

Two Stage Three Pass EDFA Design and EDFA Parameters' Optimization

 Murat YÜCEL^{1,*}  Emrah YİĞİT² 
¹ Gazi University Faculty of Technology, Department of Electrical Electronics Engineering, Yenimahalle/ANKARA

² Gazi University Faculty of Technology, Graduate School of Informatics, Çankaya/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

In this study, two stage and triple pass erbium doped fiber amplifier (EDFA) is designed and EDFA's input signal wavelengths and powers, erbium doped fiber (EDF) lengths, and pump laser powers are optimized. In the scope of this study, 4 different fiber types (I6, I25, M5, M12) are used and for every fiber type, the optimizations are performed between the wavelengths 1530 nm – 1570 nm.

Article Info:

Research article

Received: 28/02/2020

Revision 16/04/2020

Accepted: 22/04/2020

Highlights

- Triple pass EDFA
- High optical gain
- EDFA parameters' optimization

Keywords

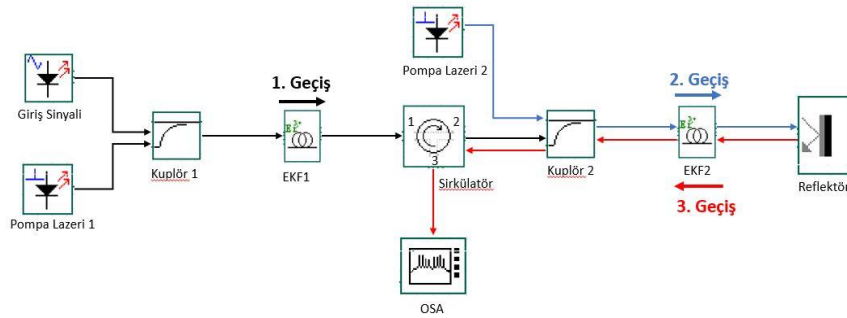
 Erbium Doped Fiber
 Triple Pass
 Two Stage
 Optimization


Figure A. Two stage triple pass EDFA design

Purpose: In this study, various EDFA configurations are examined. By designing two stage triple pass EDFA configuration, different input parameters are optimized. With the aid of OptiSystem software, a study with high gain and low noise figure is performed.

Theory and Methods: The input parameters are optimized step by step during the whole simulation process. This study consists of 8 optimization stages. In every step, an input parameter is varied within a scale and according to the simulation results it is set to its optimum value by examining the gain and noise figure outputs. From the first EDF in design, first and the only pass is done; over the second EDF second and third passes achieved by using a reflector. In this way, a two stage and triple pass structure are formed.

Results: As a result of optimizations, 1555 nm for M5 and 1560 nm wavelengths for the other fiber types are attained as optimum values. In the 1480 nm pump laser wavelengths, for I6, I25, M5, and M12 fiber types 54.9, 54.3, 53.3, and 54.7 dB maximum gain and 3.7, 3.8, 3.9, and 3.3 dB minimum noise figure values is obtained, respectively.

Conclusion: Design and optimization of two stage triple pass EDFA are presented in this study. Optimized results are compared with the unoptimized input parameters outputs. Optimized parameters verifies us a spectacular improvement on high gain and low noise figure. During the optimization process, input signal with -30 dBm power and 1550 nm – 1560 nm wavelength is used. The fiber lengths are determined quite short which is an critical parameter and makes the design cost-effective. Besides, moderate pump power levels are obtained.

In addition, the proposed study, three stage four pass EDFA can be studied to attain further improvements on gain and noise figure outputs.



İki Aşamalı Üç Geçişli EKFY Tasarımı ve EKFY Parametrelerinin Optimizasyonu

Murat YÜCEL^{1,*} Emrah YİĞİT²

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yenimahalle/ANKARA

²Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Bölümü, Çankaya/ANKARA

Öz

Bu çalışmada, iki aşamalı üç geçişli erbiyum katkılı fiber yükselteç (EKFY) tasarlanarak, EKFY'nin giriş sinyal dalga boyları ve güçleri, erbiyum katkılı fiber (EKF) uzunlukları ve pompa lazerlerinin güçleri optimize edilmiştir. Çalışma kapsamında, 4 farklı fiber türü (I6, I25, M5, M12) kullanılmış olup, her bir fiber türü için 1530 nm - 1570 nm dalgaboyu aralığında optimizasyonlar gerçekleştirilmiştir. Tasarımdaki ilk fiberden ilk ve tek geçiş yapılmış olup, ikinci fiberden yansıtıcı yardımı ile ikinci ve üçüncü geçişler gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, iki aşamalı ve üç geçişli bir yapı oluşturulmuştur. Yapılan optimizasyonlar sonucunda M5 için maksimum kazanç 1555 nm'de, diğer fiber türleri için ise 1560 nm'de elde edilmiştir. 1480 nm pompa lazeri ile; I6, I25, M5 ve M12 fiberleri için sırasıyla 54.9, 54.3, 53.3 ve 54.7 dB maksimum kazanç ve 3.7, 3.8, 3.9 ve 3.3 dB minimum gürültü faktörü değerleri elde edilmiştir.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 28/02/2020
Düzeltilme: 16/04/2020
Kabul: 22/04/2020

Anahtar Kelimeler

Üç geçişli EKFY
Yüksek optik kazanç
EKFY parametrelerinin
optimizasyonu

Two Stage Three Pass EDFA Design and EDFA Parameters' Optimization

Abstract

In this study, two stage and triple pass erbium doped fiber amplifier (EDFA) is designed and EDFA's input signal wavelengths and powers, erbium doped fiber (EDF) lengths, and pump laser powers are optimized. In the scope of this study, 4 different fiber type (I6, I25, M5, M12) is used, for every fiber type the optimizations are performed between the wavelengths 1530 nm – 1570 nm. From the first EDF in design, first and the only pass is done; over the second EDF second and third passes achieved by using a reflector. In this way, a two stage and three pass structure are formed. As a result of optimizations, 1555 nm for M5 and 1560 nm wavelengths for the other fiber types are attained as optimum values. In the 1480 nm pump laser wavelengths, for I6, I25, M5, and M12 fiber types 54.9, 54.3, 53.3, and 54.7 dB maximum gain and 3.7, 3.8, 3.9, and 3.3 dB minimum noise figure values is obtained, respectively.

Keywords

Erbiyum Katkılı Fiber
Üç Geçiş
İki Aşama
Optimizasyon

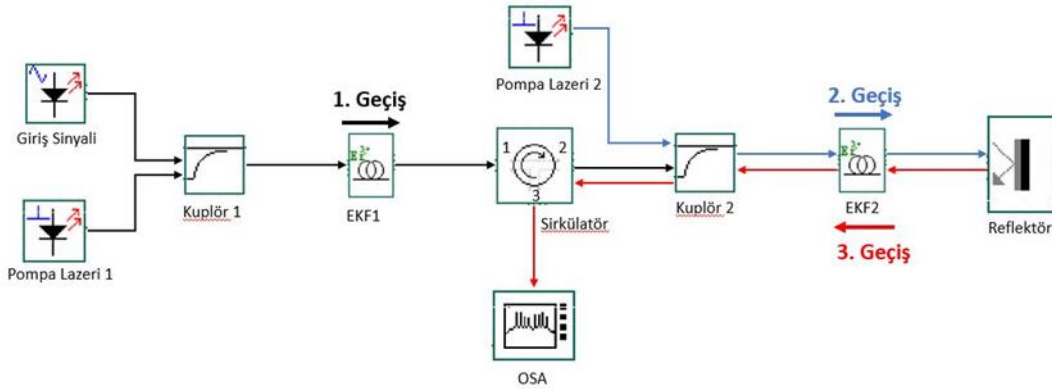
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Genişband haberleşme sistemlerinde, veri trafiğinin sürekli olarak artması nedeni ile düşük kayıplı ve uzak mesafeli yüksek hızlı veri iletişimi gün geçtikçe daha önemli hale gelmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için fiber optik iletişim [1] hatları tercih edilmeye başlamıştır. Fiber optik iletişim yukarıda bahsedilen ihtiyaçlara cevap vermekle birlikte, özellikle uzun mesafe iletişimlerde (okyanus ötesi vb.) sinyal zayıflaması sorunu yaşanmaktadır. Mesafe sorununun çözümüne yönelik olarak ilk yıllarda optik sinyalin elektriksel sinyale dönüştürülerek gücünün yükseltilmesi metodu uygulanmıştır. Sonraki yıllarda ise optik-elektriksel dönüşüme gerek kalmadan ışık sinyalinin gücü optik yükselteçler [2-3] ile artırılmış ve ışığın uzun mesafeleri kat etmesi sağlanmıştır. 1987 yılında keşfedilmiş olup, optik yükselteç çözümlerinden biri olan ve bu çalışmada da kullanılan EKFY [4], hali hazırda birçok tasarımda da kullanılmıştır. Bu kapsamda, daha önce yapılmış çalışmalarda 2 aşamalı 2 geçişli [5], 2 aşamalı 3 geçişli [6-7], 3 aşamalı 3 geçişli [7], 3 aşamalı 4 geçişli [8] tasarımlar incelenmiştir. Yükseltilmiş uyarılmış yayılma (YUY)'i bastırabilmek için iki tane ayarlanabilir band geçiren filtrenin kullanıldığı 2 aşamalı 4 geçişli bir tasarım [9] ayrıca çalışılmıştır. 1550 nm dalgaboyu ve -50 dBm giriş gücünde 2 aşamalı 4 geçişli sistemlerin çalışıldığı düzeneklerde 54 dB [10], 62 dB [11], 61 dB [12] ve 61 dB [13] kazançlar elde edilmiştir. L band özelinde ise tek pompa kaynağı kullanılarak kısa bir EKF ile (8 m) ekonomik bir yükselteç [14] tasarlanmaya

çalışılmıştır. Yine aşama ve geçiş sayısının kazanç ve gürültü faktörü üzerine etkisini gösterebilmek adına tek aşamalı tek geçişli sistemden 2 aşamalı 4 geçişli sisteme kadar farklı konfigürasyonlar [15-16] değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ise, Optisystem 16 programında 2 aşamalı 3 geçişli EKFY [17] düzeneği kullanılarak literatürde ilk defa 4 farklı ticari fiber türü (I6, I25, M5 ve M12) için de tüm giriş parametrelerinin (giriş sinyali dalga boyu ve gücü, EKF uzunlukları (EKF1 ve EKF2), pompa lazeri güçleri) optimize edildiği bir çalışma gerçekleştirilmiş olup, yüksek kazanç ve düşük gürültü faktörü değerleri elde edilmiştir.

2. İKİ AŞAMALI ÜÇ GEÇİŞLİ EKFY TASARIMI (TWO STAGE THREE PASS EDFA DESIGN)

İki geçişli ve üç aşamalı EKFY düzeneği Şekil-1’de yer almaktadır. Sistemde yer alan 4 farklı fiber türüne ait parametreler ise Tablo-1’de yer almaktadır. Düzenekte giriş sinyali ilk olarak birinci Pompa Lazeri 1 ile Kuplör 1’de birleşerek ilk fiberden (EKF1) geçiş yapmaktadır. Burada yükselen sinyal, sirkülatörün 1 nolu portundan girerek 2 nolu portundan çıkmakta, ikinci Pompa Lazeri 2 ile Kuplör 2’de birleşmekte ve ikinci fiberden (EKF2) geçmektedir. İkinci defa yükselen sinyal, reflektörden (yansıtıcı) geri dönerek EKF2’den ikinci kez geçiş yaparak tekrar yükseltilmiş ve üçüncü geçişini tamamlamıştır. Sinyal daha sonra sirkülatörün 2 nolu portundan girerek 3 nolu portundan optik spektrum analizöre (OSA) ulaşmış ve kazanç/gürültü ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 1. İki Aşamalı Üç Geçişli EKFY Düzeneği

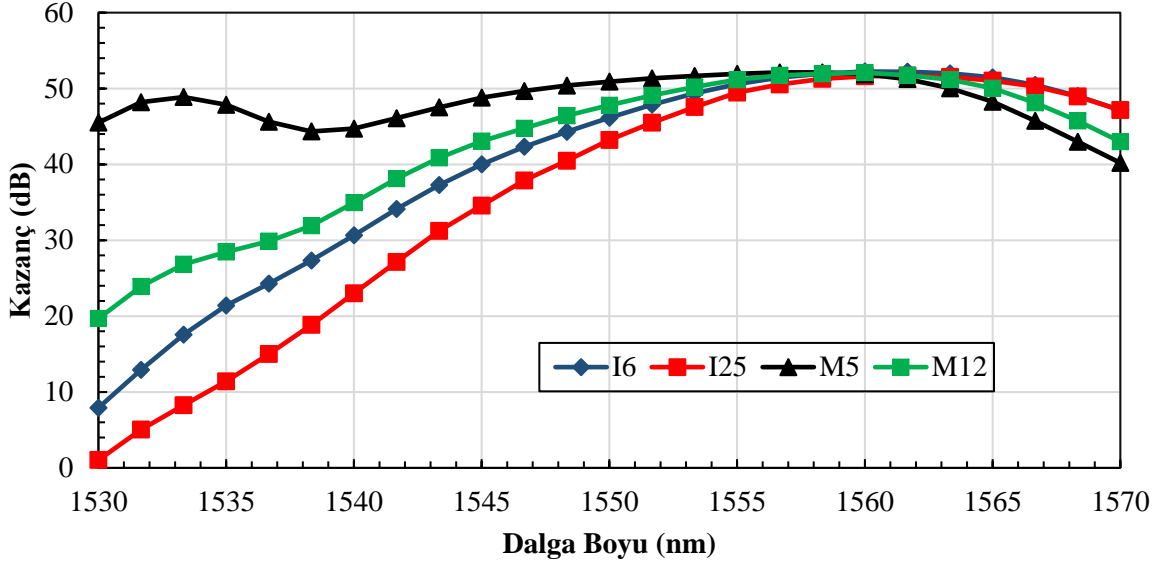
Tablo 1. Fiber Türleri Parametreleri [18]

Parametreler	I6	I25	M5	M12
Nümerik Açıklık	0,23	0,24	0,23	0,22
İyon Ömrü (ms)	10	10	10	10
Yayıma (980 nm) (dB/m)	5,1	24	5	12
Çekirdek Yarıçapı (μm)	1,55	1,4	1,6	1,7
Erbiyum Yarıçapı (μm)	1,45	1,3	1,5	1,6
İyon Yoğunluğu (ppm)	440	2200	400	900
Fiber Uzunluğu (m)	20	5	12	10

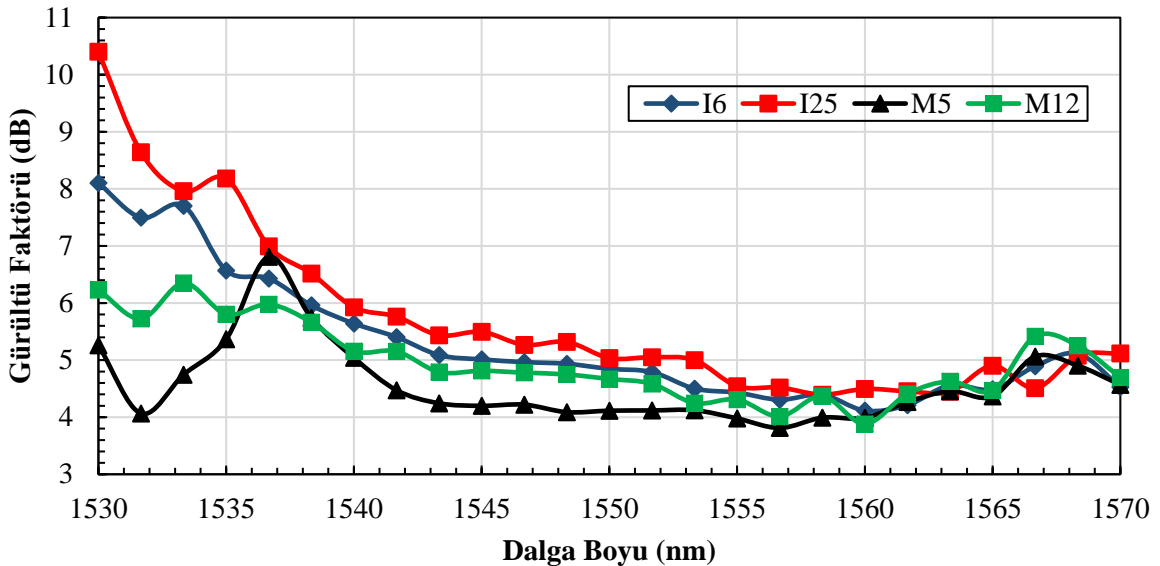
Çalışmada yapılan optimizasyon 8 aşamadan oluşmaktadır. Her bir aşamada ayrı bir giriş parametresi uygun görülen aralıkta değiştirilerek kazanç ve gürültü faktörü gözlenmiştir. En uygun değer bulunduktan sonra diğer aşamaya geçilmiştir.

İlk aşamada, farklı fiber türlerinin nümerik açıklık, çekirdek yarıçapı, erbiyum yarıçapı ve iyon yoğunlukları göz önüne alınarak sistemlerdeki fiber uzunluklarına belli değerler verilerek simülasyon gerçekleştirilmiştir. Yine pompa güçleri için belli değerler seçilmiş olup, giriş sinyalinin gücü -30 dBm

olarak ayarlanmıştır. Giriş sinyalinin dalga boyu 1530 nm – 1570 nm aralığında değiştirilerek Şekil-2’deki kazanç ve Şekil-3’teki gürültü faktörü grafikleri elde edilmiştir. Bu aşamada, en yüksek kazanç değeri 52.2 dB ile I6 fiberde; en düşük gürültü faktörü değeri ise 3.8 dB ile M5 fiberde gözlenmiştir.



Şekil-2. Optimize Edilmemiş Değerlere Göre Giriş Sinyal Dalgaboyu Değişimine Karşılık Kazanç Değişimi



Şekil-3. Optimize Edilmemiş Değerlere Göre Giriş Sinyal Dalgaboyu Değişimine Karşılık Gürültü Faktörü Değişimi

İkinci aşamada, ilk aşamadan gelen optimum sonuç olan 1560 nm dalga boyunda giriş sinyalinin gücü -50 dBm ile 0 dBm arası değiştirilerek sonuçlar alınmıştır. En yüksek kazanç 57.2 dB ile -50 dBm giriş gücünde

I6 fiber tasarımında elde edilmiştir. En düşük gürültü ise, 3.36 dB ile 0 dBm sinyal gücünde I25 ve M12 fiberler ile gerçekleştirilen tasarımlarda elde edilmiştir.

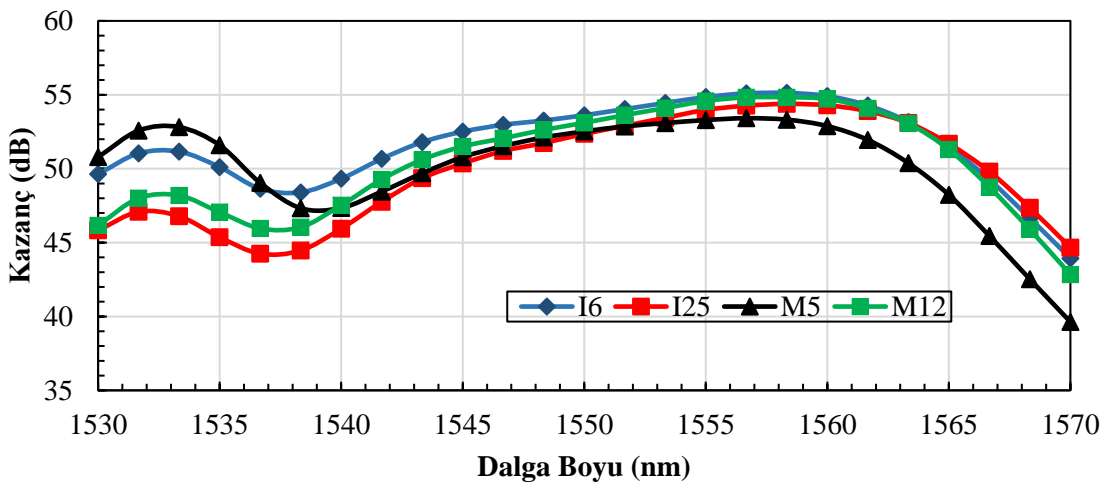
Üçüncü aşamada, 1560 nm dalga boyu ve -30 dBm'lik güce sahip giriş sinyali kullanılarak ilk fiberin uzunluğu, fiber türü de göz önüne alınarak optimize edilmeye çalışılmıştır. Fiber türüne göre seçilen optimizasyon aralığı erbiyum iyonunun katkılama yoğunluğuna göre seçilmiştir. Bu aşamada, optimizasyon öncesi seçilen aralıklar I6 ve M5 fiberleri için 1-25 m arası, I25 fiber için 1-7 m arası, M12 fiber için ise 1-15 m olarak belirlenmiştir. İdeal uzunluklar I6, I25, M5 ve M12 fiber için sırasıyla 6 m, 1.5 m, 11 m ve 3 m olarak ölçülmüştür.

Dördüncü aşamada, 1560 nm ve -30 dBm'lik giriş sinyali ve uygun ilk fiber uzunlukları (I6 için 6 m, I25 için 1.5 m, M5 için 11 m, M12 için 3 m) ile ilk pompa lazerinin gücü bulunmuştur. Pompa lazerinin gücü arttıkça kazancın da arttığı görülmekle birlikte; 10 mW – 1000 mW aralığında değişen pompa gücüne karşılık olarak, sistemin 10 mW ve 1000 mW pompa gücündeki kazançlarına bakılarak ortalama bir değerde karar kılınmıştır (I6, I25 ve M12 için 250 mW, M5 için 200 mW).

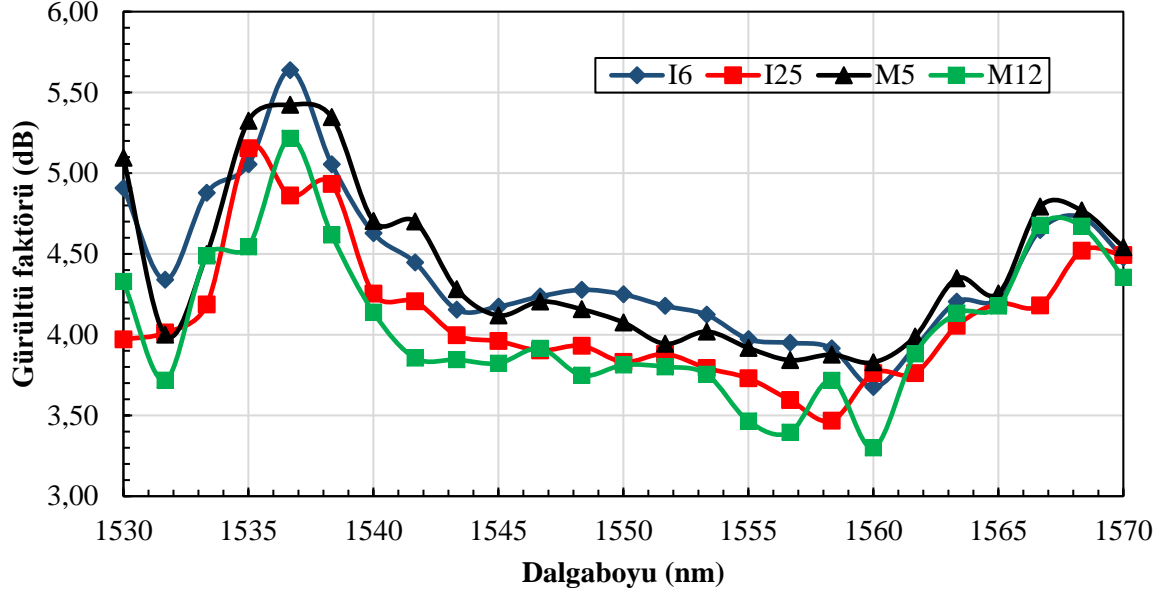
Beşinci aşamada, 1560 nm ve -30 dBm'lik giriş sinyali ve belirlenen ilk fiber uzunluğu ile ilk pompa gücü kullanılarak ikinci fiber uzunlukları hesaplanmıştır (I6 için 11 m, I25 için 2 m, M5 için 15 m ve M12 için 4 m).

Altıncı aşamada, 1560 nm dalgaboyu ve -30 dBm gücünde giriş sinyali ile belirlenen ilk ve ikinci fiber uzunluğu ile ilk pompa gücü kullanılarak ikinci pompanın gücü elde edilmiştir. Pompa lazerinin gücü bu aşamada 10 mW – 1000 mW arası değiştirilerek ilk pompa lazerinin gücünü belirlerken kullanılan metot izlenmiştir (I6 için 300 mW, I25 ve M5 için 200 mW, M12 için 250 mW).

Yedinci aşamada, belirlenen tüm parametreler kapsamında (-30 dBm gücündeki giriş sinyali, tüm pompa ve fiber uzunlukları) giriş sinyali tekrar 1530 nm – 1570 nm aralığında değiştirilerek sonuçlar gözlenmiştir. Aşağıda Şekil-4'de yer alan grafikte tüm fiber türlerinin kazanç; Şekil-5'te ise gürültü faktörü grafikleri karşılaştırılmıştır. Şekil-4 incelendiğinde tüm fiberlerin çıkış kazanç spektrumları benzer olmakla beraber en yüksek kazanç spektrumu I6 fiberinde elde edilmiştir. M5 fiber için en iyi kazanç değeri 1555 nm'de, diğer fiber türleri için ise 1560 nm'de tespit edilmiştir. Tüm fiber türleri için benzer kazanç spektrumların elde edilmesinin sebebi bütün fiberler için EKFY parametrelerinin optimizasyonudur.



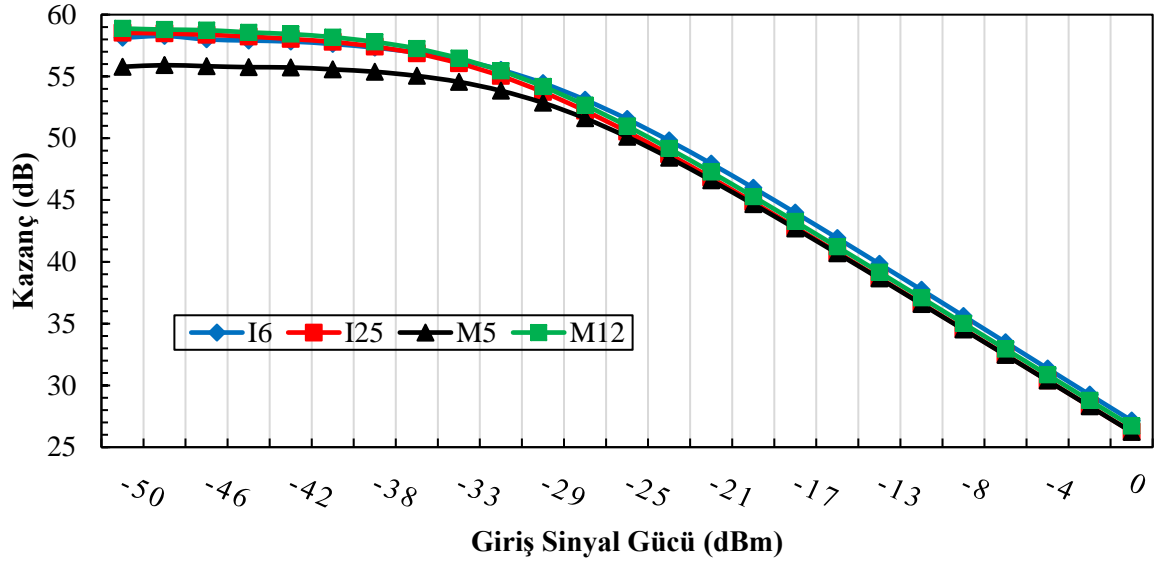
Şekil-4. Optimize Edilmiş Değerlere Göre Giriş Sinyal Dalgaboyu Değişimine Karşılık Kazanç Değişimi



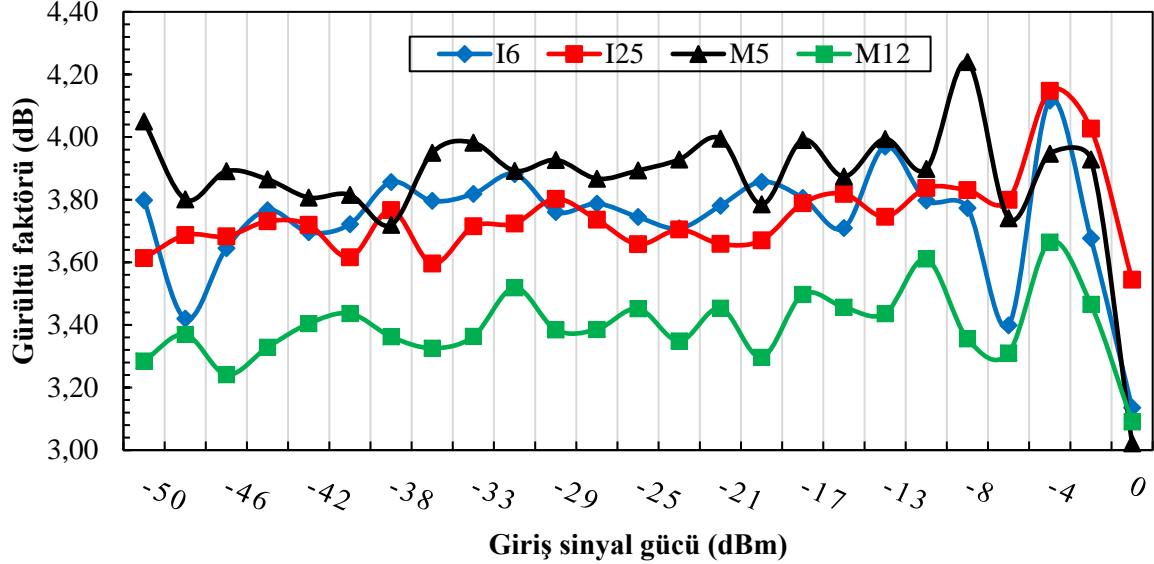
Şekil-5. Optimize Edilmiş Değerlere Göre Giriş Sinyal Dalgaboyu Değişimine Karşılık Gürültü Faktörü Değişimi

Şekil-5’de gürültü faktörü değişimi görülmektedir. Şekilde görüleceği üzere yaklaşık değerler alındığında en düşük gürültüye M12 fiberi sahiptir. Ortalama değerler incelendiğinde en yüksek değerler I6 ve M5 fiberlerinde görülmüştür.

Sekizinci ve son aşamada ise optimize edilmiş giriş parametreleri baz alınarak sistemin giriş sinyalinin gücü -50 dBm ile 0 dBm arasında değiştirilmiş ve sonuçlar incelenmiştir. Simülasyon EKF türlerinin en yüksek kazançta sahip olduğu dalgaboyları ve pompa lazer güçleri için yapılmıştır. Kazanç ve gürültü faktörü değerleri Şekil-6 ve Şekil-7’de sırasıyla yer almaktadır. Şekil-6’da görüldüğü gibi, giriş sinyal gücü arttıkça çıkış kazancı azalmaktadır. Ayrıca çıkış kazancı -30 dBm giriş sinyal gücüne kadar doğrusal olarak artarken bu değerden sonra yükselteç doyum bölgesine yaklaştığı için doğrusal bölgeden çıkıldığı görülmektedir.



Şekil-6. Optimize Edilmiş Değerlere Göre Giriş Sinyal Gücüne Karşılık Kazanç Değişimi



Şekil-7. Optimize Edilmiş Değerlere Göre Giriş Sinyal Gücüne Karşılık Gürültü Faktörü Değişimi

Şekil-7'de ise gürültü faktörü değişimi görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde en düşük gürültüye M12 fiberi sahiptir. Buna karşılık M5 fiberinin gürültü faktörü en yüksek değeri almaktadır. Ortalama değerler arasındaki fark ise 0.7 dB gibi düşük bir değerdir.

3. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada; iki aşamalı üç geçişli EKFY, 4 farklı fiber türü için optimize edilerek yüksek kazanç ve düşük gürültü faktörü değerleri elde edilmiştir. Giriş değerleri optimize edilmeden giriş sinyalinin dalga boyu ve sinyal gücü değiştirilerek elde edilen sonuçlar; optimize edilen giriş parametreleri ile tekrar simüle edilerek karşılaştırılmıştır. Temel olarak -30 dBm giriş sinyal gücü ve 1550 nm – 1560 nm dalgaboyu aralığı ele alınarak giriş parametreleri optimize edilmiştir. M5 fiberi özelinde ise, Şekil-2’de yer alan grafikte de görüldüğü üzere düşük dalgaboylarında da (1530 nm – 1535 nm) yüksek kazanç elde edilmiştir. Bu durum, tüm fiber türleri içinde en düşük Er³⁺ iyon yoğunluğuna sahip olan M5 fiberinin mezkur dalgaboylarında da doyuma ulaşmamış olması nedeni ile gözlenmiştir.

I6, I25, M5 ve M12 fiberleri için optimize edilmiş değerler Tablo-2’de; elde edilen maksimum kazanç ve minimum gürültü faktörü değerleri Tablo-3’te yer almaktadır.

Tablo-2. I6, I25, M5 ve M12 fiberleri için optimize edilen giriş parametreleri

Fiber Türü	Giriş Sinyali	Pompa 1	Pompa 2	EKF-1	EKF-2
I6	1560 nm -30 dBm	1480 nm 250 mW	1480 nm 300 mW	6 m	11 m
I25	1560 nm -30 dBm	1480 nm 250 mW	1480 nm 200 mW	1.5 m	2 m
M5	1555 nm -30 dBm	1480 nm 250 mW	1480 nm 200 mW	11 m	15 m
M12	1560 nm -30 dBm	1480 nm 250 mW	1480 nm 250 mW	3 m	4 m

Tablo-3. I6, I25, M5 ve M12 fiberleri için optimize edilen parametrelere göre sonuçlar

Fiber Türü	Kazanç	Gürültü Faktörü
I6	54.9 dBm	3.7 dBm
I25	54.3 dBm	3.8 dBm
M5	53.3 dBm	3.9 dBm
M12	54.7 dBm	3.3 dBm

Singh ve Marwaha [17] çalışmasına kıyasla elde edilen kazanç ve gürültü faktörü ise Tablo-4’te yer almaktadır.

Tablo-4. Literatür ile yapılan çalışmanın karşılaştırılması

Parametreler	Singh ve Marwaha			Mevcut Çalışma		
Giriş Sinyal Gücü (dBm)	-40 dBm	-35 dBm	-30 dBm	-40 dBm	-35 dBm	-30 dBm
Kazanç (dB)	~28 dB	~28 dB	~27 dB	~58.2 dB	~57 dB	~55 dB
Gürültü (dB)	~5.5 dB	~5.6 dB	~5.7 dB	~3.4 dB	~3.3 dB	~3.4 dB

Tablo-4 değerlendirildiğinde; literatürdeki çalışmaya [17] kıyasla daha yüksek kazanç ve daha düşük gürültü faktörü değerleri elde edildiği görülmektedir.

Sonuç olarak; M5 fiber hariç diğer tüm fiber türleri için giriş sinyali dalga boyu 1560 nm (M5 için 1555 nm) olarak belirlenmiştir. Pompalar için optimum güçler her bir durum için birbirine yakın değerler olan

200 mW – 300 mW aralığında elde edilmiştir. Kritik parametrelerden biri olan ve yükseltecin maliyetine direkt etki eden fiber uzunlukları ise her bir sistem özelinde birbirine yakın uzunluklarda hesaplanmıştır. Yapılan çalışmaya ek olarak; mevcut düzenek kullanılarak 3 aşamalı 4 geçişli tasarım ile daha yüksek kazanç ile daha düşük gürültü faktörü elde edilmeye çalışılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Keiser, Gerd. (2000). Optical Fiber Communications. Singapore: McGraw-Hill, 2,5.
- [2] Becker, P.C., Olsson N.A., Simpson J.R. (1999). Erbium-Doped Fiber Amplifiers Fundamentals and Technology. San Diego: Academic Press, 1,13.
- [3] Celen, S., Özden, H., Uyar, E. İterbiyum-Katkılı Fiber Lazerle Q-Anahtarlamalı Modda İmplant Yüzeyi Mikro-İmalatı ve Karakterizasyonu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji 2 (2014): 197-202.
- [4] Mears, R.J., Reekie, L., Jauncey, I.M. and Payne, D.N. (1987) Low-noise erbium-doped fibre amplifier operating at 1.54 μ m. Electronics Letters, 23 (19), 1026-1028. (doi:10.1049/el:19870719).
- [5] Laming, R.I., Zervas, M.N. and Payne, D.N., Erbium-doped fiber amplifier with 54 dB gain and 3.1 dB noise figure. IEEE Photonics Technology Letters, vol. 4(12), pp. 1345–1347, Dec. 1992.
- [6] Naji, A.W., Ibrahim, H.F.H., Ahmed, B., Harun, S.W. and Mahdi, M.A. Theoretical Analysis of Triple-pass Erbium-doped Fiber Amplifier. International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE 2010), 11-13 May 2010, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [7] Akhter, F., Ibrahimy, M. I., Naji, A.W., and Siddiquei, H. R. Modeling and characterization of all possible triple pass EDFA configurations. International Journal of the Physical Sciences Vol. 7(18), pp. 2656-2663, 9 May, 2012, DOI: 10.5897/IJPS12.172.
- [8] Akhter, F., Ibrahimy, M. I., Naji, A.W., and Siddiquei, H. R. Design and Characterization of a New Three-Stage Quadruple Pass EDFA. Journal of Applied Sciences, Vol. 12(19), pp. 2071-2076, 2012, DOI: 10.3923/jas.2012.2071.2076
- [9] Sellami, M., Sellami, A. and Berrah, S. Characterization and Modeling of Dual Stage Quadruple Pass Configurations. Physics Procedia 55, 416 – 420, 2014.
- [10] Al-Khateeb, K.A., Sellami, A. and Belloui, B., A High Gain EDFA Using Double-Pass Dual-Stage Amplification. Proceedings of the International Conference on Computer and Communication Engineering, Vol. 2, pp: 812-814, May 9-11, 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [11] Bouzid, B. High-Gain And Low-Noise-Figure Erbium-Doped Fiber Amplifier Employing Dual Stage Quadruple Pass Technique. Optical Review Vol. 3(17), pp. 100-102, 2010.
- [12] Naji, A.W., Mohammed, M.A., Zaidan, B.B., Zaidan, A.A., ALKhateeb, W., Al- Khateeb, K.A.S. and Mahdi, M.A. A Novel Theoretical Analysis Of Quadruple Pass Erbium Doped Fiber Amplifier. Int. J. Physc. Sci, Vol. 6(10), pp. 2393-2398, 2011, DOI: 10.5897/AJBM11.228.
- [13] Ali, S., Khalid, A.S. and Bouzid, B. A New Erbium-Doped Fiber Amplifier. Journal of Applied Sciences, Vol. 9(13), pp. 2498-2550, 2009.
- [14] Al-Mansoori, M. H., Al-Ghathai, W. S. 56.6 dB high gain L-band EDFA utilizing short-length highly-doped erbium rare-earth material. J. Europ. Opt. Soc. Rap. Public. 9, 14028 (2014), DOI: <http://dx.doi.org/10.2971/jeos.2014.14028>
- [15] Bouzid, B. Erbium-Doped Fiber Amplifier Review, Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Electrical Systems, Tunisia, 2016.

- [16] Bouzid, B. Behavioral Variations of Gain and NF Owing to Configurations and Pumping Powers. *Optics and Photonics Journal*, 2, 8-12, March 2012, DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/opj.2012.21002>
- [17] Singh, G., Marwaha, V. A Review Paper On Characterization Of Triple Pass Erbium-Doped Fiber Amplifiers. *Indo Global college of Engineering, Abhipur, Punjab, India. Vol. 1, Spl. Issue 2 (May, 2014) e-ISSN: 1694-2310*
- [18] Yucel M., Ozoglu, Y.A., Goktas, H.H., Gündüz, A.E. and Burunkaya, M. (2019). Determination of the Temperature Independent Quiescent Regions for Different Types of Erbium-Doped Fibers. *Optik*, 183 (619-628).