

# ERBİYUM KATKILI FİBER YÜKSELTEÇTE GÜRÜLTÜ FAKTÖRÜNÜN SICAKLIK BAĞIMLILIĞI

**Murat YÜCEL, H. Haldun GÖKTAŞ\*** ve **Osman ÖZKARACA**  
Elektronik Bilg. Eğt. Böl., Teknoji Fak., Gazi Üniv. 06500-Teknikokullar/Ankara  
[muyucel@gazi.edu.tr](mailto:muyucel@gazi.edu.tr), [haldungoktas@gmail.com](mailto:haldungoktas@gmail.com)\*, [ozkaraca@gazi.edu.tr](mailto:ozkaraca@gazi.edu.tr)

(Geliş / Received: 30.10.2009 ; Kabul / Accepted: 28.04.2010)

## ÖZET

Bu çalışmada C bandında çalışan erbiyum katkılı fiber yükselteçte (EDFA) gürültü faktörünün sıcaklık bağımlılığı incelenmiştir. Bu amaçla C band EDFA, 0 °C ile 60 °C arasındaki sıcaklık aralığında, -20 dBm ve 30 dBm'lik giriş sinyal güçleri, 980 nm ve 1480 nm pompa dalga boyları için analiz edilmiştir. Analizlerde yükseltilmiş kendiliğinden yayınım (ASE) etkisi dikkate alınmıştır. Tasarım OptiAmplifier 4.0 yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir. Daha sonra deneysel düzenek kurularak, ölçümler yapılmış ve 980 nm pompa dalga boyu için sıcaklık etkisinin ihmal edilebileceği dalga boyu bölgelerinin bulunduğu görülmüştür. Ayrıca, 980 nm'de pompalanan sinyalin 1480 nm'de pompalanan sinyale göre daha düşük gürültü faktörüne sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** EDFA, sıcaklık bağımlılığı, gürültü faktörü.

## TEMPERATURE DEPENDENCE OF NOISE FIGURE IN THE ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER

### ABSTRACT

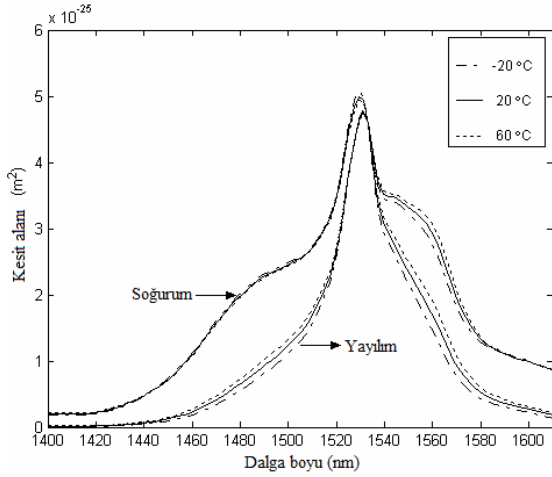
In this study, temperature dependence of noise figure of C band erbium doped fiber amplifiers (EDFA) has been investigated. To do this, EDFA is analyzed for 980 nm and 1480 nm pump wavelengths, -20 dBm and -30 dBm input signal powers in the temperature range between 0 °C and 60 °C. In the analysis, amplified spontaneous emission (ASE) effect was taken into account. The design is simulated using OptiAmplifier 4.0 software. Then, the experimental setup was established and the measurements were done, and for 980 nm pumping, the wavelength gaps that the effect of temperature negligible was obtained. Consequently, it has been found that, 980nm pumped signal having lower noise figure than 1480 nm pumped signal.

**Keywords:** EDFA, temperature dependence, noise figure.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

EDFA'ların sıcaklığa bağımlı karakteristiği optik fiber yükselteçlerin özellikle yoğun dalga boyu bölmeli çoğullama (DWDM) uygulamalarında önemli bir etken olmakla beraber sıcaklığa bağımlılıklarının önceden tahmin edilmelerinin genel bir kuralı yoktur [1-4]. EDFA'larda sıcaklığa bağımlı olarak sinyal ve pompa dalga boyuna bağlı soğurum ve yayılım kesitleri değişmektedir. Şekil 1'de sıcaklık değişiminin bu çalışmada kullanılan erbiyum katkılı fiberin (EDF) soğurum ve yayılım kesitinde yaptığı değişim görülmektedir. Bu değişim sonucu çıkış sinyal kazancı ve EDFA tarafından üretilen kendiliğinden yükseltilmiş yayılma

(ASE) gürültüsü, buna bağlı olarak EDFA'nın performansı sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir [5-7]. WDM sistemlerinde birden fazla sinyal kullanıldığı ve dalga boyuna bağlı olarak sıcaklıkla kazancın değiştiği göz önüne alınırsa sıcaklığın EDFA üzerindeki etkisi daha önemli olarak ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda WDM sistemlerinde geniş bantlı ve düz kazançlı sistemler tercih edildiklerinden kazanç düzleştirmeye sıcaklığın etkisi de göz önüne alınmalıdır. Ayrıca yapılan çalışmalarda C bandı için soğurum ve yayılım kesiti çok az değiştiğinden sıcaklık değişimlerinden daha az etkilenmekte, L bandı ise kesit değişimi daha fazla olduğundan sıcaklık değişimlerine daha fazla duyarlılık göstermektedir [8, 9]. Yapılan



**Şekil 1.** Sıcaklık değişiminin soğurum ve yayılım kesitine etkisi (The effects of absorption and emission cross section on temperature variation)

çalışmalarda genellikle erbiyum katkılı fiberin katkı malzemesi değiştirilerek sıcaklığın etkisi araştırılmış [10-12] ayrıca sıcaklık etkisi ile ilgili bazı teorik çalışmalar gerçekleştirilmiştir [13-16]. Bunların dışında sıcaklık tahminini yapay zeka teknikleri kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur [17, 18]. Bu çalışmalarda fiber boyu, pompa dalga boyu, sinyal dalga boyu, sinyal gücü gibi değerlerin EDFA kazancına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada giriş sinyal gücü, pompa dalga boyu, sinyal dalga boyu ve sıcaklık değişiminin gürültü faktörüne etkileri incelenecektir.

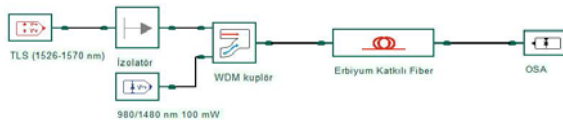
## 2. SİMÜLASYON DÜZENİĞİ VE SONUÇLAR (SIMULATION SETUP AND RESULTS)

Simülasyon düzeniği Şekil 2’de görülmektedir. Simülasyon programı olarak OptiAmplifier 4.0 kullanılmıştır. Simülasyonda tüm malzemeler için deneyde kullanılacak malzemelerin verileri girilmiştir (Tablo 1). Ek kayıpları belirtilmiş ve C band erbiyum katkılı fiber (EDF) olarak Coractive firmasının EMP980 C band EDF’si kullanılmıştır (Tablo 2). Bu fiberin yayılma ve soğurma değerleri veri dosyası olarak hazırlanarak simülasyonda kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Simülasyonda kullanılan parametreler (The parameters used the simulation)

Malzeme	Ek kaybı (dB)	İzolasyon (dB)	Geri dönüş kaybı (dB)
İzolatör	0,22	30,8	55
Pompa kuplörü	0,16	22,34	50

Simülasyonda sırasıyla 980 nm ve 1480 nm 100 mW’lık pompa lazerleri kullanılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda en uygun fiber boyu 13,5 m



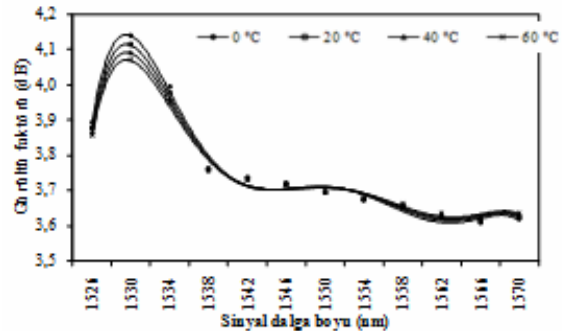
**Şekil 2.** EDFA simülasyon düzeniği (EDFA simulation setup)

olarak bulunduğu için bu fiber boyu kullanılmıştır [19]. OptiAmplifier 4.0 programı kullanılarak her iki pompa lazeri ve -20 dBm/-30 dBm giriş sinyal güçleri için EDF sıcaklığı 0 °C ile +60 °C arasında değiştirilerek gürültü faktörünün sıcaklığa bağımlı değişimi incelenmiştir.

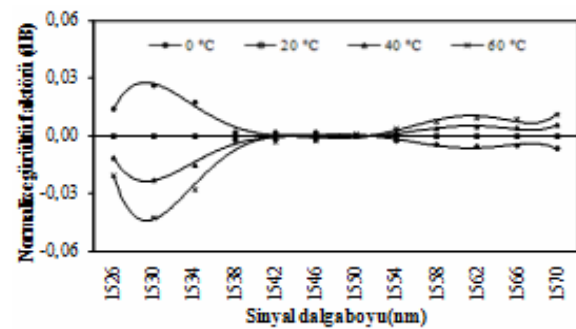
**Tablo 2.** EMP980 EDF parametreleri (The parameters of EMP980 EDF)

Parametreler	Değerler
Kesim Dalga boyu	891 nm
1300 nm kaybı	1,45 dB/km
İyon ömrü	10 ms
Öz yarıçapı	1,77 µm
Erbiyum yarıçapı	1,68 µm
Er <sup>3+</sup> konsantrasyonu	226,66 ppm
Nümerik açıklık	0,19

Şekil 3’de -20 dBm sinyal gücü ve 980 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Düşük dalga boylarında en büyük değerini alan gürültü faktörü dalga boyu yükseldikçe düşmektedir. 1550 nm’ye kadar 0°C’deki gürültü faktörü değerleri en yüksek iken, bu dalga boyundan sonra en düşük gürültü faktörü değerleri bu sıcaklıkta elde edilmiştir. Sıcaklığa bağımlı sinyal yayılım kesiti her dalga boyu için değiştiğinden gürültü faktörü değerleri de her dalga boyu için değişmektedir. Şekil 4’de ise



**Şekil 2.** -20 dBm sinyal gücü ve 980 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişimi (The spectral variation of noise figure for the different temperatures for -20 dBm signal power and 980 nm pump laser)



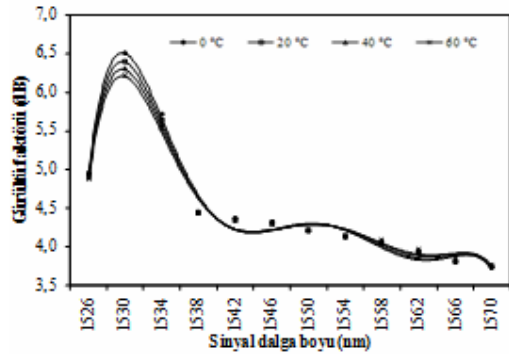
**Şekil 2.** -20 dBm sinyal gücü ve 980 nm pompa için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişiminin 20 °C için normalize eğrileri (Normalized curves of the spectral variation of noise figure for the different temperatures for 20 °C for -20 dBm signal power and 980 nm pump laser)

bu değerlerin 20°C'ye göre normalize edilmiş hali görülmektedir. Sıcaklığa bağımlı en büyük gürültü faktörü değişimi 0,069 dB'dir.

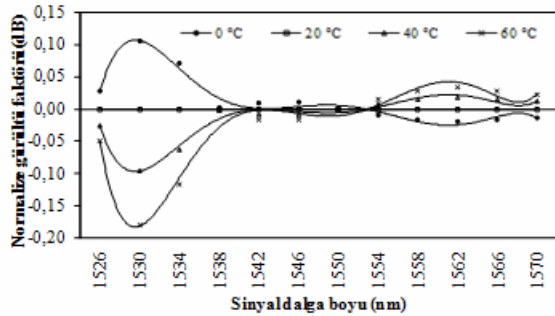
Şekil 5 ve 6'da ise aynı düzeneğin -30 dBm sinyal gücü için tekrarlanmış çıkış şekilleri görülmektedir. Gürültü faktörü ve onun sıcaklığa bağımlı en büyük değişimi artmış ve 0,28 dB'ye çıkmıştır.

Şekil 7 ve 8'de 1480 nm pompa lazeri ve -20 dBm sinyal güçleri için simülasyonlar tekrarlanmıştır. Gürültü faktörü değerleri 980 nm'lik pompa lazerine göre yükselmiştir. Aynı zamanda tüm dalga boylarında en düşük gürültü faktörü değerleri 0 °C'de elde edilmiştir. Gürültü faktöründeki en büyük değişim ise 0,43 dB'ye çıkmıştır.

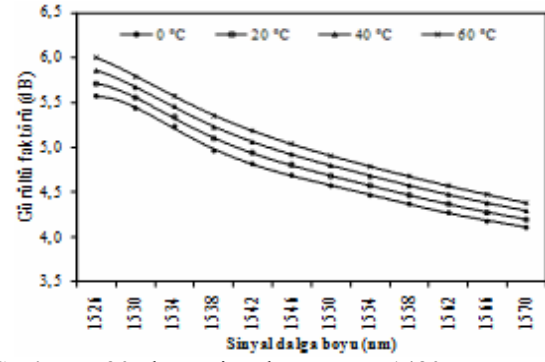
Şekil 9 ve 10'da ise bir önceki simülasyonda sinyal gücü -30 dBm'e düşürülmüş ve simülasyon tekrarlanmıştır. Bu durumda 0°C'deki gürültü faktörünün 1536 nm'ye kadar en yüksek değere sahip iken bu dalga boyundan sonra en düşük değere sahip olduğu görülmüştür. Gürültü faktöründeki en büyük değişim ise 0,27 dB olmuştur.



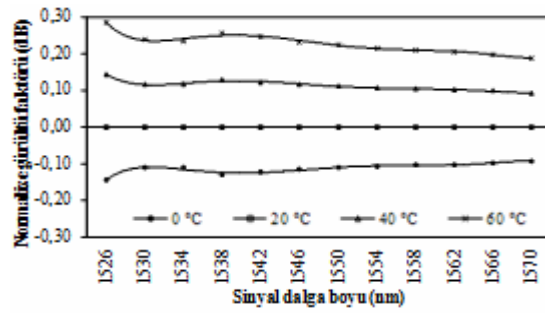
Şekil 4. -30 dBm sinyal gücü ve 980 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişimi (The spectral variation of noise figure for the different temperatures for -30 dBm signal power and 980 nm pump laser)



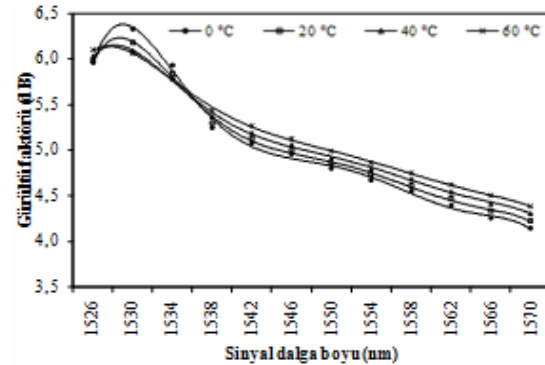
Şekil 4. -30 dBm sinyal gücü ve 980 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişiminin 20 °C için normalize eğrileri (Normalized curves of the spectral variation of noise figure for the different temperatures for 20 °C for -30 dBm signal power and 980 nm pump laser)



Şekil 7. -20 dBm sinyal gücü ve 1480 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişimi (The spectral variation of noise figure for the different temperatures for -20 dBm signal power and 1480 nm pump laser)



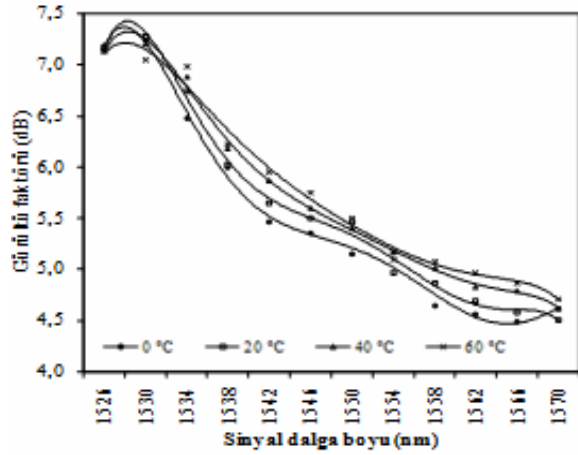
Şekil 7. -20 dBm sinyal gücü ve 1480 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişiminin 20 °C için normalize eğrileri (Normalized curves of the spectral variation of noise figure for the different temperatures for 20 °C, for -20 dBm signal power, and 1480 nm pump laser)



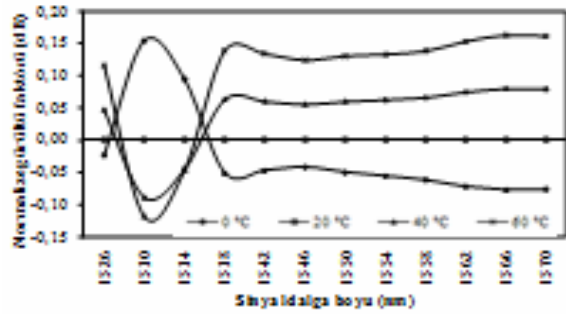
Şekil 7. -30 dBm sinyal gücü ve 1480 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişimi (The spectral variation of noise figure for the different temperatures for -30 dBm signal power and 1480 nm pump laser)

### 3. DENEYSEL DÜZENEK VE ÖLÇÜM SONUÇLARI (EXPERIMENTAL SETUP AND MEASUREMENT RESULTS)

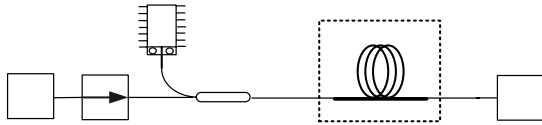
Şekil 11'de kurulacak deneysel düzeneğin şematik gösterimi, Şekil 13'de ise deney düzeneği görülmektedir. Burada TLS ayarlanabilir lazer kaynağının, OSA ise optik spektrum analizörünün kısaltmasıdır. Deney düzeneğinde OSA olarak Anritsu MS9710B ve



**Şekil 10.** -20 dBm sinyal gücü ve 980 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişimi (The spectral variation of noise figure for the different temperatures for -20 dBm signal power and 980 nm pump laser)



**Şekil 10.** -30 dBm sinyal gücü ve 1480 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişiminin 20 °C için normalize eğrileri (Normalized curves of the spectral variation of noise figure for the different temperatures for 20 °C, for -30 dBm signal power, and 1480 nm pump laser)



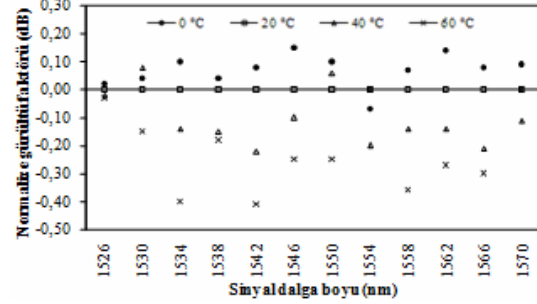
**Şekil 10.** EDFA şematik diyagramı (The EDFA schematic diagram)

TLS olarak Santec TLS210V kullanılmıştır. Gürültü değerleri, OSA'nın optik yükselteç test menüsünde 0,07 nm çözünürlük ve spektrum bölmeli gürültü ölçme metodu ile ölçülmüştür.

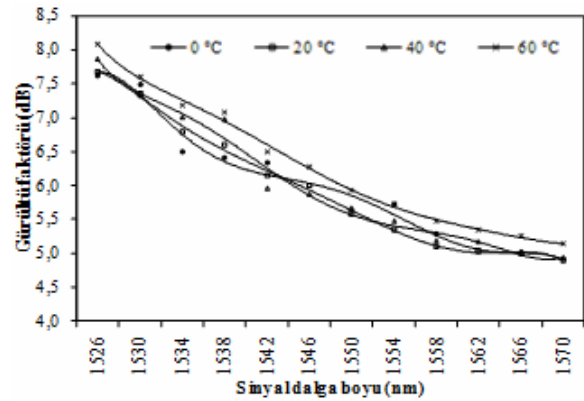
Şekil 12'de 980 nm pompa lazeri ve -20 dBm sinyal gücü için gürültü faktörünün sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Düşük dalga boylarında artan gürültü faktörü dalga boyu yükseldikçe düşmektedir. Simülasyondaki gibi belli bir sıcaklık değerinin etkin olduğu dalga boyu değeri deneysel olarak görülmemiştir. Fakat gürültü faktörünün sıcaklıkla değişimi incelendiğinde en büyük değişimin 0,50 dB olduğu

görülmektedir. Bu değişim Şekil 14'de daha net olarak görülmektedir.

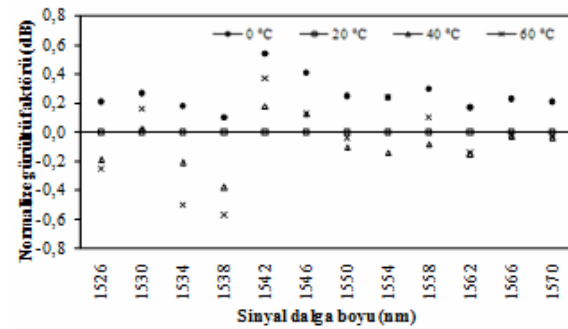
Şekil 15 ve 16'da ise bir önceki düzeneğin -30 dBm sinyal gücü için tekrarlanmış şekilleri görülmektedir. Bu şekillerden görüleceği üzere, gürültü faktörleri artmış ve sıcaklığa bağlı en büyük değişim 0,68 dB olmuştur.



**Şekil 13.** -20 dBm sinyal gücü ve 980 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişiminin 20 °C için normalize eğrileri (Normalized curves of the spectral variation of noise figure for the different temperatures for 20 °C for -20 dBm signal power and 980 nm pump laser)



**Şekil 13.** -30 dBm sinyal gücü ve 980 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişimi (The spectral variation of noise figure for the different temperatures for -30 dBm signal power and 980 nm pump laser)



**Şekil 13.** -30 dBm sinyal gücü ve 980 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişiminin 20 °C için normalize eğrileri (Normalized curves of the spectral variation of noise figure for the different temperatures for 20 °C, -30 dBm signal power, and 980 nm pump laser)



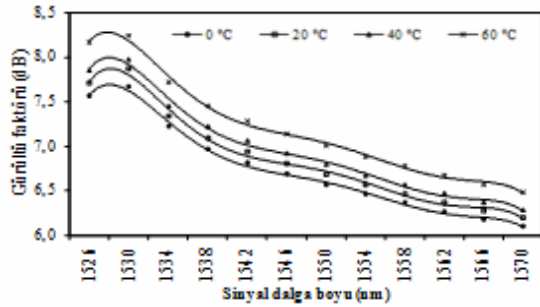
Şekil 16. EDFA deney düzeneği (EDFA experimental setup)

Şekil 17 ve 18'de 1480 nm pompa lazeri ve -20 dBm sinyal güçleri için deneyler tekrarlanmıştır. Gürültü faktörü değerleri 980 nm dalga boyu için elde edilenlerle karşılaştırıldığında yükselmiştir. Aynı zamanda tüm dalga boylarında 0 °C'de elde edilen gürültü faktörü değerleri simülasyonda olduğu gibi en düşük değerlerdir. İncelenen sıcaklık aralığında gürültü faktörlerindeki en büyük değişim ise 0,65 dB'ye yükselmiştir.

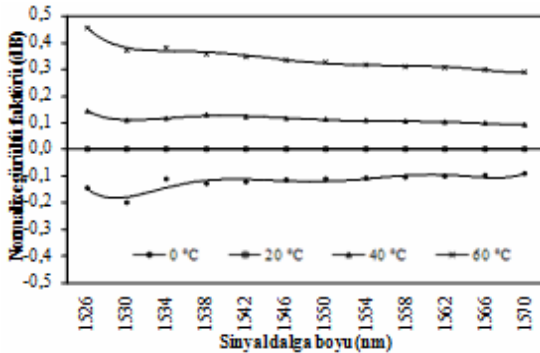
Şekil 19 ve 20'de ise bir önceki düzenekte sinyal gücü -30 dBm'e düşürülmüş ve deney tekrarlanmıştır. Bu durumda 0°C'deki gürültü faktörü değerleri tüm dalga

boylarında en düşük değerleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Gürültü faktörlerindeki en büyük değişim ise 0,78 dB olmuştur.

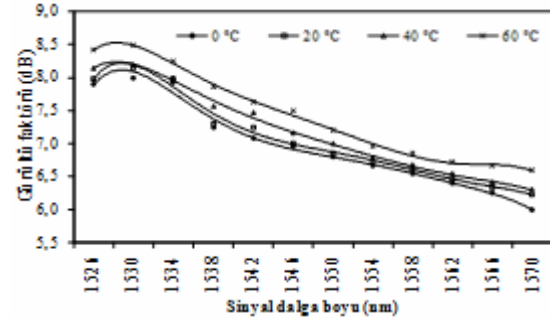
Şekil 21'de ise daha önce ayrı ayrı analiz edilen simülasyon ve deney sonuçları 20°C'de, -20 dBm'lik sinyal gücü uygulanmış EDFA için karşılaştırılmıştır. 980 ve 1480 nm pompa lazerleri için simülasyon ve deney sonuçları bu grafikte birleştirilmiştir. Şekil 21'de görüleceği üzere simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında ek noktalarında mod alan yarıçapından kaynaklanan farklar görülmektedir. 980



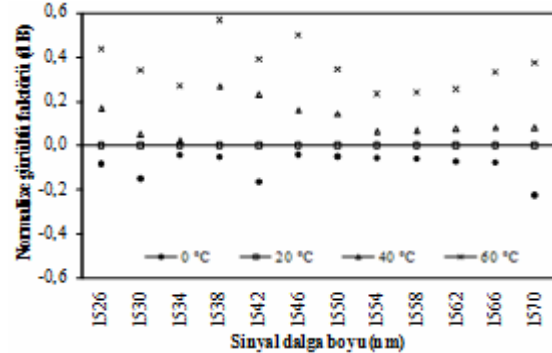
Şekil 15. -20 dBm sinyal gücü ve 1480 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişimi (The spectral variation of noise figure for the different temperatures for -20 dBm signal power and 1480 nm pump laser)



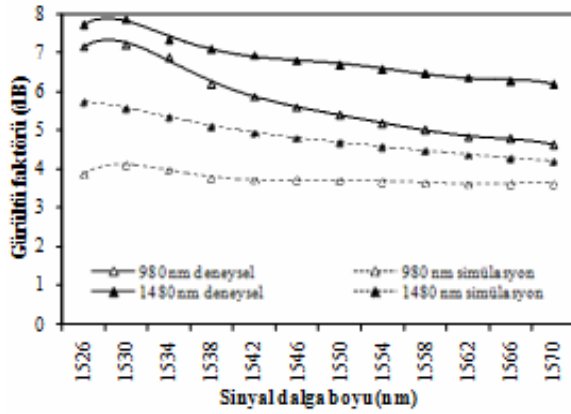
Şekil 15. -20 dBm sinyal gücü ve 1480 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişiminin 20 °C için normalize eğrileri (Normalized curves of the spectral variation of noise figure for the different temperatures for 20 °C, -20 dBm signal power, and 1480 nm pump laser)



Şekil 18. -30 dBm sinyal gücü ve 1480 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişimi (The spectral variation of noise figure for the different temperatures for -30 dBm signal power and 1480 nm pump laser)



Şekil 18. -30 dBm sinyal gücü ve 1480 nm pompa lazeri için gürültü faktörünün farklı sıcaklıklar için dalga boyuna bağlı değişiminin 20 °C için normalize eğrileri (Normalized curves of the spectral variation of noise figure for the different temperatures for 20 °C, -30 dBm signal power, and 1480 nm pump laser)



Şekil 19. 20°C'de -20 dBm giriş sinyal gücü için tüm sonuçların karşılaştırılması (Comparison of overall results for -20 dBm input signal power at the 20°C)

nm pompa lazeri kullanıldığında 1480 nm pompa lazerine göre dalga boyuna bağlı olarak 1-2 dB civarında daha düşük ve düz bir gürültü faktörü elde edilmiştir. Bunun nedeni, 980 nm pompa dalga boyunun sıcaklığa bağımlı pompa yayılım kesitinin 1480 nm pompa dalga boyuna göre daha düz olmasıdır.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada, EDFA'nın sıcaklığa bağımlı gürültü faktörlerindeki en büyük değişim simülasyon ortamında ve deneysel olarak incelenmiştir.

Öncelikle, simülasyon düzeneği kurularak C bandı boyunca EDFA'nın gürültü faktörü spektrumu, 980 ve 1480 nm pompa dalga boyları ve -20/-30 dBm sinyal güçleri için 0°C, 20°C, 40°C ve 60°C için analiz edilmiştir. Bu simülasyonlarda genel olarak, düşük dalga boylarındaki yüksek olan gürültü faktörünün, dalga boyu yükseldikçe düştüğü gözlemlenmiştir. -20 dBm giriş gücü ve 980 nm pompa lazeri için sıcaklığa bağımlı gürültü faktörlerindeki en büyük değişim, incelenen sıcaklık aralığında 0,069 dB iken, -30 dBm giriş sinyal gücü için bu değer 0,28 dB'ye yükselmiştir. 1480 nm pompa lazeri için simülasyonlar tekrarlandığında, tüm dalga boylarındaki gürültü faktörü değerlerinin 980 nm'ye göre 1-2 dB arttığı görülmüştür. Gürültü faktörlerindeki en büyük değişim -20 dBm sinyal gücü için 0,43 dB'ye yükselirken, -30 dBm sinyal gücü için ise 0,27 dB'ye düşmüştür.

Daha sonra, deneysel olarak tüm düzeneklerde sıcaklığa bağımlı gürültü değişimi gözlemlenmiştir. 980 nm pompa lazeri ve -20 dBm sinyal gücü için gürültü faktörlerindeki en büyük değişim 0,50 dB iken, -30 dBm sinyal gücü için bu değer 0,68 dB'ye yükselmiştir. 1480 nm pompa lazeri için deneyler tekrarlandığında gürültü faktörlerindeki en büyük değişim -20 dBm sinyal gücü için 0,65 dB'ye, -30 dBm sinyal gücü için ise 0,78 dB'ye çıkmıştır.

Gürültü faktörü değerleri incelendiğinde, 980 nm pompa dalga boyunda sıcaklığa bağımlı değişimin, hem simülasyon hem de deneysel sonuçlarda çok düşük olduğu (0,1-0,5 dB) görülmektedir. 1480 nm dalga boyu için bu değişim 0,78 dB'ye kadar yükselmiştir.

Sonuç olarak, EDFA C bandında sıcaklıktan en az etkilenecek şekilde çalıştırılmak istenirse, 980 nm dalga boyunda pompalanmalı ve -20 dB veya daha üstünde bir giriş sinyal gücü uygulanmalıdır.

### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma 07/2009-26 ve 35/2009-03 nolu projeler kapsamında Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Gazi Üniversitesine ve deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi öğretim üyesi Doç. Dr. Ahmet ALTUNCU'ya teşekkür ederiz.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Yamada, M., Shimizu, M., Horiguchi, M., Okayasu, M., "Temperature Dependence of Signal Gain in Er<sup>3+</sup>-Doped Optical Fiber Amplifiers", **IEEE J. Quantum Electron.**, 28(3), 640-649, 1992.
2. Bolshtyansky, M., Wysocki, P., Conti, N., "Model of Temperature Dependence for Gain Shape of Erbium-Doped Fiber Amplifier", **IEEE J. Lightwave Tech.**, 18(11), 1533-1540, 2000.
3. Kemtchou, J., Duhamel, M., Lecoy, P., "Gain Temperature Dependence of Erbium-Doped Silica and Fluoride Fiber Amplifiers in Multichannel Wavelength-Multiplexed Transmission Systems", **IEEE J. Lightwave Tech.**, 15(11), 2083-2090, 1997.
4. Yücel, M., Goktas, H.H., "Determination of Minimum Temperature Coefficient of C Band EDFA", **Journal of Applied Sciences**, 8(23), 4464-4467, 2008.
5. McCumber, D. E., "Einstein Relations Connecting Broadband Emission and Absorption Spectra", **Physical Review**, 136(4A), 954-957, 1964.
6. Miniscalco, W. J., "Erbium-Doped Glasses for Fiber Amplifiers at 1500 nm", **IEEE J. Lightwave Tech.**, 9(2), 234-250, 1991.
7. Ko, P.K.Y., Demokan, M. S., "Distributed Temperature Sensing with Erbium-Doped Fiber Amplifiers", **IEEE J. Lightwave Tech.**, 14(10), 2236-2245, 1996.
8. Kagi, N., Oyobe, A., Nakamura, K., "Temperature Dependence of the Gain in Erbium-Doped Fibers", **IEEE J. Lightwave Tech.**, 9(2), 261-265, 1991.
9. Flood, F.A., "Comparison of Temperature Dependence in C-Band and L-Band EDFAs", **IEEE J. Lightwave Tech.**, 19(4), 527-535, 2001.

10. Im, Y. E., Oh, K., Chang, S. H., Kim, K., DiGiovanni, D. J., "Reduction of Temperature-Dependent Gain in L-Band EDFA Using Antimony–Aluminum Codoped Silica EDF", **IEEE Photonics Technology Letters**, 17(9), 1839-1841, 2005.
11. Lee, J. H., Lee, W. J., Park, N., "Comparative Study on Temperature-Dependent Multichannel Gain and Noise Figure Distortion for 1.48- and 0.98-  $\mu$ m Pumped EDFA's", **IEEE Photonics Technology Letters**, 10(12), 1721-1723, 1998.
12. Lee, J. H., Park, N., "Reduction of Temperature-Dependent Multichannel Gain Distortion Using a Hybrid Erbium-Doped Fiber Cascade", **IEEE Photonics Technology Letters**, 10(8), 1168-1170, 1998.
13. El-Astal, A. H., Husein, A. H. M., Hamada, M. S., "The temperature dependency of EDFAs in the 1480 nm pumping configuration", **Optics Communications**, 278, 71–76, 2007.
14. Berkdemir, C., Özsoy, S., "An investigation on the temperature dependence of the relative population inversion and the gain in EDFAs by the modified rate equations", **Optics Communications**, 254, 248–255, 2005.
15. Berkdemir, C., Özsoy, S., "The temperature dependent performance analysis of EDFAs pumped at 1480 nm: A more accurate propagation equation", **Optics Express**, 13(13), 5179-5185, 2005.
16. Miniscalco, W. J., "General procedure for the analysis of  $Er^{3+}$  cross sections", **Optics Letters**, 16(4), 258-260, 1991.
17. Goktas, H.H., Yucel, M., "A fuzzy logic based device for the determination of temperature dependence of EDFAs", **Microwave and Optical Technol. Lett.**, 50(9), 2331-2334, 2008.
18. Yücel, M., Göktaş, H. H., "L Band EDFA'ların Sıcaklığa Bağımlı Fiber Boyu ve Kazancının Bulanık Mantık Kullanılarak İncelenmesi", **Akademik Bilişim 2007**, Dumlupınar Üniv., Kütahya, 31 Ocak- 2 Şubat 2007.
19. Yücel, M., Göktaş, H. H., "980 nm'de Pompalanmış C band Erbiyum Katkılı Fiber Yükseltecin Analizi", **5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)**, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs 2009.

