

OTDR KALİBRASYONLARINDA KULLANILACAK TEK MODLU OPTİK FİBER STANDARTLARININ TAYFSAL ZAYIFLAMA SABİTLERİNİN BELİRLENMESİ

Fizik Yük. Müh. Oğuz ÇELİKEL , Dr.Özcan BAZKIR, Dr.Ferhat SAMETOĞLU

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Optik Laboratuvarı
MAM Kampüsü PK 54 41470 Gebze – Kocaeli TÜRKİYE
oguz.celikel@ume.tubitak.gov.tr
ozcan.bazkir@ume.tubitak.gov.tr
ferhat.sametoglu@ume.tubitak.gov.tr

ÖZET

Bu çalışma, ilgili IEC standartlarında belirtilen cut-back metodu ile optik geçiş zamanı ölçümleri uygulanarak OTDR cihazlarının hem zayıflatma ve hem de uzunluk eksenlerinin kalibrasyonlarında kullanılan tek modlu optik fiber standartlarının tayfsal zayıflama sabitlerinin belirlenmesini kapsar. Cut-back ölçümlerinde optik gücü algılamak için 77 K'e kadar soğutulmuş 5 mm aktif çapa sahip InGaAs fotodiyot kullanılmıştır. Cut-back ölçümlerinin tamamlanmasından sonra tayfsal zayıflama sabitlerinin türetilmesi amacıyla optik geçiş zamanı ölçümleri bu standart fiberler için gerçekleştirilmiştir. İlgili zayıflama sabitlerinin belirlenmesinde toplam genişletilmiş belirsizlik 3.3×10^{-3} olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Tayfsal zayıflama katsayısı, tek modlu fiber, OTDR

1.GİRİŞ

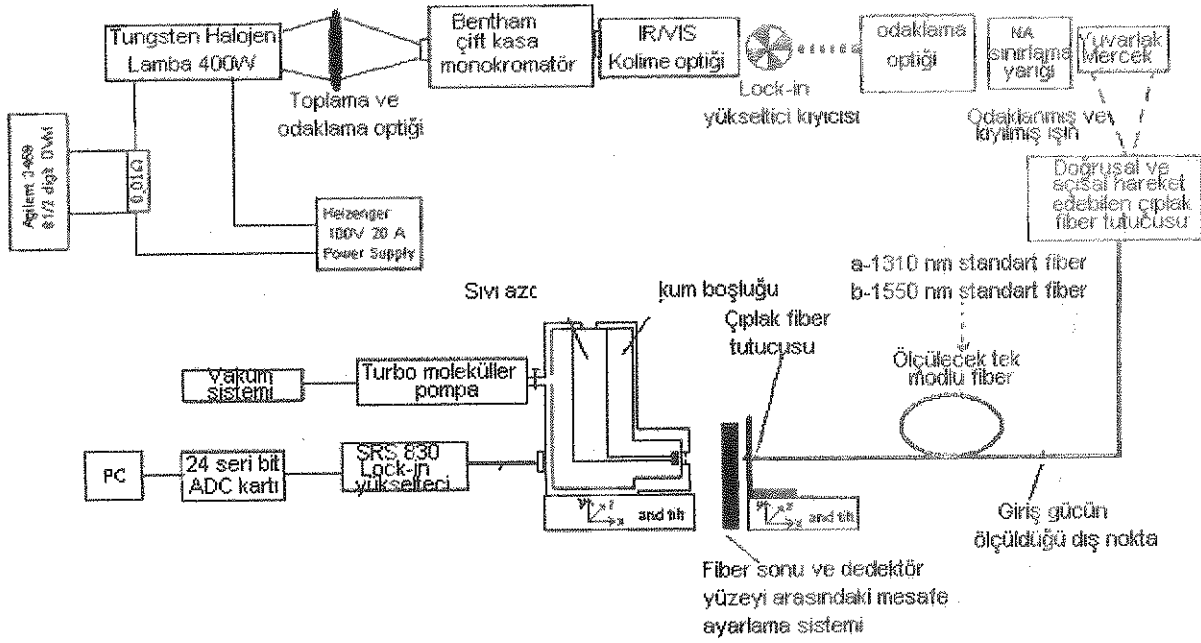
Optik fiberler, kullanılan lazer diyotların karakteristiklerine ve uygulanan modülasyon tekniklerine bağlı olarak ışık hızında, Gb/s mertebesinde iletim hızlarına ulaşabilen haberleşme elemanlarıdır [1]. Buna ilave olarak optik fiberleri geleneksel kılavuzlu haberleşme ortamları üzerinde baskın yapan bir diğer özellikte, yüksek modülasyon band genişliğinde düşük tayfsal zayıflatmaya sahip olmalarıdır. Bir optik fiberin bu zayıflatma parametresi α (dB/km) tayfsal zayıflama katsayısı ile karakterize edilebilir ve bu parametre ilgili optik fiberin kalitesini gösterir. Dolayısıyla optik fiberin üretim işleminin kalitesi bakımından ilgili optik fiberin tayfsal zayıflama sabitinin belirlenmesi hayati bir konudur. İlave olarak a parametresi aynı zamanda, yerinde ölçümler ile bir optik fiber hattının toplam zayıflatmasını ve toplam uzunluğunu tahribatsız olarak ölçebilen ve a katsayısı belirleyebilen OTDR cihazlarının metrolojik kalibrasyonları için de önemlidir [1]. OTDR kalibrasyonlarında toplam zayıflatma parametresi yerine tayfsal zayıflatma sabiti (α (dB/km)) kullanılır. Çünkü fiber optik kablounun toplam zayıflatma değeri konnektör bölgelerindeki Fresnell yansımaları ile oluşan ölü bölgelerden veya ek bağlantı noktalarındaki kayıplardan dolayı yüksek doğrulukla ölçülemez. Ancak tayfsal zayıflama sabiti ilgili fiberin homojen olduğu göz önünde tutularak bu ölü bölgelerden etkilenmemektedir.

Bir optik fiberin tayfsal zayıflama sabitinin (a) türetilmesi için toplam tayfsal zayıflatmasının yüksek doğrulukla ve kesinlikle ölçülmesi gerekmektedir. Optik fiberin toplam zayıflatması üç metot ile elde edilir [2]. Birincisi, tahribatsız bir metot olan ve optik fiber boyunca yayılan optik sinyalin geri yansımalarının algılanması ile uygulanan OTDR metodu, ikincisi kablounun tahrip edilerek toplam zayıflatmasının belirlendiği cut-back metodu [3] ve üçüncüsünde cut back metodundan çok daha yüksek belirsizliğe sahip olan insertion loss tekniğidir. Bu çalışma esas olarak tek modlu optik fiber kabloların toplam tayfsal zayıflatmasını ve optik geçiş zamanlarını ölçerek OTDR cihazlarının IEC standartlarına uygun bir şekilde kalibrasyonlarında kullanılacak tek modlu optik fiber standartlarının oluşturulmasını kapsar.

2. CUT-BACK ÖLÇÜM DÜZENEGİ

Standart fiberi oluşturmadaki ilk basamak standart makara üzerine sarılmış ve uzunluğu bilinmeyen optik fiberin toplam tayfsal zayıflatmasını monokromatörlü bir düzenek ile ölçmektir.

Sistemde ışık kaynağı olarak 400 Watt'lık halojen lamba kullanılmış ve sabit akım modunda çalıştırılmıştır. Cut-back ölçümlerine başlamadan önce lamba 100 saatin üzerinde yaşlandırılmıştır. Lambanın akım kararlılığı ölçümler boyunca Şekil 1'de gösterildiği gibi kalibreli referans dirence bağlı 8 1/2 basamaklı sayısal voltmetre ile izlenmiştir.



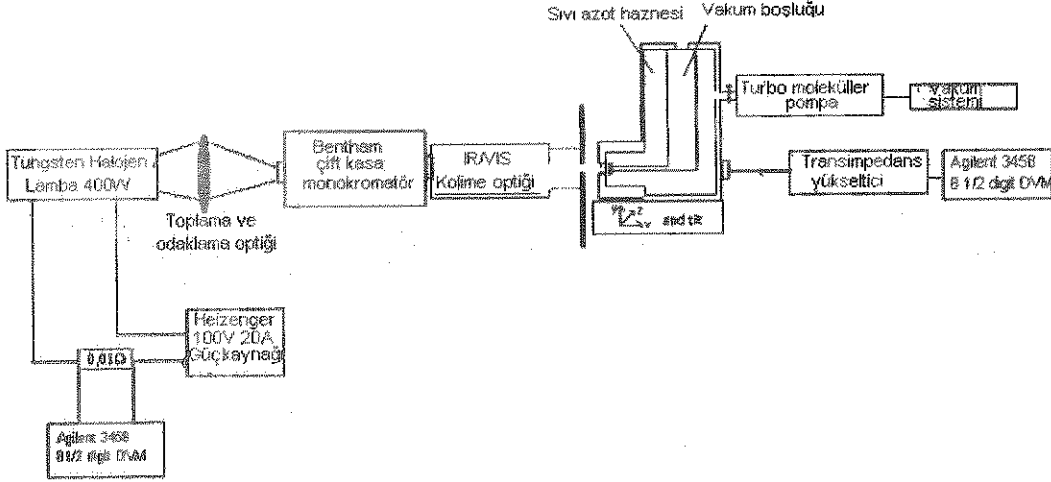
Şekil 1. Tek modlu optik fiberin toplam tayfsal zayıflatmasının belirlenmesi için kullanılan cut-back ölçüm düzeni

Dalgaboylarını seçmek için Bentham çift kasa monokromatör kullanılmıştır. İdeal veya ideale yakın Gauss dağılımlı ışık demeti elde etmek amacıyla kırınım ağının lineer yakın kızılötesi bölgedeki doğrusal dağılım değerinin 4,4 nm/mm olduğu hesaba katılarak monokromatörün giriş ve çıkış yarıklarının aralığı 0,5 mm' ye ayarlanmıştır. Ölçümde kullanılan standart fiberin sayısal açıklığı (NA) yaklaşık 0,1 rad olarak hesaplanmıştır. Monokromatörden elde edilen monokromatik ve yaklaşık olarak 2,2 nm tayfsal band genişliğine sahip ışık, çıplak fiberin ucuna uygun çap ve demet odaklama boyutunda yuvarlak mercek kullanarak sokulmuştur. Fiber içinde 1310 nm ve 1550 nm deki optik güç değeri yaklaşık 600 pW (-62 dBm) seviyesinde elde edilmiştir. Sistemde kullanılan mercek kombinasyonunun odak uzaklığındaki dalgaboyuna bağlı değişimleri göz önünde bulundurarak, sinyal/gürültü oranındaki düşüşten kaçınmak amacıyla 1285 nm - 1395 nm aralıklarında 1 adet ve 1530 nm- 1570 nm aralıklarında 1 adet olmak üzere toplam 2 adet fiber makarası standartlaştırılmak üzere hazırlanmıştır. Fiber makaraları Corning Inc. tarafından üretilmiştir. Giriş ve çıkış güçlerinin ölçüleceği çıplak fiber tutucular mikrometrik mekanik sürücü ve konumlayıcılar üzerine sabitlenmiştir. Optik fiberden çıkan optik akıyı algılamak için 5 mm aktif çapa sahip InGaAs pin fotodiyot kullanılmıştır. InGaAs termal gürültü seviyesine indirmek için sıvı nitrojen ile soğutulan bir kryostat içerisine yerleştirilmiştir. Bu şekilde soğutulmuş InGaAs fotodiyot ile 10^{-8} amperden daha küçük akım seviyeleri için doğrusallık ölçümleri gerçekleştirilmiştir [7]. InGaAs fotodiyotun doğrusallıktan kaynaklanan belirsizlik bu ölçümün belirsizlik bütçesine eklenmiştir. Dalgaboyuna bağlı olarak, InGaAs fotodiyotun yansıma ölçümleri bu ölçüm için gerekli değildir çünkü aynı dalgaboyları için optik güç oranları alınmaktadır. Buna ilave olarak InGaAs fotodiyotun tayfsal duyarlılığının bilinmesine ihtiyaç duyulmaz. Kryostat içerisi 4×10^{-5} mbar seviyesinde vakum edilmiştir. Bunlara ilave olarak kryostatın önüne yerleştirilmiş olan camın geçirgenliği de mevcut 1306,7 nm ve 1550 nm deki DFB ve Fabry-Perrot lazerlerle ölçülmüş ve yaklaşık % 94 olarak hesaplanmıştır. Sinyal/gürültü oranını artırmak için SRS 830 lock-in yükseltici kullanılmıştır. Fiber ucundan gelen optik akı ile orantılı voltaj verilerinin ortalamasını almak için SRS 830 un çıkışına UME optik laboratuvarında geliştirilen 24 bit ADC kartı bağlanmıştır. Bu kart saniyede 1 olmak üzere 1000 adet örnekleme yapmak üzere ayarlanmıştır. Ortalama voltaj verileri ve bunların standart sapmaları optik akıyla orantılı voltajdaki dalgalanmaları ve sapmaları değerlendirmek üzere kullanılmıştır.

3. ÖLÇÜMLER

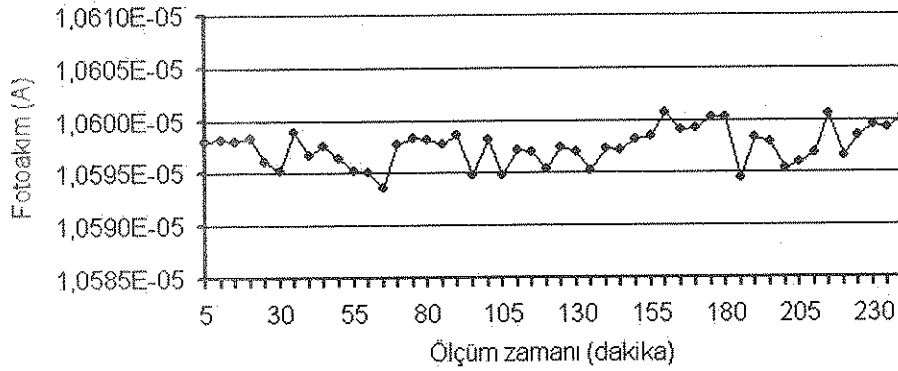
3.1 Monokromatör lambasının emisyon kararlılık ölçümleri

Cut-back ölçümlerini gerçekleştirmeden önce, soğutmalı InGaAs radyometre Şekil 2'de gösterildiği gibi monokromatör IR/VIS kolimatör çıkışına yerleştirilmiştir. Lambanın emisyon kararlılığı bu sistemle gözlemlenmiş ve zamana karşı foto akım değişimi çizilmiştir.



Şekil 2. Lamba emisyon kararlılığı ölçüm düzeneği

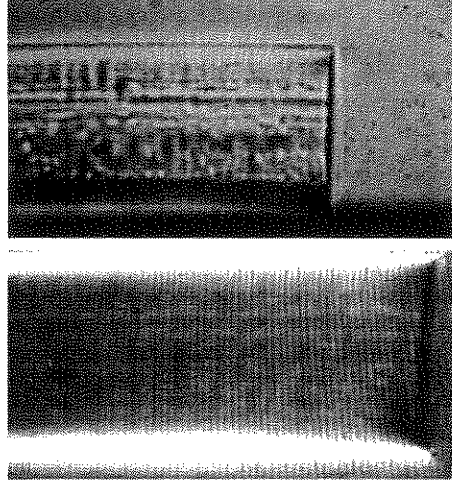
Bu ölçüme ait standart sapma verilerinden lamba emisyon kararlılığından meydana gelen belirsizlik % 0,017 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.



Şekil 3. Lamba emisyon kararlılığı grafiği

3.2 Cut-back ölçümleri

1285 nm den 1395 nm' ye kadar uzanan tayfsal aralıkta oluşturulacak standart fiber " 1310 nm Standart Fiber" ve 1530 nm den 1570 nm ye kadar uzanan tayfsal aralıkta oluşturulacak standart fiber de " 1550 nm Standart Fiber" olarak isimlendirilmiştir. Cut-back ölçümleri esnasında optik gücün fibere sokulduğu taraf kesinlikle dış etkiler tarafından etkilenmeyecek şekilde optik masa üzerine sabitlenmiştir. Fiberlerin her iki ucu çıplak fiber tutucuları tarafından tutulduktan sonra bilgisayar kontrollü dalgaboyu tarama işlemi 1'er nm' lik dalgaboyu basamakları ile 1285-1395 nm aralığında gerçekleştirilmiştir. Optik fiberin çıkışındaki optik güç ile orantılı voltaj verisi lock-in yükseltici ile yükseltilmiş ve 24 bit çözünürlüğe sahip ADC kartı ile örneklenecek bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Giriş gücünü ölçmek için ölçümlere yetecek uzunlukta fiber parçası bırakılarak ve giriş şartlarını hiçbir şekilde bozmayarak Şekil 1 de gösterildiği gibi ilgili fiber standardı elmas uçlu ticari bir kesme cihazı (EFC11) ile kesilmiştir. Bu uygulamadaki kritik nokta giriş gücünün ölçümü esnasında uygulanacak kesme işlemidir. Kesilen fiber parçalarının uçlarının kesim açıları ve bunların temizlikleri CCD kameralı ve mikrometreli Nikon mikroskop ile kontrol edilmiştir. Kesilen fiberin yüzey şartlarından doğan belirsizlik $1,5 \times 10^{-3}$ olup belirsizlik bütçesine dahil edilmiştir. Cut-back ölçümleri esnasında alınan çıplak fiber uçlarının uç durumlarını gösteren fotoğraflar Şekil 4'te verilmiştir.



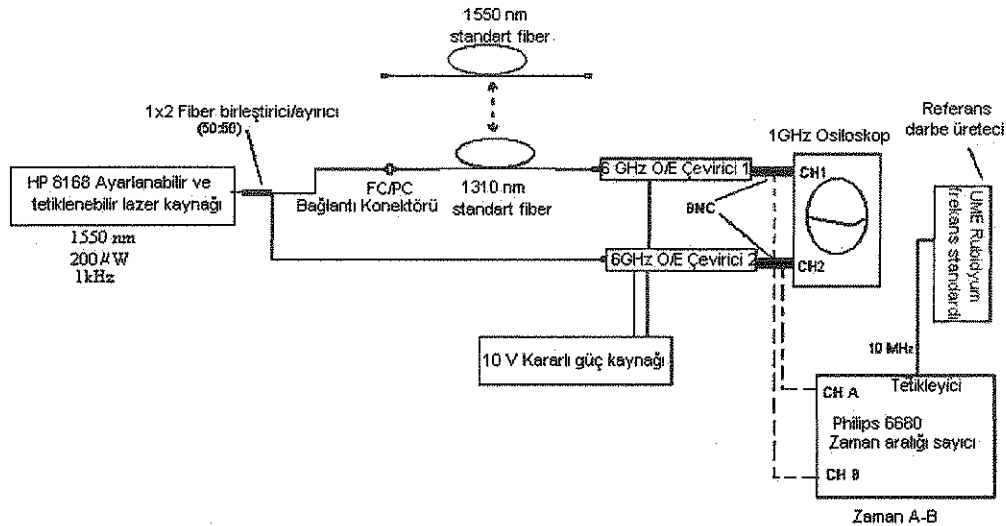
Şekil 4. Giriş ve çıkış güçlerinin ölçümünden sonra çıplak fiber uçlarının yüzey durumları

CCD ve mikrometre muayenelerinden kesme açılarının bu uygulamalar için 0,5 dereceden daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bu fiberin enine ekseni boyunca kesme düzgünlüğünün $1 \mu\text{m}$ den daha iyi olmasına karşılık gelir. Bu durumda Snell kanunundan fiberin kesilmiş ucundan yayılan demetin sapması kesilmiş uçlar ile dedektör yüzeyi arasındaki mesafenin 3 mm dahilinde olduğunu hesaba katarak 5 mm aktif çapa sahip InGaAs fotodiyotun üzerinde $141 \mu\text{m}$ den daha büyük olmayan bir sapmaya karşılık gelmektedir. 5 mm InGaAs dedektör için dedektörün merkezinden 200 mm lik bir yarıçapa sahip daire dahilinde tayfsal duyarlılıkta değişim gözlenmemektedir [8].

Giriş gücünü ölçerken kaç metre fiberin arta kaldığı önemli değildir. Çünkü fiberin kesim noktası optik gücün boyu ölçülecek olan fiber kısmına girilen güç noktasıdır ve toplam zayıflama ölçümlerinin tamamlanmasının ardından 1310 nm standart fiberin (ilave olarak 1550 nm standart fiberin) uzunluğu optik geçiş zamanı ölçümü ile belirlenecektir. Dolayısıyla ilgili standart fiberlerin tayfsal zayıflama sabitlerinin hesaplanmasında arta kalan fiber parçası için hiç bir düzeltme yoktur ve bu işlem geri kalan fiber parçasının uzunluğundan kaynaklanan hiç bir belirsizlik katkısı içermez.

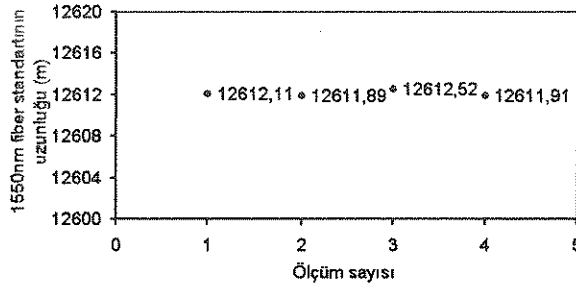
3.3 Optik geçiş zamanı ölçümleri

Hem 1310 nm standart fiberin ve hem de 1550 nm standart fiberin çıkış güçlerinin ölçülmesinin ardından, bu fiberlerin optik geçiş zamanlarını ölçmek için Şekil 5'teki konfigürasyon UME optik laboratuvarında oluşturulmuştur.

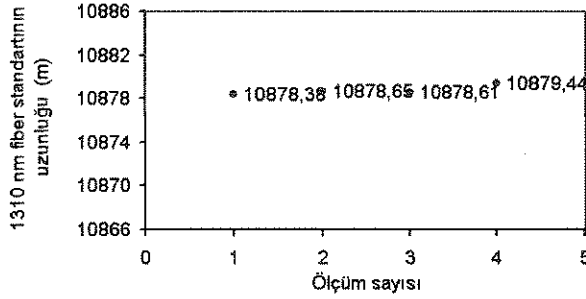


Şekil 5. 1310 nm ve 1550 nm standart fiber makaraları için optik geçiş zamanı ölçüm düzeneği

İlk olarak zaman aralığı sayıcının eşik değeri 60 mV'a ayarlanmıştır. 1GHz osiloskop kullanılarak belirtilen eşik değerine standart fiberin içerisinden gelen darbelerin 17,5 saniyede ulaştığı belirlenmiştir. Diğer koldan gelen sinyal aynı eşik seviyesine 7,5 nano saniyede ulaşmıştır. Bu durumda aynı eşik seviyesine ulaşmak için geçen zaman arasındaki fark 10 nano saniyeye çok yakın bir değerdir. Bu fark fiberin dağılımından kaynaklanmaktadır. Dağılımdan kaynaklanan bu farkın belirlenmesinin ardından hem 1310 nm standart fiber ve hem de 1550 nm standart fiber standartları için optik geçiş zaman ölçümleri 10 MHz Rubidyum UME frekans standardı ile harici olarak tetiklenen Philips 225 MHz Zaman Aralığı Sayıcı (ZAS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ZAS cihazı ortalama alma süresi 5 saniyeye ayarlanmıştır. Doğru optik geçiş zamanları ZAS dan elde edilen gecikme değerlerinden, dağılımdan kaynaklanan 10 nano saniyelik zaman farkını çıkartarak elde edilmiştir. Optik geçiş zamanlarının ölçümünden kaynaklanan belirsizlik ZAS ve 1 GHz lik osiloskobun belirsizliğinden oluşur. 2σ güvenilirlik düzeyi için toplam belirsizlik 3 nano saniyedir. Bu belirsizlik uzunluk ölçeğinde yaklaşık 60 cm lik bir belirsizliğe karşı gelir. $c = 2,99792458 \times 10^8$ m/s ve standart olarak kullanılan fiberlerin grup kırılma indeks değerleri 1,4711 ve $L = cT/N(\lambda)$ olduğu göz önünde tutularak 1550 nm ve 1310 nm standartlarına ait fiberlerin sonuç uzunluk grafikleri Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.

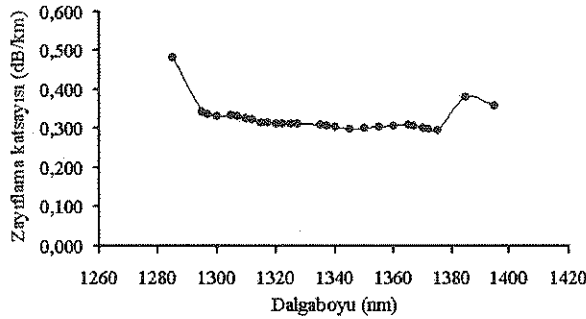


Şekil 6. 1550 nm standart fiberin uzunluk ölçümündeki dağılım

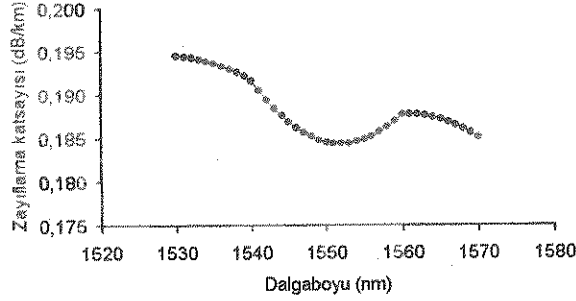


Şekil 7. 1310 nm standart fiberin uzunluk ölçümündeki dağılım

Uzunluk ölçümlerindeki 60 cm' lik belirsizliğin tayfsal zayıflama sabitinde oluşturduğu belirsizlik katkısı %0,005 olarak hesaplanmıştır. Hem 1310 nm fiber standardı hem de 1550 nm fiber standardı için optik geçiş zamanı ölçümlerinin tamamlanmasının ardından cut-back ölçümünden elde edilen toplam tayfsal zayıflama değerlerini hesaba katarak tayfsal zayıflama katsayıları hesaplanmıştır. 1310 nm ve 1550 nm standart fiberlere ait grafikler Şekil 8 ve Şekil 9 da verilmiştir.



Şekil 8. 1310 nm standart fiber makarası için 1285 nm - 1385 nm aralığında tayfsal zayıflama katsayısındaki değişim



Şekil 9. 1550 nm standard fiber makarası için 1530 nm – 1570 nm aralığında tayfsal zayıflama katsayısındaki değişim

Bu eğriye göre cut-off dalgaboyu, ilgili fiber için 1285 nm den küçük olarak belirlenmiştir. Ölçümlerdeki sinyal/gürültü oranı 0,3-0,6 nW giriş ve çıkış güç seviyelerinde 5 mm InGaAs dedektör için gürültü eşdeğerli güç seviyesi (NEP) 10^{-3} WHz^{-1/2} olduğunu hesaba katarak 34 dB olarak hesaplanmıştır.

4. SONUÇLAR

UME'de, 1285-1295 nm ve 1530-1570 nm tayfsal aralıklarında 2 adet tek modlu standart fiber makaraları hazırlanmış ve karakterize edilmiştir. OTDR kalibrasyonlarında kullanılmak üzere oluşturulan fiberlerin toplam tayfsal zayıflatmasının ölçülmesi için (iki nokta arasındaki tayfsal zayıflatma) standart cut-back metodu uygulanırken bu fiberlerin uzunlukları da optik geçiş zamanı ölçümleri ile elde edilmiştir. 225 MHz lik zaman aralığı sayacı kullanılarak yapılan optik geçiş zamanı ölçümler sonucunda 1550 nm standart fiber makarası için $61,887 \times 10^{-6}$ s ve 1310 nm standardı fiber makarası içinde $53,382 \times 10^{-6}$ s olarak elde edilmiştir. Bu geçiş zamanlarına karşılık gelen makara uzunlukları 1550 nm deki kırılma indislerini hesaba katarak 12612,11 m ve 108878,77 m olarak hesaplanmıştır. Uzunluk ölçümlerindeki belirsizlik en kötü durum için 3 ns dir. Tayfsal zayıflama sabitindeki toplam belirsizlik ise $3,30 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır.

1310 nm fiber standardının tayfsal zayıflama sabiti 1295-1375 nm aralığında 0,30 dB/km ile 0,34 dB/km arasında değişmektedir. Bununla birlikte 1285 nm ve 1385 nm dalga boylarında bu değer sırasıyla 0,5 dB/km ile 0,38 dB/km olarak bulunmuştur. 1285 nm de zayıflama sabitindeki bu artışın sebebi cut-off dalgaboyu 1385 nm deki ise bu bölgedeki OH soğurma bandından kaynaklanmaktadır. 1550nm fiber standardında tayfsal zayıflama katsayısındaki değişim 0,01 dB/km ile sınırlıdır.

Standart fiberlerin boylamasına zayıflama sabitindeki homojenliğini değerlendirmek için her iki dalgaboyunda ve her iki fiber için iki yönlü zayıflatma ölçümleride gerçekleştirilmiştir. Bu iki yönlü zayıflatma ölçümlerinin sonucu olarak tayfsal zayıflatma sabitindeki değişim 1310 nm standart fiber için 1310 nm de 0,009 dB/km ve 1550 nm standart fiber için 1550 nm de 0,015 dB/km olarak bulunmuştur.

5. KAYNAKLAR

- [1] Dericson D. HP Fiber Optic Test and Measurement. Prentice Hall PTR, New Jersey, (1998)
- [2] Soares Oliverio D.D. Trends in Optical Fibre Metrology and Standards. Kluwer Academic Publisher, The Netherlands, 1995, Vol. 285.
- [3] IEC 793-1, Method C1A- Cut-back technique.
- [4] IEC TC 86/WG4:Proposal 86/112/NP: Amendment to the actual OTDR calibration document (1997)
- [5] Möller W, Hube K, Hünnerhoff D. Uncertainty of OTDR Loss Scale Calibration using a Fiber Standard. Journal of Optical Communication. 1994; 15: 20-28
- [6] Rutzen W, Stöcklein W, Unger C. Calibration of Optical Time Domain Reflectometers. Optics Communication 1996; 127: 343-352
- [7] Yoon H W, Butler J J, Larason T C and Eppeldauer G P. Linearity of InGaAs photodiodes. Metrologia 2003; 40: 154-158