



**FARKLI TÜRDEKİ ERBİYUM KATKILI FİBER YÜKSELTEÇLERİN
KARAKTERİZASYONU VE KARŞILAŞTIRILMASI**

Yavuz Abbas ÖZOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2016

Yavuz Abbas ÖZOĞLU tarafından hazırlanan “FARKLI TÜRDEKİ ERBİYUM KATKILI FİBER YÜKSELTEÇLERİN KARAKTERİZASYONU VE KARŞILAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Murat YÜCEL

Elektrik - Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan : Prof. Dr. Haldun GÖKTAŞ

Elektrik - Elektronik Mühendisliği, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Doç. Dr. Mustafa BURUNKAYA

Elektrik - Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 20 / 01 / 2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Metin GÜRÜ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Yavuz Abbas ÖZOĞLU

20.01.2016

FARKLI TÜRDEKİ ERBİYUM KATKILI FİBER YÜKSELTEÇLERİN
KARAKTERİZASYONU VE KARŞILAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Yavuz Abbas ÖZOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2016

ÖZET

Haberleşme sistemlerinde yüksek miktardaki verinin, hızlı ve güvenli bir şekilde iletilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, fiber optik iletim hatlarında çeşitli sebeplerle oluşan kayıpların önlenmesi amaçlanmıştır. Fiber optik hatlardaki iletişim mesafesini artırmak ve kayıpları azaltmak için optik yükselteçler kullanılmaktadır. Optik yükselteçler içerisinde yüksek kazanç, düşük gürültü faktörü, yüksek band genişliği, basit ve kompakt yapıları v.b. özellikleri sebebiyle Erbiyum katkılı fiberler yükselteçler (EKFY) yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasında farklı parametrelere sahip Fiber Core firmasına ait I6, I25, M5 ve M12 erbiyum katkılı fiberleri (EKF) ile oluşturulan EKFY'lerin kazanç, gürültü ve sıcaklık karakterizasyonu yapılmıştır.

BilimKodu : 905.1.035
AnahtarKelimeler : Erbiyum Katkılı Fiber, Optik Kazanç, Optik Gürültü, Fiber uzunluk Optimizasyonu, Sıcaklık Etkileri
SayfaAdedi : 67
Danışman : Doç. Dr. Murat YÜCEL

CHARACTERIZATION AND COMPARISON OF DIFFERENT ERBIUM DOPED
FIBER AMPLIFIERS TYPES

(M. Sc. Thesis)

Yavuz Abbas ÖZOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2016

ABSTRACT

The communication systems to transmit huge amounts of data quickly and safely is important. This study was aimed to overcome the losses in the optical fiber transmission line for various reasons. To increase the distance fiber optic communication lines in order to reduce losses and optical amplifiers at used in the optical amplifiers, high gain, low noise factor, are widely used because of high bandwidth and features simple and compact structure etc.Erbium doped fiber amplifier (EDFA). In this study, of having doped fiber core companies of different parameters the erbium doped EKF for I6, I25, M5 and M12 are made to general and temperature characterization of EDFA made with fibers.

ScienceCode : 905.1.035

KeyWords : Erbium Doped Fiber, Optical Gain, Optical Noise, Fiber Length Optimization, Temperature Effects

PageNumber : 67

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Murat YÜCEL

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca her zaman her türlü desteği benden esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Murat YÜCEL' e, hayatıma bu dönemde giren değerli eőim Büőra ÖZOĞLU' na, Ailemize yakın zamanda katılan ve bana uğur getiren Ömer Yağız ÖZOĞLU' na, devamlı beni destekleyen babam Nurettin ÖZOĞLU ile annem Kerime ÖZOĞLU'na ve Kardeőlerime, Anadolu Ajansındaki kıymetli iő arkadaşlarım ve yöneticilerime teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL FİBER OPTİK ve KARAKTERİSTİKLERİ	3
2.1. Fiber Optik Sistemlerin Tarihsel Gelişimi	3
2.2. Cam Fiberler	7
2.3. Plastik Fiberler.....	8
2.4. Tek Modlu Fiberler	8
2.5. Çok Modlu Fiberler.....	8
2.6. Yayılma	9
2.7. Zayıflama.....	8
2.8. Saçılma	10
2.9. Soğurma	11
2.10. Nümerik Açıklık	11

	Sayfa
3. OPTİK YÜKSELTEÇLER	13
3.1. Yarıiletken Optik Yükselteçler	16
3.2. Fiber Raman Yükselteçler	18
3.3. Fiber Brillouin Yükselteçler	19
3.4. Nadir Toprak Elementi Katkılı Fiber Yükselteçler.....	19
3.4.1. Erbiyum katkılı fiber yükselteçler.....	22
3.4.2. EKFY Enerji seviyeleri ve ışığın yükseltilmesi.....	27
4. SICAKLIĞIN KAZANCA ETKİLERİNİN BENZETİMİ.....	29
4.1. I6 EKF'si için Benzetim Analizi	29
4.2. I25 EKF'si için Benzetim Analizi	34
4.3. M5 EKF'si için Benzetim Analizi	36
4.4. M12 EKF'si için Benzetim Analizi	38
5. SICAKLIĞIN KAZANCA ETKİLERİ DENEYSEL ANALİZİ	39
5.1. I6 EKF'si için Deneysel Analiz.....	39
5.2. I25 EKF'si için Deneysel Analiz.....	43
5.3. M5 EKF'si için Deneysel Analiz.....	45
5.4. M12 EKF'si için Deneysel Analiz.....	46
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ	67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Cam ve Plastik fiberlerin karşılaştırılması	8
Çizelge 3.1. Fiber optik çalışma bandları.....	15
Çizelge 3.2. Fiber ve yarıiletken yükselteçlerin karşılaştırılması	18
Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan fiberlerin özellikleri	30
Çizelge 4.2. 20 °C - 1550 nm ideal fiber boyları	30
Çizelge 6.1. EKF' ler için benzetim sıcaklığına bağlı 1550 nm kazanç	49
Çizelge 6.2. EKF' ler için deneysel sıcaklığa bağlı 1550 nm kazanç	50
Çizelge 6.3. EKF'lerin sıcaklıktan bağımsız dalga boyu ve kazanç değerleri	51
Çizelge 6.4. Tüm sıcaklıklar için ortak EKF kazanç kırılma noktaları.....	51

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Fiberin fiziki yapısı.....	3
Şekil 2.2. Fiber modları ve kırılma indisleri	9
Şekil 2.3. Dalgaboyları için zayıflama eğrisi	10
Şekil 3.1. Tek modlu fiberin dalgaboyuna bağlı zayıflaması	14
Şekil 3.2. Fiber kayıp eğrisine göre optik yükselteçlerin konumu	14
Şekil 3.3. YOY' un şematik diyagramı	16
Şekil 3.4. İki seviyeli lazer sisteminde kendiliğinden ve uyarılmış yayınım	17
Şekil 3.5. Tipik sinyal gücüne karşılık YOY kazancı.....	17
Şekil 3.6. YOY'ların kullanıldığı alanlar	18
Şekil 3.7. Fiber raman yükselteç yapısı.....	19
Şekil 3.8. Silika için ölçülen raman kazanç spektrumu.....	20
Şekil 3.9. Silika fiberin zayıflama karakteristiği ve NTE yayınım bandları	22
Şekil 3.10. İleri yön pompalamalı EKFY temel yapısı	23
Şekil 3.11. Erbiyum katkılı fiberin kazanç spektrumu.....	23
Şekil 3.12. EKFY temel çalışma prensibi	24
Şekil 3.13. EKFY kazancı ve giriş gücü	25
Şekil 3.14. Sinyal dalga boylarının zayıflama eğrisi.....	27
Şekil 3.15. Üç seviyeli enerji diyagramı	28
Şekil 4.1. C bandı için 980 nm pompa lazeri ile EKFY düzeneği.....	29
Şekil 4.2. İdeal EKF boy algoritması.....	31
Şekil 4.3. Sıcaklığa bağlı I6 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi	32

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. Sıcaklığa bağlı I6 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi.....	33
Şekil 4.5. Sıcaklığa bağlı I6 fiberi için C band EKF gürültü eğrisi.....	33
Şekil 4.6. Sıcaklığa bağlı I25 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi.....	34
Şekil 4.7. Sıcaklığa bağlı I25 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi.....	35
Şekil 4.8. Sıcaklığa bağlı I25 fiberi için C band EKF gürültü eğrisi.....	35
Şekil 4.9. Sıcaklığa bağlı M5 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi.....	36
Şekil 4.10. Sıcaklığa bağlı M5 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi.....	37
Şekil 4.11. Sıcaklığa bağlı M5 fiberi için C band EKF gürültü eğrisi.....	37
Şekil 4.12. Sıcaklığa bağlı M12 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi.....	38
Şekil 4.13. Sıcaklığa bağlı M12 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi.....	39
Şekil 4.14. Sıcaklığa bağlı M12 fiberi için C band EKF gürültü eğrisi.....	39
Şekil 5.1. Sıcaklığa bağımlı kazanç spektrumu şematik ölçüm düzeneği.....	40
Şekil 5.2. Sıcaklığa bağlı I6 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi.....	41
Şekil 5.3. Sıcaklığa bağlı I6 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi.....	42
Şekil 5.4. Sıcaklığa bağlı I25 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi.....	43
Şekil 5.5. Sıcaklığa bağlı I25 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi.....	43
Şekil 5.6. Sıcaklığa bağlı M5 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi.....	44
Şekil 5.7. Sıcaklığa bağlı M5 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi.....	45
Şekil 5.8. Sıcaklığa bağlı M12 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi.....	46
Şekil 5.9. Sıcaklığa bağlı M12 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi.....	47
Şekil 6.1. Benzetim düzeneği için 20°C'de C band EKF kazanç eğrisi.....	52
Şekil 6.2. Deneysel düzenek için 20°C'de C band EKF kazanç eğrisi.....	53

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Sıcaklığa bağımlı kazanç spektrumu deneysel ölçüm düzeneği	40

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A	Kendiliğinden yayınım oranı
A_{eff}	Etkin alan
A₃₂^{nr}	Seviye 3'den 2'ye ışımasız kendiliğinden düşme oranı
A₃₂^r	Seviye 3'den 2'ye ışımalı kendiliğinden düşme oranı
A₃₁^r	Seviye 3'den 1'e ışımalı kendiliğinden düşme oranı
A₂₁	Seviye 2'den 1'e kendiliğinden düşme oranı
A₃₂	Seviye 3'den 1'e kendiliğinden düşme oranı
A_{nr}[±]	Stark alt seviyeleri termalizasyon oranları
α_p'	Pompalama dalga boyundaki temel kayıp katsayısı
α_s'	Sinyal dalga boyundaki temel kayıp katsayısı
α(v)	Zayıflama katsayısı
c	Işık hızı
δv	Band genişliği
dBm	1 mW'la ilgili desibel
Er³⁺	Erbiyum
Dy³⁺	Disprosyum
ΔE	İki seviye arasındaki enerji farkı
ξ(r,q)	Normalize kazanç yoğunluğu katsayısı
η	Yayınım ve soğurum kesitleri arasındaki oran
f_{YKY}[±]	Normalize edilmiş YKY yoğunluk profili

Simgeler**Açıklamalar**

G	Kazanç
ΔG	Kazanç değişimi
G_{mak}	Maksimum kazanç
G_{min}	Minimum kazanç
g_B	Brillouin kazancı
$g(v)$	Normalize çizgi fonksiyonu
g_R	Raman kazanç katsayısı
$g_R(\zeta, \nu)$	ζ ve ν frekansları arasındaki Raman kazanç katsayısı
$\Gamma(q)$	Örtüşme-tersleme faktörü
$\gamma(v)$	Geri yönde Rayleigh saçılma katsayısı
h	Planck sabiti
$\hbar\omega_p$	Pompalama foton enerjisi
$\hbar\omega_s$	Sinyal foton enerjisi
I_p	Pompa yoğunluğu
I_s	Sinyal yoğunluğu
I_{YKY}^{\pm}	İleri (+) ve geri (-) optik yayınım yoğunlukları
$I_s(\mathbf{r}, z)$	Oransal ışık sinyali
I_{sat}	Doyum ışık şiddeti
J	Toplam orbital momentumu
k_A	Akustik dalga vektörü
kB	Boltzmann sabiti
k_p	Pompalama ışınının dalga vektörü
k_s	Sinyal ışınının dalga vektörü
$K_p^{a,e}$	Pompa soğurumu ve uyarılmış yayınım oranları

Simgeler**Açıklamalar**

LCa_{IBPF}	Gerçek uzunluk
LCa_{IBPF}	Optik band geçiren filtrenin kalibrasyon faktörü
$L(\lambda_s)$	Uygunlaştırılmış Gauss eğrisi fonksiyonu
λ_p	Pompa dalga boyu
λ_s	Sinyal dalga boyu
λ_k	Merkez dalga boyu
λ_{sv}	Vakumun optik çıkış sinyalinin dalga boyu
M_{12}	Yarı kararlı seviyede uyarılmış soğurum oranı
M_{21}	Yarı kararlı seviyede uyarılmış yayınım oranı
M_{1r}	Toprak ve r seviyeleri arasındaki matris elemanı
M_{2r}	r ve uyarılmış seviye arasındaki matris elemanı
N_1	1. Enerji seviyesi atom yoğunluğu
N_2	2. Enerji seviyesi atom yoğunluğu
N_3	3. Enerji seviyesi atom yoğunluğu
$N_{n,m}$	Her bir alt seviyenin popülasyonu
N_0	Rastgele foton sayısı
N_Ω	Popülasyon faktörü
n	Ortam kırılma indisi
\bar{n}	Temel fiber modunun etkin indeksi
nr	Işımasız yayınım
Ho^{3+}	Holmiyum
Nd^{3+}	Neodmiyum
OH^-	Hidroksil
Tm^{3+}	Tulyum

Simgeler**Açıklamalar**

Ω	Stokes kayması
$\Delta\Omega$	Yoğun açığı yakalaması
Pr^{3+}	Praseodimyum
P_{nm}	Boltzmann dağılımıdır
P_s^{int}	Sinyal ışınının gerçek doyum gücü
P_s	Sinyal gücü
P_p	Pompa gücü
P_o	Eşdeğer giriş gürültüsü
$P_{\text{sat}}(v_s)$	Frekansındaki doyum gücü
P_k^{\pm}	λ_k dalga boyunda normalize veya +YKY gücü
P_{ok}	λ_k 'da doyumda normalize giriş gürültü gücü
PYKY	YKY gücü
Pcorr(λ)	İnterpolasyon yönteminde düzeltilmiş spektrum
P_{inloss}	Giriş kaybının doğrusal değeri
P_{outloss}	Çıkış kaybının doğrusal değeri
Psp-YKY	Uygunlaştırma ile hesaplanmış YKY
Polloss	Polarizasyon kaybının doğrusal değeri
Psp-in (λ)	Analizör tarafından ölçülen optik giriş seviyesi
Psp-out (λ)	Analizör tarafından ölçülen optik çıkış seviyesi
$\bar{\psi}_s(\mathbf{r})$	Mod zarfı
$\psi_p(\mathbf{r})$	Pompalama mod zarfı
q	Normalize pompa gücü
r	Işımalı yayılım
R	Pompalama oranı
R_{13}	Seviye 1'den 3'e pompalama oranı

Simgeler**Açıklamalar**

R_{31}	Seviye 3'den 1'e pompalama oranı
ρ_0	Tepe katkı yoğunluğu
σ_p^a	Pompa ışınının uyarılmış soğurum kesiti
σ_p^e	Pompa ışınının uyarılmış yayılım kesiti
σ_s^a	Sinyal ışınının uyarılmış soğurum kesiti
σ_s^e	Sinyal ışınının uyarılmış yayılım kesiti
θ	Dalga vektörleri arasındaki açı
T	Sıcaklık
T_B	Akustik foton ömrü
τ	Foton ömrü
W	Uyarılmış yayılım oranı
W_{12}	Seviye 1'den 2'ye uyarılmış soğurum oranı
W_{21}	Seviye 2'den 1'ye uyarılmış yayılım oranı
w	Mod alan yarıçapı
ω_p	Pompalama frekansı
ω_s	Sinyal frekansı
v_A	Akustik hız
v_B	Brillouin kayması
v_s	Sinyal frekansı
v_p	Pompa frekansı
v_k	Merkez frekansı
Δv_B	Brillouin kazanç band genişliği
ΔV	Toplam spektral genişlik

Simgeler**Yb³⁺****z****z_{eff}****Açıklamalar**

İterbiyum

Fiber boyu

Etkin fiber boyu

Kısaltmalar**ALK****DSF****dB****DBÇ****DKF****EKF****EKFY****Ghz****GB-EKFY****FBY****FRY****YKY****KK-TKFY****Km****MHz****mW****µm****NF****Nm****NTKFY****OSA****URS****UBS****Açıklamalar**

Ayarlanabilir lazer kaynağı

Dispersiyon kaydırmalı fiber

Desibel

Dalga boyu bölmeli çoğullama

Dispersiyon kompanzasyonlu fiber

Erbiyum katkılı fiber

Erbiyum katkılı fiber yükselteç

Gigahertz

Geniş band erbiyum katkılı fiber yükselteç

Fiber Brillouin yükselteç

Fiber Raman yükselteç

Yükseltilmiş kendiliğinden yayınım

Kazancı kaydırılmış tulyum katkılı fiber yükselteç

Kilometre

Megahertz

Miliwatt

Mikrometre

Gürültü faktörü

Nanometre

Nadir toprak elementli fiber yükselteç

Optik spektrum analizör

Uyarılmış Raman saçılması

Uyarılmış Brillouin saçılması

Kısaltmalar**Açıklamalar****SDDSF**

Sıfıra dönüşsüz dispersiyon kaydırmalı fiber

THz

Terahertz

TKFY

Tulyum katkılı fiber yükselteç

TMF

Tek modlu fiber

YOY

Yarı iletken optik yükselteç

1. GİRİŞ

İletişim insanlık tarihiyle beraber ortaya çıkan bir olgudur. Günümüze kadar insanoğlu çeşitli haberleşme teknikleri geliştirmiştir. Örneğin; güneş ışığını yansıtan düzenekler kullanmışlardır. Yani ışık, ilk çağlardan beri işlevselliğini korumuştur. Teknolojik gelişmeler ve günümüz haberleşme sistemlerindeki yenilikler hızlı bir iletişim altyapısını zorunlu kılmaktadır. İletilecek verinin doğru olarak ulaştırılması çok önemlidir.

Fiber iletişim hatlarında kısa mesafelerde oldukça yüksek hızda ve çok düşük zayıflama oranıyla bilgiler aktarılabilmektedir. Uzun mesafelerde ise bazı kayıplar meydana gelmektedir. Veri iletiminin daha hızlı ve yüksek kapasitelerde yapılabilmesine olanak sağladıkları için günümüz haberleşme sistemlerinde fiber optik kablolar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, fiber haberleşmede standart hat uzunlukları 100 km gibi bir mesafeyle sınırlıdır. Metal kablolar yerine fiber kabloların kullanılmasının nedeni, daha az kayba neden olmaları ve elektromanyetik etkileşimden etkilenmemeleridir. Optik fiberler aynı zamanda birçok sensör (alıcı) ve benzeri uygulamaların yapımında yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

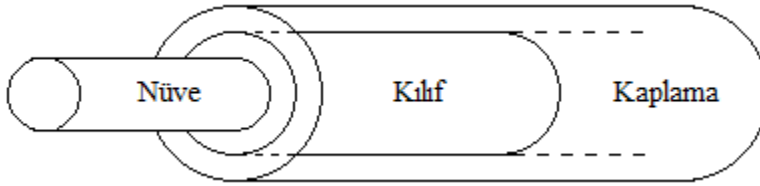
Optik fiber sistemlerindeki iletilen verilerdeki kayıplar, zayıflama ve dispersiyon olmak üzere iki temel nedenden kaynaklanmaktadır. Zayıflama, sinyal gücünü ve dolayısıyla iletim mesafesini sınırlandırmaktadır. Dispersiyon ise sinyal darbe genişliğini arttırmakta ve bunun sonucu olarak sinyaller arası olumsuz bir etkileşim oluşmaktadır [1-3]. Fiber boyu arttıkça zayıflama ve dispersiyon da artmaktadır. Bu ise fiber optik hat boyunca optik sinyalin yükseltilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Fakat sinyalin yükseltilmesi için klasik yöntemle foton-elektron dönüşümü, elektriksel yükseltme, yeniden zamanlama, darbenin şekillendirilmesi ve elektron-foton dönüşümü yapılarak yeniden iletilmesi gerekmektedir. Bu yöntem fiber hattaki sinyalin dış ortama alınması ve yarıiletken teknolojileri kullanılarak yükseltilerek tekrar fiber hatta verilmesi prensibiyle gerçekleştirilir. Yarıiletken ortamca yükseltme işleminde kayıpların çok olması nedeniyle ışığı optik ortamda yükseltme arayışları hız kazanmıştır. Buda optik yükselteçlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Optik yükselteçler uyarılmış yayılım veya nonlineer etki temeli ile telekomünikasyonda önemli rol oynamaktadırlar. Çünkü optik yükselteçlerin elektriksel tekrarlayıcı ihtiyacını yok etme ve çok yüksek band genişliğinde çalışabilme gibi üstünlükleri bulunmaktadır [3-4].

Bu tez çalışmasında, günümüzde hızla artan kapasite ihtiyacını karşılamak için geniş bantlı bir optik yükselteç sistemi tasarlanırken, aynı zamanda uzun mesafe optik iletişimde düşük kazançlı sinyallerin kaybolmasını önlemek için kazanç düzleştirme yöntemiyle verimin artırılması amaçlanmıştır. Ayrıca dört farklı (I6, I25, M5 ve M12) türdeki EKF'in C bandındaki optik kazanç, gürültü ve sıcaklık karakterizasyonları incelenmiştir.

2. TEMEL FİBER OPTİK ve KARAKTERİSTİKLERİ

Günümüzde uzun mesafe iletişim trafiğinin %80'i fiber kablolar üzerinden gerçekleştirilmekte ve yaklaşık 25 milyon kilometrelik fiber kablo kullanılmaktadır. Optik fiberler uzun mesafelerdeki veri iletişiminin daha hızlı ve yüksek kapasitelerde yapılabilmesine olanak sağladıkları için günümüz haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, fiber haberleşmede standart hat uzunlukları 100 km gibi bir mesafeyle sınırlıdır. Metal kablolar yerine fiber kabloların kullanılmasının nedeni, daha az kayba neden olmaları ve elektromanyetik etkileşimden etkilenmemeleridir. Optik fiberler aynı zamanda birçok sensör (alıcı) ve benzeri uygulamaların yapımında oldukça sık olarak kullanılmaktadır [1-5].

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi Optik fiberler genel olarak nüve, kılıf ve dış koruyucu kaplama kısımlarından meydana gelir. Veriyi barındıran ışığı taşıyan kısım nüvedir. Kılıf ise nüve içerisinde yol alan ışığın kırılma yoluyla veri kaybını önlemeye yarar. Kılıfın kırılma indisi nüvenin kırılma indisinden %1 oranında azdır. Örneğin nüve kırılma indisi 1.24 iken kılıfın indisi 1.23 civarındadır. Kılıfın etrafında da ayrıca bir kaplama bulunur. Bu polimer kaplama nüve ve kılıfı optik veya fiziki şartların oluşturabileceği olumsuz durumlara karşı korur [6].



Şekil 2.1. Fiberin fiziki yapısı

2.1. Fiber Optik Sistemlerin Tarihsel Gelişimi

1854'te, John Tyndall, ışığın bükülmüş bir band içindeki sudan geçeceğini ve dolayısıyla ışığın eğilebileceğini gösterdi.

1860'da Graham Bell, ses iletimini ses dalgaları tarafından titreştirilen aynalar kullanarak gösterdi.

1880'de Alexander Graham Bell, ışık demeti üzerinden bir ses sinyalinin ileten "Fotofon" isimli aleti buldu. Ancak elektrik sinyalinin kullanarak ses iletişimini sağlayan telefonu bulduktan sonra bu çalışmasına devam etmedi. Fotofon'un temel sorunu, ışık sinyalinin havadan geçerken atmosferik olaylardan etkilenmesiydi. Örneğin, bulutlu bir havada sinyal bozulabiliyordu. Aynı yıl, William Wheeler, içi kaplanmış ışık borusunu kullanarak ışığı yönlendiren deneyler yaptı.

1888'de, Viyana'da Roth ve Reuss sağlık bilimleri grubu, bükülmüş ışık borularını insan vücudunun tanınmasında kullandılar.

1895'te, Fransız mühendis Henry Saint-Rene, bükülmüş cam borularından yararlanarak görüntüleri aktarmaya yarayan bir sistem tasarladı.

1898 yılında Amerikalı David Simith, ameliyat lambası olarak kullanılabilen bir bükülmüş cam borunun patenti için başvurdu.

1905'te Einstein kuantum kuramını kullanarak fotoelektrik olayını açıkladı. Kuantum kuramı ise iki temel kuramın, parçacık ve dalga kuramının birleştirilmesiydi. Işık bazen parçacık bazen dalga özelliği gösterdiği için bu birleştirme zorunluydu. Işık, enerjinin bir biçimidir. Fotonlar ise ancak bir fotonun hareket halinde olması durumunda var olurlar.

1920'lerde İngiliz John Logie Baird ve Amerikalı Clarence W.Hansell, televizyon ve faksın ilk örnekleri sayılan saydam cam borulardan oluşan ve görüntünün iletilmesine yarayan cihazları için patent aldılar [66].

1930'da alman tıp öğrencisi Heinrich Lamm, ilk kez vücudun görünmeyen yerlerini gözlemek amacıyla fiber optik kablolardan oluşan bir sistem kurdu. Ancak görüntüler oldukça yetersizdi ve patent alma girişimleri Hensell'in İngiliz patenti yüzünden geri çevrildi.

Fiber optikle ışığın en yakın ilişkisi yansımadır. Newton yasaları ışığın nasıl yansıdığı açıklayabiliyor. Newton kuramına göre, ışığın bir yüzeye gelme açısıyla yansıma açısı değişmez. Işığın çok önemli bir özelliği ise kırılmadır. Kırılma, ışığın değişik ortamlarda yol almasıyla ortaya çıkar. Belli özellikteki bir ortamdan, başka özellikteki bir ortama

geçerken ışık kırılır. Işığın hızı, hareket ettiği ortama bağlı olarak bazen artar bazen de azalır. Örneğin, ışık havada camdan daha hızlı ilerler. Bir ortamdan diğerine geçerken ışık hızının değişmesi, onun kırılmasına neden olur [73].

Fiber optik teknolojisi, son birkaç yüzyıldır geliştirilen ışık kuramının bir sonucudur. Gördük ki eski zamanda ateş bir sinyal aracı olarak kullanılmıştı. Bilim geliştikçe haberleşmede kullanılan sinyal şekil değiştirdi. Ve bu işlem çok daha karışık bir hale geldi. Işıkla ilgili bilim adamlarının çalışmaları çok eskiye dayanmakla birlikte, fiber teknolojisindeki gelişme çok yenidir.

1954'te Hollandalı bilim adamı Abraham Van Heel ve İngiliz bilim adamı Harold H. Hopkins birbirlerinden bağımsız olarak görüntü paketleri konusunda makaleler yazdılar. Hopkins, üzeri başka bir camla kaplanmamış fiber kablo içinde ışığın iletimini anlatırken, Van Heel, fiber kablo üzerine kırılma indisi daha düşük bir cam kaplamanın dış etkenlerden ve diğer fiber kablolardan etkilenmesini azaltacağını buldu. O günlerde en büyük sorun, ışığın fiber boru içinde yol alırken sinyalin azalmasıydı.

1961'de American Optical'dan Elias Snitzer, tek modlu fiberlerin teorik tanımlanmasını yayımladı. Snitzer'in düşüncesi, insan vücudunun içine bakmayı amaçlayan sağlık bilimlerindeki uygulamalar için uygundu ve kayıp, bir metrede yaklaşık bir desibel civarındaydı.

1964'te Dr. C. K. Kao, uzun mesafeli iletişimde kullanılan kritik özellikleri fiber kablolar için bazı nitelikler tanımladı. Buna göre ışık şiddeti kaybı kilometrede 10 veya 20 desibel olarak belirlendi. Kao, aynı zamanda kayıpları azaltmak için daha saf cam kullanılması gerektiğini belirtti. Kayıpların artması nedeniyle düşük katkılı nadir toprak elementleri kullanılmaya başlanmıştır. Koestner ve Snitzer, neodmiyum nadir toprak iyonu ile katkılandırılmış fiber fikrini ortaya atmışlardır [96].

1970'te araştırmacılar, eritilerek birleştirilmiş, çok saf, erime sıcaklığı ve kırılma indisi düşük olan silis üzerinde deneyler yapmaya başladılar. Araştırma grupları cama ekledikleri değişik malzemelerle fiber damarındaki kırılma indeksini fiber kabuğuna göre çok az miktarda arttırarak günümüzde kullanılan fiber kabloları elde etmeye başladılar. Cam konusunda uzman Robert Maurer, Donald Keck ve Peter Schultz, ilk fiber optik kabloyu

veya fiber optik dalga kılavuzunu buldular. Bu kablo bakır kabloya göre 65.000 kat daha fazla bilgiyi binlerce kilometre uzağa götürebilmekteydi.

1975'de, ABD hükümeti Cheyenne Mountain'da bulunan NORAD karargahındaki bilgisayarları elektronik gürültüyü azaltmak amacıyla fiber kablo kullanarak birbirine bağlamaya karar verdi.

1977'de 2 km uzunluğundaki ilk fiber telefon iletişim hattı Chicago'da 672 ses kanalıyla kullanılmaya başlandı.

Gün geçtikçe fiber iletim hatları yaygınlaşmaya başlamıştır. Bununla beraber sinyal kayıplarının önüne geçmek için çeşitli arayışlar sürdürülmüştür. Fiber optik haberleşmenin hızla gelişmesi sonucu fiber zayıflaması karmaşık ve pahalı elektriksel dönüştürücüler ve tekrarlayıcılar yardımı ile giderilmiş, bu nedenle optik yükselteç arayışlarına girilmiştir. Optik yükselteç tasarımı için ilk yaklaşım, yarı iletkenlerin yüksek kazançları olduğundan, ışık kaynağı gibi kullanılan yarı iletken lazerlerden bir yükselteç geliştirmek olmuştur. Aynı zamanda uyarılmış Raman saçılması (URS) incelenmiştir. Ancak yarı iletken optik yükselteçler (YOY) ve FRY'lerin her ikisinde de önemli teknik problemlerle karşılaşmıştır.

1985'de Payne'nin grubu önce neodmiyum, tulyum, iterbiyum ve sonra erbiyum ile çalışmıştır.

1986'da Southampton grubu üç metre EKF ile tepe kazancı 1536 nm'de 26 dB olan ilk yükselteçlerini yapmıştır. İlk nesil EKFY'ler geleneksel band adı verilen C bandında tasarlanmıştır. %68 civarında ters birikme sağlayan bir EKF boyu ve alümino silikat katkısı kullanılarak geniş ve düz bir kazanç spektrumu elde edilmiştir.

1987'de British Telecom, erbiyum fiber lazeri ilk olarak 808 nm boya lazeri ile pompalamış fakat bu pompalama bandlarında uyarılmış seviye soğurumu oluşmuştur. Buna neden olmayan bir dalga boyu 980 nm'dir. Bu arada sürpriz olarak 1480 nm pompalama bandı bulunmuş, Bell laboratuvarında 1480 nm'de pompalama yapılarak 37 dB kazanç elde edilmiştir [6-13].

1989'da Japon araştırmacılar bir YOY geliştirmişler, bununla beraber Masataka Nakazawa, NTT İletim Sistemlerinde 1480 nm'de 40 mW gücünde pompa diyotu ile erbiyum katkılı fiberi pompalamış ve 46,5 dB kazanç elde etmişlerdir.

1992'de uzun dalga boyunda düşük gürültü ile 1570-1610 nm bandında çalışan L band EKFY'ler tanımlanmıştır.

1996'da Optik yükselteç kullanılan ilk transatlantik fiber optik iletişim hattı TAT-12/13 bir dalga boyunda 5 Gbit/s iletim hızında ve 1998'de dört veya sekiz dalga boyunda her biri 2,5 Gbit/s toplam 10-20 Gbit/s hızla çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

1997'de başlayan L band EKFY uygulamaları ile DBÇ iletim sistemlerinde kapasiteyi arttırabilecek şekilde, hat yükselteci olarak C banda paralel L band yükseteçler tasarlanmıştır.

2001'de Her biri 10 Gbit/s hızda 100 dalga boyu toplam 1 Tbit/s hıza ulaştırmıştır.

2003'de toplam transatlantik iletim kapasitesi 2700 Gbit/s ve toplam potansiyel kapasite 12300 Gbit/s'ye yükselmiştir.

2006'da NTT firması 14 Tbit/s'lik çok büyük kapasiteli optik iletimi 160 km uzunluğunda optik fiberde başarıyla gerçekleştirmiştir.

2008'de Gasulla and J. Capmany çok modlu fiber ile bir kanalda 20 Gbit/s iletim kapasitesine ulaşmıştır.

2.2. Cam Fiberler

Fiber nüvesi ve kılıfı cam malzemeden yapılmıştır. Yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Kullanılan cam ultra saf, ultra saydam, silikon dioksit veya kuartz kristal malzemeden imal edilirler. İstenilen kırılma indisini elde edebilmek için fiber içerisine imalat sırasında bazı katkı malzemeleri enjekte edilir. Ayrıca imalat sırasında bazı katkı malzemeleri fiber içerisinde kalarak ışığı dağıtma ve absorbe etme gibi zayıflamayı arttıracak şekilde fiber karakteristiğini etkiler [1-15].

2.3. Plastik Fiberler

Bu fiberler plastik nüve ve kılıfa sahiptirler. Cam fiberlere göre kayıpları oldukça fazladır. Maliyet yönünden uygunluğu ve kolay kullanım gibi özellikleri nedeniyle yüksek band genişliğinde kullanım gerektirmeyen ve veri kaybının çok önemsenmediği uygulamalarda plastik fiberler oldukça fazla tercih edilirler [1-15].

Çizelge 2.1. Cam ve Plastik fiberlerin karşılaştırılması

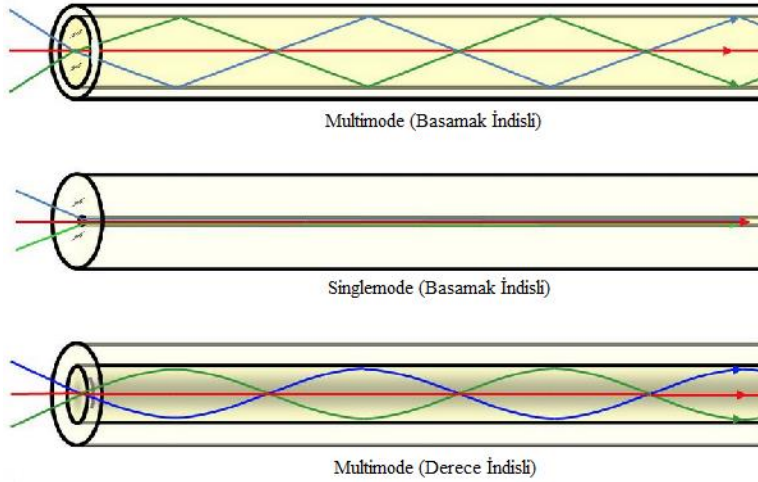
	Cam	Plastik
Esneklik	Az	Fazla
Kullanılabilirlik	Zor	Kolay
Dayanıklılık	Düşük	Yüksek
Kayıp	Az	Fazla
Yayın Gücü	Fazla	Az
İletim Mesafesi	Uzun	Kısa
Ağırlık	Fazla	Az
Fiyat	Yüksek	Düşük

2.4. Tek Modlu Fiberler

Yüksek performansı sayesinde uzun mesafelerde bile kullanılabilir. Sistemin taşıma kapasitesi, fiberin içinde farklı dalga boylarında değişik sinyaller kullanılarak artırılabilir. Buna Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama (Wavelength Division Multiplexing) denir [1-15].

2.5. Çok Modlu Fiberler

Bu tip fiberlerin iç yapısının genişliğinden dolayı ışığı, hat boyunca çeşitli kanallardan gönderebilme imkanı bulunmaktadır. İletim hattında meydana gelen yüksek zayıflama ve düşük bant genişliği nedeniyle, ancak kısa mesafeler ve düşük hızlarda tercih edilmektedir [1-10].



Şekil 2.2. Fiber modları ve kırılma indisleri [10].

2.6. Yayılma

Fiber hat boyunca ilerleyen sinyal palsinin genişleme olayına yayılma denir. Bu olay band genişliği ve veri taşıma kapasitesini sınırlandırır. Sinyal palslerindeki bu genişleme olayı veri taşıyan ışığın devamlılığını etkilediği için çıkış verisinde bazı kayıplara neden olur. Üç farklı yayılma türü mevcuttur [4-13].

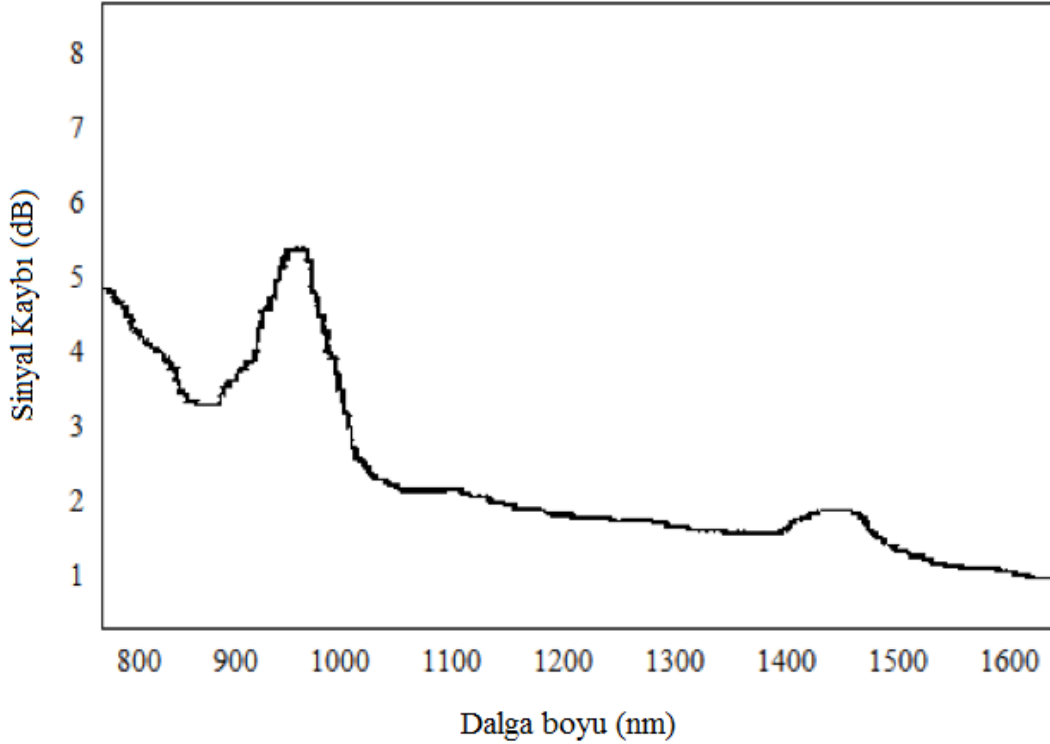
- 1- Modal Yayılma (Modal Dispersion)
- 2- Malzeme Yayılması (Material Dispersion)
- 3- Dalga Klavuzu Yayılması (Wave Guide Dispersion)

2.7. Zayıflama

Fiber içerisindeki ışıkta meydana gelen optik güç kaybına zayıflama denir. Bu kayıp dB/km olarak tespit edilir. Genel olarak Plastik fiberler için 1 kilometrede 300 dB değerinin üstünde, Tek modlu fiberler için ise 1 kilometrede 0.21 dB olarak gözlenmektedir. Zayıflama değeri optik sinyalin dalgaboyu ile değişkenlik gösterir. Fiberin içindeki verinin zayıflama etkisine göre oluşan bölgelerine pencereler denir. İlk üretilen fiberler 820 - 850 nm arasındaki birinci pencerede kullanılmaktaydı. İkinci pencere 1200 - 1300 nm arasındadır. Üçüncü pencere ise 1530 - 1580 nm civarındadır. Günümüzde zayıflama kayıplarını en aza indirmek için genelde üçüncü pencere aralığındaki dalgaboylarında veri iletişimi tercih edilmektedir [4-13].

Şekil 2.3'de sinyallerin zayıflamaya olan etkisi görülmektedir. Bakır iletim sistemlerinde sinyal frekansı arttıkça zayıflama da doğru orantılı olarak artar. Yüksek frekanslardaki zayıflama oldukça fazladır. Ortalama 30 MHz lik bir sinyal bakır kablo ile iletilmesi durumunda yaklaşık 12 MHz lik kısmı zayıflama yoluyla kayba uğrar. Sonuç olarak sinyalin frekansı hat uzunluğunu sınırlar. Fiber optik sistemlerde zayıflama, optik sinyalin iletebileceği maksimum mesafeyi belirleyen başlıca faktördür. Fiber sistemlerde bu zayıflamayı gidermek için hattın belirli noktalarına yükselteçler konumlandırılır. Bir fiber sistemde zayıflama temel olarak iki temel sebeple gerçekleşir [4-13].

- 1- Saçılma (Scattering)
- 2- Soğurma (Absorbtion)



Şekil 2.3. Dalgaboyları için fiber optik zayıflama eğrisi [6].

2.8. Saçılma

Gelen ışının yabancı bir maddeye çapmasıyla oluşan dağılma ve ışık kaybı saçılmayı ifade eder. Saçılma uzun dalga boyundaki ışıklarda çok daha küçük bir etkiye sahiptir. Matematiksel olarak saçılma dalga boyunun 4.kuvvetinin tersi ile orantılı olduğundan kısa dalga boyundan uzun dalga boylarına geçildikçe hızla azalır, ama asla sıfır olmaz. Örneğin 820 nm dalgaboyunda 2,5 dB iken, 1550 nm de sadece 0,012 dB değerindedir [4-13].

2.9. Soğurma

Saçılmayla aynı nedenden oluşur. Temel farklılık ise saçılma ışığın dağılması şeklinde oluşurken, soğurma ışığın sönümlenmesi şeklindedir. Örneğin fiber içerisinde imalat sırasında kalan kobalt, bakır krom gibi artık maddeler soğurmaya neden olur. Kayıpların düşük olması için bu maddelerin fiber içerisinde milyarda bir oranında olması gerekmektedir [4-13].

2.10. Nümerik Açıklık

Fiberin ışık toplama kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Kritik açıdan daha büyük olarak fibere gelen ışınlar hat boyunca yayılabilir. Öz yarıçapları 8 mikro metre'ye kadar olan fiberler bu kuraldan bağımsızdır. Daha düşük çaplar için, geometrik optik (ışın optiği) yaklaşımları geçersiz olduğundan, bu bağıntılar da geçersiz olur. Bunun sebebi, ışın teorisi modelinin, ışığın karakterinin yalnızca bir kısmını tanımlamasıdır. Bu teori bir düzlem dalga bileşeninin fiber içindeki yönünü tanımlar. Ancak böyle bileşenler arasındaki girişimi hesaba katmaz. Girişim olayı hesaba sokulduğu zaman, fiber özünde sadece belli ayırık karakteristiklere sahip olan ışınların yayılacağı bulunmuştur. Böylece, fiber sadece ayırık çok sayıda kılavuzlanmış modu beslemektedir. Bu durum sadece bir veya birkaç modun beslendiği küçük öz çaplı fiberlerde kritik hale gelir. Bu yüzden böyle durumlarda elektromanyetik mod teorisi uygulanır [4-13].

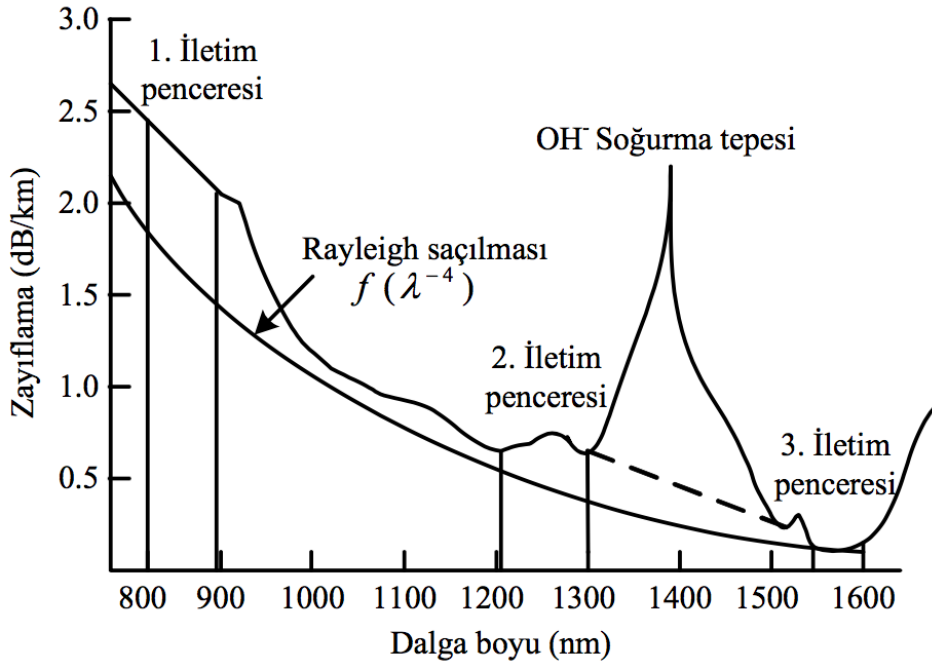
3. OPTİK YÜKSELTEÇLER

Düşük kayıplı olmasına rağmen, uzun mesafelere sahip hatlarda, sinyalde zayıflama oranı artmakta ve iletişimi bozmaktadır. Bu durumu gidermek için ilk olarak yarıiletken optik yükselteçler kullanılmıştır. Bu sistemler optik sinyali önce elektriksel sinyale çevirmekte, güçlendirip tekrar fiber hatta optik sinyal olarak vermektedir. Bu işlem dönüşüm kayıplarına neden olmaktadır. Böylelikle ışığı optik ortamda yükseltme arayışları ortaya çıkmıştır. Doğada az bulunan, nadir toprak elementlerinden (rare-earth) yararlanılarak optik yükselteçlerin gelişmesi sağlanmıştır [1,2,6].

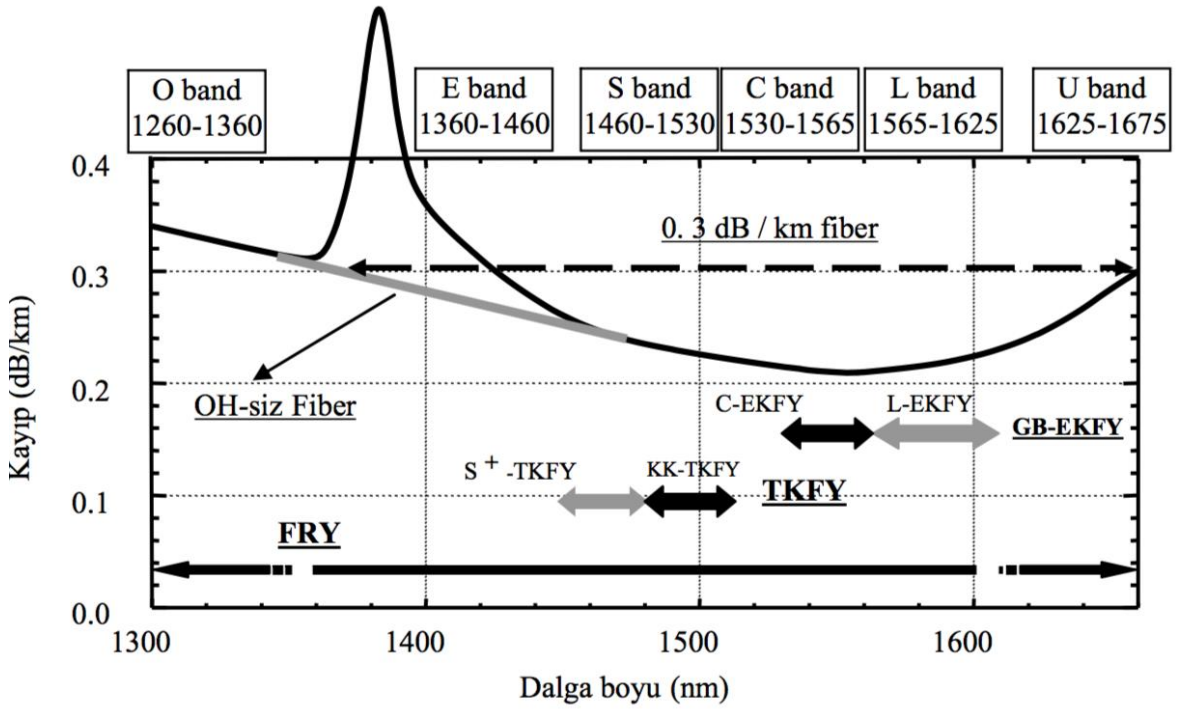
Optik yükselteçler bir lazer gibi düşünülebilir fakat aralarında bir fark vardır. Optik yükselteçlerde geri besleme yoktur. Bunun yerine pompalama denilen foton pompalayıcı ile taşıyıcı sinyal uyarılarak iletim hattı boyunca zayıflayan sinyali yükseltir. Yani yükseltme işlemi yine optik ortamda yapılır. Doğal olarak sinyali optik ortamda yükseltmek daha kullanışlı ve avantajlıdır. Bu sayede dönüşüm işlemine gerek kalmaz ve hız yanında istenilen sayıda farklı dalga boylarında sinyalin iletilmesine izin verir. Optik yükselteçler temelde dört çeşittir [1,2,6].

1. Yarıiletken optik yükselteçler (YOY)
2. Fiber Raman yükselteçler (FRY)
3. Fiber Brillouin yükselteçler (FBY)
4. Nadir Toprak elementi katkılı yükselteçler (NTKY)

Tek modlu fiberin (TMF) dalga boyuna bağlı zayıflama eğrisi Şekil 3.1'de görülmektedir. Tarihsel süreç boyunca optik haberleşmede kullanılan TMF'nin 3 iletim penceresi vardır. Optik yükselteçler bu iletim bölgelerinde çalıştırılarak kullanılırlar. Fakat daha çok, fiber zayıflamasının düşük olduğu 1300 nm ve 1550 nm civarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Şekil 3.1'deki hidroksil (OH⁻) soğurum tepesinin kaynağı imalat sürecinde camın içinde sıkışıp kalan su molekülleridir. Bunu azaltmak için atmosferik kimyasal buhar çökeltme metodu kullanılarak OH⁻ iyonları dehidrasyon ile kaldırılır. Bu tür fiberlere de düşük OH⁻ li fiberler denilir. Bu işlemin ardından 1383 nm'de minimum zayıflama sadece 0,420 dB/km'dir [1,2,6].



Şekil 3.1. Tek modlu fiberin dalgaboyuna bağlı zayıflaması



Şekil 3.2. Fiber kayıp eğrisine göre optik yükselteçlerin konumu

Çizelge 3.1. Fiber optik çalışma bandları

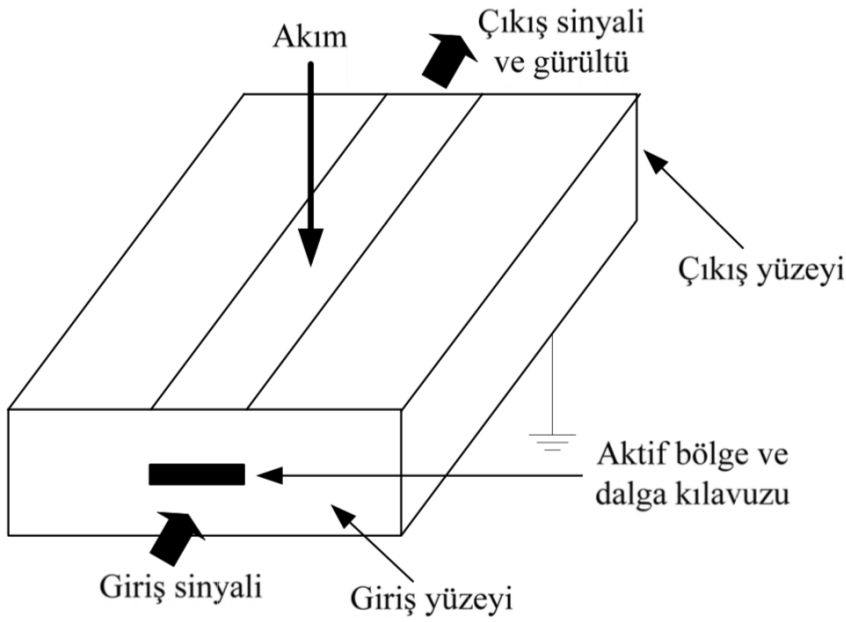
Fiber İletim	Dalgaboyu (nm)	Tanımlama
O Bandı	1260 – 1360	Orijinal
E Bandı	1360 – 1460	Genişletilmiş
S Bandı	1460 – 1530	Kısa Dalgaboyları
C Bandı	1530 – 1565	Erbiyum Penceresi
L Bandı	1565 – 1625	Uzun Dalgaboyları
U Bandı	1625 – 1675	Ultra Uzun Dalgaboyları

Optik yükselteçler lazerlerde kullanılan mekanizmaya benzer bir şekilde, gelen ışığı uyarılmış yayılım yoluyla yükseltirler. Aslında optik yükselteçlerin geribeslemesiz lazer yapısından bir farkı yoktur. Yükselteç, popülasyon ters birikimini sağlamak için optik veya elektriksel yolla pompalandığında, optik kazanç elde edilir. Optik kazanç sadece gelen ışığın frekansına veya dalga boyuna değil, aynı zamanda yükselteç içerisindeki herhangi bir noktadaki lokal ışık şiddetine de bağlıdır. Optik kazancın gelen ışığın frekansı ve şiddetine olan bağımlılığı, yükseltme ortamının özelliklerine göre değişir [1,2,6].

Işığı kendi ortamında yükselterek kayıpları en aza indirme arayışından doğan fiber yükselteçler günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, nadir toprak katkılu fiber yükselteçlerden Erbiyum Katkılu Fiber Yükselteçler (EKFY) incelenmiştir. YOY'lar küçük boyut ile yüksek kazanç (30 dB üzerinde), yüksek band genişliği (40 nm üzerinde) ve çok düşük akım harcaması sağlarlar. YOY'ların dezavantajı, geri dönüş zamanında düşük kazançtan dolayı doyum bölgesinde komşu darbeler arasında girişim meydana gelmesi ve bunun maksimum bit oranını sınırlamasından dolayı giriş sinyali gücünün kabul edilebilir şekilde azalmasıdır. 100 Gbps'in üzerinde erbiyum yükselteçler ile önemli olmayan bozulma gözlemlenirken YOY'lar 25 Gbps çıkış sinyalinde önemli seviyede gürültülü darbe örneği üretirler. Ek olarak YOY'ların dezavantajı YOY ile optik fiber arasındaki yüksek kuplaj kaybıdır. Kayıplar fiberden fibere kazanç ve etkin gürültü faktörü ile azaltılır. Kayıplar 10 dB'ye kadar ulaşabilir. EKFY'ler, çok düşük ek kaybı, yüksek kazanç (40 dB üzerinde), yüksek band genişliği (60 nm civarı), çok düşük çevrim kaybı ve yüksek verime sahiptir. Ayrıca, erbiyum yükselteçler ön, hat ve son yükselteç olarak kullanılabilir gibi telekomünikasyonda dağıtılmış yükselteç olarak ta kullanılabilir [1,2,6].

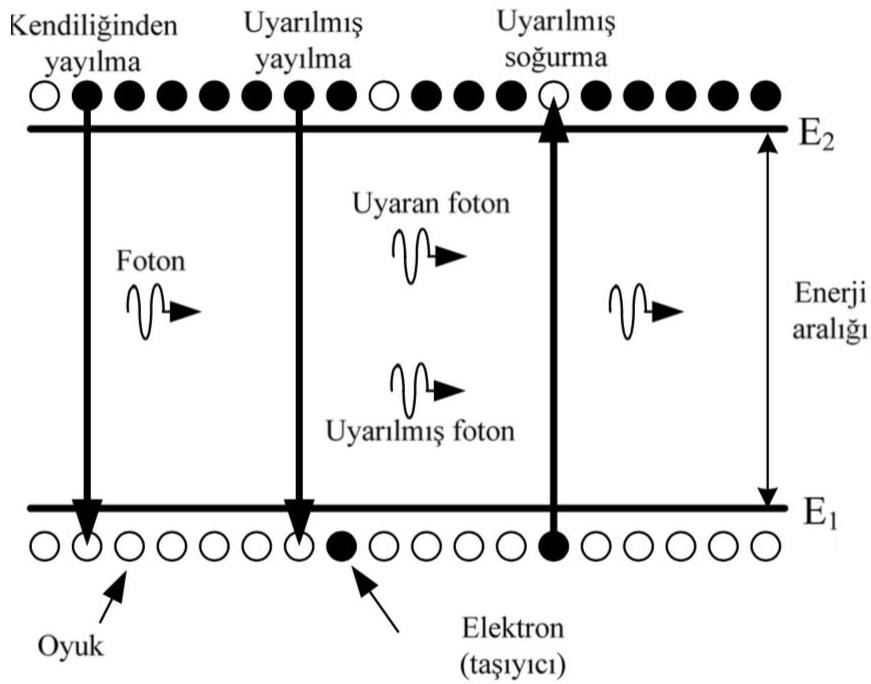
3.1. Yarıiletken Optik Yükselteçler

Temelde yarıiletken optik yükseltme işlemi optik fiber hat içerisindeki yorgun fotonların fiber dışına çıkarılarak yarıiletken sistemlerce yükseltilerek tekrar fiber hat içerisine verilmesi prensibine dayanır. YOY yüksek hızlı anahtarlama yeteneği, yüksek sönüm oranı ve yüksek birleştirme imkanları sunar. Ayrıca YOY dalga boyu dönüşümü, tekrarlama, dalga boyu seçme, güçlendirme, hat yükseltmesi ve optik ön yükseltme işlemlerini de gerçekleştirebilir [1,2,4].



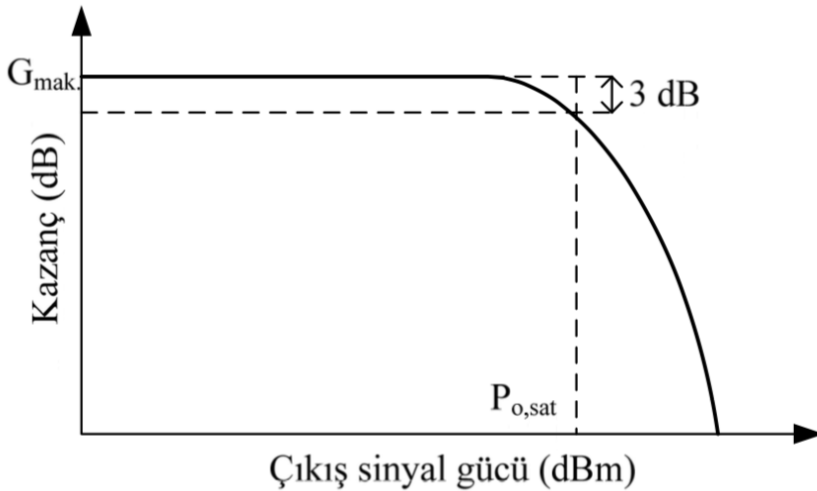
Şekil 3.3. YOY'un şematik diyagramı

Bir YOY'un şematik diyagramı Şekil 3.3'de görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere cihaz bir elektrik akımı ile sürülmektedir. Giriş sinyalinde uyarılmış yayınım yolu ile aktif bölgede kazanç sağlanmaktadır. Çıkış sinyalinin yanı sıra çıkışta bir gürültüde oluşmaktadır. Yükseltilmiş kendiliğinden yayınım (YKY) olarak adlandıracağımız bu gürültü yükseltme işlemi sırasında oluşmaktadır [4].



Şekil 3.4. İki seviyeli lazer sisteminde kendiliğinden ve uyarılmış yayılım

Bir YOY'un kazancı çıkış sinyal gücü ve yükseltme işlemi sırasında oluşan iç gürültüden etkilenir. Şekil 3.5'de görüldüğü gibi çıkış sinyal gücündeki artmaya karşılık kazanç düşer. Bu kazanç doyumu önemli sinyal bozulmalarına neden olur [4].



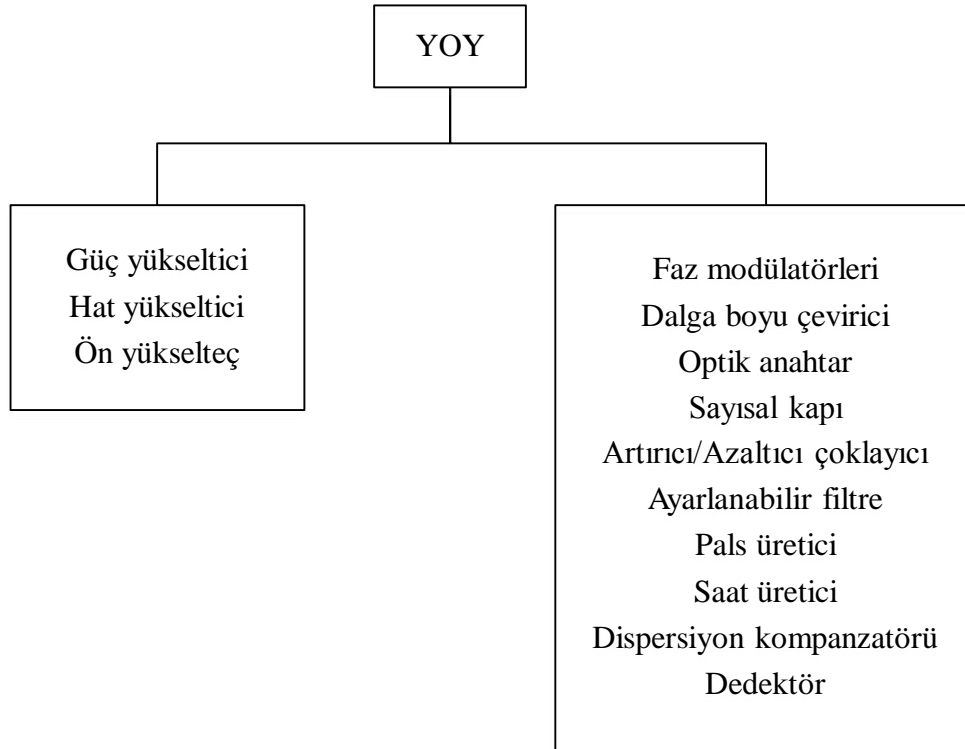
Şekil 3.5. Tipik sinyal gücüne karşılık YOY kazancı

YOY'lar zayıf kazanç, gürültü ve doğrusal olmayan özelliklere sahiptir. YOY teknolojisi hızla ilerlemektedir. YOY'lar tek parça birleşime uygun (böylece fiyat avantajı sağlar) ve fiber optik yükselteçlerin yapamayacağı optik sinyal işleme içeren geniş uygulama alanları sunmaktadır. Gelecekte optik haberleşme ağlarının gelişimiyle YOY'ların daha fazla

yaygınlaşması beklenmektedir. Çizelge 3.2’de fiber yükselteçler ile YOY’un ana özellikleri karşılaştırılmıştır [4].

Çizelge 3.2. Fiber ve yarıiletken yükselteçlerin karşılaştırılması

Özellik	Fiber Yükselteç	YOY
Tipik maksimum kazanç (dB)	30 - 50	30
Tipik ek kaybı (dB)	0,1 - 2	6 - 10
Polarizasyon duyarlılığı	Düşük	Yüksek
Pompa kaynağı	Optik	Elektriksel
3 dB kazanç band genişliği (nm)	30	30 - 50
Lineer olmayan etkiler	İhmal edilebilir	Var
Doyum çıkış gücü (dBm)	10 - 15	5 - 20
Tipik gürültü faktörü	3 - 5 dB	7 - 12 dBm
Fotonik devrelere uygunluğu	Yok	Var
Fonksiyonel devre olabilirliği	Yok	Var

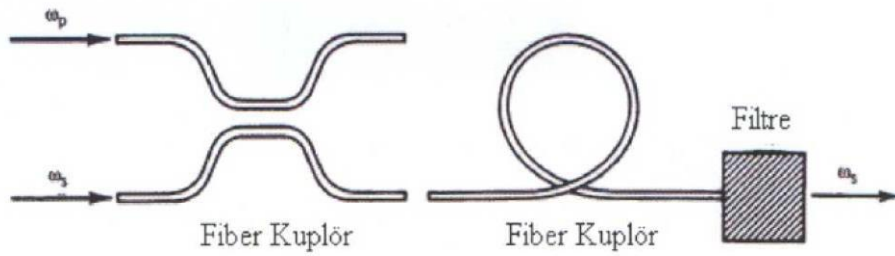


Şekil 3.6. YOY’ların kullanıldığı alanlar

3.2. Fiber Raman Yükselteçler

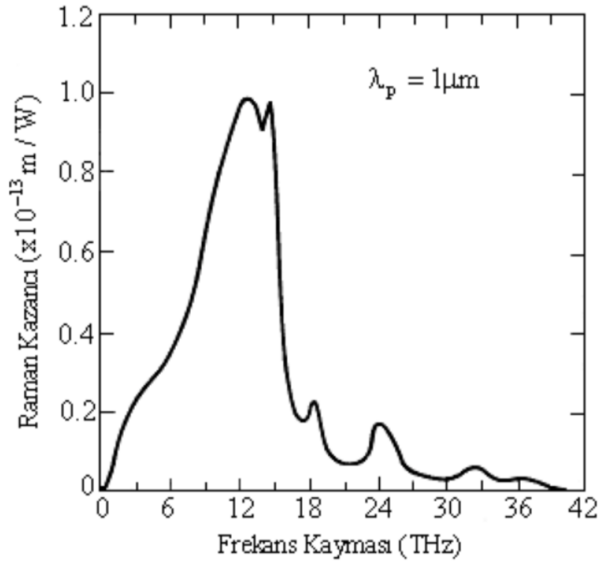
Bir fiber raman yükselteç, yoğun pompalama ışını yayılırken silika fiberiçinde meydana gelen uyarılmış Raman saçılması (SRS) kullanılır (Şekil 3.7). Moleküller titreşimler (optik fotonlar) şeklinde ortam tarafından soğurulur. Oysa uyarılmış yayılma durumunda, düşen bir foton enerji kaybı olmadığında diğer özdeş fotonu uyararak yayılır. Böylece fiber Raman

yükselteçlerde kazanç sağlamak için pompalama optik olmak zorundadır. Buna karşılık YKY'lerde pompalama elektriksel olabilir. En önemli fark YKY durumundaki tersbirikme fiber Raman yükselteçler için gerekli değildir. Gerçekte, SRS rezonans olmayan yapısı ile enerji seviyeleri arasında tersbirikme gerektirmez. Pompalama ışını ve sinyal ışını frekansları ω_p ve ω_s , bir dalga boyu seçici kuplörden fiber içine enjekte edilir. SRS yoluyla sinyal ışınına enerji transfer edilir ve iki ışın fiber boyunca zıt yönde yayılır. Pompalama ve sinyal ışınlarını enjekte eden diğer bir yol ise fiber içinde karşılıklı yayılmadır. Her iki konfigürasyonda da geniş ölçüde çalışmalar yapılmıştır [4].



Şekil 3.7. Fiber raman yükselteç yapısı

FRY'ler iletim hatlarını tıpkı bir Raman kazanç ortamı olarak kullanırlar. Özellikle çok kanallı iletişim sinyallerinin yükseltilmesinde, daha az tekrarlayıcı iletimlerde fiber kayıplarının karşılanması için optik kazançların gerektiği DBÇ sistemlerinde kullanılırlar. FRY optik fiber içerisindeki optik sinyalleri yükseltirler. Bu yükseltme, gücün ışın pompasından sinyale, ışık ile camın titreşimsel durumu arasındaki Raman etkileşimi aracılığıyla iletilmesi esasına dayanır [1-15]. Şekil 3.8'de görülen Raman kazanç spektrumunda kazanç tepe noktalarında 13,2 THz (440cm^{-1}) civarında Stokes kayması görülmektedir. Bu baskın tepenin maksimum kazanç band genişliği 6 THz civarında olup bu değer oldukça yüksektir [4].



Şekil 3.8. Silika için ölçülen raman kazanç spektrumu

İletim fiberinin nonlinear özelliğinden dolayı sinyaldeki bozulma için dağıtılmış yükseltme özellikle etkilidir. Bu problem 40 Gbit/s gibi yüksek hızlı haberleşme sistemlerinde ve yüksek sinyal gürültü oranı gerektiren uygulamalarda ortaya çıkar. FRY sadece dağıtılmış yükseltmede değil aynı zamanda nadir toprak elementleri kullanılan yükselteçlerin kullanıldığı ayrık yükseltmede de kullanılır. Amaç yükseltme bandını genişletmek ve çalışma verimini yükseltmektir. FRY'de tellürit katkılı fiber kullanılarak daha yüksek bir çalışma verimi ve silika fiber kullanılan geleneksel FRY'den daha iyi bir band genişliği karakteristiği elde edilebilir. FRY ışık sinyallerini fiberden geçerken yoğun olarak uyarıldığında nonlinear bir optik etki olan URS ile yükseltir. Raman kazanç spektrumu fiberde kullanılan malzemeye bağlıdır [1,2,6].

Bundan başka geniş band yükseltmesinde FRY çeşitli dalga boylarında çoklu pompa kullanır. Bu durumda çeşitli dalga boylarındaki pompa sinyalleri birleşerek Raman kazanç spektrumunda üst üste biner. Böylece geniş band çalışma elde edilir. Ek olarak her bir dalga boyunun pompa yoğunluğu ayarlanarak düz bir kazanç elde edilebilir. Çoklu pompalama ile başarılı kazanç band genişliğinin limiti Raman kayması ile belirlenir. Silika fiber kullanılan bir FRY'nin maksimum kazancı 100 nm civarı iken tellürit fiber aslında daha yüksek Raman kaymasından dolayı daha geniş band yükseltmesi yapar (160 nm civarı). Ancak tellürit fiber daha düşük verimliliğe sahiptir.

Geniş band tellürit fiber Raman yükseltmesi verimli bir şekilde S band nadir toprak elementi katkılı fiber yükseltmesine birleştirilebilir. C ve L bandında nadir toprak

elementli fiber yükseltmesi, 1300 nm bandında Pr^{+3} katkılı fiber yükseltmesi, 1650 nm TKFY ve silika Raman fiber yükseltmesi kullanılarak 1300-1650 nm arasında geniş band yükseltmesi sağlanabilir [1,2,6].

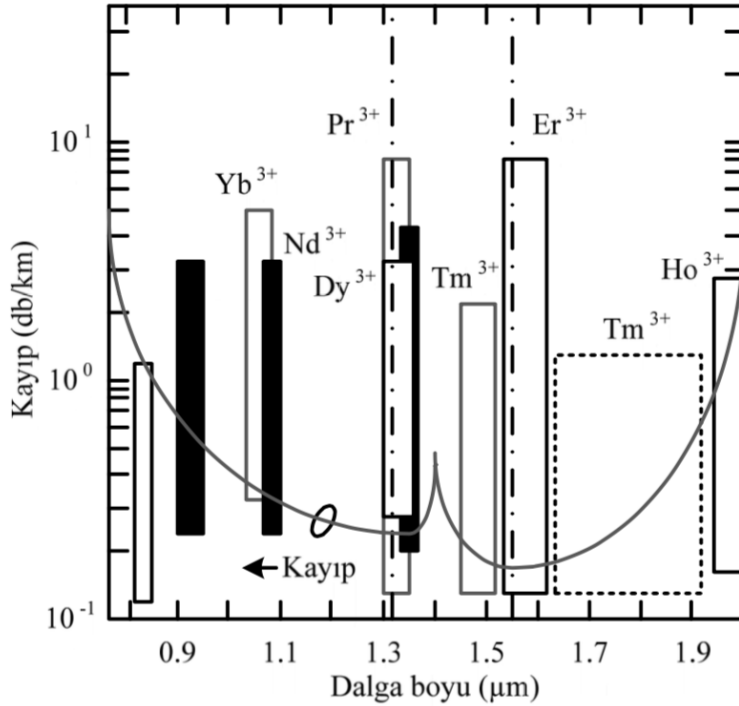
3.3. Fiber Brillouin Yükselteçler

Brillouin yükselteçlerin çalışma prensibi aslında, optik kazanç sağlama hariç fiber Raman yükselteçlerle aynı olup SRS yerine uyarılmış Brillouin saçılmasıdır (SBS). Bu nedenle fiber Brillouin yükselteçler aynı zamanda optik olarak pompalanırlar ve pompalama gücünün bir kısmı SBS aracılığı ile sinyal dalga boyu transfer ederler. Fiziksel olarak, kalıcı enerji akustik bir fotonu uyararak kullanıldığında, her bir pompalama fotonu enerji hüp bir sinyal fotonunun yarattığı enerjiden hüs daha fazla enerji kullanılır. Klasik olarak, ses hızındaki bir ortamda akustik dalga hareketinden dolayı pompalama ışını saçılır. SBS ve SRS arasındaki biçimsel benzerliğe rağmen, fiber Brillouin yükselteçlerin çalışmasını oldukça etkileyerek, SBS'yi SRS'den ayıran 3 yönü vardır [1,2,6].

1. Sinyal ışını ile pompalama ışını zıt yönde yayıldığında sadece yükseltmemeydana gelir.
2. SRS ve pompalama frekansına bağlı olarak karşılaştırılırsa, SBS'de Stokes kayması binde birden daha küçüktür (~10 GHz).
3. Brillouin kazanç spektrumu son derece dar bir band genişliğidir ($\Delta\nu < 100\text{MHz}$). v_a/c oranının oldukça küçük bir değeri bu farkların merkezini oluşturur, burada v_a silika içindeki akustik hız ve c ışık hızıdır. Fiber Brillouin yükselteçlerinde dar band genişliği optik istemlerde güç yükselteci, ön yükselteç veya hat yükselteci olarak kullanıma daha az uyumludur. Bu nedenle benzer özelliklerle karışık ve çokkanallı haberleşme sistemlerinin bazı yeni uygulamaları için kullanılmıştır [1,4,6].

3.4. Nadir Toprak Elementi Katkılı Fiber Yükselteçler

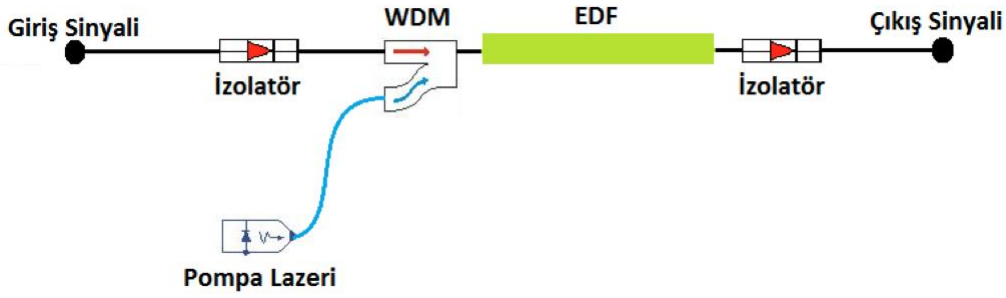
Nadir toprak katkılı fiber yükselteçler (NTKFY), neodmiyum (Nd^{+3}), erbiyum (Er^{+3}), praseodimyum (Pr^{+3}), iterbiyum (Yb^{+3}), tulyum (Tm^{+3}), holmiyum (Ho^{+3}), disprosyum (Dy^{+3}) gibi katkılı fiber yükselteçlerdir. Farklı katkı malzemeleri kullanılarak pompalama ve sinyal dalga boyu, kazanç ve gürültü parametreleri değiştirilmekte ve uygulama alanına göre fiber yükselteç çeşitliliği sağlanmaktadır. Şekil 3.9'da silika fiberin zayıflama eğrisi ve bazı nadir toprak iyonlarının çalışma bandları görülmektedir [4].



Şekil 3.9. Silika fiberin zayıflama karakteristiği ve NTE yayınımları

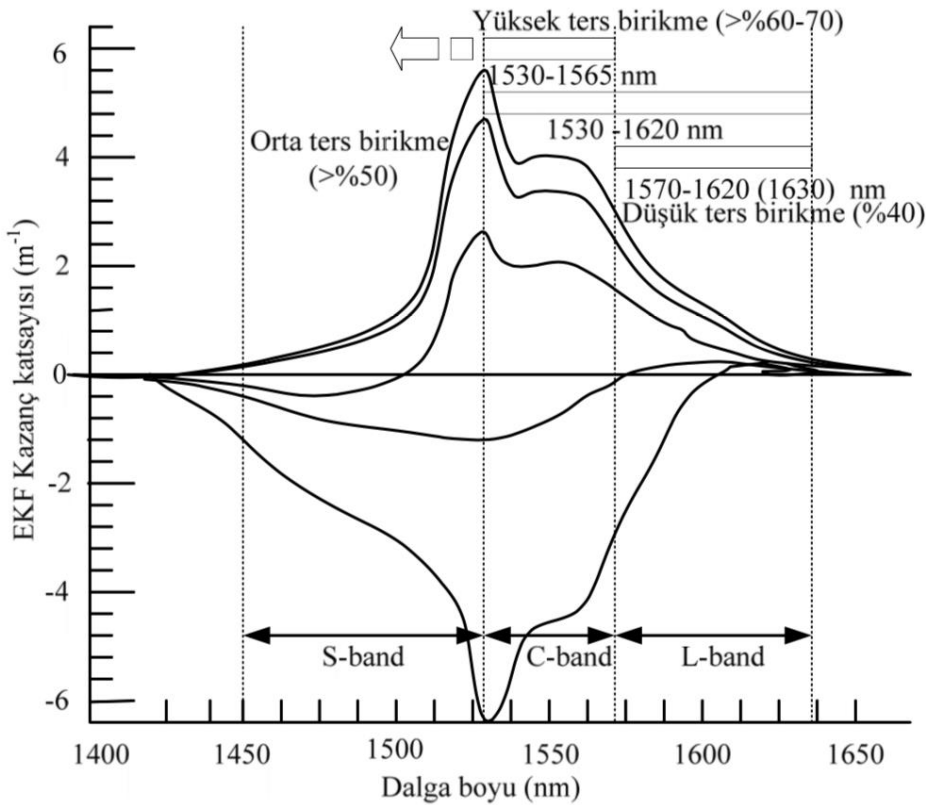
3.4.1. Erbiyum katkılı fiber yükselteçler

EKFY'yi çekici yapan nedenlerden biri, tasarımdaki sadeliğidir. İletim hattında bir pompalama kaynağı, pompa ve optik sinyallerini birleştirip EKF'ye aktaran dalga boyu bölmeli çoğullayıcı, sinyal geri dönüş kayıplarını engellemek için kullanılan optik izolatörler EKFY'nin temel yapısını oluşturmaktadır. İzolatörler olmazsa, sistemin ideal olmayan eklerden, çoğullayıcılardan, birleştiricilerden v.s. kaynaklanan yansımalar EKFY'de yükseltilebilir. Bunun en kötü sonucu kararsızlığa ve gürültü faktörünün yükselmesine sebep olmasıdır. EKFY'nin temel yapısı Şekil 3.10'de görülmektedir. EKFY, nüvesidoğada az rastlanan erbiyum iyonları (Er^{3+}) ile katkılanmış, maksimum 100muzunlukta silika fiberden oluşur. Erbiyum katkılı fiber, genellikle %0.1 değerine geçmeyecek oranda katkılanırılır. Pompa, popülasyon ters birikimini sağlamak için yeterli gücü sağlar [6].



Şekil 3.10. İleri yön pompalamalı EKFY temel yapısı

Orta ve uzun mesafe optik iletimde genellikle optik fiberin zayıflamasının minimum olduğu 1550 nm civarındaki dalga boylarına sahip sinyaller kullanılır. EKFY, Er^{+3} aktif iyonunu ve çoğunlukla 1550 nm sinyal yükseltmesinde kullanılır. Yüksek kazanç ve düşük gürültü özelliklerine sahip EKFY S band (1460-1530 nm) içerisindeki 1490-1520 nm bölgesinde, C band (1530-1565 nm) içerisindeki 1530- 1565 nm bölgesinde, L band (1565-1625 nm) içerisindeki 1570-1600 nm bölgesinde kullanılabilir. Erbiyum katkılı fiberin kazanç spektrumu Şekil 3.11’de görülmektedir [6].

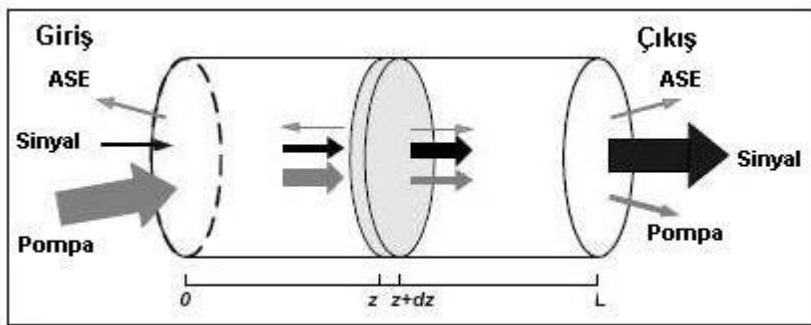


Şekil 3.11. Erbiyum katkılı fiberin kazanç spektrumu

Pompa ve optik sinyali EKF'ye aktaran dalga boyu bölmeli çoğullama (DBÇ) oldukça küçük kayıplara sahiptir (0,2 dB'nin altında). Katkılı fiberin temel malzemesi silika olup öz bölgesindeki erbiyum ve olası diğer katkı malzemeler ile standart telekomünikasyon fiberlerinden farklıdır. EKF'ler referans alındığında iki avantaja sahiptir. Ürün, düşük maliyetli yüksek kaliteli fiber üretiminin yerleşik düzenini kullanır ve katkılı fiber ile bunun kullanıldığı iletim ortamı olan standart fiberler arasındaki benzerlik, az kayıplı eklerle (kaynak bağlantılarıyla) basit birleştirme olanağını sağlar. Şekil 3.11'de ise geniş band fiber optik haberleşmede çeşitli dalga boylarında kullanılan optik yükselteçler görülmektedir [6].

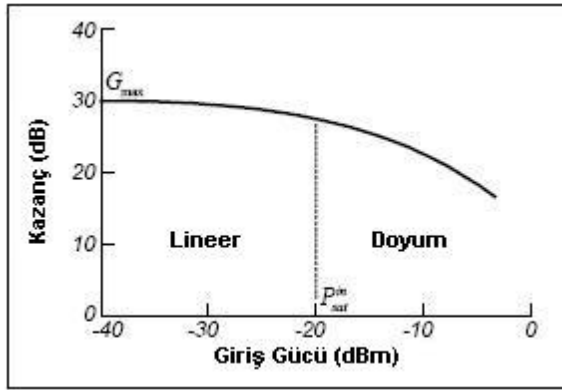
Pompalama için, genelde erbiyum iyonlarının enerji soğurma düzeylerinin (bir başka deyişle verimin) en yüksek olduğu, 980 ve 1480 nm dalgaboylarında çalışan yarı iletken lazerler kullanılmaktadır. Pompa gücü, silika fibere, WDM çoğullayıcı ya da kuplör kullanılarak verilir. Pompalama, silika fibere, sinyaldöğrultusunda, ona ters yönde ya da eş zamanlı olarak her iki yönde uygulanabilmektedir. Geri yönde pompalamada, pompa gücü EKF'nin çıkışından verilir [6].

EKFY genellikle 50m uzunluğuna kadar erbiyum katkılı fiber, dalga boyu bölmeli çoğullayıcı (WDM-Kuplör), ve pompa kaynağından oluşur. Bunlara ekolarak, polarizasyona duyarlı optik izolatörler ve bir optik bant geçiren filtre EKFY'nin performansını arttırmak için gereklidir. Optik izolatör, kararlı yükseltme işlemini gerçekleştirerek optik sinyalde oluşan sahte salınımları engeller. Şekil 3.12, ileri yönde pompalanmış erbiyum katkılı fiberin temel çalışma prensibini göstermektedir. Sinyal yükseltme, pompa soğurma ve YKY üretimini, erbiyum katkılı fiber nüvesinin her bir silindirik bölgesinde meydana gelen eş zamanlı artışla birlikte göstermektedir [5-23].



Şekil 3.12. EKFY temel çalışma prensibi

Erbiyum iyonlarının daha yüksek enerji seviyelerine yükselmeleriyle,erbiyum katkılı fiber boyunca pompa gücü soğurulmakta ve fiber sonunda azalmaktadır. Gelen sinyaller eş zamanlı olarak yükselmekte ve YKY, erbiyum katkılı fiberin her iki tarafında artmaktadır. En yüksek kazanç, çok düşük güçlü sinyal girişlerinde meydana gelir. Giriş sinyal gücü artışı öyle bir seviyeye ulaşır ki, fiber boyunca pompa ile üretilen yarı kararlı seviye popülasyon oranı, giriş sinyali çıkış gücü artışını beslemek için yeterli olmaz. Kazanç ise çıkış gücünün, giriş gücüne olan oranı olarak tanımlanır, EKFY boyunca giriş gücünün bir fonksiyonu olarak düşüşe geçer ve yükselteç doyumuna ulaşır. Şekil 3.13 tipik bir EKFY'nin giriş gücü karakteristiği ile kazanç (dB) arasındaki ilişkiyi kısaca yansıtmaktadır [5-23].



Şekil 3.13. EKFY kazancı ve giriş gücü

Giriş gücü dBm yada *decibel-mW* birimindedir. Kazanç ve giriş gücünün herbiri verilen bir dalga boyunda ele alınır. İstenilen iki bölge ayırt edilebilir. Düşük güçlü sinyal, kazancın G_{max} 'a ulaşıldığı bölgede doğrusal karakteristik gösterir. Dahayüksek güçlü sinyal girişleri için kazanç düşer ve yükselteç doyumuna ulaşır. Giriş doyum gücünün, kazancın G_{max} 'dan 3 dB düşük olduğu giriş gücü olarak tanımlanır. G_{max} ve giriş doyum gücünün gerçek değerleri EKFY'nin fiziksel karakteristiklerine bağlıdır. Kendiliğinden doyum (Self-Saturation), aşırı miktarda YKY'nin yükselteçte üretilmesi ve benzer şekilde kazancın aniden düşmesiyle meydana gelir. EKFY, $1525\text{-}1570\text{ nm}$ dalga boyu aralığında eş zamanlı yükseltme imkanı sağlar, fakat 1532 nm dalga boyunda benzersiz kazanç özelliğine sahiptir. Bu dalga boyu penceresi, silika fiberde görülen en düşük zayıflama penceresi ile uyuşur. Erbiyumun lazerle iletiminin, silika fiberdeki en düşük zayıflama penceresi ile uyuşması gerçeği, iletim için 1550 nm dalga boyu aralığının seçilmesine ve EKFY'nin, fiber optik iletişim için kullanılmasına yol açan en önemli etkenlerden biridir. Katılama için erbiyum iyonunun seçilmesinin nedeni ise her şeyden önce erbiyumun yarı kararlı

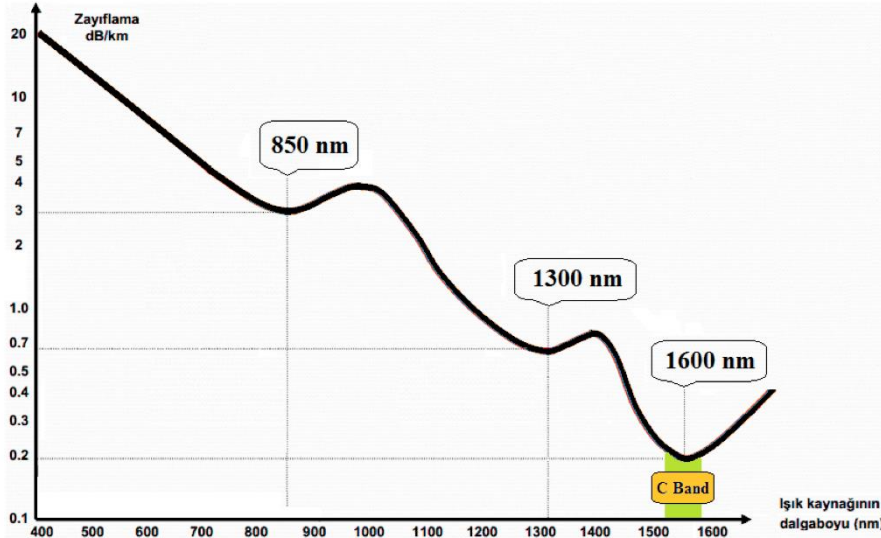
enerji seviyesinin uzun ömrü ve yükseltme imkanı sağladığı geniş dalga boyu aralığına (pencere) sahip olmasındandır [4,5-12].

980 nm de pompalama, 1480 nm pompalamaya göre daha etkilidir. Bu dalga boyunda pompalanan erbiyum katkılı fiberler, 1480 nm'de pompalamaya göre değişik avantajlara sahiptir. Bu avantajlardan bazıları, düşük gürültü değeri ve kazancın sıcaklığa olan bağımlılığının düşük olmasıdır. 980 nm'de çalışan pompalarda daha düşük gürültülü yükselteçlerin üretiminde kullanılır çünkü, yüksek popülasyon ters birikimi, daha düşük YKY seviyesi anlamına gelir. Bir başka deyişle; EKFY'da daha yüksek çıkış güçlerini mümkün kılan, yüksek güçlü pompa lazerleri, 1480 nm dalga boyunda bulunurlar. Bu nedenle 1480 nm'de çalışan pompa lazerleri, yüksek çıkışlı yükselteçlerin üretiminde kullanılır. 1480 nm'de pompalamanın bir başka avantajı ise, pompa gücünün silika fiberde düşük kayıpla ilerleyebilmesi ve bununla pompalamanın daha uzağa yapılabilmesidir. 10-20 mW arası pompa gücü ile pompalanan bir EKFY'dan, 30-40 dB kadar yüksek yükseltme kazancı sağlamak mümkündür. 980 nm'de pompalanan bir EKFY'dan 11 dB/mW kadar verim elde edilebilmektedir [5-24].

980 nm ve 1480 nm dalga boyunda çalışan pompalar çift taraflı EKFY'lerde tamamlayıcı olarak kullanılabilir. Tipik bir çift taraflı konfigürasyonda, ilk taraf yüksek kazanç ve düşük gürültü üretimine uygun olacak şekilde, ikinci taraf ise yüksek çıkış gücü üretimine uygun olacak şekilde oluşturulmaktadır. Bu nedenle, ilk evre genel olarak 980 nm ileri yönde pompalı iken ikinci evre ise 1480 nm geri yönde pompalı olmaktadır. EKFY'ler geri yönde (backward pumping), ileri yönde (forward pumping) veya çift taraflı (bi-directional pumping) pompalanabilirler. İleri yönde pompalamada sinyal ve pompalama güçlerinin her ikisi de fiber boyunca aynı doğrultuda ilerler. Geri yönde pompalamada ise sinyal ve pompa güçleri fiber boyunca zıt yönde hareket ederler. Doyumsuz bölgede, her iki pompalama şeklinin performansları hemen hemen birbirine yakındır. Geri yönde pompalama yöntemiyle, doyum bölgesinde verim genelde daha iyidir. Çünkü geri yönde pompalamada yükseltilmiş kendiliğinden yayılım önemli bir etkidir. Çift taraflı pompalama yöntemi, iki pompa lazerine ihtiyaç duymasına rağmen, popülasyon ters birikimi açısından diğer konfigürasyonlara göre üstünlük sağlamaktadır. Ayrıca bu pompalama yönteminde küçük sinyal kazancı tüm yükseltme süreci boyunca düzgün olarak görülür [4-16].

3.4.2. EKFY Enerji seviyeleri ve ışığın yükseltilmesi

Şekil 3.14’de görüldüğü gibi 1530 – 1574 nm aralığındaki sinyaller zayıflamanın en düşük olduğu C band aralığındadırlar. Bu aralıkta kullanılan sistemlerin kazancı oldukça yüksektir [6].

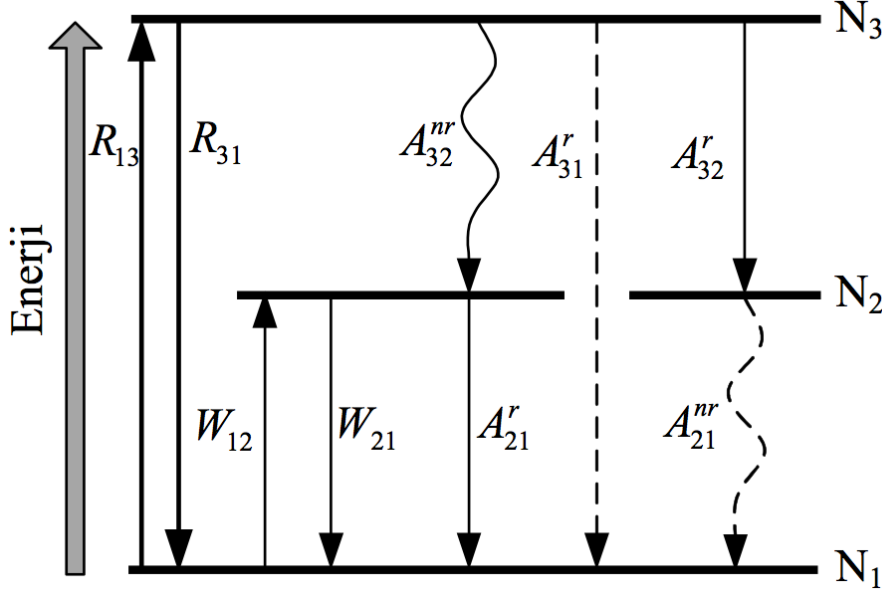


Şekil 3.14. Sinyal dalga boylarının zayıflama eğrisi

980 nm pompa lazeri için kullanılan 3 seviyeli enerji diyagramı Şekil 3.15’de görülmektedir. Fiber içerisindeki enerji seviyeleri zayıflamış olan fotonlar N_1 ’den harici pompa lazeri ile en üst enerji seviyesine (N_3) pompalanmaktadırlar. N_3 seviyesine çıkan fotonlar, kendiliklerinden bir alt enerji seviyesi olan yarı kararlı seviyeye (N_2) düşerler. N_2 ’de belli bir süre ($\tau = 10$ ms) bekleyen fotonların sayısı, N_1 ’den daha fazla bir sayıya ulaştığında ters foton birikimi gerçekleşmiş olur. Yüksek enerjili N_2 seviyesinde bulunan fotonlar düşük enerjili N_1 ’e doğru düştüklerinde enerji yayarlar ve böylelikle sinyal yükseltilmiş olur [4,6].

Diyagramda görülen 1 (toprak seviyesi), 2 (yarı kararlı seviye) ve 3 (uyarılmış Seviye) olarak belirtilmiştir. R pompalama oranını, W uyarılmış yayılma oranını ve A kendiliğinden ışımaya oranını ifade etmektedir. R üst sembolü ışımaya yayılmayı, NR üst sembolü ise ışımsız yayılmayı ifade eder. Seviye 1’den seviye 3’e pompalama oranı R_{13} , seviye 3’den seviye 1’e uyarılmış yayılma oranı R_{31} ile ifade edilir. Seviye 3’e karşılık gelen uyarılmış durumda düşme nedeni iki farklı yol ile olur. Seviye 1 ve seviye 2

arasındaki uyarılmış soğurma ve yayılma oranları sırasıyla W_{12} ve W_{21} olarak belirtilmiştir. N_1 , N_2 ve N_3 farklı enerji seviyeleri için atomların oransal yoğunluklarını ifade etmektedir.



Şekil 3.15. Üç seviyeli enerji diyagramı

3 seviyeli enerji diyagramına ait temel oran denklemleri aşağıdaki gibidir [4].

$$\frac{dN_1}{dt} = -R_{13}N_1 + R_{31}N_3 - W_{12}N_1 + W_{21}N_2 + A_{21}N_2 \quad (3.1)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = W_{12}N_1 - W_{21}N_2 - A_{21}N_2 + A_{32}N_3 \quad (3.2)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = R_{13}N_1 - R_{31}N_3 - A_{32}N_3 \quad (3.3)$$

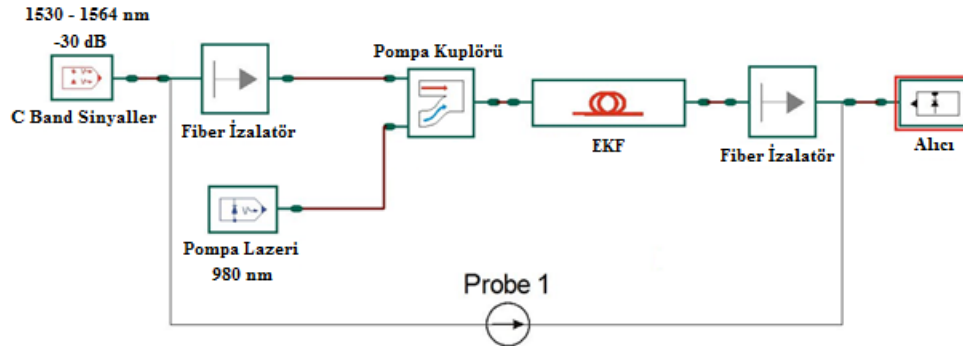
$$W_{12}N_1 - bN_2 + A_{32}N_3 = 0 \quad (3.4)$$

$$R_{13}N_1 - aN_3 = 0 \quad (3.5)$$

$$N_3 = \rho - N_1 - N_2 \quad (3.6)$$

4. SICAKLIĞIN KAZANCA ETKİLERİNİN BENZETİMİ

OptiAmplifier 4.0 benzetim yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen EKFY tasarımı için hazırlanan benzetim düzeneği Şekil 4.1’de görülmektedir. Fiziksel koşullarda gerçekleştirilmesi çok zor olan sıcaklık değerleri için farklı türdeki EKF’ler kullanılarak analiz çalışması yapılmıştır. Deneylerde 0°C, 20°C, 40°C ve 60°C sıcaklıklar için EKFY tasarım çalışması gerçekleştirilebilirken, benzetimde bu sıcaklıkların yanı sıra negatif -20°C ve -40°C ile pozitif 80°C’ de çalışmalar yürütülmüştür. Bu analizde I6, I25, M5 ve M12 fiberlerinin erbiyum iyon yoğunluğu, nümerik açıklık, üretim kayıpları gibi birçok değişken, referans dosyası olarak yazılım içerisine aktarılmıştır.



Şekil 4.1. C bandı için 980 nm pompa lazeri ile EKFY düzeneği

1530-1564 nm arasında ve -30 dB güçteki C band sinyaller bir izolatörden geçirildikten sonra, pompa kuplör aracılığıyla 980 nm 100 mW’lık pompa sinyali ile birleştirilerek EKF’de yükseltilmektedir. Benzetim OptiAmplifier 4.0 programı kullanılarak yapılmıştır. Benzetimde, deney düzeneğinde kullanılan tüm malzemeler için ek kaybı, izolasyon ve geri dönüş kaybı verileri girilmiştir. Bu fiberin yayılım ve soğurum değerleri veri dosyası olarak hazırlanarak benzetimde kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar öncesinde benzetim düzeneği kurularak çıkış kazancının istenilen seviyeye yakın olarak ayarlanması için en uygun EKF boyu belirlenmiştir [2-6].

Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan fiberlerin özellikleri

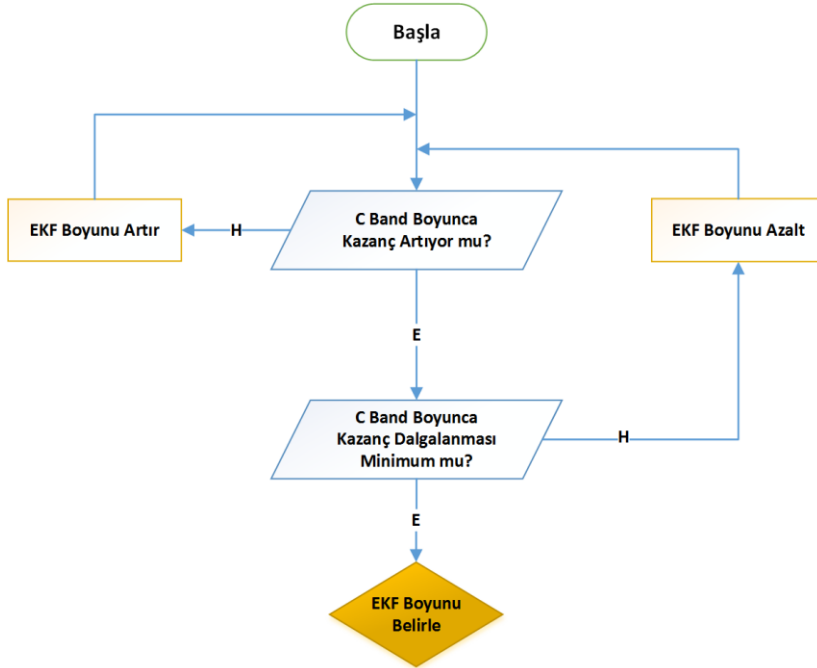
Parametreler	I6	I25	M5	M12
Nümerik açıklık	0,22 - 0,24	0,23 - 0,25	0,22 - 0,24	0,21 - 0,23
İyon ömrü (ms)	10	10	10	10
Tepe dalga boyu soğurumu (1300 nm) (dB/km)	8,4	14,7	14,65	49,67
Erbiyum konsantrasyonu	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük
20 °C ortalama boy uzunluğu (m)	11,8	12,66	18,5	4
Nüve yarıçapı(μm)	1,6	1,4	1,6	1,7
Erbiyum yarıçapı(μm)	1,5	1,3	1,5	1,6

Benzetimde daha düşük gürültü faktörü elde etmek için 980 nm 100 mW'lık pompa lazeri kullanılırken, öncelikli olarak fiber boyunun tespiti yapılmıştır. Bunun için çeşitli EKF uzunlukları için kazanç ve kazanç değişimi değerlerine bakılarak en uygun fiber boyu seçilmiştir. Çizelge 4.2'de çeşitli fiber boylarına karşılık elde edilen kazanç spektrumları görülmektedir. C band seviyesinde tasarlanan EKFY için 1530 nm ile 1564 nm arasındaki dalgaboylarındaki sinyaller giriş sinyali olarak tanımlanmıştır. Sinyal aralıkları 2 dB olarak belirlenmiştir. İdeal boy analizi için sabit 20°C sıcaklık değeri ve 1550 nm sabit dalgaboyu değeri kullanılmıştır [6].

Çizelge 4.2. 20 °C ve 1550 nm dalga boyu için ideal fiber boyları

	I6	I25	M5	M12
Kazanç (dB)	21,986	21,264	21,979	22,170
Fiber Boyu (m)	12,77	2,68	20,61	4,9

Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi I6, I25, M5 ve M12 EKF'leri için yaklaşık 22 dB'lik bir kazanç değeri elde edilirken ideal boyları ise farklı bulunmuştur. EKF boyunun uzun olması tasarım aşamasında hem fiziksel olarak hemde maliyet olarak dezavantaj oluşturmaktadır [6].



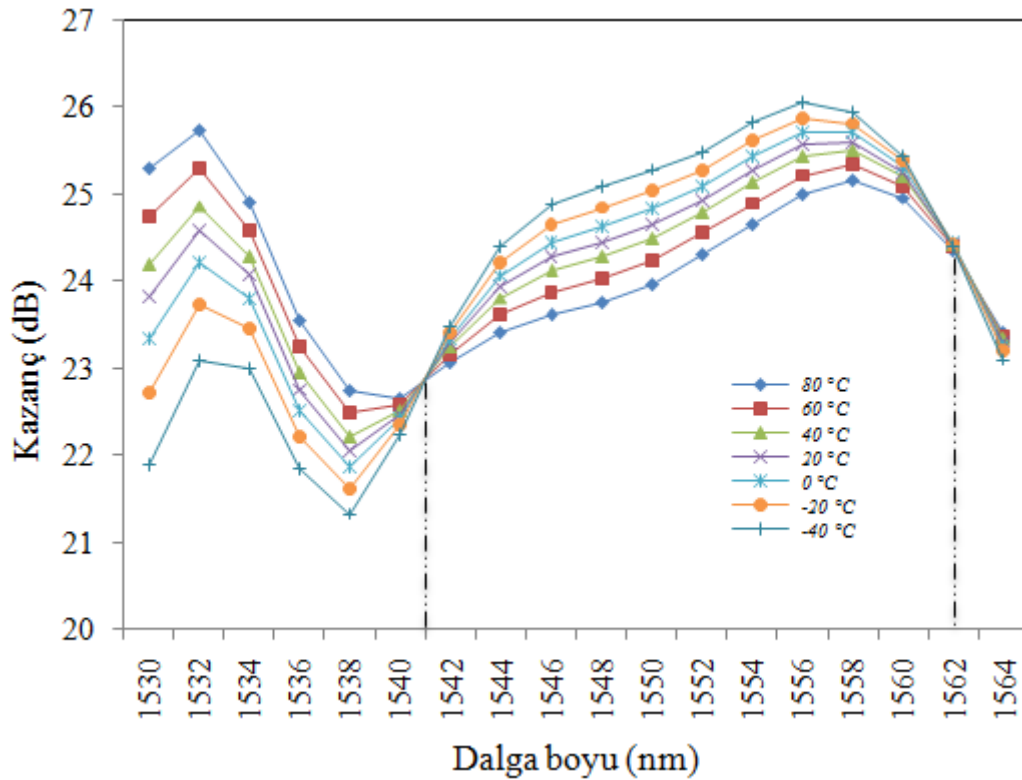
Şekil 4.2. İdeal EKF boy algoritması

Deneysel çalışma öncesinde ideal EKF boyunu belirlemek için gerekli benzetimler 1550 nm dalgaboyu ve -30 dB giriş kazancı değeri için 20 °C sıcaklıktaki EKFY düzeneğinde en uygun EKF boyu I6 için 12,77 m, I25 için 2,68 m, M5 için 20,61 m ve M12 için 4,9 m olarak tespit edilmiştir. Bu boy değerlerinde EKFY en yüksek kazanca ve en düşük spektral kazanç değişimine sahiptir. Bu aşamadan sonra benzetim düzeneği ile analiz yapılarak elde edilen değerler deneysel düzeneğe çalışmasındaki değerlerle karşılaştırılmıştır. C bandı boyunca EKFY kazanç spektrumu çeşitli giriş sinyalleri ve sabit güç için incelenmiştir.

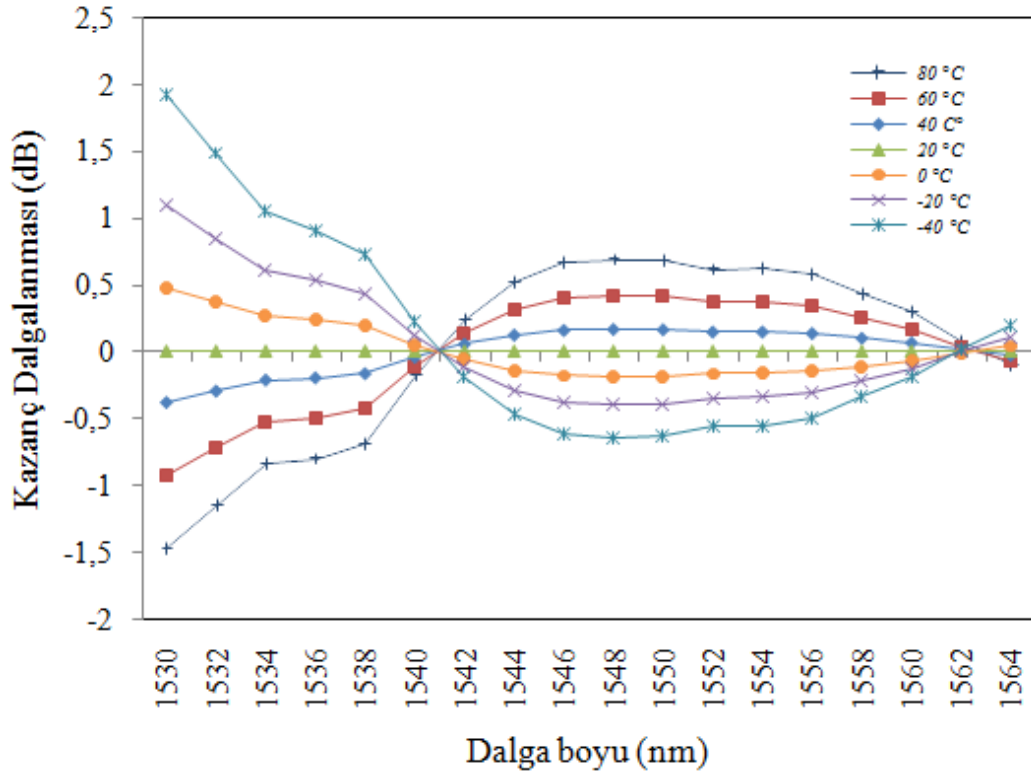
4.1. I6 EKF'si için Benzetim Analizi

Kullanılan I6 türündeki EKF için yapılan sıcaklık analizi sonucu elde edilen kazanç spektrum değerleri ortalama 24 dB olarak Şekil 4.2'de görülmektedir. Yedi farklı sıcaklık değeri (-40°C, -20°C, 0°C, 20°C, 40°C, 60°C, 80°C) için yapılan analizlerde tüm sıcaklık değerleri için C band aralığındaki dalgaboylarında benzer kazanç spektrumu gözlenmiştir. 1532 nm seviyenden 1538 nm'ye kadar kazançta belirgin bir kazanç düşüşü olurken, 1541 nm' den 1556 nm'ye doğru tüm sıcaklıklar için yaklaşık 2 dB kazanç artışı gözlenmiştir. 1541 nm ve 1562 nm değerleri tüm sıcaklık değerlerinde sabit kazanç elde edilen noktalardır. Yani bu noktalar sıcaklıktan bağımsız tepki vermektedir. Şekil 4.3'de 20°C için gerçekleştirilen normalizasyon eğrisi görülmektedir. C bandının başında 1530 nm için

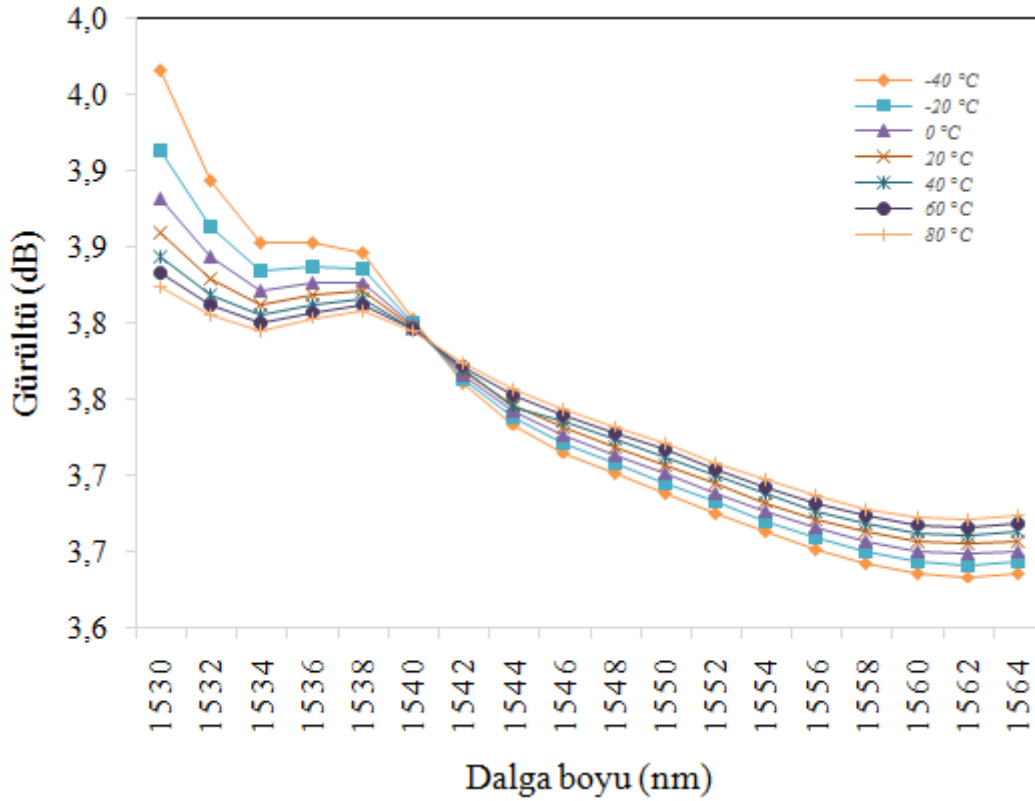
dalgalanma 3,5 dB iken, 1546 nm ile 1556 nm değerleri arasında yaklaşık 1 dB seviyesinde oluşmuştur. 1541 nm ve 1562 nm dalgaboylarında dalgalanma sıfırlanmıştır. Dalgalanmanın en az olduğu sıcaklık değerleri 0°C ve 40°C iken, en fazla dalgalanma -40 °C ve 80 °C’ de gerçekleşmiştir. Kullanılan EKF’ nin gürültü tepkisi ise Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Sıcaklık değişimlerine karşılık gürültünün benzer değerlerde olduğu gözlenmiştir. Bununla beraber 1541 nm’de tüm sıcaklık değerleri için sabit gürültü oluşmuştur. Oluşan gürültü değerleri C bandı boyunca yaklaşık 0,4 dB olmuştur.



Şekil 4.3. I6 fiberi için sıcaklığa bağlı kazanç spektrumu



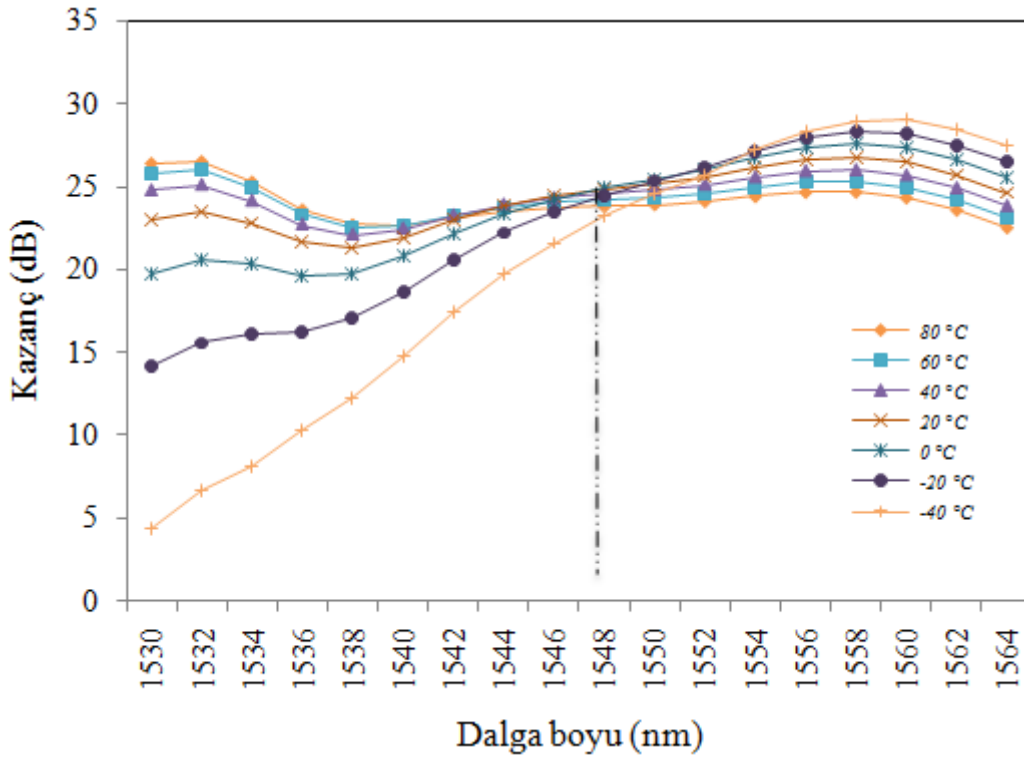
Şekil 4.4. I6 fiberi için sıcaklığa bağlı normalizasyon eğrisi



Şekil 4.5. I6 fiberi için sıcaklığa bağlı gürültü spektrumu

4.2. I25 EKF'si için Benzetim Analizi

I25 için yapılan sıcaklık analizi sonucu elde edilen kazanç spektrum değerleri Şekil 4.5'de görülmektedir. Yedi farklı sıcaklık değeri için yapılan analizlerde tüm sıcaklık değerleri için C band aralığında benzer kazanç spektrumu gözlenmiştir. Ancak -20°C ve -40°C için 1532 nm seviyesinde diğer sıcaklık değerlerine göre düşük kazanç değerleri elde edilmiştir.

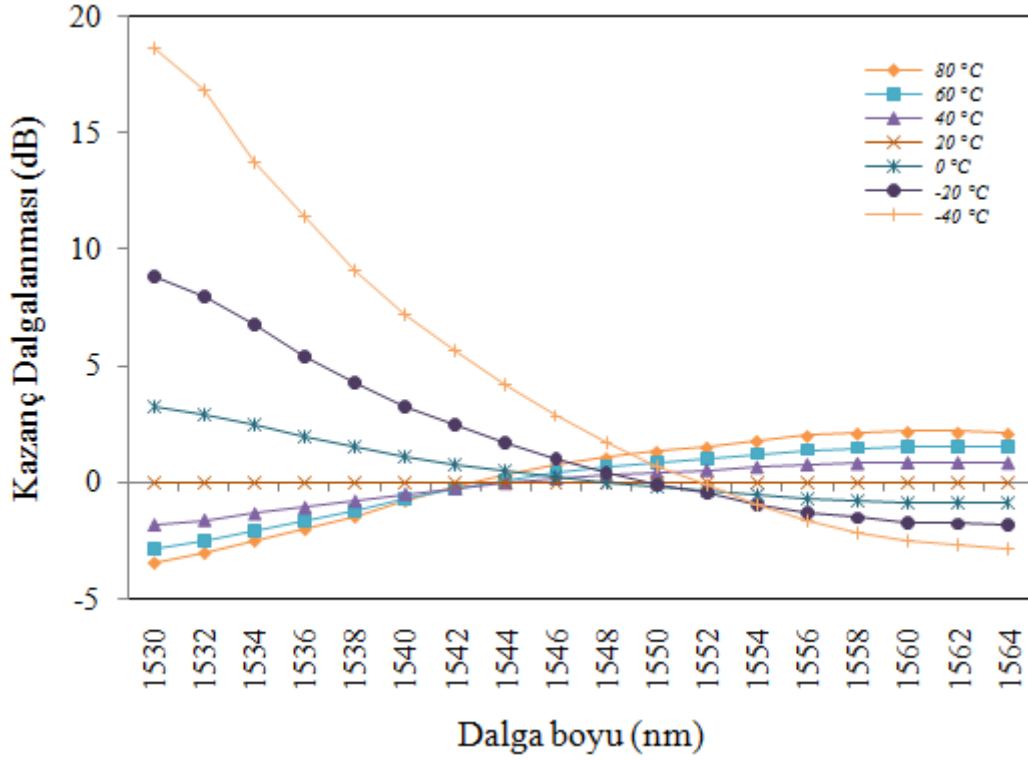


Şekil 4.6. Sıcaklığa bağlı I25 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi

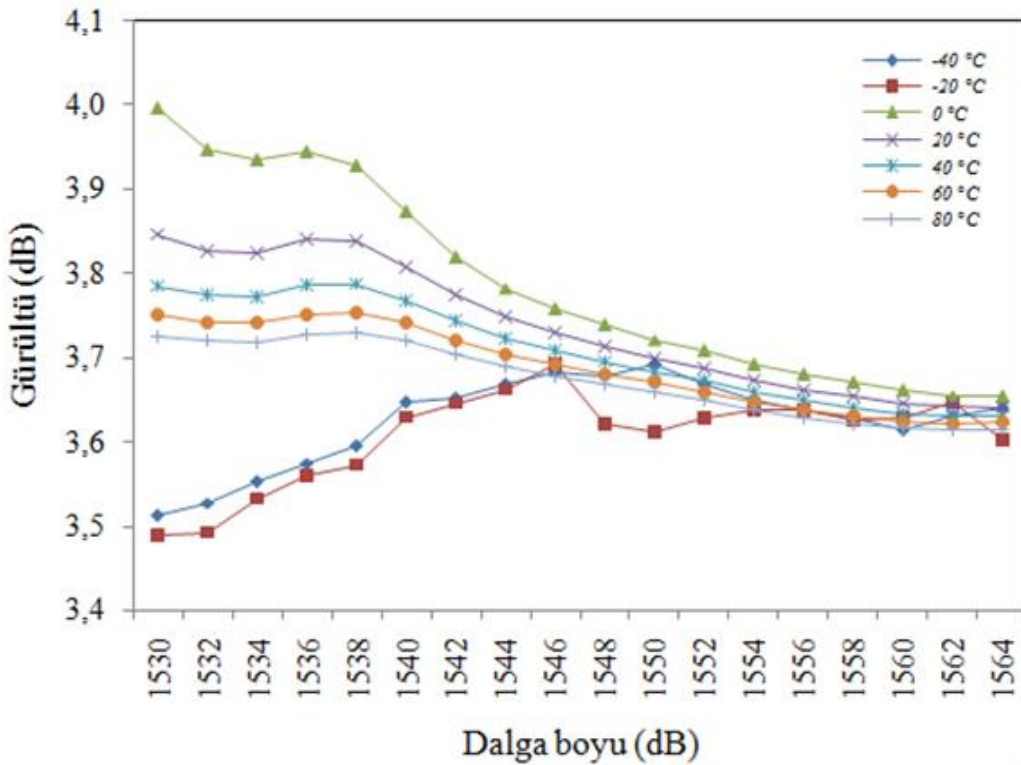
Kazanç aralığı yaklaşık 20 dB ile 28 dB arasında elde edilmiştir. Kazançta C Band boyunca belirgin bir düşüş gözlenmemiştir. 1548 nm değeri -40°C , -20°C , 0°C , 20°C , 40°C , 60°C ve 80°C sıcaklık değerlerinde yaklaşık sabit kazanç elde edilen noktadır. Yani bu nokta sıcaklıktan bağımsız tepki vermektedir. Şekil 4.6'de 20°C için gerçekleştirilen normalizasyon eğrisi görülmektedir. C bandın başında 1530 nm için dalgalanma 21 dB iken, 1552 nm'den 1562 nm'ye doğru yaklaşık 6 dB dalgalanma gözlenmiştir. 1548 nm ise dalgalanma değeri yaklaşık 0 dB seviyesindedir.

Dalgalanmanın en az olduğu sıcaklık değerleri 0°C , 20°C , 40°C , 60°C , ve 80°C iken, en fazla dalgalanma -20°C ve -40°C ' de gerçekleşmiştir. Kullanılan EKF'nin gürültü tepkisi

ise Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Sıcaklık değişimlerine karşılık gürültünün benzer değerlerde oluştuğu gözlenmiştir. Oluşan gürültü değerleri C bandı boyunca yaklaşık 0,3 dB olmuştur.



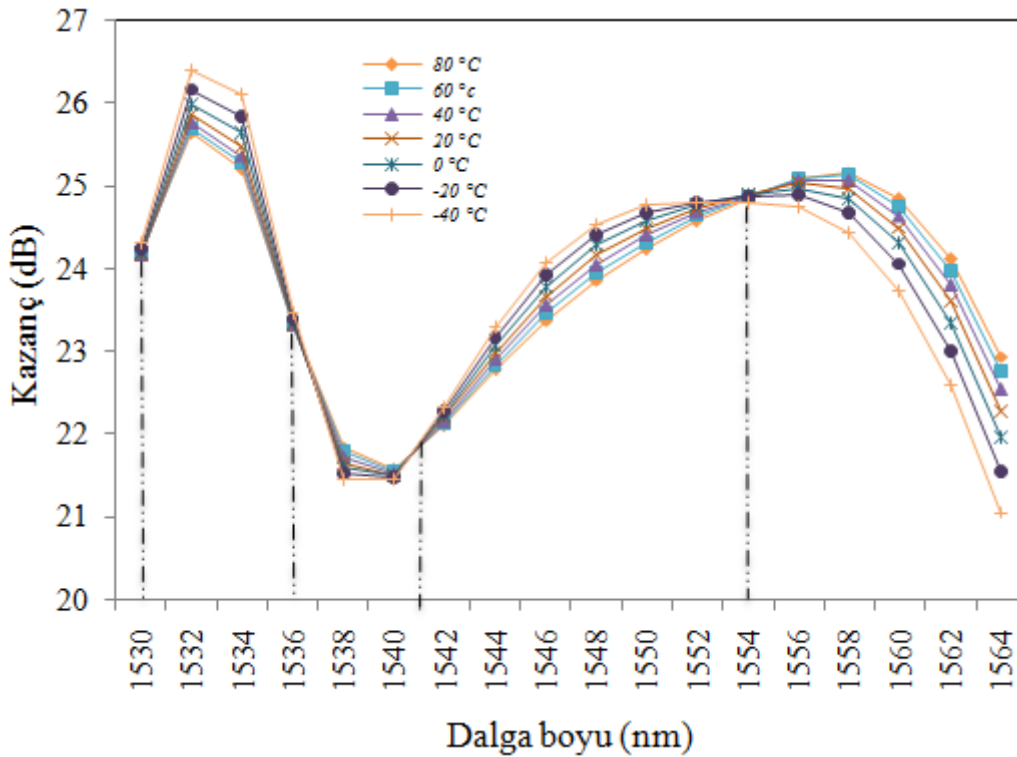
Şekil 4.7. Sıcaklığa bağlı I25 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi



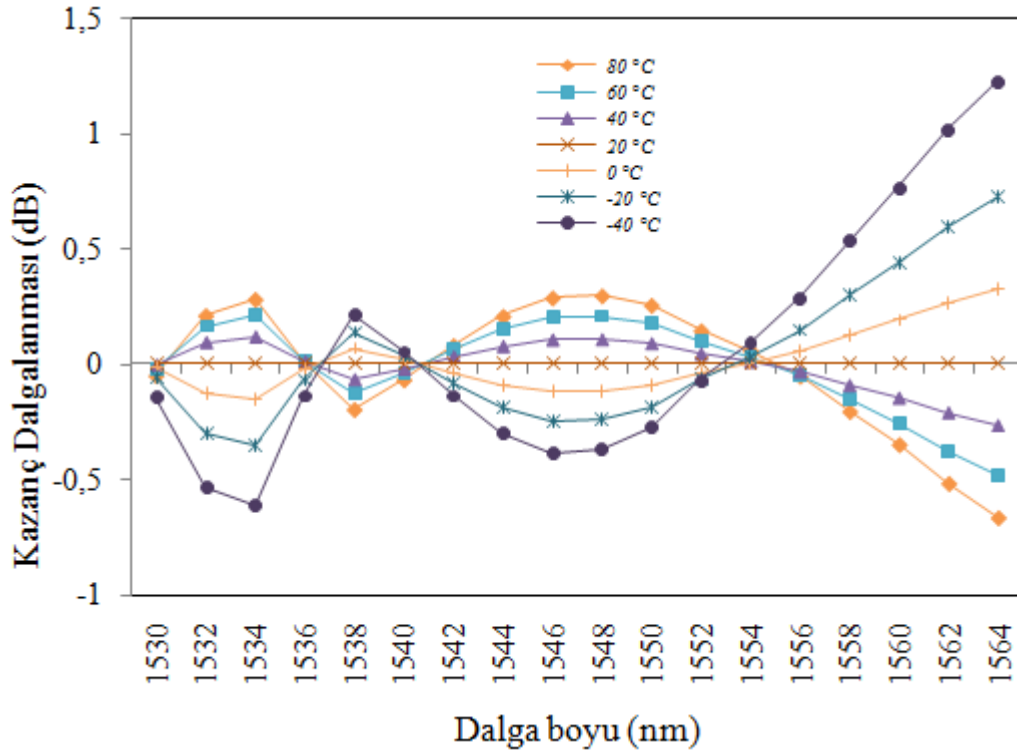
Şekil 4.8. Sıcaklığa bağlı I25 fiberi için C band EKF gürültü eğrisi

4.3. M5 EKF'si için Benzetim Analizi

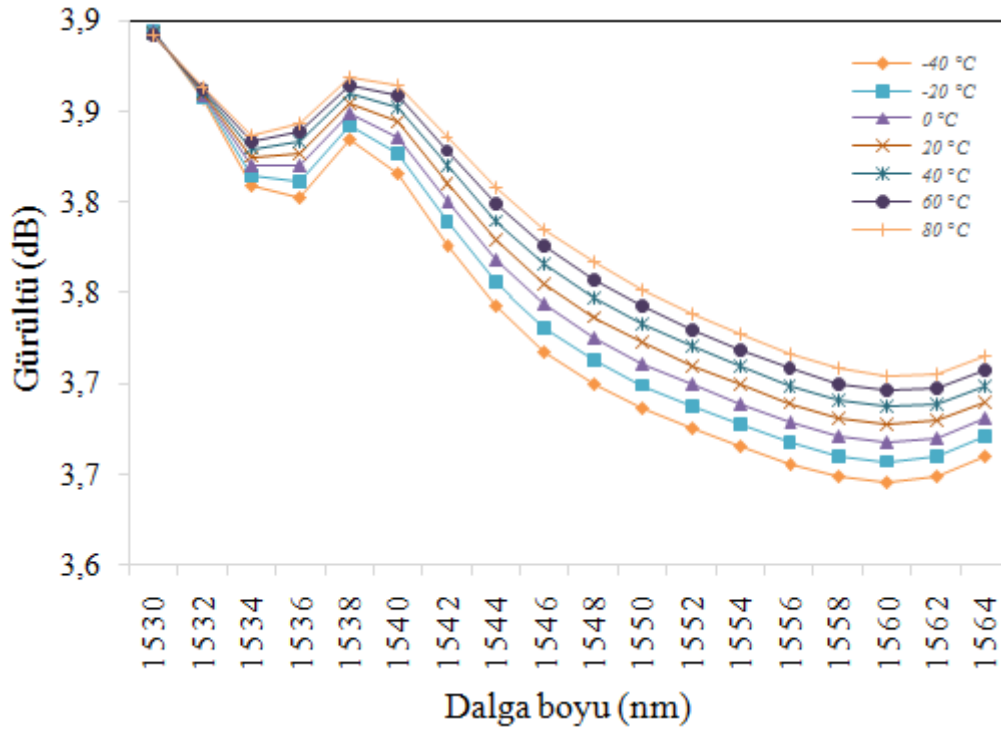
M5 için yapılan sıcaklık analizi sonucu elde edilen kazanç spektrum değerleri Şekil 4.8'de görülmektedir. Tüm sıcaklık değerleri için C band aralığında benzer kazanç spektrumu gözlenmiştir. 1530 nm, 1536 nm, 1541 nm ve 1554 nm dalgaboyları tüm sıcaklık değerlerinde sabit kazanç elde edilen noktalardır. Yani bu sinyallerin olduğu noktalarda kullanılan EKF sıcaklıktan bağımsızdır. 1530 nm ile 1532 nm arasında yaklaşık 2 dB kazanç gözlenirken, 1532 nm ile 1540 nm arasında tüm sıcaklık değerleri için 4 dB'lik kazanç kaybı oluşmaktadır. Sıcaklıktan bağımsız 1541 nm dalgaboyundan itibaren 1554 nm'ye kadar yaklaşık 3 dB'lik kazanç elde edilmiştir. Bir diğer sıcaklıktan bağımsız nokta olan 1554 nm'den itibaren kazanç spektrumunda düşüşler gözlenmektedir. Şekil 4.9'de 20°C için gerçekleştirilen normalizasyon eğrisi görülmektedir. C bandın başında 1534 nm için kazanç dalgalanması 0,8 dB iken, 1564 nm' de ise 2 dB seviyelerinde gözlenmektedir. Kullanılan EKF'nin gürültü tepkisi ise Şekil 4.10'de gösterilmiştir. Sıcaklık değişimlerine karşılık gürültünün benzer değerlerde oluştuğu gözlenmiştir. Oluşan gürültü değerleri C bandı boyunca yaklaşık 0,2 dB olmuştur.



Şekil 4.9. Sıcaklığa bağlı M5 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi



Şekil 4.10. Sıcaklığa bağlı M5 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi

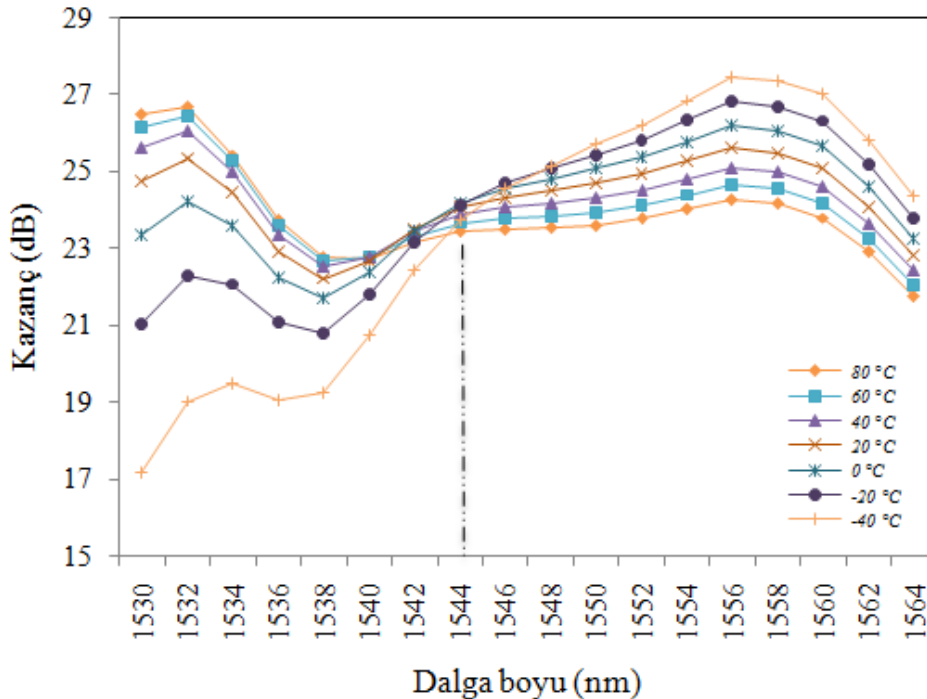


Şekil 4.11. Sıcaklığa bağlı M5 fiberi için C band EKF gürültü eğrisi

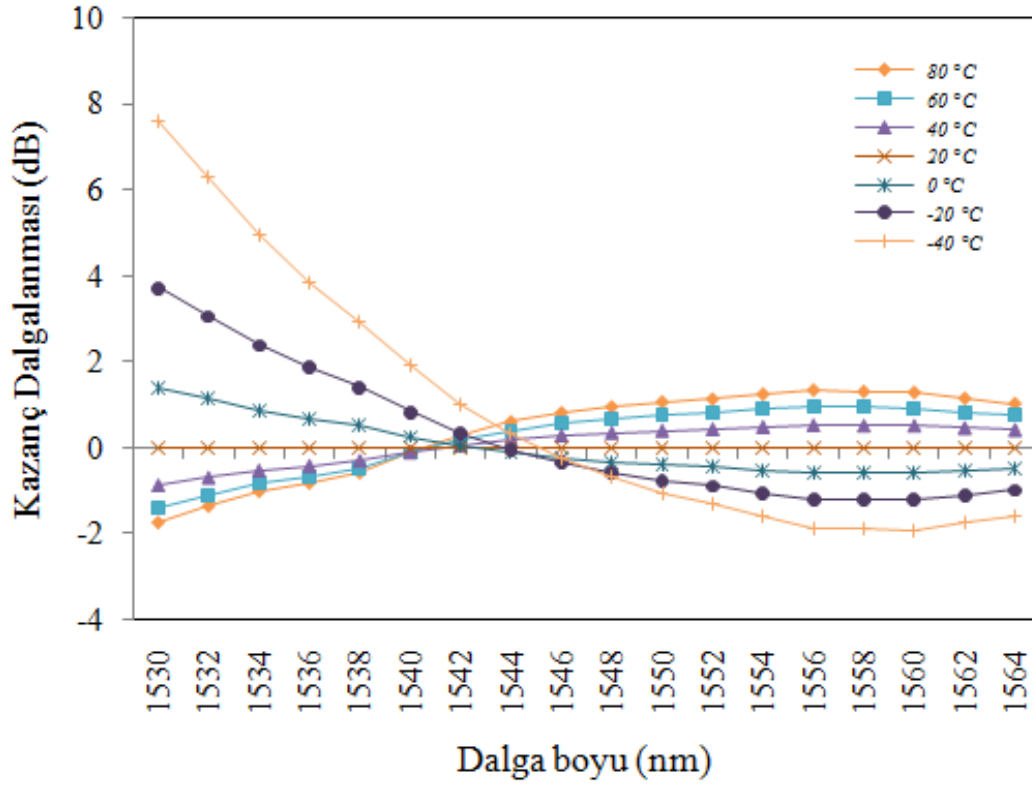
4.4.M12 EKF'si için Benzetim Analizi

Sıcaklık analizi sonucu elde edilen kazanç spektrum değerleri Şekil 4.11'de görülmektedir. Yedi farklı sıcaklık değeri için yapılan analizlerde tüm sıcaklık değerleri için C band aralığında benzer kazanç spektrumu gözlenmiştir. 1544 nm dalgaboyunda tüm sıcaklık değerlerinde sabit kazanç elde edilen noktadır. Yani bu sinyallerin olduğu noktada kullanılan EKF sıcaklıktan bağımsızdır. Ancak -20°C sıcaklık değerinde kazançta bir mikrat sapma gözlenmiştir. 1530 nm ile 1532 nm arasında tüm sıcaklık değerleri için kazanç artırımını oluşturmaktadır. 1532 nm ile 1538 nm arasında sadece -40°C sıcaklık değeri hariç diğer sıcaklıklar için 1 dB'lik kazanç kaybı gözlenmiştir. 1538 nm ile 1556 nm arasında sürekli bir kazanç artışı olmaktadır. 1556 nm ile 1564 nm arası kazanç değerleri tüm sıcaklıklar için kazançta düşüş gözlenmiştir.

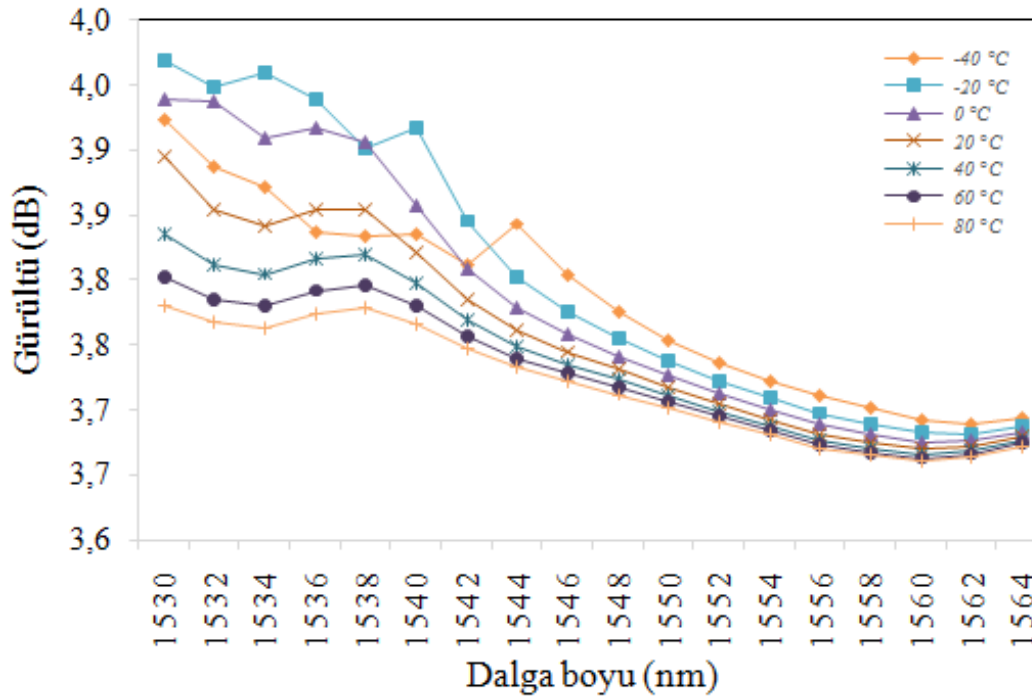
Şekil 4.12'de 20°C için gerçekleştirilen normalizasyon eğrisi görülmektedir. C bandın başında 1534 nm için dalgalanma 10 dB iken, 1564 nm'de ise 4 dB seviyelerinde gözlenmektedir. Fiberin sıcaklıktan bağımsız kullanım bölgesi 1542 nm ve 1544 nm aralığındadır. Kullanılan EKF' nin gürültü tepkisi ise Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Sıcaklık değişimlerine karşılık gürültünün benzer değerlerde oluştuğu gözlenmiştir. Oluşan gürültü değerleri C bandı boyunca yaklaşık 0,2 dB olmuştur.



Şekil 4.12. Sıcaklığa bağlı M12 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi



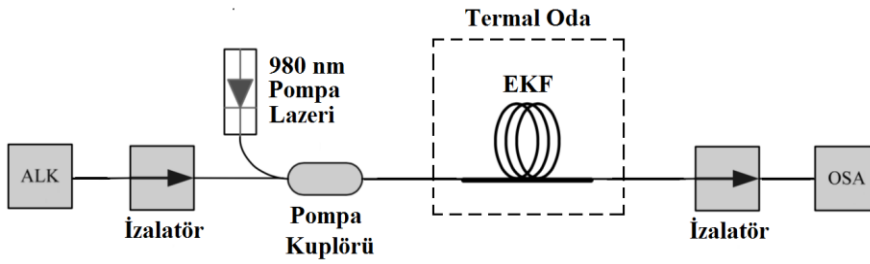
Şekil 4.13. Sıcaklığa bağlı M12 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi



Şekil 4.14. Sıcaklığa bağlı M12 fiberi için C band EKF gürültü eğrisi

5. SICAKLIĞIN KAZANCA ETKİLERİNİN DENEYSEL ANALİZİ

Kurulan düzende minimum dalgalanmayı verecek EKF boyu optimize edilmiştir. İlk olarak I6 fiberi ardından sırasıyla I25, M5 ve M12 EKF' leri kullanılarak deney yapılmıştır. Şekil 5.1'de kurulan deneysel düzeneğin şematik gösterimi, Resim 5.1'de ise pratik olarak kurulmuş deney düzeneği görülmektedir. Bu düzeneklerde ALK ayarlanabilir lazer kaynağının, OSA ise optik spektrum analizörünün kısaltmasıdır. Tüm deneylerde pompa lazeri 100mW gücünde ve 980 nm dalga boyunda seçilerek sadece EKF'lerin üzerinde yoğunlaşmıştır. Diğer pasif malzemelerde tüm deneylerde aynı özellikte ve konumda seçilmiştir. Bu amaçla farklı erbiyum iyon yoğunluğuna sahip EKF'ler (I6, I25, M5 ve M12) incelenmiştir. ALK ile 1530-1564 nm arasında sinyaller 2 nm aralıklarla sisteme uygulanmıştır. Tüm deneyler 0°C, 20°C, 40°C ve -60°C için tekrarlanmıştır [2,6].



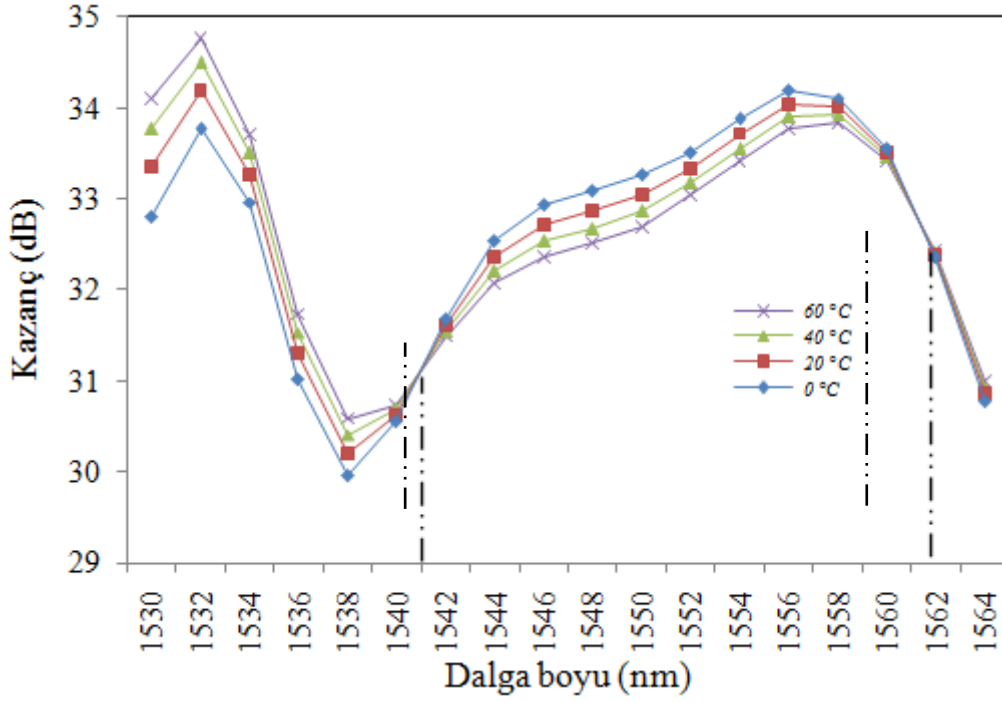
Şekil 5.1. Sıcaklığa bağımlı kazanç spektrumu şematik ölçüm düzeneği



Resim 5.1. Sıcaklığa bağımlı kazanç spektrumu deneysel ölçüm düzeneği

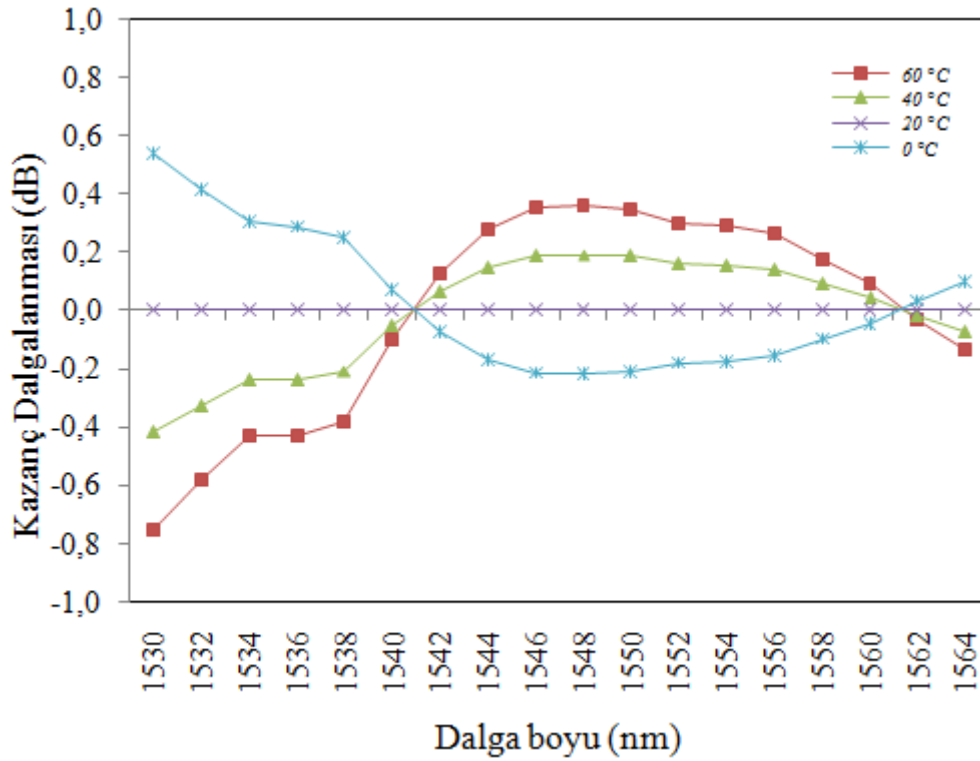
5.1. I6 EKF'si için Deneysel Analiz

C band aralığında kazanç spektrumu Şekil 5.2'de görüldüğü gibi 0°C, 20°C, 40°C ve 60°C sıcaklık değerleri için analiz edilmiştir.



Şekil 5.2. Sıcaklığa bağlı I6 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi

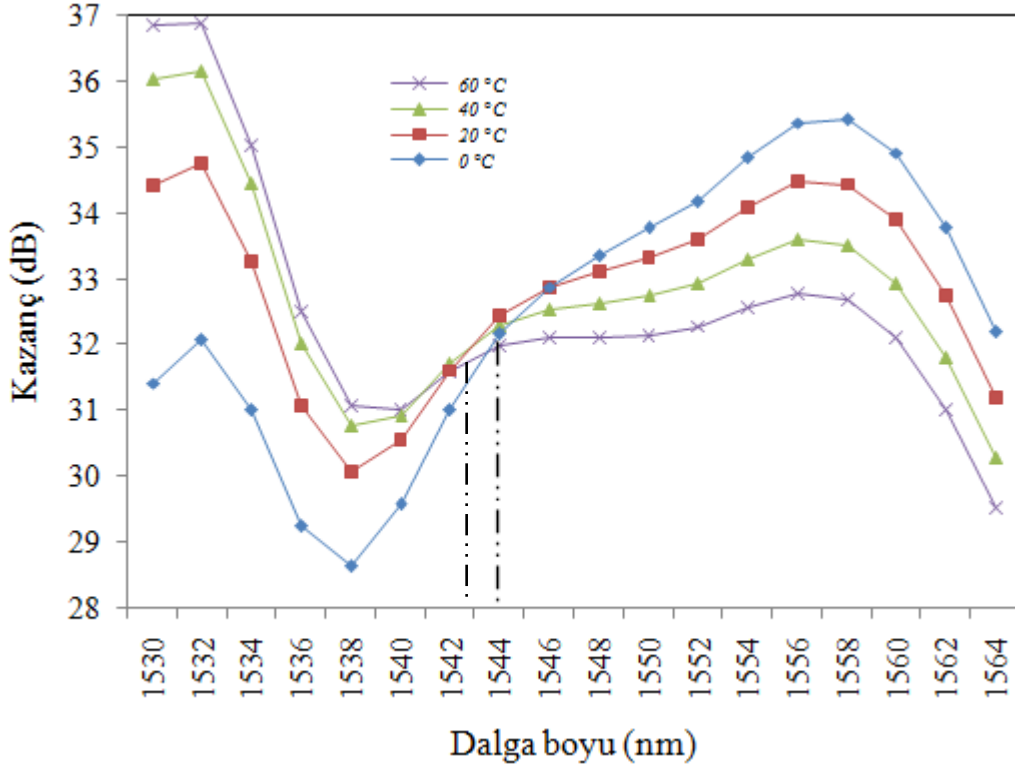
1541 nm ve 1562 nm dalgaboyu değerleri sıcaklıktan bağımsızdır. 1532 nm'den 1538 nm'ye kadar sıcaklıkla kazanç doğru orantılı iken bu dalgaboyundan 1558 nm'ye kadar tam tersi bir durum söz konusudur. 1559 nm'den sonra ise tüm sıcaklık değerlerinde doğru orantılı ama çok yakın bir kazanç değişimi gözlenmiştir. Şekil 5.3'de 20 °C sıcaklığa bağlı olarak elde edilen normalizasyon eğrisi görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi, iki kırılma noktası bulunmaktadır. İlk kırılma noktası olan 1540 nm'ye kadar yüksek sıcaklıklarda yüksek kazanç elde edilirken bu noktadan sonra tam tersi bir durum oluşmuş, en düşük sıcaklıkta en yüksek kazanç elde edilmiştir. İkinci kırılma noktası olan 1562 nm'de ise durum ilk baştaki haline geri dönmüştür. Bu noktalar tüm sıcaklık değerleri için aynı kazanç değerine sahip oldukları için sıcaklıktan bağımsız noktalar olarak adlandırılabilir. Daha detaylı olarak Şekil 5.3'de 20°C'ye göre normalize edilmiş kazanç spektrumları görülmektedir. Dalgalanma değeri spektrumun başında 1.4 dB iken bu değer spektrumun ortalarında 0.8 dB'ye düşmektedir. Kullanıcılar bu değerlere bakarak EKFY'yi istedikleri dalgaboyu aralığında çalıştırabilirler [2,6].



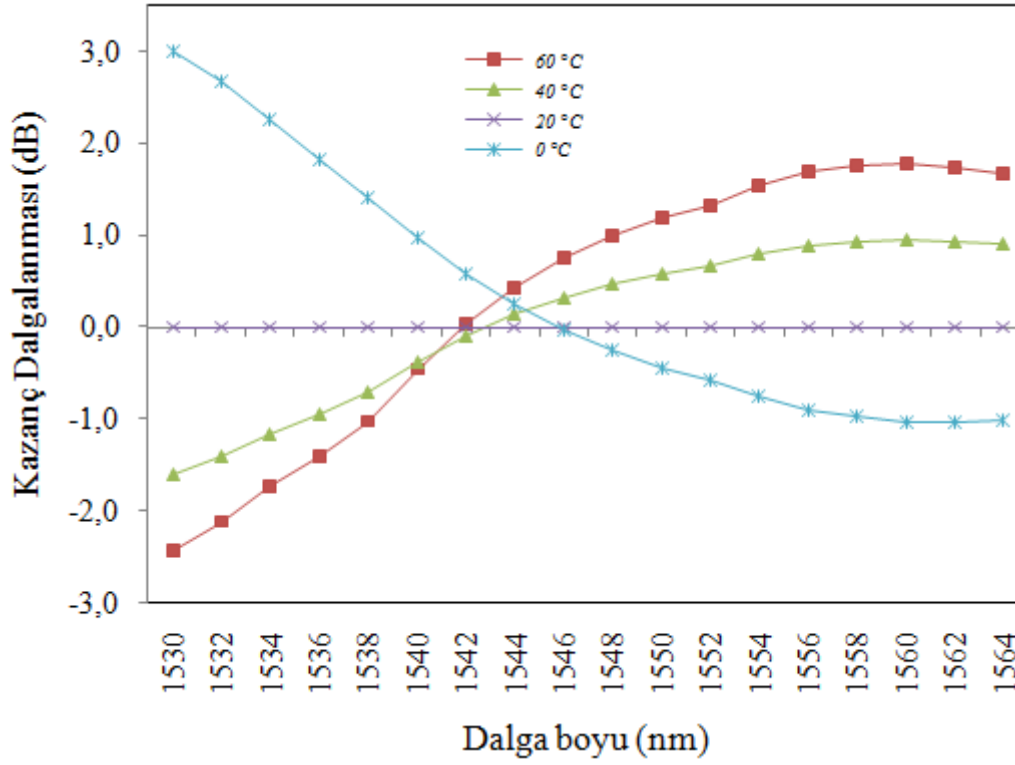
Şekil 5.3. Sıcaklığa bağlı I6 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi

5.2. I25 EKF'si için Deneysel Analiz

I25 için yapılan analiz sonucunda Şekil 5.4'de sıcaklığa bağlı olarak elde edilen kazanç spektrumu 0°C,20°C,40°C ve 60°C' de görülmektedir. 1544 nm dalgaboyunda tüm sıcaklık değerleri için hemen hemen eşit bir kazanç değeri elde edilmiştir. Bu nedenle 1544 nm noktası sıcaklıktan bağımsızdır. 1530 nm den 1532 nm'ye kadar olan bölgede tüm sıcaklıklar için kazançta yaklaşık 0,5 dB kazanç elde edilirken, 1532 nm den 1538 nm dalgaboyuna kadar olan sinyallerde belirgin bir kazanç düşüşü gözlenmiştir. 1538 nm'den sonra tüm sıcaklık değerleri için kazanç spektrumu ters bir görünüm oluşturmaktadır. 0 °C için minimum kazanç 29 dB iken, maksimum kazanç 35 dB, 20 °C için minimum kazanç 30 dB iken, maksimum kazanç 34 dB, 40 °C için minimum kazanç 31 dB iken, maksimum kazanç 36 dB, 60 °C için minimum kazanç 30 dB iken, maksimum kazanç 37 dB düzeyindedir.Şekil 5.5'de 20°C'ye göre normalize edilmiş kazanç spektrumları görülmektedir. Dalgalanma değeri spektrumun başında 5,5 dB iken bu değer spektrumun ortalarından sonra 1-3 dB'ye düşmektedir. Kullanıcılar bu değerlere bakarak EKFY'i istedikleri aralıkta çalıştırabilirler.



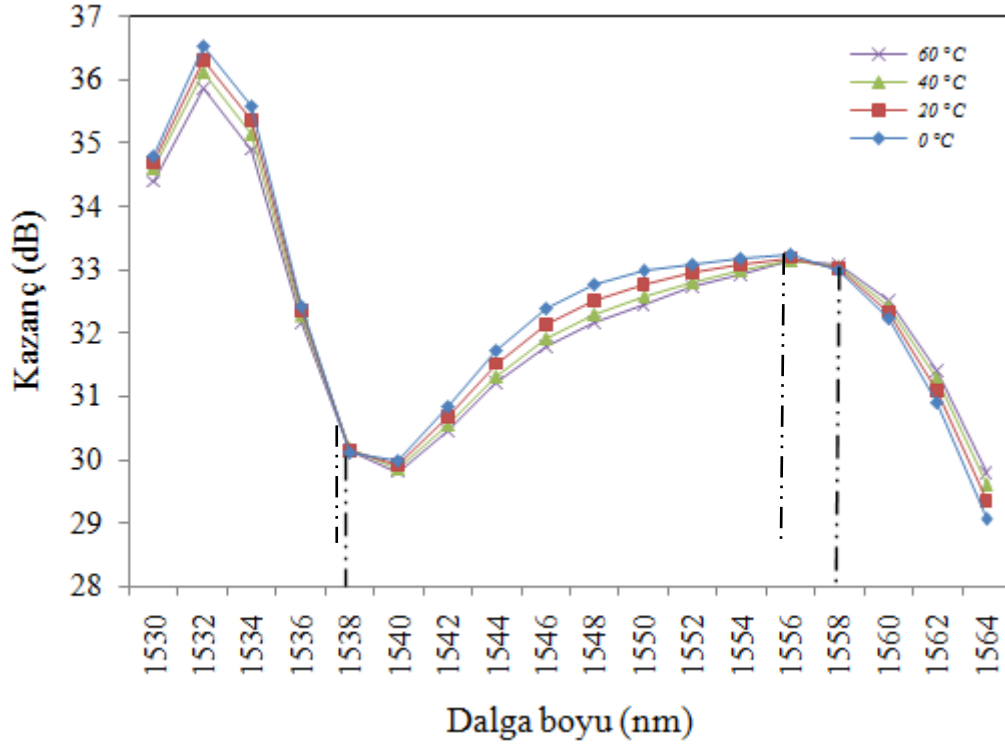
Şekil 5.4. Sıcaklığa bağlı I25 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi



Şekil 5.5. Sıcaklığa bağlı I25 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi

5.3. M5 EKF'si için Deneysel Analiz

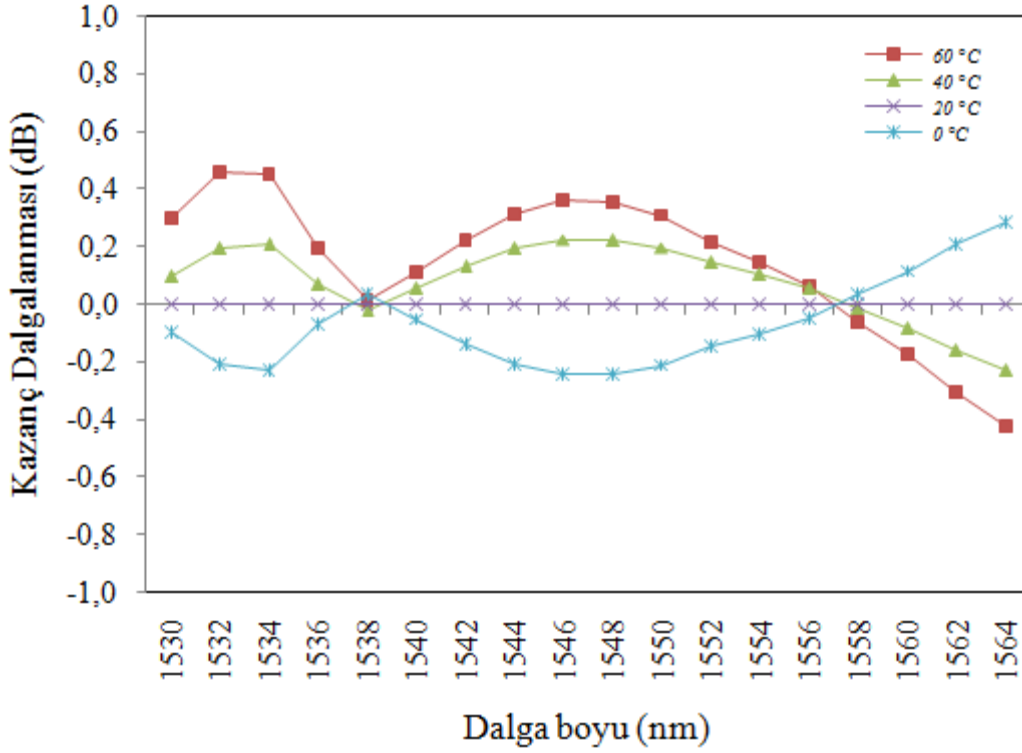
M5 için yapılan analiz sonucu 1538 nm ile 1558 nm dalgaboylarında tüm sıcaklık değerleri için eşit bir kazanç değeri elde edilmiştir. Şekil 5.6'da sıcaklığa bağlı olarak elde edilen kazanç spektrumu görülmektedir.



Şekil 5.6. Sıcaklığa bağlı M5 fiberi için C band EKF kazanç eğrisi

1538 nm ve 1558 nm dalgaboylarında edilen kazançların tüm sıcaklık değerleri için eşit olmalarından dolayı bu noktalar sıcaklıktan bağımsızdır. 1530 nm den 1532 nm' ye kadar olan bölgede tüm sıcaklıklar için kazançta yaklaşık 2,5 dB kazanç elde edilirken, 1532 nm den 1540 nm dalgaboyuna kadar olan sinyallerde belirgin bir kazanç düşüşü gözlenmiştir. 1543 nm den sonra tüm sıcaklık değerleri için kazanç spektrumu ters bir görünüm oluşturmaktadır. 1540 nm noktası sıcaklık etkisinin pozitif yönde kazanç artışının olduğu dalgaboyudur. Ancak 1538 nm ile 1564 nm arasında düşük sıcaklıklarda kazanç artarken yüksek sıcaklıklarda azalmıştır. Ancak 0°C, -20°C, -40°C ve -60 °C sıcaklık değerleri için yapılan tüm analizlerde birbirlerine çok yakın bir kazanç spektrumu elde edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda M5 fiberi kullanılarak yapılacak bir EKFY için tüm sıcaklıkların eşit olarak tepki verdiği sonucu ortaya çıkarmaktadır. Maksimum kazanç değeri 1532 nm'de 36,5 dB olarak, minimum kazanç değeri ise 1564 nm'de 29 dB seviyesinde

gerçekleşmiştir. Şekil 5.7'de M5 için 20 °C 'ye göre normalize edilmiş kazanç spektrumları görülmektedir. Dalgalanma değeri spektrumun başında 0,5 dB iken bu değer 1538 nm ve 1558 nm dalgaboylarında tamamen sıfırlanmaktadır. Spektrumun sonlarına doğru tekrar artarak 0,6 dB seviyelerine yükselmektedir. Kullanıcılar bu değerlere bakarak EKFY'yi istedikleri aralıkta çalıştırabilirler.

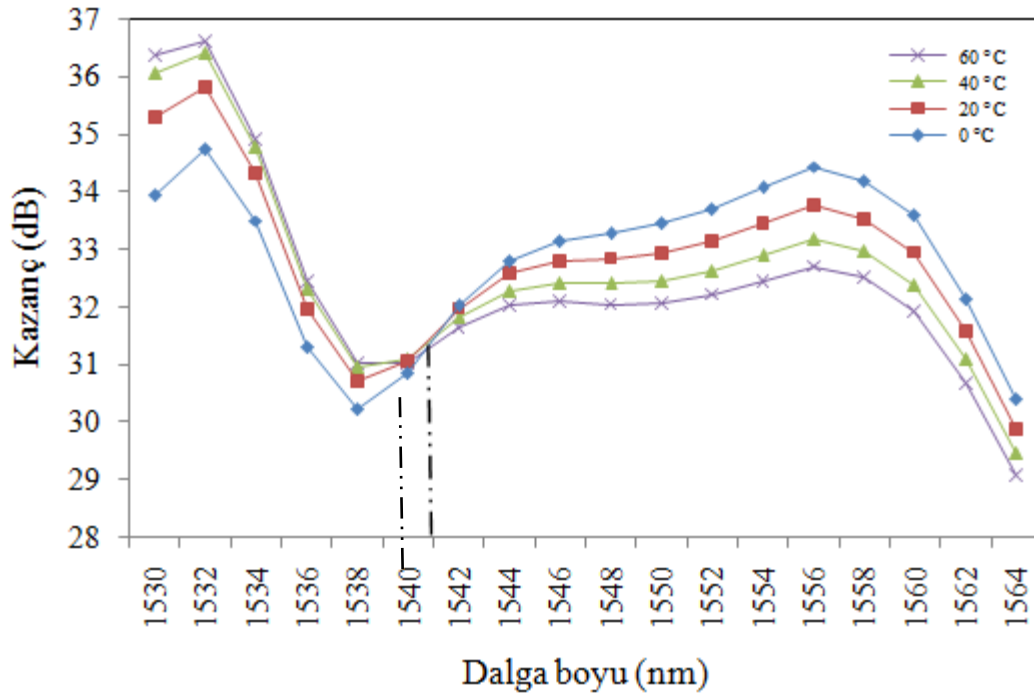


Şekil 5.7. Sıcaklığa bağlı M5 fiberi için C band EKFN normalizasyon eğrisi

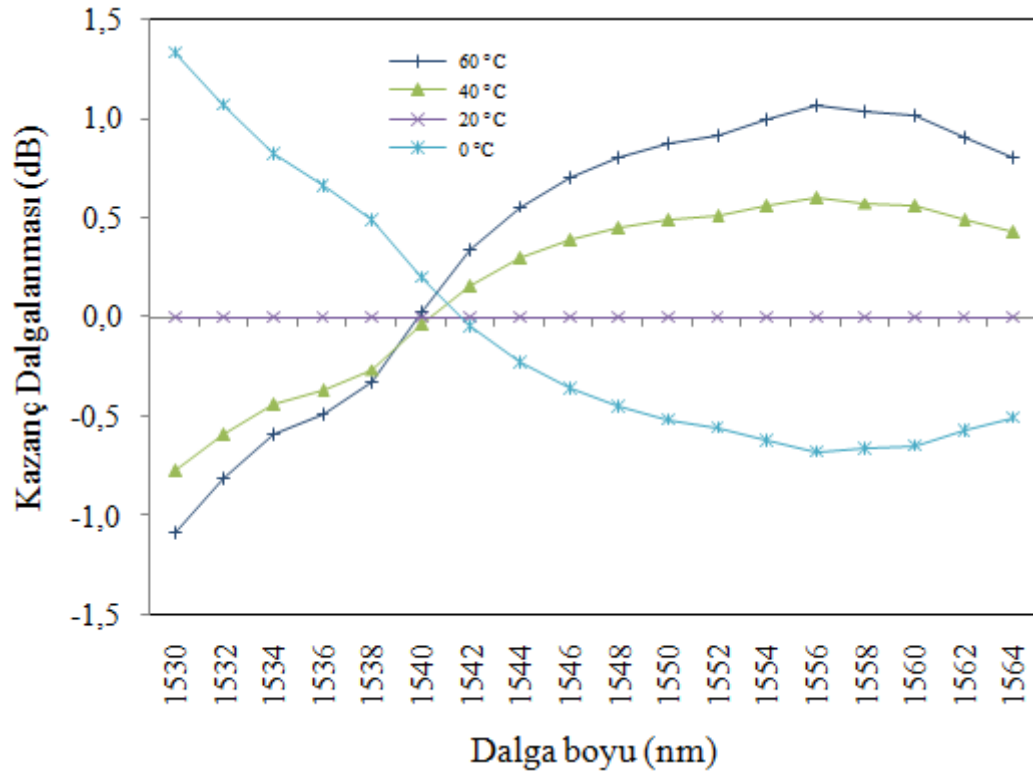
5.4. M12 EKFN'si için Deneysel Analiz

M12 için yapılan analiz sonucu Şekil 5.8'de sıcaklığa bağlı olarak elde edilen kazanç spektrumu görülmektedir. 1530 - 1532 nm aralığında kazanç artışı gözlenirken, 1532 nm ile 1538 nm arasında yaklaşık 5 dB'lik bir kazanç kaybı oluşmuştur. 1541 nm dalgaboyunda tüm sıcaklık değerleri için eşit olarak 31,5 dB kazanç elde edilmiştir. Bu noktada elde edilen kazancın tüm sıcaklık değerleri için eşit olmalarından dolayı bu nokta sıcaklıktan bağımsızdır. 1540 nm'den 1556 nm'ye kadar olan bölgede tüm sıcaklıklar için kazançta belli bir artış gözlenmiştir. 1556 nm'den 1564 nm dalgaboyuna kadar olan sinyallerde belirgin bir kazanç düşüşü gözlenmiştir. 1542 nm den sonra tüm sıcaklık değerleri için kazanç spektrumu ters bir görünüm oluşturmaktadır. Maksimum kazanç değeri 0°C için 35 dB iken, minimum kazanç değeri 30 dB seviyesinde gözlenmiştir. 20°C

için maksimum kazanç 36 dB iken, minimum kazanç değeri 30 dB seviyesinde gözlenmiştir. 40 °C için maksimum kazanç 35 dB iken, minimum kazanç değeri 30 dB seviyesinde gözlenmiştir. 60°C için maksimum kazanç 36,5 dB iken, minimum kazanç değeri 29 dB seviyesinde gözlenmiştir. Tüm sıcaklık değerleri için ortalama sıcaklık değişimi 5 dB seviyesinde gerçekleşmiştir. Şekil 5.9’de M12 için 20°C’ye göre normalize edilmiş kazanç spektrumları görülmektedir. Dalgalanma değeri spektrumun başında 2,4 dB iken bu değer 1542 nm dalgaboyunda tamamen sıfırlanmaktadır. 1542 nm’den 1564 nm’ye kadar olan bölgede dalgalanma değeri yaklaşık 1,8 dB seviyelerinde oluşmuştur. Kullanıcılar bu değerlere bakarak EKFY’i istedikleri aralıkta çalıştırabilirler.



Şekil 5.8. Sıcaklığa bağlı M12 fiberi için C band EKf kazanç eğrisi



Şekil 5.9. Sıcaklığa bağlı M12 fiberi için C band EKF normalizasyon eğrisi

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında I6, I25, M5 ve M12 türlerindeki farklı parametrelere sahip C band EKFY'lerin kazanç, gürültü ve sıcaklığın kazanç ve gürültüye etkileri benzetim ortamında, kazanç ve sıcaklığın kazanç etkileri ise deneysel olarak incelenmiştir. Benzetim ve deney düzeneğinde kullanılan giriş sinyalleri -30 dBm kayıp değeri ve 100 mW pompa gücü seviyesinde sisteme uygulanmıştır. Çizelge 6.1'de benzer kazanç değerlerinde her bir EKF için yapılan boy iterasyonları görülmektedir. Ayrıca gelişen iletişim teknolojileri ve artan ihtiyaçlar nedeniyle C band dışında da farklı iletişim pencerelerinde sistemler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları S bandı (1460 nm – 1530 nm) ve L bandı (1565 nm - 1625 nm) aralıklarıdır. Tez çalışmamızda sıkça kullanılması ve kullanım kolaylıkları nedeniyle C bandında tasarımlar yapılmıştır. Kullanılan band aralığında her fiber için farklı dalga boylarında elde edilen kazanç değeri değişmektedir.

EKF'ye uygulanan dış ortam sıcaklığı yükseldikçe elde edilen kazanç değerleri de artmaktadır. Benzetimde C band boyunca I6 EKF'si için -40°C ile 80°C arasında uygulanan tüm sıcaklık değerleri için ortalama kazanç 7 dB, I25 EKF'si için 11 dB, M5 EKF'si için 6 dB, M12 EKF'si için ise 6 dB seviyesinde oluşmuştur. Benzetim sonucu oluşturulan EKFY düzeneğinde uygulanan -40°C sıcaklık değerinde C bandı boyunca I25 EKF'sinden diğer EKF'lere göre düşük kazanç elde edilmiştir. Ayrıca uygulanan -20°C, 0°C, 20°C, 40°C, 60°C ve 80°C değerlerinde tüm EKF'ler benzer özellik sergilemiştir.

Çizelge 6.1. EKF' ler için benzetim sıcaklığına bağlı 1550 nm kazanç (dB)

	Sıcaklık Değerleri (°C)						
	-40	-20	0	20	40	60	80
I6	20,672	21,782	22,865	23,932	24,990	26,035	27,088
I25	16,682	20,243	22,504	24,042	25,198	26,157	27,014
M5	20,434	21,518	22,590	23,654	24,714	25,771	26,826
M12	20,062	21,698	22,960	24,030	25,003	25,926	26,825

Benzetim düzeneğinde C bandında tasarlanan EKFY ile 1530 nm – 1564 nm aralığında 34 nm'lik bir band genişliğinde ortalama 24 dB'lik bir kazanç elde edilmiştir. Dört farklı EKF için C band sinyallerin dalga boyuna bağlı olarak gösterdikleri kazanç farklılıkları detaylı olarak incelenmiştir.

Çizelge 6.2. EKF' ler için deneysel sıcaklığa bağlı 1550 nm kazanç (dB)

	Sıcaklık Değerleri (°C)			
	0	20	40	60
I6	30,892	31,969	33,033	34,090
I25	30,839	32,204	33,192	34,012
M5	30,771	31,753	32,733	33,725
M12	31,141	32,129	33,022	33,881

Deneysel olarak, dört farklı türdeki her bir C band EKF ayrı ayrı olarak, 0°C ile 60°C arasında sıcaklık ayarı yapılabilen bir ısıtıcı-soğutucuya yerleştirilmiştir. Giriş sinyal gücü -30 dB ve 100 mW değerlerinde sabit tutularak, C band aralığında değiştirilmiş ve sıcaklığa bağımlı kazanç değişimleri analiz edilmiştir. Uygulamalarda önemli problemlerden birisi sıcaklığa bağımlı kazanç değişimi olup bu çalışmada sinyal dalgaboyu seçimi ile bu problem minimize edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda tüm fiber türleri için 0°C ile 60°C arasında sıcaklık arttıkça kazancın da arttığı gözlenmiştir (Çizelge 6.2). 0°C için en yüksek kazanç değeri elde edilen EKF M12 iken, 20°C'de I25, 40°C'de I12 ve 60°C'de I6 olduğu belirlenmiştir.

Tasarlanan sistemin band genişliği ve kazancı daha farklı malzemelerle katkılandırılmış EKF'ler ve farklı nadir toprak elementi ile katkılandırılmış optik yükselteçler (praseodmiyum, tulyum v.b.) kullanılarak artırılabilir.

Benzetim düzeneğinde her bir EKF için yapılan sıcaklığa bağlı kazanç analizi Çizelge 6.1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sıcaklık arttıkça kazancın da tüm EKF'ler için arttığı gözlenmiştir. Tüm sıcaklık değerlerinde EKF'ler için benzer kazanç değerleri elde edilirken, yalnızca -40°C'de I25 tipindeki EKF ile düşük kazanç elde edilmiştir. Deneysel olarak yapılan analiz sonucu elde edilen kazançların ortalama değeri ise Çizelge 6.2'de görülmektedir.

Farklı sıcaklıklarda analiz edilen her bir EKF'in sıcaklıktan bağımsız kazanç elde edilen dalga boyları ve kazanç değerleri Çizelge 6.5'de verilmiştir. Benzetim düzeneğinde I6, I25 ve M12 için sıcaklıktan bağımsız tek ortak dalga boyu değeri varken M5 için dört farklı dalga boyu değeri tespit edilmiştir. Deneysel düzende sıcaklıktan bağımsız I25 ve M12 EKF'leri için tek ortak dalga boyu varken, I6 ve M5 iki ortak dalga boyu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.3. EKF'lerin sıcaklıktan bağımsız dalga boyu ve kazanç değerleri

	Benzetim		Deney	
	Dalgaboyu (nm)	Kazanç (dB)	Dalgaboyu (nm)	Kazanç (dB)
I6	1541	23,473	1554 1562	31,685 32,354
I25	1550	24,516	1544	32,182
M5	1530 1536 1540 1554	24,308 24,456 21,455 24,797	1538 1558	30,110 32,979
M12	1544	23,710	1542	32,012

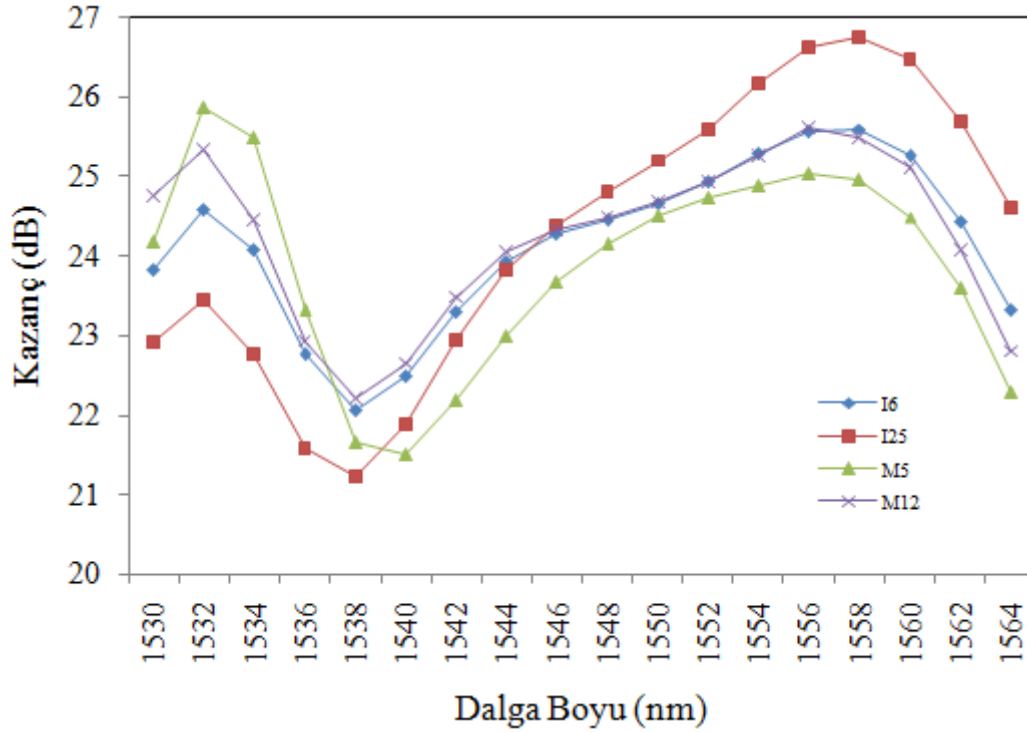
Yapılan benzetim ve deneysel analizler sonucu kullanılan tüm EKF'ler için elde edilen kazanç değerlerindeki kırılım noktaları Çizelge 6.3'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tüm sıcaklıklar için C Band başlarında 1532 nm'de kazançlarda belirgin olarak kazançta düşüş gözlenmiştir. Benzetim ve deney düzeneklerinde de benzer kırılma noktaları elde edilmiştir. 1538 nm dalga boyunda I6, I25 ve M12 EKF'leri için pozitif yönde bir kazanç kırılması olurken, 1540 nm dalga boyunda M5 EKF'si pozitif kazanç değerlerine yönlendirilmiştir.

Çizelge 6.4. Tüm sıcaklıklar için ortak EKF kazanç kırılma noktaları

	Benzetim	Deney
I6	1532 nm (-) 1538 nm (+) 1560 nm (-)	1532 nm (-) 1538 nm (+) 1558 nm (-)
I25	1538 nm (+)	1538 nm (+) 1558 nm (-)
M5	1532 nm (-) 1540 nm (+) 1558 nm (-)	1532 nm (-) 1540 nm (+) 1558 nm (-)
M12	1532 nm (-) 1538 nm (+) 1556 nm (-)	1532 nm (-) 1538 nm (+) 1556 nm (-)

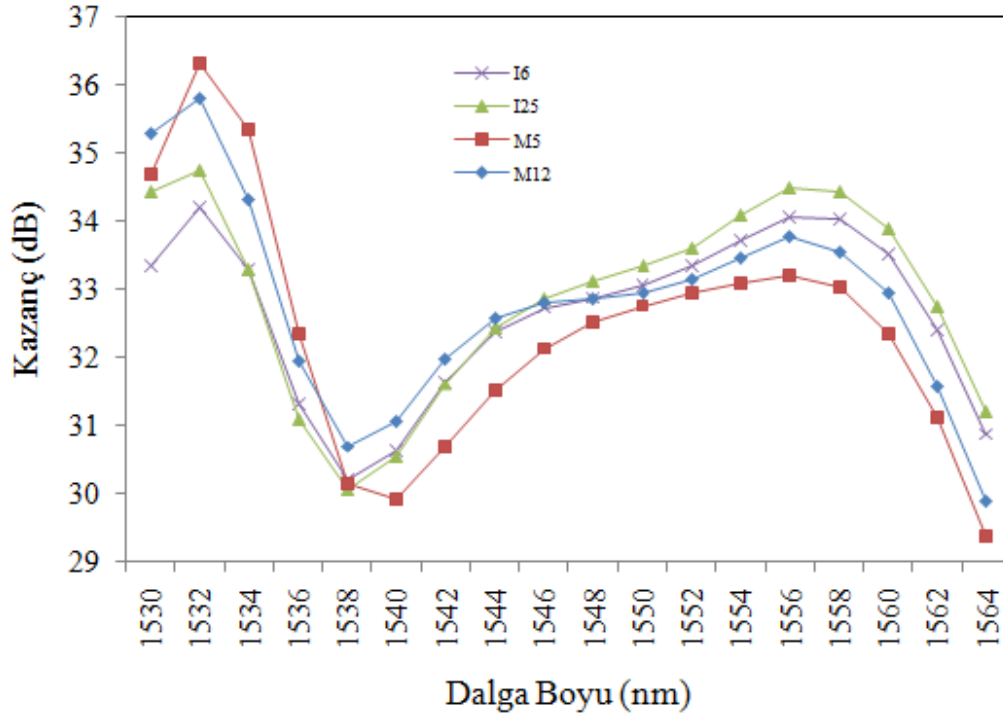
Sonuç olarak bu tez çalışmasında, uzun mesafelerdeki veri iletiminin en az sinyal kaybıyla gerçekleşmesini sağlamak için EKFY tasarımı yapılmıştır. Tasarım aşamasında kullanılan farklı erbiyum iyon yoğunluğu katkılı EKF'ler ile pasif ve aktif optik malzemeler özenle

seçilerek fiyat performans analizi açısından en ideal yapının oluşturulması için gerekli çalışmalar yapılmıştır. Deneysel olarak yapılan analizlerde, sıcaklık için daha hassas ortamların oluşturulması ve yeni teknoloji araç gereçler kullanılarak hassas kalibrasyon ayarlarında yapılacak çalışmalar neticesinde gerçeğe en yakın sonuçların elde edilebilmesi sağlanabilir. Gün geçtikçe gelişen fiber teknolojisi sayesinde maliyetler avantajlı bir hal alarak uygun EKFY'lerin tasarımı için faydalı olacaktır.



Şekil 6.1. Benzetim düzeneği için 20°C'de C band EKF kazanç eğrisi

Benzetim düzeneğinde gerçekleştirilen analiz sonucuna göre tüm fiber türlerinde 20°C için elde edilen sonuçlar Şekil 6.1'de verilmiştir. I6, M5 ve M12 fiberlerinin C band spektrumu boyunca elde edilen kazanç değerleri birbirlerine oldukça yakındır. Sadece I25 EKF'sinden yaklaşık 1546 nm civarı dalgaboyunda yüksek çıkış kazanç değeri elde edilmiştir. Ancak C band boyunca I6 ve M12 EKF'leri daha kararlı davranmışlardır. 1556 nm - 1560 nm arasında tüm EKF türleri için ideal bir kazanç değeri elde edilmiştir.



Şekil 6.2. Deneysel düzenek için 20°C’de C band EKF kazanç eğrisi

Deneysel analiz sonucu 20°C’de elde edilen kazanç değerleri Şekil 6.2’de görülmektedir. 1532 nm’de tüm fiber türleri için maksimum kazanç değeri elde edilirken, 1538 – 1540 nm arasında tüm kazanç değerleri minimum seviyede tespit edilmiştir. 1540 nm ve 1560 nm arasında ise tüm EKF’ler için kazanç artışı gözlenmiştir. 1560 nm den sonra C band sonuna kadar kazanç değerleri azalmıştır.

KAYNAKLAR

1. Yücel, M., Goktas, H.H. (2008). Determination of Minimum Temperature Coefficient of C Band EKFY, *Journal of Applied Sciences*, 8(23), 4464-4467.
2. Yücel, M., Göktaş, H.H. (2007). Kazancı Düzleştirilmiş S Band Fiber Raman Yükselteç Tasarımı, *Karabük Üniversitesi Teknoloji Dergisi*, 10(4), 301-305.
3. Yücel, M., Göktaş, H.H. (2007). Kazancı Düzleştirilmiş Çok Geniş Bantlı Hibrid Optik Yükselteç Tasarımı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4), 863-868.
4. Yücel, M. (2008). Kazancı Düzleştirilmiş Geniş Bantlı Fiber Yükselteçlerin Tasarımı, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara.
5. Göktaş, H.H., Yücel, M.(2006). İki Aşamalı C Band Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçlerde (EKFY) Kazanç Düzleştirici Filtre Optimizasyonu, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(1), 10-13.
6. Özoğlu, Y.A., Yücel, M.(2014). Farklı Türdeki Erbiyum Katkılı Fiberlerin Karşılaştırılması, 7. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, İstanbul.
7. Yücel, M. (2003). Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteç Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-35.
8. Yücel, M. ve Tuza, F. (2012). Enjeksiyon Akımının Yarı İletken Optik Yükselteç Kazancına Etkisinin İncelenmesi. URSİ, İstanbul.
9. Yücel, M., Göktaş, H.H. and Çelebi, F. V. (2011). The Effect of Pump Laser Wavelength Change on The Temperature Dependence of EKFY. Signal Processing and Communications Applications, IEEE 19th, Antalya.
10. Yücel, M. and Aslan, Z. (2013). The Noise Figure and Gain Improvement of doublepass C-Band EKFY. *Microwave and Optical Technology Letters*, 55(11), 2525-2528.
11. Yücel, M. (2003). Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteç Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-35.
12. Yücel, M., Aslan, Z. ve Göktaş, H.H. (2013). Çeşitli Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteç Konfigurasyonları için Kazanç ve Gürültü Faktörünün İncelenmesi. 5. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu, İzmir.
13. Yücel, M., Göktaş, H.H. (2006). Fiber Raman Yükselteçlerde Pompalama Yönünün Kazanç Spektrumuna Etkisi Üzerine Bir Simülasyon, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Politeknik Dergisi*, 9(3), 161-164.
14. Yücel, M., Göktaş, H.H, and Akkaya, G. Optimization of the Three Stages L Band EKFY. Signal Processing and Communications Applications, SUI 2012, IEEE 15th, Fethiye.

15. Yucel, M; Goktas, H.H.(2008). C Band Erbium Doped Fiber Amplifier as a Flat Gain Optical Amplifier, IEEE 16th Signal Processing and Communications Applications, Didim, 1-4.
16. Aslan, Z. ve Yücel M. (2012). Tek ve Çift Geçişli Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçlerin C Bandında Deneysel Olarak Karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, 15(3), 135-138.
17. Yücel, M. and Göktaş, H.H. (2008). C Band Erbium Doped Fiber Amplifier as a Flat Gain Optical Amplifier. Signal Processing and Communications Applications, 20-22 April, IEEE 16th, Didim.
18. Yücel, M and Göktaş, H.H. (2012). Examination of Temperature Dependence of of Double Pass L Band Erbium Doped Fiber Amplifier. *J. Fac. Eng. Archit. Gazi University*, 27(2), 237-243.
19. Yücel, M., Çelebi, F.V. and Göktaş, H.H. (2011). Temperature Independent Length Optimization of L Band EKFYs Providing flat Gain. *Optik - Int. J. Light Electron Opt.* 122(10), 872-876.
20. Hecht, J.(2002).,The Evolution of Optical Amplifiers, *Optics & Photon. News*, 13(8), 36-39.
21. Connelly, M. J.(2002). *Semiconductor Optical Amplifiers*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 4-9.
22. Koestner, C.J., Snitzer, E.A.(1964). Amplification in a fibre laser, *Applied Optics*, 3(10), 1182-1187.
23. Mears, R.J., Reekie, L., Jauncey, I.M., Payne, D.N.(1987). Low-Noise Erbium-Doped Fibre Amplifier Operating at 1.54 μm , *Electronics Lett.*, 23(19), 1026-1028.
24. Mears, R. J., Reekie, L., Jauncie, I. M., Payne, D. N.(1987). High-Gain Rare-Earth Doped Fiber Amplifier at 1,54 μm , *Optical Fiber Communication Conference*, Washington D.C., 167.
25. Desurvire, E., Simpson, J. R., Becker, P. C.(1987). High-Gain Erbium-Doped Traveling-Wave Fiber Amplifier, *Optics Lett.*, 12(11), 888-889.
26. Nakazawa, M., Kimura, Y., Suzuki, K.(1989). Soliton Amplification and Transmission with Er³⁺-Doped Fibre Repeater Pumped by GaInAsP Laser Diode, *Electron. Lett.*, 25(3), 199-200.
27. Massicott, J., Armitage, J., Wyatt, R., Ainslie, B. J., Craig-Ryan, S.(1990). High Gain, Broadband, 1,6 μm Er³⁺ Doped Silica Fibre Amplifier, *Electron. Lett.*, 26(20), 1645-1646.
28. Massicott, J., Wyatt, R., Ainslie, B. J. (1992).,Low Noise Operation of Er³⁺ Doped Silica Fibre Amplifier Around 1,6 μm , *Electron. Lett.*, 28 (20), 1924-1925.

29. Yamada, M., Ono, H., Kanamori, T., Sudo, S., Ohishi, T.(1997). Broadband and Gain-Flattened Amplifier Composed of a 1,55 μ m-Band and a 1,58 μ m-Band Er⁺³Doped Fibre Amplifier in a Parallel Configuration, *Electron. Lett.*, 33(8), 710–711.
30. Jinno, M., Sakamoto, T., Kani, J., Aisawa, S., Oda, K., Fukui, M., Ono H., Oguchi, K.(1997). First Demonstration of 1580 nm Wavelength Band WDM Transmission for Doubling Usable Bandwidth and Suppressing FWM in DSF, *Electron. Lett.*, 33(10), 882-883.
31. Sakamoto, T., Kani J., Jinno M., Aisawa S., Fukui M., Yamada M., Oguchi, K.(1998). Wide Wavelength Band (1535-1560 nm and 1574-1600 nm), 28x10 Gbit/s WDM Transmission over 320km Dispersion-Shifted Fibre, *Electron. Lett.*,34(4), 392-393.
32. Ono, H., Yamada, M., Shimizu, M., Ohishi, Y.(1998). Comparison of Amplification Characteristics of 1,58 μ m and 1,55 μ m Band EKFBs, *Electron. Lett.*, 34(15), 1509–1510.
33. Nilson, J., Yun, S.Y., Hwang, S.T., Kim, J.M. , Kim, S.J.(1998). Long-Wavelength Erbium-Doped Fiber Amplifiers Gain Enhanced by ASE End-Reflectors, *IEEE Photon.Technol. Lett.*, 10(11):1551–1553.
34. Lee, J., Ryu, U.C., Ahn, S. J., Park, N.(1999). Enhancement of Power Conversion Efficiency for an L-Band EKFB with a Secondary Pumping Effect in the Unpumped EDF Section, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 11(1), 42-44.
35. Bouzid, B., Abdullah, M.K., Mahdi, M.A.(2008). High-Gain Erbium-Doped Fiber Amplifier Incorporating a Double-Pass Amplification Technique as a Pre-amplifier, *Laser Physics*, 18(4), 460-463.
36. Liang, T.C., Hsu, S.(2008). The L-band EKFB of High Clamped Gain and Low Noise Figure Implemented Using Fiber Bragg Grating and Double-Pass Method, *Optics Comm.*,281(5), 1134-1139.
37. Rosolem, J.B., Juriollo, A.A., Romero, M.A.(2007). S-Band EKFB Using Standard Erbium-Doped Fibre, *Electronics Lett.*, 43(22), 1186-1188.
38. Jamaludin, M.Z., Abdullah, M.K., Abdullah, F., Abas, A.F., MAhdi, M.A., Rahman, F.(2008). A Hybrid High-Gain Double-Pass Erbium-Doped Fiber Amplifier with Dispersion Compensation Feedback Loop, *Optics and Laser Technology.*, 40(2), 270-272.
39. Hossain, N., Naji, A.W., Mishra, V., Abbou, F.M., Hairul, A.A.R., Faidz, A.R. (2007). Theoretical Analysis, Optimization, and Experimental Evaluation of Dual Function DP R-EKFB, *Journal of Russian Laser Research*, 28(3), 293-303.
40. Hossain, N., Naji, A.W., Mishra, V., Abbou, F.M., Al-Mansoori, M.H., Mahdi, M.A., Faidz, A.R. (2007). Modeling, Optimization, and Experimental Evaluation of Remotely Pumped Double-Pass EDFA, *Microwave and Optical Technol. Lett.*,49(9), 2257-2261.

41. Foroni, M., Poli, F., Cucinotta, A., Selleri, S.(2007). All-Silica Double-Pass S-C-L Band EDFA, *Electronics Lett.*, 43(6), 21-22.
42. Harun, S.W., Ahmad, H.(2007). Gain and Noise Figure Improvements in Double-Pass S-Band EDFA, *Optics and Laser Technology*, 39(5), 935-938.
43. Hung, C.M., Chen, N.K., Lai, Y.C., Sien, C.(2007). Double-Pass High-Gain Low-Noise EDFA over S and C+L-Bands by Tunable Fundamental-Mode Leakage Loss, *Optics Express*, 15(4), 1454-1460.
44. Harun, S.W., Dimyati, K., Jayapalan, K.K., Ahmad, H.(2007). An Overview on S-Band Erbium-Doped Fiber Amplifiers, *Laser Physics Lett.*, 4(1), 10-15.
45. Naji, A.W., Abidin, M.S.Z., Al-Mansoori, M.H., Faidz, A.R., Mahdi, M.A.(2007). Experimental Investigation of noise in Double-Pass Erbium-Doped Fiber Amplifiers, *Laser Physics Lett.*, 4(2), 145-148.
46. Ahmad, H., Harun, S.W.(2006). Double Pass S-Band EDFA, *Journal Of Nonlinear Optical Physis & Materials*, 15(3), 303-307.
47. Chang, C.L., Wang, L., Chiang, Y.J.(2006). A Dual Pumped Double-Pass L-Band EDFA with High Gain and Low Noise, *Optics Comm.*, 267(1), 108-112.
48. Altuncu, A.(2006). Band Selection in Broadband Loop ASE Source Using Seed Signal Injection, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 18(9), 1043-1045.
49. Harun, S.W., Samsuri, N.M., Ahmad, H.(2006). Gain-Clamping Techniques in Two-Stage Double-Pass L-Band EDFA, *Pramana-Journal of Physics*, 66(3), 539-545.
50. Yi, L.L., Zhan, L., Hu, W.S., Xia, Y.X.(2006). Tunable Gain-Clamped Double-Pass Erbium-Doped Fiber Amplifier, *Optics Express*, 14(2), 570-574.
51. Yi, L.L., Zhan, L., Taung, C.S., Luo, S.Y., Hu, W.S., Su, Y.K., Xia, Y.X., Leng, L.F.(2005). Low Noise Figure All-Optical Gain-Clamped Parallel C+L Band Erbium-Doped Fiber Amplifier Using an Interleaver, *Optics Express*, 13(12), 4519-4524.
52. Ji, J.H., Zhan, L., Yi, L.L., Tang, C.C., Ye, Q.H., Xia, Y.X.(2005). Low Noise-Figure Gain-Clamped L-Band Double-Pass Erbium-Doped Fiber Ring Lasing Amplifier with an Intereaver, *Journal Of Lightwave Technology*, 23(3), 1375-1379.
53. Samsuri, N.M., Harun, S.W., Ahmad, H.(2004). Comparison of Performances Between Partial Doublepass and full double-pass systems in Two-Stage L-Band EDFA, *Laser Physics Lett.*, 1(12), 610-612.
54. Harun, S.W., Samsuri, N.M., Ahmad, H.(2005). Gain Enhancement in Partial Double-Pass L-Band EDFASystem Using a Band-Pass Filter, *Laser Physics Lett.*, 2(1), 36-38.

55. Harun, S.W., Samsuri, N.M., Ahmad, H. (2004). Gain Clamping in Double-Pass L-Band EDFA Using a Ring Resonator, *Microwave and Optical Technol. Lett.*,43(6), 484-486.
56. Harun, S.W., Ahmad, H. (2004). Gain Clamped Two-Stage Double-Pass L-Band EDFA with a Single Fibre Bragg Grating, *Chinese Physics Lett.*,21(10), 1954-1957.
57. Naji, A.W., Abidin, M.S.Z., Kassir, A.M., Al-Mansoori, M.H., Abdullah, M.K., Mahdi, M.A.(2004). Trade-Off between Single and Double Pass Amplification Schemes of 1480-nm Pumped EDFA, *Microwave and Optical Technol. Lett.*,43(1), 38-40.
58. Yi, L.L., Zhan, L., Ji, J.H., Ye, Q.H., Xia, Y.X.(2004). Improvement of gain and noise figure in double-pass L-band EDFA by incorporating a fiber Bragg grating, *IEEE Photon. Technol. Lett.*,16(4), 1005-1007.
59. Harun, S.W., Ahmad, H.(2004). Efficient and low-noise gain flattened double-pass L-band erbium-doped fiber amplifier, *Microwave and Optical Technology Letter*, 40(2), 112-114
60. Harun, S.W., Poopalan, P., Ahmad, H.(2003). Double pass L-band erbium-doped fiber amplifier with enhanced gain characteristics, *Indian Journal of Physics*, 77B(4), 435-437.
61. Harun, S.W., Ahmad, H. (2003). A new gain-clamped L-band erbium-doped fiber amplifier with highly efficient gain, *Japanese Journal of Applied Physics Part 2-Letter*,42(8A), L930-L931.
62. Harun, S.W., Poopalan, P., Ahmad, H.(2002). Gain enhancement in L-band EDFA through a double-pass technique, *IEEE Photon. Technology Letter*,14(3), 296-297.
63. Chen, S.P., Liu, Z.J., Li, Y.G., Lu, K. C., Zhou, S.H(2008). Resonantly pumped high power flat L-band erbium-doped superfluorescent fiber source, *Optics Express*, 16(1), 207-212.
64. Harun, S.W., Rahman, E.A., Dimyati, K., Ahmad, H.(2006). An Efficient Gain-Flattened C-Band Erbium-Doped Fiber Amplifier, *Laser Physics Letter*,3(11):536-538.
65. Sohn, I.B., Song, J.W.(2004). Gain Flattened And Improved Double-Pass Two-Stage EDFA Using Microbending Long-Period Fiber Gratings, *Optics Comm.*,236(1), 141-144.
66. Liang, T.C., Cheng, N.J., Hung, S.C.(2003). Gain enhancement in L-Band Gain-Flattened EDFA Using a Reflective-Type Structure, *Microwave and Optical Technology Letter*, 37(5), 393-395.
67. Masuda, H., Miyamoto, Y. (2008). Low-Noise Extended L-Band Phosphorus Co-Doped Silicate EDFA Consisting of Novel Two-Stage Gain-Flattened Gain Blocks, *Electronics Letter*,44(18), 1082-1083.

68. Pal, M., Bandyopadhyay, S., Biswas, P., Debroy, R., Paul, M. C., Sen, R., Dasgupta, K., Bhadra, S. K. (2007). Study of Gain Flatness for Multi-Channel Amplification in Single Stage EDFA for WDM Applications, *Optical and Quantum Electronics*, 39(14), 1231-1243.
69. Varshney, R.K., Nagaraju, B., Singh, A., Pal, B. P., Kar, A. K.(2007). Design and Realization of an All-Fiber Broadband Tunable Gain Equalization Filter for DWDM Signals, *Optics Express*,15(21), 13519-13530.
70. Ni, N., Chan, C.C., Tan, K.M., Tjin, S.C., Dong, X. Y.(2007). Broad-Band EDFA Gain Flattening by Using an Embedded Long-Period Fiber Grating Filter, *Optics Comm.*,271(2), 377-381.
71. Singh, S., Kaler, R.S. (2006). Gain Flattening Approach to Physical EDFA for 16 x 40 Gb/s NRZ-DPSK WDM Optical Communication Systems, *Fiber And Integrated Optics*,25(5), 363-374.
72. Zhang, A.P., Chen, X.W., Yan, J.H., Guan, Z.G.,He, S.L., Tam, H.Y.(2005). Optimization and Fabrication of Stitched Long-Period Gratings for Gain Flattening of Ultrawide-Band EDFAs, *IEEE Photon. Technology Letter*,17(12), 2559-2561.
73. Kumar, N., Shenoy, M.R., Pal, B.P. (2005). A Standard Fiber-Based Loop Mirror as a Gain-Flattening Filter for Erbium-Doped Fiber Amplifiers, *IEEE Photon. Technol. Lett.*,17(10), 2056-2058.
74. Chung, K.W., Yin, S. (2005). Design of a Phase-Shifted Long-Period Grating Using The Partial-Etching Technique, *Microwave and Optical Technol. Lett.*, 45(1), 18-21.
75. Rao, Y.J., Hu, A.Z., Niu, Y.C.(2005). A Novel Dynamic LPFG Gain Equalizer Written in a Bend-Insensitive Fiber, *Optics Comm.*,244(2), 137-140.
76. Zhang, A.P., Chen, X.W., Guan, Z.G., He, S.L.,Tam, H.Y., Chung, W.H.(2005). Optimization of Step-Changed Long-Period Gratings for Gain-Flattening of EDFAs, *IEEE Photon.Technol. Lett.*,17(1), 121-123.
77. Zirngibl, M.(1991). Gain Control in Erbium-Doped Fibre Amplifiers by an All Optical Feed Back Loop, *Electron. Letter*, 27(7), 560-561.
78. Okamura, H.(1992). Automatic Optical Loss Compensation with Erbium-Doped Fiber Amplifier, *IEEE J. Lightwave Technol.*, 10(8), 1110-1116.
79. Takushima Y., Kikuchi, K.(1999). Gain spectrum equalization of All-Optical Gain-Clamped Erbium-Doped Fiber Amplifier, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 11(2), 176-178.
80. Peterka, P., Faure, B., Blanc, W., Karasek, M., Dussardier, B.(2004). Theoretical Modelling of S-band Thulium-Doped Silica Fibre Amplifiers, *Optical and Quantum Electronics*, 36(3), 201-212.
81. Jackson, S. D., King, T. A.(1999). Theoretical Modeling of Tm-Doped Silica Fiber Lasers, *IEEE Journal of Lightwave Technol.*, 17(5), 948-956.

82. Kasamatsu, T., Yano, Y., Ono, T.(2001). Gain-Shifted Dual-Wavelength-Pumped Thulium-Doped Fiber Amplifier for WDM Signals in the 1,48-1,51 μ m Wavelength Region, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 13(1), 31-33.
83. Kasamatsu, T., Yano, Y., Ono, T. (2001). Laser-Diode-Pumped Highly Efficient Gain Shifted Thulium-Doped Fiber Amplifier Operating in the 1480-1510 nm Band, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 13(5), 433-435.
84. Masuda, H., Kawai, S., Suzuki, K., Aida, K.(1997). 75-nm 3-dB Gain-Band Optical Amplification with Erbium-Doped Fluoride Fiber Amplifiers and Distributed Raman Amplifiers in 9x2.5-Gb/s WDM Transmission, *Proc. Eur. Conf. Optical Comm.*, Helsinki, 73-76.
85. Namiki, S., Emori, Y.(2001). Ultrabroad-Band Raman Amplifiers Pumped and Gain Equalized by Wavelength-Division-Multiplexed High-Power Laser Diodes, *IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics*, 7(1), 3–16.
86. Mahdi, M.A., Ali, M.I.M., Ahmad, A.(2008)., Influence of the Pumping Scheme in Double-Pass Discrete Raman-Fiber Amplifiers, *Laser Physics*, 18(6), 807-809.
87. Emori, Y., Tanaka, K., Namiki, S. (1999). 100 nm Bandwidth Flat-Gain Raman Amplifiers Pumped and Gain-Equalized by 12-Wavelength-Channel WDM Laser Diode Unit, *Electron. Lett.*, 35(16), 1355–1356.
88. Hecht, J.(1999). *City of Light: The Story of Fiber Optics*, *Oxford University Press*, New York, 247.
89. Gasulla, I., Capmany, J.(2008). 1 Tb/s·km Multimode Fiber Link Combining WDM Transmission and Low-Linewidth Lasers, *Optics Express*, 16(11), 8033-8038.
90. Paul, J., Shah, S.(2006). A Case Step Study for Reducing Water Peak in Optical Fiber, *Sterlite Optical Technologies Ltd. White Papers*, 1-4.
91. Ellrich, F., Zengerle, R.(2002). Broadband Optical Fiber Amplifiers, *Symposium on Opto & Microelectronic Devices and Circuits*, Stuttgart, 213-217.
92. Montgomery, J. D., Montgomery, S., Hailu, S., “Semiconductor Optical Amplifiers Expand Commercial Opportunities”, *WDM Solutions Supplement to Laser Focus World*, 3(8), 27-30
93. Agrawal, G. P.(1992). *Fiber-Optic Communication Systems*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 351-362.
94. Barnard, C., Myslinski, P., Chrostowski, J., Kavehrad, M.(1994). Analytical Model for Rare-Earth-Doped Fiber Amplifiers and Lasers, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 30(8), 1817-1830.
95. Tanabe, S.(2002). Rare-Earth-Doped Glasses For Fiber Amplifiers in Broadband Telecommunication, *Comptes Rendus Chimie*, 5(12), 815-824.

96. Mukai, T., Inoue, K., Saito, T.(1987). Homogenous Gain Saturation in 1,5 μ m Ingaasp Traveling-Wave Semiconductor Laser Amplifiers, *Applied Physics Lett.*, 51(6), 381-383.
97. Digonnet, Michael J.F(1993). Rare Earth Doped Fiber Lasers and Amplifiers, Stanford University/Marcel Dekker Press, California,531-550.
98. Edagawa, N., Mochizuki, K., Ryu, S.(1988). Wakabayashi, H., Amplification Characteristics of Fiber Raman Amplifiers, *Electronic Information Communication Scientific Society Technical Study Reports*, 88(87), 61-68.
99. Yamada, M., Shimizu, M.(2003). Ultra-Wideband Amplification Technologies for Optical Fiber Amplifiers, *NTT Technical Review*, 1(3), 80-84.
100. Desurvire, E.(1994). Erbium-Doped Fiber Amplifiers Principles and Applications, John Wiley, New York, 5-25.
101. McCumber D.E. (1964). Theory of Phonon-Terminated Optical Masers, *Phys Rev.*, 134, A299-A305.
102. Yamada, M., Schimizu, M., Horiguchi, M., Okayasu, M.(1992). Temperature Dependence of Signal Gain Er⁺³ Doped Fiber Amplifiers, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 28(3), 640-649.
103. Kagi, N., Oyobe, A., Nakamura, K.(1991). Temperature Dependence of the Gain in Erbium Doped Fibers, *IEEE Journal of Lightwave Technol.*, 9(2), 261-265.
104. Kemtchou, J., Duhamel, M., Lecoy, P.(1997). Gain Temperature Dependence of Erbium-Doped Silica and Fluoride Fiber Amplifiers in Multichannel Wavelength-Multiplexed Transmission Systems, *IEEE Journal of Lightwave Technol.*, 15(11), 2083-2090.
105. Bolshtyansky, M., Wysocki, P., Conti, N.(2000). Model of Temperature Dependence for Gain Shape of Erbium-Doped Fiber Amplifier, *IEEE Journal of Lightwave Technol.*, 18(11), 1533-1540.
106. Aozasa, S., Sakamoto, T., Ono, H., Mori, A., Yamada, M.(2004). Wideband Rare-Earth-Doped Fiber Amplification Technologies O and S Band Amplification Technologies, *NTT Technical Review*, 2(12), 44-50.
107. Lin, M. C., Chi, S.(1992). The Gain And Optimal Length in The Erbium-Doped Fiber Amplifiers with 1480 nm Pumping, *IEEE Photon. Technol. Lett.*,4(4), 354-356.
108. Kogelnick, H., Yariv, A.(1964). Considerations of Noise and Schemes for Its Reduction in Laser Amplifiers, *Proceedings of The IEEE*, 52(2), 165-172.
109. Yariv, A.(1975). *Quantum Electronics*, John Wiley, New York, 171-174.
110. Saleh, B.E.A., Teich, M.C.(1991). *Fundamentals of Photonics*, John Wiley, New York, 460-488.

111. Islam, M. N.(2004). Raman Amplifiers for Telecommunications 1, Physical Principles, Springer, New York, 37-40.
112. Mori, A., Masuda, H.(2004). Tellurite Fiber Raman Amplifiers, NTT Technical Review, 2(12), 51-55.
113. Hellwarth, R.W.(1963). Theory of Stimulated Raman Scattering, Phys. Rev., 130(5), 1850–1852.
114. Smith, R.G.(1972). Optical Power Handling Capacity of Low Loss Optical Fibers as Determined by Stimulated Raman and Brillouin Scattering, Applied Optics, 11(11), 2489-2494.
115. Cao, Y. (2003). Design and Simulation of Gain-Flattened Ultra Wideband Fiber Amplifiers Covering S, C, and L Bands, PhD. Thesis, The University of North Carolina, Charlotte, 43-82.
116. Kidorf, H., Rottwitt, K., Nissov, M., Ma, M., Rabarijaona, E.(1999). Pump Interactions in a 100 nm Bandwidth Raman Amplifier, IEEE Photon. Technol. Lett., 11(5), 530-532.
117. Singh, R., Sunanda, Sharma, E. K.(2004). Gain Flattening by Long Period Gratings in Erbium Doped Fibers, Optics Comm., 240, 123-132.
118. Sohn, I.-B., Song, J.W.(2004). Gain Flattened and Improved Double-Pass Two-Stage EDFA Using Microbending Long-Period Fiber Gratings, Optics Comm. 236, 141-144.
119. Dung, S., J.C. Chi, Wen, S.(1998). Gain Flattening of Erbium-doped Fibre Amplifier Using Fibre Bragg Gratings, Electronics Lett., 34(6), 555-556.
120. Choi, H.B., Oh, J.M., Lee, D., Ahn, S.J., Park, B.S, Lee, S.B.(2002). Simple and efficient L-Band Erbium-Doped Fiber Amplifiers for WDM Networks, Optics Comm., 213, 63-66.
121. Mahdi, M. A., Sheih, S. J.(2004). Gain-Flattened Extended L-band EDFA with 43 nm Bandwidth Suitable for High Signal Powers, Optics Comm., 234, 229-233.
122. Mizuno, K., Nishi, Y., Mimura, Y., Lida, Y., Matsuura, H., Yoon, D., Aso, O., Yamamoto, T., Toratani, T., Ono, Y., Yo, A.(2000). Development of Etalon-Type Gain-Flattening Filter, Furukawa Review, 19, 53-58.
123. Bayart, D., Clesca, B., Hamon, L., Beylat, J.L.(1994). Experimental Investigation of The Gain Flatness Characteristics for 1.55 μm Erbium-Doped Fluoride Fiber Amplifiers, *IEEE Photon. Technology Letter*, 6(5), 613-615.
124. Guan, B.O., Tam, H.Y., Liu, S.Y., Wai, P.K.A., and Sugimoto, N. (2003). Ultrawide-Band La-Codoped Bi₂O₃-Based EDFA for L-Band DWDM Systems, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 15(11), 1525-1527.

125. Yoshida, S., Kuwano, S., Iwashita, K.(1995). Gain-Flattened EDFA with High AI Concentration for Multistage Repeated WDM Transmission Systems, *Electronics Lett.*, 31(20), 1765-1767.
126. Vallon, S., Chevallier, P., Guiziou, L., Alibert, G., How Kee Chun, L. S., Boos, N.(2003). 40-Band Integrated Static Gain-Flattening Filter, *IEEE Photon. Technology Letter*, 15(4), 554-556.
127. Yong-Nan, L., Fu-Yun, L., Yu, F., Xin, Wei, W., Dai, W.(2006). S-Band Gain-Flattened Double-Pass Discrete Fibre Raman Amplifiers Using Mechanically Induced Long-Period Fibre Gratings, *Chinese Physics Letter*, 23(4), 842-844.
128. Korkmaz, V., Altuncu, A.(2002). Dalgaboyu Bölmeli Çoğullamalı (WDM) Sistemlerde Uyarılmış Raman Diyafonisinin İletişim Performansına Etkisi, *Elektrik - Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa.
129. Giles, C. R., Di Giovanni, D. J.(1990). Dynamic Gain Equalization in Two-Stage Fiber Amplifiers, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2(12), 866-868.
130. Giles, C. R., Desurvire, E.(1991). Modeling Erbium-Doped Fiber Amplifiers, *IEEE Journal of Lightwave Technol.*, 9(2), 271-283.
131. Yamada, M., Mori, A., Kobayashi, K., Ono, H., Kanamori, T., Oikawa, K., Nishida, Y., Ohishi, Y.(1998). Gain-Flattened Tellurite-Based EDFA with A Flat Amplification Bandwidth of 76 nm, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 10(9), 1244-1246.
132. Tanaka, S., Imai, K., Yazaki, T., Tanaka, H.(2002). Ultra-Wideband L-band EDFA Using Phosphorus Codoped Silica-Fiber, *Optical Fiber Communication Conf.*, Anaheim, 458-459.
133. Ellison, A.J.G., Goforth, D.E., Samson, B.N., Minelly, J.D., Trentelman, J.P., McEnroe, D.L., Tyndell, B.P.(2001). Extending the L-band to 1620 nm Using MCS Fiber, *Optical Fiber Communication Conf.*, Anaheim, 1-3.
134. Liang, T. C., Chen, Y. K., Su, J. H., Tzeng, W. H., Hu, C., Lin, Y. T., Lai, Y.C.(2000). Optimum Configuration and Design of 1480 nm Pumped L-band Gain-flattened EDFA Using Conventional Erbium-doped Fiber, *Optics Comm.*, 183, 51-63.
135. Liang, T. C., Cheng, N. J., Hung, S.C.(2003). Gain Enhancement in L-band Gain-flattened EDFA Using A Reflective-type Structure, *Microwave and Optical Technology Letter*, 37(5), 393-395.
136. Chang, C. L., Wang, L., Chiang, Y. J.(2006). A Dual Pumped Double-Pass L-Band EDFA with High Gain and Low Noise, *Optics Comm.*, 267, 108-112.
137. Harun, S. W., Samsuri, N. M., Ahmad, H.(2004). Gain Control in Double-Pass L-band EDFA using a Ring Resonator and Two-Stage Configuration, *Optik*, 115(11), 525-527.

138. Optiwave Corporation,(2002). OptiAmplifier Version 4.0: Optical Fiber Amplifier and Laser Design Software Manual, Optiwave Systems Inc., 9-50.
139. Yucel, M., Goktas, H. H.(2007). Gain Flattening Configurations at the L Band Erbium Doped Fiber Amplifiers, IEEE 15th Sig. Process. and Comm. App., Eskişehir, 1-4.
140. Zhang, H., Yu, L., Liu, Y., Wang, C., Li, Y., Dou, Q., Liu, L., Yuan, S., Dong, X.(2004). Noise figure improvement of a double-pass erbium-doped fiber amplifier by using a HiBi fiber loop mirror as ASE rejecter, Optics Comm., 244, 383-388.
141. Yu, A., O'Mahony, M. J., Siddiqui, A.S.(1993). Analysis of Optical Gain Enhanced Erbium-Doped Fiber Amplifiers Using Optical Filters, IEEE Photon. Technology Letter, 5(7), 773-775.
142. Xia, B., Chen, L.R.(2002). Two Stage L-Band EDFA with Gain-Clamped Characteristics Using Partial Gain-Clamping, Optics Comm., 206, 301-308.
143. Namiki, S., Emori, Y.(2001). Ultrabroad-Band Raman Amplifiers Pumped and Gain Equalized by Wavelength-Division-Multiplexed High-Power Laser Diodes, IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics, 7(1), 3-16.
144. Baraniecki, T.P., Kozak, M.M., Unrau, U.B., Pawlik, E.M., Abramski, K.M.(2001). Comparison Of Laboratory Measurements On An EDFA With Simulation Results Obtained Using EDFA-Design, Transparent Optical Networks Proc., Cracow, 308-311.
145. Yablon, A.D.(2005). Optical Fiber Fusion Splicing, Springer-Verlag, Berlin, 241-242
146. Flood, F.A.(2001). Comparison of Temperature Dependence in C-Band and L-Band EDFAs, IEEE J. Lightwave Tech., 19(4), 527-535.
147. Altuncu, A., Başgümüş, A.(2005). Gain Enhancement in L Band Loop EDFA through C Band Signal Injection, IEEE Photon. Technol. Lett., 17(7), 1402-1404.
148. Anritsu C.(2003). Anritsu MS9710B Optical Spectrum Analyzer Operation Manual, Anritsu Corporation Press, Japan, 78-81.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı,adı : ÖZOĞLU, Yavuz Abbas
Uyruđu : T.C.
Doğumtarhiveyeri : 11.12.1985, Tokat
Medenihali : Evli
Telefon : 0 (533) 498 38 22
e-mail : yavuzabbasozoglu@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/E.E.M	2016
Lisans	Gazi Üniversitesi/T.E.F	2011
Ön Lisans	Gaziosmanpaşa Üniversitesi / T.M.Y.O	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013 - ...	Anadolu Ajansı	Sistem Uzmanı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Özoğlu, Y.A, "Yücel, M. Farklı Türdeki Erbiyum Katkılı Fiberlerin Karşılaştırılması", 7.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, İstanbul, (2014).

Hobiler

Bilim ve Teknoloji, Dođa Yürüyüşü, Su Sporları



GAZİ GELECEKTİR..