

Dalga Boyu Bölmeli Çoğullama Kullanan Optik Hatlarda Fiber Bragg Izgaraların Performansa Etkisinin İncelenmesi

Analyzing of the Effect of Fiber Bragg Gratings on Optical Lines Using Wavelength Division Multiplexing

Süleyman ALTINKAYNAK¹ , Veysel Gökhan BÖCEKÇİ² 

¹ Marmara Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye
² Marmara Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

Öz

Dalga boyu bölmeli Çoğullama (WDM) sistemi, kanal kapasitesini artırarak yüksek hızlı veri iletimi sağlayabilen bir fiber optik teknolojidir. Bu teknoloji ile, tek bir kablo üzerinden farklı dalga boylarında birden fazla kanal üzerinden veri iletimi sağlanabilir. Bu çalışmada, dalga boyu bölmeli çoğullama tekniği ve optik ağların sundukları üstünlükler birleştiğinde haberleşme sisteminde oluşacak veri kalitesi artışı ve veri kayıplarının önüne geçmek için Fiber Bragg Izgaraların (FBG) kullanımının performans artırmadaki etkisi incelenmiştir. Çalışmalar Optisystem programının 15 sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simüle edilen sistemlerde, hat uzunluğu 10,100 ve 200 km şeklinde seçilmiş ve veri hızı olarak ise 10,40 ve 80 Gbps değerleri kullanılmıştır. FBG uzunluk referans aralığı 2 mm ila 8 mm alınmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre, FBG kullanılması, kullanılmamasına kıyasla Bit Hata Oranı (BER) değerini yaklaşık %50 oranında azaltıp, Q-faktörü değerini yaklaşık %6 oranında arttırarak hat kalitesine olumlu yönde etki ettiği görülmüştür. Hat kalitesindeki değişimler göz diyagramları ile birlikte görsel olarak paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bit Hata Oranı, Fiber Bragg Izgara, Dalga Boyu Bölmeli Çoğullama, Q-Faktör

Abstract

The Wavelength Division Multiplexing (WDM) system is a fiber optic technology that can provide high-speed data transmission by increasing channel capacity. With this technology, data can be transmitted over a single cable over multiple channels in different wavelengths. In WDM, the information carrying capacity can be further increased by increasing the data rates per channel or the number of multiplexed channels. This is accomplished by decreasing the channel spacing to 0.2 nm and increasing the number of channels, and is described by the term dense wavelength division multiplexing (DWDM). FBG is obtained by periodically changing the refractive index in a small region of the optical fiber. The basic principle of the sensors based on FBG is to determine the variation of the reflected Bragg wavelength shift due to temperature or stress.

In this study, we analyzed the effect of using Fiber Bragg Grating (FBG) gratings to improve the data quality and the loss of data in the communication system when the wavelength division multiplexing technique and the advantages of the optical networks combine. Studies were conducted using version 15 of the Optisystem program. In the simulated systems, the line lengths are taken as 10,100 and 200 km and the data rates are 10,40 and 80 Gbps. The FBG length reference range is 2 mm to 8 mm. According to the measurement results, the use of FBG decreased the Bit Error Rate (BER) value by about 50% and increased the Q-factor value by about 6% compared to the non-using FBG. Changes in line quality are visually shared with eye diagrams.

The contribution of the FBG sensor to fiber technology has been investigated in different ways. With these investigations, it is seen that it is possible to increase the quality of data transfer rate by using FBG sensor. WDM and FBG technologies are highly open technologies to further increase data transmission speed. In today's technology, development studies are carried out to increase the data transmission rate to a higher level. Thanks to these studies, the need for increased data traffic will be reached.

Key Words: Error Rate, Fiber Bragg Grating, Wavelength Division Multiplexing, Q-Factor

I. GİRİŞ

Dalgaboyu bölmeli çoğullama (WDM), farklı sinyalleri taşımak için farklı dalga boylarında lazer ışığı kullanarak tek bir optik fiber üzerinde çoklu optik taşıyıcı sinyalleri çoğaltan bir teknolojidir. [1] Bu teknoloji ile birbirine çok yakın bir şekilde taşınan farklı dalga boylarındaki ışıklar karışmadan iletilir. Bu sayede bir seçici vasıtasıyla her kanal ayrı olarak karşı uçtan alınabilir.[2] WDM’de, bilgi taşıma kapasitesi, kanal başına veri oranlarını veya çoğullanmış kanal sayısını artırarak daha da artırılabilir. Bu olay, kanal aralığının 0.2 nm’ye kadar azaltılması ve kanal sayısının artırılması sayesinde gerçekleştirilir ve yoğun dalga boyu bölmeli çoğullama (DWDM) terimi ile tarif edilir. [3] Her bir kanal, kanallar arasında paraziti önlemek için 2,5 Gbps’den 100 Gbps’ye kadar farklı dalga boylarında bit hızıyla iletilir [4]. DWDM’deki kanal sayısı kanal aralığına bağlı olarak 128 kanala kadar ulaşabilir. Kanal aralıkları 200, 100, 50, 25 GHz olarak kullanılabilir. WDM, metro ve omurga optik ağının tasarımında ve iletilen veriler için daha fazla koruma sağlayan halka topolojisi ve örgü topolojisi gibi farklı topoloji ağında kullanılır [5]. Bu teknik, sadece ultra yüksek kapasiteli optik iletişim sistemlerinin tasarlanması için değil, aynı zamanda mevcut sistemlerin yükseltilmesi için de uygulanabilir. WDM’in 1530-1560 nm dalga boyu aralığında kullanılması daha faydalı sonuçlar sağlamaktadır. [6]. Verici ünitesindeki WDM cihazları esasen bir çoğullayıcı olarak adlandırılan bir güç birleştiricisidir. Alıcı ünitedeki cihaz bir ayrıştırıcı olarak adlandırılır ve ihmal edilebilir bir kayıp ve sinyal bozulması ile çeşitli kanalları ideal olarak ayırmalıdır. Çok sayıda kanal, çoklayıcı elemanları ile birleştirilebilir ve ayrılabilir. Çoklayıcının çıkışında, bu ışık ışınları eş-lineer hale gelir ve aynı anda bir optik fibere kolayca giriş yapabilir. Bir WDM tam tersi bir şekilde de çalışır ve çeşitli dalga boylarındaki ışık ışınlarını bir fiberden kendi kanallarına yönlendirir.[6]

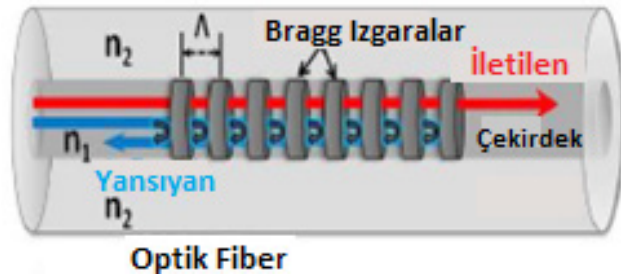
FBG, optik fiberin küçük bir bölgesinde kırılma indisinin periyodik olarak değiştirilmesiyle elde edilir. Kırılma indisindeki bu değişim; dalga boyu, yoğunluk ve ışık miktarının değiştirilmesiyle ayarlanabilmektedir [7].

FBG’ye dayanan sensörlerin temel prensibi, sıcaklık veya gerilmeye bağlı olarak yansıyan Bragg dalga boyu kaymasının değişimini belirlemektir. Bu değişimi belirlemek için aşağıdaki denklem kullanılır[8].

$$\lambda_B = 2 n_{\text{eff}} \Lambda \quad (1)$$

Denklem 1’de, Λ ızgara periyodunu belirtir. n_{eff} etkin kırılma indisini ifade eder.

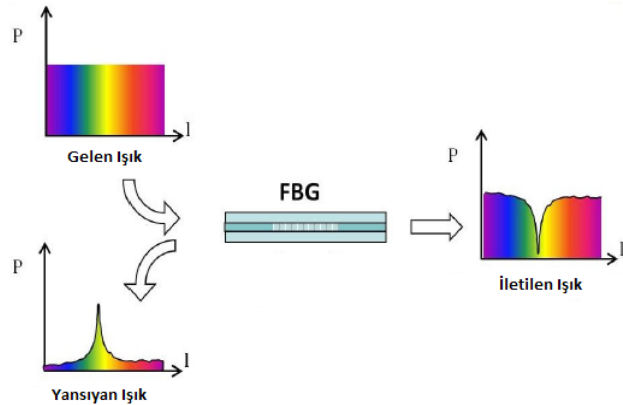
Şekil 1’de fiber Bragg ızgaranın yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1. FBG yapısı [2]

FBG, gelen ışığın dar bir bandını yansıtırken, kalan tüm dalga boylarını geçirir. Başka bir deyişle, FBG’ler, belirli bir dalga boyu için filtre gibi davranan optik fiberlerdir. [9]

Şekil 2’de fiber Bragg ızgaraların çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2. FBG prensibi [10]

Önceki çalışmalar, FBG’nin farklı kullanımlarını incelemiş ve FBG’nin farklı durumlarda (Dispersiyon Kompanzasyon Fiberi – DCF gibi) diğer kompanzasyon teknikleriyle karşılaştırıldığında daha iyi bir kompanzasyon tekniği olduğunu ortaya koymuştur [11]. Bu nedenle, bu makale, FBG’nin hat performansına nasıl etki ettiğine odaklanmakta ve FBG’nin fiber teknolojisine farklı alanları ile katkısının gösterilmesi amaçlanmaktadır.

II. FBG’NİN PERFORMANSA ETKİSİ

Fiber Bragg ızgaraların dalga boyu bölmeli çoğullama tekniğiyle fiber hat üzerinde performansa etkisini incelemek amacıyla benzetim uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalarda WDM’deki BER ve Q-faktörü değerlerindeki değişimler ile FBG’nin hat kalitesini iyileştirmeye olan katkısı incelenmiştir. Optisystem benzetim yazılımı kullanılarak 8 kanallı bir WDM sistemi kurulmuştur.

2.1 WDM'de BER ve Q-Faktör İyileştirilmesi

Herhangi bir iletişim sisteminde ana amaçlardan biri iletim mesafesini arttırmaktır. Kayıp ve dispersiyon, sinyal bozulmalarına neden olan ve yüksek-kapasiteye sahip fiber optik iletişimi etkileyen ana faktördür. Erbiyum katkılı fiber yükselteç (EDFA) 1530-1565 nm dalga bandında çalıştığı için, bu dalga bandındaki ortalama tek modlu fiber (SMF) dispersiyon değeri çok büyüktür, yaklaşık $15\text{-}20\text{ps} / (\text{nm}\cdot\text{km}^{-1})$ [12]. Dispersiyonun, bit hızı arttıkça uzun mesafe fiber optik transferleri kısıtlayan ana faktör haline geldiğini görmek kolaydır [13,14].

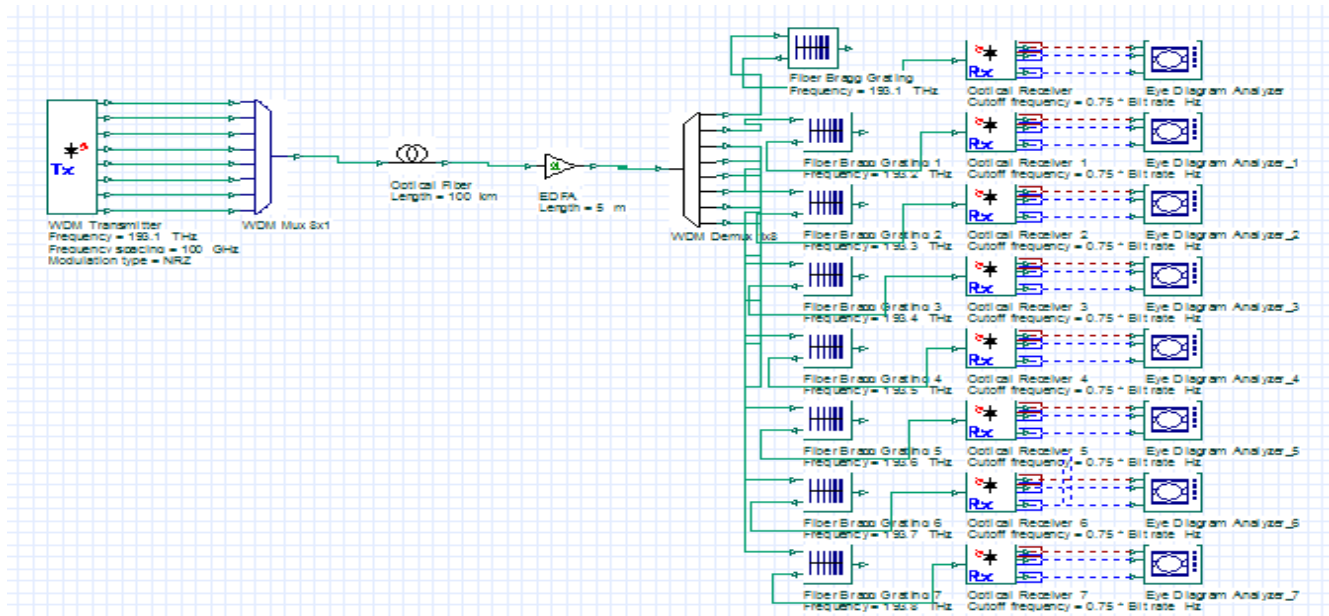
Verici tarafı, 1552,52nm'den 1546,91nm'ye kadar farklı dalga boylarında 8 kanallı WDM vericiden ve 0.8nm kanal aralığından oluşmaktadır. Kanal bit hızı, sıfıra dönüşüz 10 Gbps olarak kullanılmıştır. İletim uzunluğu NZDSF (sıfıra

dönüşüz dispersiyon kaydırmalı fiber) için 0,2 dB/Km zayıflama değerlerine sahip şekilde 100 km'dir.

Tablo 1'de benzetim ortamında kullanılan devre elemanlarının parametreleri paylaşılmıştır.

Tablo 1. Benzetim ortamı parametreleri

Parametreler	Tür	Değer	Birim
Fiber Uzunluk	NZDSF	100	km
Ref. Dalga Boyu		1550	nm
Zayıflama		0,2	dB/Km
Dağıtım Değeri		16,75	ps/nm/Km
Dağıtım Eğimi		0,075	ps/nm ² /Km
Frekans	FBG	193,1-193,8	THz
Uzunluk		2-8	mm
Uzunluk	EDFA	5	m



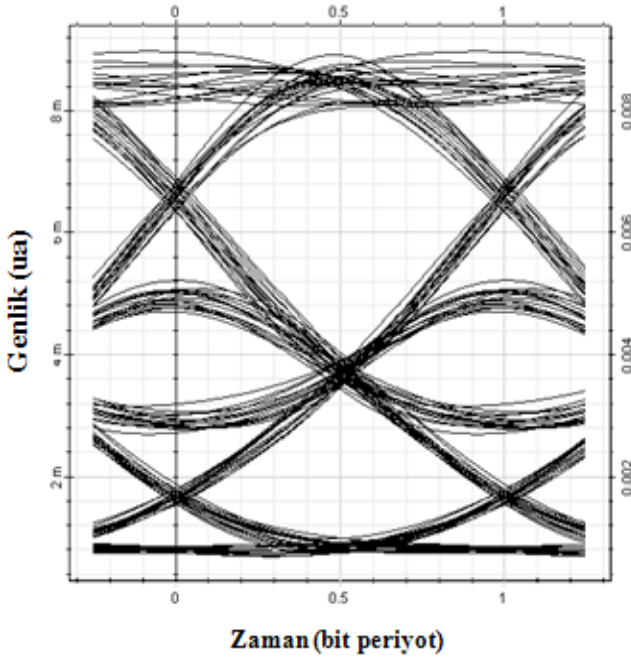
Şekil 3. Benzetim devresi

Tablo 2, 10 Gbps bit hızında FBG kullanılmadan ve FBG kullanılarak alınan BER ve Q-Faktör değerleri gösterilmektedir.

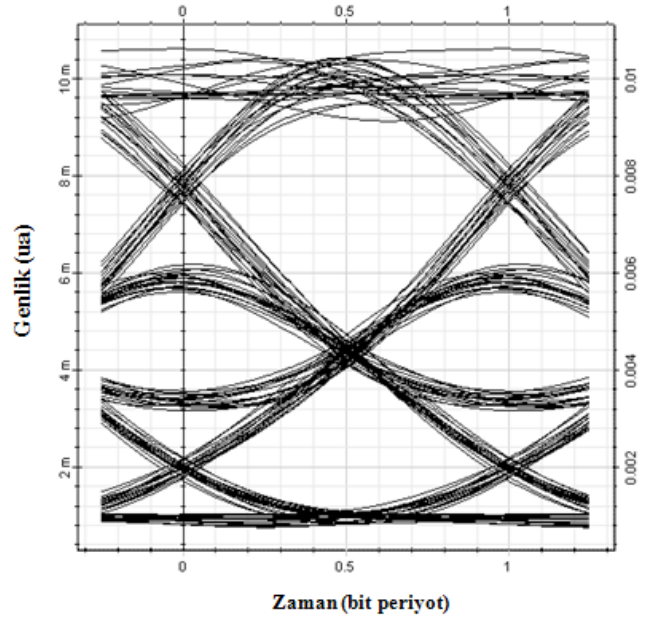
Tablo 2. Kanal 1-2 ve 6 için FBG'li/FBG'siz şekilde BER ve Q-Faktör Değerleri

Parametreler		Kanal 1	Kanal 2	Kanal 6
FBG'siz	Q Faktör	3,56304	3,50337	3,33686
	BER (10^{-6})	176,172	225,88	420,215
FBG'li	Q Faktör	3,66454	3,57923	3,49534
	BER (10^{-6})	115,693	168,024	230,954

Optik vericideki sinyalde yüksek Q-faktör ile düşük BER değerleri bulunur fakat kablo mesafesi arttıkça bu değerlerde değişimler yaşanmaya ve baştaki değerler tersine dönmeye başlar. Bu, sinyal kalitesinin bozulmasına ve dispersiyona neden olur. FBG, BER değerini azaltmak için Q-faktörü değerini artırır. Böylece, hattın kalitesi artırılmakta ve dispersiyon engellenmektedir. Tablo 2'deki referans FBG uzunluğu 2 mm'dir.



Şekil 4. Kanal 2 için FBG'li şekilde göz diyagram görüntüsü



Şekil 5. Kanal 2 için FBG'siz şekilde göz diyagram görüntüsü

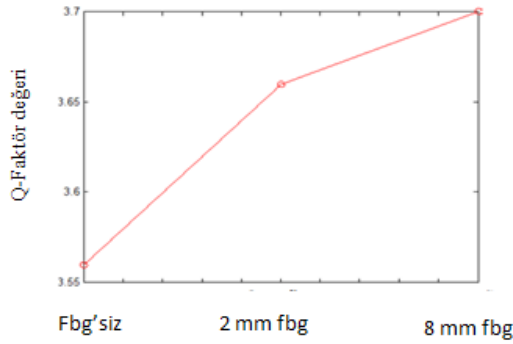
Kanal 2'nin FBG ile göz diyagramı Şekil 4'de, FBG kullanılmadan göz diyagramı ise Şekil 5'de gösterilmektedir.

Tablo 2 ve Şekil 4, 2 mm'lik FBG uzunluğunu kullanmıştır. Tablo 3'de görüldüğü gibi, FBG uzunluğunun artırılması, hat kalitesinin artırılmasında olumlu bir etkiye sahiptir ve değerler daha iyi hale gelmektedir. Tablo 3'de, FBG'nin değerleri, FBG'nin uzunluğuna göre karşılaştırılmaktadır. FBG uzunluğunun artması hat kalitesinin daha da iyileşmesini sağlamaktadır.

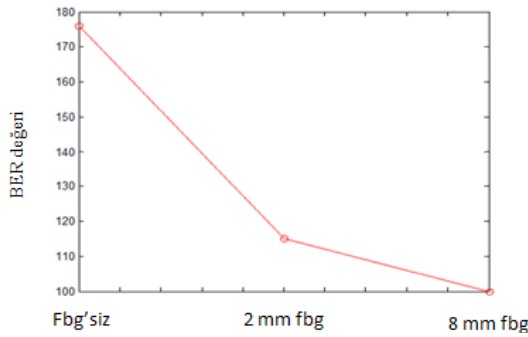
Tablo 3. Kanal 1-2 ve 6 için farklı FBG uzunluklarındaki BER ve Q-faktör değerleri

Parametreler		Q Faktör	BER (10^{-6})
2 mm FBG	CH1	3,66454	115,693
	CH2	3,57923	168,024
	CH6	3,49534	230,954
8 mm FBG	CH1	3,70116	100,307
	CH2	3,67485	115,007
	CH6	3,5307	199,755

Tablo 2, WDM hattında FBG kullanımının hat kalitesini artırdığını göstermektedir. FBG'nin uzunluğunun artırılması, hattın kalitesini daha da artırarak olumlu bir etkiye sahiptir. Daha önce FBG kullanılarak artırılmış olan hat kalitesi, FBG uzunluğunun Tablo 3'deki değerler ile birlikte daha da iyileştirilmiştir.



Şekil 6. Kanal 1 için q-faktör değerleri



Şekil 7. Kanal 1 için BER değerleri

Şekil 6 ve 7, FBG uzunluğu ile Q-faktörü ve BER değişimini göstermektedir. Her iki şekil de Matlab programında oluşturulmuştur. FBG uzunluğunun artması, Q-faktörü değerinin artıp, BER değerinin azalmasını sağlamıştır. Bu, hat kalitesi için istenen bir durumdur.

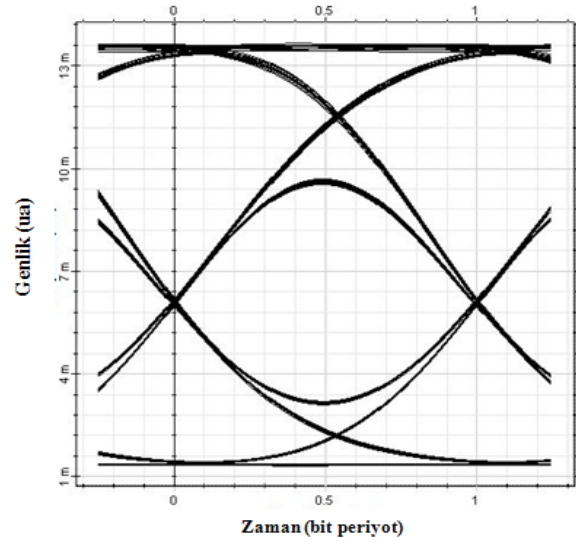
Hat kalitesini etkileyen bir diğer etkenlerden biri de kullanılan hattın uzunluğudur. Hat mesafesi arttıkça sinyal gücünün zayıflamaya başlamasından dolayı kalite düşmektedir. Bu da sinyalin Q-faktör ve BER değerlerinde değişime neden olmaktadır. Mesafe artışının hat kalitesine olumsuz olarak etki etmesinden dolayı sinyalin Q-faktör değerlerinde azalma, BER değerlerinde ise artma olması beklenmektedir. Oluşturulan benzetim ortamında farklı mesafe uzunluklarında hat değerleri alınarak Tablo 4'de gösterilmiştir. Kanal hızı 10 Gpbs olarak alınmıştır.

Tablo 4. Kanal 2 için farklı hat uzunluklarında BER ve Q-faktör değerleri

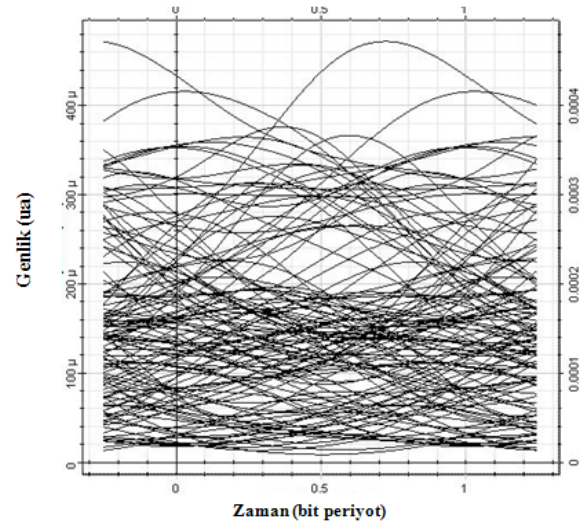
Parametreler		10 Km	100 Km	200 Km
FBG'siz	Q Faktör	4,68189	3,50337	2,06189
	BER (10^{-6})	1,3	225,88	17620
FBG'li	Q Faktör	4,93606	3,57923	2,22814
	BER (10^{-6})	0,36	168,024	11716

Tablo 4'de hat mesafesi arttıkça hat kalitesini bozucu nitelikte Q-faktör değerlerinde azalma, BER değerlerinde artma görülmüştür. Bu da daha önce paylaşıldığı üzere öngörülen şekilde bir durumdur. Diğer bir nokta ise FBG kullanımının mesafe arttıkça bozulma eğiliminde olan değerlerin kalitenin artırılması anlamında olumlu bir katkı yaptığı yönündedir. FBG kullanılmadan önceki değerlere kıyasla daha iyi hat değerlerinin oluşmasını sağlamaktadır.

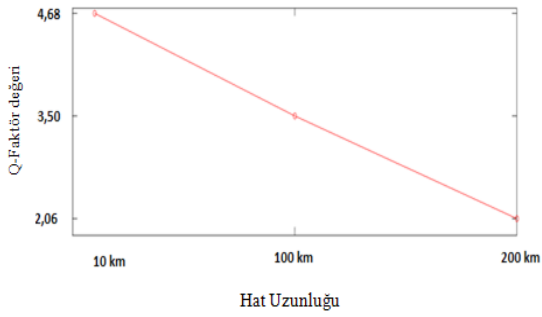
Şekil 8 ve 9'ta 10 kilometre ve 200 kilometre mesafelerde oluşmuş olan göz diyagramları paylaşılmıştır. Şekillerde sinyaldeki bozulma açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 8. Kanal 2 için 10 Km hat uzunluğunda alınan FBG'li göz diyagram görüntüsü



Şekil 9. Kanal 2 için 200 Km hat uzunluğunda alınan FBG'li göz diyagram görüntüsü



Şekil 10. Kanal 2 için farklı mesafelerde Q-Faktör değerleri

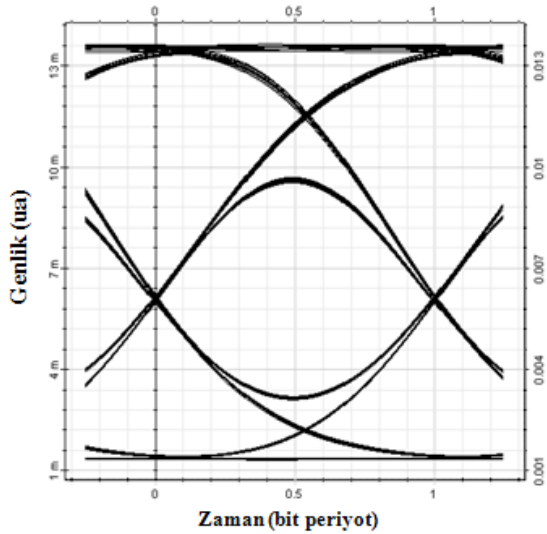
Şekil 10'da 10,100 ve 200 km gibi farklı uzunluklarda Q-faktör değerinde meydana gelen değişimin grafiği paylaşılmıştır.

Tablo 5. Kanal 2 için farklı kanal hızlarında BER ve Q-faktör değerleri

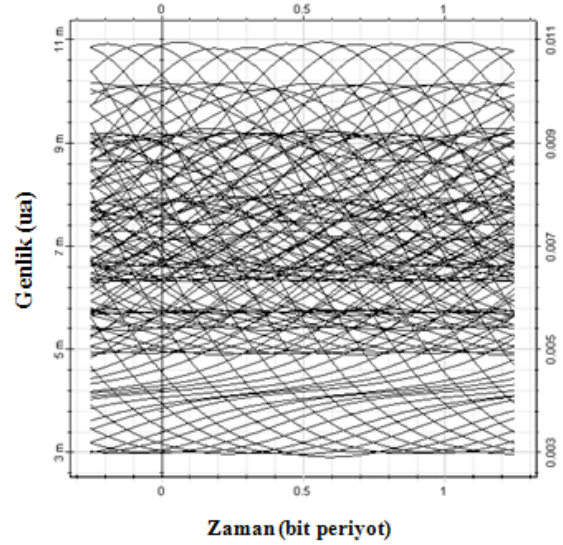
Parametreler		10 Gbps	40 Gbps	80 Gbps
FBG'siz	Q Faktör	4,68189	2,8402	2,06088
	BER (10^{-6})	1,3	2226,61	18.853
FBG'li	Q Faktör	4,93606	2,8430	2,16043
	BER (10^{-6})	0,36	2208,5	14.944

Tablo 5'de farklı kanal hızlarında oluşan Q-faktör ve BER değerleri verilmiştir. Kanal hızı arttıkça hat kalitesinde bozucu bir etki yaratmaktadır. Karşılaştırılan kanal hızları arasında en sağlıklı değerler 10 Gbps'te alınmıştır. Değerler 10 km mesafe için alınmış değerlerdir.

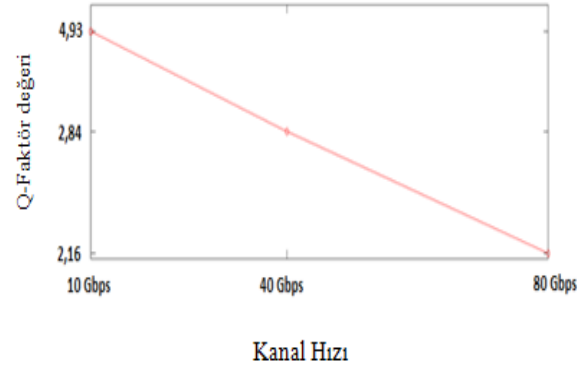
Şekil 11 ve 12'te 10 Gbps ve 80 Gbps kanal hızlarında oluşmuş olan göz diyagramları paylaşılmıştır.



Şekil 11. Kanal 2 için 10 Gbps kanal hızında alınan FBG'li göz diyagram görüntüsü



Şekil 12. Kanal 2 için 80 Gbps kanal hızında alınan FBG'li göz diyagram görüntüsü



Şekil 13. Kanal 2 için farklı kanal hızlarında Q-Faktör değerleri

Şekil 13'de 10,40 ve 80 Gbps gibi farklı kanal hızlarında Q-faktör değerinde meydana gelen değişimin grafiği paylaşılmıştır.

III. SONUÇ

Bu çalışmada, dalga boyu bölmeli çoğullama tekniği ve optik ağların sundukları üstünlükler birleştiğinde haberleşme sisteminde oluşan veri kalitesi ve veri kayıplarının önüne geçmek için fiber Bragg ızgaralarının kullanımının performans artırmadaki etkisi incelenmiştir.

İncelemeler için gerçekleştirilen devre düzeneklerinde, 1552,52nm'den 1546,91nm'ye kadar farklı dalga boylarında 8 kanal kapasitesine sahip, kanal aralığı 0,8nm olan WDM sistemi kullanılmıştır. Bu sistemin kanal bit hızı 10,40 ve 80

Gbps olarak üç farklı hızda kullanılarak gözlemlenmiştir. Fiber kablo uzunluğu ise 10,100 ve 200 km olarak alınmış ve bu uzunluklarda oluşan hat değerleri gözlemlenerek yorumlanmıştır. Kullanılan bu farklı hat uzunlukları ve kanal hızlarıyla hat üzerindeki performans değerleri tespit edilerek, hat mesafesi ve kanal hızı gibi parametrelerin hat performansına nasıl bir etki ettiği tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen bu ölçüm sonuçlarına göre ise WDM hattında FBG kullanımının, BER değerini düşürerek Q faktörünü artırdığı, böylelikle de hat kalitesine olumlu olarak etki ederek kaliteyi yükselttiği görülmüştür. Hat kalitesinin yükseltilmesi, veri iletiminin daha yüksek olması açısından önemli bir noktadır. Bu nedenle FBG'nin hat kalitesi ve sağlığı bakımından önemli bir bileşen olduğu görülmüştür.

Kanal hızlarının da veri iletimine etkisi incelenerek 10,40 ve 80 Gbps hızlarındaki hat kalitesi değerleri incelenmiştir. Simülasyon sonuçları incelemesine göre, 10 Gbps hızında stabil veri iletiminin gerçekleştirildiği, üst hızlara çıkıldığında ise hat kalitesinde bozulmalar meydana gelmeye başladığı görülmüştür. Günümüz teknolojisinde stabil şekilde veri iletim hızının daha üst seviyelere çıkarılmasıyla ilgili geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu yöndeki gelişmeler fiber alanında ar-ge çalışması yürüten şirketler tarafından sürdürülmektedir. Bu çalışmalar sayesinde artan veri trafiği ihtiyacına cevap verilebilir bir duruma gelinmiş olacaktır.

Hat performansı incelemesinde FBG sensörünün fiber teknolojisine katkısı farklı yollarla incelenmiştir. Bu incelemeler ile FBG sensöründen faydalanılarak veri aktarım hızı ile kalitesinin daha da artırılabilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Veri iletim hızının daha da artırılabilmesi konusunda WDM ve FBG teknolojileri gelişime son derece açık teknolojilerdir.

KAYNAKLAR

- [1] Singh, S., Gupta, N., Shukla, R. P., Sharma, A., & Singh, D. U. (2012). Simulation of full duplex data transmission in ROF system using Optisystem. *International Journal Of Electronics And Computer Science Engineering (IJECSE)*, ISSN: 2277-1956, 1(03), 916-924.
- [2] Akyıldız, E. (2013). WDM'in temelleri ve dispersiyon analizi. Msc. Thesis, Süleyman Demirel University, Isparta, Turkey.
- [3] Panda, T., Mishra, R. K., Shikarwar, S., & Ray, P., (2017). Performance Analysis and Comparison of Dispersion Compensation using FBG and DCF in DWDM System. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, IJRASET*, Volume5, Issue 12. ISSN:2321-9653.
- [4] DeCusatis, C., & DeCusatis, C. J. S. (2010). *Fiber optic essentials*. Elsevier.
- [5] Alcatel-lucent WDM Technology (2011) issue 1.
- [6] Jasim, H. (2005). Optical communication system based on wavelength division multiplexing technique. PhD.Thesis, University of Baghdad.
- [7] Coskun S., (2009). Sıcaklık ve EKG Takibi için Fiber Optik Izgara Sensör Ağı Tasarımı. MSc. Thesis, Ege University, Izmir, Turkey.
- [8] Dziuda, L., Fusiek, G., Niewczas, P., Burt, G. M., & McDonald, J. R. (2007). Laboratory evaluation of the hybrid fiber-optic current sensor. *Sensors and Actuators A: Physical*, 136(1), 184-190.
- [9] Olowo, O. O., & Abdulkareem, A. (2017). Modelling and Analysis of Powerline Temperature Surveillance with Optisystem Simulation. *The International Journal of Engineering and Science, IJES*, 6(8).
- [10] Das, S., & Zahir, E. (2014). Performance enhancement of radio over multimode fiber system using fiber Bragg grating for micro and pico cell applications. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(7), 718-722.
- [11] Devra, S., & Singh, K. (2016). Performance Evaluation of DCF and FBG in a WDM System with Eighth Channels in Term of Quality Factor, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, IJESRT*, 5, ISSN: 2277-9655
- [12] Dallaali, M. A., & Premaratne, M. (2007). Power and dispersion constrained optimization of optical links with unequally-spaced repeater modules. *Optical Fiber Technology*, 13(4), 309-317.
- [13] Hu, B. N., Jing, W., Wei, W., & Zhao, R. M. (2010, July). Analysis on Dispersion Compensation with DCF based on Optisystem. In *Industrial and Information Systems (IIS), 2010 2nd International Conference on (Vol. 2, pp. 40-43)*. IEEE.
- [14] Zou, X. Y., Hayee, M. I., Hwang, S. M., & Willner, A. E. (1996). Limitations in 10 Gb/s WDM optical-fiber transmission when using a variety of fiber types to manage dispersion and nonlinearities. *Journal of lightwave technology*, 14(6), 1144-1152.