

Optik Haberleşme Sistemlerinde Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama Teknikleri ve Uygulamaları

Mustafa Budak, N. Özlem Ünverdi
Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
İstanbul
f0510028@std.yildiz.edu.tr, unverdi@yildiz.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, kanal sayısının ve erbiyum katkılı fiber kuvvetlendiricinin (EDFA, Erbium Doped Fiber Amplifier) dalgaboyu bölmeli çoğullama sistemi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Amaca uygun optik haberleşme sistemleri, OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile kurularak analiz edilmiştir. İlk test sisteminde, elektriksel işaret, optik işaret şekline dönüştürülerek iletilmiş ve alıcıda elektriksel şekle dönüştürüldükten sonra bit hata oranı (BER, Bit Error Rate) analiziyle karşılaştırılmıştır. Optik haberleşmede, iletim hattı uzunluğunun artırılmasında kuvvetlendiricilerin önemli bir rol oynaması nedeniyle ikinci test düzeneğinde, erbiyum katkılı kuvvetlendirici kullanılmıştır. Kanal sayısı ve EDFA'nın uzunluğuna göre kuvvetlendirme karakteristiğinin değiştiği belirlenmiştir.

1. Giriş

Optik haberleşme sistemleri, kanal kapasitesinin büyüklüğü, kaybının azlığı, var olan sistemlerle uyumlu çalışabilmesi ve veri hızının yüksekliği gibi avantajları nedeniyle gün gittikçe yaygınlaşmaktadır. Artan kullanıcı sayısı ve veri hızına olan talep, optik haberleşmenin önemli bir çözüm yolu olduğunu göstermiştir.

Dünyada bilgiye hızlı bir şekilde ulaşma isteği ve bunun doğal bir sonucu olarak daha hızlı haberleşme sistemlerine olan ihtiyaç artmıştır. Bu durum karşısında iki seçenek sunulmuştur. Birinci seçenek, fiber optik kablo ağının genişletilmesidir. Bu işlem, maliyetlidir ve sorunu tam olarak çözmemektedir. Diğer seçenek ise iletim hattı üzerindeki taşıma kapasitesinin artırılmasıdır; bu şekilde çoğullama teknikleri, optik transmisyon literatürüne girmiştir. 1990'lı yılların başından itibaren kullanıma sunulan dalgaboyu bölmeli çoğullama mekanizması, yaygın şekilde sistemlerde yer almaya devam etmektedir. Yüksek kapasiteli hatlarda, tek bir kullanıcının, hattın band genişliğinin küçük bir bölümünü kullandığı düşünüldüğünde, diğer kısımların boşuna harcandığı açıkça görülmektedir. Birden çok kullanıcının aynı kanalı kullanması, kullanıcı başına düşen maliyeti azaltmaktadır. Var olan ortamı daha etkin kullanma isteği, çoğullama tekniklerinin kullanımını gündeme getirmektedir.

Bu çalışmada, optik haberleşme sistemlerinde kullanılan çoğullama teknikleri arasında yer alan dalgaboyu bölmeli çoğullama tekniği incelenmiştir. Çalışmanın 2. Bölümü'nde, dalgaboyu bölmeli çoğullama tekniğinin temel özellikleri açıklanmış ve 3. Bölüm'de, OptiSystem 7.0 simülasyon programı kullanılarak konuyla ilgili uygulamalar yapılmıştır. 4. Bölüm'de, elde edilen sonuçlar yorumlanarak değerlendirilmiştir.

2. Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama

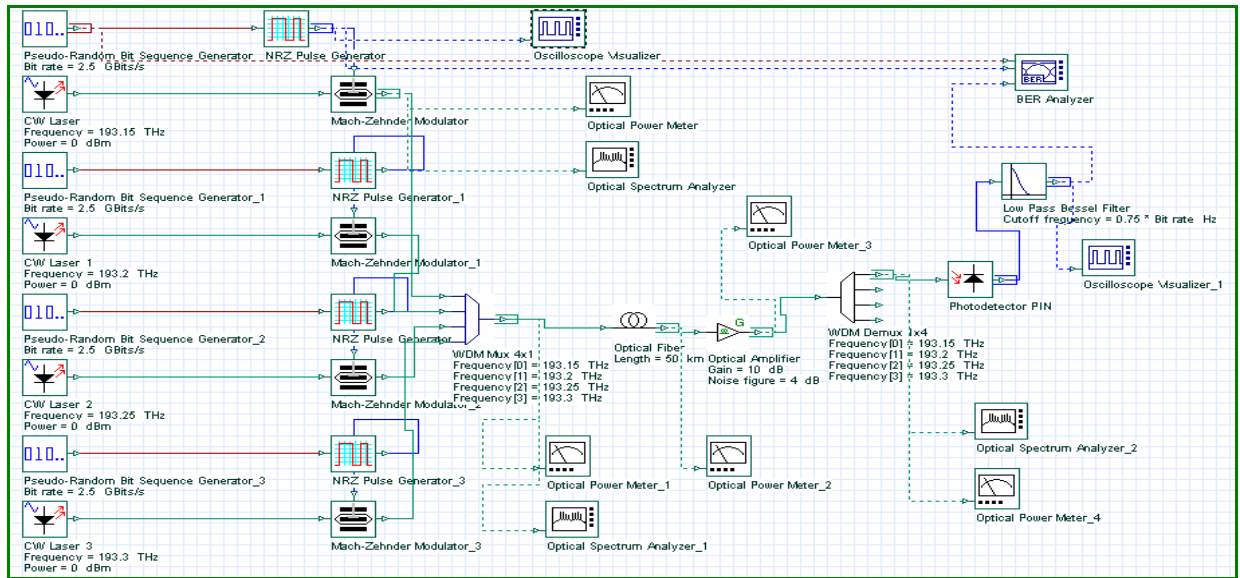
Verinin yüksek hızla gönderilmesi için optik haberleşme sistemlerinde çoğullama teknikleri üzerinde çalışılmaktadır. Çoğullama teknikleri, zaman bölmeli çoğullama (TDM, Time Division Multiplexing), frekans bölmeli çoğullama (FDM, Frequency Division Multiplexing) ve kod bölmeli çoğullama (CDM, Code Division Multiplexing) olarak alt dallara ayrılır. TDM tekniğinde, birden fazla işaret zaman domeninde ayrı hâle getirilir. Ayırıştırma işlemi, bit veya çerçeve seviyesinde yapılır. Zaman dilimlerinde işaret kaynakları arasında geçiş sağlanır. Tüm zaman dilimlerinde veri iletimi gerçekleşmez. CDM tekniğinde, tüm band genişliği ve zaman domeninde işaretler kodlanarak gönderilir. Kullanılmayan band genişliği mevcut olup istenilen verimin alınmasında kodlama ve kod çözme donanımlarının etkisi de mevcuttur. FDM tekniğinde, mevcut olan band genişliği parçalara ayrılır ve her bir parça bir işarete tahsis edilir. Her işaret, farklı bir taşıyıcı ile modüle edilir ve koruma bandı ile işaretlerin arasında örtüşme önlenir. Bu tekniğin özel bir hâli olan dalgaboyu bölmeli çoğullama (WDM, Wavelength Division Multiplexing), optik haberleşmede kullanılır. Farklı dalgaboylarına sahip olan işaretler, aynı optik yol üzerinden taşınır.

Dalgaboyu bölmeli çoğullama mekanizmaları, şehirlerin ya da ülkelerin iletişiminin sağlanması amacıyla tasarlanmıştır ve çok yüksek hızlı veri iletişimi için kullanılır. WDM sistemler tasarlanırken kanal sayısı, iletilen güç, fiber karakteristiği ve uzunluğu gibi parametrelerin doğrusal olmayan (nonlinear) olaylar üzerindeki etkilerinin göz önünde bulundurulması gerekir [1].

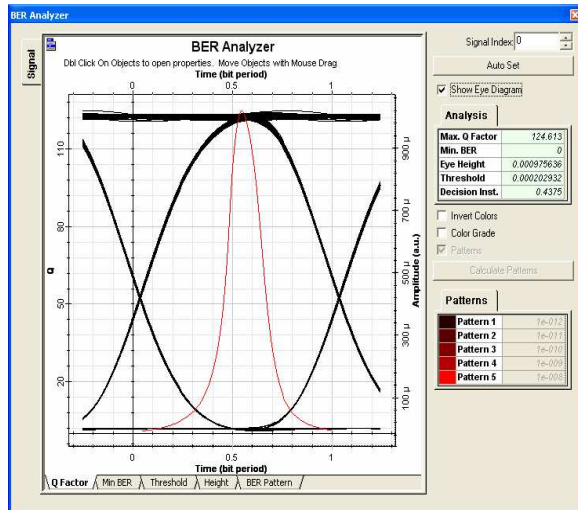
3. Optik WDM Sistemleri Uygulamaları

Şekil 1’de görülen OptiSystem 7.0 simülasyon programı üzerinde kurulan birinci test düzeneğinde, üreteç, istenilen sıklıkta rastgele 0 ve 1’lerden oluşan bit üretmektedir. Bu oluşan veri, NRZ (Non-Return to Zero, Sıfıra Dönüşsüz) darbe üretici tarafından oluşturulan darbeler ile çarpılarak 2.5 Gbit/s hızında elektriksel işaret elde edilmektedir. Elektriksel işaret, Mach – Zehnder modülatörünün giriş kapılarında birine bağlanmakta ve diğer bir giriş kapısı da CW (Continuous Wave, Sürekli Dalga) lazer ile beslenmektedir. CW lazerin gücü 0 dBm’dir. Bu şekilde dört tane transponder oluşturulmuştur. CW lazerlerin frekans değerleri, 193.15, 193.2, 193.25 ve 193.3 THz’dir. Modülatör çıkışları, 4x1 WDM çoğullayıcı (multiplexer, mux) aracılığıyla tek bir kanaldan iletilmektedir. Optik fiber boyunca ilerleyen optik sinyal, yükselteçle kuvvetlendirilmektedir. 1x4 WDM dağıtıcı (demultiplexer, demux) ile alınan işaret, tekrar dört kola ayrılmakta ve fotodedektör pin ile optik sinyal elektriksel sinyale dönüştürülmektedir. Bessel alçak geçiren filtre ile istenilen bölge elde edilmektedir. Alıcıdan gönderilen elektriksel sinyal ile vericiden alınan elektriksel sinyal karşılaştırılarak bit hata oranı belirlenmektedir.

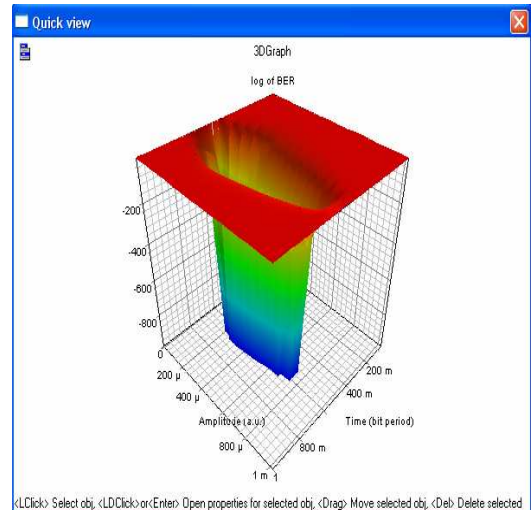
Uygulamada, WDM çoğullayıcı çıkışı, optik işaretin spektrumu ve gücü incelenmiştir. Amaç, WDM dağıtıcı girişine kadar olan bozulmaların ve yoldaki kaybın göz önüne alınarak sinyalin aynı spektrum ve güçte ulaştırılmasıdır. Dağıtıcı sonrasında sinyalin, tekrar ayrılması, alıcı tarafından elektriksel sinyale çevrilmesi ve alçak geçiren filtreden geçirilerek gönderilen elektriksel sinyal ile alınan elektriksel sinyalin aynı spektrum ve güçte olması amaçlanmaktadır. Söz konusu olan iki sinyalin, meydana gelen kayıplar nedeniyle tamamen aynı olması mümkün olmamakla birlikte büyük oranda aynı olduğu görülmüştür.



Şekil 1. Tasarlanan birinci test sistemi.



Şekil 2. İki boyutlu bit hata oranı diyagramı.



Şekil 3. Üç boyutlu bit hata oranı diyagramı.

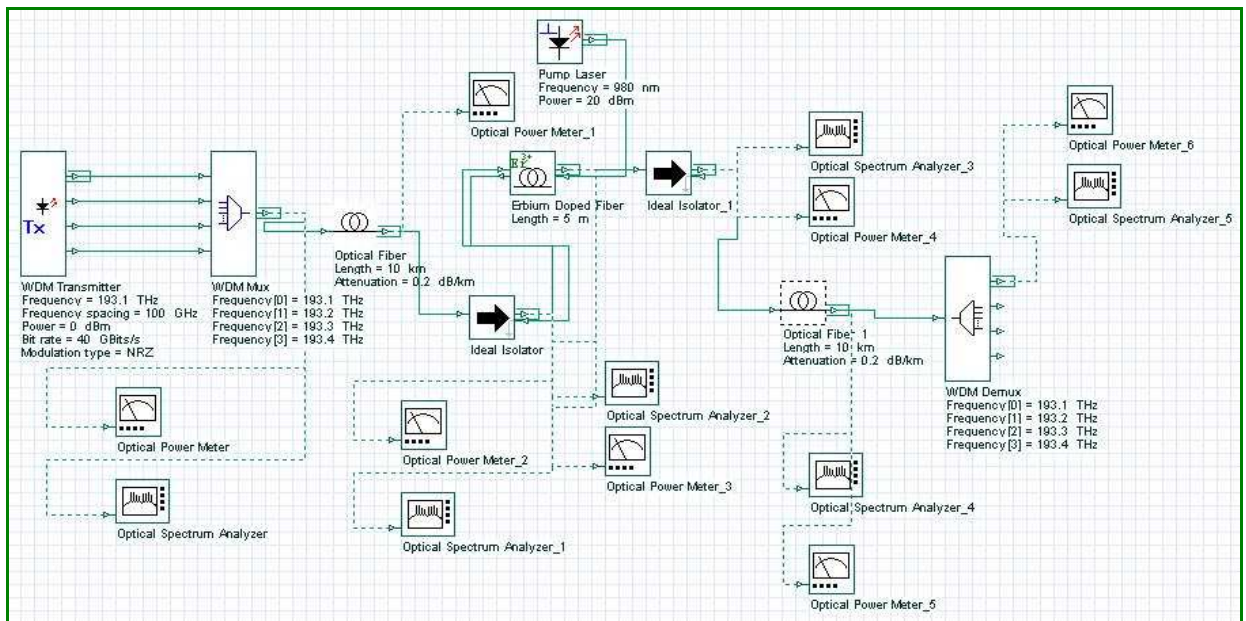
Bit hata oranı, gönderilen veri çerçevesi içerisindeki bozulan ya da yanlış alınan bit oranını ifade eder ve gönderilen hatalı bit sayısının, gönderilen toplam bit sayısına oranıyla hesaplanır. Kaliteli bir iletişimde, bu oranın çok düşük olması beklenir. Şekil 2 ve Şekil 3'te iki ve üç boyutlu bit hata oranı diyagramları görülmektedir. Şekil 2'de verilen BER diyagramı olarak da isimlendirilen göz diyagramında, geniş açıklığın elde edilmesi, göz alanının büyüklüğü, kalite faktörünün aldığı değer ve deterministik jitterın azlığı ve Şekil 3'te verilen BER diyagramında logaritmik ölçekte kapsama bölgesinin darlığı, bir başka ifadeyle jitterın azlığı, bit hata oranının düşük olduğunu göstermektedir.

4 kanallı WDM ve 5 m uzunluğunda erbiyum katkılı kuvvetlendiricinin kullanıldığı Şekil 4'te yer alan ikinci test düzeneğinde, erbiyum iyonları aracılığıyla iletilecek olan veri işaretine foton eklenerek kuvvetlendirme işlemi amaçlanmıştır. Bu işlem için yüksek güçlü bir işaret gerekir. Bu işaretin, iletim işaretlerinden farklı dalgaboyunda seçilmesi, iletim işaretlerinden ayrılmasını kolaylaştırır. Erbiyum katkılı kuvvetlendiricilerin kullanımı, optik haberleşme sistemlerindeki önemli gelişmeler arasında yer alır. Erbiyum katkılı kuvvetlendirici, sistemlere büyük band genişliği imkânı verir ve WDM sistemlerde kanallar, eş zamanlı olarak kuvvetlendirilerek uzak mesafelere taşınabilir [2].

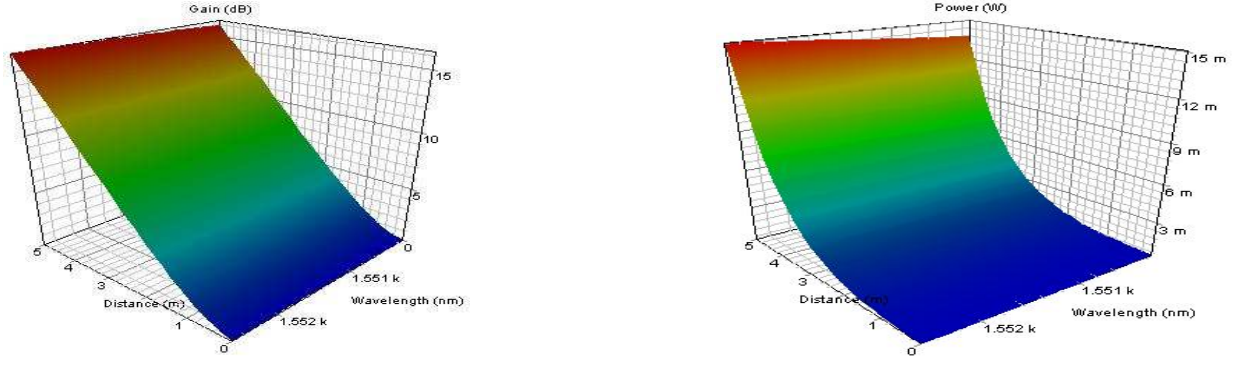
Tasarlanan sistemde, 5 m kanal uzunluğuna sahip olan EDFA için 980 nm ve 20 dBm parametrelerine sahip olan pompa lazer kuvvetlendirici kullanılmıştır. Teoriye göre erbiyum iyonlarının ortama gönderdikleri fotonlar, iletim işareti ile aynı fazlı ve frekanslıdır. Böylece gönderilecek olan veri işaretinin, foton eklenmesi sonucunda kuvvetlendirilmesi sağlanmıştır. Sistemde, EDFA kanalı için 5 m ve 40 m kanal uzunlukları için ölçümler yapılmıştır. Kanal uzunluğu, 40 m olduğu takdirde, uzunluğun sekiz kat artmasına bağlı olarak besleme işaretinin gücü, yaklaşık olarak sekiz kat artırılarak 29 dBm olarak gözlenmiştir. WDM iletimde ilk kanalın frekansı, 193.1 THz olarak seçilmiş ve diğer kanalların frekans değerleri, sırasıyla 100 GHz aralıklarla artırılmıştır. WDM tekniğinin kullanıldığı sistemlerin tasarımında, kanallar arasındaki kayıp minimum seviyede tutulmalıdır [3].

WDM dağıtıcı sonrasında optik fiber bulunduğu için WDM iletiminin gücü, 0 dBm olarak seçilmiştir. 4, 8, 16 ve 32 kanallı WDM ve 5 m'lik EDFA kullanımında, kazancın ve gücün, dalgaboyuna ve EDFA uzunluğuna göre değişimleri, sırasıyla Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi, kanal sayısının artmasıyla ileri yönde kuvvetlendirme miktarı azalmaktadır. Bunun nedeni, EDFA'nın bazı kısımlarda efektif çalışabilirken, diğer kısımlarda aynı performansı gösterememesidir. Söz konusu olan şekiller göz önüne alındığında, EDFA'nın yüksek frekanslı işaretler için daha verimsiz olduğu anlaşılmaktadır. Kanal sayısının artmasıyla frekans değeri artmakta ve kuvvetlendirme işlemi istenilen seviyeye ulaşmamaktadır.

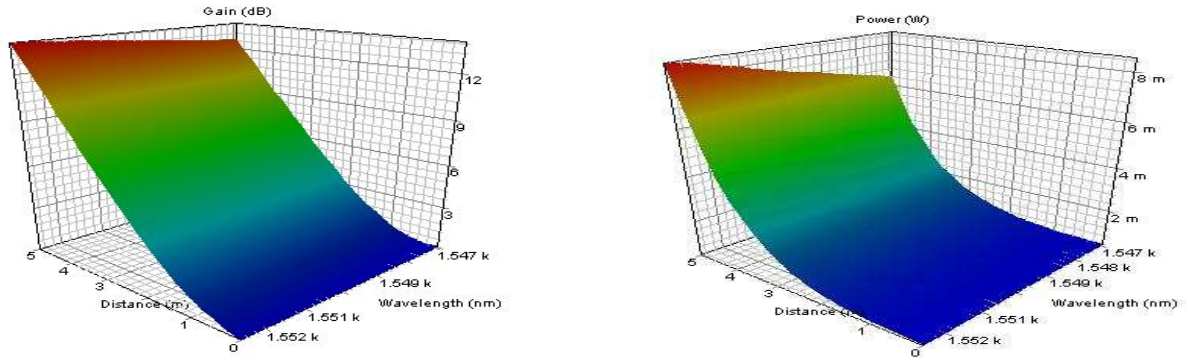
Optik fiberde yüksek güçlü işaretler taşınırken uyarılmış Raman saçılması (SRS, Stimulated Raman Scattering), uyarılmış Brillouin saçılması (SBS, Stimulated Brillouin Scattering), çapraz faz modülasyonu (XPM, Cross Phase Modulation) ve dört dalga karışımı (FWM, Four Wave Mixing) gibi doğrusal olmayan olayların, performansı olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir [4].



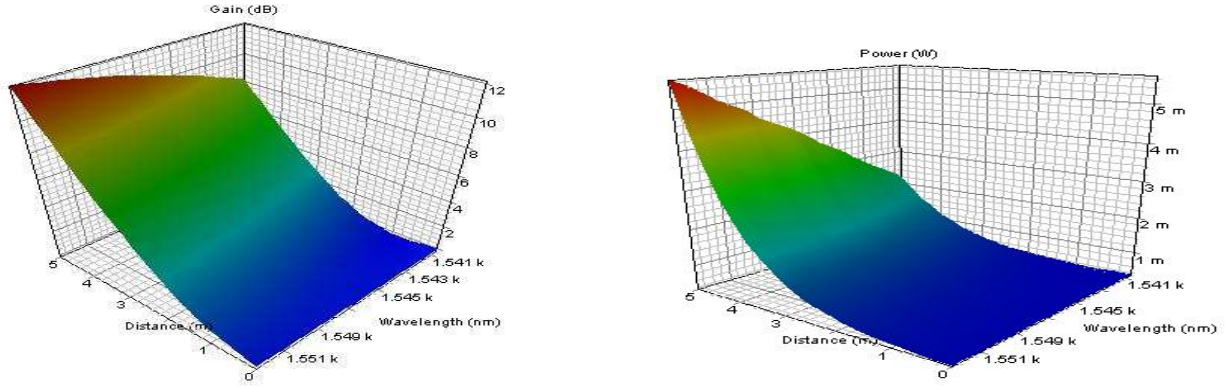
Şekil 4. 4 kanallı WDM ve 5 m uzunluğunda erbiyum katkılı kuvvetlendirici ile tasarlanan sistem.



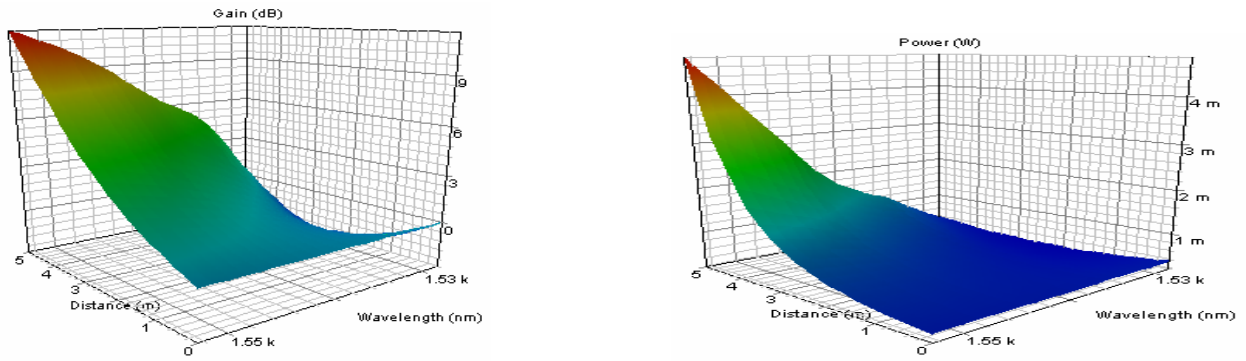
Şekil 5. 4 kanallı WDM ve 5 m EDFA için kuvvetlendirme karakteristikleri.



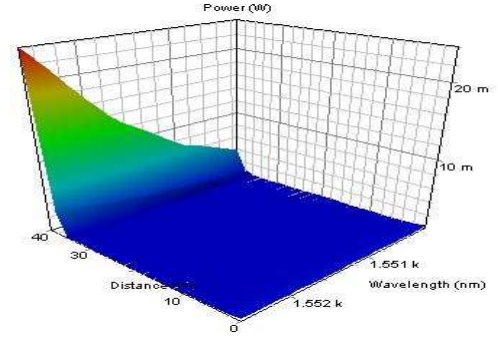
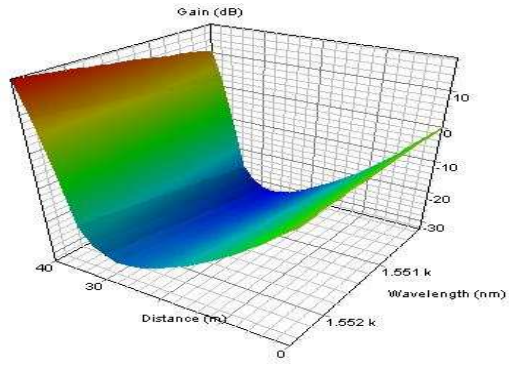
Şekil 6. 8 kanallı WDM ve 5 m EDFA için kuvvetlendirme karakteristikleri.



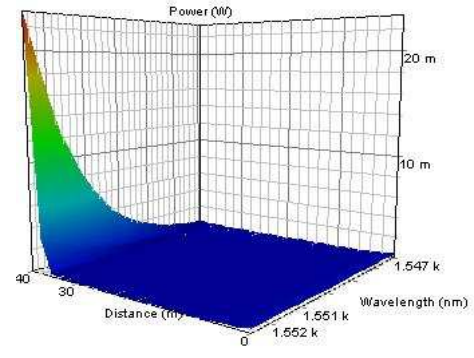
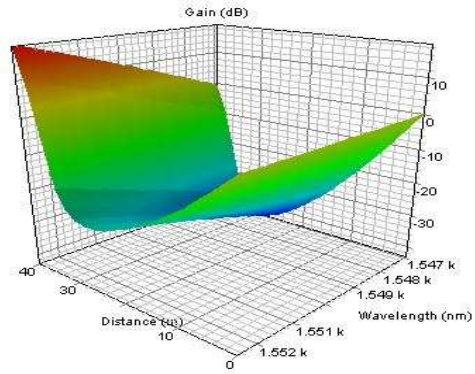
Şekil 7. 16 kanallı WDM ve 5 m EDFA için kuvvetlendirme karakteristikleri.



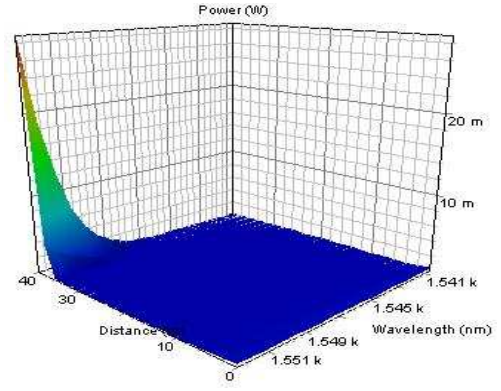
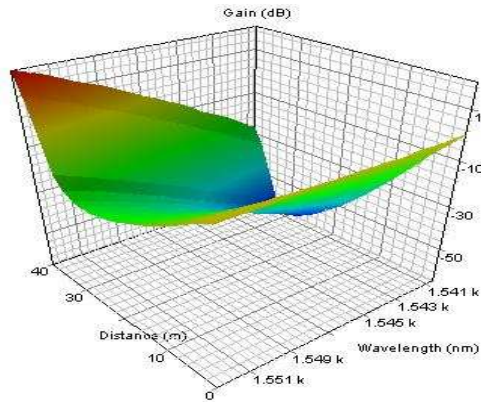
Şekil 8. 32 kanallı WDM ve 5 m EDFA için kuvvetlendirme karakteristikleri.



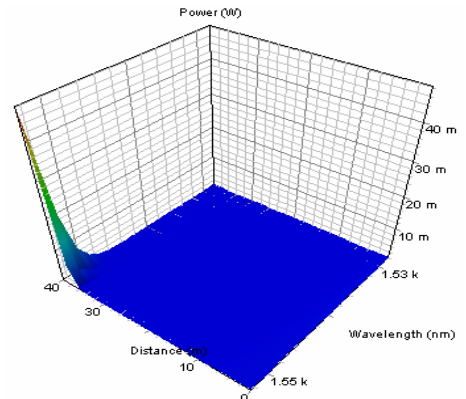
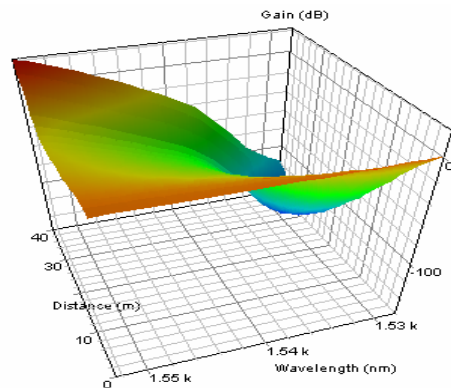
Şekil 9. 4 kanallı WDM ve 40 m EDFA için kuvvetlendirme karakteristikleri.



Şekil 10. 8 kanallı WDM ve 40 m EDFA için kuvvetlendirme karakteristikleri.



Şekil 11. 16 kanallı WDM ve 40 m EDFA için kuvvetlendirme karakteristikleri.



Şekil 12. 32 kanallı WDM ve 40 m EDFA için kuvvetlendirme karakteristikleri.

16 ve 32 kanallı WDM ve 40 m'lik EDFA kullanımında, kazancın ve gücün, dalgaboyuna ve EDFA uzunluğuna göre değişimleri, sırasıyla Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir. Fiber uzunluğu, 40 m olduğunda, yaklaşık olarak ilk 30 m için hiçbir kuvvetlendirme işlemi yapılmamıştır; ancak bu mesafeden sonra 193.1 THz ve civarındaki işaretler kuvvetlendirilebilmiştir. Daha yüksek frekanslı işaretler ise zayıflamış şekilde gözlenmiştir.

Şekil 5 ve Şekil 6'da daha sağlıklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sistemler, yukarıda bahsedilen bozucu etkilerden diğer sistemlere göre az etkilenmiştir.

4. Sonuçlar

WDM teknolojisi, günümüzde önemli bir çözüm tekniği olarak uygulanmakta ve gelişen haberleşme ağında veri iletişim hızını artırmaktadır. Gönderilen sinyalin, alıcıda bozulmadan algılanarak işaretin spektrumunun ve gücünün korunması istenmektedir. Bu nedenle, kurulan ikinci test düzeneğinde, EDFA kullanılmış ve EDFA'nın uzunluğu ile kanal sayısının kuvvetlendirme işlemi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Taşınan kanal sayısı arttıkça gözlenen bozulmalar artmış ve işaretle zayıflama görülmüştür. Ayrıca bu etkinin oluşmasında, kullanılan EDFA'nın uzunluğu da etkili olmuştur. Kuvvetlendirici uzunluğu ile kuvvetlendirme miktarının doğru orantılı olarak artmadığı görülmüştür. Fiberin uzunluğunun artmasına bağlı olarak kanallar arasındaki girişim artmış ve zayıflama meydana gelmiştir.

Kaynaklar

- [1]. Kaur G. ve Singh M. L., "Effect of four-wave mixing in WDM optical fibre systems", Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 120, s.268-273, 2009.
- [2]. Agrawal G. P., Fiber-Optic Communication Systems, Wiley-Interscience, New York, A.B.D., 2002.
- [3]. Lilley J., "Fiber optics : Slowly breaking new ground", Communications Engineering International, Vol.10, No.1, Şubat 1988.
- [4]. Agrawal G. P., Nonlinear Fiber Optics, Academic Press, New York, A.B.D., 2001.