

# DÜZGÜN ve POZLANDIRILMIŞ FİBER BRAGG IZGARA MODELLERİ

Nuran DOGRU ve M. Sadettin ÖZYAZICI

Gaziantep Üniversitesi, Elektrik&Elektronik Mühendisliği Bölümü, 27310 Gaziantep  
dogru@gantep.edu.tr

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

## ÖZET

Bu çalışmada, düzgün ve raised-cosine fiber Bragg ızgara kullanan karışık soliton darbe kaynağı (HSPS) modeli sunulmuştur. Yansıma ve grup gecikme spektrumlarını belirlemek için çiftli dalga denklemleri kullanılmıştır. Darbe bozulmasına sebep olan yan-lobların raised-cosine fiber Bragg ızgara kullanılmasıyla azaldığı bulunmuştur. Ayrıca, raised-cosine fiber Bragg ızgaralar düzgün fiber Bragg ızgaralardan daha az yan loplara sahip olduğu için gürültülü ve gürültüsüz bir ortamda HSPS ile geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler elde edilmiştir.

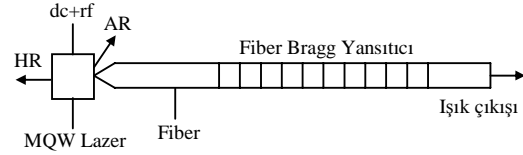
## 1. GİRİŞ

Günümüzde uzun mesafe fiber optik haberleşme sistemlerinde tekrarlayıcısız iletim üzerine çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Bu tip sistemlerde yüksek enerjili solitonların kullanılması en az bozulmayla darbe iletimini sağlanması açısından gelecek vaad etmektedir. Soliton darbe üretimi için, 2.488 GHz çarşılma frekansı etrafında  $\text{sech}^2$  veya Gaussain şekilli, zaman-bant genişliği çarpımı 0.3 ile 0.5 arasında değişen çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesi gerekmektedir. Karışık soliton darbe kaynağı (HSPS) bu amaca yönelik yani soliton iletim sistemi için geliştirilmiş böyle bir cihazdır.

Düzgün (uniform) fiber Bragg ızgara kullanan HSPS in yansıma eğrileri [1] ve mod-kilitlenme olayları iyi bir şekilde açıklanmıştır [2-3]. Bu çalışmada ise, düzgün ve raised-cosine fiber Bragg ızgara kullanan HSPS in yalnızca yansıtıcılık ve grup gecikme eğrileri incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan raised-cosine fiber ızgaranın yan-lobları büyük ölçüde azalttığı bulunmuş ve ayrıca sonuçlar logaritmik skalde çizildiğinde yan-lobların büyüklüğünü 40 dB ye kadar düşürdüğü gözlenmiştir. Ayrıca, raised-cosine ızgara kullanan HSPS in gürültülü ve gürültüsüz durumda, düzgün ızgara kullanan HSPS e göre daha geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler ürettiği bulunmuştur.

## 2. TEORİ

HSPS in şematik diyagramı Şek. 1 de verilmiştir. Geometrisi [4-5] de tanımlananla aynıdır. HSPS temel olarak üç bölümden oluşmaktadır. Bir çoklu-kuvantum duvarlı (MQW-multi-quantum well) yarı iletken lazer diyot, fiber kablo ve kablonun sonunda belli bir bölümde oluşturulmuş Bragg yansıtıcı. Diyotun bir yüzeyinin yansıması yüksek (HR), diğeri ise çok düşüktür (AR). Sistemde üretilen darbenin şekli esas olarak bu yansıtıcı (ızgara) tarafından belirlenmektedir.



Şekil-1. HSPS in şematik görünümü

Çiftli dalga denklemleri ızgara içinde her iki yönde ilerleyen elektrik alanı modellemek için kullanılabilir. Bu denklemlerin çözümü planya dalga kılavuzları için elde edilebildiği gibi [6] silindirik göbeğe sahip fiber Bragg ızgaralar içinde geçerli olduğu gösterilmiştir [1].

Düzgün fiber Bragg ızgara (sabit adım ve sabit genlikli) kırılma indisinin ilerleme yönünün aşağıdaki gibi değiştiğini varsayalım

$$n(z) = n_{co} + \Delta n_{co} \cos(2\beta_0 z) \quad (1)$$

Bu eşitlikte  $n$   $z$ 'e bağımlı değişen kırılma indisi,  $n_{co}$  fiberin değişime uğramadan önceki kırılma indisi (1.46 olarak alınabilir),  $\Delta n_{co}$  indis değişiminin genliği ( $\Delta n_{co} \ll n_{co}$ ) ve  $\beta_0$  Bragg yayılım sabitidir. Bu sabit

$$\beta_0 = \frac{N\pi}{\Lambda} = \frac{2\pi}{\lambda_0} n_{co} \quad (2)$$

olarak yazılabilir. Burada  $\Lambda$  ızgaranın adımını (tekrarlama sıklığı),  $\lambda_0$  Bragg dalga boyunu ve  $N$  de ızgaranın seviyesini gösterir. Genellikle  $N=1$  ve  $N=2$  alınır ve bu çalışmada  $N=1$  olarak alınmıştır.

Bu denklemlerden yola çıkıp Maxwell eşitlikleri kullanılarak ve bazı yaklaşımlarla [6], aşağıda verilen çiftli-dalga denklemleri elde edilir,

$$-F' - j\delta F = j\kappa R \quad (3)$$

$$R' - j\delta R = j\kappa F \quad (4)$$

Bu eşitlikte,  $F$  ileri yöndeki dalgayı (+z yönünde) ve  $R$  geri yöndeki dalgayı (-z yönünde) ifade eder.  $\delta$  genel yayılım sabitinin ( $\beta$ ) gerçek kısmının Bragg yayılım sabitinden sapmasıdır ( $\beta=\beta_0+\delta$ ). Üst indisler ise  $z$ 'e göre türevi gösterir.  $\kappa$  kavrama faktörü olup,  $F$  ve  $R$  dalgalar arasındaki kavramayı (coupling) ifade eder ve bunun genliği genel dalga boyu ve indis değişimi genliğine aşağıdaki gibi bağlıdır,

$$\kappa = \frac{\pi \Delta n_{co}}{\lambda} \quad (5)$$

Daha sonra elde edilen bu denklemlere bazı matematiksel işlemler uygularsak çiftli dalga denklemleri ikinci dereceden sabit katsayılı diferansiyel denklemlere indirgenir,

$$F'' - \gamma^2 F = 0 \quad (6)$$

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

Burada,  $\gamma^2 = \kappa^2 - \delta^2$  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,

$$\begin{bmatrix} F \\ R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma z) - j \frac{\delta}{\gamma} \sinh(\gamma z) & -j \frac{\kappa}{\gamma} \sinh(\gamma z) \\ -j \frac{\kappa}{\gamma} \sinh(\gamma z) & \cosh(\gamma z) + j \frac{\delta}{\gamma} \sinh(\gamma z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_o \\ R_o \end{bmatrix} \quad (8)$$

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,

$$\begin{bmatrix} F_i \\ R_i \end{bmatrix} = T_i \begin{bmatrix} F_{i-1} \\ R_{i-1} \end{bmatrix} \quad (9)$$

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.

$$\begin{bmatrix} F_M \\ R_M \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} F_o \\ R_o \end{bmatrix}, \quad T = T_M \cdot T_{M-1} \cdot \dots \cdot T_1 \quad (10)$$

Bu alan değerlerini kullanarak toplam ızgara yansıtma katsayısı,

$$\rho = \frac{R_M}{F_M} \quad (11)$$

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

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

$$\tau_g = \frac{d\theta_p}{d\omega} = -\frac{\lambda^2}{2\pi c} \frac{d\theta_p}{d\lambda} \cong -\frac{\lambda^2}{2\pi c} \frac{\Delta\theta_p}{\Delta\lambda} \quad (12)$$

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

Buraya kadar yapılan işlemler basit yapıya düzgün fiber ızgara içindi. Raised-cosine fiber ızgara (sabit adımlı, değişen genlikli), için de izlenen yol aynı olmasına rağmen denklemler biraz değişecektir. Bu tip ızgaralar için kırılma indisi aşağıdaki gibidir,

$$\Delta n(z) = \Delta n_{co} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \left[ 2\pi \left( \frac{z-L/2}{L} \right) \right] \right\} \quad (13)$$

ızgara kırılma indisinin pozlandırılması ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir,

$$\kappa(z) = \kappa_p \frac{1}{2} \left[ 1 + \cos \left( \frac{\pi z}{FWHM} \right) \right] \quad (14)$$

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.

Yeni indise göre yapılan türetimler, denklem 8 de  $\delta$  yerine yeni bir parametre  $\sigma$  olarak yansır.

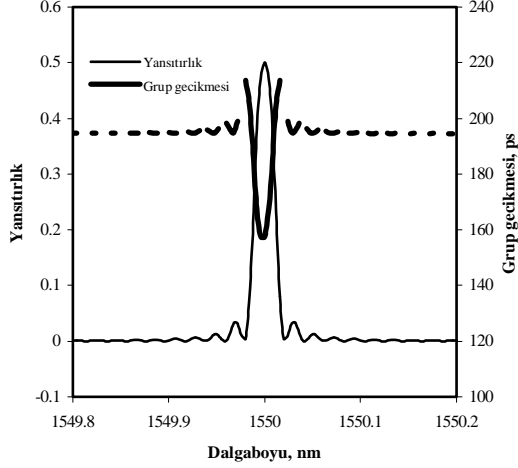
$$\sigma = \delta + \frac{2\kappa(z)}{m} \quad (15)$$

Burda  $m$  modülasyon indisi dir. Sonuç olarak genel çözümde yer alan iletim matrisi her bölüm için ( $i$  alt indisi ile gösterilmiştir)

$$T_i = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma_i \Delta z) - j \frac{\sigma_i}{\gamma_i} \sinh(\gamma_i \Delta z) & -j \frac{\kappa_i}{\gamma_i} \sinh(\gamma_i \Delta z) \\ -j \frac{\kappa_i}{\gamma_i} \sinh(\gamma_i \Delta z) & \cosh(\gamma_i \Delta z) + j \frac{\sigma_i}{\gamma_i} \sinh(\gamma_i \Delta z) \end{bmatrix} \quad (16)$$

### 3. SONUÇ ve TARTIŞMA

Tasarımda düşünölen Bragg ızgarası fiber optik haberleşme sisteminde 1.55  $\mu\text{m}$  de çalışan, 2.488 GHz de mod-kilitlemesi yapan HSPS içindir. Fiber ızgara uzunluğu 4 cm, modölasyon indisi 0.8 alınmıştır. Yansımanın en büyük değeri 0.5 ve 0.99 alınarak yansıtırlık ve grup gecikme eğrileri elde edilmiştir.

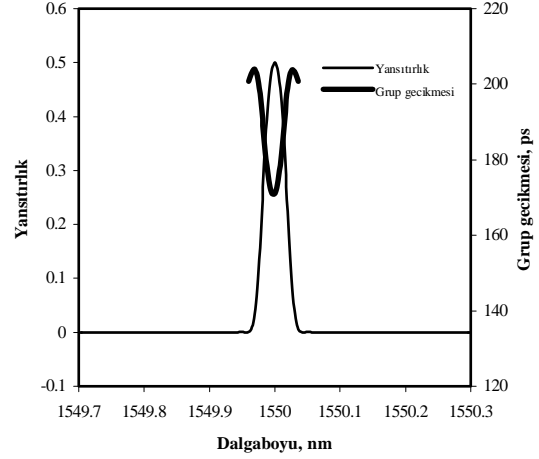


Şekil-2. Düzgün fiber ızgaranın yansıtırlık ve grup gecikme eğrisi

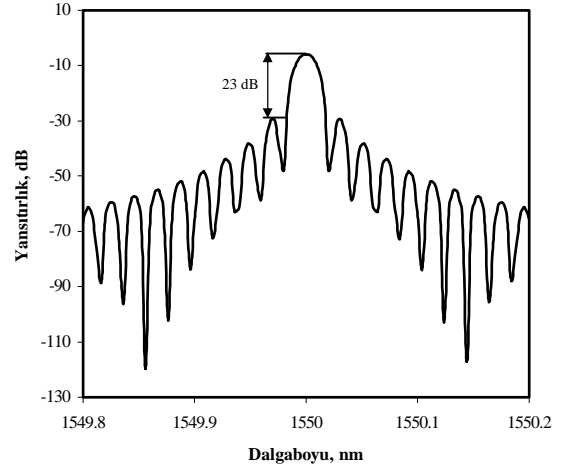
Şekil 2 yansıma tepe değeri 0.5 olan düzgün fiber ızgaranın yansıtırlık ve grup gecikme eğrisini göstermektedir. Şekilde göröldüğü gibi, yansıma eğrisinde, bir ana lob ve merkezden kenara doğru gittikçe genliği azalan yan-loblar bulunmaktadır. Bu tip tepki şekli ızgara kenarlarının meydana getirdiği Fabry-Perot ovuğu etkisinden kaynaklanmaktadır[1, 7]. Yan-loblar darbenin dağılmasına yani darbenin bazı spektral parçalarının yansırken diğerlerinin ilerlemesine (transmitted) sebep olmaktadır. Yansımada görölen bu iniş çıkışlar grup gecikmesi eğrisine de yansımakta ve süreksizlikler meydana getirmektedir.

Şekil 3 de yansıma tepe değeri 0.5 olan raised-cosine fiber ızgaranın yansıtırlık ve grup gecikme eğrisi verilmektedir. Yansıma spektrumunda herhengi bir yan-lob gözükmemekte ve ayrıca grup gecikme eğrisinde de süreksizlikler bulunmamaktadır.

Yan-lobların büyüklüklerini ve raised-cosine fiber Bragg ızgara ile ne kadar azaldığını daha iyi gözlemleyebilmek için bu ızgaların yansıtırlık spektrumları Şekil 4 ve 5 de göröldüğü gibi logaritmik skalde verilmiştir. Şekillerde göröldüğü gibi raised-cosine fiber ızgrası çok küçük yan-loblara sahip ve düzgün fiber ızgaraya göre 41 db lik yan-lob azalmasına imkan vermektedir.



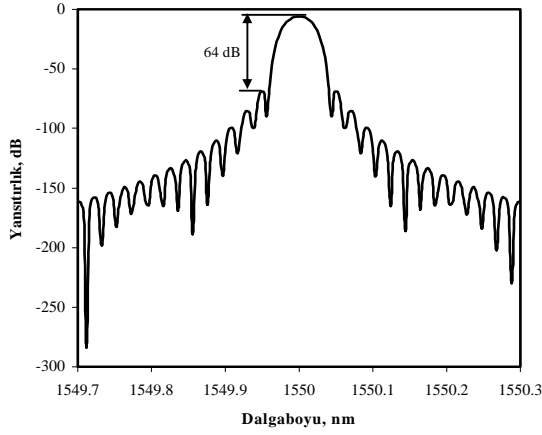
Şekil-3. Raised-cosine fiber ızgaranın yansıtırlık ve grup gecikme eğrisi



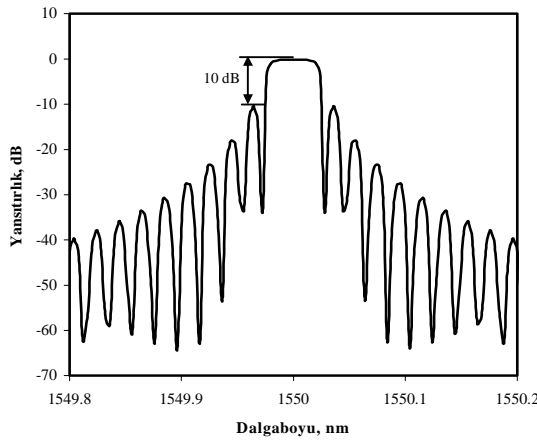
Şekil-4. Düzgün fiber ızgaranın yansıtırlık eğrisi

Yansıma tepe değeri 0.99 olarak alındığında beklenildiği gibi yan-loblarda artma olmaktadır (bkz Şek. 6 ve 7). Şekillerde göröldüğü gibi bu durumda, raised-cosine fiber ızgara 46 db lik bir azalma sağlamaktadır.

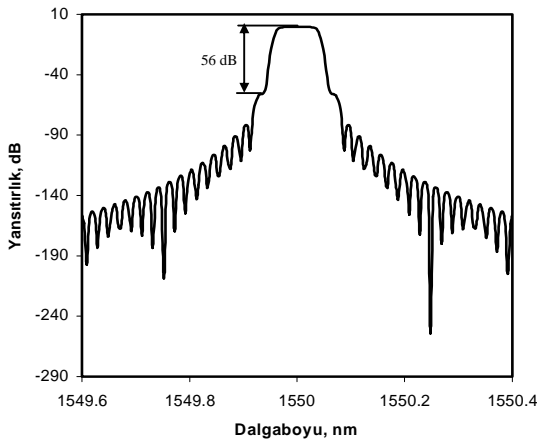
Ayrıca elde edilen sonuçlardan, gürültülü ve gürültüsüz durumda, raised-cosine pozlandırılmış ızgara kullanan HSPS ile geniş bir frekans aralığında (800 MHz) çeviri-sınırlı darbeler üretilmesine rağmen, bu aralığın düzgün fiber ızgaralarda oldukça düşük (200 MHz) olduğu bulunmuştur. Bu ızgaraları kullanan HSPS in relative intensity noise (RIN) spektrumları karşılaştırıldığında ise Şek. 8 de göröldüğü gibi raised-cosine pozlandırılmış ızgara kullanan HSPS in geniş bir frekans aralığında daha düşük RIN değeri verdiği gözlenmiştir.



Şekil-5. Raised-cosine fiber ızgaranın yansıtıcılık eğrisi



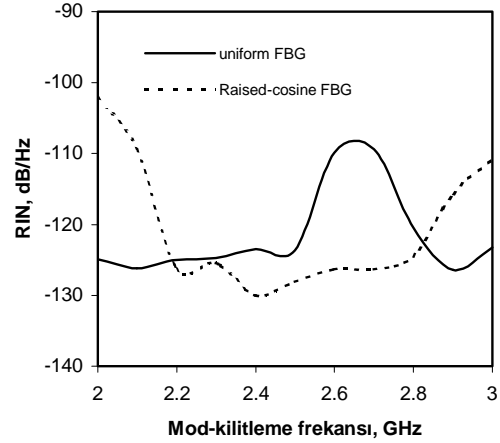
Şekil-6. Düzgün fiber ızgaranın yansıtıcılık eğrisi



Şekil-7. Raised-cosine ızgaranın yansıtıcılık eğrisi

Sonuç olarak , yan-lobları azaltmak ve geniş bir frekans aralığında çeviri sınırlı darbeler üretebilmek için, raised-cosine gibi poazlandırılmış ızgaralar kullanılır. Birden bire biten arayüzeyler olmadığı için yan-loblar büyük ölçüde azalmaktadır.

Sonuçlardan da görüldüğü gibi, yan-loblar çok küçük olduğu için, raised-cosine profili en iyilerinden biridir.



Şekil-8. Düzgün ve raised-cosine pozlandırılmış ızgara kullanan HSPS in RIN spektrumu

#### 4. SONUÇ

Düzgün fiber ızgaraların yansıma spektrumunda yan-loblar oluşurken, raised-cosine fiber ızgara kullanılmasıyla bu yan-loblar büyük ölçüde azaltılmıştır. Ayrıca, raised-cosine fiber ızgaranın yan-lobların büyüklüğünü 40 db ye kadar azaltabildiği ve bu ızgara çeşidini kullanan HSPS ile gürültülü ve gürültüsüz geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbelerin üretildiği bulunmuştur.

#### KAYNAKLAR

- [1] Erdoğan, T., Fiber Grating Spectra, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol 15, Iss 8, pp 1277-1294, 1997.
- [2] 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., and Sciorino Jr. P.F., Mode-Locked Hybrid Soliton Pulse Source with Extremely Wide Operating Frequency Range, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol 5, Iss 1, pp 28-31, 1993.
- [3] Ozyazici, M. S., Morton, P. A., Zhang, L. M. and Mizrahi, V., Theoretical Model of the Hybrid Soliton Pulse Source, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol 7, pp 1142-1144, 1995.
- [4] Dogru N. and Ozyazici M.S., Relative Intensity Noise of Mode-Locked Fiber Grating External Cavity Semiconductor Lasers, OPTICS AND LASER TECHNOLOGY, Vol 35, Iss 3, pp 163-168, 2003.
- [5] Dogru N. and Ozyazici M.S., Effect of Intensity Noise on Mode-Locked Hybrid Soliton Pulse Source, OPTICS COMMUNICATIONS, Vol 220, Iss 1-3, pp 97-104, 2003.
- [6] Kogelnik, H. and Shank, C. V., Coupled- Wave Theory of Distributed Feedback Lasers, Journal of APPLIED PHYSICS, Vol 43, Iss 5, pp 2327-2335, 1972.
- [7] Mizrahi, V. and Sipe, J. E., Optical Properties of Photosensitive Fiber Phase Gratings, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol 11, pp 1513-1521, 1993.