

**KARBONDİOKSİT (CO₂) LAZERLE
FİBER OPTİK YÜZEYLERİNİN PARLATILMASI
VE VERİM HESAPLARI**

İbrahimgazi ER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞUSTOS 2005
ANKARA**

**KARBONDİOKSİT (CO₂) LAZERLE
FİBER OPTİK YÜZEYLERİNİN PARLATILMASI
VE VERİM HESAPLARI**

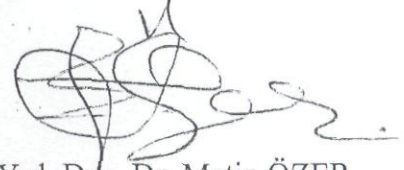
İbrahimgazi ER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞUSTOS 2005
ANKARA**

İbrahimgazi ER tarafından hazırlanan KARBONDİOKSİT (CO₂) LAZERLE FİBER OPTİK YÜZEYLERİNİN PARLATILMASI VE VERİM HESAPLARI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Yrd. Doç. Dr. Metin ÖZER

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Kemal Celakoglu

Üye : Prof. Dr. Necati Salim

Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin Özer

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



**KARBONDİOKSİT (CO₂) LAZERLE
FİBER OPTİK YÜZEYLERİNİN PARLATILMASI
VE VERİM HESAPLARI
(Yüksek Lisans Tezi)**

İbrahimgazi ER

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ağustos 2005**

ÖZET

Bu çalışmada, fiber optik kabloların kesit alan yüzeyleri mekanik ve lazerli parlatma yöntemleri uygulanarak düzgünleştirilmiş ve veri aktarımındaki verimin değişimi (kayıptaki azalma) incelenmiştir. Fiber makası ile kesimi yapılan, mikron mertebesinde zımparalarla mekanik olarak düzgünleştirilen fiber optik kablo yüzeylerindeki kayıpların karbondioksit lazerle yapılan parlatmayla azaldığı gözlenmiştir. Farklı üretici firmaların fiber optik kabloları kullanılarak yüzeylerdeki kayıplar desibel (dB) olarak ölçülmüştür. Lazerle parlatmada uygulama süresinin verime etkisi incelenmiş, minimum kayıp 6 saniyelik lazer ışın demetiyle parlatılan yüzey parlatmasında elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 404.05.01
Anahtar Kelimeler : Fiber optik, Lazer, CO₂ Lazerler, Yüzey parlatma
Sayfa Adedi : 54
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Metin ÖZER

**FIBER OPTIC POLISHING
WITH CARBONDIOXIDE LASERS (CO₂)
AND EFFICIENCY ANALYSIS
(M.Sc. Thesis)**

İbrahimgazi ER

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
August 2005**

ABSTRACT

In this study, mechanical or laser polishing of fiber optic surfaces were done and changing of gain (loss decreasing) were determined. It was observed that the polishing by carbondioxide laser beam decreases the losses in the efficiency instead of cutting by fiber scissors and polishing materials with micron scale. Different manufacturer's fiber optic cables were used and the losses are measured as desibell (dB). The application time with respect to efficiency was investigated and minimum loss was determined in the six seconds laser beam applications.

Science Code	: 404.05.01
Key Words	: Fiber optic, Laser, CO₂ Lasers, Surface polishing
Page number	: 54
Adviser	: Yrd. Doç. Dr. Metin ÖZER

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda değerli yardımlarını esirgemeyen ve katkılarıyla destek olan kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Metin ÖZER' e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, O.D.T.Ü. lazer laboratuvarındaki deneysel uygulamalarımda yardımcı olan Ar. Gör. Necmettin KENAR' a, çalışmalarım boyunca fedakarlık ve anlayış gösteren eşim Özlem ve minik kızım Zeynep'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. FİBER OPTİK MALZEME HAKKINDA GENEL BİLGİ	4
2.1. Temel Fiber Yapısı	4
2.2. Optik Ortamda İletim	5
2.2.1. Nüve ve kılıf	5
2.2.2. Sınır değeri	7
2.2.3. Mod nedir?	7
2.2.4. Çoklu mod fiber nüvesi	8
2.2.5. Dalga boyuna bağlı dağılım	9
2.2.6. Sinyalin zayıflaması	10
2.2.7. Saçılmalar	10
2.2.8. Çoklu mod ve tekli mod kablolar	11
2.3. Optik İletim Sisteminde Dalga boyları	12
2.3.1. Tek ve çift dalga boylu iletim	13
2.4. Fiberin Sınıflandırılması	15

	Sayfa
2.4.1. Cam fiberler.....	15
2.4.2. Plastik fiberler	15
3. LAZERLER	16
3.1. Lazer	16
3.1.1. Osilasyon.....	17
3.1.2. Q anahtarlama.....	20
3.1.3. Mod kilitlenmesi.....	20
3.2. Lazer Işıması	20
3.3. Lazer Kaynağı	21
3.4. Lazer Gazları	22
3.5. Lazer Işınının Özellikleri.....	22
3.5.1. Lazer ışınından korunma	22
3.5.2. Enerji seviyeleri arasındaki elektron hareketleri	23
4. CO ₂ LAZER SİSTEMİ	26
4.1. Moleküler Salınım Çeşitleri	26
4.2. Atom Yoğunlukları ve Enerji Seviyeleri	27
4.3. Lazer Sistemindeki Plazma Gazları ve CO ₂ Gazı	29
4.3.1. He gazı.....	30
4.3.2. N ₂ gazı	31
4.3.3. Uygulanan gerilim.....	32
5. FİBER OPTİK YÜZEYLERİN PARLATILMASI	33
5.1. Mekanik Parlatma Tekniği	33
5.2. Karbondioksit Lazerle Yüzey Parlatma Tekniği	35

	Sayfa
5.3. Deneysel Prosedür ve Analiz	37
5.3.1. HeScS marka fiber optik kablo yüzeylerindeki kayıp grafikleri.....	40
5.3.2. CFS marka fiber optik kablo yüzeylerindeki kayıp grafikleri.....	42
5.3.3. HES marka fiber optik kablo yüzeylerindeki kayıp grafikleri	44
5.3.4. Samsung marka fiber optik kablo yüzeylerindeki kayıp grafikleri ...	46
5.3.5. Optical marka fiber optik kablo yüzeylerindeki kayıp grafikleri	48
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	54

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Karbondioksit gazının çıkış gücüne etkisi	30
Çizelge 4.2. Helyum gazının çıkış gücüne etkisi	31
Çizelge 4.3. Uygulanan gerilimin çıkış gücüne etkisi	32

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Fiber optik kablo çeşitleri.....	4
Şekil 2.2. Tekli mod fiber kablo	5
Şekil 2.3. Nüve içindeki yansıma profili	5
Şekil 2.4. Farklı indislerde ışığın kırınımı	6
Şekil 2.5. Optik iletim ortamında indis profili	7
Şekil 2.6. Çoklu mod fiber kablo	8
Şekil 2.7. Tekli ve çoklu modun fiberde ışığın izlediği yollar	11
Şekil 2.8. Elektromanyetik spektrumda fiber uygulamaları.....	12
Şekil 3.1. Enerji seviyeleri arasındaki elektron hareketleri.....	24
Şekil 4.1. Karbondioksit moleküllerinin salınım çeşitleri.....	26
Şekil 4.2. Boltzman kuramı	27
Şekil 4.3. Normal yoğunluk ve nüfus tersinmesi	28
Şekil 4.4. Dört seviyeli lazer sistemi	29
Şekil 4.5. Karbondioksit gazının çıkış gücüne etkisi	30
Şekil 4.6. Helyum gazının çıkış gücüne etkisi	31
Şekil 4.7. Uygulanan gerilimin çıkış gücüne etkisi	32
Şekil 5.1. Karbondioksit lazer modeli	35
Şekil 5.2. Karbondioksit lazeri ile yüzey parlatma sistemi.....	36
Şekil 5.3. M100 Handheld OTDR cihazının kayıp (dB) ölçüm tekniği.....	38
Şekil 5.4. Lazer uygulama zamanına bağlı grafiklerin yorumu	39
Şekil 5.5. HeScS marka kablolardaki kayıp ölçümlerinin şematik gösterimi	40

Şekil	Sayfa
Şekil 5.6. Parlatılan HeScS marka fiber optik yüzeylerdeki kayıplar	41
Şekil 5.7. HeScS marka fiber yüzeylerine lazeri uygulama süresi ve kayıplar	41
Şekil 5.8. CFS marka kablolardaki kayıp ölçümlerinin şematik gösterimi	42
Şekil 5.9. Parlatılan CFS marka fiber optik yüzeylerdeki kayıplar	43
Şekil 5.10. CFS marka fiber yüzeylerine lazeri uygulama süresi ve kayıplar	43
Şekil 5.11. HES marka kablolardaki kayıp ölçümlerinin şematik gösterimi	44
Şekil 5.12. Parlatılan HES marka fiber optik yüzeylerdeki kayıplar	45
Şekil 5.13. HES marka fiber yüzeylerine lazeri uygulama süresi ve kayıplar	45
Şekil 5.14. Samsung marka kablolardaki kayıp ölçümlerinin şematik gösterimi ..	46
Şekil 5.15. Parlatılan Samsung marka fiber optik yüzeylerdeki kayıplar	47
Şekil 5.16. Samsung marka fiber yüzeylerine lazeri uygulama süresi ve kayıp	47
Şekil 5.17. Optical marka kablolardaki kayıp ölçümlerinin şematik gösterimi	48
Şekil 5.18. Parlatılan Optical marka fiber optik yüzeylerdeki kayıplar	49
Şekil 5.19. Optical marka fiber yüzeylerine lazeri uygulama süresi ve kayıp	49

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Mekanik parlatma işlemi.....	33
Resim 5.2. NOYES OFS 300 ile parlatılmış fiber optik yüzeylerin incelenmesi ...	33
Resim 5.3. Mekanik parlatma yapılan fiber optik kablo yüzeyleri.....	34
Resim 5.4. Düzleştirme öncesi ve sonrası fiber yüzeyleri	36
Resim 5.5. NOYES marka M100 Handheld OTDR (kayıp : dB) test cihazı	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a	Sabit : 0,1,2,3,...
E_1	1. seviyedeki enerji
E_2	2. seviyedeki enerji
E_3	3. seviyedeki enerji
N_1	1. seviyedeki atom sayısı
N_2	2. seviyedeki atom sayısı
k	Boltzman sabiti
N_i	i.. seviyedeki atom sayısı
NA	Mod sayısı
N	Net Kayıp
T	Sıcaklık
ν	Titreşim enerjisi
ν_1	1. seviyedeki titreşim enerjisi
ν_2	2. seviyedeki titreşim enerjisi
ν_3	3. seviyedeki titreşim enerjisi
λ	Dalgaboyu
Kısaltmalar	Açıklama
dB	Desibel
MM	Multi mod
SM	Single mod

1. GİRİŞ

Günümüzde ‘fiber optik’ günlük yaşamın vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. Fiber optik malzemelerin kullanıldığı elektrik/optik dönüştürücüler sayesinde görüntü, ses ve sinyaller elektrik enerjisinden optik enerjiye dönüştürülmekte ve uygun özellikte fiber optik kablolar üzerinden onlarca kilometre mesafeye (bazı durumlarda 100 km) kadar iletilebilmektedir. Bakır kablolarla göre çok daha uzun mesafelere ve ortamdaki elektriksel gürültüden etkilenmeden daha kaliteli, görüntü, ses ve veri iletimi sağlayan Fiber Optik Kablo ağı gereksinim duyulan yatırım maliyetinin az oluşu, arıza tamir ve bakım kolaylığı ve sistemin kapasite esnekliği sayesinde birçok sektörde uygulanmaya başlanmıştır.

Kartlı geçiş, iç ve dış haberleşme , bariyerli giriş-çıkış sistemleri, LAN (Local Area Network), WAN (Wide Area Network), ADSL ve internet bağlantılarının yanı sıra görüntülü uygulamalarda da kullanılan fiber optik kablolar veriyi sinyaller şeklinde iletir. Çok uzun mesafelere iletimi sağlanan başlıca sinyaller; (a) RS-232 / RS-422 / RS-485 / T1- E1 / CC (Contact Closure) Data sinyallerinin iletimi, (b) Bir fiber üzerinden tek yönlü veya çok yönlü olarak görüntü iletimi (c) Bir fiber veya iki fiber üzerinden; görüntü/ses, görüntü/veri veya görüntü/ses/veri iletimi ile sağlanır. Ayrıca, söz konusu sistemlerin değişik modelleri daha geniş frekans bandı gerektiren TV sektöründe görüntü ve ses yayıncılığında da kullanılmaktadır.

Fiber optik kablolarla iletim kayıpları, fiberin en önemli özelliklerinden biridir. Fiberdeki kayıplar, sinyal gücünde bir azalmaya neden olur ve böylece sistem bant genişliğini, bilgi iletim hızını, verimliliği ve sistemin genel kapasitesini azaltır. Başlıca fiber kayıpları şunlardır: Soğurma kayıpları, malzeme yada Rayleigh saçınım kayıpları, renk yada dalga boyu ayrılması, yayılım kayıpları, modal yayılma ve en önemlisi yüzey bağlantı kayıplarıdır. İki bitişik kablonun uçlarının bütün pürüzleri giderilmeli, parlatılmalı ve düzleştirilmiş bu iki uç birbirine tam olarak uymalıdır.

Fiber optik kablolarla yüzey düzgünlüğüne bağlı iletim kayıpları, bir iletim birimi

olan ‘Desibel’ (dB) ile belirlenir. Ondalık logaritma kullanılır ve iki değer arasındaki karşılaştırmaya dayanır. Elektriksel devrelerde gerilim, akım ve gúc devreye bağlıdır; volt, amper ve watt ile ölçölür. Bu değerlerin hepsi ölçölümün yapıldığı devreye bağlıdır. Fakat desibel’in kullanıldığı iletim ve yayılım ölçölülerinde birim ölçölünün yapıldığı devreye bağlı değildir. İletişimde seviye kavramı gibi desibelin kullanılışıyla ilgili en önemli kavram kazanç ve kayıptır. Girişteki sinyal gúcü çıkıştakine göre daha büyük ise kayıp vardır demektir.

Bütün ölçölü birimlerinde sıfır, ölçölülen niceliğin yokluğunu gösterir. Fakat Desibelin en önemli özelliği sıfır değerinin anlamıdır. Örneğin giriş ve çıkış sinyalleri oranı birbirine eşit ise ($P_1=P_2$);

$$N=10.\log (P_1/P_2)= 10.\log (P_1/P_1)= 10.\log (P_2/P_2)=10.\log 1=10.0= 0 \text{ dB bulunur.}$$

Bunun anlamı; fiber optik kablonun yüzeyine giren ve çıkan sinyallerin miktarlarının birbirine eşit olduğudur. Yani verim %100 demektir. Fiber optik kablolarda yüzey düzgünlüğüne bağlı iletim kayıplarında %100’lük bir verim elde etmek neredeyse imkansız olduğu için negatif dB değerlerine ulaşılmaktadır.

Genelde fiber yüzeyleri klasik fiber makaslarıyla kesilmekte ve mekanik yöntemlerle düzgünleştirilir. Mikron mertebesindeki zımparalarla yapılan bu mekanik yüzeysel düzeltme optik demetlerin fiber optik kabloya girdiği ve çıktığı yüzeylerde tam yüzey düzgünlüğü sağlayamadığı için kayıplar artmakta, verim düşmektedir.

Lazer, elektromanyetik enerjinin toplanarak yönlendirilmiş bir şekli olarak tanımlanır. Lazerin geliştirilmiş çeşitleri, günümüz teknolojisinin gelişmesi paralelinde; haberleşme, tıp, teknik ve savunma gibi bir çok alanda değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Lazer ışını herhangi bir sinyal kaynağından daha yoğun ve şiddetlidir. Son derece düzgün bir sinyaldir ve çok az sapar. Bir denemede dünyadan gönderilmiş olan lazer ışını Apollo 11’in Aya bıraktığı bir aynadan yansıyıp hiç sapmadan geri dönmüştür. Lazer ışınlarının bu seyahatinde aldığı yol 750.000

km'dir. Lazer ışını keskin bir şekilde hedeflendirilebilir yani lazer ışını küçük bir yere büyük enerjiler verebilir. Karbondioksit ve Nd: YAG Lazerler kızılötesinde; Excimer lazerler ise morötesinde sinyal verirler. Görünen spektrumda sadece Argon, Dye, Krypton ve nispeten zararsız Helium-Neon lazerler yer almaktadır. Çıkış gücüne göre Karbondioksit Lazerler; delici, kesici ve en önemlisi parlatıcı özelliktedir. Uygulandığı süreye bağlı olarak yüzeyde mikron derecesinde etkilediği ve materyalin kristal yapısını değiştirmedeği görülmüştür. Metal, seramik, cam ve fiber optik yüzeylere kolayca uygulanır. Fiber optik yüzeyin parlatılması (düzgünleştirilmesi) tek renkli, oldukça düz, yoğun ve aynı fazlı paralel dalgalar halinde genliği yüksek güçlü bir sinyal demeti üreten karbondioksit lazerlerle yapılmaktadır.

Özellikle fiber optik yüzeylerde elde edilen bu yüzey düzgünlüğü önemli ölçüde kayıpları azaltmakta yani sinyal verimini arttırmaktadır. Bu çalışmada, farklı üretici firmalardan alınan fiber optik kablolar mekanik yöntemle ve karbondioksit lazerle parlatılmış, lazerle parlatılan yüzeydeki sinyal iletimi mekanik parlatmaya göre çok daha az bir kayıpla sağlanmıştır. Fiber yüzeylerine yapılan bu uygulamanın zamana bağlı değişimi incelenmiş ve en az kayıp 6 saniyelik lazer ışını uygulamasıyla elde edilmiştir. Lazerle parlatılmış yüzeylerde yüzey düzlüğü sağlanmış ve sinyal veriminin arttığı (sinyal kaybının azaldığı) ölçülmüştür.

2. FİBER OPTİK MALZEME HAKKINDA GENEL BİLGİ

2.1. Temel Fiber Yapısı

Günümüzde bir çok alanda farklı fiber kablolar kullanılmakta (Şekil 2.1) daha hızlı ve güvenli veri iletimi sağlanmaktadır. İçteki nüve sinyal taşıyan kısımdır. Çevreleyen kılıf ise, sinyalin nüve içerisinde tam dahili yansımaya uğramasını sağlayan kırılma indisindeki farklılığı temin eder. Kılıfın indisi, nüvenin indisinden % 1'e yakın oranda daha azdır.



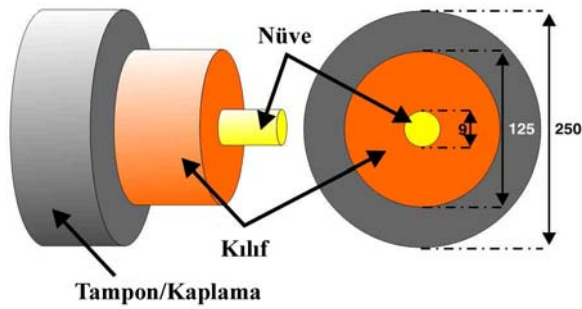
Şekil 2.1. Fiber optik kablo çeşitleri

Fiber optik kablolar için tipik indis değerleri; nüvenin kırılma indisi 1.47 ve kılıfın kırılma indisi 1.46'dır. Fiber üreticileri tasarlanan fiber karakteristiklerini elde ederken bu farkı dikkatli bir şekilde kontrol etmektedirler (1).

2.2. Optik ortamda iletim

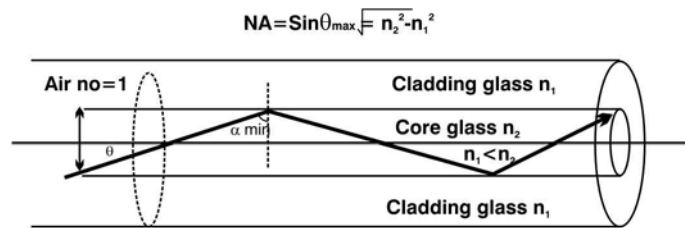
2.2.1. Nüve (core) ve kılıf (cladding)

Optik fiber nüve (core) ve kılıf (cladding) ismindeki iki yoğunlaşmış tabakadan oluşur (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Tekli mod fiber kablo

Işık, yüksek indisliiden düşük indisliye geçerken normalden uzaklaşarak kırılır. Geliş açısı artıp, belirli bir değere ulaştığında ise ışın ne yansır ne de kırılır (Şekil 2.3) , ara yüzeyde kalır. Kritik açı olarak adlandırılan bu değerın üstünde gelen ışınlar ise tam yansıma yapar.



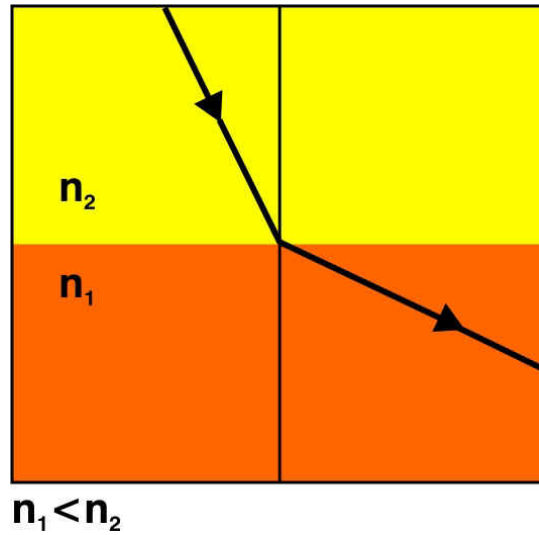
Şekil 2.3. Nüve içindeki yansıma profili

Fiber optik kabloların ışığı ileten kısmı, temel olarak nüve ve kılıf olmak üzere iki kısımdan oluşur. Nüve ve kılıfın hammadde si saydam eritilmiş camdır. Nüve fiberin merkezindedir ve ışığı ileten kısımdır. Fiber nüve indisi onu örten kılıfın indisine

göre daha büyük olduğundan ışınların fiber nüve içinde yol alışı aynı şekilde yukarıda bahsedilen yansıma ilkesine dayanır (2).

Işınlar sadece nüve ortamında iletilir. Çünkü nüve indis değeri kılıf indis değerinden daha yüksektir. Işınlar tam yansımaya uğrayarak nüve içinde hapsolür. Ayrıca nüve ve kılıfı saran dışta coating dediğimiz saydam plastik bir tabaka vardır. Bazı ışınlar nüve içinde yansımayıp kayarak kılıf'e kaçır. Coating'in indisi kılıfa göre büyük olduğundan, kılıfa kaçıp kontrolden çıkan ışınlar coating'de emilir. Ayrıca coating (kaplama), nüve ve kılıfı mekaniksel etkilerden korur (3).

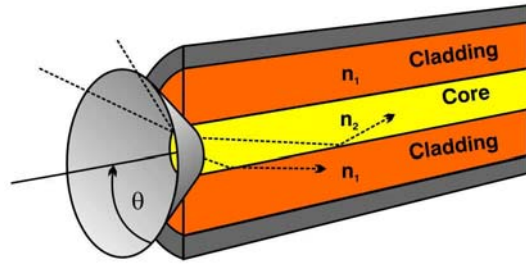
Sinyal doğrusal ilerleyen ışınlardan oluşur. Işınlar, kırılma indisleri farklı bir ortamdan diğerine geçerken gelen ışının normalle yaptığı açıya bağlı olarak kırılma ve yansımaya uğrar. Işın az yoğun (düşük indisli) ortamdan çok yoğun ortama (yüksek indisli) geçerken normale yaklaşıp kırılır (Şekil 2.4)



Şekil 2.4. Farklı indislerde ışığın kırınımı

2.2.2. Sınır değeri

Fiber, sinyal kaynağından gelen bütün ışınları kabul etmez. Fiberin kabul edeceği ışın miktarı nüve çapına ve ışının geliş açısına bağlıdır. Fiber, nüve eksenine belli bir değerden ($\theta_{\max}$) büyük açıyla gelen ışınları kabul etmez. Çünkü $\theta_{\max}$ açısının üstünde gelen ışınların α açısı kritik açının altında kalır ve kırımına uğrayarak kılıfa geçer (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Optik iletim ortamında indis profili

Kılıfa geçen ışın kaybolur. θ açısının (ışığın nüve tabakasına girdiği açı) alabileceği maksimum sinüs değeri sık sık karşılaştığımız bir kavram olan sınır değeri (Numerical Aparture)'dır (NA). Geometrik olarak formüle edildiğinde görülecektir ki NA ne nüve çapına ne de saydam maddenin indis değerine bağlıdır (4). Sadece nüve ve cladding'in indis farklılığına bağlıdır ve doğru orantılıdır. İndis farkı arttıkça NA büyüyeceğinden fiberin kabul ettiği ışın miktarı artar. Kısaca NA fiber damar içinde ilerleyebilecek ışınların sinyal kaynağından en çok kaç derecelik açı ile geldiğini belirleyen bir değerdir.

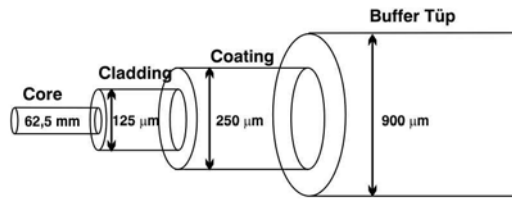
2.2.3. Mod nedir?

Tek bir ışının fiber içinde izlediği yola (path) mod denir. Fibere değişik açılarla giren ışınlar farklı açılarla yansırarak gideceğinden farklı yollar izler. Diğer uca farklı sürelerde ulaşırlar. Örneğin nüve eksenine 0° açıyla gelen ışın, yansımaya uğramadan, asal eksene paralel, en kısa yolu kat ederek en kısa zamanda uca ulaşır. Bu moda ana mod (LP01) denir. Eksene açıyla gelen ışınlar ise nüve içinde

yansıyarak gider. Kat edilen yol ışının geliş açısı büyüdükçe yani α (yansıma) açısı küçüldükçe artar. Fibere farklı açılarda gelen ışınlar, diğer uca farklı zamanlarda ulaşır. Veri işaretleri (signals, pulses) bir grup ışın demeti ile bir uçtan diğerine iletilir. Modlar arası faz farkından (ayrı yollardan ilerleyen ışınların farklı zamanlarda diğer uca ulaşması) meydana gelen girişimle, işaretler zaman içinde genişler. Bu durum işaretin veri iletim hızını (bit rate); dolayısıyla bant genişliğini azaltır. İstenmeyen bu duruma modsal dağılım (modal dispersion) denir. Tanımından da anlaşılacağı üzere bu sadece çoklu mod fiberlerden oluşan bir durumdur (5).

2.2.4. Çoklu mod fiber nüvesi

Modsal dağılımı minimum seviyeye indirmek için çoklu mod (MM) fiber nüve dereceli indis (graded index) olarak indis çeperlerden merkeze artacak biçimde (Şekil 2.6) üretilir.



Şekil 2.6. Çoklu mod fiber kablo

Böylelikle eksene paralel ve farklı açılarla yansıyarak ilerleyen ışınlar farklı ortalama hızlara sahip olur ve aralarındaki zaman farkı, dolayısıyla faz farkı ortadan kaldırılmış olur. Kısa mesafelerde (2000 m) dereceli indis modsal dağılımı ihmal edilebilir seviyeye indirir de çok uzun mesafelerde modlar arası tekrar faz farkı oluşur (6). Modsal kaynaklı dağılıma kesin çözüm sadece ana modun (LP01) geçişine izin veren tekli mod (tekli mod - tek modlu) fiberdir. Tekli mod fiberde modsal dağılım olayına rastlanmaz. Fiber için mod sayısı, NA ve nüve çapı ile doğru orantılı, dalga boyu ile ters orantılıdır.

$$v = NA2\pi a/\lambda \quad \text{Mod sayısı} = v/2 \quad (2.1)$$

Mod sayısını azaltarak sadece LP01 in fiberden geçişini sağlamak için belli kriterler mevcuttur. Denklem (2.1) deki değer 1 olacak şekilde tekli mod fiber oluşturulur. Mesela nüve çapı 9 μm olan fibere 1310 veya 1550 nm dalga boyu sinyal kullanıldığında sadece LP01 - ana mod iletilebilir. Diğer sinyaller nüve tabakasına giremez, girenler ise kırılarak nüve veya kılıfta kaybolur, iletilmez. SM (tekli mod) fiberlerde sinyal genişlemesi söz konusu olmadığı için çok yüksek bant genişliği elde edilir. Tek mod geçişi olduğundan tekli mod fiber nüve, basamak indisli (indis değeri nüvenin her yerinde eşit) olarak üretilir. Basamak indisli fiber üretmek, dereceli indislerden daha kolaydır (7).

2.2.5. Dalga boyuna bağlı dağılım

Sinyal kaynakları ışığı bir tek dalga boyunda değil de dalga boyu değerleri (λ), $\lambda\Delta$ kadar değişebilen dalga grubu olarak yayar. Grubu oluşturan dalga tanecikleri de farklı sürelerde ilerleyeceğinden aradaki zaman farkından sinyal yine genişler. Dalga boyuna bağlı bu tip dağılıma kromatik dağılım (chromatic dispersion) olarak adlandırılır. Bu tip dağılım 1200-1600 nm arasında sıfıra en yakındır. Tekli mod kablolarda bu değer modsal dağılıma oranla çok daha düşük olduğu için göz önüne alınmaz.

2.2.6. Sinyalin zayıflaması

Sinyal optik ortamda iletilirken gücü azalır ve sinyal zayıflar. Minimum seviyede olan bu kayıp, uzun mesafelerde tekrarlayıcısız veri iletiminin sağlanmasına olanak sağlamasının yanında optik transmisyon sistemlerinin inşasında mutlaka göz önünde bulundurulması gereken önemli bir parametredir. Fiziksel bir takım etkiler; emilme, saçılma, makro eğilme, ışığın enerji kaybederek zayıflamasına neden olur. Zayıflama ışığın dalga boyu değerine de bağlıdır. Bu nedenle fiberdeki zayıflama değeri dalga boyu spektrumu göz önüne alınarak ölçülmelidir. Su fiberin en büyük düşmanıdır. Kablonun su alması durumunda iletkenlerin elektrolizinden ortaya çıkan OH iyonlarının fiberin yapısına (SiO_2) girmesi, yani fiberin OH yutması fiberde yol alan

sinyalin zayıflamasına ve fiberin ömrünün kısılmasına sebep olur. Fiberin nem yutması durumunda 1400 nm dalga boyunda zayıflama maksimum seviyede olur.

2.2.7. Saçılmalar

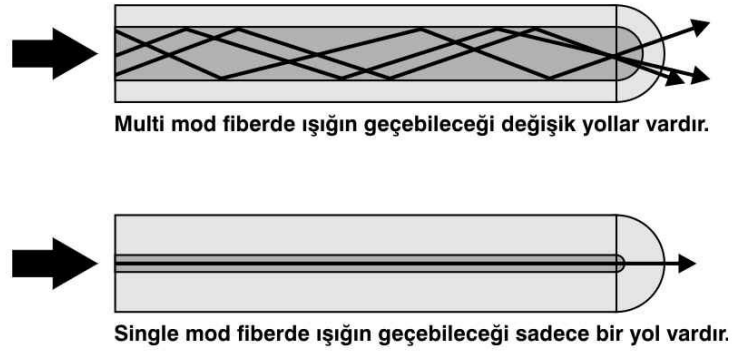
Üretilen fiber optik kablolar tamamen ideal homojen yapıda üretilmemektedir. Kullanılan fiberde mikro düzeyinde yoğunluğu farklı bölgeler vardır. Bu bölgelerde sinyal küçük bir miktar saçılır.

Işığın dalga boyunda daha küçük boyutlardaki engellerden saçılması durumuna Rayleigh saçılması denir. Bu saçılmaya bağlı olarak fiberde her dalga boyunda zayıflama meydana gelir. Dalga boyu arttıkça Rayleigh saçılmasından kaynaklı kayıp azalır (8).

2.2.8. Tekli mod ve çoklu mod kablolar

Tekli mod ve çoklu mod fiberde ışığın izlediği yollar (Şekil 2.7) farklı farklıdır. Çoklu mod ve tekli mod kablolar kısa mesafelerde ve LAN uygulamalarında, tekli mod kablolar ise uzun mesafelerde ve WAN uygulamalarda tercih edilir.

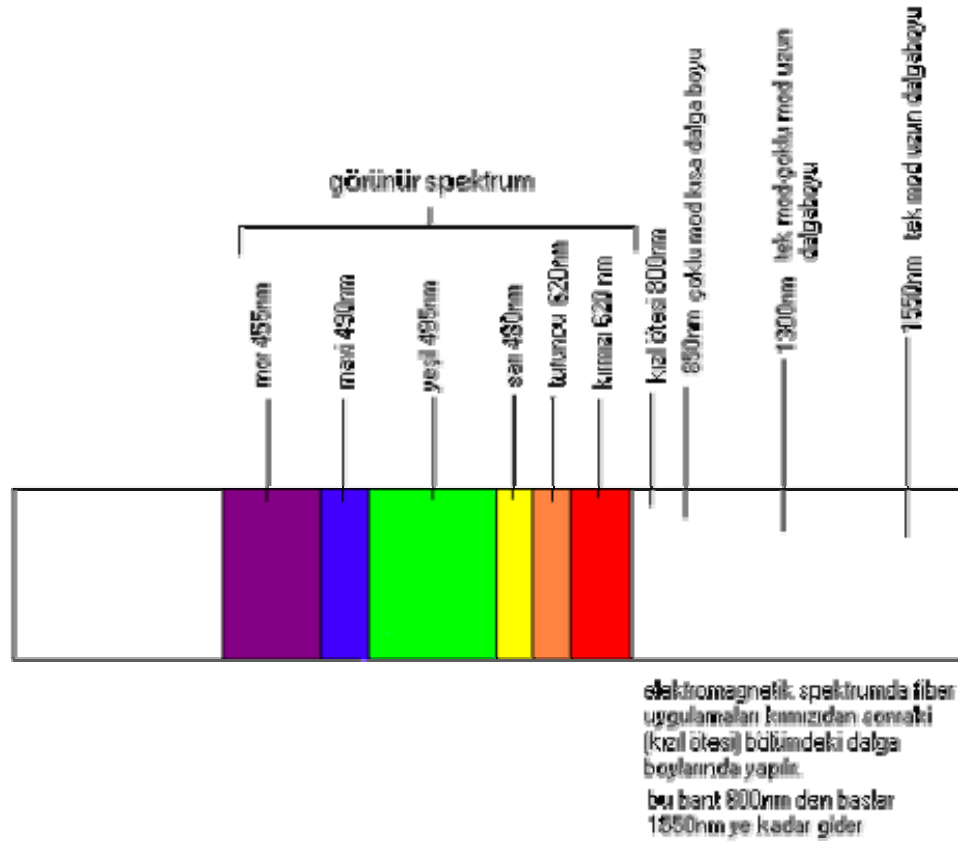
SM kablolar daha yüksek band genişliğine sahip ve daha kolay üretiliyor olduğu halde kısa mesafelerde MM kablolar daha çok tercih edilir. SM fiber nüve çapı 9 μm iken MM (Çoklu Mod) fiber nüve çapı 50 μm veya 62,5 μm 'dir. Nüve çapının daha büyük olması nedeniyle MM fiberin montaj ve tesisi SM fiber göre daha kolay ve ucuzdur. Tekrarlayıcı(repeater) kullanmadan 2km'ye kadar sorunsuzca kullanılabilen MM kablolar, LAN uygulamalarında tercih edilir.



Şekil 2.7. Çoklu ve Tekli Mod fiberde sinyalin izlediği yollar

Band genişliği, telekomünikasyon sistemlerinde bilgi taşıma kapasitesinin bir parametresi. 850/1300 nm’de çoklu mod sistemlerde 400 MHz, Tekli mod sistemlerde ise neredeyse sınırsızdır. Band genişliği modlar arası zaman farkı ile ters orantılıdır. SM fiberlerde modlar arası zaman farkı ile ters orantılıdır. SM fiberlerde modlar arası zaman farkı söz konusu olmadığından sinyal genişlemez.

Her ışının bir dalga boyu vardır. Bu dalga boyu ışığın görünür/görünmez yada elektromagnetik spektrumda nerede ve ne özellikte olduğunu belirler. Örneğin infrared (kızıl ötesi) ışınlar insan gözünün algılayabileceği sınırın altındadır.



Şekil 2.8. Elektromanyetik spektrumda fiber uygulamaları

Bir ışın demetinin nüve içerisinde ilerleme hızı dalga boyuna bağlıdır. Örneğin mor olan yani mor renkli ışığın dalga boyu 455 nm, kırmızı ışığın dalga boyu 620 nm.(Şekil 2.8) . Bunun anlamı bu iki ışın fiber içinde aynı hızla ilerlemez. Kırmızı ışın aralarındaki dalga boyu farkı kadar daha hızlı ilerler.

2.3. Optik İletim Sistemlerinde Dalga Boyları

Fiber için mod sayısı NA ve nüve çapı ile doğru orantılı, λ ile ters orantılıdır. Fiber nüve çapı montaj ve tesis zorluğundan minimum 9 μm olacak şekilde üretilebilir. Nüve ve cladding arasındaki indis farkı da minimum düzeydedir. (1.48 - 1.46) Bu değerlere göre kullanılması gereken dalga boyu 1150 nm ve 1875 nm arası olarak hesaplanmıştır.

Optik sinyaller zayıflamadan dolayı varış noktasına gücü azalmış olarak ulaşır. Zayıflama üretim hataları, ek kayıpları gibi dış etkenlerin yanında dalga boyuna bağlı Rayling dağılmasına da bağlıdır. Optik zayıflama, kullanılan ışığın dalga boyu büyüdükçe azalır. Ayrıca fiber nem yutma durumunda zayıflamayı en çok 1350 - 1450 nm arasında gösterir. Çeşitli deney ve ölçümlerden sonra zayıflama değerinin 850 nm 1300 nm ve 1550 nm'lerde en düşük olduğu ortaya çıkmıştır. SM fiber için kullanılan dalga boyu yukarıda bahsedildiği gibi 1150 nm ve 1875 nm arasında olması gerektiğinden 1300 nm ve 1550 nm kullanılır. Çoklu mode fiberlerde böyle bir sınırlama olmadığından 850 nm'de kullanılır. Bu duruma bağlı olarak verici , alıcı gibi cihazlar bu dalga boyu değerlerine göre yapılandırılmıştır. Yıllardır bu değerleri kullanmak alışkanlık haline gelmişse de, daha avantajlı, kullanımı kolay, değişik dalga boylarında faaliyet gösterebilen fiber üretim çalışmaları sürmektedir (9).

2.3.1. Tek ve çift dalga boylu iletim

Dalga boyuna bağlı olarak optik ortamda tek mod ya da çok mod iletilebilir. Dalga boyu büyülterek optik ortamda iletilen mod sayısı azaltılır. Dalga boyu belli bir değere ulaştığında fiber sadece ana modu iletir. Bu değere kesme dalga boyu (cut off wavelength) denir. Fiber, kesme dalga boyunun üzerinde tekli mod altında ise çoklu mod iletir.

Çoğu fiberler kılıf etrafında da bir kaplamaya sahiptir. Bir veya daha fazla polimer tabakasından meydana gelen kaplama, nüve ve kılıfı optik veya fiziki özelliklerini etkileyebilecek şoklardan korur. Kaplama fiber içinde sinyal yayılımını etkileyecek optik özelliklere sahip değildir. Bu tampon kaplama sadece şok emicilik özelliğine sahiptir.

Tam iç yansıma bir fiber içinde yol alan sinyali göstermektedir. Sinyal fibere enjekte edilir ve nüve-kılıf sınırına çarparak kritik açıdan daha büyük açılarda nüveye geri yansıyarak yol alır. Bu nedenle gelme ve yansıma açıları birbirine eşittir ve dolayısıyla yansıtılan sinyal tekrar yansıyarak fiber boyunca zig-zag şeklinde yol alır.

Bununla birlikte, kritik açıdan daha küçük açılarda sınıra çarpan sinyaller, kılıfa

geçer ve oranın üzerinde kaybolur. Kılıf genelde bir sinyal taşıyıcısı olarak verimsizdir. Bu nedenle sinyal kılıfta oldukça çabuk zayıflar.

Daha sonra nüve ve kılıfın kırılma indislerine bağlı olarak snell kanununda belirtilen şekilde yayılacaktır. Böyle bir dahili yansıma, basit bir optik fiber içerisinde sinyal yayılımının temelini oluşturur. Bu analizde yalnızca "eksenel ışınlar" göz önüne alınır. Belirli bir anda fibere aksenel giren sinyaller fiber boyunca yol alabilirler. Diğer sinyaller eğri (skew) sinyaller olarak isimlendirilir ve fiber eksenine ulaşmadan aşağıya doğru yol alırlar. Bir eğri sinyalin yolu tipik olarak heliseldir. Merkez etrafında sarmal olarak (dönerek) gider. Kısaca eğri sinyaller fiber optik analizlerinde genellikle ihmal edilir.

Bir fiber içerisinde sinyal yayılımının özel karakteristikleri bir kaç faktöre bağlıdır. Bunlar;

- Fiberin büyüklüğü
- Fiberin bileşimi
- Fibere enjekte edilen sinyal

Fiberler oldukça küçük çaplara sahiptirler. İnsan saçı 100 μm civarında olduğuna göre bunları gerçekleştirmenin zorluğu ortadadır. Fiber boyutları genelde (nüve çapı / kılıf çapı) şeklinde verilir. Örnek olarak; $50/125 = \text{Nüve çapı (50 } \mu\text{m) / kılıf çapı (125 } \mu\text{m)}$ veya $100/140 = \text{Nüve çapı (100 } \mu\text{m) / kılıf çapı (140 } \mu\text{m)}$ verilebilir. Bu küçük boyutlar içerisinde binlerce telefon konuşması iletilir.

2.4. Fiber Sınıflandırılması

Optik fiberler iki şekilde sınıflandırılır. Birincisi yapıldıkları malzemeye göre sınıflandırmadır:

2.4.1. Cam fiberler

Cam nüveye ve cam kılıfa sahiptirler. Bu nedenle yaygın olarak kullanılırlar. Fiberlerde kullanılan cam ultra saf, ultra saydam, silisyum dioksit veya kuartz kristalidir. Eğer deniz suyu bir fiber kadar temiz olsaydı okyanusun en derin yeri olan 32.177 feet derinliğe sahip pasifikteki Mariana çukurunun dibini görebilirdi.

Arzu edilen kırılma indisini elde etmek için cam fibere diğer bazı katkı maddeleri katılır. Örnek olarak germanyum veya fosfor indisi artırır. Bor veya flor indisi düşürür. Cam saflaştırılırken ayrıştırılamayan diğer bazı katkı maddeleri fiber içerisinde kalır ve ışığı dağıtma ve emme gibi zayıflamayı arttıracak şekilde fiber karakteristiklerini etkiler.

Plastik Kaplı Silisyum (PCS): Cam nüveye ve plastik kılıfa sahiptirler. Performansı cam nüve olan fiberler kadar iyi değildir.

2.4.2. Plastik fiberler

Plastik nüve ve plastik kılıfa sahiptirler. Diğer fiberlere nispeten plastik fiberlerin kayıpları yüksek band genişlikleri sınırlıdır. Çok düşük maliyetli oluşu ve kolay kullanımı nedeniyle yüksek band genişliği veya düşük kayıp istenmeyen uygulamalarda plastik fiberler tercih edilmektedir. Plastik fiberlerin elektromanyetik sinyal iletim hassasiyeti ve güvenilirliğinin iyi olması yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır (10).

3. LAZERLER

3.1. Lazer

Lazer, elektromanyetik enerjinin toplanarak yönlendirilmiş bir şekli olarak tanımlanabilir. Lazerin geliştirilmiş çeşitleri, günümüz teknolojisinin gelişmesi paralelinde; haberleşme, tıp, teknik ve savunma gibi bir çok alanda değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Lazer, uzun yıllar süren araştırmaların bir sonucu olarak, zorlamalı (stimüle edilmiş) emisyonla, mikrodalga alanında elde edilen kuvvetlendirmenin, spektrumun optik bölgesinde de elde edilmesi prensibine dayanır (11).

Lazer olayının teorik olarak meydana gelebileceği 1958 yılında Schawlow ve Townes tarafından ortaya atıldı. 1960 yılında Dr. T.H. Mainman, Hughes araştırma laboratuvarındaki çalışmaları sonucunda, uçları gümüş kaplı Ruby kristalini kuvvetli bir Xenon flaş lambasıyla ışınlamak suretiyle stimüle edilmiş emisyonu ve 690 nm. dalga boyundaki lazer ışınlarını elde ederek, optik ilminin en önemli buluşlarından biri olan, ilk darbe esaslı(darbeli) katı lazeri gerçekleştirdi . 1961 yılında sürekli çalışan ilk katı lazer ise Johnson ve Nassau tarafından geliştirilmiştir, 1962 yılında, Rediker (MIT Lincoln lab.), Nathan (I.B.M.) ve Hail (G.E. araştırma lab.) grubunun Çalışmaları sonucunda, yarı iletken lazerler geliştirilmiştir .

1963 yılında, Kidder ve Mead grubu Lawrence Livermore laboratuvarında 12-ışınlı bir lazer sistemi kurarak, lazer-füzyon deneylerine başlamışlardır. Aynı yıl sonunda Dr.K.N.Patel AT&T Bell l laboratuvarında 10.6 nm. dalga boyundaki 1nW sürekli güç veren CW-CO₂ lazeri gerçekleştirerek , 1964 yılında yaptığı çalışmaları yayınladı (12) .

1965 yılında Legay-Sommaire, Henry ve Legay, Patel ve Kerl çeşitli gaz karışımları kullanarak çıkış gücü 100 Watt'ın üzerinde, elektrik deşarjlı CO₂ lazerler geliştirmişler , daha sonra da Kapsel ve Pimental tarafından, ilk kimyasal lazer olan, HCI-lazeri gerçekleştirmiştir .

Elektrik deşarjı ile uyartılan ilk darbeli-HF lazer 1969 yılında Batouski, Vasilev, Makarov ve Talroz tarafından, optik uyartımlı lazeri de Burmasov, Savalev, Polyakov ve Chumak tarafından gerçekleştirilmiştir. 1971 yılında Nath, lazerin endoskopik yolla kullanımına yardımcı olan fiber optik iletken üzerinde çalışmalar yaparak, 100 Watt sürekli ve MW mertebesindeki darbe gücünün iletilebilmesini sağlamışlardır .

Lazer teknolojisindeki deneysel gelişmelerden en önemlilerinden birisi de harici uyartımlı deşarj teknolojisinde iyonizatör olarak elektron ışınlarının kullanılmasıdır. Daugherty ve Fenstermacher grubu , bu metodu kullanarak elektrik deşarjlı-CO₂ lazeri geliştirmişlerdir.

Dalga boyunun ayarlanabilmesinden dolayı haberleşme ve spektroskopik sistemlerde tercihen kullanılan CO₂-dalga kılavuzlu lazer prensibinin CO₂ lazere ayarlanması, CO₂-He-N₂ karışımı kullanılarak, ilk defa 1972'de Bridge, Burkhardî ve Smith grubunca başarılmıştır (13).

Haberleşme sistemlerinde kullanılan ayarlanabilir dalga kılavuzlu CO₂ lazerle ilgili ilk prototipi 1973'de geliştiren Abrams'dan sonra, 1975'de NASA için doppler etkili bir heterodin haberleşme sistemi hazırlayan Goodwin çalışmalarını yayınladı.

1970 yılı sonlarına doğru He-Ne, He-Cd ve Argon lazerleri, bilgisayar yazıcıları ve optik disk teknolojisinde kullanılarak; lazer printer ve odyo diskler geliştirilmiştir. 1980 yılında ise, gelişen yarı iletken teknolojisi paralelinde, odyo disk, video disk, lazer yazıcı ve veri kayıt teknolojisinde lazer diyotlar kullanılmaya başlanmıştır.

Optik bilgisayarlarla ilgili bir çalışma AT&T Bell laboratuvarlarında Huang tarafından 1985'te başlatılmış ve bu amaçla, ışığa duyarlı monolitik devreler ve mikro lazerlerden faydalanılmıştır . Daha sonraları (1990) Huang ve Ninke grubu; optik anahtarlama, dağıtım şebekesi yada haberleşmede kullanılabilen, işaret ve enerji iletimi yalnızca lazer merceklerle sağlanan (optik ara bağlaşımlı), 8x6 elemanlı dört kapı dizisinden oluşan bir dijital optik işlemciyi gerçekleştirmişlerdir.

Haberleşme sistemleri, mikroişlemciler ve bazı lojik fonksiyonları gerektiren uygulamalarda kullanılmak üzere, optik transistor teknolojisiyle geliştirilen üç terminalli bir başka optik bilgisayar da Invention Submission Co. araştırmacıları tarafından 1990 yılı başlarında gerçekleştirilmiştir (14).

Optik bakımdan saydam, bir ucunda tam sırlı ve yansıtıcı, diğer ucunda yarı sırlı kısmen yansıtıcı iki ayna bulunan bir tüp alınır. Buna gaz, sıvı ve katı bir madde doldurulur. Dışarıdan sinyal verme, elektrik akımı geçirmek suretiyle veya kimyasal bir yolla elde edilen enerji, ortamdaki atomlara ulaşır. Bunların bazıları bu enerjiyi emerler. Fazla enerji, atomları kararsız hale getirir. Kendisine bir foton çarpan, uyarılmış ve kararsız atom, fazla enerjiyi foton neşrederek verir. Fotonlar, benzer şekilde diğer fotonların neşrini sağlar. Uçlara ulaşan fotonlar, aynalardan yansıyarak geri dönerler ve olay devam eder. Uyarma ve tahriklerde ortamdaki fotonlar artar. Atomların hemen hepsi, foton yaymaya başlayınca kuvvetlenen sinyal, yarı sırlı uçtan dışarı çıkar. Bu, lazer ışınıdır. Lazer dalgalarını, uygun adım giden aynı üniforma ve şekle sahip askerlere, normal ışığı ise rasgele karakteri bozuk bir orduya benzetmişlerdir. Normal sinyal dalgalar, birbirini zayıflatıcı karakterde olmasına rağmen, lazerde birbirini kuvvetlendirici olurlar. Lazer ışınları yüksek frekanslı olduklarından güneş ışını özelliklerine sahiptir. Ancak lazer ışınları tek frekanslı olduğu için kayıpları azdır. Ayrıca lazer ışınları aynı fazda yapılan sinyal dalgaları olduğu için şiddeti büyük olur. Bu yüzden lazer ışınlarının şiddeti güneş ışınlarının şiddetinin bir milyon katıdır (15).

Elektromanyetik dalga paketçisi de denen foton, güneş ışığı füzyon reaksiyonu ile meydana gelip, bu şekilde yayılan foton enerjisidir. Lazer ışında foton yayılmasından ibarettir. Lazerde foton üretimini anlayabilmek için atomların değişik seviyelerinde ne gibi hadiseler olduğunu bilmek gerekir. Bir atomun uyarılmış durumda bulunduğu kısa zaman aralığında üzerine belli bir dalga boyunda foton düşürülürse, atom aynı fazda foton yayar. Bu işlem peş peşe tekrarlanırsa, tamamen aynı fazda bir ışın demeti elde edilir. En düşük enerji seviyesinde bulunan bir atoma dışarıdan bir foton verilirse, atom enerjisi kazanarak E_1 enerji seviyesinden E_2 seviyesine uyarılmış olur. Bu atom kendi halinde bırakılırsa, uyarılmış bulunduğu E_2

enerjisinden bir foton vererek E_1 enerji seviyesine döner. Uyarılarak enerji seviyesi E_1 'den E_2 'ye yükseltilen atom enerjisini geriye foton olarak yaymaya başlarken bir foton daha çarptırılırsa atomu birbiri ile aynı özellikte iki foton terk eder. Bu şekilde atom farklı katlardaki enerji seviyelerine çıkarılırsa bu seviyelerden düşerken de katlar halinde foton ürer. Bu işlem iki paralel ayna arasında aynı fazda olan fotonların toplanması şeklinde devam eder. Lazer ışını dalgasının dalga boyu aynalar arasındaki mesafe ile uyumludur. Aynı frekansta yani, aynı dalga boyunda yapılan foton üretimine uyarılmış yayılma işlemi denir. Milyonlarca atom için bu işlem yapılırsa aynı yöne doğru milyonlarca foton paralel ışınlar halinde bir noktadan yayılır. Bu ışınlar aynı fazda, aynı frekansta, aynı yönde olduklarından adeta birbirine yan yana yapısındadır. Paralel aynalar arasında şiddeti bu şekilde çığ gibi artan ışınlar, sinyal frekansına eş bir frekansta, darbeler halinde oldukça parlak sinyal huzmesi olarak yayılır. Lazer ışınındaki enerjisinin büyümesinin esası işte bu milyonlarca küçük enerji kaynaklarının çok dar bir huzme halinde aynı yönde hem yan yana hem de art arda birleşmesi neticesidir. Lazerin çalışması için enerji seviyesi düşen atomlarda daha fazla sayıdaki atomların uyarılacak enerji seviyelerine yükseltilmesi gerekir. Bu durum ise normal olarak atomların enerji seviyesi dağılımının tersidir. Bu sebepten lazerin çalışması için gerekli durum terslenmiş dağılım olarak adlandırılır. Tersine çevrilmiş dağılımı ortaya koymak çıkarmak için pompalama işlemi kullanılır. Optik pompalama ise, yüksek frekanslı yoğun ışınların neşriyle yapılabilir. Yarı iletkenli lazerlerde pompalama elektrik akımı yardımıyla gerçekleştirilir ve işlem elektriksel pompalama olarak isimlendirilir. Gaz lazerlerinde ise pompalama işlemi elektron-atom veya atom-atom çarpıştırılmasıyla ortaya çıkarılır ve çarpışma pompalaması olarak bilinir. Kimyasal pompalama işleminde ise kimyasal lazerlerde kimyasal reaksiyonlarla atom ve moleküller uyarılır. Gaz-dinamik lazerlerde de pompalama ses hızı üstü gaz genişlemesi yoluyla gerçekleştirilir ve gaz genişleme pompalaması olarak isimlendirilir (16).

3.1.1. Osilasyon

Yukarıda açıklanan terslenmiş dağılım elde edildikten sonra, bu ortamdan geçen sinyal rezonans durumuna getirilir. Optik asilator olarak da isimlendirilebilecek bu

ortam yansıma, kırılma ve diğer kayıpları karşılayacak durumda olmalıdır. Bu amaçla lazer ortamı, uzunluğuna doğru bir parça şeklinde düzenlenir ve iki ucuna çok kuvvetli yansıtıcılar konarak ışının bunlar arasında ileri-geri yansıması sağlanır. Bu yansıtıcılardan biri bir ölçüde saydam yapılarak rezonans frekansına ulaşan ışının lazer ışını olarak ortamından dışarı çıkmasını sağlar.

3.1.2. Q anahtarlama

Çok kısa ve çok güçlü çıkışlar q-anahtarlama kullanılarak depo edilmiş lazer ışınlarından elde edilebilir. Bu tür teknikte yansıtıcılardan biri pompalama aralığının bir kısmında yansıtmayacak şekilde düzenlenir. Daha sonra yansıtıcı hale getirilir. Bu düzenleme sonucu pompalama devresinin bir kısmında depo edilen enerji diğer kısmında büyük bir darbe olarak yayılır. Q-anahtarlamasının en kolay şekli bir aynanın çok hızlı dönmesiyle gerçekleştirilir. Bu aynanın diğer ayna ile aynı eksene geldiği zaman da lazer yayılımı ortaya çıkar. Bu konuda uygulanabilecek diğer teknik lazer frekansına sinyal emen eden seyretilmiş bir çözelti ortamı kullanmaktır. Bu şekildeki absorbsiyon enerjinin depo edilmesini sağlar (17).

3.1.3. Mod kilitlenmesi

Çözelti kullanılarak ve anahtarlama ile elde edilen lazer ışınının gücü mod kilitlenmesi ile daha da artırılabilir. Böyle bir durumda birbirine yakın ve aralarında belirli bağıntının bulunduğu ‘kilitli’ frekanslarda aynı zamanda titreşim meydana gelir. Böylece çok daha kısa zamanda yüz trilyon watt’ a yaklaşan bir güç elde edilir ki, bu dünyadaki bütün elektrik santrallerinin toplam üretiminden daha fazladır.

3.2. Lazer Işması

En büyük özelliği dağılmaz olması ve yön verilebilmesidir. Bu özelliğinden istifade ile mesafe ölçme ve fiber optik teknolojisi geliştirilmiştir. Dalga boyunun küçük olması dağılmayı da büyük ölçüde azaltır. Uyarılan atomlar her yön yerine belli yönlerde hareket ederler. Bu lazerin çok parlak olmasını doğurur.

Lazer ışını, dalga boyu tek olduğundan monokromatik özellik taşır. Frekans dağılım aralığı, frekansının bir milyonda biri civarındadır. Bu sebepten istenilen frekansta çok sayıda dalgalar lazer dalgası üzerine bindirilmek suretiyle haberleşmede iyi bir sinyal jeneratörü olarak iş görür. Aynı anda birçok bilgi bir yerden başka yere gönderebilir (18).

Lazer ışını dağılmaz olduğundan kısa darbeler halinde yayınlanabilmesi mümkündür. Kayıpsız yüksek enerji nakli yapılması bu özelliği ile sağlanabilir. Lazer kendisinde bulunan yüksek enerji sayesinde kesme, kaynak ve delme endüstrisinde kullanılır. Ayrıca lazer darbesinin çok kısa olmasından yüksek hız fotoğrafçılığında faydalanılır. Yönlü bir hareket olmasından ise holografı ve ölçüm biliminde yararlanılır. Bütün özellikleri ile uzak mesafe ölçümlerini mümkün kılar.

Lazer ışını tek dalga boyuna sahip olduğu için lazer cinsine göre çeşitli renkte ışınlar elde etmek mümkündür.

3.3. Lazer Kaynağı

Lazer kaynağı, endüstriyel gaz (Karbondioksit) ve Nd:YAG (Katı hal lazeri) şeklinde sanayide son yıllarda hızla gelişen bir uygulama sahasına sahiptir. Lazer ışınının yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasından dolayı hızlı kaynak yapma yetisi ve dolayısıyla birim alanda daha düşük ısı girdisine, yüksek girişime ve kaynak bölgesinde düşük çarpılma riskine ihtimal verir . Bu işlemde lazer ışını kaynak yapılacak malzemeye odaklanır ve herhangi bir dolgu maddesi gerekmeden işlem kendi kendine tamamlanır. Kaynak sırasında işlem verimliliğini , kaynak kalitesini ve kaynak banyosunu korumak için koruyucu gaz olarak kullanılır. Karbondioksit lazer kaynağında genellikle koruyucu gaz olarak helyum kullanılır , çünkü helyumun yüksek bir iyonlaşma potansiyeli vardır ve buda plazma oluşumunu azaltarak girişime artırıp yüksek kaliteli kaynak yapılmasını sağlar.Özel uygulamalarda, koruyucu gazlar karışım halinde kullanılırsa daha iyi sonuç vermektedir (19).

3.4. Lazer Gazları

Endüstriyel lazerlerin birçoğunda , lazer ışınının oluşabilmesi için özel gazların kullanılması gereklidir. Gazın kalitesi ve seçimi , lazerin güvenilirliğini ve işlemin verimliliğini doğrudan etkiler . Lazer gazları genellikle yüksek saflıkta özel gazlardır. Lazer gazları, makineye ayrı tüplerde yada önceden belli oranlarda karıştırılmış olarak verilir.

Helyum lazeri oluşturan ortam katı olduğu için kullanılmaz. Halojen (HCL ya da F2), asal (Argon, Kripton, Zenon) gazlar kullanılır. Gaz karışımı, lazerin dalga boyunu etkiler.

3.5. Lazer Işınının Özellikleri

Lazerin önemini anlamak için karakteristiğine ve normal sinyal farkına bakalım:

- Lazer ışını herhangi bir sinyal kaynağından daha yoğun ve şiddetlidir. Bazı lazerlerin şiddetine ulaşmak için bir cisim 1030 Kelvin'e kadar ($^{\circ}\text{C}+273$) ısıtılmalı ki o yoğunlukta sinyal yaysın. Bir lambadaki tungsten 3000 Kelvin, güneş ise yalnız 108 Kelvin sıcaklığındadır.
- Son derece düzgün bir sinyal ve çok az sapar. Bir denemede Dünyadan gönderilmiş olan lazer ışını Apollo 11'in Aya bıraktığı bir aynadan yansyıp hiç sapmadan geri dönmüştür. Işığın bu seyahatinde aldığı yol 750.000 km'dir.
- Lazer ışını keskin bir şekilde hedeflendirilebilir ama normal sinyal her yöne dağılır yani lazer ışını küçük bir yere büyük enerjiler verebilir (20).

3.5.1. Lazer ışınından korunma

Lazer tehlikesi denilince, akla ilk olarak güçlü bir lazerin kesici özelliği gelir. Oysa gerçekte bu çok nadiren rastlanan bir durumdur. Lazerlerin yarattığı en önemli risk

gözler içindir.

Tıpta kullanılan lazerlerin çoğu insan gözünün göremeyeceği dalga boylarındadır. Karbondioksit, Nd: YAG, Holmium: YAG, Erbium: YAG, oftalmik Diyot Lazerler bir taraftan kızılötesinde; Excimer lazerler de diğer taraftan morötesinde sinyal verirler. Görünen spektrumda sadece Argon, Dye, Krypton ve nispeten zararsız Helium- Neon lazerler yer almaktadır. Lazerin görünmez oluşu ve dalga boyuyla bağlantılı olarak değişik yüzeylerden yansıyabilmesi tehlikesini daha da arttırmaktadır. Özellikle Karbondioksit lazer düz fakat mat bazı yüzeylerden, görünen ışığın aynadan yansıdığı gibi yansımaktadır.

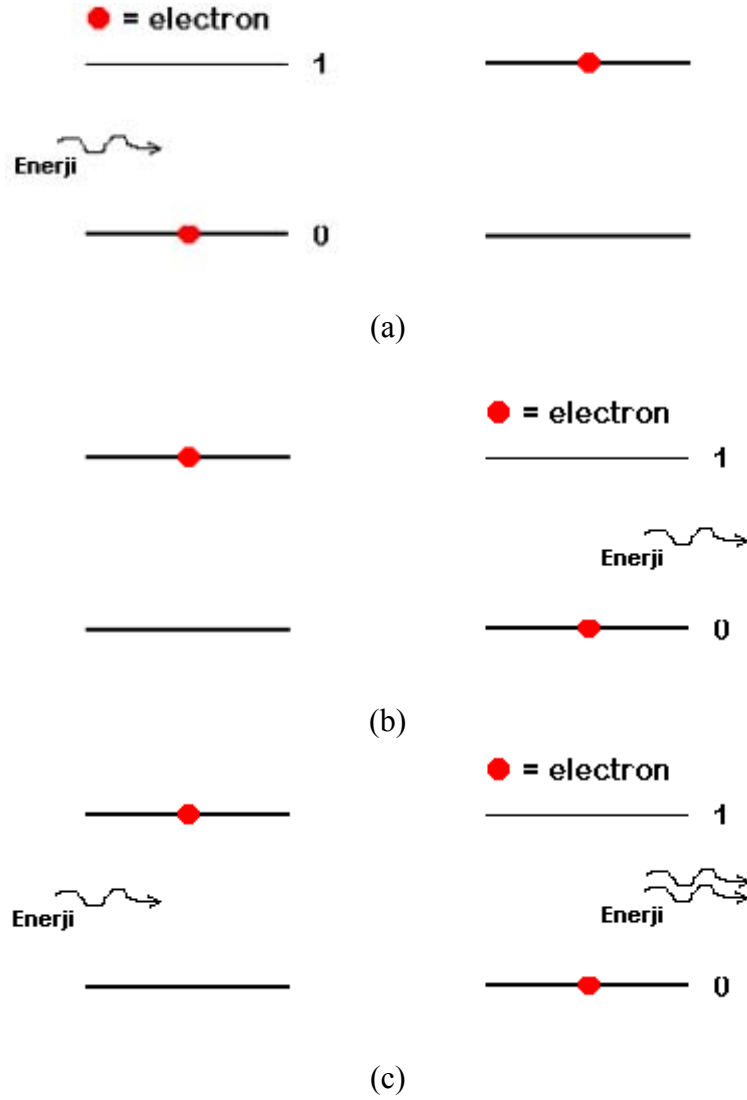
Vücudun herhangi bir yerine lazer değmesi bir yanma hissi uyandıracığından, sağlık alanı dışında kullanılan çok yüksek güçteki lazerler hariç, lazerin ciltle temas etmesi ufak yanıklar hariç genelde çok önemli bir tehlike teşkil etmez. Buna karşılık göz gibi hassas bir organ için lazer ışığı fevkalade önemli bir tehlike unsurudur.

Lazer ışığının görünür olması da genelde yeterli emniyet teşkil etmez. Oftalmolojide kullanılan Argon Lazere bile kısaca yandan bakmak retinada ciddi yanıklara neden olabilir.

Gözlükle bile olsa bir lazerin doğrudan içine bakmak son derece tehlikelidir. Gözle görülmeyen lazer ışınları için uygun emniyet gözlükleri ve filtreleri genellikle renksizdir ve sürekli kullanılmaları mümkündür (21).

3.5.2. Enerji seviyeleri arasındaki elektron hareketleri

Elektromanyetik ışıınım, yüksek enerji seviyesindeki bir atomda elektronun enerjisinin bir kısmını salıvererek daha aşağı bir enerji seviyesine inmesi ile oluşur. Lazer, esas itibarıyla bir elektromanyetik ışıınım olduğundan atomların yüksek enerji seviyelerine çıkmaları gerekir. Atomların yüksek enerji seviyelerine çıkabilmeleri için yarı iletken lazerlerde doğrudan elektron vererek uyarma (Şekil 2.1) yapılmaktadır.



Şekil 3.1. Enerji seviyeleri arasındaki elektron hareketleri

- (a) Foton soğurma
- (b) Kendiliğinden ışıınım
- (c) Zorlanmış ışıınım

Uyarılmış atomların sayısı ortamdaki atomların toplamının yarısını aştığı zaman bu ortamdan bir lazer ışınımı elde edilir. Çünkü belirli bir dalga boyunda ışınım verecek atomların sayısı, bu ışınımı soğuracak olanların sayısından fazla olmalıdır. Ayrıca lazer ışınlarının elde edilmesi için, bu ışınların kendi kendine (spontaneous) değil, fakat uyarılmış (stimulated) ışınım şeklinde (Şekil 3.1) çıkmaları gereklidir. Çıkan ışınım, birbirleriyle rezonansda olan fotonlardan oluşur. Fakat rezonansdan daha fazla olarak, çıkan ışınımdaki fotonların hemen hepsi aynı frekansta olup,

Çevrelerindeki elektrik ve manyetik alanlar eşit genlikte ve aynı fazdadırlar. Böylece bütün fotonlar adeta tek bir frekansta (aynı dalga boyunda) tek bir foton gibi davranırlar. Bu olaya dağılım göstermeme (coherence) denir (22).

Dağılım göstermeyen bir sinyal dalgası bu özelliği sonsuz uzaklığa kadar korur. Fakat lazer ışınımı bir çok sebepten dolayı tamamen böyle olmayıp, bu özelliğini ancak belirli uzaklıklara kadar koruyabilirse de, bilinen sinyal kaynaklarına göre bu özelliğe çok yakındır .

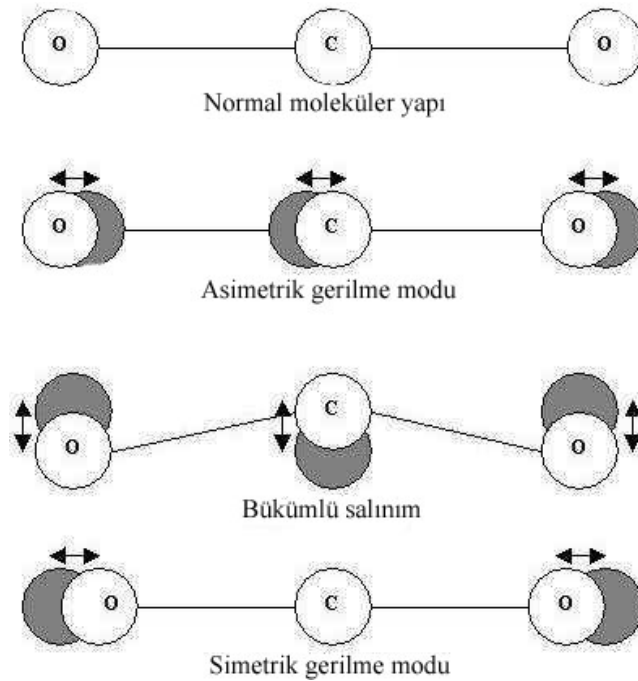
4. CO₂ LAZER SİSTEMİ

4.1. Moleküler Salınım Çeşitleri

He-Ne, Argon iyon ve Excimer gibi gaz lazerlerin tersine Lazer ışını üreten karbondioksitin enerji seviyeleri, elektronların yükseltgenme ve indirgenmeleriyle değil moleküler titreşimleriyle oluşur. Karbondioksit lazerlerden elde edilen lazer ışınları, bu moleküler titreşimlerden oluşan düşük enerji değişimlerinin sonucu elde edilir. Moleküler titreşimler karbondioksiti oluşturan atomların birbirine göre salınımlarını içerir (23). Karbondioksit simetrik lineer yapıdadır ve 3 farklı basit quantum mekaniği özelliği (Şekil 4.1) gösterir. Salınım yolları;

- Simetrik
- Bükümlü ve
- Asimetrik

olmak üzere üç çeşittir.



Şekil 4.1. Karbondioksit moleküllerinin salınım çeşitleri

Bu salınım çeşitleri ‘normal modlar’ olarak bilinir ve titreşimsel enerjilerine göre farklılıklar gösterir. Bu titreşimler (ν_1, ν_2, ν_3) üç farklı quantum sayısıyla tanımlanır ve tamsayılardır. En yüksek titreşim enerjileri ν_3, ν_1 ve ν_2 şeklinde sıralanır. Bir CO₂ molekülü bu üç salınım ile E_0 enerji seviyesinden sabit bir enerji seviyesine yükseltgenebilir. E_0 enerji seviyesi; temel seviyesindeki sıfır enerjidir ve (000) ile gösterilir. Görüldüğü gibi quanta yükseltgenmeleri sırasıyla; $\nu_1=0, \nu_2=0$ ve $\nu_3=0$ şeklindedir (24).

4.2. Atom Yoğunlukları ve Enerji Seviyeleri

Isısal dengedeki atom sayıları ve enerji seviyeleri arasındaki ilişkiyi Boltzman denklemleriyle açıklayabiliriz. Belirli enerji seviyelerindeki atomların sayısı ‘Popülasyon sayısı’ olarak isimlendirilir. Popülasyon sayısı (N_i) ve enerji seviyeleri (E_i) arasındaki bağıntı;

$$N_i = \text{Sabit} * \exp (-E_i / kT) \quad [4.1]$$

formülü (4.1) ile belirlenir.

Boltzman kuramı bize iki önemli sonuç verir:

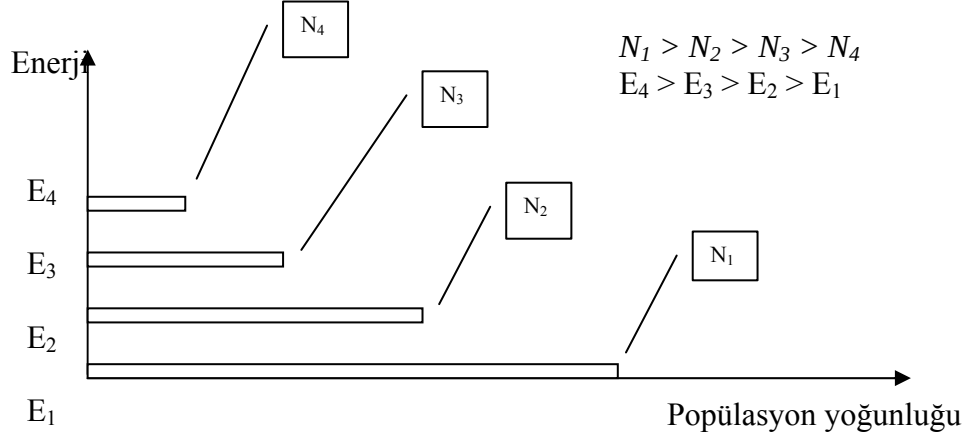
- Yüksek enerji seviyelerindeki popülasyon sayısı düşüktür.
- Popülasyon sayısı sıcaklıkla doğru orantılıdır.

Eğer farklı enerji seviyelerindeki popülasyonları oranlarsak;

$$N_2 / N_1 = \text{Sabit} * \exp (-E_2 / kT) / \text{Sabit} * \exp (-E_1 / kT) \quad [4.2]$$

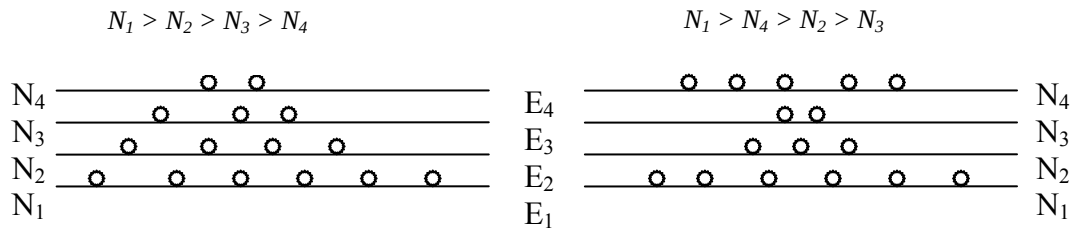
$$N_2 / N_1 = \text{Sabit} * \exp (-(E_2 - E_1) / kT) \quad [4.3]$$

sonucu elde edilir. Bu sonucun grafiksel yorumu yapılırsa enerji seviyeleri artarken popülasyonun azaldığı (Şekil 4.2) görülür. Lazer geçişlerini anlamak ve enerji seviyeleri arasındaki nüfus yoğunluğunun ışımalardaki etkisini yorumlayabilmek için Boltzman denklemleri (4.2) ve (4.3) bize yol gösterecektir.



Şekil 4.2. Boltzman kuramı

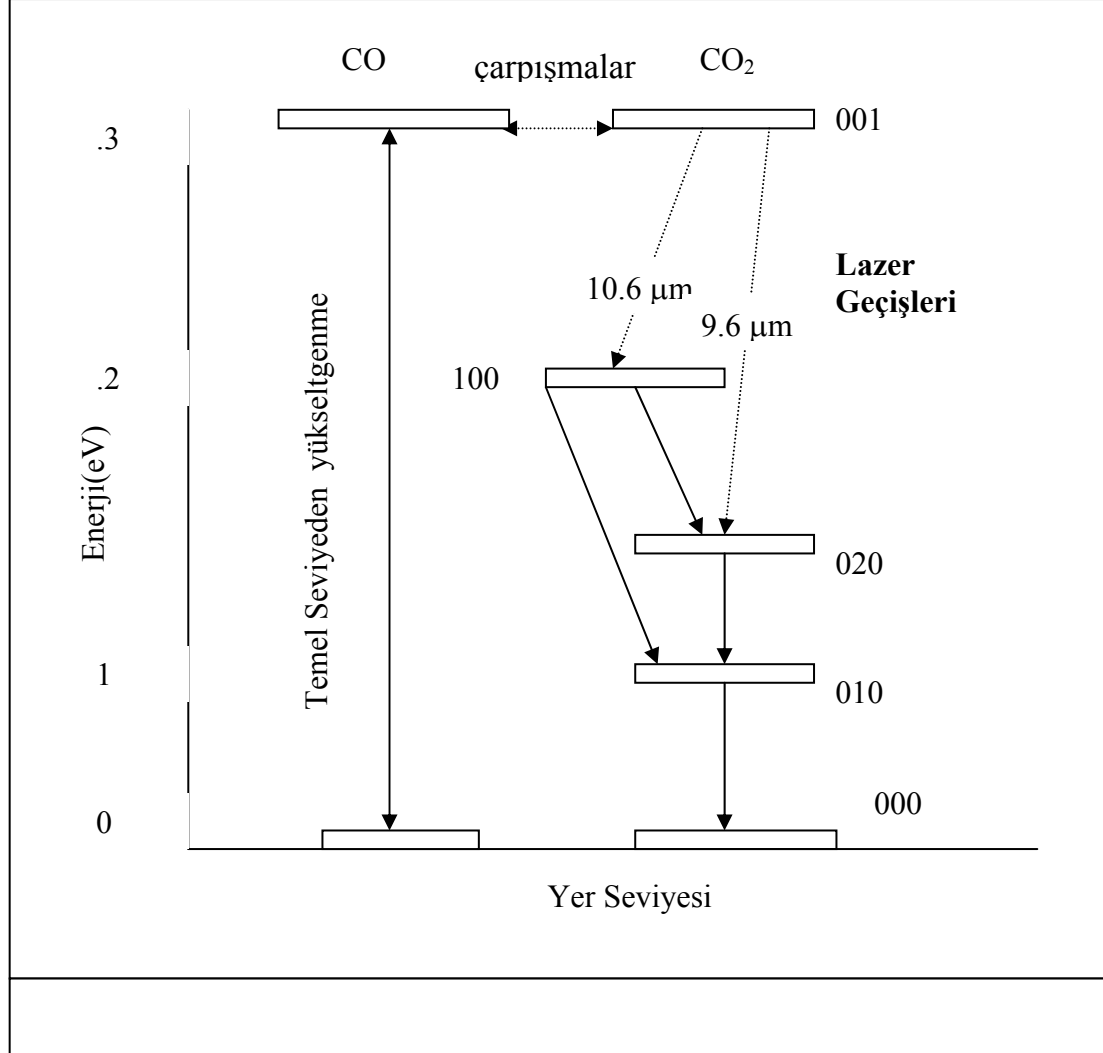
Lazer ışınları farklı enerji seviyeleri arasında meydana gelmektedir. Kendiliğinden salınımın olabilmesi için bir üst enerji seviyesindeki popülasyonun daha fazla olması gerekir. Bu artış ‘Pompalama’ yöntemi kullanılarak elde edilir. Nüfus tersinmesi ile nüfus yoğunluğu arasında fark (Şekil 4.3) oluşmaktadır (25).



Şekil 4.3. Normal yoğunluk ve nüfus tersinmesi.

Her bir atomun yükseltgenmesi ‘pompalama’ yöntemiyle elde edilir. Bu işlem içinde gaz karışımı bulunan plazma tüpünün uçlarına yüksek voltaj (12 kV) uygulanarak yapılır. Bu voltaj, katot’tan anot’a hızlanan elektronların enerjilerini çarpıştıkları CO₂ atomlarına vermesiyle atomlarının enerjilerini yükseltgenmesini sağlar ve dört seviyeli lazer sisteminde pompalama işlemi (Şekil 4.4) uygulanan voltajla birlikte

devam eder.



Şekil 4.4. Dört seviyeli lazer sistemi

4.3. Lazer Sistemindeki Plazma Gazları ve CO₂ Gazı

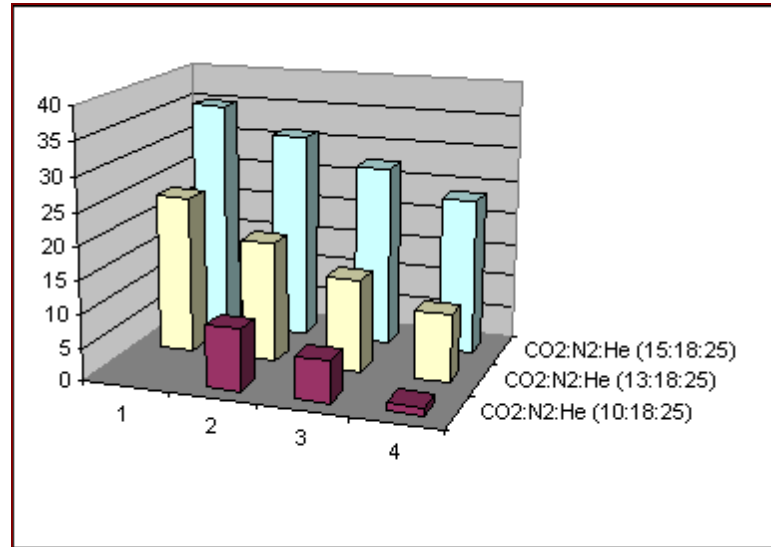
Plazmayı CO₂, N₂ ve He gazları oluşturur. Pompalama işlemi başladıktan kısa bir süre sonra çarpışmalardan dolayı plazmanın ısısı artar. Eğer plazmanın içinde bulunduğu cam kafes soğutulmaz ise cihaz elemanları ısıya dayanamaz ve parçalanır. Sürekli ısı artışı, sürekli soğutma ile önlenabilir. Deney düzeneğinde bulunan (plazma cam kafesini saran) diğer bir cam kafes soğutmayı sağlayan suyun geçişini

sağlar.

Çizelge 4.1. Karbondioksit gazının çıkış gücüne etkisi

Plazmadaki gaz oranları		Güç (W)			
CO ₂ :N ₂ :He (10:18:25)		9,2	6,2	1,2	
CO ₂ :N ₂ :He (13:18:25)	23,8	18,1	13,8	10,2	
CO ₂ :N ₂ :He (15:18:25)	35,2	31,2	27,4	23,5	

Çizelgeden elde edilen değerler grafik olarak incelenebilir. Karbondioksit gazının ortamda çoğalması ile ısıma gücünün arttığı (Şekil 4.5) görülmektedir.



Şekil 4.5. Karbondioksit gazının çıkış gücüne etkisi

4.3.1. He gazı

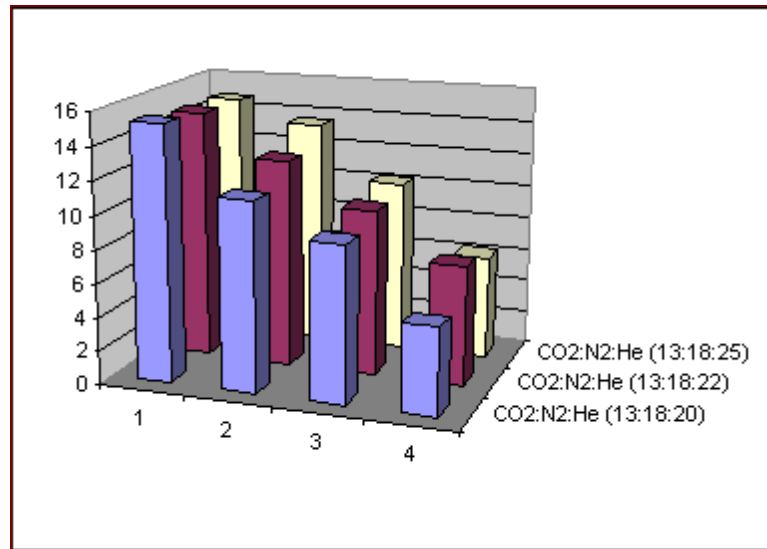
Isınan plazmanın ısınıı soğutucu suya iletir ve sistemin fazla ısınıı cam kafesin yüzeyine taşır. Isı iletkenliği yüksek olduğu için kullanılır ve atomları yükseltgenme reaksiyonlarında yer almaz. He atomlarının mobilitesi 1,24 cal/gr.K° 'dir ve değeri

N_2 atomlarının mobilitesinden beş kat fazladır.

Çizelge 4.2 Helyum gazının çıkış gücüne etkisi

Plazmadaki gaz oranları	Güç (W)			
$CO_2:N_2:He$ (13:18:20)	15,2	11,3	9,3	5,2
$CO_2:N_2:He$ (13:18:22)	14,9	12,4	9,9	7,1
$CO_2:N_2:He$ (13:18:25)	14,8	13,6	10,3	6,2

Plazmadaki He atomları yükseltgenmediği ve plazma ısısının soğuk su ile temas eden cam yüzeylere iletiminde kullanıldığı için, ortama eklenen He gazı çıkış gücüne etki etmediği (Şekil 4.6) görülmektedir.



Şekil 4.6. Helyum gazının çıkış gücüne etkisi

4.3.2. N_2 gazı

Molekülleri CO_2 gazında olduğu gibi asimetric titreşim yapar. Enerji seviyeleri birbirine çok yakın olduğu için enerji transferini kolaylaştırır. Ayrıca CO_2 moleküllerini düzenli seviyelere yükseltirler. Dolayısıyla elde edilen çıkış grafiği

CO₂ gazının çıkış gücüne etkisi gibidir.

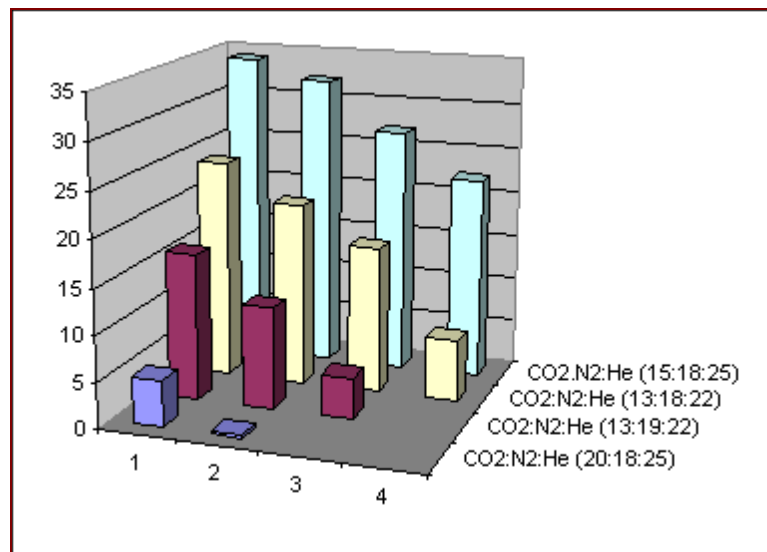
4.3.3. Uygulanan gerilim

Uygulanan voltaj ile elde edilen çıkış gücü belirli değerlere kadar doğru orantılı olarak değişir (Çizelge 4.3). Belirli değerlerden sonra sistem uygulanan voltajı kaldıramaz (Şekil 4.6).

Çizelge 4.3. Uygulanan gerilimin çıkış gücüne etkisi

	Güç (W)			
CO ₂ :N ₂ :He (20:18:25)	5,1	0,3		
CO ₂ :N ₂ :He (13:19:22)	16,1	11,2	4,5	
CO ₂ :N ₂ :He (13:18:22)	24,1	20,1	16,1	6,8
CO ₂ :N ₂ :He (15:18:25)	34,2	32,2	26,9	22,3

Uygulanan voltaj elektronları katot ile anot arasında hızlandırmak ve çarpışma sonucu enerjilerini plazma içindeki diğer gaz moleküllerine aktarmak için kullanılır.

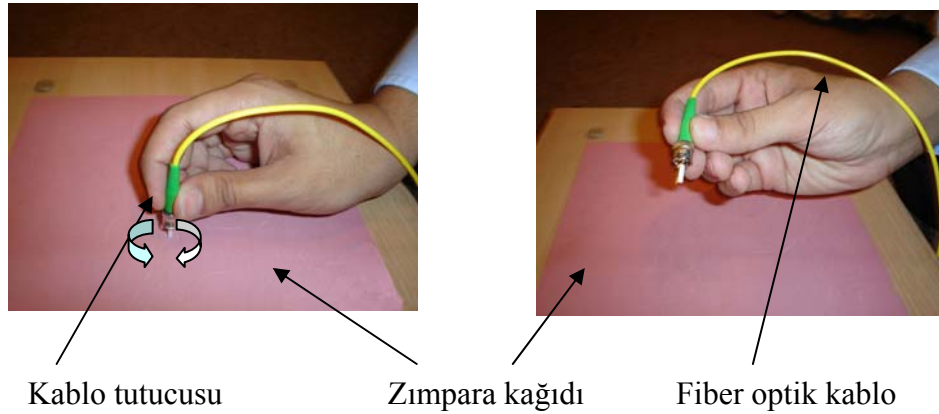


Şekil 4.7. Uygulanan gerilimin çıkış gücüne etkisi

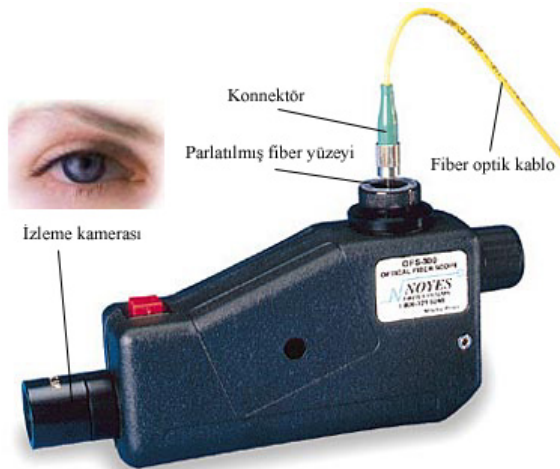
5. FİBER OPTİK YÜZEYLERİN PARLATILMASI

5.1. Mekanik Parlatma Tekniği

Günümüzde en yaygın fiber optik yüzey parlatma işlemi mekanik olarak elle yapılan parlatma yöntemidir. Farklı firmalardan temin edilen fiber optik kablolar bir tutucunun içine yerleştirdi ve mikron derecesindeki zımpara yüzeyine dairesel hareketlerle sürtüldü ve parlatıldı (Şekil 5.1). Parlatılan yüzeyler NOYES marka OFS 300 model fiber optik kamera ile çıplak gözle izlendi (Şekil 5.2). Fiber optik kablonun yüzeyinin düzgünlük derecesinin kullanıcının kabiliyetine ve işlemin süresine bağlı olarak değiştiği görüldü.

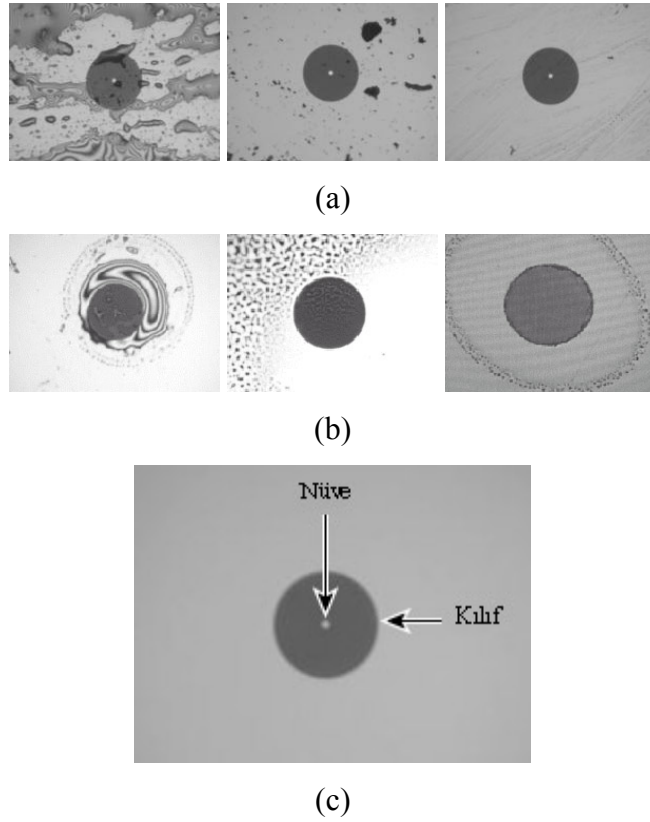


Resim 5.1. Mekanik parlatma işlemi



Resim 5.2. NOYES OFS 300 cihazı ile parlatılmış fiber optik yüzeylerin incelenmesi

Mekanik parlatma yapılan yüzeylerin OFS 300 model fiber optik kameradaki yüzey görüntüsüne göre işlemin devam etmesine veya bitirilmesine karar verildi (Şekil 5.3). Yüzeyin beklenen değerde düzleştirildiğine kanaat getirildiğinde işlem bitirildi. Mekanik parlatma özel fiber zımparası ile yapıldı.



Resim 5.3. Mekanik parlatma yapılan fiber optik kablo yüzeylerinin kamera görüntüleri (200x)

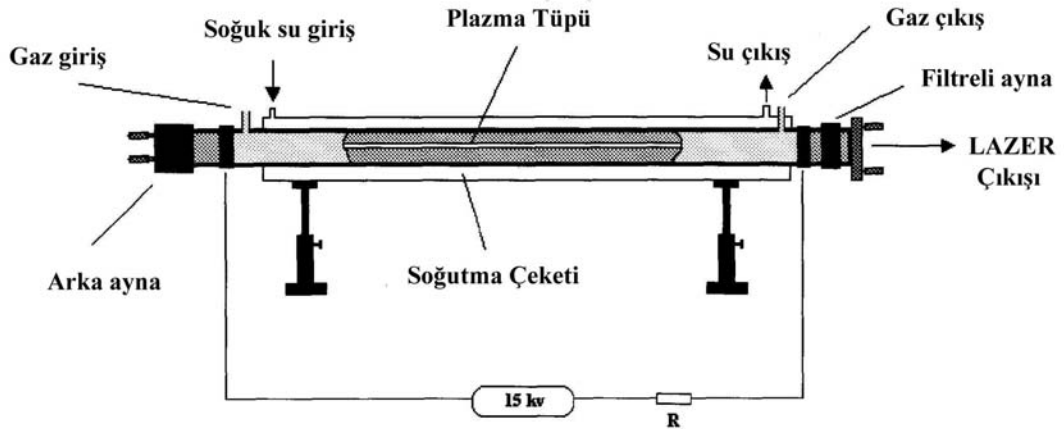
- (a) Zımpara ile yapılmış parlatmalar
- (b) Kimyasal solüsyonlar kullanılarak yapılmış parlatmalar
- (c) Lazerle parlatılmış fiber optik kablo yüzeyi

Şekil 5.3'te görüldüğü gibi mekanik parlatma yöntemi uygulanan fiber optik yüzeylerde nüve ve kılıfın tam olarak düzgünlüğünün sağlanamadığı görüldü.

5.2. Karbondioksit Lazerle Yüzey Parlatma Tekniği

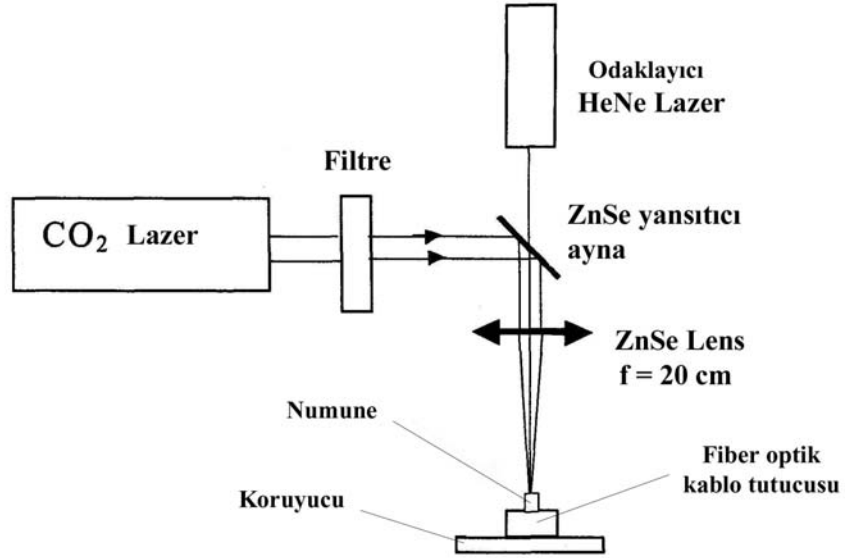
Karbondioksit lazer (Şekil 5.4) kullanarak nüve ve kılıf yüzeyi parlatıldı. Kullanılan karbondioksit lazeri'nin genel özellikleri ;

- Dalga boyu : 10,6 μm
- Çıkış gücü : 40 W
- Akım : 30 mA
- Plazmadaki gaz oranları : 1:2:8 (CO_2 : N_2 : He)
- Gaz basıncı : 30 Torr
- Boşluk uzunluğu : 1,5 m
- Plazma tüpü iç yarıçapı : 8 mm
- Yansıtıcı aynanın eğimi : 6 m
- Yansıtıcı ayna yansıtıcılığı : % 99
- Çıkış filtresi yansıtıcılığı : % 65
- Lazer çıkış verimi : % 17



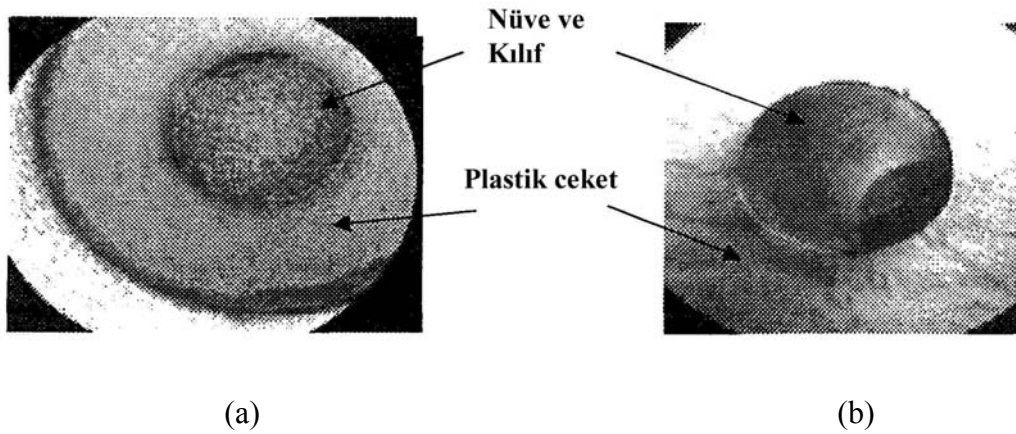
Şekil 5.1. Karbondioksit Lazer modeli

Etkileşim yüzeyde olduğu için numunenin yapısı bozulmadığı ve modların korunduğu belirlendi. Lazer ışını önce filtre (10,6 μm) edilerek yansıtıcı yüzey sayesinde numunenin üzerine düşürüldü (Şekil 5.5).



Şekil 5.2. Karbondioksit lazeri ile yüzey parlatma sistemi

Parlatılan yüzeylerin önceki ve sonraki yapısı (Şekil 5.6) mikroskopla gözlendi. Temizlik öncesi ve sonrası çekilen fotoğraflarla yüzeydeki değişim görüntülendi.



Resim 5.4. Düzleştirme öncesi (a) ve düzleştirme sonrası (b) fiber yüzeyleri

Lazer ışın demetiyle parlatılan yüzeylerde (Şekil 5.6) gözle görünür bir şeffaflık ve düzgünlük izlendi. Parlatılan nüvelerin 25 μm çapındaki yüzey görüntüleri incelendi.

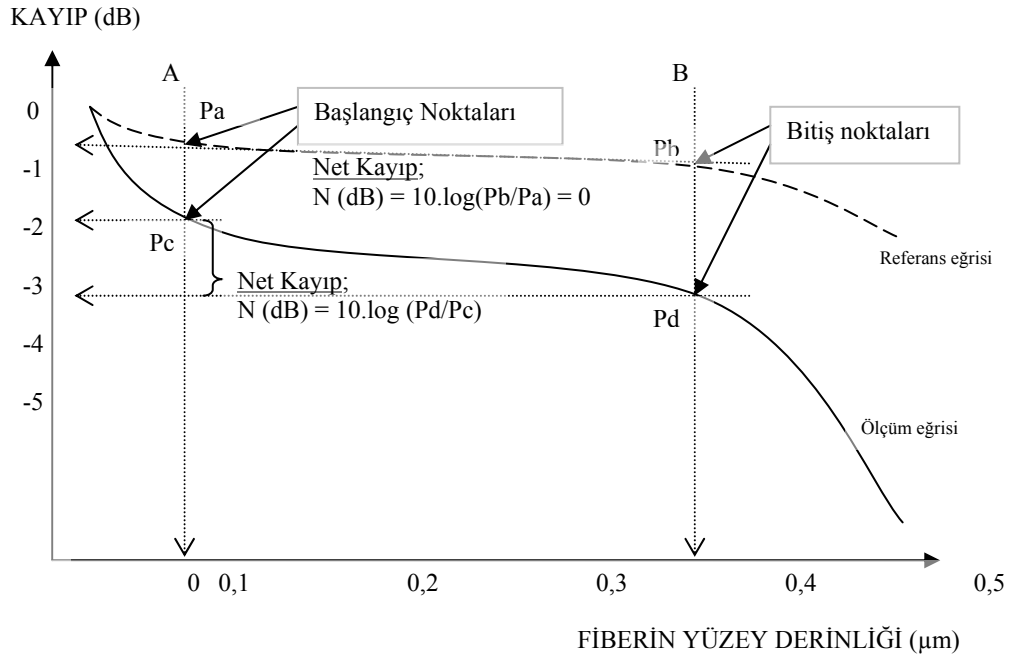
5.3. Deneysel Ölçüm ve Analiz

Tutucuların içine yerleştirilen fiber optik kablo yüzeyleri hem mekanik hem de lazerle parlatma yöntemleri kullanılarak parlatıldı. Bu teknikler beş farklı üretici firmadan alınan (HeScS Cable, CFS Fiber, HES Kablo, Samsung Fiber ve Optical Cable) fiber optik kabloların yüzeylerine uygulandı. Aynı marka ve aynı model 10 farklı fiber optik kablo yüzeyleri karbondioksit lazer ışınlarıyla 1-10 saniye arasında birer saniye farkla parlatıldı ve kayıp ölçümleri yapıldı. Her iki tekniğin uygulandığı fiber optik kablolar NOYES marka M100 Handheld OTDR (dB olarak kayıp analizi yapan) cihazla test edildi (Şekil 5.7). Hem farklı tekniklere ait test sonuçları hem de zamana bağlı kaybın değişim grafikleri çizildi.



Resim 5.5. NOYES marka M100 Handheld OTDR (kayıp : dB) test cihazı

Cihaz fiber optik yüzeyin başlangıcı ile yüzeye $1\ \mu\text{m}$ 'den daha yakın bir noktayı referans kabul etmekte ve bu iki nokta arasındaki kaybı hesaplamaktadır. Cihaz bu iki referans noktasından aldığı sinyal miktarlarını oranlamakta, logaritmik değerinin 10 katını bularak yüzey kaybını desibel (dB) olarak göstermektedir. Yüzey ne kadar parlatılmış ve düzleştirilmiş ise, gönderilen sinyaller o kadar fazla oranda yüzeyden geçmektedir.



Şekil 5.3. M100 Handheld OTDR Cihazının kayıp (dB) ölçüm tekniği

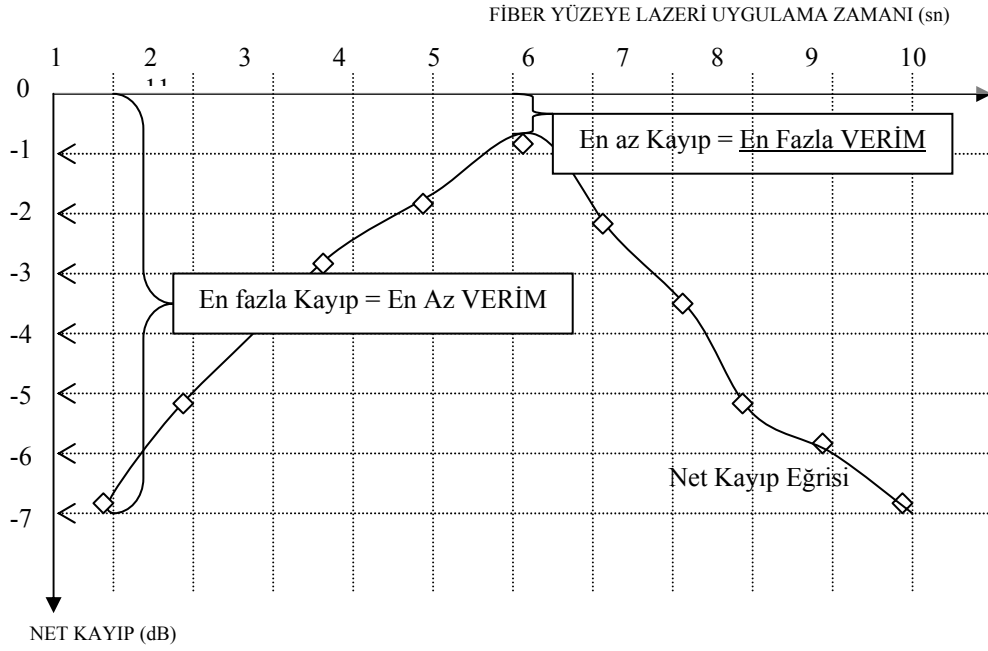
Fiber optik kablolarda yüzey temizliğine bağlı iletim kayıpları, bir iletim birimi olan Desibel (dB) ile belirlenir. Ondalık logaritma kullanılır ve iki değer arasındaki karşılaştırmaya dayanır; $N=10.\log (Pd/Pc)$. Elektriksel devrelerde gerilim, akım ve güç devreye bağlıdır; volt, amper ve watt ile ölçülür. Bu değerlerin hepsi ölçümün yapıldığı devreye bağlıdır. Fakat Desibel'in kullanıldığı iletim ve yayılım ölçülerinde birim ölçünün yapıldığı devreye bağlı değildir. İletişimde seviye kavramı gibi desibelin kullanılışıyla ilgili en önemli kavram kazanç ve kayıptır. Girişteki sinyal gücü çıkıştakine göre daha büyük ise kayıp vardır demektir.

Bütün ölçü birimlerinde sıfır, ölçülen niceliğin yokluğunu gösterir. Fakat Desibelin en önemli özelliği sıfır değerinin anlamıdır. Örneğin giriş ve çıkış sinyalleri oranı birbirine eşit ise ($P_a=P_b$);

$$N = 10.\log (P_b/P_a) = 10.\log (P_b/P_a) = 10.\log (P_b/P_b) = 10.\log 1 = 10.0 = 0 \text{ dB bulunur.}$$

Bunun anlamı; fiber optik kablonun yüzeyine giren ve çıkan sinyallerin miktarlarının birbirine eşit olduğu yani verimin %100 olması demektir. Fiber optik kablolarda

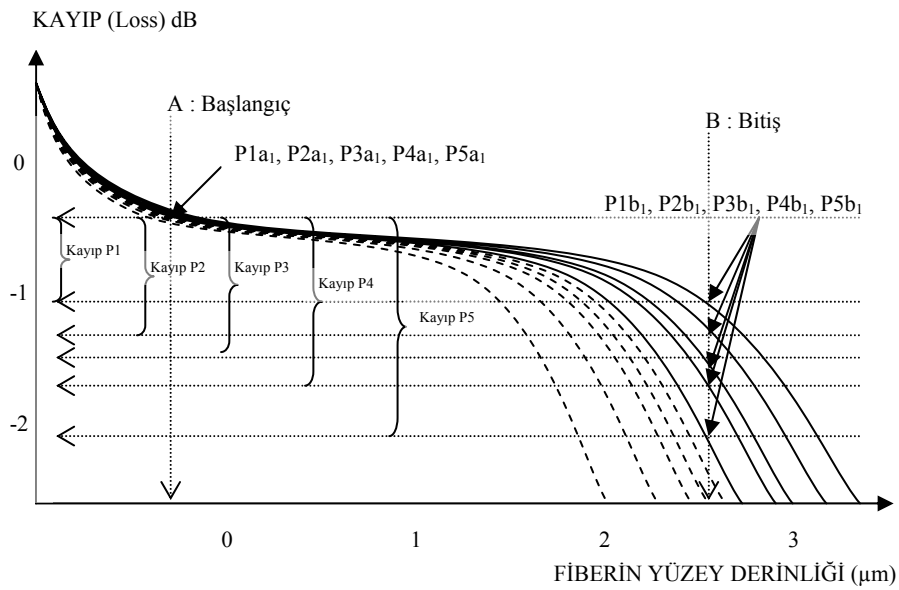
yüzey temizliğine bağlı iletim kayıplarında %100'lük bir verim elde etmek imkansız olduğu için negatif dB değerlerine ulaşılmaktadır (Şekil 5.9).



Şekil 5.4. Lazer uygulama zamanına bağlı kayıp grafiklerinin yorumlanması

5.3.1. HeScS marka fiber optik kablo yüzeylerindeki kayıp grafikleri

HeScS firmasından elde edilen fiber optik kablolardaki kayıp eğrilerinin aynı grafik üzerinde şematik gösterimi aşağıdaki gibidir (Şekil 5.5). Sürekli eğriler lazerle yapılan parlatmalarla ilgili verileri, kesikli olan eğriler ise mekanik parlatmalarla ilgili verileri temsil etmektedir.

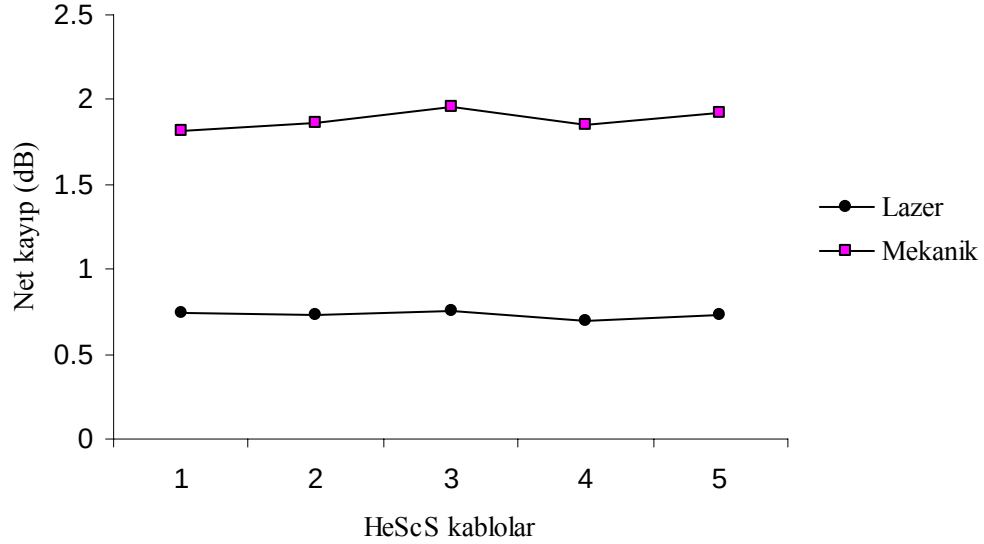


Şekil 5.5. HeScS marka kablolardaki kayıp ölçümlerinin şematik gösterimi

HeScS firmasından elde edilen 5 farklı fiber optik kablo için alınan maksimum verim değerleri aşağıdaki verilmiştir. Burada N_1 değerleri lazerle yapılan parlatma sonrası elde edilen verim kayıplarını ifade etmektedir.

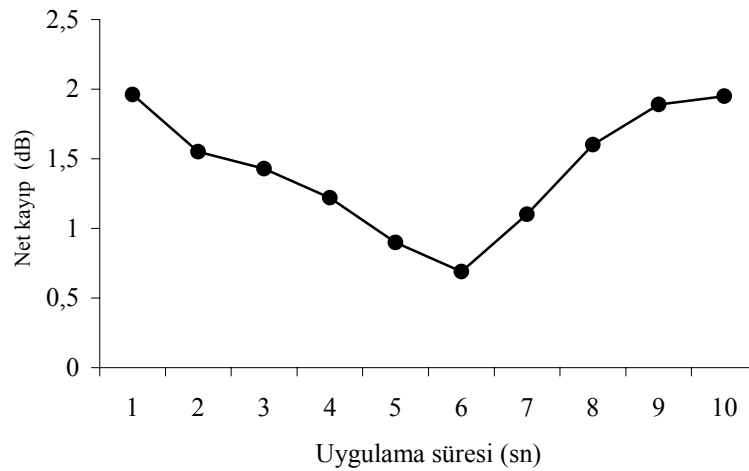
HeScS Cable 1	$N_1 = 10.\log(P1b_1/P1a_1) = -0,74$	Mekanik (- 1,82)
HeScS Cable 2	$N_1 = 10.\log(P2b_1/P2a_1) = -0,73$	Mekanik (- 1,86)
HeScS Cable 3	$N_1 = 10.\log(P3b_1/P3a_1) = -0,75$	Mekanik (- 1,96)
HeScS Cable 4	$N_1 = 10.\log(P4b_1/P4a_1) = -0,70$	Mekanik (- 1,85)
HeScS Cable 5	$N_1 = 10.\log(P5b_1/P5a_1) = -0,73$	Mekanik (- 1,92)

HeScS firmasının 5 farklı kablosu için lazerli ve mekanik parlatma sonucunda elde edilen kayıp (dB) grafiği Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Lazerli parlatma ile mekanik parlatma arasındaki net kayıp farkı açıkça görülmektedir.



Şekil 5.6. Parlatılan HeScS marka fiber optik yüzeylerdeki kayıplar

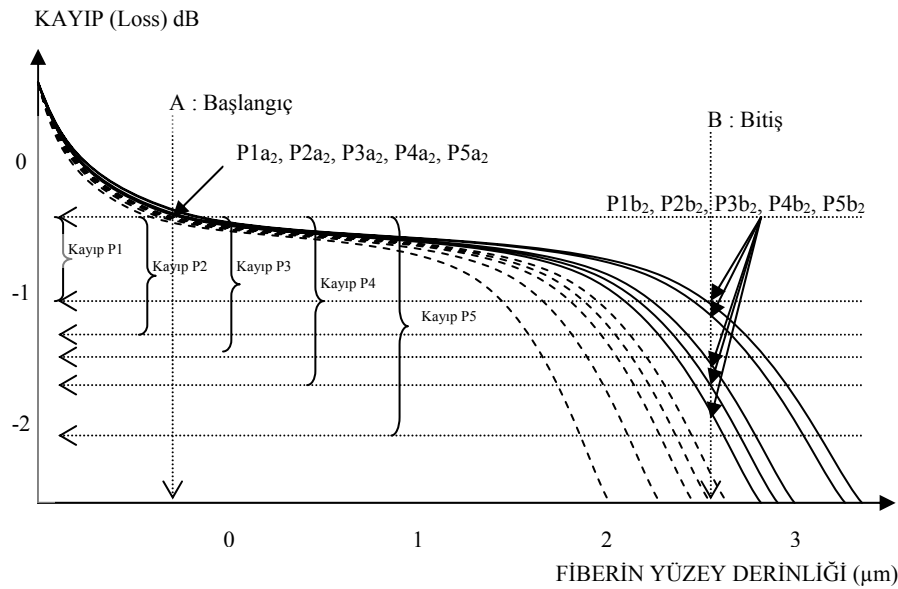
HesScS firmasından elde edilen fiber optik kabloya lazer ile parlatma yapılmıştır. Uygulama süresi her ölçümde bir saniye arttırılmıştır. Lazeri uygulama süresine karşılık net kayıp grafiği Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi minimum net kayıp 6 saniyelik lazer uygulamasında elde edilmiştir.



Şekil 5.7. HeScS marka fiber yüzeylerine lazeri uygulama süresi ve kayıp

5.3.2. CFS marka fiber optik kablo yüzeylerindeki kayıp grafikleri

CFS firmasından elde edilen fiber optik kablolardaki kayıp eğrilerinin aynı grafik üzerinde şematik gösterimi aşağıdaki gibidir (Şekil 5.8). Sürekli eğriler lazerle yapılan parlatmalarla ilgili verileri, kesikli olan eğriler ise mekanik parlatmalarla ilgili verileri temsil etmektedir.

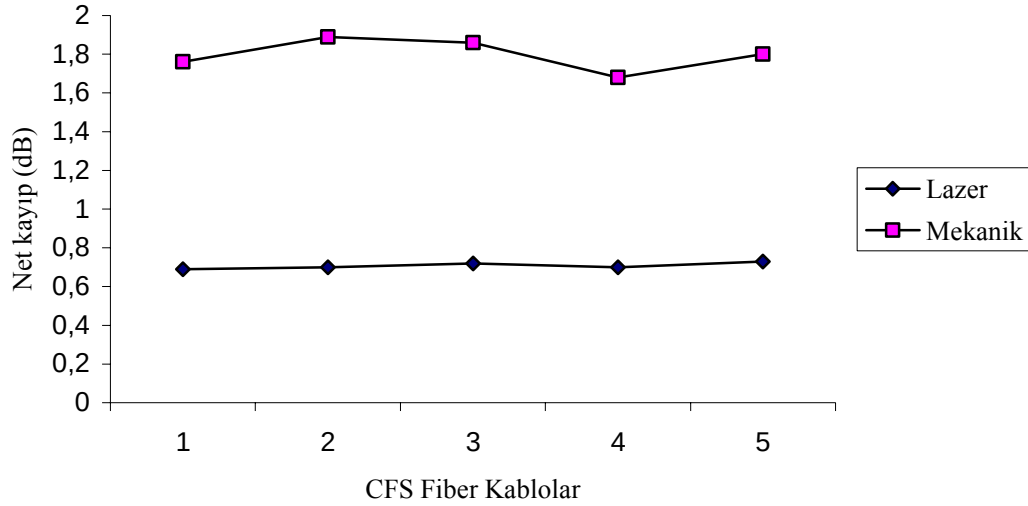


Şekil 5.8. CFS marka kablolardaki kayıp ölçümlerinin şematik gösterimi

CFS firmasından elde edilen 5 farklı fiber optik kablo için alınan maksimum verim değerleri aşağıdaki verilmiştir. Burada N_2 değerleri lazerle yapılan parlatma sonrası elde edilen verim kayıplarını ifade etmektedir.

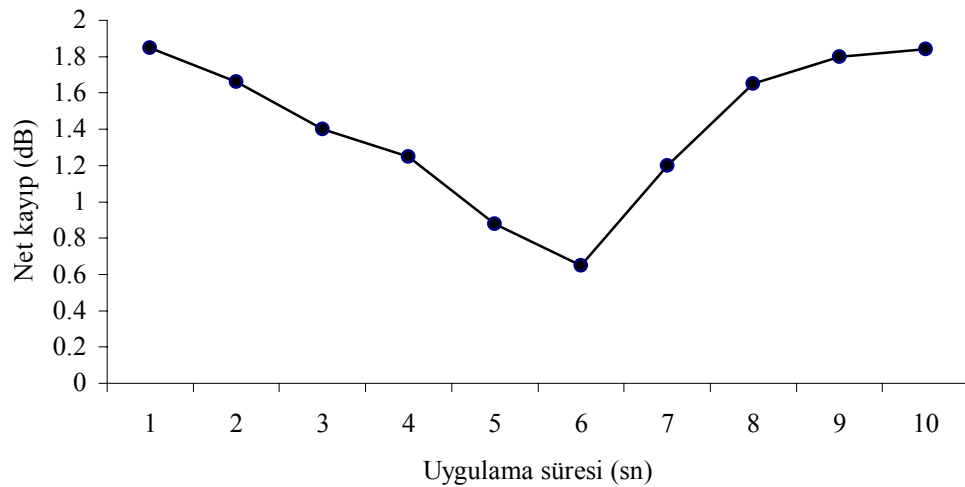
CFS Fiber 1	$N_2 = 10.\log(P1b_2/P1a_2) = -0,69$	Mekanik (- 1,76)
CFS Fiber 2	$N_2 = 10.\log(P2b_2/P2a_2) = -0,70$	Mekanik (- 1,89)
CFS Fiber 3	$N_2 = 10.\log(P3b_2/P3a_2) = -0,72$	Mekanik (- 1,86)
CFS Fiber 4	$N_2 = 10.\log(P4b_2/P4a_2) = -0,70$	Mekanik (- 1,68)
CFS Fiber 5	$N_2 = 10.\log(P5b_2/P5a_2) = -0,73$	Mekanik (- 1,80)

CFS firmasının 5 farklı kablosu için lazerli ve mekanik parlatma sonucunda elde edilen kayıp (dB) grafiği Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Lazerli parlatma ile mekanik parlatma arasındaki net kayıp farkı açıkça görülmektedir.



Şekil 5.9. Parlatılan CFS marka fiber optik yüzeylerdeki kayıplar

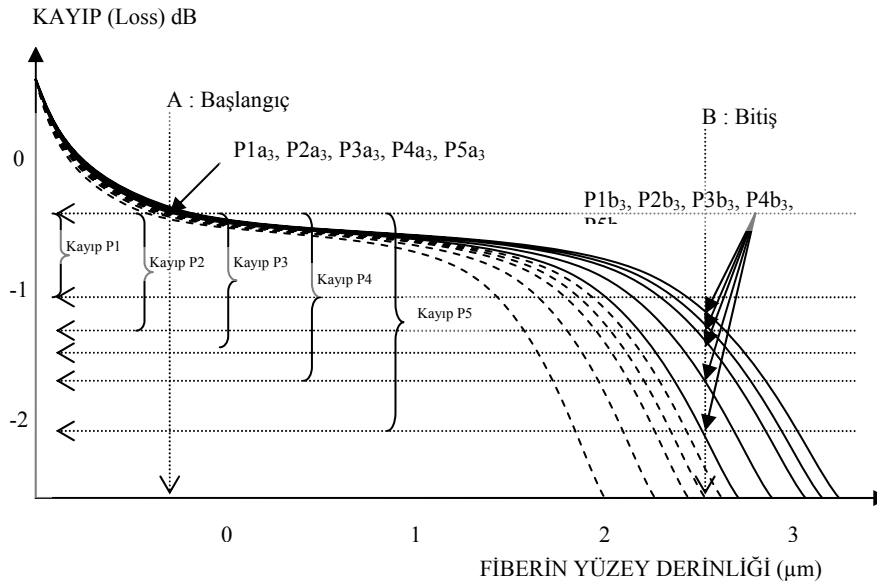
CFS firmasından elde edilen fiber optik kabloya lazer ile parlatma yapılmıştır. Uygulama süresi her ölçümde bir saniye arttırılmıştır. Lazeri uygulama süresine karşılık net kayıp grafiği Şekil 5.10’da gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi minimum net kayıp 6 saniyelik lazer uygulamasında elde edilmiştir.



Şekil 5.10. CFS marka fiber yüzeylerine lazeri uygulama süresi ve kayıp

5.3.3. HES marka fiber optik kablo yüzeylerindeki kayıp grafikleri

HES firmasından elde edilen fiber optik kablolardaki kayıp eğrilerinin aynı grafik üzerinde şematik gösterimi aşağıdaki gibidir (Şekil 5.11). Sürekli eğriler lazerle yapılan parlatmalarla ilgili verileri, kesikli olan eğriler ise mekanik parlatmalarla ilgili verileri temsil etmektedir.

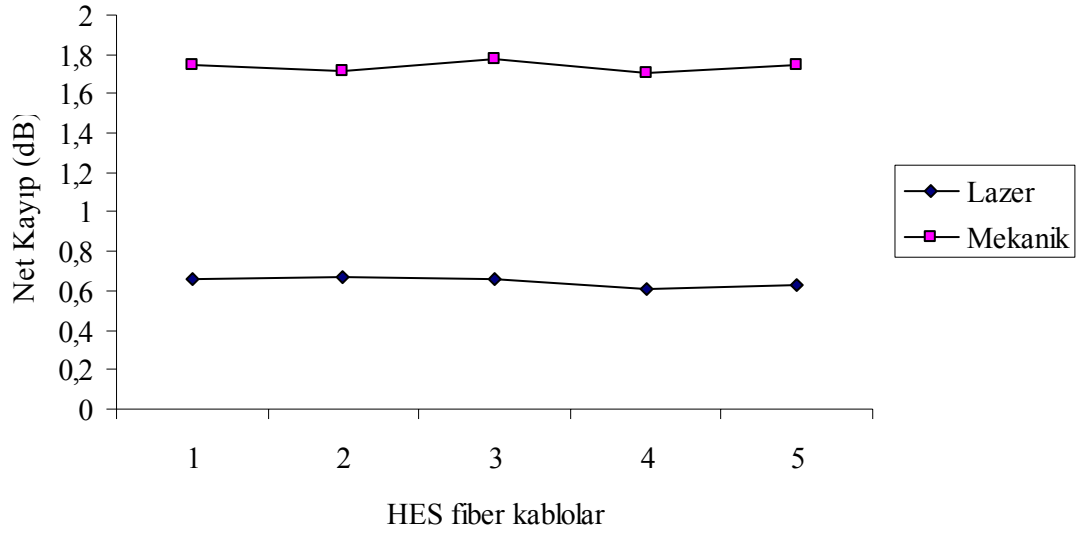


Şekil 5.11. HES marka kablolardaki kayıp ölçümlerinin şematik gösterimi

HES firmasından elde edilen 5 farklı fiber optik kablo için alınan maksimum verim değerleri aşağıdaki verilmiştir. Burada N_3 değerleri lazerle yapılan parlatma sonrası elde edilen verim kayıplarını ifade etmektedir.

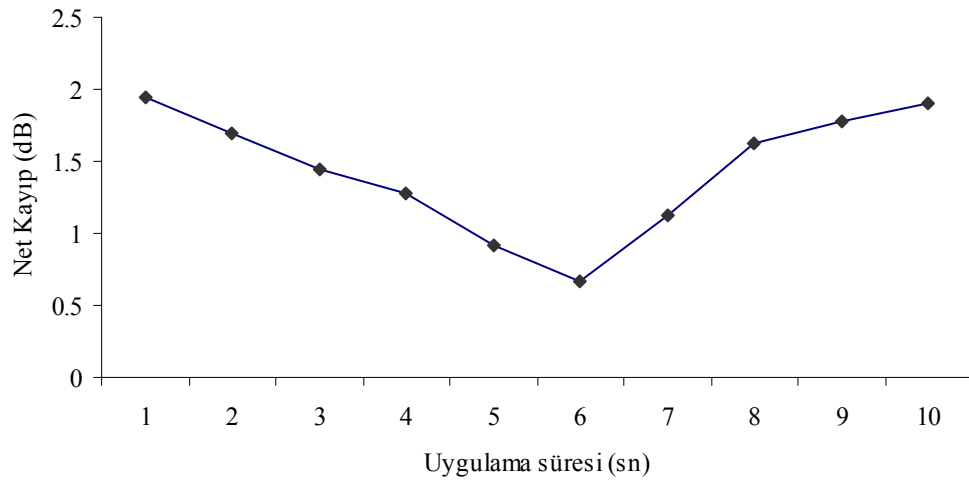
HES Kablo 1	$N_3 = 10.\log(P1b_3/P1a_3) = - 0,66$	Mekanik (- 1,75)
HES Kablo 2	$N_3 = 10.\log(P2b_3/P2a_3) = - 0,67$	Mekanik (- 1,72)
HES Kablo 3	$N_3 = 10.\log(P3b_3/P3a_3) = - 0,66$	Mekanik (- 1,78)
HES Kablo 4	$N_3 = 10.\log(P4b_3/P4a_3) = - 0,61$	Mekanik (- 1,71)
HES Kablo 5	$N_3 = 10.\log(P5b_3/P5a_3) = - 0,63$	Mekanik (- 1,75)

HES firmasının 5 farklı kablosu için lazerli ve mekanik parlatma sonucunda elde edilen kayıp (dB) grafiği Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Lazerli parlatma ile mekanik parlatma arasındaki net kayıp farkı açıkça görülmektedir.



Şekil 5.12. Parlatılan HES marka fiber optik yüzeylerdeki kayıplar

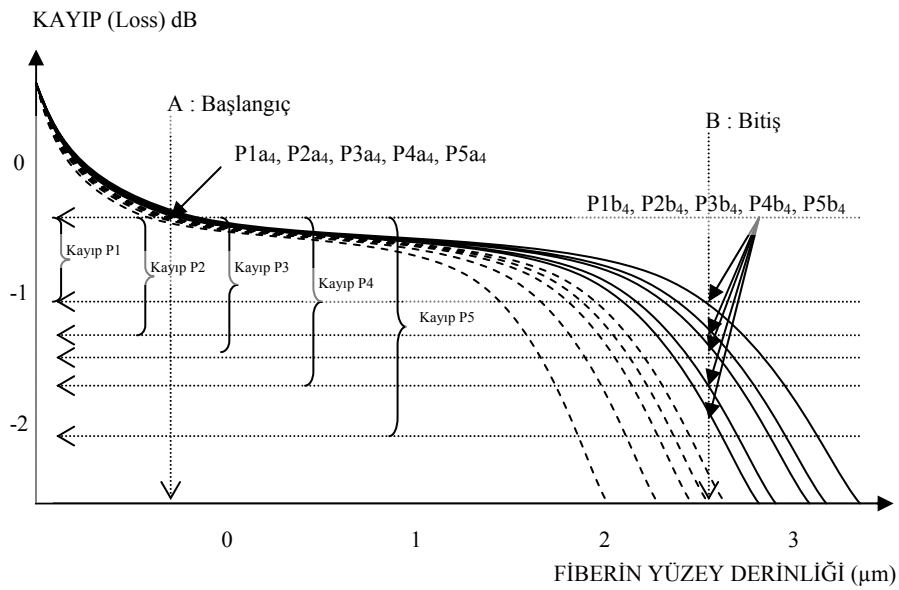
HES firmasından elde edilen fiber optik kabloya lazer ile parlatma yapılmıştır. Uygulama süresi her ölçümde bir saniye arttırılmıştır. Lazeri uygulama süresine karşılık net kayıp grafiği Şekil 5.13’te gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi minimum net kayıp 6 saniyelik lazer uygulamasında elde edilmiştir.



Şekil 5.13. HES marka fiber yüzeylerine lazeri uygulama süresi ve kayıp

5.3.4. Samsung marka fiber optik kablo yüzeylerindeki kayıp grafikleri

Samsung firmasından elde edilen fiber optik kablolardaki kayıp eğrilerinin aynı grafik üzerinde şematik gösterimi aşağıdaki gibidir (Şekil 5.14). Sürekli eğriler lazerle yapılan parlatmalarla ilgili verileri, kesikli olan eğriler ise mekanik parlatmalarla ilgili verileri temsil etmektedir.

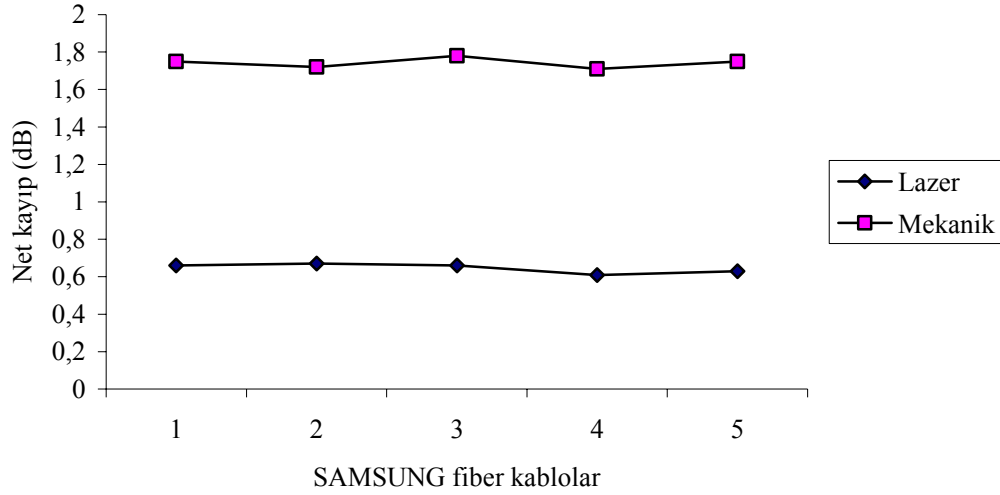


Şekil 5.14. Samsung marka kablolardaki kayıp ölçümlerinin şematik gösterimi

Samsung firmasından elde edilen 5 farklı fiber optik kablo için alınan maksimum verim değerleri aşağıdaki verilmiştir. Burada N_4 değerleri lazerle yapılan parlatma sonrası elde edilen verim kayıplarını ifade etmektedir.

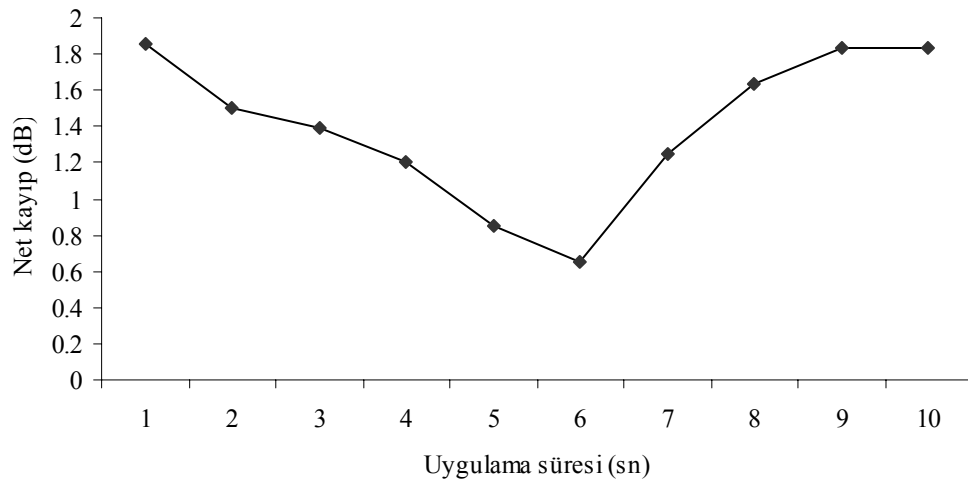
Samsung Fiber 1	$N_4 = 10.\log(P1b_4/P1a_4) = -0,70$	Mekanik (- 1,86)
Samsung Fiber 2	$N_4 = 10.\log(P2b_4/P2a_4) = -0,72$	Mekanik (- 1,88)
Samsung Fiber 3	$N_4 = 10.\log(P3b_4/P3a_4) = -0,70$	Mekanik (- 1,85)
Samsung Fiber 4	$N_4 = 10.\log(P4b_4/P4a_4) = -0,71$	Mekanik (- 1,79)
Samsung Fiber 5	$N_4 = 10.\log(P5b_4/P5a_4) = -0,71$	Mekanik (- 1,76)

Samsung firmasının 5 farklı kablosu için lazerli ve mekanik parlatma sonucunda elde edilen kayıp (dB) grafiği Şekil 5.15'te gösterilmiştir. Lazerli parlatma ile mekanik parlatma arasındaki net kayıp farkı açıkça görülmektedir.



Şekil 5.15. Parlatılan Samsung marka fiber optik yüzeylerdeki kayıplar

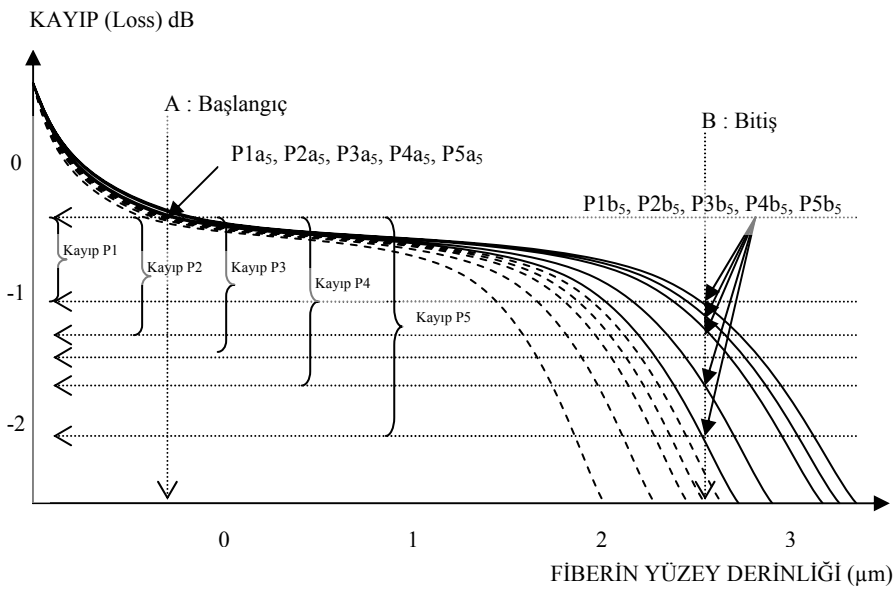
HesScS firmasından elde edilen fiber optik kabloya lazer ile parlatma yapılmıştır. Uygulama süresi her ölçümde bir saniye arttırılmıştır. Lazeri uygulama süresine karşılık net kayıp grafiği Şekil 5.16'da gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi minimum net kayıp 6 saniyelik lazer uygulamasında elde edilmiştir.



Şekil 5.16. Samsung marka fiber yüzeylerine lazeri uygulama süresi ve kayıp

5.3.5. OPTICAL marka fiber optik kablo yüzeylerindeki kayıp grafikleri

Optical firmasından elde edilen fiber optik kablolardaki kayıp eğrilerinin aynı grafik üzerinde şematik gösterimi aşağıdaki gibidir (Şekil 5.17). Sürekli eğriler lazerle yapılan parlatmalarla ilgili verileri, kesikli olan eğriler ise mekanik parlatmalarla ilgili verileri temsil etmektedir.

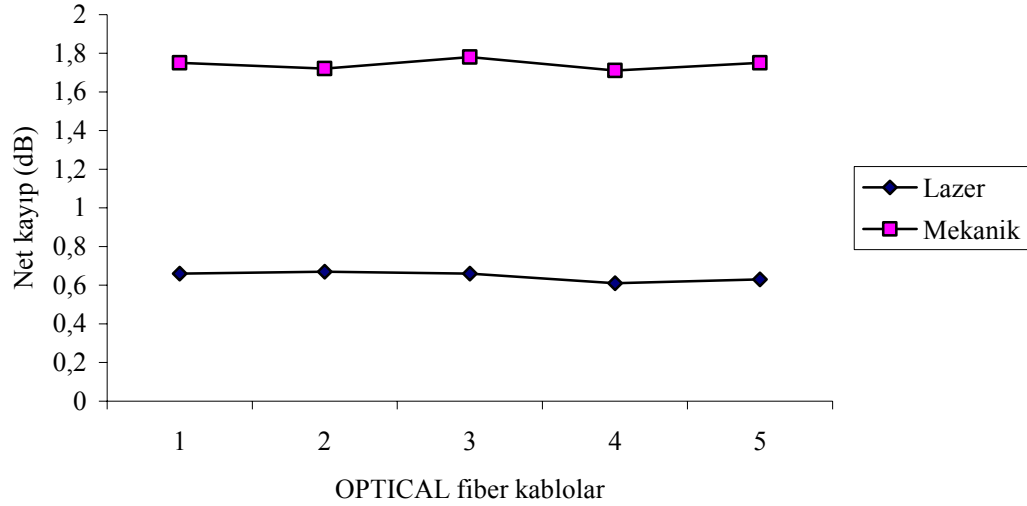


Şekil 5.17. Optical marka kablolardaki kayıp ölçümlerinin şematik gösterimi

Optical firmasından elde edilen 5 farklı fiber optik kablo için alınan maksimum verim değerleri aşağıdaki verilmiştir. Burada N_5 değerleri lazerle yapılan parlatma sonrası elde edilen verim kayıplarını ifade etmektedir.

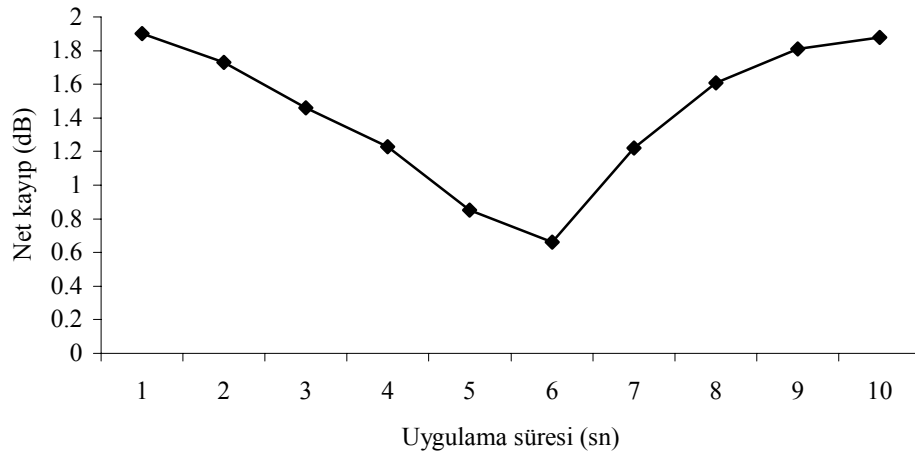
Optical Cable 1	$N_5 = 10.\log(P1b_5/P1a_5) = -0,74$	Mekanik (- 1,92)
Optical Cable 2	$N_5 = 10.\log(P2b_5/P2a_5) = -0,71$	Mekanik (- 1,75)
Optical Cable 3	$N_5 = 10.\log(P3b_5/P3a_5) = -0,75$	Mekanik (- 1,79)
Optical Cable 4	$N_5 = 10.\log(P4b_5/P4a_5) = -0,75$	Mekanik (- 1,80)
Optical Cable 5	$N_5 = 10.\log(P5b_5/P5a_5) = -0,72$	Mekanik (- 1,74)

Optical firmasının 5 farklı kablosu için lazerli ve mekanik parlatma sonucunda elde edilen kayıp (dB) grafiği Şekil 5.18’de gösterilmiştir. Lazerli parlatma ile mekanik parlatma arasındaki net kayıp farkı açıkça görülmektedir.



Şekil 5.18. Parlatılan Optical marka fiber optik yüzeylerdeki kayıplar

Optical firmasından elde edilen fiber optik kabloya lazer ile parlatma yapılmıştır. Uygulama süresi her ölçümde bir saniye arttırılmıştır. Lazeri uygulama süresine karşılık net kayıp grafiği Şekil 5.19’da gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi minimum net kayıp 6 saniyelik lazer uygulamasında elde edilmiştir.



Şekil 5.19. Optical marka fiber yüzeylerine lazeri uygulama süresi ve kayıp

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 5 farklı firmadan temin edilen fiber optik kablolardaki mekanik ve lazer ile yapılan yüzey düzgünleştirilmesinde verim kayıpları incelenmiştir. Önce aynı firmaya ait 5 farklı kablo kesit yüzeylerine sırasıyla mekanik parlatma ve lazerli parlatma uygulanmış ve net kayıplar aynı grafik üzerinde incelenmiştir. Bu grafikten de görüleceği gibi mekanik parlatmadaki net kayıp lazerli parlatmadaki net kayba göre oldukça fazladır. İki farklı parlatma arasındaki ortalama net kayıp $1,88\text{dB} - 0,73\text{dB} = 1,13\text{dB}$ gibi oldukça yüksek bir değerdir. Buna göre fiber optik kablolarda verim kaybının az olması için kesit yüzeylerin lazerle parlatılmasının daha doğru olacağı görülmektedir. Diğer farklı tip fiber optik kablolarda yapılan aynı uygulamalarda da ortalama aynı değerler elde edilmiştir. Sonra firmalara ait aynı tip fiber optik kablolar farklı sürelerle lazer ışınları uygulanmış ve kayıplar incelenmiştir. En fazla verim (en düşük kayıp) 6 saniyelik uygulamalarda elde edilmiştir. Üretici firmalara ait fiber optik kabloların nüve ve kılıf yapıları aynı olduğu için uygulama süreleri test edilirken aynı tip kablolar kullanılmıştır. Bu uygulama farklı üretici firmaların aynı tip kabloları için tekrar edilmiş ve aynı uygulama süresine ulaşılmıştır. Sonuç olarak klasik bir yöntem olan mekanik parlatmanın tersine 6 saniye süreyle lazer kullanılarak düzleştirilen (parlatılan) yüzeylerde kayıpların azaldığı yani verimin arttığı görülmüştür.

Fiber makaslarıyla kesilen ve düzleştirilen yüzeylerde büyük optik kayıplar meydana gelmiştir. Özel fiber zımparası ile mekanik temizleme yapılan yüzeylerde tam düzgünlük sağlanamamıştır. Çünkü parlatılan yüzeyin temizliği bu işlemi yapan kişinin çalışma hassasiyetine bağlıdır. Ne kadar süre ile ve yönde parlatma yapılacağına kullanıcı karar vermiştir. Ayrıca zımparalama işlemi süresinde belirli aralıklarla yüzey temizliğinin sağlanıp sağlanmadığı NOYES OFS 300 tipi klasik kamera sistemi ile izlendiği için, hem zaman kaybedilmiş hem de hassasiyet kaybolmuştur.

Hem mekanik hem de lazerli parlatma işlemlerinden sonra tüm fiber optik kablo uçları aynı cihaz ile test edilmiş, kayıplar sırayla ölçülmüş ve listelenmiştir. Lazerli

düzgünleştirmelerde elde edilen bu düşük kayıp değerleri, bu tekniğin mekanik parlatmaya göre hem zaman, hem işgücü hem de elde edilen verim bakımından daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

Karbondioksit lazer kullanılarak parlatılan fiber optik kablo uçlarındaki yüzey düzgünlüğüne bağlı kayıplar desibel (dB) cinsinden ölçülmüş, elde edilen daha düzgün yüzeylerde kayıpların azaldığı yani verimin arttırdığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Cheo, P. K., Lasers , Vol .2, Levine, A. K, **A. J.**, New York, 20-33 (1971).
2. Marcus and Stein, "The CO₂ power", **J. Applied** , New York, 59 (1986).
3. Mircea Udrea, "Laser Design", **Lasers Inc.**, 35-45, 60-80, 96-99 (2000).
4. Chesier, SolidStateIonicLasers", Laser Handbook, Vol:1, **North-Holland Pub.Co.**, Amsterdam, 125-136, 155-200 (1972).
5. Melles G., "CO₂ Lasers and Applications", **Melles Griot Co.**, New York, 25-45, 86-95 (1988).
6. Clark.R.S., "Bell Lab's Scientists make Dig. Opticai Processor", **Optronics**, (1990).
7. Horowitz,D., "Lasers(Coherent Sources)", Electronics Eng. H.B., **McGravv-Hill Inc.**, New York 65-84 (1975).
8. Kestenbaum.A., "Laser Fundamental " Lasers in Industry, **Van Nostrand Reinhold Co.**, New York, 96-106 (1972).
9. Ghatak,A. and Thyagarajan.K., "Optical Electronics ",Cambridge University Press, **Cambridge P.**, 130-145 (1989).
10. Koelher,T.R. and Goldsborough, J.P., Optical Cavity for Mode discrimination', Optical Fibers, **Builamer.PhyS.Co.**, 446-450 466-480 (1962).
11. Krupke, W. ,George, E. and Haas, "Advanced Laser for Fusion", Laser Handbook, **North-Holland Pub.Co.**, Amsterdam, 86-96 (1986).
12. Center,R., "High Power Efficient CO₂ Lasers", Laser Handbook, Vol:3 **North Holland Pub.Co.**, Amsterdam, 63-86 96-123 (1986).
13. Abrams,R.L., "Waveguide Gas Lasers", Laser Handbook, **North holiand Pub.Co.**, Amsterdam, 130-185 (1986).
14. James T. Luxan, David E. Parker "Industrial Lasers And Their Applications", Lasers, **McGraw Hill**, NewYork, 96-126, 210-215 (1992).
15. Troup, G., "Moleculer Amp. and Osc. by Stimulated Emission", Maser and Laser, **London Metheun and Co.**, London, 210-255 (1965).
16. M. Perez Amor, D.D.D. Soares "Applied Laser Tooling" High Power Laser, **McGraw Hill**, NewYork, 130-159, 168-169 (1987).

17. O'Shea, Calles, Rhodes "An Introduction to Lasers and Applications", Gaseous Lasers, **McGraw Hill**, New York, 66-69 (1978)
18. Hans Koebner "Industrial Applications of Lasers", Laser and Applications, **Academic Press**, New York, 126-133 (1986).
19. Cheo, P. K., "Lasers , Levine", **A. K. Press.**, New York, 75-79, 96-98 (1974).
20. Wilson, E. B. , Decius, J. C. and Gross, P.G. Molecular Vibrations, **McGraw Hill**, New York, 222-234, 311-345 (1935).
21. Ross, M., Laser Applications , Weaver, **L.A.**, London, 121-132 (1971).
22. Hill, DW. and Powell, T, "Application of lasers", **L.A.**, London, 85-95 (1971).
23. Duley, CO₂ Laser Effect and Applications, **Academic Press**, New York, 245-268 (1976).
24. Willet, C.S. , Introduction to gas Lasers, **Oxford**, 45-69 (1974).
25. Svelto, O., Principles of Lasers, Hanna, **D.C.**, New York, 96-105, 196-199 (1982).

ÖZGEÇMİŞ

İbrahimgazi ER, 1975 Yılında Manisa'nın Demirci ilçesinde doğdu. İlk öğrenimini, 9 Eylül Ortaokulu'nda, Orta öğrenimini 'İzmir Karataş Lisesi'nde, Lisans öğrenimini; 'Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde tamamladı ve 'Fizikçi' ünvanı olarak mezun oldu. Mezun olmadan önce Lazer Projesini başarıyla tamamladı, hazırladığı Karbondioksit modeli ve okul bitirme tezi ODTÜ Fizik Bölümü'nde sergilendi. Bir süre M.E.B.'na bağlı '30 Ağustos İlköğretim Okulu'nda öğretmenlik yaptı ve kendi isteğiyle ayrıldı. Daha sonra 'Fullnet Private Education Center'da yönetici olarak çalıştı. Siemens Business Services (SBS) ve Infopark Bilgi Sistemleri A.Ş. (Microsoft) firmalarının eğitim projelerinde görev aldı. Halen Ankara ABC Medikal ve Bil. Eğit. Hiz. A.Ş.'de 'İthalat Müdürü' olarak görev yapmaktadır.