

# DALGA BOY BÖLMELİ ÇOĞULLAMA (WDM) SİSTEMLERİNİN SİMÜLASYONUNU

Arif DOLMA, Cem Sina KALKAN  
Kocaeli Üniversitesi  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Kocaeli  
[adolma@kocaeli.edu.tr](mailto:adolma@kocaeli.edu.tr) [cem.kalkan1.08@kocaeli.edu.tr](mailto:cem.kalkan1.08@kocaeli.edu.tr)

**Özet:** Optik iletimde modülasyon formatının seçiminde dikkat edilmesi gereken faktörler vardır. Bilgi spektrumu yoğunluğu (ISD), güç payı, grup hız dağılımı (GVD), kendinden kaymalı faz modülasyonu (SPM), karşı faz modülasyonu (XPM), dört-dalga karışımı (FWM) ve uyarılmış Raman saçılması (SRS) gibi lineer olmayan etkilere karşı direnç dikkate alınmalıdır.

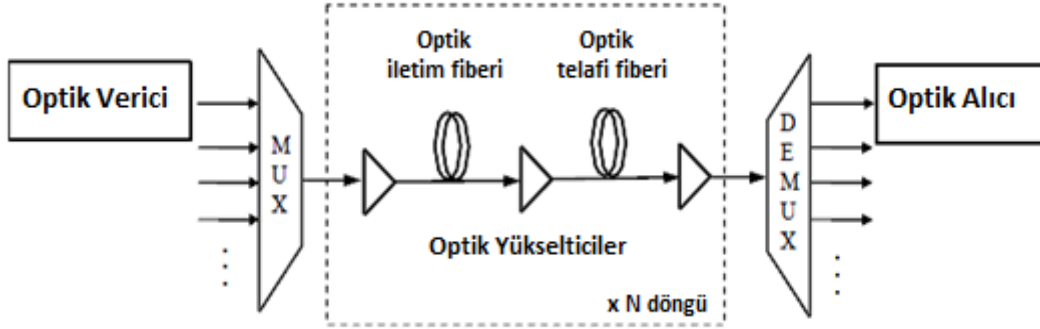
Bu çalışmada önemli modülasyon formatlarından Sıfıra Dönemeyen (NRZ), Sıfıra Dönen (RZ) ve Taşıyıcısı Bastırılmış Sıfıra Dönen (CSRZ) dalga formatları incelenecek ve optik fiber üzerinde iletim esnasında oluşan zayıflama ve kayıpları mümkün mertebede telafi edebilecek telafi yöntemleri karşılaştırılacaktır.

Belirtilen modülasyon formatlarında performans analizi yapmak için OptiSystem 7.0 simülasyon programı kullanılmıştır.

## 1.WDM SİSTEMLERİNE GİRİŞ

Bant genişliği talebinin artması çeşitli teknolojilerin gelişmesine yol açmıştır. Dalga boyu bölmeli çoğullama (WDM) kullanılarak tek bir fiber üzerinden aynı anda birçok kanal üzerinden iletim yapılabilir bu da fiber iletim kapasitesini daha da artmasını sağlar. WDM, gelen optik sinyalleri bilinen bir frekans bandı içinde ışığın belirli frekanslarına diğer bir deyişle dalga boylarına atar. Her kanal değişik frekanslarla iletildiği ve ışığın farklı renkleri bulunduğundan dolayı bu kanallar daha sonra gök kuşağı şeklinde görülür. Bir WDM sisteminde dalga boylarından her biri fiber içine gönderilir ve sinyaller alım noktasında toplanır.[1] Şekil 1’ de tipik WDM uygulamasını verilmiştir. Vericinin sonunda birbirinden bağımsız farklı dalga boylarında modüle edilmiş ışık kaynakları oluşur. Bu çıkışları tek bir fiber üzerinden iletebilmek için multiplexer kullanılır. Fiber üzerinden iletilen optik işareti işlemek ve uygun algılama kanallarına ayırmak için demultiplexer kullanılır. İletim sırasında oluşan fiber kayıplarını telafi etmek için ise yükselticiler kullanılır. Yükselticiler zayıflayan optik işareti güçlendiren yapılardır. Post-yükseltici, in-line yükseltici, ve pre-yükseltici olarak üç çeşit optik yükseltici vardır. Post- yükseltici vericiden hemen sonra kullanılır ve sinyal fiber içine gönderilmeden önce sinyali kuvvetlendirir.

Temel işlevi maksimum güç üretmektir. İn-line yükselticiler fiber içiresinde oluşan zayıflamayı ve bozulmayı telafi etmek için fiber optik bağlantının orta kısmında kullanılır. Kullanılacak in-line yükseltici sayısı fiber optik bağlantı uzunluğuna bağlıdır. Uzun mesafeli bağlantılar için genellikle her 80km ile 100 km aralığında tekrar kullanılmalıdır. Bu iki yükseltici fiber içinde oluşan fiber kayıplarını ve ek kayıpların telafi etmek için kullanılır ve genellikle kısa mesafeli iletimlerde kullanılır. Pre-yükselticiler ise sinyal alıcıya ulaşmadan hemen önce kullanılır.[2]



Şekil 1- Tipik WDM bağlantı uygulaması [2]

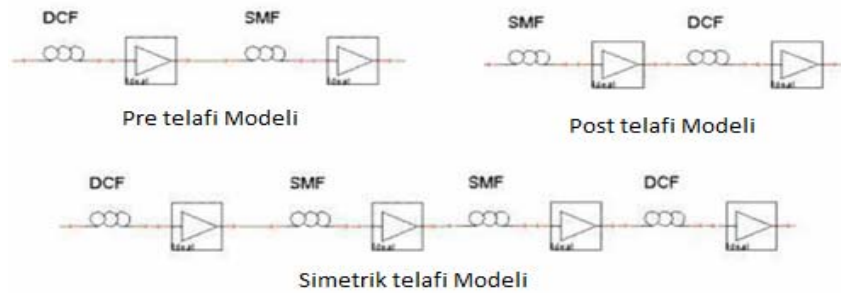
## 2.MODÜLASYON SİSTEMLERİNİN SİMÜLASYONU

İlk olarak farklı sistemler için tek kanallı inceleme yapılmıştır. 40 Gb/sn ve 10 Gb/s veri iletim oranları ayrı ayrı tüm sistemler için analiz edilmiştir. Daha sonra kanal sayısı artırılarak 8 ve 16 kanal kullanılmıştır. Bütün simülasyon modellerinde 1550nm penceresi ve tek modlu fiber kullanılmıştır. Simülasyonda kullanılan SMF(Single Mode Fiber) ve DCF(Dispersion Compensating Fiber) parametreleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1 – Simülasyonda kullanılan SMF ve DCF parametreleri

Fiber Tipi	Dispersiyon (D) [ps/nm/km]	Dispersiyon Eğimi (S) [ps/nm <sup>2</sup> /km]	Non lineer Kırılma İndisi( $n_2$ )[m <sup>2</sup> /W]	$A_{eff}$ [μm <sup>2</sup> ]	Zayıflama Katsayısı (α) [dB/km]
SMF	16	0.08	$2,6 \cdot 10^{-20}$	80	0.2
DCF	-80	0.21	$3 \cdot 10^{-20}$	30	0.6

Fiber içerisinde oluşan dispersiyonu telafi etmek için dispersiyon telafi fiberi (DCF) kullanılmıştır. Bu çalışmada üç farklı dispersiyon telafi modeli kullanılmıştır; pre- , post- ve simetrik telafi. Şekil 2’ de kullanılan 3 ayrı telafi modeli gösterilmektedir.



Şekil 2 Fiber Telafi Hattı Çeşitleri [2]

Simülasyon modellerinde her fiberden sonra oluşan kaybı telafi edebilmek için EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifiers) kullanılmıştır. EDFA fiber transmisyon sistemlerinde sık kullanılan bir yükselteçtir bunun sebebi 1550µm civarından etkili bir optik yükseltme sağlamasıdır.

DCF ten sonra oluşan kaybı dengelemek için yükseltici kullanılır. Kullanılan yükselticinin kazancı  $G$ 'dir ve (1) de verilen eşitlik ile hesaplanabilir.

$$G = \alpha_{DCF} L_{DCF} \quad (1)$$

$\alpha_{DCF}$  fiber telafi dispersiyon kaybını gösterir, ise dispersiyon telafi fiberi uzunluğunu gösterir. Oluşacak dispersiyonu telafi etmek için uygun DCF uzunluğu seçilmelidir.  $L_{DCF}$  ise (2) de verilen eşitlik ile hesaplanabilir.

$$L_{DCF} = \frac{L_{TF} D_{TF}}{-D_{DCF}} \quad (2)$$

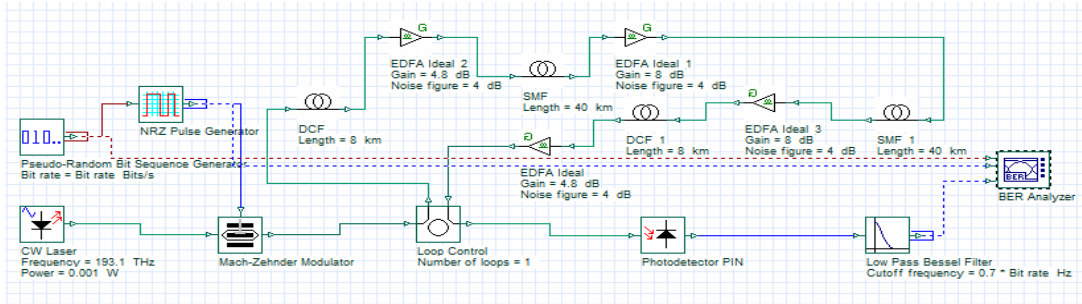
$L_{TF}$  iletim fiber uzunluğunu gösterir,  $D_{TF}$  iletim fiber dispersiyonunu,  $D_{DCF}$  ise DCF ile dispersiyonu gösterir.

SMF ten sonra oluşan kaybı dengelemek için de yükseltici kullanılır. Kullanılan yükselticinin kazancı  $G$ 'dir ve eşitlik (3) ile hesaplanabilir.

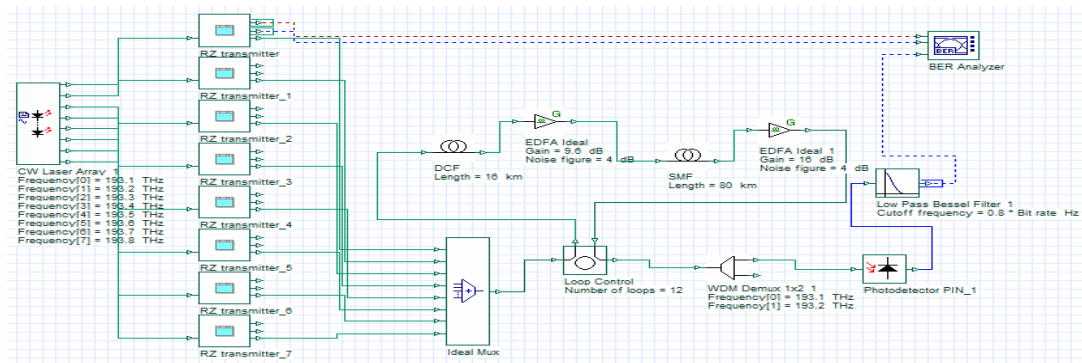
$$G = \alpha_{TF} L_{TF} \quad (3)$$

$\alpha_{TF}$  fiber dispersiyon kaybını gösterir,  $L_{TF}$  ise iletim fiber uzunluğunu gösterir. Oluşacak dispersiyonu telafi etmek için kullanılacak uygun DCF uzunluğu seçilmelidir. [3]

### 3.ÖRNEK UYGULAMALAR



Şekil 3- Tek kanal 10Gb/s iletim oranında NRZ simetrik telafi layoutu



Şekil 4- 8 kanallı 10Gb/s iletim oranında RZ modülasyon pre telafi

Şekil 3'te yapılan bu çalışmanın; 10Gb/s iletim oranında, NRZ dalga biçimi kullanılarak, tek kanal üzerinden, simetrik telafi yöntemi layoutu gösterilmektedir. Şekil 4'de ise 10Gb/s iletim oranında, RZ dalga biçimi kullanılarak, sekiz kanal üzerinden, pre telafi layoutu gösterilmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Gelişmiş modülasyon biçimleri optik sistem tasarımında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada NRZ, RZ ve CSRZ modülasyon biçimleri detaylı olarak analiz edilmiş ve OptiSystem 7.0 programı kullanılarak simülasyon yapılmış, simülasyon sonucunda elde edilen göz diyagramları incelenerek Q faktörleri üzerinde sistemlerin performansı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar 10Gb/s ve 40Gb/s iletim oranlarında ilk olarak tek kanal üzerinden daha sonra her modülasyon formatı için sekiz ve on altı kanal üzerinden yapılmıştır. Ayrıca iletim esnasında fiber iletim hattı boyunca lineer ve lineer olmayan zayıflatıcı ve bozucu etkileri telafi edebilmek için pre telafi, post telafi ve simetrik telafi yöntemleri her iki iletim oranında tek tek simüle edilmiş ve karşılaştırma yapılmıştır.

Yapılan simülasyonlar sonucunda simetrik telafi yöntemi; tepe bozunum, gürültü karşısındaki tolerans ve sıfır geçişleri açısından en başarılı sonucu vermiştir. Simetrik telafi hattı kullanılması durumunda pre telafi ve post telafi yöntemlerine göre elde edilen göz diyagramlarının daha net olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi simetrik telafi yönteminin pre ve post telafi yöntemlerinin birleşimi olarak elde edilmesidir.

Dispersiyonun sisteme olan etkisi iletim oranının 10Gb/s den 40Gb/s ye artmasıyla birlikte artmıştır. Örneğin 10Gb/s iletim oranında tek kanal üzerinden NRZ simetrik telafi yönteminde 720 km iletim mesafesinde elde edilen minimum BER  $1.304e - 156$  iken, 40Gb/s iletim oranında tek kanal üzerinden NRZ simetrik telafi yönteminde 300km mesafede elde edilen minimum BER  $1.929e - 085$  olarak hesaplanmıştır. İletim mesafesinin 720km den 300 km ye inmesine rağmen 10Gb/s iletim oranında elde edilen sonuç 40Gb/s iletim oranında elde edilen sonuçtan çok daha iyidir.

Lineer olmayan etkilerin sistem üzerindeki bozucu etkisinin kanal sayısının arttırılmasıyla arttığı gözlenmiştir. Örneğin sekiz kanal üzerinden 10Gb/s iletim oranında RZ modülasyon kullanıldığında 960km iletim mesafesinde min BER  $4.87e - 064$  iken kanal sayısı on altıya çıkarıldığında aynı mesafede min BER  $5.206e - 032$  ye çıkmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1]. Le Nguyen Binh, "MATLAB Simulink Simulation Platform for Photonic Transmission Systems", I. J. Communications, Network and System Sciences, May 2009, 2, 91-168.
- [2]. F. Feza Büyüksahin Öncel, Modulation Formats for Wavelength Division Multiplexing(WDM) Systems,2009
- [3]. Siddharth Ramachandran, Optical and Fiber Communications Reports, Fiber Based Dispersion Compensation, Volume 5, 2007.