

# ÇEŞİTLİ ERBİYUM KATKILI FİBER YÜKSELTEÇ KONFIGÜRASYONLARI İÇİN KAZANÇ VE GÜRÜLTÜ FAKTÖRÜNÜN İNCELENMESİ

Murat YÜCEL<sup>1,\*</sup>, Zühal ASLAN<sup>2</sup>, H. Haldun GÖKTAŞ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik-Elektronik Müh. Böl., Ankara,  
muyucel@gazi.edu.tr

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Elektronik Bilgisayar Eğt. A.B.D., Ankara,  
zuhalaslan06@gmail.com

<sup>3</sup>Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Müh. Böl., Ankara, haldungoktas@gmail.com

## ÖZET

Bu çalışmada, tek geçişli, çift geçişli ve yeni bir çift geçişli erbiyum katkıli yükselteç (EDFA) konfigürasyonu için kazanç ve gürültü faktörü değişimleri incelenmiştir. Bu amaçla OptiAmplifier 4.0 optik sistem yazılımı kullanılarak, EDFA düzeneği giriş sinyal gücü seviyesi ve sinyal dalga boyu değerleri değiştirilerek simüle edilmiştir. Simülasyon sonucunda giriş sinyal gücü seviyeleri değiştirilerek, her düzeneğe ait çıkış kazanç spektrumları ve gürültü faktörü spektrumları incelenmiştir. Sonuçta önerilen yeni çift geçişli EDFA düzeneği ile kazanç ve gürültü faktörlerinin iyileştiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: çift geçiş, EDFA, gürültü faktörü, kazanç spektrumu

## 1. GİRİŞ

Günümüz haberleşme sistemleri incelendiğinde en büyük ihtiyacın artan kapasite ve hız ihtiyacı olduğu görülmektedir. Bu nedenle fiber optik haberleşme, günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve diğer sistemler önemlerini kaybetmeye başlamışlardır. Bilindiği gibi fiber optik kablolar çok düşük zayıflama karakteristiğine sahiptirler. Üçüncü pencere iletimi için bu zayıflama değeri günümüzde teorik limit olan 0.14 dB/km'ye çok yaklaşmıştır. Bu da bakır kablo ile karşılaştırıldığında çok büyük bir iletişim mesafesi avantajını getirmektedir. Bunun yanında fiberde iletilen sinyaller ışık hızına yakın bir değerde olduğundan haberleşme hızı ve kalitesi de oldukça iyileşmektedir.

Fiber kablolar dünyada bir sinir ağı gibi yayılırken mesafeler de artmaya başlamış ve bu nedenle zayıflayan sinyalleri yükseltme ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Kıtalararası ve ülkeler arası iletişim). Elektro-optik dönüşüm kullanılarak sinyalin elektriksel hale getirilmesinden sonra elektriksel yükselteçler kullanılarak yükseltilmesi ilk yıllarda yeterli olsa bile daha sonraki yıllarda bu dönüşüm kapasite ve hız sınırlamasından dolayı yerini yeni arayışlara bırakmıştır. Bu arayışlar sonucunda ışık yine optik bir

ortamda yükseltilmiştir. Böylece herhangi bir elektro-optik dönüşüme gerek kalmadan ışık yine kendi ortamında yükseltilerek yoluna devam etmiştir. Sonuçta elektriksel yükselteçlerin neden olduğu hız ve kapasite sınırlaması ortadan kalkmıştır.

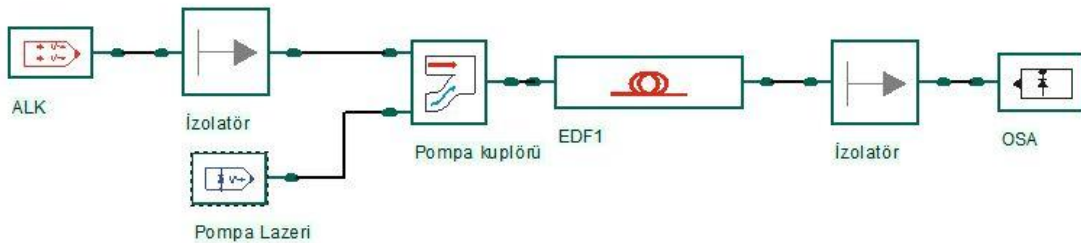
Optik yükselteçler yarı iletken optik yükselteçler (SOA), fiber Raman yükselteçler, Brillouin yükselteçler ve nadir toprak elementi katkılı yükselteçler olmak üzere 4 ana grupta toplanırken, en yaygın olarak kullanılan optik yükselteç nadir toprak elementi katkılı yükselteçlerden erbiyum katkılı fiber yükselteçlerdir (EDFA). EDFA'lar yüksek kazanç, düşük gürültü ve yüksek band genişliklerine sahiptirler ve özellikler fiber kabloların minimum zayıflamaya sahip olduğu üçüncü pencere bandında oldukça verimli olarak çalışmaktadır [1].

EDFA'lar foton foton etkileşimi ile iyon sayılarının ters birikmeye uğraması ve bunun sonucunda biriken fotonların yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine düşmesiyle yeni bir foton yayması ve sonuçta zayıflamış sinyalin EDFA çıkışında yükseltilmesi prensibine göre çalışır. Literatürde EDFA üzerine pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar tek geçişli EDFA [2, 3], iki aşamalı EDFA [4-9], çift geçişli EDFA [3-16] veya çok geçişli EDFA karakterizasyonu [16-19] üzerine olup, daha çok kazanç ve gürültü faktörü üzerine çalışmalar yapılmıştır.

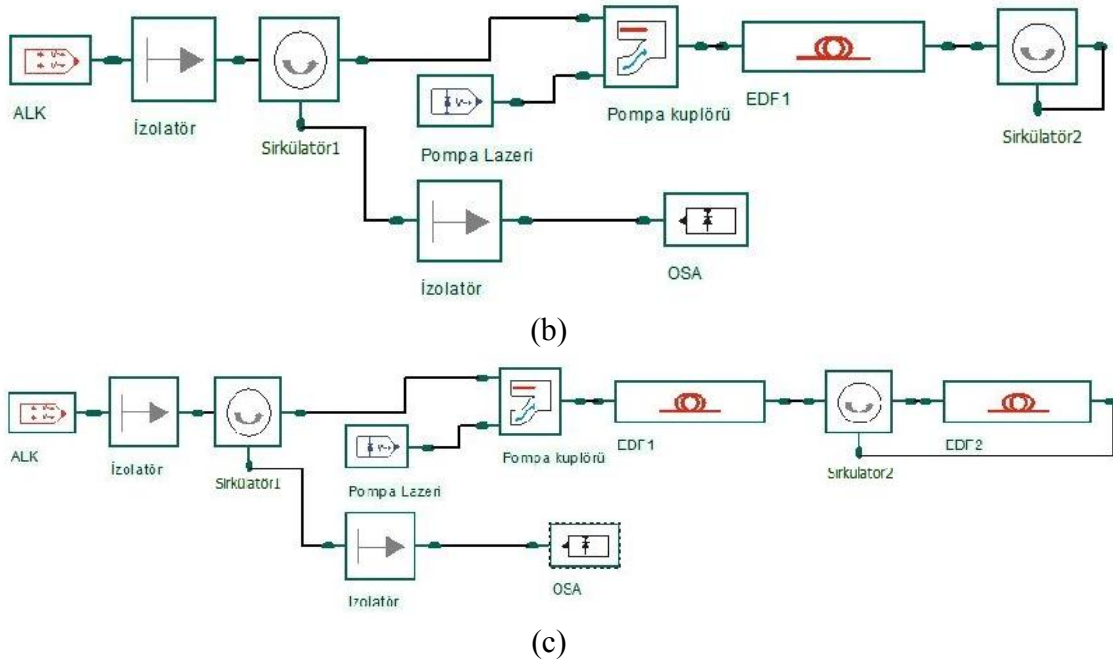
Bu çalışmada, tek geçişli ve çift geçişli sistemlerin kazanç ve gürültü faktörleri incelenerek, çift geçişli sistemin gürültü faktörünü azaltacak yeni bir konfigürasyon önerilmiştir.

## 2. EDFA KONFIGÜRASYONLARININ SİMÜLASYONLARI

Şekil 1. a, b ve c'de sırasıyla tek geçişli, çift geçişli ve önerilen sistemlere ait simülasyon düzenekleri görülmektedir. Tüm düzeneklerde giriş sinyali olarak 1526 nm ile 1571 nm arasında 16 adet sinyal simüle edilmiştir. Sistemlere uygulanan sinyal seviyeleri ise -40 dBm ile -20 dBm arasında değiştirilerek sinyal gücü değişiminin çıkış kazançları ve gürültü faktörleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.



(a)

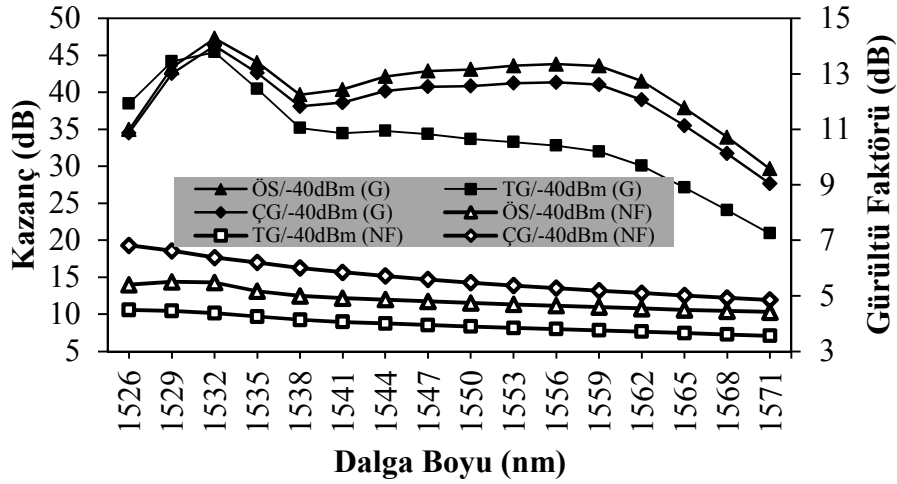


Şekil 1. Simülasyon düzenekleri (a) tek geçişli, (b) çift geçişli ve (c) önerilen sistem

Şekil 1.a'da ayarlanabilir lazer kaynağı (ALK) ile uygulanan sinyaller geri yansımaları engelleyen optik izolatörden geçtikten sonra 980 nm dalga boyuna ve 100 mW güce sahip pompa lazeri ile pompa kuplöründe birleştirilmektedir. Buradan 10 m'lik erbiyum katkılı fibere (EKF) ulaşarak yükseltilen sinyaller optik spektrum analizörü ile ölçülmektedir. Şekil 1.b'de ise ALK'dan optik sirkülatöre uygulanan 16 adet sinyal birinci optik sirkülatörün 1 numaralı ucundan girerek 2 numaralı ucunda çıkmış ve pompa kuplöründe 980 nm'lik pompa sinyali ile birleştirilmiştir. Buradan EKF'e giren sinyaller çıkıştaki ikinci sirkülatörün 1 numaralı ucundan girerek 2 numaralı ucunda çıkmış ve buradan 3 numaralı uca girerek tekrar 1 numaralı uca ulaşarak EKF'ye geri döndürülmüştür. EDF'de bir kez daha yükselen sinyaller birinci optik sirkülatörün 2 numaralı ucundan girerek 3 numaralı ucundan OSA'ya gelmiş ve OSA kullanılarak gerekli ölçümler yapılmıştır. Son olarak, Şekil 1.c'de ise Şekil 1.b'ye göre çıkıştaki ikinci sirkülatörün 2 ve 3 no'lu bacaklarının arasına 2 m'lik bir EKF daha eklenmiştir. Bu EDF sayesinde kazanç seviyesinde artış, gürültü seviyesinde ise azalma gözlemlenmiştir.

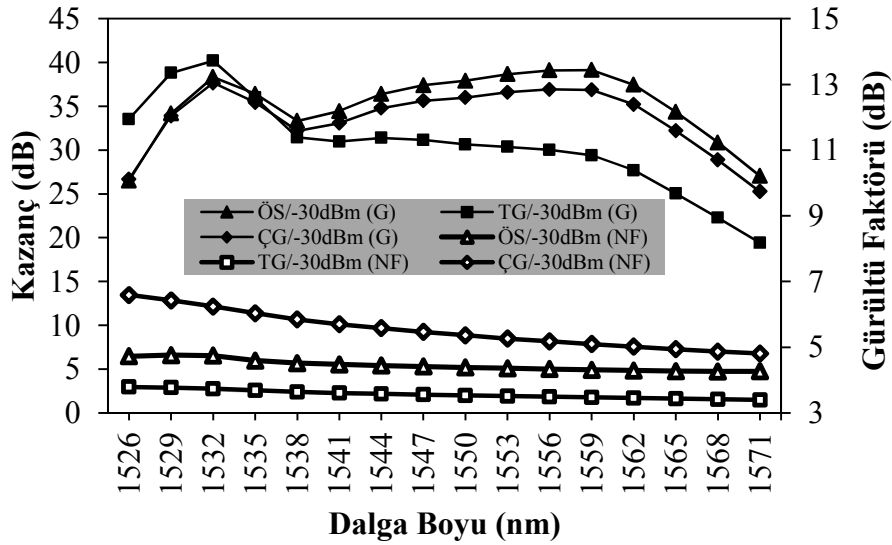
### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Şekil 2'de -40 dBm'lik sinyal seviyesi için çıkış kazanç ve gürültü spektrumları görülmektedir. TG tek geçiş, ÇG çift geçiş ve ÖS önerilen sisteme ait değerleri göstermektedir.



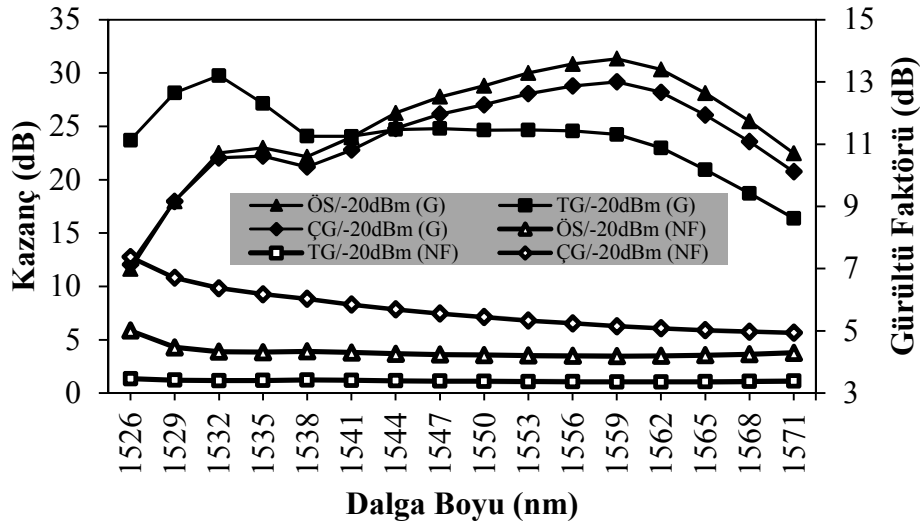
Şekil 2. -40 dBm'lik sinyal seviyesi için çıkış kazanç ve gürültü spektrumları

Şekil 2 incelendiğinde tüm sinyal dalga boyları için önerilen sistem değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 3'de 1535 nm'ye kadar tek geçişli sistemin, bu dalga boyundan sonra ise önerilen sistemin kazanç spektrumu, diğer sistemlere göre daha yüksektir. Şekil 4'de 1541 nm'ye kadar tek geçişli sistemin, bu dalga boyundan sonra ise önerilen sistem kazanç spektrumunun diğer sistemlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 3. -30 dBm'lik sinyal seviyesi için çıkış kazanç ve gürültü spektrumları

Gürültü spektrumları incelendiğinde ise tüm giriş sinyal gücü seviyelerine karşılık, en kötü gürültü performansının çift geçişli sisteme, en iyi gürültü şeklinin ise tek geçişli sisteme ait olduğu görülmektedir. Önerilen sistemin gürültü değerlerinin ise çift geçişli sistemden daha iyi olduğu görülmüştür. Tüm sistemlere ait ortalama kazanç ve gürültü değerleri Tablo 1'de özetlenmiştir.



Şekil 4. -20 dBm'lik sinyal seviyesi için çıkış kazanç ve gürültü spektrumları

Tablo 1. Tüm sistemlere ait ortalama kazanç ve gürültü değerleri

Parametreler	Tek geçiş			Çift geçiş			Önerilen sistem		
	-40	-30	-20	-40	-30	-20	-40	-30	-20
Giriş sinyal gücü (dBm)	-40	-30	-20	-40	-30	-20	-40	-30	-20
Kazanç (dB)	33.83	30.53	23.96	38.87	33.59	23.80	40.74	35.10	25.15
Gürültü (dB)	3.97	3.57	3.39	5.64	5.52	5.68	4.85	4.45	4.31

Sonuç olarak, Tablo 1'den de görüleceği üzere tek geçişli sistemler düşük gürültü faktörüne sahip olmalarına rağmen kazanç değerleri de düşüktür. Bu nedenle çift geçişli sistemler kazancı artırmak için yaygın olarak kullanılırlar. Ancak çift geçişli sistemin gürültü değerleri EDF'ten iki kez geçen sinyaldeki gürültünün de iki kez artmasına neden olur ve gürültü faktörü değerleri yükselir. Bu nedenle çift geçişli düzenek üzerinde küçük bir değişiklik ile yeni bir çift geçişli düzenek önerilmiştir. Bu düzenek ile çift geçişli sisteme göre daha yüksek kazanç ve daha düşük gürültü faktörü değerleri elde edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmekte olan 07/2012-39 kodlu ve “Çift geçişli erbiyum katkılı fiber yükselteçlerde gürültü faktörünün azaltılması” isimli proje çalışmalarının sonuçlarından oluşturulmuştur. Desteklerinden dolayı Gazi Üniversitesine teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- [1] Yücel, M., “Kazancı Düzleştirilmiş Geniş Bandlı Fiber Yükselteçlerin Tasarımı”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, 2008.

- [2] Naji, A.W., Abidin, M.S.Z., Kassir, A.M., Al-Mansoori, M.H., Abdullah, M.K., Mahdi, M.A., "Trade-Off between Single and Double Pass Amplification Schemes of 1480-nm Pumped EDFA", *Microwave and Optical Technol. Lett.*, 43(1), 38-40, 2004.
- [3] Aslan, Z., Yücel, M., "Tek ve Çift Geçişli Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçlerin C bandında Deneysel Olarak Karşılaştırılması", *Politeknik Dergisi*, Cilt 15, Sayı 3, Sayfa 135-138, 2012.
- [4] Liang, T.C., Hsu, S., "The L-band EDFA of High Clamped Gain and Low Noise Figure Implemented Using Fiber Bragg Grating and Double-Pass Method", *OpticsComm.*, 281(5):1134-1139, 2008.
- [5] Jamaludin, M.Z., Abdullah, M.K., Abdullah, F., Abas, A.F., MAhdi, M.A., Rahman, F., "A Hybrid High-Gain Double-Pass Erbium-Doped Fiber Amplifier with Dispersion Compensation Feedback Loop", *Optics and Laser Technol.*, 40(2):270-272, 2008.
- [6] Chang, C.L., Wang, L., Chiang, Y.J., "A Dual Pumped Double-Pass L-Band EDFA with High Gain and Low Noise", *OpticsComm.*, 267(1):108-112, 2006.
- [7] Samsuri, N.M., Harun, S.W., Ahmad, H., "Comparison of Performances Between Partial Double pass and full double-pass systems in Two-Stage L-Band EDFA", *LaserPhysicsLett.*, 1(12):610-612, 2004.
- [8] Yücel, M., Göktaş, H. H., "Gain Flattening Configurations at the L Band Erbium Doped Fiber Amplifiers", *Signal Processing and Communications Applications*, IEEE 15th, 1 – 4, 2007.
- [9] Nilson, J., Yun, S.Y., Hwang, S.T., Kim, J.M. , Kim, S.J., "Long-Wavelength Erbium-Doped Fiber Amplifiers Gain Enhanced by ASE End-Reflectors", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 10(11):1551–1553, 1998.
- [10] Bouzid, B., Abdullah, M.K., Mahdi, M.A., "High-Gain Erbium-Doped Fiber Amplifier Incorporating a Double-Pass Amplification Technique as a Preamplifier", *Laser Physics*, 18(4), 460-463, 2008.
- [11] Jamaludin, M. Z., Abdullah, M. K., Abdullah, F., Abas, A.F., MAhdi, M.A., Rahman, F., "A Hybrid High-Gain Double-Pass Erbium-Doped Fiber Amplifier with Dispersion Compensation Feedback Loop", *Optics and Laser Technol.*, 40(2), 270-272, 2008.
- [12] Naji, A.W., Abidin, M. S. Z., Al-Mansoori, M.H., Faidz, A.R., Mahdi, M.A., "Experimental Investigation of noise in Double-Pass Erbium-Doped Fiber Amplifiers", *Laser Physics Lett.*, 4(2), 145-148, 2007.
- [13] Yi, L.L., Zhan, L., Hu, W.S., Xia, Y.X., "Tunable Gain-Clamped Double-Pass Erbium-Doped Fiber Amplifier", *Optics Express*, 14(2), 570-574, 2006.
- [14] Yi, L.L., Zhan, L., Ji, J.H., Ye, Q.H., Xia, Y.X., "Improvement of gain and noise figure in double-pass L-band EDFA by incorporating a fiber Bragg grating", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 16(4):1005-1007, 2004.

- [15] Harun, S.W., Poopalan, P., Ahmad, H., “Double pass L-band erbium-doped fiber amplifier with enhanced gain characteristics”, *Indian Journal of Physics*, 77B(4):435-437, 2003.
- [16] Yücel, M., Göktaş, H. H., “Examination of Temperature Dependence of Double Pass L Band Erbium Doped Fiber Amplifier”, *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, 27(2), 237-243, 2012.
- [17] Su, C. F. , Wang, L., “Gain Enhancement of L-Band EDFA by Using Residual Pump Power in A Three-Stage Configuration” , *Optics Comm.*, 280:412-416, 2007.
- [18] Qin, S., He, J., Zou, Y., Qiang, Z., “An Improved 3-Stage L-Band Erbium Doped Fiber Amplifier”, *Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP)*, page(s):15-16, 2010.
- [19] Yücel, M., Göktaş, H. H., Akkaya, G., “Optimization of the Three Stages L Band EDFA”, *Signal Processing and Communications Applications, SIU 2012, IEEE 20th*, 18-20 April 2012.