

# L BANDINDA ÇALIŞAN ERBIYUM KATKILI FİBER AMPLİFİKATÖRDE POMPA DALGA BOYUNUN VE FİBER UZUNLUĞUNUN BANDGENİŞLİĞİNE ETKİSİ

## THE EFFECT OF PUMP WAVELENGTH AND FIBER LENGTH TO BANDWIDTH IN L BAND ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER

Arif Başgümüş<sup>1</sup>, Ahmet Altuncu<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya  
arifbasgumus@dumlupinar.edu.tr, altuncu@dumlupinar.edu.tr

### Özetçe

980 nm ve 1480 nm’de ileri, geri ve çift yönlü pompalanmış uzun dalgaboyu bandı (L-Bandı) erbiyum katkılı fiber amplifikatörlerin spektral kazanç ve gürültü faktörü karakteristikleri, farklı uzunluklarda erbiyum katkılı fiberler için kıyaslanmıştır. Gerçekleştirilen simülasyonlar, L-Bandı EDFA’nın kullanılabilir kazanç bandgenişliği ve spektral gürültü faktörü karakteristiklerinin pompalama dalgaboyu ve erbiyum katkılı fiber uzunluğuna bağımlı olduğunu göstermektedir.

### Abstract

Spectral gain and noise figure characteristics of long wavelength band (L-band) erbium doped fiber amplifiers pumped at 980 nm and 1480 nm are compared for different pumping configurations and erbium doped fiber lengths. Simulations performed show that gain bandwidth and spectral noise figure characteristics of L-band EDFAs strongly depend on pumping wavelength and erbium doped fiber length.

### 1. Giriş

Erbiyum Katkılı Fiber Amplifikatörler (EDFA), 1,55 µm penceresinde çalışan optik haberleşme sistemlerinde fiber kaybını gidermek için kullanılmaktadırlar. Başlangıçta C bandı için [1520-1565 nm] geliştirilen EDFA teknolojisinin sınırları, günümüzde L bandını [1570-1620 nm] da kapsayacak şekilde genişletilerek iletim kapasitesi artırılmaya çalışılmaktadır [1-4]. C bandına göre nispeten düşük pompa dönüşüm verimi nedeniyle, L bandı için daha yüksek oranda erbiyumla katılanmış ve yaklaşık olarak on katı uzunlukta fiber gerekmektedir [3]. EDFA’nın spektral kazanç ve gürültü faktörü performansı, erbiyum katkılı fiberin geometrisi ve katılama özelliklerinin yanında, pompa ile sinyal dalgaboyu ve gücüne de bağımlıdır [1]. Yüksek pompalama verimi ve düşük ESA (uyarılmış seviye absorblaması) nedeniyle pompa dalgaboyu olarak 980 nm veya 1480 nm tercih edilmektedir. 980 nm dalgaboyunda daha yüksek fiber ön-sonu ters birikimi sağlandığı ve bu sayede gürültü faktörünün daha düşük olduğu, 1480 nm dalgaboyunda ise daha yüksek pompa dönüşüm verimi sağlandığı bilinmektedir [5]. L bandında C bandıyla kıyaslanabilir bir kazanç-gürültü performansı elde etmek için daha uzun EDF kullanmanın yanında, pompa dalgaboyunun 980 nm absorblama tepesinden ±20 nm uzağa kaydırılması [1], geri yöndeki yükseltilmiş spontane emisyon (backward ASE) sinyalinin yeniden EDFA’ya enjekte

edilmesi [2,3] veya dışardan uygulanacak bir C bandı prob sinyali (1550-1560 nm) ile ön pompalama yapılması [3,4] gibi farklı yöntemler önerilmektedir. Bu çalışmada, kazanç ve gürültü faktörü spektrumları simülasyon yoluyla elde edilerek, 980 nm ve 1480 nm pompalama yöntemleri için pompa dalgaboyunun, ileri/toplam pompalama oranının ve erbiyum katkılı fiber uzunluğunun L bandı EDFA’nın kullanılabilir bandgenişliğine etkisi incelenmiştir.

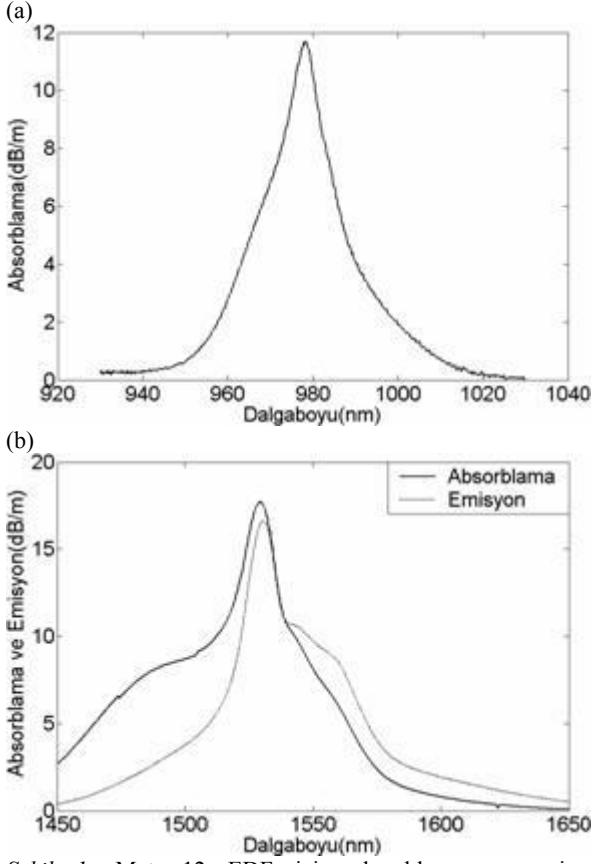
### 2. Simülasyon Modeli

Optiwave OptiAmplifer 4.0 yazılımı kullanılarak yapılan simülasyonlar, ileri, geri ve çift yönlü pompalama konfigürasyonları için L bandı EDFA’da kazanç ve gürültü faktörü spektrumlarının pompa dalgaboyuna bağımlılığını içermektedir. Simülasyonlarda Fibercore firmasının ürettiği olduğu Metro-12 erbiyum katkılı fiberin parametreleri kullanılmıştır. Tablo 1 de Metro-12 EDF’nin simülasyonda kullanılan önemli parametreleri verilmiştir.

Tablo 1: Metro-12 erbiyum katkılı fiber parametreleri

NA	0.21
Kesim dalgaboyu	960 nm
İyon konsantrasyonu	1.6e25 iyon/m <sup>3</sup>
Öz yarıçapı	1.75 µm
Arkaplan kaybı	8 dB/km @ 1310 nm
Absorblama	10.46 dB/m @ 980 nm 7.28 dB/m @ 1480 nm 17.70 dB/m @ 1530 nm
Emisyon	2.01 dB/m @ 1480 nm 16.59 dB/m @ 1530 nm

Şekil 1 de Fibercore firması tarafından üretilen ve simülasyonlarda kullanılan Metro-12 erbiyum katkılı fiberin 980 nm ve 1480 nm pompa ile 1550 nm sinyal bandı için absorblama ve emisyon spektrumları görülmektedir.



Şekil 1: Metro-12 EDF için absorblama ve emisyon spektrumları: (a) 980 nm pompa bandında absorblama spektrumu, (b) 1480 nm pompa ve 1550 nm sinyal bandı için absorblama ve emisyon spektrumu. Doğrusal denkleştirici modeli.

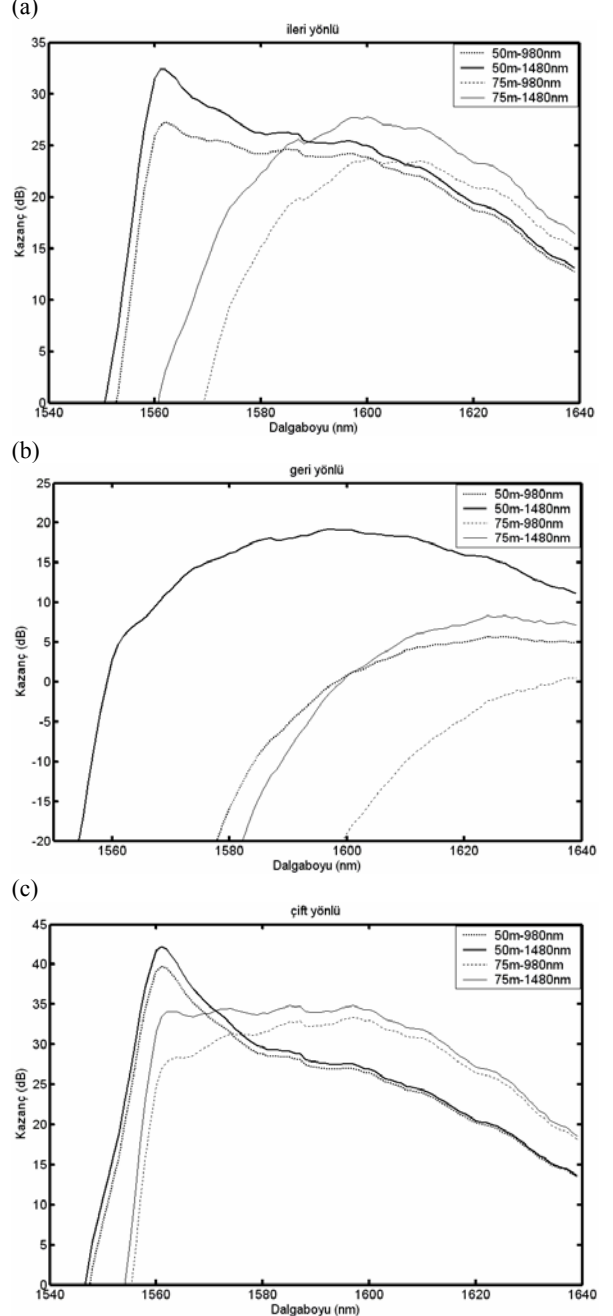
EDFA'nın simülasyonu, erbiyum iyonunun enerji seviyeleri arasındaki geçişleri tanımlayan oran denklemleri ile, aktif fiber boyunca sinyal, pompa ve ASE güçlerinin değişimlerini karakterize eden yayılım denklemlerinin birlikte çözümlenmesini gerektirir. EDFA'nın kazanç ve gürültü faktörü simülasyonlarında ASE ve ESA etkilerini dikkate alan ve  $Er^{3+}$  için iki seviyeli enerji band modelini içeren Giles modeli kullanılmıştır [5]. Giles modelinde erbiyum katkılı fiber boyunca sinyal ve ASE güçlerinin yayılımını karakterize eden propagasyon denklemleri absorblama ve emisyon katsayıları cinsinden verilmektedir.

### 3. Simülasyon Sonuçları

Simülasyonlarda her bir pompa gücü 150mW, sinyal giriş gücü  $1\mu W$  (-30dBm) olarak alınmış ve 1540-1640 nm arasında 100 kanallı WDM sinyal uygulanmıştır.

Şekil 2 ileri, geri ve çift yönlü olarak 980nm ve 1480nm'de pompalanmış 50 ve 75 m uzunluklarında L bandı EDFA için elde edilen kazanç spektrumlarını göstermektedir. Şekil 2.a'da görülen ileri yönde pompalama için beklenildiği gibi 75 m EDF için kazanç spektrumu 50 m 'lik EDF'e göre daha uzun dalgaboylu bölgeye kaymıştır. 20 dB kazanç bant genişliği, 50 m EDF için 980 nm'de 1559-1616 nm arası 57 nm, 1480 nm'de 1557-1618 nm arası 61 nm olarak gerçekleşmiştir. EDF

uzunluğu 75 m'ye çıkartıldığında, 980 nm'de 1592-1625 nm arası 33 nm, 1480 nm'de 1576-1630 nm arası 54 nm olarak gerçekleşmiştir. Buna göre 980 nm 'ye göre 1480 nm'de bulunan kazanç bant genişliği 50 m'lik fiber için 4 nm, 75m'lik fiber için ise 21 nm daha geniştir. Bunun dışında, 1480'de pompalama 980 nm'ye göre daha yüksek kazanç sağlamaktadır. Kazanç farkı 50 m EDF için 1560 nm'de 5 dB civarında iken 1600 nm'de 1-2 dB civarında olmaktadır. 75m EDF için ise kazanç spektrumu boyunca sürekli olarak yaklaşık 5 dB daha yüksektir.



Şekil 2: 980 nm ve 1480 nm'de pompalanan 50 m ve 75 m uzunlukta L bandı EDFA'nın kazanç spektrumları (a) ileri yönlü, (b) geri yönlü ve (c) çift yönlü pompalama.

Şekil 2.b’de görülen geri yönde pompalama için 50 m lik EDF nın 1480 nm’de pompalanması dışında diğer konfigürasyonlarda kazanç 20dB’nin oldukça altında olup kazanç spektrum merkezi 1600 nm’nin ötesine kaymıştır. 50 m EDF nın 1480 nm ‘de pompalanması durumu için 20 dB kazanç bandgenişliği 1571-1612 nm arasında 41 nm’dir.

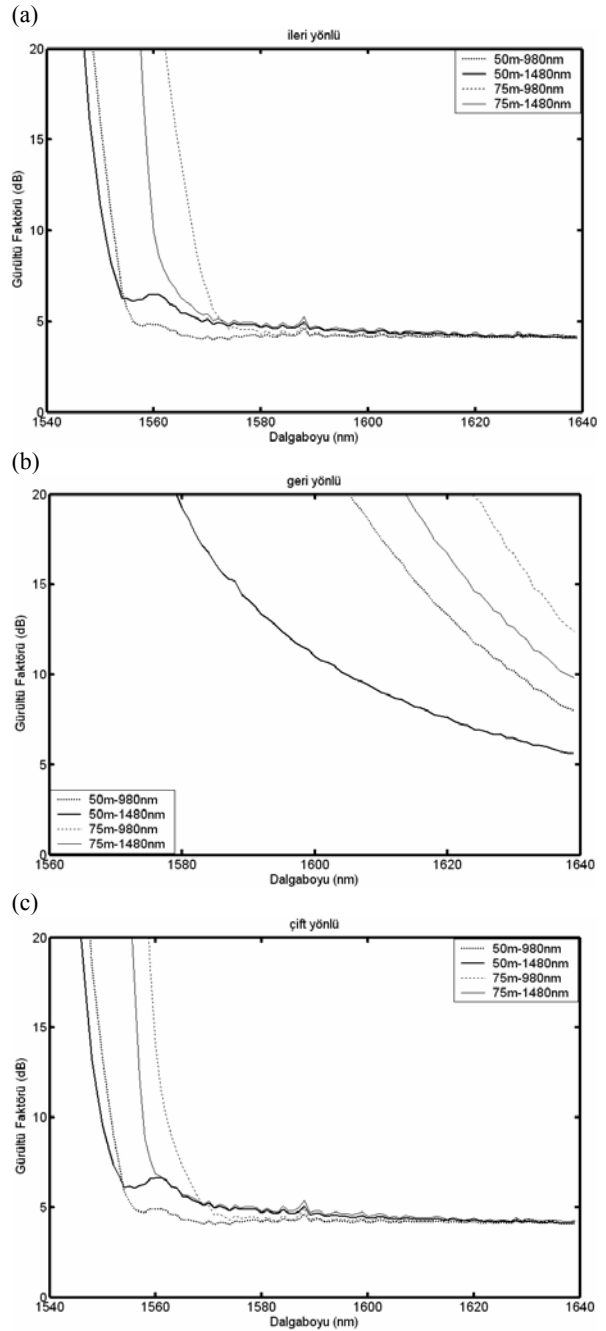
Şekil 2.c’de görülen çift yönlü pompalama için, beklenildiği gibi kazanç performansı ileri ve geri yönlü konfigürasyonlara nisbeten oldukça yüksek elde edilmiştir. 980 nm ve 1480 nm pompalama için kazanç bandgenişlikleri yaklaşık aynı olup, 1480 nm için elde edilen kazanç değerleri 980 nm’ye göre bir miktar daha yüksektir. 20 dB kazanç bantgenişliği 50 m EDF için 980 nm’de 1554-1623 nm arası 69 nm, 1480 nm’de 1554-1624 nm arası 70 nm olarak gerçekleşmiştir. EDF uzunluğu 75 m’ye çıkartıldığında, 980 nm’de 1559-1634 nm arası 75 nm, 1480 nm’de 1559-1636 nm arası 77 nm olarak gerçekleşmiştir. Diğer taraftan, 75 m’lik EDF için 30 dB kazanç bandgenişliği de 980 nm için 43 nm 1480 nm için 55 nm ‘dir. Bu sonuçla 1480 nm’de çift yönlü pompalanmış 75 m uzunluktaki EDF’nin en geniş kazanç spektrumuna sahip olduğu görülmektedir. Şekil 2.c’den ayrıca görülebilir ki, 50 m EDF için bandgenişliğinde 10 dB’den fazla kazanç değişimi elde edilirken 75 m EDF için elde edilen kazanç spektrumu oldukça düzdür.

Şekil 3.a’da ileri yönde pompalama için elde edilen gürültü spektrumlarında görüldüğü gibi, 50 m fiber için elde edilen gürültü faktörü değerleri 75 m’ye göre özellikle 1550-1570 nm aralığında daha düşüktür. Gürültü faktörünün 5 dB ‘nin altına düştüğü eşik sinyal dalgaboyları 50 m EDF için 980 nm’de 1567 nm ve 1480 nm’de 1572 nm’dir. Buna göre kullanılabilir 20 dB kazanç bandgenişliği ileri yönde pompalama için 980 nm’de 49 nm’ye 1480 nm için 46 nm’ye düşmektedir. Diğer taraftan 75 m EDF için gürültü faktörünün 5 dB ‘nin altına düştüğü eşik sinyal dalgaboyları 980 nm’de 1574 nm ve 1480 nm’de 1578 nm’dir. Buna göre kullanılabilir 20 dB kazanç bandgenişliği ileri yönde pompalama için 980 nm’de 51 nm’ye 1480 nm için 52 nm’ye azalmıştır.

Şekil 3.b’de görülen geri yönde pompalama için gürültü spektrumları, her iki pompa dalgaboyu ve fiber uzunluğu için 5 dB nin çok üzerindedir. 75 m EDF için gürültü performansı 50 m EDF ‘e göre daha kötü gerçekleşmiştir.

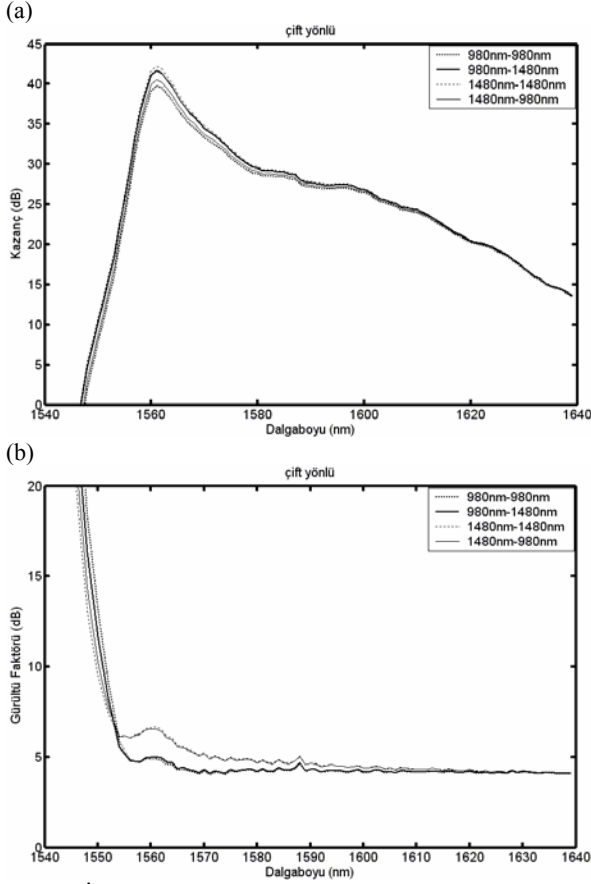
Şekil 3.c’de çift yönlü pompalama için elde edilen gürültü spektrumlarında görüldüğü gibi, gürültü faktörünün 5 dB ‘nin altına düştüğü eşik sinyal dalgaboyları 50 m EDF için 980 nm’de 1567 nm ve 1480 nm’de 1576 nm’dir. Buna göre kullanılabilir 20 dB kazanç bandgenişliği çift yönlü pompalama için 980 nm’de 56 nm’ye 1480 nm için 48 nm’ye düşmektedir. Diğer taraftan 75 m EDF için gürültü faktörünün 5 dB ‘nin altına düştüğü eşik sinyal dalgaboyları 980 nm’de 1571 nm ve 1480 nm’de 1583 nm’dir. Buna göre kullanılabilir 20 dB kazanç bandgenişliği çift yönlü pompalama için 980 nm’de 63 nm’ye 1480 nm için 53 nm’ye azalmıştır.

Sonuç olarak, 1480 nm de pompalama her ne kadar daha yüksek kazanç bandgenişliği sağlasa da daha düşük gürültü performansı nedeniyle, kullanılabilir bandgenişliği 980 nm’de daha yüksektir.



Şekil 3: 980 nm ve 1480 nm’de pompalanan 50 m ve 75 m uzunlukta L bandı EDFA’nın gürültü faktörü spektrumları (a) ileri yönlü, (b) geri yönlü ve (c) çift yönlü pompalama.

Şekil 4’ te ise 50m EDF nin çift yönlü pompalanmasında, ileri ve geri pompa lazeri için 980 nm ve 1480 nm’nin hibrit konfigürasyonlarının kullanıldığı kazanç ve gürültü spektrumlarını göstermektedir. Şekil 4a’da görülen kazanç spektrumlarından, iki dalgaboyunun farklı konfigürasyonda kullanılmasının, tepe kazanç değerini bir miktar değiştirmesine rağmen, kazanç spektrumlarında önemli bir farklılık meydana getirmediği anlaşılmıştır. Diğer taraftan şekil 4b’de, 980 nm-980 nm ve 980 nm-1480 nm (ileri-geri) konfigürasyonlarının en düşük gürültü faktörü değerlerini verdiği görülmüştür.

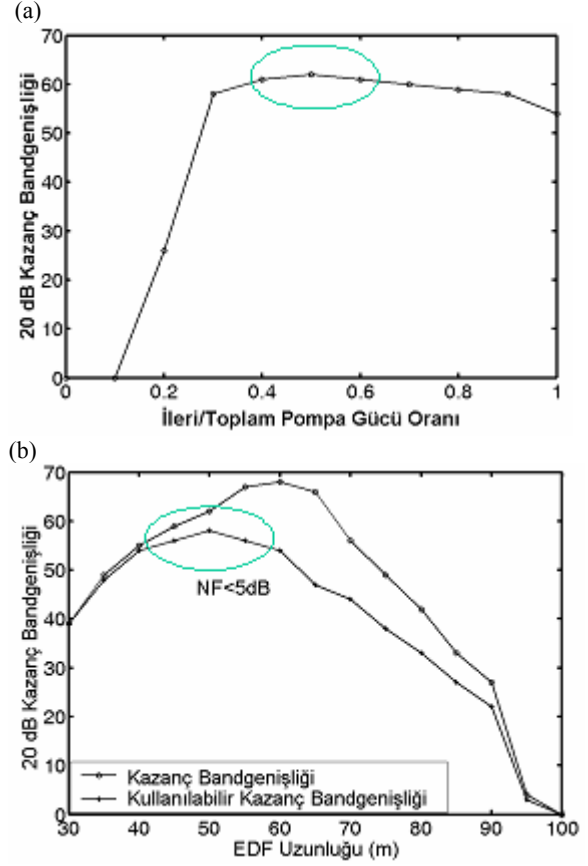


Şekil 4: İleri ve geri pompa lazeri için 980 nm ve 1480 nm'nin değişik konfigürasyonlarının kullanıldığı (a) kazanç spektrumu ve (b) gürültü spektrumu.

Şekil 5'de ileri/toplam pompa gücü oranının ve erbiyum katkılı fiber uzunluğunun kazanç bandgenişliğine etkisi görülmektedir. Toplam pompagücü 150mW olup, uygulanan giriş sinyali -30dBm gücünde ve 1540-1639 nm arasında sıralanmış 100 WDM kanal içermektedir. Şekilde görüldüğü gibi çift yönlü pompalanan L-EDFA için optimum ileri/toplam pompa gücü oranı 0.4~0.6, optimum EDF uzunluğu 45~55 m arasındadır.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada L bandı EDFA'nın kazanç ve gürültü spektrumlarına ileri/toplam pompalama oranı, pompa dalgaboyu ve EDF uzunluğunun etkisi incelenmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları, 1480nm'de pompalama için L bandı EDFA'nın kazanç bandgenişliğindeki artışa rağmen, gürültü performansının ve dolayısıyla kullanılabilir bandgenişliğinin 980 nm'de daha yüksek olduğunu göstermiştir. Yüksek gürültü performansı ile birlikte, yüksek kazanç bandgenişliği elde etmek için L-EDFA'nın çift yönlü 980-980 nm veya 980-1480 nm konfigürasyonlarından biriyle pompalanması gerektiği anlaşılmaktadır. Çift yönlü pompalama için optimum ileri/toplam pompa gücü oranının 0.4~0.6, optimum EDF uzunluğunun 45~55 m arasında olduğu görülmüştür.



Şekil 5. 980 nm'de çift yönlü pompalama için 20 dB kazanç bandgenişliğinin (a) ileri/toplam pompalama oranı, (b) erbiyum katkılı fiber uzunluğu ile değişimi ( $P_{p \text{ ileri}} = P_{p \text{ geri}} = 75 \text{ mW}$ ).

#### 5. Kaynakça

- [1] Flood F.A., Wang C.C., "980 nm pump-band wavelengths for long-wavelength-band erbium-doped fiber amplifiers", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol.11, Iss 10, 1999, p 1232.
- [2] Oh J.M., Choi H.B., Lee D., Ahn S.J., Jung S.J., Lee S.B., "Demonstration of highly efficient flat-gain L-band erbium-doped fiber amplifiers by incorporating a fiber bragg grating", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol.14, Iss 9, 2002, p 1258.
- [3] Chen H., Leblanc M., Schinn G.W., "Gain enhanced L-band optical fiber amplifiers and tunable fiber lasers with erbium-doped fibers", *Optics Communications*, Vol 216, 2003, p 119.
- [4] Mahdi M.A., Adikan F.R.M., Poopalan P., Selvakennedy S., Chan W.Y., "Long-wavelength EDFA gain enhancement through 1550 nm band signal injection", *Optics Communications*, Vol 176, 2000, p 125.
- [5] E. Desurvire, "Erbium doped fiber amplifiers: principles and applications", *New York John Wiley & Sons*, 1994.