

# RAISED-COSINE POZLANDIRILMIŞ FİBER BRAGG IZGARA KULLANAN HSPS MODELİ

Nuran DOĞRU ve M. Sadettin ÖZYAZICI

Gaziantep Üniversitesi, Elektrik&Elektronik Mühendisliği Bölümü, 27310 Gaziantep

[dogru@gantep.edu.tr](mailto:dogru@gantep.edu.tr)

*Anahtar sözcükler: Karışık soliton darbe kaynağı (HSPS), Soliton, Fiber Bragg ızgara, Çiftli-dalga denklemleri*

## ÖZET

Bu çalışmada, raised-cosine pozlandırılmış (apodized) ve doğrusal azalan adımlı raised-cosine pozlandırılmış fiber Bragg ızgara kullanan karışık soliton darbe kaynağı (HSPS) modeli sunulmuştur. Fiber Bragg ızgaraların yansıtırlık ve grup gecikme eğrileri çiftli dalga denklemleri kullanılarak belirlenmiştir. Grup gecikme eğrisi doğrusal olmayan raised-cosine pozlandırılmış fiber ızgara ile mod-kilitli HSPS yalnız sınırlı bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretirken, grup gecikme eğrisi doğrusal olan doğrusal azalan adımlı raised-cosine pozlandırılmış fiber ızgara ile geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretebilmiştir.

## 1. GİRİŞ

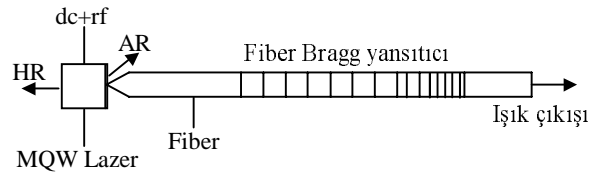
Günümüzde uzun mesafe fiber optik haberleşme sistemlerinde tekrarlayıcısız iletim üzerine çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Bu tip sistemlerde yüksek enerjili solitonların kullanılması en az bozulmayla darbe iletimini sağlaması açısından gelecek vaad etmektedir. Pratikte soliton darbe üretimi için, 2.488 GHz çalışma frekansı etrafında, darbecenşliği 50 ps olan ve zamanbant genişliği (TBP) çarpımı 0.3 ile 0.5 arasında değişen çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesi gerekmektedir [1-2]. Karışık soliton darbe kaynağı (HSPS) bu amaca yönelik yani soliton iletim sistemi için geliştirilmiş böyle bir cihazdır.

Bu çalışmada, raised-cosine pozlandırılmış (apodized) ve doğrusal azalan adımlı raised-cosine pozlandırılmış fiber ızgara kullanan mod-kilitli HSPS in yansıtırlık ve çıkış darbesi incelenerek, çeviri-sınırlı darbelerin üretilip üretilmediği kontrol edilmiştir.

## 2. TEORİ

Şekil 1 de görüldüğü gibi tümleşik bir cihaz olan HSPS temel olarak üç bölümden oluşmaktadır. Bir çoklu-kuantum duvarlı (MQW-multi-quantum well) yarı iletken lazer diyot, fiber kablo ve kablunun sonunda belli bir bölümde oluşturulmuş Bragg yansıtıcı. Diyotun bir yüzeyinin yansıtması yüksek (HR), diğeri ise çok düşüktür (AR). Sistemde üretilen

darbenin şekli esas olarak bu yansıtıcı (ızgara) tarafından belirlenmektedir.



Şekil 1 HSPS in şematik gösterimi

Model çiftli dalga denklemlerinin zaman domeninde çözümüne dayalıdır [3]. Doğrusal azalan adımlı fiber ızgaranın (değişen adımlı, değişen genlikli) kırılma indisi aşağıdaki gibidir:

$$n(z) = n_o + \Delta n(z) \cos \left[ \frac{2\pi}{\Lambda(z)} z \right] \quad (1)$$

Bu eşitlikte  $n_o$  fiberin değişime uğramadan önceki kırılma indisi,  $\Delta n(z)$  maksimum kırılma indis değişimi ve  $\Lambda(z)$   $z'$  e bağımlı ızgara adımını (tekrarlama sıklığı) gösterir.

Raised-cosine profili için, denklem 2 ye göre, modülasyonun büyüklüğü ızgaranın başlangıcında yavaşça yükselir, ızgaranın ortasında maksimuma ulaşır ve sonra ızgara bitiminde azalır

$$\Delta n(z) = \Delta n_o \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \left[ 2\pi \left( \frac{z-L/2}{L} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

Bu eşitlikte  $L$  ızgara uzunluğudur.

Çiftli dalga denklemlerini kullanarak ve ileri yöndeki dalga  $E^+(t,z)$  (+z yönünde) ve geri yöndeki dalga  $E^-(z,t)$  (-z yönünde) arasındaki kavrama (coupling) aşağıdaki gibi yazılabilir

$$\frac{dE^+}{dz} = -j \left( \delta + \frac{2\kappa(z)}{m} - \frac{1}{2} \frac{d\phi}{dz} \right) E^+ - j\kappa(z) E^- \quad (3)$$

$$\frac{dE^-}{dz} = j \left( \delta + \frac{2\kappa(z)}{m} - \frac{1}{2} \frac{d\phi}{dz} \right) E^- + j\kappa(z)E^+ \quad (4)$$

Burada,  $\delta$  Bragg yayılım sabitinin real kısmının Bragg dalgaboyundan sapmasını,  $\kappa(z)$  ieri ve geri yöndeki dalgalar arasındaki kavramayı (coupling),  $m$  modülasyon indisini ve  $\phi$  ise ızgara adım değişim fonksiyonunu ifade eder ve aşağıdaki gibi yazılır:

$$\Phi = -\frac{4\pi n_o}{\lambda_o^2} Cz^2 \quad (5)$$

Bu eşitlikte  $\lambda_o$  Bragg dalga boyunu ve C (chirp) adım değişim katsayısıdır. Eğer C sıfır alınırsa, denklem 3 ve 4 raised-cosine pozlandırılmış (sabit adımlı, değişen genlikli) fiber ızgara modelinine dönüşür.

Izgara kırılma indisinin pozlandırılması ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir,

$$\kappa(z) = \kappa_p \frac{1}{2} \left[ 1 + \cos \left( \frac{\pi z}{FWHM} \right) \right] \quad (6)$$

burada  $\kappa_p$  raised-cosine değişiminin tepe değeri, FWHM (full width half maximum) ise bu değişimin yarım genlikteki tam genişliğini ifade eder ve yaklaşık olarak ızgara uzunluğunun yarısı kadardır.

Denklem 3 ve 4 deki parantez içindeki denklemler  $\sigma$  ( $\sigma = \delta + 2\kappa(z)/m + d\Phi/2dz$ ) ile gösterilir ve elde edilen bu denklemlere bazı matematiksel işlemler uygularsak çiftli dalga denklemleri ikinci dereceden sabit katsayılı diferansiyel denklemlere indirgenir,

$$F'' - \gamma^2 F = 0 \quad (7)$$

$$R'' - \gamma^2 R = 0 \quad (8)$$

Burada,  $\gamma^2 = \kappa^2 - \sigma^2$  dir. Bu denklemlerin çözümünde  $z=0$  daki sınır şartlarının bilindiği ve ilerleyen dalgayı hesaplamak için de ya  $F_o$  ve  $R$  ya da  $R_o$  ve  $F$  biliniyor varsayılarak aşağıdaki gibi yazılır,

$$\begin{bmatrix} F \\ R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma z) - j \frac{\sigma}{\gamma} \sinh(\gamma z) & -j \frac{\kappa}{\gamma} \sinh(\gamma z) \\ -j \frac{\kappa}{\gamma} \sinh(\gamma z) & \cosh(\gamma z) + j \frac{\sigma}{\gamma} \sinh(\gamma z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_o \\ R_o \end{bmatrix} \quad (9)$$

Çiftli-dalga denklemleri piecewise-uniform yaklaşımını kullanarak çözülür. İlk olarak denklemler analitik olarak çözülür ve daha sonra ızgara herbirinin uzunluğu  $\Delta z$  olan parçalara bölünür. Her parçadaki parametreler hesaplanır ve bu parametreler 2x2 lik yayılım matrisi  $T_i$  ye konur,

$$\begin{bmatrix} F_i \\ R_i \end{bmatrix} = T_i \begin{bmatrix} F_{i-1} \\ R_{i-1} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Eğer  $z=-L/2$  den  $z=L/2$  ye kadar uzanan L uzunluğunda bir ızgara varsayarsak, hesaplamalarda  $F_o=F(L/2)=1$  ve  $R_o=R(L/2)=0$  sınır değeriyle başlayarak sürekli matris çarpımıyla  $F(-L/2)=F_M$  ve  $R(-L/2)=R_M$  alanlarını bulabiliriz.

$$\begin{bmatrix} F_M \\ R_M \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} F_o \\ R_o \end{bmatrix}, T = T_M \cdot T_{M-1} \cdot \dots \cdot T_1 \cdot \dots \cdot T_1 \quad (11)$$

Bu alan değerlerini kullanarak toplam ızgara yansıtma katsayısı,

$$\rho = \frac{R_M}{F_M} \quad (12)$$

olarak bulunur. Bu işlem tüm dalga boyu bandı için yapılırsa ızgara yansımalarının dalga boyu bandı elde edilmiş olur.

Yansıma katsayısı hesaplandıktan sonra onun fazı  $\theta_p$  kullanılarak grup gecikmesi  $\tau_g$  aşağıdaki formülle hesaplanabilir,

$$\tau_g = \frac{d\theta_p}{d\omega} = -\frac{\lambda^2}{2\pi c} \frac{d\theta_p}{d\lambda} \cong -\frac{\lambda^2}{2\pi c} \frac{\Delta\theta_p}{\Delta\lambda} \quad (13)$$

Bu denklemde c ışık hızını,  $\Delta\lambda$  ise yansıma katsayısı hesabının yapıldığı dalga boyu ile bir önceki hesabın yapıldığı dalga boyu arasındaki farkı ifade eder.

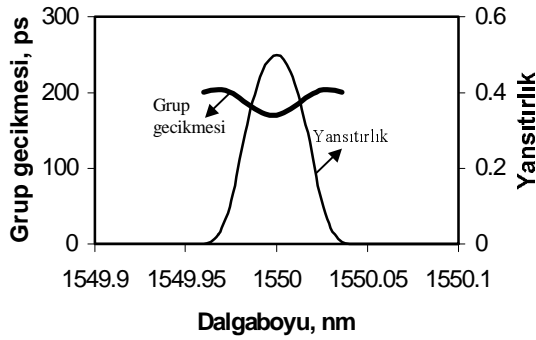
HSPS içinde ışık üretimi ve amplifikasyonu için her bölme ayrı ayrı çözülmelidir. Örneğin, laser bölmesi için çiftli-dalga denklemleri verimi, kaybı ve gürültüyü, ızgara için kavramayı içerir.

### 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, fiber ızgara uzunluğu 4 cm, modülasyon indisi 0.8, C (chirp) değeri  $-1.9 \text{ \AA}$  olarak alınmıştır. Yansımanın en büyük değeri 0.5 alınarak yansıtırlık, ve grup gecikme eğrileri elde edilmiştir. Çalışma frekansı 2.5 GHz, uygulanan dc ve rf akımları ise 6 ve 20 mA alınmıştır.

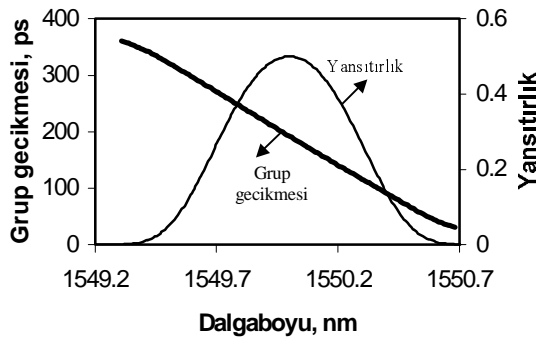
Şekil 2 yansıma tepe değeri 0.5 olan raised-cosine pozlandırılmış fiber ızgarasının yansıtırlık ve grup gecikme eğrisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi, yansıma eğrisinde, düzgün (uniform) fiber ızgaralarda bulunan simetrik yan-loblar bulunmamaktadır. Çünkü birden bire biten arayüzeyler olmadığı için yan-loblar büyük ölçüde azalmaktadır. Yan-loblara sebep olan Fabry-Perot ovuğu etkisi, fiber göbeğinin kırılma indisinden

ızgarayı oluşturan kırılma indisinin deformasyonuna geçerken yok edilir. Yan-loblar darbenin dağılmasına yani darbenin bazı spektral parçalarının yansırken diğerlerinin ilerlerlemesine (transmitted) sebep olmaktadır. Yansımada görülen bu iniş çıkışlar grup gecikmesi eğrisine de yansımakta ve süreksizlikler meydana getirmektedir. Şekil 2 de görüldüğü gibi grup gecikme eğrisinde süreksizlikler bulunmamaktadır. Fakat bu ızgaranın yansımaya spektrumu dar olup, FWHM 0.36 Å dir. Çeviri-sınırlı darbelerin geniş bir frekans aralığında oluşmasına sağlayan doğrusal grup gecikme eğrisi de doğrusallıktan uzaktır. Bununla birlikte, ızgara adımı z ekseni boyunca doğrusal olarak değiştirildiğinde, bu olumsuzluklar yok edilebilir.



Şekil 2 Raised-cosine pozlandırılmış fiber Bragg ızgaranın yansıtırlık ve grup gecikme eğrisi

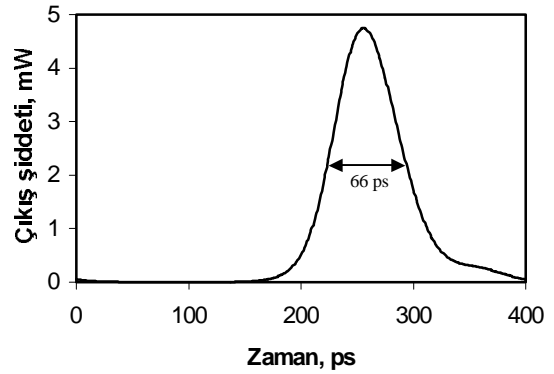
Şekil 3 de yansımaya tepe değeri 0.5 olan doğrusal azalan adımlı raised-cosine pozlandırılmış fiber ızgaranın yansıtırlık ve grup gecikme eğrisi verilmektedir. Yine yansımaya spektrumunda herhangi bir yan-lob gözükmemekte ve ayrıca grup gecikme eğrisinde de süreksizlikler bulunmamaktadır. Şekilde görüldüğü gibi ızgara adımının doğrusal olarak değiştirilmesiyle yansımaya spektrumu genişlemiş (FWHM=6.21 Å) ve grup gecikme eğrisinde doğrusal olmuştur. Bu spektrum mod-kilitli HSPS için istenilen bir spektrumdur.



Şekil 3 Doğrusal azalan adımlı fiber Bragg ızgaranın yansıtırlık ve grup gecikme eğrisi

Bu çalışmada, fiber Bragg ızgara kullanan HSPS in çıkış darbeleri 1 GHz lik bir frekans aralığında incelenmiş ve her frekansda darbelerin çeviri-sınırlı olup olmadığını belirlemek için, çıkış darbesinin genişliği, spektral genişlik ve TBP çarpımı kaydedilmiştir.

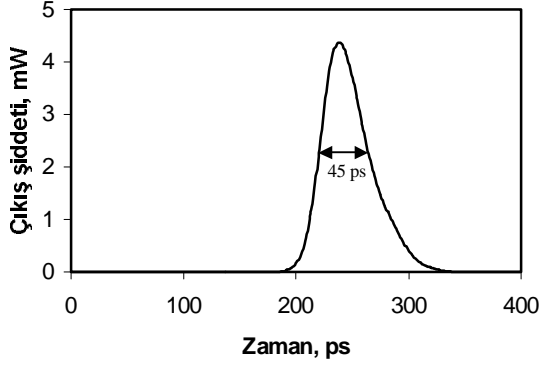
Raised-cosine pozlandırılmış fiber ızgara kullanan mod-kilitli HSPS ile 2.3-2.5 GHz arasındaki frekanslar hariç diğer frekanslarda çeviri-sınırlı darbeler üretilebilmiştir. Çalışma frekansı 2.5 GHz de darbe genişliği 66 ps (bkz. Şekil 4), spektral genişlik 12 GHz ve TBP 0.8 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, çeviri-sınırlı darbe şartları aralığında bulunmamaktadır ve bu nedenle darbe çeviri-sınırlı değildir.



Şekil 4 Raised-cosine pozlandırılmış fiber Bragg ızgara kullanan HSPS in 2.5 GHz deki çıkış şiddeti

Şekil 5 doğrusal azalan raised-cosine pozlandırılmış fiber Bragg ızgara kullanan mod-kilitli HSPS in 2.5 GHz deki çıkış şiddetini göstermektedir. Bu frekansda darbe genişliği 45 ps, spektral genişlik 8.7 GHz ve TBP 0.394 dir. Bu sonuçlar, uzun mesafe soliton iletim sistemi için uygundur ve bu nedenle darbe çalışma frekansında çeviri-sınırlıdır. Ayrıca bu fiber ızgara ile 1 GHz lik (2-3 GHz) geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler elde edilebilmiştir. Çünkü, grup gecikme eğrisinin doğrusal olmasıyla, HSPS yansıtırlık spektrumunun tamamını kullanabildiğinden geniş bir frekans aralığında mod-kilitleme yapabilmıştır [4-5].

Sonuç olarak, raised-cosine gibi pozlandırılmış fiber Bragg ızgaralar kullanılmasıyla yansımaya spektrumunda oluşan yan-loblar büyük ölçüde azalmakta hatta yok olmaktadır. Ayrıca, fiber ızgaranın adımı doğrusal olarak azaldığında, mod-kilitli HSPS geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretebilmektedir.



Şekil 5 Doğrusal azalan adımlı raised-cosine pozlandırılmış fiber Bragg ızgara kullanan HSPS in 2.5 GHz deki çıkış şiddeti

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, raised-cosine pozlandırılmış ve doğrusal azalan raised-cosine pozlandırılmış fiber Bragg ızgara kullanan HSPS in yansıtırlık ve çıkış darbesi sunulmuştur.

Doğrusal azalan raised-cosine pozlandırılmış fiber ızgara kullanan mod-kilitli HSPS ile geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler elde edilirken, raised-cosine pozlandırılmış fiber ızgaralarla sadece sınırlı bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretilebilmiştir. Ayrıca, her iki fiber ızgaranın yansıma spektrumunda darbelerin bozulmasına sebep olan yanloblar oluşmamıştır.

#### KAYNAKLAR

- [ 1 ] Morton, P.A., Mizrahi, V., Andrekson, P. A., Tanbun-Ek, T., Logan, R. A., Lemaire, P., Coblenz, D. L., Sergent, A. M., Wecht, K. W., Sciortino Jr. P.F., Mode-Locked Hybrid Soliton Pulse Source with Extremely Wide Operating Frequency Range, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTER, vol. 5, no. 1, s. 28-31, 1993.
- [ 2 ] Ozyazici, M. S., Morton, P. A., Zhang, L. M., Mizrahi, V., Theoretical Model of the Hybrid Soliton Pulse Source, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTER, vol. 7, no. 10, s. 1142-1144, 1995.
- [ 3 ] Kogelnik, H., Shank, C. V., Coupled-Wave Theory of Distributed Feedback Lasers, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 43, no. 5, s. 2327-2335, 1972.
- [ 4 ] Dogru, N., Ozyazici, M. S., Effect of Spontaneous Noise on Mode-Locked Fiber Grating External Cavity Lasers, OPTICAL ENGINEERING, vol. 42, no. 1, s. 18-22, 2003.
- [ 5 ] Dogru, N., Ozyazici, M. S., Intensity Noise of Mode-Locked Fiber Grating External Cavity Semiconductor Lasers, OPTICAL AND QUANTUM ELECTRONICS, vol. 35, no. 2, s. 169-178, 2003.