



## TEK MODLU FİBERDE KROMATİK DİSPERSİYONUN DCF İLE KOMPANZASYONU

A. ALTUNCU\*

### Özet

Bu çalışmada, standart tek modlu fiber (S-SMF) ve sıfır olmayan dispersiyonu kaydırılmış fiberde (NZ-DSF) lineer darbe propagasyonunda oluşan kromatik dispersiyon kaynaklı darbe genişlemesinin, dispersiyon kompanzasyon fiberi (DCF) kullanılarak kompanzasyonu simülasyonla gösterilmektedir. Bu amaçla fiberde darbe propagasyonunu karakterize eden Nonlineer Schrödinger Denklemi (NLS) Matlab ortamında bölünmüş-adımlı Fourier metodu ile nümerik olarak çözülmüş ve simülasyon sonuçları 3-D ortamda grafiksel olarak görüntülenmiştir. Gerçekleştirilen simülasyonlarla tipik parametrelere sahip S-SMF ve NZ-DSF iletim fiberlerinde dispersiyon kompanzasyonu için gereken DCF'nin optimum uzunluğu bulunarak, kromatik dispersiyon nedeniyle iletim fiberinde artan darbe genişliğinin, DCF fiberinde azalarak başlangıç değerine düştüğü gösterilmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** *Fiber Optik İletişim, Dispersiyon Kompanzasyonu, Dispersiyon Kompanzasyon Fiberi (DCF).*

## 1. GİRİŞ

Optik amplifikatörlerin geliştirilmesi ile optik iletişim sistemleri için fiber kaybı ana sınırlama faktörü olmaktan çıkmıştır. Diğer taraftan yüksek bit oranlı ve uzak mesafe fiber optik haberleşme sistemlerinde etkili olan kromatik dispersiyon problemi, sistem kapasitesini ciddi ölçüde sınırlamaktadır. Standart tek modlu optik fiberde darbe iletiminde oluşan pozitif değerli kromatik dispersiyon kaynaklı darbe genişlemesi, büyük negatif dispersiyon katsayılı fiberler kullanılarak kompanze edilebilir. Bu tür fiberlere Dispersiyon Kompanzasyon Fiberleri (Dispersion Compensation Fiber-DCF) denir. Bu tür fiberler ilk olarak Dugan ve diğerleri tarafından geliştirilmiştir [1]. DCF fiberin kompanzasyon amaçlı kullanımının başlıca avantajı genişband kompanzasyon sağlaması ve bir pasif kontrol elemanı olmasıdır. Yakın zamanda yapılan çalışmalarla, iyilik faktörü  $M = 200$  ps/nm.dB olan yüksek performanslı DCF'ler üretilebilmiş [2-4] ve bu sayede çok başarılı iletim deneyleri gerçekleştirilmiştir [5,6]. Bir deneyde [5], 300 km mesafeye Teralight fiber ve DCF kullanılarak 5.12 Tbit/s hızda geniş band WDM sinyal iletimi gerçekleştirilmiştir.

## 2. TEK MODLU FİBERDE DARBE PROPAGASYONU

Tek modlu optik fiberde darbe yayınımlı Nonlinear Schrödinger Denklemi (NLS) ile tamamen karakterize edilebilir [7] :

$$\frac{\partial A}{\partial z} + \beta_1 \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{j}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} - \frac{1}{6} \beta_3 \frac{\partial^3 A}{\partial t^3} = -\frac{\alpha}{2} A + j\gamma' |A|^2 A \quad (1)$$

Burada  $A(z, t)$  fiberde ilerleyen darbenin genliğidir. Denklem (1)'in sol tarafındaki terimler frekansa bağımlı optik dalğanın propagasyon sabiti  $\beta(\omega)$ 'nin  $\omega_0$  taşıyıcı frekansı etrafında Taylor serisi açılımıyla elde edilen ve dalga yayınımlı en çok etkileyen ilk üç terimdir. Bu terimler sırasıyla ;

$$\beta_1 = \left. \frac{\partial \beta}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_0} = \frac{1}{v_g} \quad (\text{Grup Gecikmesi}) \quad (2)$$

$$\beta_2 = \left. \frac{\partial^2 \beta}{\partial \omega^2} \right|_{\omega=\omega_0} = -\frac{\lambda_0^2 D}{2\pi c} \quad (\text{Grup Hız Dispersiyonu-GVD}) \quad (3)$$

$$\beta_3 = \left. \frac{\partial^3 \beta}{\partial \omega^3} \right|_{\omega=\omega_0} = - \left( \frac{\lambda_0^2}{2\pi c} \right)^2 \left( \frac{2D}{\lambda_0} + \frac{dD}{d\lambda} \right) \quad (\text{Dispersiyon Eğimi}) \quad (4)$$

şeklindedir. Burada  $v_g$  dalganın grup hızı, D dispersiyon parametresi (ps/nm.km), c ışık hızı ve  $\lambda_0$  optik darbenin merkez dalgaboyudur. Propagasyon sabiti terimlerinden  $\beta_1$  darbe gecikmesine,  $\beta_2$  darbe genişlemesine ve  $\beta_3$  terimi ise darbe distorsiyonuna sebep olur. Denklem (1)'in sağ tarafındaki ilk terim fiberdeki zayıflama etkisini ( $\alpha$  : zayıflama katsayısı) ve son terim ise fiberdeki ışık yoğunluğuna bağlı değişen nonlineerlik etkisini ( $\gamma$ : nonlineerlik katsayısı) tanımlamaktadır. Fiberde zayıflama, darbe genliğinin z uzaklığı ile azalmasına sebep olur ve bu azalma frekansa bağımlı olduğu için dispersiyonla birlikte frekans domeninde tanımlanmalıdır. Nonlineerlik'te dispersiyon gibi fiberde iletilen optik sinyalin fazında dolayısıyla propagasyon sabitinde değişmeye yol açar. Bu değişim frekansa bağlı değildir ve zaman domeninde tanımlanabilir. Nonlineerlik nedeniyle propagasyon sabitinin değişimi optik ışık şiddetinin (veya gücün) fonksiyonu olup,

$$\delta\beta = \frac{2\pi n_2 I}{\lambda_0} = \frac{2\pi n_2}{\lambda_0 A_{eff}} P = \gamma' |A|^2 \quad (5)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada  $\gamma' = \omega_0 n_2 / c A_{eff}$  ( $\text{W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ ) nonlineerlik katsayısı,  $n_2$  nonlineer Kerr katsayısı (silika fiber için  $n_2 = 3 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ ),  $A_{eff}$  efektif alan ( $\pi w^2$ ,  $w$  spot büyüklüğü) ve I optik ışık şiddetidir. Zamanla periyodik olarak değişen darbe gücü, zamanla değişen nonlineer faz kaymasına dolayısıyla frekans çörpü yoluyla darbe spektrumunda genişlemeye neden olur (Self Faz Modülasyonu-SPM). Bu da GVD yoluyla darbe şeklinin değişmesine yol açar. Lineer darbe iletişimde, darbe bozucu etki olarak gözükürken bu olay, nonlineer darbe iletişimde pozitif dispersiyon rejiminde ( $D>0$ ) dispersiyonu kompanze etmek için karşı etki olarak kullanılabilir.

Denklem (1), darbe genişliği 5 ps ve üzeri olan optik darbelerin yayınımmı karakterize etmek için oldukça hassastır. Nonlineerlik terimi hariç tutulursa denklem (1), fiberdeki lineer darbe propagasyonunu tanımlar ve analitik olarak çözümü mümkündür. Diğer taraftan nonlineerlik terimi ile birlikte denklemin tam çözümü ancak nümerik yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Zayıflama ve dispersiyon terimleri frekansa bağımlı olduğu için darbe yayılımına etkileri frekans domeninde, diğer taraftan nonlineerlik terimi yalnız zamanla değiştiği için etkisi zaman domeninde hesaplanmalıdır. Bu işlem için kullanılan en yaygın yöntem FFT algoritmalarını kullanan Bölünmüş Adımlı Fourier Metodu [7]' dur.

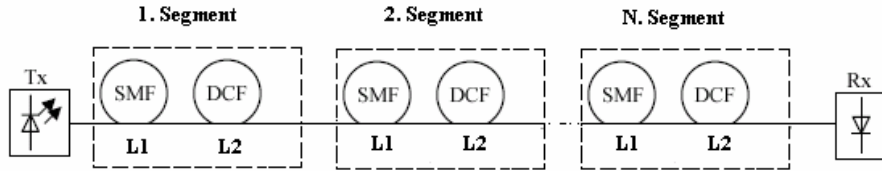
### 3. TEK MODLU FİBERDE DCF İLE DİPERSİYON KOMPAZASYONU

Tek Modlu fiberde darbe iletimi esnasında oluşan kromatik dispersiyon kaynaklı darbe genişlemesi, büyük negatif dispersiyon katsayılı kısa fiberler kullanılarak giderilebilir. Bu yöntem, DCF fiberin standart fiberden önce veya sonra konuşturulmasına göre ön-kompanzasyon veya son-kompanzasyon şeklinde adlandırılır. Şekil.1 de, bir fiber optik linkte kromatik dispersiyonun DCF fiberleri ile periyodik kompanze edilmesi (son-kompanzasyon) gösterilmektedir. Burada  $L_1$  ve  $L_2$  sırasıyla S-SMF ve DCF uzunluklarıdır.  $L$  uzunluğundaki bir link ( $L = L_1 + L_2$ ) için dispersiyon kompanzasyon şartı,

$$D_1L_1 + D_2L_2 = 0 \quad (6)$$

denklemleri ile verilebilir. Burada  $D_j$  ( $j = 1, 2$ ),  $L_j$  uzunluğundaki fiber parçasının kromatik dispersiyon parametresidir.  $D_1 > 0$  olan S-SMF'de oluşan dispersiyonun kompanzasyonu için (1550 nm de tipik S-SMF dispersiyonu  $D_1 = 17$  ps/nm<sup>2</sup> ve dispersiyon eğimi  $S = 0,07$  ps/nm<sup>2</sup>-km'dir.), kullanılacak negatif dispersiyon katsayılı DCF fiberin optimum uzunluğu şu şekilde seçilmelidir :

$$L_2 = -(D_1/D_2)L_1 \quad (7)$$



Şekil 1. Bir Fiber Optik Linkte Kromatik Dispersiyonun DCF ile Kompanze Edilmesi. (Son-Kompanzasyon)

Uygulamada DCF fiber kaybının ve maliyetinin S-SMF 'ye göre daha yüksek olması nedeniyle, DCF uzunluğu ( $L_2$ ) mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır. S-SMF ve DCF'den oluşan bir fiber linkin toplam zayıflatması :

$$Loss(dB) = \alpha_1L_1 + \alpha_2L_2 = \left( \alpha_1 + \frac{D_1}{|D_2|/\alpha_2} \right) L_1 \quad (8)$$

Burada  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  sırasıyla S-SMF ve DCF 'nin zayıflatma katsayılarıdır. DCF fiberde dispersiyonun zayıflatma katsayısına oranı bir performans ölçüsüdür ve İyilik Faktörü (M) olarak tanımlanır :

$$M = \frac{|D_2|}{\alpha_2} \quad (\text{ps/nm.dB}) \quad (9)$$

Standart tek modlu fibere göre daha küçük öz yarıçaplı ve daha büyük indis farkına sahip olarak üretilen DCF'lerin başlıca dezavantajı, yüksek seviyede germanyumla katkılama nedeniyle oluşan nispeten yüksek değerlerde soğurum ve bükülme kayıplarıdır (0.35-0.70 dB/km). Ayrıca yaklaşık olarak 10.5  $\mu\text{m}$  mod alan çapına sahip S-SMF ile 4 – 6  $\mu\text{m}$  arasında değişen mod alan çapına sahip DCF'nin eklenmesi de önemli bir ek kaybına neden olur. Bunun dışında S-SMF'e göre çok daha küçük efektif öz alanı nedeniyle nonlineer etkiler DCF'de daha yüksektir. Fiber linkteki toplam iletim kaybını ve nonlineer etkileri minimumda tutmak için DCF fiber uzunluğu, toplam link uzunluğunun %10'undan küçük tutulmalıdır. Link kayıplarını kompanze etmek için uzun linklerde genellikle DCF fiberi ile S-SMF arasında optik yükseltme yapılır. DCF ile genişband kompanzasyon için, DCF fiberin uygun değerde bir negatif dispersiyon eğimine de sahip olması gerekmektedir.

#### 4. SİMÜLASYON YÖNTEMİ

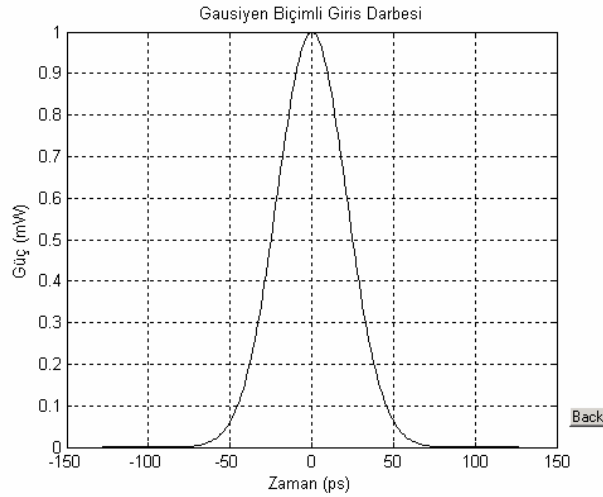
Bu çalışmada, verilen L1 uzunluğundaki S-SMF ve denklem (7) ile bulunan L2 uzunluğundaki DCF segmentlerinden oluşan farklı fiber optik linklerde Gausiyen darbe yayınında DCF dispersiyon kompanzasyonu 3-D ortamda simülasyonla gösterilmiştir. Simülasyon, (1)'de verilen NLS denkleminin uygun fiber parametreleriyle birlikte MATLAB ortamında nümerik yöntemlerle hesaplanmasını kapsamaktadır [8]. Simülasyonda kullanılan giriş darbesi, çörlenmiş ideal gausiyen biçimli darbe olup

$$A(0,t) = A_0 \exp \left[ -\frac{1+iC}{2} \left( \frac{t}{T_0} \right)^2 \right] \quad (10)$$

formundadır. Burada  $A_0$  darbe genliğinin tepe değeri olup ışık şiddeti veya darbenin tepe gücü ile normalize edilebilir (  $I = P_0 / A_{eff} = |A_0|^2 / A_{eff}$  ).  $T_0$  Gausiyen darbenin tepe ışık şiddetinin 1/e 'ye düştüğü yarı genişliktir ve darbenin yarı maksimum güçteki tam genişliği (FWHM) ile bağıntılıdır :

$$T_{FWHM} \approx 1.665 \cdot T_0 \quad (11)$$

C parametresi darbeye bindirilen lineer frekans çörpünü (frequency chirp) ifade eder. Frekans çörpü, doğrudan modüledi lazerlerde modülasyon işlemi ile optik sinyalin merkez frekansının zamanla değişmesi dolayısıyla modüledi işaretin spektrumunun genişlemesi şeklinde ortaya çıkar ve dispersiyon gibi iletim performansını sınırlayan başka bir faktördür. Bu simülasyonda DCF'nin kompanzasyon etkisini daha net görebilmek için, giriş darbelerinin çörpüzsüz olduğu kabul edilmiştir. Diğer taraftan S-SMF'e göre nisbeten yüksek olan DCF'nin nonlineerlik parametresi nedeniyle, simülasyonda nonlineerlik terimi de hesaba katılmıştır.



Şekil 2. Gausiyen Biçimli Giriş Darbesi : Tepe Gücü  $P_0 = 1\text{mW}$ , Darbe Genişliği  $T_{FWHM} = 50\text{ ps}$  ( 20 Gbit/s NRZ Veri Hızı).

Şekil 2 simülasyonda kullanılan Gausiyen biçimli giriş darbesini göstermektedir. Fiber linkin girişindeki Gausiyen darbelerin FWHM genişliği 50 ps olup NRZ sinyalleşme formatı için 20 Gbit/s iletişim hızına karşılık gelir. Fiber girişindeki darbe tepe gücü  $P_0 = 1\text{ mW}$  olarak alınmış olup bu değerde nonlineer etkiler oldukça düşük seviyededir.

## 5. SİMÜLASYON SONUÇLARI

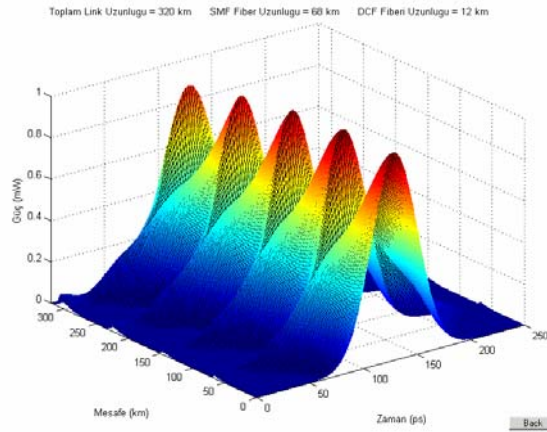
Bu çalışmada farklı uzunluk ve segment konfigürasyonlarına sahip beş ayrı linkte dispersiyonun DCF ile kompanzasyonu simülasyonla gösterilmiştir. Tablo 1, beş farklı optik link için kullanılan standart ve DCF fiber parametrelerini göstermektedir. A-D linkleri 80 km uzunlukta, E Linki ise 50 km uzunlukta segmentlerden oluşmaktadır. Her bir segmentte standart fiber ve kompanzasyon için yeterli uzunlukta DCF fiberi bulunmaktadır. D Linkinde kullanılan iletim fiberi Sıfır Olmayan Dispersiyon Kaydırılmış Fiber (NZ-DSF), diğer linklerde ise Standart Tek Modlu Fiber (S-SMF) türündedir. Simülasyonda 1 km lik adımlar kullanılmıştır.

Tablo 1. Beş Farklı Optik Link Konfigürasyonu İçin Standart Fiber ve DCF Fiber Parametreleri.

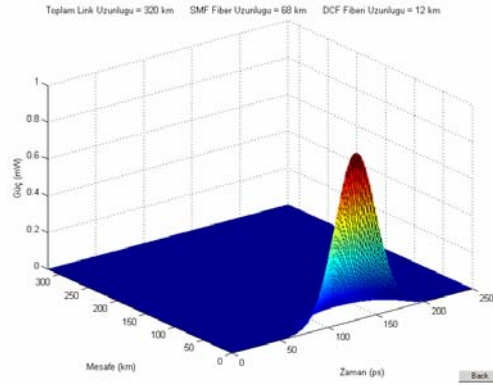
	A Linki	B Linki	C Linki	D Linki	E Linki
Toplam Link Uzunluğu (km)	320	320	400	160	50
S-SMF Fiber Dispersiyonu D1 (ps/nm.km)	17	17	17	4.2	17
DCF Fiber Dispersiyonu D2 (ps/nm.km)	-95	-95	-95	-95	-95
S-SMF Fiber Zayıflaması $\alpha_1$ (dB/km)	0	0.21	0	0	0
DCF Fiber Zayıflaması $\alpha_2$ (dB/km)	0	0.6	0	0	0
S-SMF Fiber Nonlineerlik Parametresi $\gamma_1$ ( $W^{-1} km^{-1}$ )	0	1.35	1.35	1.35	1.35
DCF Fiber Nonlineerlik Parametresi $\gamma_2$ ( $W^{-1} km^{-1}$ )	0	5.17	5.17	5.17	5.17
S-SMF Fiber Dispersiyon Eğimi S1 (ps/nm <sup>2</sup> km)	0	0.075	0.075	0.085	0.075
DCF Fiber Dispersiyon Eğimi S2 (ps/nm <sup>2</sup> km)	0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2

Şekil 3’de toplam uzunluğu 320 km olan A linkinde 1550 nm ‘de dispersiyon parametresi 17 ps/nm.km olan S-SMF iletim fiberinde oluşan darbe genişlemesinin, -95 ps/nm.km dispersiyon değerine sahip DCF ile kompanzasyonunu görülmektedir. Bu simülasyonda negatif dispersiyon etkisini daha iyi görebilmek için her iki tip fiberin zayıflama, nonlineerlik ve dispersiyon eğim terimleri ihmal

edilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, 68 km uzunluktaki S-SMF iletim fiberinin dispersiyon etkisi 12 km uzunlukta ve verilen parametrelere sahip bir DCF ile tamamen kompanze edilebilmektedir. Uygulanan Gausiyen biçimli darbe propagasyon esnasında her bir segmentte dispersiyon nedeniyle genişlemekte, ancak çok daha kısa uzunluktaki DCF fiberinde daralarak başlangıçtaki darbe genişliğine sahip olmaktadır.



Şekil 3. A Linki için Standart Fiberde Darbe Propagasyonu ve DCF Fiberi ile Dispersiyonun Kompanzasyonu.



Şekil 4. B Linki için Standart Fiberde Darbe Propagasyonu ve DCF Fiberi ile Dispersiyonun Kompanzasyonu.

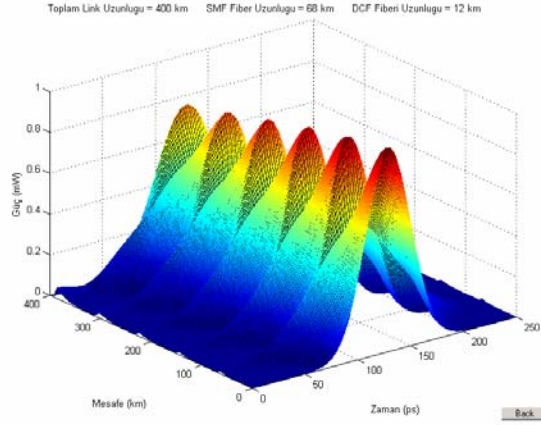
Şekil 4’de toplam uzunluğu 320 km olan B linkinde dispersiyon parametresi 17 ps/nm.km olan S-SMF iletim fiberinde oluşan darbe genişlemesinin,  $-95$  ps/nm.km dispersiyon değerine sahip DCF ile kompanzasyonunu görülmektedir. Bu simülasyonda G652 S-SMF ve DCF’ nin 1550 nm dalgaboyu için tipik zayıflama, nonlineerlik ve dispersiyon eğim parametreleri kullanılmıştır. B linkindeki her bir segmentte 68 km uzunluktaki S-SMF fiberlerde oluşan dispersiyon etkisinin kompanzasyonu için 12 km uzunlukta ve verilen parametrelere sahip bir DCF gerekmektedir. S-SMF ve DCF fiberin zayıflamasının yüksekliği nedeniyle sinyal seviyesi önemli ölçüde düşmekte ve bu nedenle kompanzasyon işlemi görülememektedir. Pratikte, DCF ile birlikte optik amplifikatörlerin uygun pozisyonda kullanımı ile zayıflama problemi çözülebilir.

Şekil 5’de toplam uzunluğu 400 km olan C linkinde dispersiyon parametresi 17 ps/nm.km olan S-SMF iletim fiberinde oluşan darbe genişlemesinin,  $-95$  ps/nm.km dispersiyon değerine sahip DCF ile kompanzasyonunu görülmektedir. Bu simülasyonda G652 S-SMF ve DCF’ nin 1550 nm dalgaboyu için tipik nonlineerlik ve dispersiyon eğim parametreleri kullanılmış, diğer taraftan zayıflama etkisi optik amplifikatörler yoluyla ortadan kaldırıldığı varsayılarak ihmal edilmiştir. A ve B linklerinde olduğu gibi C linkindeki her bir segmentte 68 km uzunluktaki S-SMF fiberlerde oluşan dispersiyon etkisinin kompanzasyonu için 12 km uzunlukta bir DCF gerekmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi, zayıflama etkisi ihmal edilmiş bir linkte oluşan dispersiyon kaynaklı darbe genişlemesi verilen parametrelere sahip bir DCF ile tamamen kompanze edilebilmektedir.

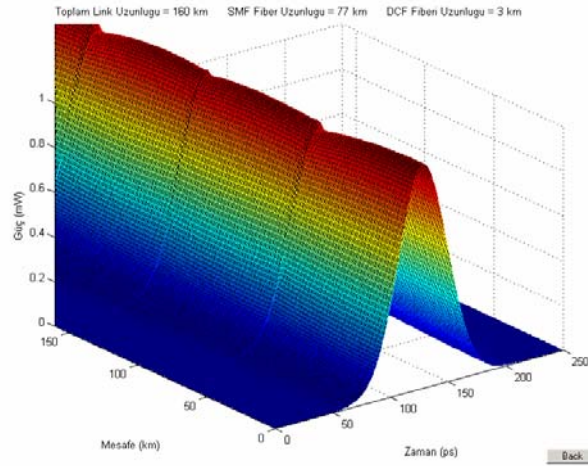
Şekil 6’da toplam uzunluğu 160 km olan ve iki segmentten oluşan D linkinde, dispersiyon parametresi 4.2 ps/nm.km olan NZ-DSF iletim fiberinde oluşan darbe genişlemesinin  $-95$  ps/nm.km dispersiyon değerine sahip DCF ile kompanzasyonu görülmektedir. Bu simülasyonda G655 NZ-DSF ve DCF’ nin 1550 nm dalgaboyu için tipik nonlineerlik ve dispersiyon eğim parametreleri kullanılmış, diğer taraftan zayıflama etkisi optik amplifikatörler yoluyla ortadan kaldırıldığı varsayılarak ihmal edilmiştir. Bu linkteki NZ-DSF iletim fiberinin düşük dispersiyon parametresi nedeniyle darbe genişlemesi nisbeten düşük kalmıştır. D linkindeki her bir segmentte 77 km uzunluktaki NZ-DSF fiberde oluşan dispersiyon etkisinin kompanzasyonu için yalnızca 3 km uzunlukta bir DCF gerekmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi, zayıflama etkisi ihmal edilmiş bir linkte oluşan dispersiyon kaynaklı darbe genişlemesi verilen parametrelere sahip bir DCF ile tamamen kompanze edilebilmektedir.

Şekil 7’de toplam uzunluğu 50 km olan ve bir segmentten oluşan E linkinde, dispersiyon parametresi 17 ps/nm.km olan S-SMF iletim fiberinde oluşan darbe genişlemesinin  $-95$  ps/nm.km dispersiyon değerine sahip DCF ile kompanzasyonu görülmektedir. Bu simülasyonda G652 S-SMF ve DCF’ nin 1550 nm dalgaboyu için tipik nonlineerlik ve dispersiyon eğim parametreleri kullanılmış, diğer taraftan zayıflama etkisi ihmal edilmiştir. E linkinde 42 km uzunluktaki S-SMF’de oluşan dispersiyon etkisinin kompanzasyonu için 8 km uzunlukta bir DCF gerekmektedir.

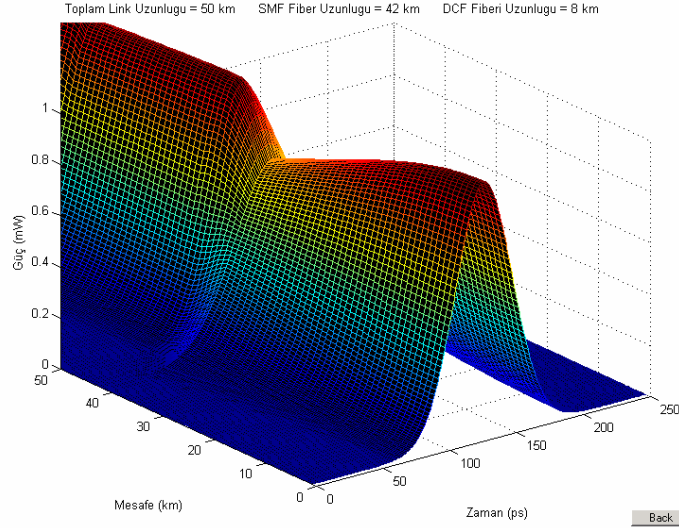
Verilen simülasyonda S-SMF’de genişleyen Gausiyen darbenin, artan DCF fiber uzunluğuyla daralarak başlangıç darbe genişliğine ulaşması ayrıntılı biçimde görülebilmektedir.



Şekil 5. C Linki için Standart Fiberde Darbe Propagasyonu ve DCF Fiberi ile Dispersiyonun Kompanzasyonu.



Şekil 6. D Linki için Standart Fiberde Darbe Propagasyonu ve DCF Fiberi ile Dispersiyonun Kompanzasyonu.



Şekil 7. E Linki için Standart Fiberde Darbe Propagasyonu ve DCF Fiberi ile Dispersiyonun Kompanzasyonu.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada G652 S-SMF ve G655 NZ-DSF’de oluşan dispersiyon kaynaklı darbe genişlemesinin negatif dispersiyon parametrelili DCF fiberi ile kompanzasyonu Matlab ortamında üç boyutlu simüle edilerek gösterilmiştir. Alınan sonuçlarla, öncelikle, optik fiberde lineer darbe propagasyonunda oluşan dispersiyon etkisini azaltmak için DCF fiberlerin etkin olduğu görülmüştür. Simülasyon programı ile GVD, dispersiyon eğimi, nonlineerlik ve zayıflama terimlerinin fiberde darbe yayımına etkileri ayrı ayrı görülebilmektedir. Verilen belirli bir uzunlukta ve dispersiyon katsayılı SMF’de oluşan darbe genişlemesinin, yeterli uzunlukta DCF fiberi ile periyodik kompanze edilebileceği gösterilmiştir. 1550 nm dalgaboyunda sinyaller için  $-95$  ps/nm.km dispersiyon değerine sahip DCF kullanılarak, 68 km uzunlukta S-SMF segmenti için 12 km DCF, 77 km NZ-DSF segmenti için yalnızca 3 km DCF kullanılarak kompanzasyon yapılabilmektedir. DCF ile optimum kompanzasyon, simülasyon parametrelerine darbe kaynağının frekans çörpünü katarak ve darbe giriş gücünü dolayısıyla nonlineer etkileri artırmak suretiyle genişletilebilir. Dispersiyon kompanzasyon modülleri, optik amplifikatörlerle birlikte kullanılarak, zayıflama ve dispersiyon problemleri için kompakt bir kompanzasyon terminali şeklinde entegre edilebilir.

## 7. KAYNAKÇA

- [1] J.M. Dugan, A.J. Price and D.W. Hall., “All optical fiber based 1550 nm disperison compensation in a 10 Gb/s”, Optical Fiber Communications. 5, 14 p. 1992.
- [2] K. Aikawa at.all., “High performance dispersion and dispersion compensating fiber modules for non-zero dispersion shifted fibers”, Fujikura Technical Review, pp.5-10, 2003.
- [3] R.M. Jopson, A.H. Gnauck, and R.M. Derosier, “Dispersion compensating fiber with w-shaped index profile”, IEEE Photon. Technol.Lett.,Vol.5, p.663, 1993.
- [4] A.J. Antos, and D.K. Smith, “Design and characterization of dispersion compensating fiber based on the LP01 mode, J. of Lightwave tech., Vol.12, p.1739, 1994.
- [5] S. Bigo ve W. Idler , “Multi-terabit/s transmission over Alcatel TeraLight™ fiber”, Alcatel Telecommunications Review, 4th Quarter, sayfa 288-296, 2000.
- [6] T.Yamamoto,E.Yoshida,K.R.Tamura,K.Yonenaga,M. Nakazawa. ” 640-Gbit/s optical TDM transmission over 92 km through a dispersion-managed fiber consisting of single-mode fiber and reverse dispersion fiber", IEEE Photonics Technology Letters, vol.12, no.3 p.353-5, 2000.
- [7] G.P. Agrawall, Fiber optic communication systems, 2. Baskı., Academic Press., San Diego, 1997.
- [8] A. Altuncu, İ. Navruz, C. Nakiboğlu “Optik Fiberde Soliton Pals Transmisyonunun Modellenmesi ve Simülasyonu“, IEEE SİU-2000 8. Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı, sayfa 245-49, Belek-Antalya, 12-14 Haziran 2000.

## CHROMATIC DISPERSION COMPENSATION IN SINGLE MODE FIBER USING DCF

A. ALTUNCU\*

*Abstract.* In this study, compensation of chromatic dispersion induced pulse broadening occurred during linear pulse propagation in standart single mode fiber (S-SMF) and non-zero dispersion-shifted fiber (NZ-DSF) is shown by simulation using dispersion compensating fiber (DCF). For this purpose, Nonlinear Schrödinger Equation (NLS) that characterizes pulse propagation in optical fiber is numerically solved in Matlab using split-step Fourier method and the simulation results were shown grafically in 3-D format. By the simulations realized, the optimum DCF length required to compensate chromatic dispersion induced pulse broadening in S-SMF and NZ-DSF transmission fibers having typical parameters was found. In addition, pulse narrowing to the initial value occurred in DCF fiber was shown by simulations.

*Keywords :* *Fiber Optical transmission, Dispersion Compensation, Dispersion Compensating Fiber (DCF)*

\*Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Tavşanlı Yolu 12.km 43100 Kütahya  
[altuncu@dumlupinar.edu.tr](mailto:altuncu@dumlupinar.edu.tr)

