

LİDAR İÇİN OPTİK SİSTEM TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hakan ÇETİNKAYA
(501041622)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 KASIM 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 21 KASIM 2006

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Cankut ÖRMECİ

Eş Danışman Doç.Dr. Hülya KIRKICI

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ercan TOPUZ

Prof.Dr. Nebiye MUSAOĞLU

Y.Doç.Dr. Şinasi KAYA

KASIM 2006

ÖNSÖZ

Optik konusu her zaman çok fazla ilgimi çekmiştir. Lazerler ise optiğin zor ama içine girdikçe de oldukça dikkat çekici ve zevkli bir bölümünü oluşturur. Ne kadar şanslıymışım ki lazerler ve optik ile ilgili bir çalışmanın içinde buluverdim kendimi.

Çalışmamı ayna kullanarak gerçekleştirmek istememin sebebi ise aynaların geleceğinin bu tarz tasarımlarda lenslere göre çok daha parlak olduğunu düşünmem. Ayna üretiminde gelişen teknikler sayesinde her geçen gün aynalar daha hafif ve daha etkili hale geliyor. Lenslerin fiziksel yapıları gereği çok fazla alternatifi olamıyor. Dolayısıyla lens üretiminde yüzyıllardır çok fazla bir gelişme söz konusu değil. Diğer taraftan aynalar oldukça değişik alternatiflerle karşımıza çıkabiliyor. Ayrıca aynaları portatif ekipmanların tasarımında kullanmak çok daha mantıklı çünkü aynaları hafifletebilmek istendiğinde oldukça fazla seçenek mevcut. Hafiflik konusunda bu denli esnek olmalarının sebebi aynaların optik anlamdaki fonksiyonel bölgelerinin oldukça ince bir yüzey olması. Ayna yeterince kararlı bir yapıda tutulabildiği sürece inceliği konusunda neredeyse bir sınırlama yok. En iyi yansıma veren ince film kaplamalı aynaların işlevsel olan kısımlarının kalınlığının, aynanın kullanıldığı dalga boyunun mertebelerinde olduğunu söylersek, aynaların bu konudaki potansiyelini anlatmış oluruz.

Çalışmalarım belki bilimde çığır açmayacak ama bu tez boyunca öğrendiğim şeyler hayatım boyunca bana yol gösterecek. Tez çalışmalarım bana nasıl araştırma yapacağımı, kaynaklarımı nasıl kullanacağımı, takım çalışmasını, oldukça stresli bir ortamda, evimden, sevdiklerimden uzakta bile nasıl çalışabileceğimi öğretti. Bilimin ona doğru uzanma cesareti gösterebilen herkes için ne kadar kolay ulaşılabilir bir değer olduğunu gösterdi. Tüm bunları bana gösteren ya da görmemde emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Her şey gibi bu çalışma da birçok insanın desteği ve emeği sayesinde tamamlandı. Yüksek lisans tezimde oldukça fazla emeği geçen tez danışman hocam Prof. Dr. Cankut ÖRMECİ'ye, hem yurtdışından yaptığı destekler hem de Amerika'da bulunduğum süre boyunca bire bir desteklerinden dolayı Doç. Dr. Hülya KIRKICI'ya, yakın ilgi ve destekleri için Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU'na, optik tasarımı birlikte yaptığım, beni Amerika'da yalnız bırakmayan dostum Mert SERKAN'a, büyük destekleri ve sabırlarından dolayı aileme, Seçil ÇETİN, Merve Ayşenur GÜLEN, Taner SEYREK'e ve tabiki tezimin çalışmalarını yürütebilmem için beni Amerika'da burslu olarak en iyi şekilde ağırlayan Auburn Üniversitesi'ne en içten teşekkürlerimi borç bilirim.

Kasım 2006

Hakan ÇETİNKAYA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. UZAKTAN ALGILAMA	2
2.1 Tanım	2
2.2 Elektromanyetik Işıma	3
2.2.1 Spektrum	5
2.2.2 Girişim	5
2.2.3 Kırınım	7
2.2.4 Doppler Etkisi	7
2.3 Elektromanyetik Dalgaların Madde İle Etkileşimi	7
2.3.1 Yansıma	7
2.3.2 Soğurma	8
2.3.3 Saçılma	9
2.4 Fotoğrafik Sistemler	9
2.5 Aktif Sistemler	10
2.5.1 Radar	10
2.5.2 Lidar	10
3. LİDAR	11
3.1 Temel Sistem Bilgisi	11
3.2 Kullanım	14
3.3 Özellikleri	14
4. LAZER	17
4.1 Fotonlar ve Atom	17
4.2 Lazer Demeti Oluşumu	18
4.3 Enerji Seviyeleri	18
4.4 Lazer Ovukları	21
4.5 Modlar	21
4.3 Uyarım	23

5. YARI İLETKEN LAZERLER	25
5.1. p-n Bağlantılar	25
5.2. Boylamsal Modlar	27
5.3. Lazer Yapıları	27
5.3.1. Geniş Alanlı Lazerler	28
5.3.2. Kazanç Kılavuzlu Lazerler	28
5.3.3. Zayıf İndis-Kılavuzlu Lazerler	29
5.3.4. Güçlü İndis-Kılavuzlu Lazerler	30
5.3.5. Geri Beslemeli Lazerler	32
5.3.5.1. DFB ve DBR Lazerler	32
5.3.5.2. Çiftlenmiş Ovuklu Lazerler	34
6. OPTİK	36
6.1. Gaussian Optiği	36
6.2. Klasik Optik	41
6.2.1. Konik Kesitleri	42
7. TASARIM	47
7.1. Problem	47
7.2. Malzemeler	48
7.3. Optik Metotların Seçimi	50
7.4. Tasarım	51
7.4.1. Analiz	53
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	60
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	65

KISALTMALAR

DFB	: Distributed feedback (Dağıtılmış geri beslemeli)
DBR	: Dağıtılmış Bragg yansıtıcı (Distributed Bragg reflector)
CSBH	: Kanallı-substrat gömülü-hetero yapı (Channeled-substrate burried-heterostructure)
MSBH	: Yassı-substrat gömülü-hetero yapı (Mesa-substrate burried-heterostructure)
BCBH	: Gömülü-hilal gömülü-hetero yapı (Burried-crescent burried-heterostructure)
EMBH	: Asitlenmiş-yassı gömülü-hetero yapı (Etched-mesa burried-heterostructure)
DCPBH	: Çift kanallı düzlemsel gömülü-hetero yapı (Double-channel planar burried-heterostructure)

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Uzaktan algılama yöntemleri	3
Şekil 1.2 : Elektromanyetik spektrum	4
Şekil 1.3 : Dalgaların hareketi	6
Şekil 1.4 : Girişim deseni	6
Şekil 1.5 : Lazerde girişim deseni	6
Şekil 1.6 : Kırınım	7
Şekil 2.1 : Lidar	11
Şekil 2.2 : Çift teleskoplu Lidar şeması.....	13
Şekil 2.3 : Tek teleskoplu Lidar şeması.....	14
Şekil 2.4 : Tarama şekilleri.....	15
Şekil 2.5 : Lidar ile kesit datası alınması.....	16
Şekil 3.1 : Foton emisyonu ve soğurumu	17
Şekil 3.2 : Uyarılmış emisyon	18
Şekil 3.3 : Lazer Işımasının başlaması	19
Şekil 3.4 : Lazer ovuğundaki faz durumu	19
Şekil 3.5 : 3 ve 4 basamaklı enerji seviyesi sistemleri	20
Şekil 3.6 : Çeşitli lazer ovukları	22
Şekil 3.7 : Lazer emisyonunda oluşan modlar.....	22
Şekil 3.8 : Lazer modları	23
Şekil 4.1 : Diyot lazer enerji seviyeleri	25
Şekil 4.2 : Genişletilmiş aktif bölgesi lazer diyot enerji seviyeleri	26
Şekil 4.3 : Lazer modları	27
Şekil 4.4 : Geniş alanlı lazer	28
Şekil 4.5 : Kazanç kılavuzlu lazerler	29
Şekil 4.6 : Zayıf indis-kılavuzlu lazerler	30
Şekil 4.7 : Düzlemsel aktif bölgesi lazerler	31
Şekil 4.8 : Düzlemsel olmayan aktif bölgesi lazerler	32
Şekil 4.9 : DFB ve DBR lazerler	33
Şekil 4.10 : Aktif-pasif lazer	34
Şekil 4.11 : Aktif-aktif lazer	35
Şekil 5.1 : Gaussian profili	37
Şekil 5.2 : Lazer demeti ilerlemesi	39
Şekil 5.3 : Lazer demeti dalga yüzeyi dağılımı	39
Şekil 5.4 : Farklı kalite faktörlü demetler.....	40
Şekil 5.5 : Aynalarda yansıma.....	41
Şekil 5.6 : Konik kesitler	42
Şekil 5.7 : Küresel aynada yansıma.....	42
Şekil 5.8 : Eliptik aynada yansıma	43
Şekil 5.9 : Hiperbolik aynada yansıma.....	43
Şekil 5.10 : Parabolik aynada yansıma.....	44
Şekil 5.11 : Elips geometrisi.....	44

Şekil 5.12	: Parabol geometrisi.....	45
Şekil 5.13	: Hiperbol geometrisi.....	46
Şekil 6.1	: Lidar blok şeması	48
Şekil 6.2	: Lazer diyot ışıması	50
Şekil 6.3	: Optik tasarımın geometrisi.....	52
Şekil 6.4	: Excel tablosu	53
Şekil 6.5	: Zemax mercek veri girişi penceresi	55
Şekil 6.6	: Zemax 3 boyutlu model penceresi	56
Şekil 6.7	: Zemax fiziksel optik veri girişi genel penceresi	57
Şekil 6.8	: Zemax fiziksel optik veri girişi demet özellikleri penceresi	57
Şekil 6.9	: Zemax fiziksel optik veri girişi görsel özellikler penceresi	58
Şekil 6.10	: Zemax fiziksel optik analiz penceresi	58

SEMBOL LİSTESİ

E	: Elektrik akı
B	: Manyetik akı
t	: Zaman
μ	: Geçirgenlik
ε	: Dielektrik sabiti
c	: Işık hızı
h	: Planck sabiti
f	: Frekans
λ	: Dalga boyu
K	: Kernel katsayısı
p	: Ovuk uzunluğu
E	: Elektrik alan
γ_{nm}	: Öz değerler
E_{nm}	: Öz modlar
I	: Işık şiddeti
$R_{(z)}$	: Dalga eğrilik yarıçapı
$w_{(z)}$	: Demet yarıçapı
w_0	: Rayleigh mesafesindeki demet yarıçapı
θ	: Iraksaklık açısı
z_R	: Rayleigh mesafesi
M^2	: Kalite faktörü

LİDAR İÇİN OPTİK SİSTEM TASARIMI

ÖZET

Bu çalışmada, özellikle son yıllarda uzaktan algılamada sıkça kullanılan Lidar'ın optik kısımlarından birisi olan demet genişletme sistemi tasarlanmıştır. Demet kalitelerinin düşük olması sebebi ile diyot lazer Lidar'larda çok sık tercih edilmez. Diyot lazerlerin ıraksama açısı oldukça yüksektir. Demet, diyotun fiziksel özelliklerinden kaynaklı olarak elips şeklinde çıkar. Demetin her iki eksenindeki odakları farklıdır. Fakat son yıllarda diyot lazer teknolojisindeki gelişmeler sayesinde diyot lazerler daha kaliteli demet özelliklerine sahip olmaya başlamışlardır. Bu gelişmelerle birlikte diyot lazerler Lidar'larda kullanılmaya başlanmıştır. Yaptığımız çalışmada diyot lazerlerin dezavantajlarından birisi olan yüksek ıraksama açısı sistemin bir parçası gibi kullanılarak demet istenilen boya gelene kadar genişlemesine izin verilmiştir. Böylece optik elemanlarda tasarruf edilmiş ve sistem hafifletilmiş, basitleştirilmiştir. Basitleşen sistemin montaj ve imalat kaynaklı hatalarında azalacaktır. Mevcut ayna hesaplamaları geometrik optik kullanılarak farklı ihmallerle hesaplandığı için hassas hesaplamalar yapılmak istendiğinde hesaplamalara düzeltmeler getirilmesi gerekir. Bu tarz bir yaklaşım yerine her optik sistem için, sisteme özel yöntemler geliştirilebilir. Çalışmamız da bu mantıktan yola çıkılarak şekillenmiştir. Çalışmada hiçbir ihmal ya da kabul kullanılmadan aynaların yüzey fonksiyonları kullanılmış ve karışık hale gelen matemetiğin üstesinden gelebilmek için tasarlanan sisteme özel çözümler üretilmiştir. Tasarımın temelinde eksenden uzak aynalar yatmaktadır. Aynalar eksenden alışımlı dışıda uzaklaştıklarından dolayı küresel ayna kullanmak imkansız hale gelmiş ve bunun için geometrik optiğin temelindeki konik kesit yüzeylere başvurulmuştur. Demetin bozulması bu şekilde engellensede bahsedilen kullanım şekli beraberinde demetin ışık şiddeti profilinde deformasyonlara yol açacağı için aynalar optimize edilirken profil deformasyonu dikkate alınmıştır.

OPTICAL SYSTEM DESIGN FOR A LIDAR

SUMMARY

In this study, we tried to design a beam expander, an important optical part of a Lidar system. In recent years Lidar systems have been very popular among remote sensing measurements. Their disadvantages are size and weight. Instead of using mass consuming other types of lasers we can use diode lasers to eliminate the weight and volume problems. However because of poor beam quality, it is not easy using diode lasers. Disadvantages can be listed as high divergence angle, astigmatism and ellipticity. The high divergence angle, the most important disadvantage of a diode laser, can be used as if it is an optical component of the beam shaping system. Normally to simplify the calculations geometrical optics uses some approximations. Instead of limiting ourselves we preferred to make the calculations by directly using the surface equations of conic sections. Our design is mainly based on off-axis mirrors. Using such kind of geometry does not let surface approximations since surface of a conic section diverges from a circle. Moreover using directly the surface functions of the mirrors we eliminate extra corrections. Although it has its own advantages it does not give the designer an absolute freedom. Especially beams have problems if you use off-axis systems. Main one is deformation due to the geometry of conic sections. Problem gets worse when the beam gets away from the axis. This property is used in our design to optimize the solution.

1. GİRİŞ

Lidar özellikle son yıllarda uzaktan algılamada sıkça kullanılmaktadır. Lidar aslında bir çeşit radardır. Lidar ile Radar arasındaki fark kullanılan aydınlatma yöntemidir. Radar radyo dalgası kullanırken Lidar genelde görünür bölgeye yakın frekanslara sahip olan lazer ışığı kullanır. Aktif bir sistem olduğu için gece de kullanma imkânı vardır. Sistemde lazer kullanıldığı için hedefteki aydınlanma miktarını kontrol etmek kolaydır. Lidar çeşitli amaçlarla kullanılır. Atmosferik ölçüm ve arazi ölçümü bunlardan en önemli ve en yaygın ikisidir. Atmosferik ölçümlerde son yıllarda diyot lazerle çalışan Lidar'lar kullanılsa da birkaç kilometre menzile sahip arazi verisi toplayan Lidar'larda diyot kullanımı çok fazla denenmemiştir. Bunun sebebi diyotların yetersiz ve kalitesiz demet karakteristiğine sahip olmasıdır. Demet şekillendirme ile kalite sorunu çözülebilir. Son yıllarda lazer diyotlardaki güç artışı ise diğer bir pozitif noktadır. Demet şekillendirme işlemi yapılırken değişik sistemler ardı ardına kullanılarak demet istenilen kaliteye ulaştırılmaya çalışılır. Demet şekillendirme şu başlıklarda yapılabilir: eliptisite düzeltme, çap genişletme, çap daraltma, astigmatizm hataları düzeltme, odaklama, dağıtma, paralelleştirme, profil değiştirme, mod değişiklikleri, parçalama, birleştirme. Çalışmamızda eliptisite düzeltme, çap genişletme ve paralelleştirme işlemlerini ayna kullanarak gerçekleştirmenin yollarını arayacağız. Hesaplamaların doğruluğunu control etmek için Zemax optik tasarım programı kullanacağız.

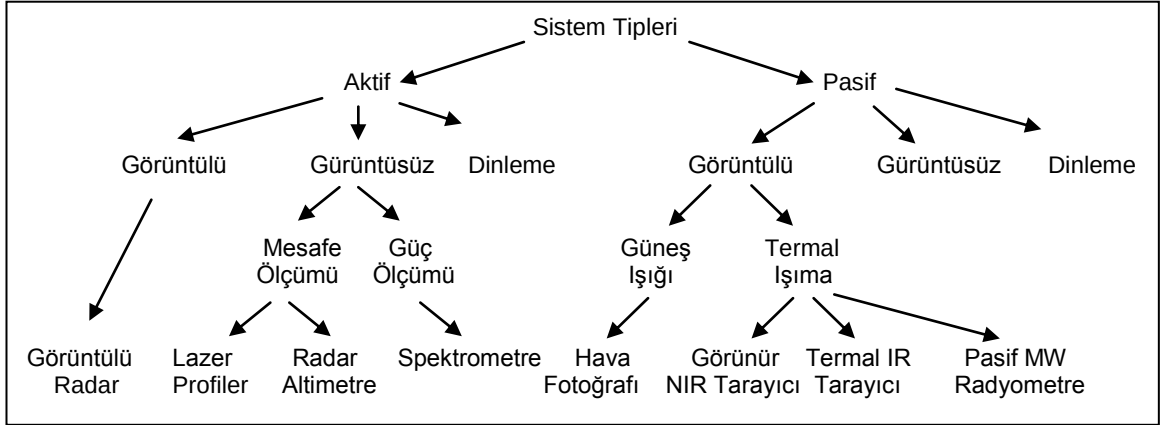
2. UZAKTAN ALGILAMA

2.1. Tanım

Uzaktan algılama, “bir objeye temas etmeden obje hakkında fiziksel bilgi edinme” olarak açıklansa da bu çok geniş bir tanım olduğu için pratik olmaktan uzaktır. Bu tanım biraz daha daraltılarak günümüzde kullanılan uzaktan algılama yöntemlerini daha net açıklamamıza yardım edebilir. Fakat temel anlamda uzaktan algılama için yaptığımız yukarıdaki tanımı sürekli aklımızın bir köşesinde tutmamız yeni yöntem ve tekniklerin bulunmasında daha geniş bakış açısına sahip olmamıza yani daha yaratıcı olmamıza yardımcı olacaktır. Tanımımızı daraltmaya “kullanılan tekniklerin ortak özelliğinin elektromanyetik dalgalardan yararlanması” olduğunu ekleyerek başlamanız çok yerinde olacaktır. Ayrıca uzaktan algılama yöntemleri temelde büyük ölçekli ölçümlerin kısa sürede yapılabilmesini amaçladığı için bu ölçümlerin genelde objeden mümkün olduğunca uzak olduğunu da ekleyebiliriz. Tüm bunlara ek olarak ölçümler, yeryüzü üzerine yayılmış objelere yönelik bilgi edinme amaçlı olduğundan istisnai durumlar haricinde havadan yapılmaktadır. Başta da belirttiğimiz gibi bu daraltmalar netlik göstermemekle birlikte çalışmalarımızı da kısıtlama riski taşıyacağından sadece konunun anlaşılabilirliği arttırmak için kullanıldıkları akıldan çıkarılmamalıdır. Buna en güzel örnek ise uzaktan algılama teknikleri içinde bulunan sismik, jeomagnetik ölçümlerle uzaktan ısı ölçümleri, tıbbi görüntüleme cihazları tüm bu tanım kısıtlamalarımızın dışında kalmasına rağmen uzaktan algılamaya en güzel örneklerden birkaçıdır. Fakat bahsi geçen sınıflandırma, bu çalışma ile yapılması planlanan ölçümleri tanımlamak açısından önemli bir kıstas olduğundan bize ışıktır.

Uzaktan algılama günümüzde çok yüksek öneme sahiptir. Bunun sebebi hiç kuşkusuz alternatif ölçüm metotlarıyla yapılan ölçümlerin çok daha fazla zaman alması ve maliyetinin çok daha yüksek olmasıdır. Uzaktan algılama tekniklerinde tek bir ölçüm işlemi ile birçok noktanın bilgisi aynı anda alındığı için noktalar arasındaki göreceli doğruluk çok daha gerçekçidir. Ölçümler, özellikle son teknolojik gelişmelerle birlikte, arazi çalışmalarıyla alınan bilgilere oranla çok yüksek doğruluk

göstermektedir. Bu da uzaktan algılamanın potansiyelini son derece net sergiler. Uzaktan algılamada oldukça değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde elektromanyetik dalgalar kullanılır. Ölçülen ısımanın kaynağı güneş, diğer doğal etmenler ya da cihazın üzerinde bulunan dalga kaynağı olabilir. Uzaktan algılama yöntemleri elektromanyetik dalga kaynaklarına göre aktif ya da pasif adını alırlar. Her bir grup görüntülü, görüntüsüz ya da dinleme yaparak bilgi alır. Detaylı olarak sınıflandırmaları Şekil 2.1 de görmekteyiz.



Şekil 2.1: Uzaktan algılama yöntemleri

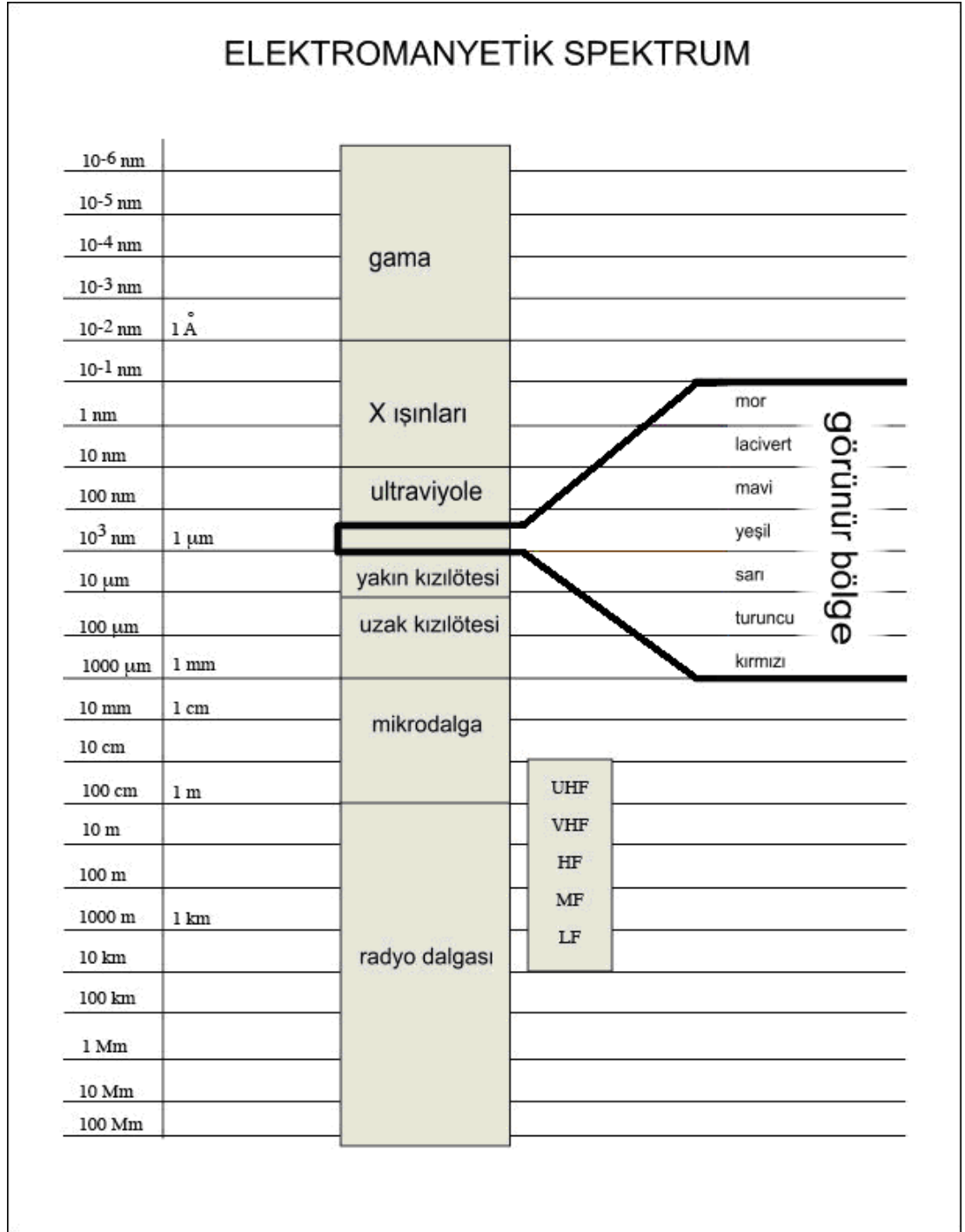
2.2. Elektromanyetik Işıma

Uzaktan algılama çoğunlukla elektromanyetik dalgalar yardımıyla yapıldığı için elektromanyetik teori önemli bir yere sahiptir. Burada çok fazla derine inilmeyerek elektromanyetik dalgalar hakkında temel ve önemli bilgilerden bahsedilecektir. Özellikle çalışma konusuyla ilgili noktalar açık ve anlaşılır şekilde incelenmeye çalışılmıştır.

Işıma, atomların enerjisinin bir bölümünü foton dediğimiz parçacığa vererek fotonun açığa çıkmasına neden olmasıdır. Foton elektromanyetik dalganın bir anlamda taşıyıcısıdır. Foton teorik bir kütle ve momentuma sahip olduğundan madde gibi davranabilir. Buna en güzel örnek foto elektrik etki denilen olaydır. Burada foton bir elektrona çarparak onu yörüngesinden söker. Foto elektrik etki birçok detektörün yapılmasında temel prensip olarak kullanılır.

Elektromanyetik dalgalar kütle özelliklerinin yanında dalga özellikleri de gösterirler. Elektromanyetik dalgalar aynı anda sadece bir özelliklerini ortaya koyarlar. Yani

başka bir deyişle sadece dalga ya da sadece madde özelliği gösteren foton asla aynı anda bu iki özelliğini birden ortaya çıkarmaz.



Şekil 2.2: Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik dalga, ismini yol alırken yarattığı elektrik ve manyetik dalgalardan alır. Bu dalgalar birbirine eşlik ederken önemli fizik kurallarına da uyarlar. Dolayısıyla elektromanyetik dalgaların birçok davranışı elektrik ve manyetik ile açıklanabilir ve bu kanunlar Maxwell denklemleri ile şu şekilde ifade edilir.

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \quad (2.1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.2)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} + \partial \mathbf{B} / \partial t = 0 \quad (2.3)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} - \mu\epsilon/c^2 \partial \mathbf{B} / \partial t = 0 \quad (2.4)$$

2.2.1. Spektrum

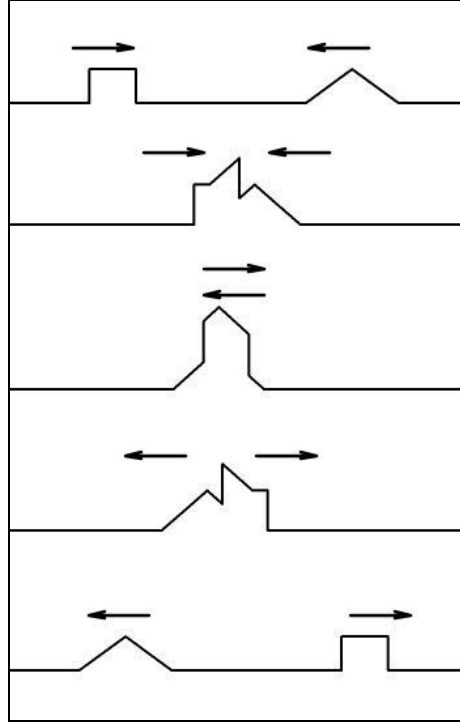
Elektromanyetik ışıma görünür ışığı da içine alan çok geniş bir spektruma sahiptir. Fotonlar boşlukta ışık hızı dediğimiz sabit bir hızla ilerlerler. Değişik enerjilere sahip fotonların momentumunun değişmesi ise bu durumda sadece ve sadece ışığın dalga boyu ile sağlanabilir, yani foton ne kadar enerji içeriyorsa frekansı o kadar artar. Başka bir deyişle dalga boyu o kadar küçülür. Formül ile ifade edecek olursak,

$$E = h f = h c / \lambda \quad (2.5)$$

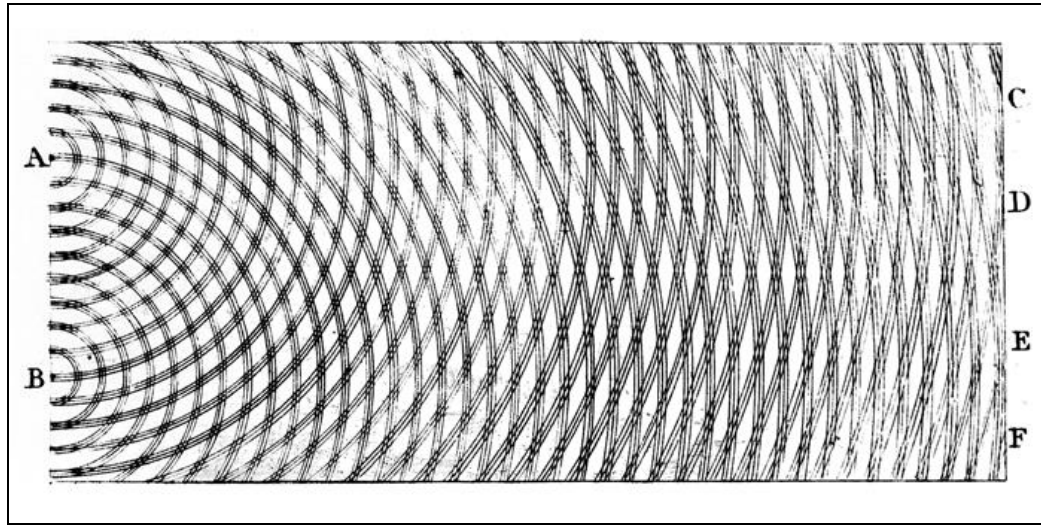
Burada E fotonun enerjisi, h Planck sabiti, f fotonun frekansı, c ışık hızı, λ ise fotonun dalga boyudur. Renk denilen olay ise fotonların değişik enerji, yani değişik dalga boyu ya da frekanslarda olmasından başka bir şey değildir. Bunu spektrum ile ilgili şekilden (Şekil 2.2) de rahatça takip edebiliriz.

2.2.2. Girişim

Elektromanyetik dalgalar dalga özelliği göstererek üst üste geldikleri bölgelerde girişime uğrayarak dalga genliklerini etkilerler. Bahsedilen bölgedeki toplam genlik o bölgeye gelen dalgaların tüm genliklerinin bileşimine eşit olacaktır (Şekil 2.3). Bu da aydınlık ve karanlık saçak oluşumuna sebep olur (Şekil 2.4). Saçakların izlenebilmesi için gerekli koşullar özellikle lazerlerle üretilen ışığın karakteristikleriyle örtüştüğü için (Şekil 2.5) lazerlerle çalışan sistemlerin bu konuda daha iyi incelenmesi gerekir. Özellikle aktif optik sistemlerin tasarımına dikkat edilmezse çok ciddi güç kayıplarına sebep olabilir.



Şekil 2.3: Dalgaların hareketi



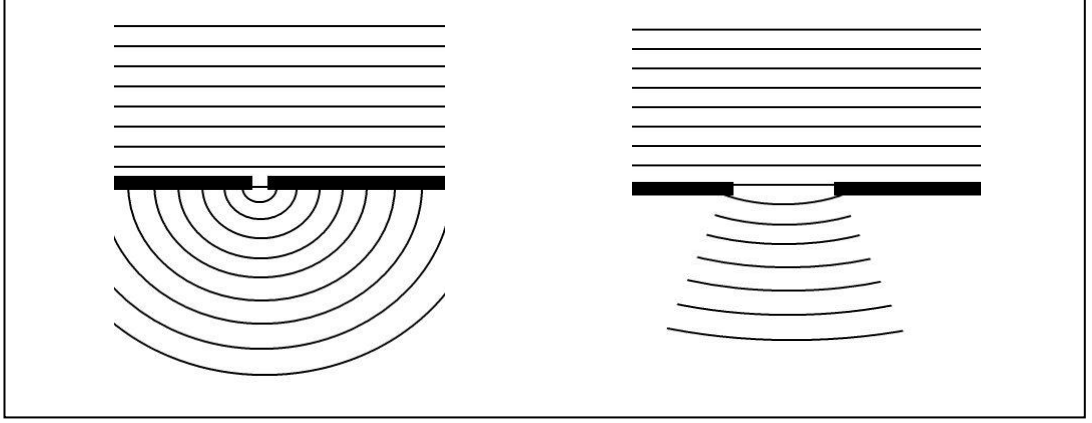
Şekil 2.4: Girişim deseni



Şekil 2.5: Lazerde girişim deseni

2.2.3. Kırınım

Işık aynı diğer dalgalar gibi eğer dalga boyu ile karşılaştırılacak kadar dar bir aralıktan geçer ise aralıktan sonra düz gitmek yerine yayılarak yoluna devam eder (Şekil2.6). Bu olaya kırınım denir. Eğer delik çok geniş ise kırınım gözlenemeyecek kadar küçük olur.



Şekil 2.6: Kırınım

Lazer ışığında ise demet yeterince küçülürse bahsettiğimiz kırınıma uğrayacak ve dağılarak ilerleyecektir. Demet genişledikçe kırınım etkisi azalır ve demet bir noktadan sonra lineer olarak genişlemeye başlar.

2.2.4. Doppler Etkisi

Elektromanyetik dalgaların, üzerinden yansıdığı objeler, eğer hareket halindeyse dalgaların frekansını başka bir deyişle dalga boylarını değiştirir. Bu etkiye Doppler etkisi adi verilir. Hızla giden bir uçaktan yapılacak ölçümlerde bu etki göz önüne alınması gereklidir.

2.3. Elektromanyetik Dalgaların Madde İle Etkileşimi

Elektromanyetik dalgalar madde ile temel olarak 3 şekilde etkileşime girebilirler. Bunlar yansıma soğurulma ve kırılmadır.

2.3.1. Yansıma

Yansıma gelen ışığın maddeye çarptıktan sonra yoluna yön değiştirerek devam etmesidir. Bu olay temel olarak 5 farklı kategoride incelenebilir. Bunlar sırasıyla; a) Ayna yansıma, b) yarım ayna yansıma, c) Lambertian yansıma, d) yarı Lambertian

yansıma, e) kompleks yansımadır. Gerçek hayatta ayna ve Lambertian yansımalar çok ender görülürler. Genelde bunların yerine yarı ayna ve yarı Lambertian yansımalar karşımıza çıkar.

Ayna yansıması adından da anlaşılacağı gibi yüzeye gelen ışığın geliş açısına eşit bir dönüş açısı ile yaptığı yansımadır. Yarı aynada dönen ışık bir miktar dağılır. Lambertian yansıma ışığın eşit şekilde dağılmasıdır. Yarı Lambertian için ise geliş açısına bağlı bir bozulma görülür. Kompleks yansımada ışık değişik açılarda değişik oranlarda yansımaya uğrar.

2.3.2. Soğurma

Madde elektromanyetik dalgayı soğurarak enerjisini alabilir. Dolayısıyla foton ya daha düşük bir enerji ile yoluna devam edecektir ya da tamamen yok olacak, maddede kinetik enerji halinde saklanacaktır. Soğurulma işlemi 3 temel şekilde gerçekleşir.

İlk sistemde foton enerjisini atomun elektronlarından birini üst enerji seviyelerine taşımak için kullanır. Bu tip soğurulmalar için ihtiyaç duyulan fotonların dalga boyları μm mertebesinde olacaktır. Elektron enerji seviyeleri arasındaki farklar atom yapıları ile ilgili olduğu için bu soğurulmalar atomun karakteristik özelliği olup her atom için sadece belirli değerlerdeki enerjiler kabul edilir. Bu da sadece belirli bir frekanstaki ışığın soğurulması demektir. Atomların etrafında dönen elektronlar her bir tur sonunda tam dalga boyunu tamamlamak zorundadırlar. Her dalga boyu belirli bir enerji anlamına gelir. Her enerjide belirli bir λ anlamına gelir. Elektronlar ancak her iki şartıda sağlayabilen belirli uzaklıklarda dolanabilir. Bu olaya kuvantizasyon denir.

Diğer bir soğurulma işlemi sırasında ışık enerjisini molekülü titreştirmek için kullanır. Moleküldeki bağlar tıpkı bir yay gibi davranacağından atomlar içlerinde bulundukları molekülden bir uzaklaşır bir yaklaşırlar. Bu titreşim sırasında eğer foton gelir ve atoma çarpar ise atomun titreşme frekansını değiştirerek atom tarafından soğurulmuş olur. Atomlar arası titreşimler tıpkı elektron enerjileri gibi belirli değerler alacağından bu işlem sırasında da moleküllere özgü frekans aralıklarındaki uygun fotonlar seçilir.

Sonuncu soğurma işleminde ise foton molekülün dönmesine sebep olarak enerjisini moleküle verir. Bu olayda tıpkı diğer iki olaydaki gibi kuvantizasyon içerir ve karakteristik dalga boylarında gerçekleşir.

2.3.3. Saçılma

Işık atmosferden geçerken molekül ve parçacıklara çarparak yön değiştirebilir. Detektörlerimiz, bilgi edinmek ya da ölçüm yapmak istediğimiz objelerden elektromanyetik dalgaları toplarken buna ek olarak, obje ile ilgisi olmayan, atmosferde saçılma uğramış dalgaları da okuyacaktır. Fazladan gelen fotonlar bazı durumlarda almak istediğimiz bilgiyi baskılayacağından elde edilecek bilginin kalitesini düşürebilir ya da tamamen yok edebilir. Bilgi kayıplarını engellemek için atmosferik saçılmalar dikkatle incelenmelidir. Saçılma, moleküllerin ya da parçacıkların boyutları ile ilgili olduğu kadar kullanılan dalga'nın frekansı ile de ilgilidir. Tüm bu sebeplerden dolayı ölçüm atmosfer koşullarına ve kullanılan aletlere bağlı olarak planlanmalıdır.

2.4. Fotoğrafik Sistemler

Uzaktan algılamada çok büyük yeri olan fotoğrafik sistemler temel olarak bildiğimiz fotoğraftan farklı değildir. Fakat uzaktan algılama için kullanılan fotoğraf makineleri çok daha hassas ve optik hatalardan çok daha arındırılmışlardır. Böylece çekilen fotoğraflar yüksek doğruluklu koordinat hesaplamalarında ve diğer uzaktan algılama işlemlerinde kullanılabilir. Kilometrelerce kare bir alanın fotoğrafı çekildiği düşünülürse kullanılacak fotoğrafın geometrik olarak ne kadar hassas olması gerektiği anlaşılabilir. Fotoğrafın yanı sıra fotoğrafın çekildiği noktanın da çok hassas şekilde bilinmesi gerekeceği aşikârdır. Bunun için ise fotoğraf çekildiği andaki koordinat bilgisi toplanır. Bu bilgiler kullanılarak fotoğrafın üzerinde bulunan noktaların koordinatları hesaplanabilir. Fotoğrafın bir başka kullanım yeri ise yansıma bilgilerinden elde edilecek fiziksel özelliklerdir. Fotoğraflar görünür ve görünür olmayan bölgelerden toplanabilir. Değişik dalga boyu aralıklarında teker teker ya da birkaç dalga boyu farklı renklere atanacak şekilde aynı anda 3 e kadar değişik sayıda dalga boyundan edinilmiş bilgi incelenebilir. Eğer farklı dalga boyları incelenecekse bu durumda fotoğraf renkli olmak durumundadır ki farklı dalga boylarının değerleri aynı noktada ayrı ayrı incelenebilsin. Bu sistemde her bir frekans

aralığı kırmızı, yeşil ve mavi kanallardan okunabilir. Okunan bilginin dalga boyu istenilen şekilde seçilebileceği gibi her renge atanan dalga boyu aralığı da seçilebilir. Yani bu durumda sadece mavi renkte ama mavinin farklı 3 dalga boyunda alınmış 3 ayrı fotoğraf 3 renk gibi işlenebilir.

2.5. Aktif Sistemler

Aktif sistemler değişik kaynaklardan ya da objenin kendisinden çıkmış mevcut elektromanyetik dalgaları kullanmak yerine kendileri hedefi aydınlatmak suretiyle hedeften geri dönen elektromanyetik dalgayı incelerler. Aktif sistemlerin foton kaynağı kendileri olduğu için çok daha etkili ve çevre koşullarına daha az bağımlıdırlar. Bu sistemlerden birisi Lidar yani “Light Detection And Ranging” diğeri ise Radar yani “Radio Detection And Ranging” dir. Her iki sistemde birbirine çok yakındır. Temel çalışma şekilleri, elektromanyetik dalgaları gönderip geri dönen dalganın gidiş dönüş süresini ölçme şeklindedir.

2.5.1. Radar

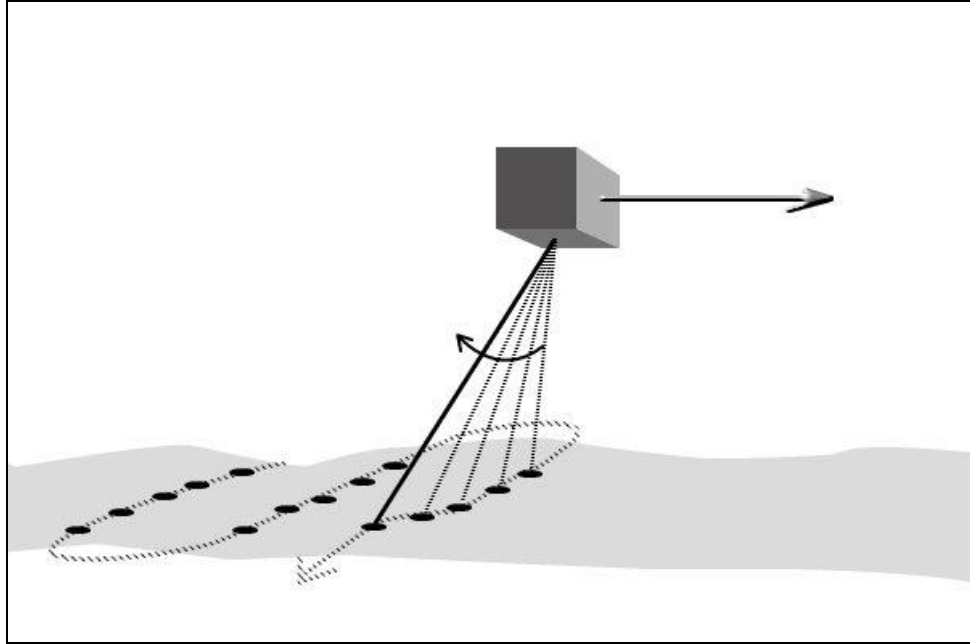
Radarda kullanılan dalga radyo dalgalarıdır. Tipik dalga boyu 0.5 cm ile 1 metre arasında değişir. Radyo dalgaları bulut ve sisten geçebildiği için görünür bölgeye nazaran bu konuda daha avantajlıdırlar. Fakat radyo dalgalarını almak için kullanılan anten görüntü elde edilmesine izin vermez. Bu sorun, dalgaları yeryüzüne açtı yapacak şekilde yollayarak çözümlenmiştir. Açılı şekilde yere ulaşan dalgalar yere değişik zamanlarda çarptıkları için değişik uçuş süreleriyle geri dönerler bu süre farkından alınan ışığın nereye ait olduğu hesaplanır. Bu teknik sayesinde tarama yapılarak bölgenin görüntüsü elde edilebilir.

2.5.2. Lidar

Lidar ise radara çok yakın bir prensiple çalışır. Yine elektromanyetik dalga yollar ve geri dönüş süresini ölçer ama bu sefer kaynak olarak görünür kızılötesi ya da ultraviyole bölgede çalışan bir lazer kullanılır. Lazer ışığı bilindiği gibi uzun mesafeleri dağılmadan kat edebilen bir ışıktır. Dağılma problemi olmadığı için lazer ışığı hassas ölçümlerde kullanılabilen bir kaynak olacaktır. Lazer ışığı uçuş rotası boyunca yeryüzünü tarayarak yükseklik verisi çıkartır ve bu veri DEM (Digital Elevation Model) çıkartılmasında kullanılır.

3. LİDAR

Lidar “Light Detection And Ranging” kelimelerinden çıkartılmış bir kısaltmadır. Türkçe’ ye ise ışık algılama ve mesafe tayini olarak çevrilebilir. Temel prensibi hedefe lazer demeti göndermek ve ışığın uçuş süresini ölçmektir. Uçuş süresinden hedefin uzaklığı hesaplanıp bu birçok nokta için tekrarlanırsa belirli bir alan taranarak 3 boyutlu haritalama yapılabilir (Şekil3.1). Lidar atmosferik ölçümlerde de kullanılır. Atmosferik ölçümlerde hedef gazların uyarılarak yüksek enerji seviyelerine çıkması sağlanır. Atomların tekrar temel enerji seviyelerine dönerken yaptıkları ışıma ölçülerek hedef maddenin yoğunluğu ve uzaklığı ölçülmüş olur. Lidar datası alınırken yüzey yansıtım değerleri de göz önünde tutularak yüzey bilgisi elde edilebilir. Yerde, havada ya da uydularda kullanılabilir.



Şekil 3.1: Lidar

3.1. Temel Sistem Bilgisi

Uçuş süresi ölçülen data sadece Lidar’ın yönlendirildiği doğrultuda hedefin ne kadar uzakta olduğunu hesaplamaya yarayabilir. Toplanan datanın koordinat bilgisine dönüştürülebilmesi için Lidar’ın o andaki koordinatının ve hedefin yönünün

bilinmesi gerekir. Koordinat ölçümü GPS kullanılarak yapılırken Lidar'ın hangi yöne baktığını anlayabilmek için ise "Inertial Measurement Unit" (IMU) kullanılır. Bu şekilde hedefin tam koordinatları hesaplanabilir.

Kullanılan ışık genellikle görünür, yakın kızılötesi ya da ultraviyole bölgelerinde olur. Lazer kullanılmasının sebebi ise lazer demetlerinin çok uzak mesafelere dağılmadan ulaşabilmeleridir.

Lidar temel olarak tıpkı bir radar gibi çalıştığı için temel özelliklerini anlamak için radar ile karşılaştırma yapmak yerinde olacaktır. Radar bazı malzemelerde oldukça az geri yansıtım alır. Hatta bazı maddeler tamamen görünmez olacaktır, ama Lidar çok daha küçük dalga boylarında çalıştığı için bu zayıflıkları olmaz. Ayrıca çok küçük tanecikleri algılamak için de oldukça uygun bir sistemdir. Moleküllerin analizinde ya da toz tanelerinin algılanmasında kullanılabilir. Demet oldukça yoğun olabildiği için aydınlatma sorunu yaşanmaz. Aydınlatmadaki en önemli kriter göz sağlığı ile ilgili kısıtlarlardan ibarettir. Tasarım sırasında göz sağlığını tehlikeye atmayacak seviyelerde ışık kullanılmasına dikkat edilmelidir. Lidar, Radar ile karşılaştırıldığında çözünürlüğü de oldukça iyidir. Genel kullanım alanı atmosferik ölçümler olsa da son zamanlarda yüzey bilgisi alma amaçlı olarak geniş kullanım bulmuştur.

Lazer kullanımı dikkate alındığında iki temel guruba ayrılırlar: "Mikropulse" ve Yüksek Enerji Lidar'ları. "Mikropulse" Lidar'lar yüksek frekanslarda lazer demeti yollayarak ölçüm yaparlar. Bu sebeple çok daha düşük enerjilerle çalışırlar. Bu da sağlık kriterlerini sağlamalarına yardımcı olur. Yüksek enerji lazerlerle çalışan sistemler ise daha çok kendilerine atmosferik ölçümlerde yer bulurlar.

Lidar'ın temel parçaları şu şekildedir:

1) Lazer: Uzun mesafede çalışan Lidar'lar güçlü lazerlere ihtiyaç duyduklarından diyet lazerleri tercih etmezler. 600-800 nm arasındaki lazerler uygun fiyatlardadır ama sağlık kriterlerine uymaz. 1550 nm lazerler kriterlere uyar ama zayıftır. Genelde 1064 nm (Nd:YAG) lazerler tercih edilir. Batimetrik araştırmalarda ise 532 nm lazer kullanarak demetin suya nüfuz edebilmesi sağlanır.

2) Optik ve tarayıcı: Lazer demeti, istenilen boyuta ve kaliteye getirilmek için bir dizi optik elemandan geçirilir. Optik elemanlar demetin genişleme açısını, kalınlığını, güç profilini belirler. Lazer eğer diyet lazerse düşük kalitede demet

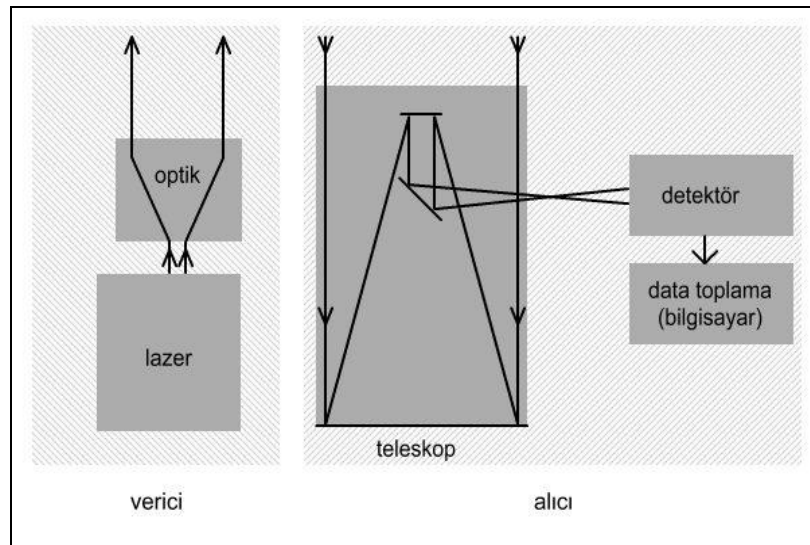
karakteristiği vardır ve bu düzeltilmelidir. Optik parçalar ile tarama işlemini gerçekleştirecek parçalar birbiri ile uyum içinde çalışmalıdır. Tarayıcı sistemler tek eksenli ya da çift eksenli çalışan aynalı ya da prizmalı sistemler olabileceği gibi poligon aynalardan da oluşabilir.

3) Detektör ve elektronik parçalar: Detektör algılanan ışığı elektrik sinyallerine çevirerek elektronik devreye gönderir. Devre datayı işleyerek kayıt için uygun şekle getirdikten sonra datanın depolanacağı yere yollar. Detektörler pin diyot ya da avalanche photo diyot olabilir.

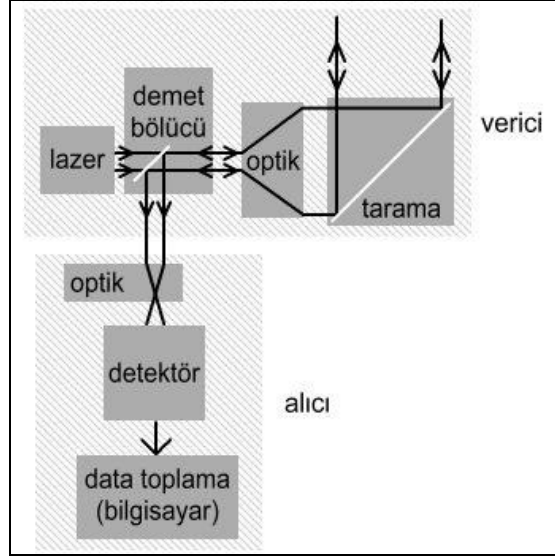
4) Konum belirleme sistemleri: Yapılan ölçüm, hedef ile Lidar arasındaki mesafeyi verecektir. Ölçüm anında, demetin hangi yönde gönderildiği ve Lidar'ın tam koordinatı bilinmezse datanın alındığı yüzeyin koordinatı hesaplanamaz. Bu bilgileri elde etmek için GPS ve UMI sistemleri Lidar datası ile eşzamanlı olarak koordinat ve dönüklük bilgisi alırlar. Bu bilgiler demetin hangi noktadan çıktığını hangi yönde gittiğini ve ne kadar ilerlediğini vereceğinden hedefin koordinatı tespit edilmiş olur.

5) İlk tasarımlarda demet çapını arttırmak için kullanılan teleskop, alıcı kısımdan tamamen bağımsız iken, daha sonraki tasarımlarda Lidar'ı hafifletmek, alıcı ve verici optiklerin birbirleri ile uyumunu sağlamak için yapılması gereken ayarlamalardan kurtulmak amacıyla, alıcı ve verici için aynı optik elemanlardan faydalanılmıştır.

6) İki farklı optik sistemin kullanıldığı tasarımı Şekil 3.2'de, tek bir optik sistem ile hem demet gönderme hem de dönen demeti detektöre yönlendirme işlemlerini gerçekleştiren sistemi ise Şekil 3.3'te görmek mümkün.



Şekil 3.2: Çift teleskoplu Lidar şeması



Şekil 3.3: Tek teleskoplu Lidar şeması

3.2. Kullanım

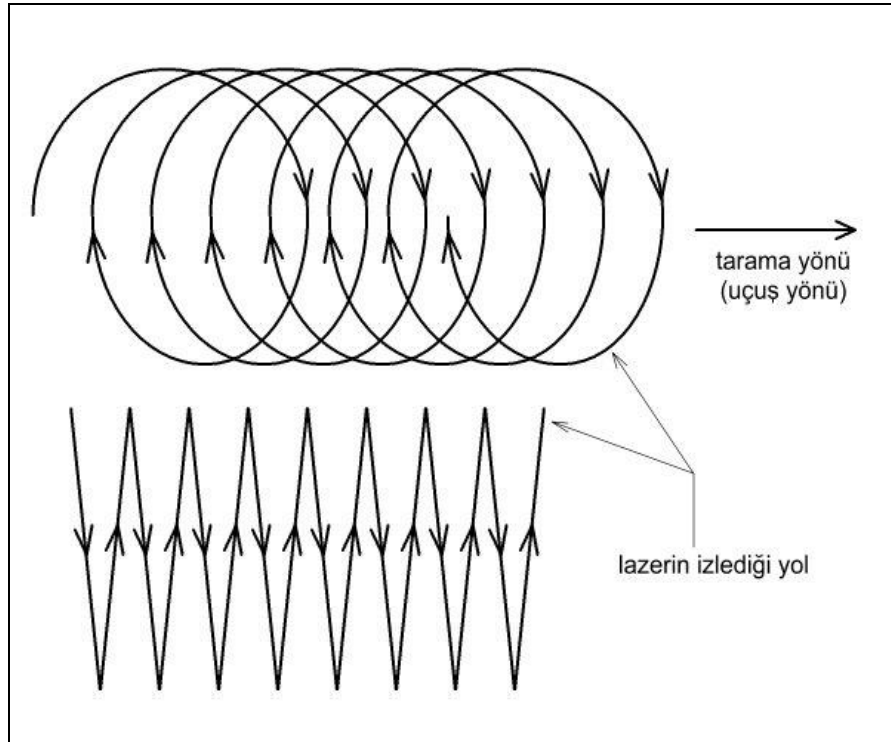
Lidar'dan alınan datalar ile gerçekleştirilecek çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kıyı sınırı ve kumsal hacim değişimleri
- Sel risk analizi
- Su akışı izleme
- Habitat haritalama
- Çökme analizi
- Akarsu analizleri
- Orman hacim çalışmaları
- Orman analizleri
- Acil durum çalışmaları
- Nakliyat haritalamaları
- Telekomünikasyon planlama ve haritalama
- Şehir bölge planlama

3.3. Özellikleri

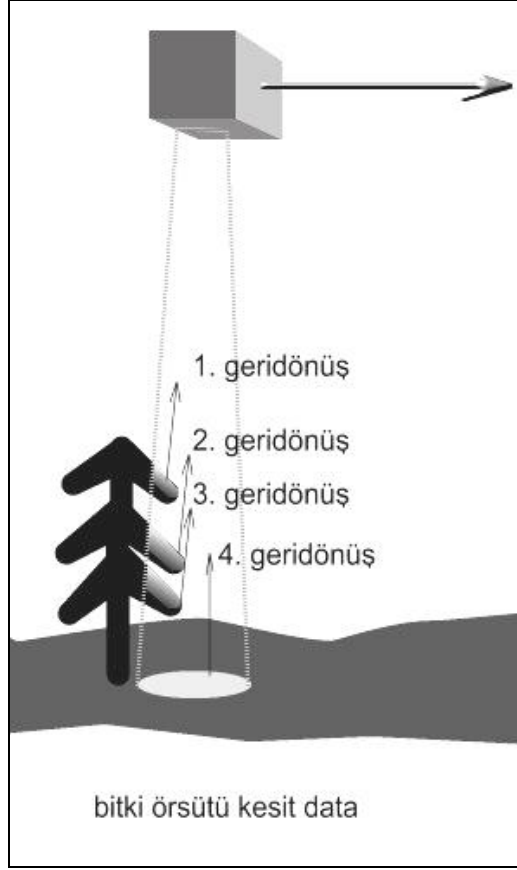
Ölçülen noktanın dikey doğruluğu dikeydeki hata olacaktır. Dikey doğruluk çok yüksek oranda Lidar'ın mesafe ölçme kabiliyeti ile orantılıdır. Tarayabileceği alan Lidar'ın tarama açısı ile uçuş yüksekliğine bağlı olarak değişecektir. Uçuş yüksekliği ise lazerin gücüne ve demetin açılmasına bağlı olarak bir maksimuma ve

bir minimuma sahip olacaktır. Yatay hassasiyet, demetin ne hassasiyette yönlendirilebildiği, koordinat datalarının ne doğrulukta alınabildiği ve hesaplamaların nasıl yapıldığına bağlı olacaktır. Çözünürlük ise saniyede alınan data miktarına ve uçuş hızına bağlıdır. Lazer demeti çok yüksek frekanslarda modüle edilerek kullanılırsa saniyede binlerce noktadan ölçüm almak mümkün olur. Bu şekilde Lidar'ın çözünürlüğü yükseltilebilir. Demet yere giderken ağaç bitki örtüsü su gibi engellere çarptığında bir kısmı geri dönecek bir kısmı ise yoluna devam edecektir. Bu sayede tek bir sinyalden birçok veri alınarak aynı koordinat için birden çok yükseklik bilgisi alınabilir. Bu şekilde hem yüzey bilgisi hem de derinlik ya da bitki örtüsü yüksekliği, yoğunluğu gibi bilgilerde alınabilir. Taramada kullanılan iki farklı metot Şekil 3.4 de gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Tarama şekilleri

Tarama yapılırken farklı yüzeylerden dönen lazer ışığının dataları (Şekil 3.5) bitki örtüsü kesiti almak, su derinliği ölçmek, biyokütle çıkartmak için ya da benzeri çalışmalarda kullanılabilir. Özellikle biyokütle çalışmalarının çok zahmetli olduğu ve gerçekçi bir datanın alınmasının ne denli güç olduğu düşünülürse Lidar'dan çok daha yüksek doğrulukla ve çok daha hızlı alınan kesit datalarının değeri ortaya çıkar.



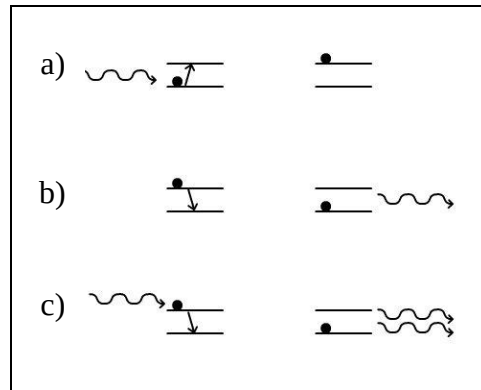
Şekil 3.5: Lidar ile kesit datası alınması.

4. LAZER

4.1. Fotonlar ve Atom

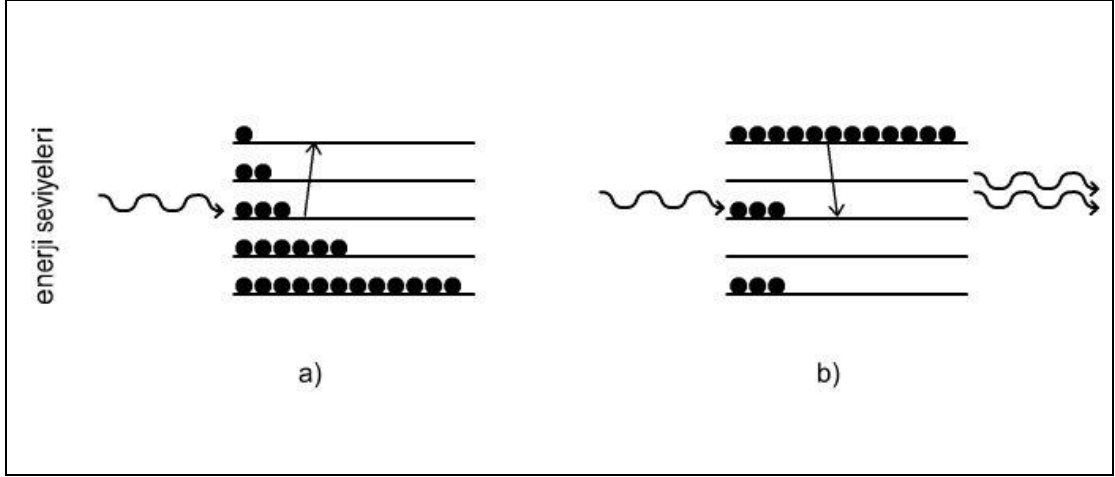
Elektromanyetik dalgalar yol alırken foton denen enerji paketleri halinde giderler. Fotonlar elektromanyetik dalgaları taşıyan parçacıklardır. Tam olarak bir kütleleri olmamasına karşın onlara atanmış bir kütleden bahsedilebilir ve fiziksel hesaplamalarda bu kütle kullanılır. Kütleden bahsetmek için dalganın parçacık özelliği göstermesi gerekir. Elektromanyetik dalgalar ya tanecik özelliği ya da dalga özelliği gösterirler. Hiçbir zaman her iki özelliği de aynı anda ortaya çıkmaz. Atomlarla etkileşime girerken tanecik gibi davranırken yansıma gibi özellikleri dalga mekaniği ile açıklanabilir.

Atomlara bağlı elektronlar atomun enerji seviyelerinde dolaşırken eğer bir foton onlara çarparsa foton enerjisini elektrona aktararak elektronu daha üstteki bir enerji seviyesine alabilir (Şekil 4.1 a). Buna soğurma denir. Bu olaydan sonra elektron, atomun çekimine dayanamayarak tekrar eski seviyesine geri dönecektir ki elektron enerjisini geri vermek için bir adet foton yayınlar (Şekil 4.1 b). Bu ise ışıma olarak adlandırılır. Işıma sırasında eğer elektronla, elektronun enerji fazlası kadar enerjiye sahip bir başka foton etkileşime girerse elektronun yayınladığı foton etkileşime giren fotonla aynı fazda olacaktır (Şekil 4.1 c). Son anlatılan ise uyarılmış ışıma adını alır. Yayınlanan ve etkileşime giren fotonların enerjileri aynı miktarda olduğu için frekansları eşit olur.



Şekil 4.1: Foton emisyonu ve soğurumu

Uyarılmış ışımının gerçekleşmesi için en az bir adet elektronun doğal seviyesinin üzerinde olması gerekir. Eğer tüm elektronlar doğal enerji seviyelerinde ise gelen elektrona çarpan foton elektronu ancak üst enerji seviyelerine taşıyabilir (Şekil 4.2 a). Enerji seviyesini değiştirmiş elektron sayısı ne kadar çoksa uyarılmış ışımaya ihtimali de o kadar yüksek olacaktır (Şekil 4.2 b).



Şekil 4.2: Uyarılmış emisyon

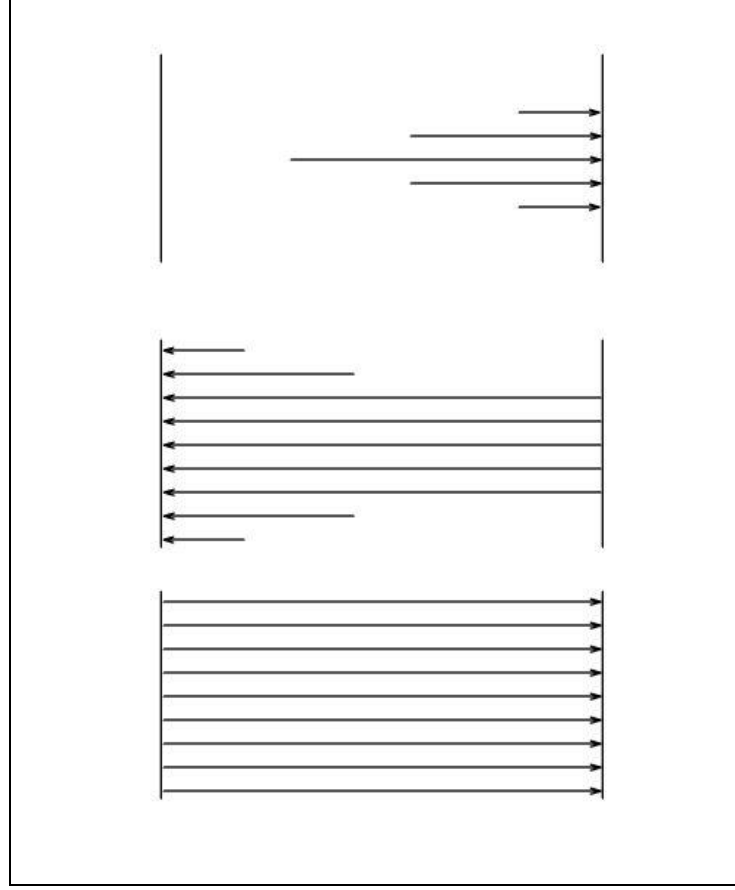
4.2. Lazer Demeti Oluşumu

Eğer birbirine paralel iki ayna konulur, bu aynaların arasına uyarılmış ışımaya yapabilecek uygun bir malzeme yerleştirilirse aradaki atomlar sürekli olarak uyarılıp üst enerji seviyelerine çıkartılarak aynalar arasında gidip gelen fotonlar atomları uyarılmış ışımaya zorlar. Bir süre sonra tüm ortam uyarılmış emisyonla, tek bir fazda ve aynı frekansta ışımaya yapmaya başlar (Şekil 4.3). Bu sistem Lazer adını alır. Demet tüm lazer ovuğunu doldurduğu zaman ovuğun tümü tam dalga boyları ile kaplanmış olur (Şekil 4.4). Sistemde, ilk başlangıçta tek bir demet oluşmaz. Birçok küçük demet oluşur ama aynalara dik olmayan demetler en fazla birkaç turda yok olurken kalan demetler birbirleriyle yarış haline girerler ve ilk büyüyen demet diğerlerine baskın hale gelerek daha fazla atomu uyararak daha da güçlenir. Güçlenen demet daha baskın hale geldikçe daha fazla atomu uyarma şansı olur. Bu şekilde, sadece bir demet varlığını koruyabilir ve tüm ortama baskın hale gelir.

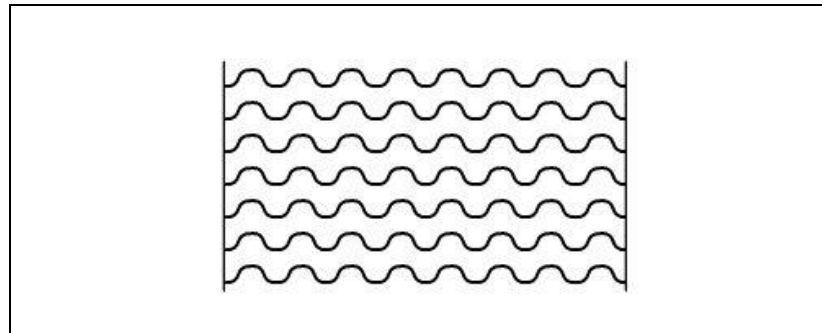
4.3. Enerji Seviyeleri

Uygulamada lazer ışığı elde etmek için sadece 2 enerji seviyesi kullanmak çok uygun olmaz. Bu şekilde uyarılmış atomların baskın tutulması çok büyük bir sorun

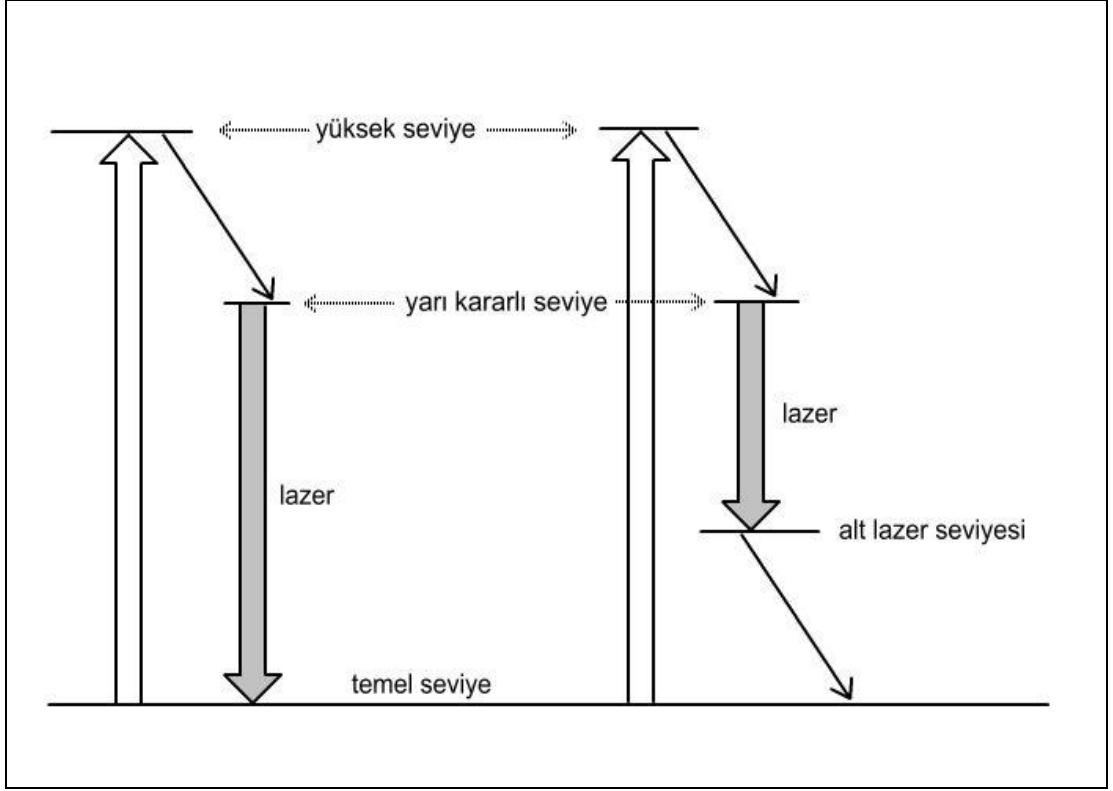
oluşturur. Bunun yerine 3, 4 ya da daha fazla enerji seviyesi içeren mekanizmalar kullanarak sistem daha fazla uyarılmış atom elde etmeye uygun hale getirilir. 3 ve 4 seviyeli sistemler şekil 4.5 te görülmektedir.



şekil 4.3: Lazer Işımasının başlaması



şekil 4.4: Lazer ovuğundaki faz durumu



Şekil 4.5: 3 ve 4 basamaklı enerji seviyesi sistemleri

3 lü sistemde atomların lazer ışıması yapabilmesi için en az yarısının uyarılması gerekir. Uyarılan atomlar önce yüksek enerji seviyesine çıkarlar, daha sonra yarı kararlı seviyeye hızlıca inerken ışıma yaparlar. Yarı kararlı bölgede daha fazla bekleme yaptıkları için uyarılmış atomların baskınlığını sağlamak daha kolay olacaktır. Her iki seviyedeki bekleme süreleri farkı, tipik olarak binlerce kata ulaşır. 3'lü sistemin dezavantajı lazer ışımalarının yapıldığı alt seviyenin temel seviye olmasıdır. Atomlar başlangıçta temel seviyede oldukları için lazer ışımalarının oluşabilmesi için en az atomların yarısı yarı kararlı seviyeye çıkarılmış olmalıdır. Oysa 4'lü sistemde lazer ışması 2 ara seviyede gerçekleştiği için lazer ışımalarına ait alt enerji seviyesinde bulunan atomlar temel seviyeye göre çok daha az sayıda olacak (diyelim ki toplam atomların yüzde biri olsun) ve yarı kararlı seviyede bunun iki katı atom olduğu zaman (yüzde iki eder) lazer elde etmek mümkün olacaktır. 4 seviyeli sistem bu sebeple çok daha pratiktir. Ayrıca daha karışık seviyeleşmeler de mevcuttur.

Çoğunlukla lazer sistemlerinde çok daha farklı seviyeler olur. Uyarılma seviyesi tek bir seviye yerine birden çok seviye olursa uyarım işlemi daha kolay olacaktır. Değişik seviyelere uyarılan elektronlar daha sonra aynı yarı kararlı seviyeye inerek

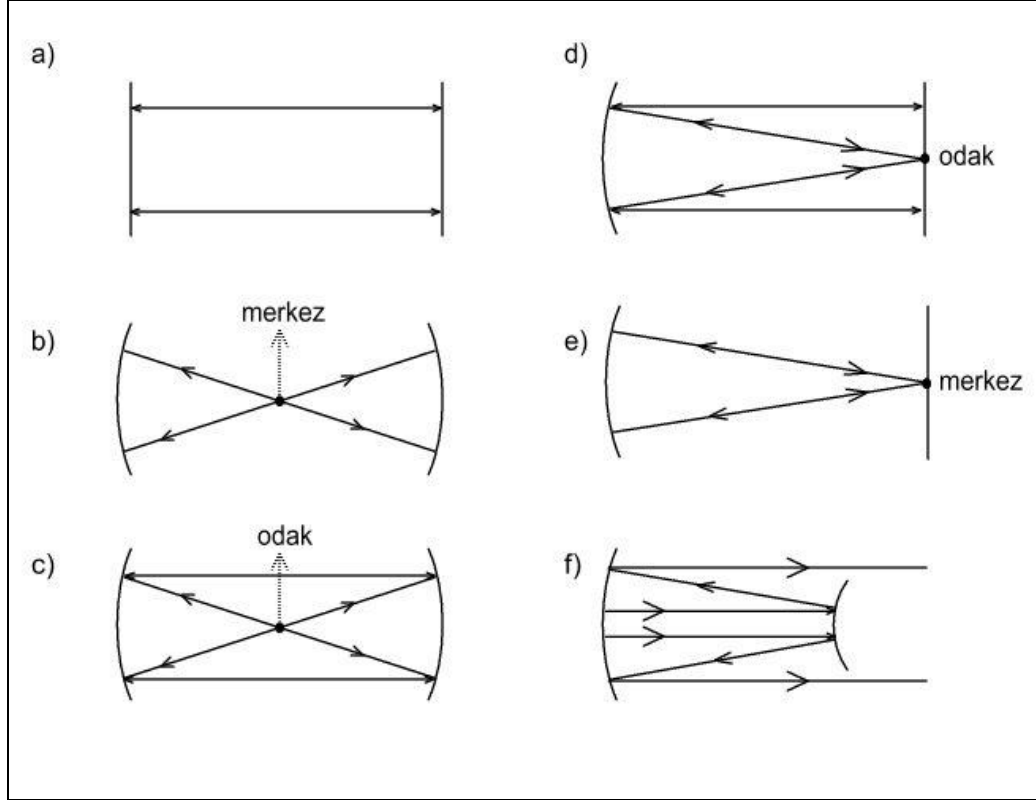
popülasyonu arttırlar. Lazer alt ve üst seviyeleri Şekil 4.5'te çizilenden çok daha yukarıda olabilir. Böylece uyarılmış atom popülasyonunu kontrol etmek çok daha kolaylaşır. Popülasyonu arttırıcı başka yöntemler de mevcuttur. Bunlara güzel bir örnek helyum neon lazerlerdir. Burada enerjiyi alan helyum atomları olup asıl lazeri üreten neon atomlarına enerji ileterek onların popülasyonunu hızla arttırmak için kullanılırlar.

4.4. Lazer Ovukları

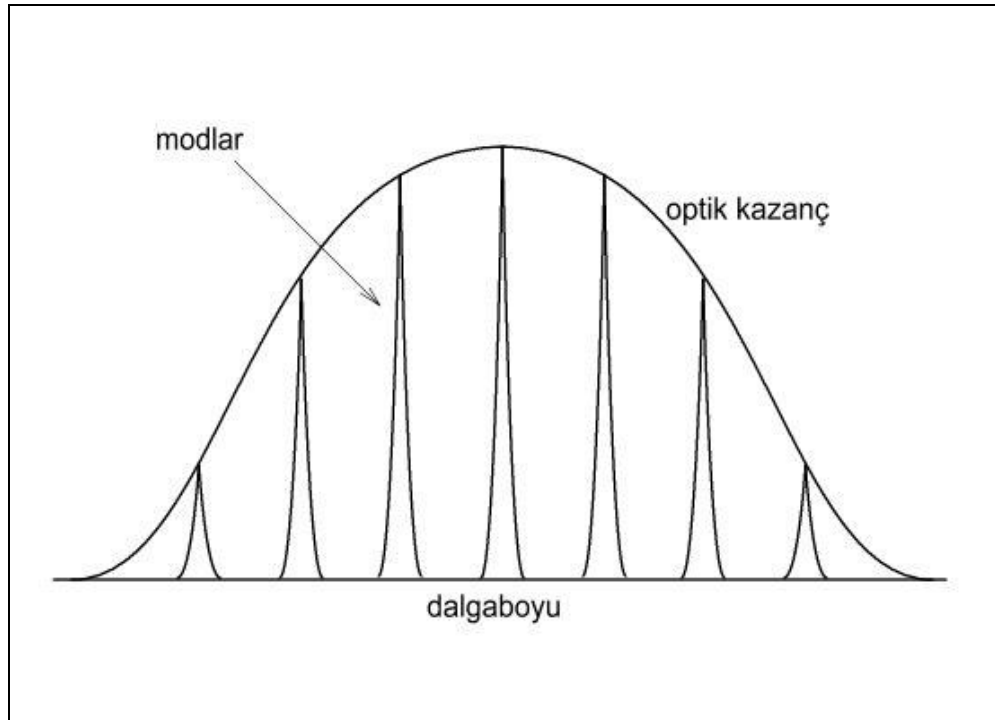
Lazer ışığının bir kısmı sürekli olarak ortamda tutularak fotonların üretilen ışığı sürekli olarak geri beslemesi gerekir. Bu sebeple ortam değişik şekillerde aynalarla desteklenebilir. Bu şekilde aynalar ışığı içerde hapsederek geri beslemeyi sağlarlar. Üretilen ışığın dışarı çıkması için ya sistemde geometrik boşluklar bırakılarak ışık alınır ya da aynalardan biri ya da birkaçı yarı geçirgen olduğu için ışığın bir bölümünü dışarıya kaçar. Bu amaçla değişik sistemler tasarlanmıştır. Şekil 4.6 a'da, düz aynalarla kurulan sistem, Şekil 4.6 b'de aynaların merkezleri aynı noktada kesişecek şekilde hazırlanmış sistem, Şekil 4.6 c'de ayna odakları kesişen, Şekil 4.6 d'de ve Şekil 4.6 e'de değişik aynaların kullanıldığı Şekil 4.6 f'te ise kararsız bir sistem görülmektedir. Şekil 4.6 f'te çizilen sistem diğerlerinden farklı olarak lazer ışığını dışarıya çıkartmak için yarı geçirgen ayna kullanmak yerine dışarı ışık kaçırarak şekilde tasarlanmıştır. Lazerin ovukta kalmadığı, birkaç turdan sonra dışarıya çıktığı sistemlere kararsız sistemler denir. Kararsız sistemlere Şekil 4.6 dakinden daha farklı örnekler göstermek mümkündür.

4.5. Modlar

Sistemlerin gidiş-geliş mesafeleri toplamı tam dalga boyu olmak zorundadır ki lazer bir turdan sonra faz farkı ile karşılaşmasın. Optik kazanç bölgesinde farklı birden fazla dalga boyu bu şartı sağlayabilir. Bu durumda lazer tek bir dalga boyunda değil birden fazla dalga boyunda ışımaya yapar (Şekil 4.7). Bunu engellemek ya da azaltmak için optik tasarım dikkatlice yapılmalıdır.



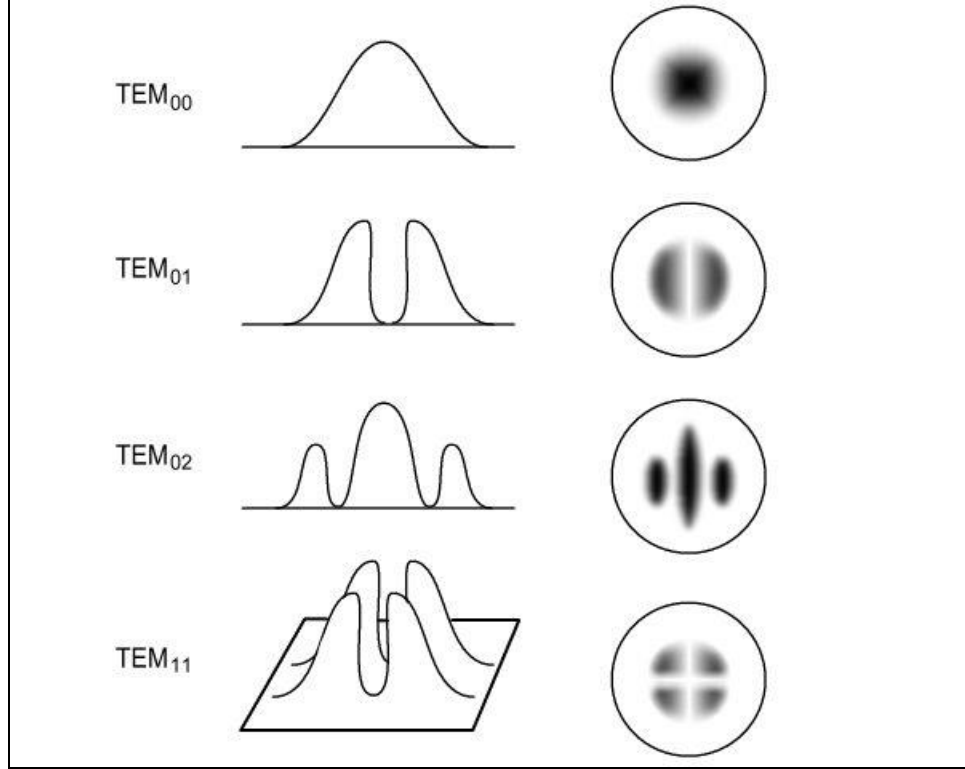
Şekil 4.6: Çeşitli lazer ovukları



Şekil 4.7: Lazer emisyonunda oluşan modlar

Dalga boyuna bağlı mod oluşumu dışında da mod oluşumları vardır. Demet, yayılım yönüne dik düzlem boyunca Gaussian eğrisi yerine birden fazla maksimuma sahip

farklı profillerde ilerleyebilir Şekil 4.8. Bu olaya mod oluşumu denir. Modlar TEM adını alır ve çift haneli sayılarla ifade edilirler (TEM_{23}) gibi. Burada her bir hane hangi ekseninde modun ne olduğunu belirler. İlk hane x eksenini diğeri ise y eksenini belirtir.



Şekil 4.8: Lazer modları

4.6. Uyarım

Daha önce de bahsettiğimiz gibi atomların üst enerji seviyelerine çıkması gerekir. Bunu gerçekleştirmenin birçok yolu vardır. Temel olarak mantık, elektronlara enerji vermektir. Bunun için optik uyarım kullanılabilir. Optik uyarımda enerjiyi fotonlar taşır. Uygun enerji verilebilmesi için tam olarak gereken enerji miktarı kadar enerjiye sahip fotonlar kullanılır. Yani her uyarım enerjisi bir dalga boyu demektir. Lazerin çalışma sistemine göre değişik frekansta ışıklar kullanılır. Optik uyarımın gerçekleştirilebilmesi için elbette ki lazerin uyarım alacağı dalga boyu için geçirgen olması gerekir.

Diğer bir metot ise elektrik ile uyarımadır. Elektronlar bir atomdan diğerine geçerken atomları uyararak onların üst enerji seviyelerine tırmanmalarına sebep olurlar. Bunların dışında uyarma yöntemleri de vardır. Helyum neon lazerlerde helyum

elektrik ile uyarılır ve bu enerjisini neon moleküllerine geçirerek onları uyarır. Kimyasal tepkimelerle, nükleer reaksiyonlarla ve mıknatıslar arasında oluşturulan elektronlardan enerjisini alan mekanizmalarda vardır.

5. YARI İLETKEN LAZERLER

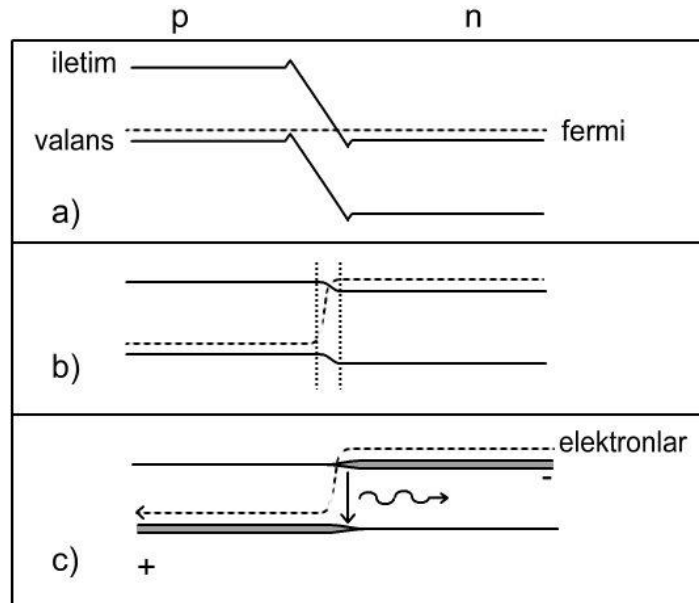
Lazer için gerekli iki şart şunlardır.

- 1) lazer ışığının optik olarak amplifike olabileceği bir ortam,
- 2) elektromanyetik dalgaları belirli optik modlarda sınırlandıracak feedback mekanizması.

İsminden de anlaşılacağı gibi yarı iletken lazerlerde ışığın amplifike olduğu ortam yarı iletkenlerdir. Işığa optik kazanç veren yer yarıiletkenler maddelerin birleşme yüzeyleri ve modların kontrol edildiği bölgede her iki yarıiletkenin birleştiği dalga kılavuzu özelliği gösteren ara bölgedir. P-n yarıiletkeninden akım geçirilerek lazer ışığı elde edilir.

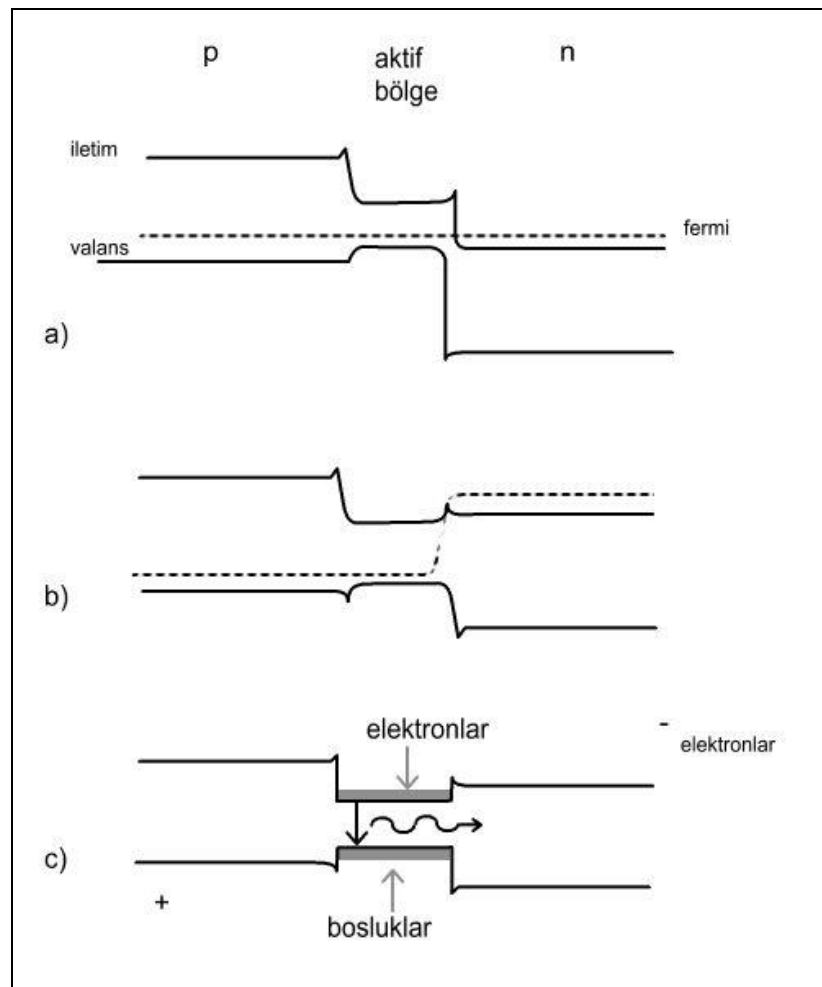
5.1. p-n Bağlantılar

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi p yarıiletken bir yüzey ile n yarıiletken bir yüzey birleştiğinde her iki ortamdaki yük eşit olmadığından birleşim yüzeylerinde bir taraftan öteki tarafa yük aktarımı olacaktır.



Şekil 5.1: Diyot lazer enerji seviyeleri

Optik kazanımının olduğu bölge o kadar küçüktür ki lazerin verimi yeterince yüksek olamaz. Bu etkiyi azaltmak için ise yük taşıyıcılarının belirli bir bölgede tutulması yeterli olur. Bu amaçla lazer diyot iki farklı yüzey yerine arada tampon bölge oluşturacak şekilde üç farklı katmanla üretilirse lazerin verimi çok daha artmış olur (Şekil 5.2).

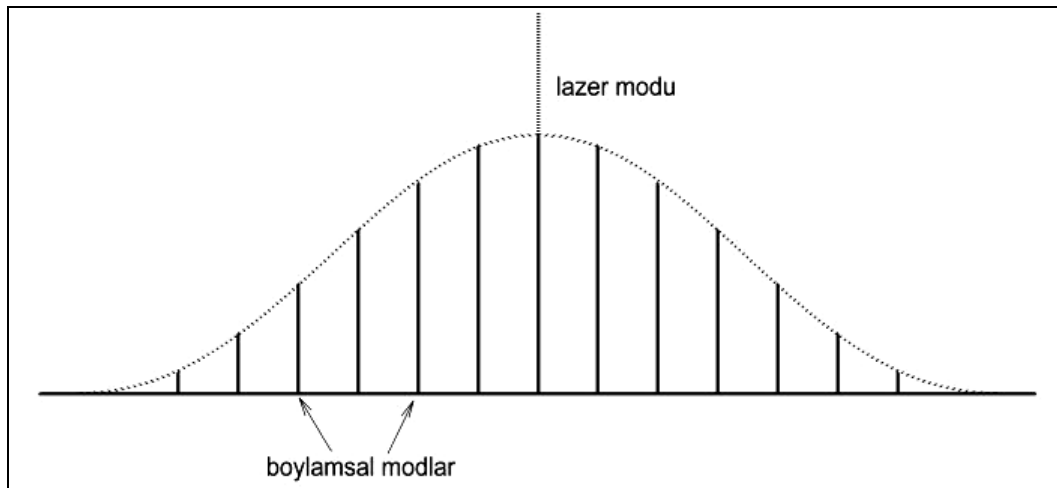


26

Mekanizma aktif bölge dışında aynıdır. Aktif bölgede sıkışan elektron ve boşluklar ışığa için yeterli bir hacim oluşturdıklarından yarıiletken bir önceki sisteme kıyasla çok daha güçlü ışık verebilir.

5.2. Boylamsal Modlar

Lazer ışığı yaparken bazı fiziksel şartlar yerine getirilmelidir. Bunlar lazer ışığının dalga boyunu belirleyen etkenler olarak karşımıza çıkar. Dalga mekaniği gereği yarıiletken içinde git-geller yapan lazer ışığı, bu bölgede yolun tam bölenleri olabilecek dalgaboylarında ise her turda aynı fazda kalabilir. Buda dalga boyu bahsettiğimiz şartların dışında ise sönüp yok olacağı anlamına gelir. Yarıiletkenin fiziğinden kaynaklı olarak enerji seviyeleri arasındaki fark kadar enerjiye sahip fotonlar oluşacağı için ancak bu iki şartı yerine getiren fotonlar oluşabilir. Böylece lazer çıkışı Şekil 5.3 deki gibi kesikli frekanslardan oluşur.



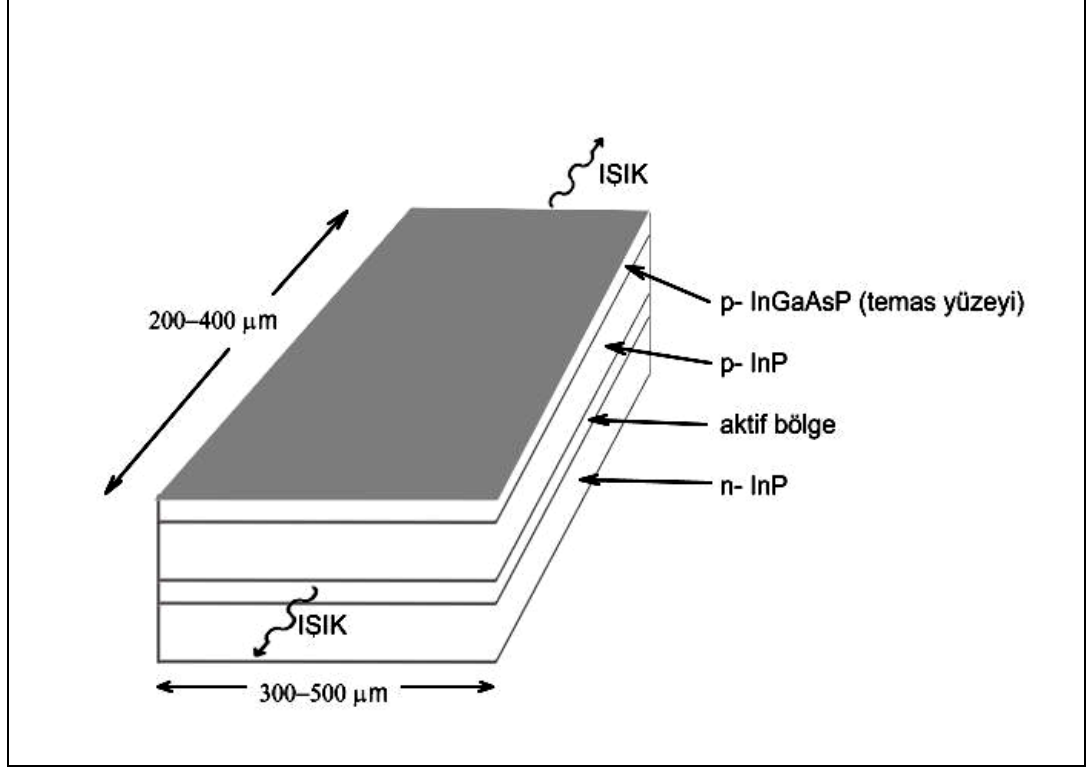
Şekil 5.3: Lazer modları

5.3. Lazer Yapıları

Diyot lazer yapımında değişik yöntemler denenmiştir. İlk lazer diyotlar son derece basit yapıya sahipken son teknoloji lazerler oldukça karmaşık olabilirler. Lazer diyot teknolojisinin ilerlemesi ile beraber lazer diyotların gücü artmış, temel modlarda çalıştırılabilmeleri daha kolaylaşmış ve modülasyon yetenekleri yükselmiştir. Üretilen çeşitli lazer tipleri şunlardır.

5.3.1. Geniş Alanlı Lazerler

Bu tip lazerlerde akımın geçeceği bölge herhangi bir şekilde sınırlanmamıştır. Akım tüm yüzeyden yarıiletkenlere dağılır (Şekil5.4).



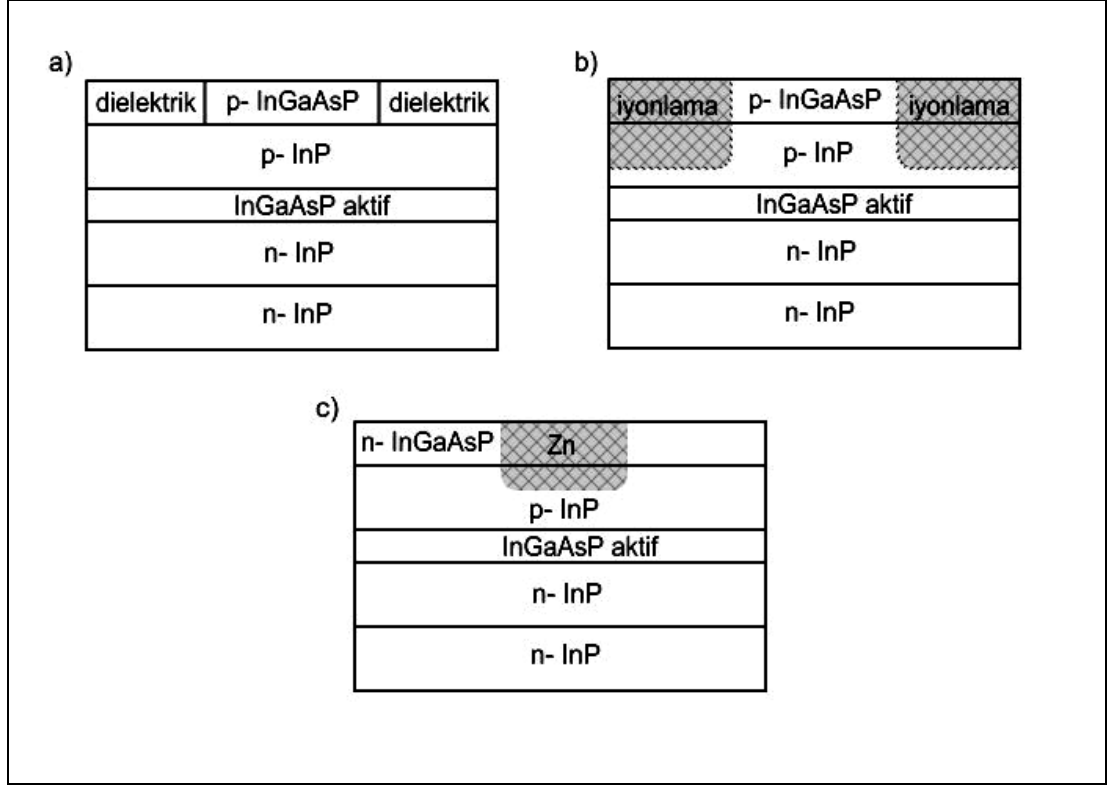
Şekil 5.4: Geniş alanlı lazer

5.3.2. Kazanç Kılavuzlu Lazerler

Geniş alanlı lazerlere göre kazanç kılavuzlu lazerlerde şu avantajlar mevcuttur:

1. Kesintisiz çalışabilmek için oldukça düşük akıma ihtiyaç duyarlar. Geniş alanlı lazerlerde bu akım 1 A iken kazanç kılavuzlu lazerlerde 10-100 mA dir.
2. Birleşim yüzeyi boyunca temel modda çalışabilirler.
3. Isınmaları çok düşüktür.
4. Düşük akım ihtiyaçları sayesinde daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilirler ve ömürleri de daha yüksek olur.

Akımın geçeceği bölge sınırlanarak ışıma yapan bölgede sınırlanmış olur. Işığın geçtiği bölge kırılma indisini değiştirir ve böylece doğal bir kılavuz oluşur. Kazanç kılavuzlu ismini de buradan alırlar.



Şekil 5.5: Kazanç kılavuzlu lazerler

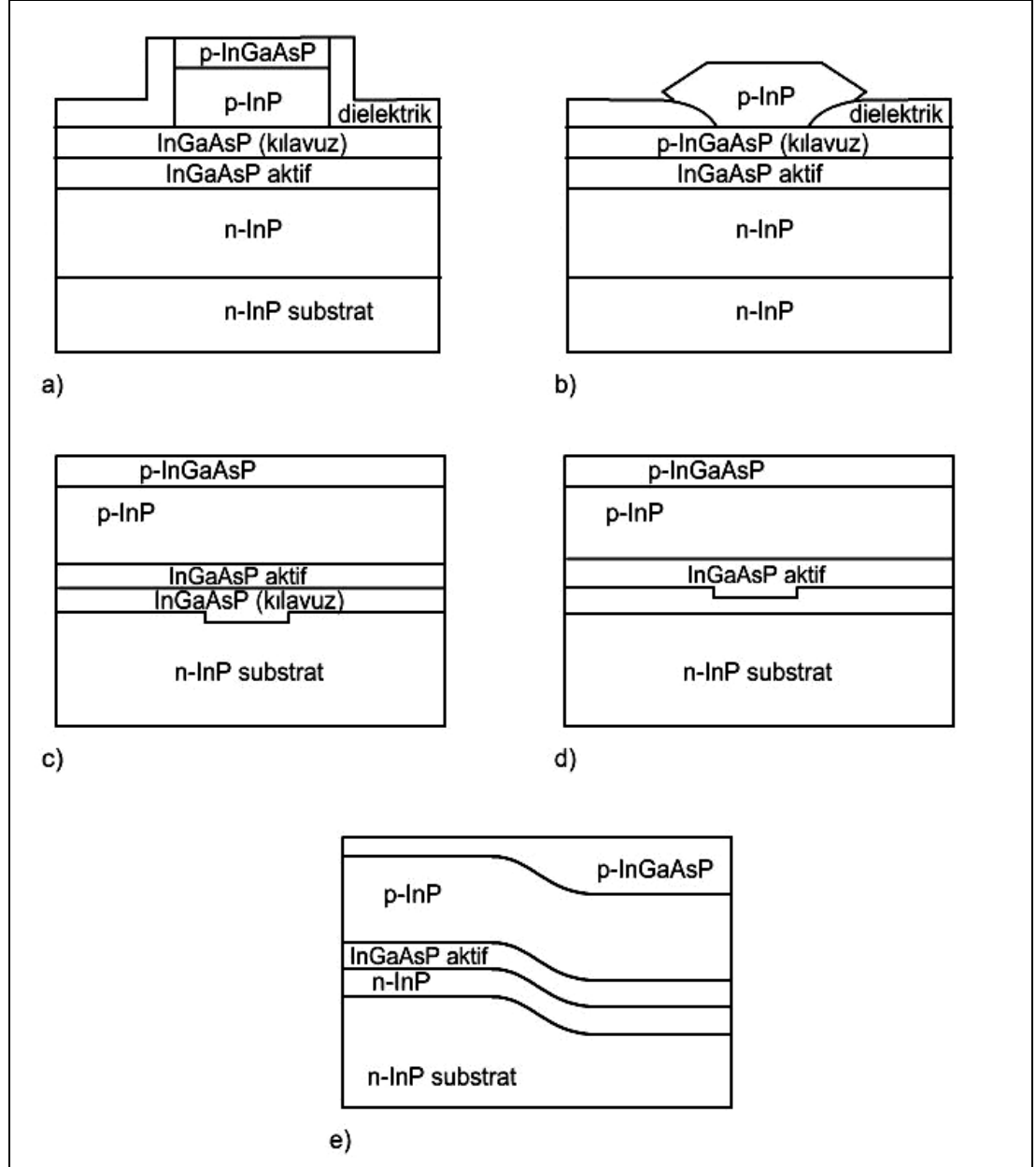
Üç farklı şekilde üretilir. Bunlardan ilki akımın geçeceği yüzey yalıtkan ile sınırlandırılır [1] (Şekil 5.5 a) Diğerinde ise geniş yüzey halinde üretilip daha sonra iyonlar ile yüzeyin yalıtkanlığı değiştirilir (Şekil 5.5 b). Bu işlem sırasında proton [2] ya da döteron [3] kullanılır. En alttaki şekilde ise n yüzey Zn difüzyonu ile p tipine çevrilerek iletkenliği sağlanmıştır [4] (Şekil 5.5 c).

5.3.3. Zayıf İndis-Kılavuzlu Lazerler

Işığın gideceği bölgeyi sınırlamak için kırılma indisi farklı bir yüzey kullanmak ve bu şekilde daha verimli lazerler üretmek mümkündür. Zayıf indis kılavuzlu lazerlerde ilk lazer ışımasını başlatabilmek için ihtiyaç duyulan akım kazanç kılavuzlu lazerlere göre daha azdır. Zayıf indis-kılavuzlu adının verilmesi ise bu farkın 10^{-2} mertebesinde olmasıdır. Sistem 2 farklı şekilde uygulanabilir bunlardan ilki Şekil 5.6 a ve Şekil 5.6 b’de görülen ridge, Şekil 5.6 c, Şekil 5.6 d ve Şekil 5.6 e’de görülen rib sistemleridir.

İlk yöntemde dielektrik kullanılarak akım sınırlandırırken diğerinde akım sınırlaması söz konusu değildir. a) Kaminow tarafından kullanılan lazer[5], b) heteroepitaxial ridge-overgrown lazer[6], c) değişken kalınlıkta kılavuz kullanılan sistem, değişken

kalınlıkta aktif bölge kullanılarak sağlanan dalga kılavuzu ile çalışan lazer ve plano-convex dalga kılavuzlu lazer [7].



Şekil 5.6: Zayıf indis-kılavuzlu lazerler

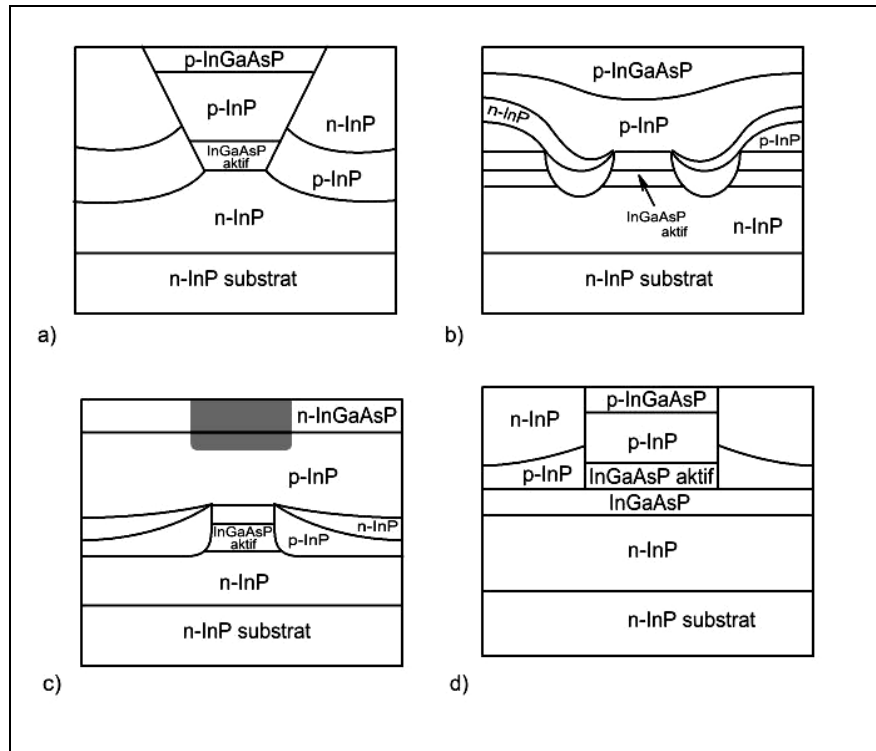
5.3.4. Güçlü İndis-Kılavuzlu Lazerler

Lazerlerin mod kontrolünü sağlamak için aktif bölgenin diğer yüzeylerle birleştiği düzlemde malzemenin kırılma indisini kullanmak bir yöntem olabilir. Bu mantıkla üretilen lazerlere güçlü indis-kılavuzlu lazerler denir. Lazerin aktif bölgesi her yönden kırılma indisi farklı malzeme ile çevrili olduğundan ışığın belirli bir bölgede

hapsedilerek daha lineer olması ve mod kontrolünün kolaylaşması sağlanır. Kırılma indisi farkı lazerin çalışmasından kaynaklanan indis farkından yaklaşık olarak iki katı olduğundan lazer ışığı temel olarak dalga kılavuzu sebebi ile hapsolür. Bu da mod kontrolünü daha kolaylaştırır.

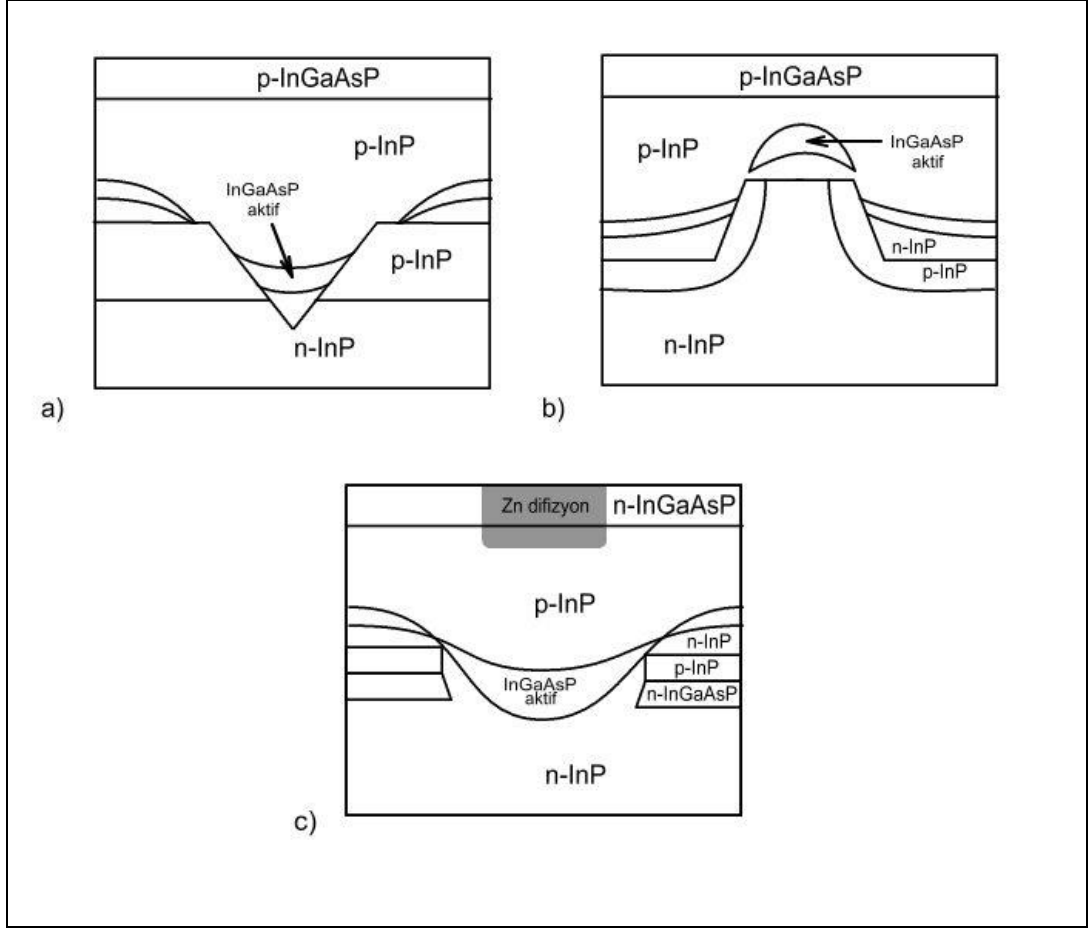
Güçlü indis-kılavuzlu lazerler iki temel guruba ayrılırlar: dalga kılavuzu düzlemsel olanlar ve düzlemsel olmayanlar. Düzlemsel lazerler geri beslemeli lazer üretimine daha uygun olurlar, çünkü düzlemsel dalga kılavuzlarını diğer bir fiber optik elemana bağlamak daha kolay ve verimlidir.

Güçlü indis-kılavuzlu lazerler düşük akımlarda (10-15 mA) temel modlarda yüksek güç (10 mW) üretebilirler. Ve yaklaşık 2 GHz de kullanılabilirler. Uzun mesafe data aktarımı konusunda oldukça başarılıdırlar. Tüm bunların yanında diğer lazerlere oranla üretimleri daha zordur.



Şekil 5.7: Düzlemsel aktif bölgesi lazerler

Şekilde düzlemsel aktif bölgesi olan lazerler Şekil 5.7 a'da EMBH [8] Şekil 5.6 b'de DCPBH [9] Şekil 5.6 c'de düzlemsel gömülü hetero yapı [10] Şekil 5.6 d'de şeritsel gömülü hetero yapı [11] lazerler görülmektedir.



Şekil 5.8: Düzlemsel olmayan aktif bölgesi lazerler

Şekil 5.8 deki lazerler düzlemsel olmayan aktif bölgesi lazerler olup Şekil 5.8 a CSBH [12], Şekil 5.8 b MSBH [13], Şekil 5.8 c BCBH [14] lazerleri gösteriyor.

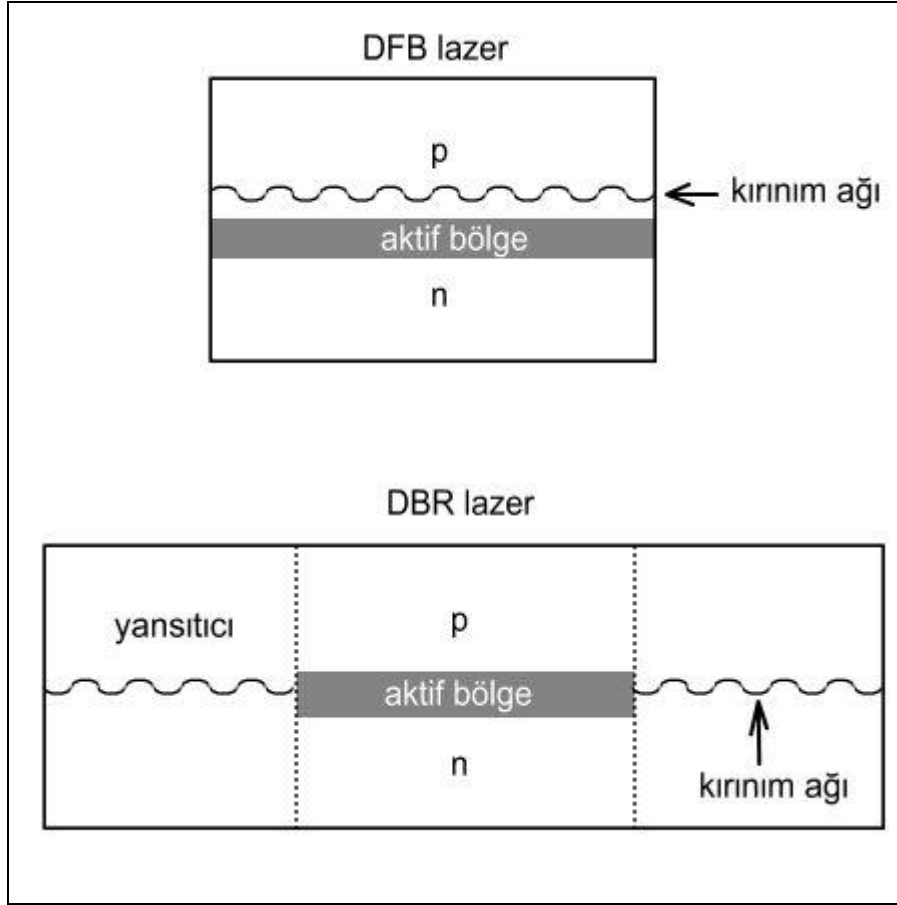
5.3.5. Geri Beslemeli Lazerler

Geri beslemeli lazerlerde dalga boyu aralığını düşürmek için çeşitli geri besleme yöntemleri kullanılır. Bu yöntemlerde lazerin kendisi geri besleme kaynağı olarak kullanılabileceği gibi kendi başına çalışan lazerler de kullanılabilir. Eğer geri besleme için lazerin kendisi kullanılıyorsa bu ya demet dışarı çıkmadan yapılabilir ya da demet ovuğa alınarak geri besleme sağlanır.

5.3.5.1. DFB ve DBR Lazerler

Aktif bölgeye paralel yöndeki mod hiçbir zaman temel modda kalmaz. Özellikle yüksek frekansta yapılan ışımalarda bu mod oldukça belirgin hale gelecektir. Bu, modülasyon sırasında istenmeyen bir etkidir. Lidar yüksek frekansta çalışan bir sistem olduğu için mümkün olduğunca saf bir mod elde etmek önemlidir. Lazerlerde

lazer yüzeyine paralel yöndeki mod kontrolünü sağlamak için yüzey yansımaları ile lazerin geri besleme alması sağlanabilir. Fakat bu şekilde geri besleme kazanç



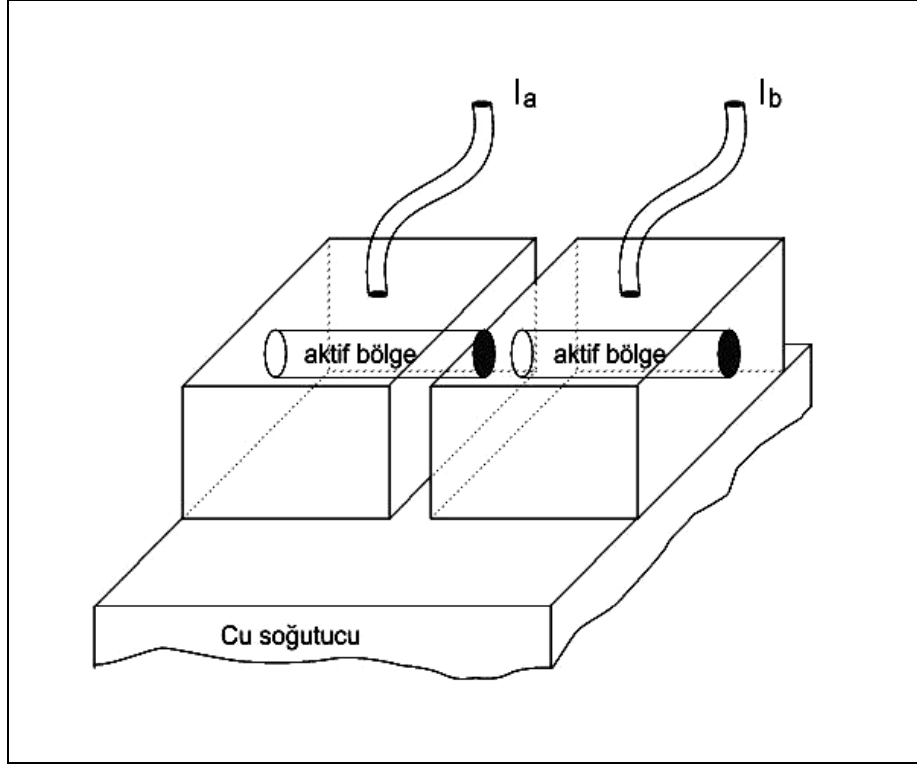
Şekil 5.9: DFB ve DBR lazerler

spektrumundan sağlandığı için yöntem zayıf kalacaktır. Buna engel olmak için ise dalga boylarında seçici olacak bir sistem tasarlanabilir. Bu sistemlerden birisi DFB yani “Distributed FeedBack” diğeri ise “coupled-cavity” lazerlerdir (Şekil 5.9). Hem DFB hem de DBR lazerlerde kırınım ağı kullanılarak dalga boyu seçilir. İlk DFB lazer Kogelnik ve Shank [15] tarafından başarıyla kullanılmıştır. Bu tip lazerler iki temel guruba ayrılırlar. Bunlardan birisi DFB diğeri ise DBR “distributed Bragg-Reflector” (dağıtımli Bragg-yansıtıcı)'dır. Lazer geri beslemesi aktif bölge boyunca kullanılan DFB, aktif bölge sonunda ve başında kullanılan ise DBR ismini alır. Bu yöntem daha önce anlatılan lazerlerde kullanılabilir. DBR lazerlerde aktif bölge dışında kullanılan kırınım ağı sayesinde dalga boyu seçilir. DBR ovukları, farklı dalga boylarında farklı yansıtım değerleri taşıyan bir çift ayna ile oluşturulmuş lazerlerdir.

Çiftlenmiş ovuklu lazerlerde de geri besleme kullanılır fakat DFB lazerlerden farklı olarak lazerin geri beslemesi kendisi değil harici bir sistemdir. İki farklı geri besleme sisteminden bahsedebiliriz. İlki aktif-pasif sistemler. Burada geri besleme sistemi ışımaya aktif olarak katkıda bulunmayıp sadece lazerin modlarında seçici bir işleve sahiptir. Seçme işlemi sayesinde lazer ışığı temel modda baskın hale gelir. Bunun için lazerin dışına bir ayna yerleştirmek yeterlidir. Ayna düz [16] ya da küresel [17] olabilir. Ayna yerine Grin lens [18,19] kullanılarak sistem optik kayıpları azaltılarak daha verimli hale getirilebilir (Şekil 5.10).



34



Şekil 5.11: Aktif-aktif lazer

6. OPTİK

6.1. Gaussian Optiği

Lazer optiği bazı durumlarda klasik optikten ayrılır. Lazerlerin optik hesaplamalarını gerçekleştirmek için kırınım ve diğer fiziksel optik özelliklerinden faydalanılır. Demetin en temel modu Gaussian profiline sahip olduğu için temelde bunu baz alan bir teori geliştirilmiştir [21-25]. Gaussian optik sadece ve sadece demetin profili Gaussian olduğu zaman geçerli olan bir yöntem olduğundan tüm lazerler Gaussian dağılımı ile tanımlanamazlar. Bunların dışında kalan kısımlar ise genellikle Gaussian optikten yola çıkılarak hesaplanır ve gereken düzeltmeler getirilerek hesap daha gerçekçi bir şekle kavuşur.

Lazerlerden elde edilen ışık her ne kadar kâğıt üzerinde Gaussian demeti olsa da temel modda çalışan en kaliteli lazerler bile tam olarak Gaussian demeti vermezler. Hesaplamalarda yapılacak düzeltmeler için Gaussian demetinden ne kadar uzaklaşıldığını gösteren bir referansa ihtiyaç olacaktır. Bu ihtiyacı M^2 faktörü denilen kalite faktörü ile karşılayabiliriz. M^2 faktörü 1 ise bu tam olarak Gaussian demetini gösterir. Elbette gerçekte asla tam olarak bir olan bir demet elde edilemez. Buna en yakın demet helyum neon lazerlerdir ve yaklaşık 1.1 M^2 ye sahiptirler. Bu değer kimi zaman 30'lara kadar çıkabilir. Genelde lazerde elde edilen güç, demet kalitesinde düşüş anlamına gelir. Yani lazer ne kadar güçlü olursa demet kalitesi o kadar düşer.

Optik hesaplamalar M^2 si 1 olan bir demete yapılacak ve sonra daha farklı M^2 faktörüne sahip demetler için gereken düzeltmelerin neler olduğu tartışılacaktır.

Lazerler optik hesaplamalarda çıkardıkları sorunların yanı sıra bazı kolaylıklar da getirirler. Tek dalga boyuna sahip olduklarından dalga boyları ile ilgili hataları içermezler. Ayrıca eksen üzerinde kullanıldıklarından ve birçok bölgede paralel olduklarından optik hesaplar daha kolay yapılabilir. Odaklama çok daha nettir. Dalganın kaynağı belirgindir.

Lazer içerisinde elektromanyetik alan $E^{(0)}$ şu şekilde tanımlanabilir.

$$E^{(1)}(x, y) = e^{-jkz} \iint K(x, y, x_0, y_0) E^{(0)}(x_0, y_0) dx_0 dy_0 \quad (6.1)$$

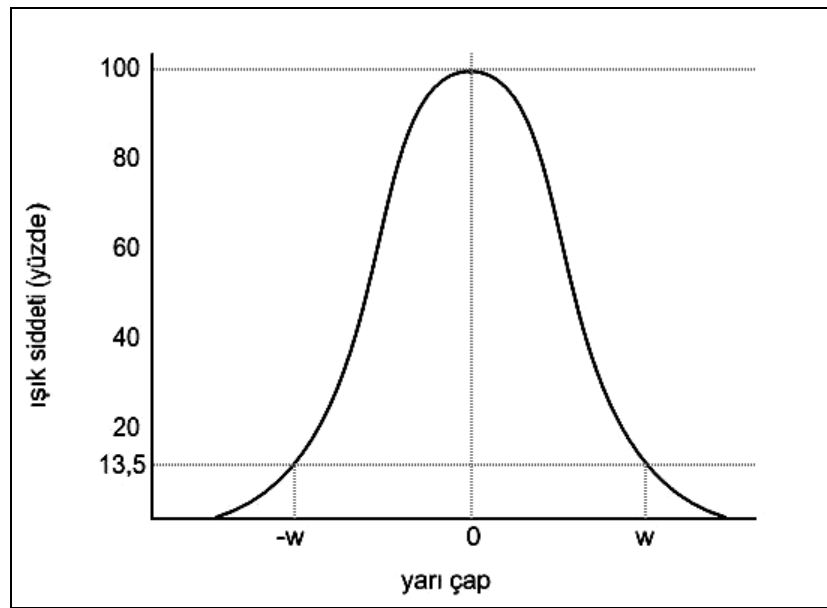
Burada K dalganın Kernel katsayısı, p lazerin bir turunun uzunluğudur. Bir tam tur sonunda dalgamızın aynı kalmasını istediğimize göre eşitlik şu formu alır.

$$\gamma_{nm} E_{nm}(x, y) \equiv \iint K(x, y, x_0, y_0) E_{nm}(x_0, y_0) dx_0 dy_0 \quad (6.2)$$

E_{nm} özmodlar, g_{nm} ise bu modlara karşılık gelen öz değerlerdir. Her bir set bize TEM modlarını verir. Temel modda, yani TEM 00 modunda

$$I(x, y) \propto e^{-k(x^2+y^2)} \quad (6.3)$$

olur. Bu fonksiyonun grafiğini ise Şekil 6.1 de görmekteyiz.



Şekil 6.1: Gaussian profili

Teorik olarak demetin çapı sonsuzdur. Çünkü demetin ışık şiddetini veren formül ancak sonsuzda mutlak sifıra ulaşır. Fakat bu hiçbir uygulamada kullanılamayacak anlamsız bir ifadedir. Pratikte bir demet çapı belirlemek gerekir. Bunun için uygulamalarda çeşitli rakamlar alınır. Teorik olarak demet çapından bahsedildiğinde ise bu rakam demetin şiddetinin $1/e^2$ ye kadar düştüğü noktadır. Buda yüzde olarak ifade edilirse yaklaşık 13,5 % ye denk gelir. Teorikte her ne kadar demet çapı 13,5 % alınsa da bu rakamın ölçümü oldukça zor olacağından lazer kataloglarında geçen çap genelde 50 % olup optik tasarımlarda alınması gereken çap ise tasarımın özelliklerine göre yüzde bir ya da iki mertebesine kadar inebilir.

Lazer demetlerinin tamamen paralel olması, kırınım etkisinden dolayı hiçbir zaman mümkün değildir. Fakat demet uygun şartlar altında dağılmadan çok uzun mesafeler

kat edebilir. Dalganın yüzeyi tam bir düzlem olsa bile bir süre sonra bu değişecektir.

Dalganın yüzeyinin yarıçapını veren denklem

$$R(z) = z \left[1 + \left(\frac{\pi w_0^2}{\lambda z} \right)^2 \right] \quad (6.4)$$

olacaktır. Buna bağlı olarak demetin yarıçapını ise

$$w(z) = w_0 \left[1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6.5)$$

denklemini verir. z elektromanyetik dalganın aldığı yol, w demetin yarıçapı, w_0 $1/e^2$ deki yarıçap, $R(z)$ dalganın yarıçapıdır. $R(z)$, z sıfırken sonsuzdur. Yani dalga tamamen düzlemseldir. Daha sonra önce küçülerek bir minimuma ulaştıktan sonra tekrar büyür. Işığın şiddeti ise

$$I(r) = I_0 e^{-2r^2/w^2} = \frac{2P}{\pi w^2} e^{-2r^2/w^2}, \quad (6.6)$$

dir. z değeri çok büyükse w_z değeri

$$w(z) \cong \frac{\lambda z}{\pi w_0} \quad (6.7)$$

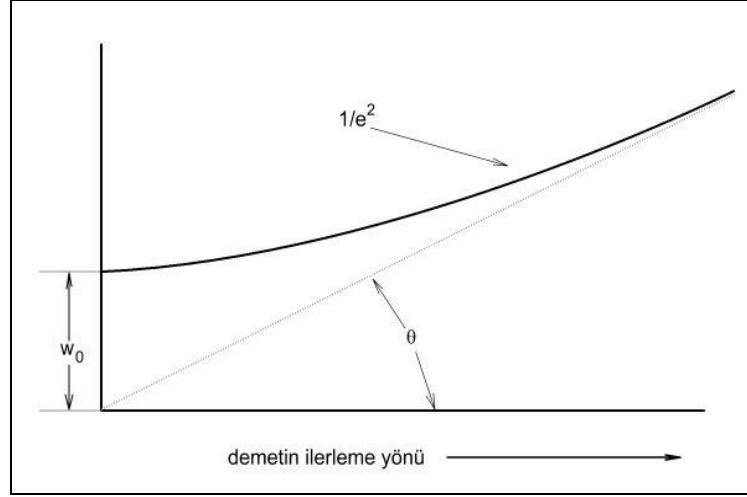
na yaklaşır[26]. Böylece θ değeri

$$\theta \cong \frac{w(z)}{z} = \frac{\lambda}{\pi w_0}. \quad (6.8)$$

olur.

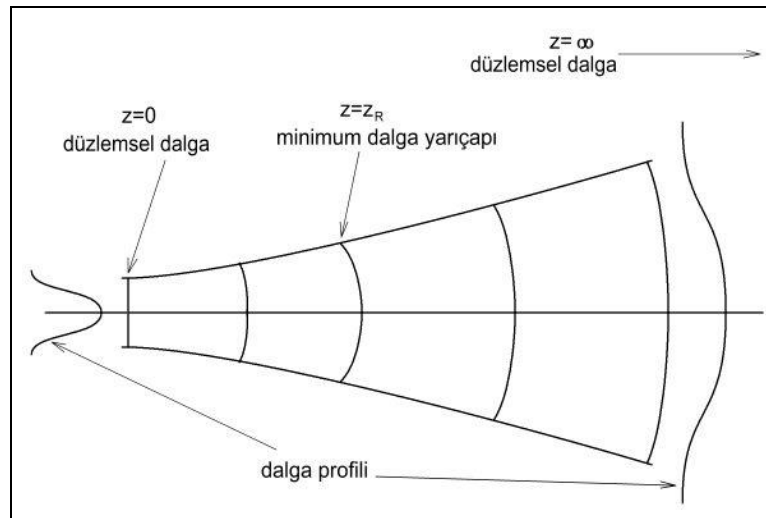
Diğer demetler gibi lazer lineer olarak genişlemek yerine Şekil 6.2’de görüldüğü gibi kırınımın etkisi ile yay çizerek genişleyen bir hareket sergiler. Demet açıldıkça demet genişlemesi lineere yaklaşır. sonsuzda tamamen lineer olur. Rayleigh mesafesi demet belinin $\sqrt{2}$ katına ulaştığı nokta olarak tanımlanmış ve aşağıdaki formül ile ifade edilmiştir.

$$z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (6.9)$$



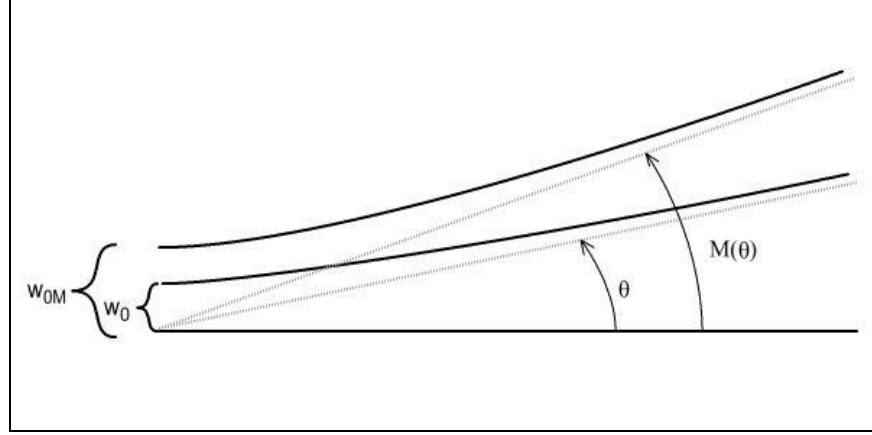
Şekil 6.2: Lazer demeti ilerlemesi

Rayleigh mesafesi dalga yarıçapının minimum olduğu noktadır. Demetin en ince olduğu noktada dalga tam olarak düzlemseldir. Demet ilerledikçe dalga önü gitgide bükülerek Rayleigh mesafesinde maksimum eğimine ulaşır. Daha sonra tekrar düzlemsel hale yaklaşarak ilerlerken sonsuzda tamamen düzlemsel bir dalga önü görülür (Şekil 6.3). Demetin karakteristiği Rayleigh mesafesinden uzaklaştıkça klasik optiğe yakınsar. Dolayısıyla yapılacak hesaplamalar için hesapta istenilen hassasiyete göre seçilecek uzaklıktan sonra klasik optik hesabı yapılabilir[27] . Rayleigh mesafesinin 10 katı bu tarz hesaplamalarda güvenli bir bölge olarak kabul edilmiştir. Rayleigh w_0 a bağlı olduğu için her optik elemandan sonra değişecek yeniden hesaplanması gerekecektir. Bu her yeni elemanın farklı bir demet meydana getireceği şeklinde de yorumlanabilir.



Şekil 6.3: Lazer demeti dalga yüzeyi dağılımı

Gerçek demetler ise asla $M^2 = 1$ şartını sağlayamadığı için şu ana kadar yapılan hesaplamalar geçerli olmaz. Bunlara pratikte kullanılabilmeleri için düzeltmeler getirmemiz gerekir. Ne şanstır ki bahsettiğimiz düzeltmeler oldukça basittir. Demet her bir noktasında M kadar genişleyecektir (Şekil 6.4). Dolayısıyla hesaplarda demet çapı normal Gaussian optik hesapları ile yapıldıktan sonra kalite faktörünün karekökü ile çarpılır. Demet ile ilgili diğer formüller kalite faktörüne göre yeniden düzenlenebilir.



Şekil 6.4: Farklı kalite faktörlü demetler

$$M^2 = \frac{w_{0R} \cdot \theta_R}{w_0 \cdot \theta} \quad (6.10)$$

w_{0R} demet yarıçapı, θ_R ise demetin uzun mesafedeki ıraksaklık açısıdır.

$$w_0 \theta = \lambda / \pi \quad (6.11)$$

$$w_{0M} \theta_M = \frac{M^2 \lambda}{\pi} > \frac{\lambda}{\pi} \quad (6.12)$$

$$w_R(z) = w_{0R} \left[1 + \left(\frac{z \lambda M^2}{\pi w_{0R}^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6.13)$$

$$R_R(z) = z \left[1 + \left(\frac{\pi w_{0R}^2}{z \lambda M^2} \right)^2 \right] \quad (6.14)$$

$w_R(z)$ demet yarıçapı, $R_R(z)$ ise dalga yarıçapıdır. Rayleigh mesafesi ise,

$$z_R = \frac{\pi w_{0R}^2}{\lambda} \quad (6.15)$$

şeklini alır. $M = 1$ için yukarıdaki denklemler değişerek Gaussian formundaki demet için çıkardığımız formüle indirgenir.

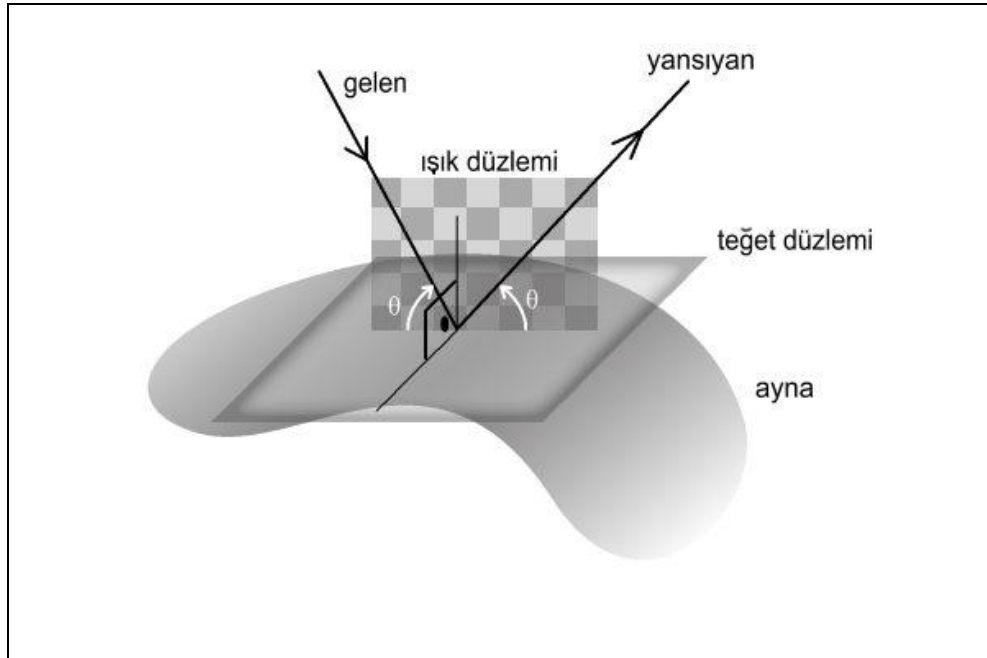
$$R(z) = z \left[1 + \left(\frac{\pi w_0^2}{\lambda z} \right)^2 \right] \quad (6.16)$$

$$w(z) = w_0 \left[1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6.17)$$

Başka bir ifade ile Gaussian M2 faktörünün 1 e eşit olduğu özel bir durumdur.

6.2. Klasik Optik

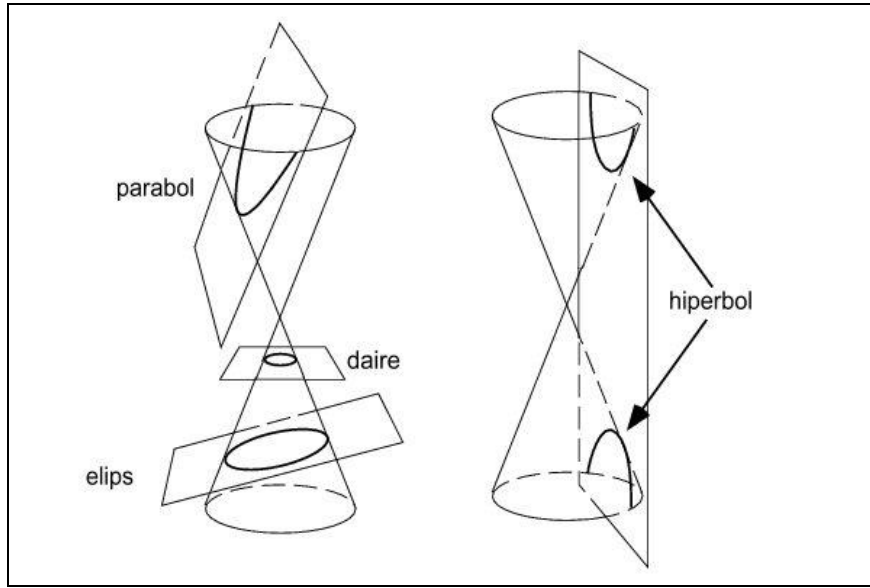
Klasik optikte birçok önemli bağıntı olmasına karşın bizim ilgileneyeğimiz sadece aynalar olacağından aynalarla ilgili kısma değinmek gerekecek. Aynalı sistemlerde ise klasik optiğin biraz daha uç noktalarına inerek sadece özel durumlara bakacağız. Optik hatalar daha çok demetin profilini etkileyecek sorunlar çıkartır. Aynalarla ilgili tek temel optik özellik; bir aynaya çarpan ışık geliş açısına eşit bir dönüş açısıyla yansır. Bu yansıma sırasında gelen ve yansıyan ışığın oluşturduğu düzlem aynanın yansıma noktasına teğet olan düzleme diktir (Şekil 6.5).



Şekil 6.5: Aynalarda yansıma

Bizim kullanacağımız yüzeyler ise konik kesitleri ailesinden hiperbol ve parabol olacaktır. Bu yüzeylerin temel özelliklerini anlamak için hiperbol ve parabolün önce matematiksel ifadelerine ve geometrik özelliklerine bakmamız gerekecek.

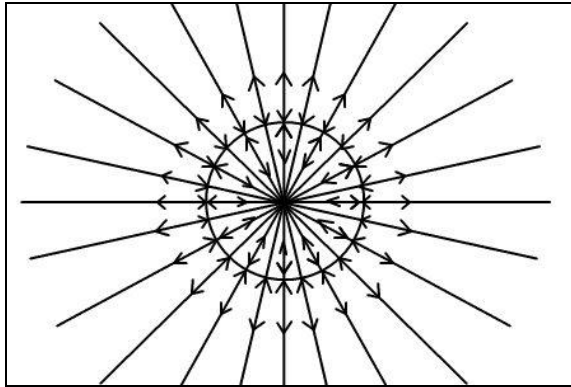
6.2.1. Konik Kesitleri



Şekil 6.6: Konik kesitler

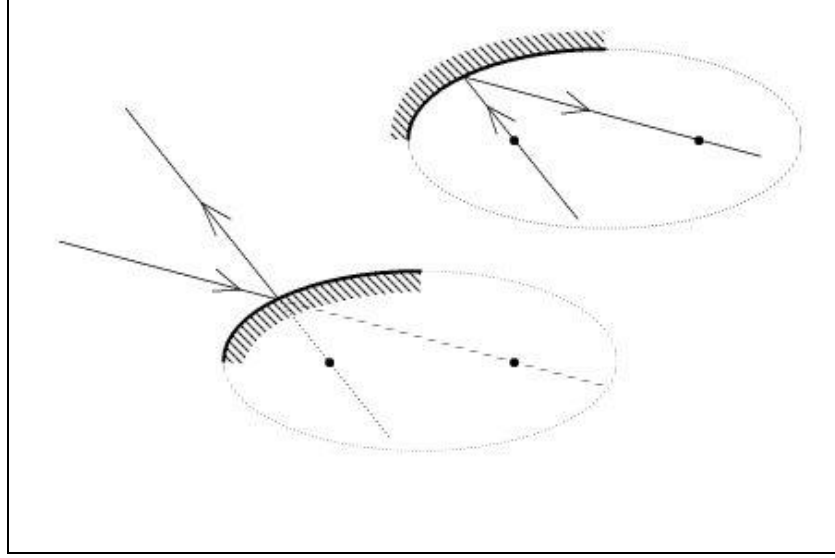
Bir koni ile bir düzlem kesiştiği zaman daire, elips, parabol ya da hiperbol ortaya çıkar (Şekil 6.6). Eğer koninin eksenine dik bir düzlem kullanılmışsa kesişim dairedir. Koninin yüzey eğiminden daha az bir eğime sahip bir düzlem ile elips, eşit eğime sahip bir yüzey ile kesişiminde ise parabol ortaya çıkar. Eğer koninin yüzey eğiminden daha fazla bir eğime sahip düzlem kesişim için kullanılmışsa o zamanda koninin her iki yarısı ile kesişim söz konusu olur ve bir hiperbol ortaya çıkar.

Dairenin merkezinden başlayan her çizgi daire ile kesiştiği noktada kenar teğetine diktir. Yani başka bir deyişle aynadan bir dairemiz olsa idi merkezinden geçen ışınlar aynaya çarptıkları noktada tekrar geldikleri noktaya geri döneceklerdi (Şekil 6.7). Ya da dışarıdan merkeze gelen ışınlar sanki merkezden çıkmış gibi geri yansır.



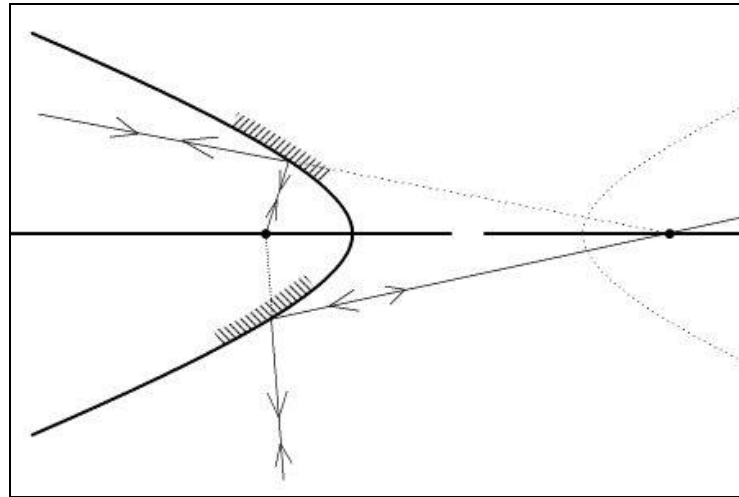
Şekil 6.7: Küresel aynada yansıma

Elipste ise ışık eğer bir merkezden geliyorsa sanki öteki merkezden geçiyormuş gibi yansır (Şekil 6.8).



Şekil 6.8: Eliptik aynada yansıma

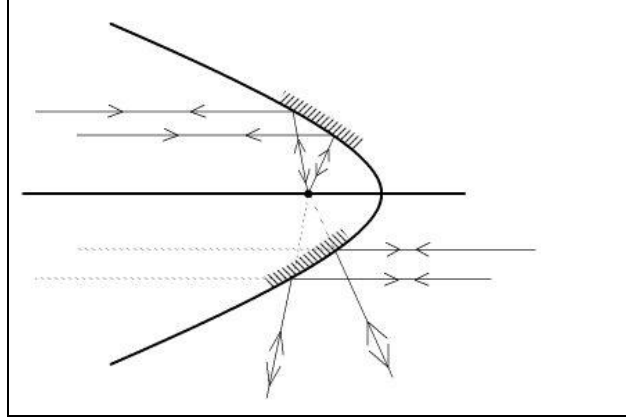
Hiperbol ayna eliptik aynadaki yansıma eliptik aynadakine çok benzer. Tek farkı hiperbolün merkezleri dışarıdadır ve hiperbolü iki kola ayırırlar. Dolayısıyla bir merkezden gelen ışın diğer merkezden geliyormuş gibi yansır. Bir merkezden geçecek olan ışın önce aynaya çarpmış ise diğer merkezden geçecek şekilde yoluna devam eder (Şekil 6.9).



Şekil 6.9: Hiperbolik aynada yansıma

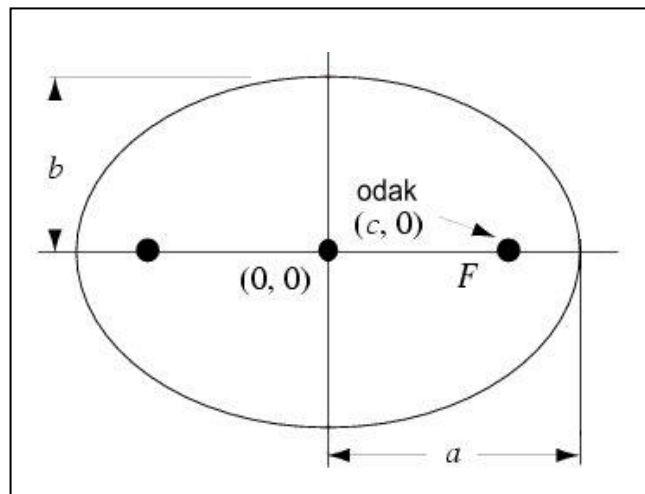
Parabolik aynalarda yansıma ile hiperbolik aynalarda yansıma arasındaki fark ise parabolün bir merkezinin sonsuza kaymış olmasıdır. Yani sonsuzdan gelen ışınlar

merkezde toplanırken merkezden gelen ışınlar da sonsuzda odaklanır(Şekil 6.10). Sonsuzda odaklanması demek eksene paralel gitmesi demektir.



Şekil 6.10: Parabolik aynada yansım

Aynaları kullanırken yansımaların nereden ve hangi açıyla olduğunu hesaplamak için aynaların yüzey formüllerine ihtiyacımız olacak. Klasik optikte yansım hesapları yapılırken hesaplamaları kolaylaştırmak için yüzey formülleri küresel Kabul edilir ve hesaplamalar parabolün elipsin ve hiperbolün daireye yaklaştığı merkeze yakın kalan düşük açılar için yapılır. Fakat bizim kullanmayı planladığımız yüzeyler merkezden oldukça uzakta olacağından bu yaklaşım çok yüksek hataları da beraberinde getirecektir. Bizim yaklaşımımız yüzey formüllerinden yola çıkarak demetin ilerleme yönündeki değişimleri formülize etmek olacaktır. Bu sebeple işlemleri gerçekleştirebilmemiz için yüzey formüllerine ihtiyacımız olacak. Elipsin özellikleri Şekil 6.11'deki gibi olacaktır.



Şekil 6.11: Elips geometrisi

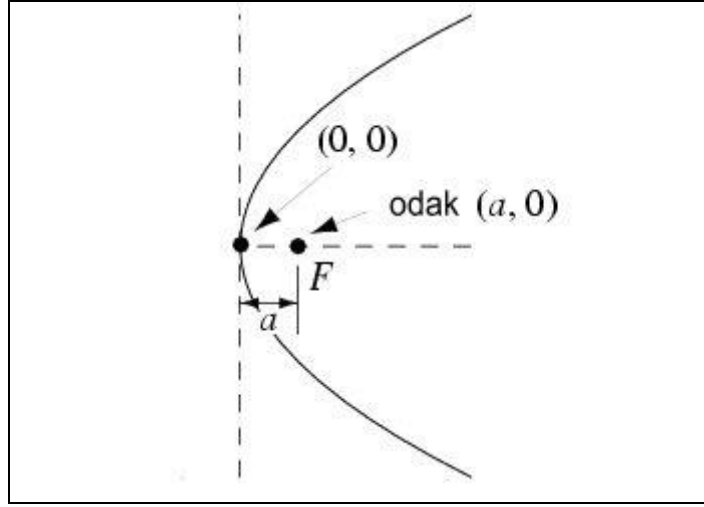
Şekil 6.11’de gördüğümüz elipsin matematiksel ifadesi ise

$$b^2 \equiv a^2 - c^2 \quad (6.18)$$

iken

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad (6.19)$$

olacaktır. Parabol ise Şekil 6.12’de görülmekte

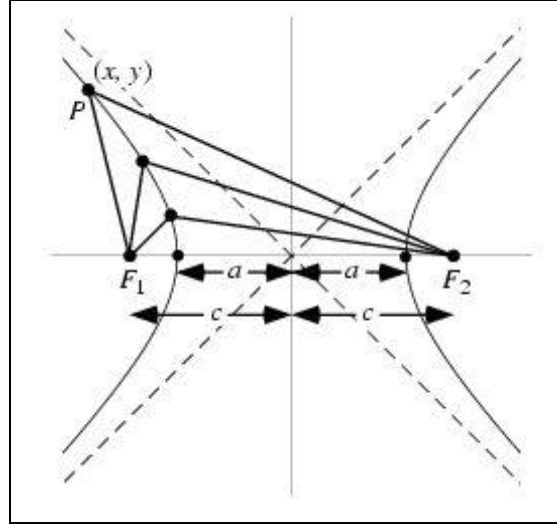


Şekil 6.12: Parabol geometrisi

ve matematiksel ifadesi

$$y^2 = 4ax. \quad (6.20)$$

olacaktır. Şekil 6.13’te hiperbolü görüyoruz.



Şekil 6.13: Hiperbol geometrisi

Hiperbol ise

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (6.21)$$

şeklinde matematiksel ifadeye sahiptir ve b katsayısı

$$b^2 \equiv c^2 - a^2, \quad (6.22)$$

dir.

7. TASARIM

7.1. Problem

Lidar’larda kullanılan lazer demeti uzun mesafelere erişebilmek için oldukça kaliteli olmalıdır. Kaliteyi sağlamak için iyi tasarımılanmış ama son derece ağır ve büyük lazerler kullanılır. Dolayısıyla Lidar sisteminin hacmini ve ağırlığını belirleyen en önemli parça lazerin kendisi haline gelir. Sistemi küçültmek için lazer diyotlardan faydalanmak demet kalitesinin düşüklüğü sebebiyle oldukça zordur. İlk problem diyot lazerin eliptik demete sahip olmasıdır ve bunu demetin ıraksaklığı izler. Bu iki problem giderildiği takdirde piyasada bulunan uygun güçlerdeki lazer diyotları Lidar sistemlerinde kullanmak mümkün olacaktır. Son yıllarda lazer diyotlardaki gelişmeler Lidar sistemlerinde kullanılmalarına olanak sağlamaya başlamıştır [28].

Lazer ışığı kırınıma uğradığı için uzun mesafelerde demet çapı çok genişleyecektir. Detaylı açıklama bir önceki konuda verilmiştir. Bunu engellemenin tek yolu kırınımı azaltmaktır. Kırınımı inceleyecek olursak (denklem 6.8) demetin ıraksama açısını azaltmak için ya dalga boyu ya da demet çapı değiştirilmelidir. Dalga boyu lazer diyotun özelliğine bağlıdır ve her diyot için sabittir. Dolayısıyla dalga boyumuz değiştirilemeyeceği için geriye lazerin yarıçapını büyütmekten başka seçenek kalmaz. Fakat lazerin yarıçapını büyütme menzili düşüreceği için demet çapı seçilirken dikkat edilmelidir. Bu çalışmada demet çapı 20 cm seçilmiştir.

Lazer demeti eğer çok uzak mesafeler gidecekse demetin kalitesinin de yüksek olması gerekmektedir. Bu kalite ölçütlerinden biride Gaussian profiline uygunluğu ve simetrisidir. Demetin profili demetin kesiti alındığı zaman her bir noktadaki parlaklık değerini veren grafiklerdir. Kullanılan formüller Gaussian demet profiline sahip demetler için çıkarıldığı için eğer demet Gaussian profilinden uzaklaşırsa kırınım etkisi de değişecek ve sonuçlar yapılan hesaplara göre farklılık gösterecektir. Dolayısıyla demet profili çok fazla oynanmadan optik malzemelerden geçirildiğine dikkat edilmelidir. Piyasada bulunan lazer diyotlar gün geçtikçe daha kaliteli

profilere ulaşmaktadırlar. Günümüz teknolojisinde üretilmekte olan lazer diyotlar Lidar uygulamalarında kullanılacak kalitede ışık verebilmektedirler.

Özetle diyotlardan elde edilen demetin uygun optik işlemlerle kalitesi arttırılarak Lidar uygulamalarında kullanılır hale getirilmesi mümkündür. Bu aşamada söz konusu kalite kriterleri:

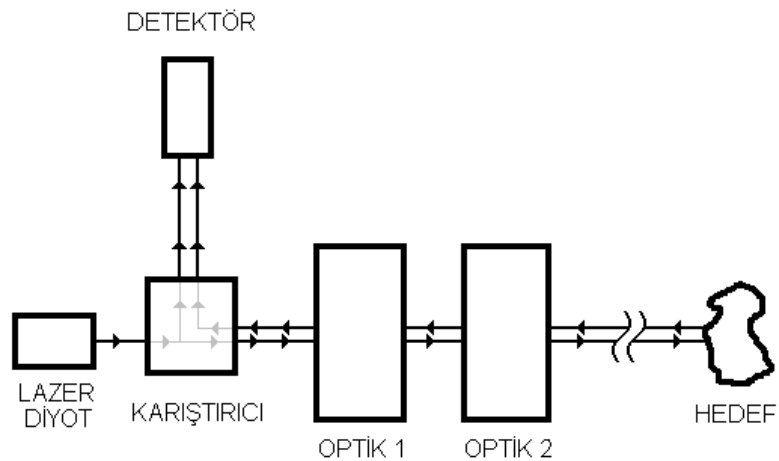
- 1 Iraksaklık açısı
- 2 Demet profili
- 3 Eliptisite

dir. Profil değişimi çok etkili bir yöntem olmadığı için ve mevcut diyotların kalitesi sisteme uygun olduğu için bu madde incelenmeyecektir.

Bu çalışmada ağırlıklı olarak incelenecek olan “demetin uygun çapa getirilmesi” çeşitli optik elemanlarca gerçekleştirilebilir. Demet çıkış çapı seçilirken dikkat edilmesi gereken noktalar şunlar olacaktır: bu çapta gönderilen ışık hedef uzaklığında algılanabilir olmalı ve göz sağlığı kistaslarını uymalıdır. Demetin yeni çapındaki iraksaklık açısı yeterince küçük olmalı. Böylece demet çok fazla açılmadan hedefe kadar gidebilmeli. Demet çapı çok geniş olmamalı ki Lidar uygulamalarında verinin alındığı nokta anlamlı olacak kadar küçük olmalı.

7.2. Malzemeler

Optik kısmın blok diyagramı Şekil 7.1 deki gibi olacaktır.

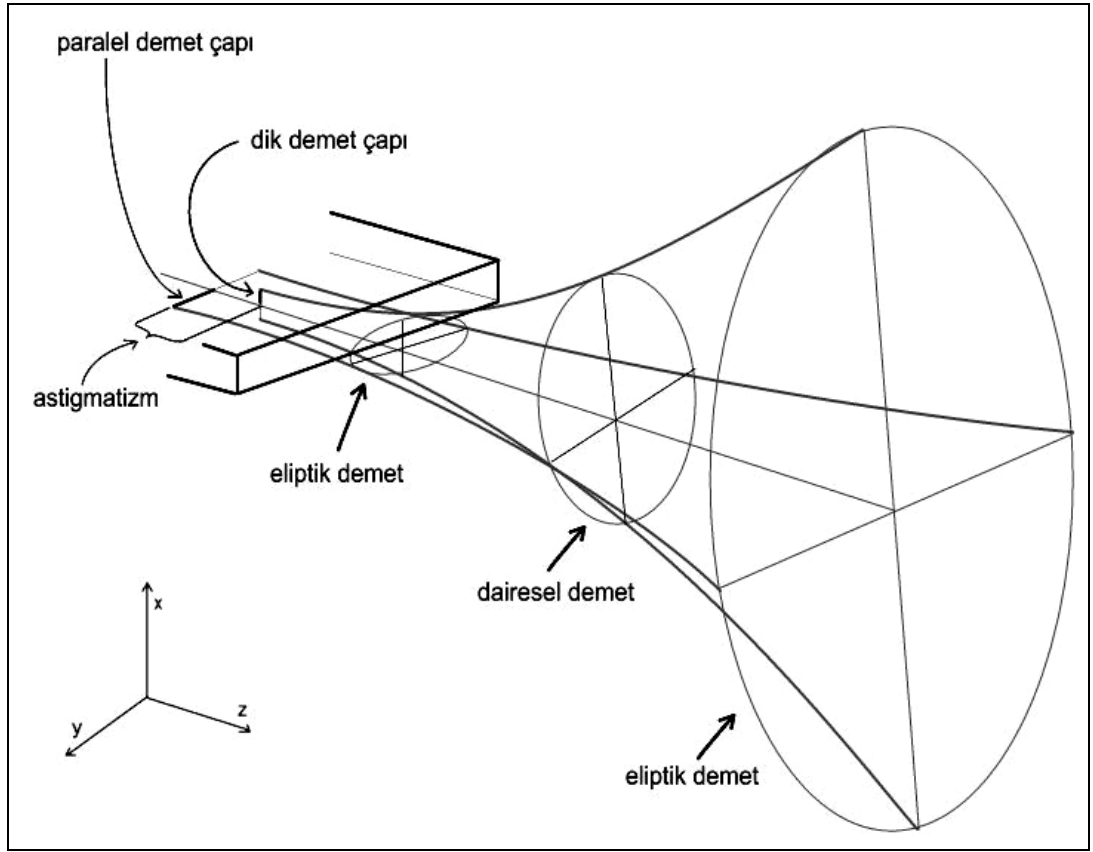


Şekil 7.1: Lidar blok şeması

Lazer diyot özellikleri ve seçim kriterleri baz alınarak incelenecek optik 2 yani, demet genişliğini ayarlayan optik kısmın tasarımı detaylı şekilde incelenecek, 2. optik kısım incelenirken ise optik 1 bölümü özellikleri kısaca ele alınacaktır. Karıştırıcı ve detektör konusunda sadece bu bölümde genel bilgi verilecektir.

Lazer diyot seçilirken göz önünde bulundurulması gereken en önemli nokta diyotun hedefte sağlayacağı aydınlanma miktarıdır. Fakat diyotların verimi arttıkça demet kaliteleri düşecektir. Aydınlanma birim alana düşen güç olduğu için aramızda gereken özellik diyotun gücü olacaktır. Bizim yerde sağlayabileceğimiz maksimum aydınlanma göz sağlığı kriterlerinin izin verdiği maksimum aydınlanmadır. Seçilen demet çapının hedefteki aydınlanma alanına bölümü bize hedef üzerindeki aydınlanma şiddetini verecektir. Diğer taraftan detektörün kapasitesini, bu mesafede söz konusu aydınlanmayı algılayabilecek olmasına dikkat etmemiz gerekir. Fakat şu aşamada kullanılan Lidar sistemlerine detektör kısmında bir yenilik getirmediğimiz için detektör seçimi mevcut sistemler referans alınarak yapılabilir. Birinci optik kısma gelince, bu bölümde lazer ışığının eliptisitesinden arınmış olması gerekir. Daireselleştirme işlemi yapılırken demet paralel hale getirilebilir ya da istenilen bir ıraksaklık açısı ile sistemden çıkması sağlanabilir. Eğer daireselleştirme işlemi yapılırken daha basit ve ayarlamalara daha az hassas bir sistem yapmak isteniyorsa bunu gerçekleştirmek için demetin bir ekseninde optik gücü olmayan sistemler tercih edilebilir. Bu ya silindirik lens ya da ayna çiftleri ile ya da prizmalarla[29] yapılabilir. Bir ekseninde optik gücünün olmaması demek bahsedilen ekseninde demetin ilerlerken kalınlığını sadece Gaussian optiği gereği değiştirmesi demektir. Bu aşamada diyotun her iki eksenindeki açılara bakmakta fayda var.

Demetin eksenleri lazerin aktif yüzeyine paralel ya da dik olmasına göre paralel ya da dik şeklinde adlandırılacaktır. Farklı ıraksama merkezleri [29] Şekil 7.2’de görülmektedir. Dik çap lazerin aktif bölgesinin şeklinden kaynaklı olarak daha kısa olacak ve buda daha sert bir yay çizmesine sebep olacaktır. Dolayısıyla belirli bir bölgede demetin dik çapı diğer çapı yakalayarak demetin anlık olarak dairenel olmasına sebep olacaktır. Daha sonra demetin dik eksenini daha geniş olacak şekilde eliptisite devam edecektir (Şekil 7.2). Dairesel demet lazerlere göre değişik uzaklıklarda olsa da bu mikron seviyelerinde seyrettiği için optik açıdan bir değer taşıması için mikro lens ya da mikro ayna kullanımı gereklidir. Bu tip optik parçaların kullanımı ayrı bir çalışma konusudur ve çok özel cihazlar gerektirir.



Şekil 7.2: Lazer diyot ışıması

7.3. Optik Metotların Seçimi

Hesaplamalar yapılırken klasik optik ya da Gaussian optik kullanılacağına karar vermek için demetin eğriliğine bakmamız gerekecek. Sistemlerin tek farkı; klasik optik ışığı tanımlarken kırınım etkisini göz ardı ederek ışığın aldığı yolu düz bir çizgi kabul etmesidir. Oysa demet gerçekte bir yay çizerek hareket eder. Gaussian optiği her iki durumu da içine alan daha genel bir ifade olmasına karşın hesaplamalar karışık ve zor olduğu için çok da etkili olamayabilir. Bu sebeple eğer klasik optik kullanılabilecek yerler tespit edilirse hesaplar basitleşecek ve sistemi tasarlamak kolaylaşacaktır. Daha da fazlası sistemi optimize etmek çok daha rahat olacaktır.

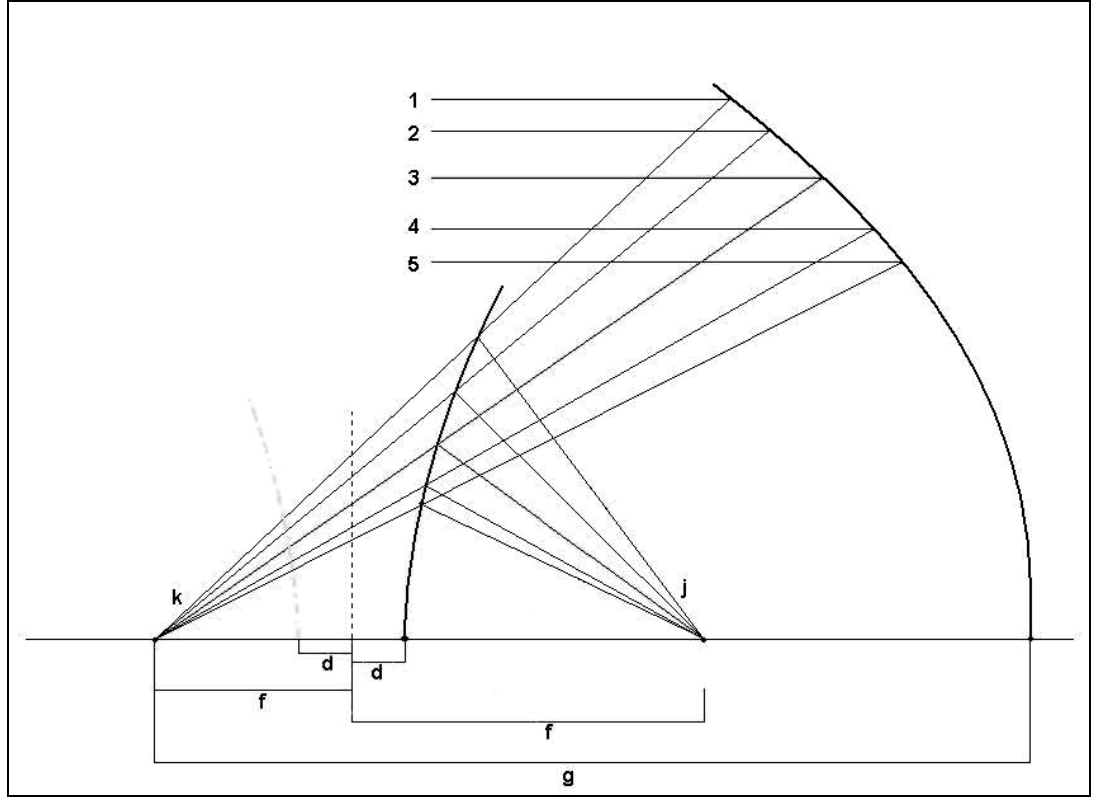
Nerede hangi optik teoriyi kullanacağımıza karar verebilmek için iki aşamalı bir mekanizma izlememiz gerekir. Birinci aşamada sistemde kabul edebileceğimiz maksimum hata ne kadardır tespit etmemiz gerekir. Buna karar vermek için, kurulacak sistemde engelleyemeyeceğimiz hataları bulmamız gerekir. Bu şekilde sistemin hataları ile karşılaştırılamayacak küçüklükteki maksimum hatayı bulmuş

oluruz ki buda pratikte, kabul edilebilir bir hesap hatası olacaktır. Sistemimizdeki en önemli hatalar aynaların yerleştirilmesinde yapılacak hatalar ile aynaların yüzey kalitesinden kaynaklı hatalardır. Her iki hatanın toplamı bize bir üst sınır verir. Eğer klasik optik sistemi bahsettiğimiz hata kadar bir farkla hesaplayabiliyorsa klasik optiği kullanabileceğimiz bölgede olduğumuzu gösterir. Peki, gerçek bir demet klasik optiğe ne zamanlarda hangi şartlarda yaklaşır? Bu sorunun iki farklı cevabı olacaktır. Birincisi sistem eğer Rayleigh mesafesine oranla çok büyük ölçekte ise demetin izlediği yol düz kabul edilebilir. Ya da başka bir deyişle aynalar Rayleigh den çok uzağa yerleştirilmişse de diyebiliriz. Diğer bir durum ise Rayleigh çok büyürse sağlanır. Bu durumda Rayleigh o kadar büyük olur ki demetin eğikliği düz bir çizgiden uzaklaşmadan önce araya optik eleman konulmuş olur ve demetin hareketi çizgisel kabul edilebilir.

7.4. Tasarım

Tasarımın temelinde iki ayrı sistem var. sistemlerden birincisi demetin sadece bir eksenini etkileyecek bir optik sistem ki sistem demeti dairesel hale getiriyor. Bu noktada demet hala çok yüksek bir açı ile genişlemeye devam ediyor. Ardından da iki ayna ile demet istenilen boyuta getirilip sonunda paralel hale gelmesi sağlanıyor. Şekil 7.3’de bahsettiğimiz ikinci optik kısmı görüyoruz. d ve f hiperbolün katsayıları, g parabolün odak uzaklığıdır. 1 den 5 e kadar numaralanmış ışınlar ise aynanın kullanılacak yarıçapını belirleyen 2 ve 4 numaralı ışınlar, demetin hesaplamalarda kullanılan yarıçapını gösteren 1 ve 5 numaralı ışınlar, demetin merkezinden geçen 3 numaralı ışındır. Hesaplamalarda yardımcı olması için, 3 numaralı ışın çizilmiştir. 2 ve 4 numaralı ışınlar demetin şiddetinin 13,5 % düştüğü nokta yani tüm optik hesaplar için Kabul edilen demet çapıdır. Fakat demet eğer bu noktadan kesilirse yani aynaların çapı sadece bu noktaları yansıtırsa demette çok ciddi bozulmalar ve enerji kayıpları yaşanır. Bunun sebebi ise demetin Gaussian profilinden oldukça uzaklaşmasıdır. Bu sebeple tasarım sırasında bu mesafe optimum olacak şekilde küçültülmelidir. Çalışmada Zemax optik tasarım programı yardımı ile iterasyon yapılarak bu rakamlar belirlenmiştir. Ayna çapı genişledikçe demet kalitesi artsa da belirli bir noktadan sonra demette belirgin bir kayıp söz konusu olmayacağından aynaları daha fazla büyütmek sadece ve sadece tasarımı daha zor bir hale getirmektedir. Aynaların çapları büyüdükçe eksenden dışarıya taşma miktarı artar ve

buna bağı olarak demette geometrik deformasyon başlar. Deformasyonun sebebi ise konik kesitlerin geometrisinden kaynaklanan demet profilinin değişmesidir. Deformasyon sebebiyle aynaların eksenden çok uzaklaştırılması mümkün olmaz.



Şekil 7.3: Optik tasarımın geometrisi

Tasarım yapılırken demetin aynadan yansıdıktan sonraki açıları belirlenmesi gerekir. Böylece yansıma yaptıktan sonraki demeti tanımlayabiliriz. Yansıma sonrasındaki açıları bulabilmek için ışının yansıma yaparken ayna ile kesiştiği noktalar bilinmelidir. Ayna yüzeyinin demetle kesiştiği koordinatları hesaplayabilmek için ayna yüzeylerinin ve demetin denklemlerini kullanabiliriz. Hesaplamalarda karşımıza ikinci dereceden denklemler çıkar. Denklemlerin çözümü kolay gibi gözükse de biraz detaylı incelendiğinde her biri iç içe geçmiş çok sayıda denklem olduğundan hesaplamalarda bilgisayar desteğine ihtiyaç duyarız. Çalışmada Matlab kullanılmıştır. Matlab yardımı ile denklemlerdeki bilinmeyenler çekilerek çözümleri kolaylaştırılmış ve değişik değerler denenmesi için Ms Excel programı ile temel hesaplamalar yapılmıştır. Ayna çapı için demetin 1.4 katı kullanılmış ve istenilen sonuçlar bu çapla elde edilebilmiştir.

7.4.1. Analiz

Tasarımı gerçekleştirirken karşılaşılan problemlerden bir tanesi sistemi matematiksel olarak ifade etmenin zorluğu idi. Bu sorunu aşabilmek için Microsoft Excel ve Matlab matematiksel modelleme programı kullanıldı. Matlab'da daha önceki konularda bahsettiğimiz ayna yüzey fonksiyonları istenilen demet açılarını verebilecek şekilde çözdürüldü. Fakat çözümde bazı serbest parametreler kaldığı için sistemin tek bir çözümü değil sonsuz tane çözümü mevcut. Tasarımda aynaların eksenden uzaklaşmalarını en aza indirmek ve dönen demeti kesmediklerini kontrol edebilmek için sisteme değişkenler atanarak değişkenlerin belli değerler arasında kalması kontrol edildi. Bu şekilde sistemin optimuma en yakın değerleri araştırıldı. Matlab'da bunu ayrıca modellemek programın kapasitesi sebebiyle kimi zamanlarda imkansız hale geldi. Çözüm olarak Excel programında belgeler hazırlanarak iterasyon ile optimizasyon sağlandı. Şekil 7.4 te Excel kullanımını görüyoruz.

Microsoft Excel - ab_to_cKR_circular.xls								
File Edit View Insert Format Tools Data Window Help								
J25 fx Arial 10								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2				1. ayna				
3	a	b	c	R	K	0 dan 1 e	1den 2 ye	n
4	0,6	1	1,166190379	1,666666667	-3,777777778	1,589890379	-29,78520962	1,4
5			30,3514	60,7028	-1			
6			g					
7								
8	bikonik x	a+c sabiti	a-x	b-x	c-x	R-x	K-x	
9	1. ayna	1,766190379	0,59943	1,001006222	1,166760379	1,671610458	-3,788666664	
10	2. ayna	29,18520962			30,35197	60,70394	-1	
11		g-c sabiti			g-x	R-x	K-x	
12								
13	$\alpha 2$	α	β	st-p'a olan uz.	DCNT			YJ1 0,05
14	12	12	4	0,1763	-0,031066447			YJ2 0,12
15	0,20943951	0,20943951	0,06981317					YJ4 0,53
16								YJ5 0,62
17	diizeltme	X yanm	Y yanm	dec y (1)				YK1
18	1. ayna	0,397250773	0,20261	0,295343553				YK2
19	2. ayna							YK4
20	N için	X yanm	Y yanm	dec y (1)				YK5
21	1. ayna		0,571663	1,162496553				
22	2. ayna							
23						β^*	0,174532925	10
24						$\beta 2^*$	0,271806995	15,8
25						$m\beta 2^*$	0,278704513	
26						x	0,674334504	
27						y	0,512962592	
28						$ b2^* $	1,910670685	
29						xhw	0,397250773	

Şekil 7.4: Excel tablosu

Tasarımın optimizasyonu esnasında hesaplanan konik kesit fonksiyonlarına ait parametreler Zemax optik tasarım programında direk kullanılamaz. Program konik kesitleri ifade ederken K (konik katsayısı) ve R (konik yüzeyin yarıçapı) katsayılarını

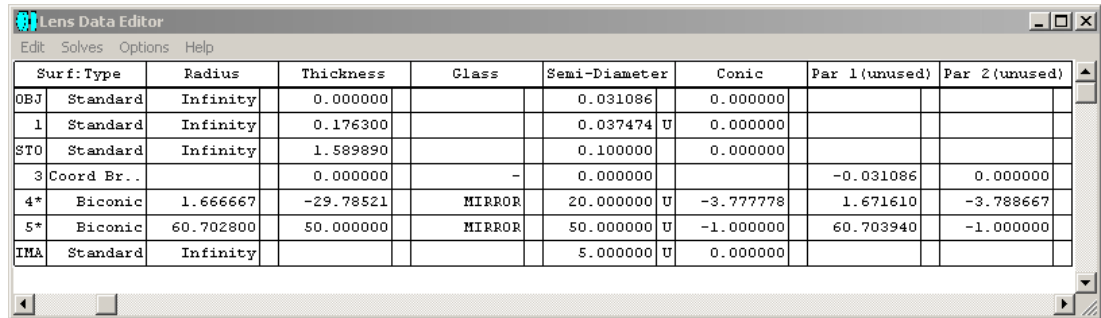
kullanır. Oysa bizim matematiksel modellememiz matematikte çok daha sık kullanılan fonksiyon katsayılarına bağlı olarak yapılmıştır. Ayrıca Zemax mesafelerde her bir yüzeyi bir önceki yüzeyin başlangıç noktası olarak Kabul eder ve çizimi bu şekilde yapar. Her iki durum için de hesaplanan sayıların birbirlerine dönüştürülmeleri gerekir. Optimizasyon sırasında tüm dönüşümleri elle yapmak çok büyük zaman kaybı olacaktır. Matlab her ne kadar ihtiyaca uygun gibi gözüksede ufak değişikliklere karşı çok esnek olmayacağından daha basit bir programa ihtiyaç duyulur. Bu aşamada değişikliklerin çok hızlı yapılabildiği ve basit düzeydeki matematiksel hesaplamalarda oldukça esnek olan Excel tablolarına başvurulmuştur.

Şekil 7.4 te görülen tabloda A-4, B-4, C-4 ve C-5 kutucukları konik kesit parametreleridir. D-4, D-5, E-4, E-5 bu parametrelerin koniklik katsayısına ve yarıçapına dönüştürülmüş halidir. F-4, G-4 yüzeyler arasındaki mesafe, H-4 aynaların yarıçapının demetin teorik yarıçapına oranıdır. Daha önce de bahsedilen deformasyonu engelleyebilmek için aynalara her iki ekseninde de farklı koniklikler verilebilir. Bu şekilde sistemin geometrisinden kaynaklanan eliptisite hatası giderilebilir. Bu da ayrı bir optimizasyon içermektedir. Aynalar farklı koniklerde hesaplanacaksa dikkat edilmesi gereken nokta ilk aynanın odak noktasının her iki ekseninde de sabit olması ya da başka bir deyişle $a+c$ katsayısının değişmemesidir. Excel tablosunda 8 ile 11'inci satırlarda bu hesaplamaları görmekteyiz. Parametrelerin arkasında bulunan $-x$ şeklindeki ifadeler çalışılan eksenin x ekseni olduğunu hatırlatır. a , b ve c her ne kadar birbirlerinden bağımsız gibi dursalar da unutulmamalıdır ki b a 'ya ve c 'ye bağlıdır. Dolayısıyla rastgele 3 değişken seçilerek bir konik kesit ifade edilemez. Değişkenlerden sadece iki tanesini seçebilir diğerini seçilenlerden hesaplayabiliriz. B-9, B-10'da $a+c$ sabiti, C-9, D-9 ve E-9'da konik kesit parametreleri hesaplanmaktadır. Aynı satırın F ve G sütunları bu parametrelerin dönüşümleridir. A-14 ve B-14 gelen demetin ıraksaklık açıları, C-14 demetin merkez ekseni ile aynaların optik ekseni arasında kalan açı, başka bir ifade ile demetin optik ekseninden uzaklaşma açısı, ve bir alt satır ise bunların radyan karşılıklarıdır. D-14 te ise "stop" yüzeyine olan uzaklık girilir. "Stop" yüzeyi Zemax'te tanımlanan yardımcı bir yüzey olup, optik analiz için kullanılacak olan ışınların nasıl bir yol izleyeceğini belirler. E-14'te eksenenden ne kadar sapma olacağı hesaplanır. Geriye kalan G-H 13-20 arasındaki kısım ve F-H 20-28 bölümü aynaların hangi boyda olacağını, eksenenden yüksekliğini ve her iki eksenindeki izdüşümlerinin oluşturduğu elipsin küçük ve büyük

yarıçaplarını hesaplar. A-D 17-22 bölümü ise bu rakamları Zemax programında kullanacağımız parametrelere çevirir.

Excel sayesinde daha az zaman harcanarak daha fazla sistem deneme şansı olduğu için optimizasyon daha fazla sayıda iterasyonla gerçekleştirilebildi. Zemax hem geometrik optik hem de Gaussian optik kullanabilmektedir. Ayna hesaplamalarının doğruluğu geometrik optik ile control edilirken, Gaussian optik kullanılarak sistemin geometrik optikle yapılan hesaplamalara ne kadar doğru yanıt verdiği kontrol edildi. Sonuçlar bize optik tasarımıımızda hesaplamalarımızı Gaussian optik hesaplamalarına ihtiyaç duymadan sadece geometrik optik kullanarak yapabileceğimizi gösterdi. Başta yaptığımız varsayımların doğruluğunu kanıtlamış olduk. Sistemin hassasiyeti ise istenilen seviyede tutulabildi.

Sistemin Zemax'te modellenmesi için kullanılan, Şekil 7.5'de gördüğümüz "Lens Data Editör" yani "Mercek Veri Girişi" penceresi, yüzeylerin birbirlerine olan mesafelerini, özelliklerini, yüzeyler arasındaki bölgelerin optik özelliklerini ve yüzeylerin geometrisini belirlediğimiz alandır.

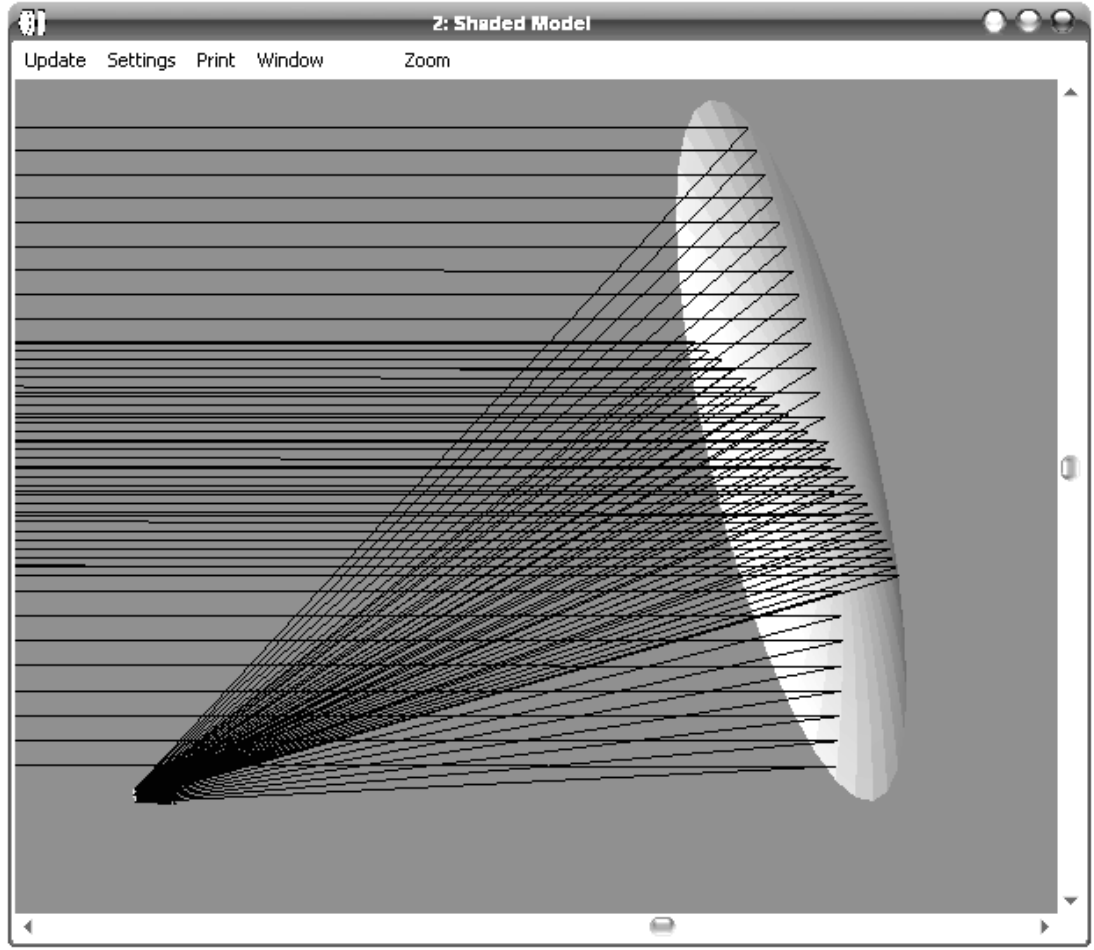


Surf	Type	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic	Par 1 (unused)	Par 2 (unused)
OBJ	Standard	Infinity	0.000000		0.031086	0.000000		
1	Standard	Infinity	0.176300		0.037474	U	0.000000	
STO	Standard	Infinity	1.589890		0.100000	0.000000		
3	Coord Br.		0.000000	-	0.000000		-0.031086	0.000000
4*	Biconic	1.666667	-29.78521	MIRROR	20.000000	U	-3.777778	1.671610
5*	Biconic	60.702800	50.000000	MIRROR	50.000000	U	-1.000000	60.703940
IMA	Standard	Infinity			5.000000	U	0.000000	

Şekil 7.5: Zemax mercek veri girişi penceresi

Yüzey tipi yüzeyin temel özelliklerini belirler. Sistemimizde 3 tip yüzey kullanıldı. Standart yüzeyler düz ya da küreseldir. "Coordinate Break" sistemin optik ekseninin kaydırılması ve döndürülmesi için kullanılır. "Biconic" yüzeyler ise her ekseninde de farklı konik kesit özellikleri gösteren yüzeylerdir. "Radius" yüzeyin eğiklik yarıçapıdır. "Thickness" bir sonraki yüzeyin ne kadar uzakta çizileceğini belirler. "Glass" yüzeyin özelliği olup, sistemde sadece ayna yüzeyler kullanılmıştır. "Semi-diameter" optik malzemenin yarıçapıdır. "Conic" koniklik katsayısıdır. "Parameter 1" ve "parameter 2" ise x ekseninin eğikliği ile koniklik katsayılarına aittir.

Sistemin doğru oluşturulup oluşturulmadığını takip edebileceğimiz 3 boyutlu model penceresini Şekil 7.6 da görmekteyiz.

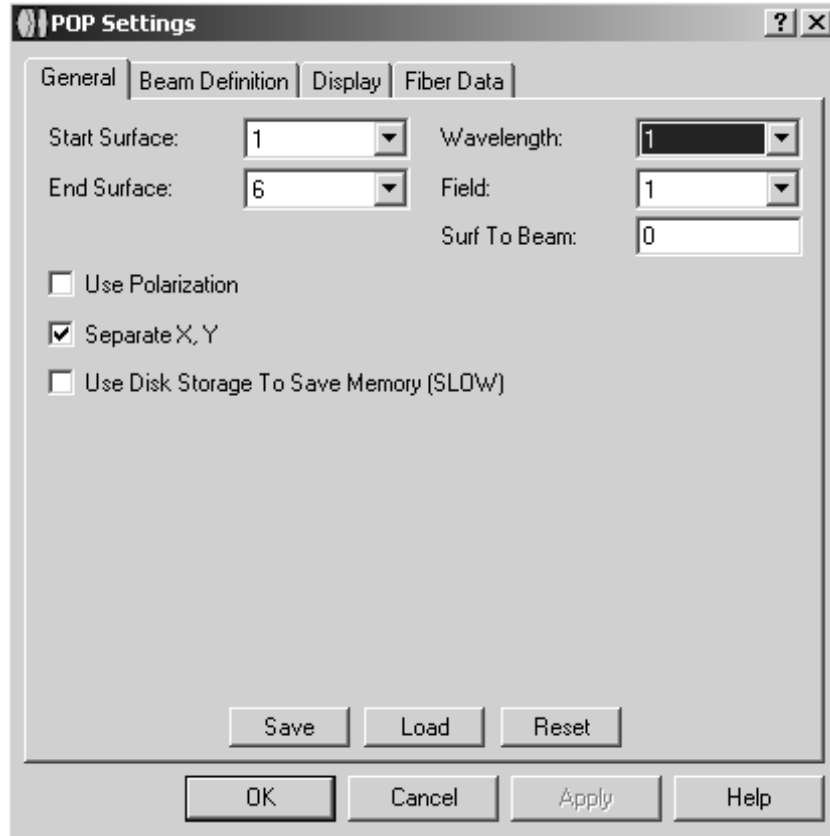


Şekil 7.6: Zemax 3 boyutlu model penceresi

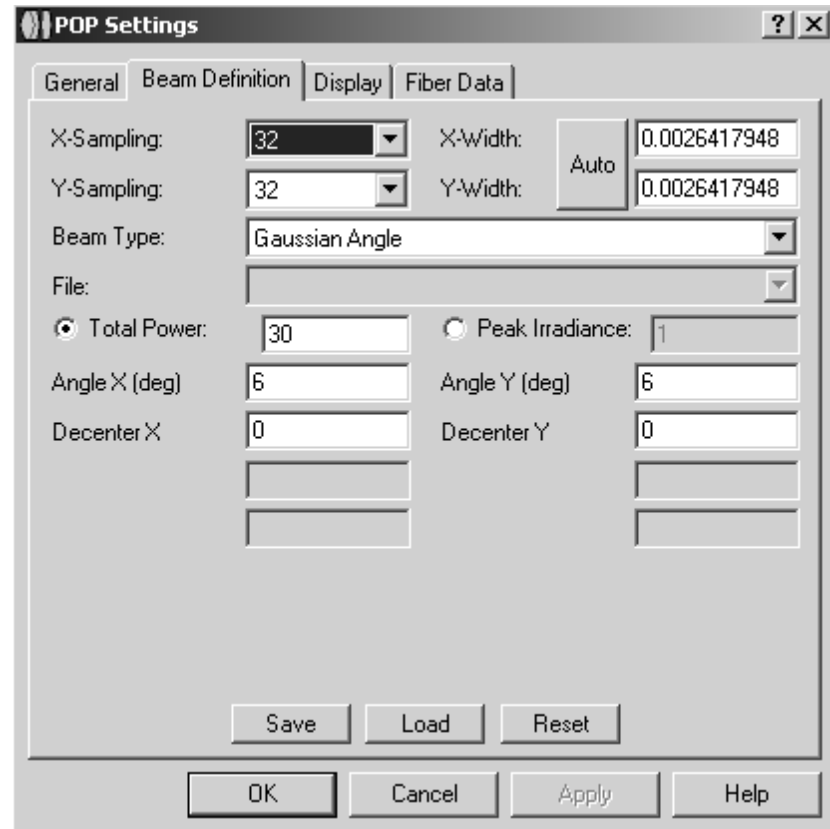
Sistem girildikten sonra fiziksel optik analizi için kullanacağımız lazere uygun demeti oluşturmamız gerekir. Demet özelliklerini ve fiziksel optik kullanımına dair detayları Şekil 7.7, Şekil 7.8 ve Şekil 7.9’da gördüğümüz POP pencereleri ile yaparız. Şekil 7.7 “General” girişleri fiziksel optik hesaplamalarının hangi yüzeyde başlayıp hangi yüzeyde biteceğini, dalga boyunu, polarizasyon hesabı yapıp yapılmayacağını, optik eksenle demetin arasındaki açıyı ve her iki eksenı ayrı ayrı analiz edip etmeyeceğimizi belirler.

Şekil 7.8 de “Beam definition” penceresi ile demet özellikleri; “Sampling” girişleri ile x ve y eksenindeki çözünürlükleri, “Width” girişleri ile ne kadar bir alanın değerlendirmeye alınacağı, sonraki dört sırada ise sırayla “Beam type”: demet profili tipi, “Total power”: demetin toplam gücü, “Angle”: ıraksaklık açısı, “Decenter”: demetin optik ekseninden uzaklığı girilir.

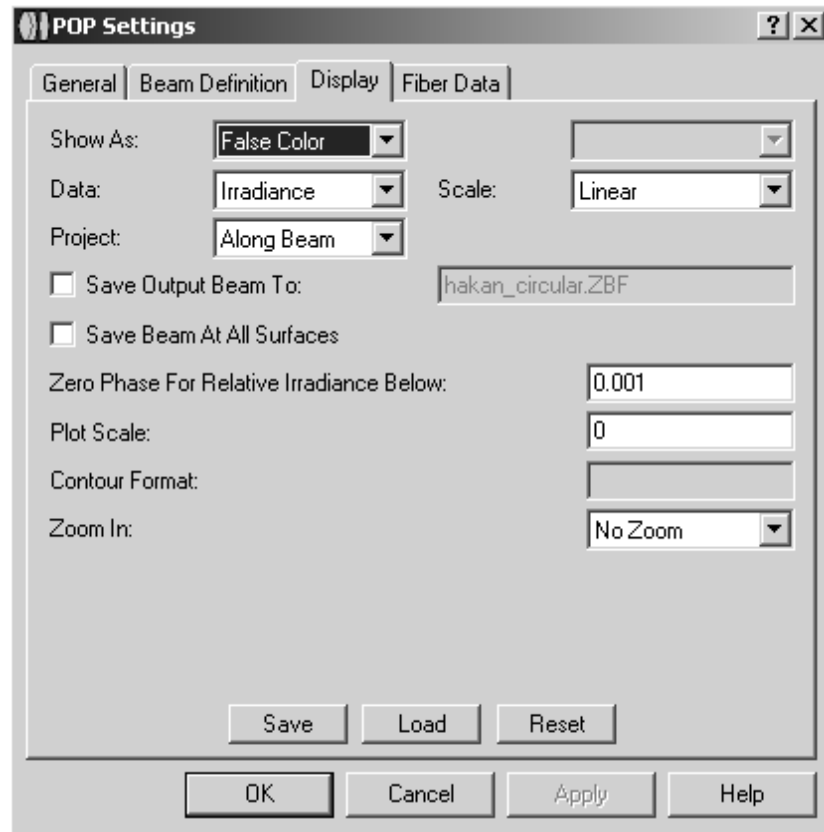
Şekil 7.9’daki “Display” penceresi ise analizin görsel olarak nasıl yapılacağını ayarlar.



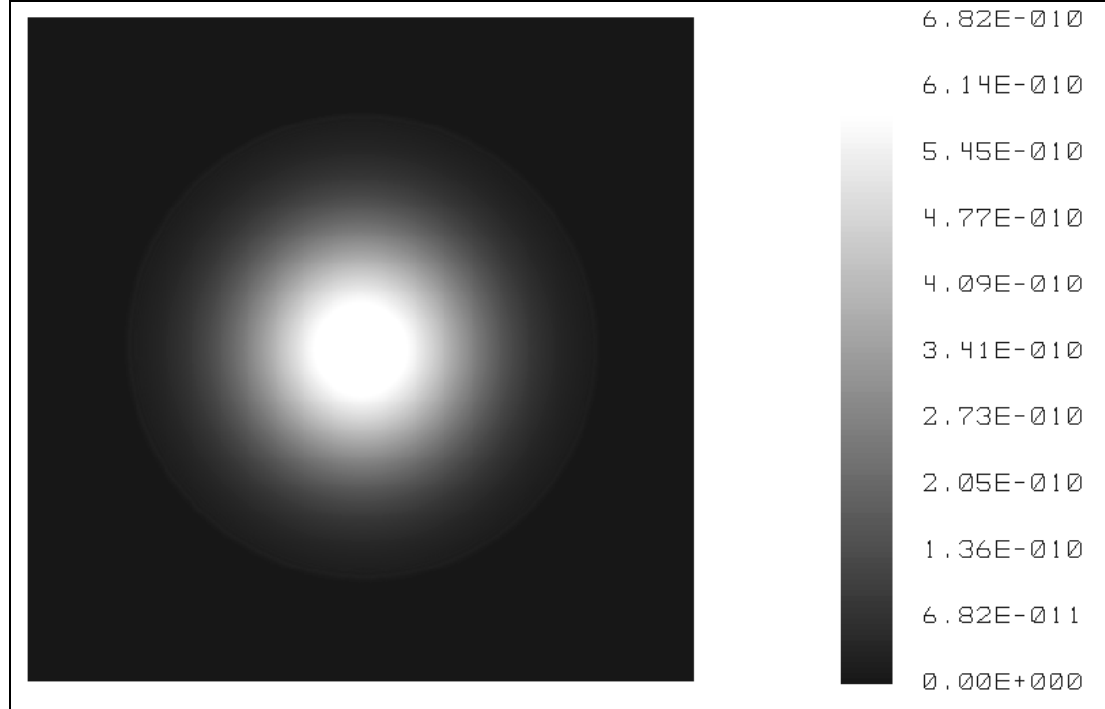
Şekil 7.7: Zemax fiziksel optik veri girişi genel penceresi



Şekil 7.8: Zemax fiziksel optik veri girişi demet özellikleri penceresi



Şekil 7.9: Zemax fiziksel optik veri girişi görsel özellikler penceresi



Şekil 7.10: Zemax fiziksel optik analiz penceresi

Şekil 7.10 da lazer demetinin sistemden çıktıktan 50 cm sonra demete dik yüzeydeki aydınlanma grafiğini görüyoruz. Grafikten rahatca anlaşılacağı gibi demetimiz daireseldir ve uygun bir dağılıma sahiptir.

Toplam çıkış gücümüz 2,9492 watt olup sistemdeki güç kaybı 1,69 % kadardır. Aynalardaki güç kaybı binde bir mertebelerinde olduğundan sistemin asıl güç kaybını ayna çaplarının belirlediğini söyleyebiliriz. Demetin yarıçapı x ekseninde 9,9816 cm ve y ekseninde 10,107 cm olup küçük çap büyükten 1,25 % daha farklıdır. Rayleigh mesafesi x'de $6,0558 \times 10^6$ cm y'de ise $6,3870 \times 10^6$ cm dir. Rayleigh mesafeleri her iki ekseninde de birbirine oldukça yakın olduklarından demetin her iki eksenindeki ıraksaklığının eşit olduğunu söyleyebiliriz. Demet optik sistemi dairesel olarak terk ettiğine ve ıraksaklığı her ekseninde de eşit olduğuna göre demet her bölgede daireselliğini koruyabilecektir. Rayleigh mesafelerinin oldukça büyük olması da demetin uygun şekilde paralelleştirildiğini gösterir.

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tasarımımızda demetin eliptisitesini düzeltirken açılmasına müsaade ederek optik elemanlardan tasarrufa gitmiş ve kontrolü daha kolay bir sistem hazırlamıştık. Fakat sistemleri yinede iç içe düşünmemiş ve eliptisiteyi düzelten sistem ve demeti paralel hale getiren sistemi ayrı ayrı ele almıştık. Demeti paralel hale getiren sistem İki ayna ile çalışmaktaydı. İlk ayna demetin daha kısa sürede istenilen yarıçapa gelmesi için kullanılmıştı. Bu ayna bir taraftan da, sisteme eğer uygun bir lazer bulunamazsa sistemi küçültmek için kullanılabilir. Diğer taraftan sistemin boyu uygulanamaz değilse gereksiz bir eleman olacaktır. Tasarım yapılırken bu tip detaylara önem vermek gerekir. Kullanacağımız lazerin ıraksama açılarından herhangi birisi değiştirilmeden sistemden çıkartılıyorsa ve sistem eğer istenilen boyutlarda tutulabiliyor, uygulaması imkansız hale gelecek kadar küçülüyor ya da büyümüyorsa son iki ayna yerine tek bir ayna kullanılarak dairesel haldeki demet tek optik elemanla paralel hale getirilebilir. Bu şekilde aynalardan birisinden daha kurtulmakla kalmayıp sistemi de istenilen boyutlarda tutmuş oluruz.

Bu sistemde kullandığımız bir optik elemana birden fazla görev yükleme yöntemini biraz daha karmaşık bir sistem tasarlamak için kullanmak da peki hala mümkündür. Burada sistem sadece iki ayna ile hem eliptisite sorununa hem demet genişletme işlemine hem de demeti paralelleştirme işlemine çözüm olabilir. her iki eksende farklı odak uzaklıklarına sahip iki ayna ile demette bahsettiğimiz tüm bu düzeltmeler yapılabilir. Bunun mümkün olduğunu ispatlamak için sistemi tersten inceleyebiliriz. Aynalı bir sistemde çalışıyorsak ve yansımalar bildiğimiz basit yansıma kuralları çerçevesinde gerçekleşiyorsa sistem her iki yönde de çalışabilir. Başka bir ifade ile eğer sistemden çıkmasını beklediğimiz ışınları sisteme tam ters yönde gönderirsek sistem giriş ışınlarını verecektir. Bu prensipten yola çıkarak diyelim ki paralel bir demeti yansıtan bir aynamız olsun. Ayna her iki eksende de farklı odak uzaklıklarına sahip olsun. Demet bu aynadan yansdıktan sonra her eksende de farklı noktalarda odaklanacak şekilde eliptik hale gelir. Arada bir noktada ikinci aynamız varsa eliptik ve astigmatizmi oldukça yüksek olan demeti

astigmatizm mesafesi değişecek şekilde odaklatabiliriz. Demet odaklandığı noktaya giderken eliptisitesi hala devam ediyor ve astigmatizmi değişmiş olacaktır. Buda bizim lazer demetimizi tam olarak tanımlayan bir durumdur. Demek oluyor ki bu sisteme tersten astigmatik, eliptik bir demet yollarsak iki ayna demeti dairesel ve paralel hale getirebilir. Fakat bu sistemdeki ayna yüzeyi hesaplamaları bu çalışmada geçen yüzeylere oranla çok daha karışık olacağından sistem aynı metotlarla hesaplanamaz ve daha karmaşık yöntemler kullanmak gerekir. Vektör analizi ve diferansiyel denklemler kullanılarak yüzey formülleri çıkartılır, aynalar modellenenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Arai, S., Y. Suematsu, Y. Itaya,** 1.11-1.67 μm . *IEEE J. Quantum Electron.* **QE-16**, 197 (1980).
- [2] **Henshall, G. D., G. H. B. Thompson, J. E. A. Whiteway, P. R. Selway, and M. Broomfield.** Theory of the double heterostructure laser: II. Waveguide model incorporating carrier concentration-dependent refractive index. *IEE Proc.* **3**, 1 (1979).
- [3] **Schwartz, B. M. W. Focht, N. K. Dutta, R. J. Nelson, and P. Besomi.** Stripe geometry InP/InGaAsP lasers fabricated with deuteron bombardment. *IEEE Trans. Electron Devices* **31**, 841 (1984).
- [4] **Oe, K., S. Ando and K. Sugiyama.** GaInAsP/InP planar stripe lasers prepared by using sputtered SiO₂ film as a Zn-diffusion mask. *J. Appl. Phys.* **51**, 43 (1980).
- [5] **Kaminow, I. P., R. E. Nahory, M. A. Pollack, L. W. Stulz, and J. C. DeWinter.** Single-mode c.w. ridge-waveguide laser emitting at 1.55 μm . *Electron Lett.* **15**, 763 (1979).
- [6] **Tsang, W. T., and R. A. Logan.** A new high-power, narrow-beam transverse-mode stabilized semiconductor laser at 1.5 μm : the heteroepitaxial ridge-overgrown laser. *Appl. Phys. Lett.* **45**, 1025 (1984).
- [7] **Ueno, M., I. Sakuma, T. Furuse, Y. Matsumoto, H. Kawano, Y. Ide, and S. Matsumoto.** Transverse mode stabilized InGaAsP/InP ($\lambda = 1.3 \mu\text{m}$) piano-convex waveguide lasers. *IEEE J. Quantum Electron.* **17**, 1930 (1981).
- [8] **Hirao, M., S. Tsuji, K. Mizuishi, A. Doi, and M. Nakamura.** High-Reliability' Semiconductor Lasers Optical Communications. *J. Opt.Comm.* **1**, 10 (1980)
- [9] **Mito, I., M. Kitamura, K. Kobayashi, S. Murata, M. Seki, Y. Odagiri, H. Nishimoto, M. Yamaguchi, and K. Kobayashi.** InGaAsP double-channel- planar-buried-heterostructure laser diode (DC-PBH LD) with effective current confinement. *J. Lightwave Technol.* **1**, 195 (1983).
- [10] **Mito, I., M. Kitamura, K. Kaede, Y. Odagiri, M. Seki, M. Sugimoto, and K. Kobayashi.** InGaAsP planar buried heterostructure laser diode (PBH-LD) with very low threshold current. *Electron. Lett.* **18**, 2 (1982).

- [11] **Nelson, R. J., P. D. Wright, P. A. Barnes, R. L. Brown, T. Cella, and R. G. Sobers.** High-output power InGaAsP ($\lambda=1.3\ \mu\text{m}$) strip-buried heterostructure lasers. *Appl. Phys. Lett.* **36**, 358 (1980).
- [12] **Dutta, N. K., D. P. Wilt, P. Besomi, W. C. Dautremont-Smith, P. D. Wright, and R. J. Nelson.** Improved linearity and kink criteria for 1.3- μm InGaAsP-InP channeled substrate buried heterostructure lasers. *Appl. Phys. Lett.* **44**, 483 (1984).
- [13] **Oron, M., N. Tamari, H. Shtrikman, and C. A. Burrus.** Lasing properties of InGaAsP buried heterojunction lasers grown on a mesa substrate. *Appl. Phys. Lett.* **41**, 609 (1982).
- [14] **Muratani, T., E. Oomura, H. Higuchi, H. Namizaki, and W. Susaki.** InGaAsP/InP buried crescent laser emitting at 1.3 μm with very low threshold current. *Electron. Lett.* **16**, 566 (1980).
- [15] **Kogelnik, H., and C. V. Shank.** Stimulated emission in a periodic structure. *Appl. Phys. Lett.* **18**, 152 (1971).
- [16] **Sekartedjo, K., N. Eda, K. Furuya, Y. Suematsu, F. Koyama, and T. Tanburn-Ek.** 1.5 μm phase-shifted DFB lasers for single-mode operation. *Elektron. Lett.* **20**, 80 (1984).
- [17] **Tada, K., Y. Nakano, and A. Ushirokawa.** Proposal of a distributed feedback laser with nonuniform stripe width for complete single-mode oscillation. *Electron. Lett.* **20**, 82 (1984).
- [18] **Wang, S. J.** Proposal of periodic layered waveguide structures for distributed lasers. *Appl. Phys.* **44**, 767 (1973).
- [19] **Chinn, S. R., and P. L. Kelly.** Limiting spectral characteristics of a distributed-feedback laser. *Opt. Commun.* **10**, 121 (1974).
- [20] **Kitamura, M., M. Yamaguchi, S. Murata, I. Mito, and K. Kobayashi.** Low-threshold and high temperature single-longitudinal-mode operation of 1.55 μm -band DFB-DC-PBH LDs. *Electron. Lett.* **20**, 595 (1984).
- [21] **J. Alda,** 2003. Laser and Gaussian Beam Propagation and Transformation, Encyclopedia of Optical Engineering, pp. 999-1013, Marcel Dekker Inc., New York.
- [22] **A. E. Siegman,** 1986. Lasers, University Science Books, California.
- [23] **H. Kogelnik and T. Li,** 1966. Laser Beams and Resonators, *Appl. Opt.*, **5**, 1550-1567.

- [24] **H. Kogelnik**, 1979. Propagation of Laser Beams, *Appl. Opt. and Opt. Eng.*, **7**, 155-190.
- [25] **D. C. O'Shea**, 1985. Elements of Modern Optical Design, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [26] **S. A. Self**, 1983. Focusing of Spherical Gaussian Beams, *Appl. Opt.*, **22**, 658-661.
- [27] **W. A. E. Goethals**, 1989. Laser Beam Analysis by Geometrical Optics, *The Physics and Technology of Laser Resonators*, pp. 143-153, IOP Publishing Ltd., Bristol.
- [28] **J. A. Reagan, H. Liu, and J.F. McCalmont**, 1996. Laser Diode Based New Generation Lidars, Symposium Proc. IGARSS'96, Lincoln, NE, pp. 1535-1537, May
- [29] **H. Hanada**, 1982. Beam Shaping Optical System, *United States Patent* No: 4318594, dated Mar.
- [30] **Sabins, Floyd F.**, 1978. Remote sensing, W. H. Freeman, San Francisco.
- [31] **Rees, Gareth**, 1990. Physical principles of remote sensing, Cambridge University Press, New York
- [32] **Slater, Philip N.**, 1980. Remote sensing, optics and optical systems, Addison-Wesley Pub. Co..
- [33] **Jelalian, A. V. (Albert V.)**, 1992. Laser radar systems, Artech House, Boston.

Hakan Çetinkaya

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ)
İnşaat Fakültesi
Uzaktan Algılama Sekreterliği 34469

Maslak / İSTANBUL / TÜRKİYE

Tel: +90 555 480 81 44

ex_hakan@yahoo.com

EĞİTİM DURUMU:

2003 ODTÜ FİZİK

ÇALIŞMALARI: Teleskop tasarımı, Lazer, Optik.

DENEYİM:

2006 Demet Şekillendirme, Optik Tasarım

2001 Teleskop Tasarımı

BİLGİSAYAR BECERİSİ:

İşletim sistemleri Windows: XP, 2000, NT, 98, 95

Program Zemax: optik tasarım programı.
Freshnel: optik tasarım programı.
Lab-view: bilgisayar ile otomasyon ve kontrol programı
MS Office

Donanım Bilgisayarın her türlü donanım montajı
Temel Tamirat

HOBİLERİ:

Yamaç Paraşütü	İTÜ yamaç paraşütü eğitmenliği	2004 - ...
	ODTÜ mezunları derneği yamaç paraşütü eğitmenliği	2000 - 2002
Paraşüt	amatör serbest paraşütçü.	1992 - ...
Dağcılık	amatör dağcılık ve kaya tırmanışı	1996 - ...
Heykel	ODTÜ heykel atölyesi	1997-2003