

SOLİTON İLETİŞİM SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU ÜZERİNE BİR YAKLAŞIM MODELİ

H. Haldun GÖKTAŞ* ve **Murat ARI****

* Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, goktas@gazi.edu.tr

** Elektronik-Haberleşme Bölümü, Çankırı M.Y.O. Ankara Üniversitesi, Çankırı, mari@cmvo.ankara.edu.tr

ÖZET

Uzun mesafe fiber optik iletim sistemlerinde, optik yükselteçlerin fiber zayıflamasını uygun şekilde giderdiği düşünüldüğünde, soliton haberleşme sisteminin toplam iletim mesafesi öncelikli olarak genlik ve frekans kayması ile belirlenir. Bu çalışmada, Gordon Haus Kayma etkisinin ve soliton soliton etkileşiminin neden olduğu genlik ve frekans kayması etkilerini birbirleri ile dengeleyerek veri iletim hızının ve tekrarlayıcı mesafesinin artırılması sağlanmıştır. Bu amaçla soliton haberleşme sistemi modellenerek önce sıfır faz farklı soliton darbeler için kayma hesapları yapılmış, sonra minimum kaymaya izin veren, optimum faz farkı hesaplanmıştır. Bu şartlar altında bulunan değerler için elde edilen optimum kayma değerleri simülasyon sonuçları ile de gösterilmiştir. Uygun faz farklı soliton dizilerinin kayma etkisini minimize ederek soliton haberleşme sistemlerinin performansını artıracığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gordon Haus zaman kayması, soliton etkileşimi, soliton, zaman kayması.

AN APPROACH IN OPTIMIZATION OF SOLITON COMMUNICATION SYSTEMS

ABSTRACT

In long distance fiber optic communication systems, when optical amplifiers are considered to remove fiber losses properly, total transmission length of soliton communication system is initially determined by amplitude and frequency shifting. In this study, the amplitude and frequency shifting effects caused by both Gordon-Haus Jitter and soliton-soliton interaction were compensated together. In this way, the increase of data transmission rate and repeater distance have been provided. To reach the purpose mentioned above by modeling soliton communication system maximum shifting has firstly been calculated for the zero phase difference between the soliton pulses. Then, the optimum phase difference which lets the minimum shifting has been calculated. For the optimum shifting values which are under the same circumstances have been simulated as well. As a result of minimizing the jitter effects of soliton trains with proper phase difference we have reached the result which verifies that it increases the performance of the soliton communication systems.

Keywords: Gordon-Haus timing jitter, time shift, soliton interaction, soliton.

1. GİRİŞ

Optik soliton ilk defa teorik olarak Hasegawa ve Tappert [1] tarafından gösterilmiş ve Mollenauer [2] tarafından deneysel olarak gözlenmiştir. Soliton sinyalleşme darbeleri kullanılarak yapılan doğrusal olmayan iletim, yüksek bit oranlı ve uzun mesafe optik iletişim sistemlerinin performansını sınırlayan kromatik dispersiyon problemini çözmekte oldukça etkili bir yoldur [3]. Soliton, dispersif bir ortamda optik darbenin nondispersif yayılımını tam olarak tanımlayan doğrusal olmayan Schrödinger (NLS) denkleminin çözümüdür. Çözüm, grup hız

dispersiyonu (GVD) ve self-faz modülasyonu (SPM) arasında bir dengedir [4].

Silika fiberler kızılötesi frekanslar için mükemmel bir geçirgenlik sağlasa da, ışık sinyalinde her zaman absorblama ve saçılma nedeni ile kayıplar vardır. Bu zayıflama darbenin gücünü azaltır. Buna bağlı olarak aynı karakteristiği muhafaza edebilmek için darbe genişlemek zorunda kalır. Bu genişleme nedeni ile komşu solitonlar girişim yaparlar. Komşu solitonların girişimlerini engellemek için sinyaller yükseltilmelidir. Optik yükselteçler, fiber zayıflamasını dengeleyerek kayıpsız bir iletişim

sistemini efektif olarak sağlayabilirler. Maliyetlerinin düşük oluşu nedeni ile Erbiyum Katkılı Fiber Optik Yükselteçler (EDFA) yüksek bit oranlı soliton transmisyonunda ticari olarak tercih edilmektedir [5,6].

Optik yükselteçlerin, fiber zayıflamasını dengeleyerek kayıpsız bir iletişim sistemini efektif olarak sağlayabildikleri düşünüldüğünde, bir soliton iletişim sisteminin toplam iletim mesafesi öncelikli olarak zaman kayması tarafından belirlenir. Soliton sistemlerde zaman kaymasına neden olan temel faktörlerden biri Gordon Haus etkisi diğeri de soliton etkileşimidir. Genel olarak bu iki etkinin her ikisi de sinyal solitonlarında frekans kayması oluşturur. Bu frekans kayması soliton ortalama taşıyıcı frekansında küçük değişiklikler meydana getirir. Kromatik dispersiyon nedeni ile de grup hızında kayma oluşur. Alıcıya vardığı andaki kaymanın nedeni grup hızındaki değişimdir. Görüldüğü gibi zaman kayması genlik kayması olarak ortaya çıkmakta, bu da algılamada hatalara neden olmaktadır [5,7,8].

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, teklif edilen optimizasyona esas teşkil eden matematiksel modelleme verilirken, üçüncü bölümde simülasyon sonuçlarının analizi yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilerek öneriler sunulmuştur.

2. MATEMATİKSEL TEORİ VE KULLANILAN MODELLEME YÖNTEMİ

Optik fiberde darbe yayılımını karakterize eden NLS eşitliği,

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

ile verilmektedir. Bir optik darbe

$$u(z,t) \exp(j\omega_0 t - \beta_0 t) \quad (2)$$

formunda olup, burada ω_0 taşıyıcı dalganın merkez frekansı, $u(z,t)$ ise yavaş değişen dalga zarfının genliğidir. Eşitlik 1'in sağ tarafındaki ilk terim fiberdeki zayıflama etkisini (α : zayıflama katsayısı), ikinci ve üçüncü terimler dispersiyon etkisini (β_2 fiberin dispersiyon parametresi, β_3 : dispersiyon) ve son terim fiberdeki ışık yoğunluğuna bağlı doğrusal olmayan etkiyi (γ' nonlineerlik katsayısı) tanımlamaktadır. Doğrusal olmayan etkiyi tanımlayan terim hariç tutulursa Eş. 1, fiberdeki doğrusal darbe yayılımını tanımlar ve analitik olarak çözümü mümkündür. Diğer taraftan doğrusal olmayan etki ile birlikte denklemin tam çözümü ancak nümerik yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Zayıflama ve dispersiyon terimleri frekansa bağımlı olduğu için darbe yayılımına etkileri frekans düzleminde, diğer taraftan doğrusal olmayan etki yalnız zamanla değiştiği için zaman düzleminde hesaplanmalıdır. Bu işlem için kullanılan en yaygın yöntem Hızlı Fourier

Transformu (FFT) algoritmalarını kullanan Split-Step Fourier Metodudur [9-11].

Yüksek dereceli etkiler nedeni ile belli aralığa sahip iki Soliton bağının, bireysel solitonlara doğru farklı hızlarda yol aldığı gösteren Schrödinger denklemi, $u(o, \tau) = \sec h(\tau - q_0) + r \sec h[r/\tau + q_0] e^{i\theta}$ (3) ile verilmektedir [9,12-14]. Burada r nispi genlik, θ nispi faz ve q_0 başlangıç darbe aralığıdır.

Gordon Haus Kayma etkisi EDFA'larda görülen ASE gürültüsü sonucu oluşan bir olaydır. ASE, sistemlerin sadece sinyal gürültü oranlarını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda sinyal solitonlarında frekans kayması oluşturur. Optik yükselteçli soliton iletişim sistemi için zaman kayması değişimi

$$\sigma_t^2 = \langle \delta_t^2 \rangle = \left[\frac{1.763 N_{sp} N_2 D h (G-1) L^3}{9 T_{FWHM} A_{eff} L_{amp} \theta} \right]^{1/2} \quad (4)$$

olarak veriliyor [7,15]. Burada L_{amp} yükselteçler arasındaki mesafe, N_2 doğrusal olmayan katsayı, N_{sp} yükseltecin kendiliğinden emisyon faktörü, h Planck sabiti, G yükselteç kazancı, L iletim mesafesi, A_{eff} etkin mod alanı, T_{FWHM} ilk soliton darbesinin yarı maksimum güçte tam darbe genişliği, D fiber dispersiyon parametresidir ve $\beta = \frac{\lambda^2}{2\pi c} D$ ve $T_{FWHM} = 1,763\tau$ ilişkileri kullanılmıştır.

Hedeflediğimiz optimizasyon için Soliton darbeler arasında verilecek giriş fazının kritik değerini hesaplamak için, Soliton darbe yayılımını karakterize eden denklem,

$$p \exp(q+i\psi) = 2 \cosh(\zeta_0 + ipz_a) \quad (5)$$

ile verilmektedir [14,16]. Burada ψ ve q sırası ile faz farkını ve iki soliton darbesinin ayrılmasını göstermektedir. p ve ζ_0 , yayılım sabitidir. Bir yükselteç çıkışından diğer bir çıkışa Eş. 5'in her bir parametresinin açılımı.

$$P_{k-1} \exp(Q_k) = 2 \cosh(\zeta_{k-1} + iP_{k-1}z_a) \quad (6)$$

ile değerlendirilir. Alt notasyondaki k , k 'nci yükselteçten sonraki değişkenle ilgilidir. n , benzer yükselteçlerden sonraki gecikme miktarı,

$$\langle dq_n^2 \rangle = \langle \delta q^2 \rangle = \sum_{p=1}^n (3a_p^2 + b_p^2) \quad (7)$$

ile verilmektedir. Burada $\langle \delta q^2 \rangle$ her yükseltecin neden olduğu kaymanın ortalama karesidir ve değeri

$$\langle \delta q^2 \rangle = 0,752\pi^2 \beta \frac{(G-1)^2 h n_2 c^2 \tau}{G \ln(G) \lambda^4 A_{eff} D} \quad (8)$$

ile verilmektedir. Burada G yükselteç kazancı ve β sistemin aşırı gürültü faktörüdür. Soliton etkileşiminin yokluğunda yani, $\theta=0$ durumunda Eş. 8,

$$\langle dq_{nGH}^2 \rangle = \langle \delta q^2 \rangle = z_a^2 \frac{n}{3} (n - \frac{1}{2})(n-1) \quad (9)$$

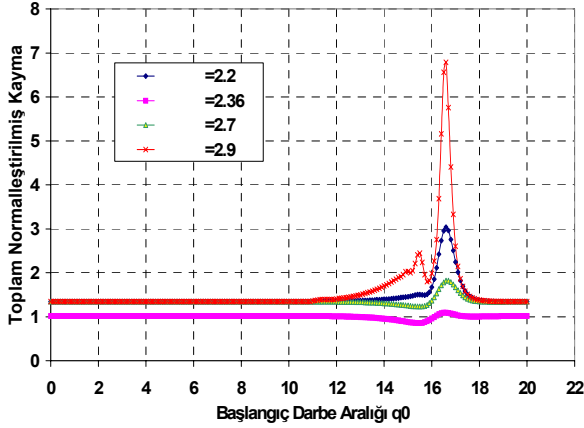
haline dönüşür. Bu da Gordon Haus kaymasına karşılık gelir.

Etkileşim kuvveti çok büyük olmadığı sürece, ortalama soliton aralığının iletim hat çıkışında değişmeyen ψ_0 giriş fazı olan $\psi_{zm}(Q)$ için bir değeri vardır. ψ_{zm} Eş. 10'un bir çözümüdür.

$$\cos[2Q \cos(\psi_{zm})] + \cosh[2Q \sin(\psi_{zm})] - 2 = 0 \quad (10)$$

Bu eşitliğin hesaplanabilir çözüm programı delphi programlama dilinde gerçekleştirilerek toplam kaymanın minimum değerleri $\psi_{zm} = 2,36$, $Q = 0,2$ olarak bulunmuştur.

Şekil 1'de görüldüğü üzere daha önce soliton darbeler arasında sıfır faz farkı olduğunda gözlenen normalleştirilmiş kaymadaki büyük dalgalanmaların faz farkı olduğunda çok aza indiği, düşük kayma pencerelerinin oluştuğu ve optimizasyonun sağlanabileceği görülmüştür.



Şekil 1. $\psi_{zm} = 2,2 - 2,36 - 2,7$ ve $2,9$ gibi farklı değerler için başlangıç darbe aralığının fonksiyonu olarak normalleştirilmiş kayma grafikleri

2.1. Minimum Birleşik Kayma Etkisinin Modellenmesinde Giriş Fazının Darbe Genişliğine Bağlı Olarak Hesaplanması

Kaynakları farklı, fakat etkileri aynı olan zaman kayması etkilerinden soliton etkileşimi ve Gordon Haus Kayması etkilerinin ayrı ayrı türetimi Eş.3 ve Eş. 9 ile verilmişti. Bu bölümdeki modellemede soliton darbeler arasında sıfır faz farkı oluşturulacak ve bu durumda, kayma $\psi_0 = \psi_{zm}$ olarak düşünülerek q_0 'a karşı hesaplanacaktır. Bağlı faz açısı değişkenini hesaplamak için, eşit genlikli, eşit hızlı fakat $\psi_0 = \psi_{zm}$ faz farklı soliton darbeler için durum,

$$Q_0 = q_0 + i\psi_{zm} \text{ ve } P_0 = 0 \quad (11)$$

şeklinde yazılır. Eş. 11, Eş. 5 ile birlikte Eş. 1'e uygulanırsa,

$$\rho = 2 \exp[-(q_0 + i\psi_{zm})] = \rho_1 + i\rho_2, \quad \zeta_0 = 0 \quad (12)$$

elde edilir. Eş. 12, Eş. 9 ile verilen Gordon Haus Kaymasına normalleştirilirse toplam birleşik kayma Eş. 13'deki halini alır.

$$\frac{(\langle \delta q_n^2 \rangle)^{1/2}}{(\langle \delta q_{nGH}^2 \rangle)^{1/2}} = \left(\frac{3 \sum_{p=1}^n (b_p)^2}{z_a^2 (n)(n-1/2)(n-1)} \right)^{1/2} \quad (13)$$

Eş. 13 kaynakları farklı olan soliton etkileşimi ve Gordon Haus Kaymasının ortak etkilerini, minimum birleşik kayma etkisi olarak tanımlamaktadır. Bu tanımlama, b_p ifadesi içerisinde, giriş fazı (ψ_{zm}), darbe genişliği (q_0) ile yükselteç aralığı (z_a), sistemdeki optik yükselteç sayısının (n) yanı sıra zayıflama, dispersiyon ve yükseltecin kendiliğinden emisyon faktörü gibi gerçek uygulamalarda kullanılan temel değişkenleri içermektedir.

3. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE ANALİZİ

Bu çalışmada NLS denklemi MATLAB ortamında nümerik yöntemler kullanılarak çözülmüştür. Simülasyonda kullanılan giriş darbeleri, ideal soliton darbeleri olup,

$$U(0,t) = A \operatorname{sech}\left(\frac{t}{\tau}\right) \quad (14)$$

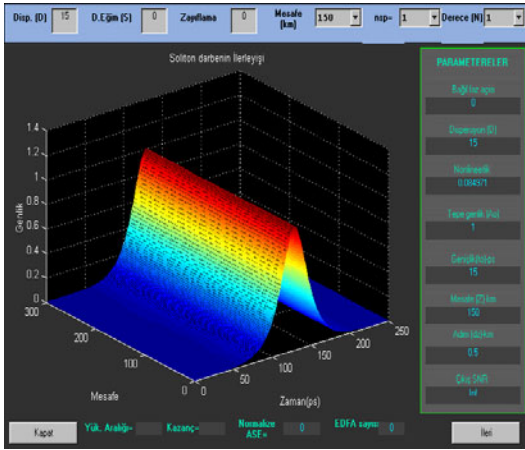
formundadır [3]. Burada A darbenin tepe genliği ($A = \sqrt{P_0}$, P_0 : darbenin tepe gücü), τ darbe genişliğidir. ($t_{FWHM} = 1,763 \cdot \tau$ yarı maksimum güçte tam darbe genişliği [17]). 50 km uzunluğundaki bir standart tek modlu fiber (S-SMF) için simülasyon yapılmış olup girişteki soliton darbeleri 10 ps genişliktedir. ($\tau_{FWHM} = 17.63 \text{ ps}$) $5\tau_{FWHM}$ 'luk darbe ayrımı göz önüne alındığında yaklaşık 10 Gbit/s hızda iletme karşılık gelir.

Program içinde, verilen transmisyon uzunluğuna bağlı olarak uygun Δ_z adımları ile iterasyon yapılmıştır. Soliton darbe yayılımını sağlayacak doğrusal olmayan katsayısı (γ') program içinde aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır [2].

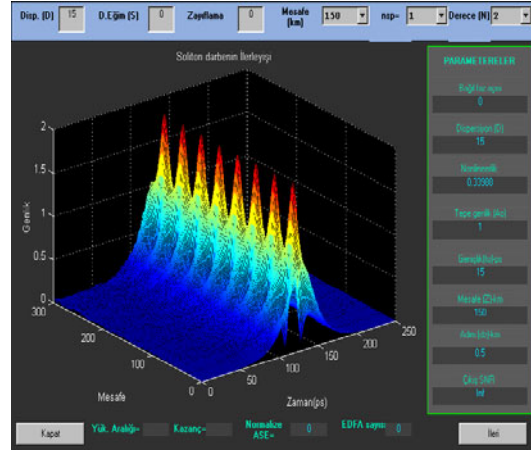
$$N^2 = \frac{\gamma P_0 Z_0^2}{|\beta_2|} \quad (12)$$

Burada N soliton derecesi olup bir pozitif tam sayıya karşılık gelir. N=1 temel soliton olarak bilinir. N=2 ve N=3 durumlarında soliton darbenin alacağı dalga şekli giderek daha kompleks hale gelir [9,10].

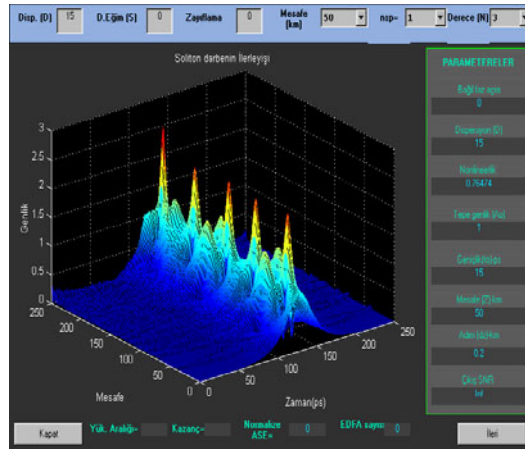
Çözümlemede öncelikle ideal bir soliton darbenin farklı değerlerdeki zayıflama, dispersiyon ve doğrusal olmayan etkilere sahip bir iletim fiberinde darbe şeklinin birinci, ikinci ve üçüncü derece soliton (N=1, N=2, N=3) için nasıl değiştiği nümerik olarak hesaplanmış ve şekil 2'de görüldüğü gibi simüle edilmiştir. Matematiksel modellemede kullanılan metot ve elde edilen simülasyon sonuçları, bu alanda yapılan birçok çalışmada [9,13,16,18,19] elde edilen verilerle ortak ana karakteristikleri içermektedir.



a. N=1



b. N=2

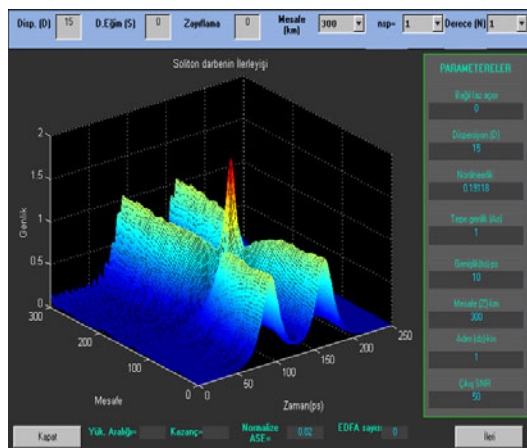


c. N=3

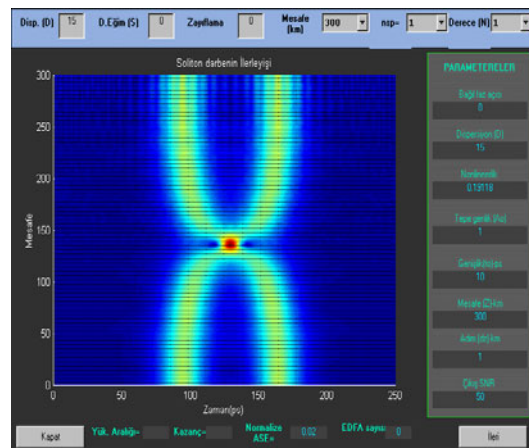
Şekil 2. Dispersiyon etkisinin doğrusal olmayan etki ile dengelendiğinde oluşan soliton darbe yayılımı

Soliton haberleşme sistemlerinde birbirine yakın yüksek bit oranlı darbeler gönderilmek istenir. Eğer birbirini takip eden solitonlar çok yakın olursa birbirleri ile etkileşerek Soliton yayılım eşitliğini sağlamak için uygun bir şekil alırlar. Bu durum gerideki Soliton grup hızının artmasına neden olurken, öndeki Soliton grup hızının azalmasına

neden olur. Grup hızındaki bu değişimler alıcı tarafında zaman ve genlik kayması olarak kendini gösterir. Eş. 3'te matematiksel ifadesi verilen ve Şekil 3'te simülasyonu görülen bu etkileşim, iki komşu solitonun periyodik olarak birleşmesine ve ayrılmasına neden olur.



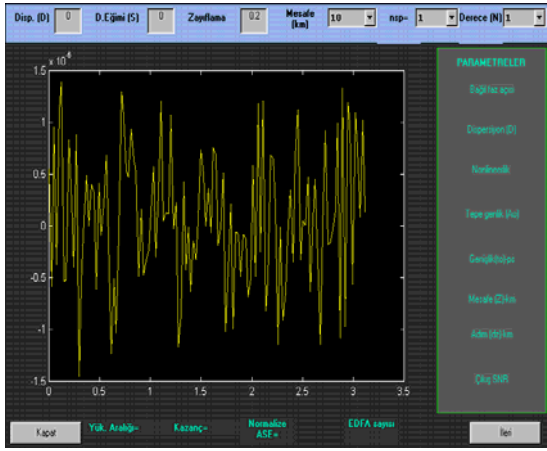
a. Üç boyutlu görünüş



b. Üstten görünüş

Şekil 3. Dispersiyon etkisinin doğrusal olmayan etki ile dengelendiğinde oluşan Soliton-soliton etkileşimi

Bundan sonraki adımda soliton etkileşimli bir iletişim fiberine Eş. 9 ile matematiksel ifadesi verilen Gordon Haus Kayma etkisi de eklenerek toplam etki incelenmiştir. Bilindiği üzere Gordon Haus Kayma etkisi EDFA'larda görülen ASE gürültüsü sonucu oluşan bir olaydır. ASE yalnız sistemin SNR oranını azaltmakla kalmaz, Şekil 5'te görüldüğü üzere sinyal solitonlarında frekans kaymasına neden olur. Simülasyon programının değişken parametreleri grafik ekranı üzerinde gösterilmiştir. Grafik ekranı üzerinde görülen ASE değeri sinyal solitonlarının karakteristiğini kaybetmeden iletimini sağlayacak EDFA'ların oluşturduğu toplam ASE değeridir. Şekil 4'te bu çerçevede tanımlanan ASE gürültü spektrumu görülmektedir.



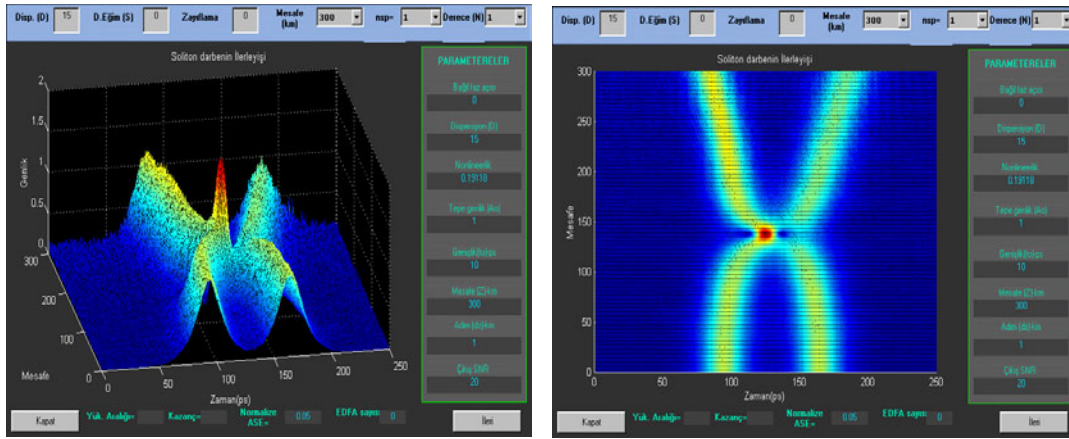
Şekil 4. Sistem girişindeki ASE gürültü fonksiyonu spektrumu

Soliton darbeler arasında verilebilecek faz farkının kritik değeri Eş. 10 ile hesaplanmış ve Şekil 1'deki simülasyon sonuçları elde edilmişti. Soliton etkileşimi ve Gordon Haus Kayma etkilerinin minimum normalleştirilmiş kayma etkileri, yapılan modelleme sonucunda Eş. 13 ile tanımlanmıştır. Simülasyon programında Eş. 10 ile hesaplanan kritik açı değeri Eş. 13'te kullanıldığında söz konusu iki etkinin birlikte neden olduğu frekans kaymasının optimize

edilebileceği Şekil 6'daki simülasyon sonuçları ile gözlemlenmiştir. Kullanılan EDFA sayısı, programda dispersiyon etkisine, uzunluğa, Soliton derecesine, zayıflamaya bağlı olarak değişmektedir. Ancak bu çalışmada kullanılan EDFA sayısı ve yükseltme kriterleri gözükmemektedir. Başlangıç EDFA çıkışı olarak düşünülmüş ve bir sonraki EDFA'ya kadar gözlenen soliton-soliton girişimi ve Gordon Haus Kayma etkilerinin birlikte oluşturdukları etki "Toplam Normalleştirilmiş Kayma" olarak Eş. 13 ile tanımlanmış ve soliton darbeler arasında verilecek bağıl faz açısı uygulaması yolu ile bu etkinin optimizasyonuna yönelik bir yaklaşım yapılmıştır. Şekil 6b ve 6c sırası ile belirlenen kritik açı değerinin altındaki ve üzerindeki açı değerleri için söz konusu iki etkinin optimizasyondan uzaklaştığını göstermektedir.

Şekil 5 ve Şekil 6'daki simülasyon çıktıları birlikte değerlendirildiğinde, teklif edilen yaklaşım modelinin optimizasyonu sağladığı görülür. Şekil 4'te $\psi_{zm}=0$ için normalleştirilmiş birleşik kayma etkisinin 300 km.'lik bir fiber hattında oluşturduğu girişim ve faz kaymasının Şekil 6a'daki Eş. 10'un çözümü olarak bulunan kritik açı değeri ile Eş. 13 kullanılarak optimize edilebileceği görülmüştür. Bu kritik açı değerinin altındaki bir değer olan ve Şekil 6b'de simülasyon çıktısı görülen $\psi_{zm}=2,2$ için ve üzerindeki bir değer olan ve Şekil 6c'de simülasyon çıktısı görülen $\psi_{zm}=2,5$ için sistemin optimizasyondan uzaklaştığı görülmüştür.

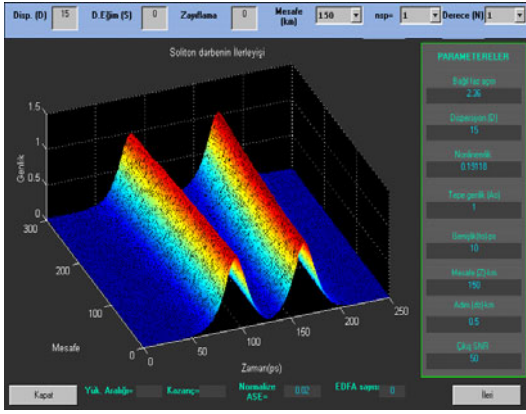
Literatürde çalışmamıza konu olan, Gordon Haus Kayma ve Soliton-Soliton girişimi etkilerinin elimine edilmesine yönelik çalışmalar ve yöntemler vardır. Ancak bu çalışmalar etkilerin ayrı ayrı optimizasyonuna yöneliktir. Bu iki etkinin birlikte oluşturdukları etkinin tek bir matematiksel modelleme altında ifade edilerek optimizasyonuna yönelik bir çalışma tarafımızdan görülememiştir. Bu nedenle öncelikle Şekil 2 ve 3'teki simülasyon çıktıları literatürdeki çalışmalarla [9,13,16,18,19] karşılaştırılarak programın doğru cevap verdiği görülmüş ve



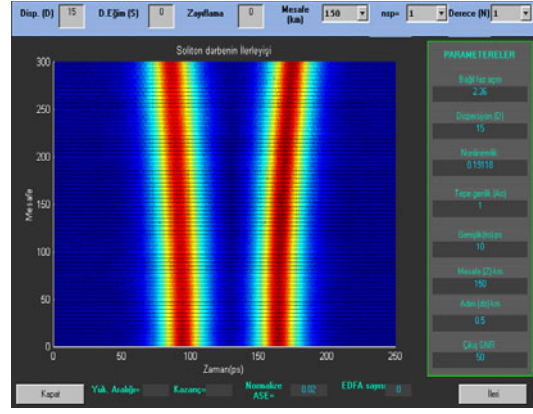
a. karşıdan görünüş

b. üstten görünüş

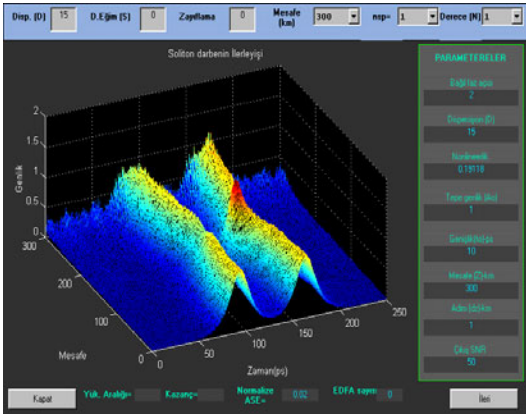
Şekil 5. Dispersiyon etkisinin doğrusal olmayan etki ile dengelendiğinde oluşan, soliton soliton etkileşimi ve Gordon Haus Kayma etkilerinin birlikte etkileri



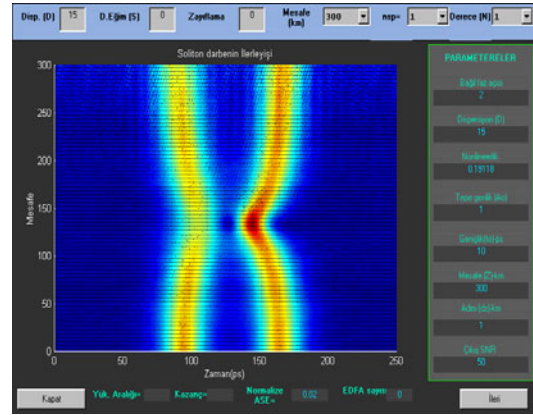
a. Hesaplanan $\psi_{ZM} = 2.36$ 'lık kritik açı değeri için üç boyutlu görünüş



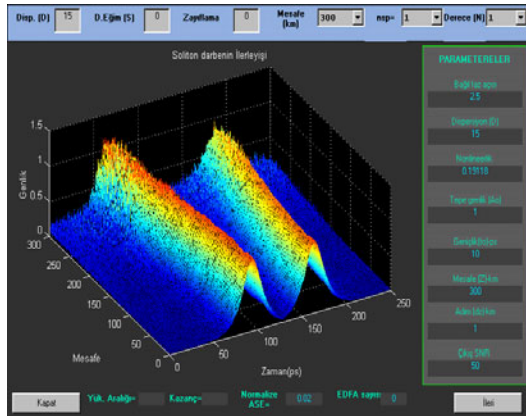
$\psi_{ZM} = 2.36$ değeri için üstten görünüş



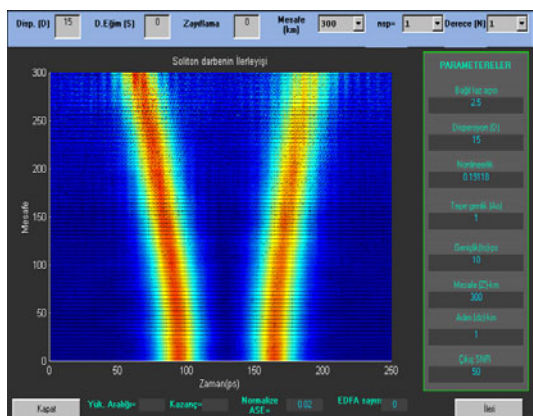
b. Kritik açı değerinden küçük açı değeri olan $\psi_{ZM} = 2$ için üç boyutlu görünüş



$\psi_{ZM} = 2$ değeri için üstten görünüş



c. Kritik açı değerinden büyük açı değeri olan $\psi_{ZM} = 2.5$ için üç boyutlu görünüş



$\psi_{ZM} = 2.5$ değeri için üstten görünüş

Şekil 6. Soliton darbeler arasında farklı kritik giriş açı değerleri verildiğinde soliton soliton etkileşimi ve Gordon Haus Kayma etkisinin birlikte etkileri

sonrasında aynı program mantığı üzerinde çalışmaya esas teşkil eden optimizasyon yaklaşımı simüle edilmiştir.

SONUÇ

Zaman kaymaları, soliton tabanlı yüksek bit oranlı, uzun mesafe iletişim sistemlerindeki iletişim

mesafesini ciddi oranda sınırlayabilir. Bu çalışmada, hem Gordon etkisinin ve hem de soliton etkileşiminin sınırlayıcı etkileri ayrı ayrı incelenmiştir. Bu etkilerin birlikte oluşturdukları etki “toplam normalleştirilmiş kayma” olarak tanımlanarak bu etkinin optimizasyonuna yönelik bir yaklaşım yapılmıştır. Genel olarak bu iki etkinin her ikisinin de sinyal solitonlarında frekans kaymasına neden olduğu

görülmüştür. Soliton darbeler arasında sıfır faz farklı ve farklı faz farkına sahip durumlar için birleşik kayma etkileri hesaplanarak, “kritik açı” olarak tanımlanan bir değer elde edilmiştir. Soliton darbeler arasında verilebilecek faz farkının kritik değeri Eş. 10 ile hesaplanmış ve Şekil 1’deki simülasyon sonuçları gözlenmiştir.

Bölüm 3’te verilen simülasyon sonuçlarının yorumu ışığında elde edilen sonuç, hem Gordon Haus Kayma ve hem de soliton etkileşiminden kaynaklanan kayma etkisinin optik darbelerin fazı ile ilgili olmasıdır. Söz konusu kayma, soliton ortalama taşıyıcı frekansında küçük değişiklikler meydana getirir. Kromatik dispersiyon nedeni ile de grup hızında kayma oluşur. Alıcıya vardığı andaki kaymanın nedeni grup hızındaki değişimdir. Bu da algılamada hatalara neden olmaktadır. Nitekim uygun bir faz farkı değeri için bu iki istenmeyen etki bir diğerinin etkisini kaldırır ve bu yolla soliton tabanlı, yüksek bit oranlı uzun mesafe iletişim sisteminin optimizasyonu sağlanabilir.

Yapılan çalışmada, kullanılan giriş parametrelerinin pratik çalışmada kullanılan değişkenler olması, tekrarlayıcı mesafesinin ve veri iletim hızının artırılmasına yönelik gerçek uygulamalarda bu çalışmayı kullanılabilir kılmaktadır. Çalışmada ASE etkisi literatürdeki değerlerine uygun rasgele bir değer olarak tanımlanmıştır. Teklif edilen bu yaklaşım esas alınarak bundan sonra yapılacak çalışmalarda, ASE etkisi için detaylı ayrı bir matematiksel modelleme üzerinde durulacak olursa, sonuçların gerçek değerlere çok daha fazla yaklaşacağı önerisini yapmak doğru olacaktır.

KAYNAKLAR

- Hasegawa A. and Tappert F., “Transmission of stationary non-linear optical pulses in dispersive dielectric fibres”. **Applied Physics Letters**, 23: 142-43 1973.
- Mollenauer L. F. Stolen R. H. and Gordon J.P., “Experimental observation of Pico second pulse narrowing and solitons in optical fibres”, **Physics Rev. Letters**. 45:1095-96 1980.
- Agrawal G.P., **Fibre Optic Communication Systems 2nd Edition**, John Wiley Sons 1997.
- M. Nakazawa. et. al “Optical Soliton Transmission” **Electronics & Commun. In Japan**, 75 (5):1 1992.
- Kubota H. and Nakazawa M. “Long distance optical soliton transmission with lumped amplifiers” **IEEE J. Quantum Electronics**, 26: 692-700, 1990.
- Bo Pordersen, Anders B Jarklev, Ole Lumholt, and Joinhedegeand Poulsen, “Detailed Design Analysis of Erbium-Doped Fibre Amplifiers” **IEEE Photonics Technology Letters**, 3 (6):, 1991.
- D. Marcuse, “Simulation to demonstrate reduction of Gordon-Haus effect” **Opt. Lett.**, 17 (1):34, 1992.
- J. Mauro “Timing Jitter in Soliton Communications Systems” **Electronics Communication Engineering Journal**, 2000.
- G.P. Agrawal, **Nonlinear Fibre Optics, 2nd Edition**, Academic Press, 1995.
- M. Focao, M. Ferrenra, “Analysis of Timing Jitter for Ultra Short Soliton Communication Systems Using Perturbation Methods” **J. of Non-linear Math-Phy.**, 8: 112-117, 2001.
- Rodislav Driben, Boris A. Malomed, Puk Lchu, “Solitons in Regular and random split-steps Systems” **JOSAB**, 20 (11):2338-2348, 2003.
- A.N.Pinto, G.P.Agrawal, and JF. da Rocha, “Effect of soliton interaction on timing jitter in communication systems,” **J. Lightwave Tech.** 1998.
- J. P. Gordon, “Interaction forces among solitons in optical fibres”, **Opt. Lett.**, 8 (11): 1983.
- T. Georges and F. Favre, “Influence of soliton interaction on amplifier noise induced jitter; a first order analytical solution.” **Opt. Lett.**, 16 (21):, 1991.
- V. S. Grigoryon, C.R. Menyuk, “Calculation of timing and amplitude jitter in dispersion-managed optical fibre communications using linearisation” **J. Lightwave Technol.**, 1999.
- C. Desem P.L. Chu., “Soliton propagation in the presence of source chirping and mutual interaction in single mode fibre” **Electronic Lett.**, 23 (6):, 1985.
- Y. Kodama and K. Nozaki, “Soliton interaction in optical fibres”, **Opt. Lett.**, 12 (12):, 1987.
- L.F. Mollenauer, et.al., “Demonstration of soliton transmission at 2,4 Gbit/s over 1200 km” **Electronic. Lett.**, 27 (2):, 1991.
- Keong-Po Ho “Phase Statistics of the Soliton” **JOSAB**, 21 (2): 266-272, 2004.