoelektrik Soğutucunun temas edeceği yerler zımpara ve keçe ile parlatılarak termal macun ile ısı transferini maksimum yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Alüminyum Blok Termoelektrik Soğutucunun soğuk kısmına yüzey parlatma ve termal macun sürülmek suretiyle iç taban ile alüminyum blok arasında Termoelektrik Soğutucu kalacak şekilde vidalanarak sıkıştırılmıştır. Bu montaj ile İkinci termoelektrik Soğutucu alüminyum bloğu soğutmakta diğer taraftan sıcaklığını platformun tabanına ve dolayısı ile üçüncü Termoelektrik Soğutucu olan taban Termoelektrik Soğutucuya aktarmaktadır (Şekil 3.18.).

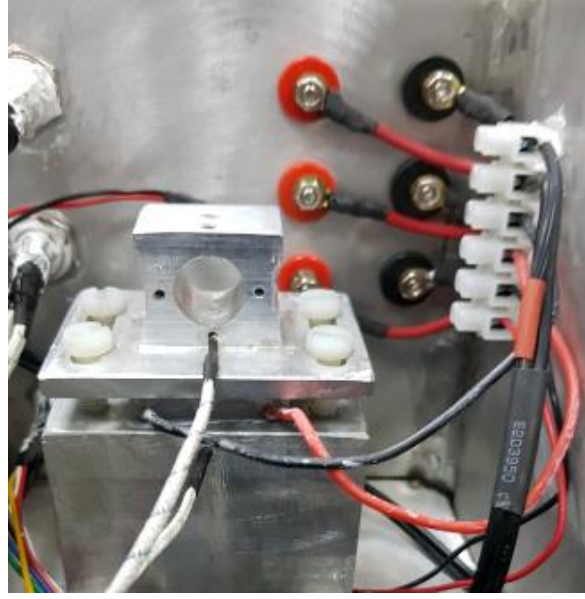


Şekil 3.18. Blok termoelektrik soğutucu ve alüminyum blok montajı.

3.3.3. Lazer Kafa ve Lazer Termo Elektrik Soğutucu Montajı

Birinci aşama soğutma, lazer kafa sıcaklığının absorbe edilmesi için kullanılan ve sıcaklığın alüminyum blok üzerine aktarılmasını sağlayan Termoelektrik Soğutucudur.

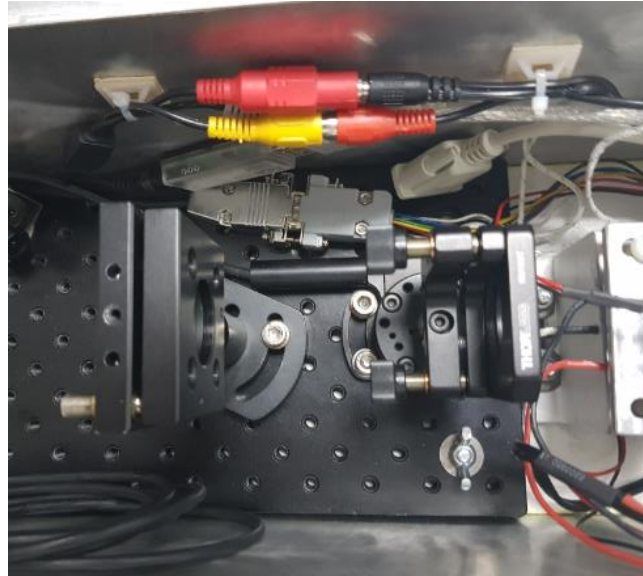
Alüminyum blok üstü ile lazer kafa tabanı zımpara ve keçe ile parlatılıp termal macun sürüldükten sonra arasına birinci aşama termoelektrik soğutucu yerleştirilmiş ve lazer kafa ile alüminyum blok vidalı bağlantı ile sıkıştırılmıştır. Termoelektrik soğutucunun elektrik bağlantısı da kabin üzerinde bulunan soketlere bağlanarak dış ortam güç kaynağına jak ile bağlanacak aşamaya getirilmiştir (Şekil 3.19.).



Şekil 3.19. Lazer kafa ve lazer termoelektrik soğutucu montajı.

3.3.4. Kırınım Iızgarası ve Açısal Motor Kontrol Ünitesi Montajı

Kırınım ızgarası ve açısal motor kontrol ünitesinin kabin iç tabanına montajı için, iç tabana 300x150 mm ölçülerinde, vidalama delik merkezler arası 20x20 mm olan montaj plakası sabitlenmiştir. Montaj plakası üzerine açısal motor kontrol ünitesi ve kırınım ızgarası vidalı bağlantı olarak montaj edilmiştir (Şekil 3.20.).



Şekil 3.20. Kırınım ızgarası ve açısal motor kontrol ünitesi.

3.3.5. Nem ve Kabin içi Sıcaklık Kontrol Cihaz Montajı

Kabin içerisindeki nemin %0 RH olması düşünülmektedir. Kabin içerisindeki nem değerinin ölçülmesi için Thorlabs TSP-01 Sıcaklık ve Nem Kontrol ünitesi, kabin içi yan yüzeyine monte edilmiş, 9 Pinli konnektörler yoluyla dış ortamdaki bilgisayara aktarılarak ölçümlerin yapılması sağlanmıştır (Şekil 3.21.).



Şekil 3.21. Nem ve sıcaklık kontrolü montajı.

3.3.6. Vakum Basınç Manometresi ve Vakum Pompa Bağlantı Vanası Montajı

Kabin içerisindeki nemi almak ve kabin iç basıncını 1 mbar mertebesine düşürmek için pompa bağlantı vanası ve basınç değerini gözlemek için vakum manometresi montajı yapılmıştır. Vana bağlantısı için kabin yan yüzeyine, manometre için kabin üst kapağına 3/8" iç vida açılarak, teflon bant ile sızdırmazlığı sağlanacak şekilde montajları gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.22.).



Şekil 3.22. Manometre ve vakum basınç vana montajı.

3.4. Platformun Matematiksel Modellemesi

Lazer kafa üzerinde toplam ısı yük hesabı yapılırken aşağıda verilen eşitliklerden faydalanılacaktır. Bu eşitliklerin toplamı bize toplam ısı yükü verecektir. Toplam ısı yük bulunduğundan sonra bu ısı yükün atmosferik ortama atılması için

3.4.1. Lazer Kafa Soğutma Yükü Hesabı

Lazerin bağlı olduğu alüminyum kafa haznenin kütle ısı transfer etkisi ($Q_{Kütle}$).

$$Q_{kütle} = mc_p \Delta T / t \quad (1)$$

m	Toplam kütle (Alüminyum lazer kafa kütlesi 0.20 Kg)
Cp	Malzemenin ısı kapasitesi (Alüminyum için $c_p = 960 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$) [71].
Δt	İlk ve son sıcaklıklar arasındaki fark ($t_{son}-t_{ilk}$) ($\Delta T = (298 - 217) \text{ K}$)
t	Kütlenin son sıcaklığa inebilmesi için geçen süre (1200 saniye)

Lazer kafanın iletim yolu ile olan ısı transfer etkisi (Q_{iletim}).

$$Q_{iletim} = kA\Delta T / \Delta z \quad (2)$$

k	Isı iletim katsayısı ($k = 130 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$) [71].
A	Isı iletim yüzey alanı (Lazer kafa yüzey alanı $A = 9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$)
Δt	İlk ve son sıcaklıklar arasındaki fark ($t_{son}-t_{ilk}$) ($\Delta T = (298 - 217) \text{ K}$)
Δz	Ortam kalınlığı (AD 590 Isı sensörünün TEC'e olan uzaklığı) ($\Delta z = 0.027 \text{ m}$)

Lazer kafanın taşınım yolu ile olan ısı transfer etkisi ($Q_{Taşınım}$).

$$Q_{taşınım} = hA\Delta T \quad (3)$$

A	Isı iletim yüzey alanı (Lazer kafa taşınımına maruz kalan yüzey alanı)($A=0.066 \text{ m}^2$)
Δt	Ortam sıcaklığı ve TEC yüzey sıcaklığı arasındaki fark ($t_{ortam}-t_{TEC}$) ($\Delta t=81 \text{ }^\circ\text{C}$)
h	Isıl taşınım katsayısı (1Atm, 298K hava şartları için $h = 10 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)

(Sistemde vakum olduğu için; ~1 mbar basınç ortamında →
 $h = 0.037 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ alınmıştır [62].

Lazer kafanın ısıtım yolu ile olan ısı transfer etkisi ($Q_{\text{ısıtım}}$).

$$Q_{\text{ısıtım}} = \varepsilon \sigma A (T_{\text{hot}}^4 - T_{\text{cold}}^4) \quad (4)$$

ε Kara Cisim ısıtması $\varepsilon = 1$

σ Stefan-Boltzmann sabiti $\sigma = 5.6703 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

A Soğutulan yüzey alanı (Lazer kafa ısıtımına maruz kalan yüzey alanı)

$$A = 6.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Δt Ortam sıcaklığı ve TEC yüzey sıcaklığı arasındaki fark ($t_{\text{Ortam}} - t_{\text{TEC}}$)

$$\Delta T = (298 - 217) = 81 \text{ K}$$

Lazer diyot`tan gelen elektrik kaynaklı ısı transfer etkisi (Q_{Lazer}).

$$P_{\text{lazer}} = U I \text{ Elektriksel güç} \quad (5)$$

$$Q_{\text{lazer}} = P_{\text{lazer}} \%30 \text{ W} \quad (6)$$

Lazere uygulanan elektriksel yükün sadece %30`u ısı enerjisiye dönüşmektedir [17].

I_{LD} Lazer Diyot`a verilen elektrik akımı ($I = 0.055 \text{ A}$).

U_{LD} Lazere Diyot`a verilen voltaj ($U = 2.6 \text{ V}$).

Akım ve gerilim değerleri HL6535MG diyot lazerin katalog eşik akımı ve çalışma voltajı değerleridir.

TEC`den gelen elektrik kaynaklı ısı transfer etkisi (Q_{TEC}).

$$P_{\text{TEC}} = U_{\text{TEC}} I_{\text{TEC}} \quad (6)$$

I_{TEC} Termoelektrik Soğutucuya verilen elektrik akımı ($I_{\text{TEC}} = 3.93 \text{ A}$).

U_{TEC} Termoelektrik Soğutucuya verilen voltaj ($U_{\text{TEC}} = 8.3 \text{ V}$).

Toplam lazer kafa soğutma yükü (Q_T).

$$Q_T = Q_{\text{kütle}} + Q_{\text{iletim}} + Q_{\text{taşıma}} + Q_{\text{ısıtım}} + Q_{\text{lazer}} + Q_{\text{TEC}} \quad (7)$$

3.4.2. Kaskat TEC'lerin Soğutma Etkisinin (COP, Coefficient of Performance)

Hesaplanması

Soğutma sistemlerinde verimlilik COP (Coefficient of Performance – Performans Katsayısı) ile belirlenir. Buda, soğutma yükünün, verilen enerji olarak elektriksel yüke oranıdır. TEC'lerin çalışmasında elektriksel akım değerinin önemi büyüktür. İdeal soğutma yükü için uygulanan akım değerinin üzerine çıkılması TEC içerisinde ısı enerjisi dönüşüp TEC'in soğutma etkisinin hızlı bir şekilde düşmesine sebep olmaktadır.

TEC'lerin COP değerleri fabrikasyon değer olarak kataloglarında belirtilmiştir. Bizim kullanmış olduğumuz TEC'lerin her birinin modelleri ve katalog değerleri Tablo 3.5. de verilmiştir.

Tablo 3.5. Platformda kullanılan TEC'ler için katalog değerleri.

	Model	Ölçüler	Q _{Cmax}	DT _{max}	U _{max}	I _{max}	COP
Taban TEC	TEHC1-24127	62X62X3.8	511,3 W	74 °C	31,8 V	25,8 A	0,63
Blok TEC	UT15,288,F2,5252	52X52X3.3	340,6 W	68 °C	36,0 V	15,4 A	0,61
Lazer TEC	TETS3-119-119- 119-07CH4.5	30X30X8.9	26,3 W	104 °C	13,6 V	7.0 A	0,27

Soğutma sistemlerinde daha düşük sıcaklıklara ulaşabilmenin bir yolu da, birden fazla soğutma sisteminin birbirlerine ısı transferi sağlayacak şekilde montaj edilmesi ile (Kaskat Sistem) en üst ve en alt arasında ki sıcaklık farkının artırılması ve minimum sıcaklığa inilmesidir.

Yapılan çalışmada, Tablo 3.5'de verilen üç adet TEC birbirleri ile kaskat bağlanmak suretiyle minimum sıcaklığa inilmiştir.

TEC'lerin birbiri ile uyumlu çalışması birinin diğerine ısını ideal şartlarda aktarabilmesi ile mümkündür. Yapılan ön çalışmalar ve deneylerden elde ettiğimiz sonuçlara göre lazer haznesinin en düşük sıcaklığa inebilmesi için, üstteki TEC'in soğutma gücünün bir önceki TEC'in soğutma gücüne göre en fazla üçte biri oranında olması gerektiği tespit edilmiştir. TEC'lerin yüzeyleri arasında en yüksek sıcaklık farkını elde edebilmek için de TEC'lere uygulanan akımında en fazla 0.5 I_{max} olması gereken şartlardan birtanesidir.

Kaskat olarak kullanılan TEC'lerin tamamının oluşturacağı COP değeri aşağıda geliştirilmiş olan formül ile tespit edilebilmektedir.

$$\phi = \left[\left(1 + \frac{1}{\phi_s} \right)^N - 1 \right]^{-1} \quad [63]. \quad (8)$$

- $\emptyset$ = Tüm kaskat sisteminin COP değeri
 $\emptyset_s$ = Sistemdeki TEC'lerin COP değerleri
 N = Kaskat dizilen TEC'lerin adedi

Kullanmış olduğumuz TEC'lerin COP değerleri formülde yerleştirildiğinde Kaskat sistemin ortalama COP değeri bulunmuş olur.

3.4.3. Kaskat TEC'lerde Olan Maksimum Isıl Direnç Hesabı

Kaskat sistemlerde en üste kullanılan TEC'in lazer kafasından absorbe ettiği soğukluğu en altta bulunan TEC'in sıcak tarafından atıldığı düşünüldüğünde kayıpsız bir sistem için bu değerlerin birbirine eşit olduğu söylenebilir. Bu değer taban TEC'den atılması gereken ısı değeri olup bu ısıyı atan sistemin (Isı havuzu) maksimum ısıl direncidir.

$$R_{ısı\ hav.\ max} = \frac{T_{TEC} - T_{çevre}}{P_{TEC} + Q_T} \quad [64]. \quad (9)$$

T_{TEC}	Tabandaki TEC'in alt yüzeyinin sıcaklığı.
$T_{çevre}$	Çevre Sıcaklığı.
P_{TEC}	TEC'lere uygulanan toplam elektriksel güç.
Q_T	TEC'ten atılması gereken toplam ısı değeri.

3.4.4. Taban TEC'den Sıcaklığın Atmosfere Atılması İçin Gereken Isıl Direnç Hesabı

Isı havuzunun direnci lazer kafasındaki oluşan ısı yükün atılması için gereken maksimum ısıl direnç hesabına göre daha düşük bir dirence sahip olmalıdır. Isıl direncin düşürülebilmesi oluşturulan ısı havuzunun bileşenlerinin yapılarına, özelliklerine ve çalışma şekillerine bağlıdır. Doğal yollarla ısı atılabileceği gibi, ısıнын yüksek sıcaklıklara ulaşması halinde cebri (zorlanmış) hava veya sıvı soğutmalı olmak üzere çeşitli yöntemler tercih edilebilir. TEC'lerin ısısının atılması için genellikle kanatçıklı ve hava sirkülasyonlu sistemler tercih edilmektedir.

Kanatçıklı, hava sirkülasyonlu bir ısı havuz kullanılarak yapılan ısı transferi için aşağıda formüller, formüllerde gereken ölçüm değerleri ve referans değerleri verilmiştir.

Isı havuzu temel alan hesabı (A_t)

$$b = \frac{W - Nt}{N - 1} \quad [64]. \quad (10)$$

b = Kanatçıklar arası boşluklar (m)

N = Kanatçık Sayısı = 24 Adet

W = Isı Havuzu Genişliği (m) = 0.15 m

t = Kanatçık Kalınlığı (m) = 0.002 m

$$A_c = tL \quad [64]. \quad (11)$$

A_c = Kanat kesit alanı (m^2)

L = Kanatçık boyutu (m) = 0.3 m

$$P = 2t + 2L \quad [64]. \quad (12)$$

P = Kanatçık çevresi (m)

$$A_f = 2HL \quad [64]. \quad (13)$$

A_f = Kanatçık yüzey alanı (m^2)

H = Kanatçık Yüksekliği (m) = 0.02 m

$$A_b = (N - 1)bL \quad [64]. \quad (14)$$

A_b = Kanatçıklar arası alan (m^2)

$$A_t = NA_f + A_b \quad [64]. \quad (15)$$

A_t = Temel Alan (m^2)

Fan havası ortalama ısı transfer katsayısı hesabı (h)

$$V = \frac{v}{NbH} \quad [64]. \quad (16)$$

V = Kanatçıklar arası hava hızı (m/s)

v = Isı havuzu fanı volumetrik akış oranı (m^3/s) ($0.1715 \text{ m}^3/\text{s}$)

(Fan Tubeaxial 24VDC Square -139.7mm L x 139.7mm H Ball 367.6 CFM ($10.29 \text{ m}^3/\text{min}$) 2 Wire Leads)

$$Pr = \frac{C_p \mu}{K} \quad [64]. \quad (17)$$

Pr = Hava için Prandtl sayısı 1atm ve 298 K

C_p = Özgül Isı ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) (Hava için $C_p = 1.046 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

μ = Dinamik Vizkozite 25 °C ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$) ($\mu = 1.84 \cdot 10^{-5}$)

K = Havanın ısı iletkenliği $26 \cdot 10^{-6} \text{ kW/mK}$

$$Re = \frac{\rho V b}{\mu} \quad [64]. \quad (18)$$

Re = Reynolds Sayısı

ρ = Havanın yoğunluğu (kg/m^3) ($\rho = 1.1843 \text{ kg/m}^3$)

$$Re^* = Re \frac{b}{L} \quad [64]. \quad (19)$$

Re^* = Kanal Reynolds Sayısı

$$Nu_i = \left[\frac{1}{\left(\frac{Re^* Pr}{2} \right)^3} + \frac{1}{\left(0.664 \sqrt{Re^*} Pr^{0.33} \sqrt{1 + \frac{3.65}{Re^*}} \right)^3} \right]^{-1/3} \quad [74]. \quad (20)$$

Nu_i = Ideal Nusselt sayısı

$$h = Nu_i \frac{K}{b} \quad [64]. \quad (21)$$

h = Ortalama ısı transfer katsayısı (W/m K)

K = Havanın ısı iletkenliği ($K = 26 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}$)

Genel yüzey verimliliği hesabı (η_0)

$$m = \sqrt{\frac{hP}{k_f A_c}} \quad [64]. \quad (22)$$

m = Kanatçık parametre (1/m)

k_{fAl} = Kanatçık ısı iletim Katsayısı ($Wm^{-1} K^{-1}$)

$$\eta_f = \frac{\tanh(mH)}{mH} \quad [64]. \quad (23)$$

η_f = Kanatçık verimliliği

$$\eta_0 = 1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) \quad [64]. \quad (24)$$

η_0 = Genel yüzey verimliliği

Isı havuzu ısıl direnç hesaplaması (R_{hs})

$$R_{hs} = \frac{1}{\eta_0 h A_t} \quad [64]. \quad (25)$$

R_{hs} = Isı Havuzu Isıl Direnç (K/W)

3.5. Platformun Çalıştırılması

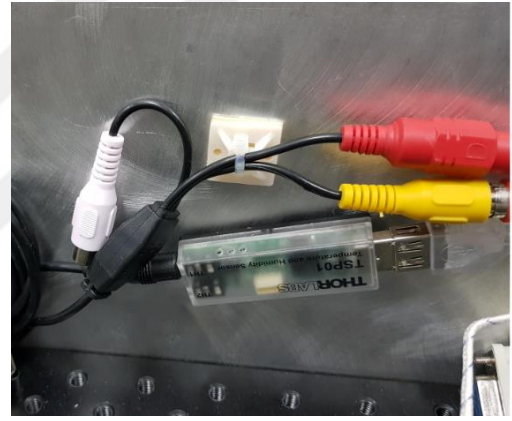
3.5.1. Platformun Mekanik Bağlantıları ve Çalıştırılması

Sistem içerisindeki havanın vakumlanması ve nemin dış ortama atılması için, sistem üzerindeki vana bağlantısına, 3/8" vidalı hortum ve vakum pompası bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Vakum pompası çalıştırılarak vakumlama ve sistem içerisindeki nem alma işlemi sağlanmıştır (Şekil 3.23.).



Şekil 3.23. Vakum sisteminin bağlantısı ve çalıştırılması.

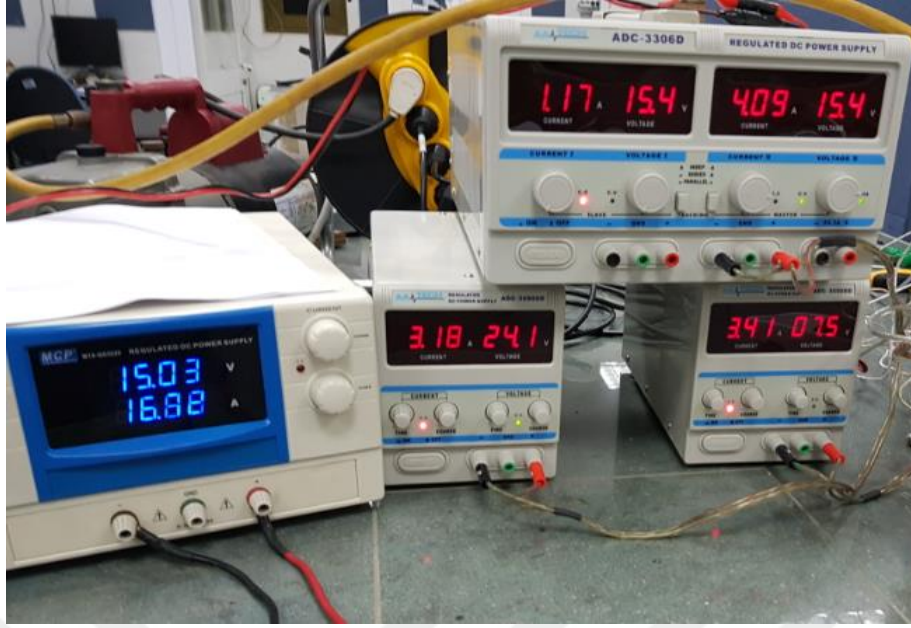
Vakum değeri cihaz üzerindeki analog vakum manometresi ile nem değeri de sistem içerisinde bulunan sıcaklık ve nem ölçme cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 3.24.).



Şekil 3.24. Vakum manometresi ve ortam sıcaklık - nem ölçümü (Thorlabs TSP01).

3.5.2. Platformun Elektrik Bağlantıları ve Çalıştırılması

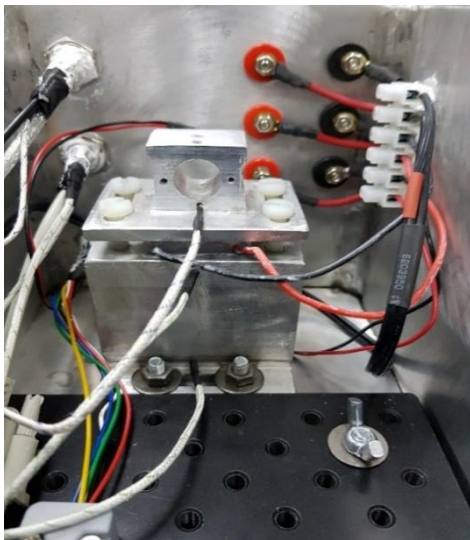
Sistem içerisinde ve dışında bulunan her bir Termoelektrik Soğutucu ve Taban Soğutucu Fanı için ayrı ayrı olmak üzere, farklı gerilimler uygulanabilecek şekilde, DC Güç Kaynaklarına bağlanmış ve yapılan deneyler de Termoelektrik Soğutucuların ve soğutucu fanın gerilim değerleri değiştirilmek suretiyle performans testleri yapılmıştır (Şekil 3.25.).



Şekil 3.25. Termoelektrik soğutucular ve fan enerji bağlantıları.

3.5.3. Platformun Veri Kabloları Bağlantısı ve Çalıştırılması

Lazer kafa - alüminyum blok, alüminyum blok - kabin iç tabanı arasında bulunan Termoelektrik Soğutucuların soğuk ve sıcak taraflarının ölçümleri için kullanılan K tipi sensörler ile sıcaklıkların ölçülüp, hissetmiş oldukları sıcaklık değerleri veri bağlantı kabloları ile kabin gövdesindeki soketler üzerinden sıcaklık ölçüm cihazına aktarılmaktadır (Şekil 3.26.).

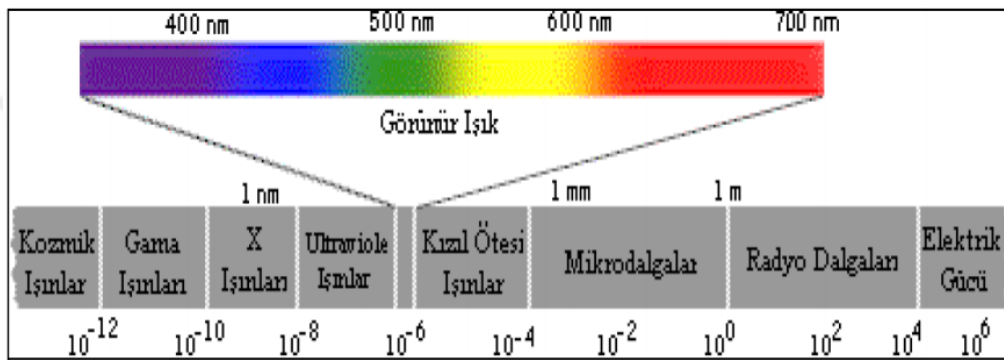


Şekil 3.26. K tipi sensörler ve sıcaklık ölçümleri.

3.6. Platforma Lazer ve Lazerleme İçin Harici Optik Düzeneğin Kurulması, Çalıştırılması.

Tasarlanan platform içine lazer kafasının montajının yapılması, geri besleme ünitesi kırınım ızgarasının montajı, lazer kafasından çıkan lazer ışını ve kırınım ızgarası geri besleme ışınlarının hizalanması sonuç olarak lazer ışınının güçlendirilmesi, güç ölçümünün yapılması ve dalga boyunun ölçülmesi planlanmaktadır.

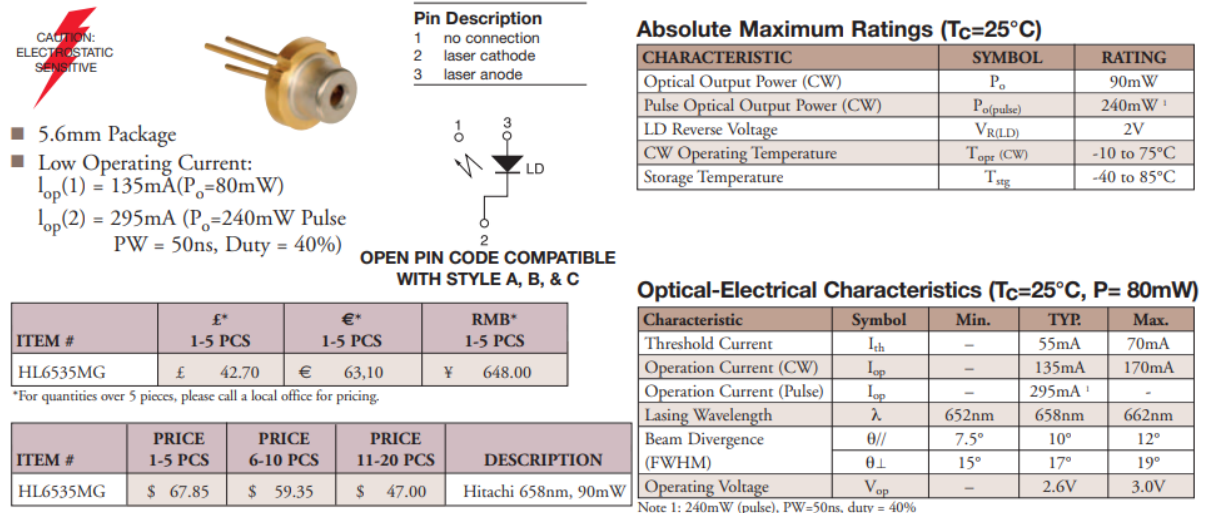
Lazer Diyot olarak, deneysel çalışmalar için, göz sağlığı açısından düşük enerjili olması, ayarlamaların rahat yapılabilmesi, görünür kırmızı ışık vermesi açısından (Şekil 3.27.); $\lambda = 658$ nm, $P = 80$ mW, tekil mod lazer diyot (Thorlabs-Hitachi HL6535MG) seçilmiştir.



Şekil 3.27. Görünür Işık dalga boyu ve renk dağılımı.

Deneysel kullanım için seçilen lazer'in katalog değerleri Şekil 3.28. de verilmiştir.

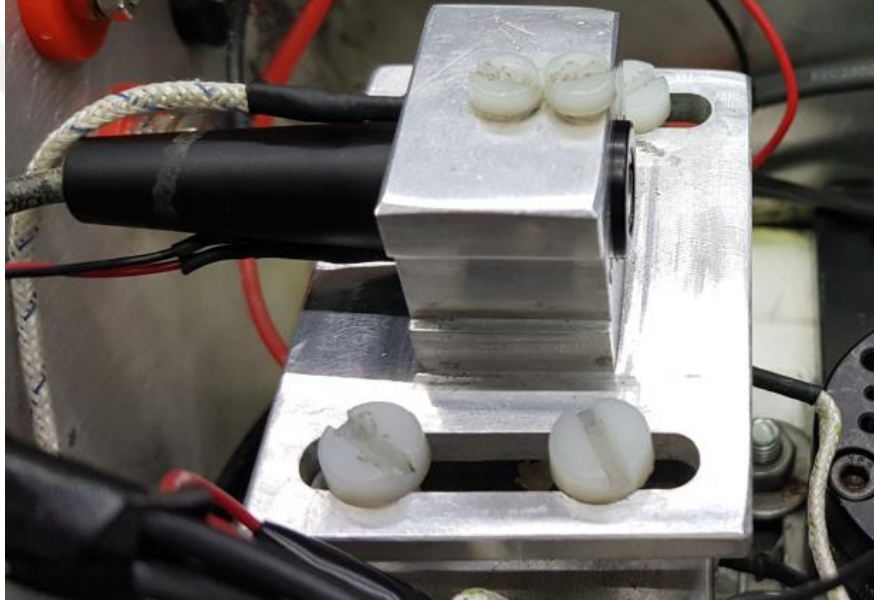
$\lambda = 658\text{nm}$ $P = 90\text{mW}$, Single Mode Hitachi HL6535MG



Şekil 3.28. Deneysel amaçlı seçilen 658nm dalga boylu lazer'in katalog değerleri.

3.6.1. Lazer`in Lazer Kafasına Montajı

Lazer Diyot kendisine ait özel kılıfa, daha sonrada soğutulmasını sağlayacak olan özel tasarladığımız, Termoelektrik Soğutucu üzerine monte ettiğimiz alüminyum kafa içerisine yerleştirilip plastik vidalarla sıkılmıştır (Şekil 3.29.). Yerleştirilirken, lazer çıkış ışınının görüntüsü olan oval şeklin büyük çapı yatay düzleme paralel olacak şekilde gelmesine dikkat edilmiştir. Lazer çıkış ışınının kovuktan çıkış ölçüleri yaklaşık, yatayda 100 mikron, dikeyde 10 mikron gibi bir değerde olması, bu yerleştirmelerin önemini göstermektedir. Yatayda veya bilhassa dikeyde olacak olan mikron mertebesindeki bir sapma, lazer ışınının geri beslemesine engel olacak ve lazerleme oluşmayacaktır.

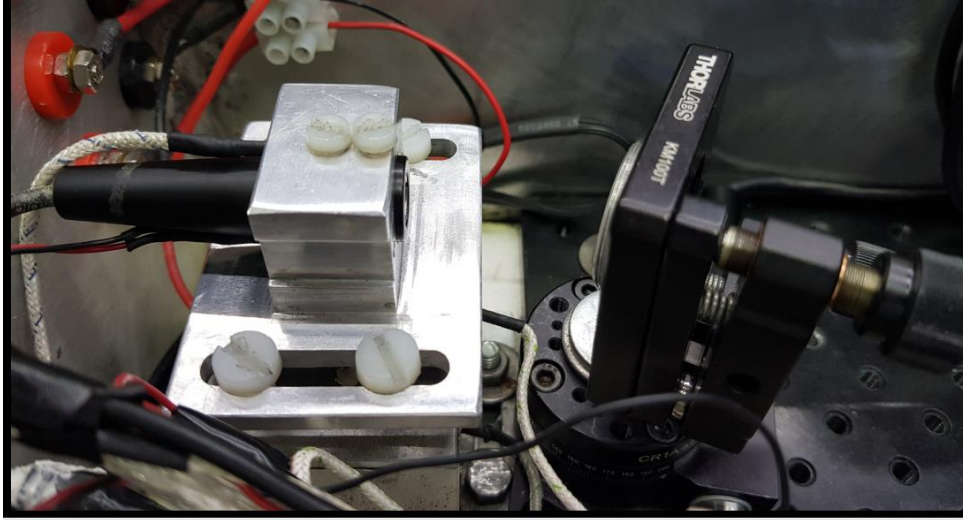


Şekil 3.29. Lazer Diyot'un özel kılıf ve soğutucu alüminyum kafaya montajı.

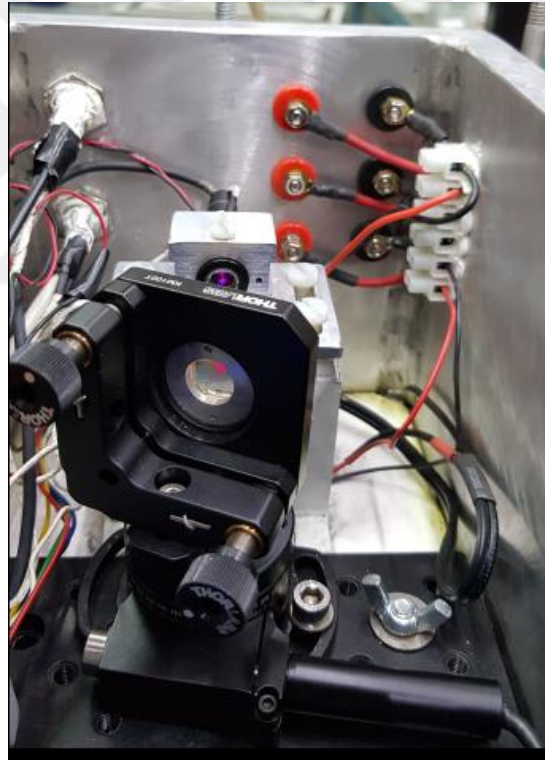
3.6.2 Geri Besleme Ünitesinin Kurulması, Lazerlemenin Elde Edilmesi

Geri besleme ünitesi; Kırınım ızgarası, Kırınım ızgarasının yerleştirdiği el ile hassas açısal ayarların yapıldığı gövde ve bu gövdeyi 360 derece döndürebilen bilgisayar kontrollü motordan oluşmaktadır.

Lazer ışınının kırınım ızgarasının tam ortasına gelecek (Şekil 3.30.) ve lazer kovuğu çıkışına mümkün olduğu kadar minimum uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.31.).



Şekil 3.30. Geri besleme ünitesi yerleşimi



Şekil 3.31. Geri besleme ünitesi yerleşimi

3.6.3. Lazerlemenin Elde Edilmesi

Kırınım ızgarası önce lazer çıkışına dik olacak şekilde yaklaşık yerleştirilmiş daha sonra kırınım ızgarasının bağlı olduğu gövde üzerindeki vidalar ve açıl dönme sağlayan bilgisayar

kontrollü motor sürücüsüne, sadece açı değil, dakika olarak ta hassas açısal hareket vererek lazer kovuğuna geri besleme sağlanmıştır. Sonuç olarak lazer ışınının daha çok parlaması, daha güçlü ışık vermesi gözlemlenmiştir (Şekil 3.32.).



Şekil 3.32. Lazerlemenin Elde Edilmesi

Asıl hedef, kırınım ızgarasının üzerindeki çentiklerin belirli bir açı sonrası tekrar lazer çıkışına dik olarak gelmesi ve bu değerde lazerlemenin oluşturulması olduğu için, bu açısal değere kırınım ızgarasını çevirmek ve o değerde lazerlemenin oluşmasını sağlamaktır.

Teorik olarak, Litrow Konfigürasyonuna göre;

$$\sin^{-1} \theta = \frac{\lambda}{2d} \quad (26)$$

Burada;

$d = 1/1200 \text{ mm}$ (Kırınım ızgarası çentikler arası mesafe. Katolog değeri)

$\lambda = 658 \text{ nm}$

$$\theta = \text{Arc Sin } \frac{\lambda}{2d} = \text{Arc Sin } \left(\frac{0,658 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot \frac{1}{1200} \cdot 10^{-3}} \right) \quad \theta = 23.21^\circ$$

Teorik düşünce ile açısal olarak $\theta = 23.21^\circ$ 'lık bir kırınım ızgarasının döndürülmesi tekrar lazerlemenin oluşacağı değerdir.

Fakat pratikte, gerek lazer kafasının bulunduğu düzlem, gerekse kırınım ızgarasının bulunduğu düzlem birbirleri ile aynı paralellikte olmama ihtimali, lazer ışınının mikron mertebede geliş açısının değişmesine sebep olmakta, geri beslemeyi sağlamamakta ve lazerleme oluşmamaktadır. 23 ve 24 derece aralığında tekrar manuel düğme ayarları ve motorun hassas açısal hareketleri ile bu aralıkta lazerleme yakalanmıştır.

Bu lazerleme işleminin tespitinde, lazer diyot'un elektrik beslemesi fabrikasyon lazerlemenin başlayacağı minimum akım değeri olan 52.1 mA ve o anki lazer kafasının sıcaklığı olan 19.77 derece sürekli ve sabit olacak şekilde Lazer Kombi Kontrolör ile sabitlenmiştir (Şekil 3.33.).



Şekil 3.33. Lazerleme için kombi kontrolör ayarları.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Tez çalışması iki aşamada bitirilmiştir. Birinci aşamada lazerle ilgili hedeflenen deneyleri çalıştırmak için platform içi ortam şartlarını sağlamak (%0 nem, ultra düşük sıcaklık, ~1mbar basınç değeri), ikinci aşamada normal şartlarda ve hedeflenen şartlarda lazer ışınının gerekli ayarlamalarını yaparak değişimlerini gözlemlemek.

Birinci aşamada, ortam şartlarında platform içinin vakumlama işleminin neticesi olarak, 1mbar basınç değerine çok kısa sürede inilmiş fakat platform içerisindeki nemin tamamen dış ortama atılması yaklaşık 3.5 saat sürmüştür. Bu süre, daha güçlü vakum pompası kullanılması ile kısaltılabilir. Bu işlem bir defaya mahsus yapılacağı için bu sürenin kullanılması kaçınılmazdır.

Bu aşamada en sıkıntılı durum lazer kafasının ultra sıcaklıklara inilmesi durumudur. Bunun için termoelektrik soğutucular ve bunların birbirleri ile kaskat bağlanmaları, ayrıca termoelektrik soğutucuların beslenen gerilim ve akıma göre çalışma performanslarının olumlu veya olumsuz değişebilmesi ve bunların tespit edilmesi önem arz etmektedir.

4.1. Kaskat Termoelektrik Soğutucuların Performans Testleri ve Sonuçları

Elimizde bulunan çeşitli soğutma güçlerindeki termoelektrik soğutucuların birbirlerine aktaracağı maksimum ısı transferini sağlayacak güç oranları ve uygulanacak elektriksel gerilim değerleri yapılan deneysel çalışmalarla tespit edilmiştir. Aşağıda bu deneysel çalışmaların veri değerleri tablo ve grafik olarak aktarılmıştır.

Deneysel çalışma esnasında ısı transferinin lazer kafa üzerinden dış ortama(atmosfere) atılana kadar geçen her aşamadaki kaskat TEC'ler, tabandan itibaren sırasıyla çalıştırılmıştır. Bu sayede TEC'ler üzerinde ısı birikme, TEC'lerin ters tepki yapmasının önüne geçilmiştir.

DENEY 1- KASKAT TEC SICAKLIK DEĞİŞİM DEĞERLERİ TABLO VE GRAFİĞİ

Kullanılan termoelektrik soğutucular

Taban TEC : TEHC1-24127 62X62X3.8 511,3 W DT=74 °C

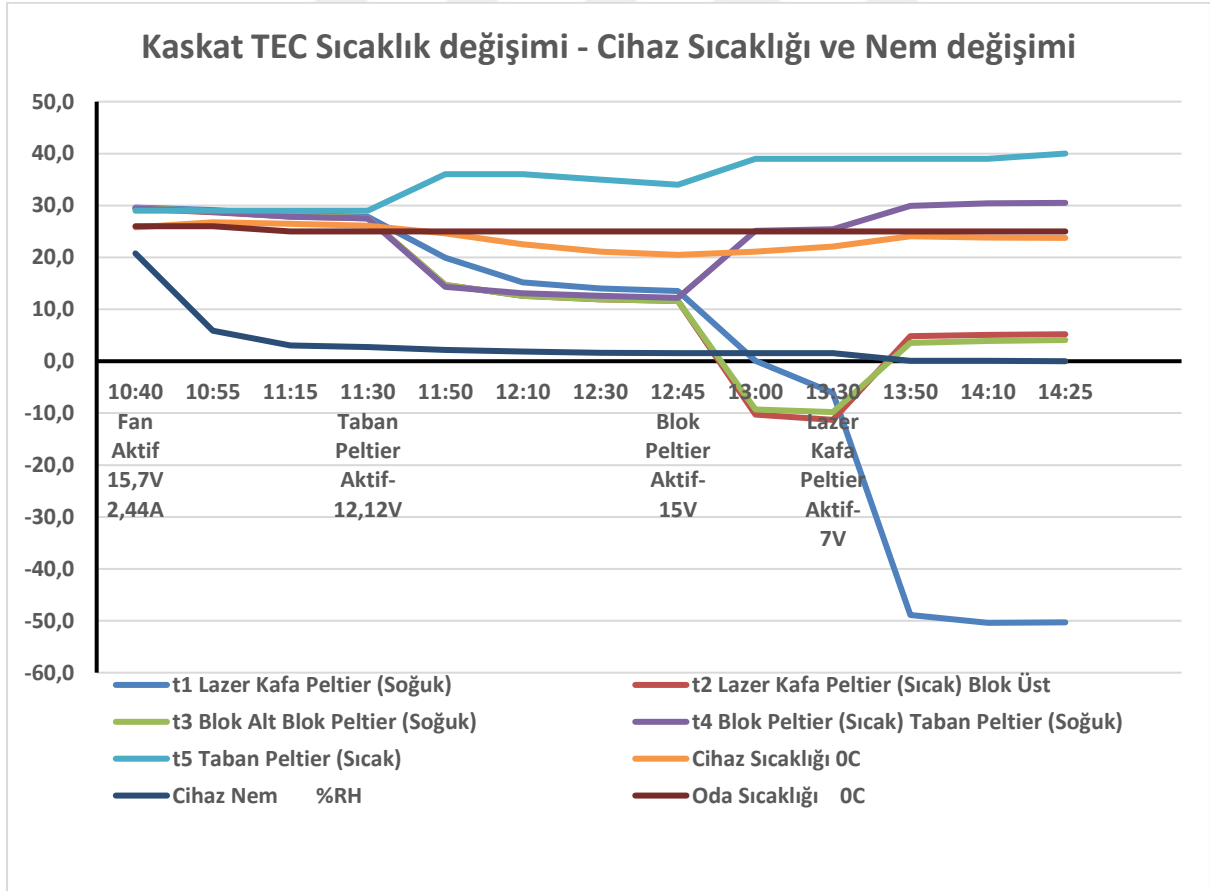
Blok TEC : UT15,288,F2,5252 52,52,3.3 340,6 W DT=68 °C

Lazer TEC : TETS3-119-119-119-07CH4.5 30X30X8.9 26,3 W DT=104 °C

Birinci deney sonucunda kullanılan TEC'lere uygulanan katalog gerilim değerleri ayarlanmak suretiyle (Tablo 4.1.) en performanslı çalışma şartları sağlanarak -50.3 °C sıcaklığa inilmiştir (Şekil 4.1.).

Tablo 4.1. Birinci Kaskat TEC Deney sonuçları.

	t1 Lazer Kafa Peltier (Soğuk)	t2 Lazer Kafa Peltier (Sıcak) Blok Üst	t3 Blok Alt Blok Peltier (Soğuk)	t4 Blok Peltier (Sıcak) Taban Peltier (Soğuk)	t5 Taban Peltier (Sıcak)	Cihaz Sıcaklığı °C	Cihaz Nem %RH	Oda Sıcaklığı °C
10:40 Fan Aktif 15,7V 2,44A	29,6	29,4	29,5	29,4	29,0	25,8	20,77	26,0
10:55	29,1	28,7	28,9	28,8	29,0	26,8	5,87	26,0
11:15	28,2	27,9	28,0	27,8	29,0	26,5	3,02	25,0
11:30 Taban Peltier Aktif-12,12V	27,8	27,5	27,6	27,5	29,0	26,1	2,74	25,0
11:50	19,9	14,7	14,7	14,3	36,0	24,6	2,15	25,0
12:10	15,2	12,6	12,6	13,1	36,0	22,5	1,86	25,0
12:30	14,0	11,9	11,9	12,6	35,0	21,1	1,62	25,0
12:45 Blok Peltier Aktif-15V	13,5	11,6	11,6	12,2	34,0	20,5	1,58	25,0
13:00	0,1	-10,3	-9,3	25,1	39,0	21,1	1,57	25,0
13:30 Lazer Kafa Peltier Aktif-7V	-6,1	-11,3	-9,8	25,4	39,0	22,1	1,56	25,0
13:50	-48,9	4,8	3,5	29,9	39,0	24,1	0,10	25,0
14:10	-50,4	5,1	3,9	30,4	39,0	23,8	0,05	25,0
14:25	-50,3	5,2	4,1	30,5	40,0	23,7	0,00	25,0

**Şekil 4.1.** Birinci kaskat TEC deney sonuçları grafiği.

DENEY 2- KASKAT TEC SICAKLIK DEĞİŞİM DEĞERLERİ TABLO VE GRAFİĞİ**Kullanılan termoelektrik soğutucular**

Taban TEC : TEHC1-24127 62X62X3.8 511,3 W DT=74 °C

Blok TEC : UT15,288,F2,5252 52,52,3.3 340,6 W DT=68 °C

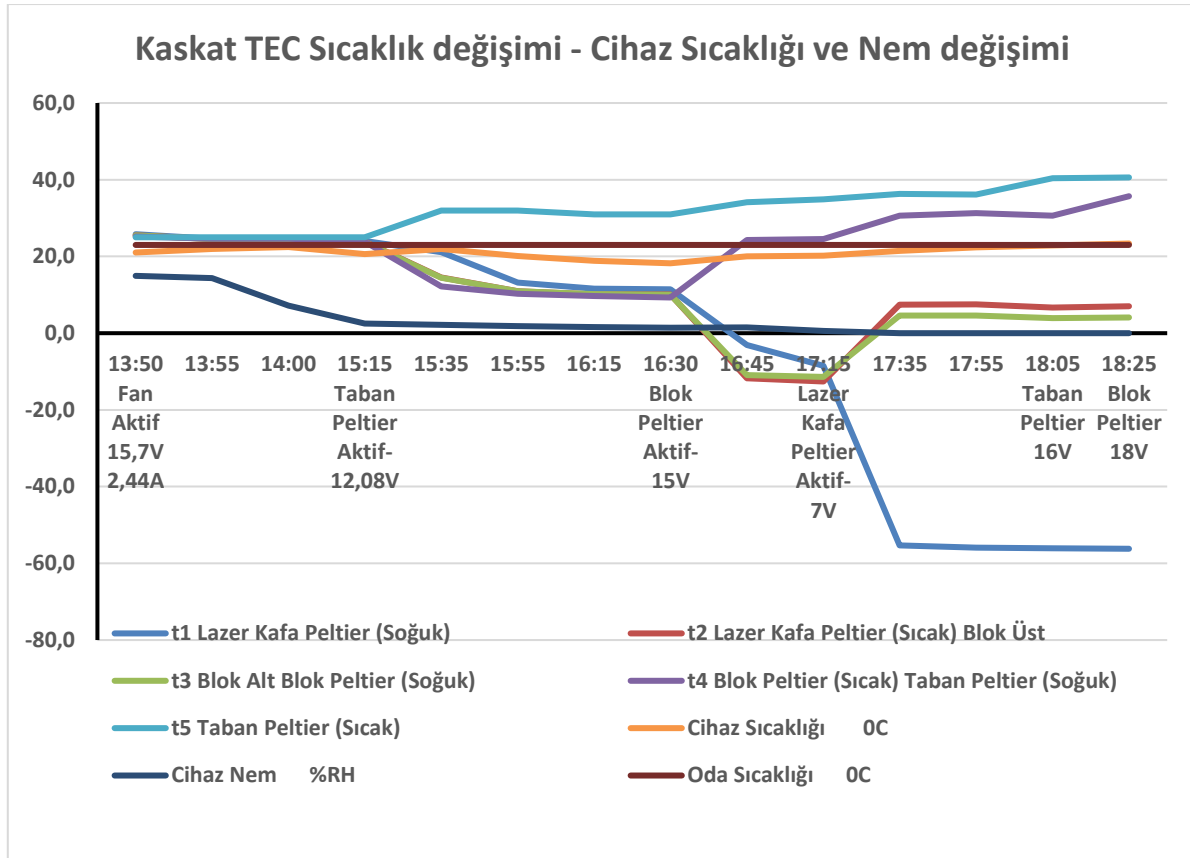
Lazer TEC : TETS3-119-119-07CH4.5 30X30X8.9 26,3 W DT=104 °C

İkinci deneysel çalışma: Taban TEC ile platform içerisindeki blok TEC arasında platformun tabanı bulunmaktadır. Yani blok TEC, taban TEC'e ısıyı direk atmamaktadır. Blok TEC'in iletmis olduğu ısıнын bir kısmı platform tabanında yayılarak dış ortama atılmaktadır. Bu durum dikkate alınarak platformun tabanı TEC'in temas ettiği yüzeyler hariç boyanmıştır. Birinci deneydeki TEC'lerin oluşturduğu kaskat düzeneği ile aynı test tekrar yapılmıştır (Tablo 4.2.).

Yapılan boyama ile platform tabanından atılan ısı bir miktar önlenerek taban TEC'e yönlendirilmiş ve ısıнын taban TEC'e bağlı olan ısı havuzu ve hava soğutmalı fan ile daha hızlı bir şekilde atılması sağlanmıştır. Bu işlem sonucu Lazer kafasının soğukluğu -56.2 °C'a ulaşmıştır (Şekil 4.2.).

Tablo 4.2. İkinci kaskat TEC deney sonuçları.

	t1 Lazer Kafa Peltier (Soğuk)	t2 Lazer Kafa Peltier (Sıcak) Blok Üst	t3 Blok Alt Blok Peltier (Soğuk)	t4 Blok Peltier (Sıcak) Taban Peltier (Soğuk)	t5 Taban Peltier (Sıcak)	Cihaz Sıcaklığı °C	Cihaz Nem %RH	Oda Sıcaklığı °C
13:50 Fan Aktif 15,7V 2,44A	25,8	25,5	25,5	25,2	25,0	21,0	14,94	23,0
13:55	24,6	24,5	24,5	24,6	25,0	21,9	14,35	23,0
14:00	24,5	24,6	24,5	24,6	25,0	22,4	7,15	23,0
15:15 Taban Peltier Aktif-12,08V	24,0	23,9	23,8	23,9	25,0	20,6	2,52	23,0
15:35	21,1	14,5	14,4	12,2	32,0	21,9	2,18	23,0
15:55	13,2	10,9	10,9	10,3	32,0	20,2	1,85	23,0
16:15	11,6	10,1	10,2	9,7	31,0	18,9	1,57	23,0
16:30 Blok Peltier Aktif-15V	11,4	10,1	10,0	9,3	31,0	18,2	1,46	23,0
16:45	-3,1	-11,8	-10,9	24,3	34,1	20,0	1,47	23,0
17:15 Lazer Kafa Peltier Aktif-7V	-8,5	-12,6	-11,4	24,5	34,9	20,2	0,60	23,0
17:35	-55,3	7,4	4,6	30,6	36,3	21,5	0,00	23,0
17:55	-55,9	7,5	4,6	31,3	36,1	22,4	0,00	23,0
18:05 Taban Peltier 16V	-56,1	6,7	3,9	30,6	40,4	22,9	0,00	23,0
18:25 Blok Peltier 18V	-56,2	7,0	4,1	35,7	40,6	23,4	0,00	23,0



Şekil 4.2. İkinci kaskat TEC deney sonuçları grafiği.

DENEY 3- KASKAT TEC SICAKLIK DEĞİŞİM DEĞERLERİ TABLO VE GRAFİĞİ

Kullanılan termoelektrik soğutucular

Taban TEC : TEHC1-24127 62X62X3.8 511,3 W DT=74 °C

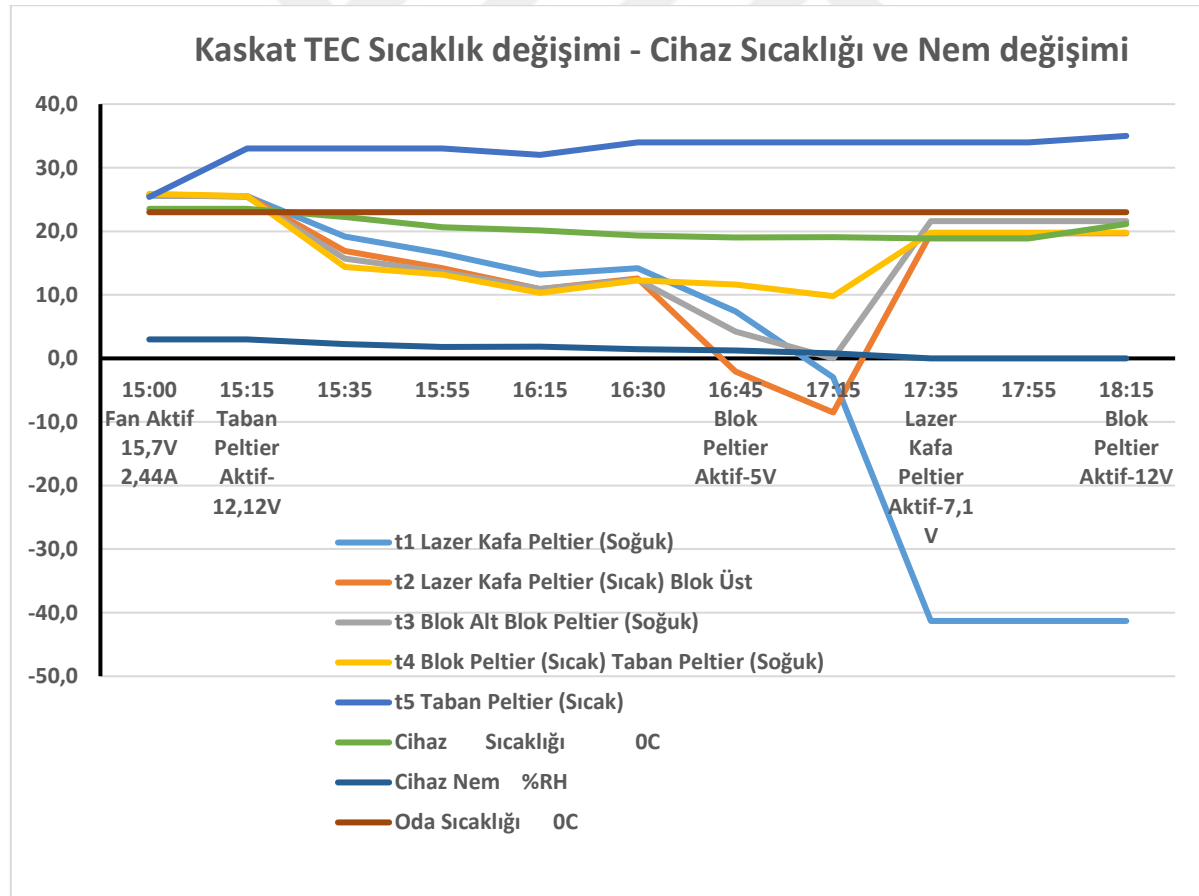
Blok TEC : TEC2-199-199-14 40X40X5.8 139 W DT=93 °C

Lazer TEC : TETS3-119-119-119-07CH4.5 30X30X8.9 26,3 W DT=104 °C

Blok tabanına yerleştirilen, ikinci deneyde kullanılan TEC ($Q_c = 340.6 \text{ W}$, $DT = 68 \text{ }^\circ\text{C}$) çıkartılmış, yerine ($Q = 139 \text{ W}$, $DT = 93 \text{ }^\circ\text{C}$) TEC monte edilmiştir. Yapılan test sonucu minimum $-41.3 \text{ }^\circ\text{C}$ değerine kadar düşülmüştür. Şu ana kadar bulunan deney sonuçlarındaki inilebilen en düşük değer $-56.2 \text{ }^\circ\text{C}$ dir (İkinci deney). Yapılan iki deney arasındaki farklılık; ikinci deneyde kullanılan blok altındaki TEC değiştirilmiş, DT sıcaklık farkı $68 \text{ }^\circ\text{C}$ olan TEC yerine, $93 \text{ }^\circ\text{C}$ olan tek yerleştirilmiştir. Çalışma sıcaklık farkı, inilebilecek en düşük sıcaklık değeri için çok daha avantajlı olmasına rağmen, güç değerinin ve ısı transfer yüzeyinin düşük olması, kaskat bağlı diğer TEC'lerle ısı transferi açısından uyumsuz hale gelmiş (Tablo 4.3.) ve inilebilen minimum sıcaklık değeri 15 derece daha büyük çıkmıştır (Şekil 4.3.).

Tablo 4.3. Üçüncü kakat TEC deney sonuçları.

	t1 Lazer Kafa Peltier (Soğuk)	t2 Lazer Kafa Peltier (Sıcak) Blok Üst	t3 Blok Alt Blok Peltier (Soğuk)	t4 Blok Peltier (Sıcak) Taban Peltier (Soğuk)	t5 Taban Peltier (Sıcak)	Cihaz Sıcaklığı °C	Cihaz Nem %RH	Oda Sıcaklığı °C
15:00 Fan Aktif 15,7V 2,44A	25,6	25,7	25,7	25,9	25,4	23,5	2,99	23,0
15:15 Taban Peltier Aktif-12,12V	25,5	25,5	25,4	25,5	33,0	23,5	2,99	23,0
15:35	19,2	16,9	15,7	14,4	33,0	22,3	2,25	23,0
15:55	16,5	14,2	13,6	13,2	33,0	20,6	1,81	23,0
16:15	13,2	10,9	10,9	10,3	32,0	20,2	1,85	23,0
16:30	14,2	12,6	12,4	12,3	34,0	19,4	1,44	23,0
16:45 Blok Peltier Aktif-5V	7,4	-2,1	4,2	11,6	34,0	19,0	1,27	23,0
17:15	-3,0	-8,5	0,0	9,8	34,0	19,1	0,80	23,0
17:35 Lazer Kafa Peltier Aktif-7,1 V	-41,3	19,7	21,6	19,8	34,0	18,9	0,00	23,0
17:55	-41,3	19,7	21,6	19,8	34,0	18,9	0,00	23,0
18:15 Blok Peltier Aktif-12V	-41,3	19,7	21,6	19,8	35,0	21,1	0,00	23,0

**Şekil 4.3.** Üçüncü kaskat TEC deney sonuçları grafiği.

DENEY 4- KASKAT TEC SICAKLIK DEĞİŞİM DEĞERLERİ TABLO VE GRAFİĞİ**Kullanılan termoelektrik soğutucular**

Taban TEC : TEHC1-24127 62X62X3.8 511,3 W DT=74 °C

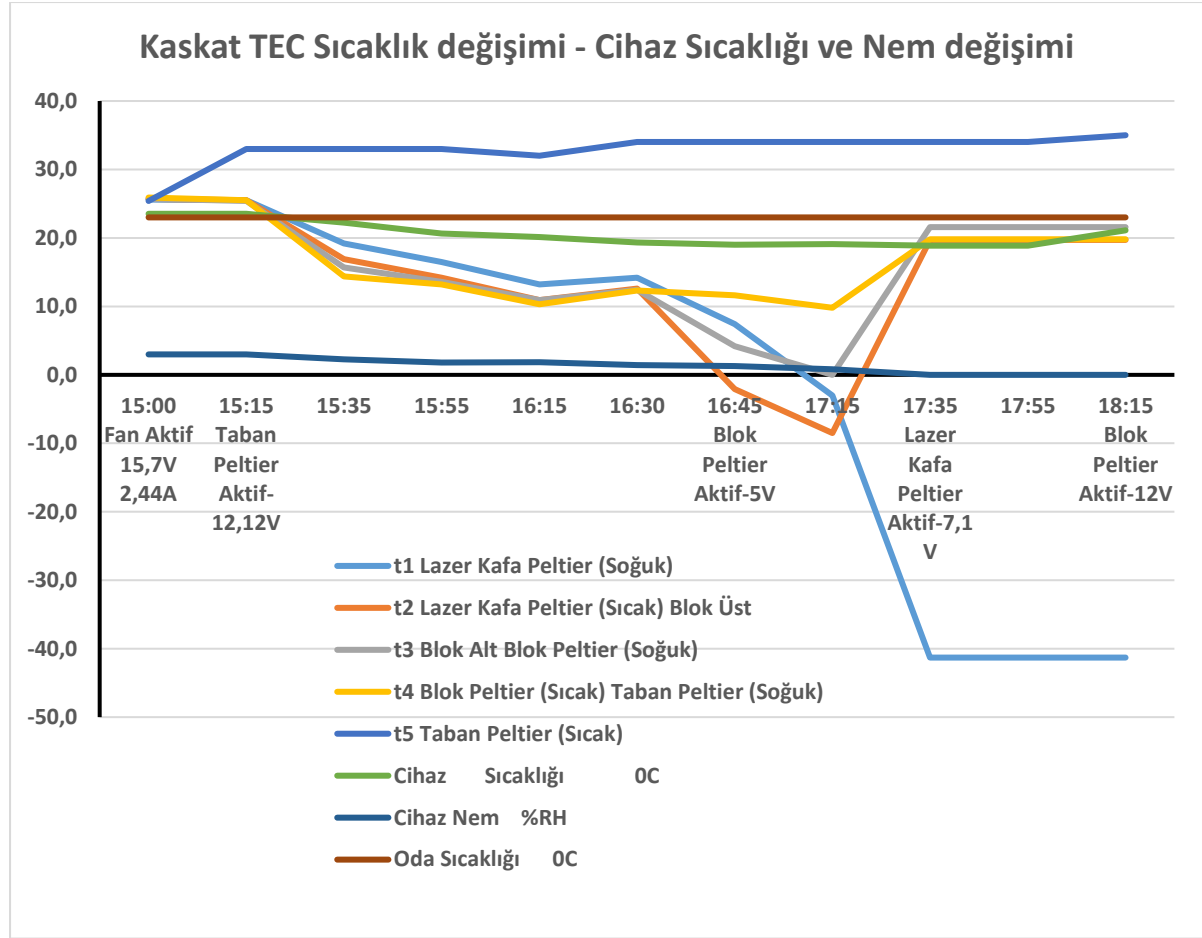
Blok TEC : TEC2-199-199-14 40X40X5.8 139 W DT=93 °C

Lazer TEC : TETS3-119-119-119-07CH4.5 30X30X8.9 26,3 W DT=104 °C

Üçüncü deneyde kullanılan blok altına takılı TEC, çalışma gerilimi değiştirilmek suretiyle yapılan hassas ayarlamalar sonucu, performans biraz daha artırılarak 2.3 °C lik bir katkı daha sağlanmış -46.6 C'a kadar inilebilmiştir (Tablo 4.4.). Bu değer ikinci deneyde bulunan sonuca göre performans açısından iyi bir değer değildir (Şekil 4.4.).

Tablo 4.4. Dördüncü kaskat TEC deney sonuçları.

	t1 Lazer Kafa Peltier (Soğuk)	t2 Lazer Kafa Peltier (Sıcak) Blok Üst	t3 Blok Alt Blok Peltier (Soğuk)	t4 Blok Peltier (Sıcak) Taban Peltier (Soğuk)	t5 Taban Peltier (Sıcak)	Cihaz Sıcaklığı °C	Cihaz Nem %RH	Oda Sıcaklığı °C
10:15 Fan Aktif 15,7V 2,46A	28,0	27,9	27,6	27,7	27,5	26,1	2,66	25,0
10:30 Taban Peltier Aktif-12,10V	24,6	20,9	19,2	17,6	34,5	25,0	2,31	25,0
10:45	19,8	17,1	16,3	15,7	35,5	23,3	2,15	25,0
11:00	17,5	15,4	15,0	14,7	35,0	21,9	2,15	25,0
11:15 Blok Peltier Aktif-12V	5,7	-3,9	6,7	19,6	37,5	21,6	2,15	25,0
11:30	-1,0	-7,5	4,0	18,6	35,0	22,1	2,15	25,0
11:45 Lazer Kafa Peltier Aktif-2 V	-24,7	-4,8	6,0	19,5	36,0	22,0	1,10	25,0
12:00 Lazer Kafa Peltier Aktif-4 V Fan Aktif 24V	-35,5	0,1	9,4	20,8	36,0	22,7	0,20	25,0
12:15 Lazer Kafa Peltier Aktif-7 V	-43,6	11,4	19,1	24,8	36,5	23,0	0,00	25,0



Şekil 4.4. Dördüncü kaskat TEC deney sonuçları grafiği.

DENEY 5- KASKAT TEC SICAKLIK DEĞİŞİM DEĞERLERİ TABLO VE GRAFİĞİ

Kullanılan termoelektrik soğutucular

Taban TEC : TEHC1-24127 62X62X3.8 511,3 W DT=74 °C

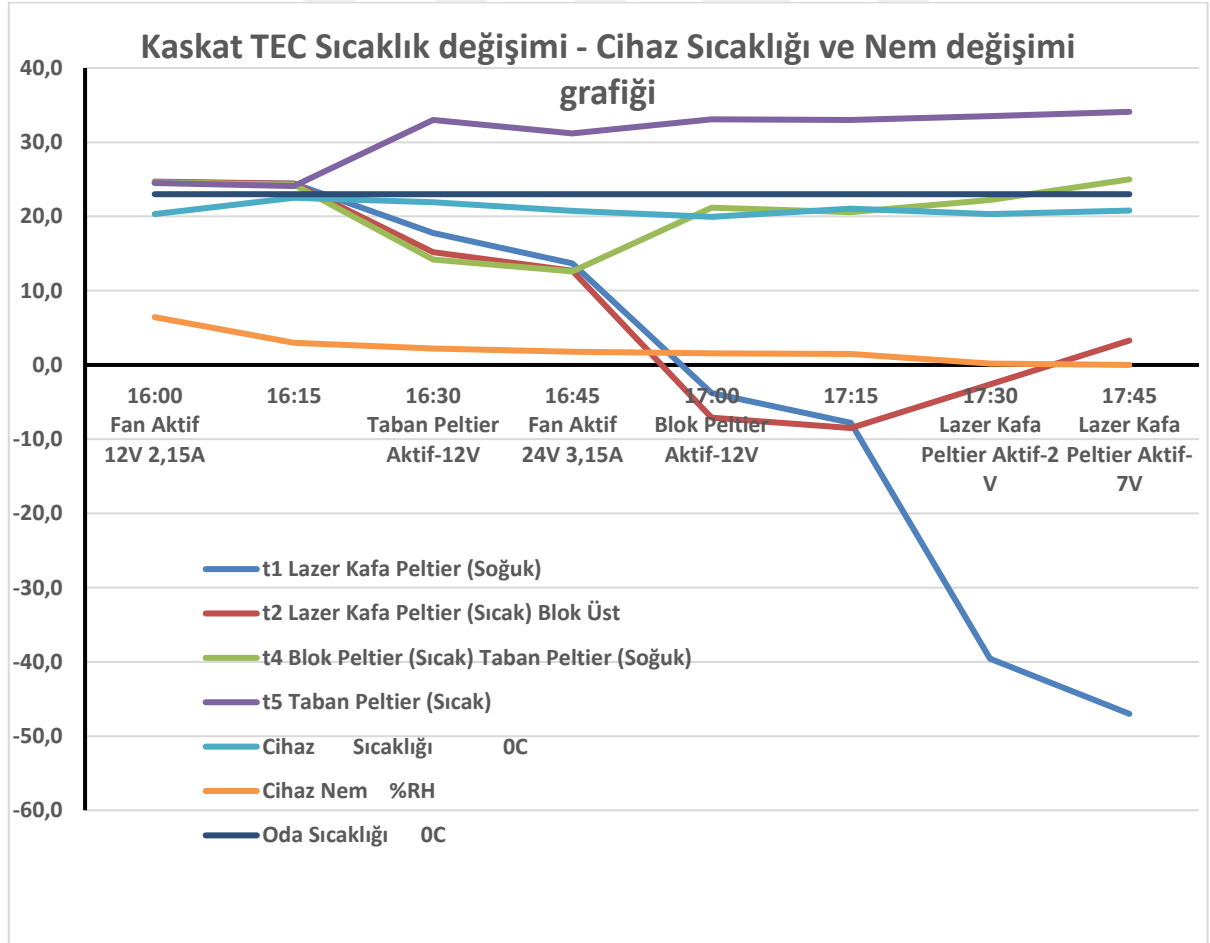
Blok TEC : UT15-288-f2-525 52X52X3.3 340.6 W DT=68 °C

Lazer TEC : TEC2-127-127-06 40X40X7.5 40.6 W DT=93 °C

Beşinci deneyde, lazer kafasına takılı olan TEC değiştirilmiştir. Dördüncü deneyin tam tersine DT sıcaklık farkı 104 °C olan TEC yerine daha düşük sıcaklık farkı olan 93 °C ve boyutları 30x30 mm ölçülerinde 26.3 W olan TEC yerine, 40x40 mm ölçülerinde 40.6 W olan TEC seçilmiştir (Tablo 4.5.). Burada da inilen maksimum sıcaklık değeri -47 °C da kalmıştır (Şekil 4.5.).

Tablo 4.5. Beşinci kaskat TEC deney sonuçları.

	t1 Lazer Kafa Peltier (Soğuk)	t2 Lazer Kafa Peltier (Sıcak) Blok Üst	t4 Blok Peltier (Sıcak) Taban Peltier (Soğuk)	t5 Taban Peltier (Sıcak)	Cihaz Sıcaklığı °C	Cihaz Nem %RH	Oda Sıcaklığı °C
16:00 Fan Aktif 12V 2,15A	24,6	24,7	24,6	24,5	20,3	6,44	23,0
16:15	24,4	24,4	24,3	24,1	22,5	2,97	23,0
16:30 Taban Peltier Aktif-12V	17,8	15,2	14,2	33,0	21,9	2,22	23,0
16:45 Fan Aktif 24V 3,15A	13,7	12,7	12,6	31,2	20,7	1,76	23,0
17:00 Blok Peltier Aktif-12V	-3,8	-7,1	21,2	33,1	20,0	1,56	23,0
17:15	-7,8	-8,5	20,6	33,0	21,1	1,46	23,0
17:30 Lazer Kafa Peltier Aktif-2 V	-39,6	-2,6	22,2	33,5	20,3	0,20	23,0
17:45 Lazer Kafa Peltier Aktif-7V	-47,0	3,3	25,0	34,1	20,8	0,00	23,0

**Şekil 4.5.** Beşinci kaskat TEC deney sonuçları grafiği.

DENEY 6- KASKAT TEC SICAKLIK DEĞİŞİM DEĞERLERİ TABLO VE GRAFİĞİ**Kullanılan termoelektrik soğutucular**

Taban TEC : TEHC1-24127 62X62X3.8 511,3 W DT=74 °C

Blok TEC : UT15-288-f2-525 52X52X3.3 340.6 W DT=68 °C

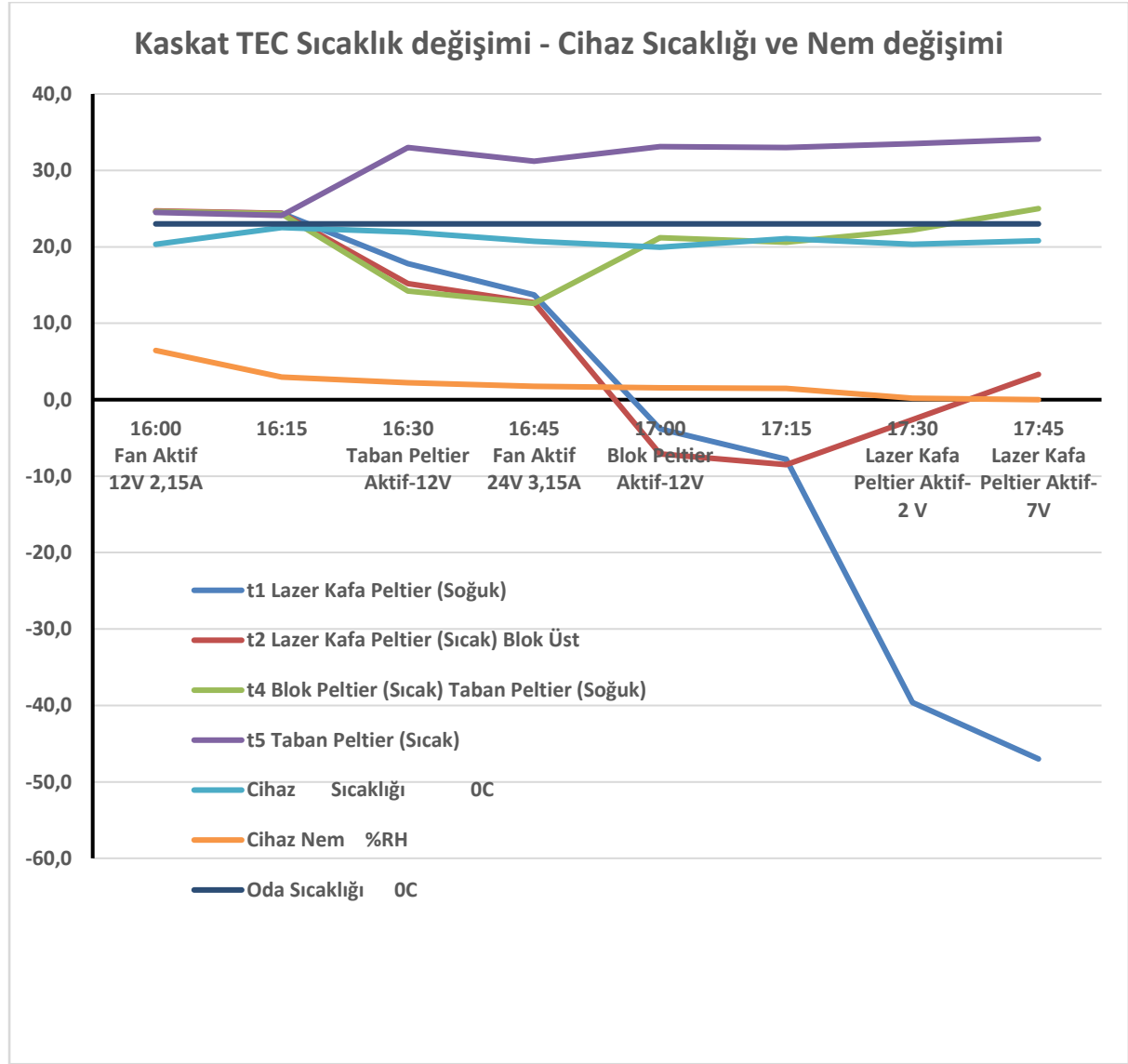
Lazer TEC-1 : TETS3-119-119-119-07CH4.5 30X30X8.9 26.3 W DT=104 °C

Lazer TEC-2 : TEFC1-12707 10X10X1.8 7.5W DT=74 °C (2 Adet paralel bağlı)

Altıncı deneyde, ikinci deneyde kullanılan kaskat TEC sistemine, lazer kafasının ısısını alan Lazer TEC-1'e ilaveten iki yanına birer adet 10x10 mm boyutlarında, DT= 74 °C ve gücü 7.5 W olan TEC'ler paralel bağlamak suretiyle eklenmiştir. Bu TEC'lerin sıcak tarafları ısısını blok üzerine atacak şekilde bağlantı gerçekleştirilmiştir (Tablo 4.6.). Yapılan deney çalışması sonucunda kaskat sistem performans olarak uyum göstermemiş inilen maksimum sıcaklık -47 °C de kalmıştır (Şekil 4.6.).

Tablo 4.6. Altıncı kaskat TEC deney sonuçları.

	t1 Lazer Kafa Peltier (Soğuk)	t2 Lazer Kafa Peltier (Sıcak) Blok Üst	t4 Blok Peltier (Sıcak) Taban Peltier (Soğuk)	t5 Taban Peltier (Sıcak)	Cihaz Sıcaklığı °C	Cihaz Nem %RH	Oda Sıcaklığı °C
16:00 Fan Aktif 12V 2,15A	24,6	24,7	24,6	24,5	20,3	6,44	23,0
16:15	24,4	24,4	24,3	24,1	22,5	2,97	23,0
16:30 Taban Peltier Aktif-12V	17,8	15,2	14,2	33,0	21,9	2,22	23,0
16:45 Fan Aktif 24V 3,15A	13,7	12,7	12,6	31,2	20,7	1,76	23,0
17:00 Blok Peltier Aktif-12V	-3,8	-7,1	21,2	33,1	20,0	1,56	23,0
17:15	-7,8	-8,5	20,6	33,0	21,1	1,46	23,0
17:30 Lazer Kafa Peltier Aktif-2 V	-39,6	-2,6	22,2	33,5	20,3	0,20	23,0
17:45 Lazer Kafa Peltier Aktif-7V	-47,0	3,3	25,0	34,1	20,8	0,00	23,0



Şekil 4.6. Altıncı kaskat TEC deney sonuçları grafiği.

DENEY 7- KASKAT TEC SICAKLIK DEĞİŞİM DEĞERLERİ TABLO VE GRAFİĞİ**Kullanılan termoelektrik soğutucular**

Taban TEC : TEHC1-24127 62X62X3.8 511,3 W DT=74 °C

Blok TEC : UT15-288-f2-525 52X52X3.3 340.6 W DT=68 °C

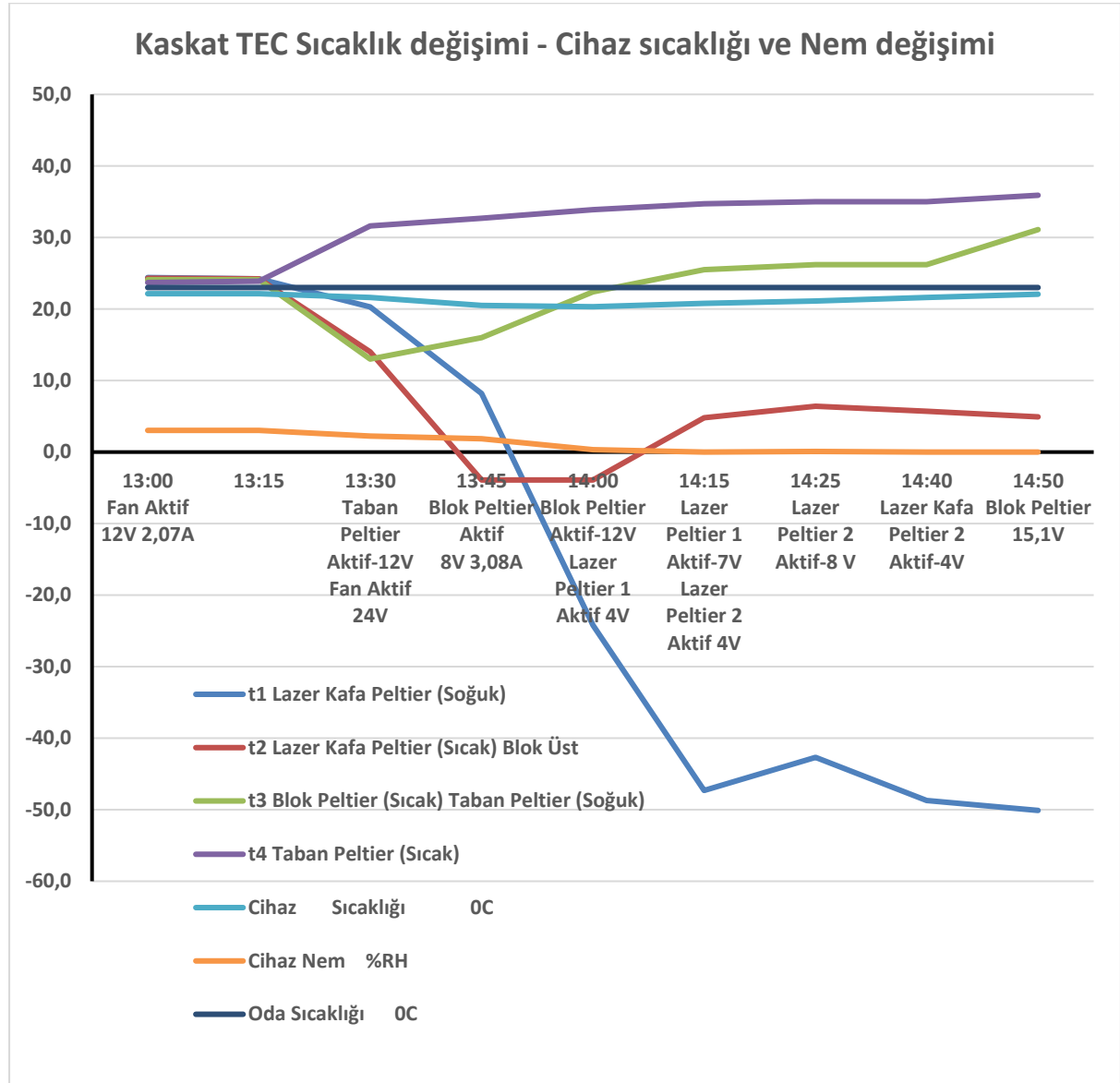
Lazer TEC-1 : TETS3-119-119-119-07CH4.5 30X30X8.9 26.3 W DT=104 °C

Lazer TEC-2 : TEFC1-12707 10X10X1.8 7.5W DT=74 °C (2 Adet paralel bağlı)

Altıncı deneyde kullanılan kaskat TEC'ler aynen yedinci deneyde de kullanılmıştır. Yedinci deneyde lazer kafaya bağlı olan iki farklı değerlere sahip olan TEC'lerin elektriksel gerilim değerleri ile oynanarak, birbirleri ile çalışabileceği maksimum performans değerleri araştırılmış ve bulunan değerlerle (Tablo 4.7.), altıncı deneye göre 3.1 °C daha düşerek, -50.1 °C değerine ulaşılmıştır (Şekil 4.7.).

Tablo 4.7. Yedinci kaskat TEC deney sonuçları.

	t1 Lazer Kafa Peltier (Soğuk)	t2 Lazer Kafa Peltier (Sıcak) Blok Üst	t3 Blok Peltier (Sıcak) Taban Peltier (Soğuk)	t4 Taban Peltier (Sıcak)	Cihaz Sıcaklığı °C	Cihaz Nem %RH	Oda Sıcaklığı °C
13:00 Fan Aktif 12V 2,07A	24,4	24,3	24,1	23,7	22,1	3,03	23,0
13:15	24,2	24,2	24,1	23,9	22,1	3,03	23,0
13:30 Taban Peltier Aktif-12V Fan Aktif 24V	20,3	14,0	13,0	31,6	21,6	2,24	23,0
13:45 Blok Peltier Aktif 8V 3,08A	8,2	-3,9	16,0	32,7	20,5	1,85	23,0
14:00 Blok Peltier Aktif-12V Lazer Peltier 1 Aktif 4V	-24,2	-3,9	22,4	33,9	20,3	0,32	23,0
14:15 Lazer Peltier 1 Aktif-7V Lazer Peltier 2 Aktif 4V	-47,3	4,8	25,5	34,7	20,8	0,00	23,0
14:25 Lazer Peltier 2 Aktif-8 V	-42,7	6,4	26,2	35,0	21,1	0,10	23,0
14:40 Lazer Kafa Peltier 2 Aktif-4V	-48,7	5,7	26,2	35,0	21,6	0,00	23,0
14:50 Blok Peltier 15,1V	-50,1	4,9	31,1	35,9	22,1	0,0	23,00



Şekil 4.7. Yedinci kaskat TEC deney sonuçları grafiği.

Yapılan deneylerde elde edilen verilerden oluşturulan tablolar ve grafik çizimleri sonucunda görüldüğü gibi, inilebilen en düşük sıcaklık değeri -56.2 °C, ikinci deneyde elde edilmiştir. Tablolardaki data değerleri ve grafik çizimlerinde %0 nem ve manometre'de ölçülen ~1 mBar vakum basıncı değerlerinede ulaşılmıştır. Bundan sonraki aşama olan lazer uygulama deneyleri, elde edilen bu sonuçların ulaşıldığı iki numaralı deney düzeneği kullanılarak yapılacaktır.

4.2. Platform Üzerinde Lazer Uygulama Deneyleri

İlk olarak atmosfer şartlarında, lazerin deneysel çalışması yapılarak, vermiş olduğu güç ve dalga boyları incelenmiştir. İkinci olarak ta hedeflemiş olduğumuz; 1mbar, % 0 nem ve ulaştığımız -56.2 C sıcaklıkta lazerin göstermiş olduğu güç ve dalga boyları incelenerek kıyaslaması yapılmıştır.

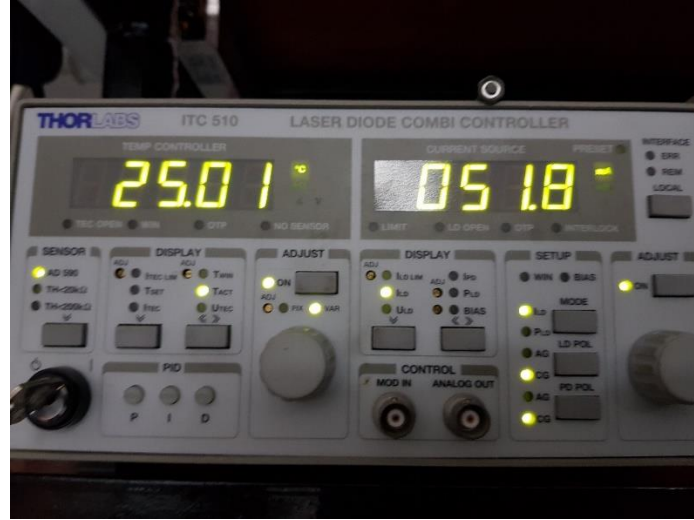
4.2.1. Atmosfer Şartlarında Lazerin Güç ve Dalga Boyu İncelemesi.

Çalışma öncesi ölçülen ortam sıcaklığı 27.3 °C dır (Şekil 4.8.).



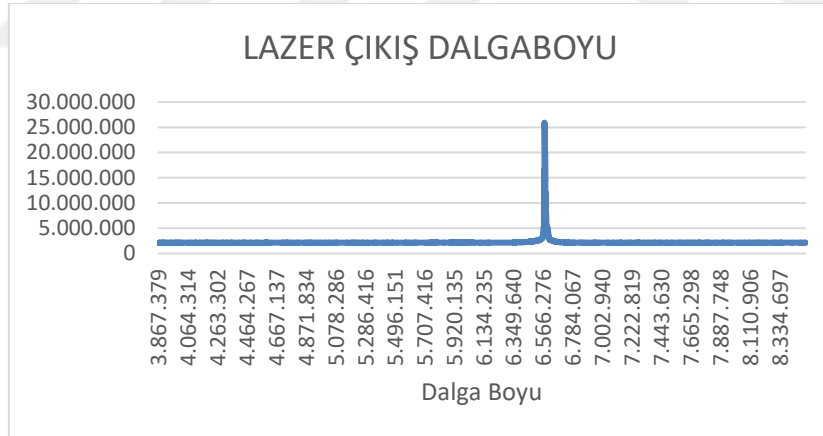
Şekil 4.8. Deney başlangıcı ortam sıcaklığı.

Sıcaklıktan kaynaklanabilecek olan lazer dalga boyu değişiminin önlenmesi ve kararlı bir lazerleme elde edilmesi için lazer kafası katalog test değeri olan 25 °C sıcaklıkta Kombi Kontrolör ünitesi ile sabitlenmiştir. Sıcaklığın 25 °C'da kararlı hale gelmesi ile katalog değeri olarak verilen lazerleme değeri civarında akım ayarlaması yapılmıştır. Kırınım ızgarası ile optik geri besleme sağlanmıştır. Bu sayede, katalog değerinde verilen lazer eşik akımından (55 mA) daha düşük akım değerinde (51.8 mA) lazerleme elde edilmiştir (Şekil 4.9.).

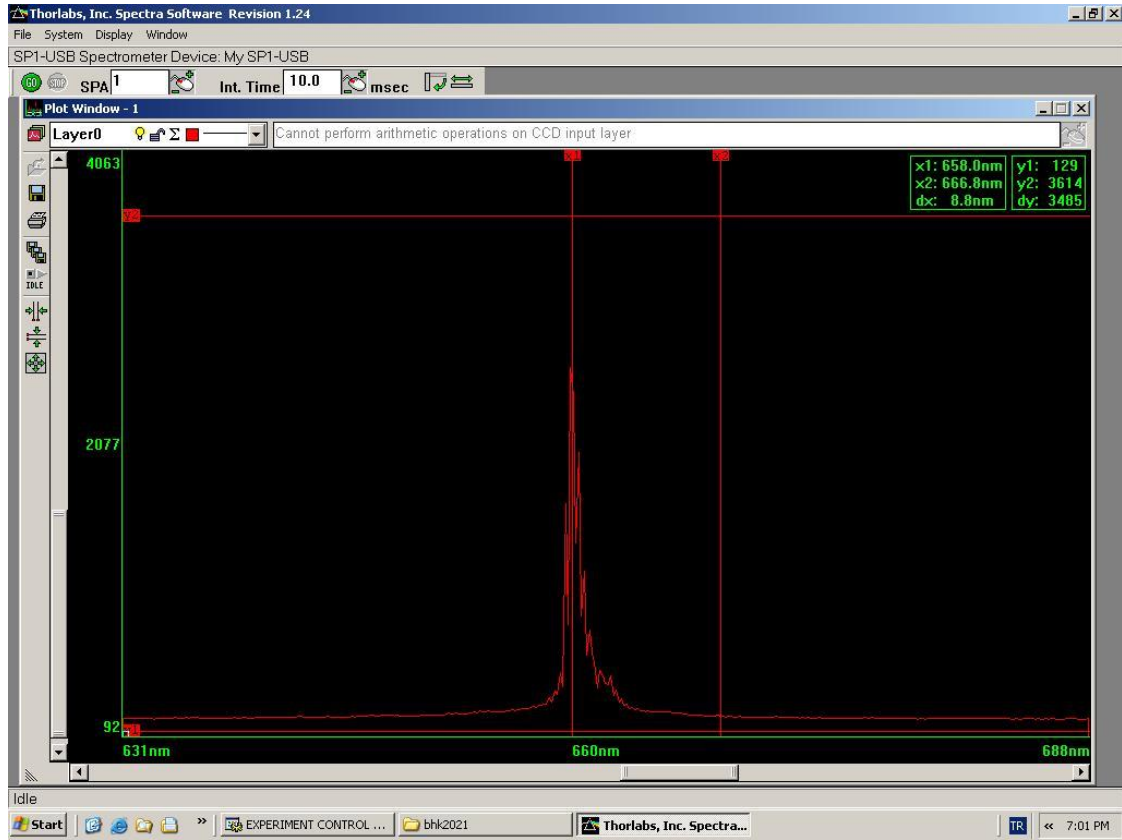


Şekil 4.9. Lazerlemenin elde edildiği kombi kontrolör ayarları.

Spektrometre ile yapılan ölçüm sonucunda lazer ışığı içerisinde bulunan modlarından baskın olan merkezi mod seçilmeye zorlanmaktadır. Bunun sağlanabilmesi için kırınım ızgarası kullanılır. Kırınım ızgarası burada optik geri besleme yapmıştır. Sonuç olarak katalog değerlerine yakın daha düşük bir akımla katalog değeri olan 658 nm dalga boyu elde edilmiştir (Şekil 4.10), (Şekil 4.11).

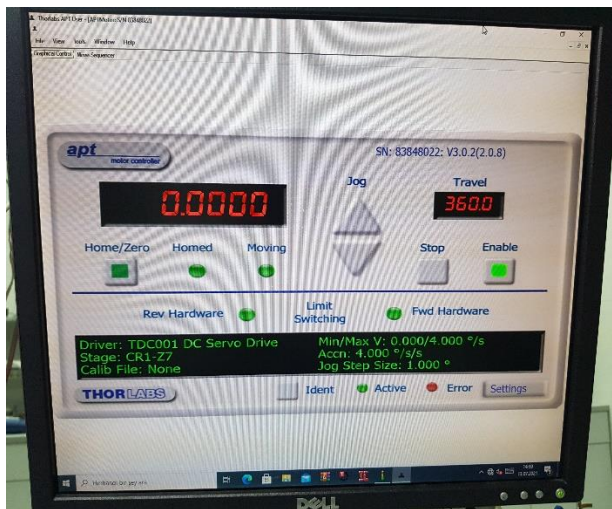


Şekil 4.10. Lazer çıkış dalgaboyu (Spectra yazılım verileri).



Şekil 4.11. Lazer çıkış dalgaboyu (Spectra yazılım ekran görüntüsü).

Optik geri besleme olmadan 51.8 mAmper (Eşik akımı) ile lazer diyot beslenmiştir (Şekil 4.12.). Güç ölçer ile yapılan ölçüm sonucunda 0.41 mW güç değeri ölçülmüştür (Şekil 4.13.).

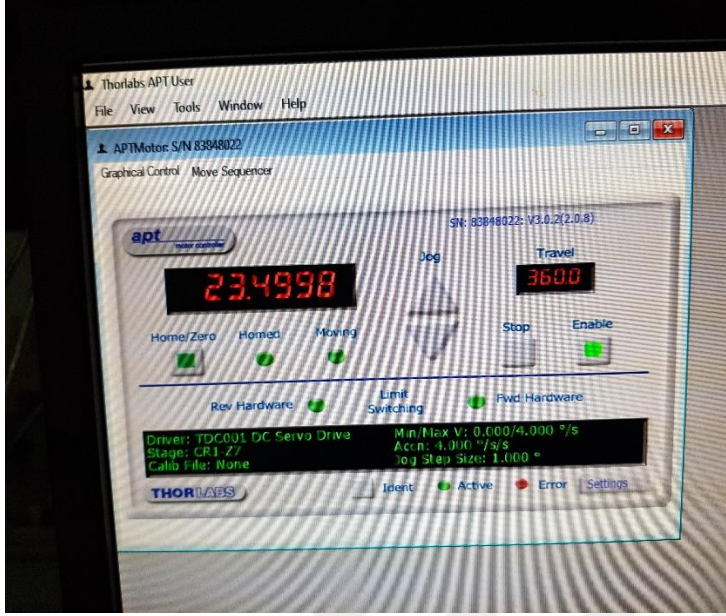


Şekil 4.12. Kırınım Iızgarası dönme açısı (0°)



Şekil 4.13. Lazer çıkış gücü (0.41 mW)

Kırınım ızgarası 23.49° dönderilerek lazer ışığı geri beslemesi elde edilmiş ve lazerleme sağlanmıştır (Şekil 4.14.). Yapılan güç ölçümünde lazer çıkış gücü 1.42 mW olarak elde edilmiştir. (Şekil 4.15.).



Şekil 4.14. Kırınım Iızgarası dönme açısı (23.49°)



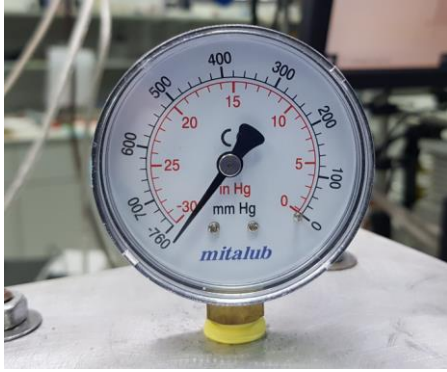
Şekil 4.15. Lazer çıkış gücü (1.42 mW)

Kırınım ızgarasının yapmış olduğu optik geri besleme ile lazer çıkış gücü yaklaşık 4 katı kadar artmıştır.

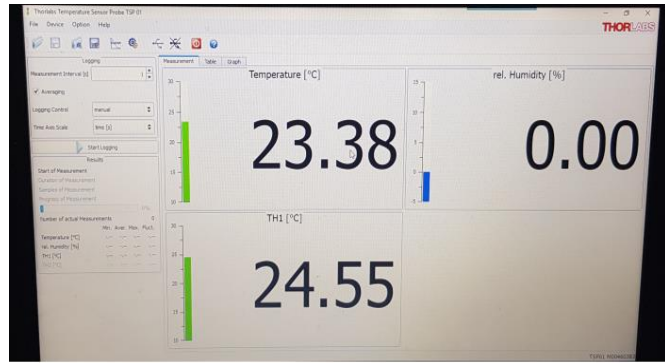
4.2.2. Yaklaşık 1 mBar Civarında, -50°C Sıcaklıkta (Combi Controller Cihazının Maksimum Desteklediği Sıcaklık Değeri) Lazer Işığının İncelemesi.

Her ne kadar -56.2°C sıcaklık değerine kadar ulaşılsak da, kombi kontrolör cihazının maksimum -50°C sıcaklıkta lazer kafasını kararlı halde tutabildiği için deneyler bu sıcaklık değerine göre yapılmıştır.

Platform kapatılarak yaklaşık 1mbar, -50°C sıcaklığa erişmek için hazır hale getirildi. Vakum pompası çalıştırılarak 1mbar civarlarına (Şekil 4.16.) ve % 0 nem değerine ulaşıldı (Şekil 4.17.).



Şekil 4.16. ~1 mbar basınç değeri.



Şekil 4.17. % 0 Nem ölçümü

Platform ~1 mbar vakum basıncı ve %0 nem durumunda iken diğer ünitelerin çalışmasına geçildi.

Platform içerisinde bulunan TEC'ler çalıştırılmadan önce lazer kafası ve üzerine monte edilen blok üstündeki ısı yükünün absorbe edilmesi için, soğutma deneylerindeki -56 C'ye ulaşılan aynı gerilim, akım değerleri uygulanarak, sırası ile önce taban fan (Şekil 4.18.) çalıştırıldı ve arkasından taban TEC (Şekil 4.19.) çalıştırıldı. Kaskat TEC'lerin sırayla çalıştırılması ile ısı transferinde olacak olan ısı karmaşa önlenerek kaskat TEC'lerin daha performanslı çalışması sağlanmış oldu.

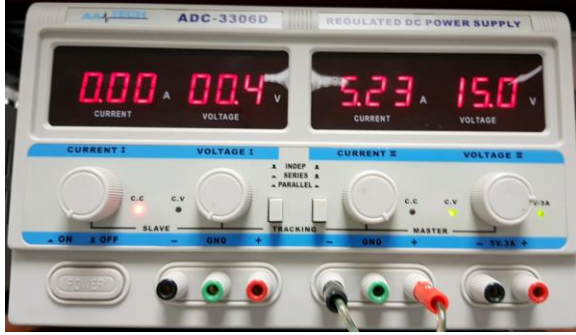


Şekil 4.18. Fan güç beslemesi.



Şekil 4.19. Taban TEC güç beslemesi.

Daha sonra gene sırası ile blok TEC (Şekil 4.20.) ve arkasından kısa bir süre sonra lazer kafa TEC (Şekil 4.21.) çalıştırıldı.



Şekil 4.20. Blok TEC güç beslemesi.



Şekil 4.21. Lazer kafa TEC güç beslemesi.

Sistem, -50.03 °C 'de Kararlı hale geldiğinde (Lazer Kombi Kontroler ile lazer kafa sıcaklığını sürekli aynı sıcaklıkta sabit tutma), lazerleme işlemi sonuçları olan güç ölçümleri ve lazerleme dalga boyu değişimleri ölçülmüştür. Aşağıda, ölçülen -50.03 °C, ~1 mbar vakum basıncı değerlerindeki sonuçlar ile daha önce ölçülmüş olan 25 °C, Atmosfer basıncı şartlarındaki değerler kıyaslanarak açıklanmıştır.

25 °C, Atmosfer basıncı şartlarındaki lazer'in, eşik akımında çalıştırıldığında elde edilen lazer ışını güç değeri 0.41 Watt, kırınım ızgarasının 23.49° deki geri beslemesi ile güçlendirilen lazer ışınının güç değeri 1.42 mW olarak ölçülmüştür (Şekil 4.22.).

Bu sonuçlarda görüldüğü gibi, atmosfer basıncı ve 25 °C şartlarında harici optik salınım yapılması ile lazer 3.46 kat daha fazla ışıma yapmaktadır (Şekil 4.23.).

Ortamın vakumlandığı ~1 mbar basınç ve -50.03 °C değerlerindeki şartlarda ve kırınım ızgarasının 23.49° pozisyonunda yapılan güç ölçümünde bu değer 9.119 mW değerine çıkmıştır (Şekil 4.24.).



Şekil 4.22. 25 °C`de, Atmosfer basıncında, eşik akımında lazer ışık gücü.



Şekil 4.23. 25 °C`de, Atmosfer basıncında, eşik akımında, harici geri beslemeli lazer ışık gücü.

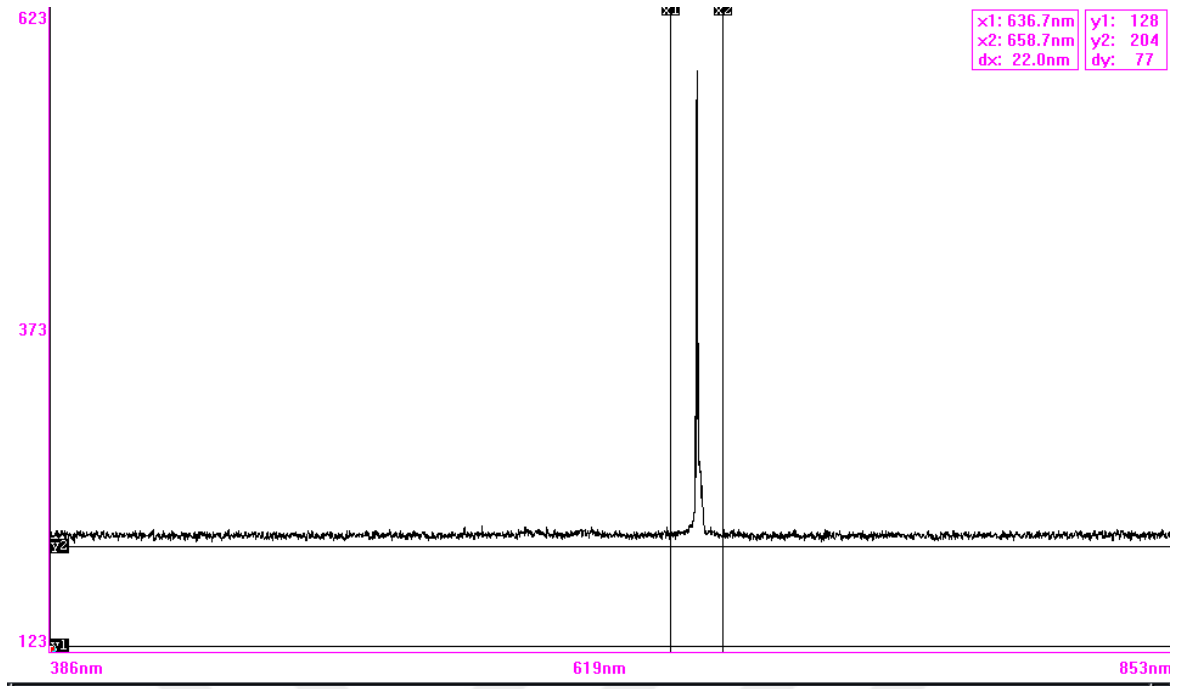


Şekil 4.24. -50.03 °C ~1 mbar basınç değerinde eşik akımında lazer ışık gücü.

Buradan da anlaşılacağı gibi, 25 °C, Atmosfer basıncı şartlarındaki lazer`in, eşik akımında çalıştırıldığında elde edilen lazer ışını güç değeri olan 0.41 W, yapılan harici optik geri besleme, -50.03 °C sıcaklık, ~1 mbar vakum basıncı şartlarında 22.24 kat olan 9.119 mW değerine çıkmıştır.

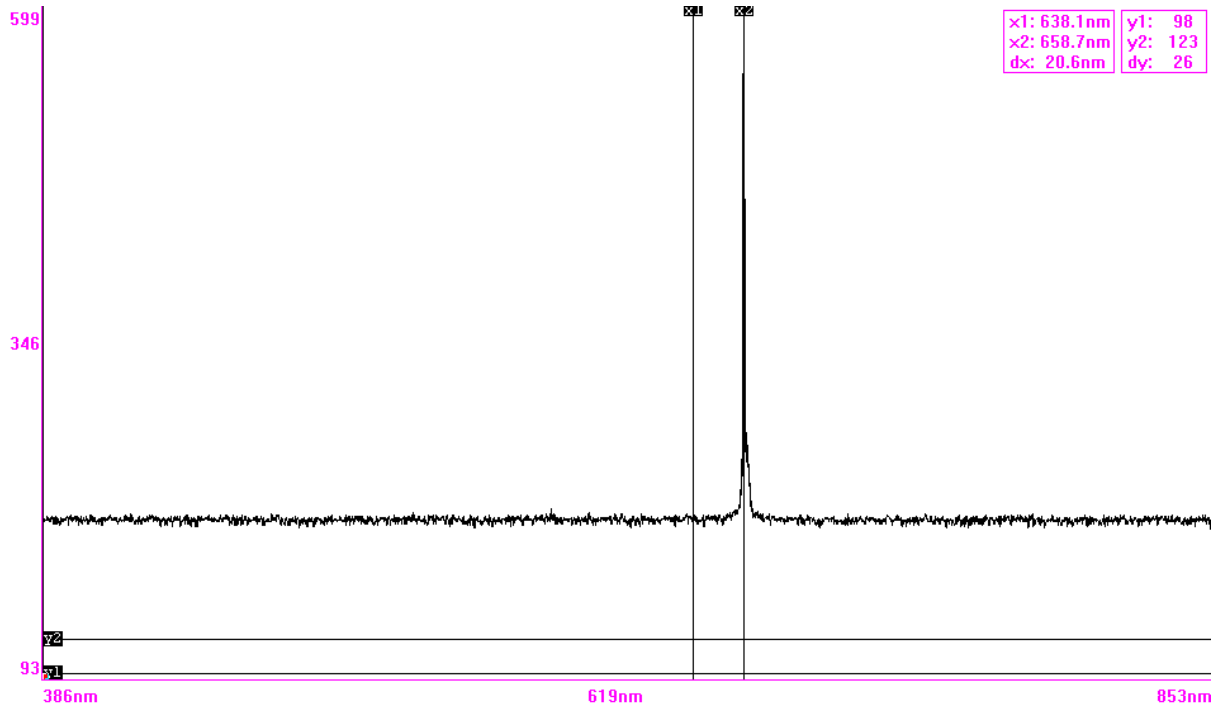
Yapılan çalışmada elde edilen lazerleme işlemini, spektrometre ile dalga boyu üzerinden inceleyecek olursak;

Lazer`in optik geri besleme yapılması ile ışığın daha kararlı ve daha yoğun olması baskın mod`un daha aktif olmasını sağlamıştır (Şekil 4.25.).



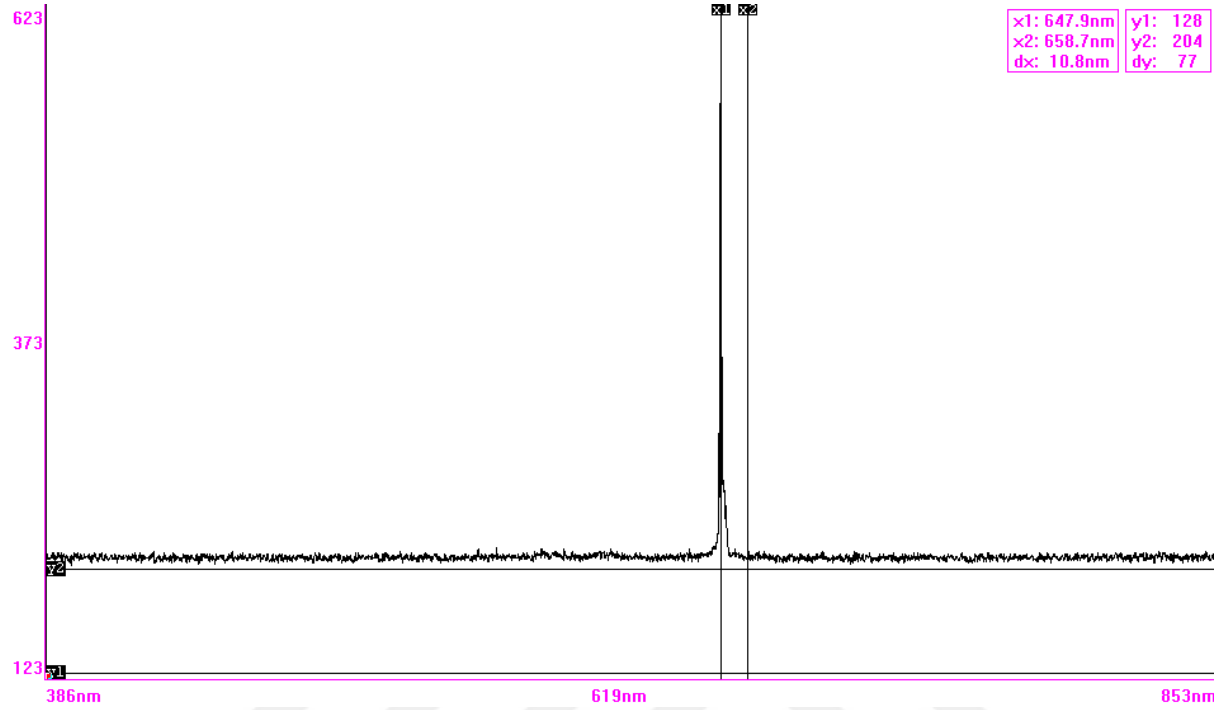
Şekil 4.25. 25 °C `de lazer dalga boyunun görüntüsü.

Yapılan ilk ölçümde lazer kafasının 25 °C `da sabitlenmesi fakat ortam sıcaklığının 28 °C olması lazer katalog değeri olan 658 nm dalga boyu 0.7 nm farkla 658.7 nm ölçülmüştür (Dikey x2 eksen çizgisi) (Şekil 4.26.).



Şekil 4.26. 25 C`de, harici optik geri besleme uygulanmış lazer ışını spektrum görüntüsü.

Lazer kafasının -50.03°C sıcaklık, ~ 1 mbar vakum basıncı şartlarına inmesi ile lazer dalga boyunun daha düşük olan 647.9 nm değerlerine inmesini ve daha düşük dalga boyunda lazerlemenin oluşmasını sağlamıştır (Dikey x1 eksen çizgisi) (Şekil 4.27.).

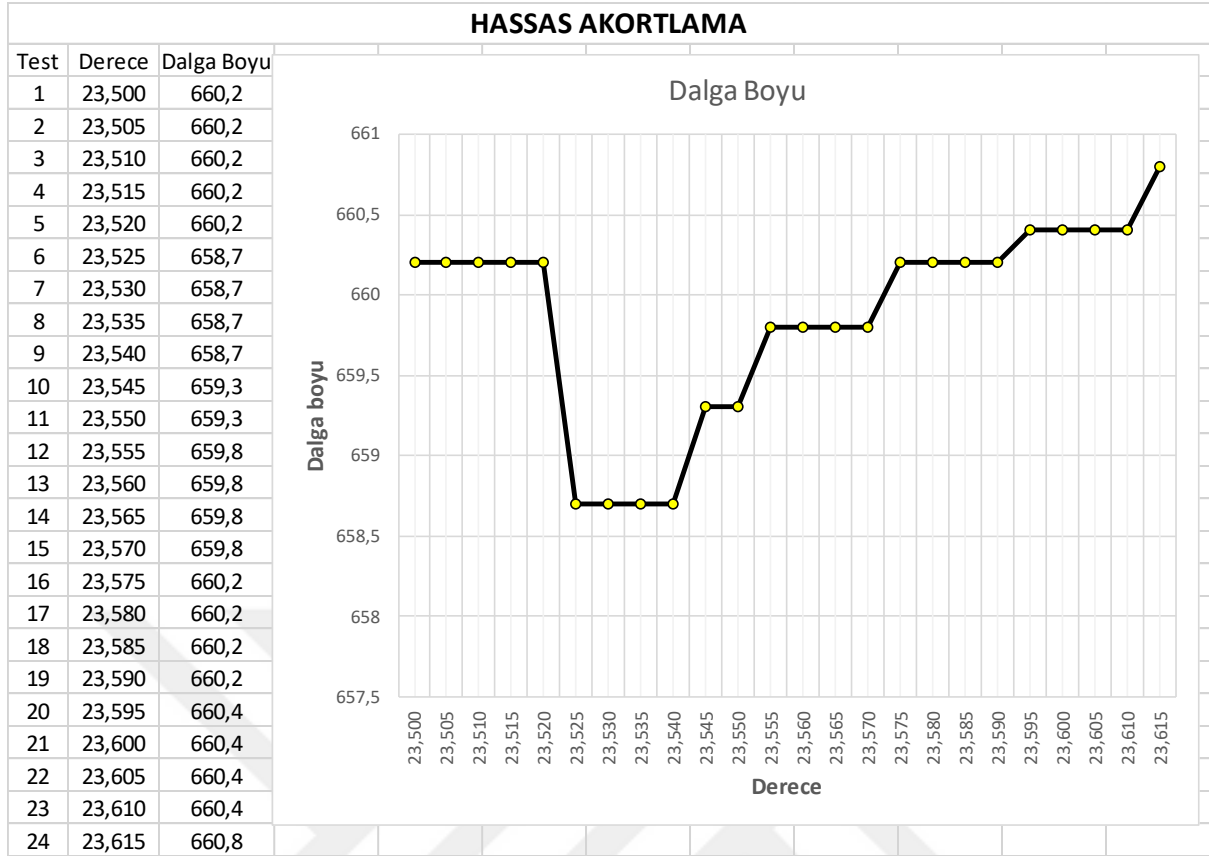


Şekil 4.27. -50.03°C sıcaklık, ~ 1 mbar vakum basıncı şartlarında lazer dalga boyu görüntüsü.

Sonuç olarak; 25°C sıcaklık, atmosfer basıncı şartlarından, -50.03°C sıcaklık, ~ 1 mbar vakum basıncı şartlarına olan değişimde lazer diyet'un dalga boyu, 658.7 nm'den, 647.9 nm'ye inmiştir. Toplamda 10.8 nm değerinde bir dalga boyu değişimi yani kaba akortlama yapılabilmektedir.

Lazer ışınının çıkış boyutlarını 10×100 mikron olduğunu düşünürsek, 100 mikronluk mesafenin kat edilmesi için gereken açısal hareketi sağladığımızda, bu mesafe içerisinde de lazerlemenin en kararlı olduğu dalga boyunu görmek mümkündür.

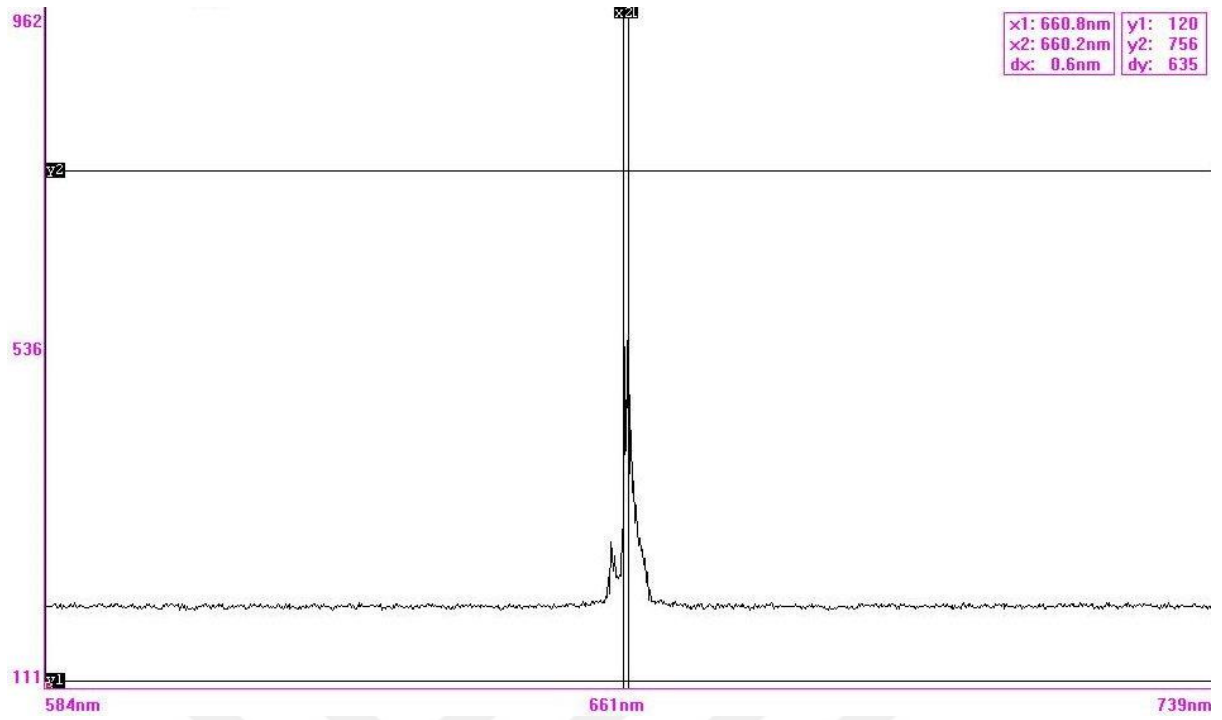
Kırınım ızgarasını 0.005 derece açıyla azaltarak çevirdiğimizde 23.500 dereceye geldiğimizde en son lazerleme yapmakta 0.005 derece daha azalttığımızda lazerleme kesilmektedir. Kırınım ızgarasının yapmış olduğu minimum lazerleme açısı 23.500 derece olarak tespit edilmiştir. Tekrar yukarı doğru 0.005 derece artırılarak yapılan ölçümlerde en son 23.615 derece açığa gelindiğinde 660.8 dalga boylu lazerleme görülmektedir. 0.005 derecelik yeni bir artımla lazerleme kesilmektedir. Bu iki sınır açısı değerinin arasında elde edilen baskın modlar lazerleme için elde edilen hassas akortlama modları olarak ifade edilir (Şekil 4.28.).



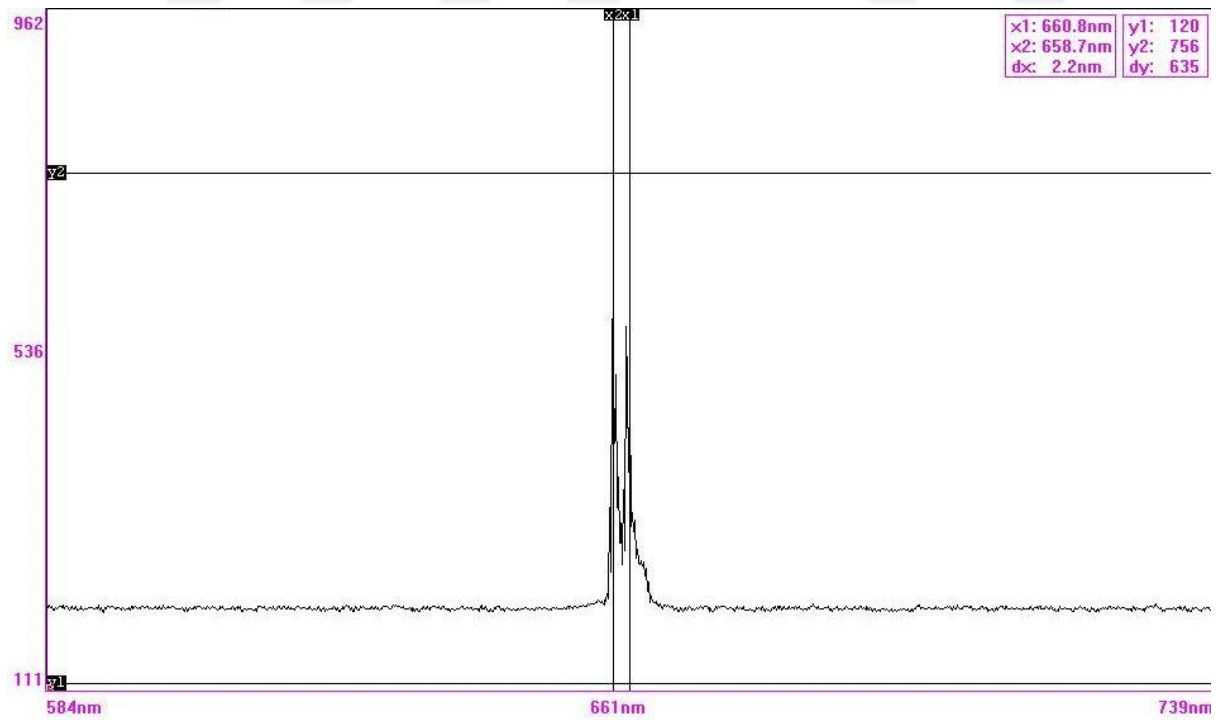
Şekil 4.28. Kırınım ızgarası hassas akortlama.

Kırınım ızgarasının lazerleme olarak başlayıp bittiği (23.500 – 23.615 derece) noktalar arasında 0.6 nm lik bir dalga boyu akortlanabiliyor gözükmemektedir (Şekil 4.29.).

Fakat yapılan hassas akortlama ile lazerin kırınım ızgarasındaki başlangıç olan 23.615 derece açıda elde ettiği 660.8 nm`lik dalga boyu, 23.525 derecede 658.7 nm dalga boyu olmakta ve 2.2 nm lik bir değişim gözlenmektedir. Buda lazer için bir hassas akortlamadır (Şekil 4.30).



Şekil 4.29. Kırınım ızgarası minimum ve maksimum lazerleme açıları arası dalga boyu değişimi.



Şekil 4.30. Kırınım ızgarası geri besleme açıları arasındaki minimum ulaşılabilen dalga boyu.

4.3. Platformda Oluşan Isıl Yüklerin ve Sistemden Atılmasının Teorik Sonuçları.

Platform da oluşan ısı yükler ve bunların sistemden atılması için kullanılan ısıl havuz ve fan sistemi sonuçları, kaskat sistemin performans katsayısının bulunması, taban TEC`de olan maksimum ısıl direnç hesabı, taban TEC`den sıcaklığın atmosfere atılması için gereken ısıl direnç hesabı, Wolfram Mathematica 12 programı ile hesaplanarak sonuçları tablo şeklinde sunulmuştur.

Lazer kafa`dan kaynaklanan kütle ısı transfer etkisi hesaplanarak sonucu Tablo 4.8. de verilmiştir.

Tablo 4.8. Lazer kafa`nın kütle ısı transfer etkisi ($Q_{k\ddot{u}tle}$).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
m	Toplam kütle	-	0.20 Kg
Cp	Al. malzeme ısıl kapasite	-	$960 J kg^{-1} K^{-1}$
Δt	İlk ve son sıcaklıklar arasındaki fark	$\Delta T = (298 - 217) K$	81 K
t	Kütlenin son sıcaklığa inebilmesi için geçen süre	-	1200 s
$Q_{k\ddot{u}tle}$	Kütle ısı transfer etkisi	$Q_{k\ddot{u}tle} = mc_p \Delta T / t$	12.96 W

Lazer kafanın iletim yolu ile olan ısı transfer etkisi hesaplanarak Tablo 4.9. da verilmiştir.

Tablo 4.9. Lazer kafanın iletim yolu ile olan ısı transfer etkisi (Q_{iletim}).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
k	Isı iletim katsayısı	-	$130 W m^{-1} K^{-1}$
A	Isı iletim yüzey alanı	-	$9 \times 10^{-4} m^2$
Δt	İlk ve son sıcaklıklar arasındaki fark	$\Delta T = (298 - 217) K$	81 K
Δz	Ortam kalınlığı	-	0.027 m
Q_{iletim}	İletim yolu ile ısı transferi	$Q_{iletim} = kA \Delta T / \Delta z$	351 W

Lazer kafanın taşınım yolu ile olan ısı transfer etkisi hesaplanarak sonucu Tablo 4.10. da verilmiştir.

Tablo 4.10. Lazer kafanın taşınım yolu ile olan ısı transfer etkisi ($Q_{Taşınım}$).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
A	Isı iletim yüzey alanı	-	0.066 m ²
Δt	İlk ve son sıcaklıklar arasındaki fark	$\Delta T = (298 - 217) K$	81 K
h	Isıl taşınım katsayısı	-	0.037 Wm ⁻² K ⁻¹
$Q_{Taşınım}$	Taşınım yolu ile ısı transferi	$Q_{Taşınım} = hA\Delta T$	0.0197 W

Lazer kafanın ışıınım yolu ile olan ısı transfer etkisi hesaplanarak sonucu Tablo 4.11. de verilmiştir.

Tablo 4.11. Lazer kafanın ışıınım yolu ile olan ısı transfer etkisi ($Q_{Işınım}$).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
A	Soğutulan yüzey alanı	-	0.0066 m ²
ε	Kara cisim ışıması	-	1
Δt	İlk ve son sıcaklıklar arasındaki fark	$\Delta T = (298 - 217) K$	81 K
σ	Stefan-Boltzmann sabiti	-	5.6703x10 ⁻⁸ Wm ⁻² K ⁻⁴
$Q_{Işınım}$	Işınım yolu ile ısı transferi	$Q_{Işınım} = \varepsilon\sigma A(T_{hot}^4 - T_{cold}^4)$	2.1214 W

Lazer diyot`dan gelen elektrik kaynaklı ısı transfer etkisi hesaplanarak sonucu Tablo 4.12. de verilmiştir.

Tablo 4.12. Lazer diyot`dan gelen elektrik kaynaklı ısı transfer etkisi (Q_{lazer}).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
U_{LD}	Lazere Diyot`a verilen voltaj	-	2.6 V
I_{LD}	Lazer Diyot`a verilen akım	-	0.055 A
P_{lazer}	Elektriksel güç	$P_{lazer} = U I$	0.143 W
Q_{lazer}	Lazere verilen elektrik enerjisinin ısıya dönüşen kısmı	$Q_{lazer} = P_{lazer} \%30 W$	0.0429 W

Lazer TEC`den gelen elektrik kaynaklı ısı transfer etkisi hesaplanarak sonucu Tablo 4.13. de verilmiştir.

Tablo 4.13. Lazer TEC`den gelen elektrik kaynaklı ısı transfer etkisi (Q_{TEC}).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
U_{TEC}	Lazer TEC`e verilen voltaj	-	8.3 V
I_{TEC}	Lazer TEC`e verilen akım	-	3.93 A
P_{TEC}	Lazer TEC`e verilen enerji	$P_{TEC} = U_{TEC} I_{TEC}$	32.619 W

Toplam lazer kafasının soğutma yükü hesaplanarak sonucu Tablo 4.14. de verilmiştir.

Tablo 4.14. Toplam lazer kafasının soğutma yükü (Q_T).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
Q_T	Isıl yüklerin toplamı	$Q_T = Q_{k\ddot{u}tle} + Q_{iletim} + Q_{taşıım} + Q_{ışınım} + Q_{lazer} + Q_{TEC}$	398.7630 W

Kaskat TEC`lerin tamamının oluşturacağı COP değeri hesaplanarak sonucu Tablo 4.15 de verilmiştir.

Tablo 4.15. Kaskat TEC'lerin tamamının toplam COP değerleri. ($\emptyset$).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
$\emptyset_s$	Sistemdeki TEC'lerin COP değeri	-	$\emptyset_{s1}=0.63$ $\emptyset_{s2}=0.61$ $\emptyset_{s3}=0.27$
N	TEC'lerin adedi	-	3
$\emptyset$	Tüm kaskat sisteminin COP değeri	$\emptyset = \left[\left(1 + \frac{1}{\emptyset_s} \right)^N - 1 \right]^{-1}$	$\emptyset = 0.032$

Taban TEC'de olan maksimum ısı direnç hesabı hesaplanarak sonucu Tablo 4.16 da verilmiştir.

Tablo 4.16. Taban TEC'de olan maksimum ısı direnç hesabı. ($R_{ısı\ hav.max}$).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
T_{TEC}	Tabandaki TEC'in alt yüzeyinin sıcaklığı	-	312 K
$T_{çevre}$	Çevre Sıcaklığı	-	298 K
P_{TEC}	Taban TEC'e uygulanan toplam elektriksel güç	$P_{TEC} = U_{TEC} I_{TEC} = 12.09 \cdot 8.14$	98.41 W
Q_T	TEC'den atılması gereken toplam ısı	-	398.76 W
$R_{ısı\ hav.max}$	Isı havuzu maksimum direnci	$R_{ısı\ hav.max} = \frac{T_{TEC} - T_{çevre}}{P_{TEC} + Q_T}$	0.0282 K/W

Taban TEC'den kanatçıklı, hava sirkülasyonlu bir ısıl havuz vasıtasıyla sıcaklığın atmosfere atılması için gereken ısıl direncin hesaplanmasında gerekli formüller ve sonuçları aşağıda çıkarılmıştır.

Temel alan hesabı için kanatçıklar arası boşluk hesabı sonucu Tablo 4.17 de verilmiştir.

Tablo 4.17. Kanatçıklar arası boşluklar (b).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
W	Isı Havuzu Genişliği (m)	-	0.15 m
t	Kanatçık Kalınlığı (m)	-	0.002 m
N	Kanatçık Sayısı	-	24 Adet
b	Kanatçıklar arası boşluklar (m)	$b = \frac{W - Nt}{N - 1}$	0.0044 m

Isı havuzu kanat kesit alan hesabı yapılarak sonucu Tablo 4.18 de verilmiştir.

Tablo 4.18. Isı havuzu kanat kesit alan hesabı (A_c).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
L	Kanatçık boyutu (m)	-	0.3 m
A_c	Kanat kesit alanı (m ²)	$A_c = tL$	0.0006 m

Isı havuzu kanatçık çevresi hesabı yapılarak sonucu Tablo 4.19 de verilmiştir.

Tablo 4.19. Isı havuzu kanatçık çevresi hesabı (P).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
P	Kanatçık çevresi (m)	$P = 2t + 2L$	0.604 m

Isı havuzu kanatçık yüzey alanı hesabı yapılarak sonucu Tablo 4.20 de verilmiştir.

Tablo 4.20. Isı havuzu kanatçık yüzey alanı hesabı (A_f).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
H	Kanatçık Yüksekliği (m)	-	0.02 m
A_f	Kanatçık yüzey alanı (m ²)	$A_f = 2HL$	0.012 m

Isı havuzu kanatçıklar arası alan hesabı yapılarak sonucu Tablo 4.21 de verilmiştir.

Tablo 4.21. Isı havuzu kanatçıklar arası alan hesabı (A_b).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
A_b	Kanatçıklar arası alan (m ²)	$A_b = (N-1)bL$	0.0306 m ²

Isı havuzu temel alan hesabı yapılarak sonucu Tablo 4.22 de verilmiştir.

Tablo 4.22. Isı havuzu temel alan hesabı (A_t).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
A_t	Temel Alan (m ²)	$A_t = NA_f + A_b$	0.3186 m ²

Isı havuzundan fan vasıtasıyla atılacak olan sıcak havanın ortalama ısı transfer katsayısı hesabı için gerekli olan formüller ve sonuçları aşağıda çıkarılmıştır.

Kanatçıklar arası hava hızı hesabı yapılarak sonucu Tablo 4.23 de verilmiştir.

Tablo 4.23. Kanatçıklar arası hava hızı hesabı (V).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
v	Isı havuzu fanı volumetrik akış oranı (m^3/s) (367.6 CFM)	-	$0.1715 \text{ m}^3/\text{s}$
V	Kanatçıklar arası hava hızı (m/s)	$V = \frac{v}{NbH}$	80.56 m/s

Hava için 1 Atm, 298 K şartlarında Prandtl sayısı hesabı yapılarak sonucu Tablo 4.24 de verilmiştir.

Tablo 4.24. Hava için 1 Atm, 298 K şartlarında Prandtl sayısı (Pr).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
C_p	Özgül Isı ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) (Hava için)	-	$1.046 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
μ	Dinamik Vizkozite 25°C ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$)	-	$1.84 \cdot 10^{-5}$
K	Havanın ısı iletkenliği	-	$26 \cdot 10^{-6} \text{ Kw/mK}$
Pr	Hava için Prandtl sayısı 1atm ve 298 K	$Pr = \frac{C_p \mu}{K}$	0.7318

Reynolds sayısı hesabı yapılarak Tablo 4.25 de verilmiştir.

Tablo 4.25. Reynolds sayısı (R_e).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
ρ	Havanın yoğunluğu (kg/m^3)	-	1.1843 kg/m^3
R_e	Reynolds Sayısı	$R_e = \frac{\rho V b}{\mu}$	22996.8

Kanal Reynolds sayısı hesabı yapılarak Tablo 4.26 de verilmiştir.

Tablo 4.26. Kanal Reynolds sayısı (Re^*).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
Re^*	Kanal Reynolds sayısı	$Re^* = Re \frac{b}{L}$	339.952

İdeal Nusselt sayısı hesabı yapılarak sonucu Tablo 4.27 de verilmiştir.

Tablo 4.27. İdeal Nusselt sayısı (Nu_i).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
Nu_i	İdeal Nusselt sayısı	$Nu_i = \left[\frac{1}{\left(\frac{Re^* Pr}{2} \right)^3} + \frac{1}{\left(0.664 \sqrt{Re^*} Pr^{0.33} \sqrt{1 + \frac{3.65}{Re^*}} \right)^3} \right]^{-1/3}$	12.08

Ortalama ısı transfer katsayısının hesabı yapılarak Tablo 4.28 de verilmiştir.

Tablo 4.28. Ortalama ısı transfer katsayısı (h).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
h	Ortalama ısı transfer katsayısı	$h = Nu_i \frac{K}{b}$	70.8463 (W/m K)

Genel yüzey verimliliği hesabı yapılarak sonucu Tablo 4.29 da verilmiştir.

Tablo 4.29. Genel yüzey verimliliği hesabı (η_0).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
k_{Al}	Kanatçık ısı iletim Katsayısı ($Wm^{-1} K^{-1}$)	-	167 ($Wm^{-1} K^{-1}$)
m	Kanatçık parametre (1/m)	$m = \sqrt{\frac{hP}{k_{Al}A_c}}$	20.6654 (1/m)
η_f	Kanatçık verimliliği	$\eta_f = \frac{\tanh(mH)}{mH}$	0.9466
η_0	Genel yüzey verimliliği	$\eta_0 = 1 - \frac{NA_f}{A_t}(1 - \eta_f)$	0.9518

Isı havuzu ısıl direnç hesabı yapılarak Tablo 4.30 da verilmiştir.

Tablo 4.30. Isı havuzu ısıl direnç hesabı (R_{hs}).

PARAMETRE	AÇIKLAMA	FORMÜL	SONUÇ
R_{hs}	Isı havuzu ısıl direnç	$R_{hs} = \frac{1}{\eta_0 h A_t}$	0.0465 K/W

Isı havuzunun ısıl direnci (0.0465 K/W) ile taban TEC'in ısıl direnci (0.0282 K/W) arasındaki fark platformun alüminyum gövdesi tarafından atmosfere atılmaktadır. Sistem bu haliyle performanslı çalışmaktadır. Platform gövdesinin mukavemeti yüksek, teknik plastiklerden yapılması halinde bu düzenele sistem ısını atamayacaktır. Aynı fan'dan bir adet daha takılması ile platform üzerindeki bu fark direnç yenilebilir. Bu da sisteme ek ilave fan maliyeti ve fanın harcadığı enerji maliyeti eklenmesi demektir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Birinci aşama olarak belirtilen tez çalışmasının hedefi olan %0 bağıl nem, 1mbar basınç ve ultra düşük sıcaklık değerine ulaşacak olan platformun tasarımı amacına ulaşılmıştır. %0 bağıl nem sağlanmıştır. ~1mbar basınç değerine ulaşılmıştır. Ultra düşük sıcaklık olarak, TEC sistemlerin, güç, sıcaklık farkı, uygulanan gerilim değerleri ve kaskat bağlantılarının farklı seçenekleri ile birbirlerine bağlanması suretiyle -56.2 °C değerine ulaşılmıştır.

TEC'lerin kaskat bağlantılarının oluşturulmasıyla meydana gelecek olan ısı transferindeki kayıplar, TEC'lerin fabrikasyon olarak kaskat şekilde monte edilmiş olanların seçilmesi ile giderilebilir. Bu sayede daha düşük sıcaklıklara ulaşılabilir.

Platformun tasarlanmasında, toplam ısı yükünü platform gövdesine temas etmeden direkt taban TEC'e iletip atmosfere atan bir platform oluşturulması ve gövdenin alüminyum yerine, mukavemet açısından sorun çıkarmayacak, ısıl iletkenliği çok düşük olan, teknik plastikler (polyamid, delrin, teflon gibi) kullanılabilir. Bu yeni platformun ısı havuzu direnci daha düşük çıkacak şekilde ikinci bir fan sistemi ile desteklenmesi performansı artırabileceği gibi daha düşük sıcaklıklara inilmesinde sağlayabilir.

Alüminyum platform gövdesi ve taban TEC'in ısını atacak ısı havuzu, ısı ejanjörü şeklinde tasarlanıp sulu sistem soğutma yapılarak platform boyutları küçültülebilir veya aynı platformda daha düşük sıcaklıklara ulaşılabilir.

İkinci aşama olarak belirtilen, lazer ışınının optik geri besleme ile elde edilmesi sağlanmıştır. Yaklaşık 1 mbar vakum, -56.2 °C sıcaklık ve % 0 bağıl nem ortamında lazerin ne kadar güçlendiği ve dalga boyundaki değişimler incelenmiş, kaba ve hassas akortlamalar yapılmıştır.

Lazer ışınının geri beslemesini sağlayan kırınım ızgarasının açısal hareketini, dişli sistemli motor ve el ile ayarlamak yerine daha hassas hareketler elde edilecek, kumandası daha kolay olacak şekilde üç eksenli piezoelektrik kontrollü bir ünite ile yapılması hassas akortlamayı çok daha kolaylaştıracaktır.

Deneyde kullanmış olduğumuz kırınım ızgarası çentikler arası mesafe 1/1200 mm dir. Daha hassas olan 1/3600 mm çentik arasına sahip kırınım ızgarası kullanmak band genişliğinde daha daralma yani dalga boyunda seçicilik (daha kararlı mod) sağlanmış olacaktır. Yalnız çentik mesafesinin kısılması geri beslemede ışın kaybı dolayısıyla güç kaybına sebep olacaktır.

Lazer ışınının çıkış ölçülerinin dikeyde 10 mikron, yatayda 100 mikron mertebesinde olması, hassas akortlamanın ideal bir şekilde yapılabilmesi için, lazer kafasının yerleştiği düzlemle geri besleme ünitesinin yerleştiği düzlemin aynı paralellikte olmasını gerektirmektedir. Lazer kafa ısını atmak için mecburen platform gövdesine montaj edilmektedir. Geri besleme ünitesinin yerleştirilmesi ve sabitlenmesi için 20mm aralıklı deliklere sahip olan bir plaka

platform tabanına yerleştirilmiştir. Bu plakanın yatay düzlemi ile lazer kafasının yerleştiği yatay düzlem aynı paralellikte olmalıdır. Aksi takdirde kırınım ızgarasının açısal hareketinde bu 10 mikronluk lazer ışınının paralelliği bozulacak ve hassas akortlama ideal bir şekilde sağlanamayacaktır. Burada ayrı bir vidalı delikli plaka kullanmak yerine vidalı deliklerin platform tabanına açılması daha uygun olacaktır.

Platformda Fabry-Perot interferometresi kullanmak suretiyle elde edilen lazer ışınındaki dalga boyu frekans ölçümü de yapılarak, platformun sağlamış olduğu dalga boyu değişimlerinin ne kadarlık bir frekans değişimi gerçekleştirdiği de ölçülebilir.



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., Sumski, S., Junction lasers which operate continuously at room temperature Apply. Phys. Lett., 1970, 17, 109-111.
- [3]. Fleming M.W., 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., 1972, 20, 499-500.
- [5]. Wieman E., Hollberg L., Using diode lasers for atomic physics, Rev. Sci. Instrum., 62 (1), 1991, 1-20.
- [6]. Wieman E., Pritchard E., Wineland D. J., Atom cooling, trapping and quantum manipulation Rev. Mod. Phys., 1999.
- [7]. Zoorebedian P., Tunable Lasers Hand Book, edited by F. J. Duarte, Academic, London, 1995.
- [8]. Topdemir H. G., Işığın Öyküsü, Tübitak Popüler Bilim Kitapları 263, 2006, 9-189
- [9]. Aydın R., Lazer ve Temel Uygulamaları ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, 2016, p16.
- [10]. Billings C. W., Tabak J., Çeviri Tanrıöver G., Tübitak Popüler Bilim Kitapları, 2006, 5-9
- [11]. Akkoyun S., and Bayram T., Fizik ve Geometrik Optik 1&2, Seçkin yayıncılık, 2018, 13-16
- [12]. Wilson J., Hawkes J. B., Çeviri İbrahim Okur, Optoelektronik, Değişim Yayınları, 2000.
- [13]. Pedrotti F.L., Pedrotti L.S., Pedrotti L.M., Çeviri Metin Özdemir, Palme Yayıncılık 2014.
- [14]. Tarakçıoğlu N., Özcan M., Lazerler ve Materyal İşleme Uygulamaları, Atlas Yayın, 2004.
- [15]. Lazerin 50. Yılı özel sayısı, Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı 510, Mayıs 2010.
- [16]. Köksal F., Köseoğlu R., Spektroskopi ve Lazerlere Giriş, Nobel Yayınları, 2010, 251-278
- [17]. Fang Z., Cai H., Chen G., Qu R., Single Frequency Semiconductor Lasers, Springer, 2017
- [18]. D. A. Klinmann and P. P. Kisliuk, Discrimination against unwanted orders in the Fabry - Perot. Resonator, Bell. Syst. Tech. J., Vol: 41 , pp. 453.. ,1962.
- [19]. T. R. Koelher and J. P. Goldsborough, Tree-reflector Optical Cavity for Mode Discrimination, Bull. Amer. Phys. Soc., Vol:7, pp. 446.. ,1962.
- [20]. M.W. Fleming and A. Mooradian, Spectral Characteristics of External-cavity Controlled Semiconductor Laser, IEEE. J. QE. Vol:7, pp. 44... ,1981.
- [21]. R.S. Tucker, D.J. Pope, Circuit Modeling of the Effect of Diffision on Damping in a Narrow Stripe Semiconductor for Laser, IEEE J. QE. Vol:19, N0: 7, pp. 1179..., 1983.
- [22]. L. Goldberg, H. F. Taylor, A. Dandridge and T. G. Giallorenzi, Spectral Characteristics of Semiconductor Lasers with Optical Feedback, J. QE. vol:18, pp. 555.. ,1982.
- [23]. Joseph T. Verdeyen, Laser Electronics, Prentice Hall New Jersey, 1989.
- [24]. Tunable diode lasers, Toptica Photonics, www.toptica.com.
- [25]. V. S . Letokhov, in Dye Lasers: 25 Years (M. Stuke, Ed.), pp. 153-168, Springer-Verlag, Berlin (1992).
- [26]. Fleming M. W. And Mooradian A., Spectral Characteristic of external-cavity controlled semiconductor lasers, IEEE Journal of Quantum Electronics 1981: QE-17; (1), 44-59.
- [27]. Henry C. H. , Theory of linewidth of semiconductor lasers, IEEE Journal of Quantum Electronics, 1982: QE18; (1), 259-263.
- [28]. Wyatt R. And Devlin W. J., 10 kHz linewidth 1.5µm InGaAsP external cavity laser 55nm tuning range, Electronic letters, 1983: 19(3), 110-112.
- [29]. Wieman C. E., Holberg L., Using Diode Lasers for atomic physics, Review of Scientific Instruments, (1991); 62, 1-20.
- [30]. Galbacs G., A review of applications and experimental instruments related to diode laser atomic spectroscopy, Applied Spectroscopy Reviews, 2006: 41; 259-303.
- [31]. Wang W., Major A. and Paliwal J., Grating stabilised external cavity diode lasers for Raman spectroscopy, Applied Spectroscopy Review, 2012: 47; 116-143.
- [32]. Nasim H., Jamil Y., Diode lasers: from laboratory to industry, Optics & Laser Technology,

- 2014: 56; 211-222.
- [33]. Arnold A. S., Wilson J. S. and Boshier M. G., A simple extended-cavity diode laser, *Review of Scientific Instruments*, 1997: 69; (3), 1236-1239.
 - [34]. Andalkar A., Lamoreaux S. K. and Warrington R. B., Improved external cavity design for cesium D1 (894nm) diode laser, *Review of Scientific Instruments*, 2001: 71; (11), 4029-403.
 - [35]. Hawthorn C. J., Weber K. P. and Scholten R. E., Littrow configuration tunable external cavity diode laser with fixed direction output beam, *Review of Scientific Instruments*, 2001: 72; (12), 4477-4479.
 - [36]. Luvsandamdi E., Spießberger S., Schiemangk M., Sham A., Mura G., Wicht A., Peters A., Erbert G. and Tränkle G., Development of narrow linewidth, micro-integrated cavity diode lasers for quantum optics experiments in space, *Applied Physics B*, 2013: 111; 255-260.
 - [37]. Loh H., Lin Y., Teper I., Cetina M., Simon J., Thompson J. K. and Vuletic V., Influence of grating parameters on the linewidths of external-cavity diode lasers, *Applied Optics*, 2006: 45; (36), 9191-9197.
 - [38]. Saliba S. D., and Scholten R. E., Linewidths below 100kHz with external cavity diode laser, *Applied Optics*, 2009. 48; (36), 6961-6966.
 - [39]. Zhang Y., Miyakawa S., Kasai K., Okada-Shudo Y. and Watanabe M., Efficient phase noise suppression of an external cavity diode-laser by optical filtering and resonant optical feedback, *Applied Physics B*, 2011: 10; 39-42.
 - [40]. Horstjann H., Nenakhov V., Burrows J. P., Frequency stabilisation of blue extended cavity diode lasers by external cavity optical feedback, *Applied Physics B*, 2012: 106; 261-266.
 - [41]. Gilowski M., Schubert C., Zaiser M., Herr W., Wübbena T., Wendrich T., Müller T., Rasel E. M. and Ertmer W., Narrow bandwidth interference filter-stabilised diode laser systems for the manipulation of neutral atoms, *Optics Communications*, 2007: 280; 443-447.
 - [42]. Thomson D. J. and Scholten R. E. Narrow linewidth tunable external cavity diode laser using wide bandwidth filter, *Review of Scientific Instruments*, 2012: 83; 023107.
 - [43]. Laurila T., Joutsenoja T., Hernberg R., and Kuittinen M., Tunable external-cavity diode laser at 650nm based on transmission diffraction grating, *Applied Optics*, 2002: 41; (27), 5632-5637.
 - [44]. Mroziewicz B., Kowalczyk E., Dobrzanski L., Ratajczak J., and Lewandowski S. J., External cavity diode lasers with E-beam silicon diffraction gratings, *Optical and Quantum Electronics*, 2007: 39: 585-595.
 - [45]. Hieta T., Vainio M., Mouser C., Ikenon E., External cavity lasers based a volume holographic grating at normal incidence for spectroscopy in the visible range, *Optics Communications*, 2009: 282; 3119-3123.
 - [46]. Jechow A., Raab V., Menzel R., Cenkier M., Stry S., and Sacher J., 1W tunable near diffraction limited light from a broad area laser diode in an external cavity with a line width of 1.7MHz, *Optics Communications*, 2007: 277; 161-165.
 - [47]. Bennets S., Hardman K. S., Debs J. E., McDonald G. D., Kuhn C. C. N., Close J. D., and Robins N. P., External cavity diode lasers with 5kHz linewidth and 200nm tuning range at 1.55 μ m, *Optics Express*, 2014: 22; 10643-10654.
 - [48]. Osinski M., and Buus J., Linewidth broadening factor in semiconductor diode lasers, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1987: QE-23; (1), 9-29.
 - [49]. Yu Y., and Xi J., *Optics Letters*, Influence of external optical feedback on the alpha factor of semiconductor lasers, 2013: 38; (11), 1781-1783.
 - [50]. Chuang C., Liao Y., Lin C., Chen S., Grillot F., and Lin F., *Optics Express*, Linewidth enhancement factor in semiconductor lasers subject to various external optical feedback conditions, 2014: 22; (5), 5651-5658.
 - [51]. Führer T., and Walther T., Control and active stabilization of linewidth of and ECDL, *Applied Physics B*, 2012: 108; 249-253.
 - [52]. Tombez L., Cappelli F., Schilt S., Di Domenico G., Bartalini S., and Hofstetter D., Wavelength tuning and thermal dynamics of continuous-wave mid-infrared distributed feedback quantum cascade lasers, *Applied Physics. Letters*, 2013: 103; (3), 1-5.
 - [53]. Hult J., Burns I. S., and Kaminski C. F., Wide-bandwidth mode-hop-free tuning of extended-

- cavity GaN diode lasers, *Applied Optics*, 2005: 44; (18), 3675-3685.
- [54]. S. D. Saliba, M. Junker, L. D. Turner, and R. E. Scholten, Mode stability of external cavity diode lasers, *Applied Optics*, 2009: 48: (35), 6992-6999.
- [55]. Fortin G., and McCarthy N., Continuous Tuning of diode laser over 8.4 THz near 1550 nm with a chirped grating, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2011:17; (6), 1499-1503.
- [56]. Dutta S., Elliott D. S., and Chen Y. P., Mode-hop free tuning over 135 GHz of external cavity diode lasers without antireflection coating, *App. Phys. B*, 2012: 106; 629-633.
- [57]. RMT Ltd Thermoelectric Cooling, <http://www.rmtltd.ru/>,
- [58]. Peltier nedir? Nasıl çalışır, <https://teknolojiProjeleri.com/>
- [59]. Thermoelectric Handbook www.lairdthermal.com
- [60]. Tellurex Corporation, www.tellurex.com 2010
- [61]. Material Property Data, <http://www.matweb.com/>
- [62]. Yiqian Mao, Mingzhi Yang, Tiantian Wang, Fan Wu, Bosen Qian, Influence of Vacuum Level on Heat Transfer Characteristics, 2020
- [63]. Goldsmid H.J., Introduction to Thermoelectricity, Springer Series in Material Science 2010
- [64]. Adeyanju A.A., Compton W., Theoretical Determination of a Thermoelectric Module and Heat Sinks Sizing, *International Journal of Electrical and Power Engineering*, 2010: 4(2), 66-72