

MEKANİK VE ÇEVRESEL KOŞULLARDAKİ DEĞİŞİMLERİN FİBER RİBBON KABLOLARDAKİ POLARİZASYON MOD DİSPERSİYONUNA 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

Anahtar Sözcükler: PMD, Fiber Ribbon, Gerilme, Sıkıştırma, Burulma, Bükülme, Esneme, 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, bu tip fiberlerin PMD performanslarının bilinmesi çok önemlidir. Bu çalışmada, çeşitli mekanik ve çevresel koşullar altındaki fiber ribbon kabloların PMD performansı deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar, IEC-794-1-E Standartları'na uygun gerilme, sıkıştırma, burulma ve bükülmenin, belirgin bir PMD değişimine neden olmadığını göstermektedir. Ancak, esneme testinde %24'lük titreşim testinde de %12'lik değişimler tespit edilmiştir. Ayrıca titreşim genliğinin PMD üzerindeki etkisinin, titreşim frekansınınkinden daha büyük olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, kablo kurulumu sırasında oluşabilecek mekanik koşulların ve havai kablolar için rüzgarın PMD üzerindeki etkisinin anlaşılması açısından önemlidir.

1. GİRİŞ

Optik fiberde iletim kapasitesini sınırlayan temel etken dispersiyondur. Dispersiyon nedeniyle oluşan darbe genişlemesi, iletişim sisteminde semboller arası girişimin (ISI) meydana gelmesine ve bit hata oranının artmasına sebep olur. Araştırmacılar tarafından 1970'lerden beri bilinen bir dispersiyon çeşidi polarizasyon mod dispersiyonudur (PMD). O zamanın standartlarına göre "pratik uygulamalara belirgin bir etkisinin olmayacağı" düşünülen PMD, optik fiberli haberleşme sistemlerinin kanal bit hızlarının 10Gbit/s mertebesine ulaştığı, 40Gbit/s ve daha yüksek hızlı sistemler üzerindeki çalışmaların da devam ettiği günümüzde, 5Gbit/s'den yüksek 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, kablounun PMD performansının yüksek bit hızlı

haberleşmenin güvenilirliğine etki eden önemli bir faktör olduğu açıktır.

NZDF'lerde en yaygın kablo yapısı gevşek tüplü fiberdir ve bu tip kabloların farklı ortam koşulları altındaki PMD performanslarını bildiren çok sayıda yayın mevcuttur [1-4]. Ancak, daha ekonomik ve 40 Gbit/s gibi yüksek hızlara uyum sağlamasının daha kolay olması nedeniyle slotlu çekirdeğe sahip ribbon yapısı, NZDF kablolar için gevşek tüplü yapının önemli bir alternatifi haline gelmiştir [5,6]. 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 [7-11]. Ancak bu çalışmalarda, kablo kurulumu sırasında ortaya çıkabilecek mekanik koşullar ile esneme ve titreşim gibi çevresel koşullardaki değişimlerin PMD üzerindeki etkisine değinilmemiştir.

Bu çalışmada amacımız, kablo kurulumu sırasında oluşabilecek mekanik koşulları simüle etmek için, kabloyu yanal baskılara maruz bırakan gerilme, sıkıştırma, burulma ve bükülme gibi mekanik etkiler ve çevresel koşullardaki (esneme ve titreşim) değişimler altında NZDF ribbon kabloların PMD performanslarının deneysel olarak incelenmesidir. Bu amaçla, bahsedilen koşullar altında sabit çözümleyici ya da Jones matrisi yöntemi kullanılarak diferansiyel grup gecikmesi (DGD) ölçümleri yapılmıştır. DGD'nin ortalama değeri PMD'yi verdiğinden, elde edilen sonuçlardan kablounun uygulanan deney koşulları altındaki PMD davranışını belirlemek mümkündür.

İkinci kısımda, deneylerde kullanılan NZDF ribbon yapısı açıklanmıştır. Üçüncü kısımda, mekanik test koşulları altında yapılan DGD ölçümleri sunulmuştur. Dördüncü kısımda, esneme testinde ölçülen DGD değişimleri verilmiştir. Beşinci kısımda ise, NZDF ribbonlara uygulanan titreşim testi sonucunda elde edilen DGD değişimlerine değinilmiştir.

2. DENEYLERDE KULLANILAN NZDF RİBBON YAPISI

NZDF ribbon kablounun en yaygın şekillerinden biri, 5 ile 16 arasında slot içeren slotlu çekirdek yapısıdır. Her slotta 5 ya da 10 ribbon ve her

ribbonda 4 ya da 8 fiber bulunur. Deneylerde, üç 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. C kablosunda ise 128 fiber ve 2 fiberli ribbonlar içeren 8 slot vardır. A ve B kablolarında merkez taşıyıcı eleman Aramid olup C kablosunun merkez taşıyıcı elemanı metaliktir. Su koruması, A ve B kablolarında su durdurucu bantlarla C kablosunda ise dolgu malzemesiyle sağlanmıştır.

Tablo 1. Dene kablolarnın geometrik parametreleri

	A kablosu	B kablosu	C kablosu
Fiber sayısı	200 fiber	600 fiber	128 fiber
Ribbon tipi	4 fiberli	8 fiberli	2 fiberli
Ribbon kalınlığı	0.4 mm	0.3 mm	0.4 mm
Ribbon genişliği	1.1 mm	2.1 mm	0.7 mm
Merkez taşıyıcı eleman çapı	4.5 mm (A-FRP)	4.5 mm (A-FRP)	7/1.4 mm (Metalik)
Ceket kalınlığı	1.5 mm	1.5 mm	2.0 mm
Kablo dış çapı	17 mm	22 mm	21 mm
Su koruması	Su durdurucu bant	Su durdurucu bant	Dolgu malzemesi

Deneylerde kullanılan NZDF ribbonlar, 1530 nm – 1625 nm dalgaboyu bölgesindeki yüksek bit hızlı iletişim için optimize edilmiştir. Bu tip kabloların optik zayıflama karakteristikleri, 1550 nm ve 1625 nm dalgaboylarında epey düşüktür. Kullanılan kabloların geometrik parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

3. FİBER RIBBON KABLULARIN MEKANİK ETKİLER ALTINDAKİ PMD PERFORMANSI

Bu testlerde, kablo kurulumu sırasında oluşabilecek mekanik etkiler altındaki PMD performansını simüle etmek için, kablo yanal baskılara maruz bırakıldığında (gerilme, sıkıştırma, burulma ve bükülme yoluyla) meydana gelen DGD değişimleri incelenmiştir. Test fiberleri, uzun halkalar oluşturacak şekilde birleştirilmiştir. A ve B kablolarının her birinde dış ve iç fiberler kullanılarak iki ayrı halka

oluşturulmuştur. C kablosunda ise tüm fiberler birleştirilerek tek bir halka elde edilmiştir. Sabit çözümleyici yöntemi kullanılarak, 1384 nm – 1669 nm dalgaboyu aralığında her üç tip kablonun farklı mekanik koşullar altındaki PMD performansı incelenmiştir. Testlerde IEC-794-1-E standartları kullanılmıştır [12]. Kabloları uygulanan mekanik etkiler şunlardır:

- 6.5 m uzunluklu kablo parçasına 1960N gerilme kuvveti uygulanması
 - 1960N/10mm sıkıştırma
 - +/-180°/m burulma
 - 600mm çaplı makaraya 3 defa sarılma
- Mekanik testlerde elde edilen DGD değişimi Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Fiber ribbon kablolarında mekanik test koşullarında gözlenen DGD değişimi (ps)

Test	A kablosu		B kablosu		C kablosu
	Dış halka	İç halka	Dış halka	İç halka	
Gerilme	0.01	0.04	0.04	0.02	0.01
Sıkıştırma	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02
Burulma (+/-)	0.03/ -0.06	0.07/ -0.05	0.01/ -0.02	0.05/ 0.01	-0.04/ -0.06
Bükülme	0.03	-0.05	-0.05	-0.08	0.02

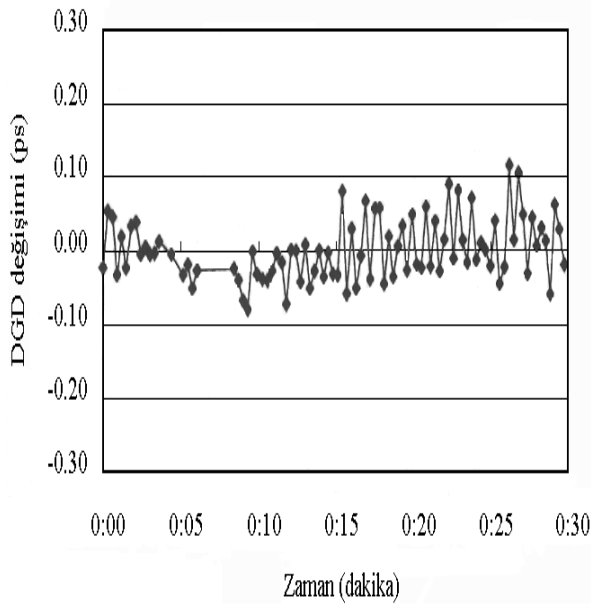
Bu sonuçlara göre, IEC-794-1-E standartlarına uygun gerilme, sıkıştırma, burulma ve bükülme gibi mekanik test koşulları altında az bir miktar DGD değişimi gözlemlendiğinden belirgin bir PMD değişiminin olmadığı söylenebilir. Ayrıca A ve B kablolarında ribbon içindeki fiberlerin konumu ile PMD performansı arasında da belirgin bir ilişki görülmemektedir.

4. FİBER RIBBON KABLULARIN ESNEME TESTİ PMD PERFORMANSI

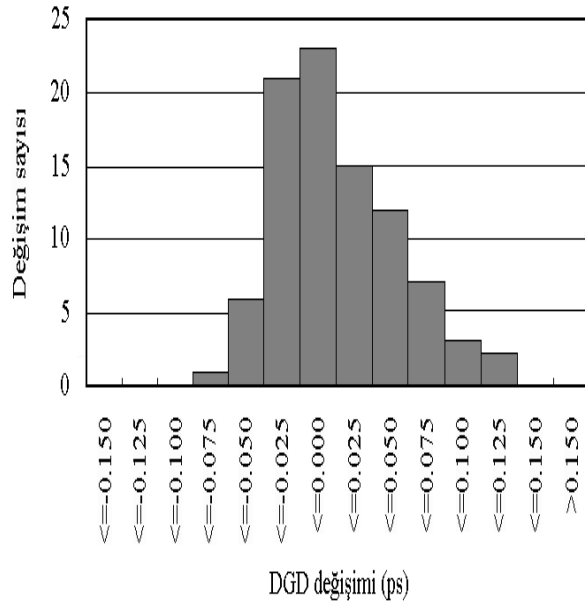
Esneme testi, C kablosunda IEC-794-1-E8 standardına göre gerçekleştirilmiştir [12]. Ölçümlerde Jones matrisi yöntemini temel alan ve 1550nm dalgaboylu ışın vericili test seti kullanılmıştır. Dene süresi 30 dakikadır. Kısa fiber parçalarında PMD değeri test cihazlarının ölçemeyeceği kadar küçük olduğundan, fiber halkanın tamamı testte kullanılmıştır.

Bu testte ölçülen ortalama DGD 0.17 ps olup sonuçlar yaklaşık olarak %24’lük bir değişim göstermektedir. Esneme testi süresince ölçülen DGD değişimi Şekil 1’de ve DGD değişiminin dağılımı Şekil 2’de gösterilmiştir.

Test sırasında değişim gözlemlenmesine rağmen, daha sonra herhangi bir artış etkiye rastlanmamıştır.



Şekil 1. Esneme testinde gözlenen DGD değişimi

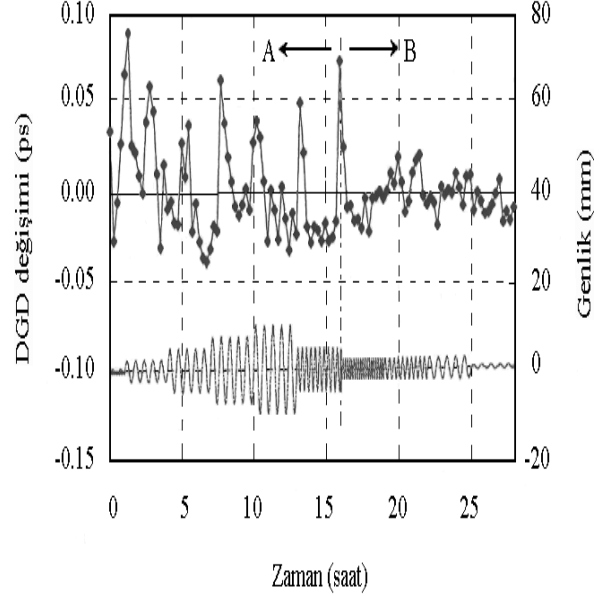


Şekil 2. Esneme testinde elde edilen DGD değişimi dağılımı

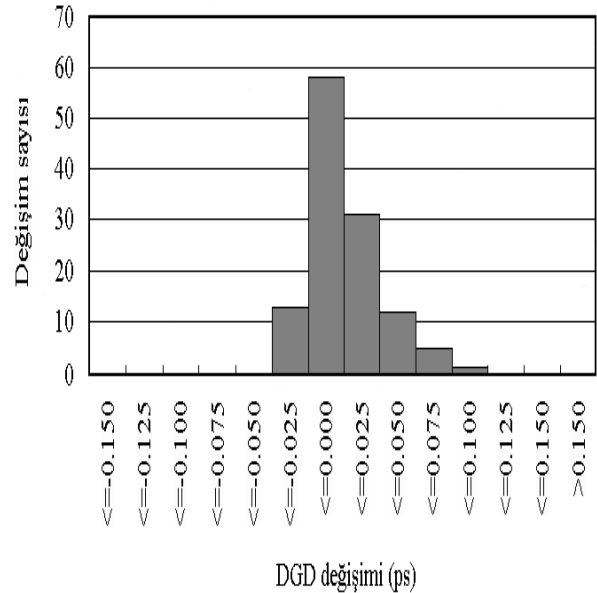
5. FİBER RİBBON KABLOLARIN TİTREŞİM ETKİSİ ALTINDAKİ PMD DAVRANIŞI

Bu testte, rüzgar nedeniyle oluşan titreşimin kablo performansına etkisini gözlemek için PMD ile titreşim arasındaki ilişki incelenmiştir. Ölçümlerde, bir önceki testte bahsedilen ölçüm seti ve IEC-794-1-2

standartları A kablosuna uygulanmıştır. Titreşim frekansı 5Hz ile 20 Hz arasında ve titreşim genliği $\pm 0.5\text{mm}$ ile $\pm 10\text{mm}$ arasında değiştirilmiştir. Her titreşim genliği 3 saat boyunca sabit tutulmuştur. Titreşim testi boyunca ölçülen DGD değişimi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Titreşim testinde gözlenen DGD değişimi



Şekil 4. Titreşim testinde elde edilen DGD değişimi dağılımı

Testte ölçülen ortalama DGD 0.20ps olup, titreşim frekansı ve titreşim genliğinin DGD üzerindeki toplam etkisi %12'lik bir değişim şeklindedir. DGD değişiminin dağılımı Şekil 4'te gösterilmiştir. Buradaki ilginç 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.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, üç farklı NZDF fiber ribbon kablonun, mekanik koşullar (gerilme, sıkıştırma, burulma ve bükülme) ile esneme ve titreşim gibi çevresel koşullardaki değişimler karşısındaki PMD davranışı deneysel olarak incelenmiştir.

Kablo kurulumu sırasında oluşabilecek mekanik etkiler altındaki PMD performansını simüle ettiğimiz ölçümlerde, standartlara uygun mekanik koşulların belirgin bir PMD değişimi oluşturmadığı görüldüğü gibi fiberlerin ribbon içindeki konumuyla PMD performansı arasında bir ilişki de tespit edilmemiştir. Ancak buradaki test koşullarının, standartlar dahilindeki koşullar olduğu ve bu koşullarda bile az bir miktar DGD değişiminin meydana geldiği göz ardı edilmemelidir. Kurulum sırasında oluşabilecek gerilme, sıkıştırma, burulma ve bükülme miktarlarının burada uygulanandan çok daha fazla olması durumunda belirgin bir PMD değişimi meydana gelecektir.

Esneme testinde ortalama DGD 0.17 ps olarak bulunmuş ve %24'lük bir DGD değişimi gözlenmiştir. Ancak test sırasında gözlenen bu değişim, test sonrasında kalıcı bir etki göstermemiştir.

Rüzgarın kablo performansı üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlayan titreşim testinde ortalama DGD 0.20 ps iken titreşim frekansı ve titreşim genliğinin toplam etkisi %12'lik bir DGD değişimi şeklinde kendisini göstermiştir. Ancak titreşim frekansındaki değişimler %6'lık, titreşim genliğindeki değişimler ise %15'lik DGD değişimi meydana getirmiştir. Dolayısıyla titreşim genliğinin PMD üzerindeki etkisinin, titreşim frekansının PMD üzerindeki etkisinden yaklaşık 2.5 kat daha büyük olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar, havai ve demiryolu fiber kablolarında, titreşimin olmadığı diğer uygulamalarda kullanılan kablolarla göre daha büyük PMD değişimlerinin meydana gelebileceğini göstermektedir.

Esneme ve titreşim testlerindeki DGD değişimlerinin sebebi şöyle açıklanabilir: Esneme ve titreşim, fiber kabloya harici yanal stres yükler. Fiber/kablo etkileşimiyle ilgili unsurlar PMD değişimlerine sebep olur. Slotlu çekirdeğe sahip kablolarda, fiber/kablo etkileşimine hassasiyet diğer kablolardakinden daha fazladır. Bunun nedeni, kablo boyunca fiber ve çekirdek arasında çok sayıda temas noktası bulunmasıdır. Slotlu çekirdek malzemesi sert olduğu için, esneme ve dikey titreşim sırasında meydana gelen harici streslerin kablo boyunca oluşturduğu çift kırılma ve mod kuplaj dağılımlarındaki değişimler, dolayısıyla DGD değişimleri, kolaylıkla gözlenebilir.

KISALTMALAR

DGD	-	Differential Group Delay
ISI	-	Inter-symbol Interference
NZDF	-	Non-zero Dispersion Fiber
PMD	-	Polarization Mode Dispersion

KAYNAKLAR

- [1] N. Gisin, J. P. von der Weid and J. P. Pellaux, "Polarization mode dispersion of short and long single-mode fibers", *J. Lightwave Tech.*, vol. 9, pp. 821-827, 1991.
- [2] J. Cameron, L. Chen, X. Bao and J. Stears, "Time evaluation of polarization mode dispersion in optical fibers", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 10, pp. 1265-1267, 1998.
- [3] J. Cameron, X. Bao and J. Stears, "Field measurements of polarization mode dispersion", *Fiber & Integ. Optics*, vol. 18, pp. 49-59, 1999.
- [4] S. E. Karlık ve G. Yılmaz, "Adiyatik ve izotermal şartlar altındaki optik fiberde polarizasyon mod dispersiyonunun incelenmesi", *ELECO'2002 Bildiriler Kitabı*, c. 2, s. 246-251, 2002.
- [5] 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
- [6] 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.
- [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] 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
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] IEC-794-1-2, Basic Optical Cable Test
Procedures, 1996.