

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMPAKT LASER İLE MESAFE ÖLÇÜMÜ

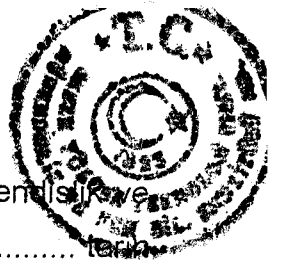
134354

Cemil HEPGÜL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd.Doç.Dr. Anatolii SIMINEL

GEBZE
2003

134354
T.C. YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Cemil HEPGÜL.....'ın tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16.06.2003 tarih ve 2003.1.18 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRI

ÜYE

(Tez Danışmanı)

Yrd. Doç. Dr. Anatoliy SAMINEL

ÜYE

Prof. Dr. Vitaliy P. Chernichenko

ÜYE

Doç. Dr. Nezi ECEVİT

ONAY

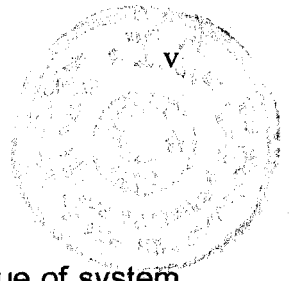
G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16.07.2003 tarih ve 2003.1.22 sayılı kararı.



ÖZET

Bu çalışma özellikle askeri alanda kullanılan uzun mesafe ölçümünün kompakt bir lazerle yapılabilmesi için sistem tekniğinin ve donanımının hangi özelliklere sahip olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Tez içinde kısaca lazerin tarihi, çalışma yapısı ve özellikle askeri alan başta olmak üzere uygulama alanları anlatılmıştır. Lazerle mesafe bulmada uygulanan tekniklerden bahsedilmiş, bu konuda yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Bunlardan elde edilen sonuçlarla uzun mesafe ölçmede kompakt bir lazer için hangi tekniğin uygulanması gerektiği ve sistemin donanım özelliklerinin ne olması gerektiği anlatılmıştır. Bu sistem için basit bir zaman ölçme ve değer gösterme devresi tasarlanmıştır. Bu devre simülasyonu için Elektronik Workbench 5.0 programı kullanılmıştır.

SUMMARY



This study explains that how must hardware and technique of system of compact laser be for finding long range with it used especially in soldier applications. In thesis, history, working and application areas of lasers are described. Some techniques in the laser range finder are mentioned, studyings have done at this subject are inspected. With results were founded from those, which technique must be used and what must futures of system of hardware be are explained for compact laser at long range finding. A simple time measuring and display circuit is designed for this system. Electronic Workbench 5.0 is used for simulation of this circuit.



TEŞEKKÜR

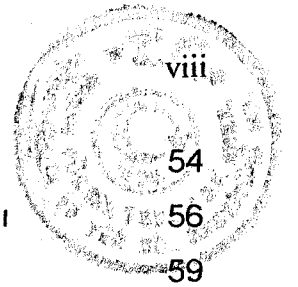
Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez aşamamda bana çok büyük katkısı olan sırasıyla danışmanlıklarımı yapan Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nden Yrd.Doç.Dr. Dimitri DVORNIKOV'a, Yrd.Doç.Dr. A.Yavuz ORAL'a ve Yrd.Doç.Dr. Anatolii SIMINEL'e, kendi öğrencileri olmamama rağmen gösterdikleri yakın ilgi ve yaptıkları çalışmayı öğrenmemi sağladıkları için Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Yrd.Doç.Dr İlhan KONUKSEVEN'e, yine sorulara cevap aradığım zaman yardımını esirgemeyen lisans hocalarımdan Uludağ Üniversitesi'nden Yrd.Doç.Dr. Halil YEŞİLÇİMEN'e teşekkür ederim.

Ayrıca, benden desteklerini esirgemeyen ailemi ve yakın arkadaşlarım Gazi Üniversitesi yüksek lisans öğrencisi Emre GÜRHAN ile Mustafa DENİZER'i unutmadan geçemeyeceğimi belirtmek isterim.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

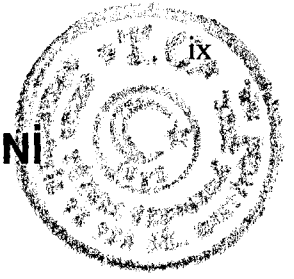
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Lazerler	4
2.1.1. Lazer Işığının Özellikleri	6
2.1.2. Lazer Türleri	8
2.1.3. Lazer Uygulamaları	11
2.1.4. Lazerlerin Askeri Uygulamaları	12
2.1.5. Türkiye'de Lazerle İlgili Yapılan Çalışmalar	15
2.1.6. Lazerli Sistemlerde Güvenlik	17
2.1.7. Lazerli Sistemlerde Zararlardan Korunma	18
2.1.8. Uluslararası Lazer Standartları	19
2.2. Lazerle Mesafe Ölçümü	19
2.2.1. Triangulation Metodu	20
2.2.2. Girişim (Interferometric) Metodu İle Mesafe Ölçümü	23
2.2.3. Doppler Ölçüm Tekniği	27
2.2.4. Işın-Modulasyon Telemetri Tekniği	28
2.2.5. Zaman Ölçme Tekniği	30
3. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	37
3.1. Son Zamanlarda Yapılan Mikroçip Lazer Çalışmaları	46
4. DİZAYN	49
4.1. Dizayn Kriterleri	49
4.2. Lazer Seçimi	50
4.3. Pompalama Tekniği Seçimi	50



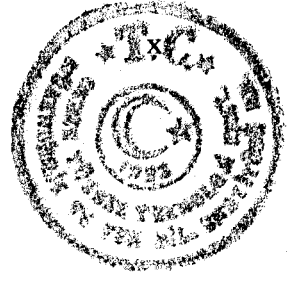
4.4. Detektor Seçimi	54
4.5. Zaman Ölçen ve Mesafeyi Görüntüleyen Devre Tasarımı	56
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	63
EK 1. Tasarlanan Devrenin Gösterimi	
EK 2. Tasarlanan Devrede Kullanılan Elemanların Zaman Diyagramları	



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ



AGC: Automatic Gain Control
ALV: Autonomous Land Vehicle
APD: Avalanche Photodiode
ASV: Adaptive Suspension Vehicle
BFTC: Ben Franklin Technology Center
Cord: Center for Occupational Research and Development
CW: Continuous Wave
Darpa: Defense Advanced Research Projects
DMD: Distance Measuring Device
DPT: Devlet Planlama Teşkilatı
ERIM: Environmental Research Institute of Michigan
FLIR: Forward Looking InfraRed
FOV: Field of View
GPS: Global Positioning System
HSIF: Accurange High Speed Interface
LAGEOS: Laser Geodynamics Satellite
LASER: Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation
Leot: Laser Electro-Optics Technology
Lidar: Light Detection And Ranging
LORAN: Long Range Navigation
MASER: Microwave Amplification by the Stimulated Emission of Radiation
NASA: U.S. National Aeronautics and Space Administration
ODTÜ: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
OPO: Optical Parametric Oscillator
ORS: Ortadoğu Rulman Sanayi
ORS-1: Optical Ranging System
SBDC: Small Business Development Center
NEP: Noise Equivalent Power



UV: Ultra Violet

YAG: Yttrium Aluminium Garnet

VLBI: Very Long Base Interferometry

D: sabit kalan genişlik mesafesi

d_k : lazer kaynağı yarıçapı

λ : dalga boyu

D₁- D₂: triangulation metodunda ışın uzunluğu

b: triangulation metodunda iki lazer arası mesafe

d: hedef uzaklığı

δ : faz değişimi

S: bağıl yol

θ : ışın-yol arasındaki açı

Δf : doppler kayması

f: ışının frekansı

c: ışık hızı

ϕ_r : faz kayması

f_{mod} : modülasyon frekansı

t: ışının uçuş süresi

Y: Yansıma yeteneği

d_t : anten çapı

θ_d : ışının ayrılma açısı

K_d : detektör hassasiyeti

t_o : detektörün zaman sabiti

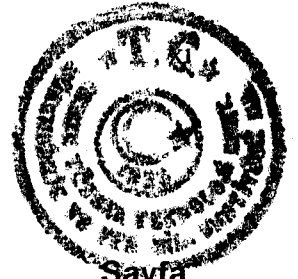
D(λ): detektörün dalga boyu cevabı

R: direnç

C: kondansatör

t_m : monostable süresi

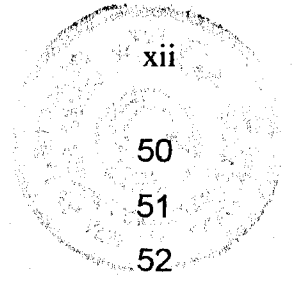
ŞEKİLLER DİZİNİ



Sekil

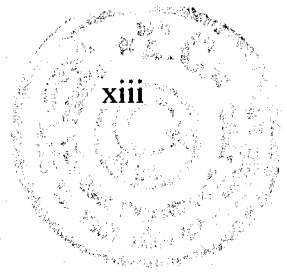
Sayfa

2.1. Dalga boyları ve özellikleri	4
2.2. Enerji seviyesi diyagramı	6
2.3. 21.yüzyıl miğfer örneği	13
2.4. Laserle mesafe bulma	14
2.5. Laserle hedef takibi	15
2.6. Laserle güdümlü mühimmat yönlendirme	15
2.7. Ayna kullanmadan yapılan triangulation metodu	21
2.8. Hareketli ayna ile triangulation metodu	22
2.9. Mesafe ölçmek için hazırlanan michelson interferometre şematik diyagramı	24
2.10. Işın modülasyon telemetri ile mesafe ölçümü şekli	28
2.11. Faz karşılaştırması	29
2.12. Zaman ölçme tekniği blok diyagramı	31
2.13. Köşeli küp reflektor	31
2.14. Ön kenar algılama ile zaman ölçümü	32
2.15. Ön kenar algılamada eşik değeri kullanılarak yapılan ölçüm	32
2.16. Alıcı sinyalin gönderici sinyalden farklı değerinde olması ile oluşan hatalar	33
2.17. Yardımcı olmayan hedef şekli	34
2.18. Gönderici anten-yansıma optiği	34
2.19. Gönderici anten-kırılma optiği	35
2.20. Alıcı optik sistemleri	36
3.1. Accurange 4000-LIR sensörü	40
3.2. Örnek bir mesafe ölçme cihazı	41
3.3. Havadan yeryüzü tarama uygulaması	42
3.4. Sayma ve görüntüleme devresi	43
3.5. Zaman diyagramı	44
3.6. Mesafe bulucu monte edilmiş tekerlekli sandalye	46
3.7. Diyot Pompalı Nd:YAG mikroçip lazer	47
3.8. Mikro lazer mesafe bulucu dizaynı	48



4.1. Nd:YAG soğurma spektrumu	
4.2. xenon ve krypton lambalarının spektrum çıkışları	50
4.3. Soğurma spektrumu uygunlukları	51
4.4. Güç harcaması karşılaştırması	52
4.5. Lazer diyotların değişik sıcaklıklardaki çalışma ömürleri	53
4.6. Analog Modules 755 model alıcı	55
4.7. Tasarlanan devrenin blok şeması	56





ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Lazer elementleri ve dalga boyları	10
2.2. Lazerin göze verdiği zararlar	18
2.3. Mesafe ölçüm metotları	20
3.1. ASV-ALV yapım özellikleri	37
3.2. ORS-1 özellikleri	37
3.3. Acuity Research cihazı	38
3.4. Genel karşılaştırma	39
3.5. ODTÜ'nün çalışması	40
4.1. Yarı iletken lazer materyalleri	52
4.2. Analog Modules 750 serisi özellikleri	55



1. GİRİŞ

İnsanlığın yaptığı teknolojik atılımlar, insanların duydukları ihtiyaçlar doğrultusunda ortaya çıkmaktadır. Her yeni buluş birbirini tetiklemekte ve insanların başta hayal edemeyecekleri buluşlar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmaların insanlara sağladığı çok büyük faydaları bulunmaktadır. Kimisi bir işi yaparken daha az vakit ayırmamızı sağlarken; kimisi de daha az güç harcamamızı sağlayabilmektedir. Bazı çalışmalar da vardır -ki bana göre bu faydalardan en önemlisidir- insan sağlığını tehlikelerden korumakta ve emniyetini arttırmaktadır. Özellikle inşaat, madencilik, nükleer çalışmalar, madde işleme, askeri uygulamalar, radyasyon ve kimyasal atık içeren çalışmaları tehlikeli çalışmalar olarak örnek verebiliriz.

Yukarıda saydıklarımız dışında artık insanlar; taşınabilir, veri haberleşmesi sağlayabilen, kendi hata kontrolünü yapabilen, algılama yeteneği olan sistemleri içeren akıllı makineler yapmaya çalışmaktadırlar.

İnsanlığın uğraştığı yüksek teknoloji alanlarından biri de optik çalışmalardır. Bu alanda yapılan en büyük buluşlardan biri “LAZER”dir. Türkçe’de lazer olarak kullanılan bu kelimenin aslı ingilizce “Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation” kelimelerinin baş harflerinden oluşan “LASER” kelimesidir. Uyarılma ile elde edilen radyasyondan kaynaklanan kuvvetlendirilmiş ışık anlamına gelmektedir.

1960’lı yıllardan beri süregelen bilimsel araştırmalar sonucunda, bugün dünya üzerinde başta tıp ve askeri alanlarda olmak birçok alanda uygulama alanı bulunan lazerli sistemler oluşmuştur.

Elektrik ve elektronik mühendisleri ile fizik mühendislerinin de katkılarıyla bu sistemlerin sayısı artmakta ve yeni özellikler ortaya çıkmaktadır. Bu ortak çalışma alanına optoelektronik çalışmaları adı verilmiştir. Gün geçtikçe bu alanda çalışanların sayısı artmaktadır. Yüksek teknoloji gerektirdiği için genellikle

ekonomik düzeyi yüksek, gelişmiş ülkeler çalışmalara öncülük etmektedir. Maalesef ülkemiz için çalışmaların yeterli olduğu söylenemez. Ciddi olarak uğraşan kurumların başında ASELSAN ve TÜBİTAK gelmektedir.

Lazerler, fiber optik, karalı ölçme, bar kod okuma , kesme, son şekil verme ile metal ve metal olmayan malzemelerin imalatı gibi endüstriyel uygulamaların hayati bir parçası haline gelmiştir

Diğer uygulamaları, askeri amaçlı mesafe ve hız ölçme sistemleridir. Bir başka kullanılan alan ise tıp alanıdır. Bugün göz kusurlarının lazerle düzeltilmesi sıradan işlem haline gelmiştir. Gene günümüzde karaciğer, kalp ve mide ameliyatlarında bir Nd:YAG lazeriyle çalışan fiber optik aygıt kullanılmaktadır. Lazer ışını değişik dalga boylarına ayarlanarak doku kesme, kanamayı durdurma ve damar düğümlleme işlemleri yapılabilen, hastalıklı dokular ve tümör hücreleri seçilerek yok edilmektedir. Lazer ışını diş çürüklerinin tedavisi için de ideal bir araçtır. Işın çok küçük bir alana odaklanarak dişin sağlıklı kısımlarına dokunmadan çürümüş kısma müdahale edilir (Cora, 2002).

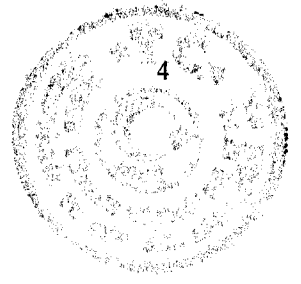
Bu tezin konusu olan lazerle mesafe ölçümü de optoelektronik alanının ortaya çıkardığı gelişmelerdendir. Dünya literatürüne İngilizce "lazer range finder" olarak giren bu aletler gelişmiş teknolojik sistemlere, çok yüksek hızlı elektronik devre elemanlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu sistemleri kurmak da maliyetlidir. Bu nedenle çok az ülkede yapımı gerçekleştirilebilmektedir. Türkiye'de ASELSAN ciddi olarak bu konuda uğraşmaktadır.

Sistemi gerçekleştirmek için cebir, trigonometri, lazerler, darbe üretme devreleri ve elektronik devre elemanları hakkında bilgiye sahip olmak gerekir. Lazerler günümüzde mesafe ölçümünde medikalden askeriye kadar bir çok alanda kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları, askeri menzil tespiti, yeryüzü alan ölçümü, harita çizimi, hedef tarama, kalite kontrol sistemleri, ölçme uygulamaları (kalınlık ölçümü vb.), robot teknolojisi, 3 boyutlu tarama sistemleri, uzay çalışmaları, yarı iletken endüstrisi, akıllı otomotiv yapımıdır.

Sağladığı faydalar açısından lazerle mesafe ölçümü çoğu alanda tercih edilmekte, bazen de bu kullanılabilecek tek teknik olarak ortaya çıkmaktadır. En büyük avantajı ölçülecek uzaklıktaki maddeye elle temas edilmemesidir. Diğer metotlara göre daha hızlı sonuç alınmaktadır. Çok küçük mesafeden kilometrelerce uzaklığa kadar ölçüm yapılabilmektedir.

Uzaklık mesafesine göre farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklerden de bahsedilecektir.





2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Lazerler

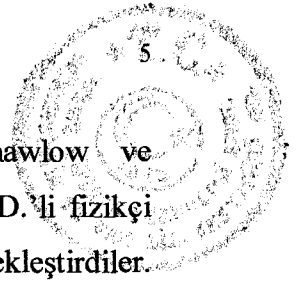
Lazer kavramının tarihçesini 1917 yılında ortaya atılan uyarılmış yayma ilkesine dayandırabiliriz (Metiner, 1998). Daha sonra 1940'lı yıllarda Valentin A. Fabrikant doktora tezinde "moleküler kuvvetlendirmenin" mümkün olup olamayacağını tartışıyordu (Cora, 2002).

Mikrodalga spektrumunda elektromagnetik dalgaların kuvvetlendirilmesini sağlamak daha kolay olduğu için uyarılmış emisyonla kazanç elde edebileceğini gösteren ilk düzenler mikrodalga düzenleri yani "mazer"ler olmuştur. 1953'te A.B.D.'li fizikçiler C.H. Towness ve A.L. Schawlow mikrodalga frekansına uyarlamaya çalışarak mazeri gerçekleştirdiler. Adı geçen kişiler mikrodalga şeklinde değil de ışık şeklinde lazer kavramını teorik olarak savundular. İlk mazer 24 Ghz'lik bir amonyak düzeneği idi ve 1954 yılında Columbia Üniversitesi'nde James P.Gordon, Townes ve Herbert J.Zeiger tarafından çalıştırılmıştı (Metiner, 1998). Bu uygulama aynı prensiplerin görülebilir dalga boylarına uygulanıp uygulanamayacağı tartışmalarını başlattı. Bunu güçleştiren birkaç sebep vardı:

- 1-Dalga boyu azalırken pompalama ihtiyacının artması
- 2-Görülebilir dalga boylarında tek modlu bir boşluk (kavite) meydana getirilmesi
- 3-Yeterince yüksek quantum veriminde görülebilir geçişlere sahip materyallerin yerleştirilmesi.

	Radyo Dalgaları	Mikro Dalgalar	Kızılötesi	Görünür Tayf	Morötesi	X Işınları	Gama Işınları	
Dalga boyu	100km	300mm	0.3mm	0.7mm	0.4mm	0.03mm	0.1nm	1.0pm
Frekans (Hz)	$3 \cdot 10^3$	10^9	10^{12}	$4.3 \cdot 10^{14}$	$7.5 \cdot 10^{14}$	10^{16}	$3 \cdot 10^{18}$	$3 \cdot 10^{20}$
Quantum enerjisi (ev)	$1.2 \cdot 10^{-11}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-3}$	1.8	3.1	40	$1.2 \cdot 10^4$	$1.2 \cdot 10^8$

Şekil 2.1. Dalga boyları ve özellikleri (Metiner, 1998).

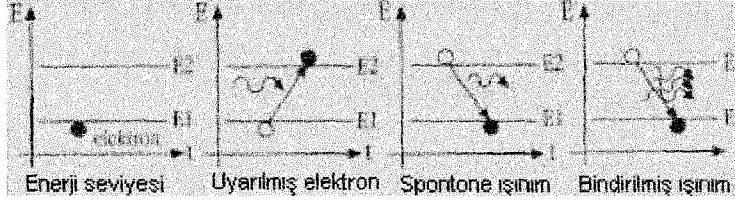


1954'te Robert H.Dicke, 1957'de Gordon Gould, 1958'de Schawlow ve Townes'un yaptığı önemli çalışmalar sonunda 16 Mayıs 1960'da A.B.D.'li fizikçi Maiman ve arkadaşları "pembe" bir yakut çubukta lazer etkisini gerçekleştirdiler. Maiman'ın basit ve mükemmel bir deneyle gösterdiği lazer etkisi lazerle ilgili gelişmelerin yönünü değiştirdi. Daha sonra Sorakin ve Tevenson dört durumlu bir materyalde lazer etkisini gösteren ilk kişiler oldular (Cora, 2202). 1963 yılında ilk gaz lazer (Helyum-Neon) yapıldı. 1960'da Ali JAVAN, William R.Bennet ve Donald Herriot He-Ne lazeri, 1964'te Joseph Geusic, H.M.Marcos ve Le Grnd Von Uitert Nd:YAG'da ve William Bridges argon-iyonda lazer etkisini elde ettiler (Cora, 2002). Teknolojinin optik, elektronik, fizik ve kimya alanlarındaki gelişmelerine bağlı olarak çok çeşitli lazer türleri ortaya çıkmıştır. Bugün lazerler katı, sıvı, gaz ve plazma materyallerinde ve hemen hemen tüm dalga boylarında elde edilebilmektedir.

Bütün lazerler , osilasyonlara ve kuvvetlendirmeye benzer bir şekilde giriş gücünü yayılan ışığa dönüştürecek bir aktif malzeme içinde ışını ileri geri yansıtacak geri beslemeli bir optik sistem ve bir çıkış mekanizmasına sahiptir. Birçok lazer 3 önemli elemanla yapılır. Bunlar kazanç elemanı, pompalama kaynağı ve bir rezonans boşluğudur. Kazanç elemanı uyarılmış emisyonu katkıda bulunan enerji seviyelerinin bulunduğu yerdir. Bu materyal katı (Nd:YAG, yakut, zümrüt, AlGaAs/GaAs), sıvı (boya), gaz (kripton, argon, CO₂) veya plazma (X ışını, serbest elektron) olabilir. Pompalama kaynağı, uyarılmış emisyonun meydana gelmesi için gerekli enerji seviyelerini sağlar. Lambalar veya diğer lazerler (birçok katı hal lazeri) optik olarak, bir p-n eklemi (yarı-iletken diyotlar) kullanılarak elektriksel olarak veya bir elektrik deşarjı (gaz lazerlerin bir çoğu) ya da kimyasal bir reaksiyonla (HF, iyodin vs.) pompalanabilir. Rezonans boşluğu fotonlar için yenileyici bir yol oluşturur. Rezonans boşluğunun fonksiyonları; fiziksel olarak lazeri daha kısaltmak ve elektromagnetik mod profilini uydurmaktır (Cora, 2002).

Her elementin atom yapısında yalnız o elemente özgü olan elektron yerleşim düzeni vardır; yani o elementteki atomların elektronları kararlı yörüngeleri olan belli bir enerji düzeyinde bulunurlar. Yörüngelerinde kararlı olarak bulunan elektronların, dışarıdan gelen bir enerji ile uyarılıp bir üst yörüngeye çıkarak tekrar eski kararlı

konumuna dönmesi sırasında aldığı enerjiyi dışarı salma işlemi lazerin ana prensibini oluşturmaktadır.



Şekil 2.2. Enerji seviyesi diyagramı.

Lazer kaynağı olarak kullanılan malzemenin (kristal, gaz, sıvı) yapısını oluşturan atomların en son yörüngelerindeki elektronları dışarıdan enerjilendirilerek (pumped) bir üst yörüngeye çıkması sağlanır. Verilen enerji kesildiği zaman elektron tekrar kararlı konumuna geçer (bir alt yörüngeye düşer). Bu sırada kazanmış olduğu enerjiyi foton şeklinde yayar. Yayılan bu enerji lazer kaynağının iki tarafında bulunan yansıtıcı aynalar vasıtası ile kendi ortamında döndürülür. Bu işlem elektronların tekrar tekrar uyarılması ile devam eder. Böylece eş fazda şiddeti çok artarak uyarılmış ve o atomun frekans (renk) karakteristiklerini taşıyan güçlü bir ışınım (foton demeti) elde edilir. Tek dalga boyunda yoğunlaştırılarak yönlendirilmiş lazer ışığı ~ %25 geçirgen olan aynadan dışarı çıkar.

Lazer ışığı üretilen ortamdan birim anahtarlama zamanında açığa çıkan enerjiye Q değeri ve bu işleme Q anahtarlama denir. Q anahtarlama metotları döner aynalar (1000 dönme/sn.), elektro-optik ve akustik-optik şekillerinde olabilir. Elektro-optik ve Akustik-optikte çalışma prensibi, polarizasyon kuramlarının çeşitli uygulamalarına dayanır.

2.1.1. Lazer Işığının Özellikleri

Lazer ışığını diğer ışın türlerinden ayıran 4 önemli özelliği vardır.

1-Tek renklilik (monocromaticity): Bir mumun veya akkor telli elektrik ampulünün yaydığı ışık tek renkli değildir. Beyaz ışık birçok renkten (dalga boyundan) oluşan polikromatik bir ışık demetidir. Bu kaynaklardan çıkan ışınlar bir prizmadan geçirilirse birçok renge ayrıldığı görülür. Monokromatik (tek renkli) ışık



ise tek bir renkten (dalga boyundan) oluşmuştur. Bir grup fotonun tek bir frekansa sahip olması anlamına gelir. Tipik olarak bir lazer rengi merkezi dalga boyu ile karakterize edilir. Gerçek uygulamada dalga boyu ve frekans kullanılır.

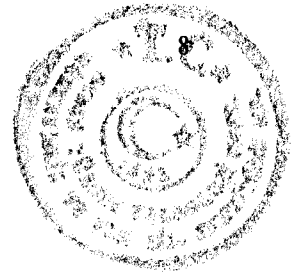
2-Bağdaşıklık (coherency): Lazer eş fazlı (coherent) yayılım yapar. Birden fazla dalga boyu ihtiva eden güneş ışığı veya bir lambadan yayılan ışık ise eş fazlı olmayan (incoherent) yayılım yapar. Yani demet içinde bütün ışınlar aynı fazda bulunmazlar. Bunlar çeşitli veya tek dalga boyundan oluşan her yöne yayılma/dağılma özelliği gösteren ve mesafeye bağlı olarak şiddetini çok çabuk kaybeden ışıklardır. Monokromatik bir ışık kaynağını oluşturan ışınların dalgalarının tümünü aynı frekansta ve aynı fazda titreşmesi özelliği gösterir. Lazerler kızılötesinden (IR) başlayıp morötesine (UV) kadar uzanan ışık şiddeti artırılmış eş fazlı ışınımlardan oluşan ışın demetleridir.

3-Şiddet yüksekliği: Bir ışık kaynağının şiddeti bir yüzeye birim zamanda ulaştırdığı enerji ile ölçülür. Bir noktaya gelen dalgalar aynı fazda olmaları halinde birbirlerini kuvvetlendirir, zıt fazda olduklarında da birbirlerini zayıflatırlar. Lazerin haricindeki ışınlar bağdaşık olmadıklarından lazere göre oldukça zayıftır. Mesela güneş ışığının şiddeti 100 W/m^2 iken en zayıf lazer ışının şiddeti 10^8 W/m^2 dir (Cora, 2002).

4-Doğrusallık (Directivity): Lazer ışınları oldukça uzun bir mesafeyi sabit genişlikte bir ışın demeti olarak alır. Bu mesafeden sonra genişlemeye başlar. Yapılan çalışmalar genişliğin sabit kaldığı mesafeyi kaynak çapının karesinin , yayılan ışığın dalga boyunun 4 katına oranına eşit olduğunu ortaya çıkarmıştır.

$$D = d_k^2 / 4\lambda \quad (2.1) ;$$

D, genişliğin sabit kaldığı mesafe; d_k , kaynak çapı; λ , ışının dalga boyudur (Cora, 2002).



2.1.2. Lazer Türleri

Lazerleri 4 ayrı kategoride değerlendirebiliriz.:

- 1-yarı-iletken lazerler
- 2-gaz lazerler
- 3-katı lazerler
- 4-sıvı lazerler

1-Yarı iletken Lazerler:

Bir enjeksiyon lazer diyotudur. Yarıiletken malzemenin arakesit yüzeyinde negatif ve pozitif olarak zenginleştirilmiş bölgenin yüksek elektrik akımı ile uyarılması sonucunda, yarıiletken malzemenin özelliğini taşıyan fotonlar yayılmaya başlar. Fotonların lazerlerin çalışma prensipleri başlığı altında anlatılan benzer bir teknikle toplanarak açığa çıkartılması işlemi yarı iletken lazerleri oluşturmaktadır. Bu tip lazerler bir tuz kristali büyüklüğünde kaynağa sahip olabilirler. Bu alanda Gallium Arsenide en çok kullanılan yarı iletken lazerdir (Metiner, 1998).

Yarıiletken lazerler %50'den fazla bir verimlilikle çalışabilmektedir. Çıkan ışığın miktarını kontrol etmek için , uyarma mekanizması olarak diyottan DC akım geçirilir.Bu DC akım kolayca modüle edilebilir.

2-Gaz Lazerler:

Aktif olarak Helium Neon gazlarını kullanırlar. Gaz her iki ucunda son derece yansıtıcı ayna bulunan silindirik bir tüpte saklanır. Aynaların biri %100 yansıtıcı diğeri ise çıkış kuplaj sistemi olarak az bir miktar ışık geçirir. Çıkış ışını sürekli. Gaz lazerleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

a.Atom lazerler:

- Asal gaz (He,Kr,Ne,Ar,Xe)
- Metal buharı (Pb,Sn,Zn,Cd)

b. İyon lazerler:

- Asal elementli (He, Kr, Ne, Ar, Xe)

-Metal buharlı (Pb, Sn, Zn, Cd)

c. Molekül lazerler: (CO, CO₂, N₂, CH₃F, ...)

Silindirik cam veya kuartz tüp içerisine yerleştirilen asal gazlar, gaz karışımları ve metal buharları gaz lazerlerini üretmek için kullanılırlar. Gaz lazerler ultraviyole ışık, elektron tabancası, elektrik akımı ve kimyasal reaksiyonlar kullanılarak pompalanmaktadır. Helyum-Neon gaz lazeri yüksek frekans sabitliği (saf rengi) ve en az dağılma olan ışın demetine sahiptir. Karbondioksit lazeri (dalga boyu 10,6µm.) tesirli ve sürekli güç alınabilen lazerdir.

3-Katı Lazerler:

Genellikle az katkılanmış kromlu bir yakut alüminyum oksit çubuğudur. Çubuğun uçları mükemmel paraleldir ve altın gibi mükemmel yansıtıcı bir malzeme ile kaplanmıştı. Çıkış olacak uç diğerine göre daha az yoğun malzeme ile kaplanmıştır. Yakut çubuk uyarıldığında atomları enerji seviyelerini değiştirirler. Böylece enerji fotonlar ışınlarlar. Bu fotonlar daha az foton yayan diğer atomlarla çarpışırlar ve “uyarılmış emisyon” diye isimlendirilen bir reaksiyon zinciri ile sonuçlanır. Katı lazerlerin en çok kullanılan malzemeleri Ruby (yapay yakut) kristali veya Neodymium’la zenginleştirilmiş camı (Silisyum oksit bazlı) kristallerdir.

4- Sıvı Lazerler (Rhodamine 6G, 4-methylum belliferone, vb, ...):

Sıvı Lazerler organik boyaların solventler içerisinde seyreltilerek yapılan solüsyonlardan oluşmuştur. Sıvı Lazerler her hangi bir lazer kaynağı ile enerjilendirilerek meydana getirilebilir. Diğerlerine göre en önemli fark ise tek bir dalga boyu yerine kullanılan maddeye bağlı olarak belirli bir spektrumda istenen dalga boyuna ayarlanarak çalışmasıdır. Örnek olarak en önemli bilinen solüsyon Rhodamine 6G dır. Az asidik bir solüsyon olan 4-methylum belliferone 0,391µm’dan 0,567µm’ye kadar olan spektrumda dalga yaymaktadır. Bir monokromatör üzerinden geçirilerek çeşitli maddelerin analizlerini yapmakta kullanılır. Çizelge 2.1.’de çok kullanılan malzemeler ve dalga boyları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Lazer elementleri ve dalga boyları (Cora, 2002).

<u>Elmentler</u>	<u>Dalga boyları(nm)</u>
Hidrojen(H ₂)	160(ultraviyole)
Moleküler Ksenon (Xe ₂)	170
Helyum-Kadmiyum(HeCd)	441.6(görülebilir)
Argon(Ar)	514.5
Rodamin(6G)	590
Helyum-Neon(HeNe)	632.8
Ruby(Al ₂ O ₃)	694.3
Kripton(K)	752.5
Galyum Arzenid (GaAs)	910(kızılötesi)
Cam(Nd:CAM)	1060
Yttriyum Alüminyum Garret(Nd:YAG)	1064
Hidrojen Fluorid(HF)	3100
Karbon Dioksit(CO ₂)	10600
Su buharı (H ₂ O)	118600
Hidrojen Siyanid(HCN)	773000

Bazı çok kullanılan lazerlerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

1. Ruby Lazer:

- Dalga boyu : 0.6943μm., kırmızı renkte, görünür bölgede
- Lazer malzemesi: %5 Kromla zenginleştirilmiş pembe sentetik yakut
- Darbe sıklığı: Dakikada 1-10 atış, orta güçte
- Eski teknoloji /düşük verim
- Isıya ve titreşime karşı aşırı hassas

2.Nd-Glass Lazer:

- Dalga boyu : 1.064 μm.,kızılötesi bölgede
- Lazer malzemesi: Neodymium'la zenginleştirilmiş cam çubuk
- Darbe sıklığı: Saniyede 1-5 atış, Orta güçte
- Eski teknoloji
- İnsan gözünde retinaya etkili
- Nd-YAG lazerlere göre verimi düşük



3. Nd- YAG Lazer:

- Dalga boyu :1.064 μm ., kızılötesi bölgede
- Lazer malzemesi: Neodymium'la zenginleştirilmiş Yitrium Aluminium Syntetic Garnet
- Darbe sıklığı: 20 Hz/ns Max, orta güçte
- Çok fazla kullanılan sorunsuz bir teknoloji
- İnsan gözünde retinaya etkili
- Optical Parametric Oscillator (OPO) ile dalga boyu 1,58 μm . ye yükseltilerek insan gözünde retinaya etkisiz hale getirilmektedir.

4. Er- Glass Lazer:

- Dalga boyu : 1,54 μm ., kızılötesi bölgede
- Lazer malzemesi: Erbium'la zenginleştirilmiş cam çubuk
- Darbe sıklığı: Dakikada 10 atış, Orta güçte
- Geliştirilmekte olan bir teknolojidir.
- İnsan gözünde retinaya etkisiz

5. CO2 Gaz Lazer:

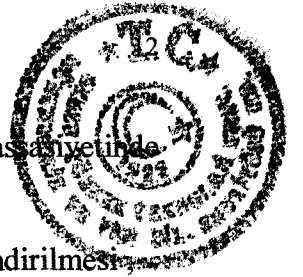
- Dalga boyu :10,6 μm ., kızılötesi bölgede
- Lazer malzemesi: Karbondioksit
- Darbe sıklığı: Sürekli, yüksek güçte
- Atmosferik geçirgenlik bu dalga boyundan çok yüksektir..
- Boyutları büyüktür
- Bakım onarım zorluğu vardır.
- Şok ve darbelere dayanıksızdır.

2.1.3. Lazer Uygulamaları

Lazerler; endüstride, bilimsel araştırmalarda, haberleşmede, tıp ve askeri alanlarda gün geçtikçe daha da önemli olmaktadır. Bu konulardaki uygulamalara birkaç örnek vermek gerekirse;

Endüstride:

- Her türlü malzemeyi çok hassas bir şekilde kesme, delme, eritme, lehimleme ve şekil verme işlemleri ,



- Mikroelektronikte dirençlerin aktif veya pasif olarak 0,01% hassasiyetinde üretilmeleri,
- Çip üretiminde hat kalınlıklarının 0,25 μm 'den az olarak desenlendirilmesi,
- Yeni maddelerin analiz işlemlerinin yapılması,
- Yüksek ve uzun yapıların düzgünlüğünün ölçümü,
- Yüzey sertleştirmelerinde

Bilimsel araştırmalarda:

- Çok hassas bilimsel ölçümlerde (ışık hızı ölçümü),
- Yerküre üzerindeki hareketlerin hassas ölçümü,
- Malzemelerin kimyasal analizlerinde

Haberleşmede:

- Yeryüzü ile uydular arası haberleşme sistemlerinde,
- Dünya üzerindeki haberleşme ağına fiber-optik sistemlerle birlikte kullanılması,
- Yüksek yoğunlukta ses ve görüntü bilgileri depolanması (compact disc, video disc),

Tıp alanında:

- Zarar görmüş dokuları keserek almak,
- Yaraları iyileştirmek,
- Kanamayı durdurmak,
- Göz retinasında oluşan zedelenmeleri gidermek,

amacıyla kullanılmaktadırlar.

2.1.4. Lazerlerin Askeri Uygulamaları

Lazerin askeri uygulamalarını ayrı olarak incelemek konunun önemini belirtmek için daha faydalı olacaktır. Lazerler askeri alanda gün geçtikçe önemini arttırmaktadır. Lazer mesafe bulucu kullanılan silah ilk kez Vietnam savaşında kullanılmıştır (Milonni and Eberly, 1988). Yüksek teknolojiye sahip olan ülkeler bu

çalışmalarda önderlik etmektedir. Askeri uygulamalarda lazerleri vazgeçilmez yapan özellikler;

- Açısal hassasiyet (ışınımının doğrusal şekilde olması),
- Uzun mesafelere ulaşma (Lazer gücünün yüksek olması)
- Mesafe ölçümünde hassasiyet (darbe genişliğinin çok dar olması)
- Selektif tespit (spektral band aralığının çok dar olması sebebi ile)
- Kullanım kolaylığı (küçük boyutta ve hafif olmaları)

şeklinde kısaca tanımlanabilir.

Hatta öyle bir aşamaya gelinmektedir ki 21. yüzyıl askeri miğfer sistemi optik sistemlerle iç içe olmaktadır (Reyhan, 1998). Aşağıda buna benzer bir miğfer resmi örnek verilmiştir. Kullanıcının miğferinde önüne , arkasına, sağ ve sol tarafına konan lazer detektörleri ile askerin gördüğü veya göremediği (bakmadığı yönde) hedefin mesafesi ölçülüp, durumu tek gözünün önündeki ekrana aktarılmaktadır. Ayrıca eklenen gece gündüz görüş gözlüğü ile rahat bir görüş sağlanır. Longbow Apache helikopterlerinde buna benzer bir kask kullanılmaktadır.



Şekil 2.3. 21.yüzyıl miğfer örneği (Reyhan, 1998).

Bunun dışında günümüzde uygulanan bazı askeri uygulamalarda kullanılan lazerler ve özellikleri aşağıda bahsedilmiştir. Bunları uyguladıkları güçlerine göre yüksek güçlü ve orta güçlü olarak ayırabiliriz.

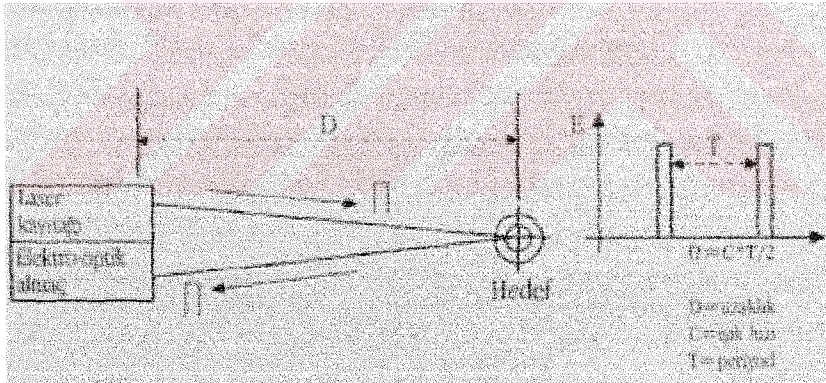


Yüksek güçlü lazerler, mega watt mertebesinde çıkış güçleri olan lazerlerdir. Bunlar yakıcı özelliklerinden dolayı ABD, Fransa ve İngiltere gibi bazı ülkelere hedeflerin direkt tahriplerinde kullanılmaktadır. Orta güçlü lazerlerin uygulama alanları ise daha fazladır. Bunlar;

- Mesafe bulma
- Hedef takibi
- Füze ve bomba güdümü
- Hedef işaretleme

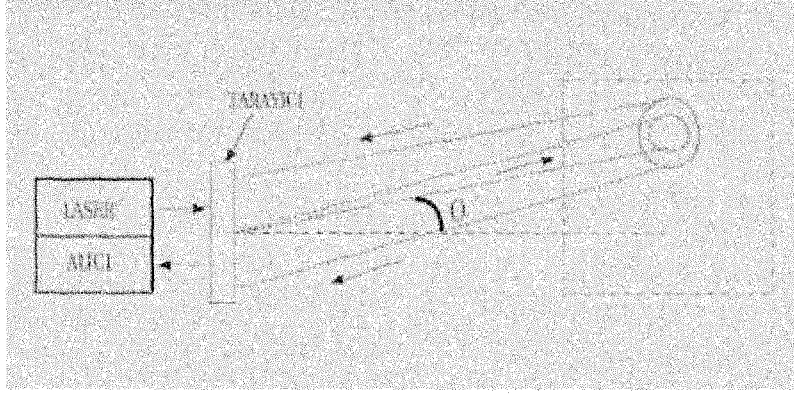
olarak sayılabilir.

Lazerle mesafe bulma sisteminde gönderilen lazer ışığı hedeften yansıyarak cihaz üzerinde bulunan bir detektör tarafından algılanır. Geçen zaman periyodu (T) basit olarak formülize edildiğinde istenilen mesafe hassas olarak bulunur (Şekil 2.4.).



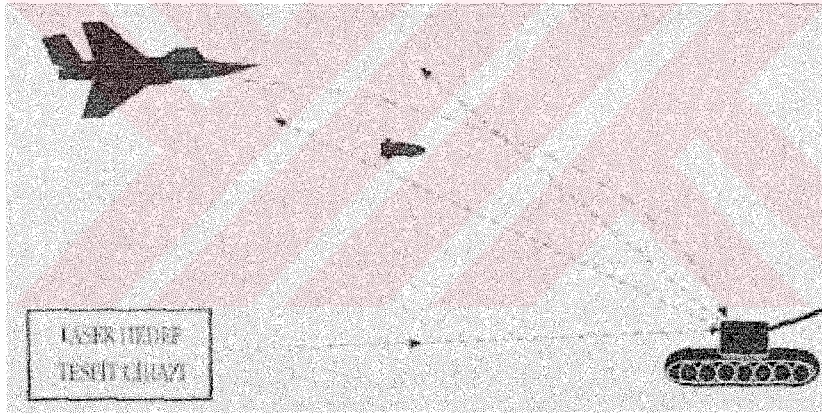
Şekil 2.4. Lazerle mesafe bulma (Metiner, 1998).

Hedef takibinde lazer, önceden tanımlanmış bir pattern üzerinden tarama yapar. Pattern içinde yansıma tespit edilirse, tarayıcının mevcut konumuna göre açı (yan-yükseliş) ve mesafe bilgileri elde edilir. Bu prensip yerden-havaya atış kontrollerinde ve lazer güdümlü füzelerde uygulanır (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Lazerle hedef takibi (Metiner, 1998).

Füze ve bomba güdümünde hedef, Lazer ışını ile ileri gözetleyici/helikopter/uçak tarafından aydınlatılır. Lazer güdümlü bomba veya füze hedeften yansıyan ışına kilitlenerek hedefe gönderilir (Şekil 2.6.).(Metiner, 1998)



Şekil 2.6. Lazerle güdümlü mühimmat yönlendirme (Metiner, 1998).

2.1.5. Türkiye’de Lazerle İlgili Yapılan Çalışmalar

Ülkemizde Aselsan bu çalışmalara öncülük etmektedir. Bu amaçla Aselsan-Akyurt tesislerinde en son teknolojileri içeren bir araştırma geliştirme ağırlıklı Elektro-optik merkezi kurulmuştur. Aselsan’ın lazer alanındaki çalışmaları sonucunda ürettiği cihazların isimleri ve kısa özellikleri aşağıda verilmiştir (Metiner, 1998).

EFES Lazer Hedef İşaretleme/Mesafe Ölçme Cihazı:

- 7° görüş açısı olan, x7 büyütme özelliğine sahip optik sistemli,
- 1,064µm dalga boyunda Nd-YAG lazer kaynaklı,
- 150 - 9995m. mesafede ±5m. hassasiyetle ölçüm yapabilen,
- Seri çıkışı ile bilgi aktarım özelliğine sahip,
- 80 mJ gücünde, 10 darbe/sn. çıkışlı işaretleme özelliğinde portatif bir cihazdır.

LH-7800 Lazer Mesafe Ölçme Cihazı:

- 7x50 büyütme özelliğine sahip optik sistemli,
- 1,064µm dalga boyunda Nd-YAG lazer kaynaklı,
- 150-9995m. mesafede ±5m. hassasiyetle ölçüm yapabilen,
- Ağırlık ve ölçüleri piyade ve topçu birliklerinin kullanımına uygun cihazdır.

IRHN-9395 Hedef Noktalama Cihazı:

- Göze zarar vermeyen ancak gece görüş cihazları ile görülebilen,
- 810-840µm dalga boyunda (IR) yarıiletken lazer kaynaklı,
- 2500m.ye kadar hedef tayinlerinde kullanılabilen, dar ışın açılmalı (0,3mRad.) cihazdır.

GLHTC Geliştirilmiş Lazer Hedef Tespit Cihazı:

- 1.58µm dalga boyunda, göze zarar vermeyen OPO çeviricili Nd-YAG lazer kaynaklı,
- 50 - 19995m. mesafede ±3m. hassasiyetle ölçüm yapabilen,
- RS-232 çıkışı ile GPS'e doğrudan bağlanma özellikli,
- Gündüz (7.3x18) /gece(4) büyütmede görüş kabiliyetine sahip ayarlanabilen artıklı,
- İstikamet açısını 5 mil ve yükseklik açısını 1 mil hassasiyetle ölçebilen hafif ve küçük bir cihazdır.

ASELFLIR-200 Avionik Termal Görüntüleme Sistemi (FLIR: Forward Looking InfraRed):

Kullanıcıya pilotaj/seyrüsefer, keşif, arama-kurtarma, otomatik hedef takibi, hedef tespit, tanıma ve teşhis kabiliyetleri sağlayan hafif, küçük boyutlu ve

çok amaçlı bir cihazdır. Açık mimari tarzındaki tasarımıyla yazılım ve donanım olarak her türlü esnekliğe sahip olup sabit kanatlı, döner kanatlı ve insansız hava araçlarında kendinden beklenen görev gereklerinin tümünü yerine getirecek yetenek ve özelliktedir. Kullanıcı isteğine bağlı olarak tek, çift ve üçlü sensör olarak konfigüre edilir. Göze zararsız lazer mesafe bulucu da eklenebilmektedir (katalog.ssm.gov.tr).

Bu yapılanlar dışında;

- Göze zararsız Lazer Mesafe Ölçme Cihazı tasarımı
- Her türlü Lazer güdümlü mühimmatın hedefe yöneltilmesi için kodlanabilir hedef işaretleme cihazları
- Termal cihazlar ile birlikte çalışan ve atış kontrol bilgisayarına bağlanabilen tank tipi lazer mesafe ölçme cihazı
- Hareketli hedefler için çok darbeli Lazer Mesafe Ölçme Cihazı

alanlarında araştırmalar yürütmektedir (Metiner,1998).

Bunların dışında Türk Silahlı Kuvvetleri'nce kullanılan Atılğan ve Bora isimli kara ve denizde hava savunmasında kullanılan sistemlerde lazerle mesafe bulucu kullanılmaktadır (mst.aselsan.com.tr).

2.1.6. Lazerli Sistemlerde Güvenlik

İlk lazerin işletmeye konulmasından veri emniyetli ve güvenilir bir çalışmanın nasıl yapılacağı daima söz konusu olmuştur. Lazerin dalga boyu, darbeli veya sürekli oluşu, gücü veya enerjisi ve mod profili gibi çıkış karakteristikleri emniyet sınırlarının tanımlanmasını son derece güçleştirir. Çalışma tecrübelerinin bir sonucu olarak bu sınırlar sürekli takip edilip gözden geçirilmekte ve düzenlenmektedir. Işının ölüme sebep olması yıllardır ölümcül etkiler yapan optik olmayan tehlikelerin aksine çok daha ihtimal dışıdır. Işın, ısıtma ve fotokimyasal etkiler yoluyla biyolojik dokuya zarar verir. Bunların her biri giriş enerjisi ve dalga boyu ile belirlenir.

Gözün ışığa hassas kısımlarının zarar görmesi derinin yanan kısımlarının kendini yenilemesi gibi yenileyemeyeceğinden göze gelecek hasarı önlemek için daha çok dikkat ve kontrol gerekmektedir.

Lazer ışınlarına maruz kalma sadece direkt ışınla sınırlı değildir. Ortamda bulunan ayna, musluk, parlak mekanik parçalar da ışını yansıtacak ve üzerimize yönlendirebilecektir. Bu tür yansımalarda her ne kadar ilk ışının tam enerjisini taşımazsa da yüksek güçlü lazerler için zararlı olabilirler (Cora, 2003).

400-1400 nm arasındaki dalga boylarında çok büyük bir göz hasarı olduğunu bilmek önemlidir. Görüldüğü gibi bu aralıkta görülmeyen dalga boyları da vardır. Bu dalga boylarında en büyük tehlike retinal hasardır, çünkü bu dalga boylarında göz saydamdır. Göz merceği lazer ışını retina üzerine odaklar. Böylece; göze giren gerçek lazer güç yoğunluğu, ışın retina üzerine ulaşmadan önce 105 kat kadar artmış olabilir ve retinada absorbe edilir. Bu aralığın dışındaki dalga boyuna sahip olan lazerler korneada, mercekte ve saydam tabakada absorbe edilir.

Ayrıca 780-1400 nm aralığı deri yanması oluşturur. Çizelge 2.2.'de zarar verilen yerler gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Lazerin göze verdiği zararlar (cord).

Spektrum Aralığı	Dalga boyu (nanometre)	Frekans ($\times 10^{14}$ Hz)	Gözde Zararlı Olduğu Bölge
Uzak UV	20–320	150–9.4	Kornea
Yakın UV	320–390	9.4–7.7	Lens, Kornea
Görülür	390–750	7.7–4.0	Retina
Yakın IR	750–1400	4.0–2.1	İris, Retina
Yakın-Orta IR	1400–3000	2.3–1.0	Kornea, Retina
Uzak-Orta IR	3000–500,000	1.0–0.006	Kornea

2.1.7. Lazerli Sitemlerde Zararlardan Korunma

Lazerleri fabrikada kullanmakla ilgili bir problem makinenin civarında çalışan insanların şiddetli lazere veya mevcut ışık ışınlarına karşı korunmasıdır. Çünkü bu lazer veya ışık ışınları göze zarar verir bu yüzden birçok endüstriyel

uygulama tamamen kapalıdır. Kapalı bir lazer sistemi, lazerlerin bulunduğu alanda çalışmak zorunda olan insanların gözlerine zara vermesini önleyecektir.

Genellikle kişiler bazı nedenlerden dolayı koruyucu lazer gözlüklerini çıkardıkları için zarar görürler. Lazerlerle çalışan herkes için tavsiye edilen göz koruması, lazerin spektral bölgesinde son derece absorbe edici bir çift gözlüktür. Görülebilir lazerler için bu daha zordur. Çünkü gözlük, görülebilir spektrumda görme kabiliyetini azaltılabilir (özellikle boya lazerler). Yeşil argon lazerde gözlük kullanıcı klasik yeşil fosforlu osiloskop kullanamaz. Her dalga boyu için farklı tip gözlük kullanılır.

Birçok lazer deriye hasar verebilir. Bu, özellikle excimer, CO₂ lazerleri için geçerlidir. Bundan Korunma kolaydır. Yanmayan uzun kollu gömlekler ve eldivenler çok zaman yeterlidir (Goldwasser, 2003).

2.1.8. Uluslararası Lazer Standartları

Lazerlerle ilgili iki önemli standart vardır: İngiliz standartlarından “BS EN 60825” (1992 Radiation Safety of Lazer Products, Equipment and Classification Requirements and User Guide) ile Amerikan Standardı olan “ANSI-Z-136” (Standart for the Safe Use of Lasers)dır (Cora, 2003).

2.2. Lazerle Mesafe Ölçümü

Lazerlerin kullanıldığı alanlardan birisi de mesafe ölçümüdür. Birçok endüstriyel ve askeri uygulamada kullanılarak mesafe problemlerine pratik çözümler getirmektedir. Kullanılmak istendiği uygulama tipine, ölçülecek mesafe uzaklığına göre değişik metotlar ve lazer tipleri kullanılmaktadır. Çizelge 2.3.’te bunlar gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Mesafe ölçüm metotları.

Metot adı	Kullanılan Lazer Tipi	Mesafe	Uygulama Tipi
Interferometri	He-Ne	metre (kapalı mekan)	makine alet kontrolü, düzlem pürüzü, sismik ve coğrafi alanda
Lazer doppler	He-Ne	100 metreye kadar(mekan içi)	makine alet kontrolü, düzlem pürüzü, titreşim
Işın modülasyon telemetri(Faz karşılaştırması)	He-Ne,AlGaAs	km'ye kadar	alan ölçümleri
Zaman ölçme metodu	Q-switched solid state	Km'lerce	uydu ölçümü,askeri uygulamalar

Kullanılan tekniğe göre de lazerden sürekli (CW-continous wave) veya darbeli (pulsed) sinyal gönderilir.

Bu teknikleri incelemeden önce çok eskiden beri kullanılan üçgen trigonometrisine dayanan tekniği anlatalım.

2.2.1. Triangulation Metodu

Bu metod çok eski bir metottur. Trigonometrinin temeli antik çağlarda atılmıştır. Lazer bulunmasından önce bu metotla mesafe ölçülüyordu. Fakat lazer ile daha kesin sonuçlar elde edilmiştir (Gülmez, 1999). 3-5 cm'lik doğru ölçümler için kullanılır. 1 metreye kadar ölçebilir. Mesafe arttıkça doğruluk oranı düşmektedir.

İki teknik kullanılmaktadır. Birincisinde yansıtıcı veya kırıcı ayna olamadan sadece lazer kullanılır. Bu bir örnekle açıklanmaktadır (Gülmez, 1999). Bir masa ile duvar arasındaki uzaklık ölçülsün.

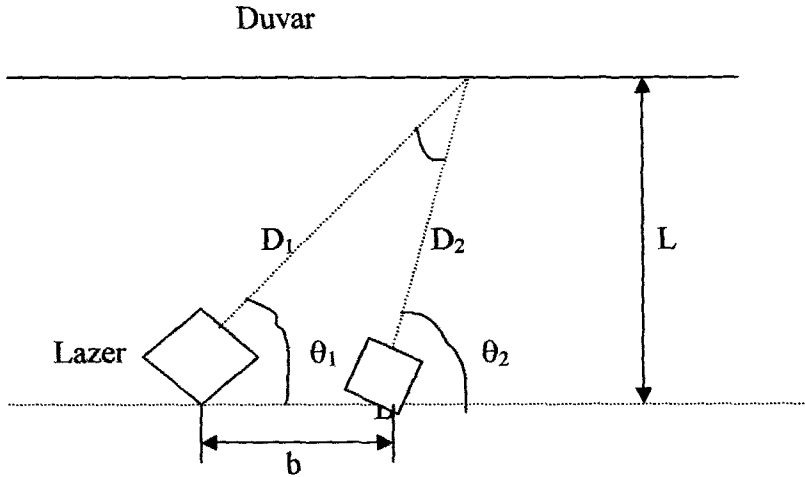
İlk önce lazer masa gibi düz bir zemine koyulur. Mesafe ölçülecek duvarda bir referans noktası seçilir. Lazerden geçecek şekilde yere paralel bir çizgi çizilir. Bu temel çizgi olarak adlandırılır (baseline). Lazer ışını hedefteki referans noktasına gönderilir. Lazer ışını ile temel çizgi arasındaki açı ölçülür. Lazer temel çizgisinde hareket ettirilir. İki lazer noktası arasındaki mesafe ölçülür. Lazer ışını tekrar hedefe gönderilir. Temel çizgisi ile arasındaki açı tekrar ölçülür.

$$D_1 = [\sin(\pi - \theta_2) / \sin(\theta_2 - \theta_1)] * b \quad (2.2.);$$

$$D_2 = [\sin \theta_1 / \sin(\theta_2 - \theta_1)] * b \quad (2.3.);$$

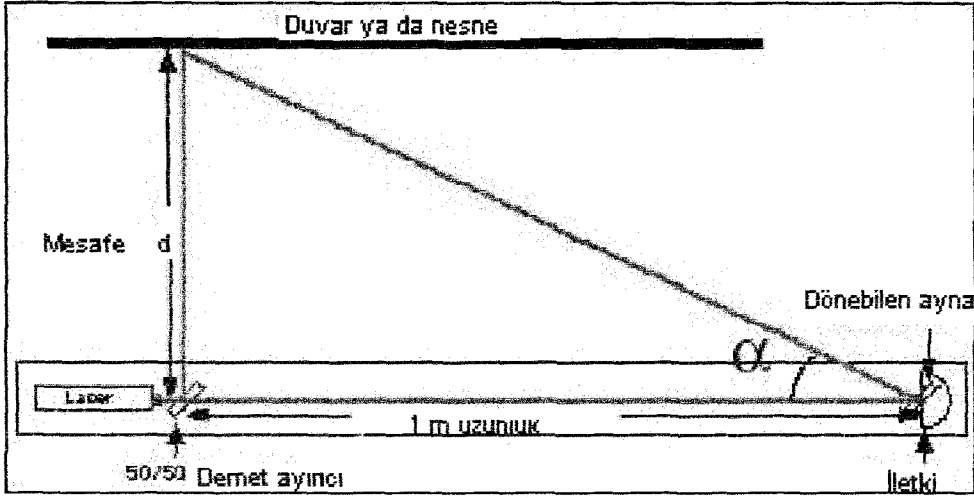
D_1 ve D_2 şekil 2.7.'de gösterilmiştir. b iki lazer noktası arasındaki mesafedir. Trigonometrik hesap ile sonuç bulunur.

$$L = D_1 * \sin \theta_1 \quad (2.4.);$$



Şekil 2.7. Ayna kullanmadan yapılan triangulation metodu.

İkinci teknik ise lazeri hareket ettirmeden ayna kullanılarak yapılan ölçümdür. Bu teknikte ışın kırıcı ve yansıtıcı dönebilen hareketli bir ayna kullanılır.



Şekil 2.8. Hareketli ayna ile triangulation metodu.

Lazerden gönderilen ışın, demet ayırıcı ile iki farklı yöne ayrılır. Biri hareketli aynaya diğeri ölçülecek hedefe gönderilir. Işın yansıtıcı aynadan yansıyan ışın hedefe doğru yönleninceye kadar ayna ayarlanır. Burada ayna açısı ölçülür. Bu açı α ile gösterilsin. Daha sonra trigonometrik hesaplarla uzaklık bulunur. Hareketli ayna ışın kırıcıdan 1 m uzaklığa konularak hesaplamada kolaylık sağlanır. Bu, şekil 2.8.'de gösterilmektedir.

$$\tan \alpha = \frac{\text{karşı dikkenar}}{\text{komşu dikkenar}} \quad (2.5.);$$

$$\tan \alpha = \frac{d}{1.0 \text{ (metre)}} \quad (2.6.);$$

Buradan;

$$d = \tan \alpha * 1.0 \text{ (metre)} \quad (2.7.);$$

$$d = \tan \alpha \text{ (metre)} \quad (2.8.) ;$$

olur. Böylece, açının tanjant değeri uzaklığın metre cinsinden değeri olur (Canaveral)

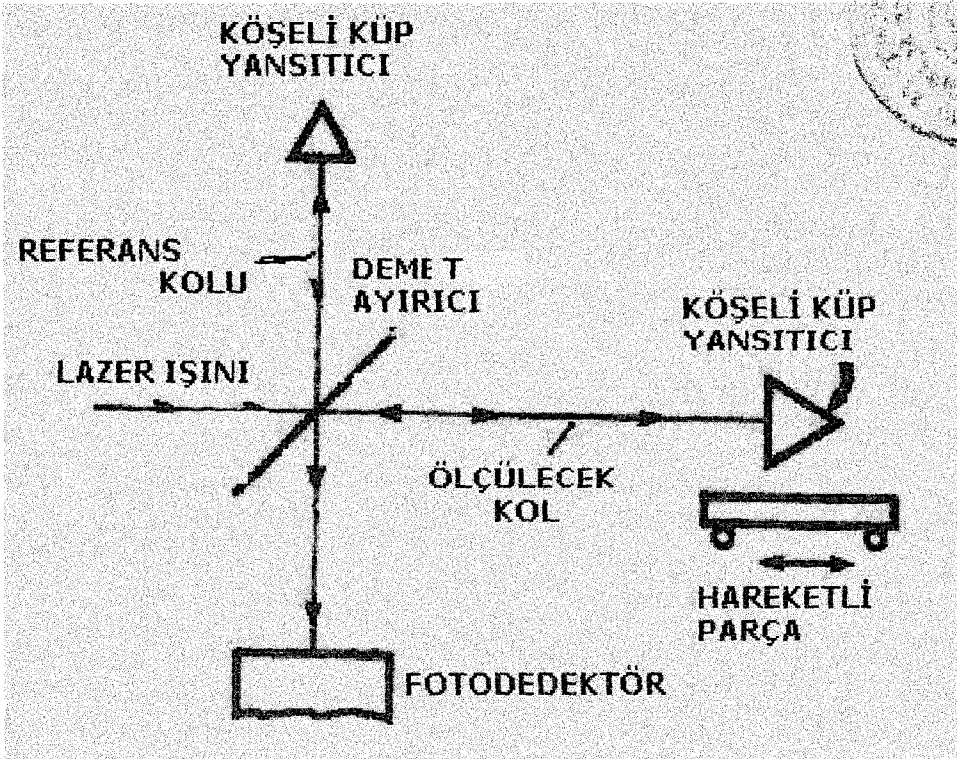
2.2.2. Girişim (Interferometric) Metodu İle Mesafe Ölçümü

İnterferometrik ölçümler yeni değildir. İnterferometre kullanılarak ilk ölçüm 1881'de Michelson tarafından yapılmıştır ve çoğu modern interferometrik mesafe ölçme sistemlerinin ana ilkesi durumundadır. Bu yapılan ilk deneyde amaç, ışığın hızının dünyanın hareketinden etkilenmediğini ispatlamaktır. Aynı deney sonra mesafe ölçümü için kullanılmıştır. O zamanlar ışık kaynağının koherent uzunluğu sınırlı olduğu için mesafe ölçümü 1m ile sınırlıydı (Hofstetter et al, 1997). Daha sonraki teknolojik gelişmeler daha hızlı, daha hassas ve daha uzun mesafede kullanılmasına izin verdi. Lazerle Michelson interferometrik tekniği 1960'larda geliştirilmiştir (Ready, 1997).

İnterferometrik ölçüm yüksek doğruluğa sahiptir. Zaman ölçme ile ışın modülasyon telemetri metotlarından daha kesin sonuçlar verir. Birkaç 10 metreden daha uzun olmayan mekan içi ölçümler için idealdir.

Çoğu lazer temelli interferometrik sistemler frekans-sabitli heliun neon lazer kullanır. Bu kullanılmazsa lazer, longitudinal modlarda çalışmasında, 10^9 hz lerde genişliğe sahip olacaktır. Frekanstaki bu yayılma girişim saçaklarının bulanık olmasına ve görünürlüğü azalmasına sebep olacaktır. Bu şekilde lazer sadece birkaç cm ölçüm için kullanılabilir. Bu metot Lazer doppler ölçümü ile rekabet içindedir.(Ready, 1997)

İlk önce kolay olması nedeniyle Michelson interferometeri ile interferometri prensibini açıklamaya çalışacağız. Daha sonra atmosferik duruma göre daha kullanışlı olan diğer geliştirilen modelleri anlatacağız.



Şekil 2.9. Mesafe ölçmek için hazırlanan michelson interfereometre şematik diyagramı (Cord-Leot sitesinden).

Lazer ışını referans ve ölçüm ışını altında ışın bölücü tarafından ikiye ayrılır. Biri referans ışını olarak bir yöne, diğeri ölçülecek yere gider. İki ışın da referans kolundaki hareketsiz ayna ve ölçülecek yerdeki hareket edebilen ayna ile yansıtılır. Pratikte ayna olarak titreşimlere karşı daha iyi sonuç alabilmek için cube corner reflektor kullanılır. Bu yansıtıcı gelen ışına paralel olarak yansıyan bir ışın meydana getirir.

İki yansıyan ışın tekrar ışın ayırıcıda birleşir ve fotodetektöre gönderilir. Detektördeki ışığın genliği referans ışını ile ölçüm ışını arasındaki faz farkına bağlıdır. Bu faz farkı nedeniyle girişim saçakları oluşur. Saçakların karakteri ışınların birleşmeden önce seyahat ettikleri optik yolun uzunluğuna bağlıdır.

Hareketli ayna belirli bir pozisyondayken detektör girişim saçığında parlak kenarı görüyor olsun. Eğer hareketli ayna ışığın dalga boyunun $\frac{1}{4}$ ü kadar hareket ederse ölçülecek koldaki ışın uzunluğu $\frac{1}{2}$ dalga boyu değişir, ve saçak düzlemi değişir bu yüzden detektör şimdi karanlık kenarı görür. Bu şekilde mesafe ölçme

ayna hareketi ile saçak değişimlerinin sayısının sayılmasından meydana gelir. Hareketli aynayı başlangıç noktasından hedef noktasına götürdüğümüzde saçakta değişimler olacaktır. Detektörün pozisyonundaki ışığın fazı 2π ile değişecektir, bu da detektörde ışıktan karanlığa karanlıktan ışığa dönüşümü oluşturur. Bir başka deyişle nesnenin hareketi ışığın genlik modülasyonuna neden olur, bu da detektörce algılanır. Elektronik devre genlik modülasyonu periyodunu sayar ve mesafe hesaplar (Ready, 1997).

Fazdaki değişim δ şu eşitlikle tanımlanır:

Faz farkı:

$$\delta = 2kS \cos \theta \quad (2.9.);$$

$$k = 2\pi/\lambda \text{ ise,} \quad (2.10.);$$

$$S = \lambda \delta / 4\pi \cos \theta \quad (2.11.);$$

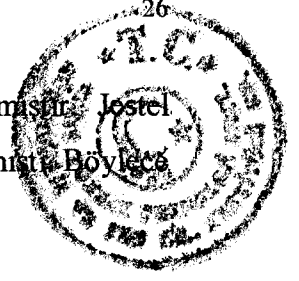
λ dalga boyu, S yol farkı, θ iki ışın ile yolun arasındaki açıdır, genelde 0 kabul edilir.

$$S = \lambda \delta / 4\pi \quad (2.12.);$$

olur. Bu denklem küçük genişlikte ışın kullana frekans-sabitli lazer kullanmanın önemini gösterir (Cord).

Uzun koherent lazer ışığı ile interferometrik mesafe ölçümleri 100 m'ye kadar ulaşabilmiştir. İntegrated optik teknolojisinin kullanımı ile küçük optik devreler fabrikada üretilebilmektedir. Çok küçük, fizikçe sağlam olarak imal edilebilmektedirler. Bu sebeple integareted optik michelson interferometreler laboratuar ve uygulama alanlarında çok cazip hale gelmiştir.

Bu yapılırken çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi Ulbers tarafından tanımlanmıştır ve ticari olarak da kullanılmaktadır (hommelwerke



Sensor GmbH), silikon çip üzerine michelson interferometeri yapmıştır. İstetel tarafından aynı entegrede iki tane IO Michelson interferometer kullanılmıştır. Böylece hareketli objeler üzerinde ölçüm yapılabilirdi (Hofstetter et al, 1997).

Monolitik integrated devre ve ikili michelson interferometer optik mesafe ölçüm cihazı gerçekleştirilmiştir. Alet DBR lazer, detektör, modülatör tek bir GaAs/AlGaAs çip üzerinde gerçekleştirilmiştir. Mesafe ölçümü dışarıdan hareketli ayna ve ışın collimation kullanılarak yapılmaktadır. Kısa mesafeli ölçümler için kullanılmaktadır. Uzun mesafede kullanılması için dalgaboyu karalılığı 10^{-6} düzeyinde elde edilmelidir (Hofstetter et al, 1997).

Ölçüm havanın kırılma indeksine göre değişir. Kırılma indeksi de hava basıncı, sıcaklık ve neme göre değişmektedir. Kuru havanın kırılma indeksi $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 760 Torr basınçta $0,03\%$ CO_2 'li havada 1,0002765'tir (Ready, 1997).

Hava durumundaki değişimler aşağıda verilen oranlarda kırılma indeksini;

- basıncıdaki 1 Torr artma ile milyonda 0.36
- sıcaklıktaki 1 derece artış ile milyonda 0.96
- su buharındaki basıncın 1 Torr artması ile milyonda 0.06 arttırır (cord).

Bu nedenle doğru ölçüm için; hava basıncı, sıcaklık ve bağıl nem dikkate alınmalı ve hesaplara katılmalıdır. Diğer hatalar cosinüs hatası, offset hatası ve preset hatasıdır. Bunlar mekanik hatalardır. Eğer ışın yolu hedef yolundan saparsa cosinüs hatası olur. 3.5 m uzunluk için $0,1$ derece açı ile cosinüs hatası 0.05 mm olur.

Eğer ölçülecek hedef tam düz değilse offset hatası oluşur. Preset hatası da yine atmosferin özelliğine bağlıdır (Ready, 1997).

Endüstride geniş bir uygulanma alanına sahiptir.

- Makine parçalarının belirlenen tolerans değerlerinde olup olmadığı ölçümünde
- Sistem sapmaları teşhisinde



- Makine parçasının hareket uzunluğunun bulunmasında
 - Uçak motoru parçalarının yapımında
 - Otomasyon sistemlerinde hareket kontrolünde
 - Hareket hızında
 - Bina titreşimlerinin ölçülmesi
 - Gerilim ölçümlerinde
 - Dünya yer kabuğundaki tektonik hareketlerin ölçülmesinde geodetik ölçüm
 - Ölçü birimlerinin (metre vb.) yapımında
- kullanılmaktadırlar.

2.2.3. Doppler Ölçüm Tekniği

Bu tekniği anlamak için önce doppler etkisini öğrenmek gerekir. Frekansı f olan bir ışık v hızlı bir yerden yansıdığı anda doppler efekti nedeniyle frekansında değişiklik olur. Doppler efekti ses dalgalarının kaynaklarının hareketlerinde gözlemlenen akustik frekans kaymasının benzeridir. Doppler kaymasının büyüklüğü;

$$\Delta f/f = 2v/c \quad (2.13.);$$

dir. c , ışığın hızıdır. v , c 'den daha küçük olduğu için, frekans kayması orijinal frekansın küçük bir parçası olacaktır (Dvornikov, 2002). Bu frekans kayması ölçülebilir ve mesafe ölçümüne çevrilebilir. Ticari modellerde bu özellik kullanılmaktadır. Interferometrik ölçüm ile karşılaştırıldığında lazer doppler metodu, hemen hemen aynı doğrulukta ve çözümde. Ama daha ucuz maliyetli ve daha basit kurulmaktadır. Mekan içinde kullanılabilmesi ve maksimum ölçebilme yeteneği interferometrik ölçümle benzerdir.

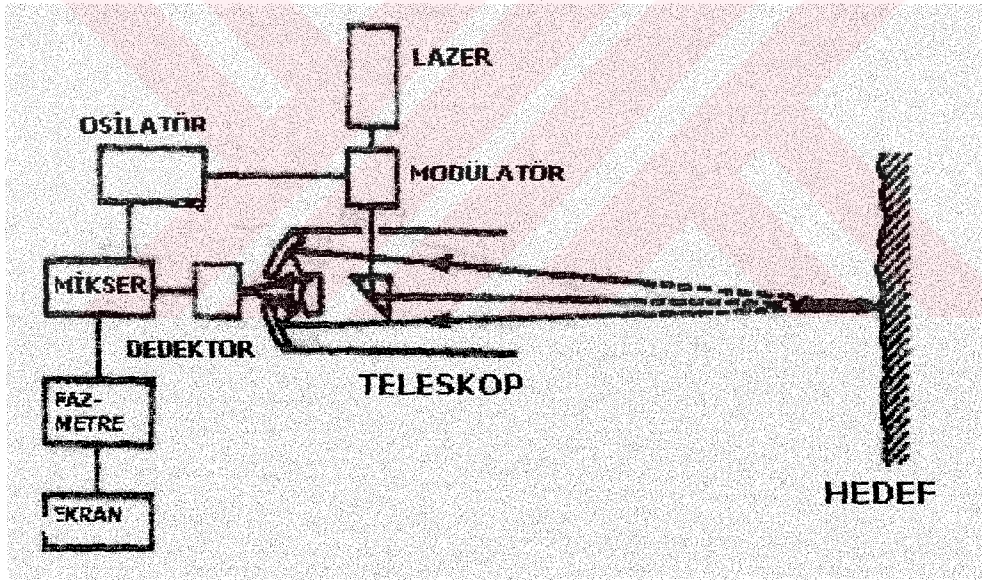
Interferometrik aletlerin yaptığı gibi hareket eden nesnedeki retroreflektör ile yansıyan ışını ölçerler. Fakat kenar sayma yerine faz kayması ölçülür. Mikro inç seviyesinde doğru ölçümler yapar. 10^{-7} , 10^{-8} lere kadar ölçülebilir. Çevresel etkenlerden, atmosfer sıcaklığı, basınç ve ısı genişlemesine göre etkilenir. Doppler etkisini ölçmede 2 madde önemlidir. Bunlar frekans kaymasını algılayabilmek için iyi karalı

bir lazer kullanılması ve ışığın doppler kaymasından oluşan frekans kayması ölçümlerin kolayca yapılabilceği bir mesafede olmasıdır.

İnerferometrik aletlerdeki gibi düzlük, açısal yönlendirme, pürüz, köşegen ölçümlerinde, makine aletlerinin kararlılığında ve hassasiyetinde kullanılır.

2.2.4. Işın-Modülasyon Telemetri Tekniği

Uzun mesafeler ölçümünde interferometrik ve doppler metodları kullanılamamaktadır. Mekan dışında uzun mesafe ölçümünde ışın modülasyon telemetri kullanılabilir. Birkaç 100 metre için bu metot kullanışlıdır. Bu tekniğin de çok uygulama alanı vardır. Devamlı dalga (CW) gönderen lazer kullanılır. Gönderici çıkışı sinüs dalga modülasyonuna sahip olduğundan beri, metot ışın-modülasyon telemetri olarak adlandırılır. Tipik düzen şekil 2.10.'da gösterilmiştir.

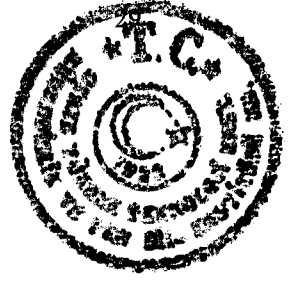


Şekil 2.10. Işın modülasyon telemetri ile mesafe ölçümü şekli.

Alçak frekanslar birden fazla belirsiz mesafe ölçümünü önlemek için, yüksek frekans tonları daha doğruluklu ölçümler için kullanılır. Bu mesafe sisteminin doğruluğu;

1-modülasyon frekansına

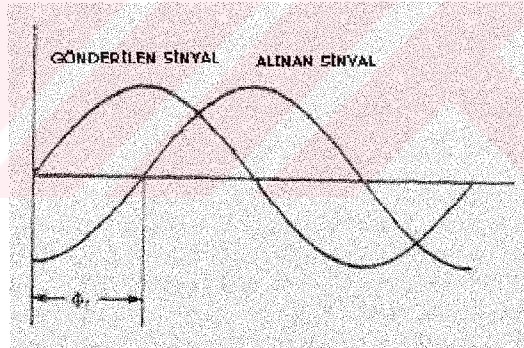
2-Faz ölçüm devresinin doğruluğuna, bu sinyalin gücüne ve gürültüsüne



- 3-Modülasyon osilatörünün kararlılığına
- 4-Ölçümün yapıldığı anda hava türbülansına
- 5-Havanın kırılma indeksindeki değişimlere bağlıdır.

Bu sistemler HeNe, argon, CO₂ ve diğer yarı iletken lazerler kadar iyi olan gaz lazerler kullanılırlar. CO₂ lazerler kirli ve dumanlı havada sonuç verebilirler (cord web sitesi).

Lazer ışınına bilinen bir frekansta genlik modülasyonu uygulanarak hedefe gönderilir. Taşıyıcı frekans olarak kızıl ötesinden mikro dalgaya kadar dalga boyları kullanılır. Genelde kızılötesi bölge dalga taşıyıcı olarak kullanılır (Fidan, 2001). Hedef olarak farklı yüzeyler (bina,su,bitki) seçilebilir. Tekli kenar ölçümü kullanıldığından kendilerinde bulunan doğal özelliklerinden dolayı yansıma izini verirler Bu yüzden retroreflektör kullanmaya gerek yoktur.



Şekil 2.11. Faz karşılaştırması.

Ama alınan sinyal retroreflektör kullanıldığı durumdan daha küçüktür. Dönen sinyal teleskop tarafından detektöre odaklanır. Detektörde, dönen ışının genlik modülasyonu fazı gönderilen ışının genlik modülasyonunun fazı ile karşılaştırılır.

Gidip gelme zamanından dolayı faz farkı oluşur. Faz kayması ϕ_r toplam yol uzunluğu d'ye bağlıdır:

$$d = c \cdot t / 2 = c \cdot \phi_r / 4\pi f_{\text{mod}} \quad (2.14.);$$

$\phi_r = 2\pi$ için maksimum mesafe

$$R = c/2\pi f_{\text{mod}} \quad (2.15.);$$

t, sinyalin gidip gelme süresi; f_{mod} , modülasyon frekansdır. Genelde orta mesafe ölçümleri için kullanılır (2-3 cm'den 2-3 metreye kadar).

GPS tekniğinde, kara profili çıkarılmasında, coğrafi çalışmalarda kullanılmaktadır. California'daki San Andreas kıyıları bu yöntemle çizilmiştir (Ready, 1997). Köprü ve barajlar gibi büyük yapılarda da kullanılmaktadır.

En önemli uygulama örneklerinden biri de retroreflektör kullanılarak Amerika'daki Grand Kanyon ulusal parkının 310 m² alanının çiziminde kullanılmasıdır. 3 günde iki kişi ile gerçekleştirilmiştir. Eski metotlara göre 100 kişiye yakın sayıyla 1 yıl sürerdi. Yine New Jersey kıyısının 20 millik kıyı şeridi 15 km yükseklikten uçakla gerçekleştirilmiştir (Ready, 1997). Milyonda 1 ölçüm hatası olabilmektedir. (Fidan, 2001)

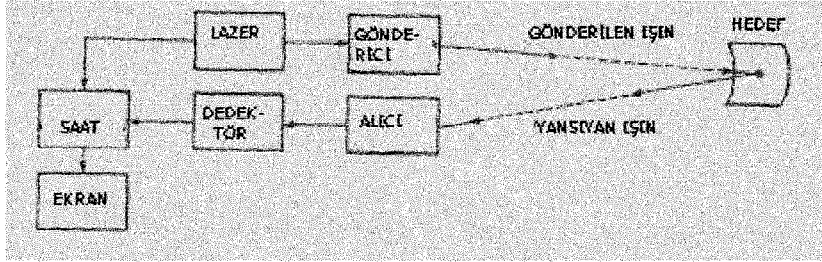
2.2.5. Zaman Ölçme Tekniği

Diğer bir uygulama yüksek güçlü kısa lazer darbelerinin kullanılmasıdır. Bu darbelerin seyahat etme süresi ölçülür. Daha uzun mesafeler (km'ler) ve daha az hassasiyet gerektiren ölçümler için kullanılır. Radar tekniğine çok benzer olduğu için bu metot optik radar veya lidar(light detection and ranging) olarak adlandırılır (Eberly, 1988).

Bu tekniğin çalışma prensibi şöyledir. Görülebilir hedefe çok kısa darbeli ışınlar gönderilir, hedeften yansıyan ışın, ışını gönderen lazerin yanında bulunan alıcı tarafından alınır. Işının gidip gelme süresi ölçülür. Bu süreye t denilirse ;

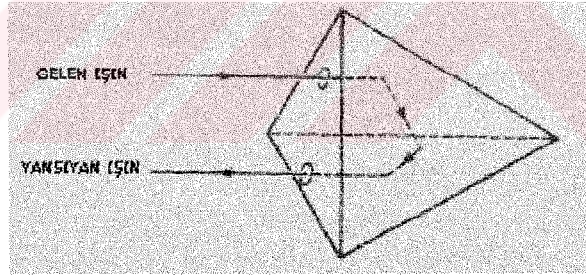
$$d = c * t/2 \quad (2.16.);$$

ile d mesafesi bulunur. c , ışık hızıdır ve değeri 3×10^8 m/s'dir. Zaman devresi birkaç ns 'yi algılayabilmelidir (Eberly, 1988). Bu sistem lazer, dönen ışını toplamak için telescope, fotodetektör ve ışının seyahat zamanını ölçmek için hassas bir saat içerir. Hedef görülebilmelidir. Bu nedenle ölçüm atmosferik duruma bağlıdır (Dvornikov, 2002). Şekil 2.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Zaman ölçme tekniği blok diyagramı.

Çok uzun mesafeler için uygun retroreflektör örneğın corner cube gerekebilir. Bu gelen ışına paralel bir ışını geri yansıtır. Küçük köşeli küpler trafikte ve bisiklette kullanılmaktadır (Eberly, 1988).

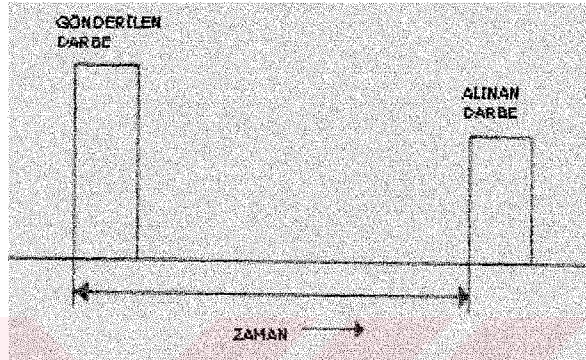


Şekil 2.13. Köşeli küp reflektör.

Bu teknikte yüksek güçlü Q-switched lazerler kullanılır. Böylece daha kısa süreli yüksek güçlü darbeler üretilir. Darbenin kısıtlılığı ölçümün daha doğru olmasını sağlar. Yüksek tepe gücü ise yansıyan gücü arttırmak içindir (cord). Çoğu darbeli mesafe ölçüm sistemleri ruby, Nd:YAG veya yarı iletken lazer diyotları kullanılır. Ruby lazer sistemlerin görünür dalga boyunda çalıştığından beri, yüksek verimli detektörler kullanabilirler. Nd:YAG sistemler yüksek tekrar oranlarında çalışabilir. Lazer diyotlar daha hafif ve daha kolay lazerlenebilir. Fakat düşük güçlerinden

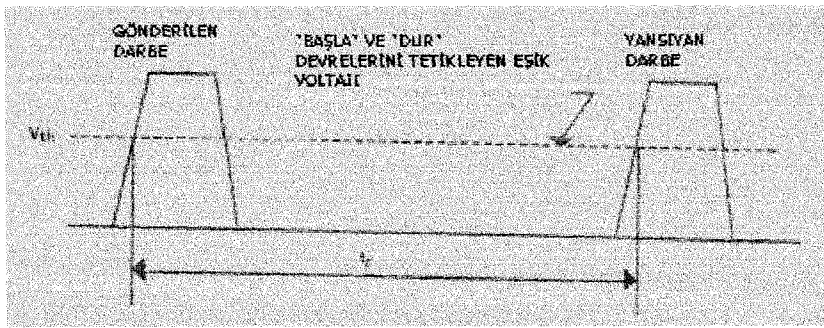
dolayı kısa mesafelere ve ileride anlatılacak yardımcı (cooperative) hedeflerle sınırlıdır.

Elektronik devre sinyalin kaynaktan çıkmasından detektöre geri gelmesine kadar geçen süreyi ölçer ve hesap yolu ile mesafeyi verir. Süreyi ölçmek için dijital devre kullanılır. Hassas ölçümler bazı önemli noktaların ölçülmesine bağlıdır. Örneğin yükselen kenar algılamaya bağlı ölçüm yapsın.



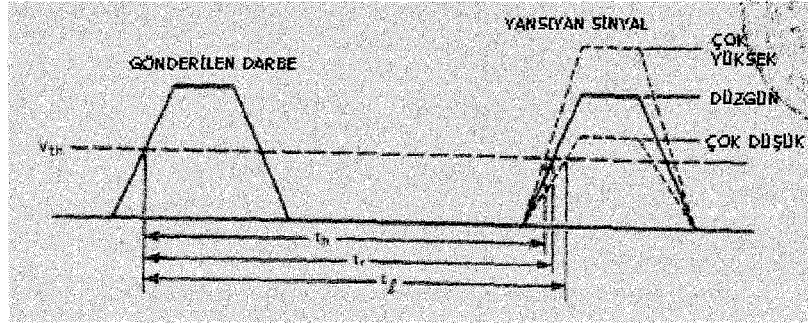
Şekil 2.14. Ön kenar algılama ile zaman ölçümü.

Gerçekte darbeler bu resimde gösterildiği gibi aniden yükselmez. Bu problem voltajın önceden belirlenen bir değere ulaşmasına göre ayarlamayla çözülebilir. Bu eşik değerinde başlama ve bitirme tetiklemeleri yapılır. Bu değer 3 volt olabilir. Zaman diyagramı şekil 2.15.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Ön kenar algılamada eşik değeri kullanılarak yapılan ölçüm.

Gönderici ve alıcı voltaj büyüklüğü ayarladığımız değerden farklı olabilir. Bu bir hata oluşturur. Bu hata oluşumu şekil 2.16.'da gösterilmektedir. Eğer alıcı darbe genliği çok yüksekse ölçülen zaman t_h çok kısa olacaktır. Eğer genlik değeri çok kısa olursa ölçüm zamanı t_l çok büyük olacaktır.

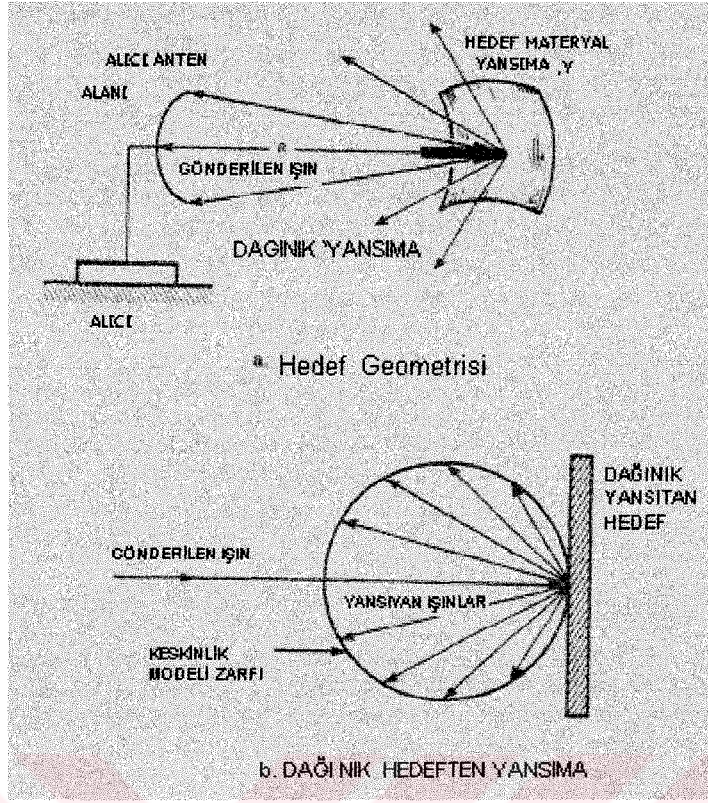
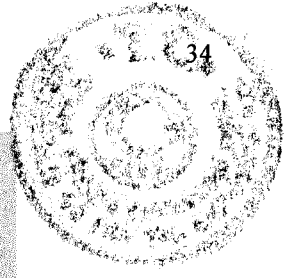


Şekil 2.16. Alıcı sinyalin gönderici sinyalden farklı değerde olması ile oluşan hatalar.

Çok doğru lazerli ölçme sistemlerinde km'lerce uzunlukta 30 cm'lik doğruluk mesafesi oluşur (cord). Lazerle mesafe bulucu alanında hedefler ikiye ayrılmaktadır. Bunlar yardımcı (cooperative) ve yardımcı olmayan (noncooperative) hedef olarak adlandırılırlar.

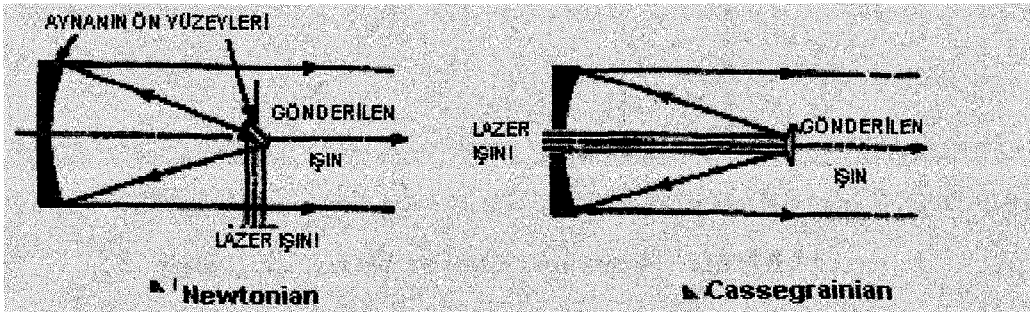
Noncooperative hedef; kayalık, ağaç gibi yansıması dağınık olan hedef olarak tanımlanır. Yani hedefe gelen ışın farklı yollarda geri yansır. Dolayısıyla dönen sinyal daha zayıf alınır. Bunun nedeni hedefin sahip olduğu geometrik yapıdır. Hedefler için kullanılan yansıma yeteneği Y , bu tür hedeflerde %1'in altından %100'lere kadar olabilir. Y bilinmediği durumlarda %20 olarak kabul edilir. Aşağıda buna örnek bir hedef gösterilmiştir.

Cooperative hedefler ise, geometrik yapısı daha düzgün olanlardır. Hedeften yansıyan ışınlar alıcıya daha rahat ulaşır. Dönen sinyalin gücü daha fazladır. 1 km'lik bir hedefe Nd:YAG lazerden 10 kW gücünde bir sinyal gönderdiğimizde geri dönen sinyalin gücü yardımcı olmayan hedef için 1.6×10^{-9} W, yardımcı hedef için ise 0.076 W olacaktır (cord).

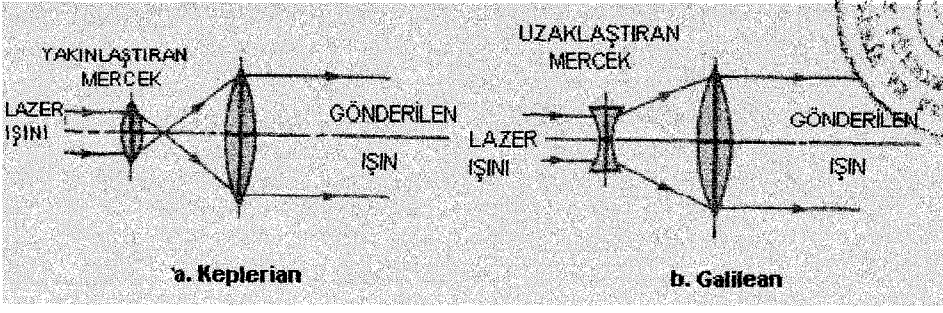


Şekil 2.17. Yardımcı olmayan hedef şekli.

Lazerle mesafe bulucu sistemlerinde anten gibi davranan ışın yayıcı ve alıcı optik sistemler vardır. Işın gönderici sistem, ayrılma açısını azaltmak ve ışının hedefe daha hızlı gitmesini sağlar. Alıcı optik sistem ise, dönen ışınları toplayıp detektöre odaklama görevini yapar. Bunların tasarımı sonra daha detaylı olarak verilecektir. Gönderici anten tipleri yansıma optiğini kullanan (şekil 2.18.) ve kırılma optiğini kullanan (şekil 2.19.) olmak üzere iki çeşittir.



Şekil 2.18. Gönderici anten-yansıma optiği.



Şekil 2.19. Gönderici anten-kırılma optiği.

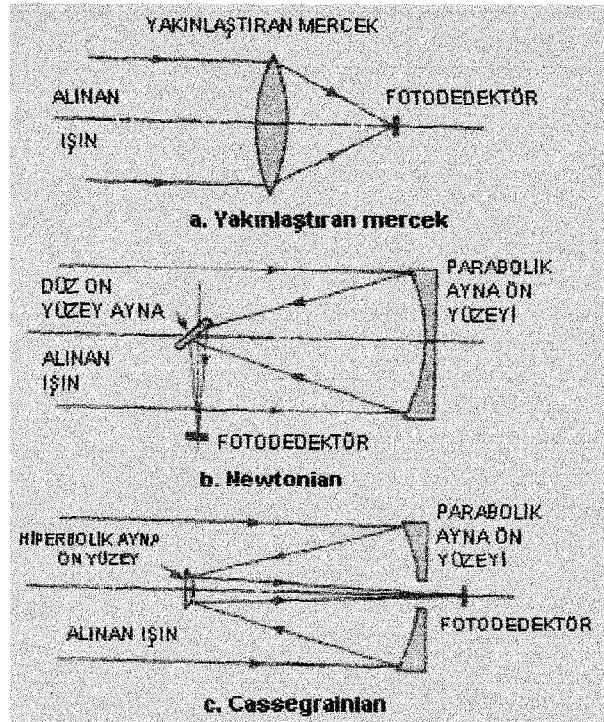
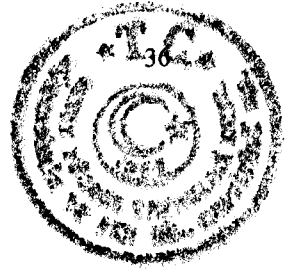
Optik gönderici anten seçiminde gönderilecek ışının antenden hangi açıyla ayrıldığını ayarlamak önemlidir. Bu ayrılma açısına karar verilerek antenin çapı ayarlanır. Bu işlem için ;

$$d_t = 2.44\lambda / \theta_d \quad (2.17.) ;$$

formülünden yararlanılır. Burada λ , kullandığımız lazerin dalga boyu; θ_d , ayrılma açısı; d_t de antenin çapıdır.

Alıcı optik sistemde kullanılan 3 tip uygulama da şekilde gösterilmiştir. Alıcı anten dönen enerjiyi mümkün oldukça fotodetektöre odaklar. Alıcıdaki güneş ışığı ve diğer optik gürültüleri azaltmak için fotodetektöre dar-bant optik filtreler yerleştirilir.

Zaman ölçme tekniğinin kullanımı en fazla askeri uygulamalardadır. Bunun en büyük sebebi hızlı sonuç vermesidir. Mesafe bulma sistemi kompleks bir yapıya sahip olduğu için ancak dünyanın uzman askeri organizasyonlarında kullanılır. Uçaklarda (distance measuring device DMD), LORAN (Long Range Navigation) tekniğinde, uydu altımetrede, hava radar altımetresinde, lunar lazer mesafe bulmada, GPS tekniğinde, VLBI (very long base interferometry)'de, tanklarda, ağır silahlarda, harita çiziminde, uzay teknolojisinde sıkça rastlanan bir tekniktir (Dvornikov, 2002). Aşağıda uzay teknolojisinde kullanılan uygulamalardan örnekler verilmiştir.



Şekil 2.20. Alıcı optik sistemleri.

20 temmuz 1969'da apollo 11 astronotları ayda yaklaşık 1 m^2 'lik bir alana 100 corner cube yerleştirmişlerdir. Kaliforniya'daki "Lick Observatory" gözlemevindeki ruby lazerden darbeler gönderilmiş ve dönen darbeler algılanmaya çalışılmıştır. İlk başarı 1 Ağustos'ta elde edilmiştir. Işın $2,5 \text{ sn}$ 'de $750,000 \text{ km}$ yol kat ederek dünyadan aya ve aydan dünyaya geri dönmüştür. Sonuç olarak daha önceki ölçümlere göre daha doğru bir ölçüm yapılmıştır (Eberly, 1988).

Bunun dışında 1976'da NASA (U.S. National Aeronautics and Space Administration), katı küresi 470 kg ağırlığında olan 60 cm çapında 426 retroreflektörle kaplı LAGEOS (Lazer geodynamics Satellite) uydusunu çeşitli uygulamalar için uzaya fırlatmıştır. Bu uygulamada 200 ps darbe uzunluklu Nd:YAG lazer kullanılmıştır (Eberly, 1988).



3. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde bazı lazer mesafe ölçüm aletlerinin incelenmesi yapılacaktır. İlk olarak 1980'lerde Strategic Computing Program altında Darpa (Defense Advanced Research Projects) tarafından geliştirilip, 1984'te Ohio State Üniversitesi'nce gerçekleştirilen ASV (Adaptive Suspension Vehicle) ve Martin Marietta Denver Aerospace tarafından yapılan ALV (Autonomous Land Vehicle) cihazları incelenmiştir. ASV CW lazer kaynağı ile faz kayması tekniğini kullanmıştır. Diğer özellikleri aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. ASV-ALV yapım özellikleri (Fidan, 2001).

<u>Prametre</u>	<u>Değer</u>	
	ASV	ALV
Maksimum mesafe	10m	20m
Yatay FOV	80 derece	80 derece
Dikey FOV	60 derece	30 derece
Frame oranı	2Hz	2Hz
Pixels	128*128	64*256
Güç	450 W	450W
Boyutları	355*660*559 mm	355*737*559 mm
Ağırlık	38.6 kg	38.6 kg

Diğer bir alet 1989'da New Jersey'deki ESP Teknolojies firması tarafından yapılan ORS-1 (Optical ranging system)'dir. Düşük maliyetli kızılötesi mesafe bulucudur. Bu aletin özellikleri aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. ORS-1 özellikleri (Fidan, 2001).

<u>Parametre</u>	<u>Değer</u>
Maksimum mesafe	6m
Minimum mesafe	600mm
Doğruluk	150mm
AGC çıkışı	1-5 volt

Çıkış gücü	2mW
Işın genişliği	25 mm
Boyutları	150X150X300 mm
Güç	12V 2A

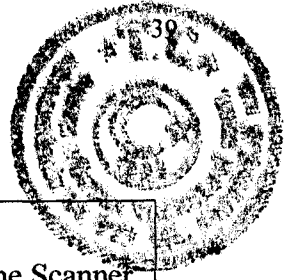
Daha sonra 1998'de Acuity Research tarafından yapılan cihaza bakılmıştır. Bu da kızıl ötesi dalga boyunu kullanmıştır.

Çizelge 3.3. Acuity Research cihazı (Fidan, 2001).

<u>Parametre</u>	<u>Değer</u>
Maksimum mesafe	15m
Minimum mesafe	0m
Doğruluk	2.5 mm
AGC çıkışı	0-5Volt
Örnekleme oranı	50KHz
Çıkış gücü	20mW
Işın genişliği	2.5 mm
Encoder Resolution	2000 counts/rev
Boyutları	324 X 89 X 80 mm
Ağırlık	1.75 kg

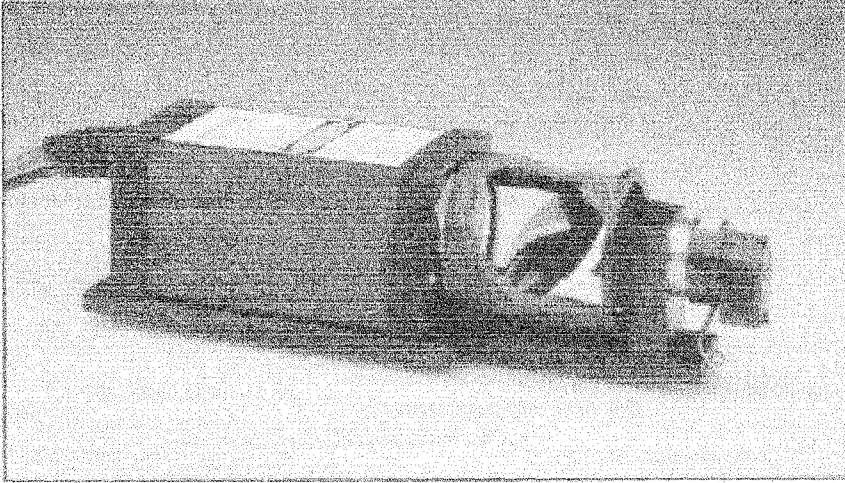
North Carolina üniversitesi bilgisayar bilimleri bölümünden Lars S.Nyland ayna ile tarayarak mesafe ölçen bir alet yapmıştır. En fazla 15 m. uzaklığı ölçebilmektedir. Teknik olarak uçuş süresini ölçme tekniğini, düşey alanı taramak için çizgi tarayan ayna kullanmıştır. Tüm veriler PC'ye aktarılmaktadır. Bir şarj ile birkaç saat çalışabilmektedir. Şu ana kadarki çalışmalar ODTÜ'deki çalışmaya örnek teşkil ettiği için genel olarak aşağıdaki Çizelgede bakılmıştır.

Çizelge 3.4. Genel karşılaştırma (Fidan, 2001).



Parametre	ASV of ERIM	ALV of ERIM	Range finder of University of North Carolina	ORS of ESP Tech.	Line Scanner of Acuity Research
Maksimum Mesafe (m)	10	20	15	6	15
Yatay FOV(derece)	80	80	360	360	300
Dikey FOV (derece)	60	30	Bilgi yok	-	-
Örnekleme Oranı (kHz)	32	32	50	Bilgi yok	50
Boyutları (mm)	355 x 660x 559	355 x 737x 559	475 x 475x290	150 x 150 x300	324 x 89 x80
Ağırlığı (kg)	38.6	38.6	Bilgi yok	Bilgi yok	1.75

Bu çalışmaları inceleyerek Türkiye’de ODTÜ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi) makine mühendisliği bölümünde yapılan bir robot çalışmasında kullanılmak üzere ORS (Ortadoğu Rulman Sanayi) ile ortak olarak lazerle mesafe ölçme cihazı yapılması kararlaştırılmıştır. Bu proje DPT (Devlet Planlama Teşkilatı) tarafından desteklenmiştir. Sensör olarak Acuity Research’ün AccuRange 4000-LIR seçilmiştir. Bu sensör sadece sensör değil zaman süresini ölçen devreyi de içermektedir. Dolayısıyla üniversitede 3 boyutlu ölçüm yapılabilmesi için makine dizaynı ve yazılımı üzerinde durulmuştur. Uçuş zamanını ölçme tekniğine göre oluşturulmuştur. 0’dan 1.5 km’ye kadar ölçüm yapabilir. Lazer diyot temellidir. 2.5 mm doğrulukla çalışır. Aşağıda bir resmi görülmektedir.



Şekil 3.1. Accurange 4000-LIR sensörü (AcuityResearch).

ODTÜ' de 0-15m mesafe aralığında için 3D imaj görüntüleme, pozisyon ölçmede kullanılabileceği uygun görülmüştür. Örnekleme oranını arttırmak için Accurange High Speed Interface (HSIF) kartı kullanılmıştır. Saniyede 5000 örneğe çıkabilmektedir. Lazer olarak 780 nm lazer ışını veren IR lazer diyot kullanılmaktadır.

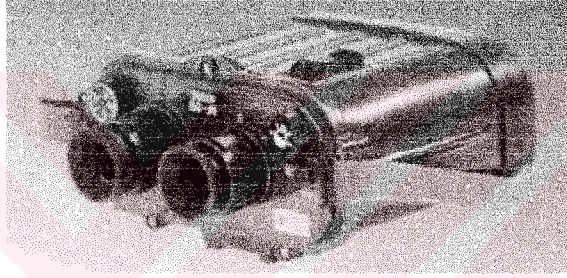
Boyutu küçük tutulmaya çalışılmıştır. Kullanılan bir hareketli ayna ile 3 boyutlu veriler almaya çalışılmıştır. Problem olarak kendi gölgesi ile karşılaştığı için ilk 115 cm taranamamaktadır. Sonuçta çizelge 3.5.'teki özelliklere sahip bir mesafe ölçme cihazı ortaya çıkartılmıştır.

Çizelge 3.5. ODTÜ'nün çalışması (Fidan, 2001).

<u>Özellikler</u>	<u>Değer</u>
Maksimum mesafe	15m
Yatay FOV (derece)	360
Dikey FOV (derece)	90
Örnekleme oranı (kHz)	50
Boyutları (mm)	220 x 260 x600
Ağırlığı	30 kg

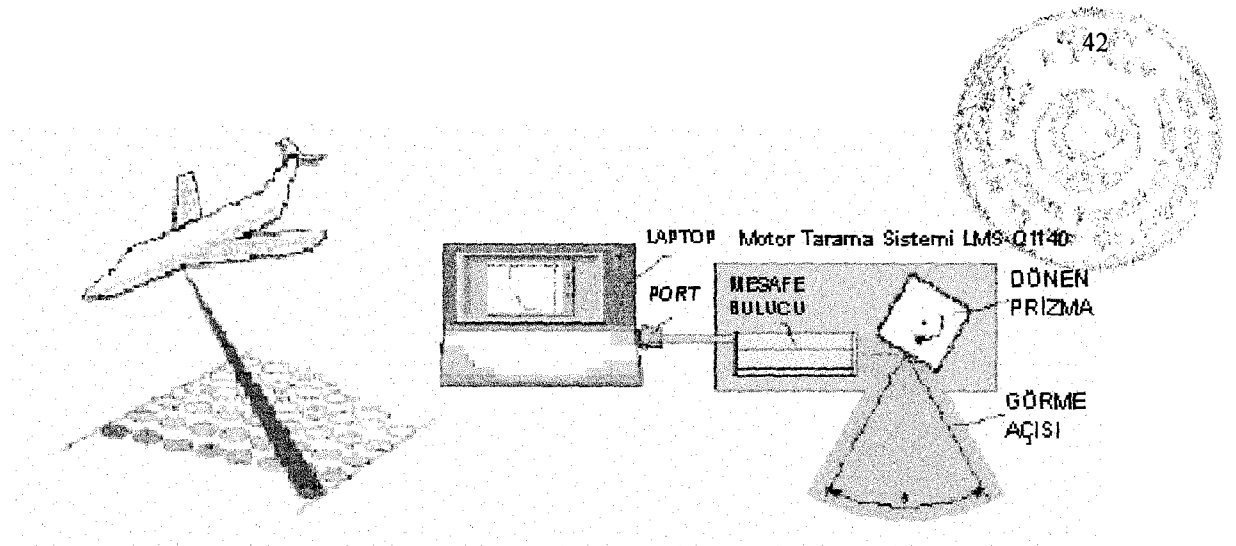
Bu cihazda iki yolla sinyal gönderme yapılır. Birincisi sensorun altındaki push butonuna basarak olur. İkinci yolda RS-232 soketi ile sensordan PC'ye bağlantı sağlanır. Örneklenen veri okunur. Haberleşme portu ile harekete geçirilir. Yazılım sensöre komut vermek için COM1'i kullanır. Sensordan gelen veriler okunur, dosyaya yazılır. Bu veriler çizim yazılımıyla çizilir. Böylece bu bilgiler ile aletin takıldığı robotun önündeki yolun durumu bilgisayara aktarılır. Bu program Microsoft Visual Basic 4.0 ile oluşturulmuştur. Bu çizim programında çizilir.

Örnek olarak incelenen başka bir cihaz aşağıdaki resimde (şekil 3.2.) gösterilmiştir. 7.5 km'ye kadar 5 m hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Changzhou SECEI optoelektronik Aletleri firması tarafından üretilmiştir.



Şekil 3.2. Örnek bir mesafe ölçme cihazı (www.crzdy.com).

Lazerle mesafe ölçümünde incelenen diğer bir sistem yeryüzü yüksekliklerini ortaya çıkaran harita çizimidir. Bu uygulamanın şekli şekil 3.3'te gösterilmiştir. Lazerden her saniyede 2000 ile 8000 arası darbe gönderilir. Bunun sebebi bazı yerdeki yükselti farklılığıdır. Hareketli prizma ile lazer mesafe ölçücünden gelen ışın tarama şeklinde yere gönderilir. Dönen ışınlardan elde edilen veriler bir bilgisayar vasıtasıyla çizim haline getirilir.



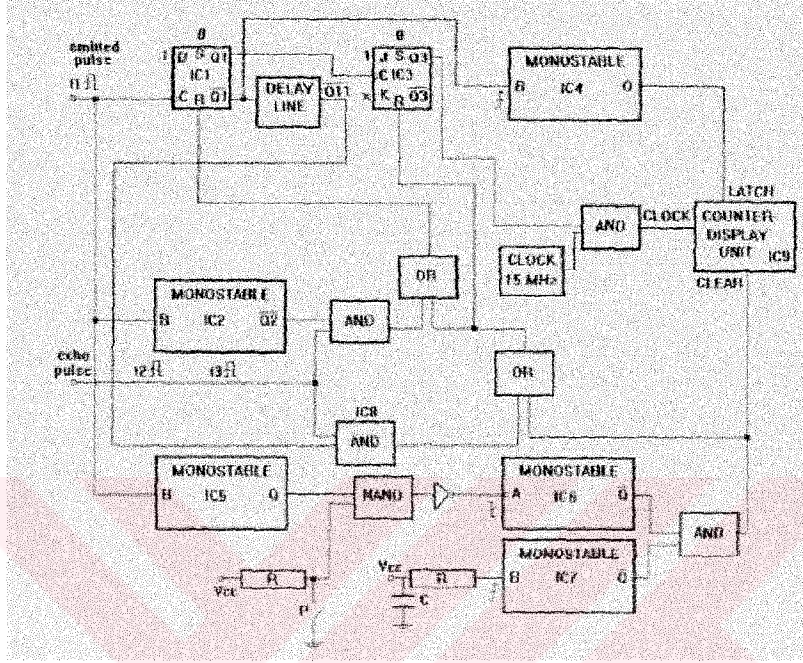
Şekil 3.3. Havadan yeryüzü tarama uygulaması (acfr.usyd.edu.au).

Başka bir çalışma da Bucknell Üniversitesi, Small Business Development Center (SBDC), Ben Franklin Technology Center (BFTC), ve Rightnour Manufacturing Company firmalarını ortak çalışmasıdır. Aralık 97'de başladıkları bu çalışmayı Ocak 99'da bitirmişlerdir. 15-75 m arasını ölçebilen kompakt bir mesafe ölçüm cihazı yapmışlardır. Darbeli lazer, başla ve bitir darbeleri için bir alıcı ve bir zaman ölçüm biriminden oluşmaktadır. Alıcı kanalı fotodetektor, ön kuvvetlendirici içerir. Bu alıcı zaman ölçüm birimi için lojik komutlar üretir. Bushnell şirketinin ürettiği aleti örnek alıp bunu geliştirmek amaçlanmıştır. Bu alet büyük ve ağırdır. Bu çalışmada dizayn kriterleri arasında en önemlisi boyut ve ağırlıktır. Gönderilecek lazer darbesi olarak 40 watt'lık, 7 ns darbe uzunluğunda bir darbe gönderilmiştir. Dalga boyu olarak 905 nm seçilmiştir. Başla kanalında PIN fotodiyot, durdur kanalında APD fotodiyot kullanılmıştır. APD kullanılmasının sebebi dönen sinyalin çok küçük olması ve PIN fotodiyotun bunu algılayamamasıdır (McNeill, et al, 1999).

Farklı bir uygulama çeşidinde bu sefer farklı iki hedef arasındaki mesafe ölçülmektedir. Bütün sistem sabitleştirilen frekanstaki saatle idare edilir. Sistem darbe sayıcı, görüntüleme ünitesi ve elektronik kapıdan (latch) oluşur. Bu kapı lazer darbesinin startı ile açılır ve hedeften yansıyan ışın darbesi ile kapatılır.

Işın gönderici, darbeli ve elektro-optik Q-switched Nd:YAG lazer osilatorüdür. Dalga boyu $1.06 \mu\text{m}$ ve darbe tekrar oranı saniyede 20 darbedir. Lazer ışınının doğal uzaklaşması (ayrılması) 5x Gallilean teleskopu ile 0.1 mrad'a azaltılmıştır. Alıcı optik kanal 5 cm çapında 18 cm odak uzunluklu akromatik lens,

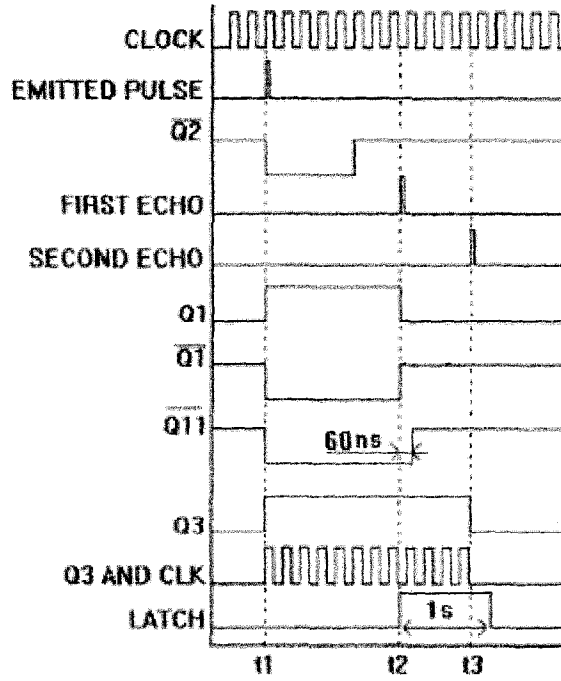
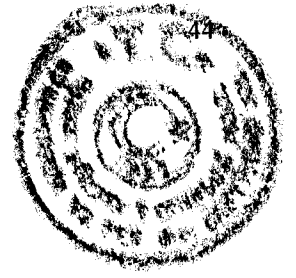
1.06 μm merkezinde 10 nm bant genişliğinde bant geçiren ve avalanç tipinde (APD) fotodetektor içermektedir, 0.75 mrad görüş alanı sağlar. görüş mesafesi yapısında, nokta hatasını azaltmak için 7x büyütme teleskopu ile alıcı birleştirilmiştir (Gasmi et al,1998).



Şekil 3.4. Sayma ve görüntüleme devresi. IC1 (74LS74), IC3 (74LS76), AND gates (74LS08), OR kapıları (74LS32), NAND kapıları (74LS132), Monostable (74LS221), IC9 (TIL306), clock (Quartz-MDX150-15MHz).

Şematik diyagramın tamamı şekil 3.4.'te gösterilmiştir. Şekil 3.5.'te de zaman diyagramları bulunmaktadır.

Kronometre devresi 30 MHz 'de çalışan sıcaklık-sabitli TTL sayıcı içerir. T1 anında Lazer tetiklenir ve ışın yayma optiğine doğru % 1 yön değiştirici ve çok hızlı PIN fotodiyot ile lazer darbesi örneklenir. Bu darbe sayıcının başlama darbesidir. T2 anında ilk yansıyan lazer darbesi avalanç fotodiyot (RCA30955E) tarafından algılanır. Elektronik devrenin çok hızlı ön yükseltme ve şekil vermesinden sonra algılanan bu analog sinyal sayma ve görüntülenme sinyaline uygun olması için dijital sinyale çevrilir.



Şekil 3.5. Zaman diyagramı.

İlk yansıyan lazer darbesinin gelişinden sonra 60 ns 'lik gecikme süresi, bu gecikme hattı ile preset edilir. Bu süre 10 m minimum mesafenin altında yanlışlıkla olabilecek yansıma sinyaline karşılık gelir. Bu gecikme süresi ölçeceğimiz mesafeye göre 10 ns'lere kadar azaltılabilir. Q1'in lojik 1'e geçişi sayıcının latch girişini anahtarlar ve lojik 1 seviyesinde 1 saniye kalmasını sağlar. Bu IC4 monostable ile yapılır ve böylece $(t_2 - t_1)$ zaman aralığına karşılık gelen ilk ekonun mesafesinin görüntülenmesine izin verir. t_3 anında, ikinci hedeften gelen eko darbesi algılanır. Bu IC3 ve sayıcıya bağlantıyı resetler. İkinci hedefin $(t_3 - t_1)$ zaman aralığına karşılık gelen sayıcının şimdiki içeriği görüntülenir. Bu mesafe sayıcı displayinin (IC9) latchinde saklanır ve girişi lojik 0'a anahtarlandığı anda görüntülenir.

Bütün devre güç desteğinin veya P basma butonunun anahtarlama üzerine IC5, IC6 ve IC7 monostableleri ile otomatik olarak resetlenir. Diğer genel reset otomatik olarak t_1 anında ilk ekonun ulaşmasından 3 s sonra ve lazer ışın yaymanın gelecek tetiklemesinden önce çok erken olursa olmaktadır.



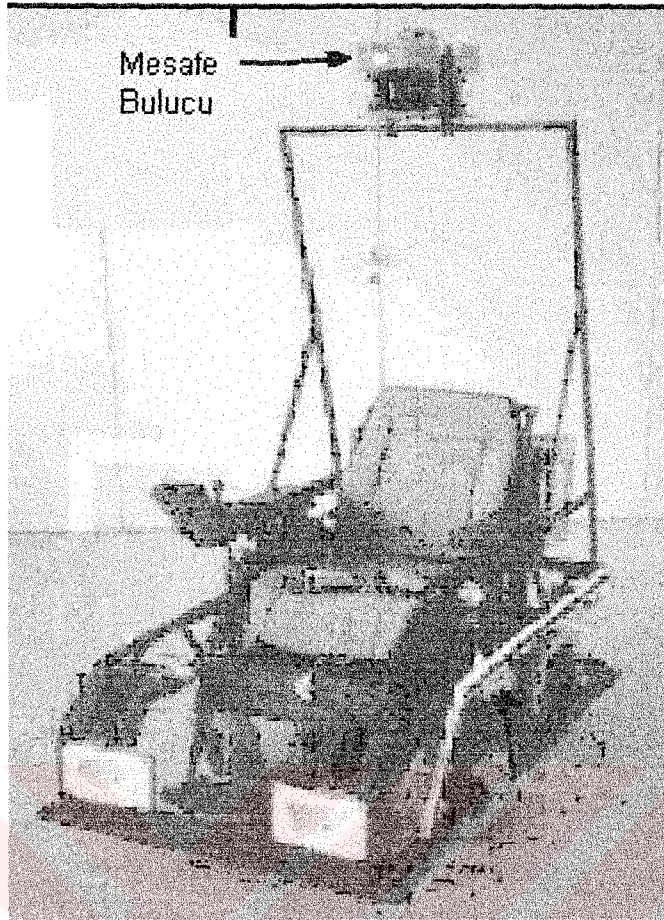
Bu teknikte atmosferden kaynaklanan geri dönmeler olabilir. Bu geri dönmeler genliği önceden ayarlanan algılama seviyesinden daha büyük olan yanlış alarm sinyali oluşturabilir. Monostable IC2 , ayarlanan boşluk aletinin (30m-50m) IC1 çıkışındaki lojik durumları değiştiren bu mesafeden herhangi bir eko darbesini durdurmak için kullanılmıştır.

Bu sistem 10 m hassasiyetteki ölçümü ile hassasiyeti 30 m olan Hollanda yapımı OPLF500 cihazına göre daha iyi bir sonuç vermiştir. Bu sistemde küçük numara elektronik parçalar kullanılarak fiyatta rekabet etmesi sağlanmıştır, bakımı ile uzun süre hatasız çalışabilir.

Lazer mesafe ölçümünün kullanıldığı bir başka alan da robot teknolojisidir. Robotlar pozisyonlarını, hızlarını ve önünde bir nesne olup olmadığını algılamalıdır. Bunlara göre de robot ileri, geri,sağa,sola gideceğine karar verir. Cincinnati üniversitesinde çevresinin 3 boyutlu şeklini algılayabilen bir robot lazer mesafe bulucu yardımı ile yapılmıştır (Saxena, 1999). Yukarıda bahsedilen ODTÜ çalışması da buna benzer bir örnektir.Bu şekilde;

- Yüksek ölçüm hassasiyeti (10 mm)
 - Temas gerçekleştirmeden ölçüm yapılması
 - Hedefte yansıtıcıya gerek duyulmaması
 - Yüksek frekans taraması(75 Hz'e kadar)
 - Gerçek zamanlı bilgi transferi
- avantajları sağlanmıştır.

Bu teknolojiye benzer bir şekilde aşağıdaki resimde (şekil 3.6.) görüldüğü gibi lazer mesafe bulucu sistem bir tekerlekli sandalyeye monte edilmiştir. Böylece sandalye kendisine eklenen diğer sistemlerle ilişki kurarak hareket yönünün tespit edebilecektir. Bu da özellikle görme engelliler için çok kullanışlı bir alet ortaya çıkaracaktır (Beattie, 2000).

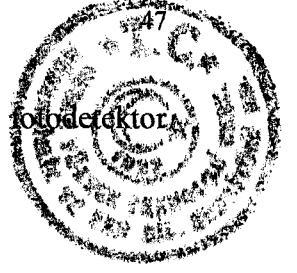


Şekil 3.6. Mesafe bulucu monte edilmiş tekerlekli sandalye.

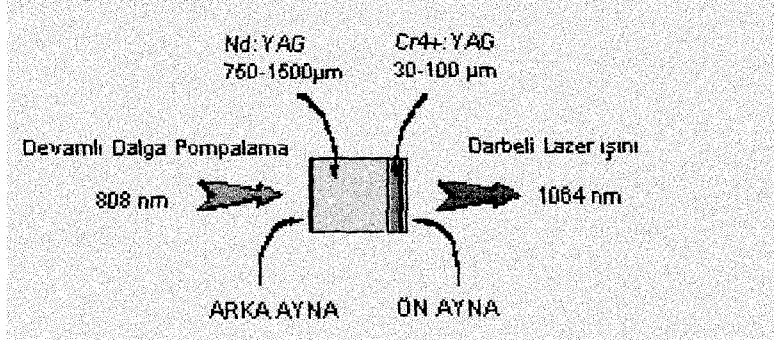
3.1. Son Zamanlarda Yapılan Mikroçip Lazer Çalışmaları

Son zamanlarda yeni bir oluşum üzerinde durulmaktadır. Bu, mikroçip lazerdir. Solid-state mikroçip lazerler kompakt, hafif ve düşük maliyeti ile önemli bir gelişmenin ürünüdür. Bu özellikleri ile lazer mesafe ölçüm cihazları gibi lazer temelli aletlerde çok büyük bir rahatlık sağlarlar. Lazer-diyot pompalı Nd:YAG mikroçip lazer elde edilebilmektedir. Buna Japonya'nın Kiryu kentindeki Gunma Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde yapılan çalışmayı örnek olarak verilebilir. 0,7 mm kalınlığında, 15 mm x 15 mm genişliğinde, 3 nm'den küçük yüzey tırtığı, % 1,1 Nd^{3+} iyonu içeren YAG kristalinden mikroçip lazer oluşturmuşlardır. Çipin her iki yüzeyi 1,06 μm ışın geçiren %99,7 yansıtma içeren dielektrikle kaplanmıştır. Düşük ve yüksek yansıtma yüzdelерinde pompalama dalga boyu 806 nm'dir. Pompalama gücü 28 mW iken ışıma için eşik gücü 10nW ve ışıma

gücü 1,1 mW'dir. Veri eğimi % 7'dir. Detektor olarak APD fotodetektora kullanılmıştır (Yoshino, et al, 1998).



Bir diğer çalışmadan da bahsetmekte yarar vardır. Bu çalışmada Cr 4++ soğurucu ve Nd:YAG mikroçip lazer ile mesafe ölçümü yapılmıştır. Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.

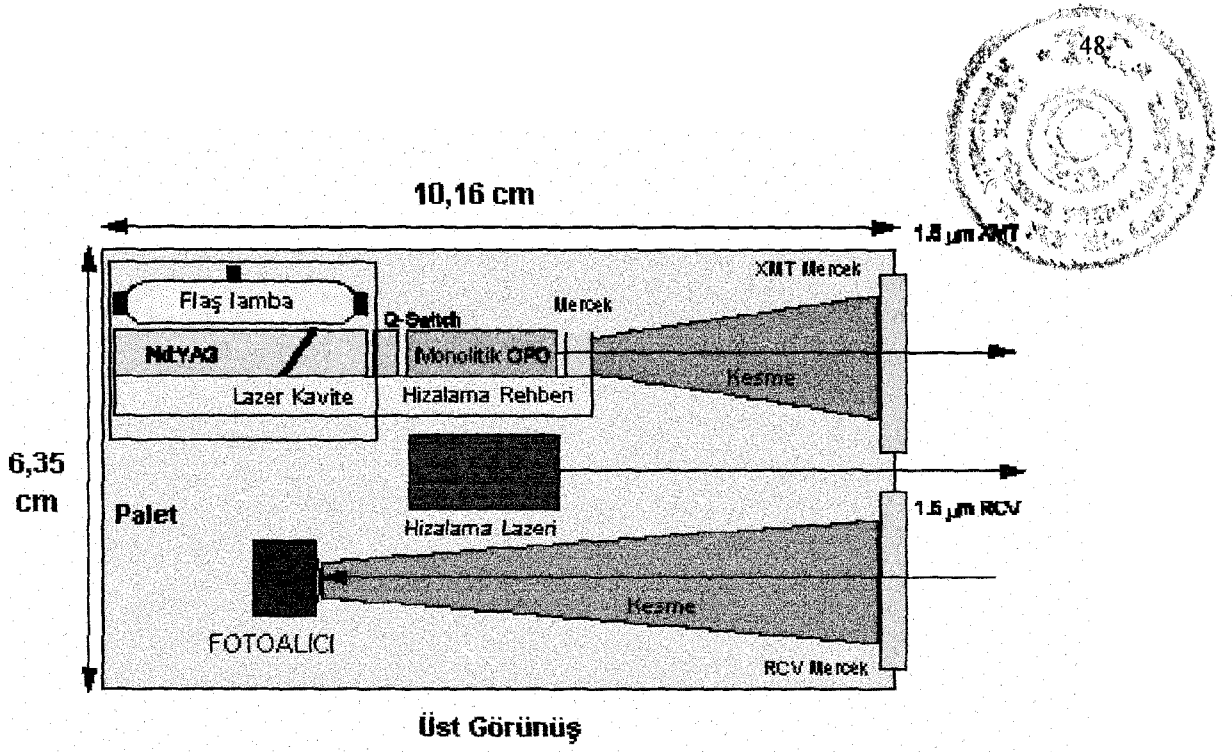


Şekil 3.7. Diyot Pompalı Nd:YAG mikroçip lazer.

Bu mesafe ölçücünde 1064 nm dalga boyunda 1.5 kW tepe gücü sağlanmıştır. Darbe gönderildiği andan APD tipindeki detektörde başla emri algılanır. Alıcı olarak 48 mm çapında Melles Griot lensli, 211 nm odak uzunluklu EG&G C30662 InGaAs avalanche fotodiyot kullanılmıştır (Delaye and Labeye).

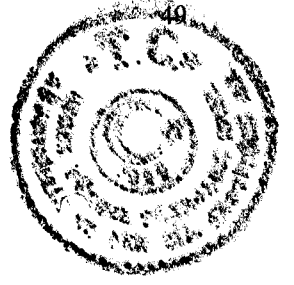
Lazer kavitesinin çok kısa olması nedeniyle sadece boylamda bir mod olabilir. Bunun anlamı mikroçip lazerler karalı, tek modlu aletlerdir (Ready, 1997).

Başka bir çalışmada, mesafe bulucu sistemi mikron seviyesine getirmeye çalışmıştır. Bu nedenle çalışmanın adı mikro lazer mesafe bulucu olarak adlandırılmıştır. Lazer kristali olarak Nd:YAG konulmuştur. Flash lamba ile pompalama yapılmıştır. Detektor olarak InGaAs APD detektör seçilmiştir. Q-anahtarlama materyali de eklenmiştir. Nd:YAG'ın 1064 nm'lik dalga boyu retina zarar verdiği için OPO konularak 1.5 µm dalga boyu elde edilmiştir. OPO olarak KTA uygun görülmüştür.



Şekil 3.8. Mikro lazer mesafe bulucu dizaynı.

56 mm uzunluğu, 3 mm genişliği, 3 mm yüksekliği ile ultra kompakt boyutlarındadır. Ağırlığı da 1 gramın altındadır. Batch işlemi ile birbirlerine monte edilmiştir (Nettleton et al, 1999).



4. DİZAYN

4.1. Dizayn Kriterleri

Bir lazerle mesafe ölçme aleti yaparken karar verilmesi gereken bazı dizayn kriterleri vardır. Bunlar;

- Operasyon mesafesi (en yakın ve en uzak mesafe)
- Tarama geometrisi görüş açısı
- Saniyede yapacağı tekrarlama oranı (25-30 KHz)
- Bir taramayı yapacağı süre
- Boyutları (kompakt olup olmayacağı)
- Ağırlığı
- Göze zarar verip vermeyeceği

şeklinde sıralanabilir.

Şu anda yapılan çalışmalarda lazer mesafe ölçüm aletinin daha küçük, daha hafif ve göze zarar vermeyen özellikleri üzerinde durulmaktadır. Bu tezin de amacı bu yönde bir cihazdır. Bunun için yukarıda sayılan bazı maddelerde karar verilmesi gerekir.

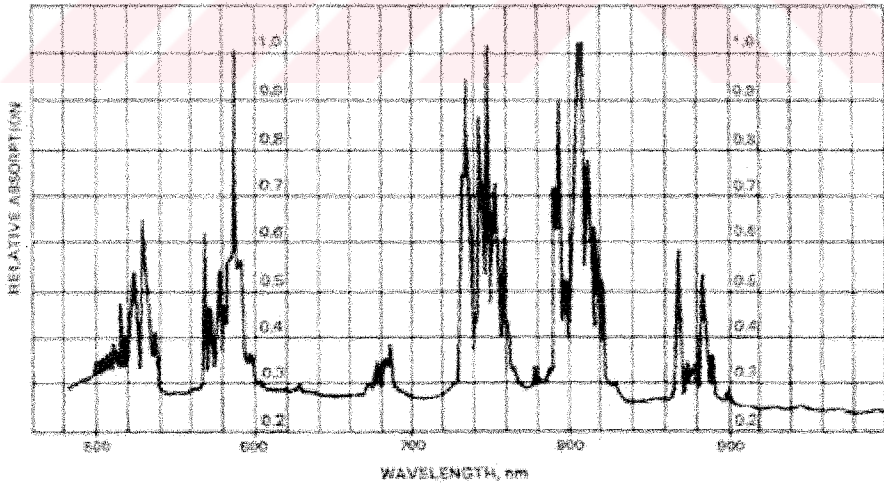
Önce yapacağımız cihazın hangi mesafeyi ölçmesini istediğimize karar vermeliyiz. Bu mesafeye göre de kullanılacak teknik seçilecektir. Mesafe olarak askeri uygulamalarda kullanılan uzun mesafeler hedeflenmektedir. Bu uzaklıkta bir mesafe için de uçuş zamanını ölçme tekniğinin kullanılması gerekir. Bu teknik tez içinde daha önce (konu 2.2.5.'de) anlatılmıştır. Işının lazerden çıkması ile geri dönmesi arasındaki zaman ölçülüp hesaplama ile mesafeye çevrilmektedir. Bunun ufak boyutta, hafif ağırlıkta ve göze zarar vermemesi istenmektedir. Bu sistem içinde bir lazer, lazer ışınını gönderme ve geri dönme anında algılayacak bir fotodetektor, süreyi ölçmemize yarayacak bir devre ve sonucu görebileceğimiz bir görüntü birimi içermektedir. Buna göre seçeceğimiz malzemeler ve teknikler aşağıda anlatılmaktadır.



4.2. Lazer Seçimi

Kullanılacak lazerden yüksek güçte kısa süreli darbeler gönderilecektir. Darbeli lazer uygulamalarında en ok ruby, Nd:YAG ve Ng:Glass kullanılmaktadır. İlk lazer uygulamalarında sıklıkla ruby lazer kullanılmıştır. 1964'te ilk defa kullanılan Nd:YAG lazer ile ruby lazerin bu popülaritesi kalkmaya başlamıştır. Daha yüksek verimliliği ve yüksek darbe tekrarlama oranı nedeniyle Nd:YAG popüler olmuştur. Bu tasarımda da Nd:YAG lazer seçilmiştir. Nd:YAG lazerde kristal, yitrium alüminyum garnett ($Y_3Al_5O_{12}$) tabanında Nd^{3+} iyonun bulunması ile oluşur. Nd:YAG kristalinin bazı özelliklerini anlatmakta yarar vardır.

Nd:YAG materyal oda sıcaklığında $1.06414 \mu m$ dalga boyuna, $4.5 \text{ \AA}$ ışın genişliğine, $230 \mu s$ ışıma zamanına, 1970 C° 'de erime noktasına sahiptir. Darbe sıklığı orta güçte 20 Hz/ns olabilmektedir. Bu özelliklerinin yanında insan gözünde retinaya zarar vermektedir. Fakat, optik parametrik osilator (OPO) ile kullanılan dalga boyu $1.58 \mu m$ yapılarak gözde retina üzerinde etkisiz hale getirilmektedir. Önemli pompalama bantları $730\text{-}760 \text{ nm}$ ve $790\text{-}820 \text{ nm}$ aralığıdır (Koechner, 1996).

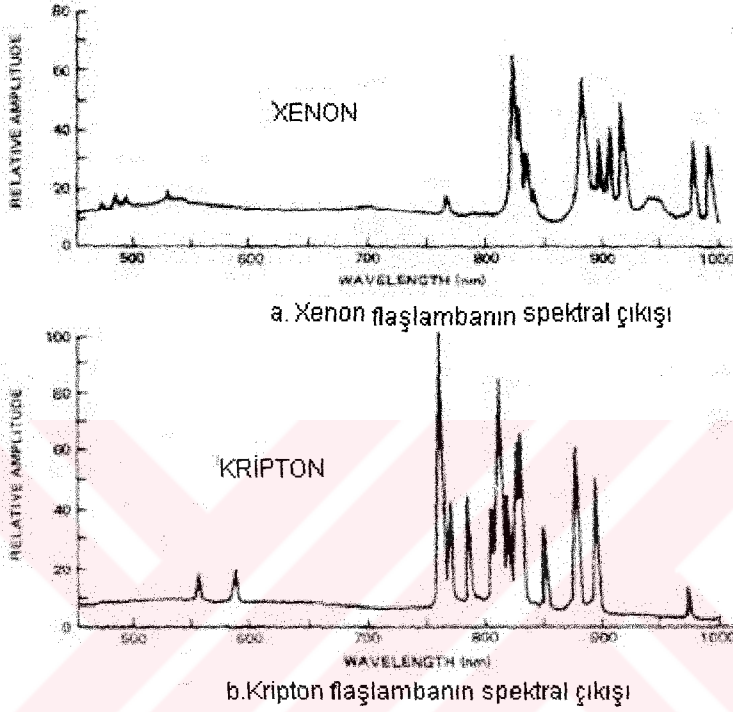


Şekil 4.1. Nd:YAG soğurma spektrumu (cord).

4.3. Pompalama Tekniği Seçimi

Kristal seçiminden sonra pompalama tekniğine karar verilmelidir. Nd:YAG lazerlerde genelde lamba veya diyotla pompalama yapılır. Lamba olarak kripton arc

lamba kullanılması tercih edilir. Başka gazlar da kullanılabilir. Fakat Kripton Nd:YAG için en iyi performansı verir. 800 nm civarı Nd:YAG için çok kaliteli bir soğurma bölgesidir. Bu nedenle Nd:YAG'ın soğurma spektrumu ile büyük bir uygunluk içerisinde. Bu aşağıdaki şekil 4.2.'de gösterilmektedir. Burada kripton ile xenon gazlarının karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 4.2. xenon ve kripton lambalarının spektrum çıkışları (cord).

Pompalama tekniğinde uzun bir süre bir teknolojik ilerleme olmadı ve lamba ile pompalama tekniği kullanılmaya devam edildi. Fakat daha sonra büyük gelişmeler olmuştur. En büyük gelişme de yarı iletken diyotla pompalama tekniğinin ortaya çıkmasıdır. Diyot pompalama tekniği yüksek verimlilikleri ve daha küçük boyutları nedeni ile çoğu uygulamada tercih edilmektedir.

Lazer teknolojisinde diğer bir ilerleme de daha kısa dalga boylarında özellikle spektrumun yeşil bölümünde diyot pompalama kullanılmasıdır. Yıllardır argon lazerler yeşil alanda en çok kullanılan lazerdi. Ama argon lazerler verimi düşük, büyük ve pahalıdırlar. Daha sonra bu gelişme ile yeşil lazer ışıını için frekans-katlamalı diyot pompalamalı Nd:YAG lazerler kullanılmaya başlandı (Ready, 1997).



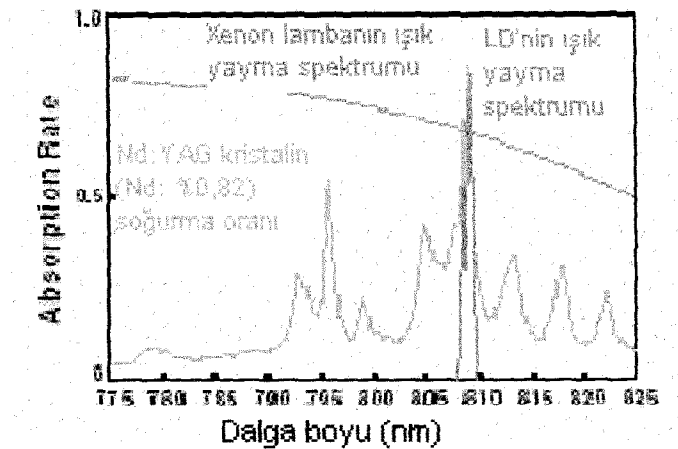
Çünkü bu tip lazerler kompakt, daha verimli ve daha ekonomik bir lazer elmasıdır. Böylelikle görüntüleme, tıp ve uzaktan etkileşim alanlarında ilerlemeler meydana gelmiştir.

Artık modern lazerler diyotla pompalama tekniğini kullanmaktadırlar. En çok kullanılan yarı iletken materyal GaAs'dir. Bazı materyaller periyodik tablonun III ve V grubu elementlerin karışımından elde edilir. Çizelge 4.1.'de en önemli yarı iletken lazer materyalleri gösterilmiştir

Çizelge 4.1. Yarı iletken lazer materyalleri.	
Materyal	Dalga boyu aralığı (nm)
$Al_{1-x}Ga_xAs$	780-880
$In_{1-x}Ga_xAs_{1-y}P_y$	1150-1650
$Al_xGa_yIn_{1-x-y}P$	630-680

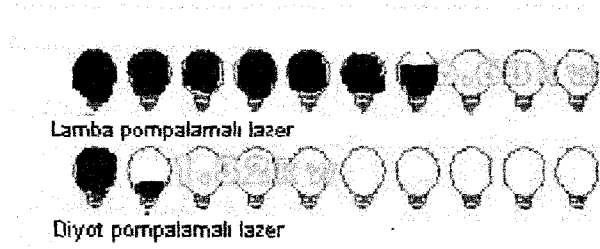
Bu tabloda x ve y değerleri 0 ile 1 arasında değerler alarak bileşikler hazırlanır. Bu değer değişimlerine göre dalga boyları değişir.

Yarı iletken lazer diyotla pompalamayı tercih edilmesinin sebepleri sırayla anlatılacak olursa, birincisi; verimliliğin daha fazla olmasıdır. Lamba ile pompalamada verim %1-2 civarında iken diyotla pompalamada bu oran %40-50'lara kadar çıkabilmektedir. Bu soğurma spektrumunun uygunluğu ile de doğru orantılıdır. Şekil 4.3.'te bu karşılaştırma gösterilmektedir (Ecomaker).



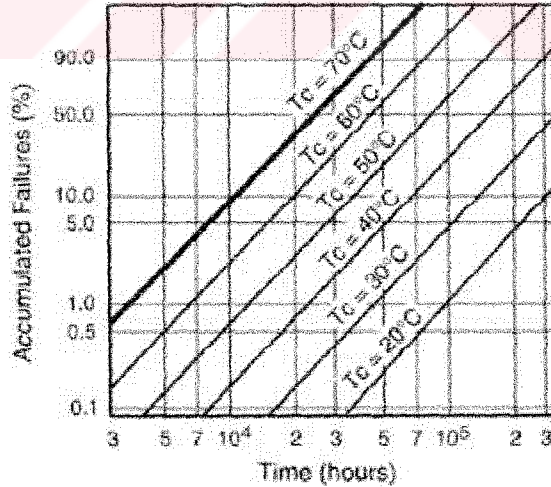
Şekil 4.3. Soğurma spektrumu uygunlukları (Ecomaker).

Diyotla pompalama tekniğinde daha az güç harcanmaktadır. Ecomaker firmasının ürettiği iki alet arasında yapmış olduğu karşılaştırma şekil 4.4.'te gösterilmiştir. Burada da görüldüğü gibi lamba pompalama tekniği kullanıldığında 6.63 kW enerji harcanırken , diyotla pompalamada 1.32 kW enerji harcanmıştır (Ecomaker).



Şekil 4.4. Güç harcaması karşılaştırması (Ecomaker).

Diğer bir tercih nedeni diyotla pompalama sisteminin daha az yer kaplaması ve daha hafif olmasıdır. Özellikle kompakt modellerde kullanılmalıdır. Bunun dışında kullanma süresi bakımından da karşılaştırdığımızda diyotlar daha uzun ömürlüdür. Lambaların 500-2000 saat aralığında ömürleri biterken , diyotlar 30000 saate kadar çalışabilmektedir.



Şekil 4.5. Lazer diyotların değişik sıcaklıklardaki çalışma ömürleri (Kullanıcı el kitabı, Sharp Laser Diodes. North America Sharp Electronics Corp., Camas, WA, 1992).

Fakat bu avantajların yanında dezavantaj olarak diyotların daha pahalı olması söylenebilir.

4.4. Detektör Seçimi

Fotodiyotlar APD ve PIN olmak üzere, ikiye ayrılırlar. PIN fotodiyotta, P ve N katmanları arasında ilave olarak instrinsic (undoped) I katmanı eklenmiştir. Küçük boyutları nedeniyle optik kabloları sonlandırmak için seçilir. Silisyum ve Germanyum olmak üzere iki çeşittir. Germanyum daha uzun dalga boyları için kullanılır. APD yani avalanche fotodiyotun çalışma prensibi PIN ile farklıdır. APD fotodiyotun algılama yeteneği daha fazladır. Mesafe ölçme tekniğinde dönen sinyalin gücü azaldığı için algılama yeteneği daha fazla olan APD fotodiyot alıcı detektörü olarak seçilmelidir. Gönderici sinyali algılamak için PIN fotodiyot kullanılabilir. Bunun dışında detektörleri birbirinden ayıran 4 ana karakteristiği vardır. Bunlar;

- 1-Hassasiyet (K_d)
- 2-Zaman sabiti (t_0)
- 3-Dalga boyu cevabı $D(\lambda)$
- 4-NEP (Noise equivalent power) gürültüye karşılık gelen güç karakteristiktir.

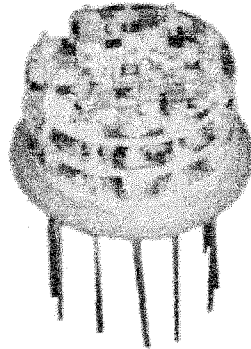
Detektörden önce özellikle dönen sinyalin algılanması sırasında sinyal ön kuvvetlendirici de kuvvetlendirilebilir. Bazı zamanlarda bunun olması zorunludur.

Piyasadaki detektörlerden bazılarını sayacak olursak Sharp'ın GP2D02 Proximity sensorunu, (barellonet) Hamamatsu firmasının S2382 APD detektörünü (Poujouly, 2002) ve Analog Modules firmasının 750 serisi alıcıları söylenebilir. Analog Modules Firmasının modellerini biraz inceleyelim. 750 serisi içinde APD ve PIN fotodiyotlar bulunmaktadır. Bu alıcıların özellikleri çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Analog Modules 750 serisi özellikleri.

Model	Detektör	Detektör Ø	Dalga boyu	Hassasiyet 50% Pd	Optimum Darbe Genişliği	Voltaj (V)
753A	InGaAs PIN	300µm	1.06 to 1.7µm	100nW	6ns	+12
754	InGaAs PIN	300µm	1.06 to 1.7µm	50nW	28ns	+12
755	InGaAs APD	200µm	1.06 to 1.7µm	8nW	28ns	+12, >100
756	Si APD	0.8mm	0.40 to 1.1µm	3nW	28ns	+12, >+450
757-02	InGaAs PIN	300µm	1.06 to 1.7µm	100nW	6ns	±12
757-03	InGaAs APD	80µm	1.06 to 1.7µm	18nW	6ns	±12, >200
757-04	InGaAs APD	200µm	1.06 to 1.7µm	30nW	6ns	±12, >200
758-03 & 758A-03	InGaAs APD	80µm	1.06 to 1.7µm	6nW	6ns	+12, >100
758-04 & 758A-04	InGaAs APD	200µm	1.06 to 1.7µm	9nW	6ns	+12, >100
759	InGaAs PIN	300µm	1.06 to 1.7µm	45nW	20ns	5 ± 0.25

Model 755 hibrid lazer mesafe ölçümü alıcısını örnek olarak verebiliriz. Küçük boyutu ile kompakt çalışmalar için kullanılabilir. Ayrıca göze zarar vermeyen dalga boyunda da (1.54µm) kullanılmaktadır. InGaAs APD özelliğiyle yüksek duyarlılığa sahiptir. Aşağıda bir örneği gösterilmiştir.



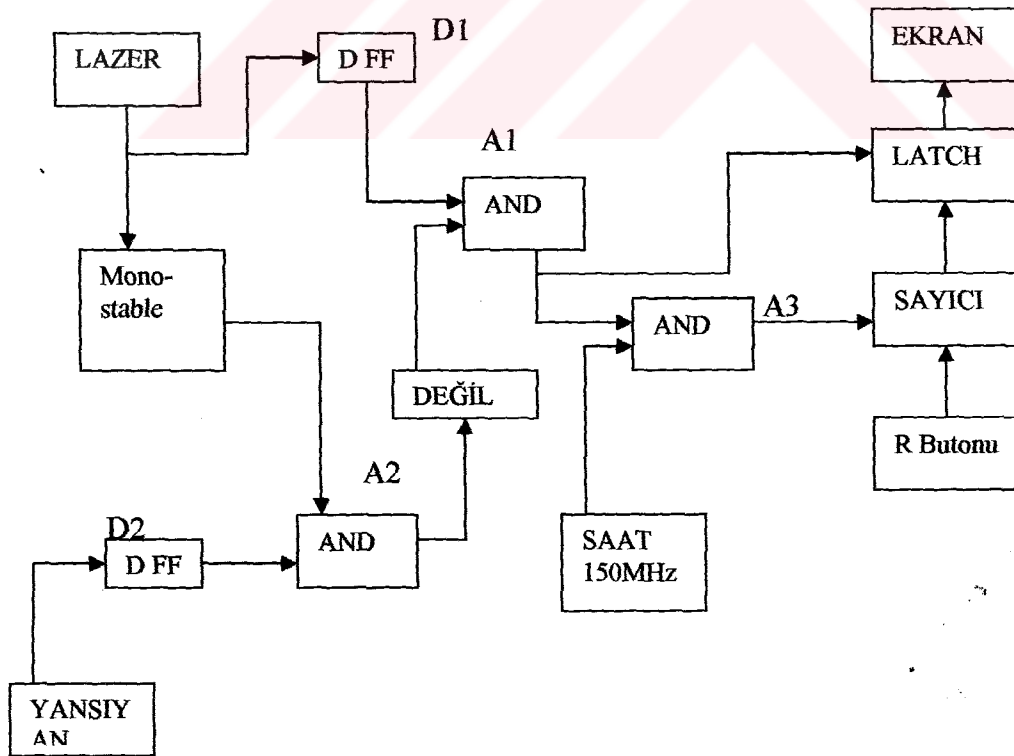
T.C. İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHÜRÜ

Şekil 4.6. Analog Modules 755 model alıcı (analogmodules).

4.5. Zaman Ölçen ve Mesafeyi Görüntüleyen Devre Tasarımı

Lazer ışının gidip gelme süresini ölçüp sonuçta mesafeyi metre cinsinden gösteren bir devreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için basit bir devre tasarlanmıştır. Bu devrenin pratik uygulamasının yapılabilmesi için birkaç ns'lik sürelerle cevap verebilecek devre elemanları kullanılmalıdır. Bu elemanlar günümüzde kolay bulunmamaktadır.

Bu devrede 3 buton bulunmaktadır. Bu butonlardan R butonu görüntüyü sıfırlamayı sağlar. L ve Y butonları lazer ışınlarının geldiğini göstermemiz için Lazer ve Yansıyan yerine kullanılmıştır. Normalde bu butonlar yerine fotodetektorlerden gelen değerler olmalıdır. Fakat simülasyon devresinde bu şansımız olmadığı için butonlar kullanılmıştır. L butonu ile lazer ışınının hedefe gönderildiği bildirilir. Bu sinyal D1 flip flopu ile A1 and kapısına iletilir. A1'in diğer girişi hedeften sinyal gelmedikçe lojik 1 seviyesindedir. Böylece A1 çıkışı lojik 1 olur. A3 adlı and kapısına gelir. Burada 150 MHz'lik bir saat kullanılmaktadır.



Şekil 4.7. Tasarlanan devrenin blok şeması.



Devrenin Elektronik Workbench programında çizimi ekte sunulmuştur. Kullanılan Saatin frekansı, sayıcıdan sonra başka bir işlem yapmayarak direkt olarak ekranda sonucun metre cinsinden ifadesini görmek için ayarlanmıştır. Saatin frekans ayarı anlatılacak olursa; mesafe d ise uzaklık ölçme formülümüz;

$$d = c * t / 2 \quad (4.1.);$$

şeklindedir. Burada c ışık hızı yani $3 * 10^8$ m/s'dir. t de geçen zamandır. Burada t 'yi 1 sn seçersek ölçümümüz sayıcıya gelecek darbelerin sayılması ile oluşacaktır. t yerine 1 yazarsak 150000 darbe buluruz. Saniyede 150000 darbe demek 150 MHz'lik bir saat demektir. Bu nedenle bu frekansta saat seçilmiştir.

A3 and kapısının çıkışı lojik 1 olduğunda sayıcımız saymaya başlar. Sayıcı J - K flip floplardan yapılmıştır. Hedeften yansıyan sinyalin geldiğini göstermek için Y butonu kullanılmıştır. Bu yansıyan sinyal tasarladığımız minimum mesafeden daha önce gelirse, bunun yanlış bir ölçüm olabileceği nedeniyle monostable devresi konulmuştur. Bu erken yansıma atmosferdeki bazı maddelerden de kaynaklanabilir. Bu da bizim yanlış sonuç almamızı sağlar. Monostable devresi lazer hedefe gönderildiğinde tetiklenir ve bizim istediğimiz süre kadar A2 adlı and kapısına lojik 0 verir. Bu süre monostable girişine bağlanan bir direnç ve kondansatörün değerine göre belirlenir. İstenen süre " t_m " ise, formülü;

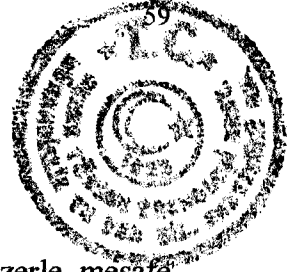
$$t_m = 0.0693 * R * C \quad (4.2.);$$

şeklinde bulunur. R 'nin değeri "ohm", C 'nin değeri "farad" olarak yazıldığında t 'nin "saniye" cinsinden değeri bulunur. Böylece, istenmeyen çok kısa mesafeli hatalı olabilecek ölçüm engellenir. Bu değer aynı zamanda ölçülebilecek minimum değer anlamına gelir. Bu devrede bu 50 cm olarak düşünülmüştür. Sisteme göre ışının $3 * 10^8$ m'lik yolu 2 s'de gidip geldiği kabul edilir. Buna göre doğru orantı ile 50 cm'lik yol ölçümü için 33 ns'ye ihtiyaç vardır. Bu süre öncesinde devre çalışmamalıdır. 4.2. formülüne göre monostable devre elemanına bağlanacak direnç, $R = 10 \text{ k}\Omega$ seçilirse; kondansatörün değeri $C = 47.8 \text{ pF}$ olması gerekir.

Y butonu ile hedeften sinyalin geldiğini gösterdiğimizde D2 flip flopu tetiklenir. Monostabe devresi çıkışı lojik 1'e geçmişse A2 çıkışı lojik 1 olur. Böylece A1 girişine lojik 0 iletilir. Bu nedenle zaman sayıcı durur. Şu anda saymış olduğu süre latch devresinin girişindedir. Latch devreleri D flip floplarla yapılmıştır. A2 'nin çıkışının lojik 0 olması ile saat durduğu gibi latch kapıları da tetiklenir ve girişte bekletilen değerler ekrana aktarılır. A3 and kapısında kullandığımız saatin frekans ayarı nedeni ile bu görülen değer mesafenin metre cinsinden gösterimidir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER



Bu çalışmada lazerlerin en önemli uygulamalarından olan lazerle mesafe bulucu sistemler incelenmiştir. Bu incelemeye başlamadan önce lazerlerin çalışması, tarihi gelişimi, türleri ve çeşitli alanlardaki uygulamaları anlatılmıştır. Burada lazerlerin tarihinin çok eski olmamsına rağmen çok geniş bir uygulama alanına sahip olduğu görülmüştür.

Daha sonra mesafe ölçümünde kullanılan teknikler farklılıkları, uygulama alanları ile birlikte gösterilmiştir. Bu tekniklerden hedefimiz olan uzun mesafe ölçümü için en uygun tekniğin ışının seyahat süresini ölçme tekniğinin olduğu görülmüştür. Bir sonraki bölümde yapılmış olan çeşitli lazer mesafe bulucular incelenmiştir.

Dizayn bölümünde karar verilen özelliklerde bir lazer mesafe bulucu için nelerin olması gerektiği üzerinde durulmuştur. Bu tezde askeri uygulamalarda kullanılan uzun mesafe ölçüm cihazlarının kompakt hali hedeflenmiştir. Bu nedenle yukarıda da belirtildiği gibi uçuş süresini ölçme tekniği seçilmiştir. Lazer olarak Q-anahtarlama Nd:YAG lazer olması gerektiği Nd:YAG materyalinin özellikleri ile gösterilmiştir. Pompalama tekniği olarak kompakt özelliğimizden dolayı diyot pompalamanın seçilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Son yıllarda ortaya çıkan mikroçip diyot pompalama Nd:YAG lazer incelenmiş, kullanılırsa cihazın daha da küçük boyutlu olacağı görülmüştür. Fotodiyot olarak da sinyali yakalama yeteneği daha fazla olan APD tipi fotodiyot kullanılmalıdır.

Zaman ölçümü ve mesafe göstermek için bir devre tasarlanmış, simülasyonu yapılmış ve çalışması anlatılmıştır. Bu sistemde devre elemanları 1-2 ns'lik hızlara cevap vermeleri gerektiği için pratik uygulamada bu hızda elemanlar kullanılmalıdır.

Bu çalışma sırasında görülmüştür ki; dünyada lazerin imali ve uygulamaları yönünde önemli ve uzun süreli çalışmalar devam etmektedir. Ülkemizde Aselsan'da

mikroelektronik, güdüm ve elektro-optik grubunda lazer sistemleri tasarım çalışmaları yapılmaktadır. Yalnız bu çalışmalar yeterli değildir. Üniversitemiz, sanayi ve özel sektör kuruluşlarımız da bu çalışmalara önem vermeli ve katılmalıdır. Lazerlerin her türlü kullanımı için konu Devlet Planlama Teşkilatının planlarında yer almalı ve projeler desteklenmelidir (Cora, 2002).

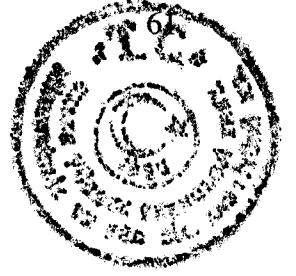
Lazerler konusunda hem yeni lazer malzemelerinin elde edilmesi ve özelliklerinin geliştirilmesi, uygulama alanının genişletilmesi ve hem de lazer güvenliğini ve çalışma ortamlarının emniyetini arttırıcı yönde çalışmalar yapılabilir. Almanya ve Fransa 1997'de lazerler konusunda antlaşma imzalamışlardır. Alman Fraunhofer firmasından Franz Miller'e göre artık "fotonik çağ" başlanmıştır. AB'ye aday olduğumuz bu dönemde ülkemiz daha fazla geri kalmamalıdır (Cora, 2002).

Lazerle işlemlerde kullanılan devre elemanlarının ns hatta ps'lerde işlem yapmaları gerekir. Bu nedenle devre elemanlarının çalışma hızlarının arttırılması için çalışmalar yapılmalıdır.

Robot teknolojisinde kullanılan mesafe ölçüm cihazlarında nesneler daha sofistike, çok renkli olursa başarısız olunmaktadır. Bir diğer eksiklik de gölge efektleridir. Daha iyi bir sonuç almak ve özellikle 3D görüntü çizimi için farklı algoritmalar geliştirilmelidir. Sinyal analizleri için daha güçlü işlemeçiler geliştirilebilir.

Ayrıca robotlarda kullanımı geliştirildikçe insanların gidemeyeceği tehlikeli yerlere robotlar gönderilebilir ve çeşitli uygulamalar yaptırılabilir.

Son olarak lazerle mesafe bulma sisteminin tüm donanımı lazer, PC, monitör, bir kartta oluşturulursa hem taşıma hem de çok çeşitli alanlarda uygulama alanı ortaya çıkacaktır.

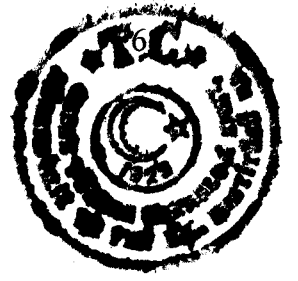


KAYNAKLAR DİZİNİ

1. Metiner, H., "Lazerler ve Askeri Alandaki Uygulamaları", Aselsan Dergisi, sayı 44, Mart 1998.
2. Cora, A., "Lazerler", Otomasyon Dergisi, sayı 126, s. 74-78, Aralık 2002
3. Center for Occupational Research and Development, "www.cord.org/leot"
4. Fidan, U., "Design and Construction of a 3D Laser Rangefinder for Indoor Applications", Yük.Lisans Tezi-ODTÜ, s. 1-140, Ocak 2001.
5. Cora, A., "Lazerlerin Güvenliği, Sınıflandırılması, Etkileri ve Koruma Yolları", Otomasyon Dergisi, sayı 127, s. 118-121, Ocak 2003.
6. Reyhan, T., "Savunma Sanayiinde Elektro-optik Arge ve Destek Stratejileri", konferans, AFCEA Türkiye Şubesi, s.19, Haziran 1998.
7. "mst.aselsan.con.tr"
8. Gülmez, E., "Advanced Physics Experiments", s.109-111, 1999.
9. Acuity Research, "www.acuityresearch.com".
10. www.geocities.com/CapeCanaveral/Hall/1410/lab-Project-contents.html.
11. Hofstetter, D., Zappe, H. P. and Dandliker, R., "Optical Displacement Measurement with GaAs/AlGaAs-Based Monolithically Integrated Michelson Interferometers", Journal of Lightwave Technology, vol 15, no 4, s.663-669, April 1997.
12. Ready, J.F., "Industrial Applications of Lasers", second edition, s.133-136, s.256-277, 1997.
13. Eberly, J.H. and Milonni, P.W., "Lasers", s.585-589, 1988.
14. Dvornikov, D., "Linear Optics and Industrial Applications of Lasers", lecture 8 ders notları, 2002.
15. Goldwasser, S.M., "Sam's Laser FAQ", "www.qsl.net/k3pgp/notebook/lasersam.htm"
16. www.czrdy.com/products-e.htm
17. Mcneill, M.D., Lawrence, W. and Chu, H.M., "Design of a time-of-Flight Range Finder" Becknell University, IEEE, November 1999.



18. Gasmi, K., Haddouche, A. And Gasmi, T., "Single counting and displaying electronics for laser-based two-target range finders", Meas Sci. Technol. 1998.
19. "Time of Flight Imaging", "acfr.usyd.edu.au"
20. Saxena, M., "Obstacle Avoidance using Laser Scanner for Bearcat III", Jaipur Rajasthan University, India, 1999.
21. Beattie, P., "The design and implementation of a Focused Stochastic Diffusion Network to solve the self-localisation problem on an autonomous wheelchair", s. 48, July 2000.
22. Koechner, W., "Solid-State Laser Engineering", Fourth edition, Germany 1996.
23. Ecomaker, www.ecomaker.com web sayfası
24. www.barello.net/gp2d02/index.htm
25. Poujouly, S. and Journet, B., "A twofold frequency laser range finder", Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, s.356-363, 2002.
26. Analog Modules, "www.analogmodules.com"
27. Yoshino, T. et al., "Fiber Coupling-Operated Orthogonal-Linear-Polarization Nd:YAG Microchip Laser: Photothermal Beat-Frequency Stabilization and Interferometric Displacement Measurement Application", Journal of Lightwave Technology, vol.16 no.3, s.453-458, March 1998.
28. Delaye, V. and Labeye, P., "High-resolution eye safe time of flight laser range finding", France.
29. katalog.ssm.gov.tr
30. Nettleton, J., Barr, D., Schilling, B. and Lei, J., "Micro-Laser Range Finder Development", US ARMY CECOM RDEC NVESD, February 1999.

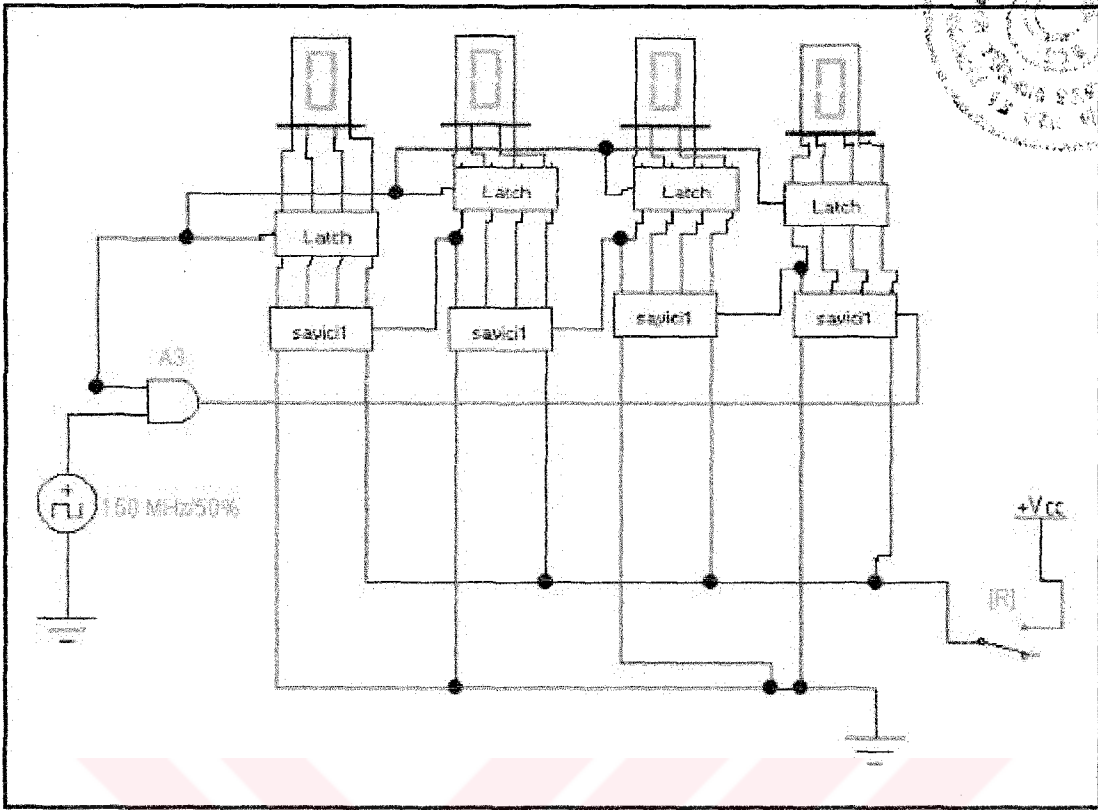


ÖZÇEÇMİŞ

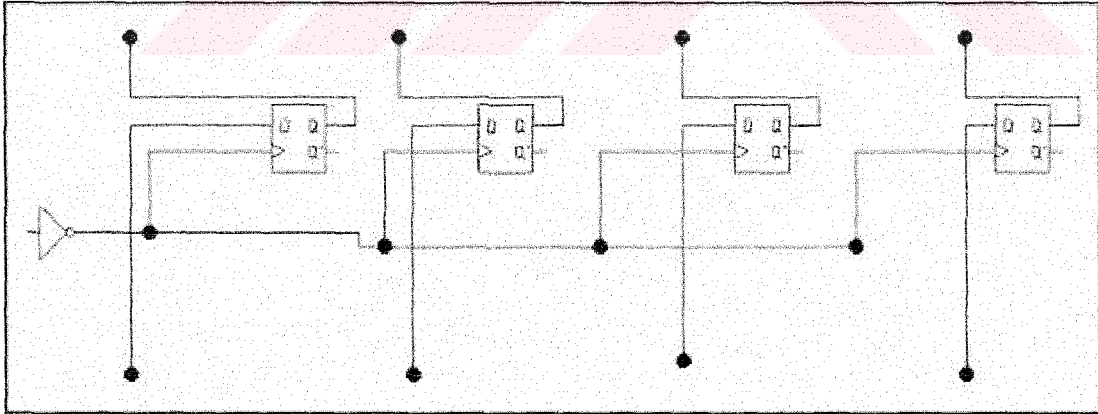
Aslen Sarıgöl/Manisa nüfusuna kayıtlı olan Cemil HEPGÜL, 1978'de Tatvan'da doğmuştur. İlkokula İzmir'de başlayıp Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde bitirmiş, ortaokul ve lise eğitimini Kastamonu'da almıştır. Bursa Uludağ Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2000 yılında lisans diploması almış, 2001 yılı Şubat döneminde Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansa başlamış ve halen devam ettirmektedir.



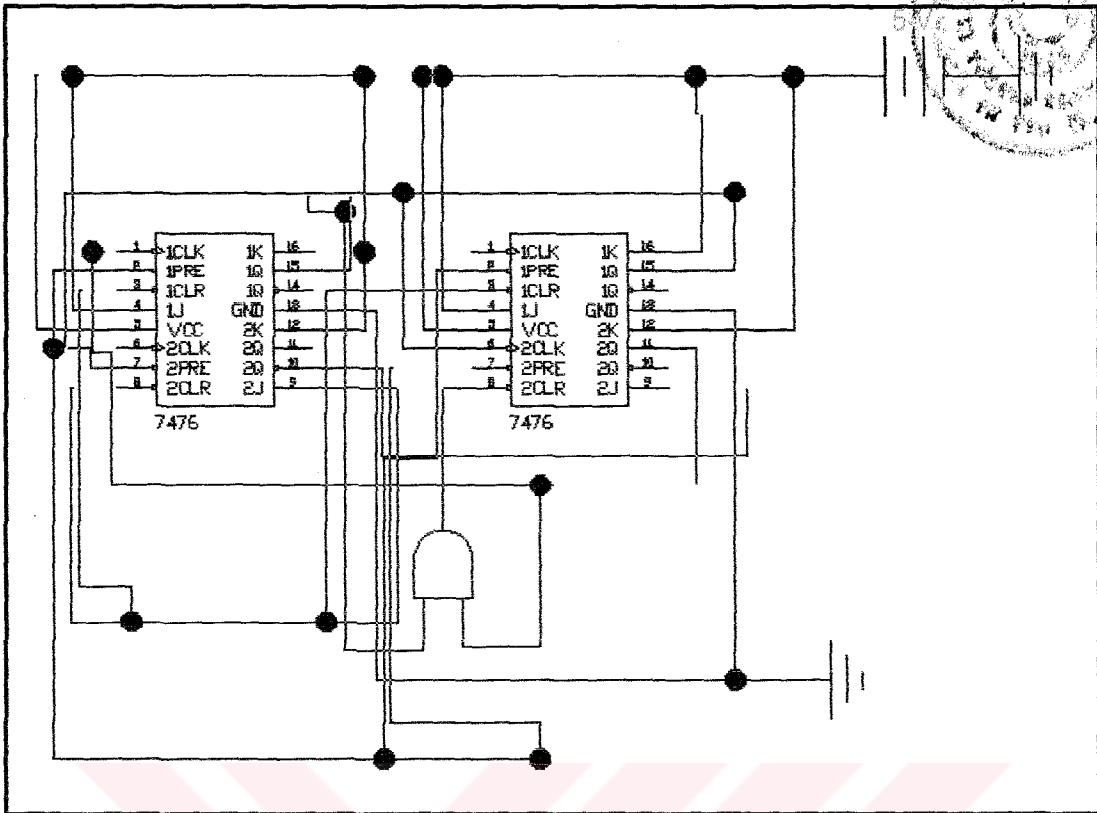
Şekil E.1.1. Devrenin sol kısmı (ışının alındığı kısım).



Şekil E.1.2. Devrenin sol tarafı (sayıcı, saat ve ekranın bulunduğu yer).



Şekil E.1.3. Latch devresinin içeriği.

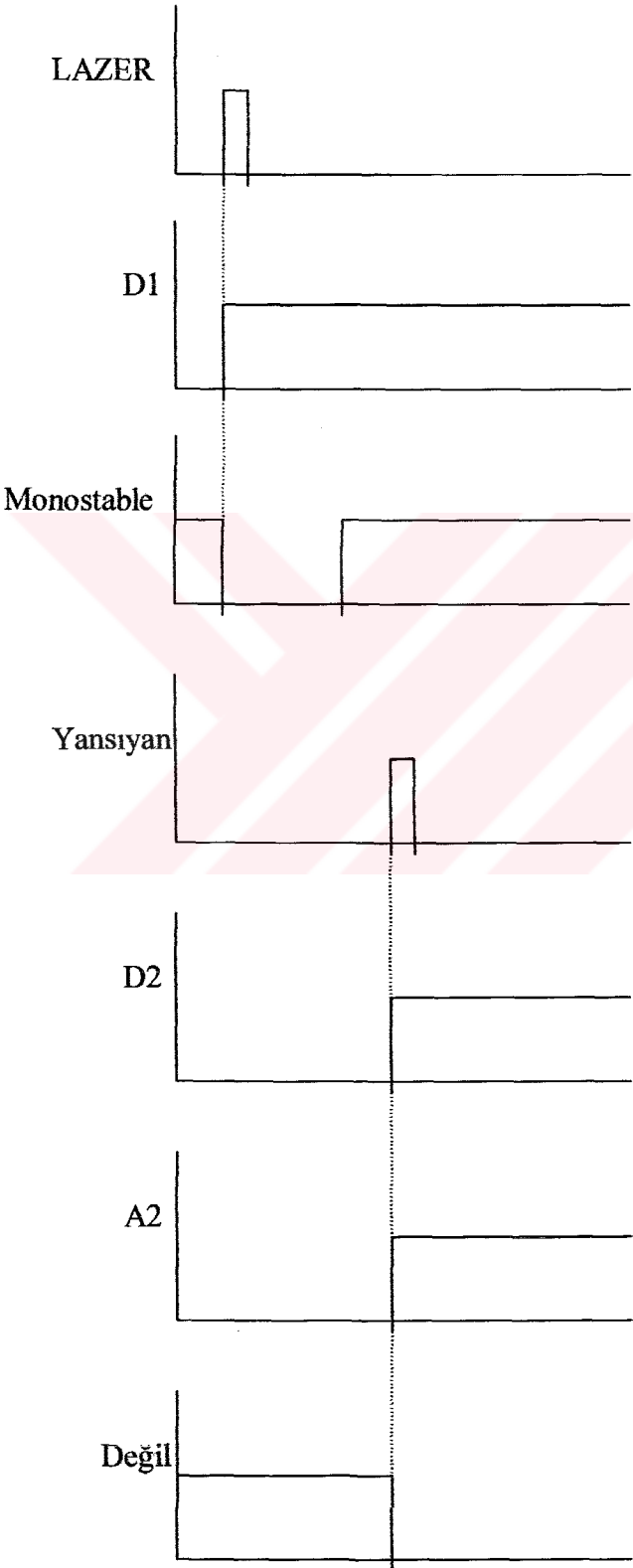


Şekil E.1.3. Sayıcılardan bir tanesinin içeriği.

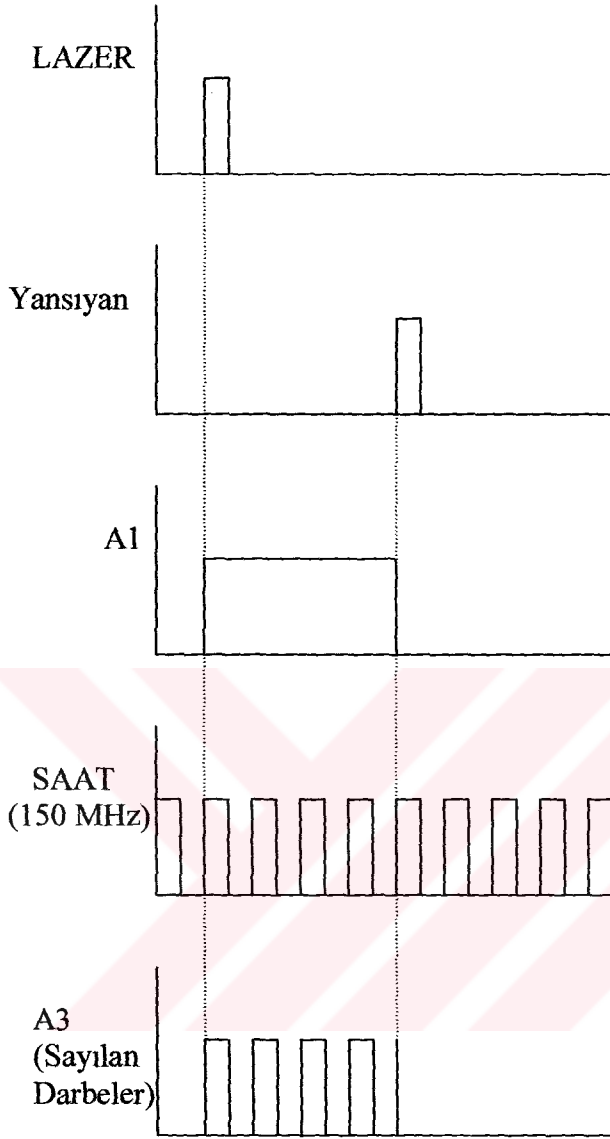
Sayıcı devresi J-K Flip Flop'larla yapılmıştır.



EK 2. Tasarlanan Devrede Kullanılan Elemanların Zaman Diyagramları



Şekil E.2.1. Devre elemanlarının zaman diyagramları (1)



Şekil E.2.2. Devre elemanlarının zaman diyagramları (2)