



**ERBİYUM KATKILI FİBER KULLANILARAK PASİF KENAR FİLTRE
TASARIMI**

Onur KOYUNCU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2018

Onur KOYUNCU tarafından hazırlanan “ ERBİYUM KATKILI FİBER KULLANILARAK PASİF KENAR FİLTRE TASARIMI ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Gazi Üniversitesi Bilişim Sistemleri 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: 04/01/2018

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

.....
Doç. Dr. Aslıhan TÜFEKÇİ
Bilişim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Bilişim 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 farklılık yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

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

Onur KOYUNCU
04.01.2018

ERBİYUM KATKILI FİBER KULLANILARAK PASİF KENAR FİLTRE TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Onur KOYUNCU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

Ocak 2018

ÖZET

Hassaslık, doğruluk ve çözünürlük, yoğun dalga boyu bölmeli çoğullamalı (YDBC) optik iletişim sistemleri ve Fiber Bragg Izgara (FBI) tabanlı optik algılama sistemlerinde yer alan dalga boyu ölçümleri için son derece önemlidir. Bu gibi uygulamalar için bir pasif dalga boyu ölçüm sisteminin temel bileşeni, doğrusal bir kenar filtredir. Pasif doğrusal kenar filtre sistemlerinin avantajı, aktif dalga boyu ölçüm sistemlerine kıyasla düşük maliyetli, imal kolaylığı ve yüksek ölçüm hızlarıdır. Bu tez çalışmasında, FiberCore firmasına ait I-6, I-25, M-5, M-12 Erbiyum katkılı fiberler (EKF) kullanılarak pasif kenar filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, öncelikli olarak çeşitli EKF türleri için, sistemin giriş gücü ve EKF uzunlukları değiştirilerek sistem çıkışına etkileri analiz edilmiştir. Bu analizler için sistem, OptiAmplifier 4.0 yazılımında benzetimi yapılarak çalışılmıştır. Benzetim çalışmasında bulunan sonuçlar değerlendirilmiş ve uygun uzunluklarda EKF modelleri kullanılarak deneysel olarak çıktıları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak pasif kenar filtre için hangi model EKF kullanıldığında en uygun boyun hangisi olduğu belirlenmiş, Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteç (EKFY) sisteminde yükseltilmiş kendiliğinden yayılma (YKY) da kenar filtre olarak kullanılacak en uygun bölgenin yeri saptanmıştır.

Bilim Kodu : 90532
Anahtar Kelimeler : Pasif kenar filtre, erbiyum katkılı fiber, EKFY
Sayfa Adedi : 68
Danışman : Doç.Dr. Murat YÜCEL

PASSIVE EDGE FILTER DESIGN USING ERBIUM-DOPED FIBER

(M. Sc. Thesis)

Onur KOYUNCU

GAZİ UNIVERSITY
INFORMATICS INSTITUTE

January 2018

ABSTRACT

Sensitivity, accuracy and resolution are crucial for wavelength measurements in Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) optical communication systems and optical detection systems based on Fiber Bragg Gratings (FBG). The basic component of a passive wavelength measurement system for such applications is a linear edge filter. The advantage of passive linear edge filter systems is their low cost, ease of manufacture and high measurement speeds compared to active wavelength measurement systems. In this thesis, a passive edge filter design was performed by using a I-6, I-25, M-5, M-12 Erbium doped fibers (EDFs) which are produced by Fibercore Company. For this purpose, the effects on the system output were analyzed by changing the input power of the system and the EDF length in various EDF types. For this analysis, the system was simulated by OptiAmplifier 4.0 software. The simulated values were analyzed and the experimental results were compared using the EDF models in the appropriate lengths. As a result, it is determined the best length of EDF type and the most suitable region for amplified spontaneous emission (ASE) in the Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) system as the edge filter.

Science Code : 90532
Key Words : Passive edge filter, erbium doped fiber, EDFA
Page Number : 68
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Murat YÜCEL

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmam boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, fikir ve tecrübelerini benden esirgemeyen, bana güvenen değerli ve saygıdeğer hocam Doç. Dr. Murat YÜCEL'e, bana sabır gösteren, sıkıntılarıma, mutluluğuma, mrme ortak olan hayat arkadaŐım, canım eŐım Bahar KOYUNCU'ya, hayatımızı güzelleŐtiren canım kızım DEFNEM'e, beni bu yola sevk eden, her türlü desteğini esirgemeyen sevgili babam Fikret KOYUNCU'ya, hayatımdaki baŐarılarımı borçlu olduğum, canım annem Zekiye KOYUNCU'ya ve diğer aile üyelerime teŐekkürü borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. PASİF FİBER KENAR FİLTRELERİ, DALGA BOYU ÖLÇÜM VE EKFY SİSTEMLERİ	3
2.1. Pasif Fiber Kenar Filtreleri.....	3
2.1.1. Doğrusal kenar filtre	3
2.1.2. Fiber bükülme kaybı kenar filtresi.....	5
2.1.3. Tek modlu-çok modlu- tek modlu fiber kenar filtresi	6
2.1.4. Dalga boyu bağımlı toplu kenar filtresi	7
2.1.5. Uzun periyotlu ızgara kenar filtresi	8
2.1.6. Dalga boyu bölmeli çoğullama kenar filtresi	9
2.1.7. Dar band kaynağı ve dedektör kenar filtresi.....	9
2.1.8. Eğik fiber bragg ızgara kenar filtresi	10
2.2. Erbiyum Katkılı Fiber ve Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçler.....	10
2.2.1. Yükseltilmiş kendiğilinden yayılma	12
2.2.2. Yükseltilmiş kendiğilinden yayılma denklemleri.....	13
2.2.3. EKF'lerin karakteristiği ve soğurum yayılım kesitleri	16
3. BENZETİM VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	21
3.1. Benzetim Çalışmaları	21
3.1.1. I-6 erbiyum katkılı fiber için benzetim sonuçları	22
3.1.2. I-25 erbiyum katkılı fiber için benzetim sonuçları	25
3.1.3. M-5 erbiyum katkılı fiber için benzetim sonuçları	27

	Sayfa
3.1.4. M-12 erbiyum katkılı fiber için benzetim sonuçları.....	30
3.2. Deneysel Kurulum ve Sonuçları	32
3.2.1. I-6 erbiyum katkılı fiber için deneysel sonuçlar	34
3.2.2. I-25 erbiyum katkılı fiber için deneysel sonuçlar	39
3.2.3. M-5 erbiyum katkılı fiber için deneysel sonuçlar.....	45
3.2.4. M-12 erbiyum katkılı fiber için deneysel sonuçlar.....	48
4. SONUÇLAR.....	55
4.1. Benzetim Sonuçlarının Karşılaştırılması	55
4.2. Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması	60
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	68

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Yazılım Benzetilmesinde kullanılan Erbiyum Katkılı Fiber modelleri ve yazılımda kullanılan değerleri	22
Çizelge 4.1. I-6 EKF'si için 1537.1-1556.7 nm arasında 19.6 nm'lik banddaki çıkış güçleri	55
Çizelge 4.2. I-25 EKF'si için 1537.1-1556.7 nm arasında 19.6 nm'lik banddaki çıkış güçleri	57
Çizelge 4.3. M-5 EKF'si için 1537.1-1556.7 nm arasında 19.6 nm'lik banddaki çıkış güçleri	58
Çizelge 4.4. M-12 EKF'si için 1537.1-1556.7 nm arasında 19.6 nm'lik banddaki çıkış güçleri	59
Çizelge 4.5. EKFY'siz düzenekte kullanılan fiberlerin pasif filtrede kullanılabilir alanlarının değerleri.....	61
Çizelge 4.6. EKFY'li düzenekte kullanılan fiberlerin pasif filtrede kullanılabilir alanlarının değerleri (DK: Düşen Kenar)	62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kenar filtresinin şematik bir fonksiyonu	3
Şekil 2.2. Bir kenar filtre tabanlı radyometrik dalga boyu ölçüm sisteminin şeması ...	4
Şekil 2.3. Belli dalga boyu aralığında farklı zayıflamalara sahip üç spektral yanıt.....	5
Şekil 2.4. TÇT Kenar Filtrenin şeması	6
Şekil 2.5. İletken pasif kenar filtresi	7
Şekil 2.6. UPI tabanlı sorgulama sistemi	8
Şekil 2.7. FBI ve UPI'nın yansıma ve iletim tayfları	9
Şekil 2.8. YKY'nin Kazanca Etkisi	12
Şekil 2.9. I-6 için Soğurum Yayılım Grafiği	17
Şekil 2.10. I-25 için Soğurum Yayılım Grafiği	17
Şekil 2.11. M-5 için Soğurum Yayılım Grafiği	18
Şekil 2.12. M-12 için Soğurum Yayılım Grafiği	18
Şekil 3.1. Benzetim Şeması	21
Şekil 3.2. -5 dBm giriş gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi	23
Şekil 3.3. -10 dBm giriş gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi	23
Şekil 3.4. -15 dBm giriş gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi	24
Şekil 3.5. -20 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi.....	25
Şekil 3.6. -10 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi.....	26
Şekil 3.7. -15 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi.....	26
Şekil 3.8. -20 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi.....	27
Şekil 3.9. -5 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi.....	28
Şekil 3.10. -10 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi.....	28
Şekil 3.11. -15 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi.....	29
Şekil 3.12. -20 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi.....	29
Şekil 3.13. -5 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi.....	30

Şekil	Sayfa
Şekil 3.14. -10 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi.....	31
Şekil 3.15. -15 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi.....	31
Şekil 3.16. -20 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi.....	32
Şekil 3.17. EKFY olmadan Deneysel Olarak Kurulum Şeması	32
Şekil 3.18. EKFY'li Deneysel Olarak Kurulum Şeması.....	33
Şekil 3.19. EKFY'siz düzenekte kullanılan geniş band lazer kaynağının spektrumu ...	33
Şekil 3.20. I-6 20 metre EKF için EKFY'siz doğrusal kenar filtre bölgesi.....	34
Şekil 3.21. I-6 20 metre EKF 135 mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge	35
Şekil 3.22. I-6 20 metre EKF 113mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge	36
Şekil 3.23. I-6 20 metre EKF 290mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge	37
Şekil 3.24. I-6 20 metre EKF 113mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte düşen kenar filtre olarak kullanılacak bölge	38
Şekil 3.25. I-25 5 metre EKF için EKFY'siz kenar filtre bölgesi.....	39
Şekil 3.26. I-25 5 metre EKF 123.5mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge	40
Şekil 3.27. I-25 5 metre EKF 123.5mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte düşen kenarda filtre olarak kullanılacak bölge.....	41
Şekil 3.28. I-25 5 metre EKF 225mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte düşen kenarda filtre olarak kullanılacak bölge.....	42
Şekil 3.29. I-25 5 metre EKF 67.5mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge	43
Şekil 3.30. I-25 5 metre EKF 76.5mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge	44
Şekil 3.31. M-5 12 metre EKF için EKFY'siz kenar filtre bölgesi	45
Şekil 3.32. M-5 12 metre EKF 305mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge	46

Şekil	Sayfa
Şekil 3.33. M-5 12 metre EKF 305mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte düşen kenar da filtre olarak kullanılacak bölge.....	47
Şekil 3.34. M-12 12 metre EKF için EKFY'siz kenar filtre bölgesi	48
Şekil 3.35. M-12 12 metre EKF 240mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge	49
Şekil 3.36. M-12 12 metre EKF 240mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte düşen kenarda filtre olarak kullanılacak bölge.....	50
Şekil 3.37. M-12 12 metre EKF 142.5mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge	51
Şekil 3.38. M-12 12 metre EKF 110mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge	52
Şekil 3.39. M-12 12 metre EKF 160mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge	53
Şekil 3.40. M-12 12 metre EKF 265mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge	54
Şekil 4.1. 20 metre I-6 EKF'si için 1537.1-1556.7 nm arasında farklı sinyal güçlerinde elde edilen doğrusal bölgeler	56
Şekil 4.2. 5 metre I-25 EKF'si için farklı sinyal güçlerinde elde edilen doğrusal bölgeler.	57
Şekil 4.3. 12 metre M-5 EKF'si için farklı sinyal güçlerinde elde edilen doğrusal bölgeler.....	59
Şekil 4.4. 10 metre M-12 EKF'si için farklı sinyal güçlerinde elde edilen doğrusal bölgeler.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A_{eff}	Etkin Alan
A_{21}	Seviye 2'den 1'e kendiliğinden düşme oranı
dBm	Desibel miliWatt
dB	Desibel
η	Yayınım ve soğurum kesitleri arasındaki oran
λ_p	Pompa dalga boyu
λ_s	Sinyal dalga boyu
M	Metre
nm	Nanometre
P_o	Eşdeğer giriş gürültüsü
P_s	Sinyal Gücü
P_p	Pompa Gücü
P_{YKY}	YKY Gücü
σ_p^a	Pompa ışınının uyarılmış soğurum kesiti
σ_s^a	Sinyal ışınının uyarılmış soğurum kesiti
$\Psi(r)$	Mod Zarfı
$\psi_p(r)$	Pompalama mod zarfı
R	Pompalama oranı
r	Işımalı Yayınım
θ	Dalga vektörleri arasındaki açı
V_s	Sinyal frekansı
V_p	Pompa frekansı

Kısaltmalar	Açıklamalar
BGF	Bant Geçiren Filtre
DBÇ	Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama (Wavelength Division Multiplexing)
EKF	Erbiyum Katkılı Fiber (Erbium Doped Fiber)
EKFY	Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteç (Erbium Doped Fiber Amplifier)
EK-FBI	Erbiyum Katkılı Fiber Bragg Izgara
FBI	Fiber Bragg Izgara (Fiber Bragg Grating)
IF	Ara Frekans (Intermediate frequency)
KBBĐ	Kimyasal Buhar Birikimi Değiştirme
LO	Lokal Osilatör
LP	Doğrusal Kutuplanmış (Linearly Polarized)
LPG	Uzun Ömürlü Izgara (Long Period Grating)
MMF	Çok Modlu Fiber (Multimode Fiber)
OSA	Optik Spektrum Analizörü
SLD	Süper ışıklı diyot (Superluminescent Diode)
SMS	Tek Mod-Çok Mod-Tek Mod (Single Mode-Multi Mode- Single Mode)
TFBG	Eğik Fiber Bragg Izgara (Tilted Fiber Bragg Grating)
TMF	Tek Modlu Fiber (Single Mode Fiber)
WDM	Dalga Boyu Bölmeli Çoğullama (Wavelength Division Multiplexer)
WGM	Akustik Tünel Yöntemi (Whispering Gallery Mode)
YDBÇ	Yoğun Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama (Dense Wavelength Division Multiplexing)
YKY	Yükseltilmiş Kendiliğinden Yayılma (Amplified Spontaneous Emission)

1. GİRİŞ

Fiber algılama tasarımlarında optik dalga boyu algılama sistemleri genel olarak iki türe ayrılabilir. Bunlar pasif algılama sistemleri ve aktif algılama sistemleridir. Pasif algılama düzeni, sistemin optik bölümünde herhangi bir elektrik, mekanik veya aktif optik eleman kullanılmadığını belirtir. Pasif sistemlere örnek olarak, yığın kenar filtreleri, EKF filtreler [1], bikonik fiber filtreler [2], dalga boyu bölmeli kuplörler, fiber Bragg ızgaralar, çok modlu fiber tabanlı filtreler [3] verilebilir. Aktif algılama sistemlerinde, ölçüm, harici olarak çalışan cihazlara bağlıdır. Bu sistemlere ayarlanabilir filtreler örnek verilebilir.

Literatürde pasif filtreler ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur. Yansıtıcı bir Bragg dalga boyu kaymasını sorgulamak için basit bir yaklaşımla kenar filtre olarak EKF kullanılmıştır. Bu filtrenin çalışma prensibi, EKF'deki soğurumun spektral bağımlılığı ve EKF'nin uzunluğudur. Deney sonuçları, C bandında ~ 10 nm bir filtre band genişliği ve 1.0 dB / nm'lik bir eğim algılama hassasiyeti gösterirken, ölçülen gerinim ve sıcaklık çözünürlüğü minimum değişim yüzdesi olarak $20 \mu\epsilon$ ve 2.0°C 'dir. Önerilen sorgulayıcının çözünürlüğü EKF'nin uzunluğunun artırılmasıyla artırılabilir [4].

Birçok optik sistem için dalga boyu ölçümleri gereklidir. Örnek olarak, yoğun dalga boyu bölmeli çoğullama (YDBÇ) optik iletişim sistemleri, Brillouin tabanlı optik algılama sistemleri ve Fiber Bragg Izgara (FBI) tabanlı optik algılama sistemleri verilebilir [4-10].

Kenar filtreler en çok FBI tabanlı algılama sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu algılama sistemlerine entegre edilen filtreler sayesinde ölçümlerde ihtiyaç duyulan hassaslık, doğruluk ve çözünürlük elde edilmiş olur [11].

EKF'ler FBI tabanlı optik algılama sistemlerinde de kullanılmaktadır [12], ve bu sistemlerde erbiyum katkılı FBI'ların (EK-FBI) nasıl davrandığı incelenmiştir [13].

Yapılan literatür taramalarında pasif kenar filtre olarak kullanılacak EKF'lerin kapsadığı band genişliklerinin, eğim ve dikliklerinin az olduğu görülmüştür. Bu amaçla daha fazla band genişliği ve daha dik eğim sağlayabilecek EKF'ler için analizler yapılmıştır.

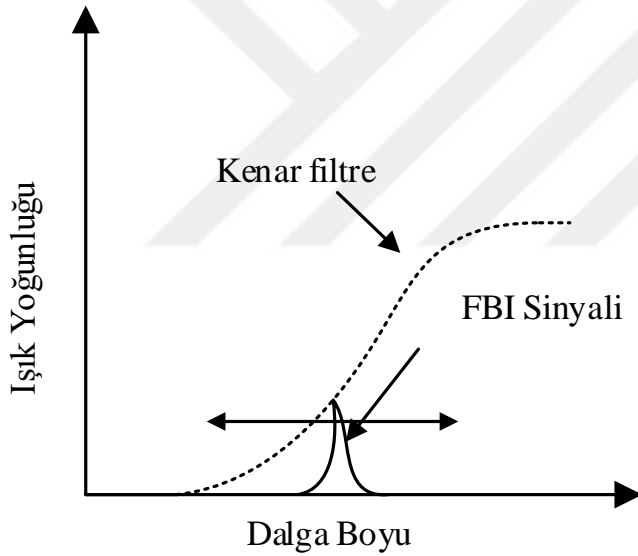
Bu tez çalışmasında, I-6, I-25, M-5, M-12 türlerindeki EKF'ler kullanılarak bir pasif kenar filtre tasarımı için en uygun EKF çeşidinin hangisinin olacağı ve hangi uzunlukta kullanılacağına daha uygun olacağı gözlenmiştir. Bunun için öncelikle çıkan sonuçları gözlemek için farklı fiber uzunlukları, farklı EKF çeşitleri simüle edilmiştir. Benzetim programı olarak OptiAmplifier 4.0 yazılımı kullanılmıştır. Çıkan sonuçlar değerlendirildikten sonra uygun boydaki EKF'ler ile pratik ortamdaki çıktılar optik spektrum analizörü (OSA) ile gözlemlenmiştir. Daha sonra deneysel ve benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Tezin ikinci bölümünde tanımlamalara yer verilmiş, üçüncü bölümünde benzetim ve deneysel sonuçlar irdelenmiştir ve dördüncü bölümde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.



2. PASİF FİBER KENAR FİLTRELERİ, DALGA BOYU ÖLÇÜM VE EKFY SİSTEMLERİ

2.1. Pasif Fiber Kenar Filtreleri

Kenar filtresi, Bragg dalga boyu kayması ve filtrenin çıkış yoğunluğu değişimi arasında doğrusal bir ilişki sunan, dalga boyuna bağlı bir transmittans sağlar. Kenar filtresinin şematik bir fonksiyonu Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Işığın yoğunluk değişimini ölçerek, ölçülendirilen dalga boyu kayması elde edilebilir. Ölçüm aralığı, algılama çözünürlüğü ile ters orantılıdır. Kenar filtresi yöntemi, FBI sensörlerinin çoğaltılması durumunda uygun değildir.

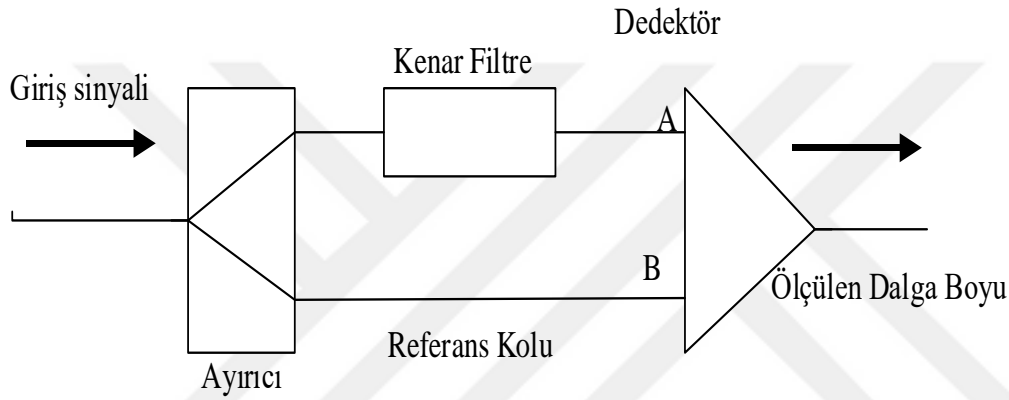


Şekil 2.1. Kenar filtresinin şematik bir fonksiyonu [23]

2.1.1. Doğrusal kenar filtre

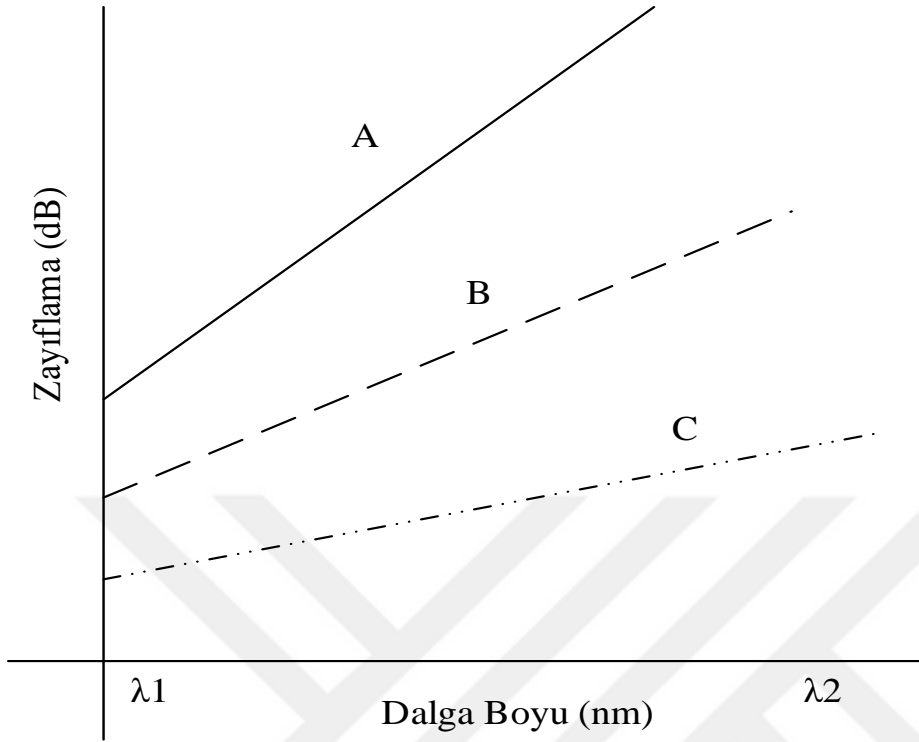
Işık dalga boyunun ölçülmesinin en basit yolu, doğrusal tepkiye sahip bir dalga boyuna bağlı optik filtre kullanmaktır. Bu yöntem, dik bir eğimi olan dar bir doğrusal tepki aralığına veya daha az eğimli genişliğe sahip, geniş bir banda sahip kenar filtresinin kullanımına dayanır. Her iki durumda da, dalgaboyu sorgulayıcı, yoğunluk ölçümüne dayanır, diğer bir deyişle, dalga boyuna ilişkin bilgi, dedektördeki ışığın yoğunluğunu izleyerek elde edilir. Yoğunluğa dayalı demodülatörler için yoğunluk referanslaması kullanılması gereklidir, çünkü ışık yoğunluğu zamanla dalgalanabilir. Bu, yalnızca bir

dalga boyu değişiminden değil aynı zamanda ışık kaynağının güç dalgalanmasından, ışık yönlendirme yolunda bir bozulmadan veya ışık kaynağı yoğunluğunun dalga boyuna bağımlılığından dolayı da oluşabilir. Genellikle, bu faktörler yüzünden, kenar filtresi tabanlı sistemlerin çoğunda, ölçüm sistemini giriş güç dalgalanmalarından bağımsız olarak sağlayan oranlamalı bir tasarım kullanılır. Şekil 2.2 bir kenar filtre ile oranlı dalga boyu ölçüm sisteminin tasarımını göstermektedir. Giriş ışığı, birisi dalga boyuna bağılı filtreden, diğeri ise referans kolu olarak kullanılan iki yola ayrılır. Giriş sinyalinin dalga boyu, uygun bir kalibrasyonun gerçekleştiğini varsayarak, iki foto dedektörünün elektriksel çıkışlarının oranı kullanılarak belirlenebilir.



Şekil 2.2. Bir kenar filtre tabanlı radyometrik dalga boyu ölçüm sisteminin şeması [14]

Orantılı bir sistemde kullanılan kenar filtresi için, iki önemli parametre dalga boyu zayıflaması ve başlangıç dalga boyundaki iletim kaybıdır. İdeal bir kenar filtre çok düşük kayba ve yüksek band aralığına sahip olmalıdır. Şekil 2.3. de belli dalga boyu aralığında farklı zayıflamalara sahip üç spektral yanıt (A, B ve C) gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Belli dalga boyu aralığında farklı zayıflamalara sahip üç spektral yanıt [14]

Çok kanallı YDBC optik iletişim sistemlerinde ve FBI tabanlı optik algılama sistemlerinde yer alan dalga boyu ölçümleri için doğrusal bir pasif kenar filtre kullanımı son derece önemlidir. Bu nedenle, böyle bir sistemin performans doğruluğunu etkileyen faktörleri incelemek önemlidir [14].

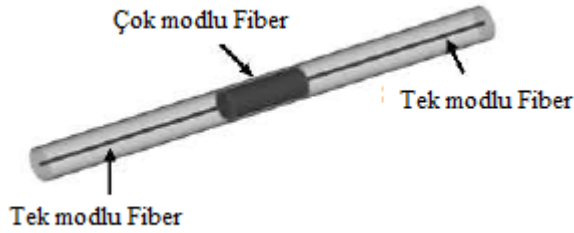
2.1.2. Fiber bükülme kaybı kenar filtresi

Mevcut fiber kenar filtrelerinin son eklemelerinden birisi bükülgen fiber filtrelerdir. Bu filtre, emici tabaka ile kaplanmış standart tek mod fiberin çoklu makro bükülmelerinden oluşur. Filtre, tatbik edilen kaplamalı tamponla bükülmeye duyarlı fiberin tek bir dönüşünü kullanarak daha kompakt hale getirilebilir. Dalga boyu ölçümü için kenar filtresi olarak makro-bükülgen bir fiber kullanmak için bükülme yarıçapının optimal tasarımı ve yüzey işleme yöntemleri, doğrusal dalga boylu bir iletim tepkisi elde etmek için gereklidir. Bir optik dalga kılavuzunda eğilme kaybının bükülme yarıçapı azaldığında artacağı bilinmektedir. Bununla birlikte fiberin sağlam olması için kaplamanın dışında bir veya iki kaplama tabakası bulunmaktadır. Kaplama tabakası ve kaplama tabakası arasındaki arayüzde ışınlanan alanın yansımaları nedeniyle, akustik tünel yöntemi (WGM) adı verilen

yöntem geliştirilmiştir. Fiberin dışındaki kaplamalara göre fiber çok farklı bükülme kaybı karakteristikleri göstermektedir. İki kaplama katmanı hesaba katılarak yapılan teorik ve deneysel araştırmalar 9.5 mm - 11 mm aralığında bükülme yarıçapına sahip standart tek modlu fiberde eğilme kaybının 40 dB olduğunu göstermektedir. Bükülme kaybı fiberini bir kenar filtresi olarak kullanmak için, doğrusal bir dalga boyu yanıtı elde etmek önemlidir [15].

2.1.3. Tek modlu-çok modlu- tek modlu fiber kenar filtresi

Bir diğer fiber kenar filtresi, tek modlu-çok modlu-tek modlu (TÇT) fiber filtredir. Basamak indisli çok modlu fiberin (ÇMF) iki standart tek modlu fiber (TMF) arasında birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Bir TÇT kenar filtre yapısı Şekil 2.4'de gösterilmektedir. Bu kenar filtresi için çalışma mekanizması şu şekilde tanımlanabilir: TMF boyunca iletilen ışık ÇMF bölümüne girer ve ÇMF'de bir dizi kılavuz modu uyarır [16].



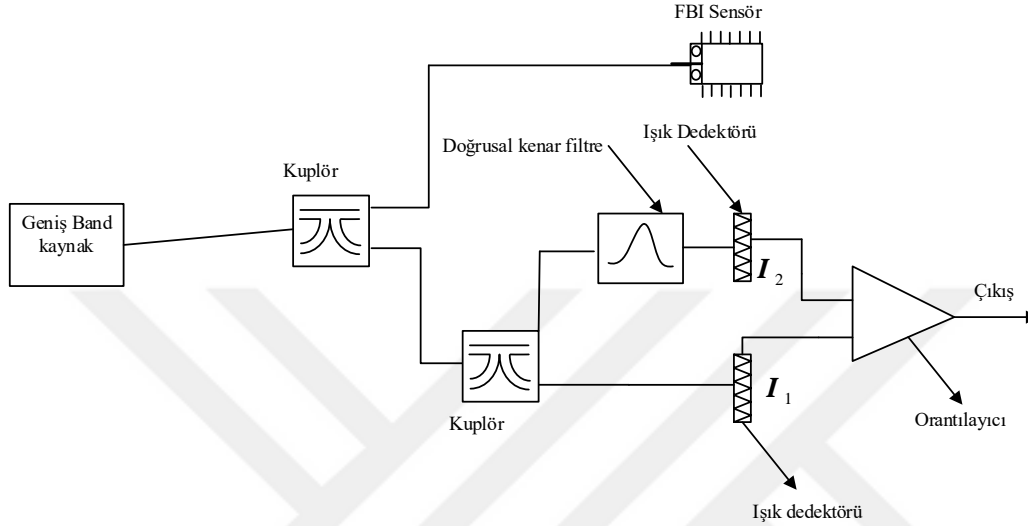
Şekil 2.4. TÇT Kenar Filtrenin şeması [16]

Işık ÇMF bölümüne yayılırken farklı modlar arasında girişim oluşur. Giriş-çıkış iletim kaybının, belirli bir dalga boyu aralığında, yayılan ışığın dalga boyu arttıkça artması veya azalması beklenmektedir [16].

Doğrusal polarize (DP) modlar için modal bir yayılım analizi, TÇT fiber yapısındaki ışık yayılımını araştırmak için kullanılabilir. TÇT tabanlı kenar filtresi tasarlamak için, ÇMF uzunluğunun doğru olarak belirlenmesi gerekir. Sonuç olarak filtre seçilen bir dalga boyu aralığı için pozitif veya negatif bir eğim bulunan bir kenar filtresi gibi davranabilir [17].

2.1.4. Dalga boyu bağımlı toplu kenar filtresi

Melle ve ark. Şekil 2.5’de bir FBI sensöründen yansıyan sinyalin 2×2 kuplör ile iki yola ayrıldığı basit bir sorgulama sistemini göstermiştir [18].



Şekil 2.5. İletken pasif kenar filtresi [18]

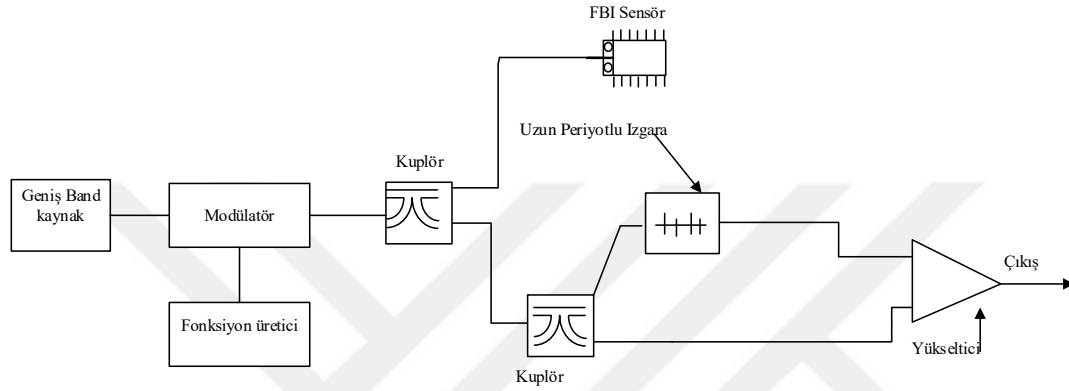
Dalga boyuna bağılı geçirgen filtre, tam ölçekli ölçüm aralığında doğrusaldır. Filtrelenmiş sinyal, nihai çıkış sinyalini elde etmek için referans sinyali ile bölünmüştür. Filtrelenmiş sinyalin filtrelenmemiş sinyal üzerindeki oranı, yansıma pikinin dalga boyu bilgisini verir. Işık kaynağının ve fiber bağlantısının yoğunluk dalgalanmalarının etkilerini ortadan kaldırmak için, sinyal yoğunluğu I_2 ile referans yoğunluğu I_1 arasındaki oran kullanılır ve aşağıdaki biçimde verilir.

$$\frac{I_2}{I_1} = A \left(\lambda_B - \lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{\sqrt{\pi}} \right) \quad (2.1)$$

Bu denklemde A ve λ_0 , kenar filtrenin gradyan ve başlangıç değeridir. λ_B ve $\Delta\lambda$ sırasıyla Bragg dalga boyu ve FBI' nın çizgi genişliğidir. Bu sistemin düşük maliyet, hızlı tepki ve kullanım kolaylığı gibi birçok avantajı bulunmaktadır.

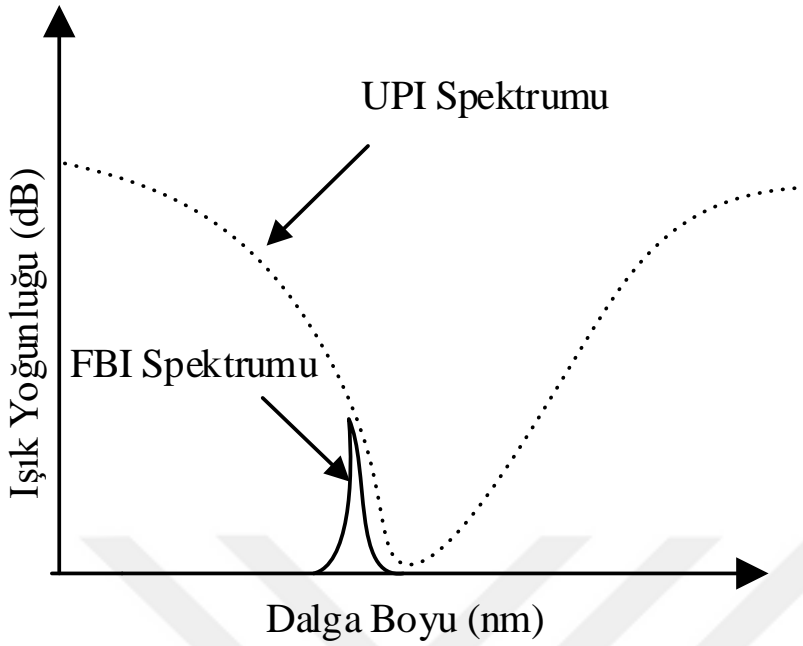
2.1.5. Uzun periyotlu ızgara kenar filtresi

FBI sensörünü sorgulamak için en kolay ve basit yöntem, bir kenar filtresi olarak bir uzun periyotlu ızgara (UPI) kullanmaktır. Bir UPI'nın dalga boyuna bağlı iletim kaybını kullanarak, bir FBI sensörünün gerçekleştirilmesi mümkündür. UPI tabanlı sorgulama sistemi Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. UPI tabanlı sorgulama sistemi [19]

Bu düzenlemede, FBI sensöründen gelen yansıyan ışık UPI vasıtasıyla iletilir ve Bragg dalga boyunda bir farklılık olduğunda iletilen ışık yoğunluğu değiştirilir. Şekil 2.7, FBI ve UPI'nın yansımaya ve iletim tayflarını göstermektedir. UPI'nın eğimi, doğrusal kenar filtre olarak kullanılmasını ve dalga boyu genlik dönüştürücüsü olarak görev yapmasını sağlar [19].



Şekil 2.7. FBI ve UPI'nın yansıtma ve iletim tayfları [19]

2.1.6. Dalga boyu bölmeli çoğullama kenar filtresi

Optik kenar filtreden oluşan bir FBI sorgulama sistemi kritik bir hizalama problemi gösterir ve dolayısıyla sistemin taşınması bir problemdir. Böyle bir durumda, tümüyle pasif fiber bir yaklaşım daha caziptir. Davis ve Kersey, bir FBI sensörü için bir DBÇ birleştirici kullanarak bir demodülasyon tasarımı göstermiştir. DBÇ birleştirici, iki çıkış fiber portu arasındaki kuplaj oranında değişmeyen bir davranış gösterir. DBÇ birleştiricisinin iki çıkışının farkının ve toplamının oranının alınması, dalga boyu sapması algılaması için hizalamanın oluşturduğu problem telafi edilmiş bir çıktı verir [20]. Sistem basittir maliyeti uygundur. Yüksek hassasiyetin bir kısıt olmadığı durumlarda uygulanabilir.

2.1.7. Dar band kaynağı ve dedektör kenar filtresi

Graham ve ark. FBI'nın kendisinin bir kenar filtresi görevi görmesi durumunda yeni bir kenar filtresi sorgulama tekniği uygulamışlardır. Maksimum yansıtma özelliğine sahip tipik bir FBI için yansıtma oranını dalga boyunun bir fonksiyonu olarak görmektedir. Yaklaşık % 20 ve % 80 yansıtma özellikleri arasında doğrusal bir bölge vardır. FBI'nın bu doğrusal kenarı bir optik filtre olarak kullanılabilir. Dar bant lazer kaynağı, daha sonra FBI'nın Bragg dalga boyundaki, gerilimin neden olduğu dalga boyu kayması ile yoğunluğu

modüle edilir. FBI'nın doğrusal kenarı olarak elde edilen yansıyan optik gücün değişimi spektrumda kaymaktadır. Alternatif bir yaklaşım da benzer bir sonuç verebilir. Bu durumda, seçilen fotodiyot dar bir spektral bant genişliği tepkisine sahip olmalıdır. Her iki yöntem de basit ve uygulanması kolaydır [21].

2.1.8. Eğik fiber bragg ızgara kenar filtresi

Bir eğik fiber bragg ızgara (EFBI), Bragg sinyalinin doğrusal demodülasyonu için kenar filtresi olarak kullanılabilir. EFBI yapısına dayanan bir doğrusal kenar filtre demodülasyonu sistemi Zhou ve ark. tarafından önerilmiştir. EFBI' da ızgaralama düzlemleri birbirine paraleldir ancak fiberin eksenine normal değildir. EFBI' nın yayılım modunun farklı dalga uzunlukları için farklı yönlerde ilerlediği ve yayılım yoluyla EFBI tabanlı dalga boyu sorgulamasını gerçekleştirmek için kullanıldığı bulunmuştur [22]. Bu basit sistemin avantajları, tamamen fiber bir tasarım, dinamik çalışma, yüksek kararlılık ve daha düşük maliyettir [23].

2.2. Erbiyum Katkılı Fiber ve Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçler

Optik yükselteçlerin temel konsepti ilk olarak 1962'de Geusic ve Scovil tarafından tanıtılmıştır [24]. Kısa bir süre sonra, 1964 yılında E. Snitzer tarafından, daha sonra American Optical Company'de optik fiber yükselticiler icat edilmiştir. Snitzer bir neodmiyum katkılı fiber yükselteci göstermiştir. Fiber 1 m uzunluğunda, 10 nanometre bir çekirdeğe sahipti ve neodmiyum iyonlarını uyandıran bir flaş lambasının etrafına sarılmıştı [25]. Fiber uçları, lazer salınımını önlemek için belli bir açıyla parlatıldı. Bu teknik, yirmi yılı aşkın bir süredir alanında çalışanların tekrar kullandığı bir tekniktir. Kendiliğinden yayılımdan kaynaklanan gürültünün ortaya çıkışı, Snitzer'in yazdıklarının sonucunda belirtilmiştir. Bu çalışma bundan sonra uzun süre kullanılmıştır. Telekomünikasyon için silika cam fiberlerin ortaya çıkmasından sonra son derecede önemli bir teknolojik yenilik olarak ortaya çıkmıştır. Snitzer, ilk erbiyum katkılı cam lazeri de göstermiştir [26].

Küçük çaplı kristal fiber biçimindeki nadir toprak katkılı lazerler, fiber iletim sistemleri için potansiyel cihazlar olarak 1970'lerin başında araştırılmıştır. Bu çalışma Stone ve Burrus tarafından Bell Telephone Laboratories'de yapılmıştır [27-29]. Çekirdekler neodmiyum ile çevrelenmiş bir erimiş silika kaplama ile katkılanmıştır. Fiber daha sonra

bir lazer diyot pompası ile bir pompa lazerine hizalanmıştır [30]. Lazer pompa eşiği 890 nm'de başlatılmış ve pompa gücü 0.6 mW kadar düşürülebilmiştir [31].

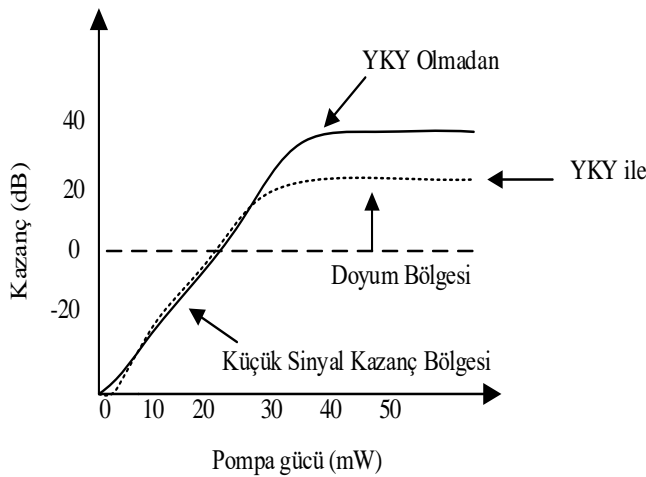
Tek modlu fiberlerin nadir toprak katkısının ilk gösterimi 1983'de gerçekleştirilmiştir. Bell Telephone Laboratories'teki Broer, Simpson ve iş arkadaşları tarafından yapılan bu çalışmanın amacı, amorf bilgisayarlarda nadir toprak iyonlarının temel gevşeme mekanizmalarının fiziksel incelenmesiydi [32, 33]. Kimyasal buhar birikimi değiştirme (KBBD) yöntemi ile imal edilen flor katkılı silika kaplama ile çevrelenmiş SiO₂ çekirdeğine sahipti. Fiberin herhangi bir soğurum tepesinden dolayı kaybı nispeten yüksekti [34]. Birkaç yıl sonra İngiltere, Southampton Üniversitesi'ndeki Poole ve arkadaşları tarafından, nadir toprak ile katkılı tek modlu fiberlerin imalinde KBBD tekniğinin kullanılmasının daha da iyileştirilmesi sağlandı [35, 36]. Bu, düşük kayba sahip, nadir bulunan toprak katkılı fiberlerle sonuçlandı. GaAlAs lazer diyoduyla pompalanan bir Nd⁺³ katkılı tek modlu fiber lazer, 1985 yılında Southampton Üniversitesi'nde ilk defa gösterildi [37]. Lazer, 2 m uzunluğundaydı; parçalanmış fiber uçları, lazer dalga boyunda yüksek yansıtıcı aynalarla direkt olarak birbirine yapıştırılmıştı ve pompa ışığı, fiberin uçlarından birinden enjekte edildiğinden, pompa dalga boyunda yansyordu.

Düşük kayıplı tek modlu fiber lazerlerin geliştirilmesinden kısa bir süre sonra fiber yükselteçlerin gelişimi başladı. Erbiyum katkılı tek modlu fiber yükselteç 1.5 mikrometre sinyallerinin yükseltilmesi için aynı anda 1987'de Southampton Üniversitesi'nde ve AT & T Bell Laboratuvarlarında geliştirildi. 1960'lara kıyasla 1980'lerde fiber optik ve optik mühendisliğinde sanatın gelişimini yansıtan teknik iyileştirmelerin yanı sıra, bu deneyler, Snitzer'in 1964'teki orijinal keşfinin ve onun yaptıklarının kanıtıydı. Önemli bir ilerlemede Er⁺³ iyonunun, modern fiber optik iletim sistemleri için 1,5 mikrometrelilik bir yükseltme ortamı olarak ideal bir şekilde uyduğu fark edildi. Daha önce bahsedilen yükselteç gösterimlerinde büyük oranda lazer pompaları kullanıldığı göz önüne alındığında, kalan bir diğer engel, bir lazer diyot ile pompalanan etkili bir erbiyum katkılı fiber yükseltecini (EKFY) göstermektir. 1989 yılında Nakazawa ve iş arkadaşları tarafından, Snitzer tarafından yapılan deney sonrası, 980 nm erbiyum kuvvetlendirme için uygun bir pompa dalga boyu olarak elde edildi [38]. Nakazawa daha önce fiber Raman yükselteçleri için geliştirilmiş lazer diyotlu pompalar kullanmayı başardı [39]. Yarı iletken yükselteçler ile optik yükseltmeyi araştıran önceki çalışma, optik olarak güçlendirilmiş iletim sistemlerinde sinyal ve gürültü konularını anlamaya yönelik bir temel sağladı [40]. 1989'dan başlayarak,

EKFY'lerin, tamamen yeni nesil yüksek kapasiteli deniz altı ve karasal fiber optik bağlantılar ve ağların katalizörü olduğunu söylenebilir. Bir fiberoptik iletim kablosundaki EKFY'lerin ilk denizaltı testi 1989'da gerçekleştirilmiştir [41]. Birkaç yıl sonra, ticarileşmeye başlamıştır. 1990'lı yıllarda bir dizi optik iletim teknolojisinde yapılan son gelişmelerle birlikte, lazerler, fiber-ızgaralı cihazlar veya sinyal işleme fiber cihazları gibi yeni bileşenleri olan optik yükselteç, günümüzün yüksek kapasiteli ihtiyaçlarına bir çözüm getirmekte ses ve veri iletim uygulamalarında kullanılmaktadır [16-41].

2.2.1. Yükseltilmiş kendiliğinden yayılma

Optik yükselteçlerde gürültü oluşumu aslında lazer iyonlarının kendiliğinden uyarımının bir etkisidir. Bazı iyonlar belirli bir süre sonunda toprak seviyesine geri dönerken bu arada bir foton yayarlar. Bu foton karakteristiği, gelen sinyalle uyumlu değildir ve uyarılmış yayımda oluşan fotona zıttır. Böylece kendiliğinden oluşan fotonlar toplanarak fiber yükselteci tarafından çoğaltılır ve sinyal ışığına gürültü sinyali eklenmiş olur. Bu temel gürültüye YKY denir. Tüm optik yükselteçler kendiliğinden yayılma gibi önemli bir faktörü ihmal eder. Yükseltilmiş geçişlerinin flüoresan spektrumu içindeki herhangi bir frekansta ortaya çıkabilen bu gürültü, yükselteçteki kazanımı açıkça azaltır. Sonuçta, yükselteçten elde edilen toplam kazanç miktarını sınırlar [46]. Şekil 2.8'te bu açıkça görülmektedir.



Şekil 2.8. YKY'nin Kazanç Etkisi [47]

2.2.2. Yükseltmiş kendiliğinden yayılma denklemleri

Sinyal, pompa ve YKY güçlerinin yayınımları için farksal denklemler sırasıyla:

$$\frac{dP_s}{dz} = 2\pi \int_0^\infty I_s [\sigma_s^e N_{21}(r) - \sigma_s^a N_1(r)] r dr \quad (2.2)$$

$$\frac{dP_p}{dz} = \pm 2\pi \int_0^\infty I_p [\beta \sigma_p^e N_{21}(r) - \sigma_p^a N_1(r)] r dr \quad (2.3)$$

$$\frac{dP_{YKY}^\pm}{dz} = \pm 2h\nu_s \int_0^\infty 2\pi \sigma_s^e N_{21} f_{YKY}^\pm(r) r dr \pm 2\pi \int_0^\infty [\sigma_s^e N_{21}(r) - \sigma_s^a N_1(r)] P_{YKY}^\pm f_{YKY}^\pm r dr \quad (2.4)$$

dir. Burada f_{YKY}^\pm normalize edilmiş YKY yoğunluk profili, P_{YKY}^\pm z yönünde Yükseltmiş kendiliğinden yayınım gücü ve YKY spektrumu ileri yönde olduğu kadar geri yönde de tanımlanmalıdır.

$$P_{YKY}^\pm = P_{YKY}^+ + P_{YKY}^- \quad (2.5)$$

Pompa, sinyal ve YKY daha pratik alınırsa $f_p(r) \approx f_s(r) \approx f_{YKY}^+(r) = f(r)$ varsayılmış ve aynı yönde + z yönünde yayıldığı varsayılmıştır [42, 43, 44].

Çıkış sinyal gücü $z = L$ alınırsa yükselteç kazancı ve boyu arasındaki ilişki;

$$\frac{P_s(L)}{P_s(0)} = \exp(-\alpha_s L) \cdot \exp\left(\frac{h\nu_s}{P_s^{int}} \left[\frac{P_p(0) - P_p(L)}{h\nu_p} + \frac{(P_s(0) + P_{YKY}^+(0)) - (P_s(L) + P_{YKY}^+(L))}{h\nu_s} \right]\right) \quad (2.6)$$

olarak elde edilir. Burada P_s^{int} sinyal ışınının gerçek doyum gücüdür ve denklemi aşağıda görülmektedir:

$$P_s^{\text{int}} = \frac{h\nu_s (A_{\text{eff}} - 2\tau\sigma_s^e\Gamma)}{\tau\sigma_s^a\Gamma(1+\beta+\eta)} \quad (2.7)$$

Burada $\eta = \sigma_s^e / \sigma_s^a$ verimi göstermektedir. Maksimum kazanç için $dP_s / dP_p = 0$, dır. Şayet maksimum kazanç $G = P_s(L) / P_s(0)$ olarak tanımlanırsa aşağıdaki denklemden çözülebilir:

$$\frac{\nu_p}{\nu_s} \frac{P_s(0)}{P_p(L)} (G-1) + \frac{\sigma_p^a}{\sigma_s^a} \ln(G) = \frac{P_p(0)}{P_p(L)} - 1 - \ln\left(\frac{P_p(0)}{P_p(L)}\right) \quad (2.8)$$

$$P_{\text{YKY}}^{\pm} = P_{\text{YKY}}^+ + P_{\text{YKY}}^- \quad (2.9)$$

Pompa, sinyal ve YKY daha pratik alınırsa $f_p(r) \approx f_s(r) \approx f_{\text{YKY}}^+(r) = f(r)$ varsayılmış ve aynı yönde + z yönünde yayıldığı varsayılmıştır [42, 43, 44].

Çıkış sinyal gücü $z = L$ alınırsa yükselteç kazancı ve boyu arasındaki ilişki;

$$\frac{P_s(L)}{P_s(0)} = \exp(-\alpha_s L) \cdot \exp\left(\frac{h\nu_s}{P_s^{\text{int}}} \left[\frac{P_p(0) - P_p(L)}{h\nu_p} + \frac{(P_s(0) + P_{\text{YKY}}^+(0)) - (P_s(L) + P_{\text{YKY}}^+(L))}{h\nu_s} \right]\right) \quad (2.10)$$

olarak elde edilir. Burada P_s^{int} sinyal ışınının gerçek doyum gücüdür ve denklemi aşağıda görülmektedir:

$$P_s^{\text{int}} = \frac{h\nu_s (A_{\text{eff}} - 2\tau\sigma_s^e\Gamma)}{\tau\sigma_s^a\Gamma(1+\beta+\eta)} \quad (2.11)$$

Burada $\eta = \sigma_s^e / \sigma_s^a$ verimi göstermektedir. Maksimum kazanç için $dP_s / dP_p = 0$, dır. Şayet maksimum kazanç $G = P_s(L) / P_s(0)$ olarak tanımlanırsa aşağıdaki denklemden çözülebilir:

$$\frac{v_p}{v_s} \frac{P_s(0)}{P_p(L)} (G-1) + \frac{\sigma_p^a}{\sigma_s^a} \ln(G) = \frac{P_p(0)}{P_p(L)} - 1 - \ln\left(\frac{P_p(0)}{P_p(L)}\right) \quad (2.12)$$

Sonsuz küçük dV hacimli bir lazer ortamında $+z$ yönünde kendiliğinden üretilen ve fibere aktarılan ν ve $\nu + \delta\nu$ arasındaki frekanslarda rastgele kutuplanmış fotonların sayısı [45]:

$$dn(\nu) = A_{21} g(\nu) \delta\nu \frac{\Delta\Omega}{4\pi} dV \int_s N_2(r, \theta) \overline{\psi_s}(r, \theta) r dr d\theta \quad (2.13)$$

ile verilir. Burada $g(\nu)$ çizgi fonksiyonu [46, 47] $A_{21} = 1/\tau$ kendiliğinden düşme oranı, $\Delta\Omega/4\pi$ fiber tarafından kendiliğinden ışığın yakalama oranı ve integral terimi de kılavuzlanmış mod ve uyarılmış iyonların yoğunluk dağılımları arasındaki örtüşmeyi (overlap integrali) göstermektedir. Çizgi fonksiyonu $g(\nu) = 8\pi n^2 \tau \sigma_e(\nu) / \lambda_s^2$ ile tanımlanır, burada n ortam kırılma indisidir [46]. Yoğun açılı yakalaması $\Delta\Omega$ ile tanımlanabilir, kılavuzlanmış lazer boşluklarında, ışın enerjisini yüzeyinde soğuran moda karşılık gelir. $\Delta\Omega = \lambda_s^2 / n^2 \pi \omega_s^2$ ve $dV = \pi \omega_s^2$ ile tanımlanır. Birim frekans başına kendiliğinden yayınım gücü $dP_{KY} = h\nu dn(\nu)$, dir. Bu tanımlamalarla $\delta\nu$ band genişliğinde kendiliğinden yayınım oranı,

$$\frac{dP_{KY}}{dz} = 2P_o \sigma_e(\nu) \int_s N_2(r, \theta) \overline{\psi_s}(r, \theta) r dr d\theta \quad (2.14)$$

dir. Burada $P_o = h\nu \delta\nu$, $\delta\nu$ band genişliğinde, kendiliğinden yayılmış bir foton gürültüsünün gücüdür. P_o terimi eşdeğer giriş gürültüsü olarak ta kullanılır. Eş. 2.13'deki 2 faktörü fiberin her iki kutuplu modlarında meydana gelen kendiliğinden yayınımı

göstermektedir. λ_s dalga boyunda ve $\delta\nu$ band genişliğindeki toplam sinyal gücünün ifadesi:

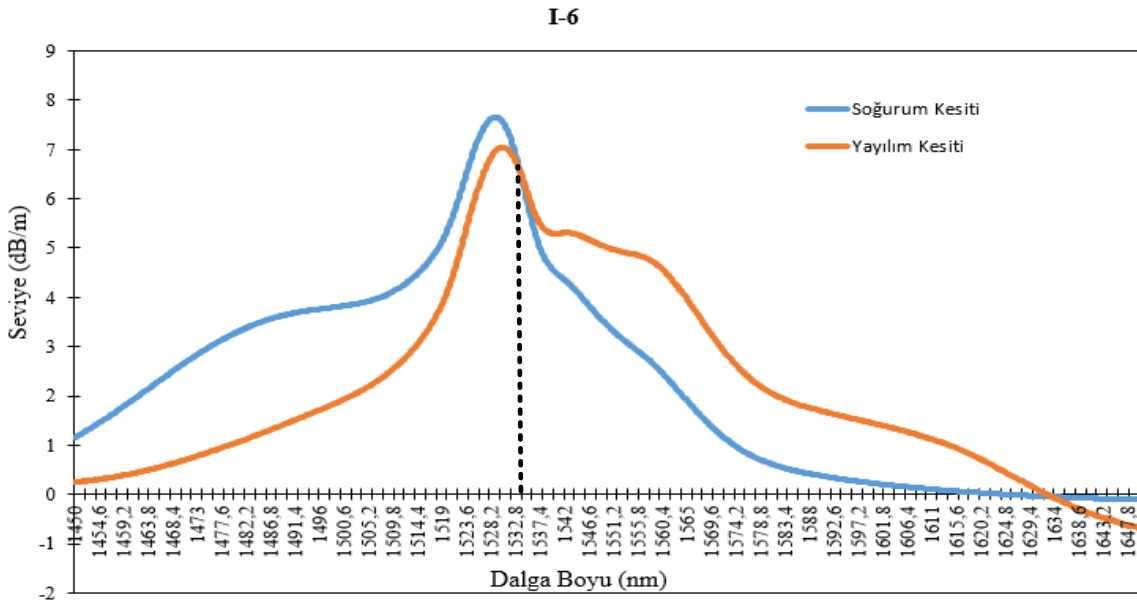
$$\frac{dP_s(\lambda_s)}{dz} = \sigma_a(\lambda_s) 2\pi \int_s \{ \eta(\lambda_s) N_2(r) [P_s(\lambda_s) + 2P_o] - N_1(r) P_s(\lambda_s) \} \overline{\psi_s}(r) r dr \quad (2.15)$$

dir. Yukarıdaki denklem, kendiliğinden oluşan gürültünün yükseltilmesi ve sinyalin yükseltilmesi olaylarının her ikisini de tanımlar. Şayet uyarılmış durumdaki N_2 popülasyonu sıfırdan farklı ise, Eş. 2.14'un sağ tarafındaki sabit $2P_o$ terimi fiber boyunca optik gürültünün oluşmasına neden olur, fiberin girişinde optik sinyal olup olmadığını, $\delta\nu$ band genişliğindeki kılavuzlanmış toplam YKY'yi gösterir. YKY negatif z yönünde oluşur ve sinyalin tersi yönünde yayılır [46].

2.2.3. EKF'lerin karakteristiği ve soğurum yayılım kesitleri

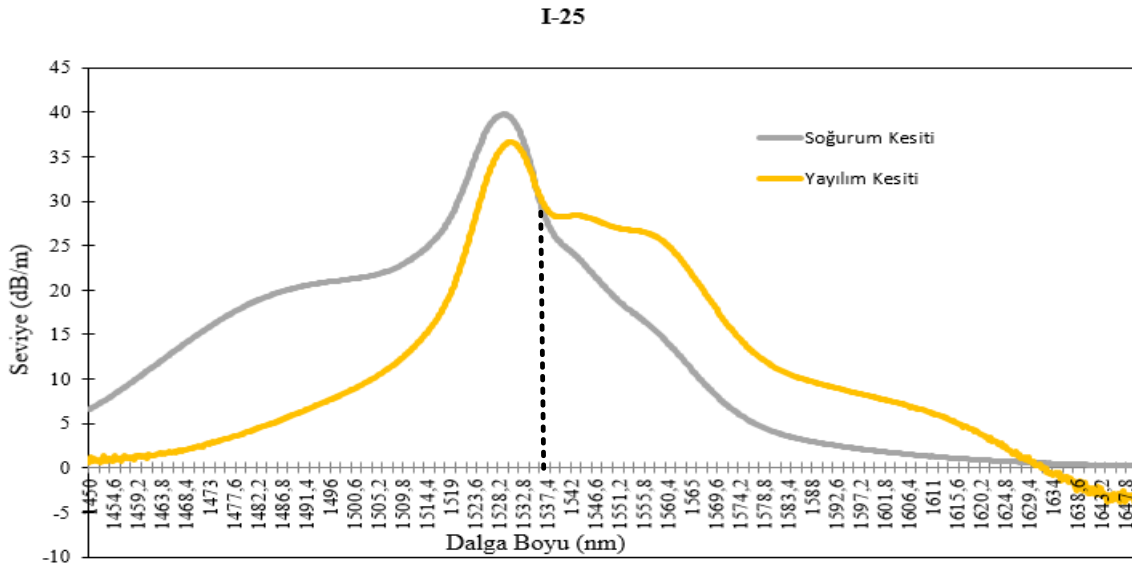
Bir EKF'nin karakteristiği, yaygın olarak kullanılan bir modele biraz farklı yaklaşımlar ile literatürde matematiksel olarak anlatılmıştır. Esasen bu karakteristik; pompa, sinyal güçleri ve YKY'nin bir fonksiyonu olarak popülasyon dinamiklerini hesaba katan ve bu güçlerin fiber boyunca yayılımı için bir fonksiyon olarak birleşen diferansiyel denklemlerden oluşan bir sistemdir [48, 49]. Genellikle, pompa ve sinyal monokromatik yayılım olarak ele alınabilir, böylece her birinin yayılımı tek bir denklemle tanımlanabilir. Bu yaklaşım YKY'ye uygulanamaz. İki yayılım denklemi gerektirir: Biri YKY + (ortak yayılım YKY) ve diğeri YKY- (karşı yayılım YKY) dir.

Herhangi bir çalışma koşulunda bir EKF karakterinin nicel tahminlerini elde etmek için, çalışmada görünen EKF karakteristik parametrelerinin değerlerini bilmek gereklidir. Özellikle sinyal dalga uzunlukları için, soğurum ve yayılım kesitleri gereklidir [50].



Şekil 2.9. I-6 için Soğurum Yayılm Grafiği

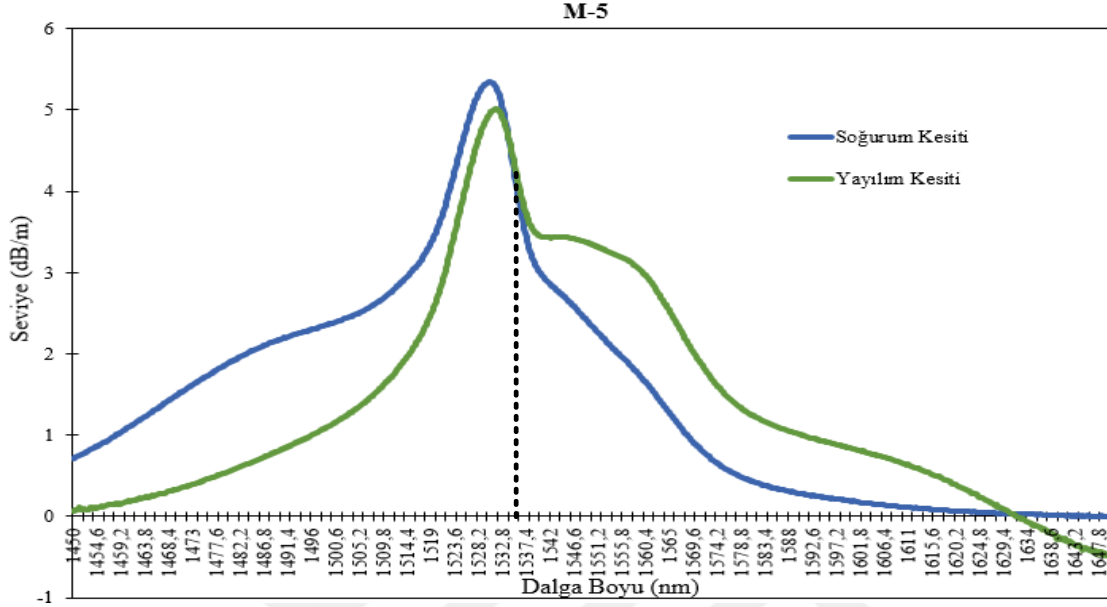
Şekil 2.9 da bu tez çalışmasında kullanılan FiberCore firmasına ait I-6 EKF' sinin soğurum ve yayılım kesit alanları görülmektedir. Yayılm kesit alanının soğurum kesit alanından büyük olduğu alanlarda EKF ile kazanç elde edilebilir. I-6 fiberi için bu değerler 1532.8 nm-1634 nm arasındır.



Şekil 2.10. I-25 için Soğurum Yayılm Grafiği

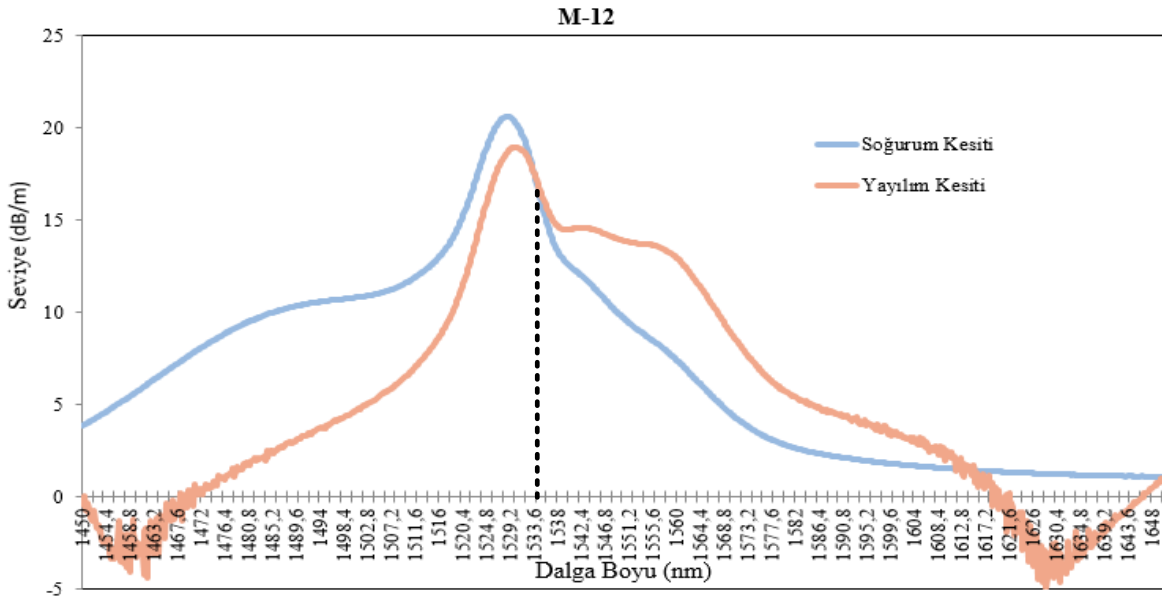
Şekil 2.10.'da bu tez çalışmasında kullanılan FiberCore firmasına ait I-25 EKF'sinin soğurum ve yayılım kesit alanları görülmektedir. Yayılm kesit alanının soğurum kesit

alanından büyük olduğu alanlarda EKF ile kazanç elde edilebilir. I-25 fiberi için bu değerler 1537.4 nm-1629.4 nm arasıdır.



Şekil 2.11. M-5 için Soğurum Yayılım Grafiği

Şekil 2.11.'de bu tez çalışmasında kullanılan FiberCore firmasına ait M-5 EKF'sinin soğurum ve yayılım kesit alanları görülmektedir. Yayılım kesit alanının soğurum kesit alanından büyük olduğu alanlarda EKF ile kazanç elde edilebilir. M-5 fiberi için bu değerler 1535.4 nm-1629.4 nm arasıdır.



Şekil 2.12. M-12 için Soğurum Yayılım Grafiği

Şekil 2.12.'de bu tez çalışmasında kullanılan FiberCore firmasına ait M-12 EKF' sinin soğurum ve yayılım kesit alanları görülmektedir. Yayılım kesit alanının soğurum kesit alanından büyük olduğu alanlarda EKF ile kazanç elde edilebilir. M-12 fiberi için bu değerler 1533.6 nm-1612.8 nm arasındır.



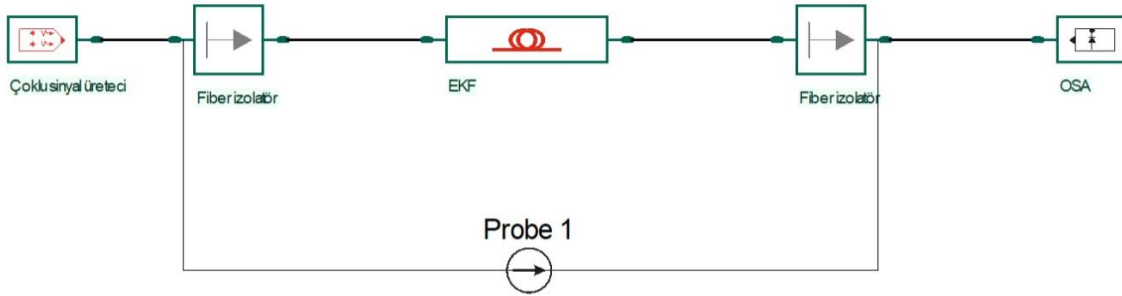


3. BENZETİM VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, OptiAmplifier 4.0 simülasyon yazılımı kullanılarak 1528-1562.7 nm arasında dalga boyuna sahip -5 dBm, -10 dBm, -15 dBm, -20 dBm güçlerindeki sinyaller; I-6, I-25, M-5, M-12 erbiyum katkılı fiberlere uygulanmıştır. Daha sonra EKF uzunlukları değiştirilerek güç ve eğim durumları incelenmiştir. EKF çeşitlerinin farklı uzunluk ve güçlerdeki benzetimlerden karakteristik özellikleri gözlenmiş ve değerlendirilmiş, kenar filtre tasarımı için en uygun parametreler çıkarılmıştır.

Çıkan bu parametrelere göre en uygun fiber uzunluklarının I-6 için 20 metre, I-25 için 5 metre, M-5 ve M-12 için 12 metre çıkarımı yapılmış, bu özelliklere göre önce EKFY'siz olarak daha sonra EKFY'li olarak deneysel sistemler tasarlanmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir.

3.1. Benzetim Çalışmaları



Şekil 3.1. Benzetim Şeması

Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi genişband lazer kaynağına sırasıyla I-6, I-25, M-5, M-12 erbiyum katkılı fiberler bağlanmış ve çıkan sonuçlar optik spektrum analizörü ile incelenmiştir.

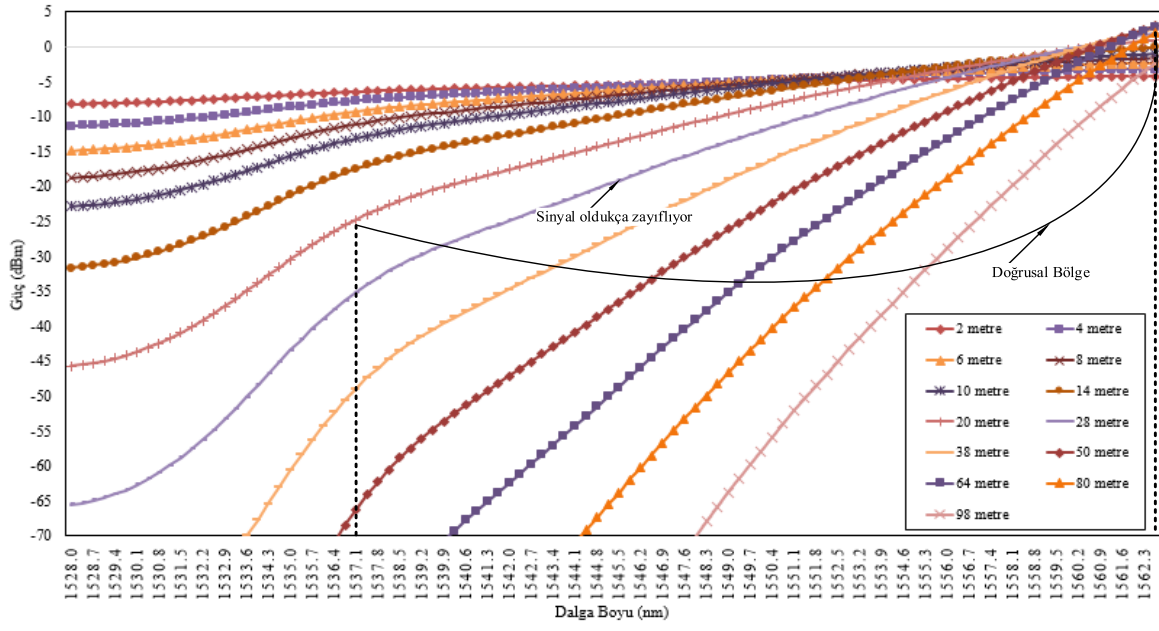
Çizelge 3.1.'de benzetimde kullanılan EKF'lerin yazılımda kullanılan parametreleri görülmektedir. Çizelgede 1300 nm kayıp, iyon ömrü, öz yarıçapı, erbiyum yarıçapı, iyon yoğunluğu ve nümerik açıklık değerleri görülmektedir. Fiber uzunlukları ise kenar filtre tasarımında analiz için değiştirilmiş ve en uygun uzunluk değeri belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Benzetimde kullanılan EKF'lerin yazılımda kullanılan parametreleri

Fiber Türleri	Uzunluk (m)	1300 nm kayıp (dB/km)	İyon ömrü (ms)	Öz Yarı Çapı (um)	Erbiyum yarı çapı (um)	İyon yoğunluğu (m ⁻³)	Nümerik açıklık
I-6	2-4-6-8-10-14-20-28-38-50-64-80-98	8,4	10	1,6	1,5	6,8e+024	0,23
I-25	1-2-3-4-5	14,7	10	1,4	1,3	6,8e+024	0,24
M-5	3-6-9-12	14,65	10	1,6	1,5	6,8e+024	0,23
M-12	5-10-15-20	49,67	10	1,7	1,6	6,8e+024	0,22

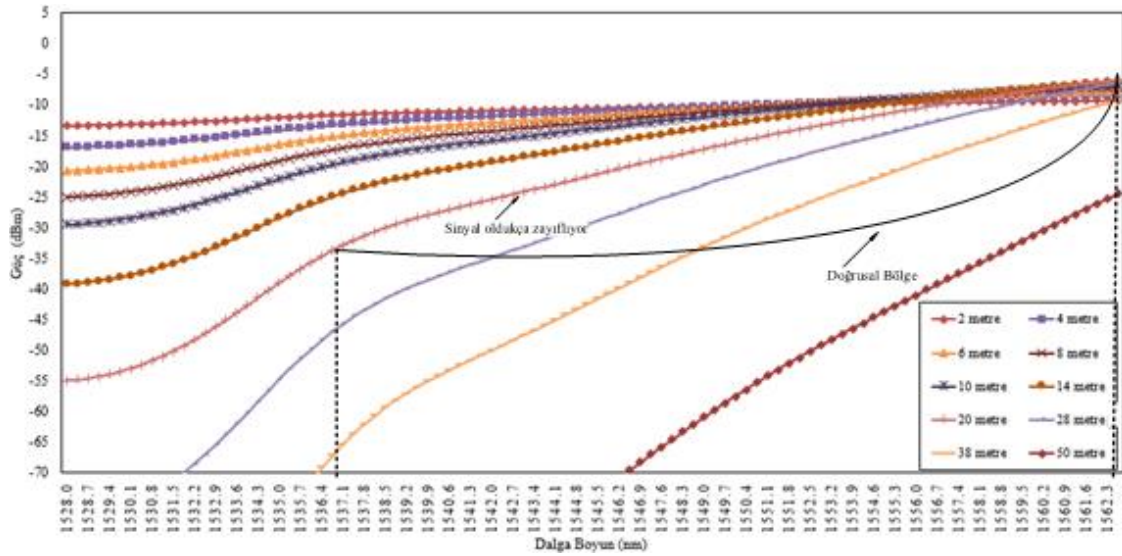
3.1.1. I-6 erbiyum katkılı fiber için benzetim sonuçları

Farklı fiber uzunluklarında ve farklı giriş sinyal gücünde elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Sırasıyla -5 dBm, -10 dBm, -15 dBm ve -20 dBm'lik giriş güçlerinde; 2 m, 4 m, 6 m, 8 m, 10 m, 14 m, 20 m, 28 m, 38 m, 50 m, 64 m, 80 m, 98 m'lik fiber uzunlukları için elde edilen sonuçlar Şekil 3.2 ve Şekil 3.5 arasında görülmektedir. Düşük sinyal güçlerinde sinyal zayıflaması artacağından -20 dBm den daha düşük güçler için analiz yapılmamıştır.



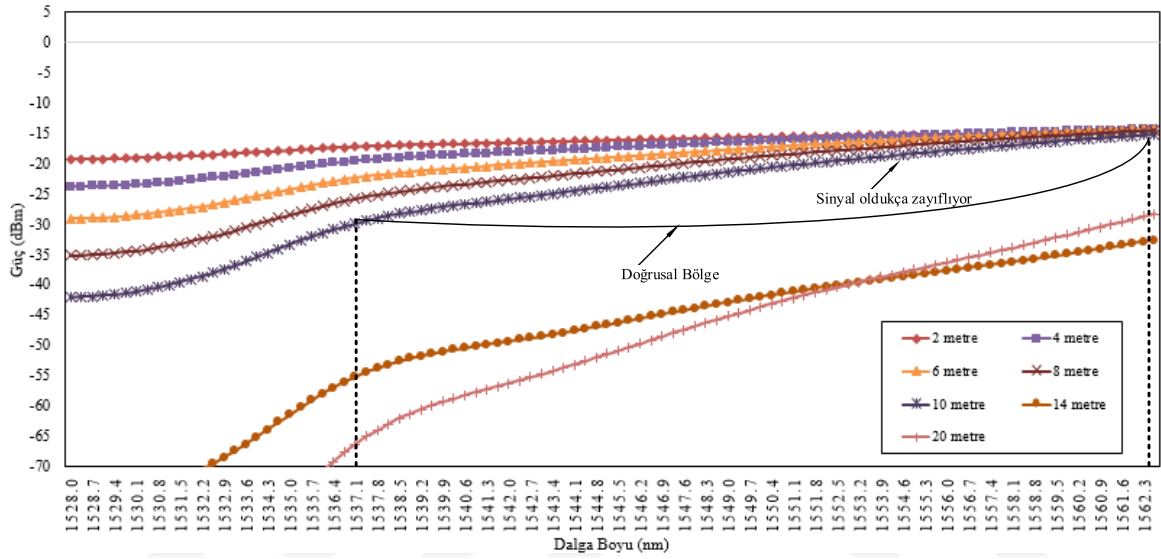
Şekil 3.2. -5 dBm giriş gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi

Şekil 3.2.'de -5 dBm sinyal gücü için 2 ile 98 metre arasındaki EKF uzunluklarına karşılık çıkış güç spektrumları incelenmiştir. 28 metreden sonra sinyal güçleri oldukça zayıflamakta ve bu uzunluktan sonraki uzunluk değerleri için bandın bazı kısımları görülemez hale gelmektedir.



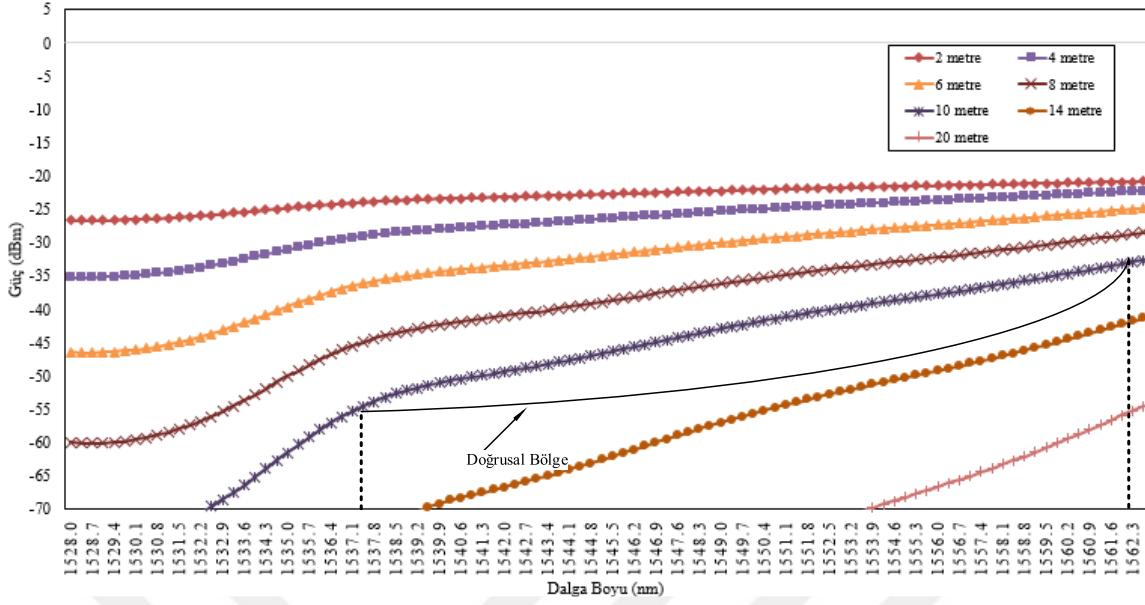
Şekil 3.3. -10 dBm giriş gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi

Şekil 3.3’de ise -10 dBm’lik giriş sinyal gücü için benzetimler tekrarlanmıştır. 2 m, 4 m, 6 m, 8 m, 10 m, 14 m, 20 m, 28 m, 38 m, 50 m, 64 m, 80 m, 98 m’lik fiber uzunlukları için yapılan ölçümlerde Şekil 3.2’den farklı olarak 50 metreden sonra bandın sonuç alınamayan kısımları artmıştır. Sinyal gücü zayıfladığı için çıkış spektrumu da zayıflamış ve bu değerler için çıkış spektrumu oluşmamıştır. Sonuçlar incelendiğinde 20 metreden sonraki uzunluklarda çıkışın oldukça zayıfladığı görülmüştür.



Şekil 3.4. -15 dBm giriş gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi

Şekil 3.4 ’de ise -15 dBm’lik giriş sinyal gücü için benzetimler tekrarlanmıştır. 2 m, 4 m, 6 m, 8 m, 10 m, 14 m, 20 m, 28 m, 38 m, 50 m, 64 m, 80 m, 98 m’lik fiber uzunlukları için yapılan ölçümlerde Şekil 3.3’den farklı olarak 20 metreden sonra bandın büyük bölümünde ölçüm alınamamıştır. Sinyal gücü zayıfladığı için çıkış spektrumunda çok zayıflamış ve bu değerler için çıkış oluşmamıştır. Sonuçlar incelendiğinde bu giriş gücü değeri için 10 metreden sonraki uzunluklarda yüksek sinyal kayıpları gözlemlenmiştir.

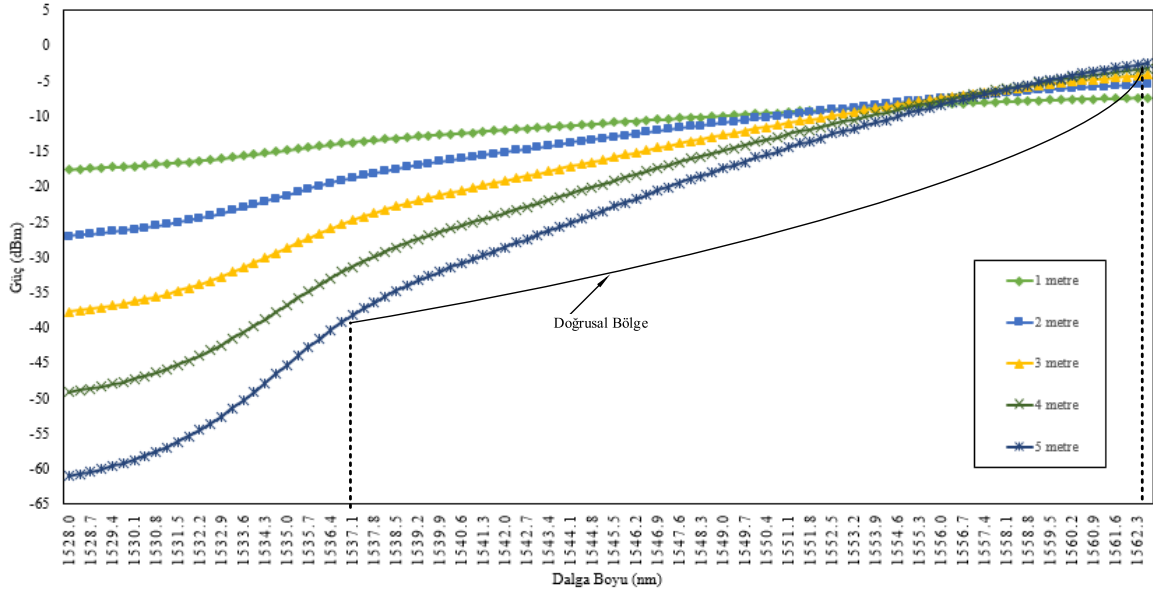


Şekil 3.5. -20 dBm giriş sinyali için dalga boyuna bağlı güç değişimi

Şekil 3.5.'de ise giriş sinyali daha da zayıflatılarak -20 dBm'e kadar düşürülmüştür. 2 m, 4 m, 6 m, 8 m, 10 m, 14 m, 20 m, 28 m, 38 m, 50 m, 64 m, 80 m, 98 m'lik fiber uzunlukları için ölçümler tekrar alınmaya çalışılmış ancak 20 metreden sonra ölçüm alınamamıştır. Çıkan sonuçlar değerlendirilerek doğrusallık ve kapsadığı bant genişliği incelemesi sonucunda en uygun uzunluk 20 metre olarak belirlenmiştir.

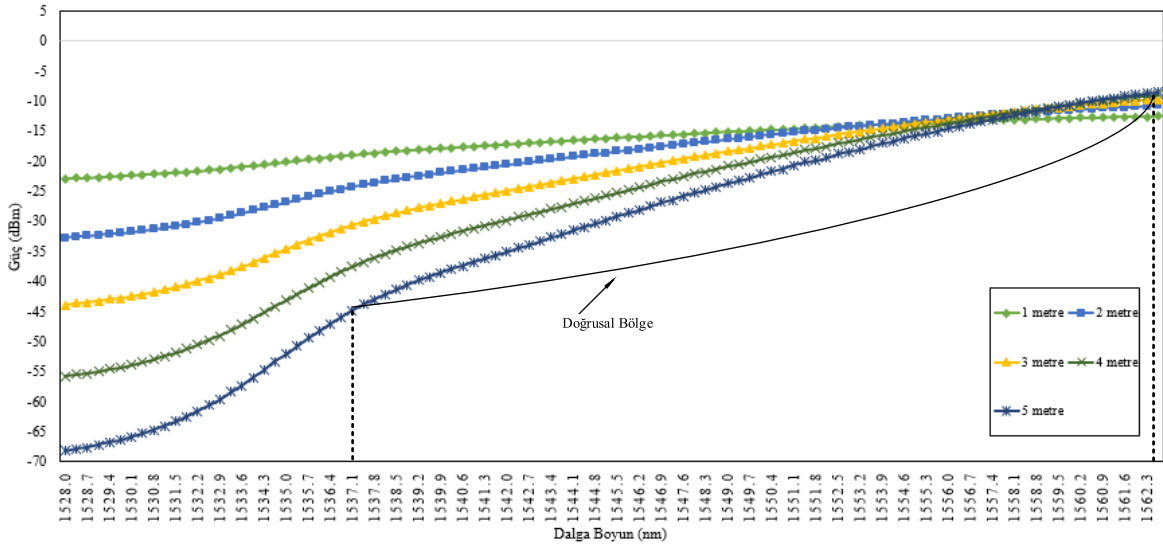
3.1.2.I-25 erbiyum katkılı fiber için benzetim sonuçları

Farklı fiber uzunlukları ve farklı giriş sinyal güçlerindeki sonuçlar analiz edilmiştir. Sırasıyla -5 dBm, -10 dBm, -15 dBm ve -20 dBm'lik giriş güçlerinde; 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m'lik fiber uzunluklarında çıkan sonuçlar Şekil 3.6 - Şekil 3.8 arasında görülmektedir. -5 dBm sinyal gücünde 1 ile 5 metre arasında çıkış gücü görülmemiştir.



Şekil 3.6. -10 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi

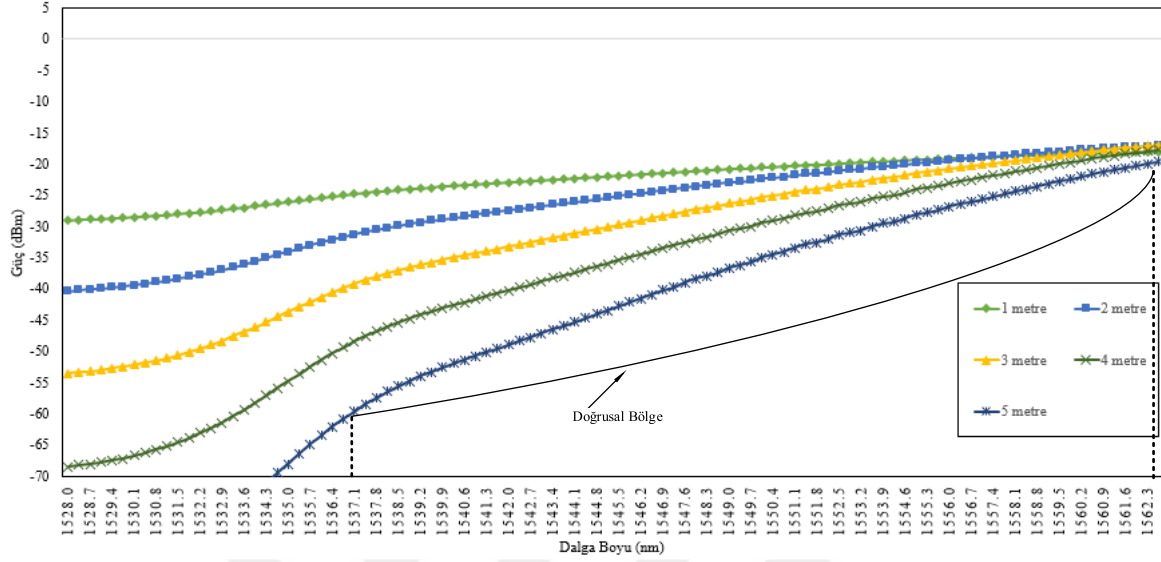
Şekil 3.6.'da -10 dBm'lik giriş sinyal gücü için benzetimler tekrarlanmıştır. 1, 2, 3, 4, 5 m'lik fiber uzunlukları için yapılan ölçümlerde -5 dBm'lik giriş gücünden farklı olarak sonuçlar alınmıştır. EKF uzunluklarına göre bandeda sonuç alınan her bir metrelik uzunluk farkı için çıkış gücü için yaklaşık -10 dBm'lik bir azalma oluşturmuştur.



Şekil 3.7. -15 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi

Şekil 3.7. 'de ise -15 dBm'lik giriş sinyal gücü için benzetimler tekrarlanmıştır. 1, 2, 3, 4, 5 m'lik fiber uzunluklarında yapılan ölçümlerde Şekil 3.6'dan farklı olarak sinyal gücü

azaltıldığından çıkış güçleri de azalmıştır. Spektrumda görülen eğimler Şekil 3.6' ya benzerlik göstermektedir.

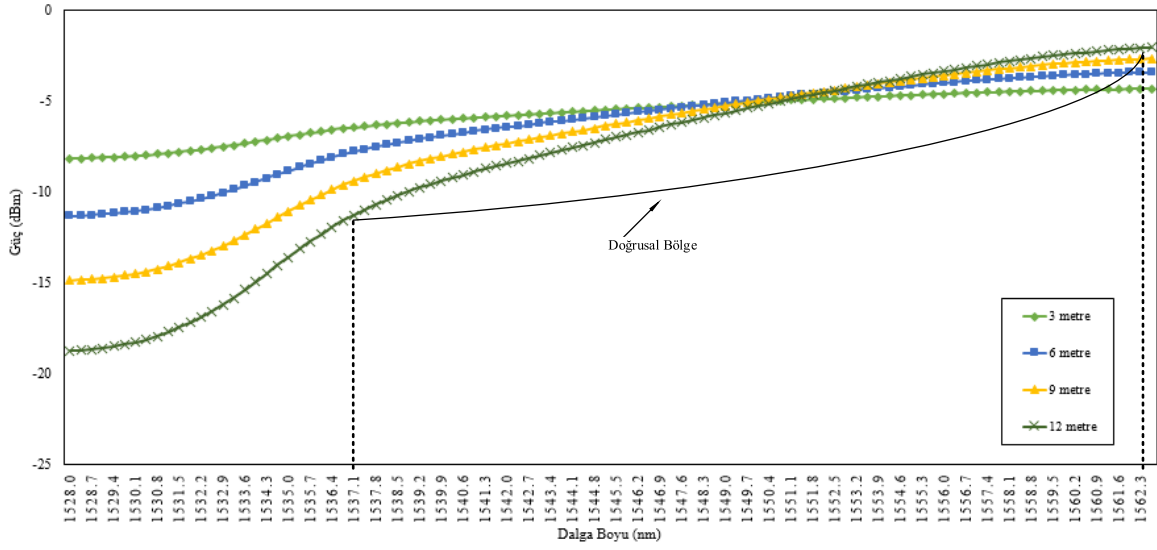


Şekil 3.8. -20 dBm giriş sinyali için dalga boyuna bağlı güç değişimi

Şekil 3.8.'de ise giriş sinyali -20 dBm' düşürülmüştür. 1, 2, 3, 4, 5m'lik fiber uzunluklarında yine ölçümler alınmıştır. Şekil 3.7'den farklı olarak 5 metrelik EKF için alınan ölçümlerde spektrumun bazı kısımlarında çıkış alınmadığı görülmüştür. Çıkan sonuçlar değerlendirilerek doğrusallık ve kapsadığı bant genişliği incelemesi sonucunda en uygun uzunluk 5 m olarak belirlenmiştir.

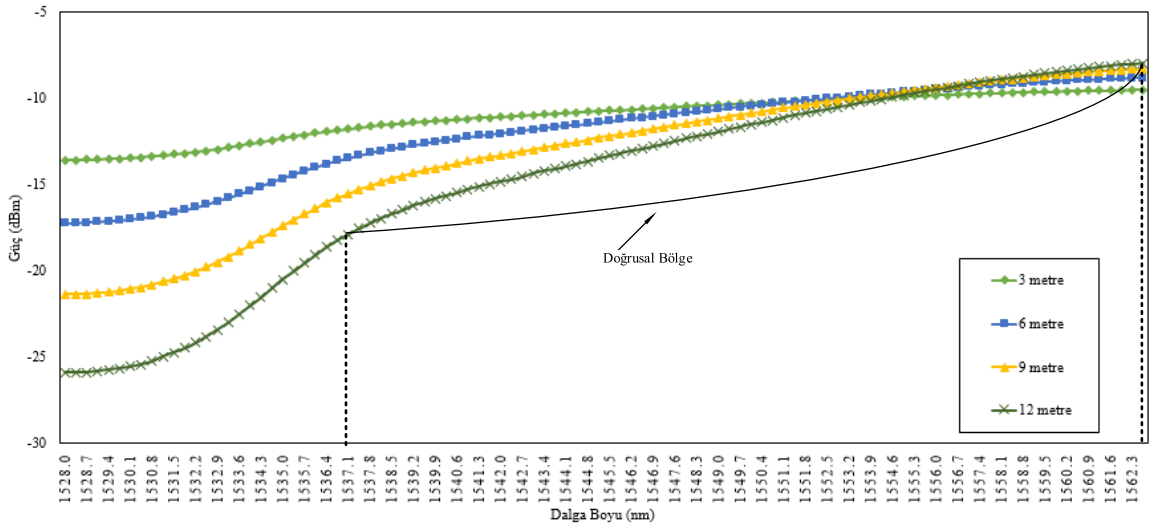
3.1.3.M-5 erbiyum katkılı fiber için benzetim sonuçları

Farklı fiber uzunluklarındaki ve farklı giriş sinyal güçlerindeki sonuçlar analiz edilmiştir. Sırasıyla -5 dBm, -10 dBm, -15 dBm ve -20 dBm'lik giriş sinyal güçlerinde; 3 m, 6 m, 9 m, 12 m'lik fiber uzunluklarında elde edilen sonuçlar Şekil 3.9-Şekil 3.12 arasında görülmektedir.



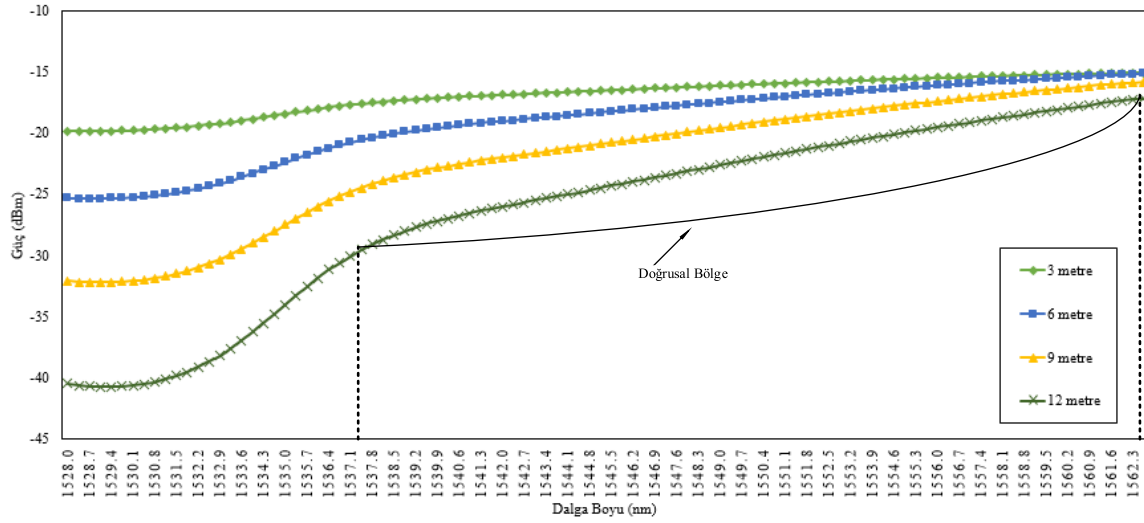
Şekil 3.9. -5 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi

Şekil 3.9.'da -5 dBm giriş sinyal gücü için 3, 6, 9, 12 metrelik fiber uzunlukları için çıkış spektrumları incelenmiştir. -5 dBm sinyal gücünde 3, 6, 9, metrelik fiberler daha az eğim gösterirken, 12 metrelik fiber diğer uzunluklara göre daha fazla eğim göstermiştir.



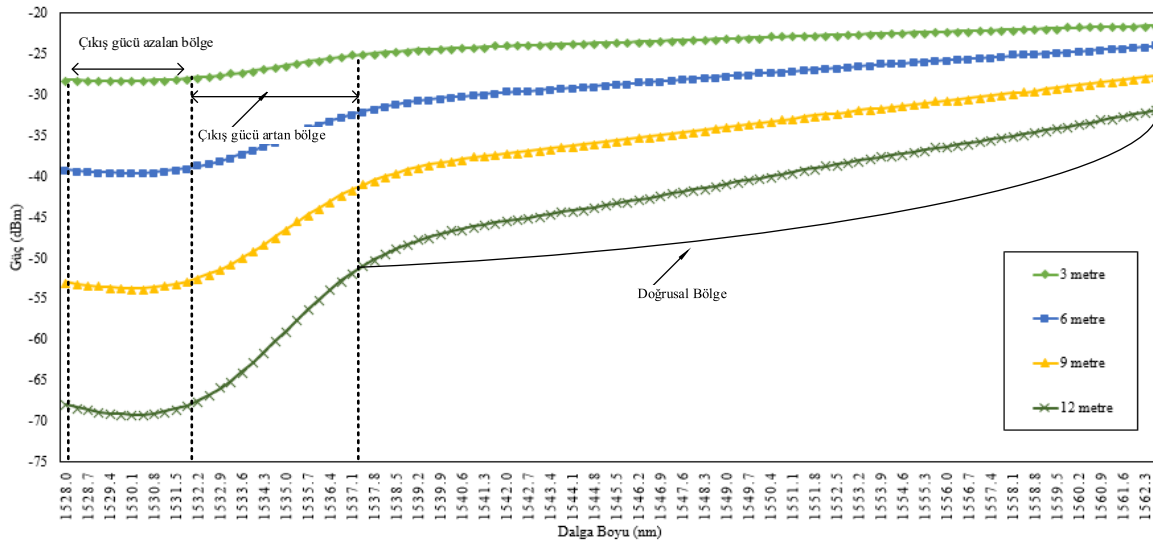
Şekil 3.10. -10 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi

Şekil 3.10.'da -10 dBm giriş sinyal gücü için 3, 6, 9, 12 metrelik fiber uzunlukları için çıkış spektrumları incelenmiştir. -10 dBm sinyal gücünde Şekil 3.9' a benzer sonuçlar çıkmıştır. Giriş sinyal gücü azaldığından çıkış sinyal gücü de azalmıştır.



Şekil 3.11. -15 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi

Şekil 3.11.'de -15 dBm sinyal gücü için 3, 6, 9, 12 metrelik fiber uzunlukları için çıkış spektrumları incelenmiştir. -15 dBm giriş sinyal gücünde Şekil 3.10 den farkı olarak çıkış gücündeki eğimler arası mesafe artmıştır.



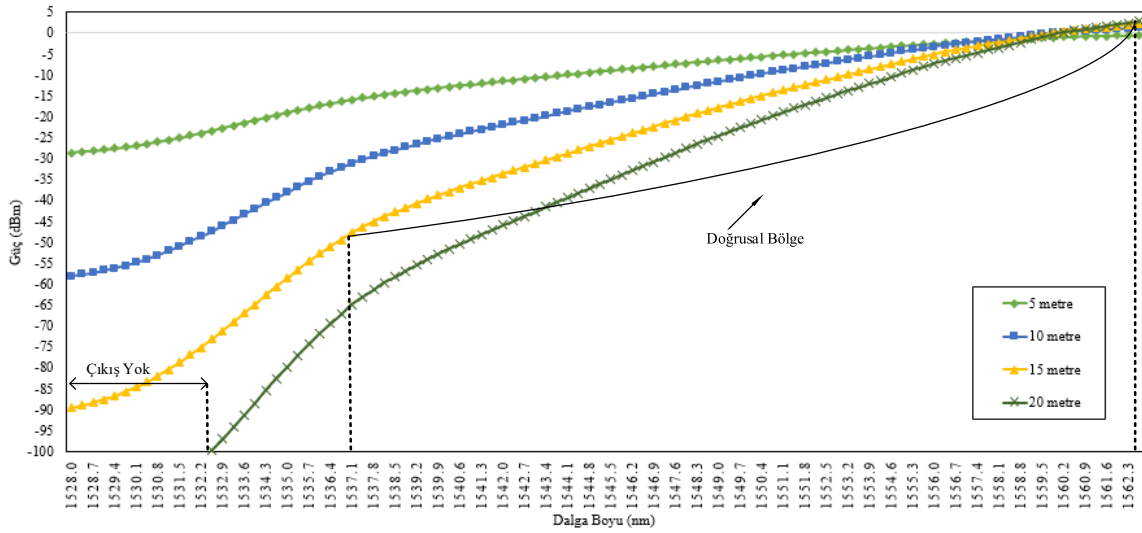
Şekil 3.12. -20 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi

Şekil 3.12.'de -20 dBm giriş sinyal gücü için 3, 6, 9, 12 metrelik EKF'ler için çıkış spektrumları incelenmiştir. -20 dBm sinyal gücünde Şekil 3.11' den farkı olarak eğimler arası mesafe artmıştır. EKF ler için 1528 nm ve 1532 nm arasında çıkış gücünde bir azalma görülmüştür. 1532.2 nm den sonra giriş gücü artmıştır. 1537.1 nm den sonra kenar filtre olarak kullanılabilir bir doğrusallığa sahip olmuştur. Çıkan sonuçlar değerlendirilerek

doğrusallık ve kapsadığı band genişliği incelemesi sonucunda en uygun boy 12 metre olarak belirlenmiştir.

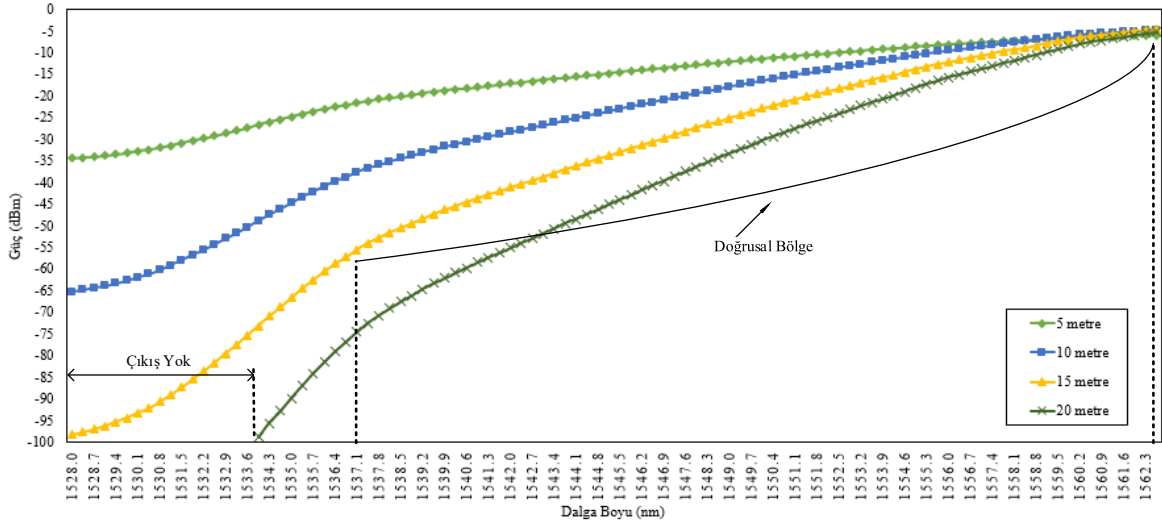
3.1.4.M-12 erbiyum katkılı fiber için benzetim sonuçları

Farklı EKF uzunlukların ve farklı giriş sinyal gücündeki sonuçlar analiz edilmiştir. Sırasıyla -5 dBm, -10 dBm, -15 dBm ve -20 dBm’lik giriş güçlerine karşılık; 5 m, 10 m, 15 m, 20 m’lik EKF’ler incelenerek elde edilen sonuçlar Şekil 3.13- Şekil 3.16 arasında görülmektedir.



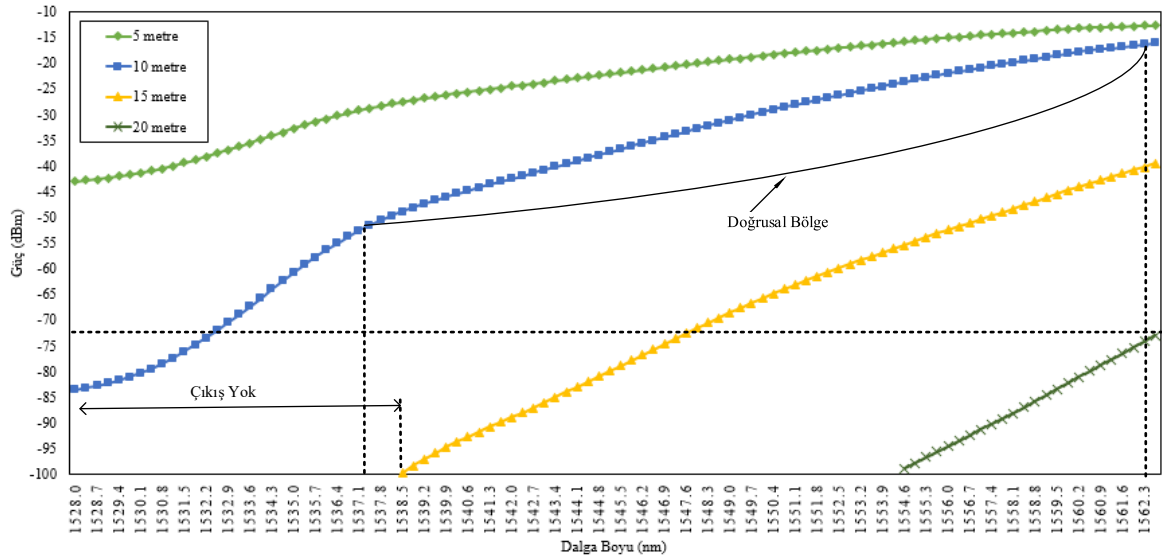
Şekil 3.13. -5 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi

Şekil 3.13.'de -5 dBm giriş sinyal gücü için 5, 10, 15, 20 metrelik EKF uzunlukları için çıkış spektrumları incelenmiştir. -5 dBm sinyal gücünde 20 metrelik EKF uzunluğunda bandın bazı kesimlerinde çıkış gözlenememiştir. 15 metre için doğrusallık pasif kenar filtre olarak kullanılabilir şekilde oluşmuştur. Ancak bandın bazı kesimlerinde kaybın fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 3.14. -10 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi

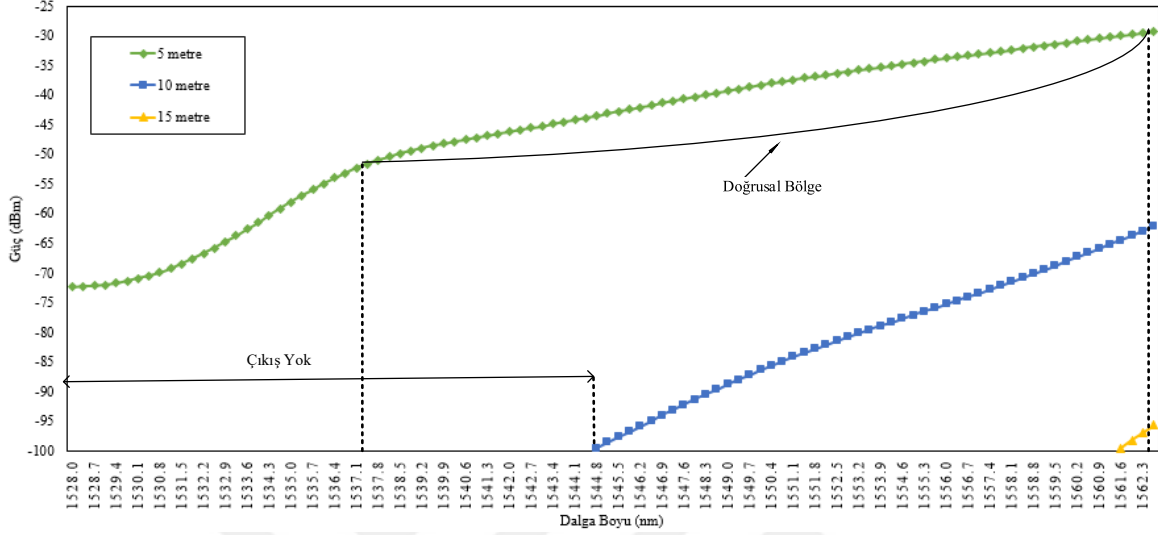
Şekil 3.14.'de -10 dBm sinyal gücü için 5, 10, 15, 20 metrelik EKF uzunlukları için çıkış spektrumları incelenmiştir. -10 dBm sinyal gücünde sinyal zayıflatıldığı için Şekil 3.13 den farklı olarak kayıplar ve 20 metrelik EKF için çıkış gözlenemeyen band artmıştır.



Şekil 3.15. -15 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi

Şekil 3.15.'de -15 dBm sinyal gücü için 5, 10, 15, 20 m'lik EKF uzunlukları için çıkış spektrumları incelenmiştir. -15 dBm sinyal gücünde sinyal zayıflatıldığı için Şekil 3.14' den farklı olarak kayıplar artmıştır. 10 metreden sonraki uzunluklarda çıkış spektrumunda farklar ciddi oranda artmış, normal şartlarda ölçülemeyecek düzeylere kadar inmiş ve

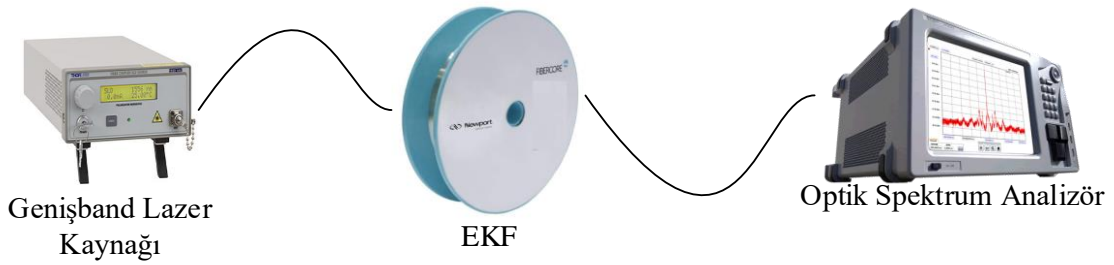
bandın bazı bölümlerinde ise ölçülemediği. 20 metrelik EKF için oluşan çıkış $-72,5$ dBm' lere kadar düşmüştür.



Şekil 3.16. -20 dBm giriş sinyal gücü için dalga boyuna bağlı güç değişimi

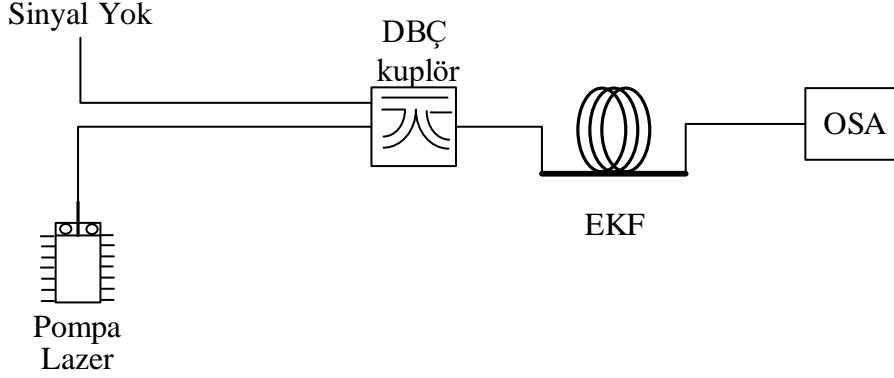
Şekil 3.16.'de -20 dBm sinyal gücü için 5, 10, 15, 20 metrelik EKF uzunlukları için çıkış spektrumları incelenmiştir. -20 dBm sinyal gücünde sinyal çok fazla zayıflatıldığı için Şekil 3.15 den farklı olarak 20 metrelik fiber boyunda hiç ölçüm alınamamış, 15 metrelik fiberde ise neredeyse bandın tamamında ölçüm oluşmamıştır. Sinyal çok zayıf olduğu için 10 metrelik fiberin ölçülen bandları 1544 nm den başlamış fakat çıkış gücü -100 dBm ile -65 dBm arasında kalmıştır. Çıkan sonuçlar değerlendirilerek doğrusallık ve kapsadığı bant genişliği incelemesi sonucunda en uygun boy 12 metre olarak belirlenmiştir.

3.2. Deneysel Kurulum ve Sonuçları



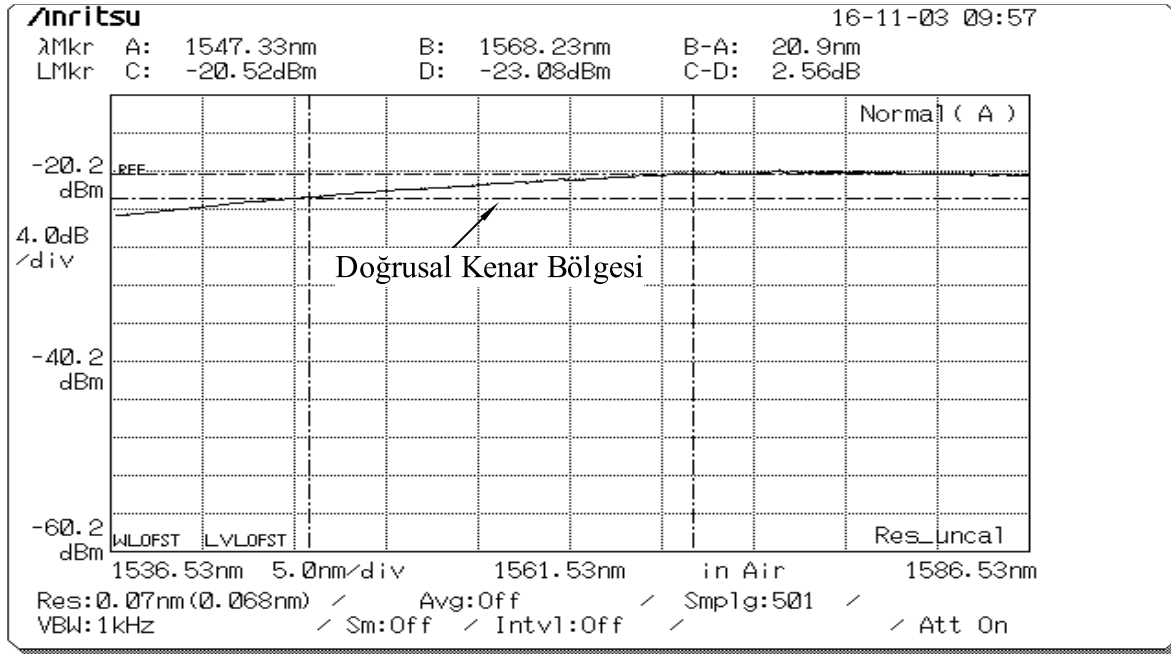
Şekil 3.17. EKFY olmadan Deneysel Olarak Kurulum Şeması

Deneyisel olarak tasarım yapılırken önce Şekil 3.17.'deki sistem kurulmuş çıkan sonuçlar EKFY olmadan izlenmiştir.



Şekil 3.18. EKFY'li Deneyisel Olarak Kurulum Şeması

Daha sonra Şekil 3.18.'de gösterildiği gibi bir EKFY düzeneği kurulmuş, 980 nm pompa lazer kaynağı DBC kuplörden geçirilerek EKFY'ye bağlanmış çıkan sonuçlar optik spektrum analizöründe incelenmiştir. Sonuçlar incelenirken oluşan eğimler için $\tan\theta$ değeri hesaplanmıştır.

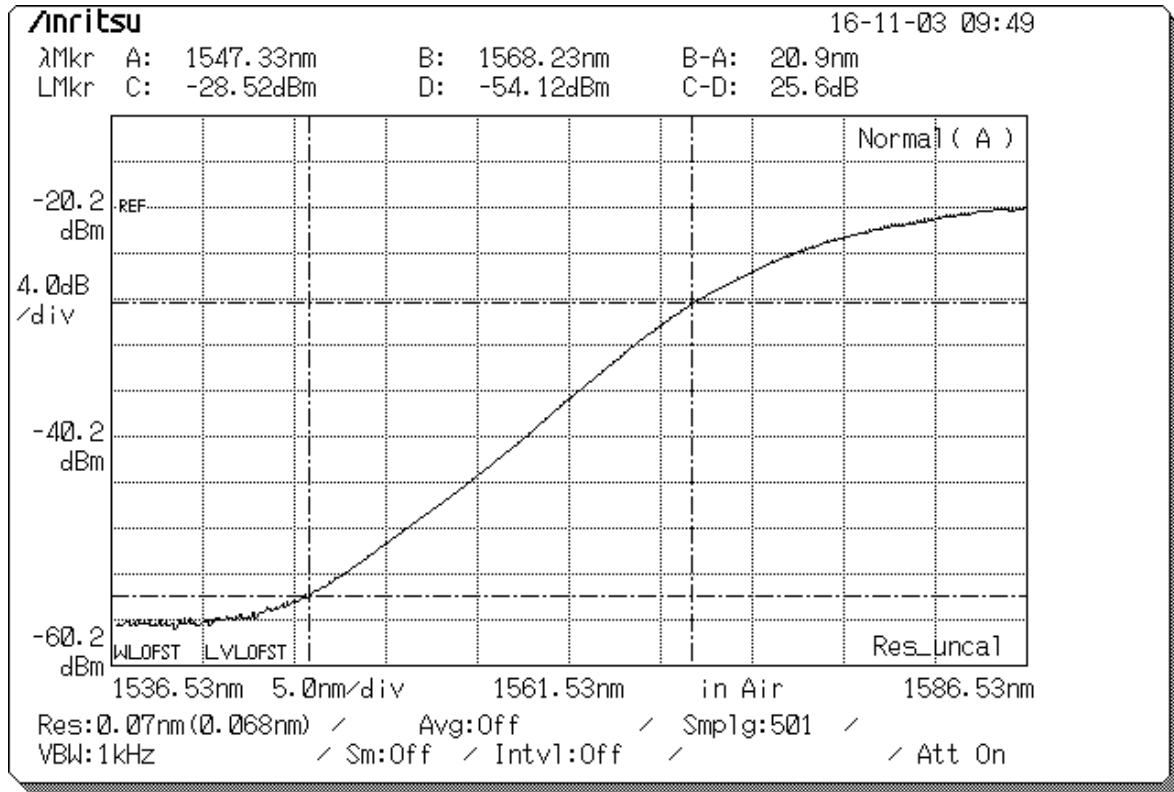


Şekil 3.19. EKFY'siz düzenekte kullanılan geniş band lazer kaynağının spektrumu

Şekil 3.19.'da EKFY'siz düzenekte kullanılan geniş band lazer kaynağının spektrumundan bir kesit görülmektedir. Spektrum incelendiğinde 1547.33-1568.23 nm arasında 2,56 dB'lik bir güç değişimi ile bu bölgeler arasında doğrusal bir kenar elde edilmektedir.

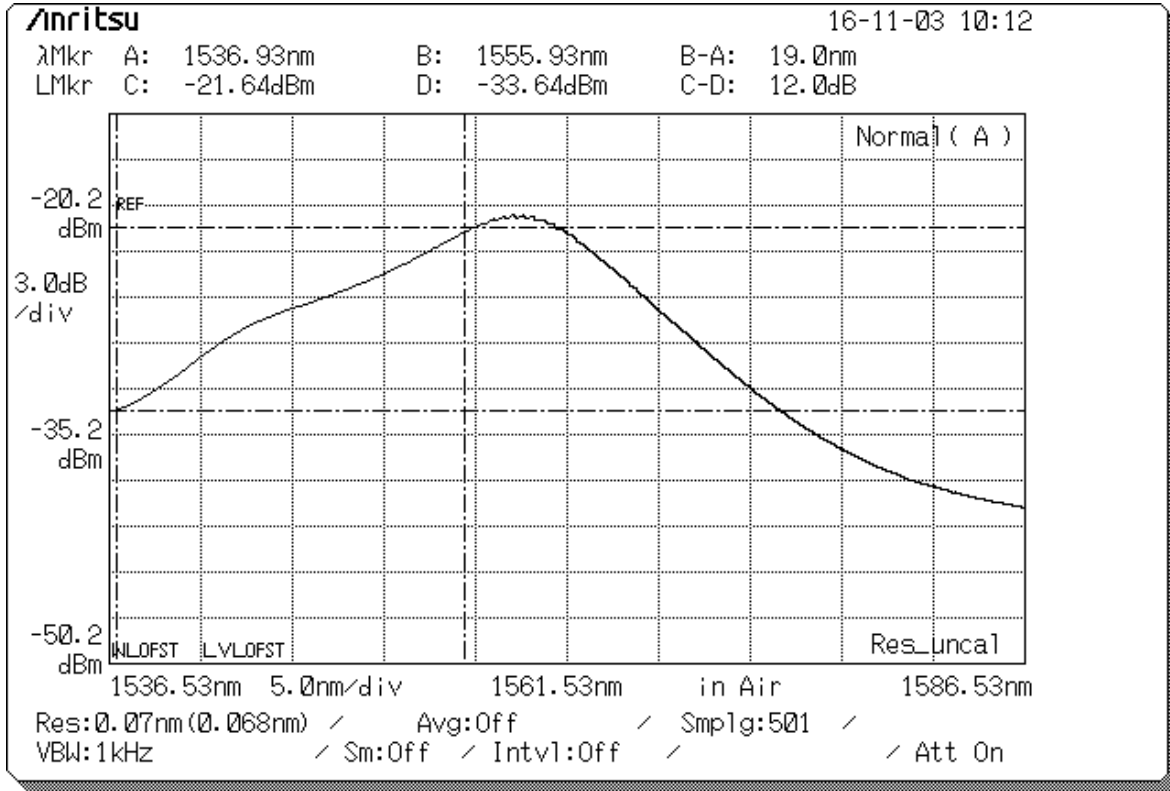
3.2.1.I-6 erbiyum katkılı fiber için deneysel sonuçlar

20 metre uzunluğundaki fibere farklı güçlerde pompa lazer uygulanmış ve çıktılar analiz edilmiştir.



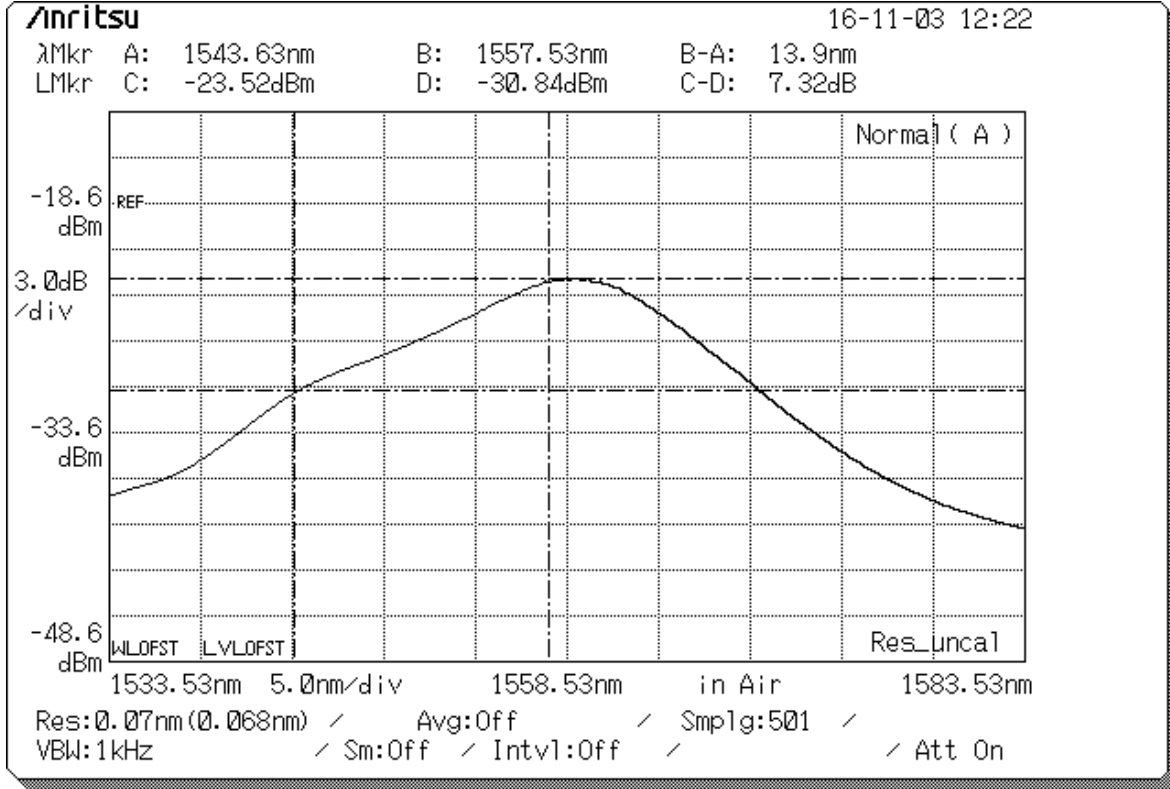
Şekil 3.20. I-6 20 metre EKF için EKFY'siz doğrusal kenar filtre bölgesi

Şekil 3.20.'de 20 metre EKF için 1547.33-1568.23 nm arasında 20.9 nm band genişliğine sahip -54.12 dBm ile -28.52 dBm arasında 25.6 dB'lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 0,7755$ ve $\theta = 37,7939^\circ$ lik dik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.



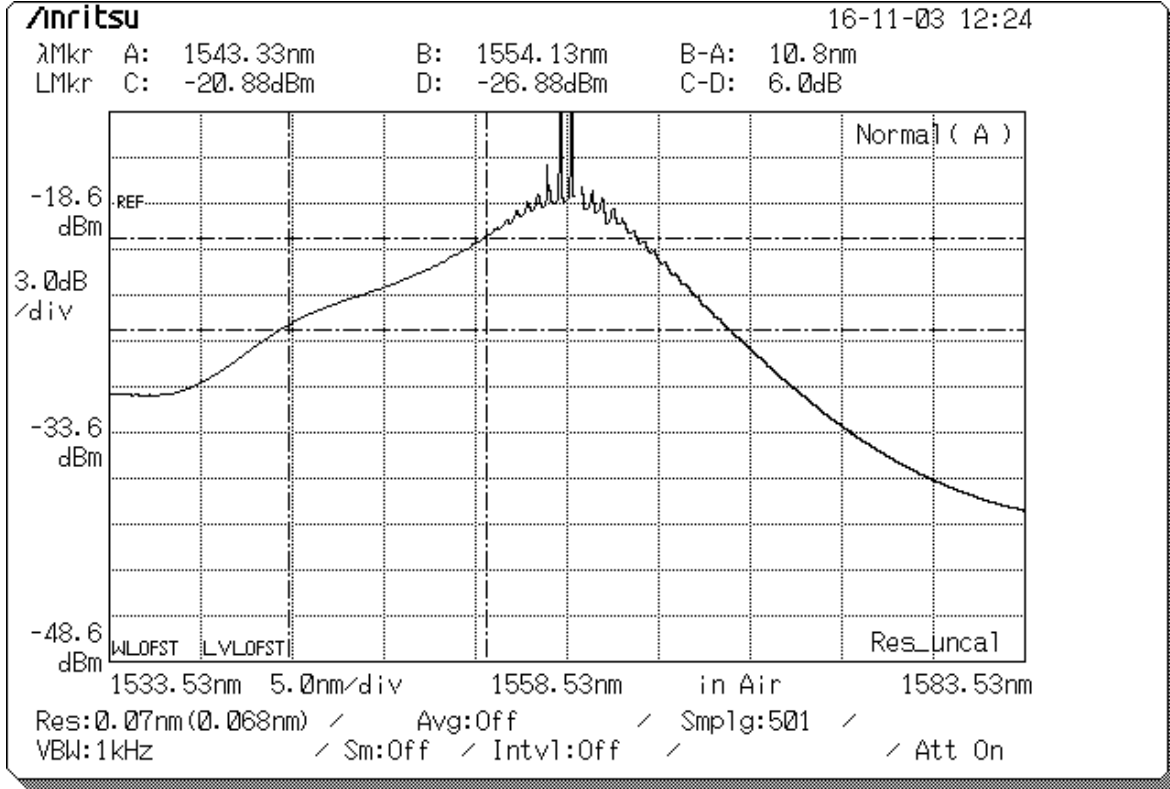
Şekil 3.21. I-6 20 metre EKF 135 mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.21.'de EKFY'li bir düzenek oluşturulmuştur. 135 mW pompa lazer gücünde ve 20 metre EKF için 1536.93-1555.93 nm arasında 19 nm band genişliğine sahip, -33.64 dBm ile -21.64 dBm arasında 12 dB lik bir güç değişimi $\tan\theta = 0,4889$ ve $\theta = 26,0535^\circ$ lik bir eğim elde edilmiştir. Bu bölge kenar filtre olarak kullanılabilir.



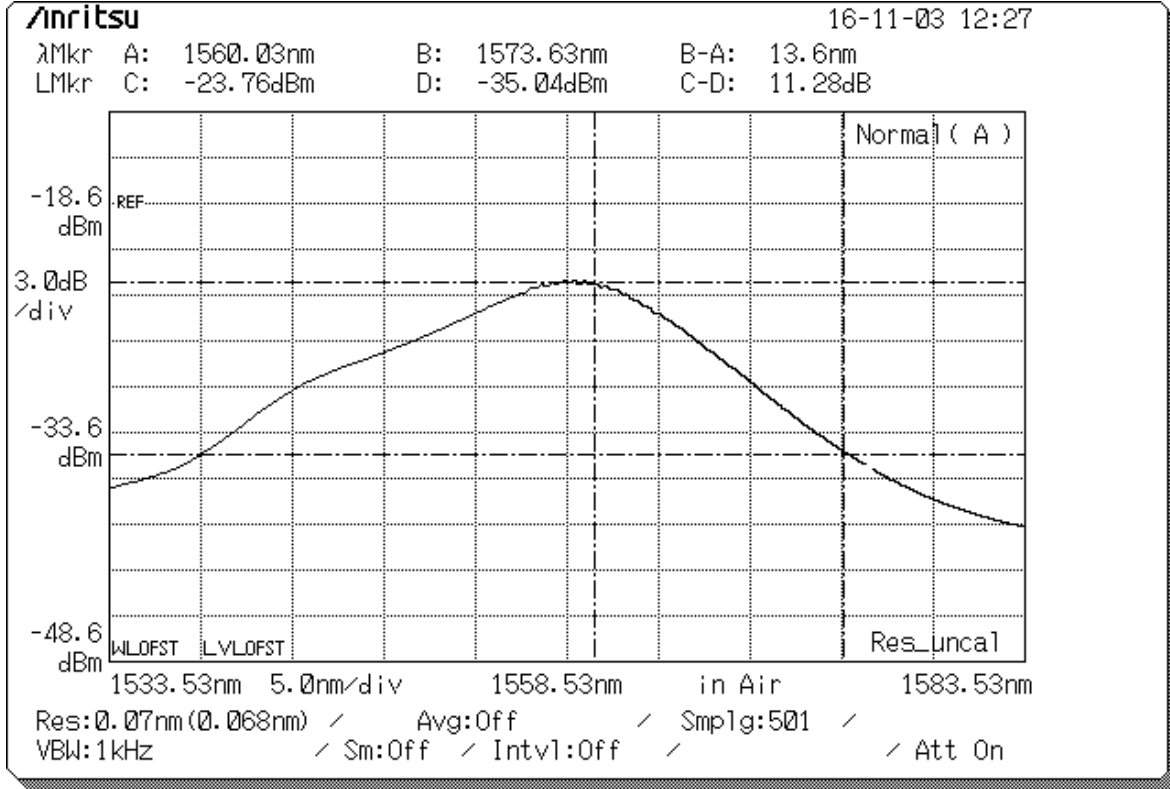
Şekil 3.22. I-6 20 metre EKF 113mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.22.'de Şekil 3.21.'den farklı olarak güç azaltılmıştır. 113 mW güçte ve 20 metre EKF için 1543.63-1557.53 nm arasında 13,9 nm band genişliğine sahip, -30.84 dBm ile -23.52 dBm arasında 7.32 dB lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 0,4062$ ve $\theta = 22,1094^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge 135 mW lik güç ile oluşturulan bölgeden daha az bir eğilim göstermiştir. Bu bölge kenar filtre olarak kullanılabilir.



Şekil 3.23. I-6 20 metre EKF 290mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.23.'de Şekil 3.22.'den farklı olarak güç artırılmıştır. 290 mW güçte ve 20 metre EKF için 1543.33-1554.13 nm arasında 10,8 nm band genişliğine sahip, -26.88 dBm ile -20.88 dBm arasında 6 dB'lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 0,4$ ve $\theta = 21,8014^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge kenar filtre olarak kullanılabilir.

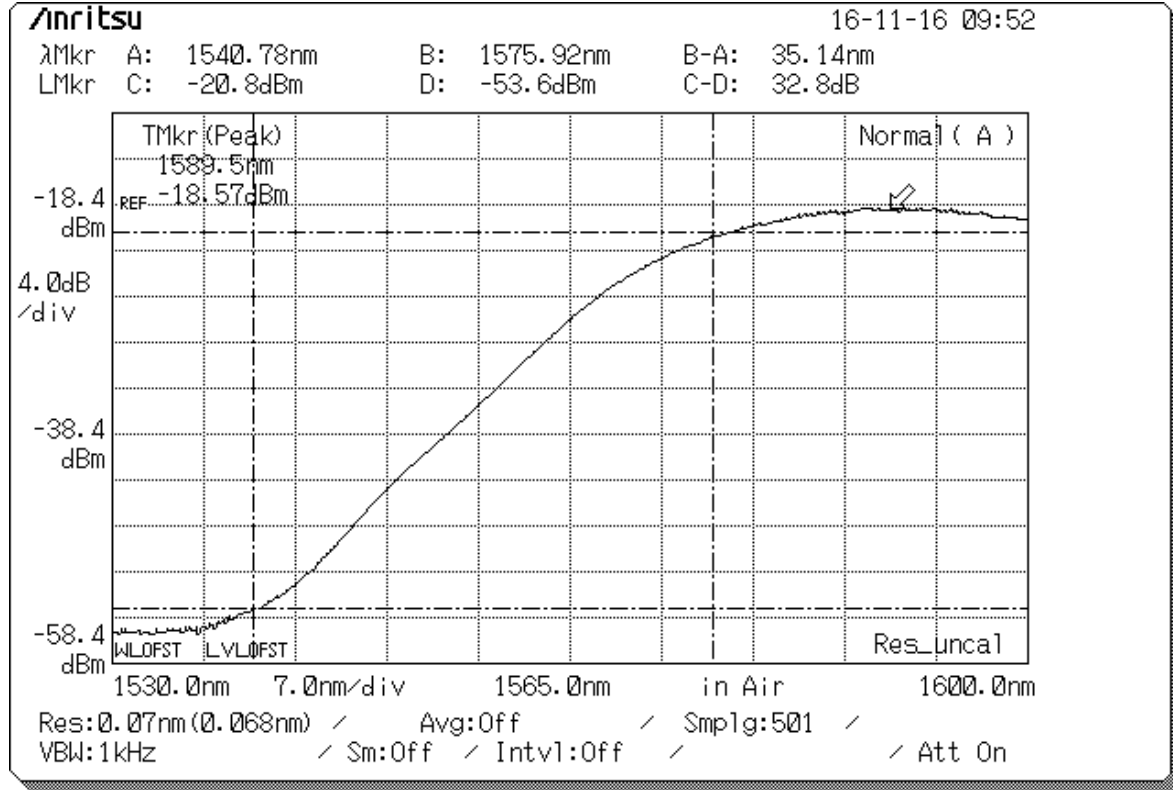


Şekil 3.24. I-6 20 metre EKF 113mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte düşen kenar filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.24.'de 113 mW güçte ve 20 metre EKF için düşen kenar için analiz yapılmıştır. 1573.63-1560.03 nm arasında 13,6 nm band genişliğine sahip, -35.04 dBm ile -23.76 dBm arasında 11.28 dB'lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 0,6562$ ve $\theta = 33,2749^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge kenar filtre olarak kullanılabilir.

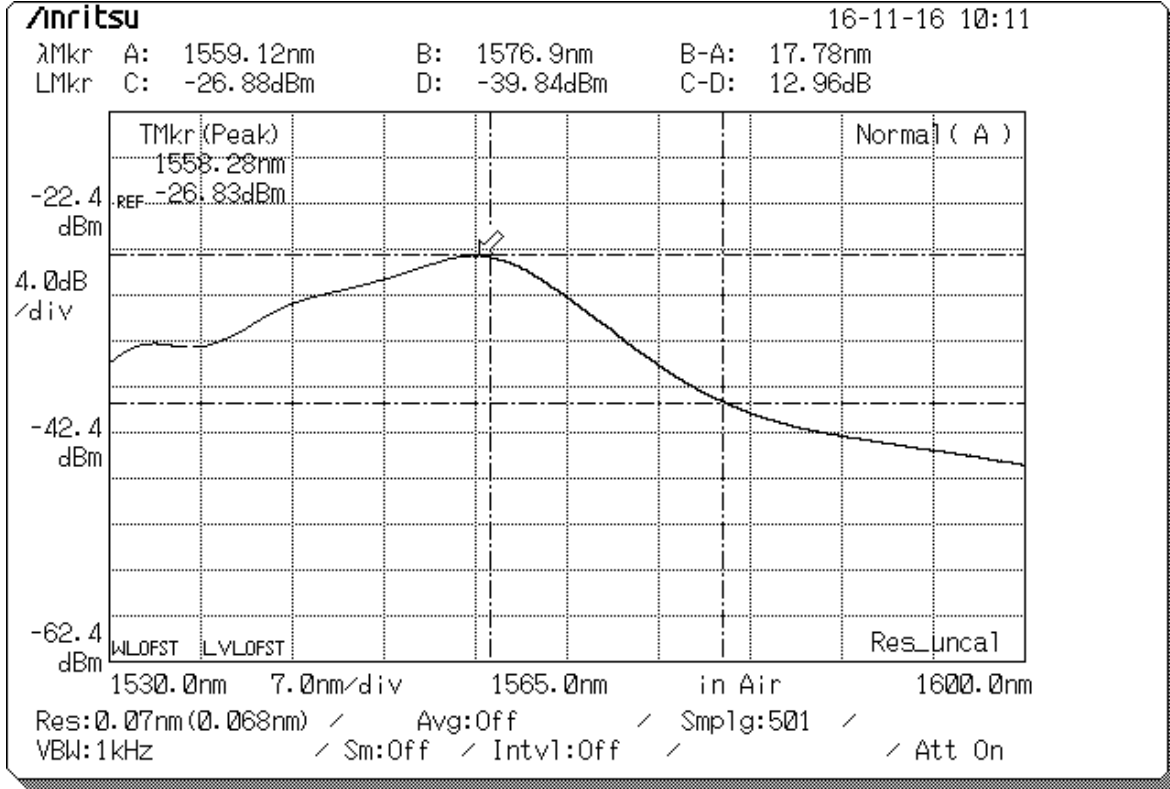
3.2.2.I-25 erbiyum katkılı fiber için deneysel sonuçlar

5 metre uzunluğundaki fibere farklı güçlerde pompa lazer uygulanmış ve çıktılar analiz edilmiştir.



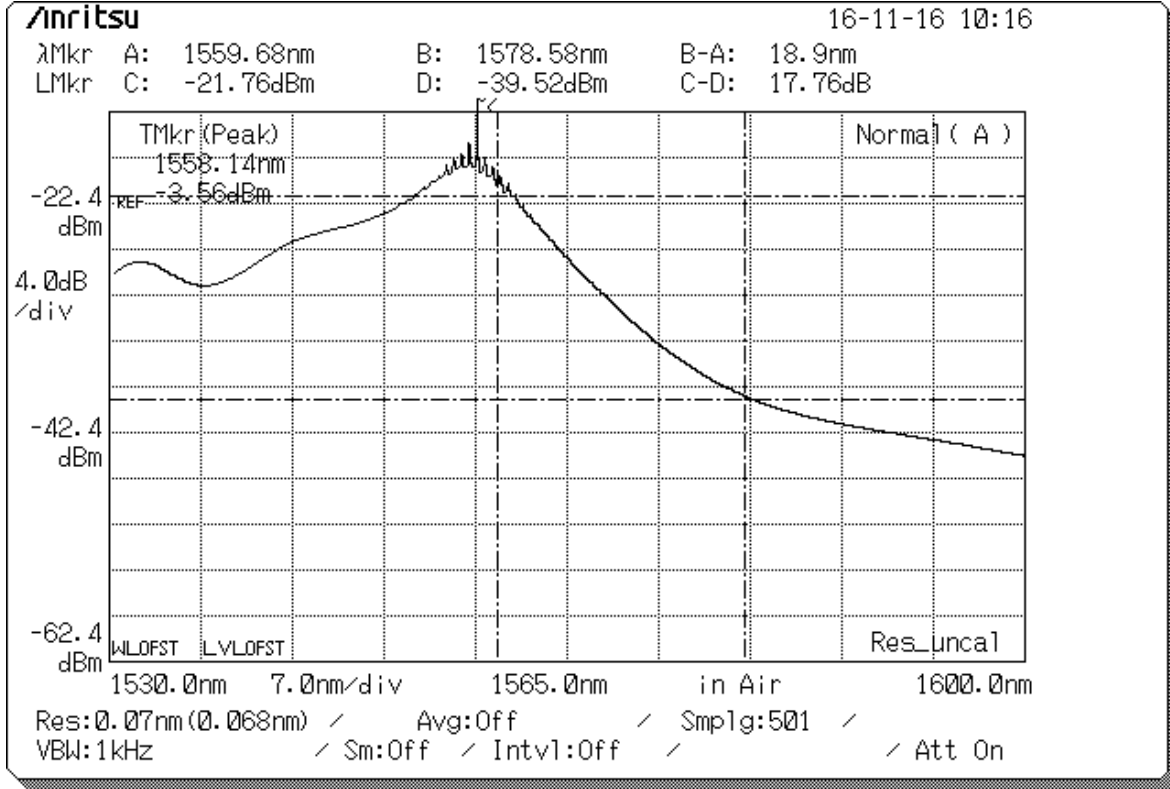
Şekil 3.25. I-25 5 metre EKF için EKFY'siz kenar filtre bölgesi

Şekil 3.25.'de -20 dBm sinyal gücü ve 20 metre EKF için 1540.78-1575.92 nm arasında 35,14 nm band genişliğine sahip, -53.6 dBm ile -20.8 dBm arasında 32.8 dB'lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 0,8$ ve $\theta = 36,6598^\circ$ lik oldukça dik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.



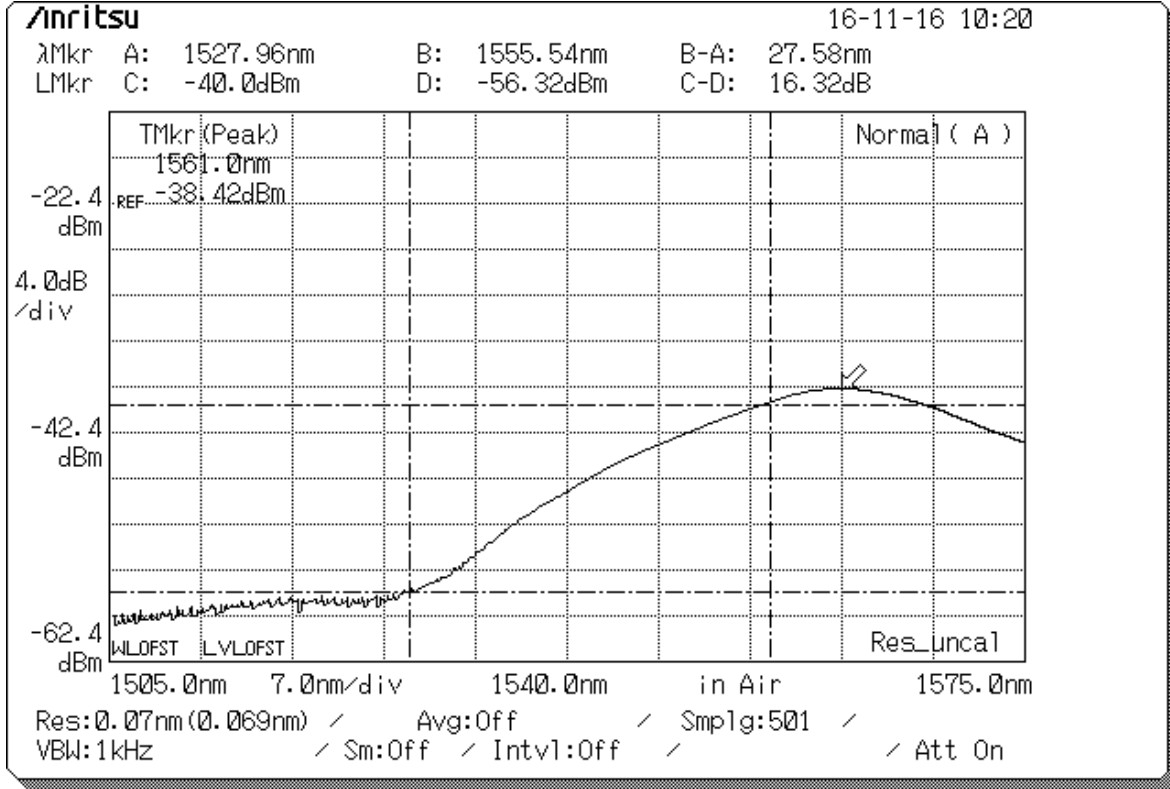
Şekil 3.27. I-25 5 metre EKF 123.5mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte düşen kenarda filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.27.'de 123.5 mW gücte ve 5 metre EKF için Şekil 3.26. dan farklı olarak düşen kenarda 1576.9-1559.12 nm arasında 17,78 nm band genişliğine sahip, -39.84 dBm ile -26.88 dBm arasında 12.96 dB'lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 0,9$ ve $\theta = 41,9872^\circ$ lik dik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.



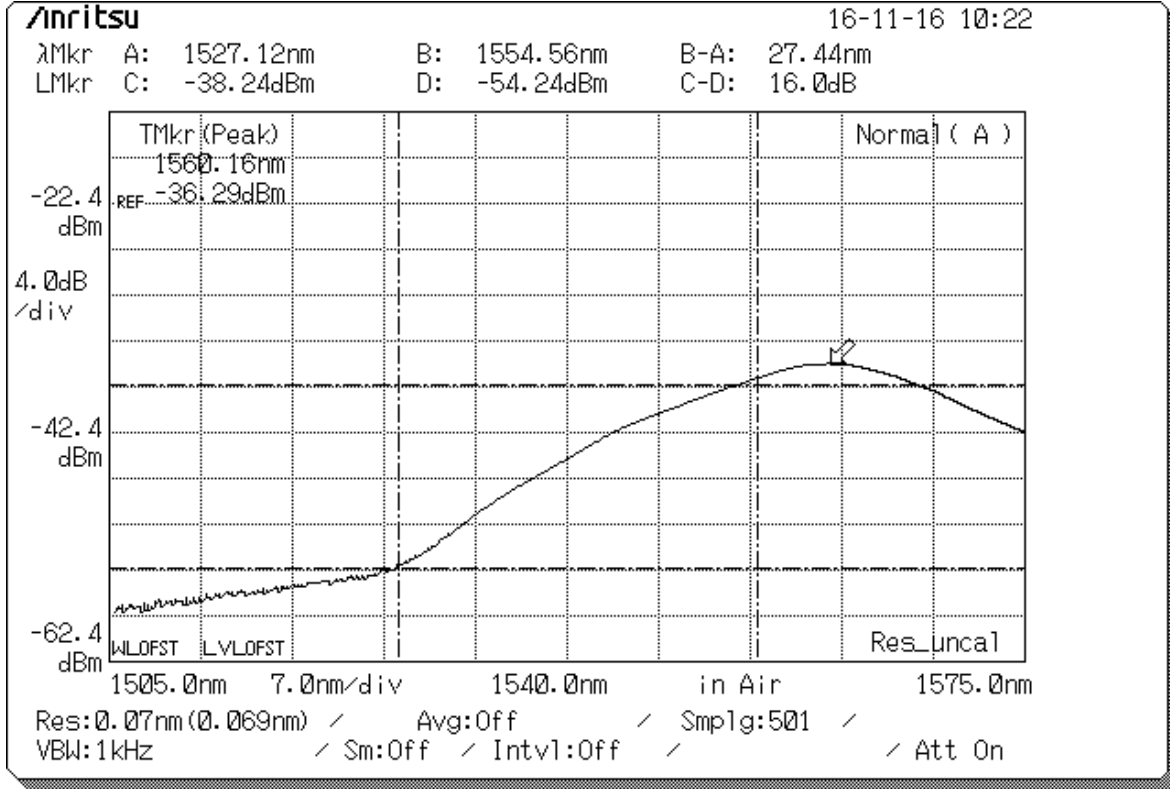
Şekil 3.28. I-25 5 metre EKF 225mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte düşen kenarda filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.28.'de Şekil 3.27.'den farklı olarak güç daha da artırılmıştır. 225 mW gücte ve 5 metre EKF için düşen kenarda 1578.58-1559.68 nm arasında 18,9 nm band genişliğine sahip, -39.52 dBm ile -21.76 dBm arasında 17.76 dB'lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 0,8438$ ve $\theta = 40,1565^\circ$ lik dik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.



Şekil 3.29. I-25 5 metre EKF 67.5mW pompa gücü için EKFY' li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.29.'da Şekil 3.28'den farklı olarak güç azaltılmıştır. 67.5 mW gücte ve 5 metre EKF için yükselen kenarda 1555.54-1527.96 nm arasında 27,68 nm band genişliğine sahip, -56.32 dBm ile -40 dBm arasında 16.32 dB'lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 0,5319$ ve $\theta = 28,0092^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.

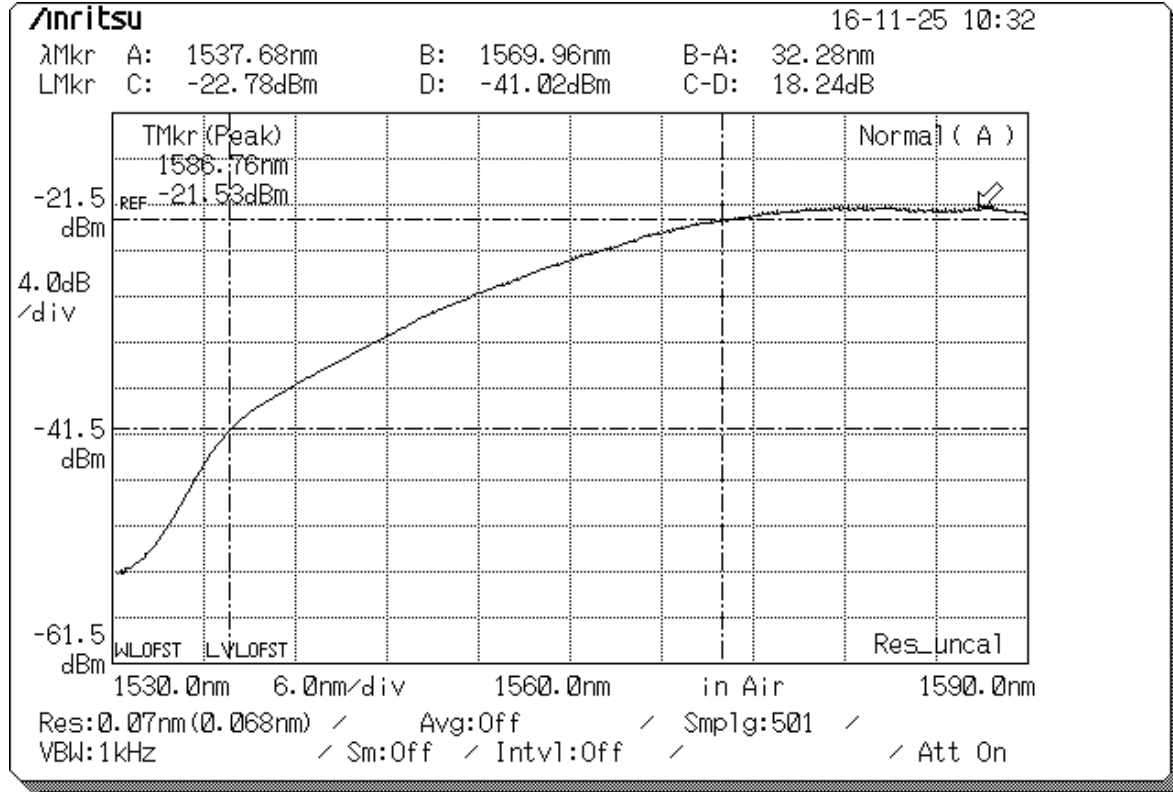


Şekil 3.30. I-25 5 metre EKF 76.5mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.30.'da Şekil 3.29.'dan farklı olarak güç biraz artırılmıştır. 76.5 mW gücte ve 5 metre EKF için yükselen kenarda 1554.56-1527.12 nm arasında 27,44 nm band genişliğine sahip, -54.24 dBm ile -38.24 dBm arasında 16 dB'lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 0,5333$ ve $\theta = 28,0725^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.

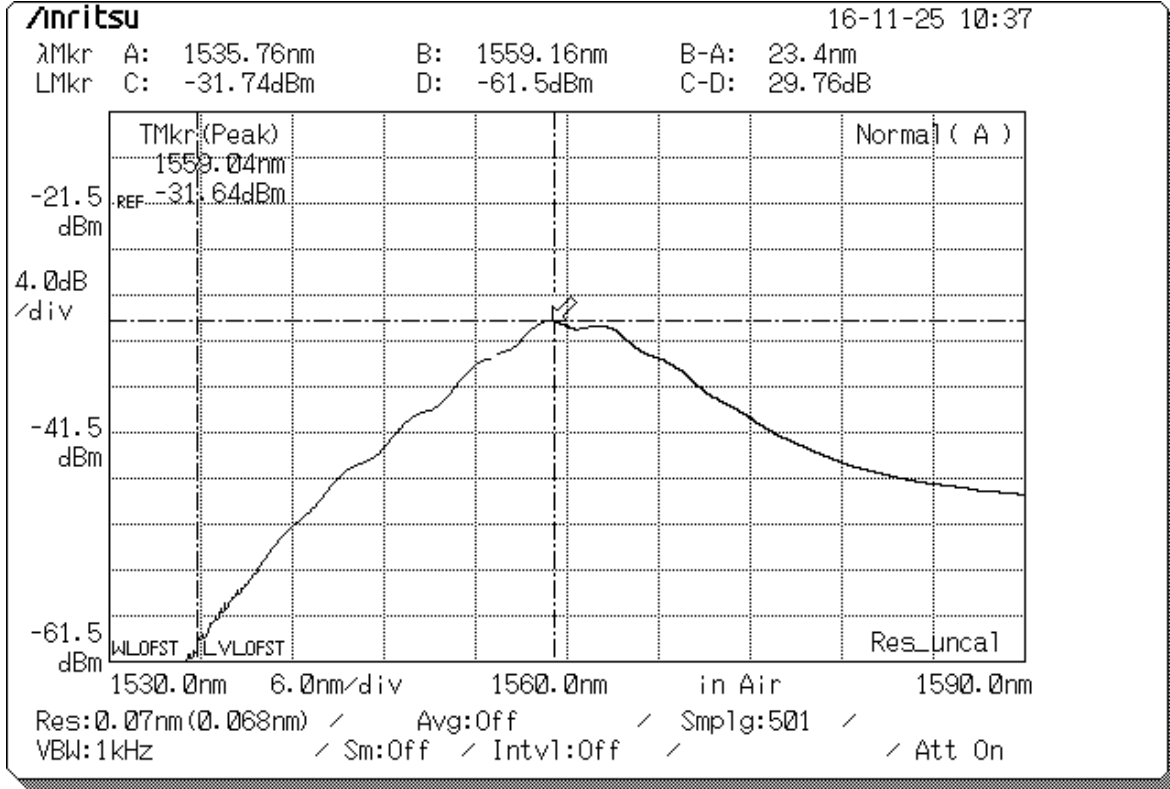
3.2.3.M-5 erbiyum katkılı fiber için deneysel sonuçlar

12 metre boyundaki fibere farklı güçlerde pompa lazer uygulanmış ve çıktılar analiz edilmiştir.



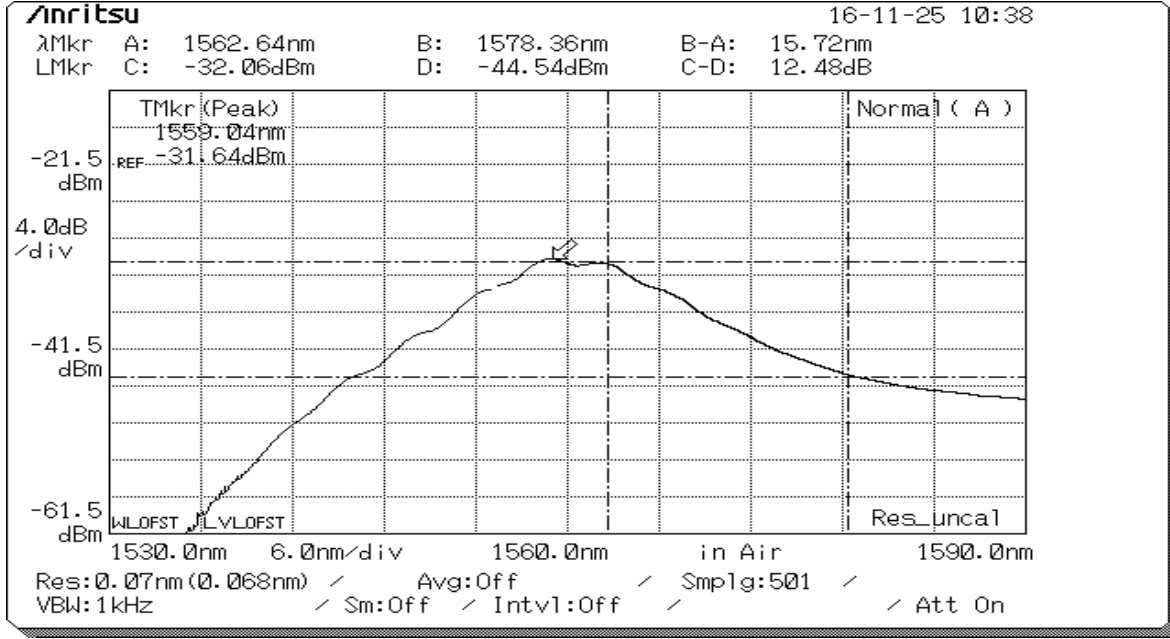
Şekil 3.31. M-5 12 metre EKF için EKFY'siz kenar filtre bölgesi

Şekil 3.31.'de -20 dBm sinyal gücü ve 12 metre EKF için 1537.68-1569.96 nm arasında 32,28 nm band genişliğine sahip, -41.02 dBm ile -22.78 dBm arasında 18.24 dB'lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 0,4$ ve $\theta = 21,8014^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.



Şekil 3.32. M-5 12 metre EKF 305mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.32.'de -305 mW gücte ve 12 metre EKF için 1535.76-1559.16 nm arasında 23,4 nm band genişliğine sahip, -61.5 dBm ile -31.74 dBm arasında 29.76 dB'lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 0,9778$ ve $\theta = 44,3564^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.

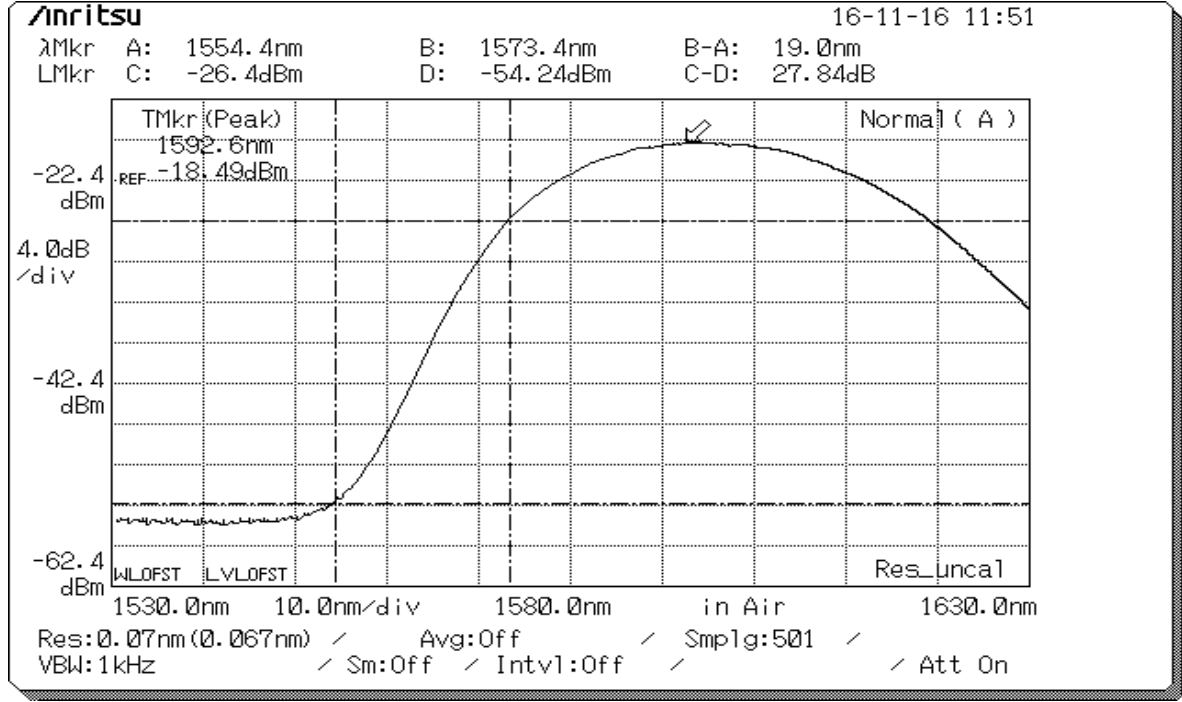


Şekil 3.33. M-5 12 metre EKF 305mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte düşen kenar da filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.33.'de -305 mW pompa gücünde ve 12 metre EKF için 1562.64-1578.36 nm arasında 15.72 nm band genişliğine sahip, düşen kenarda -44.54 dBm ile -32.06 dBm arasında 12.48 dB lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 0,4667$ ve $\theta = 23,0169^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.

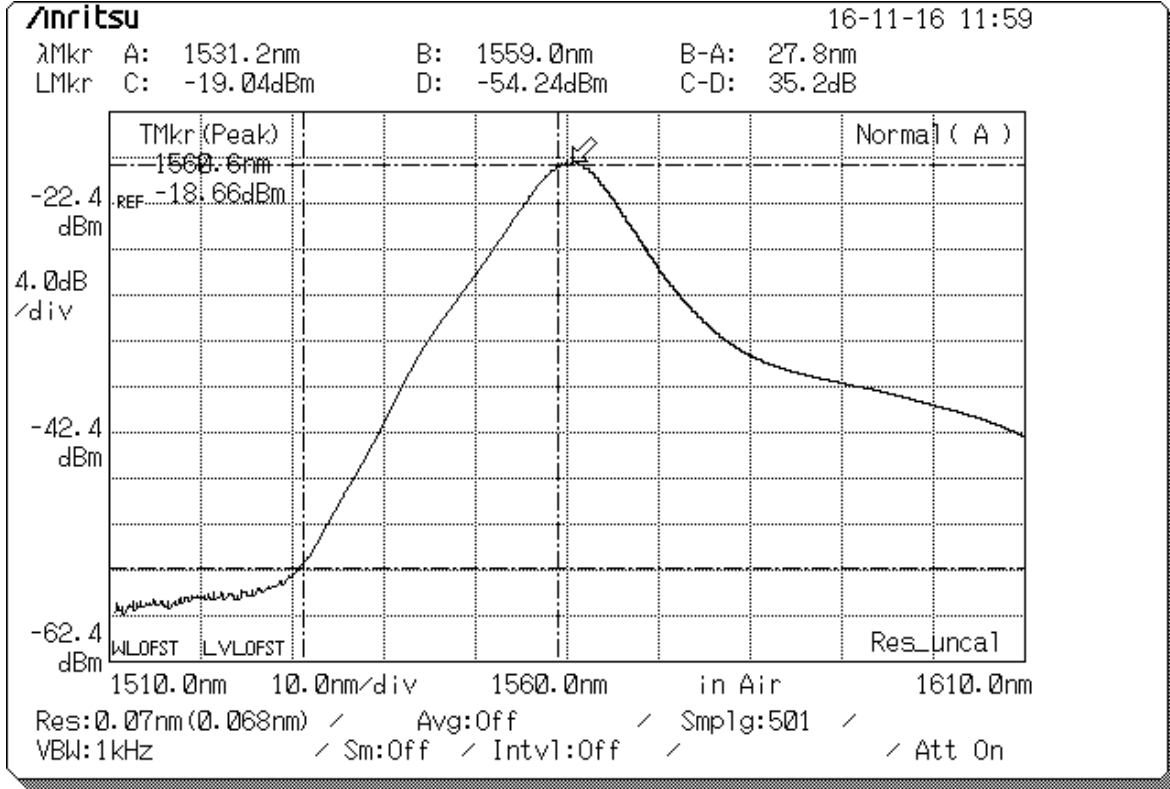
3.2.4.M-12 erbiyum katkılı fiber için deneysel sonuçlar

M-12 erbiyum katkılı fiber için deneysel kurulum Şekil 3.18’de görülmektedir. 12 metre boyundaki fibere farklı güçlerde 980 nm pompa lazer uygulanmış ve çıktılar analiz edilmiştir.



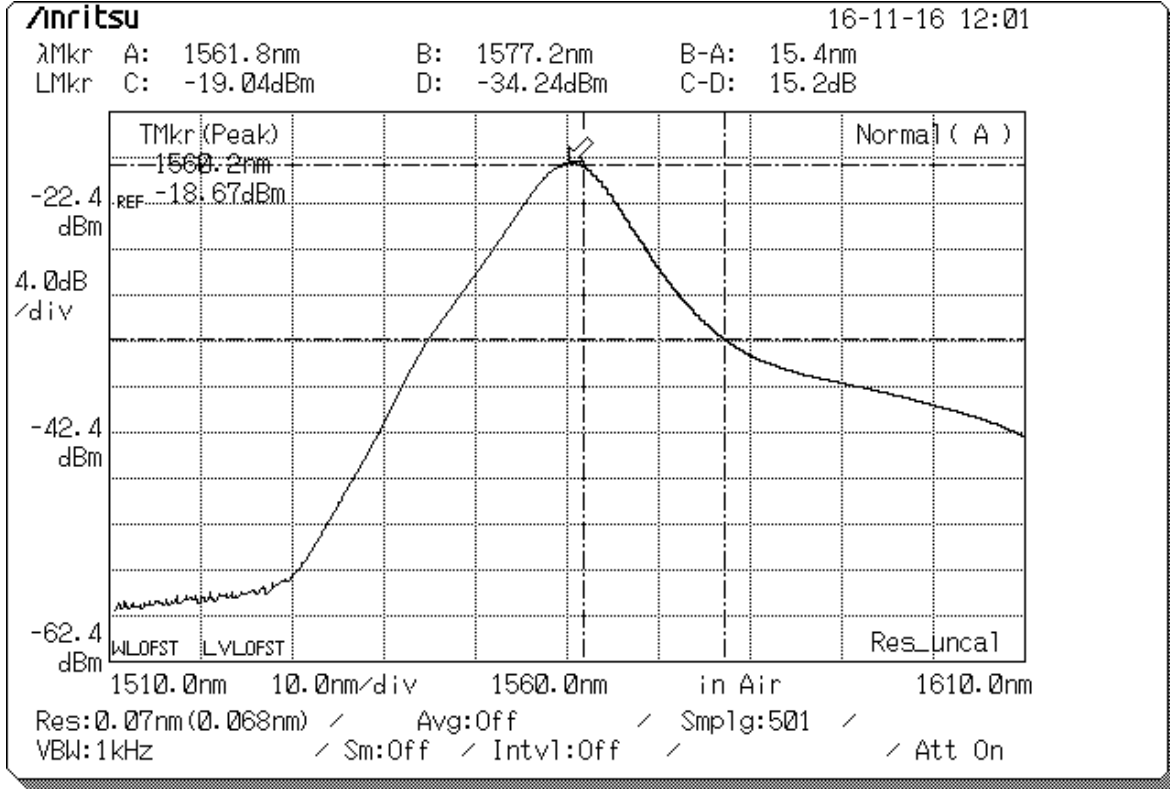
Şekil 3.34. M-12 12 metre EKF için EKFY’siz kenar filtre bölgesi

Şekil 3.34.’de -20 dBm sinyal gücü ve 12 metre EKF için 1573.4-1554.4 nm arasında 19 nm band genişliğine sahip, -54.24 dBm ile -26.4 dBm arasında 27.84 dB’lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 1,7143$ ve $\theta = 59,7436^\circ$ lik dik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.



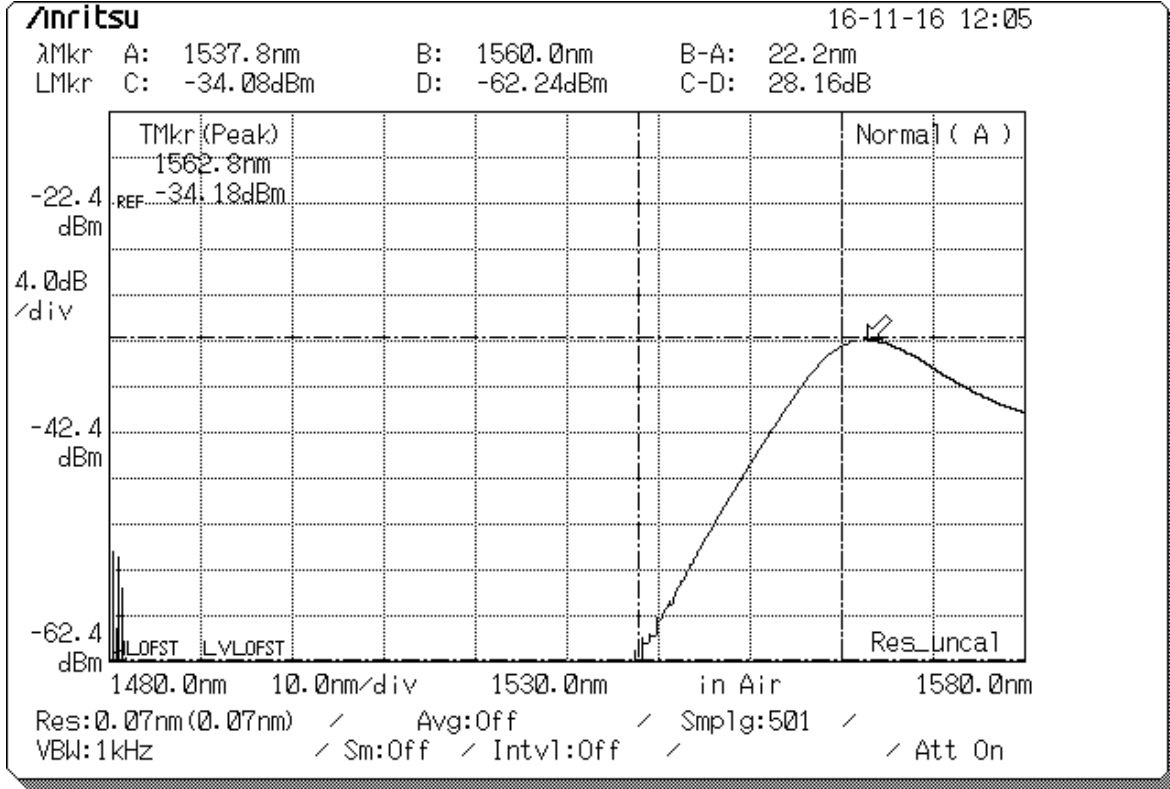
Şekil 3.35. M-12 12 metre EKF 240mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.35.'de 240 mW gücte ve 12 metre EKF için 1531.2-1559 nm arasında 27.8 nm band genişliğine sahip, -54.24 dBm ile -19.04 dBm arasında 35.2 dB lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 1.5758$ ve $\theta = 57.6002^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.



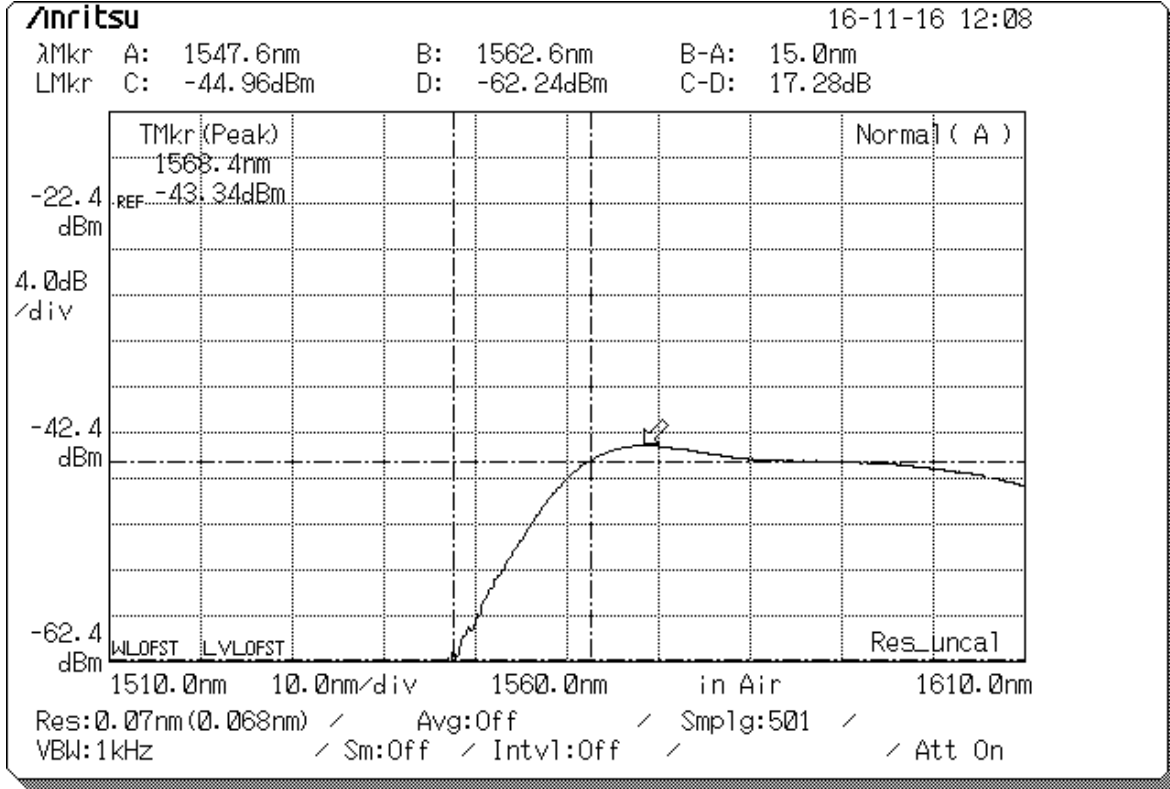
Şekil 3.36. M-12 12 metre EKF 240mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte düşen kenarda filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.36.'da Şekil 3.35.'den farklı olarak 240 mW gücte ve 12 metre EKF için düşen kenarda 1561.8-1577.2 nm arasında 15.4 nm band genişliğine sahip, -34.24 dBm ile -19.04 dBm arasında 15.2 dB lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 1.1667$ ve $\theta = 49.3987^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.



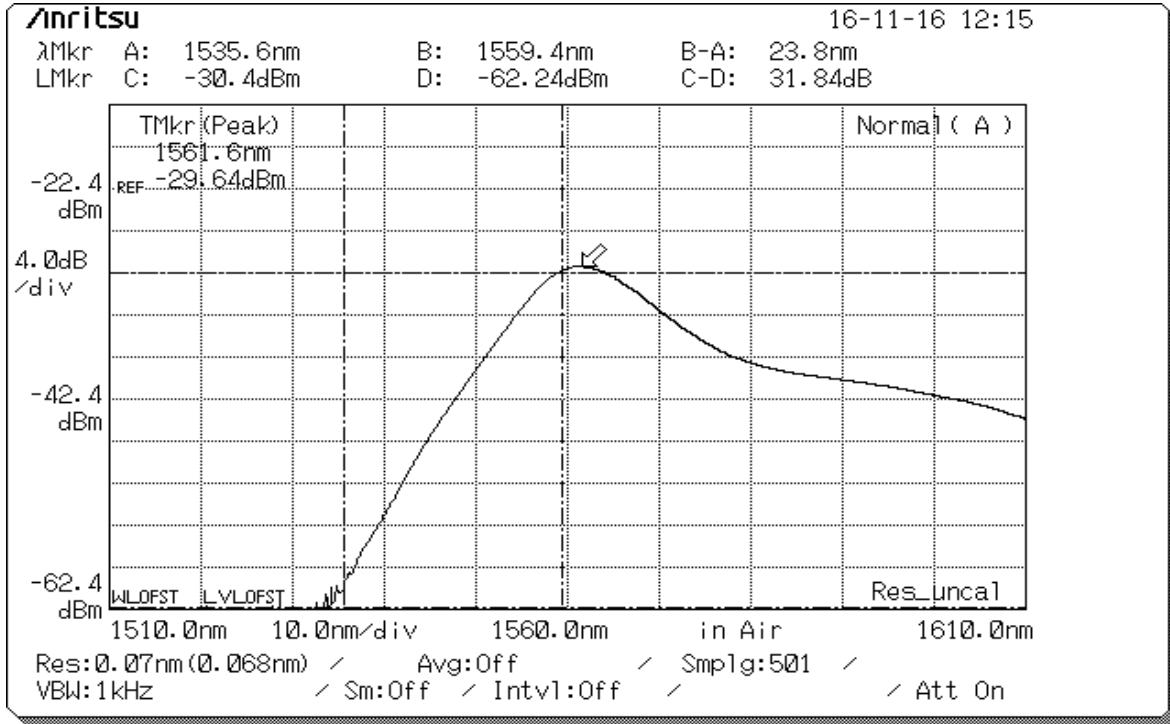
Şekil 3.37. M-12 12 metre EKF 142.5mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.37.'de güç azaltılarak denem yapılmıştır. 142.5 mW gücte ve 12 metre EKF için 1537.8-1560 nm arasında 22.2 nm band genişliğine sahip, -62.24 dBm ile -34.08 dBm arasında 28.16 dB lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 1.4815$ ve $\theta = 55.9807^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.



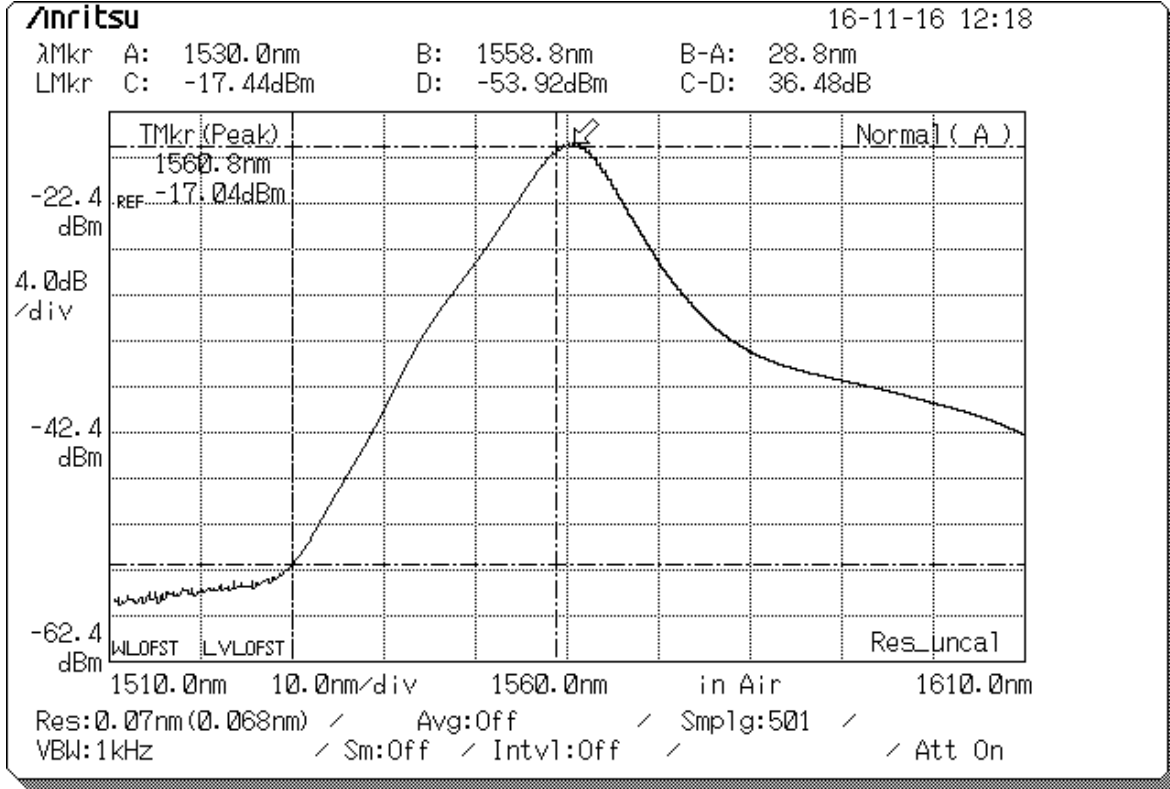
Şekil 3.38. M-12 12 metre EKF 110mW pompa gücü için EKFY’li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.38.’de güç 110 mW’a düşürülmüştür. 110 mW pompa gücü ve 12 metre EKF için 1547.6-1562.6 nm arasında 15 nm band genişliğine sahip, -62.24 dBm ile -44.96 dBm arasında 17.28 dB’lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 1.3889$ ve $\theta = 54.2461^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.



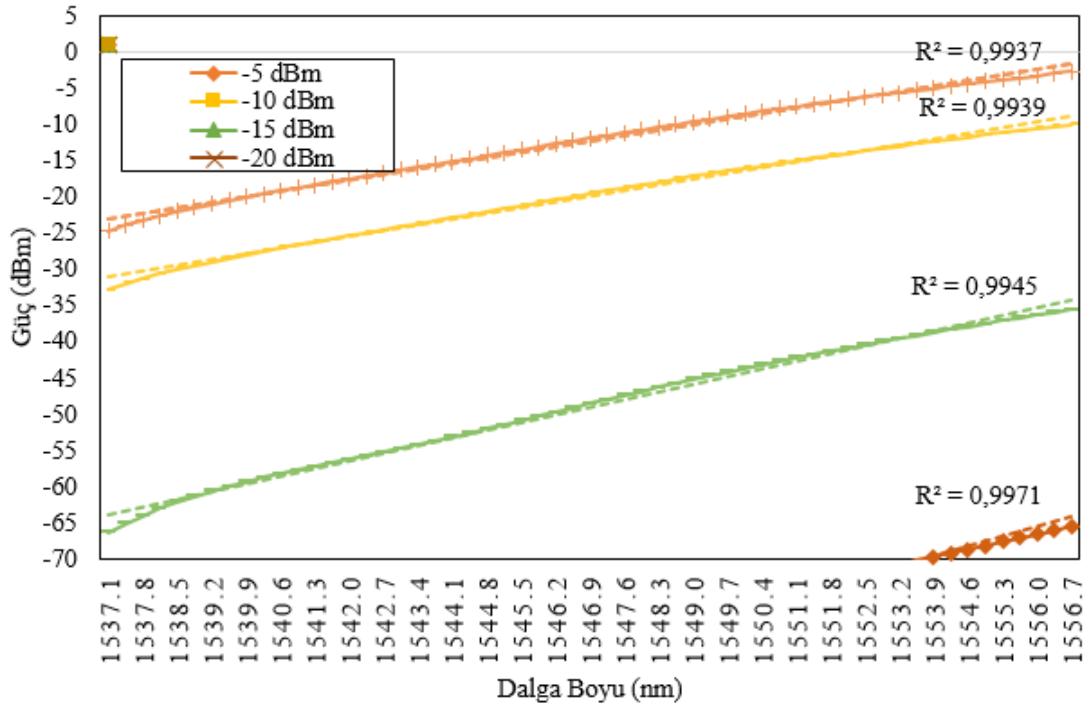
Şekil 3.39. M-12 12 metre EKF 160mW pompa gücü için EKFY’li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.39.’da güç artırılarak deneme yapılmıştır. 160 mW gücte ve 12 metre EKF için 1535.6-1559.4 nm arasında 23.8 nm band genişliğine sahip, -62.24 dBm ile -30.4 dBm arasında 31.84 dB lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 1.4828$ ve $\theta = 56.0035^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.



Şekil 3.40. M-12 12 metre EKF 265mW pompa gücü için EKFY'li düzenekte filtre olarak kullanılacak bölge

Şekil 3.40.'da güç daha da artırılmıştır. 265 mW pompa gücünde ve 12 metre EKF için 1530-1558.8 nm arasında 28.8 nm band genişliğine sahip, -53.92 dBm ile -17.44 dBm arasında 36.48 dB'lik bir güç değişimi ile $\tan\theta = 1.5588$ ve $\theta = 57.3194^\circ$ lik bir eğim bölgesi elde edilmiştir. Bu bölge pasif kenar filtre olarak kullanılabilir.



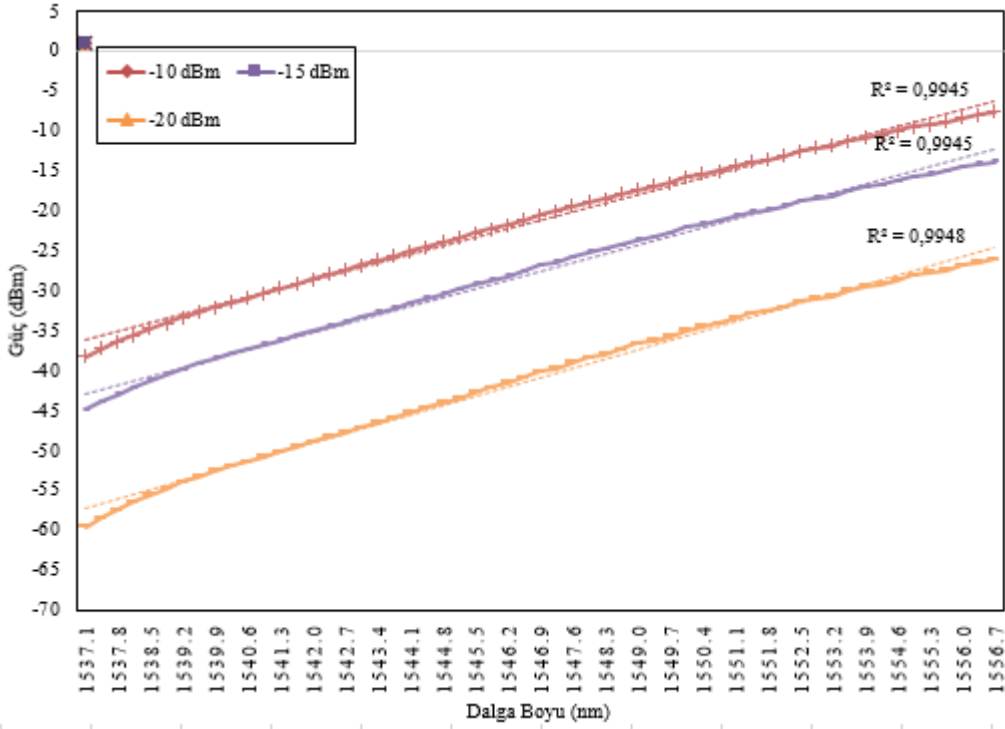
Şekil 4.1. 20 metre I-6 EKF'si için 1537.1-1556.7 nm arasında farklı sinyal güçlerinde elde edilen doğrusal bölgeler

Şekil 4.1.'de 20 metre I-6 EKF'de -5, -10, -15, -20 dBm giriş güçleri için 1537.1-1556.7 nm arasındaki doğrusal bölgelere bakıldığında -10 dBm giriş gücünde $\Delta P=22.86$ ve 0.9939 R^2 lik bir eğim olduğu görülmüştür. -15 dBm ve -20 dBm giriş güçlerinde R^2 değeri büyük olsa da kayıp çok fazladır.

I-25 EKF'si için 1-2-3-4-5 metrelik uzunluklarda 1537.1-1556.7 nm arasında elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2 de görülmektedir. Fiber boyu arttıkça çıkış güçleri azalmaktadır. -5 dBm giriş gücü için sonuç alınamamıştır. Düşük uzunluklarda çıkış güçlerindeki zayıflama az olmasına rağmen eğim düşüktür. Çizelge ve grafikler incelendiğinde eğim ve değerlere göre kenar filtre olabilecek boyun 5 metre olması öngörülmüştür.

Çizelge 4.2. I-25 EKF'si için 1537.1-1556.7 nm arasında 19.6 nm'lik banddaki çıkış güçleri

		Güç (dB)	EKF Uzunlukları				
			1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
Giriş Sinyal Gücü	-10 dBm	P_{min}	-13,73	-18,75	-24,78	-31,35	-38,26
		P_{mak}	-8,2	-7,25	-7,03	-7,23	-7,67
		ΔP	5,53	11,51	17,74	24,12	30,58
	-15 dBm	P_{min}	-18,98	-24,3	-30,64	-37,56	-44,86
		P_{mak}	-13,38	-12,65	-12,67	-13,13	-13,86
		ΔP	5,59	11,65	17,96	24,43	31
	-20 dBm	P_{min}	-24,81	-31,29	-39,21	-48,45	-59,57
		P_{mak}	-19	-19,13	-20,32	-22,49	-26,06
		ΔP	5,81	12,16	18,89	25,96	33,51



Şekil 4.2. 5 metre I-25 EKF'si için farklı sinyal güçlerinde elde edilen doğrusal bölgeler

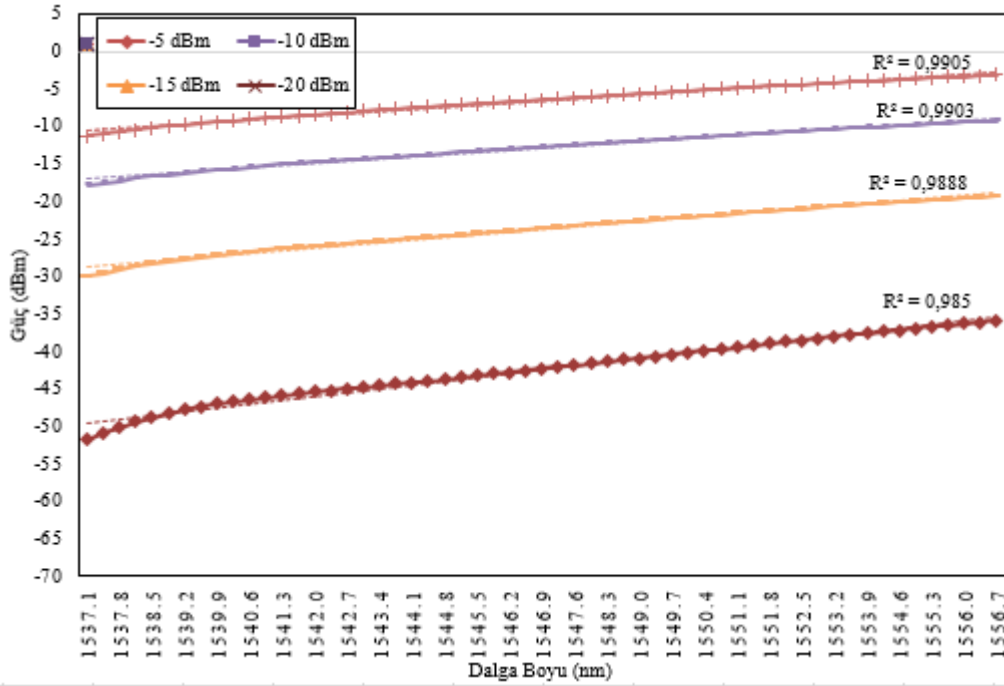
Şekil 4.2.'de 5 metre I-25 EKF'de -5, -10, -15, -20 dBm giriş güçleri için 1537.1-1556.7 nm arasındaki doğrusal bölgelere bakıldığında -10 dBm giriş gücünde 30.58 güç farkında 0.9945 R^2 lik bir eğim olduğu görülmüştür. Güç -15 dBm e azaltıldığında R^2 eğrisinin

değişmediği görülmüştür. I-6 EKF' sinin -10, -15, -20 dBm' lik grafiğine göre çıkış güçlerinin eğimleri arasındaki fark daha azdır.

M-5 EKF'si için 3-6-9-12 metrelik uzunluklarda 1537.1-1556.7 nm arasında elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3 de görülmektedir. Fiber boyu arttıkça çıkış güçleri azalmaktadır. Düşük uzunluklarda çıkış güçlerindeki zayıflama az olmasına rağmen eğim düşüktür. Çizelge ve grafikler incelendiğinde eğim ve değerlere göre kenar filtre olabilecek boyun 12 metre olması öngörülmüştür. M-5 EKF'sinin güç farkının I-6, I-25 ve M-12 EKF'sine göre daha az olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3. M-5 EKF'si için 1537.1-1556.7 nm arasında 19.6 nm'lik banddaki çıkış güçleri

		Güç (dB)	EKF Uzunlukları			
			3 m	6 m	9 m	12 m
Giriş Sinyal Gücü	-5 dBm	P_{min}	-6,4473	-7,7839	-9,4116	-11,277
		P_{mak}	-4,5548	-3,8984	-3,4444	-3,1559
		ΔP	1,89255	3,88546	5,96712	8,1213
	-10 dBm	P_{min}	-11,75	-13,454	-15,512	-17,871
		P_{mak}	-9,7654	-9,3643	-9,2095	-9,2641
		ΔP	1,9849	4,0898	6,30261	8,60724
	-15 dBm	P_{min}	-17,691	-20,769	-24,809	-30,056
		P_{mak}	-15,419	-15,973	-17,197	-19,259
		ΔP	2,2717	4,7952	7,6124	10,7974
	-20 dBm	P_{min}	-25,175	-32,38	-41,624	-51,813
		P_{mak}	-22,146	-25,569	-30,41	-35,908
		ΔP	3,0289	6,8105	11,2138	15,9052

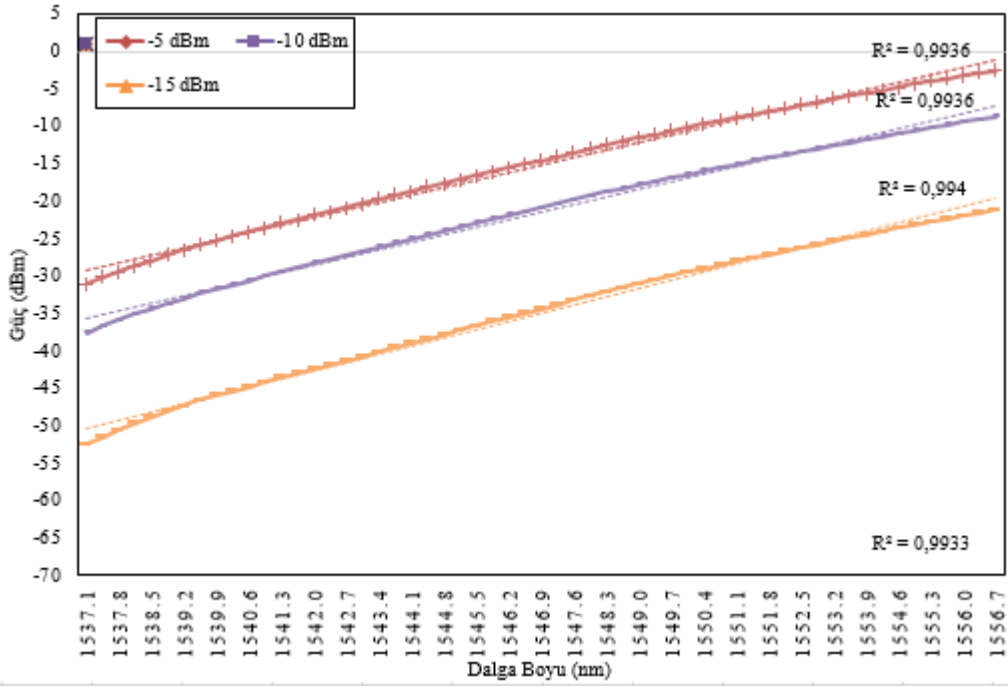


Şekil 4.3. 12 metre M-5 EKF'si için farklı sinyal güçlerinde elde edilen doğrusal bölgeler

Şekil 4.3.'de 12 metre M-5 EKF'de -5, -10, -15, -20 dBm giriş güçleri için 1537.1-1556.7 nm arasındaki doğrusal bölgelere bakıldığında -5 dBm giriş gücünde $\Delta P=8.1213$ de 0.9905 R^2 lik bir eğim olduğu görülmüştür. I-6, I-25 ve M-12 fiberlerinin aksine sinyal azaltıldığında eğim de azalmıştır. Yine eğimi en az olan EKF M-5 olarak görülmüştür.

Çizelge 4.4. M-12 EKF'si için 1537.1-1556.7 nm arasında 19.6 nm'lik banddaki çıkış güçleri

		Güç (dB)	EKF Uzunlukları			
			5 m	10 m	15 m	20 m
Giriş Sinyal Gücü	-5 dBm	P_{min}	-15,884	-31,105	-47,707	-64,953
		P_{mak}	-2,2343	-2,6249	-4,0545	-5,9691
		ΔP	13,6496	28,4804	43,6525	58,9837
	-10 dBm	P_{min}	-21,552	-37,659	-55,468	-74,489
		P_{mak}	-7,7372	-8,7946	-11,133	-14,384
		ΔP	13,8148	28,8646	44,3351	60,105
	-15 dBm	P_{min}	-29,169	-52,553	Belirsiz	Belirsiz
		P_{mak}	-14,707	-21,242	-51,059	-92,407
		ΔP	14,4619	31,3109	Belirsiz	Belirsiz
	-20 dBm	P_{min}	-52,31	Belirsiz	Belirsiz	Belirsiz
		P_{mak}	-33,363	-74,049	Belirsiz	Belirsiz
		ΔP	18,947	Belirsiz	Belirsiz	Belirsiz



Şekil 4.4. 10 metre M-12 EKF'si için farklı sinyal güçlerinde elde edilen doğrusal bölgeler

Şekil 4.4.'de 10 metre M-12 EKF'de -5, -10, -15, -20 dBm giriş güçleri için 1537.1-1556.7 nm arasındaki doğrusal bölgelere bakıldığında -5 dBm giriş gücünde $\Delta P=28.4804$ de $0.9936 R^2$ lik bir eğim olduğu görülmüştür.

Benzetim sonuçları karşılaştırıldığında -10 dBm giriş sinyalinde 1537.1-1556.7 nm arasında 19.6 nm band genişliğinde -7,67 ile -38,28 dBm güçlerde $\Delta P=30.58$ de $0.9945 R^2$ lik bir eğim ile en uygun EKF'nin I-25 olduğu görülmüştür. Seçilen uzunluklara göre de analiz edildiğinde en kısa boyda yine I-25 EKF' si kullanılmıştır.

4.2. Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması

Benzetimde kullanılan EKF'ler için EKFY'siz düzeneklerde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5.'de görülmektedir. 5 metrelik I-25 EKF'si 35.14 nm'lik band genişliği ve $\Delta P=32.8$ dB ile kenar filtre olarak seçilebilecek değerler göstermiştir. M-5 EKF'si benzetimlerde olduğu gibi $\theta = 21,8014$ ile az bir eğim oluşturmuştur. M-12 EKF'sinin $\theta = 59,7436^\circ$ 'lik dik bir eğim verdiği görülmüştür.

Çizelge 4.5. EKFY'siz düzenekte kullanılan fiberlerin pasif filtrede kullanılabilir alanlarının değerleri

	BW _{min} (nm)	BW _{mak} (nm)	BW (nm)	P _{min} (dBm)	P _{mak} (dBm)	ΔP (dB)	Eğim (tanθ°)
I-6 (20 m)	1547.33	1568.23	20.9	-54.12	-28.52	25.6	37,7939
I-25 (5 m)	1540.78	1575.92	35.14	-53.6	-20.8	32.8	36,6598
M-5 (12 m)	1537.68	1569.96	32.28	-41.02	-22.78	18.24	21,8014
M-12 (12 m)	1554.4	1573.4	19	-54.24	-26.4	27.84	59,7436

Çizelge 4.6. da benzetimde kullanılan bütün EKF'ler için kurulan EKFY'li düzenekteki sonuçlar verilmiştir. 20 metre I-6 EKF si 980 nm 135 mW pompa lazeri ile maksimum band genişliği ve eğim sağlamıştır. Bundan sonraki durumda pompa lazerin gücü arttığında band genişliği ve eğim azalmıştır. 113 mW pompa lazer gücünde düşen kenar olarak 1560.03-1573.63 nm arasında 13.6 nm'lik bir band genişliğinde ve 11.28 dB'lik güç değişimi ile eğim ve band genişliği yüksek bir kenar filtre olarak kullanılabilir bölge oluşmuştur. 5 metre I-25 EKF'si en uygun kenar filtre bölgesini 980 nm ve 67.5 mW pompa lazeri ile 27.58 nm'lik bir band genişliği ve 16.32 dB'lik güç değişimi ile sağlamıştır. Bu güçten sonraki azalım ve artırımlarda kapsadığı band genişliği ve eğim azalmıştır. I-25 EKF'si düşen kenarda ise en uygun bölgesini 980nm ve 225 mW pompa lazerinde 18.9 nm'lik band genişliği 17.76 dB'lik güç değişimi ile sağlamıştır. M-5 EKF'si için lazer pompa gücü 305 mW'ye kadar çıkarılmıştır. 980 nm 305 mW güçte 23.4 nm'lik band genişliği 29.76 dB'lik güç değişimi ile uygun bölge elde edilmiştir. M-12 EKF'si için lazer gücü artırıldıkça eğim ve band genişliğinin arttığı görülmüştür. 265 mW güçte 28.8 nm'lik bir band genişliği ve 36.48'lik güç değişimi ile kenar filtre alanı belirlenmiştir. Düşen kenarda M-12 EKF si için uygun olan güç ise 980 nm 240 mW güçtür. Bu güçte 15.4 nm'lik bir band genişliği 15.2 dB'lik bir güç değişimi elde edilmiştir.

Çizelge 4.6. EKFY'li düzenekte kullanılan fiberlerin pasif filtrede kullanılabilir alanlarının değerleri (DK: Düşen Kenar)

	BW _{min} (nm)	BW _{mak} (nm)	BW (nm)	P _{min} (dBm)	P _{mak} (dBm)	ΔP (dB)	Eğim (tanθ°)
I-6 (113 mW) DK	1560.03	1573.63	13.6	-35.04	-23.76	11.28	33,2749
I-6 (113 mW)	1543.63	1557.53	13.9	-30.84	-23.52	7.32	22,1094
I-6 (135 mW)	1536.93	1555.93	19	-33.64	-21.64	12	26,0535
I-6 (290 mW)	1543.33	1554.13	10.8	-26.88	-20.88	6	21,8014
I-25 (67.5 mW)	1527.96	1555.54	27.58	-56.32	-40	16.32	28,0092
I-25 (76.5 mW)	1527.12	1554.56	27.44	-54.24	-38.24	16	28,0725
I-25(123.5 mW) DK	1559.12	1576.9	17.78	-39.84	-26.88	12.96	41,9872
I-25(123.5 mW)	1543.16	1556.88	13.72	-31.84	-27.04	4.8	17,6501
I-25(225 mW) DK	1559.68	1578.58	18.9	-39.52	-21.76	17.76	40,1565
M-5(305 mW)DK	1562.64	1578.36	15.72	-44.54	-32.06	12.48	23,0169
M-5(305 mW)	1535.76	1559.16	23.4	-61.5	-31.74	29.76	44,3564
M-12(110 mW)	1547.6	1562.6	15	-62.24	-44.96	17.28	54,2461
M-12(142.5 mW)	1537.8	1560	22.2	-62.24	-34.08	28.16	55,9807
M-12(160 mW)	1535.6	1559.4	23.8	-62.24	-30.4	31.84	56,0035
M-12(240 mW) DK	1561.8	1577.2	15.4	-34.24	-19.04	15.2	49,3987
M-12(240 mW)	1531.2	1559	27.8	-54.24	-19.04	35.2	57,6002
M-12(265 mW)	1530	1558.8	28.8	-53.92	-17.44	36.48	57,3194

Pasif kenar filtreler dalga boyunda demodülasyon sistemi için sıklıkla kullanılır. Pasif doğrusal kenar filtre sistemlerinin avantajı, aktif dalga boyu ölçüm sistemlerine kıyasla düşük maliyetli, imal kolaylığı ve yüksek ölçüm hızlarıdır.

Bu çalışmada, OptiAmplifier 4.0 simülatör yazılımı kullanılarak -5 dBm, -10 dBm, -15 dBm, -20 dBm giriş güçlerinde; I-6, I-25, M-5, M-12 EKf'lerin çeşitli uzunluklarının yer aldığı sistemler modellenmiştir. EKf çeşitlerinin farklı uzunluk ve güçlerde karakteristik özellikleri gözlenmiş ve değerlendirilmiş, kenar filtre tasarımı için en uygun parametreler çıkarılmıştır.

Çıkan bu parametrelere göre en uygun uzunlukların I-6 için 20 metre, I-25 için 5 metre, M-5 ve M-12 için 12 metre çıkarımı yapılmış, bu özelliklere göre önce EKf'y'siz olarak

daha sonra EKFY'li olarak deneysel sistemler tasarlanmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir. Çıkan sonuçlar analiz edilerek en uygun uzunluklarda filtre olarak kullanılan fiberlerin ne kadar bandı kapsadığı ve nasıl davrandığı incelenmiştir.

Çalışmadan çıkarılan sonuçlar değerlendirildiğinde I-25 EKF'sinin 36 nm'lik bir band genişliğini kapsadığı görülmüştür. FBI algılama uygulamalarında kullanılacak I-25 EKF'si ile bir FBI'nın 4 nm'lik bir kısmı kapsadığı düşünülürse yaklaşık 9 adet FBI kullanılan bir sistem oluşturulabilir. Yine M-12 EKF'si 57°'lik eğim ve 30 nm band genişliği ile kenar filtre olarak kullanılacak sonuçlar vermiştir.



KAYNAKLAR

1. Romero, R., Frazao, O., Marques, P. V. S., Salgado, H. M., and Santos, J. L. (2003). Fibre Bragg grating interrogation technique based on a chirped grating written in an erbium-doped fibre. *Measurement Science and Technology*, 14(11), 1993–1997.
2. Lobo Ribeiro, A. B., Ferreira, L.A., Tsvetkov, M., and Santos, J.L. (1996). All-fibre interrogation technique for fibre Bragg sensors using a biconical fibre filter. *Electronics Letters*, 32(4), 382-383.
3. Wang, Q., and Farrel,G. (2006). Multimode-fiber-based edge filter for optical wavelength measurement application and its design. *Microwave and Optical Technology Letters*, 48(5), 900-902
4. Tiwari, U., Thyagarajan, K., Shenoy, M. R., and Jain, S. C. (2013). EDF-based edge-filter interrogation scheme for FBG sensors. *IEEE Sensor Journal*, 13(4), 1315–1319.
5. Yücel, M., Öztürk, N. F., Göktaş, H. H., ve Gündüz, A. E. (2016, May). *Design of a Fiber Bragg Grating based temperature sensor*. Paper presented at Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), Zonguldak.
6. Yucel, M., Ozturk, N. F., ve Gemci, C. (2016, July). *Design of a Fiber Bragg Grating multiple temperature sensor*. Paper presented at Sixth International Conference of Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP), Konya.
7. Yücel, M., Gündüz, A. E., Göktaş, H. H., ve Öztürk, N. F. (2016, May). *Using single-mode fiber as temperature sensor*. Paper presented at Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), Zonguldak.
8. Yücel, M., Öztürk, N. F., ve Göktaş, H. H. (2015, May). *The analyzes of the Brillouin scattering for the different fiber types*. Paper presented at Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Malatya.
9. Yücel, M., Göktaş, H. H., ve Öztürk, N. F. (2014, April). *The fiber optical sensing based on Brillouin scattering*. Paper presented at Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Trabzon.
10. Yucel, M., Ozturk, N. F., Goktas, H. H., Gemci, C., ve Celebi, F. V. (2015). The Effects of Signal Level of the Microwave Generator on the Brillouin Gain Spectrum in BOTDA and BOTDR. *Electronic and Communication Engineering*, 10(1), 23-27.
11. Alfonso, J. E., Cardenas, L. G., Triana, C. A., and Duran, M. V. (2013). *Design of an optical sensing interrogator using an edge filter scheme*. Paper presented at Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC), Parana.
12. Carvalho, J. P., Frazão, O., Romero, R., Marques, M. B., and Salgado, H. M. (2006). Fibre Bragg grating switching behaviour using high-power pump laser diodes. *Microwave and Optical Technology Letters*, 48(8), 1538-1540.

13. Stathopoulos, N. A., Savaidis, S. P., Simos, H., Rangoussi, M., and Kervalishvili, P. (2013). Simulation and properties of Erbium-Doped Distributed Bragg Reflectors (ED-DBRs) and Fiber Bragg Gratings (ED-FBGs). *Optical Fiber Technology*, 19(5), 369-377.
14. Rajan, G., Semenova, Y., Hatta, A., and Farrell, G. (2010). *Passive All-Fiber Wavelength Measurement Systems: Performance Determination Factors In Advances in Measurement Systems*. Dublin: InTech Publishers, 417-442.
15. Wang, Q., Farrell, G., Freir, T., Rajan, G., and Wang, P. (2006). Low-cost wavelength measurement based on a macrobending single-mode fiber. *Optics letters*, 31(12), 1785-1787.
16. Zhang, J., Sun, W., Yuan, L., and Peng, G. D. (2009). Design of a single-multimode-single-mode filter demodulator for fiber Bragg grating sensors assisted by mode observation. *Applied optics*, 48(30), 5642-5646.
17. Wang, Q., Farrell, G., and Yan, W. (2008). Investigation on single-mode-multimode-single-mode fiber structure. *Journal of Lightwave Technology*, 26(5), 512-519.
18. Melle, S. M., Liu, K., and Measures, R. M. (1992). A passive wavelength demodulation system for guided-wave Bragg grating sensors. *IEEE Photonics Technology Letters*, 4(5), 516-518.
19. Fallon, R. W., Zhang, L., Overall, L. A., Williams, J. A. R., and Bennion, I. (1998). All-fibre optical sensing system: Bragg grating sensor interrogated by a long-period grating. *Measurement Science and Technology*, 9(12), 1969.
20. Davis, M. A., and Kersey, A. D. (1994). All-fibre Bragg grating strain-sensor demodulation technique using a wavelength division coupler. *Electronics Letters*, 30(1), 75-77.
21. Wild, G., and Hinckley, S. (2009, December). *Distributed optical fibre smart sensors for structural health monitoring: A smart transducer interface module*. Paper presented at 5th International Conference of Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), Melbourne.
22. Zhou, K., Simpson, A. G., Chen, X., Zhang, L., and Bennion, I. (2004). Fiber Bragg grating sensor interrogation system using a CCD side detection method with superimposed blazed gratings. *IEEE Photonics Technology Letters*, 16(6), 1549-1551.
23. Rajan, G. (Editor). (2015). *Optical fiber sensors: advanced techniques and applications* (Vol. 36). New York: CRC press, 207-257.
24. Geusic, J. E., and Scovil, H. E. D. (1962). A Unidirectional Traveling-Wave Optical Maser. *Bell Labs Technical Journal*, 41(4), 1371-1397.
25. Koester, C. J., and Snitzer, E. (1964). Amplification in a fiber laser. *Applied optics*, 3(10), 1182-1186.

26. Snitzer, E., and Woodcock, R. (1965). Yb³⁺-Er³⁺ GLASS LASER. *Applied Physics Letters*, 6(3), 45-46.
27. Stone, J., and Burrus, C. (1973). Neodymium-doped silica lasers in end-pumped fiber geometry. *Applied Physics Letters*, 23(7), 388-389.
28. Stone, J., and Burrus, C. A. (1974). Neodymium-doped fiber lasers: room temperature cw operation with an injection laser pump. *Applied Optics*, 13(6), 1256-1258.
29. Stone, J., Burrus, C. A., Dentai, A. G., and Miller, B. I. (1976). Nd: YAG single-crystal fiber laser: Room-temperature cw operation using a single LED as an end pump. *Applied Physics Letters*, 29(1), 37-39.
30. Hegarty, J., Broer, M. M., Golding, B., Simpson, J. R., and MacChesney, J. B. (1983). Photon echoes below 1 K in a Nd³⁺-doped glass fiber. *Physical review letters*, 51(22), 2033.
31. Broer, M. M., Golding, B., Haemmerle, W. H., Simpson, J. R., and Huber, D. L. (1986). Low-temperature optical dephasing of rare-earth ions in inorganic glasses. *Physical Review*, 33(6), 4160.
32. Poole, S. B., Payne, D. N., and Fermann, M. (1985). Fabrication of low-loss optical fibres containing rare-earth ions. *Electronics Letters*, 21(17), 737-738.
33. Townsend, J. E., Poole, S. B., and Payne, D. (1987). Solution-doping technique for fabrication of rare-earth-doped optical fibres. *Electronics Letters*, 23(7), 329-331.
34. Mears, R. J., Reekie, L., Jauncey, I. M., and Payne, D. N. (1987, January). *High-gain rare-earth-doped fiber amplifier at 1.54 μm*. Paper presented at the Optical Fiber Communication Conference, USA.
35. Mears, R. J., Reekie, L., Jauncey, I. M., and Payne, D. N. (1987). Low-noise erbium-doped fibre amplifier operating at 1.54 μm. *Electronics Letters*, 23(19), 1026-1028.
36. Li, J., Li, H., Jiang, Z., Liu, X., and Yin, H. (2004). Spectrum properties of Erbium with other rare-earth ions co-doped optical fiber. *Optics and Optoelectronic Technology*, 9.
37. Desurvire, E., Simpson, J. R., and Becker, P. C. (1987). High-gain erbium-doped traveling-wave fiber amplifier. *Optics Letters*, 12(11), 888-890.
38. Snitzer, E., Po, H., Hakimi, F., Tumminelli, R., and McCollum, B. C. (1988, January). *Erbium fiber laser amplifier at 1.55 μm with pump at 1.49 μm and Yb sensitized Er oscillator*. Paper presented at the Optical Fiber Communication Conference, USA.
39. Nakazawa, M., Kimura, Y., and Suzuki, K. (1989). Efficient Er³⁺-doped optical fiber amplifier pumped by a 1.48 μm InGaAsP laser diode. *Applied Physics Letters*, 54(4), 295-297.
40. Olsson, N. A. (1989). Lightwave systems with optical amplifiers. *Journal of Lightwave Technology*, 7(7), 1071-1082.

41. Edagawa, N., Mochizuki, K., and Wakabayashi, H. (1989). 1.2 Gbit/s, 218 km transmission experiment using inline Er-doped optical fibre amplifier. *Electronics Letters*, 25(5), 363-365.
42. Yamada, M., Shimizu, M., Horiguchi, M., and Okayasu, M. (1992). Temperature dependence of signal gain in Er/sup 3+/-doped optical fiber amplifiers. *IEEE journal of quantum electronics*, 28(3), 640-649.
43. Lin, M. C., and Chi, S. (1992). The gain and optimal length in the erbium-doped fiber amplifiers with 1480 nm pumping. *IEEE photonics technology letters*, 4(4), 354-356.
44. Kogelnik, H., and Yariv, A. (1964). Considerations of noise and schemes for its reduction in laser amplifiers. *Proceedings of the IEEE*, 52(2), 165-172.
45. Kagi, N., Oyobe, A., and Nakamura, K. (1991). Temperature dependence of the gain in erbium-doped fibers. *Journal of lightwave technology*, 9(2), 261-265.
46. Yücel, M. (2008). *Kazancı Düzleştirilmiş Geniş Bandlı Fiber Yükselteçlerin Tasarımı*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara, 23-37.
47. Becker, P. M., Olsson, A. A., and Simpson, J. R. (1999). *Erbium-doped fiber amplifiers: fundamentals and technology*. USA: Academic press, 131-374.
48. Desurvire, E., and Zervas, M. N. (1995). Erbium-doped fiber amplifiers: principles and applications. *Physics Today*, 56.
49. Rebolledo, M. A., and Jarabo, S. (1994). Erbium-doped silica fiber modeling with overlapping factors. *Applied optics*, 33(24), 5585-5593.
50. Rebolledo, M. A. (2004). Characterization and modeling of Erbium-doped fibers and integrated waveguides. *Fiber and integrated optics*, 23(2), 189-200.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KOYUNCU, Onur
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 22.03.1986, Samsun
Medeni Hali : Evli
E-posta : onur.86@hotmail.com

Eğitim

Eğitim Derece	Okul/Program	Mezuniyet yılı
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Bilişim Sistemleri	Devam Ediyor
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği	2009
Lise	Kalaba Anadolu Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2010-2014	ZTE	Mühendis
2014- devam ediyor	AFAD	Uzman

Yabancı Dil

İngilizce



GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR.