

SICAKLIK VE TİTREŞİMİN FİBER RİBBON KABLOLARDAKİ POLARİZASYON MOD DISPERSİYONUNA VE İLETİM UZUNLUĞUNA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Sait Eser KARLIK¹

Güneş YILMAZ²

^{1,2}Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü,
16059, Görükle, BURSA

e-mail: ekarlik@uludag.edu.tr

gunesy@uludag.edu.tr

Anahtar Sözcükler: PMD, İletim Uzunluğu, Fiber Ribbon, Sıcaklık, Titreşim

ÖZET

Dispersiyonu sıfırdan farklı fiber (NZDF) ribbon kablolar, şehiriçi abone hatlarının yanısıra yüksek hızlı uzak mesafe haberleşme ağlarında da kullanılmaktadır. Yüksek hızlı uzak mesafe veri iletimi düşük polarizasyon mod dispersiyonu (PMD) gerektirdiğinden NZDF ribbon kabloların PMD performanslarının bilinmesi çok önemlidir. Bu çalışmada, sıcaklık ve titreşimin NZDF ribbon kablolardaki PMD'ye ve iletim uzunluğuna etkileri incelenmiştir. Sıcaklığın PMD üzerindeki etkisine ilişkin deneylerde, 10 °C ile 60 °C arasında değişen sıcaklığın, maksimum iletim uzunluğunu ribbondaki dış fiberlerde % 23.3, ribbondaki iç fiberlerde % 18.5 azalttığı görülmüştür. Ayrıca, 13 °C ile 25 °C arasında değişen ortam sıcaklığının, fiber ribbon kabloya maksimum iletim uzunluğunu % 22.2 azalttığı saptanmıştır. Titreşimin PMD üzerine etkisine ilişkin deneylerde ise, genliği 0.5-10 mm ve frekansı 5-20 Hz arasında değişen titreşim fiber ribbon kabloya uygulandığında, maksimum iletim uzunluğunun % 20 azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yüksek hızlı uzak mesafe haberleşme sistemlerinde, sıcaklığın hızlı ve rasgele değiştiği gerçek ortam koşullarının ve havai hatlı optik fiberlerle kurulu sistemlerde rüzgarın PMD'ye ve iletim uzunluğuna etkileri konusunda fikir vermesi açısından önemlidir.

1. GİRİŞ

Optik fiberde iletim kapasitesini sınırlayan temel etken dispersiyondur. Polarizasyon mod dispersiyonu (PMD), 10 Gbit/s ve üzerindeki optik iletim hızlarında, tek modlu fiberdeki darbe genişlemesinin ve alıcıda elde edilen güç seviyesindeki azalmaların temel nedenidir.

Uzak mesafe haberleşme ağı uygulamalarında genellikle dispersiyonu sıfırdan farklı fiberler (NZDF) kullanılmaktadır. Bu sistemlerdeki pek çok ana haberleşme hattının uzunluğu 400 km'yi aştığı için, kablonun PMD performansının yüksek bit hızlı haberleşmenin güvenilirliğine etki eden önemli bir faktör olduğu açıktır.

Fiber ribbon kabloların yaklaşık % 80'i maksimum 8-10 km uzunluklu erişim ağlarında,

% 20'si ise 10 km'nin üzerindeki uzak mesafe haberleşme ağlarında kullanılmaktadır. Ancak, fiber ribbon kabloların geleneksel gevşek tüplü fibere göre daha ekonomik ve yüksek hızlara uyumlaştırılmasının kolay olması nedeniyle, uzak mesafe haberleşme ağlarındaki kullanımı gittikçe artmaktadır [1,2]. Dolayısıyla, bu tip kabloların farklı ortam koşulları altındaki PMD performanslarının bilinmesi, yüksek bit hızlı iletişim uygulamaları açısından son derece önemlidir. Bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmıştır [3-6].

Literatürde, sıcaklığın fiber ribbon kabloların PMD'sine etkisi genellikle sabit sıcaklık değerlerinde incelenmiştir [7, 8]. Ancak bu tür incelemeler, gerçek ortam koşullarında sıcaklığın PMD üzerindeki etkisini göstermekten uzaktır; çünkü gerçek ortamda sıcaklık sabit olmayıp hızlı ve rasgele biçimde değişebilmektedir. Ayrıca bu tür çalışmalarda, sıcaklık nedeniyle meydana gelen PMD değişimlerinin iletim uzunluğuna etkisine değinilmemiştir.

Dünyada havai hatlı optik fiberlerin toplam fiber ağı içindeki payı % 5'in altındadır. Türkiye'de ise bu oran % 20 civarındadır. Özellikle dağlık bölgelerde ve güneydoğu bölgesinde bu oran % 30'u geçmektedir. Bu nedenle, titreşimin fiber ribbon kablolardaki PMD ve iletim uzunluğu üzerindeki etkisinin belirlenmesi Türkiye'deki uygulamalar açısından önemlidir.

Bu çalışmada, gerçek ortam koşullarındaki sıcaklık değişimlerinin ve havai hatlı optik fiberlerle kurulu sistemlerde rüzgarın PMD'ye ve iletim uzunluğuna etkilerini anlayabilmek amacıyla, çevresel koşullardaki (sıcaklık ve titreşim) değişimler altında fiber ribbon kabloların PMD performansları deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, bahsedilen koşullar altında sabit çözümleyici ya da Jones matrisi yöntemi kullanılarak PMD ve diferansiyel grup gecikmesi (DGD) ölçümleri yapılmıştır.

İkinci bölümde, deneylerde kullanılan fiber ribbon kablo yapısı, deney yöntemi ve deney koşulları açıklanmıştır. Üçüncü ve dördüncü bölümlerde ise, sırasıyla sıcaklığın ve titreşimin PMD ve iletim uzunluğu üzerindeki etkisini gösteren deney sonuçları sunulmuştur.

2. DENEYLERDE KULLANILAN FİBER RIBBON KABLO YAPISI, DENEY YÖNTEMİ VE DENEY KOŞULLARI

Deneylerde kullanılan NZDF, 1530–1625 nm dalgaboyu bölgesindeki yüksek bit hızlı iletişim için optimize edilmiş olup optik zayıflama karakteristikleri, 1550 ve 1625 nm dalgaboylarında epey düşüktür. Bu fiberin bazı teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. NZDF optik ve geometrik karakteristikleri

| Parametre | Değer | Parametre | Değer |
|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------|
| Kromatik dispersiyon (1530-1565 nm) | 2.6 – 6.0 ps/nm.km | Kılıf çapı | 125 ± 1.0 µm |
| Kromatik dispersiyon (1565-1625 nm) | 4.0 – 8.9 ps/nm.km | Çekirdek/kılıf eşmerkezlilik hatası | ≤ 0.6 µm |
| MFD (1550 nm) | 8.4 ± 0.6 µm | Kılıfın ovalliği | ≤ % 1.0 |

Deneylerde, iki farklı tipte fiber ribbon kablo kullanılmıştır. A kablosu, 200 fiberli bir kablo olup 10 slotlu ve her slotta 4 fiberli 5 adet ribbon bulunan bir yapıya sahiptir. B kablosunda toplam 600 fiber ve 8 fiberli ribbonlar içeren 8 slot bulunmaktadır. Her iki kabloda merkez taşıyıcı eleman Aramid olup su koruması, su durdurucu bantlarla sağlanmıştır. Kullanılan kabloların geometrik parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deney kablolarının geometrik parametreleri

| | A kablosu | B kablosu |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| Fiber sayısı | 200 fiber | 600 fiber |
| Ribbon tipi | 4 fiberli | 8 fiberli |
| Ribbon kalınlığı | 0.4 mm | 0.3 mm |
| Ribbon genişliği | 1.1 mm | 2.1 mm |
| Merkez taşıyıcı eleman çapı | 4.5 mm (A-FRP) | 4.5 mm (A-FRP) |
| Ceket kalınlığı | 1.5 mm | 1.5 mm |
| Kablo dış çapı | 17 mm | 22 mm |
| Su koruması | Su durdurucu bant | Su durdurucu bant |

Sıcaklığın PMD üzerindeki etkisini gözlemlemek için, ortalama uzunluğu 1 km olan ve makaraya sarılı durumda bulunan A kablosunun dış fiberlerini (birinci halka) ve iç fiberlerini (ikinci halka) kullanarak iki ayrı halka oluşturulmuştur. Her bir halkanın uzunluğu yaklaşık 47 km’dir. Sabit çözümleyici yöntemi, Acterna MTS-8000 Tester ve Agilent 81480A, 81640A, 81680A ayarlı lazerler kullanılarak, 1380–1640 nm aralığında her bir halkanın PMD’si 30 dakikalık aralıklarla ölçülmüştür. Toplam ölçüm

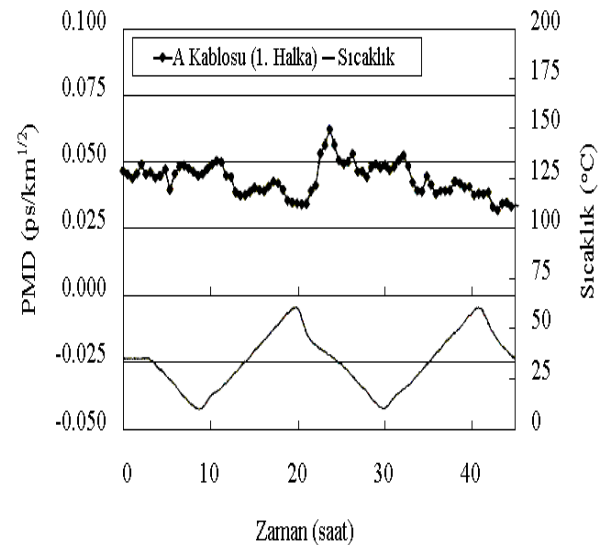
süresince, ortam sıcaklığı 10 °C ile 60 °C arasında değiştirilmiştir.

Gerçek saha koşullarında PMD değişimini gözlemlemek için, B kablosunun fiberleri 60 km uzunluklu bir halka oluşturacak şekilde birleştirilmiş ve kablo 48 saat boyunca açık alanda çevresel sıcaklık değişimine maruz bırakılmıştır. Deneyde kullanılan düzenek daha önceki sıcaklık testinde kullanılan aynıdır. Bu deneyde, 48 saat boyunca çevre sıcaklığı yaklaşık olarak 13 °C ile 25 °C arasında değişmiştir.

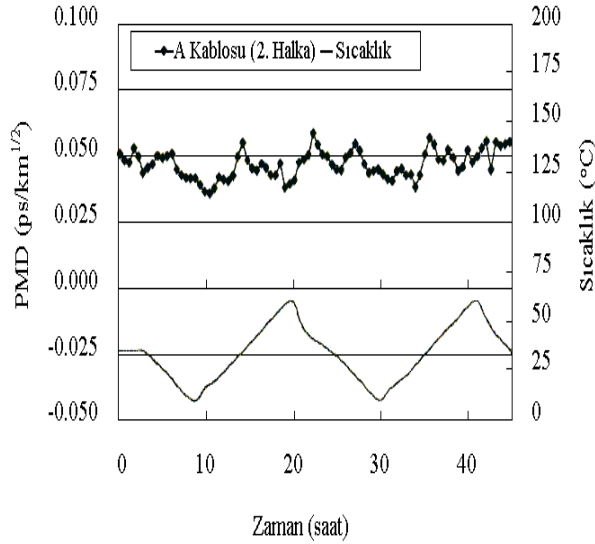
Rüzgar nedeniyle oluşan titreşimin fiber ribbon kablonun PMD performansına etkisini gözlemlemek için A kablosunda DGD’nin titreşimle değişimi incelenmiştir. Deneyde, Jones matrisi yöntemini temel alan PAT9000F PMD/PDL çözümleyici ve 1550 nm dalgaboylu Agilent 81640A lazer kullanılmıştır. Toplam test süresi 27 saattir. İlk 15 saatte, kabloya uygulanan titreşim frekansı 5 Hz’de sabit tutulup titreşim genliği değiştirilmiştir. Sonraki 12 saatte, titreşim genliği 1 mm değerinde sabit tutulup titreşim frekansı değiştirilmiştir. İlk 15 saatte kabloya uygulanan titreşim genlikleri sırasıyla 0.5 mm, 1 mm, 2 mm, 5 mm ve 10 mm’dir. Her titreşim genliği 3 saat boyunca sabit tutulmuştur. Son 12 saatte kabloya uygulanan titreşim frekansları sırasıyla 20 Hz, 15 Hz, 10 Hz ve 5 Hz’dir. Her titreşim frekansı 3 saat boyunca sabit tutulmuştur.

3. ORTAM SICAKLIĞININ PMD VE İLETİM UZUNLUĞUNA ETKİSİNİ GÖSTEREN DENEY SONUÇLARI

A kablosunun dış fiberlerinin oluşturduğu birinci halkada ve iç fiberlerinin oluşturduğu ikinci halkada ortam sıcaklığının 10 °C ile 60 °C arasında değiştiği durumda elde edilen PMD grafikleri Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Ortam sıcaklığındaki değişimlerin PMD’ye etkisi (birinci halka)



Şekil 2. Ortam sıcaklığındaki değişimlerin PMD'ye etkisi (ikinci halka)

Şekil 1 ve Şekil 2, sıcaklıktaki değişimle beraber PMD'nin de değiştiğini göstermektedir. Birinci halkadaki ortalama PMD $0.044 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ ve PMD'nin sıcaklıkla değişimi % 14.2, ikinci halkadaki ortalama PMD $0.047 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ ve PMD'nin sıcaklıkla değişimi % 10.7 olarak bulunmuştur. Birinci ve ikinci halkaların PMD performansları arasındaki bu farkın nedeni, dış fiberlerden oluşan birinci halkanın fiber/kablo etkileşimlerine daha fazla maruz kalması, iç fiberlerin oluşturduğu ikinci halkanın ise dış fiberler sayesinde bu tür etkilerden korunmasıdır. Sonuç olarak, kablo boyunca oluşan çiftkırılma ve mod kuplajı birinci halkada daha büyüktür.

Haberleşme sistemlerinde, PMD tarafından sınırlanan maksimum iletim uzunluğu

$$L = \left[\frac{10^3 f}{B \times \text{PMD}} \right]^2 \quad (1)$$

ile hesaplanır [9]. Burada, B bit hızı, L iletim mesafesi ve f darbe - periyot oranıdır.

$f = 0.1$ olarak alınırsa, birinci halkada ortalama PMD'nin $0.044 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ olduğu şartlarda maksimum iletim uzunlukları

- 40 Gbit/s sistemlerde 3228 km ve 120 Gbit/s sistemlerde 359 km'dir.
- Değişen sıcaklığın etkisiyle, 40 Gbit/s sistemlerde 2475 km ve 120 Gbit/s sistemlerde 275 km olacaktır.

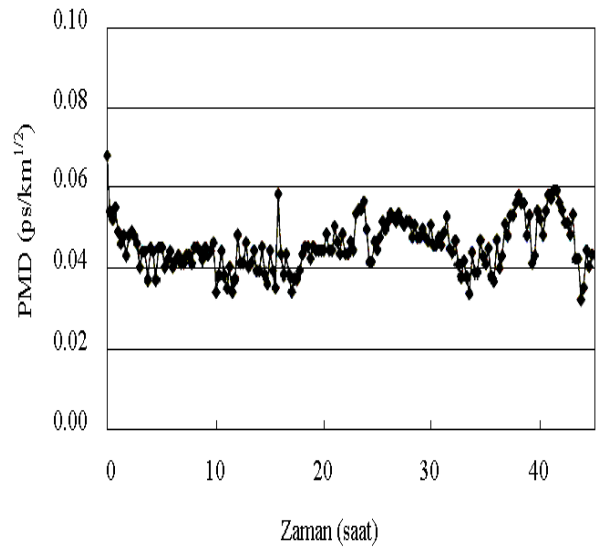
Değişen sıcaklık, birinci halkadaki maksimum iletim uzunluğunu % 23.3 azaltmaktadır.

İkinci halkada ortalama PMD'nin $0.047 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ olduğu şartlarda maksimum iletim uzunlukları

- 40 Gbit/s sistemlerde 2830 km ve 120 Gbit/s sistemlerde 314 km'dir.
- Değişen sıcaklığın etkisiyle, 40 Gbit/s sistemlerde 2309 km ve 120 Gbit/s sistemlerde 256 km olacaktır.

Değişen sıcaklık, ikinci halkadaki maksimum iletim uzunluğunu % 18.5 azaltmaktadır.

B kablosu üzerinde gerçekleştirilen açık alan testinde edilen sonuçlar Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Açık alan testinde elde edilen PMD değişimi

Açık alan testinde, ortalama PMD $0.045 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ ve PMD'nin sıcaklıkla değişimi % 13.4 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, A kablosunun iç ve dış halkalarında yapılan sıcaklık testlerinden elde edilen sonuçlarla benzeşmektedir.

Sonuçlar (1) formülü kullanılarak değerlendirildiğinde;

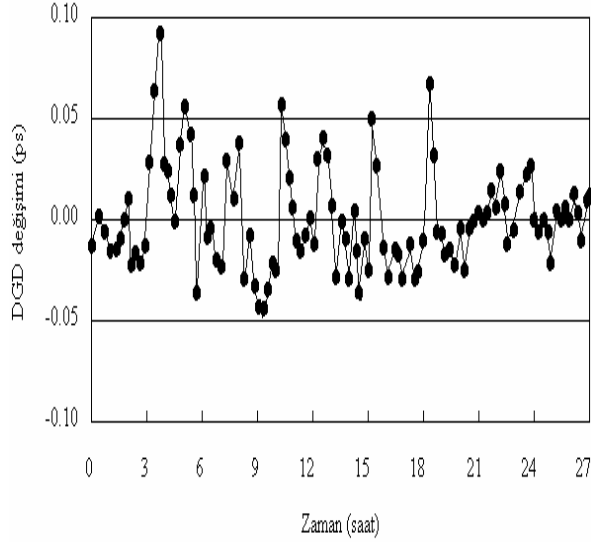
Açık alan testinde, ortalama PMD'nin $0.045 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ olduğu şartlarda maksimum iletim uzunlukları

- 40 Gbit/s sistemlerde 3086 km ve 120 Gbit/s sistemlerde 343 km'dir.
- Değişen sıcaklığın etkisiyle, 40 Gbit/s sistemlerde 2400 km ve 120 Gbit/s sistemlerde 267 km olacaktır.

Açık alan testinde, değişen sıcaklık, maksimum iletim uzunluğunu % 22.2 azaltmaktadır.

4. TİTREŞİMİN PMD VE İLETİM UZUNLUĞUNA ETKİSİNİ GÖSTEREN DENEY SONUÇLARI

Rüzgar nedeniyle oluşan titreşimin kablo performansına etkisini gözlemek için PMD ile titreşim arasındaki ilişkinin incelendiği titreşim testi boyunca ölçülen DGD değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Titreşim testinde gözlenen DGD değişimi

Testte ölçülen ortalama DGD 0.20 ps olup, titreşim frekansı ve titreşim genliğinin DGD üzerindeki toplam etkisi % 12'lik bir değişim şeklindedir. Buradaki önemli nokta, titreşim frekansındaki değişimlerin PMD üzerindeki etkisinin küçük (% 6'lık bir değişim), titreşim genliğindeki değişimlerin PMD üzerindeki etkisinin ise belirgin (% 15'lik bir değişim) olmasıdır.

Sonuçlar (1) formülü kullanılarak değerlendirildiğinde;

Ortalama DGD'nin 0.2 ps olduğu şartlarda maksimum iletim uzunlukları,

- 40 Gbit/s sistemlerde 1563 km ve 120 Gbit/s sistemlerde 174 km'dir.
- Titreşimin etkisiyle (rüzgar hızı ve frekansına bağlı olarak), 40 Gbit/s sistemlerde 1246 km ve 120 Gbit/s sistemlerde 138 km olacaktır.

Kabloya uygulanan titreşim maksimum iletim uzunluğunu % 20 azaltmaktadır.

Titreşim testindeki DGD değişimlerinin sebebi şöyle açıklanabilir: Titreşim, fiber kabloya harici yanal zorlanma yükler. Fiber/kablo etkileşimiyle ilgili unsurlar PMD değişimlerine sebep olur. Slotlu çekirdeğe sahip kablolarda, fiber/kablo etkileşimine hassasiyet diğer kablolardan daha fazladır.

Bunun nedeni, kablo boyunca fiber ve çekirdek arasında çok sayıda temas noktası bulunmasıdır. Slotlu çekirdek malzemesi sert olduğu için, dikey titreşim sırasında meydana gelen harici streslerin kablo boyunca oluşturduğu çift kırılma ve mod kuplaj dağılımlarındaki değişimler DGD değişimlerine sebep olur.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, sıcaklık ve titreşim gibi çevresel koşullardaki değişimlerin, fiber ribbon kabloların PMD performanslarını ve iletim uzunluklarını nasıl etkilediği deneysel olarak incelenmiştir.

Literatürde, sıcaklığın fiber ribbon kabloların PMD'sine etkisi genellikle sabit sıcaklık değerlerinde incelenmiştir. Ancak bu tür incelemeler, gerçek ortam koşullarında sıcaklığın PMD üzerindeki etkisini göstermekten uzaktır; çünkü gerçek ortamda sıcaklık sabit olmayıp hızlı ve rasgele biçimde değişebilmektedir. Yapılan deneylerde, bu etkiyi gözlemek için, öncelikle ribbonlardaki dış fiberler (birinci halka) ve iç fiberler (ikinci halka) birleştirilerek iki ayrı halka oluşturulmuş, toplam ölçüm süresince ortam sıcaklığı 10 °C ile 60 °C arasında değiştirilerek, 1380–1640 nm aralığında her bir halkanın PMD'si 30 dakikalık aralıklarla ölçülmüştür. Birinci halkada ortalama PMD 0.044 ps/√km ve PMD'nin sıcaklıkla değişimi % 14.2,

ikinci halkada ortalama PMD 0.047 ps/√km ve PMD'nin sıcaklıkla değişimi % 10.7 olarak bulunmuştur. Daha sonra, 60 km uzunluklu bir fiber ribbon halka 48 saat boyunca açık alanda çevresel sıcaklık değişimlerine maruz bırakılmıştır. Test süresince çevre sıcaklığı yaklaşık olarak 13 °C ile 25 °C arasında değişmiştir. Bu testte ortalama PMD 0.045 ps/√km ve PMD'nin sıcaklıkla değişimi % 13.4 olarak bulunmuştur.

10 °C ile 60 °C arasında yapılan testte elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, değişen sıcaklığın birinci ve ikinci halkalardaki maksimum iletim uzunluklarını sırasıyla % 23.3 ve % 18.5 azalttığı tespit edilmiştir. Açık alan testinde ise, değişen sıcaklığın maksimum iletim uzunluğunu % 22.2 azalttığı tespit edilmiştir.

Türkiyedeki optik fiberli havai hatlarla kurulan yüksek hızlı sistemler için önemli bir kriter olacağı düşüncesiyle, titreşimin PMD üzerindeki etkisi incelenmiştir. Rüzgar nedeniyle oluşan titreşimin kablo performansına etkisini gözlemek için, 10 km uzunluklu kabloya 0.5 – 10 mm aralığında titreşim genliği ve 5 – 20 Hz arasında titreşim frekansı uygulanmış, 1550 nm dalgaboyunda Jones matrisi yöntemiyle PMD ölçümü yapılmıştır. Ölçülen ortalama DGD 0.2 ps olup titreşim frekansı ve titreşim genliğinin PMD üzerindeki toplam etkisinin % 12'lik bir değişim şeklinde olduğu saptanmıştır. Sabit frekansta titreşim genliğinin % 15'lik, sabit genlikte

titreşim frekansının ise % 6'lık PMD değişimi oluşturduğu bulunmuştur. Yani titreşim genliğinin PMD üzerindeki etkisi titreşim frekansının etkisinin 2.5 katıdır. Bu sonuç, havai fiber ribbon kablolarda rüzgarın şiddetinin PMD üzerindeki etkisinin, kablonun salınım frekansınınkinden daha büyük olduğunu göstermektedir. Kabloya uygulanan titreşimin maksimum iletim uzunluğunu % 20 azalttığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Y. Suetsugu, H. Ishikawa, M. Nishimura and S. Tanaka, "Uniform and low polarisation-mode dispersion in 100 fibre ribbon slotted core optical cable", *Electronics Lett.*, vol. 30, pp.1975 – 1977, 1994.
- [2] M. Nakano, M. Miura and H. Mizuguchi, "Development of slotted core cable using nonzero-dispersion shifted fiber ", *Proceedings of the 48th IWCS*, pp. 5-11, 1999.
- [3] D. Breuer H. –J. Tessmann, A. Gladisch, H. M. Foisel, G. Neumann, H. Reiner and H. Cremer, "Measurements of pmd in the installed fiber plant of deutsche telekom", *Holey Fibers and Photonic Crystals / Polarization Mode Dispersion / Photonics Time / Frequency Measurement and Control, 2003 Digest of the LEOS Summer Topical Meetings*, pp. 101 – 102, 2003.
- [4] P. Magill and M. Brodsky, "Pmd of installed fiber - an overview", *Holey Fibers and Photonic Crystals / Polarization Mode Dispersion / Photonics Time/ Frequency Measurement and Control, 2003 Digest of the LEOS Summer Topical Meetings*, pp. 103-104, 2003.
- [5] S. E. Karlık and G. Yılmaz, "Investigations on polarization mode dispersion performance of non-zero dispersion fiber ribbon cables under different structural and environmental conditions", *Proceedings of ELECO'2003 Third International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, pp. 341-345, 2003.
- [6] S. E. Karlık and G. Yılmaz, "Dependence of polarization mode dispersion of slotted core NZDF ribbon on cable design and environmental conditions", *Optics Commun.*, 265 (2):521-525, 2006.
- [7] A. Galtarossa, G. Gianello, C. G. Someda and M. Schiano, "Stress investigation in optical fiber ribbon cable by means of polarization sensitive techniques" *IEEE Photonics Technology Lett.*, vol. 6, pp. 1232 – 1234, 1994.
- [8] A. Galtarossa, C. G. Someda, A. Tommasini, B. A. Schrefler, G. Zavarise and M. Schiano, "Stress birefringence in fiber ribbons", *Proceedings of Conference on Optical Fiber Communication OFC 97*, pp. 262, 1997.
- [9] S. A. Jacobs, J. J. Refi and R. E. Fagman, "Statistical estimation of PMD coefficients for system design", *Electronics Lett.*, 33 (7):619–621, 1997.