

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

L-BAND ERBİYUM KATKILI FİBER YÜKSELTEÇ ANALİZİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KAZANÇ TAHMİNİ

Özgür DÜNDAR

Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Öğr.Gör. Dr. S.Sinan GÜLTEKİN

2007. 91 sayfa

Jüri : Yrd.Doç.Dr. Salih GÜNEŞ
Yrd.Doç.Dr. Nihat YILMAZ
Öğr:Gör.Dr. S.Sinan GÜLTEKİN

Erbium Katkılı Fiber Optik Yükselteçler; kararlı spektrum özellikleriyle çok yüksek güçte çalışmaları, düşük ek kayıpları, büyük band genişlikleri ve düşük gürültü özellikleri sağlarlar. Erbium Katkılı Fiber Optik Yükselteçler herhangi bir elektronik dönüştürücüye gereksinim duymazlar ve bütün dalga boylarını aynı anda yükseltirler.

Bu çalışmada ileri, geri ve iki yönlü spektrum, kazanç ve ASE etkisi OptiAmplifier 4.0 simülasyon programı kullanılarak incelenmiştir. Sonuç olarak iki yönlü pompalamada 1480-1480 nm dalga boyunun kullanılması kararlı spektrum özelliği, yüksek kazanç ve düşük ASE etkisi nedeniyle avantajlı olduğu görülmüştür. Ancak kısa mesafeli optik iletimde, iki yönlü pompalamalı yükselteçte maliyet faktörü yüksek olduğundan dolayı ileri yön pompalamalı konfigürasyon kullanılabilir.

Son yıllarda, insan beyninin çalışma prensibini yapay olarak modellemeyi amaçlayan Yapay Sinir Ağları, nesne tanıma, görüntü ve sinyal işleme gibi alanların yanı sıra doğrusal olmayan sistemlerin tanınması ve uyarlamalı denetimi alanında da en önemli araç olmuştur. En önemli özelliği öğrenme özelliğidir ve bir olay hakkında girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi doğrusal olsun veya olmasın mevcut örneklerden öğrenerek çözümler üretebilir.

Bu üstün özelliğinden dolayı bu çalışmaya ek olarak Erbium Katkılı Fiber Optik Yükselteç kazanç parametresinin farklı mesafeler için YSA ile hesaplanabileceği gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılarak oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Optik Yükselteçler, L-Bandı Erbium Katkılı Fiber Yükselteçler (EDFA), Yapay Sinir Ağları (YSA)

ABSTRACT

MS Thesis

ANALYSIS OF L-BAND ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER AND GAIN TO ESTIMATE ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Özgür DÜNDAR

Selcuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical-Electronics Engineering

Supervisor : Lecturer Dr. S.Sinan GÜLTEKİN

2007. 91 Page

Juri : Yrd.Doç.Dr. Salih GÜNEŞ
Yrd.Doç.Dr. Nihat YILMAZ
Öğr.Gör.Dr. S.Sinan GÜLTEKİN

Erbium-Doped Fiber Amplifiers (EDFAs) feature operation at very high output powers with their stable spectrum characteristics, low insertion loss, large bandwidth and low noise. EDFAs do not require any electronic converters and amplify all signal wavelengths simultaneously.

In this study, the affects of forward, backward and bidirectional spectrums, gain and amplified spontaneous emission (ASE) have been investigated using OptiAmplifier 4.0 simulation software. As a result, in bidirectional pumping using the wavelengths of 1480-1480 nm was proven advantageous because of stable spectrum characteristic, high gain and low ASE affect. However, in short distance optical communication, because the cost factor is higher for bidirectional pumping amplifier, forward pumping configuration can be used.

In recent years, Artificial Neural Networks (ANN) that tries to emulate operating principles of human brain has become one of the most important tools in nonlinear system modeling and adaptive control besides the fields such as pattern recognition, image and signal processing. Its most important feature is learning and for a problem it is capable of identifying input output relationship that may be linear or nonlinear by using the available data.

Because of its superior learning feature, in addition to the simulation studies, it was shown that the gain parameter of EDFA can be calculated for a given distance by means of ANN. The obtained results were compared with the simulation results and they were found to be quite in compliance.

Key Words : Optic Amplifiers, L-Band Erbium Doped Fiber Amplifiers (EDFA), Artificial Neural Networks (ANNs)

1.GİRİŞ

Her toplum için haberleşme; toplumu oluşturan bireyleri bir arada tutan önemli bir araçtır. Son zamanlarda toplumu oluşturan bireylerin bilgi edinmeleri ve bu bilgilerden faydalanarak kendilerini geliştirmeleri önemli ölçüde kolaylaşmıştır. Yakın gelecekte ise dünya nüfusunun büyük bir kısmı elektronik haberleşme araçlarını (radyo, televizyon, telefon, internet vs.) yoğun olarak kullanılmaya devam edecektir.

Son yıllarda elektronik iletişimde oluşan enformasyonun global dağıtım ve paylaşımında oluşan olağanüstü artış, daha ekonomik ve geniş kapasiteli iletişim sistemlerine olan talebi de aynı oranda artırmaktadır. Küresel radyolink, koaksiyel sistemleri ile uydu iletişim sistemleri, her geçen gün artan talebe ancak geçici bir rahatlama getirmektedirler. Geniş kapasitelere cevap verebilecek ve yüksek kalitede hizmet sağlayabilecek ekonomik iletişim sistemleri gereklidir. Bilgi taşıyıcı olarak ışığın kullanıldığı fiber optik iletişim sistemleri, sağladığı yüksek kapasite ve sinyal kalitesi nedeniyle hızla yaygınlaşmaktadır (Agrawal 1992).

Bir haberleşme elemanı açısından fiber optik sistemlerin başlıca avantajı yüksek bant genişliği ve dolayısıyla yüksek bir bilgi taşıma kapasitesi elde edilebilmesidir. İletim kaybı da çok küçük olduğundan tekrarlayıcı aralıkları diğer kablo sistemlerine oranla çok daha büyük tutulabilmektedirler. Fiber kullanımı elektromanyetik karışımdan bağımsız olmasını sağlar. Ayrıca optik kablo nedeniyle verici ve alıcı elektriksel olarak birbirinden izole edilmiş olduğu için toprak döngüsüne de gerek kalmamıştır. Kısa devrelerden oluşan kıvılcım tehlikesi olmaması ise yanıcı maddeler içeren çevreler içinde aranan bir diğer özelliktir.

Fiber-ışık ortaklığının başlıca özellik ve avantajları şunlardır:

- | | |
|--|---------------------------------------|
| • Büyük band genişliği | Büyük iletim kapasitesi |
| • Düşük iletim kaybı | Uzun repeter (tekrarlayıcı) aralığı |
| • Elektro manyetik alanlardan bağımsız | Koruma kolaylığı |

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| • Yalıtkan | Alıcı ve vericinin izolasyonu |
| • Hafiflik, küçük ebat, elastikiyet | Tesis etme kolaylığı |
| • Tepkilere dayanıklılık | Yüksek güvenlik |
| • Non İndüktif özellik | Voltaj dalgalanmalarından korunma |

Fiber optik sistemler önceleri telefon şebekelerindeki uzun telekomünikasyon sistemleri için önerildi. 1960'lı yıllarda kullanılan fiber kablolar aşırı kayıplıydı. Yaklaşık 1 kilometrede 100 dB'den fazla kayıp vardı. Bu da iletim mesafesini sınırlıyordu. 1970 yılında, Corning Glass Works'un 20 dB/km'den daha az kaybı olan bir fiber optik geliştirmesi, fiber optik iletişim sistemlerini oluşturmak için gerekli ilk büyük adımdır. Fiber optik teknolojisi 1970' den günümüze kadar çok büyük gelişmeler göstermeye devam etmektedir.

İlk yüksek kapasiteli uzun mesafe ışık dalgası linki AT&T tarafından Kuzey-Doğu Amerika'da kuruldu. Bu link 1280 km uzunluğundaydı. Bu sırada Bell Firması tarafından üretilen optik kablolarda bir çift cam fiber üzerinden aynı anda 672 konuşma kanalı elde edildi. Sonradan lazer kullanımıyla bu sayı bir çift fiber için 12000 konuşma kanalına çıkartıldı. 1988'de AT&T firması TAT_8 transatlantik kablosu ile Atlantik Okyanusunun iki yakası arasında iletişimi sağlayarak Avrupa ile Amerika kıtasını birleştirmiştir. Burada lazer tekniği kullanılmış ve iki çift fiber üzerinden 560Mbit/s hız ile aynı anda 40000 görüşme kapasitesi sağlanmıştır (Agrawal 1992).

Ülkemizde ise 1985 yılı başlarından itibaren bazı şehir içi koaksiyel sistemler yerine fiber optik sistemler kullanılmıştır. İlk fiber optik sistem Erikson firması tarafından Ankara içinde ve Gölbaşı-Ankara arasında toplam 60 Km uzunluğunda bir hatta kurulmuştur. Bu fiber optik sistemde data hızı 140 Mbit/s olup verici olarak lazer, alıcı olarak da PIN-FET kullanılmıştır ve reparter aralığı ise 35 Km olarak belirlenmiştir (Ulusal Optik 2005).

Günümüzde ise tek kanallı sistemlerde 40 Gbit/s, çok kanallı dalga boyu bölmeli sistemlerde ise birkaç Tbit/s gibi yüksek iletişim hızlarına erişilmiştir (Çakır 2000)

Dispersiyon problemi ile birlikte optik fiberlerde oluşan sinyal zayıflaması, uzun mesafe optik iletişimin gerçekleşmesini önemli ölçüde sınırlamaktadır. Başlangıçta zayıflama problemi elektriksel tekrarlayıcılar ile giderilirken yakın zamanda geliştirilen optik amplifikatörler sayesinde zayıf optik sinyalleri doğrudan optik olarak yükseltmek mümkün olmuştur. Optik amplifikatörler ile yüksek kazanç, düşük gürültü, yüksek bant genişliği ve büyük çıkış gücü karakteristikleri elde etmek mümkündür.

Erbiyum, Holmiyum, Neodmiyum, Prasedmiyum, Samariyum, Tuliyum ve Yeterbiyum gibi birçok nadir toprak iyonlar kullanılarak görülebilir ışık bölgesinden kızıl ötesi ışık bölgesine kadar geniş bir spektrumu kapsayan farklı dalga boylarında çalışan fiber amplifikatörler yapılabilir (Flood 1999).

Bunlardan birisi olan Er^{3+} (Erbiyum) iyonundan faydalanılarak Erbiryum Katkılı Fiber Yükselteçler (EDFA) geliştirilmiştir. Doğal olarak optik sinyali optik ortamda yükseltmek, elektriksel tekrarlayıcılara göre daha kullanışlı ve avantajlıdır. Optik yükseltme için metre başına birkaç milyon erbiyum iyonu katkılanmış standart fiber, bir iki adet optik kuplör ve pompalama kaynağı yeterlidir. Bu sistemle zayıflamış ve bozulmuş olarak gelen optik sinyal, EDFA ortamında uygulanan pompalama vasıtasıyla yükseltilmiş olur. Erbiryum katkılı fiber lazerler ve yükselteçler uzun mesafe fiber optik haberleşme sistemlerinde kullanılan 1.55 μm dalga boyu civarındaki çalışma bölgesinde önemli avantaj sağlarlar. EDFA'larda ekleme kaybı düşüktür, kutuplanmaya duyarlı değildir ve aynı zamanda fiberden fibere yüksek kazanç ve geniş band genişliği sağlarlar (Arı 1998).

Bu çalışmada, L bandında (1570 nm-1610 nm) ileri geri ve iki yönlü pompalanmış Erbiryum katkılı fiber yükselteçler için pompalama yönünün EDFA parametrelerine etkisi, 980 nm ve 1480 nm' de pompalanan yükselteçler için

pompalama dalga boyunun etkisi ve ASE(Kendiliğinden Yükseltişmiş Yayılma)' li ve ASE' siz kazanç ve çıkış gücünün fiber boyunca değişimi incelenmiştir. Ayrıca son bölümde verilen çalışmada öğrenme yeteneği, genelleme yapabilmeleri, problem çözümünde az bilgiye ihtiyaç duymaları, gerçek zamanlı işlemleri kısa sürede yapabilmeleri, kolaylıkla donanım olarak gerçekleştirilebilmeleri ve eksik parametrelerin tamamlanmasında kullanılabilmeleri sebebiyle Yapay Sinir Ağları (YSA) tabanlı Çok Katlı Perseptron (ÇKP) ağına ait Genelleştirilmiş Delta-Bar-Delta (GDBD) algoritması kullanılarak simülasyon sonuçları, oluşturulan bir model ile eğitilerek farklı mesafelerdeki fiber kablonun kazanç parametreleri bulunmuştur.

2. bölümde fiber optik iletişim sistemi, ışık yayını ve fiber optik türleri açıklanmıştır.

3. bölümde, optik yükselteçler kısaca açıklanmış ve bunların birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları incelenmiştir.

4. bölümde Erbiyum katkılı optik yükselteçlerin teorik analizi yapılmıştır.

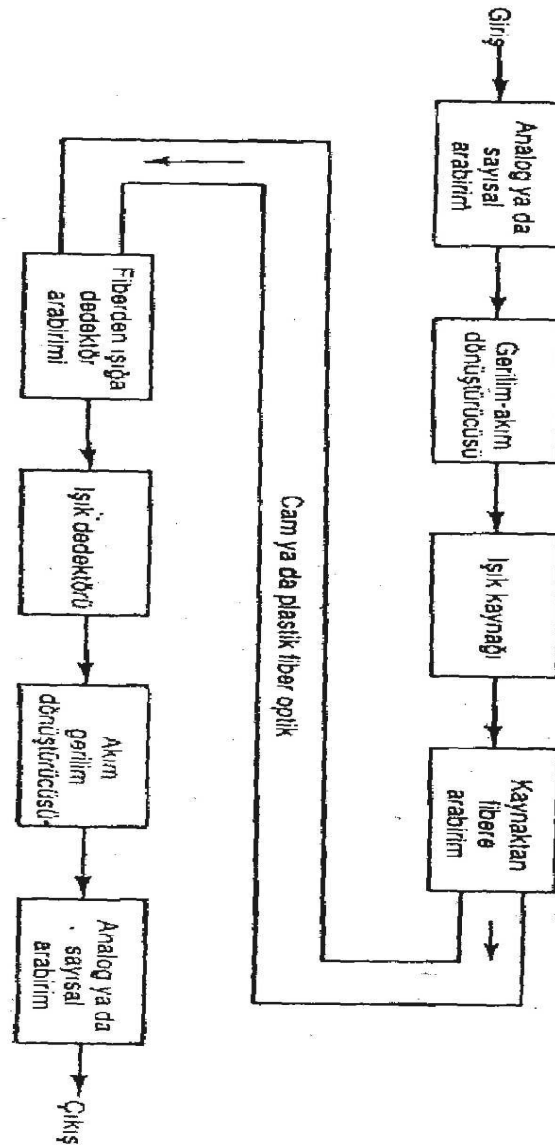
5. bölümde teorik analizi yapılan L Bandı Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçlerin simülasyonu yapılarak, elde edilen sonuçlar OptiAmplifier 4.0 (OptiAmplifier 4.0 2002) programı kullanılarak verilmiştir.

6. bölümde ise alınan simülasyon sonuçları, Yapay Sinir Ağları'nda oluşturulan bir model ile eğitilerek farklı mesafelerdeki fiber kablonun kazanç parametreleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar simülasyon sonuçları ile karşılaştırılarak grafikleri verilmiştir.

2. FİBER OPTİK İLETİŞİM SİSTEMİ, IŞIK YAYINIMI VE FİBER OPTİK TÜRLERİ

2.1. Fiber Optik İletişim Sistemi

“Fiber Optik İletişim Hattı” üç ana bölümden oluşur. Bu hattın bölümlerinin basitleştirilmiş blok diyagramı şekil 2-1’de gösterildiği gibi; verici, alıcı ve fiber kılavuzudur.



Şekil 2.1 Fiber optik iletişim hattı

Verici; analog ya da sayısal bir arabirim, gerilim-akım dönüştürücüsü ve uygun bir ışık kaynağı ile kaynaktan fibere ışık bağlayıcı birimlerinden oluşur. Alıcı ise; bir fiberden ışık dedektörüne geçişi sağlayan ve bir bağlantı elemanı olan foto dedektör, akım-gerilim dönüştürücüsü, yükselteç ve analog ya da sayısal bir arabirimden oluşur. Fiber kılavuz, ya aşırı saf cam ya da plastik bir kablodur.

Fiber optik bir vericide, ışık kaynağı sayısal ya da analog bir sinyal tarafından modüle edilebilir. Analog modülasyonda, giriş arabirimi empedansları eşdeğer ve giriş sinyal genliğini sınırlar. Sayısal modülasyonda ise başlangıçtaki kaynak zaten sayısal biçimde olabilir. Eğer kaynak bilgisi sayısal değilse analog biçimde ise, sayısal darbe akışına dönüştürülmesi gerekir. Kaynak bilgi, analog olduğunda, arabirimde ek olarak bir analog/sayısal dönüştürücü bulunmalıdır.

Gerilim akım dönüştürücüsü, giriş devreleri ile ışık kaynağı arasında elektriksel bir arabirim vazifesi görür. Işık kaynağı, ya ışık yayan bir diyod (LED) ya da enjeksiyon lazer diyodudur (ILD). Bir LED ya da ILD tarafından yayılan ışık miktarı, sürme akımının miktarına eşittir. Gerilim akım dönüştürücüsü, geniş bir sinyal gerilimini ışık kaynağını sürmede kullanılan bir akıma dönüştürür.

Kaynaktan fibere giden hat bir ışık bağlayıcıdır ve mekanik bir arabirimdir. İşlevi, kaynaktan yayılan ışığı fiber optik kaynağa bağlamaktır. Fiber optik, cam ya da plastik çekirdekten, koruyucu zarftan ve bir kılıftan oluşmaktadır. Fiberden ışık dedektörüne bağlantı elemanı da mekanik bir bağlayıcıdır. Bu elemanın işlevi, fiber kablodan gelen mümkün olduğunca çok ışığı ışık dedektörüne bağlamaktır.

Işık dedektörü çoğunlukla ya bir PIN (pozitif-saf-negatif) diyot, ya da bir APD'dir (Çığ Fotodiyot). Gerek APD gerekse PIN diyot, enerjisini akıma dönüştürür. Dolayısıyla, bir akım-gerilim dönüştürücüsü gereklidir. Akım-gerilim dönüştürücüsü, dedektör akımındaki değişiklikleri çıkış sinyal gerilimindeki değişikliklere dönüştürür.

Alıcı çıkışındaki analog ya da sayısal arabirim de elektriksel bir arabirimdir. Eğer analog modülasyon kullanılıyorsa arabirim empedansları ve sinyal düzeylerini çıkış devreleriyle eşler. Eğer sayısal modülasyon kullanılıyorsa, arabirimde bir de sayısal-analog dönüştürücü bulunmalıdır (Özsoy 1998).

2.2. Fiber Türleri ve Fiber Yapımı

2.2.1. Fiber türleri

Temel olarak günümüzde mevcut üç fiber optik çeşidi vardır. Bu üç fiber optik çeşidi de camdan, plastikten ya da cam ile plastiğin birleşiminden yapılır. Üç fiber çeşidi şunlardır:

1. Plastik çekirdekli, plastik koruyucu zarflı
2. Cam çekirdekli, plastik koruyucu zarflı (çoğunlukla PCS fiber denir; plastik koruyucu zarflı silika)
3. Cam çekirdekli, cam koruyucu zarflı (Çoğunlukla SCS denir; silika koruyucu zarflı silika)

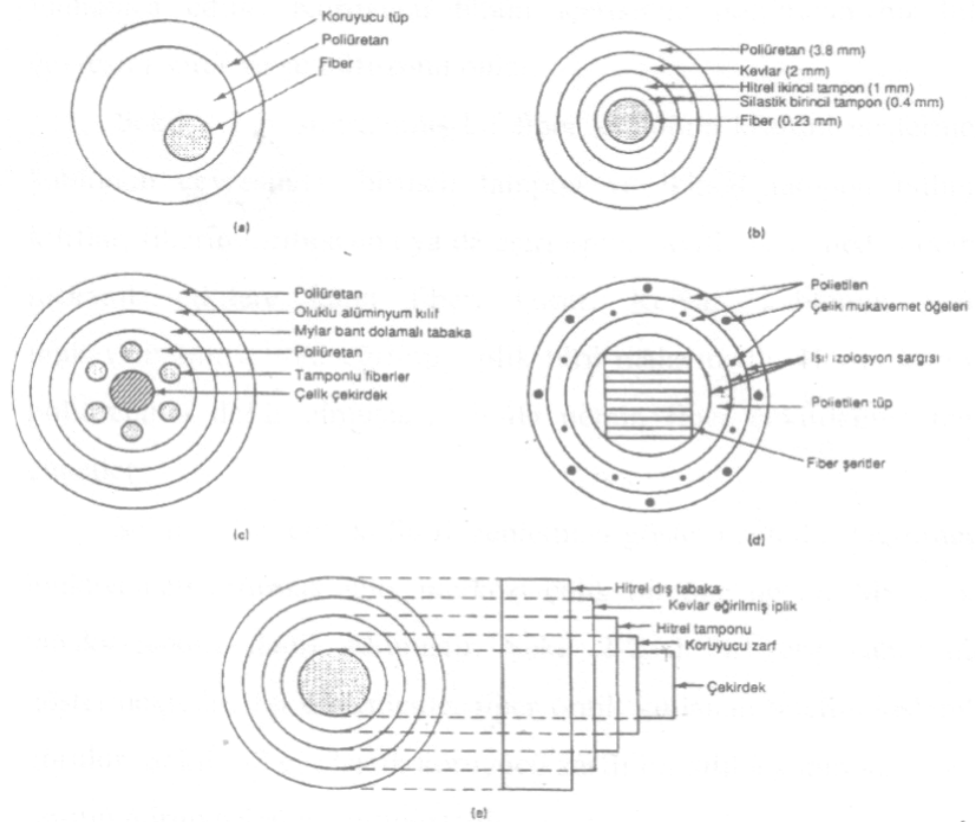
Halen Bell laboratuvarları, silikat olmayan bir maddenin, çinko klorit'in kullanıldığı dördüncü bir çeşidin kullanılıp kullanılmayacağını araştırmaktadır. Yapılan ilk deneyler, bu maddeden yapılmış fiberlerin, cam (silika bazlı) benzerlerinden 1000 kat daha verimli olacağını göstermiştir.

Plastik fiberlerin cam fiberlere oranla çeşitli avantajları vardır. Birincisi; plastik fiberler daha esnektir ve bu nedenle camdan daha dayanıklıdır. Monte edilmeleri kolaydır. Basınca daha dayanıklı ve daha ucuzdur. Üstelik cama oranla 100 de 60 daha hafiftir. Plastik fiberlerin dezavantajı ise yüksek zayıflama özellikleridir. Işığı cam kadar verimli yayamazlar. Dolayısıyla, plastik fiberlerin kullanımı nispeten kısa mesafelerle sınırlıdır.

Cam çekirdekli fiberler düşük zayıflama özellikleri sergilerler. Ancak, PCS (lastik koruyucu zarflı silika) fiberler SCS (silika koruyucu zarflı silika) fiberlerden biraz daha iyidir. Ayrıca PCS fiberler yayılımdan daha az etkilenirler. Dolayısıyla askeri uygulamalarda daha yaygındır. SCS fiberler en iyi yayılım özelliklerine sahiptir ve sonlandırılmaları PCS fiberlere oranla daha kolaydır. SCS kablolarının dezavantajı dayanıksız olmalarıdır ve yayılıma maruz kaldıklarında en fazla zayıflama bu kablolarda meydana gelir.

2.2.2 Fiber yapımı

Günümüzde birçok farklı kablo tasarımı mevcuttur. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi çeşitli fiber optik düzenlemelerinden örnekler verilmiştir. Tasarıma bağlı olarak, çekirdek, koruyucu zarf, koruyucu tüp, tamponlar, mukavemet öğeleri ve bir ya da daha fazla koruyucu kılıftan oluşur.



Şekil 2.2 Fiber optik kablo düzenlemelerinin (a) gevşek tüp yapımı (b) sınırlanmış fiber; (c) çok kollu, (d) telefon kablosu, (e) plastik koruyucu zarflı silika kablo.

Gevşek tüp yapımında (Şekil 2.2.a) her fiber, koruyucu bir tüpte muhafaza edilir. Koruyucu tüpün içerisinde poliüretan bir bileşik, fiberin çevresini sarar ve geçişleri önler. Şekil 2.2.b’de sınırlanmış bir fiber kablonun kesitini verilmiştir. Fiber kablonun çevresinde, birincil tampon ve ikincil tampon bulunur. tampon kılıflar, fiberin kırılmasına ya da aşırı optik zayıflamaya neden olabilecek harici mekanik etkilere karşı bir koruyucudur. Kevlar olarak isimlendirilen ve kablonun gerilmeye olan mukavemetini arttıran eğrilmiş bir iplik türü malzemedir. Harici koruyucu bir tüp poliüretan’la doldurulmuştur. Bu da nemin fiber çekirdeğine temas etmesini engeller. Şekil 2.2.c çok kollu düzenlemeyi göstermektedir. Gerilmeye karşı olan mukavemeti arttırmak için, merkezi çelik bir öge ile bir Mylar bant dolamalı tabaka pakete eklenmiştir. Şekil 2.2.d bir şerit kablo düzenlemesini göstermektedir. Bu düzenleme, fiber optik kullanan telefon sistemlerinde sıkça görülür. Şekil 2.2.e, plastik koruyucu zarflı bir silika kablonun yan görünüşü ile kesitin görünüşünü göstermektedir (Zhang 1999).

2.3. Işık Yayınımı

2.3.1. Işığın fiziksel özellikleri

Fiber optiklerin performansı, Maxwell denklemlerini uygulamak suretiyle tamamıyla analiz edilebilirse de, bu oldukça karmaşık bir yöntemdir. Çoğu pratik uygulamalarda, Maxwell denklemleri yerine geometrik ışın izleme yöntemi kullanılabilir. Geometri ışın izleme de yeterince ayrıntılı bir analizi sağlamaktadır.

2.3.2 Yayınım hızı

Elektromagnetik enerji (ışık), boş alanda yaklaşık olarak 300.000.000 m/s (saniyede 186.000 mil) hızla ilerler. Ayrıca, yayınım hızı boş alanda bütün ışık frekansları için aynıdır. Ancak, boş alanlardan daha yoğun ortamlarda bu hızın azaldığı kanıtlanmıştır. Elektromagnetik bir dalganın hızı, bir ortamdan daha yoğun bir ortama geçerken azaldığında ışık ışını normale doğru kırılır (bükülür). Ayrıca,

2.3.4. Kırılma indisi

Farklı yoğunluklardaki iki ortamın sınırlarında meydana gelen bükülme ya da kırılma miktarı, önceden tahmin edilebilir ve iki ortamın kırılma indisine bağlıdır. Kırılma indisi, bir ışık ışınının boş alandaki yayılma hızının belli bir ortamdaki yayılma hızına oranıdır ve aşağıdaki biçimde ifade edilir.

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.1)$$

Burada c boş alandaki ışık hızını, v ise belli bir ortamdaki ışık hızını vermektedir.

Bir ışık ışınının, farklı kırılma indislerine sahip iki geçirgen ortamın sınırına geldiğinde nasıl hareket ettiği Snell yasası ile açıklanabilir. Snell yasası,

$$N_1 \sin \theta_1 = N_2 \sin \theta_2 \quad (2.2)$$

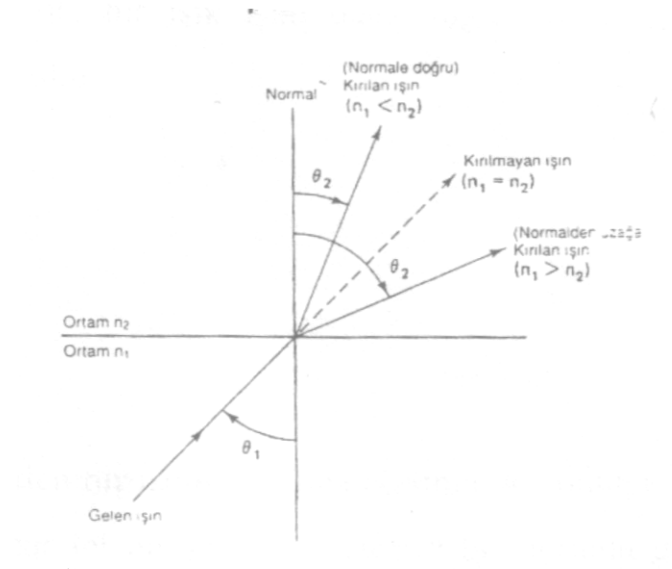
Burada $N_1 = 1$. ortamın kırılma indisi

$N_2 = 2$. ortamın kırılma indisi

θ_1 = geliş açısı

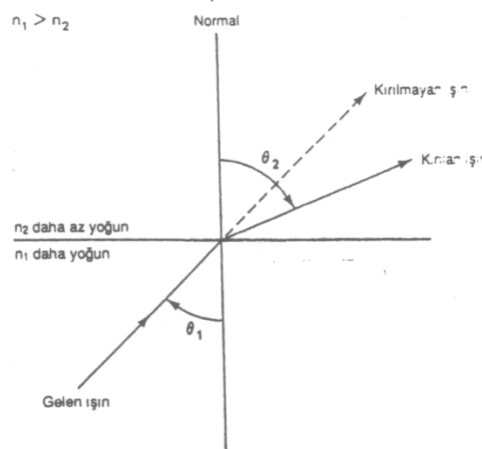
θ_2 = kırılma açısı ile gösterilmektedir.

Snell yasası için bir kırılma indisi modeli Şekil 2.4'de gösterilmiştir. İki ortamın sınırında, gelen ışın, N_1 'in N_2 'den daha küçük ya da daha büyük olmasına bağlı olarak, normale doğru veya normalden uzağa kırılabilir.



Şekil 2.4 Snell yasası için kırılma modeli

Şekil 2.4 daha yoğun bir ortamdan daha az yoğun bir ortama geçerken bir ışık ışınının nasıl kırıldığını göstermektedir. Işık ışınının iki ortamın sınırında yön değiştirdiği ve kırılma açısının geliş açısından büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, bir ışık ışını daha az yoğun bir ortama girdiğinde, ışın normalden uzağa bükülür (Normal, gelen ışının iki ortamın sınırına çarptığı noktada bu sınıra dik olarak çizilen bir doğrudur). Benzer şekilde Şekil 2.5’de görüldüğü gibi bir ışık ışını daha yoğun bir ortama girdiğinde ışık normale doğru bükülür (Özsoy 1998).



Şekil 2.5 Normalden uzağa kırılan ışık ışını

2.3.5 Kritik açı

Kritik açı, bir ışık ışınının iki ortamın sınırına çarptığı ve 90°'lik ya da daha büyük bir açıdan kırılmaya uğradığı minimum geliş açısı olarak tanımlanır. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi gelen bir ışının, kırılma açısının 90° olduğunu ve kırılan ışının iki ortamın sınırına paralel bir şekilde ilerlediği bir durumu göstermektedir. Ayrıca Snell yasası kullanılırsa,

$$\sin \theta_1 = \frac{N_2}{N_1} \sin \theta_2 \quad (2.3)$$

$\theta_2 = 90^\circ$ olduğuna göre

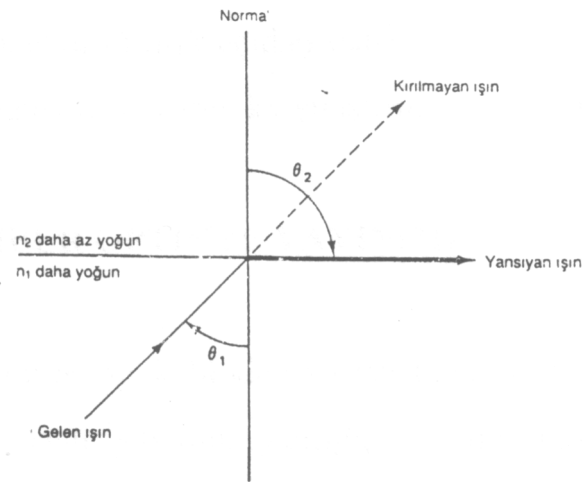
$$\sin \theta_1 = \frac{N_2}{N_1} \quad \text{ya da}$$

$$\sin \theta_1 = \frac{N_2}{N_1} \quad \text{ve} \quad (2.4)$$

$$\sin^{-1} \left(\frac{N_2}{N_1} \right) = \theta_1 = \theta_c \quad (2.5)$$

$$\sin^{-1} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$$

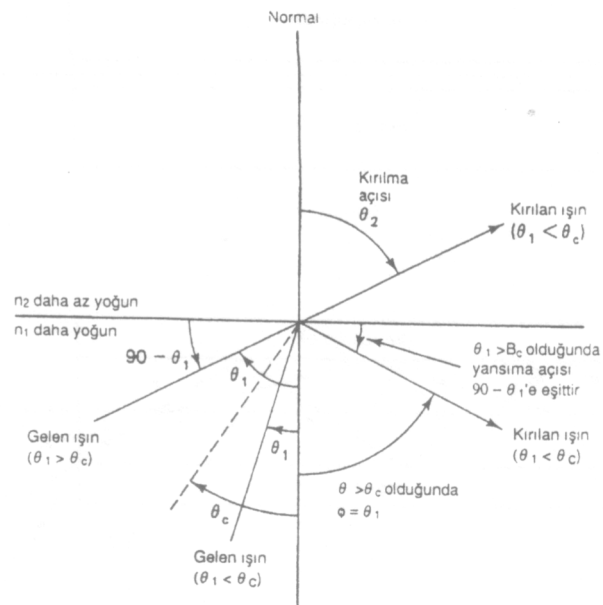
Burada θ_c kritik açıdır.



Şekil 2.6 Kritik açı yansıması

Kırılma açısı 90° ya da 90° 'den daha fazla ise ışık ışınının daha az yoğun ortama girmesi imkansız olur. Dolayısıyla iki ortamın sınırında tam yansıma gerçekleşir ve yansıma açısı geliş açısına eşit olur.

Şekil 2.7, geliş açısının kritik açıdan daha az ve daha çok olduğu durumlarda, kırılma açısı ile yansıma açısının karşılaştırılmasını göstermektedir.



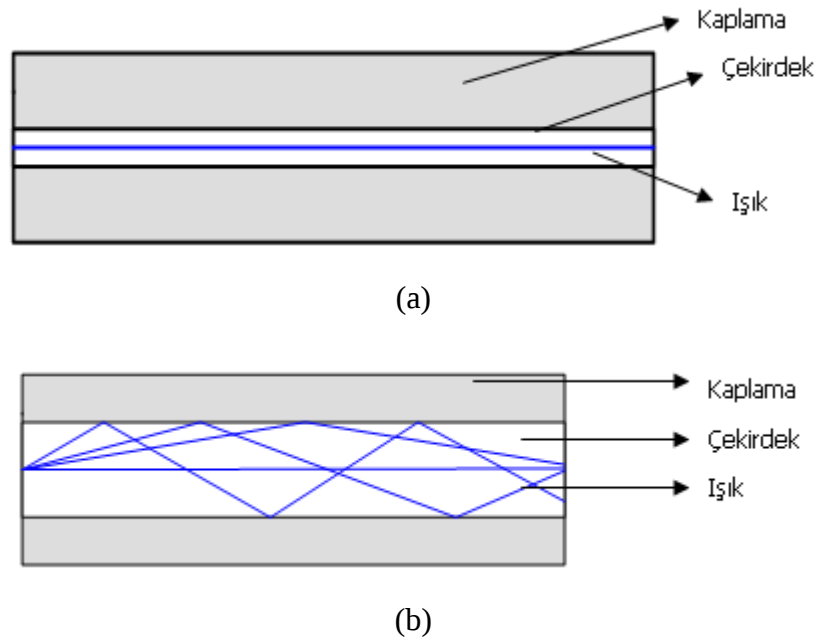
Şekil 2.7 Yansıma ve kırılma açıları

2.4. Işığın Fiber Optikte Yayınımı

Işık fiber optik bir kablodan ya yansıma, ya da kırılma yoluyla yayılım yapabilir. Işığın nasıl yayılım yaptığı, yayılım moduna ve fiberin indis profiline bağlıdır.

2.4.1 Yayılım modu

Fiber optik terminolojisinde, mod sözcüğü yol anlamına gelir. Eğer ışığın kabloda alacağı tek bir yol varsa buna tek modlu yayılım denir. Eğer birden çok yol varsa, buna çok modlu yayılım denir. Şekil 2.8, ışığın fiber optikte tek modlu ve çok modlu yayılımını göstermektedir.

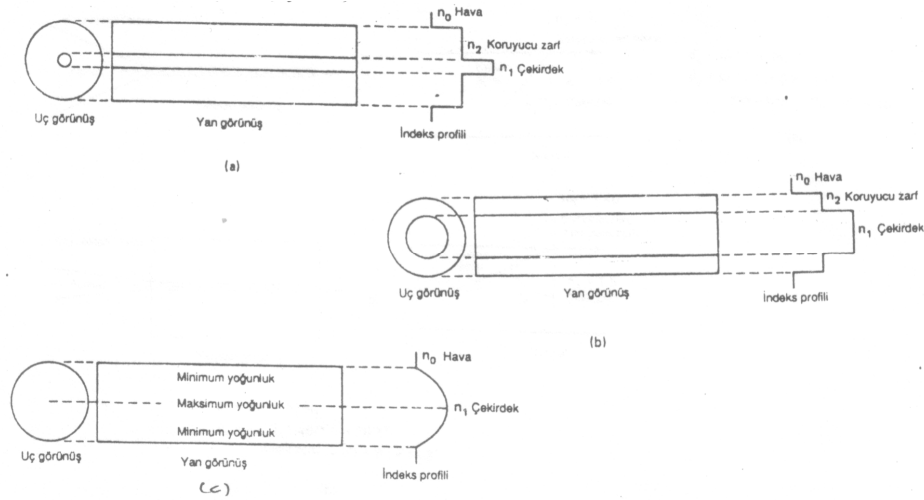


Şekil 2.8 Yayılım modları (a) tek modlu, (b) çok modlu

2.4.2 İndis profili

Bir fiber optiğin indis profili, çekirdeğin kırılma indisinin grafiksel bir temsidir. Kırılma indisi yatay eksen üzerine, çekirdek ekseninden radyal uzaklıkta

ise dişey eksen ¼zerine ¼izilir. Şekil 2.9 ¼¼ t¼r kablonun ¼ekirdek indis profillerini vermektedir.



Şekil 2.9 ¼ekirdek indis profili (a) tek modlu kademe indisli, (b) ¼ok modlu kademe indisli, (c) ¼ok modlu dereceli indisli

Kademeli ve dereceli olmak ¼zere iki temel indis profili vardır. Kademe indisli fiber, sabit kırılma indisli merkezi bir ¼ekirdeęe sahiptir. ¼ekirdeęin ¼evresi, sabit ve merkezi ¼ekirdeęin kırılma indisinden daha diş¼uk kırılma indisine sahip, harici bir koruyucu zarfla sarılmıştır. ¼ekirdek koruyucu zarf sınırında, kademe indisli bir fiberin kırılma indisinde ani bir değişiklik olduğu Şekil 2.9’da gör¼lmektedir. Dereceli indisli fiberde koruyucu zarf yoktur ve ¼ekirdeęin kırılma indisleri sabit değildir. Kırılma indisleri merkezde en y¼ksek değerdedir ve diş kenara doğru yavaş yavaş azalır (Özsoy 1998).

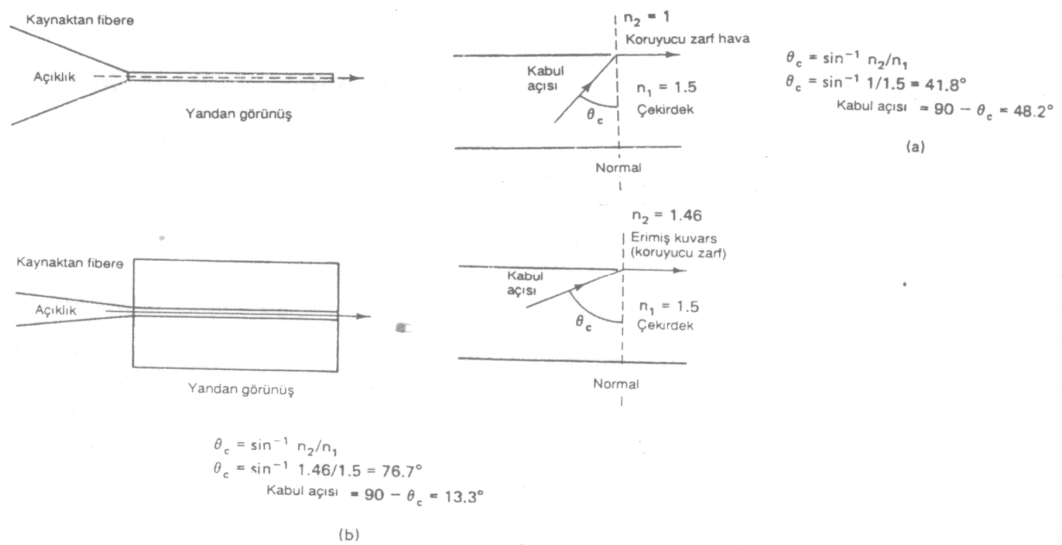
2.5. Fiber Optik D¼zenlemeler

Temel olarak tek modlu indisli, ¼ok modlu kademe indisli ve ¼ok modlu dereceli indisli olmak ¼zere ¼¼ t¼r fiber optik d¼zenlemesi vardır (Yariv ve Yeh 1984).

2.5.1 Tek modlu kademe indisli fiber

Tek modlu kademe indisli fiber yeterince küçük bir merkezi çekirdeğe sahiptir. Öyle ki temel olarak ışığın kabloda yayılım yaparken izleyebileceği tek bir yol vardır. Bu fiber türü Şekil 2.10'da gösterilmiştir. En basit tek modlu kademe indisli fiber biçiminde dıştaki koruyucu zarf havadır (Şekil 2.10.a). Cam çekirdeğin kırılma indisi (n_1) yaklaşık 1,5'dur. Hava koruyucu zarfının kırılma indisi (n_0) ise 1'dir. Kırılma indislerindeki büyük fark, cam/hava sınırında küçük bir kritik açı (yaklaşık 42°) oluşturur. Dolayısıyla fiber, geniş bir açıklıktan gelen ışığı kabul eder. Bu da ışığı kaynaktan kabloya bağlamayı nispeten kolay hale getirir. Ancak bu tür fiber tipik olarak çok zayıftır ve pratikte bu fiberin kullanımı sınırlıdır.

Tek modlu kademe indisli fiberin daha kullanışlı türü, koruyucu zarf olarak hava yerine başka bir malzemenin kullanıldığı türdür (Şekil 2.10.b). Koruyucu zarfın kırılma indisi (n_2) merkezi çekirdeğin kırılma indisinden (n_1) biraz daha azdır ve koruyucu zarf boyunca sabittir. Bu tür kablo, fiziksel olarak hava koruyucu zarflı kablodan daha güçlüdür, ancak kritik açısı da çok daha yüksektir (77°). Kritik açının bu kadar yüksek olması, kabul açıklığının küçük, kaynak-fiber açıklığının ise dar olmasına yol açarak ışığı ışık kaynağından fibere bağlamayı güçleştirir.

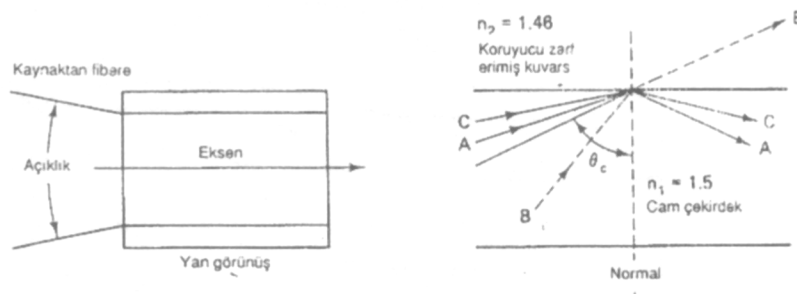


Şekil 2.10 Tek modlu kademe indisli fiber (a) hava koruyucu zarflı (b) cam koruyucu zarflı

Her iki tür tek modlu kademe indisli fiberde de, ışık fiberde yansıma yoluyla yayılım yapar. Fibere giren ışık ışınları, çekirdekte doğrudan yayılım yaparlar, ya da belki bir kez yansır. Dolayısıyla, bütün ışık ışınları kabloda yaklaşık aynı yolu izler ve kablonun bir ucundan diğer ucuna olan mesafeyi yaklaşık aynı sürede katederler. Bu, tek modlu kademe indisli fiberin çok önemli avantajlarından biridir.

2.5.2 Çok modlu kademe indisli fiber

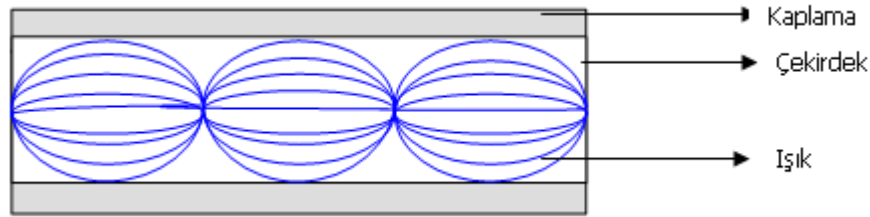
Çok modlu kademe indisli bir fiber şekil 2-11’de gösterilmiştir. Çok modlu kademe indisli düzenleme tek modlu düzenlemeye benzer. Aralarındaki tek fark merkezi çekirdeğin çok daha geniş olmasıdır. Bu fiber türü daha geniş bir ışık-fiber açıklığına sahiptir. Dolayısıyla kabloya daha çok ışık girmesine imkan verir. Çekirdek/koruyucu zarf arasındaki sınıra kritik açıdan daha büyük bir açıyla çarpan ışık ışınları (A ışını), çekirdekte zikzak şeklinde yayılım yapar ve sürekli olarak sınırdan yansır. Çekirdek/koruyucu zarf sınırına kritik açıdan daha çok ve daha küçük bir açıyla çarpan ışık ışınları (B ışını), koruyucu zarfa girer ve yok olurlar. Fiberde yayılım yaparken, bir ışık ışınının izleyebileceği çok sayıda yol vardır. Bunun sonucu olarak, bütün ışık ışınları aynı yolu izlemez. Dolayısıyla fiberin bir ucundan diğer ucuna olan mesafeyi aynı zaman süresi içinde kat etmezler.



Şekil 2. 11 Çok modlu kademe indisli fiber

2.5.3 Çok modlu dereceli indisli fiber

Çok modlu dereceli indisli fiber şekil 2.12’de gösterilmiştir. Belirleyici özelliği sabit olmayan kırılma indisli merkezi çekirdeğidir. Kırılma indisi, merkezde maksimumdur ve dış kenara doğru tedrici olarak azalır. Işık bu tür fiberde kırılma aracılığıyla yayılır. Bir ışık ışını çekirdek boyunca diagonal olarak yayılım yaparken, sürekli olarak daha az yoğun olan ortamdaki daha yoğun ortama geçer. Dolayısıyla ışık ışınları devamlı kırılırlar ve sürekli olarak bükülürler. Işık fibere çok farklı açılardan girer. Işık ışınları fiberde yayılım yaparken fiberin dış bölgesinde ilerleyen ışık ışınları merkeze yakın ilerleyen ışıklardan daha fazla mesafe katederler. Kırılma indisi merkezden uzaklaştıkça azaldığı ve ışığın hızı kırılma indisi ile ters orantılı olduğu için, merkezden uzakta ilerleyen ışık ışınları daha yüksek bir hızda yayılım yaparlar. Dolayısıyla ışınlar fiberin bir ucundan diğer ucuna olan mesafeyi yaklaşık aynı sürede katederler (Özsoy 1998).



Şekil 2.12 Çok modlu dereceli indeksli fiber

2.6. Üç Tür Fiber Optiğin Karşılaştırılması

2.6.1 Tek modlu kademe indisli fiber

2.6.1.1 Avantajları

- Minimum ayırma söz konusudur. Fiberde yayılım yapan bütün ışınlar yaklaşık aynı yolu izledikleri için kabloyu yaklaşık aynı sürede katederler. Dolayısıyla

kabloya giren bir ışık darbesi, alma ucunda başlangıçtakine çok yakın bir biçimde tekrar oluşturulabilir.

- Gönderilen darbeler alma ucunda belli doğrulukla tekrar oluşturulabilir. Diğer tür fiberlere oranla daha geniş bant genişlikleri ve daha yüksek bilgi iletim hızları mümkündür.

2.6.1.2. Dezavantajları

- Merkezi çekirdek çok büyük olduğu için, ışığı kaynaktan bu tür fibere ve fiberden ışık dedektörüne bağlamak güçtür. Kaynak fiber açıklığı en küçük olan fiber türü budur.
- Yine küçük merkezi çekirdeği nedeniyle ışığı tek modlu kademe indisli fibere bağlamak için lazer gibi oldukça yönlü bir ışık kaynağı gerekmektedir.
- Tek modlu kademe indisli fiberler pahalıdır ve imal edilmeleri zordur.

2.6.2. Çok modlu kademe indisli fiber

2.6.2.1. Avantajları

- Çok modlu kademe indisli fiberler ucuzdur ve imal edilmeleri kolaydır.
- Işığı çok modlu kademe indisli fiberlere ve bu fiberlerden ışık dedektörüne bağlamak kolaydır. Bu fiberlerin nispeten geniş kaynak fiber açıklıkları vardır.

2.6.2.2. Dezavantajları

- Işık ışınları fiberde çok farklı yollar izler. Bu da yayılım süreleri arasında büyük farklılıklara neden olur. Bu nedenle bu tür fiberlerde ilerleyen ışınlar

dağılarak yayılma eğilimi gösterir. Dolayısıyla çok modlu kademe indisli bir fiberde yayılım yapan bir ışık darbesi, öteki tür fiberde olduğundan daha fazla bozulmaya uğrar.

- Bu tür kabloda bant genişliği ile bilgi aktarım hızı öteki tür fiberlere oranla daha azdır.

2.6.3. Çok modlu dereceli indisli fiber

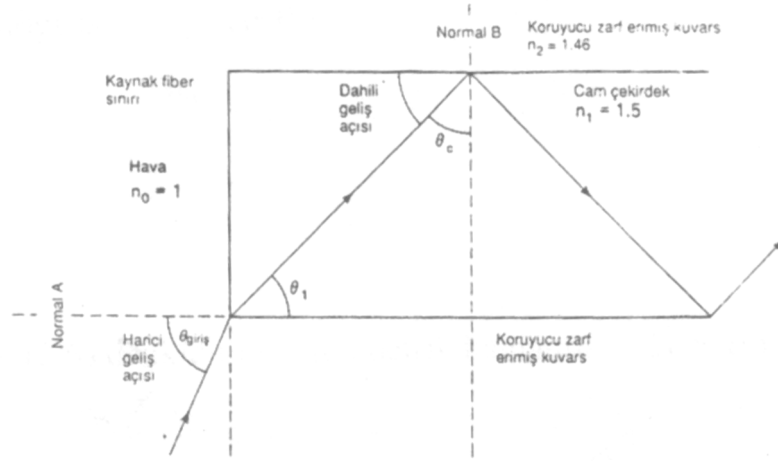
Temel olarak bu fiberin çok önemli avantajları ya da dezavantajları yoktur. Çok modlu dereceli indisli fiberde ışığı kaynaktan fibere ve fiberden varış yerine bağlamak, tek modlu kademe indisli fiberden daha kolaydır. Ancak çok modlu kademe indisli fiberden daha zordur. Çok sayıda yayılım yolu bulunmasının neden olduğu bozulma, tek modlu kademe indisli fiberden daha fazladır. Ancak çok modlu kademe indisli fiberden daha azdır. Derece indisli fiberlerin imalatı, tek modlu kademe indisli fiberden daha kolaydır. Ancak çok modlu kademe indisli fiberden daha zordur. Çok modlu dereceli indisli fiberler, öteki fiber türlerine kıyasla ara fiber türü olarak değerlendirilebilir .

2.7. Kabul Açısı ve Kabul Konisi

Daha önceki açıklamalarda kaynak açıklığından bir çok kez söz edilmiş ve bir ışık ışınının çekirdek/koruyucu zarf sınırına çarptığı noktadaki kritik açı ile kabul açısı izah edilmişti. Aşağıdaki açıklamalarda fiberin ışığı kaynaktan fiber kabloya bağlama yetkisi ele alınacaktır.

Şekil 2.13, bir fiber kablonun kaynak ucunu göstermektedir. Işık ışınları fibere girdiğinde hava/cam sınırına A normalinin sınırını kestiği noktada çarparlar. Havanın kırılma indisi 1, cam çekirdeğin kırılma indisi 1,5'dur. Dolayısıyla hava/cam sınırına giren bir ışık, daha az yoğun bir ortamdan daha yoğun bir ortama ilerlemektedir. Bu koşullar altında ve Snell yasasına göre, ışık ışınları normale doğru kırılacaktır.

Kırılma, ışık ışınlarının yön değiştirmesine beyaz çekirdekte diagonal olarak, hava/cam sınırındaki harici geliş açısından (θ giriş) farklı bir açıyla (θ_c) yayılım yapmasına neden olacaktır (Özsoy 1999).



Şekil 2.13 Işık ışınının fiber optik bir kabloya girişi ve ilerleyişi

Bir ışık ışınının kabloda yayılım yapabilmesi için, bu ışının dahili çekirdek/koruyucu zarf sınırına kritik açıdan (θ_c) daha büyük bir açıyla çarpması gerekir. Bu durum Snell yasasını harici geliş açısına uygulayarak gösterilebilir.

$$n_0 \sin \theta_{giriş} = n_1 \sin \theta_1 \quad (2.6)$$

$$\theta_1 = 90 - \theta_c \quad \text{böylece}$$

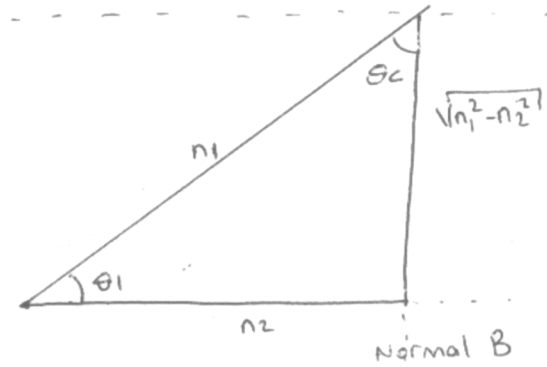
$$\sin \theta_1 = \sin(90 - \theta_c) = \cos \theta_c \quad (2.7)$$

denklem 2.7, 2.6'da yerine yazılırsa;

$$n_0 \sin \theta_{giriş} = \frac{n_1}{n_2} \cos \theta_c \quad (2.8)$$

elde edilir.

Şekil 2.14, (2.6) denkleminin geometrik bağlantısını göstermektedir.



Şekil 2.14 Denklem (1.6)'nın geometrik ilişkisi

Şekil 2.14'de pisagor teoremini kullanarak,

$$\cos \theta_c = \frac{\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}}{n_1}$$

denklem (2.8), (2.7)'de yerine yazılırsa

$$\sin \theta_{giriş} = \frac{\sqrt{n_1(n_1^2 - n_2^2)}}{n_0 n_1} \quad (2.9)$$

$$\sin \theta_{giriş} = \frac{\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}}{n_0} \quad (2.10)$$

$$\theta_{giriş} = \frac{\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}}{n_0}$$

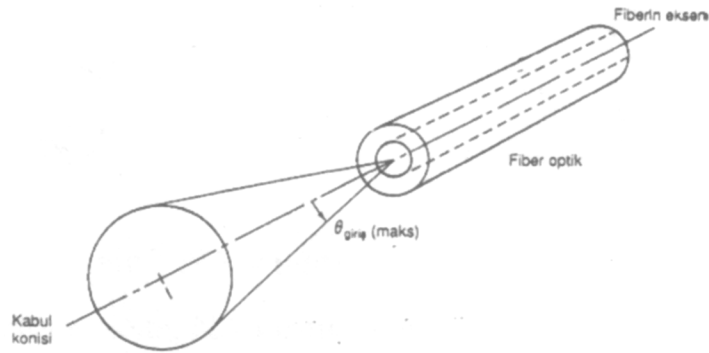
elde edilir.

Işık ışınları genellikle fibere hava ortamından girdiği için, $n_0 = 1$ 'dir. Bu 2.9 eşitliğinde kullanılırsa;

$$\theta_{giriş}(maks) = \sin^{-1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.11)$$

ifadesi elde dilmiş olur.

$\theta_{giriş}$ 'e kabul açısı, ya da kabul konisi denir. $\theta_{giriş}$, harici ışık ışınlarının hava/fiber sınırına çarpıp, tepe değerinin 10 dB daha düşük bir değerden yayılım yapabileceği maksimum açığı göstermektedir. Kabul açısını fiber eksenin çevresinde döndürmek, fiberin kabul konisini tanımlar (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Bir fiber kabul konisi

2.7.1. Nümerik açıklık

Nümerik açıklık (NA), bir fiber optiğin ışık toplama yeteneğini ölçmede kullanılan bir nitelik sayısıdır. NA'nın büyüklüğü ne kadar fazla olursa, fiberin harici ışık kaynağından kabul ettiği ışık miktarı da o kadar fazla olur. Kademe indisli bir fiberde, nümerik açıklık matematiksel olarak kabul yarım açısının sinüsü olarak tanımlanır. Yani,

$$NA = \sin \theta_{giriş} \quad (2.12)$$

ve

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.13)$$

Ayrıca

$$\sin^{-1} NA = \theta_{\text{giriş}} \quad (2.14)$$

Dereceli indisde, NA kritik açının sinüsüdür.

$$NA = \sin \theta_c \quad (2.15)$$

3. OPTİK YÜKSELTEÇLER

3.1 Giriş

Optik fiber iletiminin başarısı, uzun mesafelere erişim ve yüksek veri hızlarına çıkarabilmesinden doğmaktadır. Uzun mesafelere erişim, günümüzde üretilen fiber optik kablolarda çok düşük zayıflama (örneğin 0.2 dB/km yani 15 km başına optik güç yarı yarıya zayıflayacaktır) sağlandığı ve zayıflama, sinyalin iletim hızından bağımsız olduğu için mümkündür. Yüksek veri hızlarına çıkabilme, sadece sinyal aktarım hızı zayıflamadan bağımsız olduğu için değil aynı zamanda sistem çok küçük dağılma oluşturacak şekilde yapabildiği için gerçekleştirilir. Sonuç da fiber boyunca bir işaret ilerliyor iken bozulma yalnızca lineer zayıflama şeklindedir ve zayıflamayı dengeleyecek bir optik yükselteç geliştirme eğilimi vardır (Chapman 1994).

Düşük kayıplı olmasının rağmen, uzun mesafelere sahip hatlarda, sinyalde zayıflama oranı artmakta ve iletişimi bozmaktadır. Bunun gidermek için ilk olarak elektriksel tekrarlayıcılar kullanılmıştır. Bunların optik sinyali önce elektriksel sinyale çeviriyor, güçlendikten sonra modüle edip tekrar optik sinyale çeviriyorlardır. Ancak ışığı optik ortamda yükseltme arayışları, doğada az bulunan, nadir toprak elementlerinden (rare-earth) yararlanılarak optik yükselteçlerin gelişmesini sağlamıştır (Arı 1998).

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. Yarıiletken optik yükselteçler (SOA)
2. Fiber Raman yükselteçler (RA)
3. Fiber Brillouin yükselteçler (BA)
4. Erbiyum katkılı fiber yükselteçler (EDFA)

3.2 Yarıiletken Optik Yükselteçler

Yarı iletken lazer yükselteç teknolojisi kazanç kadar, yüksek hızlı anahtarlama yeteneği, yüksek sönüm oranı ve yüksek birleştirme potansiyeli sağlar. Bundan başka, diğer çeşitli fonksiyonlar için anahtar bir teknolojisidir, tüm optik dalga boyu dönüşümü, tekrarlama, dalga boyu seçme, güçlendirme ve hat yükseltmesi, optik ön yükseltme ve ortamda spektral yayılım çevirimi yapar (Bernard ve Renand 2001).

Bir SOA temelde bir Fabry-Perot lazer diyota benzer. Böyle bir lazer, ortam içerisine yerleştirilmiş bir oyuk yankısının (Fabry-Perot tipi) yükseltilmesine bağlıdır. Yükseltme fonksiyonu malzeme enerji seviyelerinin dışarıdan pompalanması ile sağlanır. Yalnızca yükseltme fonksiyonunu elde etmek için lazer etkisiyle meydana gelen aynı osilasyonlara karşı cihazın korunması gereklidir. Bu, çip yüzeyi ayırma açısı tekniği ve yansıma olmaya bir yayılmanın her ikisini de kullanarak oyuk yansımasının engellenmesi ile başarılabılır. Optik olarak pompalanan EDFA' lardan farklı, SOA' lar enjekte edilen akım tarafından elektriksel olarak pompalanırlar.

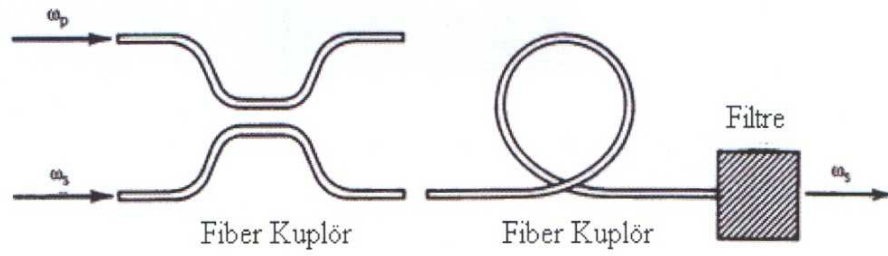
SOA temelde, her bir 100 μm uzunluğu etrafında çipin giriş ve çıkış kenarlarında ki iki pasif geçiş bölgeleri ve 600 μm uzunluğu civarında merkez bir aktif bölgeye bağlıdır. Merkez aktif tabaka bir sınırlı hetero yapıya dayanır ve 0,1 μm kalınlığında iki dörtlü tabaka arasına gömülmüş aktif tabaka hacminin 0,2 μm kalınlığa düşmesine bağlıdır. 150 μm uzunluğun üzerindeki konik, pasif dalga kılavuzunun altında bulunan optik kuplaja izin verir. Bu yapının tip yüksek bir optik sınırlama faktörü meydana getirir. Çünkü kazanç bölgesindeki tabakalar arasındaki

kırılma indisi uyumsuzdur. Yüzeydeki geniş bir benek çapı ile birlikte çipten fibere yüksek bir kuplaj verimi sağlanabilir (Bernard ve Renand 2001).

Bu yükselteçler yürüyen dalga (TW) olarak isimlendirirler ve sadece ileri yönde hareket eden ışınım yükseltilmesini vurgularlar. Yarıiletken lazerler oldukça geniş bir geri besleme deneyimine sahiptir. Çünkü yüzeyden ayrılan yansımalar meydana gelir. (-32 % yansıtabilirlik)

3.3 Fiber Raman Yükselteçler

Bir fiber raman yükselteç, yoğun pompalama ışını yayılırken silika fiber içinde meydana gelen uyarılmış Raman saçılması (SRS) kullanılır (Şekil 3.1). SRS' yi uyarılmış yayılda ayrılan temel yan: SRS durumunda, düşen pompalama fotonu enerji kaybeder, azalan enerji ile düşük bir frekansta diğer foton oluşturulur; moleküller titreşimler (optik fotonlar) şeklinde ortam tarafından kalıcı enerji soğurulur; oysa uyarılmış yayılma durumunda, düşen bir foton enerji kaybı olmadan diğer özdeş fotonu uyatarak yayılır. Böylece fiber Raman yükselteçlerde kazanç sağlamak için pompalama optik olmak zorundadır. Buna karşılık SOA 'larda pompalama elektriksel olabilir. En önemli fark SOA durumundaki ters birikime ters birikme fiber Raman yükselteçler için gerekli değildir. Gerçekte, SRS rezonans olmayan görüngüsel yapısı ile enerji seviyeleri arasında ters birikme gerektirmez. Pompalama ışını ve sinyal ışının frekansları ω_p ve ω_s , bir dalga boyu seçici kuplörden fiber içinde enjekte edilir. SRS yoluyla pompalama şınından sinyal ışınına enerji transfer edilir ve iki ışın fiber boyunca zıt yönde yayılır. Pompalama ve sinyal ışınlarını enjekte eden diğer bir yolda fiber içinde karşılıklı yayılmazdır. Her iki konfigürasyonda da geniş ölçüde çalışmalar olmuştur (Agrawal 1992).



Şekil 3.1 Bir fiber Raman yükseltecin çalışması

3.3.1 Raman kazancı ve band genişliği

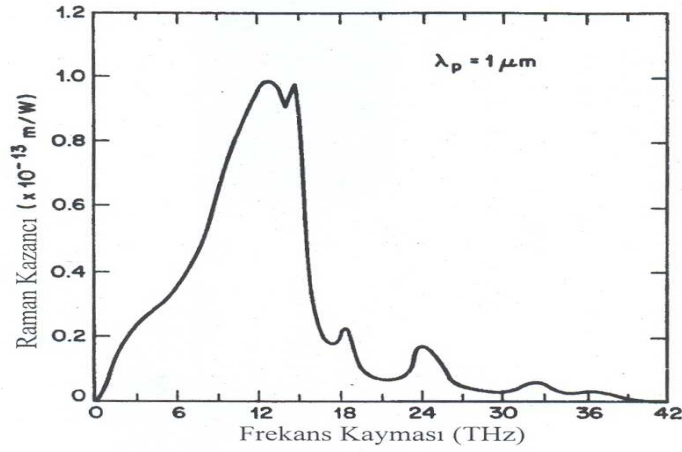
Fark frekansı, $\Omega_R = \omega_p - \omega_s$, SRS içinde önemli bir rol oynar. Bu, Stokes kayması olarak bilinir. Titreşimsel enerji seviyelerinde Ω_R içindeki yayılmaya tolerans gösterilebilir. Neyse ki, silika moleküllerinin titreşimsel enerji seviyeleri bir band biçiminde aralıksız birleşir. Çünkü camın doğal şekli biçimsizdir. Sonuçta, ω_p den farklı olabilir ve hala SRS içindeki yükseltme önemli bir deneydir (Agrawal 1992).

Şekil 3.2’de silika fiberdeki Raman kazanç spektrumu görülmektedir. ω_p ile Raman kazanç katsayısı g_R skalası lineerdir. Zira g optik kazancı I_p pompalama yoğunluğu ile orantılıdır, $g = g_R \cdot I_p$ kullanılarak elde edilir. Pompalama gücünün P_p terimlerinde kazanç ifadesi;

$$G(\omega) = g_R(\omega) (P_p / a_p) \quad (3.1)$$

dir ve a_p fiber içindeki pompalama ışınının geçiş kesit alanıdır. Şekil 3.2’deki fiber raman yükselticinin kazanç spektrumu Lorentzial oluşumunun uzağındadır. Kazanç tepe noktalarında 13,2 THz (440 cm^{-1}) civarında Stokes kayması görülmektedir. Şayet Şekil 3.2’nin baskın tepesinde tam geniş maksimum belirlersek kazanç band

genişliği $\Delta\nu_g$ 6 THz civarındadır. Fiber optik haberleşme uygulamaları için fiber Raman yükselteçleri band genişliklerine bağlı olarak tercih sebebidir.



şekil 3.2 Erimiş silika için llen Raman kazanç spektrumu

3.4 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 uyarmada kullanıldığında, her bir pompalama foton enerji $\hbar\omega_p$ bir sinyal fotonunun yarattığı enerjiden $\hbar\omega_s$ 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’i SRS’den ayıran 3 yönü vardır.

- 1) Sinyal ışını pompalama ışını zıt yönde yayıldığında sadece yükseltme meydana gelir(geri pompalama konfigürasyonu) ;

2) SRS ve pompalama frekansına bağlı olarak karşılaştırılırsa, SBS’de stokez kayması binde birden daha küçüktür (~ 10 GHz).

3) Brillouin kazanç spektrumu son derece dar bir band genişliğidir ($\Delta\nu < 100$ 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 yükselteçlerin dar band genişliği optik istemlerde güç yükselteci, ön yükselteç veya hat yükselteci olarak kullanıma daha az uyumludur. Bu nedenle benzer özelliklerle karışık ve çok kanallı haberleşme sistemlerinin bazı yeni uygulamaları için kullanılmıştır (Agrawal 1992).

3.4.1. Brillouin kazancı ve yükselteç band genişliği

SBS, akustik bir dalganın pompalama ışınıyla saçılması gibi gösterilebilir, stokez kayması $\Omega = \omega_p - \omega_s$ akustik frekansa karşılık gelir ve dispersiyon bağıntısına uygun olmalıdır;

$$\Omega = |k_A|v_a = 2v_a |k_p| \sin(\theta/2) \quad (3.2.)$$

Burada dizideki akustik dalga vektörü $k_A = k_p - k_s$ faz –uyum şartlarına uyar, k_p ve k_s sırasıyla pompalama ve sinyal ışınlarını dalga vektörleridir ve θ aralarındaki açıdır. Stokez kayması elde edilir ve pratik durumda $k_p \approx k_s$ kullanılır. $\Omega = 0$ ’a eşitlendiğinde ileri yönde ($\theta = 0$) ve maksimum da geri yöndedir ($\theta = \pi$). Tek modlu fiberlerde ışık sadece ileri ve geri yönlerde ilerler. Bu sebepten SBS sadece $\Omega_B = 2v_A |k_p|$ ’de bir frekans kayması ile geri yönde meydana gelir. $k_p = 2\pi / \lambda_p$ kullanarak Brillouin kayması

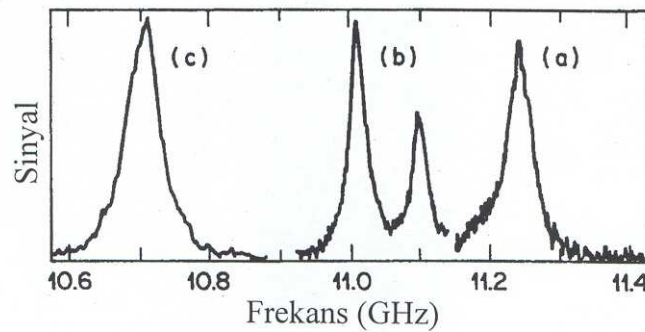
$$\nu_B = \Omega_B / 2\pi = 2n v_A / \lambda_p \quad (3.3)$$

bulunur ve burada λ_p pompalama dalga boyu, $\bar{n}$ ise temel fiber modunun etkin kırılma indisidir. Şayet silika fiber için tipik değerler olan $v_A = 5.96$ km/sn ve $\bar{n} = 1.45$

değerleri kullanılırsa, $\lambda_p = 1.55 \mu\text{m}$ de $\nu_B = 11.1 \text{GHz}$ dir. ν_B skalası pompalama dalga boyu ile değiştirilebilir. SBS kazanç spektrumu akustik dalganın düşüş zamanı veya aynı şekilde akustik fotonun ömrü T_B tarafından belirlenir. Şayet akustik dalgaları $\exp(-t/T_B)$ sönümünde farz edersek, Brillouin kazancını bir Lorentzian spektral profili verir;

$$g_B(\Omega) = \frac{g_B(\Omega_B)}{1 + (\Omega - \Omega_B)^2 T_B^2} \quad (3.4.)$$

Brillouin kazanç spektrumu iki seviyeli sisteme benzer. Tipik olarak $T_B \approx 10 \text{ ns}$ ve $\Delta\nu_B < 100 \text{MHz}$ dir. Tek modlu filika fiberde üç farklı tür için $\lambda_p = 1.525 \mu\text{m}$ de ölçülmüş Brillouin kazanç spektrumu görülmektedir. Brillouin kayması ν_B ve kazanç band genişliği $\Delta\nu_B$ nin $(\Delta\nu_B = (\pi T_B)^{-1})$ her ikisi de fiberden fibere değişirler çünkü fiber özü içinde katkı bulunur ve ışık doğal kılavuzlanır. Şekil 3.3'deki (a) fiber etiketinde neredeyse katkısız silika özü vardır (germanyum dioksit yoğunluğu mol başına $\sim 0,3\%$). Ölçülen Brillouin kayması ile mutabakatla $\nu_B = 11.25 \text{ GHz}$ dir. Brillouin kayması (b) ve (c) fiberleri için fiber özündeki germanyum dioksit yoğunluğuna bağlı olarak hemen hemen tersine azalır. (b) fiberindeki çift tepeli yapı öz içinde homojen olmayan bir germanyum dioksit dağılımının sonucudur. Farklı bir uygulamada, fiberin öz ve yelek bölgesinde akustik hızların farklı olması sonucunda üç tepeli bir Brillouin kazanç spektrumu elde edilmiştir (Agrawal 1992).



Şekil 3.3 Brillouin kazanç spektrumu (a) silika özlü fiber, (b) baskılanmış yelekli fiber, (c) dispersiyon kaymalı fiber

3.5 Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçler

Erbiyum katkılı fiber yükselteçlerin maksimum kazançlarına 1500nm civarındaki dalga boyundaki ulaşmaları büyük ilgi görmüştür. Silika fiberlerdeki en düşük zayıflama bu civarda olduğu için 1500 nm civarında çalışan haberleşme sistemleri için uygundur.

EDFA, 1550 nm civarında, fiber optik iletim çerçevesinde uzun dalga boyunda çalışır. EDFA'yı çekici yapan nedenlerden biri, tasarımıdaki sadeliğidir. Bunların vazgeçilmez olması temel ve gerekli sebepleri şunlardır: İletim hattında birbirine eklenmiş (kaynak bağlantı yapılmış) uzunlukta katkılı fiber, bir pompalama kaynağı ve pompalamadan katkılı fibere ışığı ekleme araçları erbiyum katkısı aracılığıyla pompalama ışığından sinyale aktarılır. Ve böylece yükseltmeyi etkiler. Pompalama kaynağı, ihtiyacı hissedilen 1-100 mW çıkış sinyaline gücüne bağlı olarak, gerekli seviyede güçlü olmalıdır. Bu seviye, günümüzde yarı iletken lazerler diyotlardan sağlanabilir. Pompalama ışığın fibere eşlenmesi, ergimiş yoğunlaşmış fiber olan dalga boyu bölmeli çoğullaşıcıyla (WDM) oldukça küçük kayıplarda (örneğin 0.2 dB altında) yapılabilir. Katkılı fiber, SiO₂ den yapılmıştır ve öz bölgesindeki erbiyum ve olası diğer katkılı malzemelerinin varlığıyla, standart telekomünikasyon fiberlerinden farklıdır ve bu fiberler referans alındığında iki avantaja sahiptir. Ürün, düşük maliyetli yüksek kaliteli fiber üretimine elverişli yerleşik kurulu süreçleri kullanır ve katkılı fiber ile bunun kullanıldığı iletim ortamı arasındaki benzerlik, düşük kayıplı eklerle basit birleştirme olanağı sağlar (Yücel 2003).

Uygulamalarda yükselteç çıkışında bir yalıtıcı kullanmak bir gelenek olmuştur. Bu, sadece bir yönde ışık yayılmasına imkân veren bir optik diyottur. Yalıtıcı olmaksızın ideal olmayan eklerden, çiftleyicilerden, bağlayıcılardan v.s. yansımalar, bünyesinde var olan çift yönlü özelliğinden dolayı EDFA da yükletilebilir. Bunun en kötü durumu kararsızlığa, en iyi özelliğine gürültüde az bir artışa sebep olmasıdır (Yücel 2003).

3.6 Optik Yükselteçlerin Karşılaştırılması

Erbiyum yükselteçler Raman yükselteçlere (RA), Brillouin yükselteçlere (BA) ve yaniletken lazer yükselteçlere (SOA) göre avantajlarını kanıtlamıştır.

SOA'lar küçük boyut ve yüksek kazanç güvenilirliği ile yüksek kazanç, geniş band genişliği ve çok düşük güç tüketimine sahiptirler. SOA'lar iki yönlü yükselteçlerdir ve sadece kümelenmiş yükselteçlerle kullanılırlar. Erbiyum yükselteçler ile SOA'ları karşılaştırılırsa, SOA'lar da geri dönüş zamanında düşük kazançtan dolayı doyum bölgesinde komşu darbeler arasında girişim meydana gelmesi bir dezavantajdır. Geri dönüş zamanındaki düşük kazanç, darbe örneği bağımlı semboller arası girişim sonucundaki zaman aralığını izleyerek nispeten küçük sayıda darbe etkisi veren yükseltme şartlarına izin verir. Bu maksimum bit hızını sınırlar ve giriş sinyal gücü kabul edilebilir şekilde azaltılır. 100 Gbps in üzerinde erbiyum yükselteçler ile önemli olmayan bozulma gözlemlenirken SOA'lar 25 Gbps çıkış sinyalinde önemli distorsiyonlu darbe örneği üretirler (Mukai ve ark. 1987).

Ek olarak SOA'ların dezavantajı SOA ile optik fiber arasında yüksek kuplaj kaybıdır. Kayıplar fiberden fibere kazanç ve etkin gürültü şekli ile azaltılır. Kayıplar 10 dB'e kadar ulaşabilir (Digonnet ve Michael 1993).

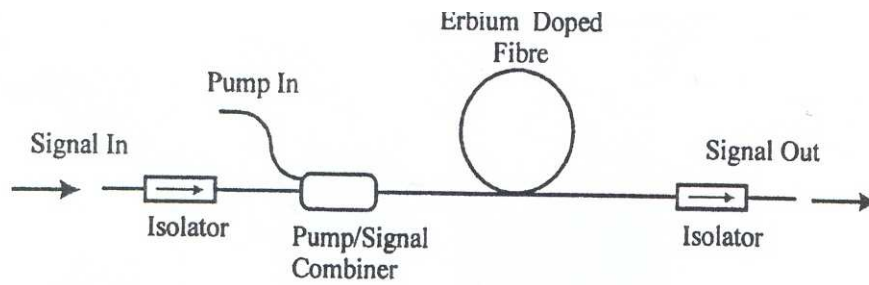
Raman ve erbiyum yükselteçlerin her ikisi de fiberde optik sinyali yükseltirken pompalamadan sinyale enerji transfer ederler. RA'lar da fiber içindeki enerji transferinin etkisi uyarılmış Raman saçılması olarak bilinir. RA'lar düşük gürültü şekli, düşük bağlantı kaybı, yüksek kazanç, yüksek çıkış gücü ve geniş band genişliğine sahiptir. Erbiyum yükselteçlerle karşılaştırılınca RA'ların başlıca dezavantajları başlıca verimlerinin düşük olmasıdır. (80 km fiberde 100mW pompalama gücü ile 8 dB fiber kaybı telafi edilebilir.) (Edagawa ve ark. 1988).

BA'lar pompalama ve sinyal frekanslarının çok küçük olması fakı ile RA'lardan ayrılır. Yükseltme işlemi benzerdir ve uyarılmış Brillouin saçılması olarak adlandırılır. BA'lar yüksek kazanç, yüksek verim ve düşük bağlantı kaybı sağlarlar. Başlıca dezavantajı pompalama sinyali için dar band gerektirmesi, ısı gürültüden dolayı yüksek bir gürültü şeklini olması ve düşük çıkış gücüdür (Atkins ve ark.1986).

Sonuçta erbiyum yükselteçler, girişim karakteristikleri, çok yüksek güçte çalışmaları ve çok düşük çevirim kaybı ile SOA lardan, çok yüksek verimle RA'lardan ve geniş band genişliği ve çok düşük gürültü şekli ile BA'lardan daha iyidir. İlaveten, erbiyum yükselteçler sadece yükselteç olarak kullanılabileceği gibi telekomünikasyonda dağıtılmış ve toplanmış yükselteç olarak da kullanılabilir (Yücel 2003).

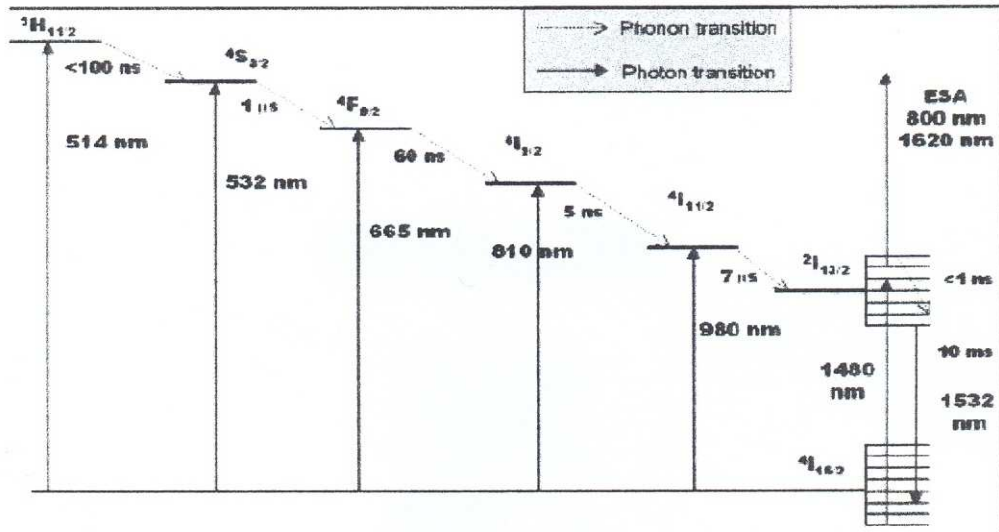
4. ERBİYUM KATKILI FİBER AMPLİFİKATÖRLER

EDFA'lar yapı olarak, erbiyum katkılı fibere verilen pompa ve sinyal ışınlarını birleştiren optik kuplörler (optik multiplexer), tek yönde sinyal geçiren izolatörler, pompa lazerleri, kaynakları birleştiren kuplörler ve optik bank geçiren filtre veya fiber brag ızgaralarından teşekkül ederler.



Şekil 4.1 Temel EDFA devresi

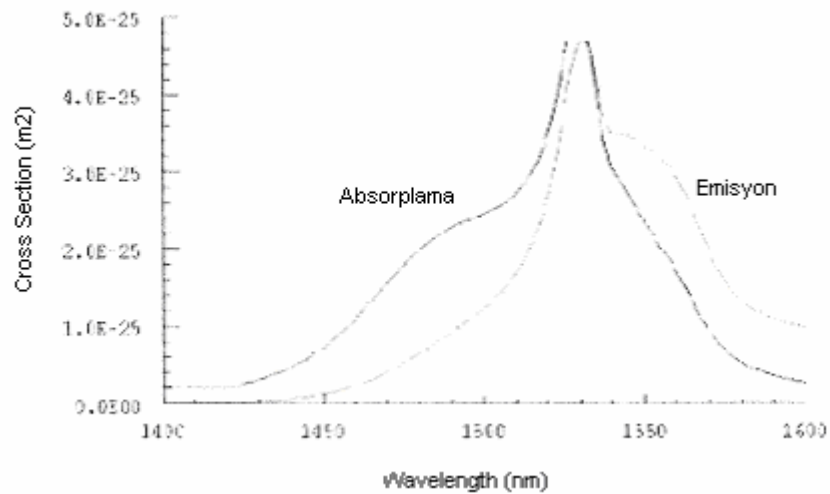
Erbuyim Katkılı Fiber Amplifikatörler birçok özellikleri bakımından diğer katkılı fiber amplifikatörlerine göre daha dikkat çekicidir. Çünkü çalışma dalgaboyuları fiber kayıplarının hemen hemen min. olduğu $1.55\mu\text{m}$ civarındadır. 1995 yılından sonra EDFA'ların WDM sistemlerinde uygulanmaya başlanması fiber optik haberleşme sistemleri için bir dönüm noktası olmuş ve optik sistemlerin kapasitesi 1Tb/s yi aşmıştır. Erbuyim Katkılı Fiber Amplifikatörler (EDFA) silika fiberdeki zayıflamanın en düşük olduğu 1550 penceresindeki geniş dalgaboyu aralığında çalışabilmesiyle, uzak mesafe fiber optik haberleşme sistemleri için vazgeçilmesi bir eleman olmuştur (Yuvka 2006).



Şekil 4.2 Silika fiberdeki erbiyum iyonlarının enerji seviye diyagramı

4.1 Katkılı Fiber Amplifikatörlerin Pompalama Gereksinimleri

EDFA'ların kazanç karakteristikleri doğrudan pompalama biçimine bağlıdır. Birçok dalga boyunda EDFA pompalanabilir. Fakat pompalamanın verimli olması için genelde $0.98\mu\text{m}$ ve $1.48\mu\text{m}$ deki dalgaboylarında yarıiletken lazer kullanılır. 10-20 mW arası pompa gücü ile pompalanan bir EDFA'dan 11dB/mW kadar verim edilebilmektedir.



Şekil 4.3 EDFA absorblama ve kesit alanı spektrumu

EDFA'lar geri yönde (backward pumping), ileri yönde (forward pumping) veya çift yönlü (dibirectional pumping) pompalanabilirler. İleri yönde pompalamada sinyal ve pompa güçlerinin her ikisi de fiber boyunca aynı doğrultuda ileri. Geri yönde pompalamada ise sinyal ve pompa güçleri fiber boyunca zıt yönde hareket ederler. Saturasyonsuz bölgede, her iki pompalama şeklinin performansları hemen hemen birbirine yakındır. Geri yönde pompalama yöntemiyle, saturasyon bölgesinde verim genelde daha iyidir. Çünkü geri yönde pompalamada yükseltilmiş olan kendiliğinden yayılım önemli bir etkidir. Çift taraflı pompalama yöntemi, iki pompa lazerine ihtiyaç duymasına rağmen, popülasyon ters birikimi açısından diğer konfigürasyonlara göre üstünlük sağlanmaktadır. Ayrıca bu pompalama yönteminde küçük sinyal kazancı tüm amplifikatör boyunca düzgündür (Yuvka 2006).

Amplifikatör sistemlerine uygulanabilecek pompa sinyali dalga boyu ile kazancın değişimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Pompa sinyali dalgaboyu-kazanç değişimi

Pompa Sinyal Dalgaboyu	Kazanç
980 nm	11 dB/mW
1480 nm	5 dB/mW
830 nm	1.3 dB/mW

Günümüzde EDFA'lar 0,6-0,7 μm . Dalgaboyu pompa lazerlerini de kullanabilirler. Düşük dalgaboyu pompa verimliliği 3dB/mW'a kadar yükselebilmektedir (Agrawal 2002). 0.8 μm bandında çalışan lazerler, yüksek uyarılmış seviye absorblaması (ESA) ve düşük pompalama verimi nedeniyle çok fazla tercih edilmemektedir. 1.48 μm bandındaki lazerler yüksek amplifikasyon ve verimleri, yüksek çıkış ve iyi kararlılıkları nedeniyle çok tercih edilmektedir. 0.98 μm de pompalanan erbiyum katkılı fiberler, 1.48 μm de pompalamaya göre değişik avantajlara sahiptir. Bunların başında düşük gürültülü değeri ve kazancın sıcaklığa bağımlılığının düşük olmasıdır. L bandında yeterli ve düşük gürültü için, prensip

olarak daha uzun erbiyum katkılı fiber ve daha yüksek güçte pompalama gerekmektedir.

4.2 Oran ve Yayınım Denklemleri

Erbiyum enerji seviyeleri arasındaki atomik geçişler oran denklemleri ile karakterize edilmektedir. İki seviyeli veya üç seviyeli enerji band diyagramı için kurulan oran denklemleri erbiyum iyonunun pompa ışını absorblaması sonucu C ve L, bandında emisyon yapma proseslerini tanımlamak için kullanılır. Kullanılan simüsyon programı OptiAmplifier 4.0 pompa seviye ömrünün yarı kararlı seviyeden çok daha kararlı olduğu varsayılan 2 seviyeli enerji band modelini kullanmaktadır. Toplam iyon yoğunluğu:

$$N_t = N_1 + N_2 \quad (4.1)$$

ve ikinci seviyedeki iyon yoğunluğunun zamanla değişimi:

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = \sum_{k=1}^K I_k (N_1 \sigma_a^k - N_2 \sigma_k^c) - \frac{N_2}{\tau_2} \quad (4.2)$$

ile verilebilir. Burada k ışını ve absorblama ve emisyon kesit alanları I_k k. Işınının yoğunluğunu τ_2 ise radyoaktif olmayan 2. Seviyeden 1. Seviyeye toplam bozulma zamanını göstermektedir.

Pompa ve sinyal ışın gücünün fiber boyunca değişimi yayınım denklemleri ile tanımlanır.

$$\frac{\partial P_{s,k}}{\partial z} = u_k \int (N_2 \sigma_k^e - N_1 \sigma_k^a) I_k dA \quad (4.3)$$

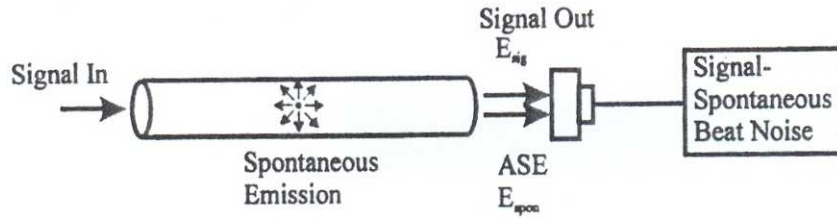
Burada u_k , pozitif yönünde yayınım için +1, negatif z yönünde yayınım için -1 değeri alır.

4.3 Yükseltmiş Spontane Emisyon (ASE)

Erbiyum iyonlarının fiber özünde düzgün dağılımlı olduğu, öz kesit uzunluğu dz , kesit alanı $A=\pi r^2$ ve yarı kararlı seviye iyon yoğunluğu N_2 (iyon/m³), ν merkez frekansı, $\Delta\nu$ band genişliği ise, erbiyumda spontane yayınan foton sayısı $N_2 \sigma_e(\nu) \Delta\nu A dz / \tau_2$ ile verilebilir. Buna göre fiber sonundaki toplam ASE gücü:

$$\frac{\partial P_{s,k}}{\partial z} = u_k \int \left((N_2 \sigma_k^e - N_1 \sigma_k^a) I_k + 2 \sigma_e N_2 h \nu \Delta \nu \right) dA \quad (4.4)$$

ile verilebilir. Şekil 3.3’de giriş sinyaline dâhil edilen spontane emisyonun sonradan çıkışa ASE oluşumu göstermektedir.



Şekil 4.3 Sinyal çıkışı ve ASE oluşumu

4.4 Oran Denklemlerinin Çözümü

Denklem 4.3’ün zamana göre diferansiyeli alınarak kararlı hal koşullarında sıfıra eşitlenerek:

$$\frac{N_2(r, \Phi, z)}{\tau_2} = I_s(r, \Phi, z) [N_1(r, \Phi, z) \sigma_s^a - N_2(r, \Phi, z) \sigma_s^e] \quad (4.5)$$

denklem elde edilir. Gausiyen dağılımlı enine sınırlar üzerinden integrali alınıp, katkı etki alanı A_{eff} 'e bölünür ve:

$$\frac{N_2(z)}{\tau_2} = \frac{P_s(z)}{A_{eff}} \left(\bar{N}_1(z) \Gamma_{s,1} \sigma_s^a - \bar{N}_2(z) \Gamma_{s,2} \sigma_s^e \right) \quad (4.6)$$

elde edilir. Burada $\bar{N}_i$ fiber kesit alanı üzerinden i . Seviye ortalama iyon konsantrasyonu, $\Gamma_{s,i}$ de i . Seviyedeki overlap integrali veya çakışma faktörüdür. Kararlı hal oran denklemlerini popülasyon ters dönüşümünü verecek şekilde yeniden yazılarak:

$$N_2(r, \Phi, z) = \frac{N_1(r, \Phi, z) \tau_2 \sum \frac{I_k(r, \Phi, z) \sigma_k^a}{h\nu_k}}{1 + \tau_2 \sum \frac{I_k(r, \Phi, z) [\sigma_k^a + \sigma_k^e]}{h\nu_k}} \quad (4.7)$$

denklemini elde edilir.

4.5. Çakışma Faktörü

Katkı iyonlarının etki alanı:

$$A_{eff} = \int \frac{N_1(r, \Phi, z) dA}{N_1(0)} \quad (4.8)$$

ile verilmektedir. b yarıçapıyla düzgün dağılımlı katkılanan bir fiberde $A_{eff} = \pi b^2$ 'dir. i . seviyedeki çakışma faktörü ise:

$$\Gamma_{s,i}(P_s, z) = \frac{A_{eff} \int I_k(r, \Phi, z) N_1(r, \Phi, z) dA}{P_s(z) \int N_1(r, \Phi, z) dA} \quad (4.9)$$

denklemleriyle gösterilir.

Enine optik modların dağılımı, onların normalize olmuş kendi yoğunluk dağılımları ile tanımlıdır. Tek modlu bir fiberde optik modun yaklaşık olarak LP₀₁ modu ile dağıldığı kabul edilir.

$$\frac{I(r, \Phi)}{P} = \frac{I}{\pi} \left[\frac{uJ(ur/a)}{aVJ_1(u)} \right]^2 r < a = \frac{I}{\pi} \left[\frac{uK_0(vr/a)}{aVK_1(v)} \right]^2 r < a \quad (4.10)$$

Burada a fiber öz yarıçapı

$V = \frac{2\pi a}{\lambda} (n_{öz}^2 - n_{kıl}^2)^{1/2}$, u ve v; r = a için çözümlerin eşlenmesiyle bulunan eigen değerleri; J₀, 0 dereceden birinci Bessel fonksiyonu; J₁, 1. dereceden birinci Bessel fonksiyonu; K₀ 0. dereceden düzenlenmiş ikinci Bessel fonksiyonudur. Mod dağılımı bir Gauss K₁ ise 1. Dereceden düzenlenmiş ikinci Bessel fonksiyonudur. Mod dağılımı bir Gauss fonksiyonuna yaklaştırılarak:

$$\frac{I}{P} = \frac{1}{\pi w^2} \exp\left(-\frac{r^2}{w^2}\right) \quad (4.11)$$

denklemleri elde edilir. Gauss mod yarıçapı w_{Gauss}, farklı bilim adamları tarafından tarif edilmektedir:

$$w_{Gauss} = a \left(0.65 + \frac{1.619}{V^{1.5}} + \frac{2.879}{V^6} \right) \quad \text{Marcuse} \quad (4.12)$$

$$w_{Gauss} = a \left(0.616 + \frac{1.66}{V^{1.5}} + \frac{0.987}{V^6} \right) \quad \text{Whitley} \quad (4.13)$$

$$w_{Gauss} = a \left(0.759 + \frac{1.289}{V^{1.5}} + \frac{1.041}{V^6} \right) \quad \text{Desurvire} \quad (4.14)$$

$$w_{Gauss} = a \left(0.761 + \frac{1.237}{V^{1.5}} + \frac{1.429}{V^6} \right) \quad \text{Myslinski} \quad (4.15)$$

Çakışma faktörü; her seviyede dağılımın farklı olmasından iyonlar tarafından oluşturulan enerji seviyelerine, iyon katkı dağılımının güce bağımlı olmasından dolayı güce ve optik mod profilinin dalgaboyu bağımlı olmasından dolayı da dalgaboyuna bağımlıdır.

Temel mod bir Gauss profiline yaklaştır yapılmadığından ve b yarıçapı da düzgün dağılımlı katkılanmış bir fiber modun çakışma faktörü:

$$\Gamma_t = 1 - e^{-\frac{2b^2}{w^2}} \quad (4.16)$$

ile gösterilir. Düşük-güç limitinde, Gauss yaklaşımı bütün uyarılmış seviye çakışma faktörü entegralleri:

$$\Gamma_{1,2,3,4}(P \rightarrow 0) \approx \left(\frac{b}{w} \right)^2 \frac{1 - e^{-\frac{4b^2}{w^2}}}{1 - e^{-\frac{2b^2}{w^2}}} \quad (4.17)$$

şeklinde gösterilir. b yarıçaplı düzgün dağılımlı katkılanmış bir fiberde LP_{01} modu yaklaşımı için toplam iyon dağılımı çakışma faktörü:

$$\Gamma = \left(\frac{ub}{VaJ_1(u)} \right)^2 \left[J_0^2(ub/a) + J_1^2(ub/a) \right] \quad (4.18)$$

olarak hesaplanır. Tipik olarak, fiberin katkılama yarıçapı, öz yarıçapına eşit veya öz yarıçapından daha küçüktür. ($b/w \leq 0,8$), ve $b/w \leq 0,8$ için entegraller neredeyse güçten bağımsızdır. Bu yüzden hemen hemen bütün durumlarda çakışma faktörlerinin güçten bağımsız olduğu ve bütün enerji seviyelerindeki iyonlar için Γ' ye eşit olduğu kabul edilir.

OptiAmplifeir 4.0 programında kullanıcı her bir fiber için mod dağılımının tipini seçme seçeneğine sahiptir ve güce bağımlı veya bağımsız çakışma faktörlerini kullanabilir.

4.6 Erbiyum Katkılı Fiber Yayınım Modelleri

4.6.1. Giles modeli

Güç bakımından 4.5' in Gaussiyen dağılımlı enine sınırlar üzerinden gerekli ara işlemler yapıldığında;

$$\frac{\partial P_s(z)}{\partial z} = u_s P_s(z) (N_2 \Gamma_{2,s} \sigma_s^a) \quad (4.19)$$

denklemini elde edilir. Yayınım denklemleri, sadece mesafeye bağlı değişen optik güç cinsinden verilmiştir.

Giles modeli tam spektral çözüm sağlamaktadır. Yayınım denklemleri, tam çözüme yaklaşılan kadar fiber boyunca ileri ve geri yönde hesaplanmaktadır. Oran denklemlerinin kararlı hal çözümü, fiber boyunca popülasyon ters birikimini verir.

$$N_2(z) = \frac{\frac{\tau_2}{A_{eff}} \sum \frac{P_k \alpha_k}{h\nu_k}}{1 + \sum \frac{P_k}{P_k^{15}}} \quad (4.20)$$

Burada iç saturasyon gücü:

$$P_k^{15} = \frac{h\nu A_{eff}}{\Gamma_{k,2} \tau_2 (\sigma_k^a + \sigma_k^e)} \quad (4.21)$$

denklemleri ile verilebilir. Bütün ileri ve geri yönlü ışınları dikkate alan $N_2(z)$ denkleminin ASE faktörünü de içerdiği göz önüne alınmalıdır.

4.6.2 Saleh modeli

Saleh modeli, EDFA kazancı dört parametre ile bulabilen iki seviyeli model kullanılan analitik tanımlardan elde edilmiştir. Bu parametreler, fiber zayıflama katsayıları α_p ve α_s ile pompa ve sinyal dalga boylarındaki saturasyon güçleri P_p^{15} ve P_s^{15} tir. Bu metodun avantajı lineer olmayan iletim ölçüm sonuçlarına teorik eğriler çizmesiyle bu parametrelerin kolaylıkla bulunabilmesidir. Bu model daha sonraları, halka biçimli Er^{3+} katkılı fiber lazerlerin (EDFL) eğim ve eşik tanımlamalarını ifade edebilmek için geliştirilmiştir. Er^{3+} iki seviyeli enerji diyagramı ile modellenemediği için, EDFA'ların ve EDFL'lerin deneysel sonuçları modelle uyum sağlamaktadır.

Saleh modeli, bazı basitleştirilmiş yaklaşımları kullanmaktadır. Birincisi, spontone emisyon hesaba katılmasına rağmen, yükseltilmiş spontone yayılım göz ardı edilmektedir. Bu durum eşik seviyesi üzerinde çalışan fiber lazerler ve eşdeğer ASE gürültü giriş gücünün üzerindeki giriş sinyal güçleri için kabul edilebilirdir.

İkincisi, bütün sinyal ve pompa dalgaboyunda uyarılmış seviye absorblaması (ESA) ihmal edilebilmektedir. Üçüncüsü, elektrik alan ve katkılama dağılımlarının fiberin pozisyonunda ve pompa seviyesinden bağımsız olduğu kabul edilmektedir. Bu ise nadir toprak iyonlarıyla absorblamanın diğer kayıplardan çok daha büyük olduğu, erbiyum gibi üç seviyeli iyonlar için kabul edilebilir.

Pompa ve sinyal ışını başına iki parametre kullanarak, zamana göre türevini sıfıra eşitlersek, sinyaller ve pompalar için elde edilen yayılım denklemleri:

$$\frac{\partial P_k}{\partial z} = u_k P_k \left(\frac{1}{P_k^{15}} \sum_{j=1}^{K_p} -u_j \frac{\partial P_j}{\partial z} - \alpha_k \right) \quad (4.22)$$

olmaktadır. ASE göz ardı edildiğinde, çıkış gücü $P_{i,k}^{out}$ için $z=0$ dan $z=L$ ye çözülürse:

$$P_k^{out} = P_k^{in} \exp \left\{ -\alpha_k L + \frac{P_{tot}^{in} - P_{tot}^{out}}{P_k^{15}} \right\} \quad (4.23)$$

denklemini elde edilir. Buradaki P_{tot}^{in} bütün pompa ve sinyal ışınlarının toplam giriş gücünü, P_{tot}^{out} ise bütün pompa ve sinyal ışınlarının toplam çıkış gücünü vermektedir.

4.6.3 Eşdeğer ASE modeli

Düşük giriş güçleri gibi (sinyal ve kazanç dalgaboylarına bağımlı olarak -20dBm'den daha az) ASE'nin önemli olduğu durumlarda, Saleh modeli ASE'yi göz ardı ettiği için hatalı sonuçlar alınabilir. Bu durumda eşdeğer ASE modeli kullanılarak daha doğru sonuçlar elde edilebilir. OptikAmplifier 4.0 programında bu model tercih edilirse,

$$P_k^{in} = 2n_{sp}(\nu, z_{in})\Delta\nu h\nu \quad (4.24)$$

ile verilen eşdeğer gürültü giriş gücü uygulanır.

L fiber uzunluğunda, ileri yönlü ASE $z_{in}=0$, geri yönlü ASE için $z_{in}=L$ 'dir.

Spontone yayınım faktörü:

$$n_{sp}(v, z_{in}) = \frac{N_2(z_{in})}{N_2(z_{in}) - N_1(z_{in})\mathcal{E}(v)} \quad (4.25)$$

denklemleriyle verilir. $\mathcal{E}(v) = \sigma_a / \sigma_e$ kesit alanlarının oranına eşittir.

Saleh modeli fiber uzunluğuna bağlı hesaplamalar gerektirdiği için çok daha hızlı bir biçimde sonuca varabilir. OptikAmlifier 4,0 yazılımı, $N_2(z_{in}) = 0.8$ olduğunu varsayar ve diverjanslardan kaçınmak için $n_{sp}(v, z_{in})$ tahmini değerini 1 ile 10 arasında sınırlar.

4.6.4 Jopson modeli

Saleh modeli sadece katkılanmış fiber çıkışındaki pompa ve sinyal güçlerini ve eğer seçilirse eşdeğer ASE değerini hesaplamaktadır. Bu değerler katkılı fiber sonundaki popülasyon ters birikimini hesaplamak için kullanılmaktadır. Ancak, fiber boyunca hiçbir bilgi elde edilmediğinden Jopson ve Saleh, fiber boyunca ters birikim seviyelerinin ve güçlerin hesaplanabilmesi için Saleh modelini geliştirmiştir. Bu modelde z boyunca sinyal ve pompa güç değişimi:

$$P_k(z) = P_k(0) \exp \left\{ -u_k \alpha_k z + u_k \left[\frac{Q(0) - Q(z)}{P_k^{15}} \right] \right\} \quad (4.26)$$

ile tanımlanır. Buradaki $Q(z)$ değeri

$$Q(z) = \sum u_k P_k(0) e^{-u_k \alpha_k z} e^{u_k [Q(0) - Q(z)] / P_k^{1s}} \quad (4.27)$$

denklemleri ile bulunur. Fiberin herhangi bir ucundan başlayarak, belirli bir adım için denklem çözülerek, pompa, sinyal, eşdeğer ASE güçleri ve popülasyon ters birikim değişimleri elde edilebilir.

4.7 EDFA Kazanç Karakteristikleri

EDFA'ların kazanç spektrumu, silikanın doğal amorfluğundan oldukça etkilenmektedir. Tek başına olan erbiyum iyonlarının kazanç profili homojen olarak genişler ve bu iyonların band genişliği dipol gevşeme zamanı T_2 kullanılarak kazanç saturasyonunu veren denklem çözülebilir. Kazanç spektrumu iki tepe değerine sahiptir ve bir hayali geniştir. Fiber özüne alüminyum katkılanmasıyla bu tepe değeri düzleştirilebilir. EDFA'ların kazanç spektrumu öz yapıları benzer olsa da amplifikatörden değişiklik gösterir. Çünkü kazanç spektrumu amplifikatörün uzaunluğuna da bağlıdır. Bunun nedeni ise kazancın absorblama ve emisyon kesit alanlarına bağlı olması ve bunların farklı karakteristikler göstermesidir (Agrawal 2002).

EDFA'lar yüksek band genişlikleri sayesinde çok kanallı sinyallerin amplifikasyonuna da uyumluluk gösterir. Bu özelliklerinden dolayı EDFA'lar WDM fiber optik sistemler için elverişli bir yapıya sahiptir. EDFA'lar ayrıca alt taşıyıcı çoğullama yöntemiyle (SCM) çoklu video kanallarının iletilmesi için kablolu TV ağlarında da kullanılmaktadır. EDFA'ların diğer Ips veya daha kısa süreli optik darbelerin yükseltilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir (Agrawal 1997).

L uzunluğundaki amplifikatör için başlangıçta amplifikatör kazancı pompa gücü ile eksponansiyel olarak artmaktadır. Fakat pompa gücünün saturasyon değeri aşıldığında kazanç artışı azalır. L uzunluğunun optimum değeri pompa gücü P_p 'ye bağlı olduğundan, bu parametrelerin uygun değerlerde seçilmesi amplifikatör performansı çok önemlidir (Agrawal 1997).

EDFA’larda lineer kazanç, sinyal dalgaboyundaki çıkış sinyal gücü ile ASE gücünün farkının giriş gücüne bölümüyle bulunmaktadır.

$$G = \frac{P_{\text{çıkış}}(\lambda_s) - P_{\text{ase}}}{P_{\text{giriş}}(\lambda_s)} \quad (4.28)$$

Bu denkleminde;

- G : Lineer Kazanç
 λ_s : Sinyal Dalgaboyu(nm)
 $P_{\text{giriş}}(\lambda_s)$: Giriş Sinyal Gücü(W)
 $P_{\text{çıkış}}(\lambda_s)$: Çıkış Sinyal Gücü(W)

P_{ase} ASE Gücü (W)’nü tanımlamaktadır.(dB) cinsinden kazancın değeri $G(\text{dB}) = -10 \log (G)$ formülü ile bulunabilir.

4.8 Gürültü Faktörü (NF)

Bütün optik amplifikatörler amplifikasyon esasında spontone yayılım yoluyla gürültü sinyali üreterek, yükseltile sinyalin sinyal/gürültü oranının (signal-to-noise ratio, SNR) düşmesine neden olurlar. Amplifikatörün girişinden çıkışına doğru SNR azalması elektronik amplifikatörlerde de kullanılan bir büyüklük olan amplifikatör gürültü Nois Figure (NF) ile tanımlanır.

$$NF = \frac{(SNR)_{\text{in}}}{(SNR)_{\text{out}}} \quad (4.29)$$

Burada SNR_{in} amplifikatörün giriş SNR değeri SNR_{out} ise Amplifikatörün çıkış SNR değeridir.

SNR, optik sinyal fotodedektörde elektrik akımına çevrilmesiyle elde edilen elektriksel sinyal ve gürültü güçleri cinsinden tanımlıdır. Gürültü performansı vurma gürültüsü (shot noise) ile sınırlı ideal dedektör göz önüne alındığında NF için basit bir bağlantı elde edilebilir. Çıkış gücü ile giriş gücü arasında $P_{out} = GP_{in}$ şeklinde bağlantı olan G kazançlı bir amplifikatör için giriş sinyalinin SNR'si:

$$(SNR)_{in} = \frac{\langle I_p \rangle^2}{\sigma_s^2} = \frac{(RP_{in})^2}{2q(RP_{in})\Delta f} \quad (4.30)$$

ile verilir. Burada (RP_{in}) ortalama giriş fotoakımını ve $R = q/(h\nu)$ ise birim kuantum verimli ideal foto dedektörün tepkimesini vermektedir. Foto dedektörün karanlık akımı $I_d = 0$ için $I_p = RP_{in}$ formülü kullanılırsa normalize vurma gürültü gücü:

$$\sigma_s^2 = 2q(RP_{in})\Delta\nu \quad (4.31)$$

elde edilir. Burada $\Delta\nu$ dedektör band genişliğidir. Kuvvetlendirilen sinyalin SNR değerini bulmak içinse, alıcı gürültüsüne spontone yayınım etkisi de eklenmektedir. Kendiliğinden yayınımın neden olduğu gürültünün spektral yoğunluğu spektrum boyunca hemen hemen sabittir (beyaz gürültü). Şu şekilde tanımlanır (Yariv 1984).

$$S_{sp}(\nu) = (G - 1)n_{sp}h\nu \quad (4.32)$$

Burada ν optik frekanstır. n_{sp} parametresine spontone emisyon faktörü veya popülasyon ters birikimi faktörü denir ve:

$$n_{sp} = \frac{n_2}{n_2 - n_1} \quad (4.33)$$

ile verilebilir. n_1 ve n_2 sırasıyla taban ve uyarılmış seviyelerin atomik popülasyonlarıdır. Spontone emisyon etkisi, yükseltilecek sinyaldeki dalgalanmaları

artırma şeklindedir ve buda fotodedeksiyon prosesi yoluyla dedektör çıkışından akım dalgalanmalarına dönüşür. Alıcısı gürültüsüne en fazla katkı, spontone emisyonun sinyalle çarpmasından meydana gelir. Bu çarpışma olayı heterodin dedeksiyona benzer şekilde spontone gürültünün yükseltilebilir sinyalle foto dedektörde karışıp bir heterodin fotoakım bileşeni üretmesi şeklindedir. Diğer tüm gürültü kaynakları ihmal edilirse, fotoakımın varyansı şu şekilde yazılabilir (Yariv 1984).

$$\sigma \approx 4(RGP_{in})(RS_{sp})\Delta v \quad (4.34)$$

sonuç da gürültü faktörü (NF) için;

$$NF = 2n_{sp} \frac{(G-1)}{G} \approx 2n_{sp} \quad (4.35)$$

elde edilir. Bu denklemde anlaşılacağı gibi $n_{sp} = 1$ olan ideal amplifikatörlerde bile yükseltilebilir sinyalin SNR'ı 3dB azalmaktadır. Pratik amplifikatörlerde gürültü faktörü 3dB'i aşar ve 6-8 dB gibi büyük değerlerde olabilir. Optik amplifikatörün fiber optik haberleşme sistemlerinde kullanılabilmesi için mümkün olan en küçük gürültü faktörüne sahip olmalıdır (Agrawal 1997).

Gerek Erbiyum Katkılı Fiber Amplifikatörler gerekse diğer fiber Amplifikatörler için MS9710B Optik Spektrum Analizörü ile gürültü faktörünün ölçülmesi S-ASE gürültü gücü veya toplam gürültü gücünün ölçülmesine dayanan iki ayrı yöntemle yapılabilmektedir. S-ASE yönteminde yalnızca optik sinyal ve ASE arasındaki çarpışma gürültü gücü (P_{ASE}) hesaba katılır.

$$NF_{(S-ASE)} = 10 \log \left(k \frac{P_{ase}}{h.v.G.\Delta v_s} \right) \quad (4.36)$$

Denklemini ile bulunur. Burada k düzeltme faktörü olur genelde 1'dir. bu denklemde verilen gürültü bandgenişliği ve sinyal frekansı:

$$\Delta v_s = \frac{c}{\lambda_{sv} \cdot 10^{-9} - \frac{\text{Çöz}_{ger} \cdot 10^{-9}}{2}} - \frac{c}{\lambda_{sv} \cdot 10^{-9} + \frac{\text{Çöz}_{ger} \cdot 10^{-9}}{2}} \quad (4.37)$$

$$v = \frac{c}{\lambda_{sv} \cdot 10^{-9}}$$

ile tanımlanır. Denklemdaki diğer parametreler aşağıdaki gibi tanımlanabilir,

λ_{sv} : Sinyal dalgaboyu (nm)

v : Sinyal frekansı (Hz)

Çöz_{ger} : Çözünürlük hesaplanması tarafından kalibre edilen gerçek çözünürlük (nm)

Δv_s : P_{ase} ölçümünde kullanılan analizörün bandgenişliği

h : Plank sabiti (6.626×10^{-34} (J.S))

c : ışık hızı (2.9979×10^8 (m/s))

toplam gürültü yönteminde ise sinyal ASE çarpışma gürültüsüne ek olarak, ASE-ASE çarpışma gürültüsü, sinyal vurma gürültüsü ve ASE vurma gürültüsü olmak üzere tüm gürültü bileşenleri hesaba katılır. Buna göre amplifikatörün gürültü faktörü:

$$NF_{(TOP)} = 10 \log k \left(\frac{P_{ase}}{h \cdot v \cdot G \cdot \Delta v_s} + \frac{P_{aset}^2}{2 \cdot h \cdot v \cdot G^2 \cdot P_{grş} \cdot (\lambda_s) \cdot \Delta v_s} + \frac{1}{G} + \frac{P_{aset}}{G \cdot P_{grş} \cdot (\lambda_s)} \right) \quad (4.38)$$

olmaktadır. Bu eşitlikte 1. terim sinyal ASE çarpışma gürültüsünü, 2. terim ASE-ASE çarpışma gürültüsünü 3. terim sinyal vurma gürültüsünü, 4. terim ise ASE vurma gürültüsünü tanımlamaktadır. Burada toplam ASE gücü P_{aset} :

$$P_{aset} = \frac{P_{ase} \Delta v_a}{\Delta v_s} \quad (4.39)$$

denklemiyle bulunmaktadır (Yuvka 2006).

5. ERBİUM KATKILI L BANDI FİBER AMPLİFİKATÖRÜN İLERİ GERİ VE İKİ YÖNLÜ ANALİZİ VE SİMÜLASYONU

5.1 Giriş

Erbium Katkılı Fiber Amplifikatörler (EDFA), çalışma dalga boyları fiber kayıplarının hemen hemen min. olduğu 1.55 μm civarındadır ve optik haberleşme sistemlerinde fiber kaybını gidermek için kullanılmaktadır. EDFA silika fiberdeki zayıflamanın en düşük olduğu 1550 nm dalga boyunda çalışabilmesiyle, uzak mesafe fiber optik haberleşme sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılan bir elemandır .

İlk önce C Band olarak (1520-1565 nm) geliştirilen EDFA teknolojisi geliştirilerek günümüzde L Bandı (1570-1620 nm) ve S Bandı (1450-1520 nm) olarak daha yüksek bant genişliği sağlayacak biçimde tasarımları yapılarak iletim kapasitesinin artırılmasına çalışılmaktadır. S Bandı optik kuvvetlendiriciler için günümüzde Silika temelli Erbium katkıli kuvvetlendiriciler kullanılmaktadır. L Bandı için ise, C Bandına göre nispeten düşük pompa dönüşüm verimi nedeniyle daha yüksek oranda Erbium'la katılanmış ve yaklaşık olarak on katı uzunlukta fiber gerekmektedir (Göktaş ve Yücel 2004, Göktaş ve Yücel 2006).

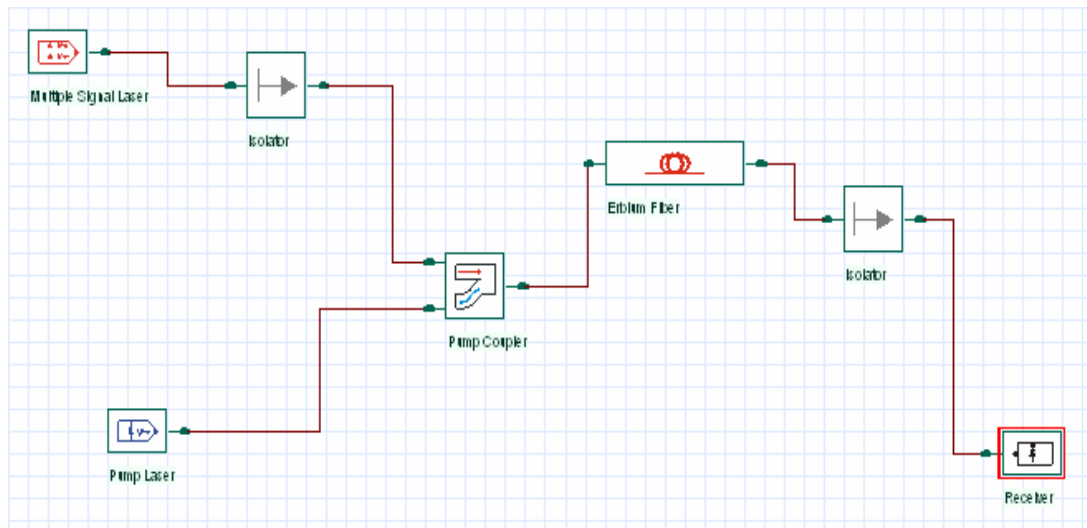
Bu çalışmada tek ve çift yönlü pompalamalı çift geçişli bir konfigürasyonu tasarlanarak L Bandı EDFA'nın tasarımı ve simülasyonu yapılmıştır.EDFA'nın spektral kazanç ve gürültü faktörü performansı yüksek pompalama verimi ve düşük ESA (uyarılmış seviye absorblaması) nedeniyle pompa dalga boyu olarak 980 nm ve 1480 nm kullanılmıştır. 980 nm dalga boyunda gürültü faktörünün daha düşük olduğu, 1480 nm dalga boyunda ise daha yüksek pompa dönüşüm verimi sağladığı bilinmektedir. Bu sebeple kazanç veriminin en yüksek olduğu 980 nm pompalama kullanılmıştır. Simülasyonlarda OptiAmplifier 4.0 programı kullanılarak Erbium katkıli fiber karakteristikleri çıkarılmıştır. Bu fiberin parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Erbiyum Katkılı Fiberin Parametreleri

Parametre	Değer	Birimi
Nümerik Açıklık (NA)	0.31	-
Fiber uzunluğu	70	m
Öz yarıçapı	1	μm
Erbiyum yarıçapı	1	μm
İyon ömrü	10	ms
İyon yoğunluğu	9.10^{24}	m^{-3}

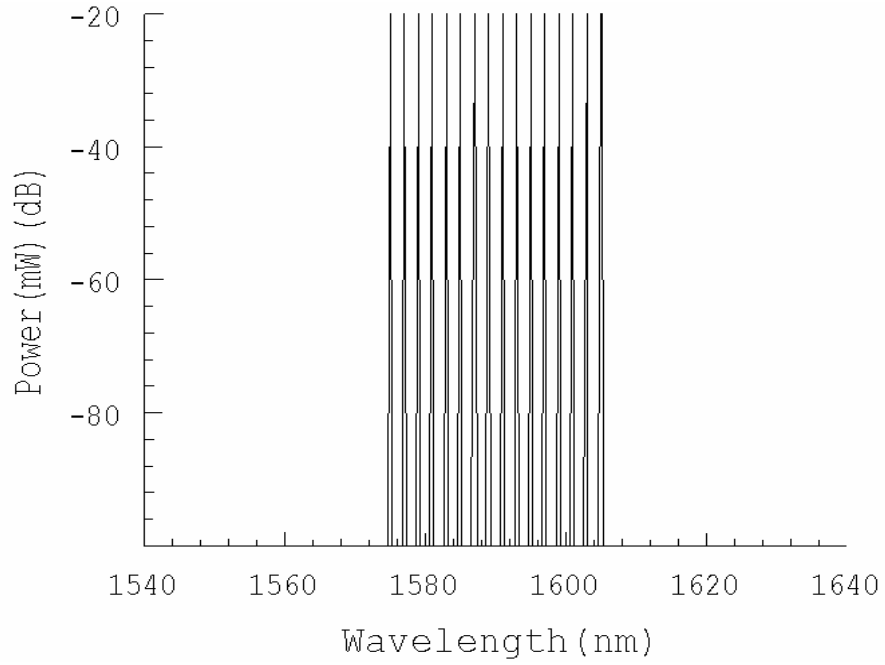
5.2 İleri Yön Pompalamalı L- Bandı EDFA Simülasyon Analizi

İleri yönlü pompalama pompalanan ışığın, katkılı fiber boyunca sinyalle aynı yönde yayılmasına denir. Şekil 5.1 de ileri yönlü pompalanmış EDFA simülasyon düzeneği görülmektedir. Bu düzenekte 180 mW gücünde, 480 nm ve 1480 nm dalga boylarındaki pompalama sinyali giriş sinyali ile aynı yönlü uygulanmış olup spektrum, kazanç ve ASE değerleri incelenmiştir.

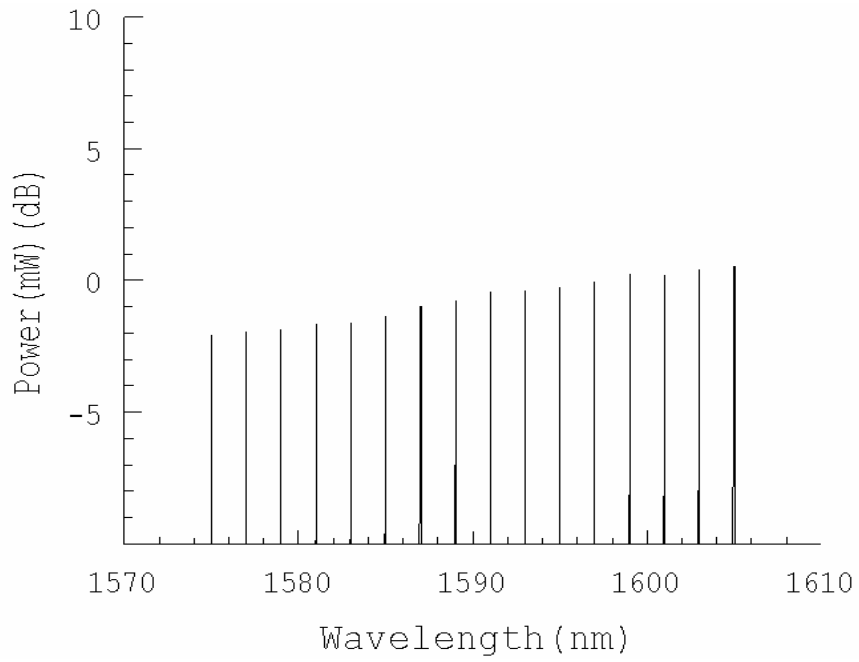


Şekil 5.1 İleri yönlü pompalamalı şema

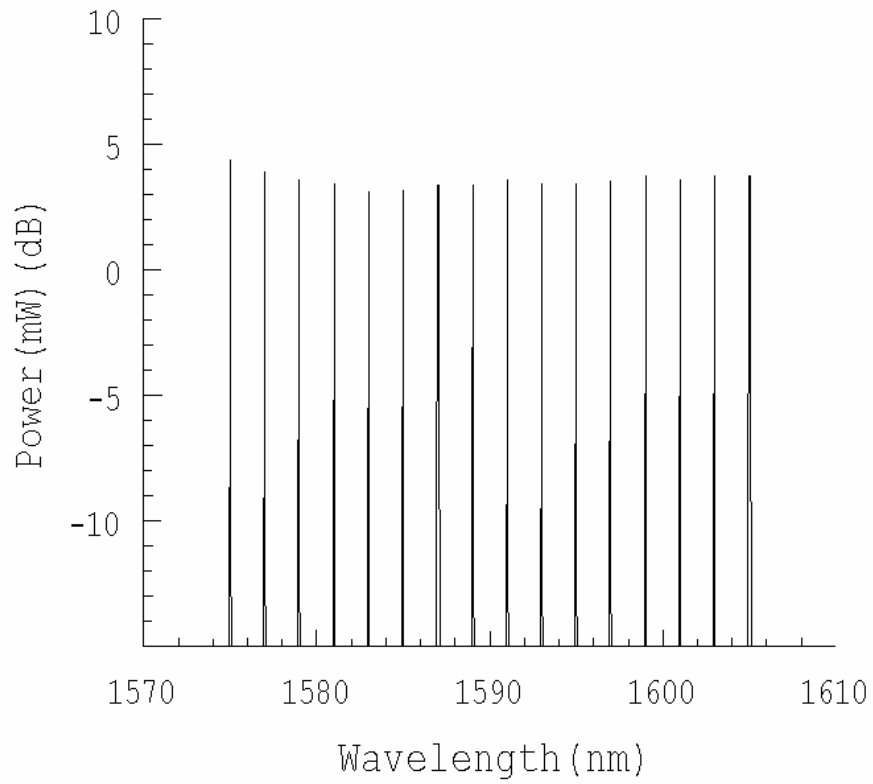
5.2.1 İleri yön pompalanmış spektrum analizi



Şekil 5.2 Giriş spektrumu



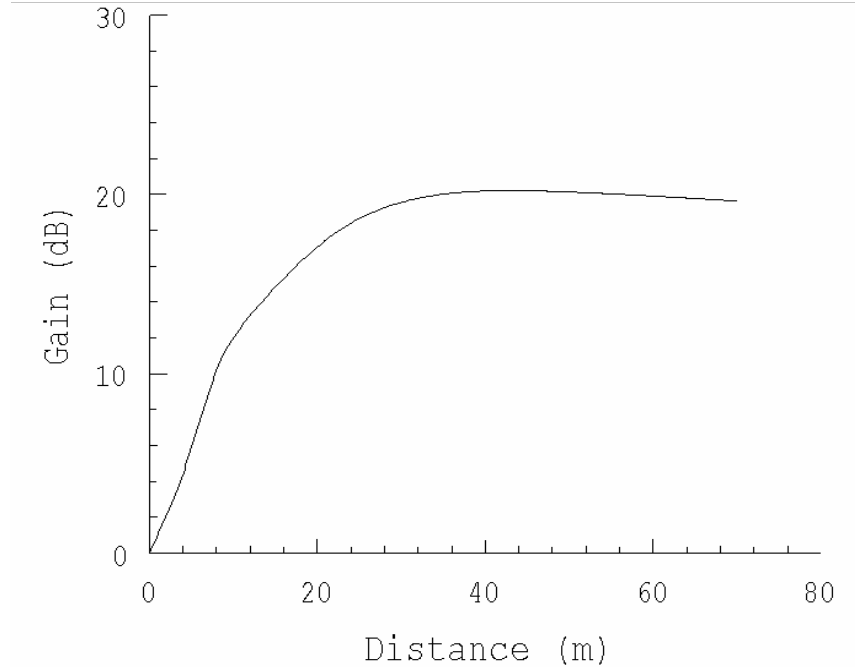
Şekil 5.3 480 nm dalga boyunda ileri yönde pompalanmış çıkış spektrumu



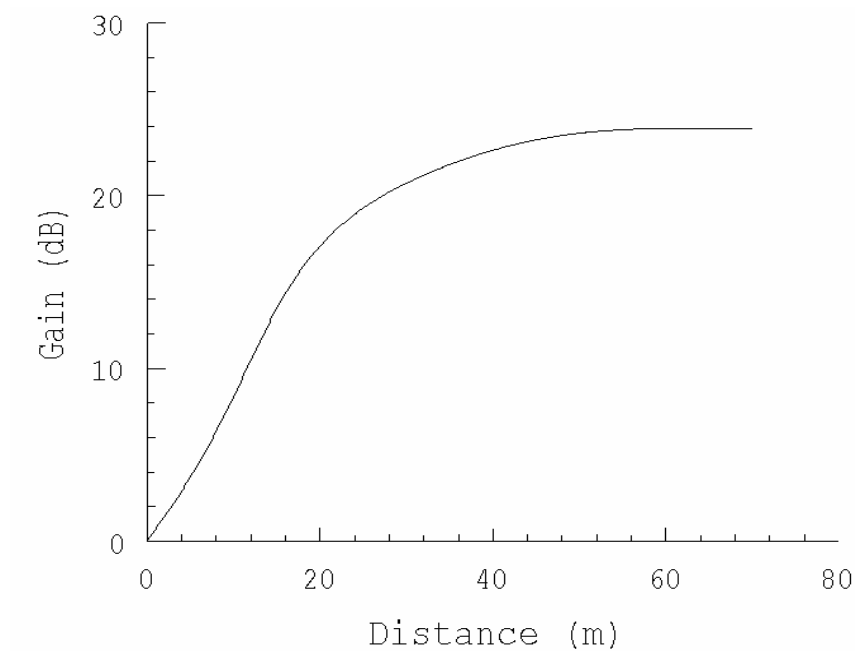
Şekil 5.4 1480 nm dalga boyunda ileri yönde pompalanmış çıkış spektrumu

Şekil 5.2’de giriş spektrumu görülmektedir. Şekil 5.3’de 180 mW gücünde ve 980 nm dalga boyunda pompalanmış çıkış spektrumu görülmektedir. Şekil 5.4’de ise yine 180 mW gücünde ama 1480 nm dalga boyunda pompalanmış çıkış spektrumu görülmektedir. -20 dB olan giriş spektrum gücü 480 nm dalga boyunda pompalanmış simülasyonda -2 dB-0 dB aralığına iken 1480 nm dalga boyunda pompalanmış simülasyon düzeneğinde ise 4 dB gücü elde edilmiştir Grafiklerden de anlaşılacağı üzere 1480 nm dalga boyunda çıkış spektrumu daha yüksek verimli, düzgün ve kararlıdır..

5.2.2 İleri yön pompalanmış kazanç analizi



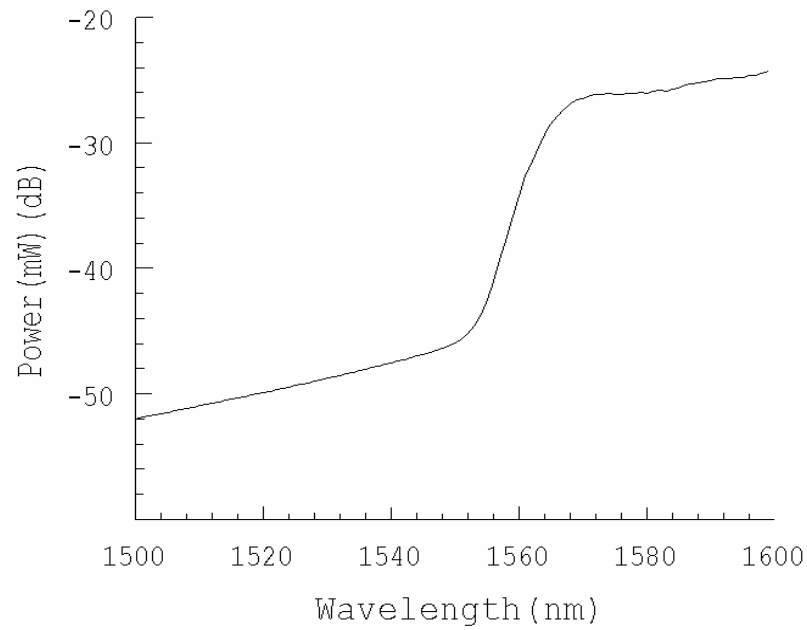
Şekil 5.5 980 nm dalga boylu pompalanmış EDFA'nın mesafe-kazanç değişimi



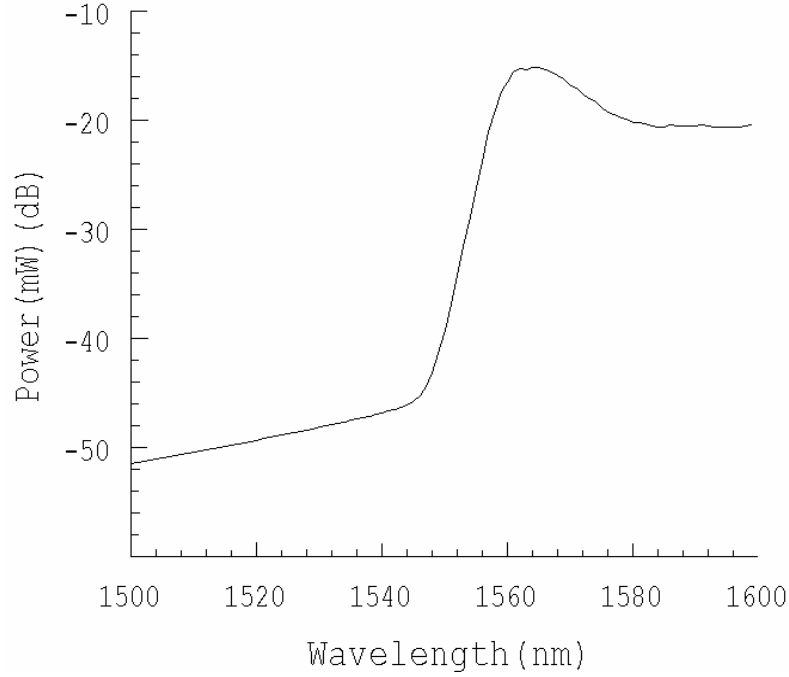
Şekil 5.6 1480 nm dalga boylu pompalanmış EDFA'nın mesafe-kazanç değişimi

Şekil 5.5’de 980 nm dalga boyunda pompalanmış EDFA’nın mesafe-kazanç değişimi görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi 980 dalga boyunda pompalanmış EDFA’da fiber boyuna bağlı olarak kazancı artmakta ve yaklaşık 40. metrede ise maksimum (20 dB) değerine ulaşmaktadır. Bu uzunluktan sonra kazanç yavaş yavaş düşmeye başlamaktadır. 1480 nm dalga boyu pompalamalı grafikte ise kazanç yine artmakta ve yaklaşık 55. metrede maksimum (25 dB) seviyeye ulaşmaktadır ve uzunluğa bağlı olarak daha yavaş bir düşme eğrisine sahiptir. Tek yönlü ileri pompalanmış sistemlerde 1480 nm dalga boyunda pompalanmış sistemin kazancı daha büyüktür.

5.2.3 İleri yön pompalanmış ASE analizi



Şekil 5.7 980 nm dalga boyunda pompalanmış EDFA’da ASE değişimi



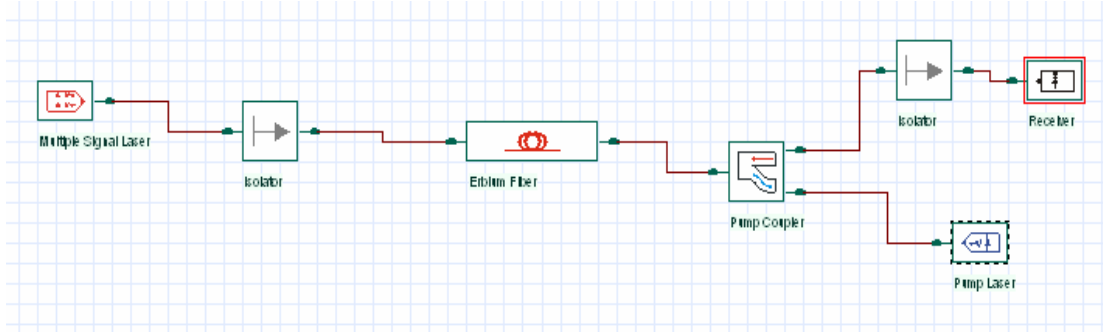
Şekil 5.8 1480 nm dalga boyunda pompalanmış EDFA’da ASE değişimi

Şekil 5.7’de 980 nm dalga boyunda pompalanmış, Şekil 5.8’de ise 1480 nm dalga boyunda pompalanmış EDFA’da ASE değişimi görülmektedir. Şekil 5.7’de görüldüğü üzere ASE 1500 nm-1550 nm dalga boylarında düşük eğimli, 1550 nm-1570 nm dalga boylarında çok yüksek eğimli yükselmektedir. 1570 nm dalga boyundan sonra ise eğimini küçültürerek yükselmesine devam etmiş ve -23 dB seviyesine kadar yükselmiştir. Şekil 5,8’de ise ASE 1500 nm – 1545 nm dalga boylarında düşük eğimli, 1545 nm- 1560 nm dalga boylarında yüksek eğimli artmıştır. 1560 nm- 1580 nm dalga boylarında ise ters eğimli bir düşüş gösterdikten sonra yaklaşık -18 dB civarında sabit kalmıştır. Bu analizdende anlaşılabacağı üzere L bandında 980 nm dalga boyunda pompalanmış EDFA’larda ASE değişimi daha küçüktür ve kazanca daha az negatif etki uygulayacaktır.

5.3 Geri Yön Pompalamalı L- Bandı EDFA Simülasyon Analizi

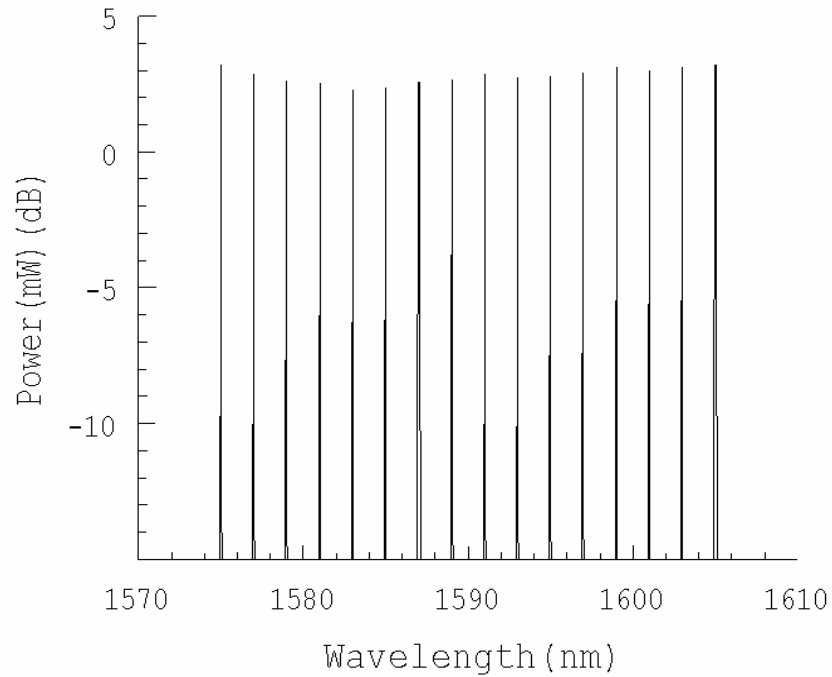
Geri yönlü pompalama, katkılı fiberin diğer ucundan sinyalle ters yönde pompalanmasıdır. Şekil 5.9 da geri yönlü pompalanmış EDFA simülasyon düzeneği

görülmektedir. Bu düzenekte 180 mW gücünde, 480 nm ve 1480 nm dalga boylarındaki pompalama sinyali fiberin diğer ucundan giriş sinyaline zıt yönde uygulanmış olup spektrum, kazanç ve ASE değerleri incelenmiştir.

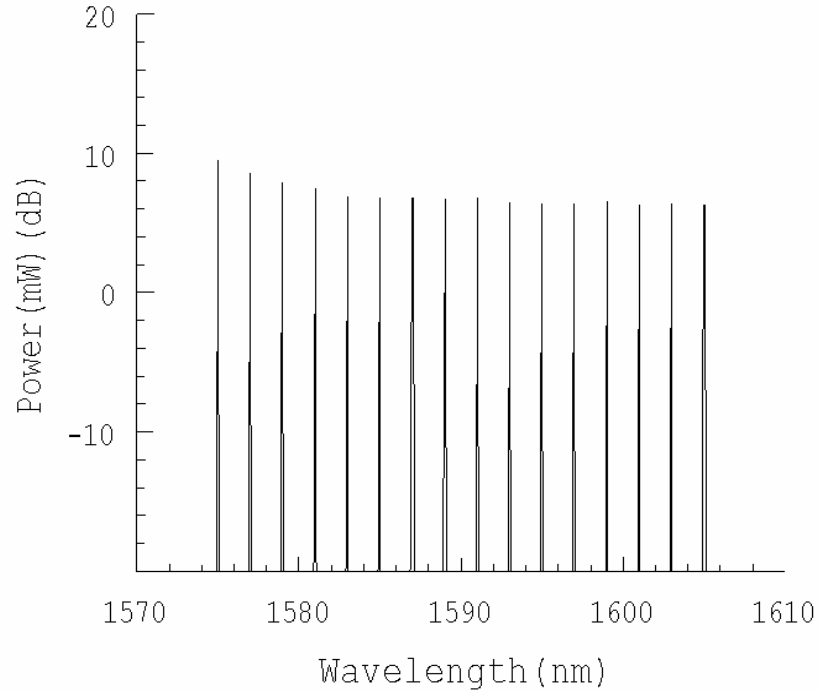


Şekil 5.9 Geri yönlü pompalamalı şema

5.3.1 Geri yön pompalanmış spektrum analizi



Şekil 5.10 480 nm dalga boyunda geri yönde pompalanmış çıkış spektrumu

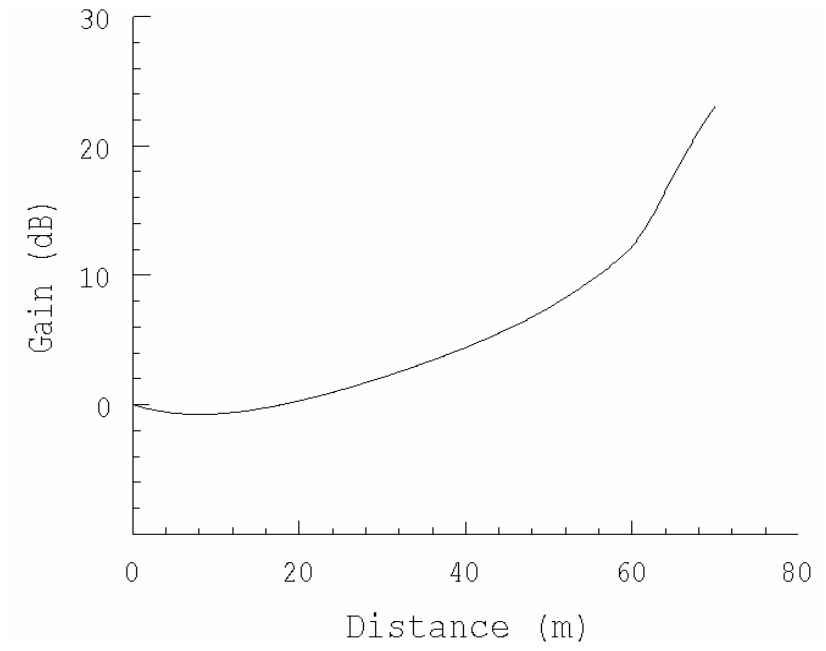


Şekil 5.11 1480 nm dalga boyunda geri yönde pompalanmış çıkış spektrumu

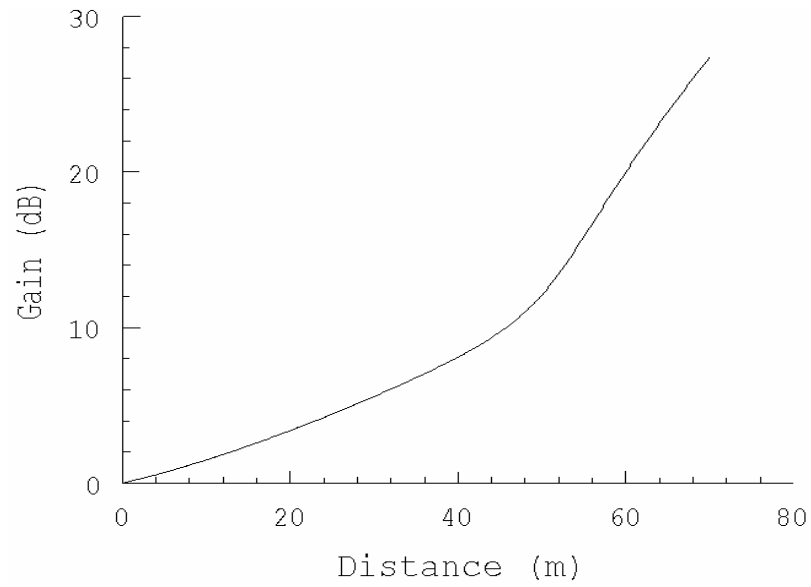
Şekil 5.10’da 480 nm dalga boyunda geri yönlü pompalanmış sinyalin çıkış spektrumu, Şekil 5.11’de ise 1480 nm dalga boyunda geri yönlü pompalanmış sinyalin çıkış spektrumu görülmektedir. Şekil 5.10’da sinyal yaklaşık 3 dB civarında kısmen kararlı iken Şekil 5.11’de 8 dB ve daha kararlı bir durumdadır.

5.3.2 Geri yön pompalanmış kazanç analizi

Şekil 5.11’de 980 nm dalga boyunda pompalanmış, Şekil 5.12’de ise 1480 nm dalga boyunda pompalanmış geri yönlü EDFA’nın fiber boyunca kazanç değişim eğrisi görülmektedir. 980 nm dalga boyunda geri pompalamada fiber başlangıcında kazanç negatife düşmekle birlikte daha sonra yükselişe geçiyor ve 70. metre sonunda yaklaşık 22 dB’lik bir kazanç elde edilmektedir. Şekil 5.12’de kararlı bir biçimde kazanç yükselerek fiber sonunda 28 dB’lik bir kazanç seviyesine ulaşılmıştır. 1480 nm dalga boylu geri yön pompalamada kazanç faktörü daha büyük olup uygulamalarda tercih edilmelidir.

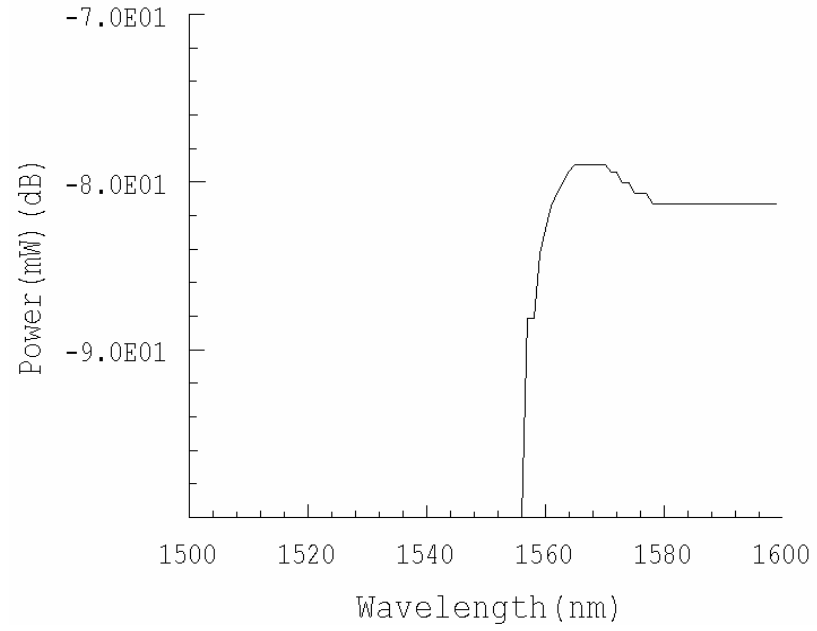


Şekil 5.12 980 nm dalga boylu geri yönlü pompalanmış EDFA'nın mesafe-kazanç değişimi

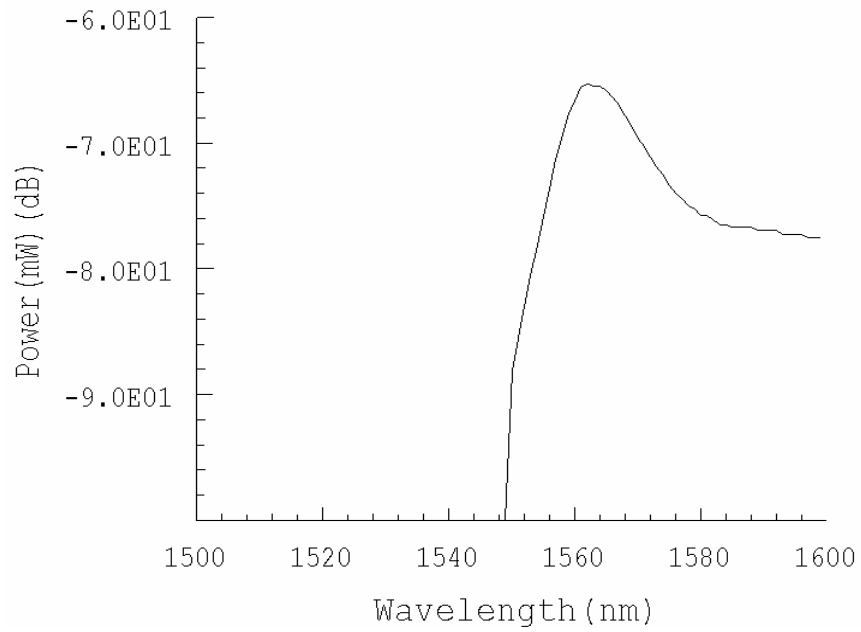


Şekil 5.12 1480 nm dalga boylu geri yönlü pompalanmış EDFA'nın mesafe-kazanç değişimi

5.3.3 Geri yönlü pompalanmış ASE analizi



Şekil 5.13 980 nm dalga boyunda geri yönlü pompalanmış EDFA’da ASE değişimi



Şekil 5.13 1480 nm dalga boyunda geri yönlü pompalanmış EDFA’da ASE değişimi

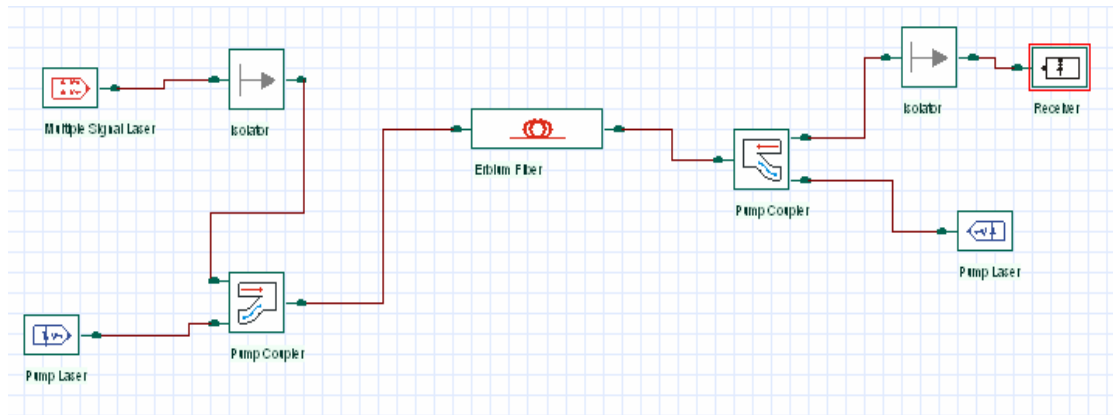
Şekil 5.12’de 980 nm dalga boyunda, Şekil 5.13’de ise 1480 nm dalga boyunda geri yönde pompalanmış ASE değişimi görülmektedir. Şekil 5.12’de 1556 nm dalga boyunda hızla yükselen ASE değeri 1568 nm dalga boyunda maksimum (-0,78 dB) seviyesine ulaşmış daha sonra eğrinin yönü ters çevrilmiş ve nihayet 1580 nm dalga boyunda yatay (0,81 dB) seviye ye ulaşmıştır.

Şekil 5.13’de ise 1550 nm dalga boyunda hızla yükselen ASE değeri 1562 nm dalga boyu seviyesinde maksimum (-0,66 dB) değere ulaşp bu seviyeden ters dönerek hızlı bir düşüş yapmış ve 1584 nm dalga boyu seviyesinde çok daha yavaş (-0,76 dB) düşüş seyri izlemiştir.

Görüldüğü gibi 980 nm dalga boyu ile geri yönlü pompalamada ASE seviyesi daha düşüktür. Dolayısıyla kazanca daha az negatif etkisi olacaktır.

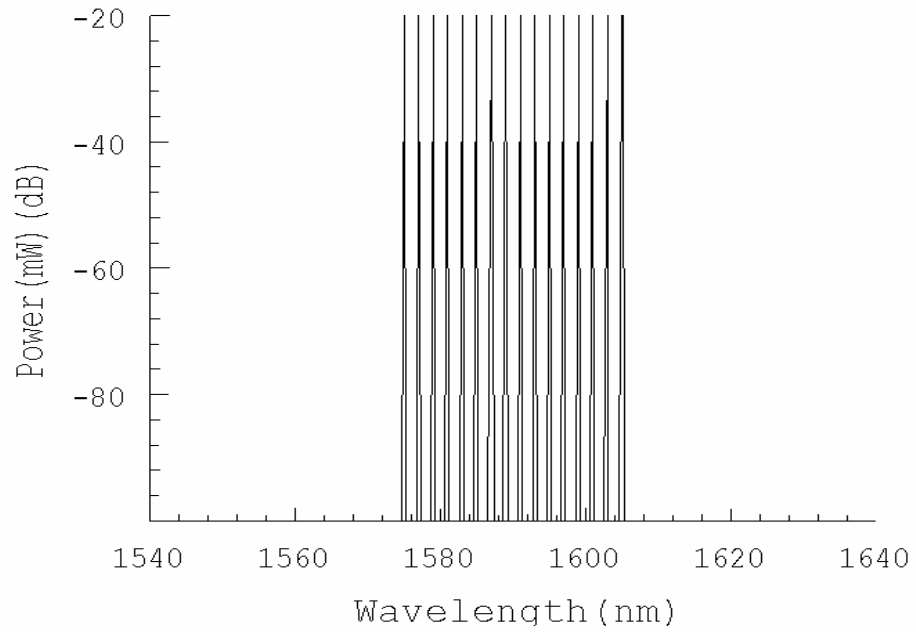
5.4 İki Yönlü Pompalamalı L- Bandı EDFA Simülasyon Analizi

İki yönlü pompalama, katkılı fiberin her iki ucundan da pompalama yapılmasıdır. Şekil 5.14 da iki yönlü pompalanmış EDFA simülasyon düzeneği görülmektedir. Bu düzenekte 90 mW gücünde, 980 nm ve 1480 nm dalga boylarındaki pompalama sinyali fiberin her iki ucundan uygulanmış olup spektrum, kazanç ve ASE değerleri incelenmiştir.

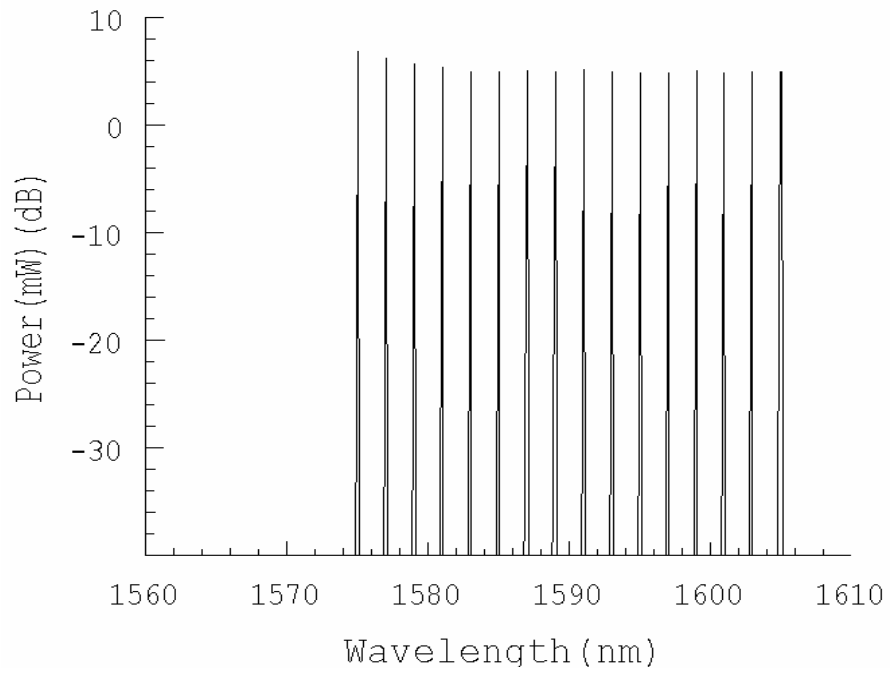


Şekil 5.14 İki yönlü pompalamalı şema

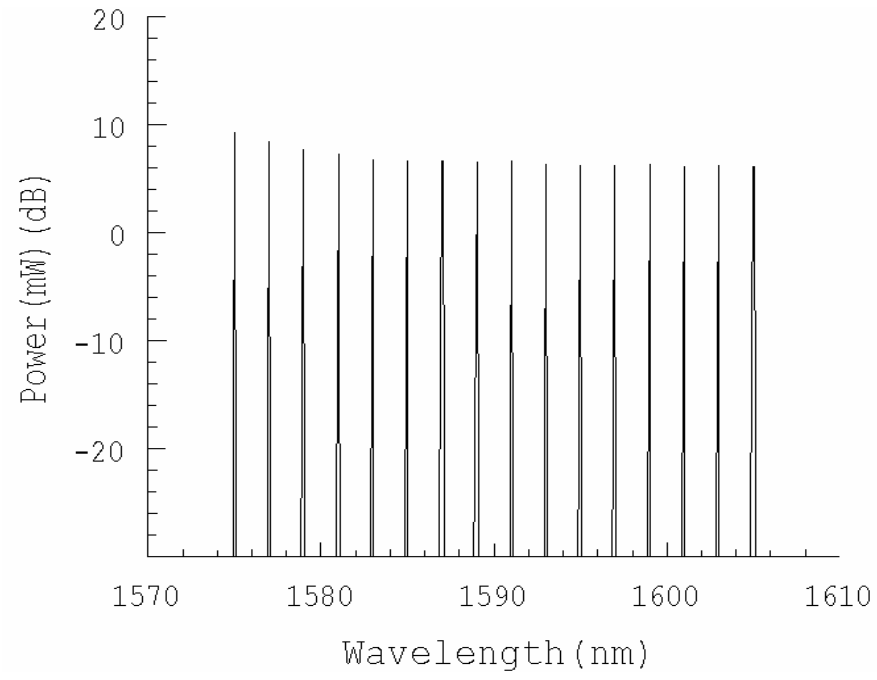
5.4.1 İki yönlü pompalanmış spektrum analizi



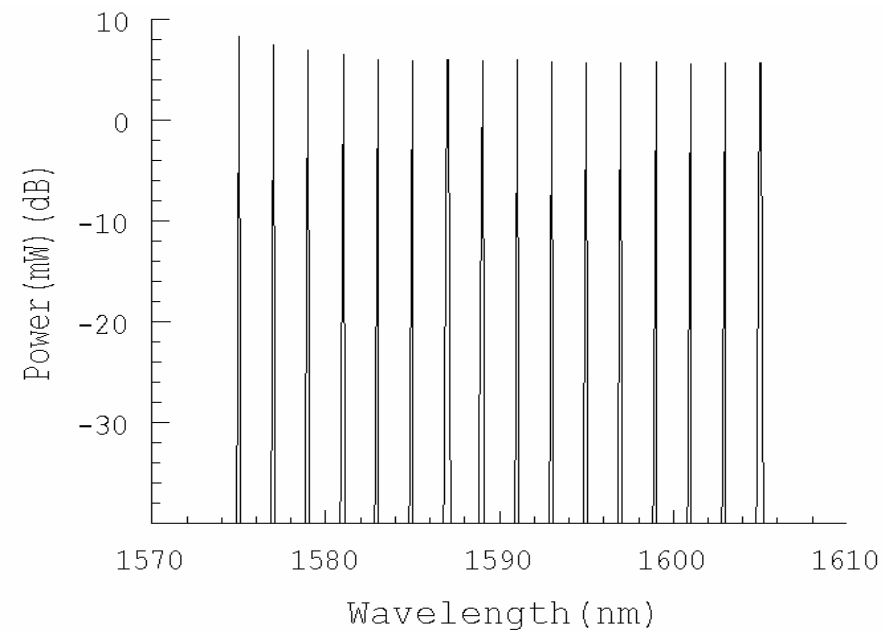
Şekil 5.15 Giriş spektrumu



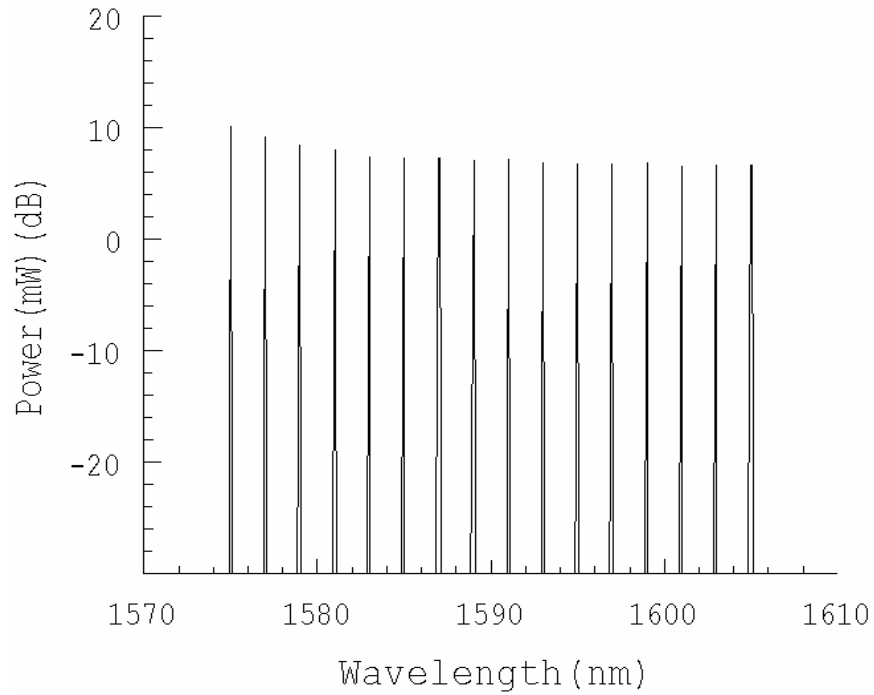
Şekil 5.16 980 nm- 980 nm dalga boyunda iki yönde pompalanmış çıkış spektrumu



Şekil 5.17 980 nm- 1480 nm dalga boyunda iki yönde pompalanmış çıkış spektrumu



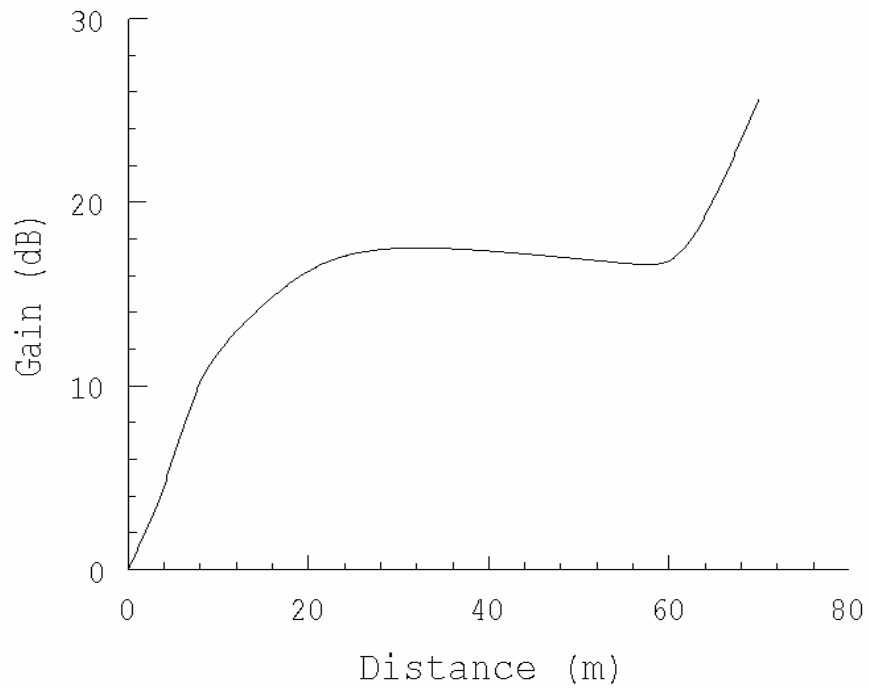
Şekil 5.18 1480 nm- 980 nm dalga boyunda iki yönde pompalanmış çıkış spektrumu



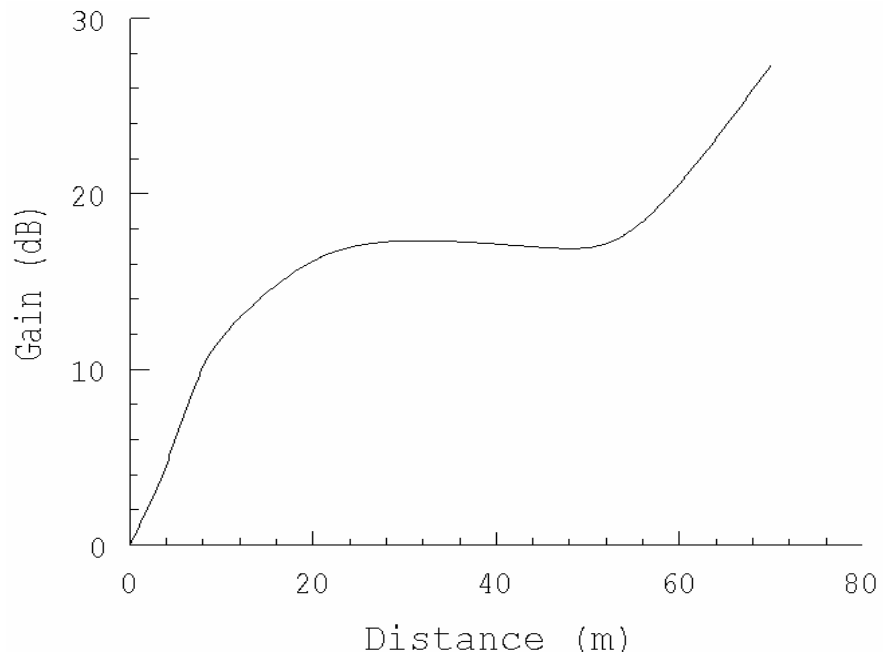
Şekil 5.19 1480 nm- 1480 nm dalga boyunda iki yönde pompalanmış çıkış spektrumu

Şekil 5.15’de giriş spektrumu görülmektedir. Sırasıyla Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da 980 nm-980 nm, 980 nm-1480 nm, 1480 nm- 980 nm, 1480 nm- 1480 nm dalga boylarında pompalanmış iki yönlü spektrum eğrileri görülmektedir. Giriş spektrumu -20 dB’de oldukça kararlıdır. Her iki yönde de 980 nm dalga boylu sinyal pompalanmış Şekil 5.16’da yaklaşık 7 dB gücünde kararlılık elde edilmiştir. Şekil 5.17’de ileri yönde 980 nm dalga boyu ile pompalanmış, geri yönde ise 1480 nm dalga boyu ile pompalanmış olup yaklaşık 6 dB gücünde spektrum kararlı haldedir. Şekil 5.18’de ileri yönde 1480 nm dalga boyunda, geri yönde ise 980 nm dalga boyunda pompalama gerçekleştirilmiş ve yaklaşık 6 dB’lik bir güçte kararlılık elde edilmiştir. Şekil 5.19’de her iki yönde de 1480 nm dalga boyunda pompalama gerçekleştirilmiş ve yaklaşık 7 dB’lik güçte kararlılık oluşmuştur. Görüldüğü gibi iki yönlü pompalamada; spektrum kararlılığı, değişen pompalama dalga boylarında çok fazla etki göstermemektedir. Ancak her iki yönde de aynı dalga boyuyla pompalama işleminde sistem daha fazla (+1dB’lik) güç kazancıyla spektrum kararlılığı oluşmuştur.

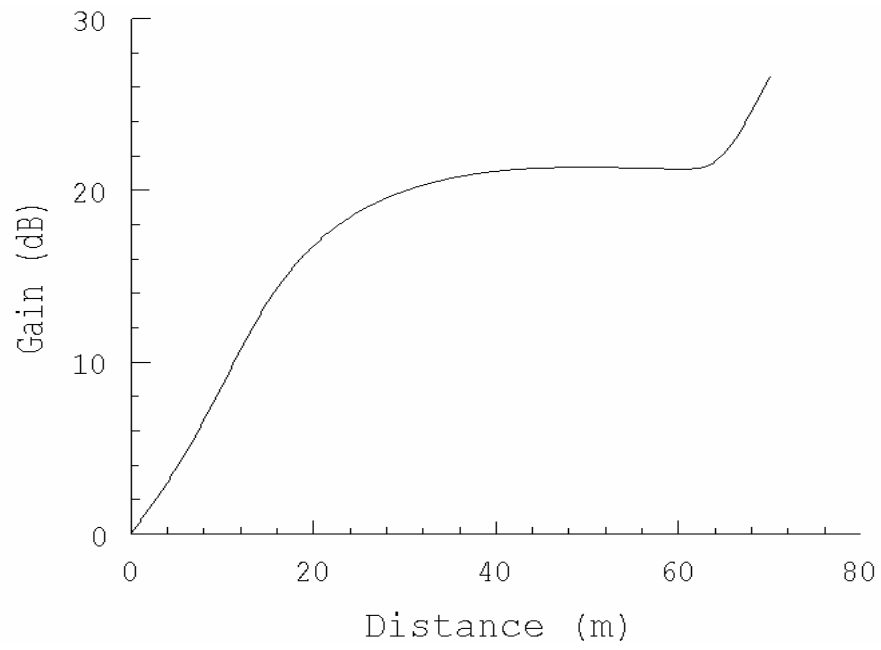
5.4.2 İki yön pompalamalı kazanç analizi



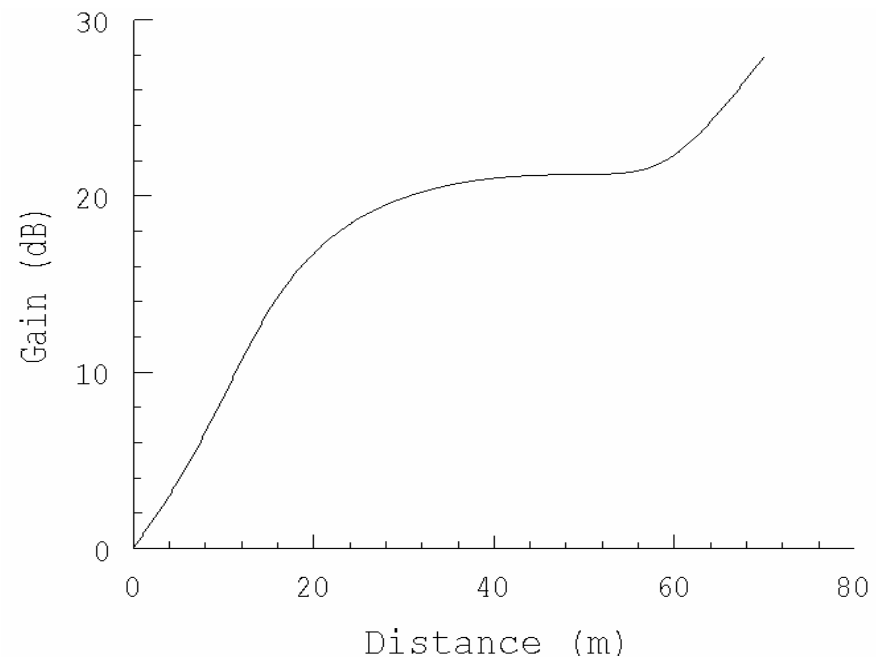
Şekil 5.20 980 nm-980 nm iki yön pompalamalı mesafe kazanç eğrisi



Şekil 5.21 980 nm-1480 nm iki yön pompalamalı mesafe kazanç eğrisi



Şekil 5.22 1480 nm-980 nm iki yön pompalamalı mesafe kazanç eğrisi



Şekil 5.23 1480 nm-1480 nm iki yön pompalamalı mesafe kazanç eğrisi

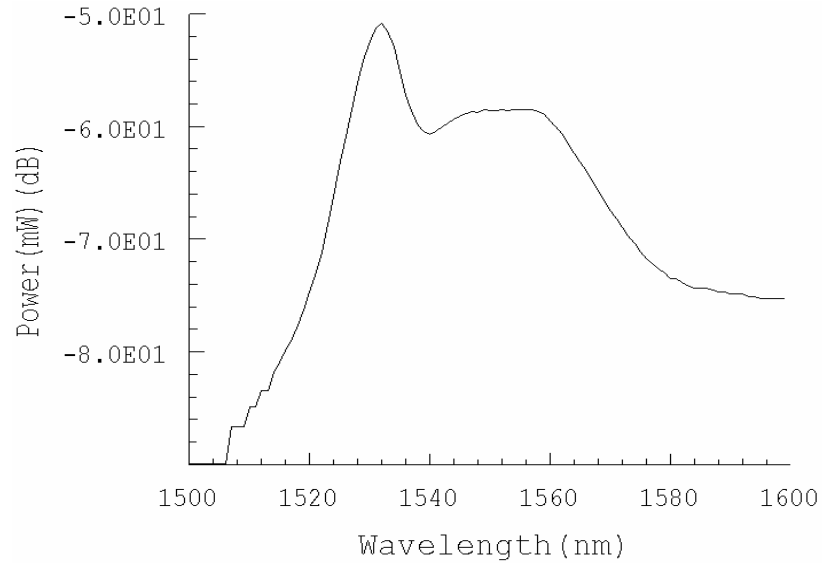
Şekil 5.20’de 980 nm-980 nm iki yönlü pompalanmış EDFA boyunca kazanç görülmektedir. Grafikte yaklaşık 28. metreye kadar hızlı bir yükselişle 17 dB’lik bir kazanç elde edilmiş, buradan 60. metreye kadar 16 dB’e düşmüş ve buradan da 70. metreye kadar 26 dB’lik bir kazanca ulaşmıştır.

Şekil 5.21’de 980 nm-1480 nm iki yönlü pompalanmış EDFA boyunca kazanç görülmektedir. Grafikte 28. metreye kadar hızlı bir yükselişle 17 dB’lik bir kazanca ulaşılmış, buradan 51. metreye kadar çok küçük bir düşüşle yaklaşık 16 dB’e düşmüş, daha sonra hızlı bir yükselişle 26 dB’lik bir kazanca ulaşmıştır.

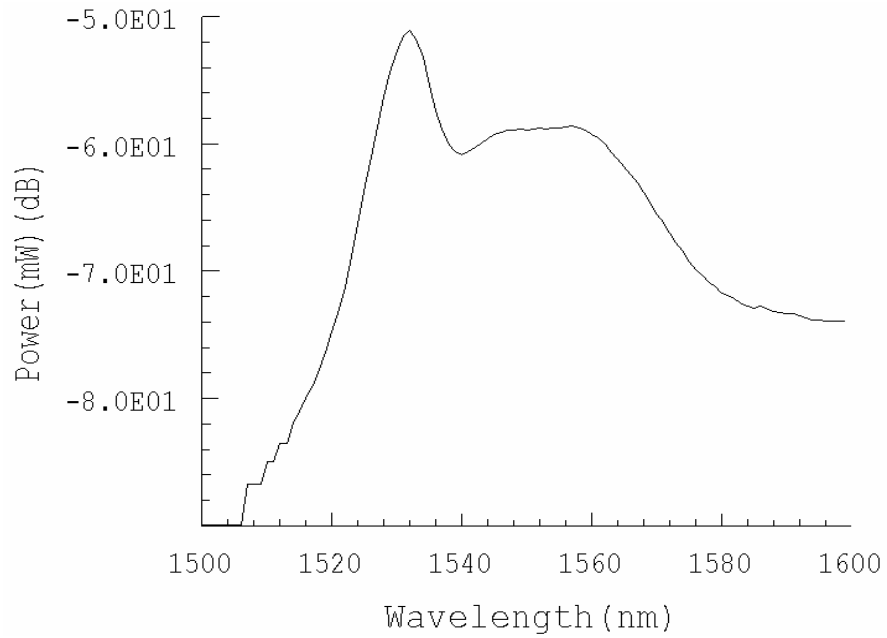
Şekil 5.22’de 1480 nm-980 nm iki yönlü pompalanmış EDFA boyunca kazanç görülmektedir. Şekilde 38. metreye kadar hızla yükselen kazanç 21 dB seviyesine çıkmış buradan 62. metreye kadar sabit kalmış bu seviyeden de 70. metreye kadar hızla yükselerek 27 dB’lik kazanca ulaşmıştır.

Şekil 5.23’de ise 1480 nm-1480 nm dalga boyunda iki yönlü pompalama gerçekleştirilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi 36. metreye kadar kazanç hızla yükselmiş ve 21 dB’lik seviye ye gelmiştir. Bu noktadan 56. metreye kadar hemen hemen sabit kalmış ve bu seviden 70. metreye kadar 28 dB’lik bir kazanca ulaşmıştır.

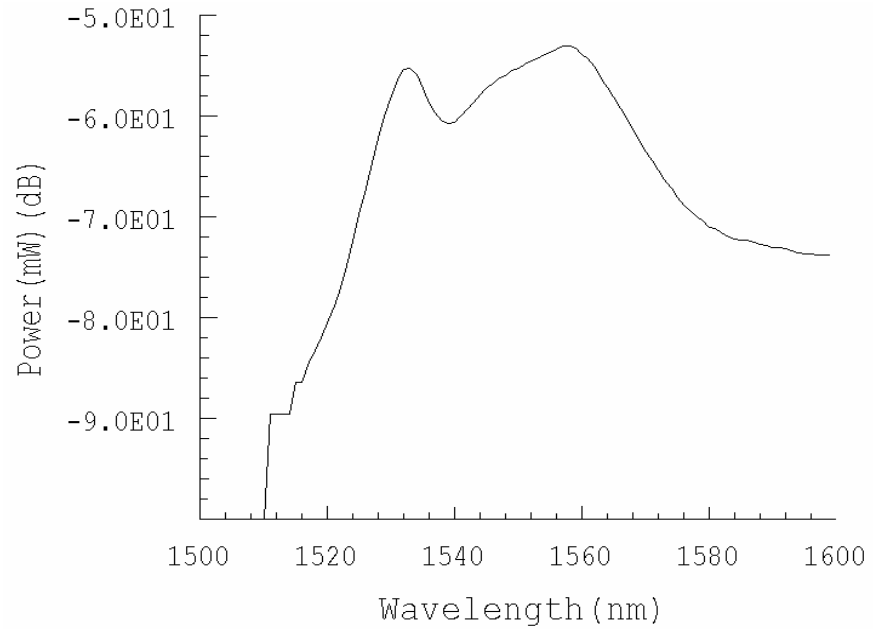
5.4.3 iki yönlü pompalanmış ASE analizi



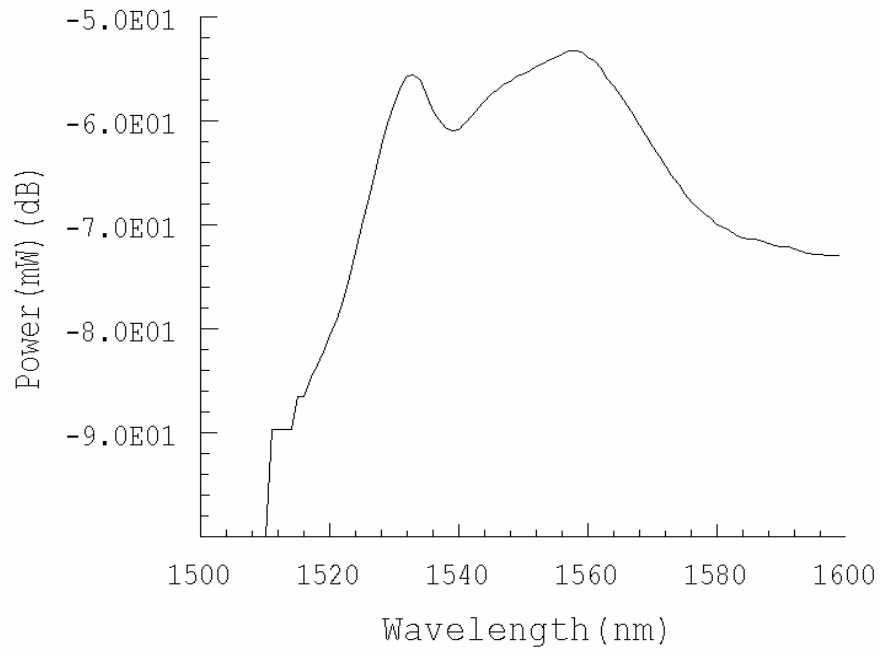
Şekil 5.24 980 nm-980 nm dalga boyunda iki yönlü pompalanmış EDFA'da ASE değişimi



Şekil 5.25 980 nm-1480 nm dalga boyunda iki yönlü pompalanmış EDFA'da ASE değişimi



Şekil 5.26 1480 nm-980 nm dalga boyunda iki yönlü pompalanmış EDFA’da ASE değişimi



Şekil 5.27 1480 nm-1480 nm dalga boyunda iki yönlü pompalanmış EDFA’da ASE değişimi

Sırasıyla Şekil 5.24, 5.25, 5.26, 5.27’de 980 nm-980 nm, 980 nm-1480 nm, 1480 nm-980 nm ve 1480 nm- 1480 nm dalga boylarında iki yönlü pompalanmış ASE’nin değişimi görülmektedir. Şekil 5.24’de ASE değeri, C Bandında hızlı bir yükselişle -0,5 dB maksimum seviyesine ulaşarak -0,6 dB’e düşmüştür. L Bandında ise düşerek -0,75 dB değerine ulaşmıştır. Şekil 5.25’de C Bandında hızlı yükselerek -0,5 dB maksimum seviyesine ulaşarak -0,61 dB’e düşmüştür. L Bandında ise düşerek -0,74 dB değerine ulaşmıştır. Şekil 5.26’da C Bandında hızlı yükselerek -0,56 dB’de bir tepe yaparak geri gelmiş ve -0,53 dB’de maksimum seviyesine ulaşarak -0,61 dB’e düşmüştür. L Bandında ise düşerek -0,74 dB değerine ulaşmıştır. Şekil 5.27’de ise C Bandında hızlı yükselerek -0,55 dB’de bir tepe yaparak geri gelmiş ve -0,53 dB’de maksimum seviyesine ulaşarak -0,61 dB’e düşmüştür. L Bandında ise düşerek -0,73 dB değerine ulaşmıştır.

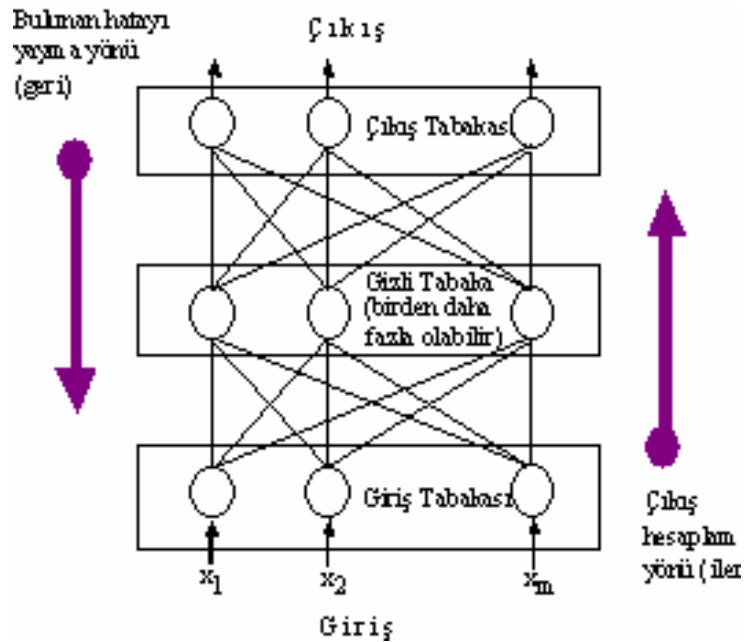
L bandında 980 nm-980 nm iki yönlü pompalamada daha düşük ASE gücü tespit edilmiştir. Dolayısıyla L bandında 980 nm-980 nm iki yönlü pompalamada ASE’nin etkisi daha az olacaktır.

6. EDFA SİMÜLASYON SONUÇLARININ YSA'NA UYGULANMASI

6.1 Giriş

Yapay Sinir Ağları (YSA) biyolojik sinir sisteminin çalışma prensibi temel alınarak geliştirilmiştir (Haykin 1994). YSA yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. YSA'ların bir çok yapısı mevcuttur (Zhang ve Gupta 2000). Bu yapılardan Çok Katmanlı Perseptronlar (ÇKP) bu çalışma için denenmiştir.

Çok katmanlı perseptron sinir ağı modeli (ÇKP), giriş, ara ve çıkış katmanlarından oluşur (Şekil 6.1). Giriş katmanında herhangi bir bilgi işleme yapılmaz. Buradaki işlem elemanı sayısı tamamen uygulanan problemdeki giriş sayısına bağlıdır. Ara katman sayısı ve ara katmanlardaki işlem elemanı sayısı ise, deneme-yanılma yolu ile bulunur. Çıkış katmanındaki eleman sayısı ise yine uygulanan probleme dayanılarak belirlenir (Rumelhart ve McClelland 1986).



Şekil 6.1 Çok Katmanlı Perseptron yapısı

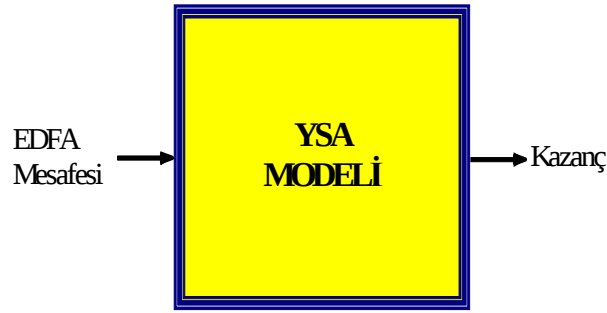
Temel bir ÇKP (Haykin 1994), üç ana kattan oluşur: Giriş katı, çıkış katı ve gizli kat. Giriş katındaki işlem elemanları veya nöronlar, sadece giriş sinyali x_i 'nin, gizli kattaki nöronlara dağıtılmasını sağlayan tampon görevini yaparlar. Gizli katta bulunan her bir j indisli işlem elemanı; x_i giriş sinyalini, giriş katından w_{ji} ağırlıkları ile çarptıktan sonra toplar ve toplamın bir f fonksiyonu olarak y_i çıkışını aşağıdaki gibi hesaplar.

$$y_i = f(\sum w_{ji} x_i) \quad (6.1)$$

Burada f sigmoidal veya hiperbolik tanjant fonksiyonu gibi basit bir eşik fonksiyonu olabilir. Çıkış katındaki nöronların çıkışları da benzer şekilde hesaplanır. Bir ağı eğitme işlemi, değişik öğrenme algoritmalarını kullanarak ağı ağırlıklarını ayarlamaktan oluşur. Bir çok öğretim algoritmasının ÇKP ağını eğitmede kullanılabilir olması, bu ağı yaygın olarak kullanılmasının sebebidir. Bu çalışmada Geliştirilmiş Delta-Bar-Delta (GDBD) algoritması (Jacobs 1988), iki yönlü pompalanmış EDFA'nın fiber boyunca kazancını hesaplamak ve tahmin etmek için ÇKP'nin eğitilmesinde kullanılmıştır. Eğitimde Sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır. YSA modelinde simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler kullanılmış ve farklı mesafeler için kazanç grafikleri çıkarılmıştır.

6.2 İki Yönlü EDFA Kazancının YSA ile Hesaplanması

İki yönlü pompalanmış 70 m uzunluğundaki EDFA'nın kazancının YSA ile hesaplanmasında (NeuralWorks 1996), iyon ömrü 10 ms, öz yarıçapı 1 μm , erbiyum yarıçapı 1 μm , nümerik açıklık 0.31, iyon yoğunluğu $9.10^{24} \text{ (m}^{-3}\text{)}$ ve pompalama gücü 90 mw olan Erbiyum katkılı fiber kablonun simülasyon verileri kullanılmıştır. 500 adet mesafe ve kazanç simülasyon parametresi 980-980 nm, 980-1480 nm, 1480-980 nm ve 1480-1480 nm dalga boylu iki yönlü bir YSA modeli hazırlanarak eğitilmiştir (Şekil 6.2). Tablo 7'de (980-980 nm, 980-1480 nm, 1480-980 nm ve 1480-1480 nm kazanç değerleri) YSA performansını veren ağ yapısı, eğitim R^2 değeri ve simülasyon sonuçlarına olan yaklaşımı ifade eden hata oranı verilmiştir.



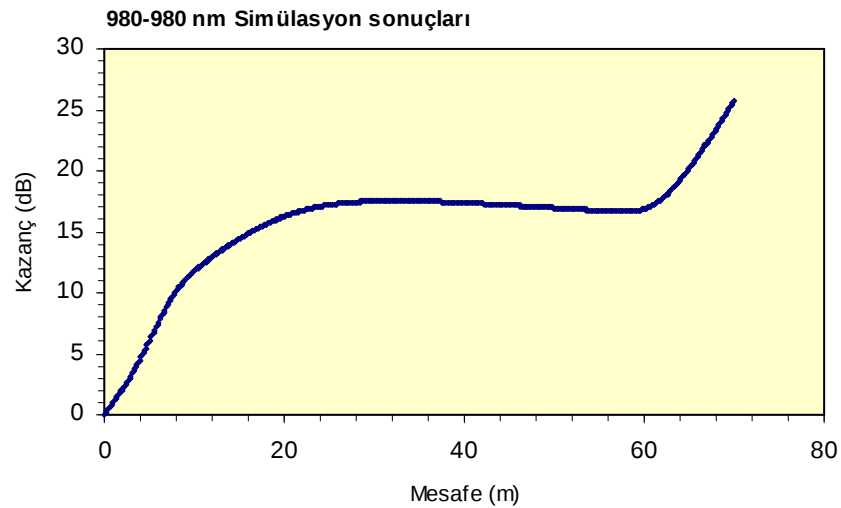
Şekil 6.2. İki yönlü EDFA kazancının hesaplanması için kullanılan YSA modeli

6.2.1 980-980 nm dalga boylu iki yönlü pompalanmış EDFA kazancının YSA ile hesaplanması

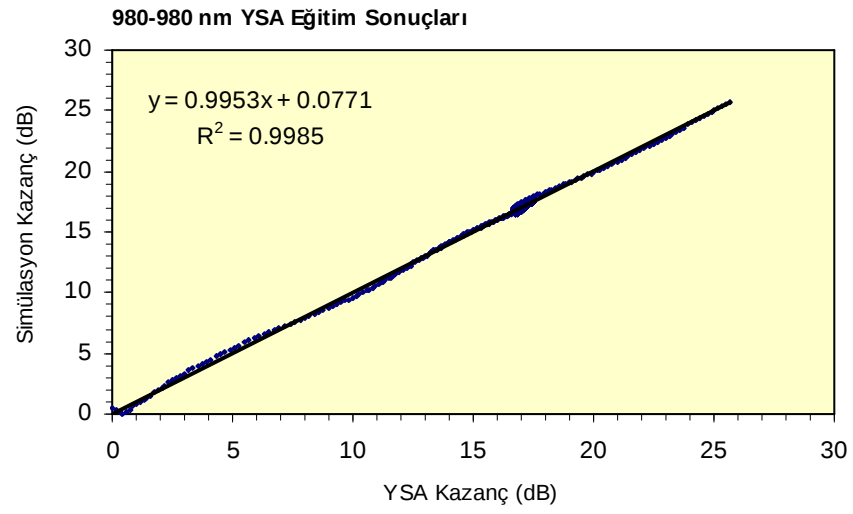
980-980 nm dalga boylu iki yönlü pompalanmış EDFA'nın 70 m'lik mesafe için 500 adet ara değere karşılık gelen ve simülasyon sonucu bulunan kazanç değerleri eğitim seti olarak kullanılmış ve YSA'nın ÇKP yapısına ait GDBD eğitim algoritması ile eğitilmiştir. Test seti için ise, EDFA'nın 70 m'lik mesafesi için farklı 234 adet ara değer (0.05'den başlayarak 0.3 aralıkta 69.95'e kadar) türetilmiş ve bu değerlere karşılık gelen 234 adet kazanç değeri bulunmuştur (Tablo 3). Elde edilen sonuçlar simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmış ve oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar (Şekil 6.3a'da simülasyon ve Şekil 6.3b'de YSA sonuçları verilmiştir) grafik olarak verilmiştir.

Tablo 3. 980-980 nm dalga boylu EDFA kazancının YSA sonuçları

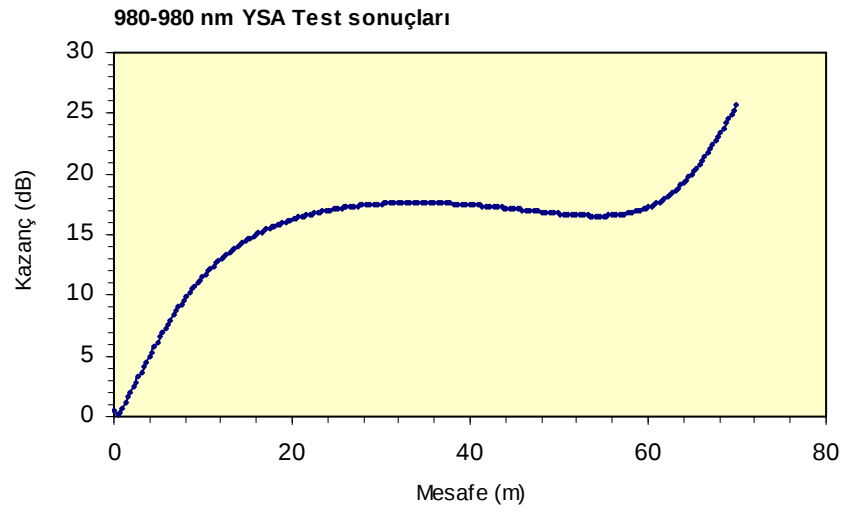
Simülasyon Verileri		Türetilmiş veriler	YSA	
Eğitim Seti (500 veri)		Test Seti (234 veri)	Eğitim Sonuçları	Test Sonuçları
Mesafe (m)	Kazanç (dB)	Mesafe (m)	Kazanç (dB)	Kazanç (dB)
0	0	0.05	0.549562	0.483898
0.1403	0.1783	0.35	0.364717	0.085152
0.2806	0.3138	0.65	0.178092	0.320943
0.4208	0.4504	0.95	0.010061	0.733256
0.5611	0.5881	1.25	0.199901	1.150616
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
31.8437	17.5353	28.55	17.612001	17.471935
31.984	17.5358	28.85	17.614977	17.49066
32.1242	17.5362	29.15	17.617725	17.508108
32.2645	17.5363	29.45	17.620249	17.524321
32.4048	17.5363	29.75	17.622557	17.539316
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
69.4389	25.0406	68.75	25.037304	24.180811
69.5792	25.2021	69.05	25.211901	24.553061
69.7194	25.3639	69.35	25.386086	24.926575
69.8597	25.5259	69.65	25.559948	25.29991
70	25.6882	69.95	25.733206	25.671537



Şekil 6.3a Simülasyon Sonuçları



Şekil 6.3b YSA Eğitim Sonuçları



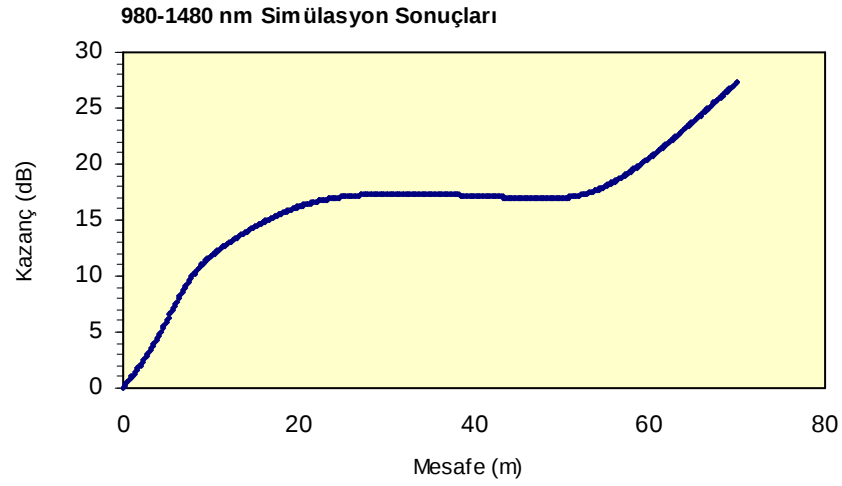
Şekil 6.3c YSA Test Sonuçları

6.2.2 980-1480 nm dalga boylu iki yönlü pompalanmış EDFA kazancının YSA ile hesaplanması

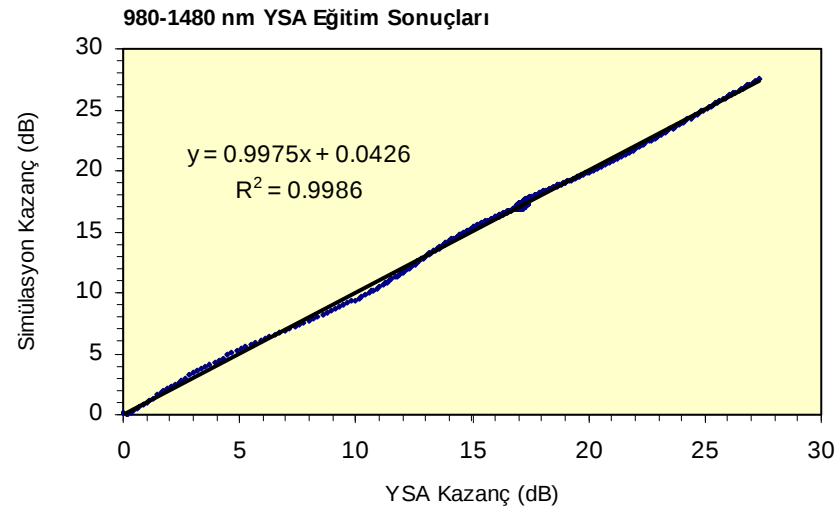
980-1480 nm dalga boylu iki yönlü pompalanmış EDFA'nın 70 m'lik mesafe için 500 adet ara değere karşılık gelen ve simülasyon sonucu bulunan kazanç değerleri eğitim seti olarak kullanılmış ve YSA'nın ÇKP yapısına ait GDBD eğitim algoritması ile eğitilmiştir. Test seti için ise, EDFA'nın 70 m'lik mesafesi için farklı 234 adet ara değer (0.05'den başlayarak 0.3 aralıkta 69.95'e kadar) türetilmiş ve bu değerlere karşılık gelen 234 adet kazanç değeri bulunmuştur (Tablo 4). Elde edilen sonuçlar simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmış ve oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar (Şekil 6.4.a'da simülasyon ve Şekil 6.4.b'de YSA sonuçları verilmiştir) grafik olarak verilmiştir.

Tablo 4. 980-1480 nm dalga boylu EDFA kazancının YSA sonuçları

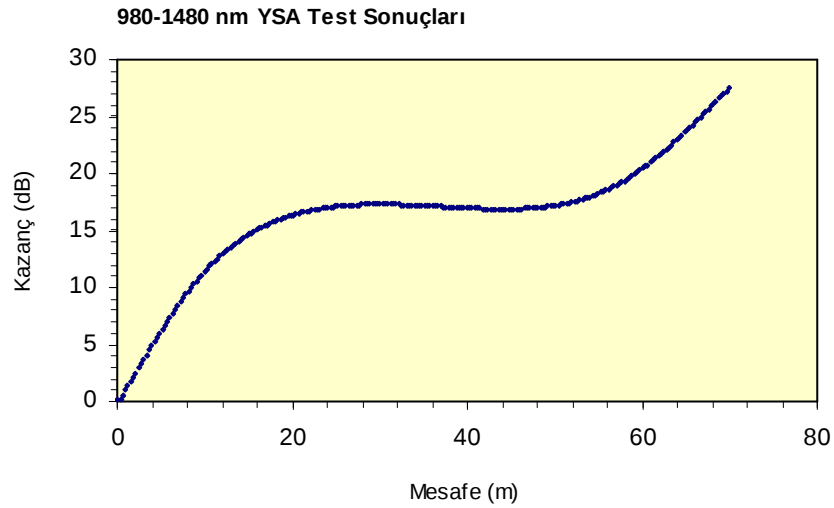
Simülasyon Verileri		Türetilmiş veriler	YSA	YSA
Eğitim Seti (500 veri)		Test Seti (234 veri)	Eğitim Sonuçları	Test Sonuçları
Mesafe (m)	Kazanç (dB)	Mesafe (m)	Kazanç (dB)	Kazanç (dB)
0	0	0.05	0.214134	0.152744
0.1403	0.1775	0.35	0.04146	0.218911
0.2806	0.3136	0.65	0.132448	0.59573
0.4208	0.4508	0.95	0.3074	0.97697
0.5611	0.5891	1.25	0.483571	1.361897
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
31.8437	17.3589	28.55	17.29394	17.29826
31.984	17.3588	28.85	17.291142	17.30356
32.1242	17.3584	29.15	17.288172	17.30758
32.2645	17.3579	29.45	17.285027	17.31036
32.4048	17.3573	29.75	17.281721	17.31195
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
69.4389	26.9424	68.75	26.9424	26.58336
69.5792	27.0425	69.05	27.0425	26.80702
69.7194	27.1428	69.35	27.142799	27.02865
69.8597	27.2432	69.65	27.2432	27.24798
70	27.3436	69.95	27.343599	27.46474



Şekil 6.4a Simülasyon Sonuçları



Şekil 6.4b YSA Eğitim Sonuçları



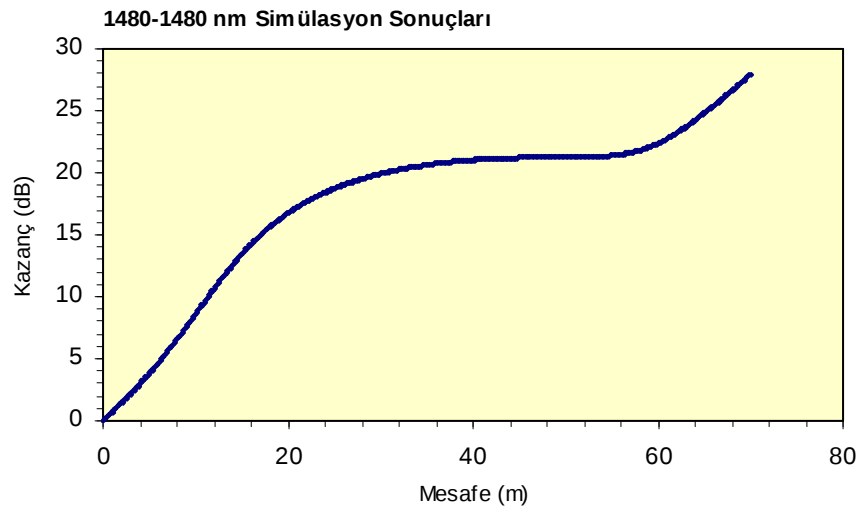
Şekil 6.4c YSA Test Sonuçları

6.2.3 1480-1480 nm dalga boylu iki yönlü pompalanmış EDFA kazancının YSA ile hesaplanması

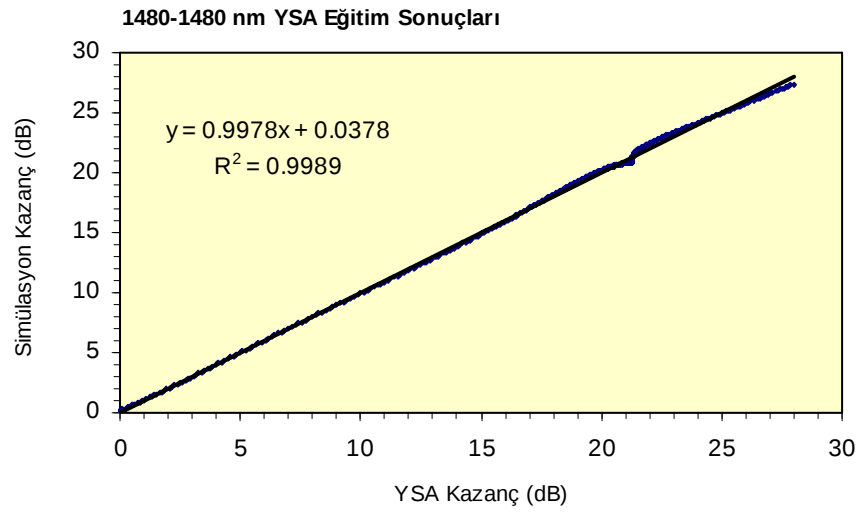
1480-1480 nm dalga boylu iki yönlü pompalanmış EDFA'nın 70 m'lik mesafe için 500 adet ara değere karşılık gelen ve simülasyon sonucu bulunan kazanç değerleri eğitim seti olarak kullanılmış ve YSA'nın ÇKP yapısına ait GDBD eğitim algoritması ile eğitilmiştir. Test seti için ise, EDFA'nın 70 m'lik mesafesi için farklı 234 adet ara değer (0.05'den başlayarak 0.3 aralıkta 69.95'e kadar) türetilmiş ve bu değerlere karşılık gelen 234 adet kazanç değeri bulunmuştur (Tablo 5). Elde edilen sonuçlar simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmış ve oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar (Şekil 6.5.a'da simülasyon ve Şekil 6.5.b'de YSA sonuçları verilmiştir) grafik olarak verilmiştir.

Tablo 5. 1480-1480 nm dalga boylu EDFA kazancının YSA sonuçları

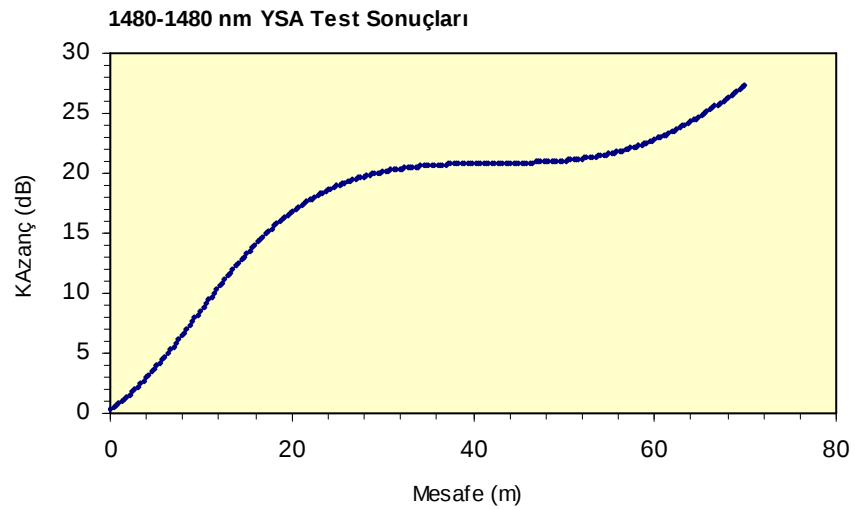
Simülasyon Verileri		Türetilmiş veriler	YSA	
Eğitim Seti (500 veri)		Test Seti (234 veri)	Eğitim Sonuçları	Test Sonuçları
Mesafe (m)	Kazanç (dB)	Mesafe (m)	Kazanç (dB)	Kazanç (dB)
0	0	0.05	0.232723	0.260726
0.1403	0.1215	0.35	0.311691	0.431979
0.2806	0.2187	0.65	0.391872	0.608803
0.4208	0.3163	0.95	0.473205	0.791253
0.5611	0.4143	1.25	0.555822	0.979367
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
31.8437	20.2242	28.55	20.370314	19.86191
31.984	20.2454	28.85	20.386354	19.91988
32.1242	20.2663	29.15	20.401981	19.97529
32.2645	20.2869	29.45	20.417229	20.02824
32.4048	20.3072	29.75	20.432083	20.07877
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
69.4389	27.5923	68.75	27.08008	26.70104
69.5792	27.6862	69.05	27.157831	26.86549
69.7194	27.7803	69.35	27.235682	27.03089
69.8597	27.8746	69.65	27.313726	27.19713
70	27.9691	69.95	27.391899	27.36403



Şekil 6.5a Simülasyon Sonuçları



Şekil 6.5b YSA Eğitim Sonuçları



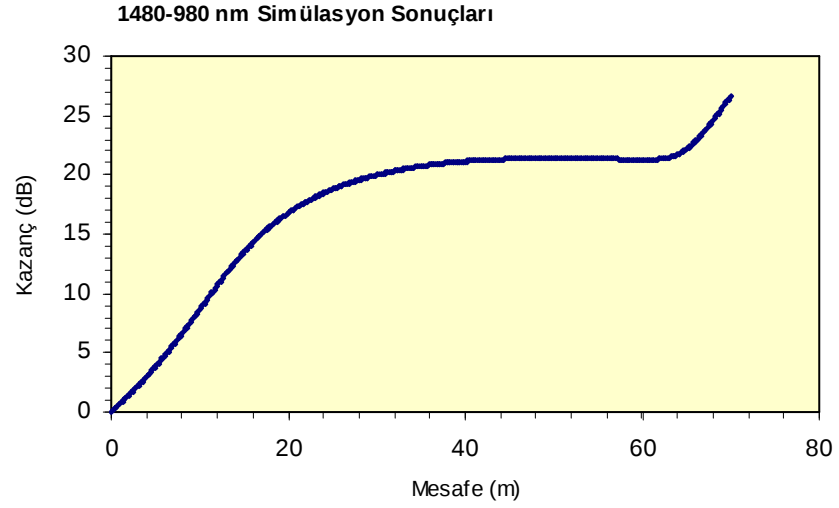
Şekil 6.5c YSA Test Sonuçları

6.2.4 1480-980 nm dalga boylu iki yönlü pompalanmış EDFA kazancının YSA ile hesaplanması

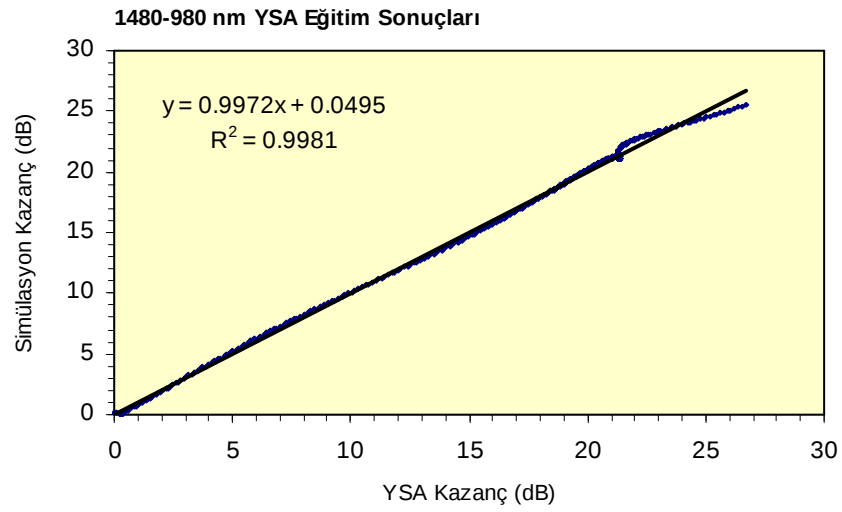
1480-980 nm dalga boylu iki yönlü pompalanmış EDFA'nın 70 m'lik mesafe için 500 adet ara değere karşılık gelen ve simülasyon sonucu bulunan kazanç değerleri eğitim seti olarak kullanılmış ve YSA'nın ÇKP yapısına ait GDBD eğitim algoritması ile eğitilmiştir. Test seti için ise, EDFA'nın 70 m'lik mesafesi için farklı 234 adet ara değer (0.05'den başlayarak 0.3 aralıkta 69.95'e kadar) türetilmiş ve bu değerlere karşılık gelen 234 adet kazanç değeri bulunmuştur (Tablo 6). Elde edilen sonuçlar simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmış ve oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar (Şekil 6.6.a'da simülasyon ve Şekil 6.6.b'de YSA sonuçları verilmiştir) grafik olarak verilmiştir.

Tablo 6. 1480-980 nm dalga boylu EDFA kazancının YSA sonuçları

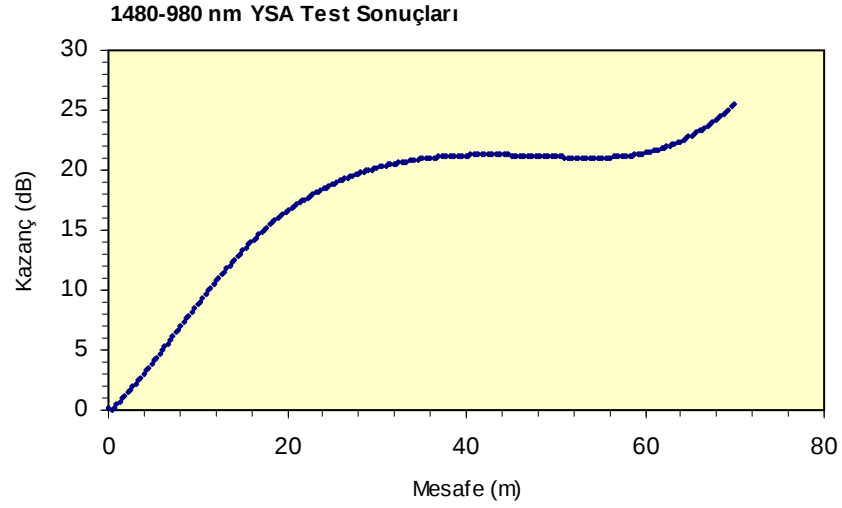
Simülasyon Verileri		Türetilmiş veriler	YSA	
Eğitim Seti (500 veri)		Test Seti (234 veri)	Eğitim Sonuçları	Test Sonuçları
Mesafe (m)	Kazanç (dB)	Mesafe (m)	Kazanç (dB)	Kazanç (dB)
0	0	0.05	0.239299	0.260726
0.1403	0.1215	0.35	0.138689	0.431979
0.2806	0.2187	0.65	0.036975	0.608803
0.4208	0.3163	0.95	0.065766	0.791253
0.5611	0.4143	1.25	0.169675	0.979367
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
31.8437	20.2242	28.55	20.519571	19.86191
31.984	20.2454	28.85	20.542219	19.91988
32.1242	20.2663	29.15	20.564426	19.97529
32.2645	20.2869	29.45	20.586229	20.02824
32.4048	20.3072	29.75	20.60762	20.07877
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
69.4389	27.5923	68.75	25.135603	26.70104
69.5792	27.6862	69.05	25.223522	26.86549
69.7194	27.7803	69.35	25.312014	27.03089
69.8597	27.8746	69.65	25.401173	27.19713
70	27.9691	69.95	25.490898	27.36403



Şekil 6.6a Simülasyon Sonuçları



Şekil 6.6b YSA Eğitim Sonuçları



Şekil 6.6c YSA Test Sonuçları

Tablo 7 YSA ağ yapısı, eğitim R^2 değeri ve hata oranı

YSA (ÇKP)	İterasyon Sayısı	Ağ Yapısı		YSA Eğitim R^2	% Hata Oranı
		1. Ara Katman	2. Ara Katman		(Test Ort x 100/ Simülasyon Ort.) - 100
GDBD (980-980 nm)	2.000.000	5 nöron	5 nöron	0.9985	0.0106
GDBD (980-1480 nm)	2.000.000	5 nöron	5 nöron	0.9986	0.0009
GDBD (1480-980 nm)	2.000.000	5 nöron	5 nöron	0.9981	0.0182
GDBD (1480-1480 nm)	2.000.000	5 nöron	5 nöron	0.9989	0.0239

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ileri, geri ve iki yönlü pompalamalı L Bandı EDFA'nın tasarımı yapılarak simülasyonu gerçekleştirilmiştir. EDFA'nın spektral kazanç ve gürültü faktörü performansı yüksek pompalama verimi ve düşük ESA nedeniyle pompa dalga boyu olarak 980 nm ve 1480 nm kullanılmıştır. 980 nm dalga boyunda gürültü faktörünün daha düşük olduğu, 1480 nm dalga boyunda ise daha yüksek pompa dönüşüm verimi sağlaması nedeniyle kazanç veriminin en yüksek olduğu 980 nm pompalama kullanılmıştır. Simülasyonlarda OptiAmplifier 4.0 programı kullanılarak Erbium katkılı fiber karakteristikleri çıkarılmıştır.

İlk olarak 980 nm ve 1480 nm dalga boylarında ileri yönlü pompalayarak spektrum, kazanç ve ASE etkisi incelenmiştir. 1480 nm dalga boyu pompalama spektrumunun düzgünlüğü, sinyal gücünün yüksek olması ve kazancının daha büyük olması nedeniyle tercih edilebilir. Ancak 980 nm dalga boylu pompalamanın ASE değerinin daha düşük olması da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sebeple kısa mesafeli optik haberleşmede tercih edilebilir.

İkinci olarak 980 nm ve 1480 nm dalga boylarında geri yönlü pompalama yaparak spektrum, kazanç ve ASE analizi yapılmıştır. Burada da 1480 nm pompalama dalga boyunun tercih edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak yine 980 nm pompalamanın da düşük ASE nedeniyle kısa mesafeli fiber haberleşmesinde kullanılabileceği görülmektedir.

Son olarak pompalama gücü yarıya düşürülerek 980 nm ve 1480 nm dalga boyları ile ileri-geri pompalama yapılmış ve spektrum, kazanç, ASE değişimleri incelenmiştir. İki yönlü pompalamada, 1480-1480 nm pompalanmış konfigürasyonun daha yüksek güçlü, daha büyük kazançla sahip ve daha düşük ASE değeriyle daha cazip olduğu görülmektedir.

İleri, geri ve iki yönlü pompalama sistemleri karşılaştırıldığında total olarak iki yönlü 1480-1480 nm dalga boyunda pompalanmış sistemin optik haberleşmede

tercih sebebi olduğu görülmektedir. Ancak iki yönlü pompalamada iki lazer diyot kullanılacağı ve maliyetin bir miktar artacağı göz önünde bulundurularak uzun mesafeli optik haberleşme sistemlerinde tercih edilmelidir.

Bu çalışmalara ek olarak incelenen parametrelerden sadece kazanç parametresinin L-Bandındaki 980-980 nm, 980-1480 nm, 1480-1480 nm ve 1480-980 nm dalga boylarına karşılık gelen değerlerinin, Yapay Sinir Ağları ile hesaplanabileceği gösterilmiştir. Eğitim işlemi için ÇKP Yapısına ait GDBD eğitme algoritması kullanılmış ve bilinmeyen mesafeler için (test seti) kazanç parametreleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar simülasyon sonuçlarına oldukça uyumlu olduğu R^2 ve hata yaklaşımları ile belirlenmiştir. Bu uyumluluk, kazanç parametresi yanında diğer S ve C-Bandlarındaki parametrelerinin de YSA'larına ait yapıların eğitme algoritmaları ile eğitilerek bulunabileceğini öngörmektedir.

8. KAYNAKLAR

Agrawal G P. 1992. Fiber-Optic Communication Systems , John Wiley & Sons, Inc.

Agrawal G P. 1997. Fiber-Optic Communication Systems , John Wiley & Sons, Inc.

Agrawal G P. 2002. Fiber-Optic Communication Systems , John Wiley & Sons, Inc.

Arı M. 1998. Erbiyum katkılı fiber optik yükselteçlerin (EDFA) modellemesi ve bilgisayarlı kazanç simülasyonu , Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Atkins C G, Cotter D, Smith D W, Wyatt R. 1986. Application of brillouin amplification in coherent optical transmission, Elektronic Letters, 556-558.

Bernard J J, Renand M. 2001. Semiconductor Optical Amplifiers, Spie's Magazine 36-39.

Chapman D A. 1994. Erbiyum-doped fibre amplifiers: the latest revolution in optical communications, Elektronik&Comunication Engineering Journal, 59-67.

Çakır S. 2000. Çağımızın İletişim Devrinde Fiber Optik, Bilim ve Teknik Dergisi,

Digonnet, Michael J F. 1993. Rare Earth Doped Fiber Lasers And Amplifiers, Stanford University/Marcel Dekker, Inc.

Edagawa N, Mochizuki K, Ryu S, Wakabayashi H. 1988. Amplification characteristics of fiber raman amplifiers, ICICE Technical Report.

Flood F A. 1999. L-band erbium doped fiber amplifiers, Tech. Digest, OAA99.

Göktaş H, Yücel M. 2006. İki Aşamalı C Band Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçlerde (Ekfy) Kazanç Düzleştirici Filtre Optimizasyonu, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10.Cilt, 1.Sayı

Göktaş H, Yücel M. 2004. Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçlerde ASE'nin İncelenmesi, P.Ü. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10.Cilt, 2.Sayı

Haykin S. 1994. Neural Networks, A Comprehensive Foundation, Macmillan College Publishing Company, New York.

Jacobs R A. 1988. Increased Rate of Convergence Through Learning Rate Adaptation, Neural Networks, Cilt:1, s. 295-307.

Mukai T, Inoue K, Saito T. 1987. Homogenous gain saturation in 1,5 μm InGaAsP Traveling-wave semiconductor laser amplifiers, Applied Physics Letters, 51.

NeuralWorks, NeuralWare Handbook. 1996. Neural Computing, A Technology Handbook for Professional II/PLUS and NeuralWorks Explorer. Pittsburgh. USA.

OptiAmplifier Version 4.0. 2002. Optical Fiber Amplifier and Laser Design Software, Copyright © 2002 Optiwave Coporation.

Özsoy S. 1998. Fiber Optik, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Rumelhart D E, McClelland J L. 1986. Parallel Distributed Processing, Explorations in the Microstructure of Cognition. The MIT Press. Cambridge. Mass.

Ulusal Optik, Elektro-Optik ve Fotonik Çalışma Toplantısı 12 Aralık 2005, Bilkent Üniversitesi, Ankara

Yariv A., Yeh P. 1984. Optical Waves in Crystals: Propagation and Central of Laser Radiation, Wiley-Interscience Publication,.

Yuvka Ş. 2006. Çift Geçişli L-Bandı Erbiyum Katkılı Fiber Amplifikatör Tasarımı ve Karakterizasyonu, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.

Yücel M. 2003. Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteç Analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Zhang J G. 1999. Optical Fiber Data Bus Modulation Techniques for Military Avionics, IEEE Systems Magazine, 31-37.