FİBER OPTİK KABLOLARIN KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE BU PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİ EDEN FAKTORLERİN ETKİ MEKANİZMALARININ ANALİZİ

Mustafa Evren POLAT

Yüksek Lisans Tezi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hafız ALİSOY

2019

T.C.

TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL
ÜNİVERSİTESİ FEN
BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİBER OPTİK KABLOLARIN KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE BU PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN ETKİ MEKANİZMALARININ ANALİZİ

MUSTAFA EVREN POLAT

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

PROF. DR. HAFIZ ALİSOY

TEKİRDAĞ-2019

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Hafız ALİSOY danışmanlığında, Mustafa ;Evren POLAT tarafından hazırlanan "Fiber Optik Kabloların Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi ve Bu Parametreler Üzerine Etki Eden Faktörlerin Etki Mekanizmalarının Analizi" isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. İlker KÜÇÜK *İmza*:

Üye: Prof. Dr. Hafız ALİSOY *İmza*:

Üye: Doç. Dr. Kadir ERTÜRK *İmza*:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FİBER OPTİK KABLOLARIN KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE BU PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN ETKİ MEKANİZMALARININ ANALİZİ

Mustafa Evren POLAT

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hafız ALİSOY

Haberleşme alanında çeşitli ortamlar ve amaçlar için farklı tiplerde fiber optik kablolar üretilmekte ve kullanılmaktadır. Üretilen fiber optik kablolar farklı çevresel ve mekanik şartlar altında farklı verim ve dayanım göstebilmektedir. Bu durumun sebebi kablo imalatında kullanılan malzemenin kalitesi, miktarı ve üretim kusurları olabilmektedir. Fiber optik kabloların üretilirken ve kullanılacağı ortama göre belirli uluslararası kalite standartlarını sağlaması gerekmektedir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında yerli üretim fiber optik kablolar için standartlara uygun test düzenleri ve yazılımları tasarlanmış ve yeniden yapılandırılıp otomatize edilmiştir. Böylece testler insan bağımsız olarak gerçekleştirilip hata oranının ve maliyetin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Sıcaklık ve gerilme gibi çevresel etkiler ve bükülme gibi mekanik etkilere karşı tepkileri, aralarındaki ilişkileri ortaya çıkarılmış ve incelenmiştir. Bu tepkiler fiber optik kablonun içinden geçen ışığın kaybı, fiber öz boyunda uzama ve kablonun boyundaki uzamalardır. Fiber optik kablonun kalite parametrelerinin belirlenmesi kablo tasarımı, kablo maliyeti ve kullanılacağı alana uyumu açısından büyük önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: fiber optik kablo, kalite parametreleri, fiber optik kablo testi, çevresel test, mekanik test, sıcaklık çevrim testi, germe testi

2019, 85 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

DETERMINATION OF THE QUALITY PARAMETERS OF FIBER OPTICAL CABLES AND ANALYSIS OF EFFECT MECHANISMS OF FACTORS EFFECTING ON THESE PARAMETERS

Mustafa Evren POLAT

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronics and Communications Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Hafız ALİSOY

In the communication industry, different types of fiber optic cables are produced and used for various environments and purposes. Produced fiber optic cables can show different efficiency and strength characteristics, under different environmental and mechanical conditions. The reason for this situation can be the quality, quantity and production defects of the materials used in cable manufacturing. Fiber optic cables must meet certain international quality standards, according to the environment in which they are produced and used. The standardized test layouts and software for domestic production of fiber optic cables, in this study, have been designed and reconstructed and automated. Thus, the tests are carried out independently of the human interference and the error rate, costs are minimized and live monitoring is maintained. Their responses to environmental effects such as: temperature and tension; and to mechanical effects such as: bending and crushing; and their relationships between each other are detected and assessed. These responses are the loss of light through the fiber optic cable, elongation of the fiber core length and elongation of the length of the cable. Determination, of quality parameters of fiber optic cables, is of great importance in terms of cable design, cable cost and adaptation to the area where it will be used.

Keywords: fiber optic cable quality parameters, fiber optic cable test, fiber optic cable environmental test, fiber optic cable mecanical test

2019, 85 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i

ABSTRACT ii

İÇİNDEKİLER iii

ÇİZELGE DİZİNİ vi

ŞEKİL DİZİNİ vii

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xii

ÖNSÖZ xiii

1. GİRİŞ 1

2. KURAMSAL BİLGİLER 4

2.1. Fiber Optik Kablo 4

2.1.1. Optik Fiber ve Kablonun Yapısı 4

2.2. Optik Fiber Çeşitleri: 5

2.2.1. Çok Modlu Fiber 6

2.2.2. Tek Modlu Fiber 6

2.2.3. Tek Modlu ve Çok Modlu Fiberlerin Karşılaştırılması 7

2.3. Optik Kayıp Spectrumu 8

2.4. Fiber Optik Kabloda Meydana Gelen Zayıflamalar 10

2.4.1. Bükülme Dolayısıyla Elyafta Oluşan Zayıflamalar 12

2.4.2. Çekme Gerilmesi Dolayısıyla Oluşan Zayıflamalar 14

2.4.3. İklim Koşulları Dolayısıyla Oluşan Zayıflamalar 15

2.4.4. Ek ve Konnektör Kayıpları 18

2.4.5. Rayleigh Saçınım Kayıpları 18

2.5. Fiber Optik Test Cihazları ile Zayıflama Ölçümü ve Yöntemleri 20

2.5.1. Ekleme Kaybı (Insertion Loss) Güç Ölçüm Tekniği 20

2.5.2. Geri Dönüş Kaybı (Optical Return Loss) 20
2.5.3. OTDR Yöntemi ve OTDR Çalışma Prensibi 22
2.5.4. Optik Güç Ölçer(Power Metre) ve Çalışma Prensibi 23
3. MATERYAL ve YÖNTEM 24
3.1. Fiber Optik Test Cihazları 24
3.1.1. OLP55 24
3.1.2. MAP 200 25
3.1.3. MTS 6000 25
3.2. Raspberry pi ve Arduino 26
3.3. Test Deney Düzenekleri 26
3.4. Tüm Test Sistemeleri için Hareketli Test Platformu Tasarımı 27
3.5. Çoklu Fiber Optik Kablolar İçin Deney Düzeneği 28
3.6. Fiber Optik Switch ve Kullanımı 30
3.7. Fiber Optik Ek Cihazı ve Füzyon Eki Yapımı 31
3.8. Fiber Optik Splitter (Ayırıcı) 36
3.9. Çevresel ve Mekanik Testler 37
3.9.1. Sıcaklık Çevrim Testi 37
3.9.2. Gerilme Testi 40
3.9.3. Darbe Testi 44
3.9.4. Darbe Test Cihazı Tasarımı 47
3.9.5. Ezme Testi 49
3.9.6. Tekrarlı Bükülme Testi 50
3.9.7. Burulma Testi 52
3.9.8. Kink Test 54
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI 55
4.1. OTDR Cihazının Çeşitli Deneysel Uygulamaları 55
4.2. Sıcaklık Çevrim Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması 57

4.2.1. OTDR ile Gerçekleştirilen Optical Return Loss Test Sonuç Grafiğinin Analizi ..57

4.2.2. Yerli Üretim Tek Fiberli Tek Modlu Low Bend 2 mm Drop Kablo (G657 A2) için Sıcaklık Çevrim Test Sonuç Grafikleri 58

4.2.3. OTDR Testinde Fiber Uzaması 60

4.2.4. Insertion Loss Test Sonuç Grafiğinin Analizi 61

4.2.5. Çok Fiberli İki Farklı Kablonun Sıcaklık Performansının Kıyaslanması..... 62

4.1.5 Sıcaklık Test Düzeninde Ortaya Çıkan Hatalı Durumlar..... 64

4.3. Germe Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması..... 67

4.3.1. Yerli Üretim 7 mm 2 Fiberli Drop Kablo Tek Modlu Drop Kablo (G657 A2)..... 67

4.3.2. Yerli Üretim 12 Fiberli Drop Kablo Tek Modlu Drop Kablo(G657 A2)..... 69

4.3.3. Huber Suhner Marka 2 Fiberli Tek Modlu Drop Kablo(G657 A2) için Gerilme Test Sonuç Grafikleri 73

4.3.4. Yerli Üretim Tek Fiberli Tek Modlu Drop Kablo(G657 B3) için Gerilme Test Sonuç Grafikleri 74

4.3.5. Yerli Üretim Tek Fiberli Tek Modlu Low Bend Drop Kablo(G657 A2) için Gerilme Test Sonuç Grafikleri 77

4.4. Darbe Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması..... 80

4.5. Ezme Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması 81

4.6. Tekrarlı Bükülme Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması 81

4.6.1. Huber Suhner Marka 2 Fiberli Tek Modlu Drop Kablo(G657 A2) için Tekrarlı Bükülme Test Sonuç Grafikleri..... 81

4.7. Burulma Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması..... 85

4.8. Kıvrılma(Kink) Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması 86

5. SONUÇ ve ÖNERİLER 87

6. KAYNAKLAR 88

7. ÖZGEÇMİŞ 89

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Çok Modlu ve Tek Modlu Fiberlerin Karşılaştırılması……7

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Optik fiberin ve kablonun yapısı 4
Şekil 2.2. Optik fiber çeşitleri 5
Şekil 2.3. Tek modlu ve çok modlu fiberler için iletim yapısı 6
Şekil 2.4. Çok modlu ve tek modlu optik fiberin geometrik ölçüleri 8
Şekil 2.5. Elektromanyetik Spektrumda Fiber Optik Haberleşmenin Kullandığı Bölge 9
Şekil 2.6. Dalga boyuna bağlı optik kayıp oranları 10
Şekil 2.7. 1979'da üretilen tek modlu optik fibere ilişkin kayıp spektrumu 11
Şekil 2.8. Optik fiberde zayıflamaya yol açan durumlar 12
Şekil 2.9. Makro bükme yoluyla optik merkezden ışığın kırılması 13
Şekil 2.10. Kötü makaralama işlemi nedeniyle oluşan makro bükülmeler 13
Şekil 2.11. Mikro bükülme nedeniyle ışığın optik çekirdekten çıkması 13
Şekil 2.12. ITU G.657 tip optik fiberlerin bükülme açısına bağlı kayıp değerleri 14
Şekil 2.13. Farklı sıcaklıklarda farklı tipteki fiberlerdeki iletim gücü değişimi 15
Şekil 2.14. Optik fiberin sıcaklığa bağlı kayıp değişimi 16
Şekil 2.15. Farklı uzunluk ve dalga boyları için sıcaklık kayıp grafiği 16
Şekil 2.16. Fiber optlik konnektör (ulink) 18
Şekil 2.17. Fiber optik içerisindeki rayleigh saçılımı 18
Şekil 2.18. OCWR metodu çalışma prensibi 21
Şekil 2.19. OTDR metodu çalışma prensibi 21
Şekil 2.20. OTDR kablo hattı grafiği anlamlandırma 22
Şekil 3.1. JDSU marka olp serisi ticari bir güç ölçer cihazı 24
Şekil 3.2. MAP200 cihazı 25
Şekil 3.3. MTS 6000 24
Şekil 3.4. Raspberry pi 3, arduino ve lojik çıkış portu 24
Şekil 3.5. Fiber optik kablo test platformu 25
Şekil 3.6. Test sisteminin çalışma diyagramı 26
Şekil 3.7. MAP200 cihazı ile çok fiberli kablo ölçüm bağlantı şeması 26
Şekil 3.8. MAP200 cihazı ile 2 fiberli kablo ölcüm bağlantı şeması 27
Şekil 3.9. Nasa FO araştırma biriminde kullanılan test düzeneği (Thomes, Jr. vd. 2008) 27

Şekil 3.10. Optik switch çalışma mantığı…….28
Şekil 3.11. Gezhi photonics marka 1x2 mekanik optik switch…….28
Şekil 3.12. Fitel marka füzyon ek cihazı……..29
Şekil 3.13. Fiber optik kablonun dış ceketinin soyulmuş hali……..30
Şekil 3.14. Optik fiberin üzerindeki kaplamanın soyulması…….30
Şekil 3.15. Optik fiberin üzerindeki silinmesi……..31
Şekil 3.16. Optik fiberin ek öncesi kesilmesi……31
Şekil 3.17. Pig tail kablolar……32
Şekil 3.18. Pig tail kabloların soyulması……32
Şekil 3.19. Fiber optik kabloların ek cihazına yerleştirilmesi……33
Şekil 3.20. Ek işleminin gerçekleştirilmesi ve kayıp değeri…….33
Şekil 3.21. Ek koruyucuişleminin yapılması…..……..…34
Şekil 3.22. 1x8 fiber optik splitter……34
Şekil 3.23. Optik splitter ve bağlantı elemanlarının kullanımı…….35
Şekil 3.24. İklimlendirme cihazı……...36
Şekil 3.25. Sıcaklık değişim testi için kullanıcı arayüzü…….37
Şekil 3.26. Sıcaklık değişim testi canlı ekran……..38
Şekil 3.27. Gerilme performansı test teçhizatı çizimi……..40
Şekil 3.28. Gerilme performansı test teçhizatı…….……40
Şekil 3.29. Gerilme testi için kullanıcı arayüzü……41
Şekil 3.30. Gerilme testi test takibi……42
Şekil 3.31. Sıcaklık değişim testi test takibi……43
Şekil 3.32. Darbe testi kablo ezme çenesi……43
Şekil 3.33. Darbe testi için kullanıcı arayüzü…….…44
Şekil 3.34.Darbe test cihazı……..45
Şekil 3.35. Darbe üreteç test makinasının iç kısmı……46
Şekil 3.36. 25 kg kapasiteli elektromıknatıs……46
Şekil 3.37. Ezme mekanizması……47
Şekil 3.38. Ezme testi için kullanıcı arayüzü……48
Şekil 3.39. Tekrarlı bükülme test mekanizması……49
Şekil 3.40. Tekrarlı bükülme testi kullanıcı arayüzü……49
Şekil 3.41. Burulma test mekanizması……50
Şekil 3.42. Burulma testi kullanıcı arayüzü……51
Şekil 3.43. Burulma test mekanizması……..52

Şekil 4.1. Kablo kesidinin kaybını ölçme 55
Şekil 4.2. Kablo sonuna kadar kaybını ölçme 56
Şekil 4.3. Kablo parçasının boyunu ölçme 56
Şekil 4.4. Farklı dalga boylarında otdr ölçüm sonuçları 57
Şekil 4.5. OTDR tekniği kullanılarak ölçülen sıcaklığa karşı kablo kayıp grafiği 57
Şekil 4.6. Yerli üretim 3 mm single mod tek fiber drop kablo 58
Şekil 4.7. Yerli üretim 2 mm tek modlu tek fiber drop kablonun 1310 nm sıcaklık çevrim testi kablo kayıp test sonuçları 59
Şekil 4.8. Yerli Üretim 2 mm Tek Modlu Tek Fiber Drop Kablonun 1550 nm Sıcaklık Çevrim Testi Kablo Kayıp Test Sonuçları 59
Şekil 4.9. Yerli üretim 3 mm tek modlu tek fiber(simplex) drop kablonun 1310 nm sıcaklık çevrim testi fiber uzaması test sonuçları 60
Şekil 4.10. Yerli üretim 3 mm tek modlu tek fiber drop kablonun 1550 nm sıcaklık çevrim testi fiber uzaması test sonuçları 61
Şekil 4.11. Huber Suhner marka tek modlu 2 fiber drop kablonun 1550 nm sıcaklık çevrim testi ınsertion loss (ekleme kaybı) test sonuçları 62
Şekil 4.12. İki farklı kablonun aynı anda testi için cihaza yerleştirilmesi 63
Şekil 4.13. Yerli üretim 7 mm tek modlu 2 fiber drop kablonun ve yerli üretim 5 mm tek modlu 12 fiber drop kablonun 1310 nm sıcaklık çevrim testi ekleme kaybı test sonuçları 63
Şekil 4.14. Yerli üretim 7 mm tek modlu 2 fiber drop kablonun ve yerli üretim 5 mm tek modlu 12 fiber drop kablonun 1550 nm sıcaklık çevrim testi ekleme kaybı test sonuçları 64
Şekil 4.15. Sıcaklık çevrim testinde meydana gelen mikro bükülme tahminli grafik 64
Şekil 4.16. Sıcaklık çevrim testinde mfd uyumsuzluğu tahminli grafik 65
Şekil 4.17. Mod alan yarıçapı 66
Şekil 4.18. Sıcaklık çevrim testinde otdr tutarsızlığı tahminli grafik 66
Şekil 4.19. Yerli üretim 7 mm 2 fiberli drop kablo tek modlu drop kablo 67
Şekil 4.20. Yerli üretim 7 mm 2 fiberli drop kablo 1550 nm short term ınsertion loss grafiği 68
Şekil 4.21. Yerli üretim 7 mm 2 fiberli drop kablo 1550 nm short term fiber ve kablo uzaması grafiği 68
Şekil 4.22. Yerli üretim 7 mm 2 fiberli drop kablo 1550 nm long term ınsertion loss 69
Şekil 4.23. Yerli üretim 7 mm 2 fiberli drop kablo 1550 nm long term fiber ve kablo uzaması grafiği 69

Şekil 4.24. Yerli üretim 5 mm 12 fiberli tek modlu drop kablo 70
Şekil 4.25. Yerli üretim 5 mm 12 fiberli drop kablo 1550 nm short term ınsertion loss grafiği 71
Şekil 4.26. Yerli üretim 5 mm 12 fiberli drop kablo 1550 nm short term fiber ve kablo uzaması grafiği 71
Şekil 4.27. Yerli üretim 5 mm 12 fiberli drop kablo 1550 nm long term ınsertion loss grafiği 72
Şekil 4.28. Yerli üretim 5 mm 12 fiberli drop kablo 1550 nm long term fiber ve kablo uzaması grafiği 72
Şekil 4.29. Huber suhner 4.8 mm 2 fiberli tek modlu drop kablo 73
Şekil 4.30. Huber Suhner 4.8 mm 2 fiberli drop kablo 1550 nm short ve long term insertion loss grafiği 74
Şekil 4.31. Huber Suhner 4.8 mm 2 fiberli drop kablo 1550 nm short ve long term fiber ve kablo uzaması grafiği 74
Şekil 4.32. Yerli üretim 3 mmttek fiberli drop kablo 75
Şekil 4.33. Yerli Üretim 3 Mm Tek Fiberli Drop Kablo 1550 Nm Short Term İnsertion Grafiği 75
Şekil 4.34. Yerli üretim 3 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm short term fiber ve kablo uzaması grafiği 76
Şekil 4.35. Yerli üretim 3 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm long term insertion grafiği 76
Şekil 4.36. Yerli üretim 3 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm long term fiber ve kablo uzaması grafiği 77
Şekil 4.37. Yerli üretim 2 mm tek fiberli drop kablo 77
Şekil 4.38. Yerli üretim 2 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm short term insertion grafiği 78
Şekil 4.39. Yerli üretim 2 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm short term fiber ve kablo uzaması grafiği 78
Şekil 4.40. Yerli üretim 2 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm long term insertion grafiği 79
Şekil 4.41. Yerli üretim 2 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm long term fiber ve kablo uzaması grafiği 79
Şekil 4.42. Darbe testi Kablo Kayıp Grafiği 80
Şekil 4.43. Ezme testi kablo kayıp grafiği 81
Şekil 4.44. Huber Suhner marka 2 fiberli tek modlu 4.8mm drop kablo (g657 a2) 81
Şekil 4.45. Huber Suhner marka 2 fiberli tek modlu 4.8mm drop kablo (g657 a2) için tekrarlı bükülme testi kablo kayıp grafiği 82

Şekil 4.46. Superonline marka 8 fiberli tek modlu 12mm drop kablo (g657 a2).....83
Şekil 4.47. Superonline marka 8 fiberli tek modlu 12 mm drop kablo tekrarlı bükülme kablo kayıp grafiği.....84
Şekil 4.48. Superonline marka 8 fiberli tek modlu 12 mm drop kablo tekrarlı burulma kablo kayıp grafiği.....85
Şekil 4.49. Superonline marka 8 fiberli tek modlu 12 mm drop kablo tekrarlı burulma testi kablo kayıp grafiği.....86
Şekil 4.50. Huber Suhner marka 2 fiberli tek modlu 4.8 mm drop kablo tekrarlı burulma testi kablo kayıp grafiği.....86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

IEC	:	International Electrotechnical Commission
ITU	:	International Telecommunications Union
OTDR	:	Optical Time Domain Reflectometer
OCWR	:	Optical Continious Wave Reflectometer
TS	:	Türk Standartdı
EN	:	European Norm
FO	:	Fiber Optik
UV	:	Ultra Violet
ORL	:	Optical Return Loss
IL	:	Insertion Loss
FTTx	:	Fiber to The x
MFD	:	Mode Field Diameter

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamda engin tecrübe ve bilgilerinden istifade ettiğin saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Hafız ALİSOY'a ve tüm öğretmenlerime, çalışma süresince laboratuvar ortamından ve teknik imkanlarından faydalandığım SAMM Teknoloji'ye teşekkür ederim.

Mayıs, 2019 Mustafa Evren POLAT

1. GİRİŞ

Fiber optik kablo bilgiyi elektriksel sinyaller yerine ışık ile bir cam öz içerisinden çok uzun mesafelere çok hızlı bir şekilde ileten günümüz haberleşme sistemlerinin en temel iletim parçalarındandır. Fiber optik kablolar bilgiyi ışık ile cam lifler arasından yansıtarak iletme esasına göre çalışırlar. En büyük avantajı ise yüksek haberleşme hızı, büyük bant genişliği, düşük iletim kaybı, düşük maliyeti, elektromanyetik bağışıklık, güvenliği ve çevresel şartlara dayanıklılığıdır.

Fiber optik kablolar günümüz elektronik ve haberleşme teknolojilende ortaya çıkan ihtiyaçlara cevap verebilmektedir. Bu nedenle bakır kabloların yerini hızla almakta ve yaygınlaşmakadır. Sadece internet servisi için değil baz istasyonları, otomobil, uçak, uzay araçları, askeri uygulamalar, tıbbi uygulamalar, akustik algılama ve izleme gibi pek çok alanda sağladığı avantajlardan ötürü kullanılmaktadır.

Ülkemizde fiber optik kablolara artan ihtiyaç sonucu fiber optik kablolar üretilmeye başlanmıştır. Haberleşme endüstrisinde çeşitli ortamlar ve amaçlar için farklı tiplerde fiber optik kablolar üretilmekte ve kullanılmaktadır. Üretilen fiber optik kablolar farklı çevresel ve mekanik şartlar altında farklı verim ve dayanım göstebilmektedir. Bu durumun sebebi kablo imalatında kullanılan malzemenin kalitesi, miktarı ve üretim kusurları olabilmektedir. Fiber optik kabloların üretilirken ve kullanılacağı ortama göre belirli uluslararası kalite standartlarını sağlaması gerekmektedir. Kablonun özelliklerinin tasarımına göre optimize edilebilmesi için testler uygulanması ve test sonuçlarının analiz edilmesi gereklidir. Bu sayede kablonun sahada kullanılırken göstereceği çevresel ve mekanik performans belirlenmiş olur.

Wiltshire ve Reeve bu çalışmasında çevresel faktörlerin optik kablo tasarımına etkisini incelemektedir. Çalışmaya göre kablo tasarımlarında ana çevresel faktör olan fiber bükülme kayıpları hidrojen bozulmaları, stres korozyonları için teorik analiz ve laboratuar test verilerinin birleştirmesi görüşünü savunmuşlardır.(Wiltshire ve Reeve 1988)

Demir bu çalışmasında fiber optik kablonun genel yapısı, üretimi, çevresel test ve ölçüm yöntemleri, mekanik test ve ölçüm yöntemleri, askeri açıdan fiber optik haberleşmenin avantajları ve askeri uygulamalardaki kullanımına ilişkin derlemelerini anlatmıştır.(Demir 2002)

Melanie N. Ott ve arkadaşları bu çalışmasında uzay uçuş ortamları için 7 farklı kablonun termal ve radyasyon karakterizasyonunu belirlemek amaçlı deneyler yapmıştır. Termal deney için tekrarlanan sıcaklık döngüleri altında 3 metrelik kabloların iletim kaybı değerlerindeki değişim ve kablanun kılıfındaki büzülme oranlarının uygunluğu incelenmiş ve ortama en uygun uzay uçuş ortamlarına kablo yapısını kıyaslama yaparak belirlemeye çalışmışlardır.(Ott ve Friedberg 2003)

Karady ve arkadaşları bu çalışmasında ADSS kabloların yaşlanma testi için gerginlik, radyasyon, tuz sisi, yağmur gibi testlerin bir arada gerçekleştirildiği bir test ortamı kurmuşlardır. Bu yaşlama etkisini ölçebilmek için oluşturulan elektrik devresinin kaçak akımı ölçülmüş ve raporlanmıştır. ADSS kablolar için hasar ve arıza mekanizmalarının, yaşlanma faktörünün tesbiti amaçlanmıştır.(Karady vd. 2004)

Kash ve arkadaşları ve arkadaşları bu çalışmasında faz değişim tekniğini kullanarak ölçülebilen, fiber optik kabloların fiber öz boyundaki yüzdelik uzamaların teorik analizini ve azaltılmasını amaçlamışlardır.(Kashyap vd. 2007)

Bousonville ve Rausch bu çalışmasında fiber optik kablodaki sinyal gecikmesinin teorik analizini yapmış ve bu duruma ilişkin bir formül oluşturmuşlardır. Sıcaklık değişimlerinde sinyal gecikmesinin miktarını bu formül ile açıklamışlardır.(Bousonville ve Rausch 2009)

Yetim bu çalışmasında fiber optik haberleşme sistemlerinin avantajlarını ve gelişmelerine ilşkin araştırmalarını paylaşmıştır.(Yetim 2011)

Günday ve arkadaşları bu çalışmada, Rayleigh işareti gücünün Brillouin işareti antiStokes ve Stokes güçlerinin toplamına oranından (LandauPlaczek oranı, LPR) faydalanılarak, Rayleigh ve Brillouin saçılma katsayılarının sıcaklıkla değişimleri ve sıcaklık duyarlılıkları teorik olarak analiz etmiş ve benzetimleri elde etmiştir. Analiz sonuçlarından Rayleigh saçılma katsayısının ortam sıcaklığına görünür bir bağımlılığının bulunmamasına rağmen, fiktif sıcaklık nedeniyle ortam sıcaklığından etkilendiğini göstermektedir.(Günday, Karlik, ve Bursa 2012)

Feng bu çalışmasında OTDR yöntemi kullanarak fiber optik kablo hattı üzerindeki hataların tesbiti, hataların giderilmesi için füzyon eklerinin yapılması ve OTDR teorisi üzerine araştırmalarını aktarmıştır.(Feng 2013)

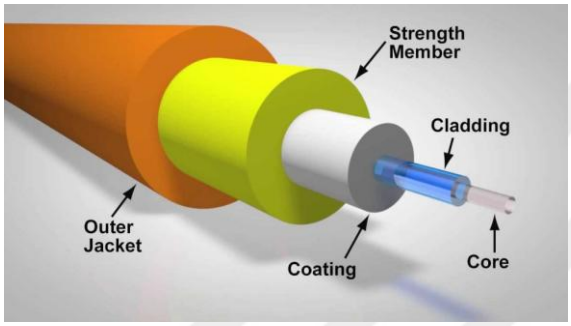
Risch ve arkadaşları bu çalışmasında nükleer santral uygulamalarda kullanılacak olan fiber optik kabloların çevresel, mekanik ömrünü ölçmek için testler gerçekleştirmiştir. Termal olarak kablonun yaşlanma ömrünün bulunabilmesi için bir ortam oluşturulmuştur. Bu ortam içerisinde radyasyon, mekanik , yanma testi yapılmıştır. Kablonun tüm bu durumlara karşı tepkisi ölçülmüş ve raporlanmıştır.(Risch, Lovie, ve Bowman 2015)

2. KURAMSAL BİLGİLER

2.1. Fiber Optik Kablo

Fiber optik kablo bilgiyi elektriksel sinyaller yerine ışık ile bir cam öz içerisinden çok uzun mesafelere çok hızlı bir şekilde ileten günümüz haberleşme sistemlerinin en temel iletim parçalarındandır. Avantajı ise yüksek haberleşme hızı, büyük bant genişliği, düşük iletim kaybı, düşük maliyeti, elektromanyetik bağışıklık, güvenliği ve çevresel şartlara dayanıklılığıdır.

2.1.1. Optik Fiber ve Kablonun Yapısı



Şekil 2.1. Optik fiberin ve kablonun yapısı

Şekil 2.1'de görüldüğü üzere fiber optik kablolar genel olarak içten dışa doğru doğru nüve(core), kılıf(cladding), kaplama, mukavemet elemanı ve dış ceket malzemelerinden oluşur. Işık cam malzemeden oluşan nüve katmanı içerisinde kırılma indisi daha düşük olan cladding katmanına çarparak ilerlemektedir.

Çekirdek (Core): Isıgın içerisinde ilerledigi ve kablonun merkezindeki kısımdır. Çok saf camdan yapılmıstır ve belirli miktarda esnektir. Çapı tek modlu veya çok modlu olusuna göre 8 µm ile 100 µm arasında değişmektedir.

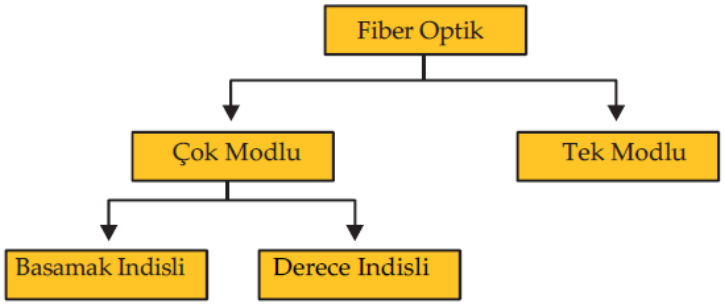
Koruyucu Zarf (Cladding): Tipik olarak 125 µm çapında, çekirdegi saran ve fibere enjekte edilen ısının çekirdekten çıkmasını engelleyen kısımdır. Aynı çekirdek gibi camdan yapılmıstır ancak indis farkı olarak yaklasık %1 oranında daha azdır. Bu indis farkından dolayı ışık çekirdeğe verildikten sonra aşırı bir katlanma ya da ezilme yoksa koruyucu zarfa geçemez. Işın çekirdek ve koruyucu zarf sınırından tekrar çekirdege döner ve böyle yansımalar dizisi halinde çekirdek içerisinde ilerler.

Kılıf (Buffer Coating): Optik bir özelligi olmayan kılıf polimer veya plastik olabilir bir veya birden fazla katmanı olabilir. Optik bir özelligi yoktur sadece fiberi darbe ve şoklara karşı mukavemet özelligi kazandırır.

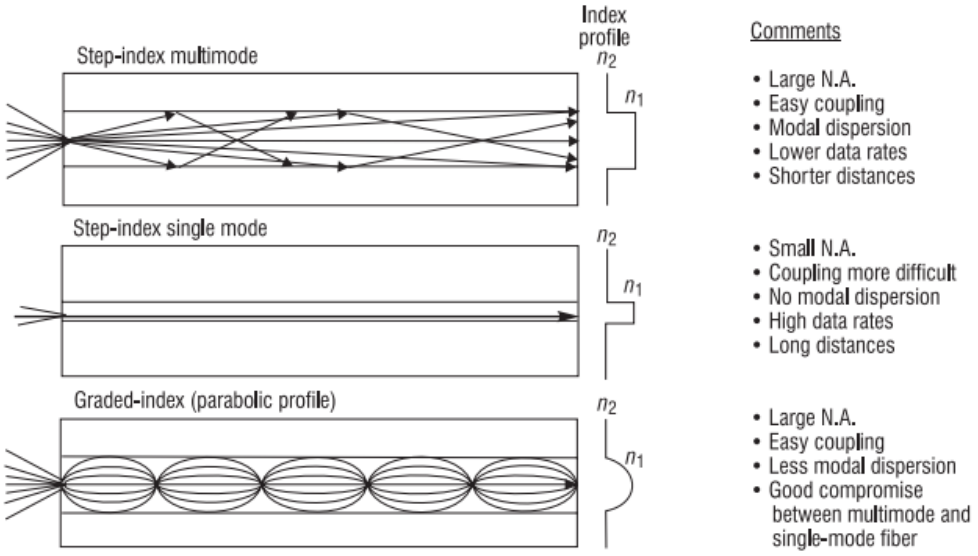
Dış ceket ve mukavemet malzemesi: Fiber optik kablonun dış katmanında plastik pvc esaslı koruyucu dış kılıf bulunur. Bu kılıf kabloyu UV, sıcaklık ve mekanik etkilere karşı korur.

Fiber optik kablonun ara katmanında ise genelde kablonun mukavemetini sağlayan cam elyaf ve kevlar(aramid) gibi malzemeler kullanılmaktadır. Aramid iplik malzemesi yüksek kuvvetlere ve ısıl etkilere karşı dayanıklı, düşük yanıcılık oranı sahip ve yalıtkan bir malzemedir.

2.2. Optik Fiber Çeşitleri:



Şekil 2.2. Optik fiber çeşitleri



Şekil 2.3. Tek modlu ve çok modlu fiberler için iletim yapısı

Şekil 2.3'de görüldüğü gibi fiber optik kablolar iletim modlarına göre tek modlu ve çok modlu olmak üzere iki gruba ayrılır. Tek modlu fiber optik kablolarda nüvenin çapı dar olduğu için ışık tek bir doğrultuda ilerler. Çok modlu fiberler basamaka indisli ve derece indisli fiberler olmak üzere ikiye ayrılır. Çok modlu fiber optik kablolar daha geniş bir nüve çapı ile ışık birden fazla doğrultuda fiber içerisinde ilerler. Uzun mesafelerde kayıp daha fazla olacağı için çok modlu fiberler yerine tek modlu fiberler tercih edilir.

2.2.1. Çok Modlu Fiber

Çok modlu fiber optik kablolar ışığın birden fazla yol ile iletilmesine izin verir. Çok modlu fiberler genellikle daha geniş bir çekirdek çapına sahiptir.Kısa mesafeli iletişim bağlantıları ve yüksek gücün iletilmesi gereken uygulamalar için kullanılır.

2.2.2. Tek Modlu Fiber

Tek modlu fiber optik kablolar ışığın tek bir yoldan ilerlemesine izin verir. Çok modlu fiber optik kablolarda ışığın birden çok yol kullanmasından kaynaklanan yüksek miktarlı dağılmalar tek modlu fiberlerde daha az görülür. Tekmodlu fiber optik kablolar çok modlu fiber optik kablolara göre daha büyük bant genişlikleri gerektirir. Daha uzun ve daha yüksek data iletim sistemlerinde kullanılır. (Gibson 2013)

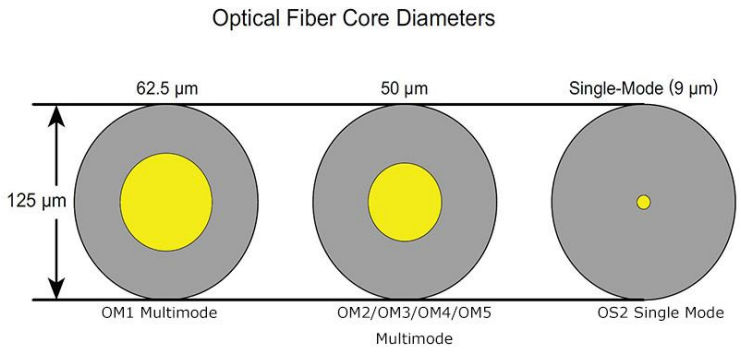
2.2.3. Tek Modlu ve Çok Modlu Fiberlerin Karşılaştırılması

Tek modlu fiberi çekirdek çapı sadece yaklaşık 7-8 µm, multimode fiberin çekirdek çapı ise 50 µm civarıdır. Tek modlu fiber optik kablolar iletişimde dalga boyu olarak 1310 nm ve 1550 nm'yi kullanırken çok modlu fiber optik kablolar 850 nm ve 1300nm dalga boyunu kullanırlar.

Çizelge 2.1. Çok Modlu ve Tek Modlu Fiberlerin Karşılaştırılması

Karşılaştırma Parametreleri	Çok Modlu	Tek Modlu
Fiber Maliyeti	Pahalı	Daha az pahalı
İletim Ekipmanı	LED(Maliyeti Düşük)	Laser Diyot(Daha Pahalı)
Zayıflama	Yüksek	Düşük
İletim Dalga Boyları	850 nm 1300 nm arasındadır.	1260 nm 1650 nm arasında
Kullanım	Daha büyük çekirdeklidir, taşıması kolay	Bağlantıları Hassas
Mesafe	Yerel Ağlar(<2km)	Erişim/orta/uzun çekmeceli ağlar (>200 km)
Bant genişliği	Sınırlı Bant Genişliği(Çok Kısa Mesafelere 100G)	Neredeyse sonsuz Bant Genişliği (>1 Tbps)
Ağ Dağıtımı	Bu fiber daha maliyetli fakat ağ dağıtımı nispeten ucuz	Yüksek performans sağlıyor ama ağ inşası pahalı
Kayıp(dB/km)	2.0 dB/km	0.5 dB/km den daha küçük

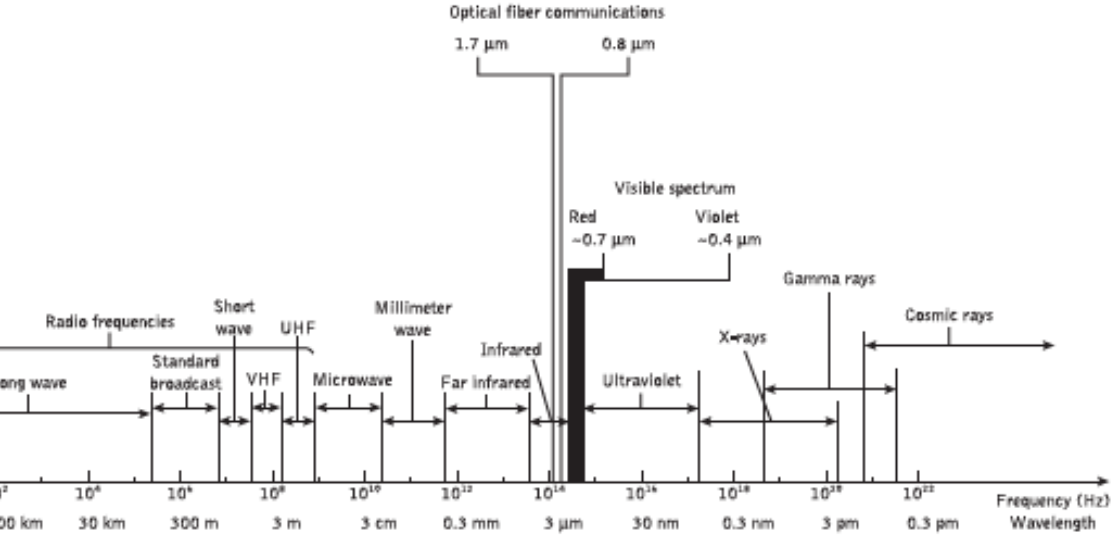
Çizelge 2.1'e bakıldığında çok modlu ve tek modlu fiberlerin birbiri arasındaki farklar görülmektedir.



Şekil 2.4. Çok modlu ve tek modlu optik fiberin geometrik ölçüleri

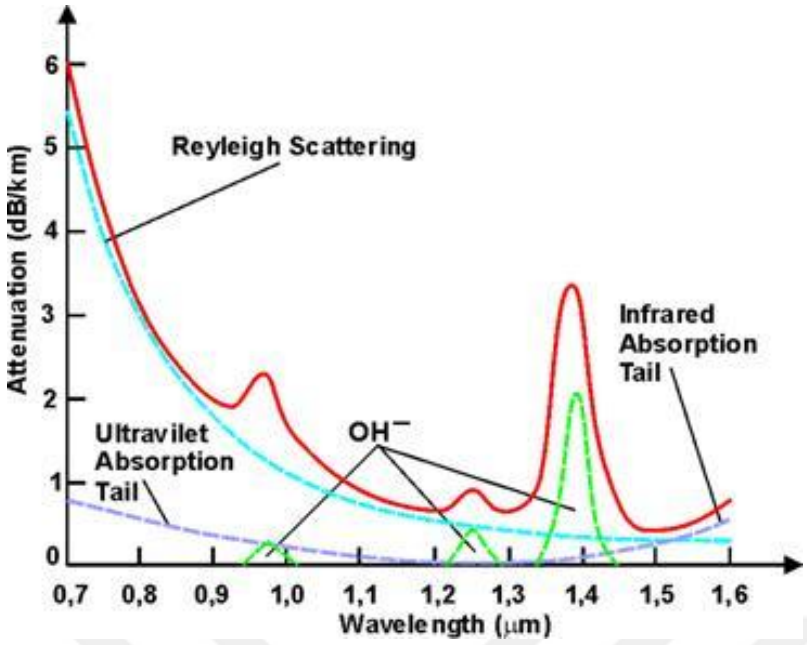
Tek modlu ve çok modlu optik fiberler arasında geometrik boyut farklılıkları mevcutur. Bu durum Şekil 2.4'te görülmektedir.

2.3. Optik Kayıp Spectrumu



Şekil 2.5. Elektromanyetik Spektrumda Fiber Optik Haberleşmenin Kullandığı Bölge

Şekil 2.5'e bakıldığında fiber optik haberleşme, elektromanyetik spektrumda 800 ile 1700 nm arasını kullanıldığı görülmektedir.. Fiber optik haberleşmede genellikle 850, 1300, 1300, 1310, 1550, 1650 nm dalga boylarında haberleşilmektedir.



Şekil 2.6. Dalga boyuna bağlı optik kayıp oranları

Fiber optik haberleşme için seçilen dalga boylarının bulunduğu dalga boyu aralıkları saçılımlar ve soğurma kayığları açısından oldukça düşüktür. Bu durm Şekil 2.6'da görülmektedir.

2.4. Fiber Optik Kabloda Meydana Gelen Zayıflamalar

Fiber optik kablola ışığının gücünde azalma durumuna zayıflama (sönümlenme) denir. Zayıflama durumlarında fiber optik kablolar ideal performansının altında çalışır. Bilginin iletim kapasitesi, bant genişliği ve verimi düşer. Bu zayıflamaların başlıca nedenleri rayleigh saçılımları, frensel yansımalar ve soğurma kayıplarıdır.

Fiber optik içinden iletilen bilgi akışının ortalama gücü Beer yasası ile açıklanır:

$$\frac{dP}{dz} = -\alpha P \qquad \text{(Eşitlik 2.1)}$$

Burada α zayıflama katsayısını ifade etmektedir.

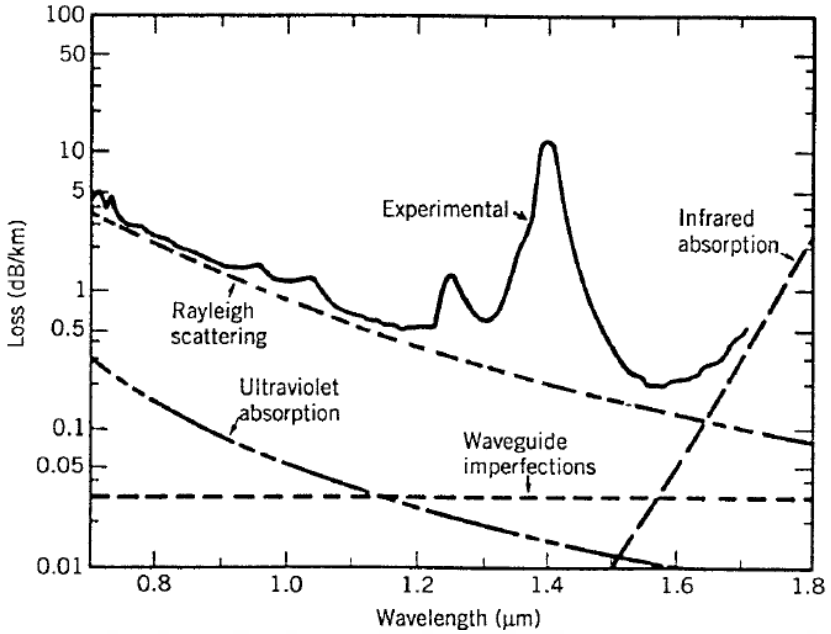
$$P_{out} = P_{in}\exp(-\alpha L) \qquad \text{(Eşitlik 2.2)}$$

Burada P_{out} fiberin çıkışındaki optik güç , P_{in} fiberin girişindeki optik güç ve L ise fiber hattının uzunluğunu ifade etmektedir.

Zayıflama katsayısı dB/km cinsinden ifade edilirse,

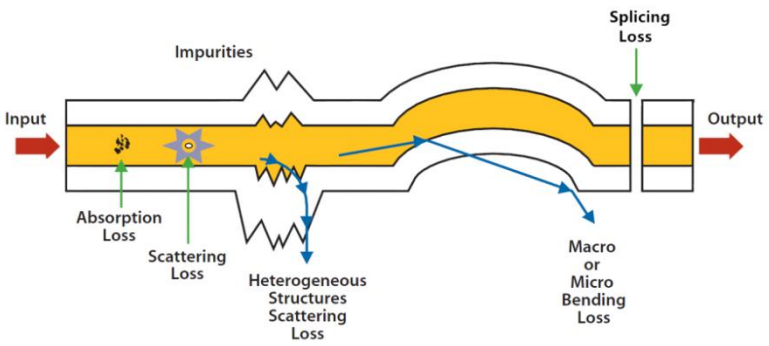
$$\alpha(\mathrm{dB/km}) = -\frac{10}{L}\log_{10}\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \approx 4.343\ \alpha \qquad \text{(Eşitlik 2.3)}$$

Fiber kaybı ışığın daga boyu bağlantılıdır. Aşağıdaki şekilde ışığın dalga boyuna göre zayıflama miktarının değişimi görülmektedir.



Şekil 2.7. 1979'da üretilen tek modlu optik fibere ilişkin kayıp spektrumu

Şekil 2.7'de görüldüğü üzere optik kayıp 1400 nm civarında tepe yapmıştır. Bu sebele tepe yapmadan hemen önceki 1300 nm ve sonraki 1550 nm aralıkları optik iletişim için tercih edilmektedir. Fiber kayıpları kısa dalga boyları için 5 dB/km yi aşmaktadır. Bu sebeple uzun mesafeli iletim için uygun değildir. Genel kayıp faktörlerinden en belirgini görüldüğü üzere Rayleigh saçılımı ve malzeme emilim kayıplarıdır (Agrawal 2002) .



Şekil 2.8. Optik fiberde zayıflamaya yol açan durumlar

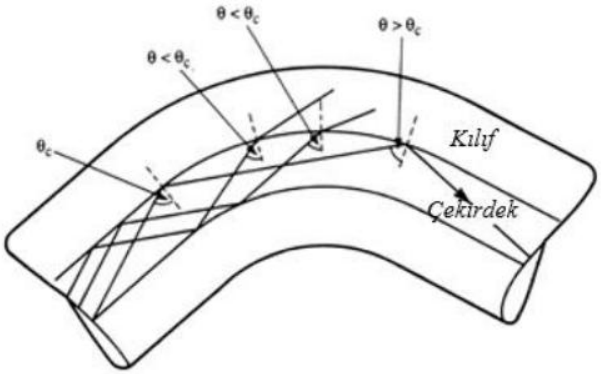
Şekil 2.8' de görüldüğü gibi zayıflama iç ve dış faktörlerden kaynaklanır. İçsel zayıflama, lif içinde doğal olarak bulunan maddelerden kaynaklanırken, dışsal zayıflama, bükülme gibi dış kuvvetlerden kaynaklanır. Zayıflama katsayısı kilometre başına desibel cinsinden ifade edilir ve kilometrede lif başına desibel cinsinden kaybı ifade eder (Alwayn 2004).

Işık sinyali fiber üzerinde ilerlerken, emilme, dağılma ve diğer radyasyon kayıpları nedeniyle optik gücünü kaybeder. Bir noktada, güç seviyesi, alıcının optik sinyal ile artalan gürültüsü arasında ayrım yapmasını engelleyecek kadar zayıflayabilir (Lietaert, Taws, Wolszczak, & Laferrière, 2011).

Fiber optik kablonun bulunduğu ortamdaki çevresel ve mekanik olumsuzluklar kabloda zayıflama olmasına neden olmaktadır. Fiber optik ek ve bağlantı noktalarıda büyük zayıflamalara neden olmaktadır. Ayrıca kablo boyu arttıkça kablo üzerindeki toplam kayıpta artar.

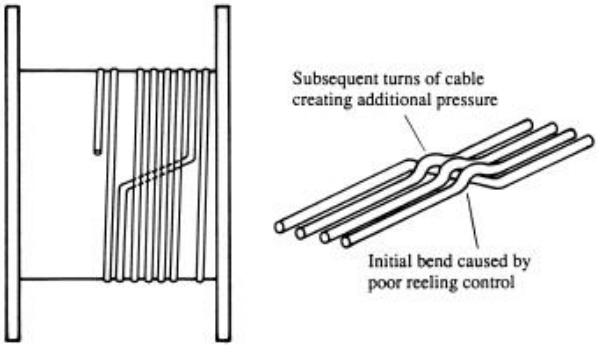
2.4.1. Bükülme Dolayısıyla Elyafta Oluşan Zayıflamalar

Kablolardaki lif performansını etkileyen makro bükme ve mikro bükme kaybı olmak üzere iki farklı kayıp mekanizması vardır. Her iki durumda da, optik sinyal fiberden birleşerek iletim kaybına neden olur. Makro bükme veya mikro bükme kayıp modları, kablo üretimi, kablo montaj işlemi veya çevresel etkiler nedeniyle servis sırasında herhangi bir aşamada üretilebilir (Wiltshire ve Reeve 1988).



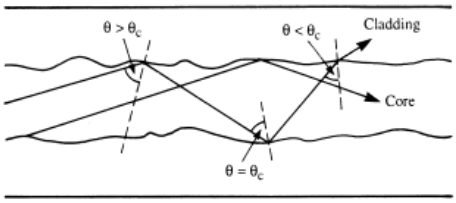
Şekil 2.9. Makro bükme yoluyla optik merkezden ışığın kırılması

Makro Bending (Bükülme): Fiber optik kablonun dış etkilerle bükülmesi ve ezilmesi sonucu oluşan bükülme türüdür. Bu durum Şekil 2.9' da görüldüğü gibi depolama ve kurulum esnasında ortaya çıkabilmektedir. (Elliott ve Gilmore 2002)



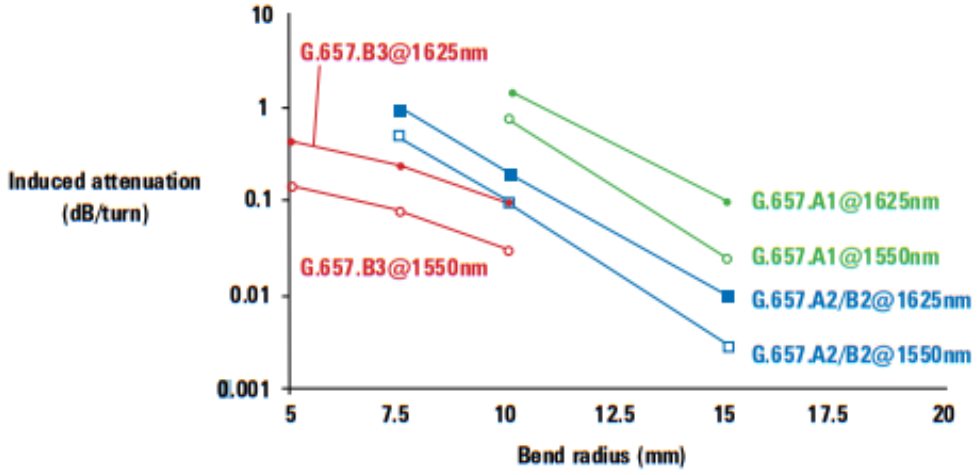
Şekil 2.10. Kötü makaralama işlemi nedeniyle oluşan makro bükülmeler

Mikro Bending (Bükülme):



Şekil 2.11. Mikro bükülme nedeniyle ışığın optik çekirdekten çıkması

Mikrobending bükülmeleri ışığın iletimini önemli ölçüde etkileyebilirler. Mikro bending'e neden olan başlıca faktörler kalitesiz fiber üretimi, kablolama esnasındaki olumsuzluklar, düşük sıcaklık ve yüksek basınç değişimleridir (Elliott ve Gilmore 2002). Fiber optik kablolardaki mikro bükülmeler kablo üretim işlemleri sırasında ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.12. ITU G.657 tip optik fiberlerin bükülme açısına bağlı kayıp değerleri

Farklı tiplerdeki optik fiberler bükülme durumlarında farklı kayıp performansı gösterebilmektedir. Bu durum Şekil 2.10'da görülmektedir.0

2.4.2. Çekme Gerilmesi Dolayısıyla Oluşan Zayıflamalar

Fiber optik kablolar sahaya uygulanırken fazla gerilirler ve durumda ışık iletiminde kayıplar meydana gelebilmektedir. Gerilme esnasında kablo içerisinde mikro bükülmeler meydana gelebilmektedir.

2.4.3. İklim Koşulları Dolayısıyla Oluşan Zayıflamalar

Bir fiber optik kablo kurulumdan sonraki ve öncesindeki zamanlarda etrafındaki sıcaklık değişiklikleri performansında önemli etkilere yol açabilir. Sıcaklık değişimleri makro yayılmaya ve mikrobüküm kaybına neden olan kablo malzemelerinin farklılaşmasına ve daralmasına neden olur. Kablodaki sıcaklık değişimlerinin etkileri, kablo çekme testinde üretilen etkilerle benzerdir. Bu nedenle, sıcaklık performansının analizinde, kablo çekme testlerinin sonuçları olası servis performansının bir göstergesi olabilir. Bununla birlikte, bu sonuçların yorumlanmasında özen gösterilmelidir, çünkü elyaf kaplamaların elastik özellikleri sıcaklık ve zamanla değişebilir (Wiltshire ve Reeve 1988).

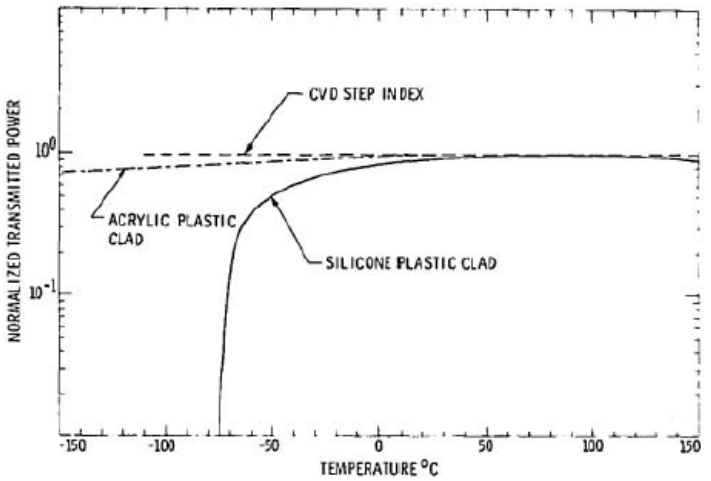
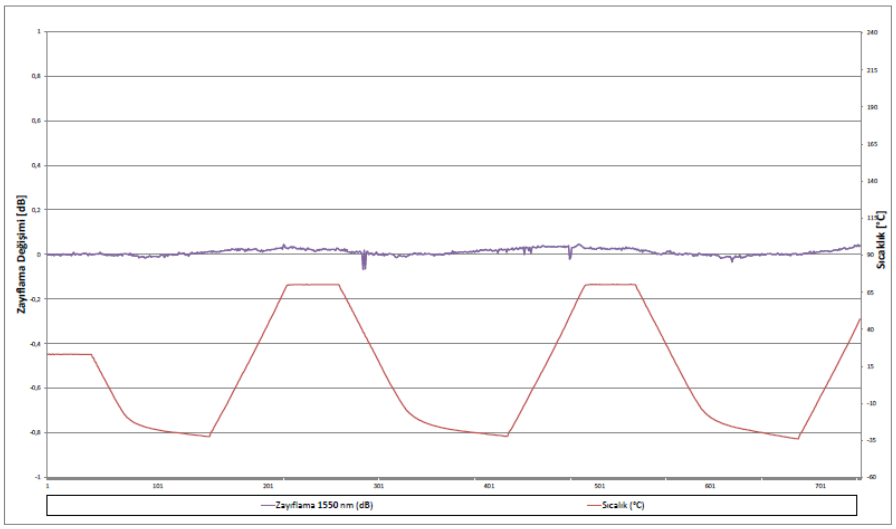


Fig. 1. Normalized transmitted power vs temperature for different fibers.

Şekil 2.13. Farklı sıcaklıklarda farklı tipteki fiberlerdeki iletim gücü değişimi

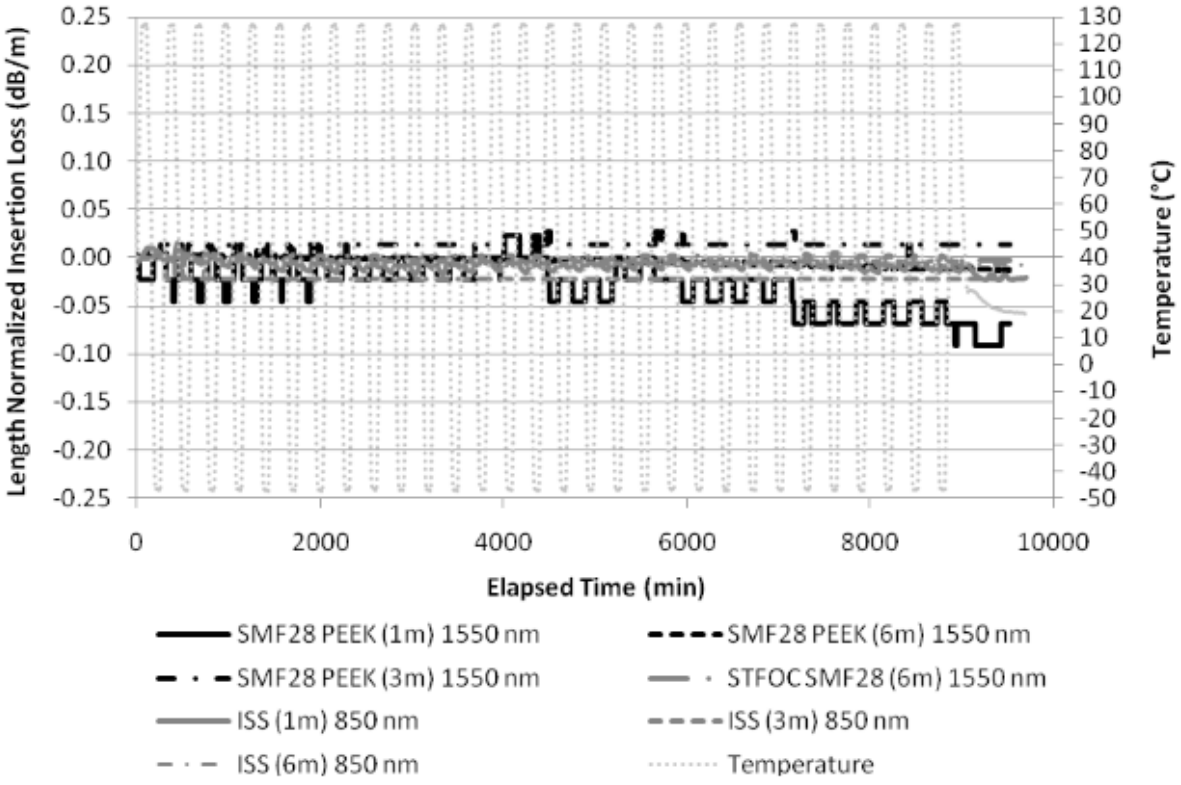
Farklı materyallerden yapılmış fiber clading yapısı iletilen güç miktarına etki etmektedir (Wing F. Yeung ve Alan R. Johnston 1978).

Koruyucu ceketlerin giydirilmesi ve sertleştirilmesi ve gevşekleştirilmesi ve büzülmesi için kullanılan polimerlerde indeks ve faz değişimleri hem istenmeyen zayıflamaya hem de fiber kablonun esnekliğinin korunmasında zorluklara neden olabilmektedir.



Şekil 2.14. Optik fiberin sıcaklığa bağlı kayıp değişimi

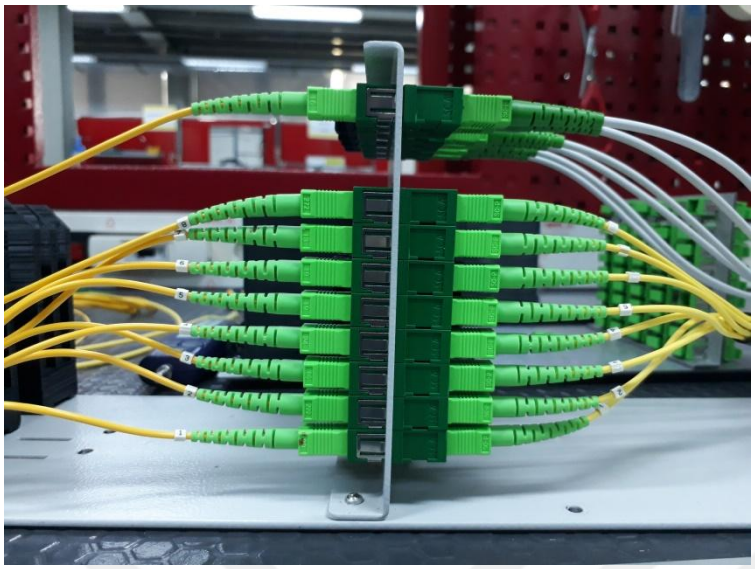
Fiber optik kablolar kullanılacağı ortama göre farklı performanslarda çalışabilirler. Genellikle ortalama bir fiber optik kablo -40°C ile +80°C arasında çalışır. Kablo tipine göre kablonun çalışacağı sıcaklık aralığı değişmekte ve bu aralığın dışına çıkıldığında çok daha yüksek zayıflamalar oluşabilmektedir.



Şekil 2.15. Farklı uzunluk ve dalga boyları için sıcaklık kayıp grafiği

Thomes ve arkadaşları Şekil 2.15'te görüldüğü gibi uydu ortamları için kullanılan çeşitli kabloların dalga boyu ve uzunluklarına göre sıcaklığa karşı insertion loss değerlerinin değişimini belirlemişlerdir (Thomes, Jr. vd. 2008).

2.4.4. Ek ve Konnektör Kayıpları

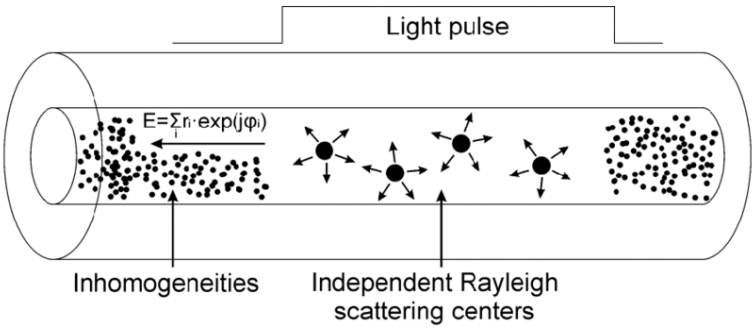


Şekil 2.16. Fiber optlik konnektör (ulink)

FO ek noktalarında ek işlemi yapılırken iki optik fiber ucunun bir biri ile bağlantı noktasında oluşan kayıplardır. Bu kayıplar yanal ayarsızlık, aralık ayarsızlığı, açısal ayarsızlık ve kusursuz olmayan yüzey olarak sınıflandırılabilmektedir (Yetim 2011).

İki ayrı fiber optik kabloyu birleştirmek için kablolar birbirine ek yapılır ya da konnektörler kullanılır. Bir kablo füzyon eki yapılıdığınnda veya mekanik ekler yani konnektörlerle birleştirildiğinde kablo üzerinde saçılımlar ve frensel yansımalar artacağından kablonun iletim kaliteside düşmektedir. Konektör, sinyal kaybını önlemek için fiber ucunu ışık kaynağı veya alıcı ile tam olarak hizalaması gerekmektedir.

2.4.5. Rayleigh Saçınım Kayıpları



Şekil 2.17. Fiber optik içerisindeki rayleigh saçılımı

Fiber üretim işlemi esnasında ısıtılıp ve gerdirilir. Bu aşamada cama uygulanan germe kuvveti, soğuyan camda mikroskopla görülmeyecek kadar küçük düzensizliklerin oluşmasına yol açar. Bu durum fiberde homojen yapıyı bozar ve mikro düzeyde yoğunluğu farklı bölgeler oluşturur. Işık ışınları, fiberde yayılım yaparken bu düzensiz bölgelerden birine çarparsa kırınım meydana gelir. (Pnev vd. 2015) Bu bölgelerde ışık küçük bir miktar saçılır. Bu saçılıma bağlı olarak fiberde her dalga boyunda zayıflama meydana gelir. Bu noktadaki dağılma, noktasal ışık kaynağı gibi gelen her yana dağıtarak zayıflamasına neden olur. Buna Rayleigh saçınım kaybı denir. Dalga boyu arttıkça Rayleigh kaybı azalır. (Yetim 2011)

Optik fiberlerdeki genel kaybın yaklaşık yüzde doksan altısını oluşturan Rayleigh saçılması, mor ötesi ve kızıl altı soğurum arasındaki düşük soğurum penceresinde baskın öziçli kayıp mekanizmasıdır.(Yetim 2011) Rayleigh saçılması, yoğunluktaki lokal mikroskobik dalgalanmalardan kaynaklanan temel bir kayıp mekanizmasıdır. Silika molekülleri erimiş halde rasgele hareket eder ve lif üretimi sırasında yerinde donar. Yoğunluk dalgalanmaları, kırılma indeksinin optik dalga boyu λ'dan daha küçük bir ölçekte rastgele dalgalanmalarına neden olur.(Max Born ve Emil Wolf 2003)

OTDR gibi test cihazları bu saçılımları kullanarak kablo kaybını hesaplar.Ayrıca rayleigh saçınımının oluşturduğu geri yansımalar gelişmiş istemlerle toplanarak tümüyle bir fiber optik hattın takibine imkan vermektedir. Bu sistemleri Fiber optik tabanlı dağıtık akustik sistemler olarak adlandırılır.Bu sistemler petrol boru hatları, yol güvenliği, sınır güvenliği gibi uygulamalarda gerçek zamanlı takip sağlamakta, ülkemizde ve dünyada kullanılmaktadır.

Rayleigh Saçılımı dB/km cinsinden aşagıdaki şekilde ifade edilir.

$$\alpha_s = \frac{A}{\lambda^4} \tag{2.4}$$

SiO_2 gibi tek bileşenli bir cam için,

$$A = \frac{8\pi^3}{3} n_0^8 p^2 \beta k T \tag{2.5}$$

Burada n_0 kırılma indisi, p fotoelastik katsayı, β termal sıkışıklık, k boltzman sabiti, T mutlak sıcaklık örneğidir.

2.5. Fiber Optik Test Cihazları ile Zayıflama Ölçümü ve Yöntemleri

Fiber optik kablo ortamında içerisinde ışık ilerlerken sürekli olarak kayba uğrar. Bu kayıp değeri fiber optik hattın kalitesini belirler. Bu nedenle bu kayıp değerinin ölçülebilmesi gerekmektedir.

Zayıflama ölçüm teknikleri temel olarak güç ölçüm tekniği ve geri saçınım yöntemidir. Optik test cihazları ve kayıp ölçüm birimleri bu metodlara dayanmaktadır.

2.5.1. Ekleme Kaybı (Insertion Loss) Güç Ölçüm Tekniği

Insertion Loss yani ekleme kaybı fiber optik kablo içerisindeki toplam kaybı ifade etmektedir. Birimi desibel ile gösterilir. Ölçüm sonucuna göre 1 dB değerindeki bir kayıp, % 20 oranında bir kayıp değerine denk gelir. Ölçüm yöntemi olarak bir lazer kaynağı ve güçölçer kullanılmaktadır. Fiber optik kablonun bir ucundan sürekli modda (continious wave) gönderilen ışığı karşı uçtan powermetre cihazları ile okunur. Okunan bu değer başlangıçtaki güç değeri ile kıyaslanır ve kayıp oranı desibel cinsinden hesaplanır.

$$\text{Loss}(\%)=\frac{P_{in}}{P_{out}} \tag{2.6}$$

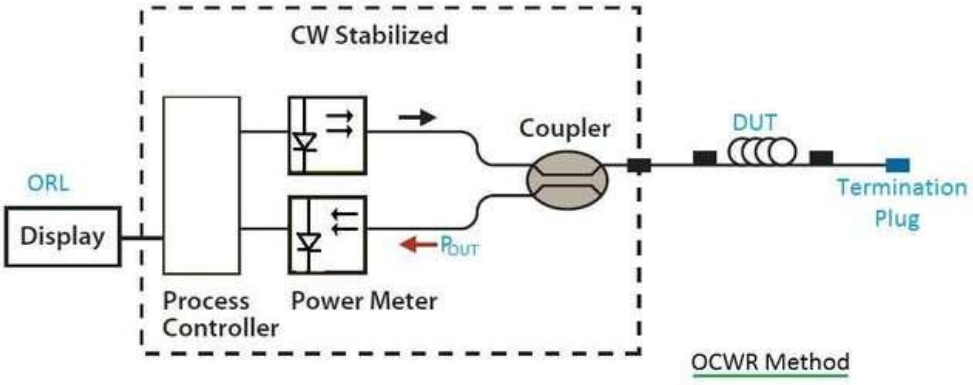
$$\text{Loss(dB)}=10\log_{10}\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right) \tag{2.7}$$

2.5.2. Geri Dönüş Kaybı (Optical Return Loss)

ORL fiber optik kablodan geri yansıyan ve gönderilen ışığın birbirine oranı şeklinde ifade edilir. ORL yani geri dönüş kaybı yaygın olarak OTDR ve OCWR yöntemleri ile ölçülelebilmektedir.Birimi desibel olarak ifade edilir. Kaynağa geri saçılım ve frensel yansımalar tekrar ulaşır ve ölçülür.

$$\text{ORL}= 10\ \text{Log}\ \left(\frac{P_0\Delta t}{\int P_r(z)dz}\right) \tag{2.8}$$

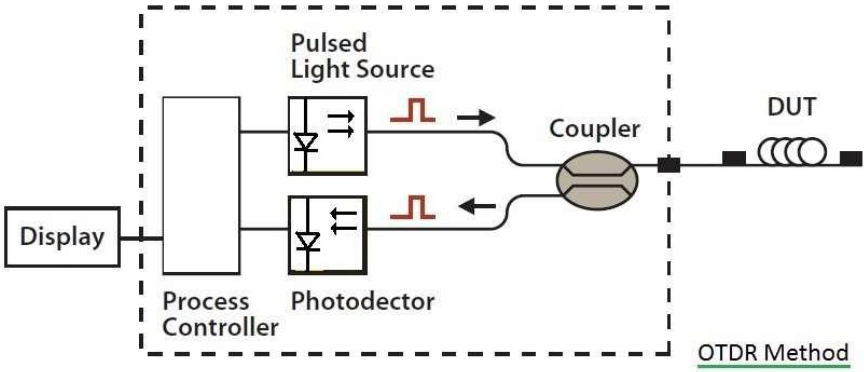
Burada P_0 çıkış gücünü Δt darbe genişliğini $\int P_r(z)dz$ belirli fiber uzunluğu boyunca toplam geri saçınım gücünü ifade eder.



Şekil 2.18. OCWR metodu çalışma prensibi

ORL ölçümü için OCWR Metodu:Şekil 2.18'te ORL ölçümü için OCWR metodunun çalışma prensibi anlatılmaktadır. Lazer continuous wave (cw)y yani sürekli modda gönderilmekte ve hattan geri yansıyan sinyaller directional coupler yani doğrusal kuplör ile ayırılarak power metre yani güç ölçer cihazı ile okunmaktadır. OCWR metodunda referans bir bağlantı ve ölçüm gerekmektedir.

OCWR ölçümünün OTDR ölçümüne göre avantajları arasında doğruluk oranının +-0.5 dB gibi yüksek olması, ölçümün hızlı olması, gerçek zamanlı sonuçlar ve basit yorumlanması yer almaktadır.



Şekil 2.19. OTDR metodu çalışma prensibi

ORL Ölçümü için OTDR Metodu: Şekil 2.19'da ORL ölçümü için OTDR metodunun çalışma prensibi anlatılmaktadır. Işık darbeleri test edilen fiber hattı boyunca ilerlemekte ve hat üzerindeki geri saçılma bilgisi ve frensel yansımalar directional coupler yani doğrusal kuplör ile ayırılarak power metre yani güç ölçer cihazı ile okunmaktadır.

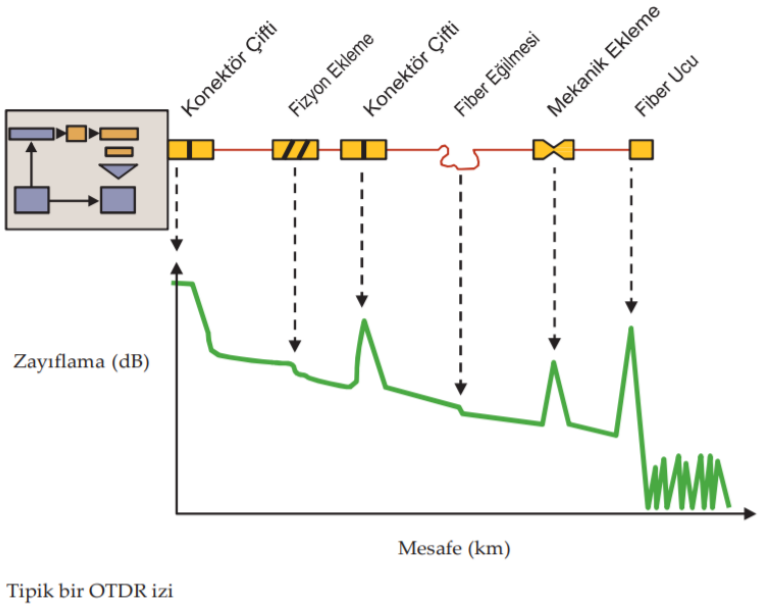
OTDR ölçümünün OCWR ölçümüne göre avantajları arasında bölgesel olayların ve bağlantı noktalarının tesbit edilebilmesi, tek bir uçtan ölçüm işleminin gerçekleştirilebilmesi, referans ölçümün gerekmemesi yer almaktadır.

2.5.3. OTDR Yöntemi ve OTDR Çalışma Prensibi

OTDR (Optical Time Domain Reflectometer- Optik Zaman Boyutlu Yansıma metre), fiber kabloların toplamsal kaybını, uzunluğunu kopukluğunu ek zayıflamalarını ve bağlantı zayıflamalarını ölçmek için kullanılan bir cihazdır. OTDR cihazı, fiber optik kabloya dalga boyu, darbe genişliği ve toplam süresi ayarlanabilen bir laser ışığı gönderip, hattın sonunda ve hat boyunca oluşan yansımalardan yararlanır Rayleigh saçılımı ve frensel yansımalardan faydalanır. OTDR hat boyunca meydana gelen olayların ve hattın toplam kaybını dB cinsinden hesaplar. OTDR eğrilerinde bu durumların tümünü görebilmek mümküdür.

OTDR ayarlarında belirteceğiniz dalga boyu, darbe genişliği (pulse) ve test süresi ile OTDR ışık darbeleri yollayarak iletim sağlar ve fiber hattınızın sonundan OTDR'a geri yansıyan ışıktan bilgileri toplayarak sonuçları hesaplar.

Darbe genişliği, ölü bölgenin boyutunu ve test edilebilecek maksimum uzunluktaki fiberin miktarını belirler. Darbe genişliği doğru ayarlanmışsa, eğri fiber optik bağlantının sonuna kadar pürüzsüz kalacaktır.(Feng 2013)



Şekil 2.20. OTDR kablo hattı grafiği anlamlandırma

OTDR eğrilerine bakıldığında zayıflama kablo hattı boyunca arttığı görülmektedir. Konnektörler, füzyon ekleri, konnektör çiftleri, kablo bükülmeleri, hat sonu gibi yüksek kayıp ve frensel yansımalara sebep olan durumlar OTDR tarafından tespit edilmektedir.

2.5.4. Optik Güç Ölçer(Power Metre) ve Çalışma Prensibi

Optik powermetre fiber optik kablo hattı üzerinden gönderilen ışığın hat sonundaki optik gücünü kaybını tespit etmek için kullanılan bir cihazdır. Ölçüm birimi olarak dBm ya da Watt kullanılmaktadır.

Optik powermetre cihazları genellikle bir lazer kaynağı ile birlikte çift şeklinde kullanılmaktadır. Bir fiber optik kablo hattı haberleştiği dalga boylarına göre farklı performans sergileyebilmektedir. Lazer kaynağından gönderilen ışığın ve power metreden okunan ışığın dalga boyları aynı olmalıdır.

Fiber optik power metre cihazları çeşitli formlarda tasarlanıp üretilmekte fiber optik saha üretim ve laboratuvar uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Fiber optik power metre cihazlarında ekran üzerinden ölçüm sonuçları gözle okunabilmektedir. Usb bağlantısı ve ilgili haberleşme protokolleri ile ölçüm sonuçları bilgisayarlar tarafından okunabilmektedir. Aşağıdaki resimde bir power metre ölçüm kit görülmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada yapılan test çalışmaları için çeşitli ITU G657 A2 ve ITU G657 B3 optik fibere sahip fiber optik kablolar, Viavi marka MTS6000 model OTDR, Viavi marka MAP200 model güç ölçer cihazı, viavi marka OLP55 model güç ölçer cihazı, füzyon ek cihazı, raspberry pi 3 mini bilgisayarı, arduino uno, iklimlendirme cihazı, mekanik test techizatları, kullanılmıştır.

3.1. Fiber Optik Test Cihazları

Fiber optik test cihazları seçilirken ölçüm hassasiyeti, ölçebileceği parametreler ve uzaktan kontrol özellikleri dikkate alınmıştır.

3.1.1. OLP55

Şekil 3.1. JDSU marka olp serisi ticari bir güç ölçer cihazı

Şekil 3.1'de görünen OLP serisi cihazlar çift olarak kullanılmaktadır. Optik hattın bir ucundan lazer kaynağı ile seçilen dalga boyunda gönderilen sinyal diğer ucundan güç ölçer cihazı ile okunur.

3.1.2. MAP 200

Şekil 3.2. MAP200 cihazı

MAP200(Multiple Aplication Platform) cihazı hem insertion loss hem de return loss ölçümlerini ve yapabilen ve canlı sonuçlar verebilen, fiber boyunu hesaplayabilen bir cihazdır. Laboratuvar uygulamaları için özel olarak üretilmiştir. Yüksek hassasiyette ve doğrulukta sonuçlar vermekte OCWR ve pulse delay metodu kullanarak çalışmaktadır. Cihaz üzerine singlemod ve multimod kablolar için özel modüller ve optik switch(anahtar) takılabilmektedir. Dahili optik switch modülü sayesinde çok fiberli kabloları sıra ile ölçebilmektedir. Ayrıca gelişmiş uzaktan kontrol özelliği ile özleleştirilmiş uygulamalara imkan sunmaktadır.

3.1.3. MTS 6000

Şekil 3.3. MTS 6000

MTS 6000 cihazı fiber optik sektöründe yoğun olarak kullanılan ticari bir OTDR cihazıdır. Fiber optik hattın toplam kaybı ve hat üzerindeki durumlar bu cihaz sayesinde okunabilmektedir.

3.2. Raspberry pi ve Arduino

Şekil 3.4. raspberry pi 3, arduino ve lojik çıkış portu

Bu ugulamada gerek ucuz ve kolay programlanabilir oluşu gerekse donanım yapısı itibariyle Raspberry pi 3 ve Arduino uno geliştirme kartları kullanılmıştır. Raspberry pi bir mini bilgisayardır ve üzerinde python kodlarını koşturabilmektedir. Kolayca fiber optik test cihazları ve techizatları ile haberleşebilmektedir. Şekil 3.4'de siyah kutuda ise Arduino bulunmakta ve mekanik test techizatlarından gelen lojik verleri okuyup Raspberry pi'ye seri port bağlantısı ile göndermektedir. Arduino kartı burulma, darbe ve tekrarlı bükülme testleinde tur sayılarını sağdaki üçlü çıkışlı port bağlantısı ile okumakta ve iletmektedir.

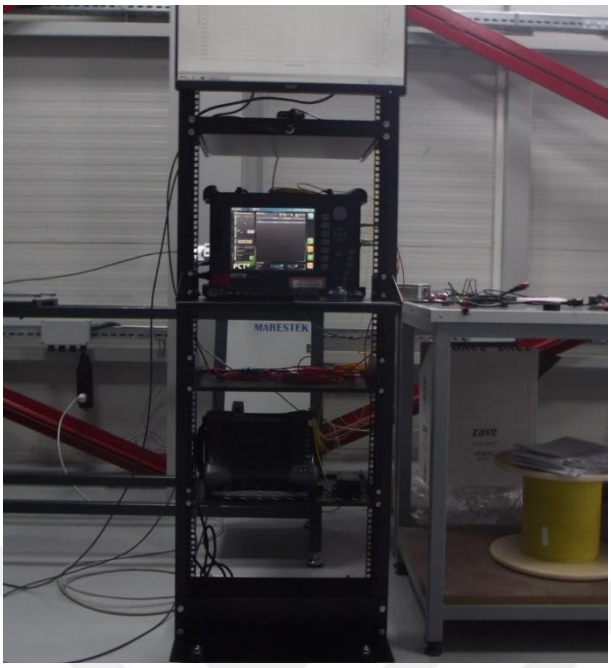
3.3. Test Deney Düzenekleri

Çevresel ve mekanik testler için haricen satın alınmış mekanik ve elektronik sistemlere ek olarak optik test cihazları bu sistemlere eklenmiş ve yeniden yapılandırımıştır. Optik test cihazları ticari amaçlarla satılan çeşitli tiplerde optik güç ölçer(powermetre) ve otdr cihazlarıdır.

Mekanik ve çevresel test düzenekleri yük hücreleri ve ekstansiyometre ve motor hareketlerini sayan indüktif sensörler ile RS232, RS485 ve sabit voltaj gibi çeşitli tiplerde veriler üretmektedir. Bu veriler testin hangi aşamada olduğunu, tur sayısını,uygulanan yük miktarı, sıcaklık değerini, nem değerini, kablo uzamasını ifade eder.

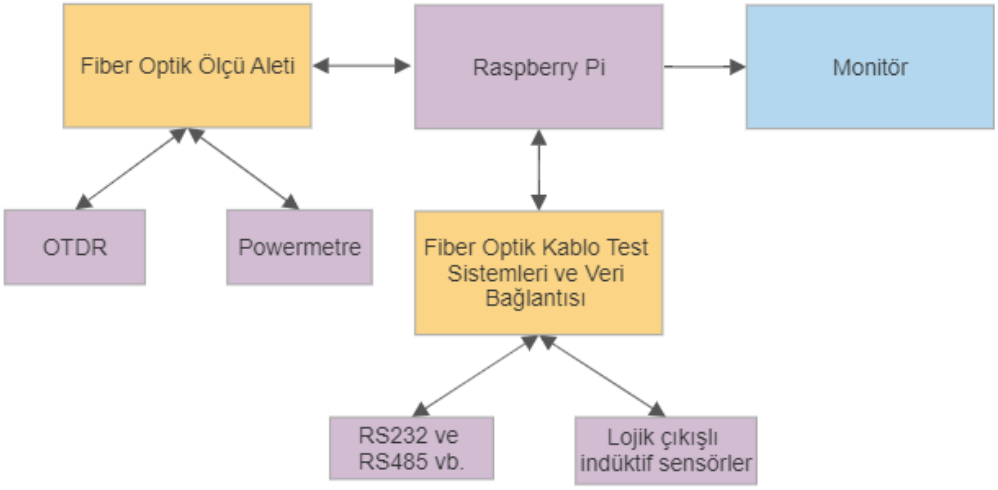
Fiber optik test cihazları insertion loss, optical return loss, fiber uzunluğu, toplam kayıp(total loss) gibi değerleri ölçer. Yapılan testin içeriğine göre uygun test cihazı seçilir ve test düzeneği kurulur.

3.4. Tüm Test Sistemeleri için Hareketli Test Platformu Tasarımı



Şekil 3.5. Fiber optik kablo test platformu

Test işlemleri esnasında test ekipmanlarının laboratuvar içinde sürekli hareket ettirilmesi gerekmektedir. Bu durumun kolaylaştırılabilmesi için tasarlanmış olan sistem fotografta görüldüğü gibidir. Test Platformunun yöneteci birimi mini bir bilgisayar olan Raspberry pi' dir. Raspberry pi ile tasarlananmış olan arayüz ve canlı grafiklerin görüntülenmesi için platforma bir monitör klavye ve fare eklenmiştir. Ayrıca test sistemleri üzerindeki RS485, RS232 ve ethernet üzerinden gelen veriler dışında okunması gereken indüktif sensör verileri için bir adet arduino geliştirme kartı ile tasarlanmış modül sisteme eklenmiştir. Bu modül sayesinde ise mekanik sistemlerdeki motor hareketlerinin takibi indültif sensörler yardımıyla okunduktan sonra Arduino kartına ve oradan usb ve seri haberleşme protokolü (UART) ile raspberry pi mini bilgisayarına aktarılır. Platformun orta bölümüne ise kullanılacak olan OTDR ve powermetre gibi test ekipmanları yerleştirilmiştir.

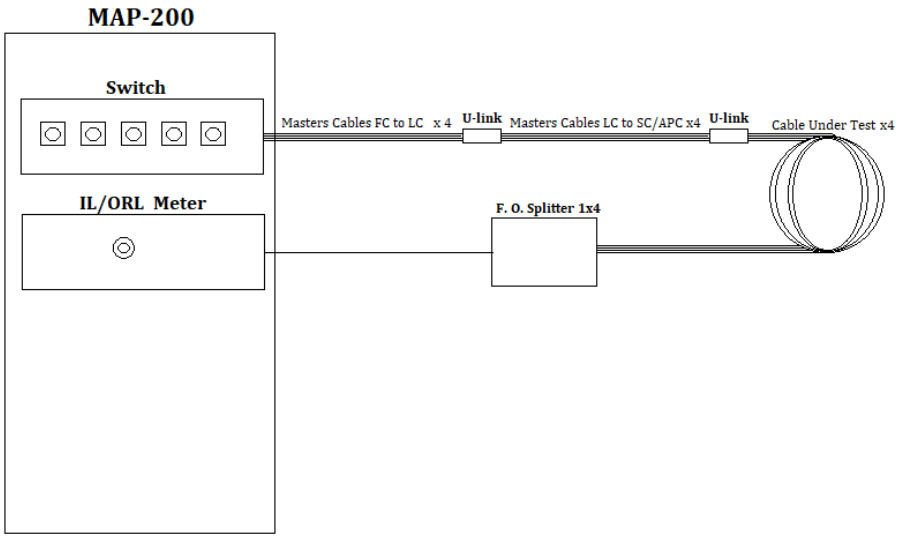


Şekil 3.6. Test sisteminin çalışma diyagramı

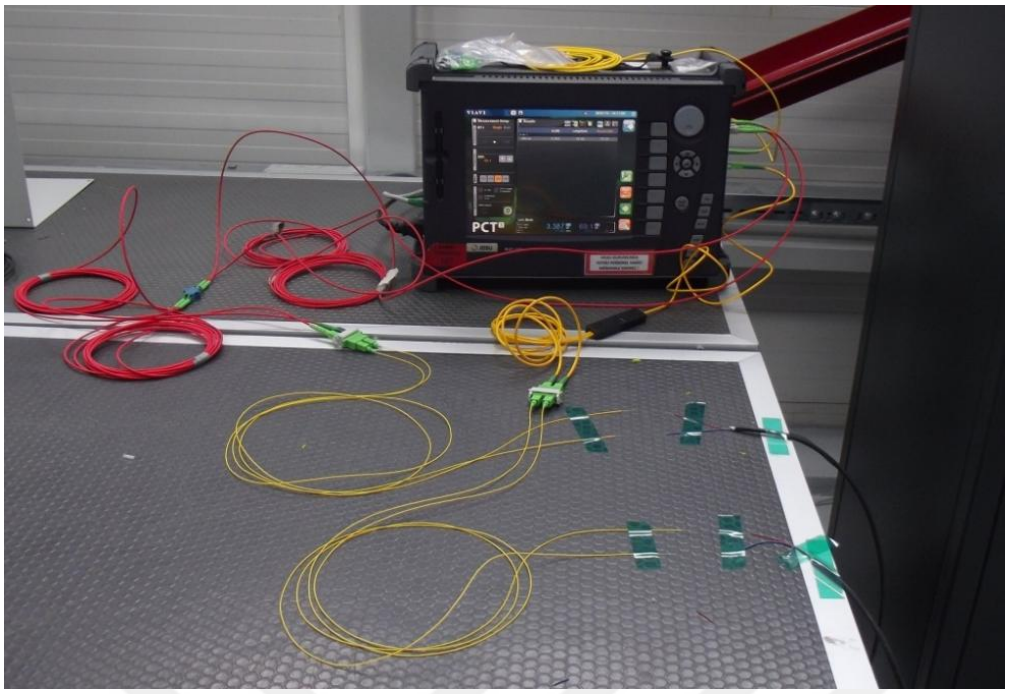
3.5. Çoklu Fiber Optik Kablolar İçin Deney Düzeneği

İçerisinde birden fazla fiber öz bulunan kabloların aynı anda test edilebilmesi için optik switch ve splitter'dan oluşan bir bağlantı düzeni oluşturulmuştur. MAP200 cihazı hem insertion loss hem return loss hem de fiber boyunu hassas şekilde ölçebilmektedir. Optik switch olarak MAP200 cihazının dahili optik switch'i kullanılmıştır.

Aşağıda Şekil 3.7'te kısa metrajlı ve çok fiberli numune kablolar için hazırlanmış bağlantı diyagramı görünmektedir.

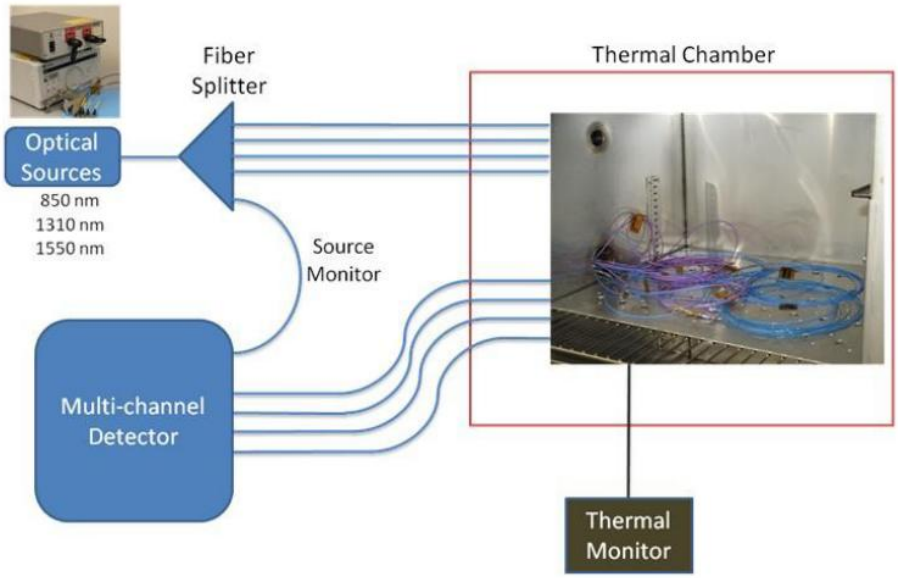


Şekil 3.7. MAP200 cihazı ile çok fiberli kablo ölçüm bağlantı şeması



Şekil 3.8. MAP200 cihazı ile 2 fiberli kablo ölcüm bağlantı şeması

Yukarıdaki Şekil 3.8'de görüldüğü gibi bir bağlantı yapıldığında 2 fiberli bir kablo cihazın dahili optik switch'i ve powermetresi ile peş peşe test edilebilmektedir.

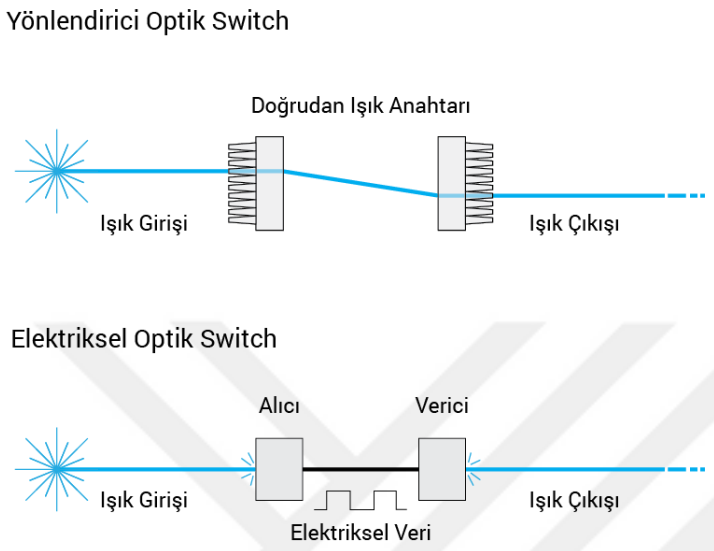


Şekil 3.9. Nasa FO araştırma biriminde kullanılan test düzeneği (Thomes, Jr. vd. 2008).

Fiber optik kablolar farklı uzay ortam koşullarında kısalabilmekte ve iletim özelliğini yitirebilmektedir. Bu sebeple en uygun kablonun tespit edilmesi gerekir (Thomes, Jr. vd. 2008).

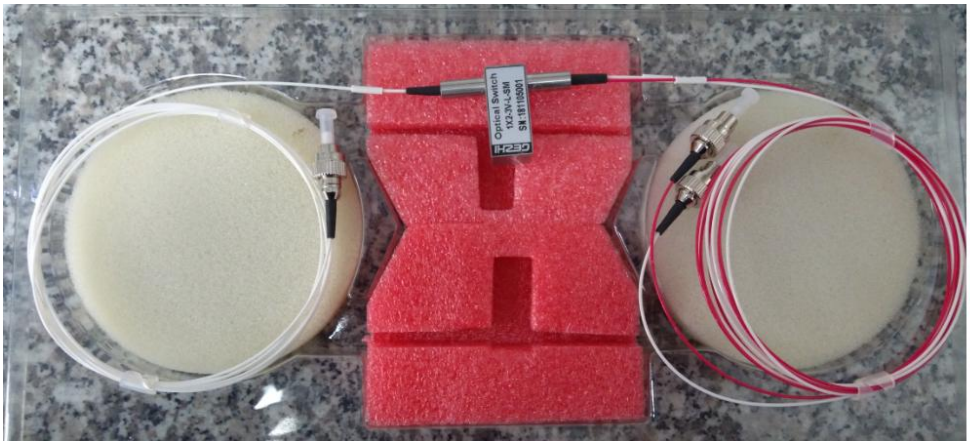
3.6. Fiber Optik Switch ve Kullanımı

Optik switch, çoklu optik fiberleri birbirine bağlayan, girişler ve çıkışlar arasında yönlendirme yapan veri paketlerini kontrol eden bir çoklu ağ köprüsüdür. Bazı optik switchler ışığı iletmeden önce elektrik verisine dönüştürür ve tekrar iletmek için ışık sinyaline dönüştürür.



Şekil 3.10. Optik switch çalışma mantığı

Yukarıdaki Şekil 3.10'de görüldüğü gibi yönlendirici ve elektriksel olmak üzere 2 tip optik switch yapısı mevcuttur.



Şekil 3.11. Gezhi photonics marka 1x2 mekanik optik switch

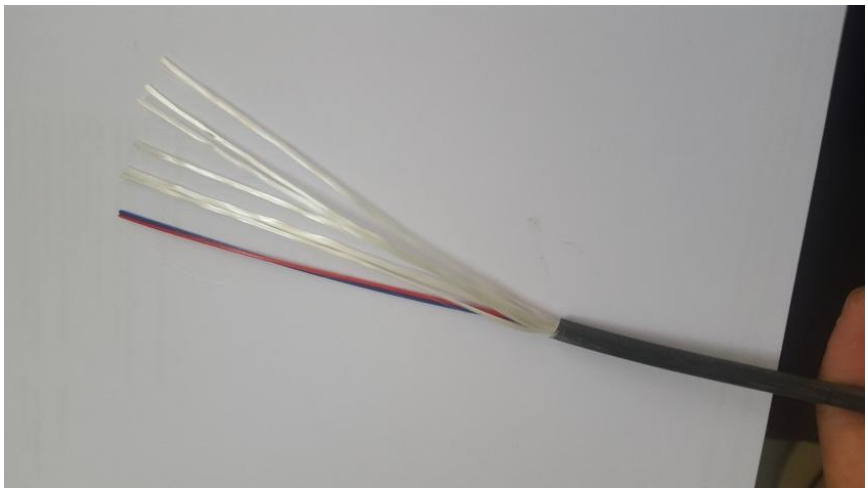
Yukarıdaki Şekil 3.11'de mekanik anahtarlama ile yönlendirme yapan bir optik switch görülmektedir. Bu optik switch 3 Volt ttl sinyaller ile kontrol edilebilmektedir.

3.7. Fiber Optik Ek Cihazı ve Füzyon Eki Yapımı

Fiber otik kablolar birbirine mekanik ekler yani konnektörler ve füzyon eki yardımıyla bağlanabilmektedir. Bu ekler kabloda insertion loss (araya giriş kaybı) (ekleme kaybı) değerinin artırır.

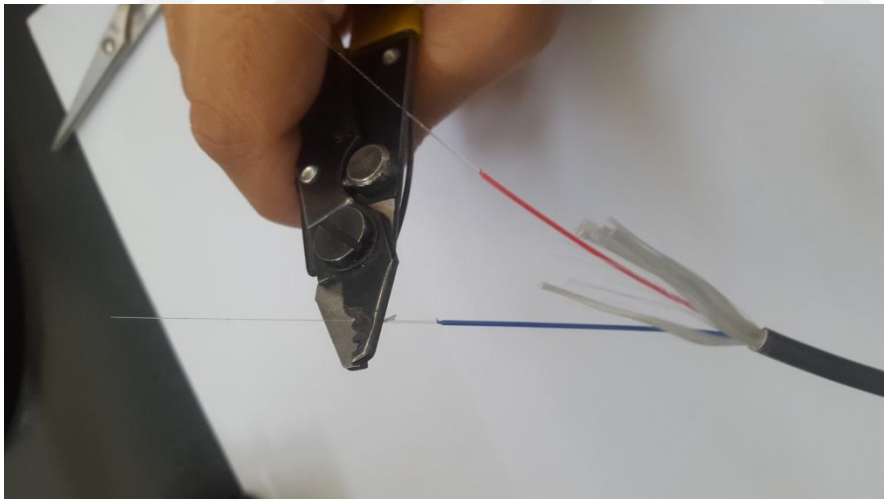
Şekil 3.12. Fitel marka füzyon ek cihazı

Yukarıda Şekil 3.12'da bir fiber ek cihazı görülmektedir. Fiber eke cihazları iki fiber optik kabloyu birbirine eklemek için kullanılmaktadır. Yeni nesil ticari fiber optik ek cihazları füzyon yöntemiyle ek işlemini gerçekleştirmekte, fiber optik öz tipini belirleyebilmekte, ek kaybını ve kalitesini ekranında dB cinsinden gösterebilmekte ve ek sonunda ısıtıcı ile ek koruyucu işlemi yapılabilmektedir.

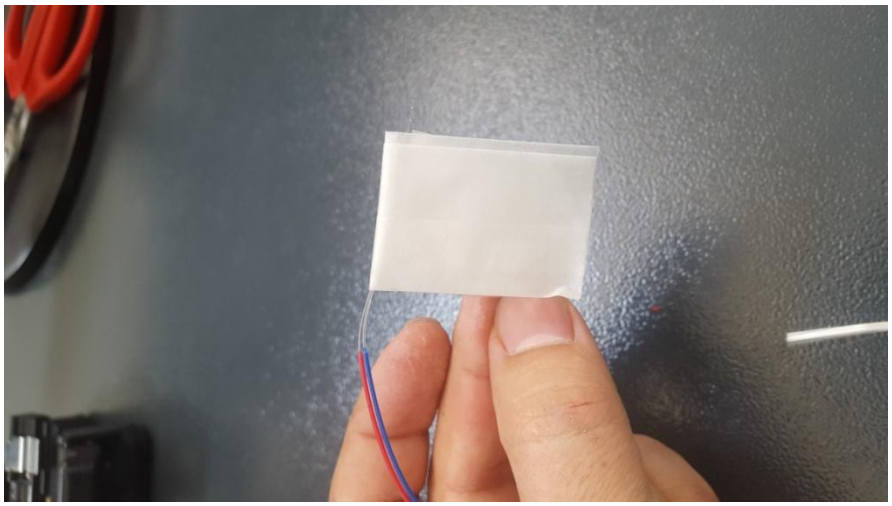


Şekil 3.13. Fiber optik kablonun dış ceketinin soyulmuş hali

Şekil 3.13'da görüldüğü gibi dış ceket açılır. Ek yapılacak olan kablonun dış kaplaması özel bir makas ya da kesici bir alet ile açılır. Fiber cam tüpler görünür hale getirlir. Özel fiber optik kablo soyucu yardımıyla fiber tüp ve ceket sıyırırılır. Bu aşamada Ekil 3.11'deki gibi sadece core ve clading kısmı kalmıştır.

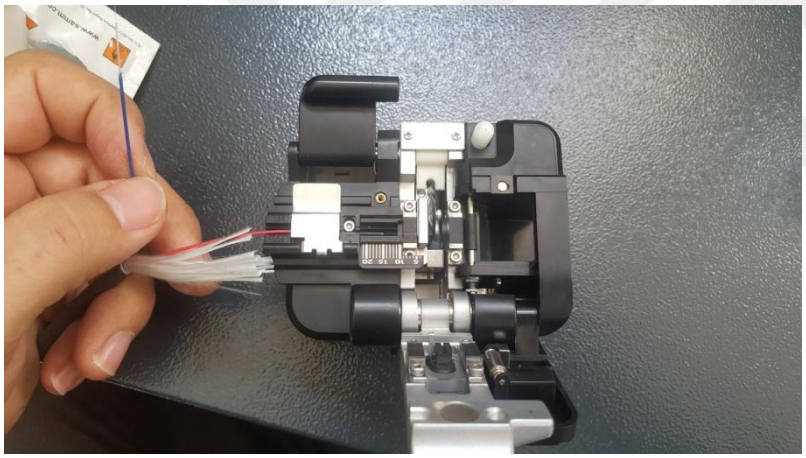


Şekil 3.14. Optik fiberin üzerindeki kaplamanın soyulması



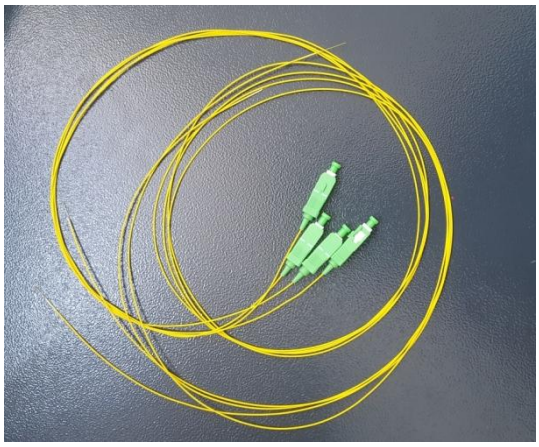
Şekil 3.15. Optik fiberin üzerindeki silinmesi

Şeil3.12' de görüldüğü gibi alkollü mendil yardımıyla ek yapmadan önce hazırlanan parça silinir. Ekin kalitesi açısından temizlik önemlidir.



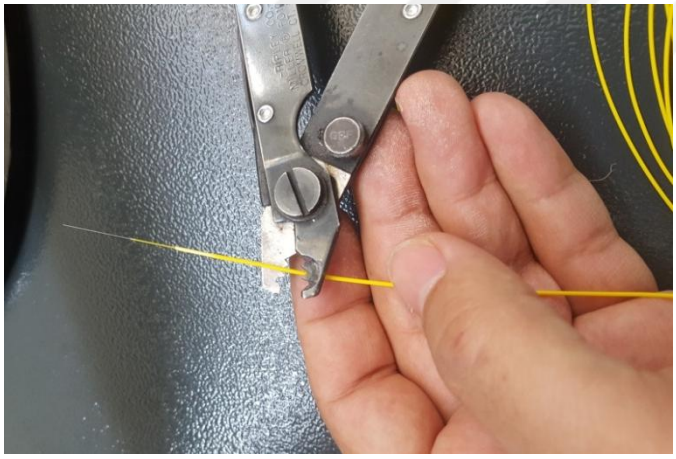
Şekil 3.16. Optik fiberin ek öncesi kesilmesi

Fiber ek core ve cladding'den oluşan fiber öz kısmana uygulanacağı için ek cihazına uygun ölçüde özel bir elmas uç ile hassas biçimde kesilir.



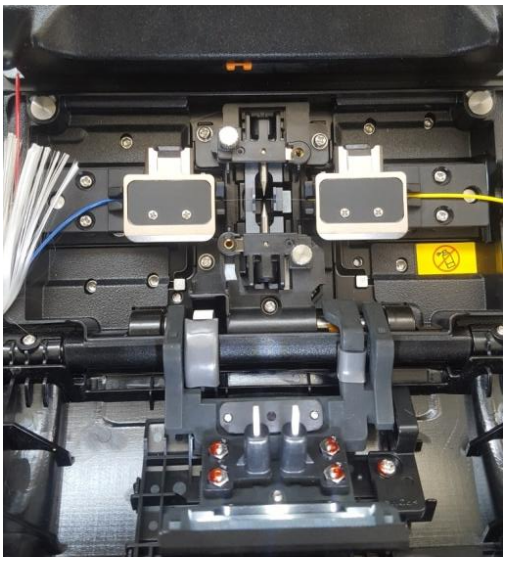
Şekil 3.17. Pig tail kablolar

Şekil 3.17'de pig tail kablo örnekleri görülmektedir. Pig tail kabblolar fiber optik kablo hatlarınını sonlandırma amaçlı kullanılmaktadır. Test yapılırken ise test yapılacak olan kablo numunesinin uçlarına ek yapılarak fiber optik test cihazlarına bağlantısını sağlamaktadır.



Şekil 3.18. Pig tail kabloların soyulması

Şekil 3.18'te görüldüğü gibi ek yapılacak olan kablo eşi olan pig tail kabloya ise aynı adımlarla hazırlanır.

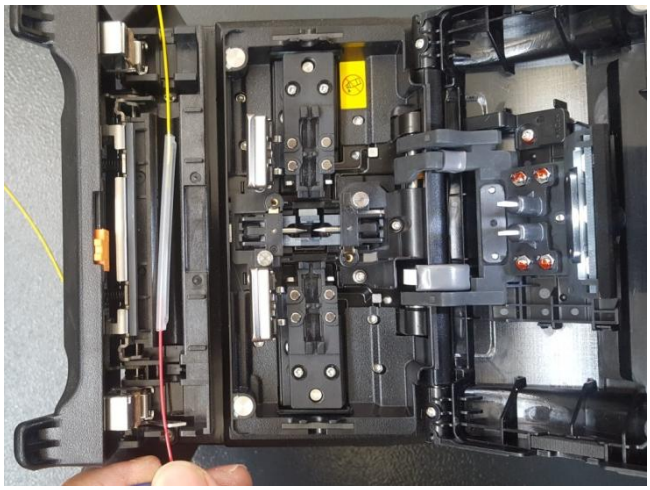


Şekil 3.19. Fiber optik kabloların ek cihazına yerleştirilmesi

Kablolar Şekil 3.19'da görüldüğü gibi karşılıklı olarak elektroların karşısına yerleştirilip kapağı kapatırlır.

Şekil 3.20. Ek işleminin gerçekleştirilmesi ve kayıp değeri

Şekil3.20'de görünen sol alt kısımdaki ek başlatma tuşuna basılarak ek yapımı ekrandan canlı takip edilebilmekte ve ek kalitesi gözlemlenebilmektedir.

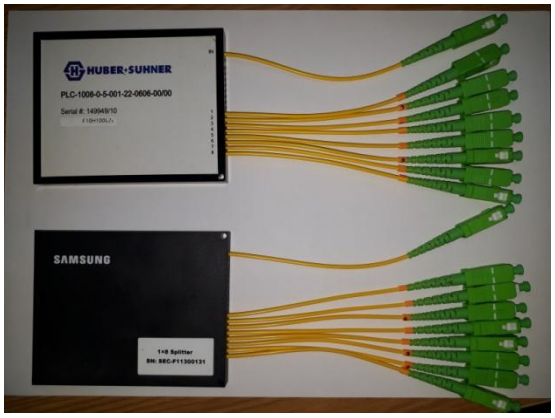


Şekil 3.21. Ek koruyucuişleminin yapılması

Ek koruyucu işlemi ek yapılan kısmın dış etkilere karşı dayanımı açısından önemlidir. Fiber ek yapıldıktan sonra önceden hazırlana ek koruyucu plastiği ek cihazının haznesine Şekil 3.21'deki gibi yerleştirildikten sonra kapağı kapatılır ve ısıtma işlemi bittikten sonra çıkartılır. Ek işlemi tamamlanır.

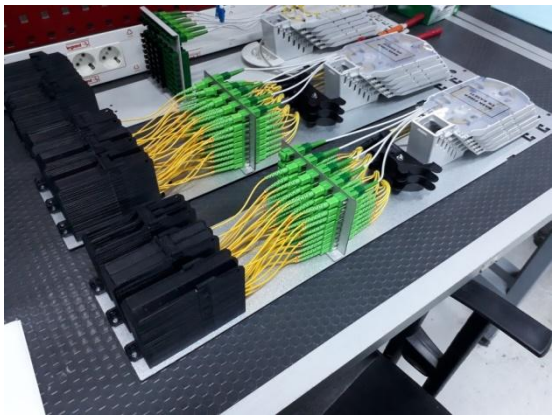
3.8. Fiber Optik Splitter (Ayırıcı)

Fiber optik splitter, bir optik fiber üzerindeki ışık hüzmesini iki veya daha fazla ışık hüzmesine bölerek fiberler arasında dağıtılmasını sağlayan ya da iki veya daha fazla ışık hüzmesini tek bir ışık hüzmesi olarak birleştiren pasif bir fiber optik kablo elemanlarıdır.



Şekil 3.22. 1x8 fiber optik splitter

Yukarıda 1x8 bir ticari fiber optik splitter(ayırıcılar) görülmektedir. Optik splitter ışık sinyali belirli oranda 2 ye böler.



Şekil 3.23. Optik splitter ve bağlantı elemanlarının kullanımı

Yukarıda bir fiber optik ayırıcı uygulaması görülmektedir. Fiber optik ayırıcılar sayesinde tek bir hat üzerinden gelen fiber optik sinyal birden fazla kanala dağıtılabilmektedir.

3.9. Çevresel ve Mekanik Testler

Fiber optik kablolar kurulum, depolama ve kullanım esnasında ve çok çeşitli çevresel ve mekanik etkilere maruz kalmaktadırlar. Bu sebeple fiber optik kablolar üretildikten sonra çeşitli çevresel ve mekanik testlere tabi tutulmaları gerekmektedir. Uluslararası IEC60794 standartlarına göre gerçekleştirilen bu testler ve kabloların kalite parametrelerinin belirlenmesini sağlar. Kablonun çevresel ve mekanik testler sayesinde kullanımından önceki etkilere karşı vereceği tepkiler belirlenir. Bu kalite parametreleri fiber optik kabloların maruz kalabileceği mekanik ve çevresel dayanım kısıtlarının bilgisini içerir.

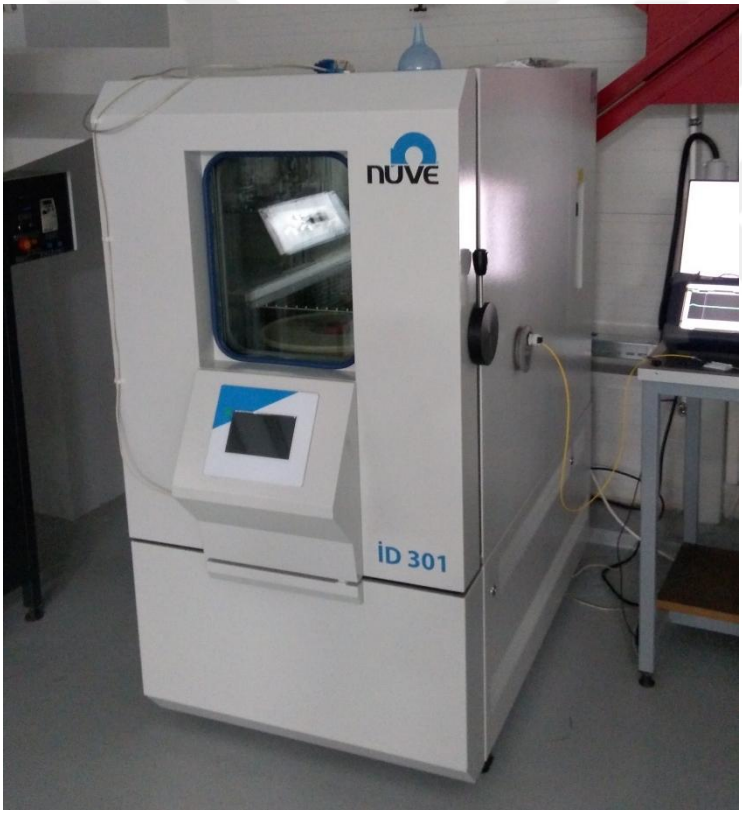
3.9.1. Sıcaklık Çevrim Testi

Testin Amacı: Fiber optik kablolar farklı çevresel sıcaklıklarda fiziksel yapısına ve kalitesine bağlı olarak farklı çevresel sıcaklık şartlarında farklı performanslarda çalışabilmektedirler. Ayrıca depolama esnasında çok darklı sıcaklık değerlerinin etkisi altında kalırlar. Gömülen boruların içinden geçen kablolar, havai kablolar ve baz istasyonlarında kullanılan kablolar bu etkiler çok fazla maruz kalırlar.

Fiber kaplama teknolojisindeki birçok gelişmeler sıcaklık değişimleri esnasındaki düşük ışık kaybını en aza indirmek amacıyla ilerletilmiştir. Yumuşak tampon kaplamaların düşük bir düşük sıcaklık kaybına neden olduğu görülmektedir. Ayrıca kaplama kalınlığını

değiştirerek liflerin düşük sıcaklık performansı iyileştirilebilmektedir.(Wiltshire ve Reeve 1988)

Sıcaklık değişim testinin amacı fiber optik kablonun için geçen belirli bir dalga boyundaki ışığın sıcaklığa karşı ne kadar kayba uğradığını belirlemektir. Bu değer dB veya dB/km cinsinden OTDR ve optik powermetre tabanlı cihazlarla ölçülür. Sıcaklık değişim testi için oda sıcaklığında belirli miktar bekletilen kablonun ölçülen kayıp değeri referans kabul edilir. Belirli aralıklarla alınan ölçüm değerleri bu referans değerden çıkartılarak kablonun sıcaklığa karşı verdiği tepki belirli aralıklarla ölçümler alınarak kaydedilir ve çizdirilir. Bu sonuçlara bakılarak bir fiber optik kablonun sıcaklığa karşı gösterdiği tepki tespit edilebilmektedir.



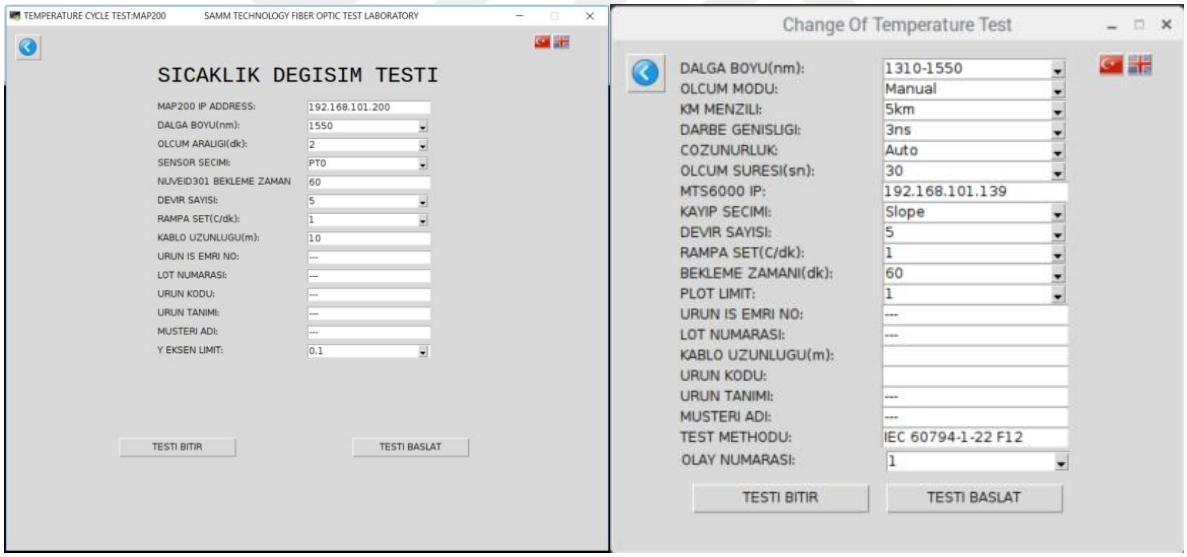
Şekil 3.24. İklimlendirme cihazı

Test düzeneğinin hazırlanması: Test adımlarının tümü TS EN IEC 60794-1 F1 standardının gerekliliklerini dikkate almaktadır. Sıcaklık değişim testinde kablo(uzunluk) iklimlendirme cihazının içine yerleştirilir ve uçları füzyon eki yapılarak ölçü aletine bağlanır ekli kısınlar iklimlendirme cihazının dışında bırakılır. Sargı çapı lifin büzülme kapasitesini geçmeyecek şekilde hazırlanır. Tasarlanmış olan test başlangıç ekranın gerekli ayarlar seçilip

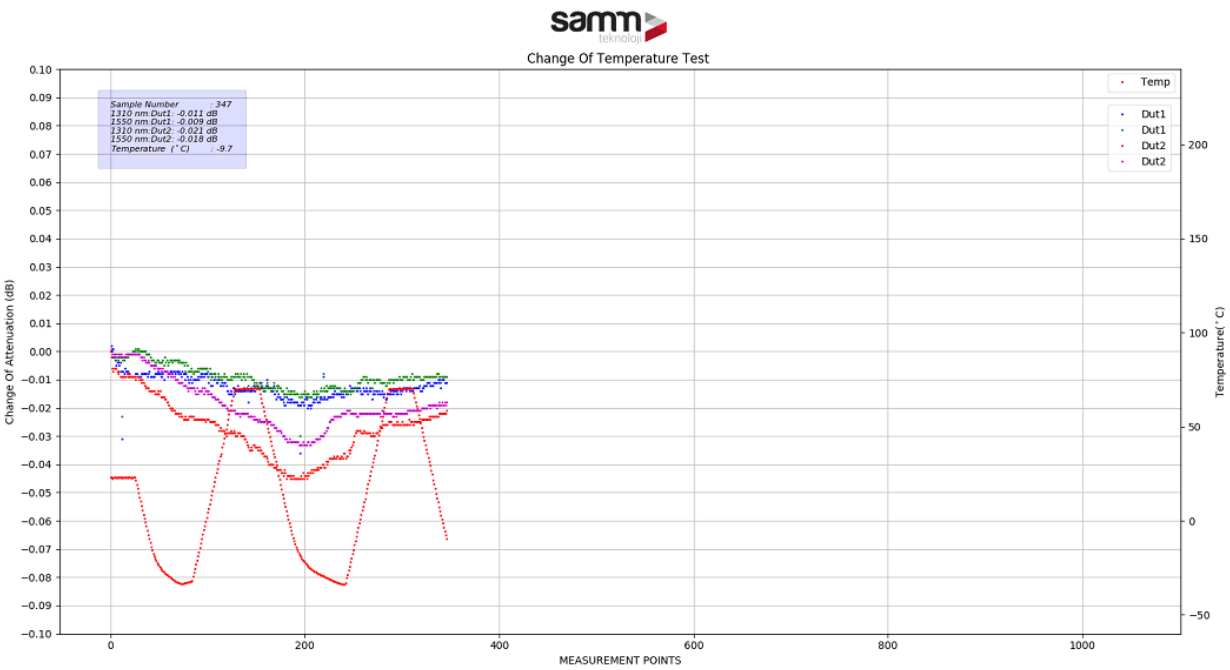
gerekli haberleşme bağlantılarıda yapıldıktan sonra iklimlendirme cihazına sıcaklık alt üst sınırı ve devir sayısı süreleri girilir ve test başlatılır.

Test ekipmanı ve kablo kayıp ölçer cihazının belirlenmesi : Test edilecek olan numune kablonun uzunluğu, seçilecek olan ölçü aletinin cinsini belirlediği görülmüştür. Örneğin ,numune boyu 1000 metrenin üzerinde ise OTDR cihazı kullanılabilirmektedir. Çünkü ticari kullanım için geliştirilen OTDR'lar 1 km altında sağlıklı ölçümler alamamaktadır. Bu durum ise testin sonuçlarında tutarsızlık ve yanlışlıklara yol açmaktadır. Eğer 10 metre gibi bir numune test edilecek olursa, OTDR cihazının menzilinin altında kalacağı için power metre tabanlı ve hassas cihazlar tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

Testin başlatılması ve takibi: Test takip ekranından kablo kaybı, kablonun bulunduğu ortamın o anki sıcaklığı, ölçüm sayısı takip edilebilmektedir. Şekil 3.25'deki testin grafik ekranı python programlama dilinin matplotlib kütüphanesi ile tasarlanmıştır. Test başlatıldıktan sonra açılır ve test gerçek zamanlı olarak takip edilir.



Şekil 3.25. Sıcaklık değişim testi için kullanıcı arayüzü



Şekil 3.26. Sıcaklık değişim testi canlı ekran

Şekil 3.26 da grafikte sıcaklık çevrim testinin takip ekranı görülmektedir. Grafikte insertion loss değerlerindeki değişimler ölçümlenmektedir. Şekil 3.25 te ise test başlatılırken girilecek olan parametreler görülmektedir. OTDR ve MAP200 cihazı istenen dalga boyu ve diğer özellikler bu menülerden seçilir.

3.9.2. Gerilme Testi

Fiber Optik Kablo Germe(Çekme) Dayanımı Hesaplama : Fiber optik kablonun üretim aşamasında kurulumuna kadar meydana gelecek olan gerilme durumlarında dayanabileceği kuvveti arttırmak için mukavet elemanları kullanılır. Bu elemanların her birinin kablonun dayanacağı toplam kuvvete etkisi vardır.

Her bir fiber optik kablonun her bir bileşeni içi young's modül hesaplanır.

$$F = \sum_{n=1}^{n=p} E \cdot \left(\frac{d \cdot t \cdot 0{,}001}{\rho}\right) \cdot e \qquad (3.1)$$

Burada F malzemenin N cinsinden dayanımı, E young's modüle, d dtex miktarı, e yüzdelik uzama, t malzeme adedi, ρ yoğunluktur.

$$E = \frac{F}{A} \qquad (3.2)$$

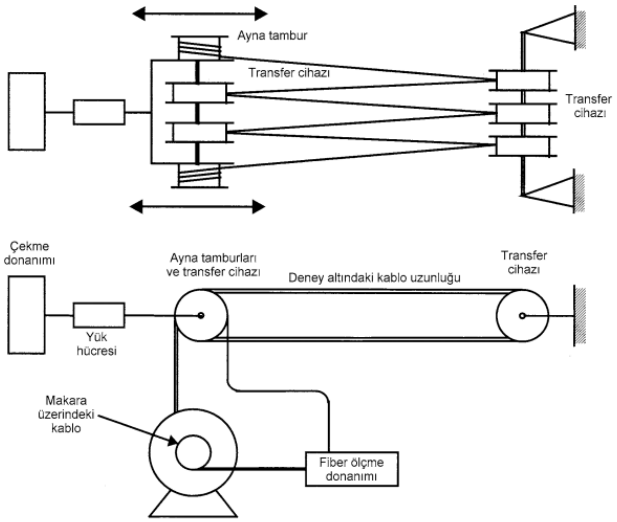
Burada A malzemenin alanını temsil etmektedir.

Testin amacı: Kablonun tesis sırasında güçlü gerilme zorlanmaları meydana gelebilir. Bunlar optik fiberin işlevini etkilememelidir. Tesis edilen kablolarda arta kalmış gerilme kuvvetlerinin optik fiber üzerinde herhangi bir etkisinin olmaması bir gerekliliktir. Bu nedenle esasen optik kablo dizaynında tek ve çok fiberli gevşek tampon tüpler kullanılmaktadır. Fiberler bu gevşek tampon tüpler içinde dışardan gelebilecek herhangi bir büyük zorlamaya karşı kendilerini bağlantısız kılan bir hareket serbestliğine sahiptirler. Bu bağımsız aralık, optik fiberin şartlarına bağlı işlem penceresidir ve bitmiş kablo üstündeki bir tip testin serisi sırasında dizayn edilir, sonuç çıkarılır ve ayrıca test edilir. Test sırasında uzama kademsi bir gerilme testiyle ve büzülme testi bir sıcaklık testiyle belirlenir.

Fiber optik kablolar gerilmeye maruz kaldığında fiziksel yapısına ve kalitesine bağlı olarak farklı gerginlik şartlarında çalışabilmektedirler. Bu kabiliyeti gevşek tampon tüpler sayesindekazanırlar. Fiberler bu gevşek tampon tüpler içinde dışardan gelebilecek herhangi bir büyük zorlamaya karşı kendilerini bağlantısız kılan bir hareket serbestliğine sahiptirler. . Bu bağımsız aralık, optik fiberin şartlarına bağlı işlem penceresidir ve bitmiş kablo üstündeki bir tip testin serisi sırasında dizayn edilir, sonuç çıkarılır ve ayrıca test edilir. Fiber optik kablolar için mukavemet elemanı olarak kevlar malzemesi kullanılmaktadır. Bu kevlar malzemesini miktarına bağlı olarak kablonun dayanacağı gerginlik miktarı artmaktadır (Demir 2002).

Germe testinin amacı fiber optik kablonun için geçen belirli bir dalga boyundaki ışığın sıcaklığa karşı ne kadar kayba uğradığını, kablonun toplam boyunun ne kadar uzadığını ve kablonun içindeki fiber core boyunun ne kadar uzadığını belirlemektir. Işık kayıp değeri dB veya dB/km cinsinden, fiber OTDR ve optik powermetre tabanlı cihazlarla ölçülmektedir. Fiber uzaması değeri ise test başlangıcındaki değeri referans alınarak yüzdelik olarak hesaplanır ve otdr tabanlı bir cihaz ile ölçülür. Kablo uzaması değeri ise kablonun üzerine bağlananan lineer ekstensiyometreden başlangıçtağı değrei referans alınarak yüzdelik olarak hesaplanır.

Yerli üretim fiberoptik kablolara uygulana germe testi kablo maliyetinin belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Kabloda üretiminde mukavemet artırıcı olarak kullanılan cam elyaf ve aramid iplik gibi malzemelerin kablo içerisindeki oranı bu testin sonuçlarına göre belirlenmektedir.



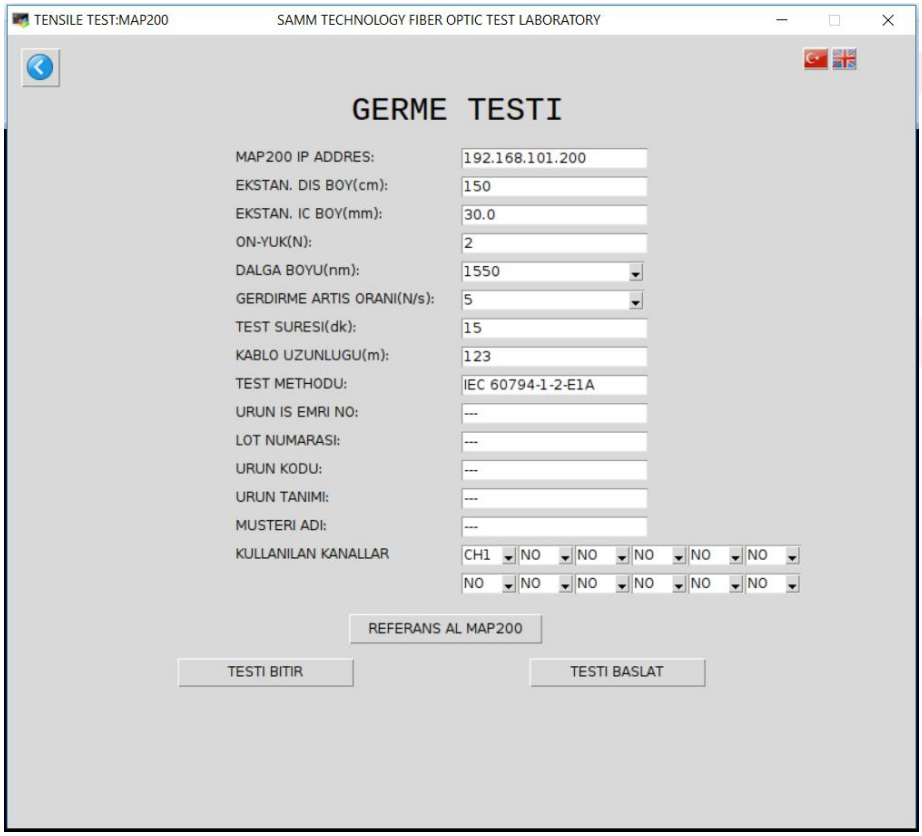
Şekil 3.27. Gerilme performansı test teçhizatı çizimi

Şekil 3.28. Gerilme performansı test teçhizatı

Test ekipmanları seçilmesi: Şekil 3.28'te görünen mekanik test düzeneği alanında uzman Türk mühendisler tarafından tasarlanmıştır. Hareketli kasnaklardan oluşan bu mekanik test düzeneği 122 metrelik bir fiber optik kabloyu fiziksel olarak gerdirmekte ve uygulanan yükü yük hücresi ile ölçüp kontrol algoritmalarıyla istenilen yük değerine çıkıp kabloyu bu yük değerinde bekletebilmektedir. Kablo uygulanan yük ile birlikte fiziksel olarak uzamakta ve bu uzama değeri ise kablo hattının 1 ya da 2 metrelik bir kesitine bağlanan lineer ekstansometre yardımı ile ölçülüp yüzdesel olarak hesaplanabilmektedir.

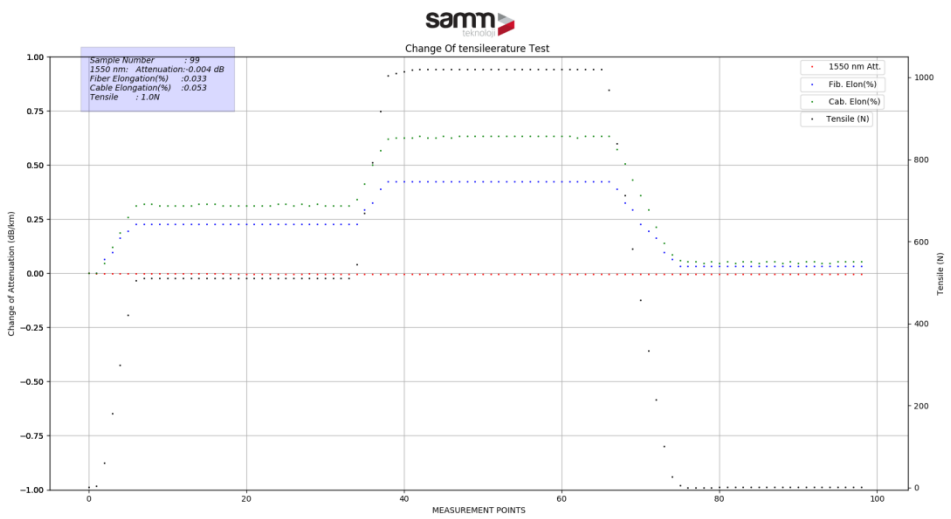
Optik test düzeneği seçilirken sisteme bağlı olan fiberin kaybını ve toplam uzunluğunu tesbit edebilen bir test cihazı olmasına dikkat edilmiştir. Bu durumda hassas bir güç ölçer ve fiber uzunluğunu uygun metod ile ölçen bir optik test cihazı seçilmelidir.

Test düzeneğinin hazırlanması ve testin başlatılması: test adımlarının tümü "TS EN IEC 60794-1-2-E1" standardının gerekliliklerini dikkate almaktadır. Germe testinde 122 metre kablo kasnaklardan oluşan mekanik sisteme yerleştirilir ve uçları füzyon eki yapılarak ölçü aletine bağlanır ekli kısımlar gerdirilecek bölümün dışında bırakılır. Tasarlanmış olan test başlangıç ekranın gerekli ayarlar seçilip gerekli haberleşme bağlantılarıda yapıldıktan sonra başlangıç ayarları girilir ve test başlatılır. .



Şekil 3.29. Gerilme testi için kullanıcı arayüzü

Testin Takibi: Germe testi başlatıldıktan sonra test esnasındaki alınan uygulanan kuvvet, kablo uzaması, fiber uzaması ve kablo kaybı değerleri Şekil3.29 da görüldüğü gibi takip edilebilmektedir.



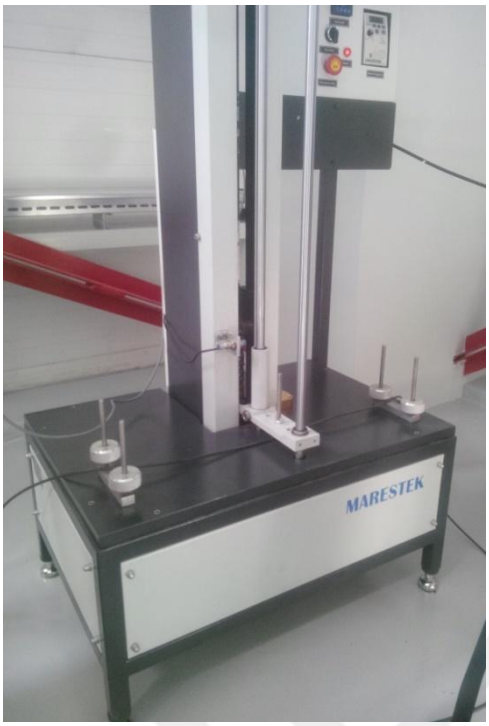
Şekil 3.30. Gerilme testi test takibi

Test takip ekranından kablo kaybı, kablonun maruz kaldığı kuvvetin Newton cinsinden değeri, fiberin yüzdelik uzaması,kablonun yüzdelik uzaması ve ölçüm sayısı takip edilebilmektedir. Testin grafik ekranı python programlama dilinin matplotlib kütüphanesi ile tasarlanmıştır. Test başlatıldıktan sonra açılır ve test gerçek zamanlı olarak takip edilir.(Buraları test ekranları tasarımı diye bir ana başlıkta yazabilirim.)

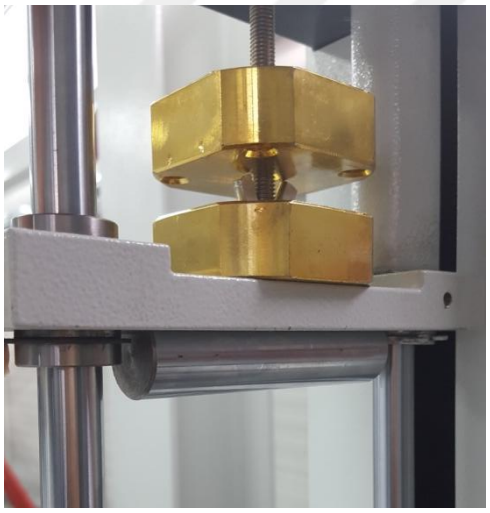
3.9.3. Darbe Testi

Testin amacı: Fiber optik kablolar darbelere maruz kaldığında fiziksel yapısına ve kalitesine bağlı olarak farklı performanslarda çalışabilmekte ve fiber lifin kopması durumunda ise ışık iletimi sağlanamadığı için kablo çalışmamaktadır.

Darbe testinin amacı herhangi bir fiber optik kablonun darbe etkisine karşı verdiği tepkiyi ölçmek ve analiz etmektir.

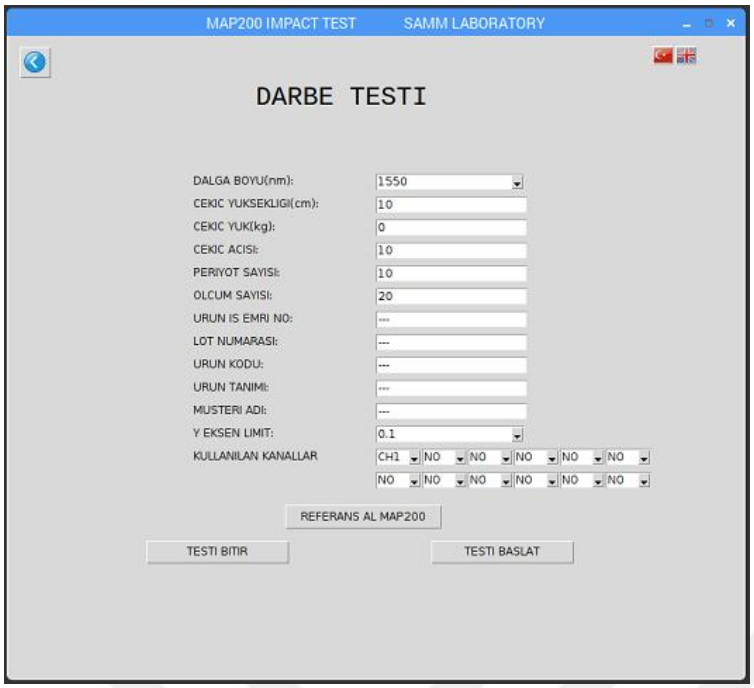


Şekil 3.31. Sıcaklık değişim testi test takibi



Şekil 3.32. Darbe testi kablo ezme çenesi

Yulkarıdaki Şekil 3.32' da fiber optik kabloyu darbeyi uygulayacak olan oval parçanın şekli ve bağlı olan yük parçaları görülmektedir. Yük mikarı ve oval parçanın yarıyaçı ilgili standartta belirtilmektedir.



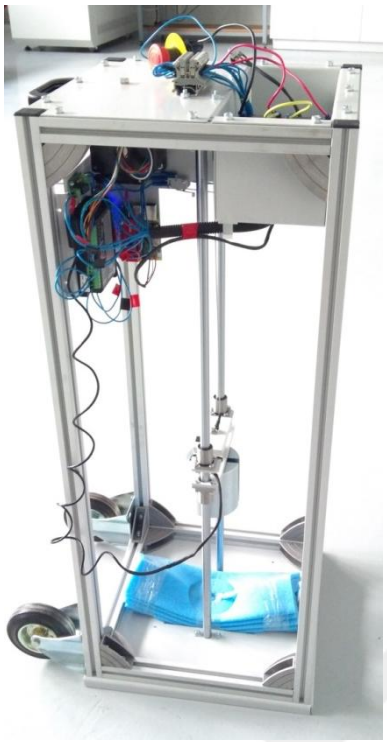
Şekil 3.33. Darbe testi için kullanıcı arayüzü

Test Düzeneğinin Hazırlanması ve Testin Başlatılması: Test adımlarının tümü "TS EN IEC 60794-1-2- E4" standardının gerekliliklerini dikkate almaktadır. Darbe testinde darbe uygulanacak kablo parçesı yükün bırakılacağı noktaya yerleştirilir, kablonun iki ucundan füzyon eki yapılarak güç ölçer cihazına bağlanır. Tasarlanmış olan test başlangıç ekranın gerekli ayarlar seçilip gerekli haberleşme bağlantılarıda yapıldıktan sonra başlangıç ayarları arayüze girilir ve test başlatılır.

Test düzeneği kablo yerleştirilirken kablonun ezilecek kısmı bırakılacak olan yükün altında yerleştirilir ve diğer uçlarından ek yapılarak powermetre cihazına bağlanır. Darbe testinde kablonun üzerinden bırakılacak ve yükün temas edeceği oval parçanın yarıcapı standartta belirtilir. Bu adım standarta belirtilen miktarda tekrarlanır ve kablo kaybının artış miktarı gözlemlenir.

Test ekipmanı: Kablo kayıp ölçer cihazının belirlenmesi: darbe testinde kablonun içinden geçen ışığın uğradığı kayıp tesbit edileceği için güç ölçer tabanlı bir cihazın kullanlması uygun olacaktır. Bu sebeple MAP200 ve OLP55 model güç ölçer (power metre) cihazlar tercih edilmiştir.

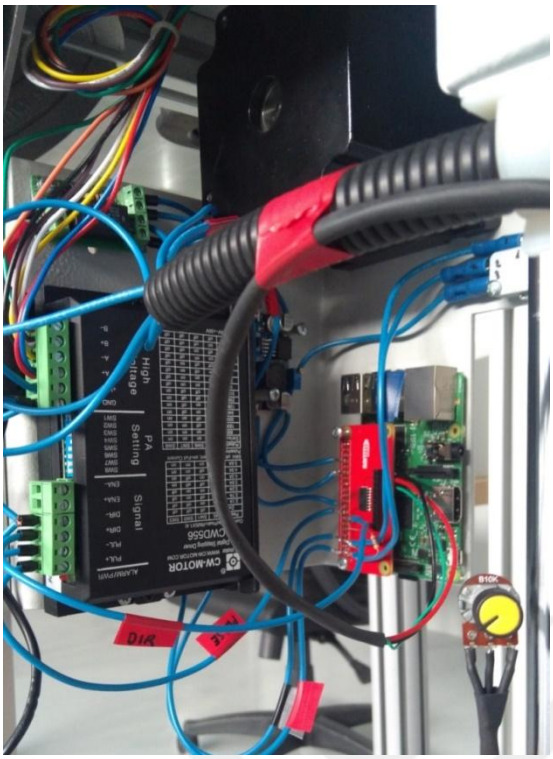
3.9.4. Darbe Test Cihazı Tasarımı



Şekil 3.34. Darbe test cihazı

Fiber optik kablolarda darbe testleri yapılabilmesi için hazır mekanik sistemler kullanılmıştır. Hazır mekanik sistemlerin eksiklerinden dolayı özgün ve ayrı bir cihaz tasarlanmasına karar verilmiştir.

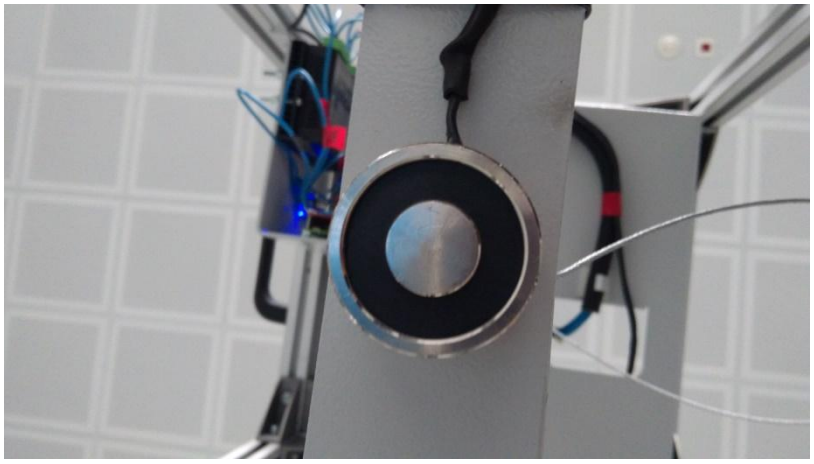
Tasarlanmış olan bu cihaz yükü 80 cm yukarı çekebilmekte 10 kg ye varan yükleri elektromıknatıs ve makaralı düzeneği vasıtasıyla tutup kaldırabilmektedir. Elektromıknatıslı düzeni nedeniyle diğer kablo darbe test sistemlerine göre özgündür.



Şekil 3.35. Darbe üreteç test makinasının iç kısmı

Sistemin temel bileşenleri Raspberry pi mini bilgisayarı 4.5 N/m step motor, motor sürücü, adc devresi, 25 kg elektromıknatıs, akü, 5.1V smps modülü, röle devresi ve limit switch ve mekanik parçalardır.

Sitemin uzaktan kontrolü ve geliştirmeye açık bir yapısı düşünüldüğünden raspberry pi kullanılmıştır. Yükün bırakılacağı yüksekliğin potansiyometre yardımıyla ayarlanabilmesi için özel olarak tasarlanan bir adc devresi kullanılmıştır.



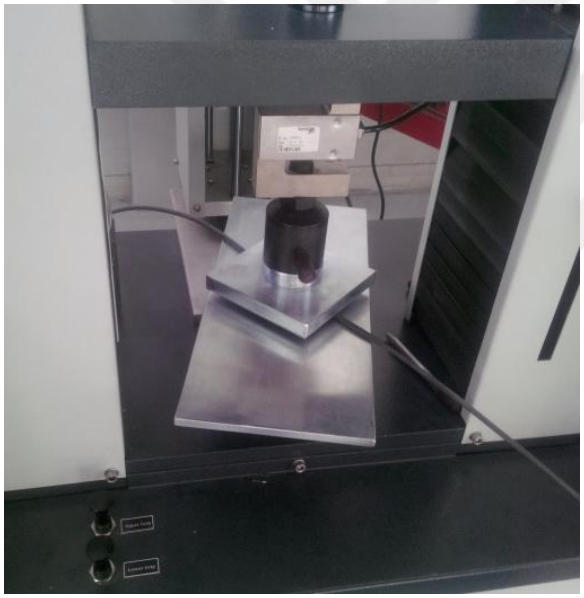
Şekil 3.36. 25 kg kapasiteli elektromıknatıs

Sistemin işleyiş algoritmasında, elektromıknatıs bağlı olan levha step motora sarılı olan çelik tel vasıtasıyla istenilen yüksekliğe çekilir. İstenilen yükseklik, sisteme adc entegresi üzeinden bağlı olan potansiyometre ile belirlenir. Bu yükseklikten bırakılan yük alt bölümdeki boşluğa az miktarda sürtünme ile serbest düşme yapar ve sistem darbe üretir.

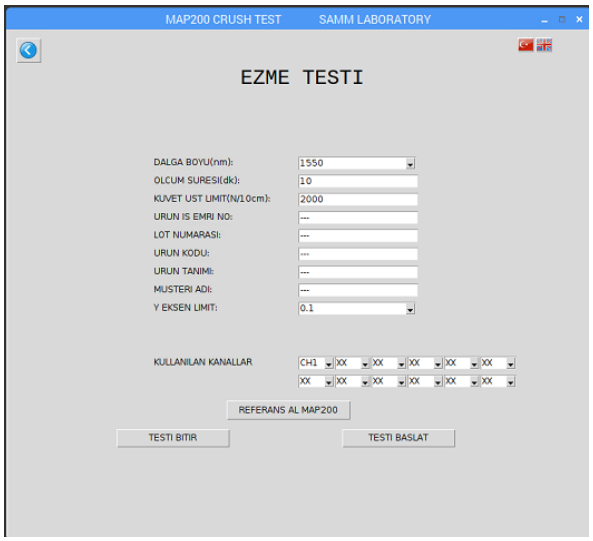
3.9.5. Ezme Testi

Testin amacı: Fiber optik kablolar toprak altında kaldığında ya da montaj esansında ve çeşitli nedenlerle ezilebilmektedir. Fiziksel yapısına ve kalitesine bağlı olarak farklı performanslarda çalışabilmekte ve fiber lifin kopması durumunda ise ışık iletimi sağlanamadığı için kablo çalışmamaktadır.

Darbe testinin amacı herhangi bir fiber optik kablonun ezilme etkisine karşı verdiği tepkiyi ölçmek ve analiz etmektir.



Şekil 3.37. Ezme mekanizması



Şekil 3.38. Ezme testi için kullanıcı arayüzü

Test düzeneğinin hazırlanması ve testin başlatılması: Test adımlarının tümü "TS EN IEC 60794-1-2- E3" standardının gerekliliklerini dikkate almaktadır. Ezme testinde ezilecek kablo parçesı levhaların arasına yerleştirilirve kablonun iki ucundan füzyon eki yapılarak güç ölçer cihazına bağlanır. Tasarlanmış olan test başlangıç ekranın gerekli ayarlar seçilip gerekli haberleşme bağlantılarıda yapıldıktan sonra başlangıç ayarları arayüze girilir ve test başlatılır.

Test düzeneği hazırlanırken kablonun ezilecek kısmı yük uygulanacak olan levhalar arsına yerleştirilir ve diğer uçlarından ek yapılarak powermetre cihazına bağlanır.Levha boyutları standartta belirtildiği boyutlar olmalıdır. Ezme testinde kablonun üzerine uygulanacak yük miktarı kablo tipine göre standarttlarda belirtilmektedir. Yük belirli hızla kablo üzerine uygulanırken ve kablo kaybının artış miktarı gözlemlenir. Kablo üzerindeki mekanik kusurlar not edilir.

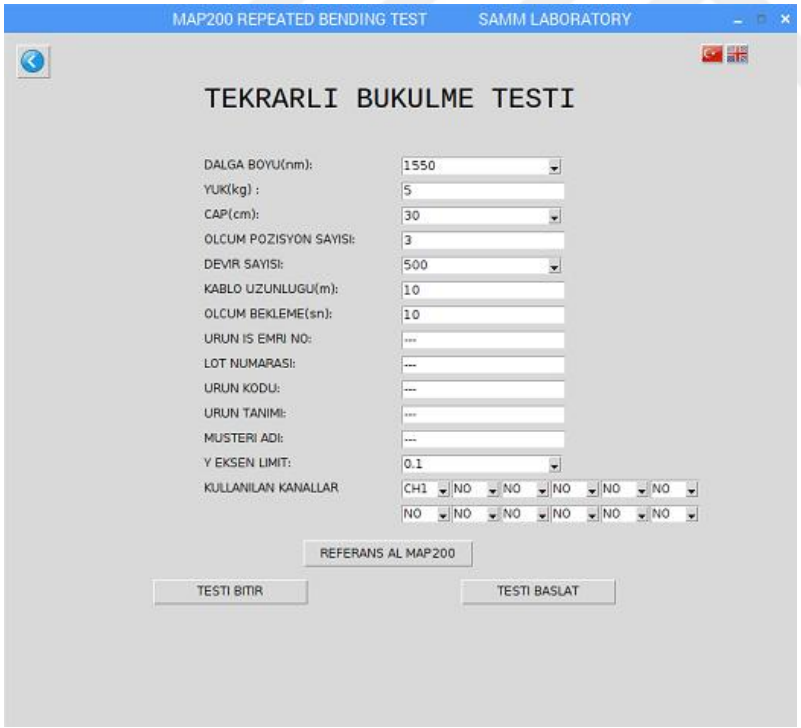
Test ekipmanı ve kablo kayıp ölçer cihazının belirlenmesi: Ezme testinde kablonun içinden geçen ışığın uğradığı kayıp tesbit edileceği için güç ölçer tabanlı bir cihazın kullanlması uygun olacaktır. Bu sebeple Map200 ve OLP55 model cihazlar tercih edilmiştir.

3.9.6. Tekrarlı Bükülme Testi

Testin amacı: Fiber optik kablolar uygulama alanlarında veya montaj esnasında çeşitli nedenlerle açısal olarak bükülebilirler. Fiziksel yapısına ve kalitesine bağlı olarak farklı performanslarda çalışabilmekte ve fiber lifin kopması durumunda ise ışık iletimi sağlanamadığı için kablo çalışmamaktadır.

Tekrarlı bükülme testinin amacı herhangi bir fiber optik kablonun bükülme etkisine karşı verdiği tepkiyi ölçmek ve analiz etmektir.

Şekil 3.39. Tekrarlı bükülme test mekanizması



Şekil 3.40. Tekrarlı bükülme testi kullanıcı arayüzü

Test adımlarının tümü "TS EN IEC 60794-1-2- E6" standardının gerekliliklerini dikkate almaktadır. Tekrarlı bükülme testinde ezilecek kablo parçası levhaların arasına

yerleştirilirve kablonun iki ucundan füzyon eki yapılarak güç ölçer cihazına bağlanır. Tasarlanmış olan test başlangıç ekranın gerekli ayarlar seçilip gerekli haberleşme bağlantılarıda yapıldıktan sonra başlangıç ayarları arayüze girilir ve test başlatılır.

Test düzeneği hazırlanırken kablo çapının 20 katı çapa sahip 2 silindir bükme kolunun altına bağlanır. Tekrarlı bükülme testinde bükme kolunun alt kısmından standartta belirtilen miktarda ağırlık bağlanır. 180 derelik bükme işlemi devam ederken kablodaki ışık kaybı gözlemlenir.

Test ekipmanı ve kablo kayıp ölçer cihazının belirlenmesi: Ezme testinde kablonun içinden geçen ışığın uğradığı kayıp tesbit edileceği için güç ölçer tabanlı bir cihazın kullanlması uygun olacaktır. Bu sebeple Map200 ve OLP55 model cihazlar tercih edilmiştir.

3.9.7. Burulma Testi

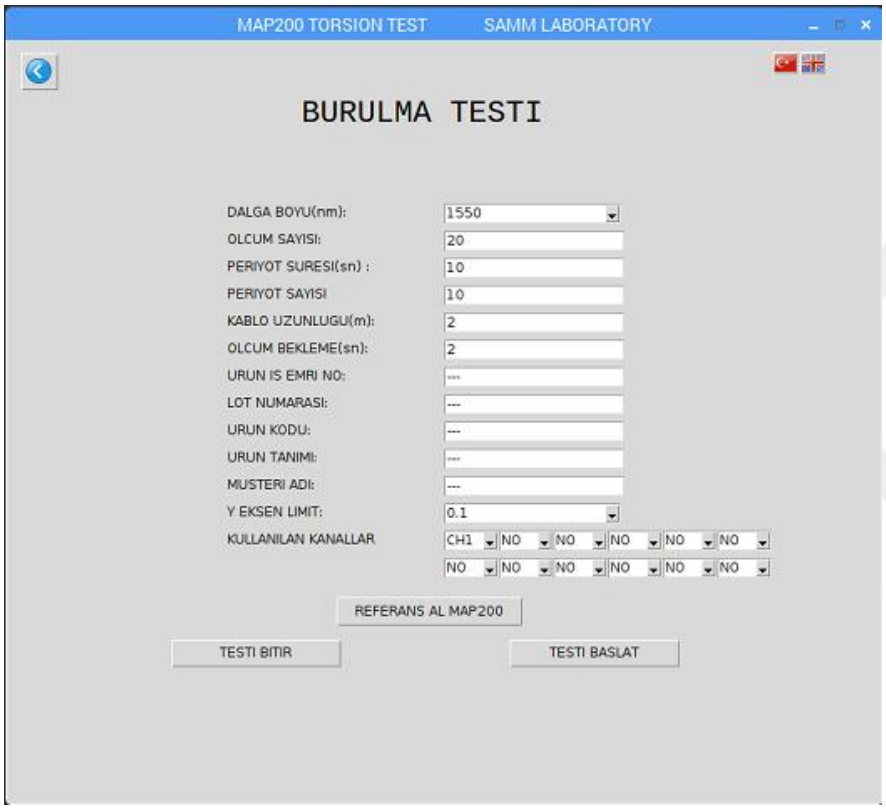
Testin Amacı: Testin amacaı kablo üretim ve kurulum esnasındaki bükülmeleri simüle etmektir.

Test düzeneğinin hazırlanması ve testin başlatılması: Test adımlarının tümü “TS EN IEC 60794-1-2- E7” standardının gerekliliklerini dikkate almaktadır. Burulma testinde kablo parçası levhaların arasına yerleştirilir ve kablonun iki ucundan füzyon eki yapılarak güç ölçer cihazına bağlanır. Tasarlanmış olan test başlangıç ekranın gerekli ayarlar seçilip gerekli haberleşme bağlantılarıda yapıldıktan sonra başlangıç ayarları arayüze girilir ve test başlatılır.

Şekil 3.41. Burulma test mekanizması

Fiber optik kablolar uygulama alanlarında veya montaj esnasında makaraya sarılırken çeşitli nedenlerle hasar görebilirler. Fiziksel yapısına ve kalitesine bağlı olarak farklı performanslarda çalışabilmekte ve fiber lifin kopması durumunda ise ışık iletimi sağlanamadığı için kablo çalışmamaktadır.

Tekrarlı bükülme testinin amacı herhangi bir fiber optik kablonun bükülme etkisine karşı verdiği tepkiyi ölçmek ve analiz etmektir.



Şekil 3.42. Burulma testi kullanıcı arayüzü

Test Düzeneğinin Hazırlanması ve Testin Başlatılması: Test adımlarının tümü "TS EN IEC 60794-1-2- E7" standardının gerekliliklerini dikkate almaktadır. Burulma testinde kablo parçası levhaların arasına yerleştirilir ve kablonun iki ucundan füzyon eki yapılarak güç ölçer cihazına bağlanır. Tasarlanmış olan test başlangıç ekranın gerekli ayarlar seçilip gerekli haberleşme bağlantılarıda yapıldıktan sonra başlangıç ayarları arayüze girilir ve test başlatılır. Test düzeneği hazırlanırken kablo çapının 20 katı çapa sahip 2 silindir bükme kolunun altına bağlanır.

Test ekipmanı kablo kayıp ölçer cihazının belirlenmesi: Ezme testinde kablonun içinden geçen ışığın uğradığı kayıp tesbit edileceği için güç ölçer tabanlı bir cihazın kullanlması uygun olacaktır. Bu sebeple Map200 ve OLP55 model cihazlar tercih edilmiştir.

3.9.8. Kink Test

Şekil 3.43. Burulma test mekanizması

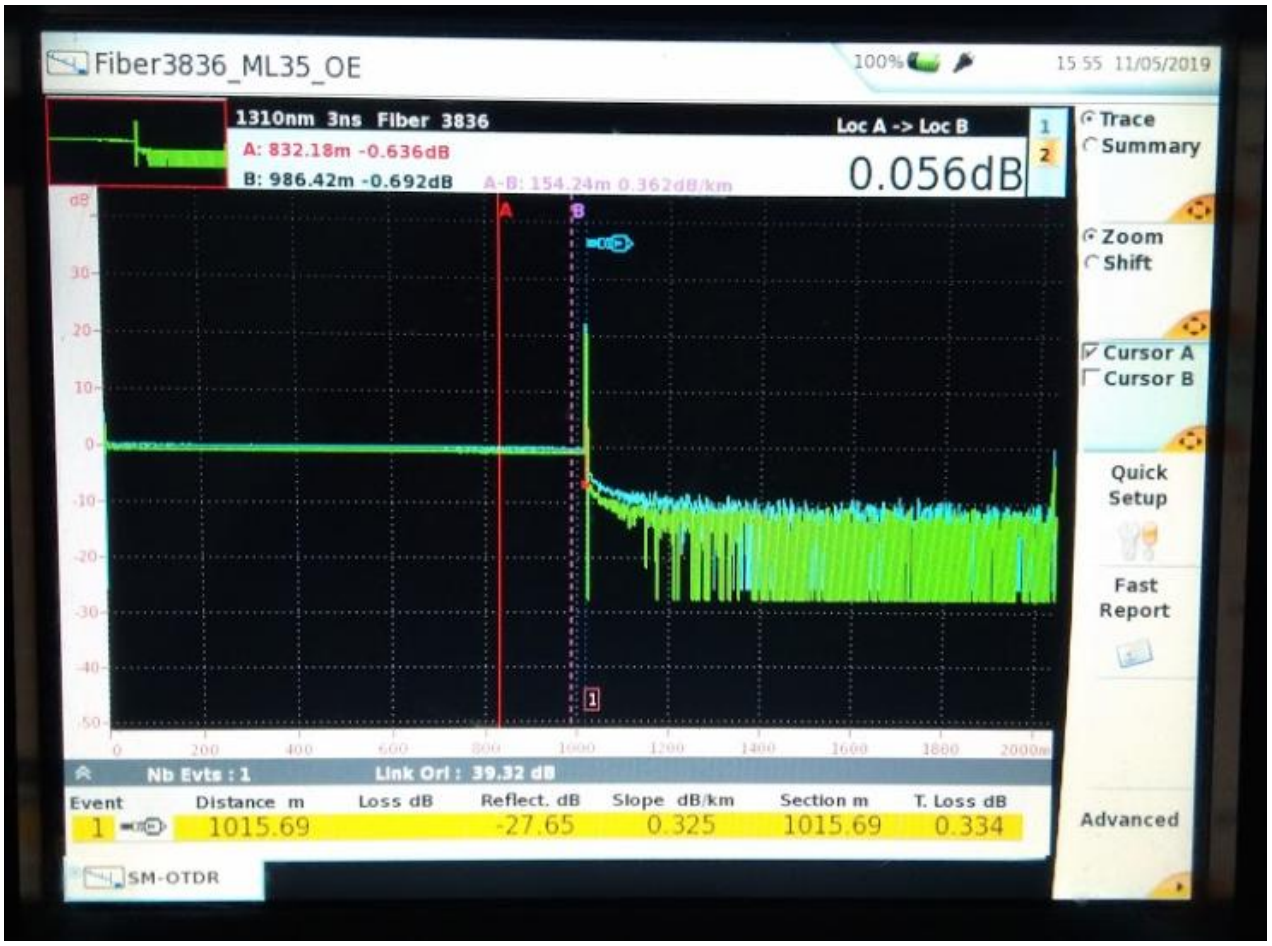
Testin amacı: Testin amacaı kablo üretim ve kurulum esnasındaki maksimum bükülme çapını tespit etmektir.

Test düzeneğinin hazırlanması ve testin başlatılması: Test adımlarının tümü "TS EN IEC 60794-1-2- E10" standardının gerekliliklerini dikkate almaktadır. Burulma testinde kablo parçası levhaların arasına yerleştirilir ve kablonun iki ucundan füzyon eki yapılarak güç ölçer cihazına bağlanır. Tasarlanmış olan test başlangıç ekranın gerekli ayarlar seçilip gerekli haberleşme bağlantılarıda yapıldıktan sonra başlangıç ayarları arayüze girilir ve test başlatılır. Kıvrılacak olan kablo sağ ve sol uçtan çekilerek dayanabileceği minimum çap oluşturulur ve kablo kaybına bakılır.

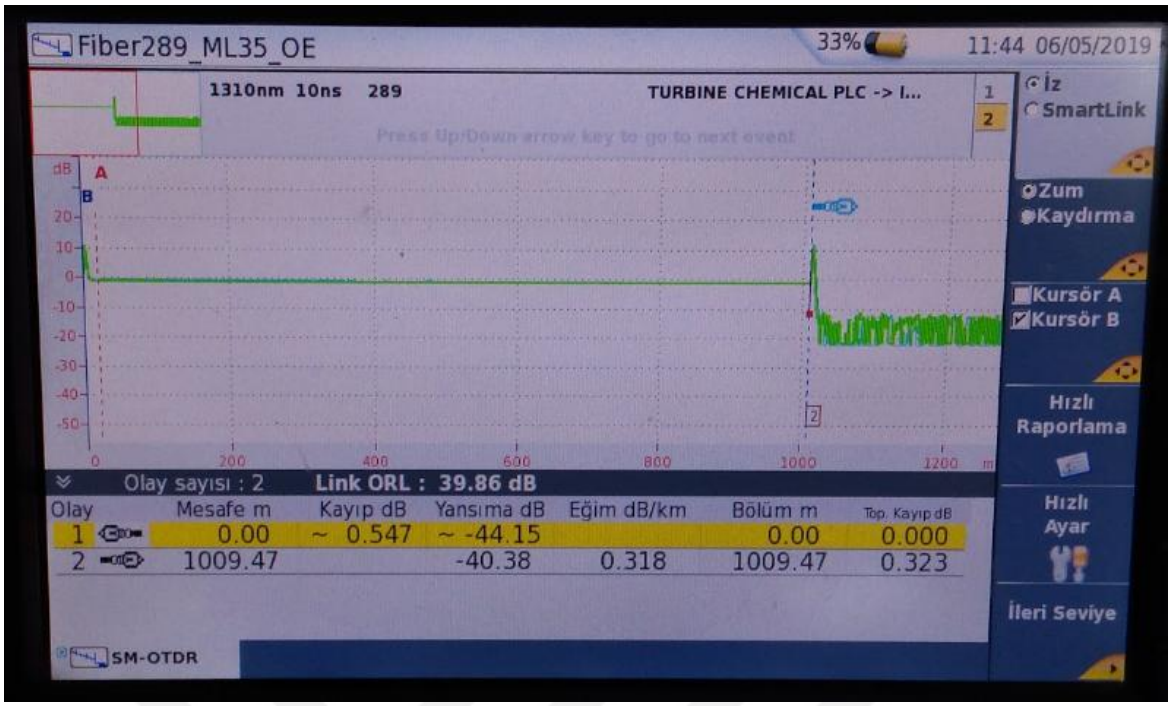
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

4.1. OTDR Cihazının Çeşitli Deneysel Uygulamaları

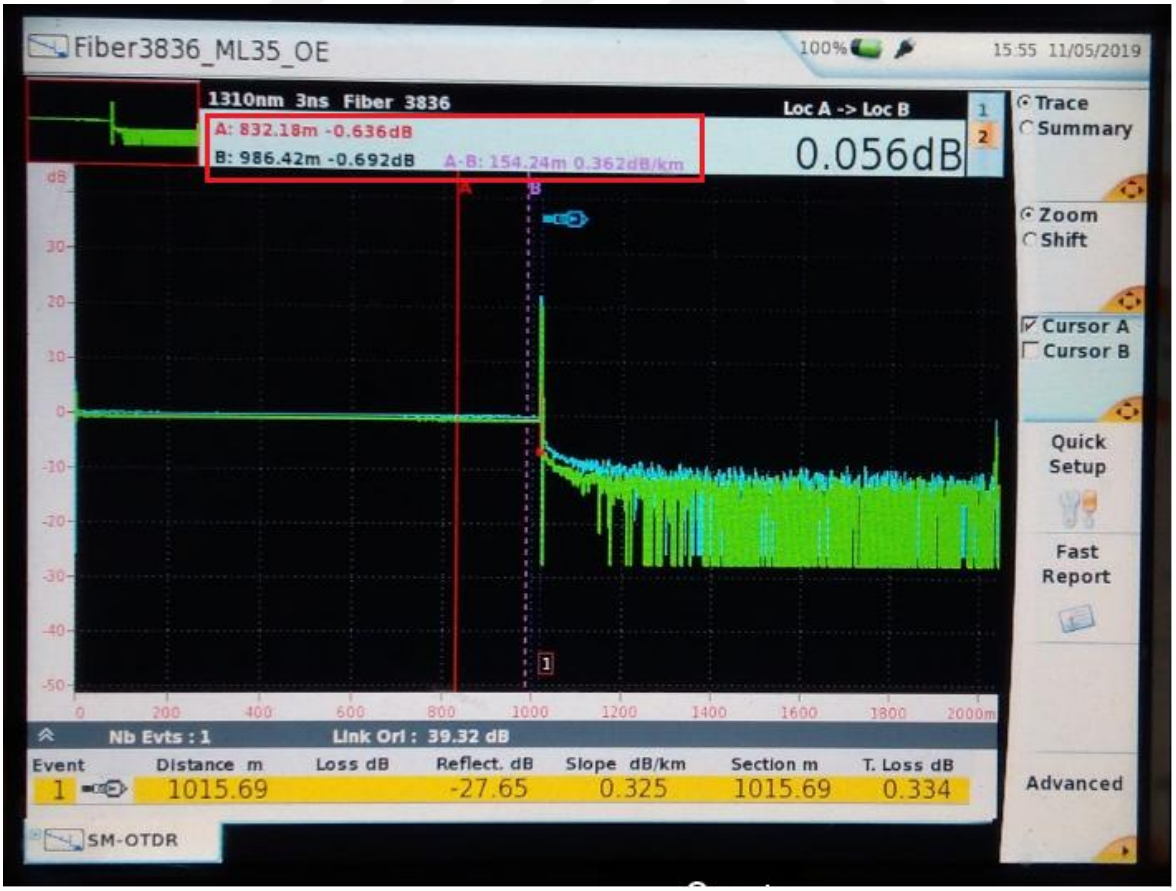
Bu bölümde OTDR cihazının çeşitli deneysel uygulamaları kapsamında kablo kesidinin kaybını belirleme, tüm kablo üzerinde oluşan kayıp miktarı ve kablo parçasının boyunu belirlenmesine ilişkin OTDR ekran görüntüleri ve değerleri sırasıyla Şekil 4.1 - Şekil 4.3' de verilmiştir. Şekil 4.1'de ise 1310 nm ve 1550 nm dalga boylarında ölçülmüş 1 km lik bir fiberin kablo kayıp değerleri görülmektedir.



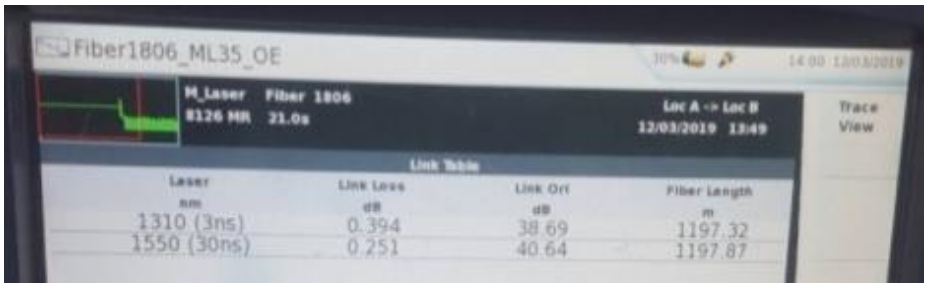
Şekil 4.1. Kablo kesidinin kaybını ölçme



Şekil 4.2. Kablo sonuna kadar kaybını ölçme



Şekil 4.3. Kablo parçasının boyunu ölçme

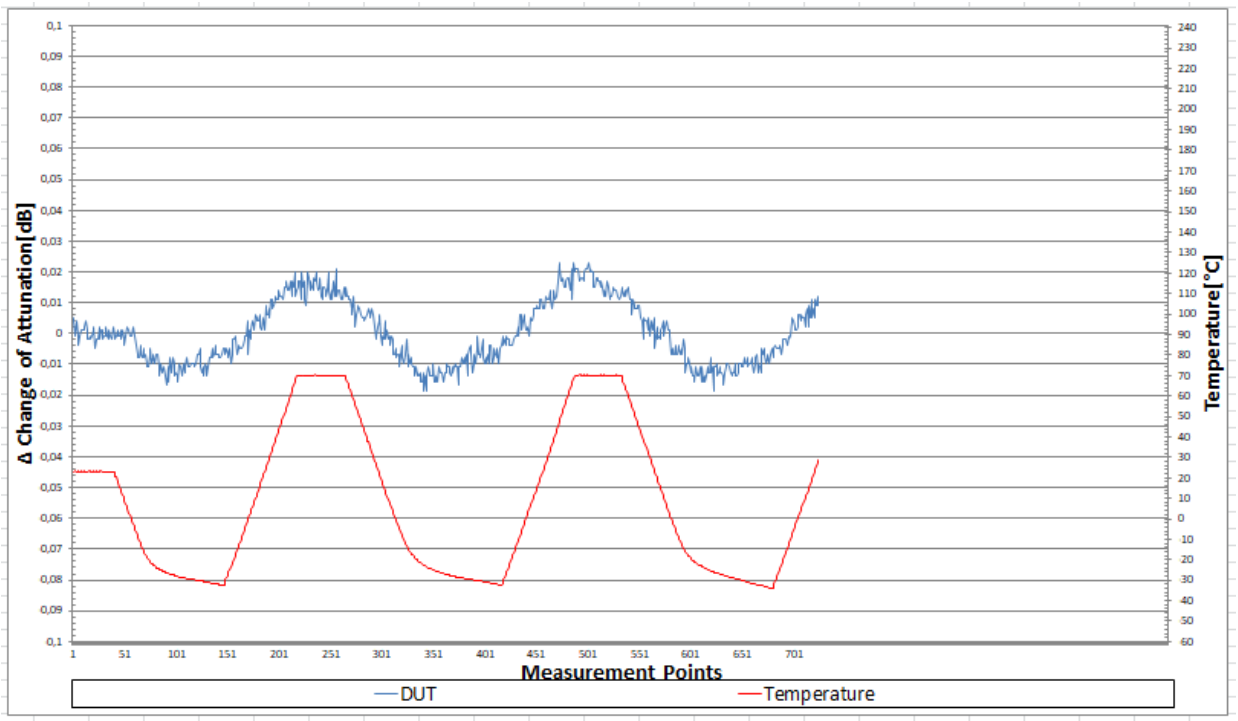


Şekil 4.4. Farklı dalga boylarında otdr ölçüm sonuçları

4.2. Sıcaklık Çevrim Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması

Bu bölümde ITU G657 A2 tip yerli üretim fiber optik drop kablolara ilişkin sıcaklık performans test sonuçları grafiksel olarak verilmiş ve onların incelenen koşullarda etkiye karşı gösterdikleri tepki - cevap fonksiyonları incelenmiştir. Bir başka deyişle test sonuç grafiklerinden fiber optik kablonun sıcaklığa karşı verdiği tepki görülmektedir. Buradaki farksal kablo kayıp değerinin belirli bir aralıkta olması gerekmektedir. Bu aralık kablo üreticisi ve kabloyu satın alan firma arasındaki anlaşmaya göre belirlenebilmektedir.

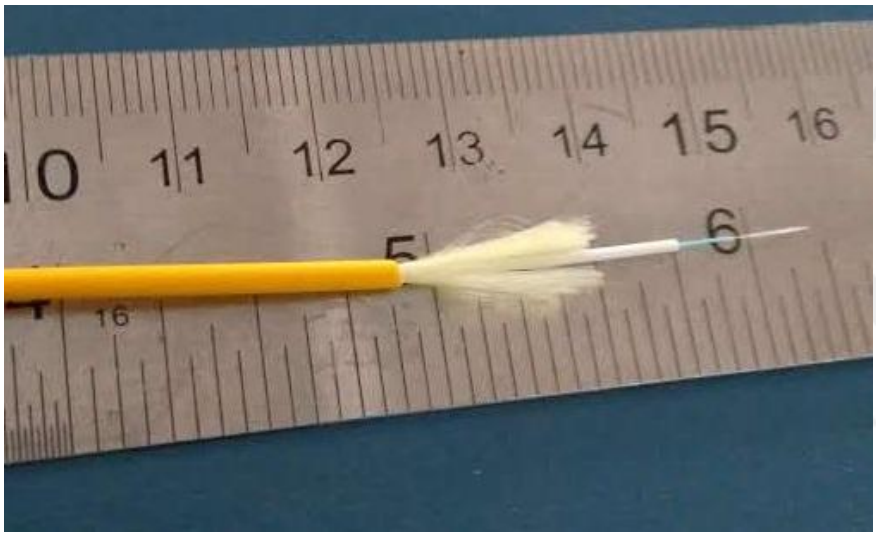
4.2.1. OTDR ile Gerçekleştirilen Optical Return Loss Test Sonuç Grafiğinin Analizi



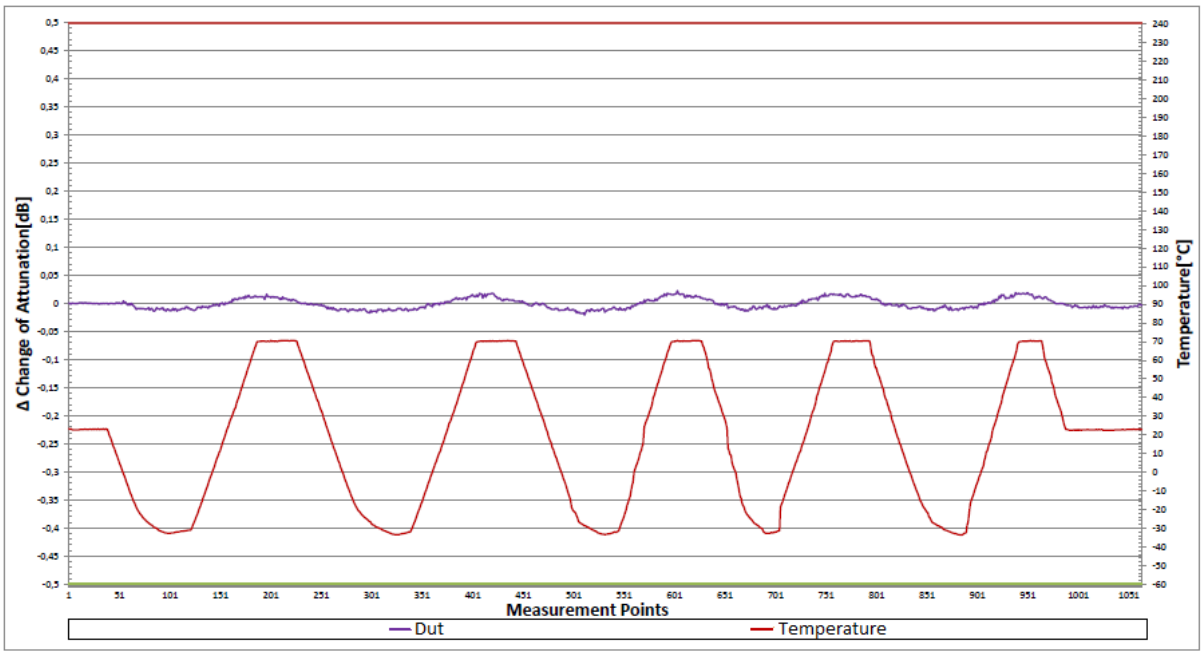
Şekil 4.5. OTDR tekniği kullanılarak ölçülen sıcaklığa karşı kablo kayıp grafiği

Yukarıda MTS6000 cihazı kullanılarak OTDR yöntemiyle hazırlanmış 2000 metrelik tek modlu ve tek fiber öz içeren yerli üretim bir fiber optik kablonun sıcaklık test grafiği görülmektedir. OTDR yönteminde ORL yani geri dönüş kaybı ölçülmektedir. Grafige bakıldığında kablonun sıcaklığa karşı verdiği tepki net bir şekilde görülmektedir. Ortamın sıcaklık değeri -35°C değerlerinde indiğinde kayıp değişiminin ise -0.02 dB değerlerine indiği, sıcaklık değeri +70°C değerlerinde çıktığında kayıp değişiminin ise +0.02 dB değerlerine çıktığı görülmektedir.

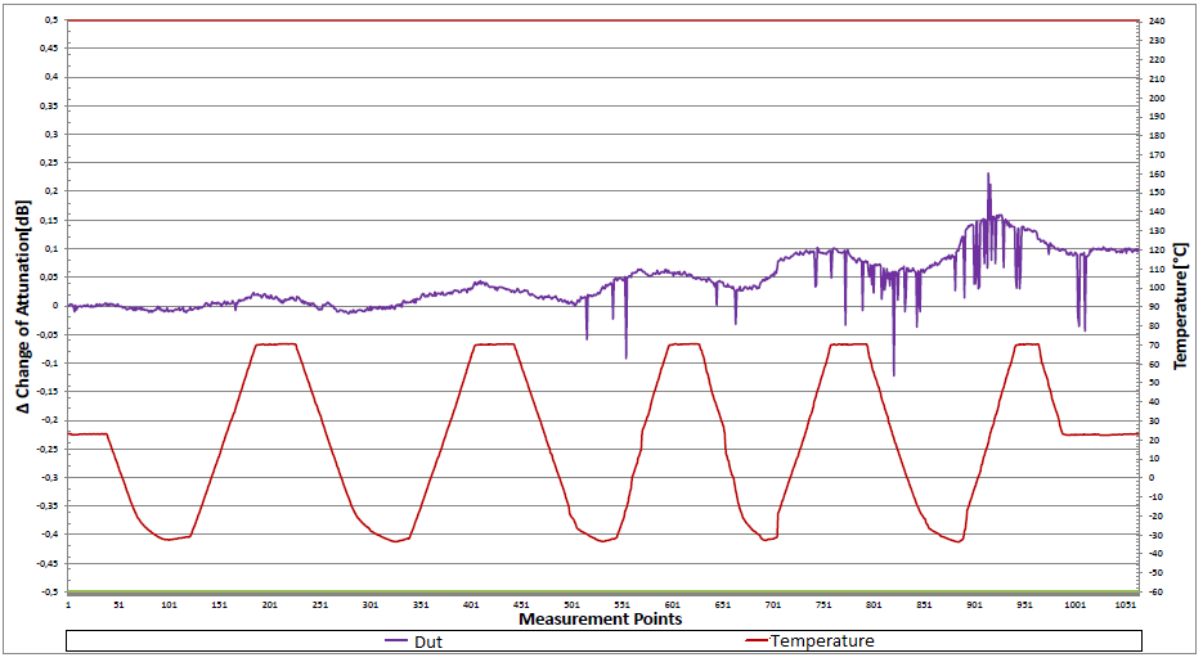
4.2.2. Yerli Üretim Tek Fiberli Tek Modlu Low Bend 2 mm Drop Kablo (G657 A2) için Sıcaklık Çevrim Test Sonuç Grafikleri



Şekil 4.6. Yerli üretim 3 mm single mod tek fiber drop kablo



Şekil 4.7. Yerli üretim 2 mm tek modlu tek fiber drop kablonun 1310 nm sıcaklık çevrim testi kablo kayıp test sonuçları



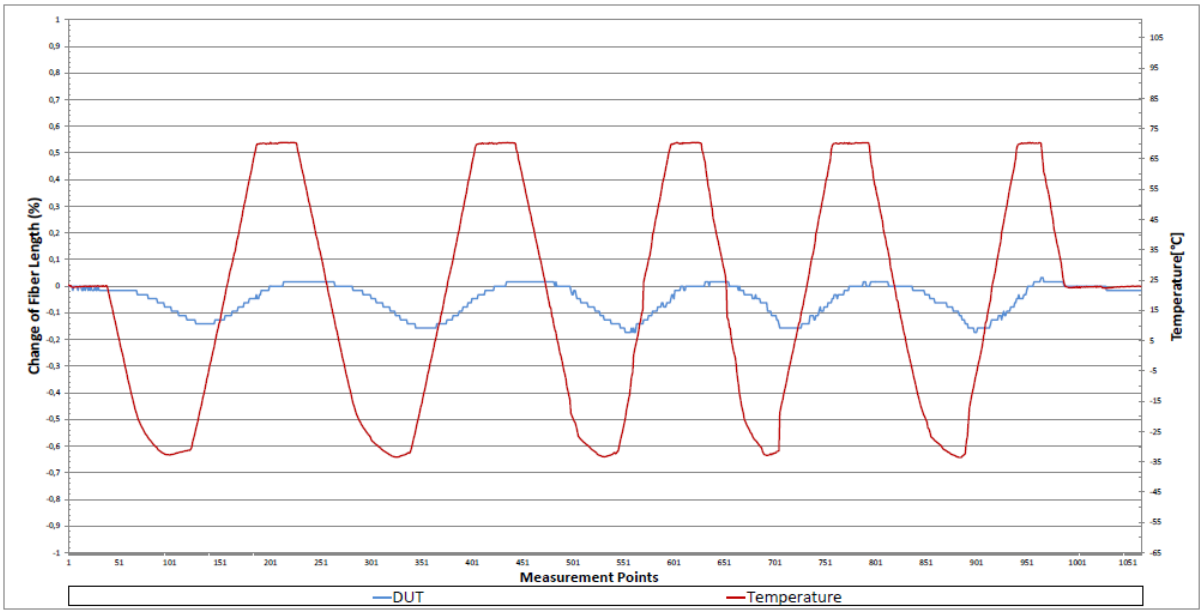
Şekil 4.8. Yerli üretim 2 mm tek modlu tek fiber drop kablonun 1550 nm sıcaklık çevrim testi kablo kayıp test sonuçları

Yukarıdaki grafiklerden görüldüğü üzere, 1310 nm ve 1550 nm dalga boylarındaki sonuçlara bakıldığında, 1550 nm dalga boyunda zayıflamadaki diferansiyel değişim

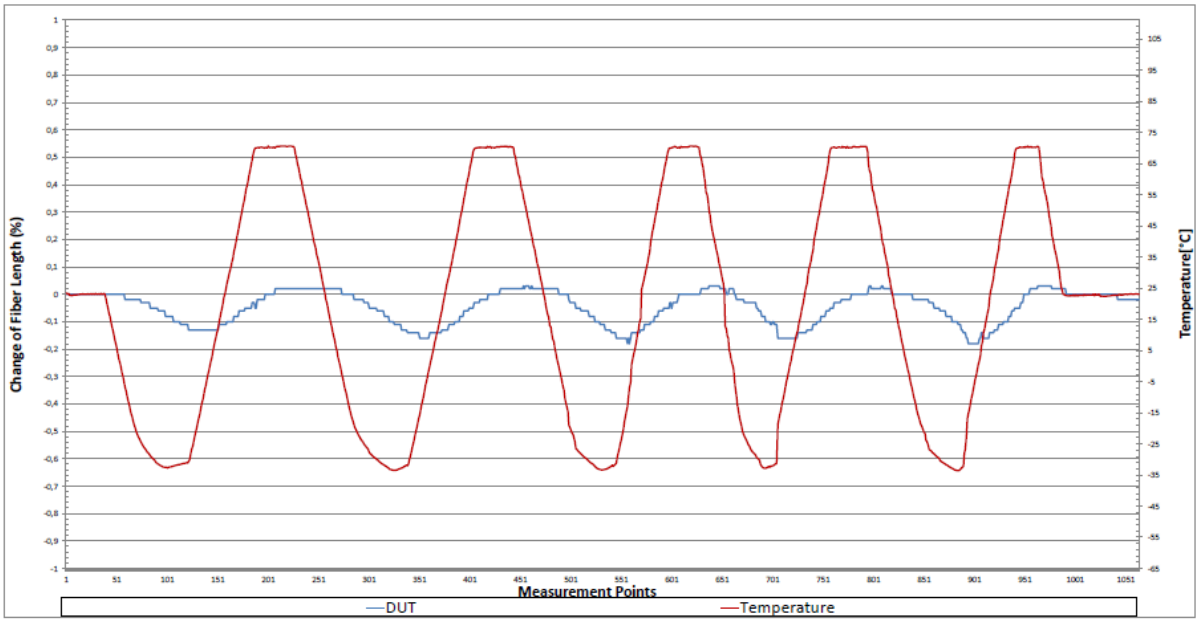
miktarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu husus dikkate alınarak 1550nm dalga boyunun çevresel koşullara daha hassas olduğu söylenilebilir.

4.2.3. OTDR Testinde Fiber Uzaması

Fiber optik kablo sıcaklık etkisi ile uzayıp kısalabilmektedir. -30 °C ve +70 °C aralığında gerçekleştirilen bu testte yaklaşık 1010 metrelik ITU G657 A2 tip single mod simplex bir fiber optik kablo kullanılmıştır. Bu ölçümün, toplam boyu yaklaşık 6 metre olan kısmı, kablo makarası ile OTDR cihazı arasındaki pigtail kablolardır. Test koşullarındaki sıcaklık değişim değeri 1°C/dk seçilmiş ve 5 çevrim uygulanmıştır. Test işlemi en uygun koşullarda yaklaşık 36 saat zaman diliminde gerçekleşmektedir.



Şekil 4.9. Yerli üretim 3 mm tek modlu tek fiber(simplex) drop kablonun 1310 nm sıcaklık çevrim testi fiber uzaması test sonuçları



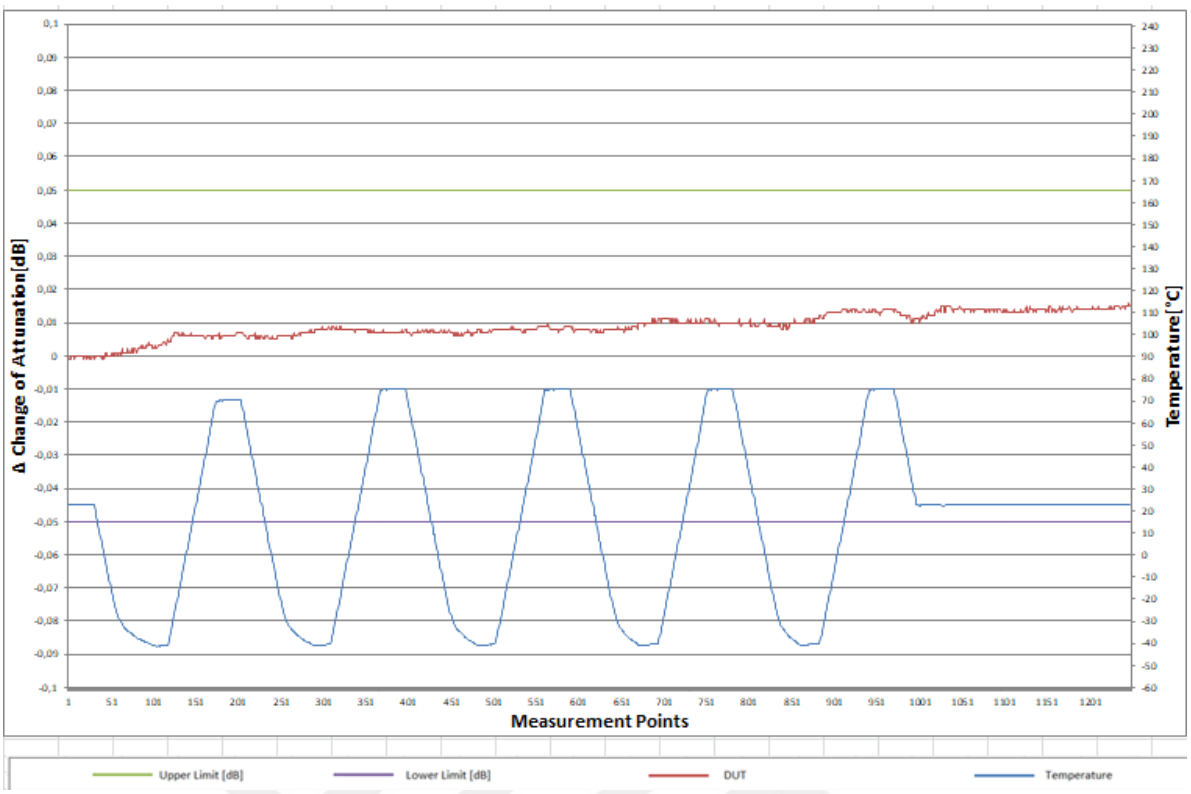
Şekil 4.10. Yerli üretim 3 mm tek modlu tek fiber drop kablonun 1550 nm sıcaklık çevrim testi fiber uzaması test sonuçları

Oda sıcaklığında fiberin boyu 1310 nm ve 1550 nm dalga boylarında sırası ile 1015.85 m ve 1015.99 m ölçülmüştür. Sıcaklığın inmesi ve kablonun içine nüfuz etmesiyle bilikte fiberin boyuda yavaş yavaş kısalmaktadır. -30 °C sıcaklığında dakikada 1 derecelik değişimle inilip 1 saat beklenildiğinde 1010 m boyundaki fiber yaklaşık 159 cm kısalmaktadır. Bu değer Şekil 4.6' da gösterilen grafikte görüldüğü üzere % -0,158 kadardır.

OTDR ölçümlerindeki fiber boyu değişimlerden hareketle fiber optik kablonun bulunduğu ortamın sıcaklığının tespit edilebileceği düşünülmektedir. Konuya ilişkin tezden bağımsız bir araştırma çalışması tarafımızca yapılmaktadır.

4.2.4. Insertion Loss Test Sonuç Grafiğinin Analizi

Tezin 3.5.1 bölümündede belirtildiği üzere yaklaşık 10 m ve 20 m gibi kısa uzunluklu fiber optik kabloların sıcaklık performans analizi için OTDR yöntemiyle belirlenen kabloda oluşan kayıplarına ilişkin sonuçlarının powermetre yöntemiyle ölçülen sonuçlarına göre daha tutarsız olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle kısa uzunluklu kablolarda oluşan kayıp miktarının belirlenmesinde power metre yöntemi ile belirlenen insertion loss (ekleme kaybı) değerleri Şekil 4.7 de gösterilmiştir.

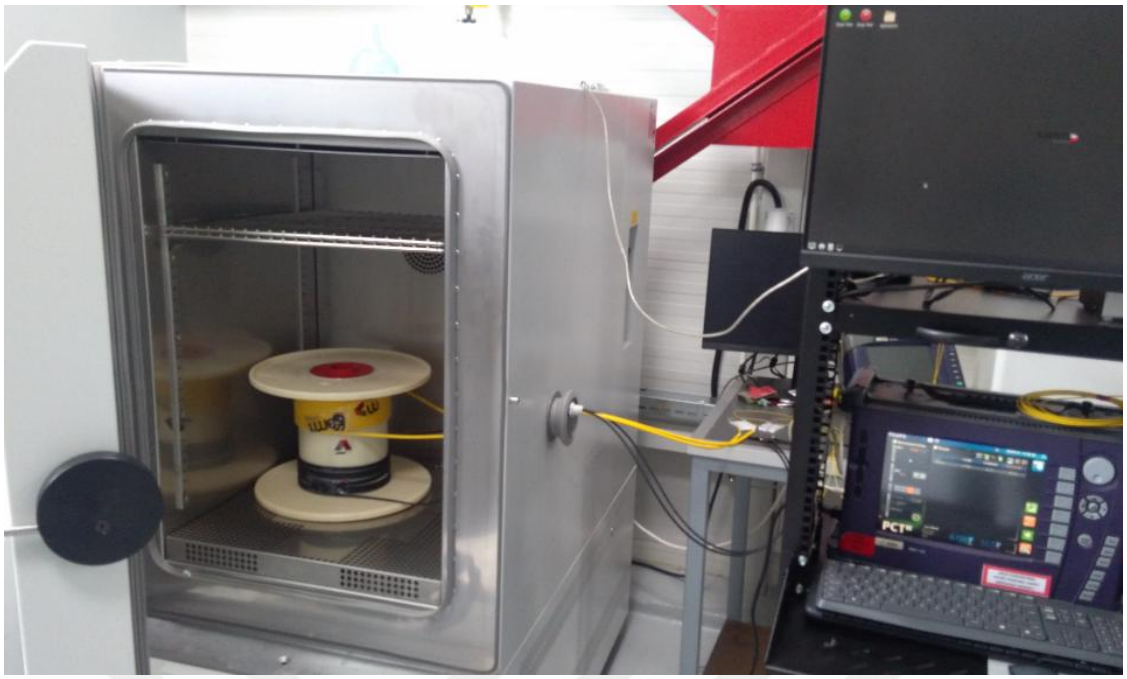


Şekil 4.11. Huber Suhner marka tek modlu 2 fiber drop kablonun 1550 nm sıcaklık çevrim testi ınsertion loss (ekleme kaybı) test sonuçları

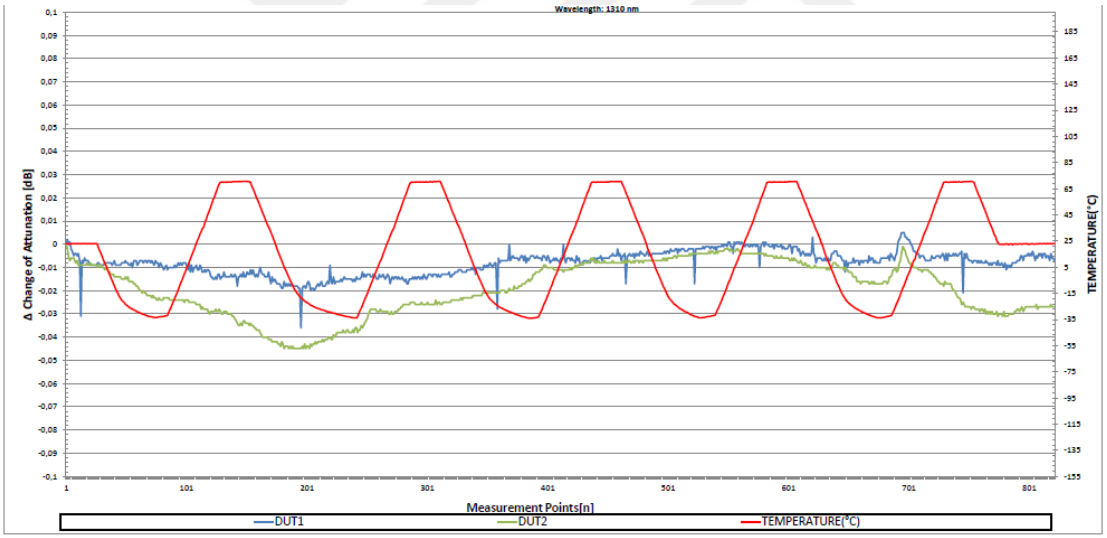
Yukarıda test sonuç grafiği MAP200 cihazı kullanılarak hazırlanmış ve 10 metrelik bir iki adet tek modlu fiber öz içeren iç ve dış mekanlar için kullanılabilen Huber Suhner marka ticari bir kablonun test sonuçlarını içermektedir. Fiber optik kablo -40 °C ile +70 °C arasında 5 defa sıcaklık döngüsüne maruz bırakılmıştır. Bu döngüler esnasında optik test cihazı vasıtasıyla 1550 nm dalga boyunda ışık sinyalleri gönderilerek kablonun tepkisi gözlemlenmiştir. Test sonuçlarına bakıldığında kablo kayıp değerinin ± 0.02 dB aralığında kaldığı görülmektedir.

4.2.5. Çok Fiberli İki Farklı Kablonun Sıcaklık Performansının Kıyaslanması

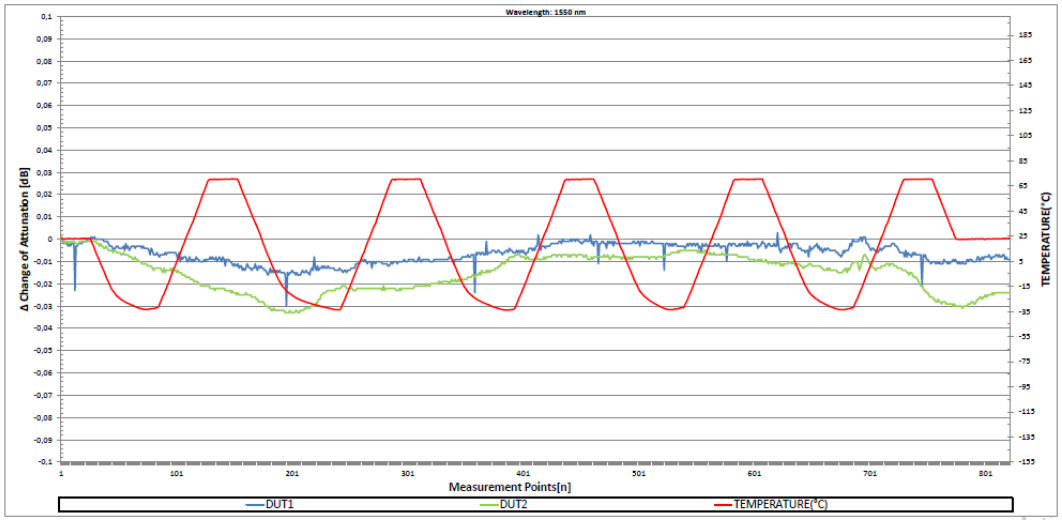
Bu iki tip kabloda iç ve dış mekan uygulamaları için tasarlanmış özellikle baz istasyonlarında tercih edilen tek modlu kablolardır. Her iki kablonunda bir fiber kanalı seçilip aynı anda teste sokulmuştur. Her iki kabloda 10 metre uzunluğunda kesilmiştir.



Şekil 4.12. İki farklı kablonun aynı anda testi için cihaza yerleştirilmesi



Şekil 4.13. Yerli üretim 7 mm tek modlu 2 fiber drop kablonun ve yerli üretim 5 mm tek modlu 12 fiber drop kablonun 1310 nm sıcaklık çevrim testi ekleme kaybı test sonuçları

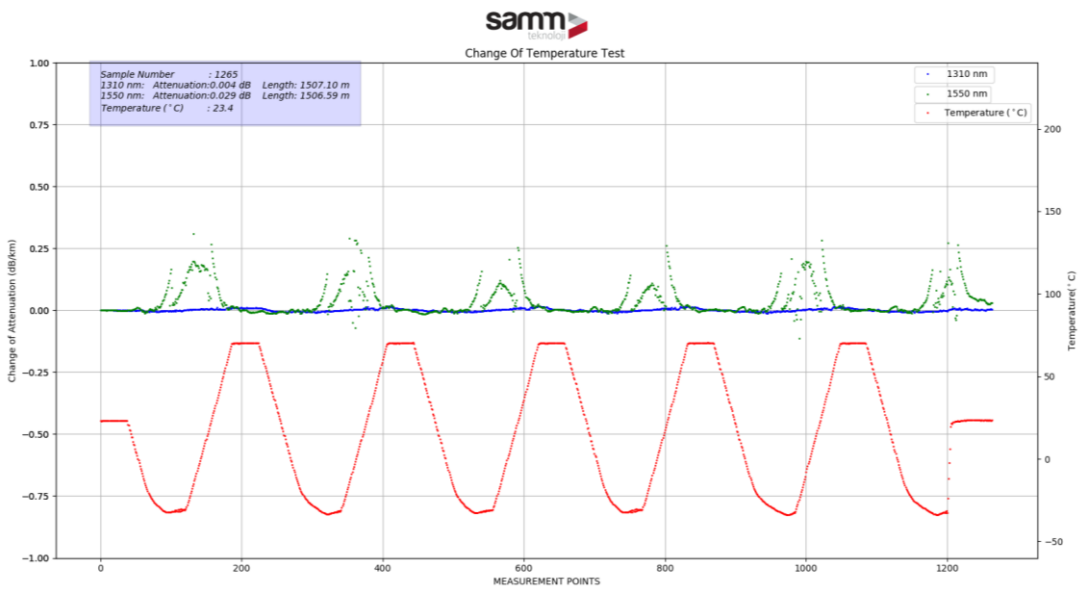


Şekil 4.14. Yerli üretim 7 mm tek modlu 2 fiber drop kablonun ve yerli üretim 5 mm tek modlu 12 fiber drop kablonun 1550 nm sıcaklık çevrim testi ekleme kaybı test sonuçları

Şekil 4.9'da DUT1 isimli grafik 7 mm tek modlu 2 fiber drop kabloyu DUT2 isimli grafik ise 5 mm tek modlu 12 fiber drop kabloyu temsil etmektedir.

Bu kablolara ilişkin ekleme kayıp değerlerinin kıyaslanması sonucu 1. kanaldaki yani 7 mm tek modlu 2 fiber drop kablonun, 2. kanaldaki yani 5 mm tek modlu 12 fiber drop kablodan daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

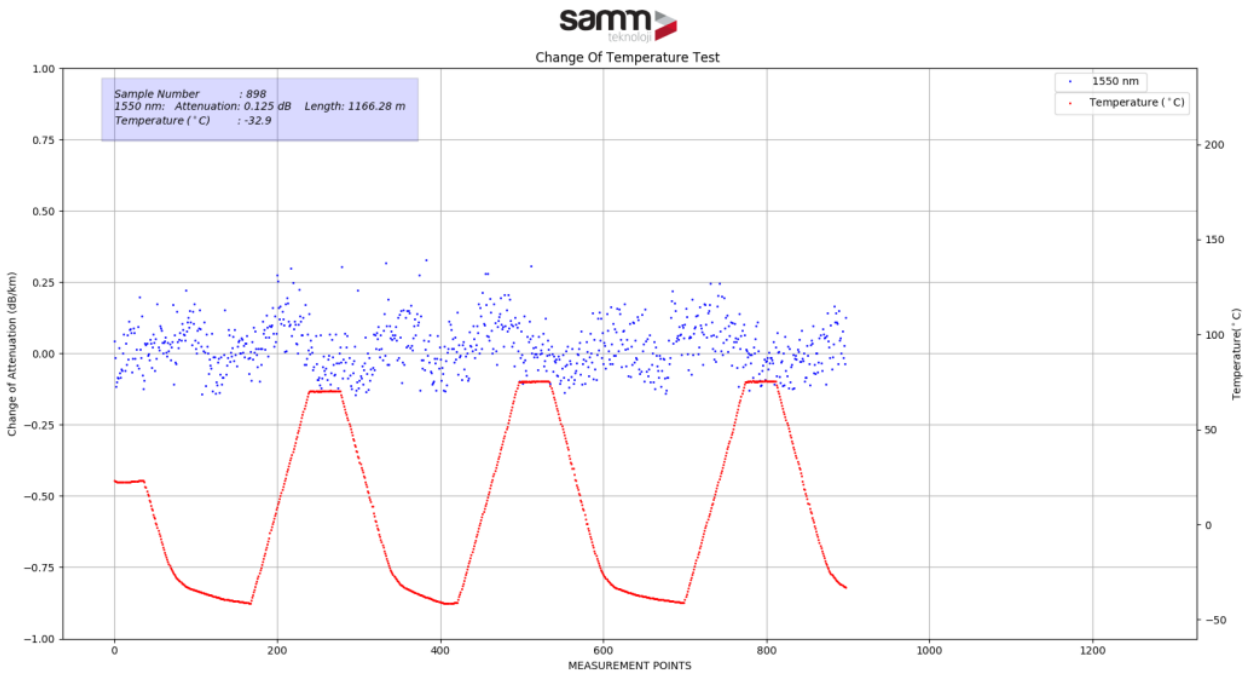
4.1.5 Sıcaklık Test Düzeninde Ortaya Çıkan Hatalı Durumlar



Şekil 4.15. Sıcaklık çevrim testinde meydana gelen mikro bükülme tahminli grafik

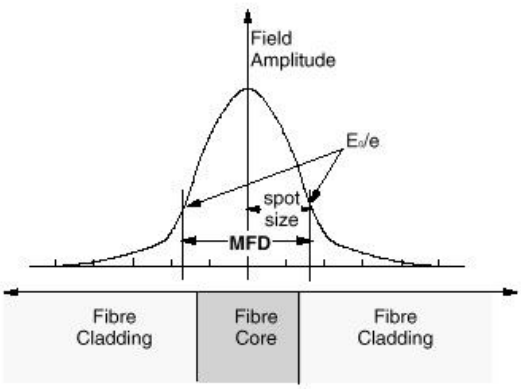
Sıcaklık Testinde Bükülme Durumları: Yukarıdaki test canlı grafiğine bakıldığında 1550 nm dalga boyunda negatif sıcaklık değerlerinde meydana gelen ve sıcaklık döngüleri boyunca yaklaşık periyodik şekilde devam eden 0.3 dBdeğerlerine varan kayıp davranışı görülmektedir. Bu duruma karşın 1310 nm dalga boyunda kablo kaybı 0.01 dB değerinde 1550 nm dalya boyundaki değere göre çok küçük bir salınım gerçekleştirmiştir.

Bu durumun sebebinin yaklaşık 1500 metrelik fiber optik kablo makarısının içerisinde sıcaklık değişimleriyle meydana gelen esnemeler ve büzüşmelerden kaynaklı bükülmeler olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca bu durama bakılarak 1550 nm'de yapılan ölçümleri 1310 nm'ye kıyasla bükülme durumlarında daha hassas olduğu söylenebilir.



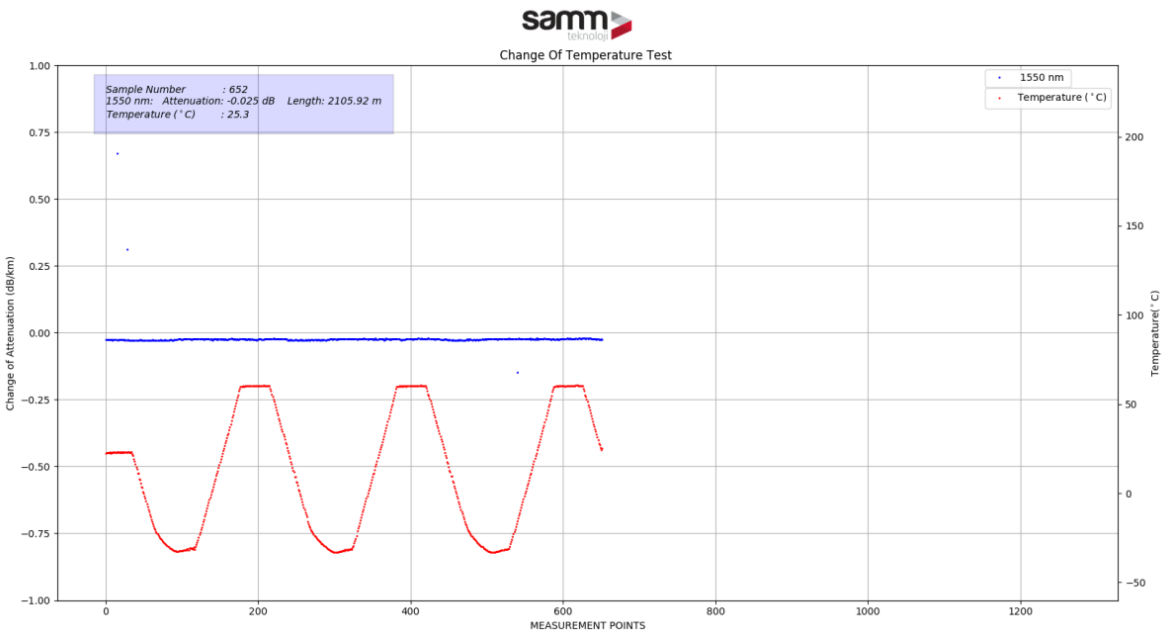
Şekil 4.16. Sıcaklık çevrim testinde mfd uyumsuzluğu tahminli grafik

Sıcaklık testinde mfd(mode field diameter) uyumsuızluğu durumu: 16 metrelik bir fiber optik kabloyu OTDR yöntemiyle ölçmek mümkün olmayacağından 1000 metrelik bir fiber makarası ile ek yapılarak ölçüm denenmiştir. Yukarıda 1 km lik bir buffer kablo ile bağlantısı ile 16 metrelik bir kablo örneğinin test takip ekranını görülmektedir. Ölçüm sonucunda meydana gelen sapmalar 16 metrelik son kısmın OTDR tarafından çok hassas ölçülememesinden, yapılan ekin kalitesi ve doğru kablo ile yapılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.17. Mod alan yarıçapı

Ek yapılırken aynı tipte fiber optik öz tipleri tercih edilmelidir. Aksi halde ışık iletimi esnasında çok verimsiz bir durum ortaya çıkacaktır. Ayrıca geri dönüş kaybını yorumlayan OTDR cihazların eğrilerinde yukarı yönlü bir harekete ve yanılgıya yol açacaktır. Bu duruma MFD uyumsuzluğu adı verilir. MFD yani mod alan yarıçapı fiber öz içerindeki ışık iletimindeki elektrik alan alan ile ilgilidir. Bu değer fiber core yarıçapından daha büyüktür. Tek modlu ve çok modlu fiberler birbiri ile ek yapıldığında MFD uyumsuzluğu durumu ortaya çıkar. Çünkü çok modlu bir fiberin fiber öz çapı 62.5 um olabilirken tek modlu bir finber özün yarıçapı 9 um olabilmektedir. Dolayısıyla MFD oranlarında çok büyük farklar mevcuttur.



Şekil 4.18. Sıcaklık çevrim testinde otdr tutarsızlığı tahminli grafik

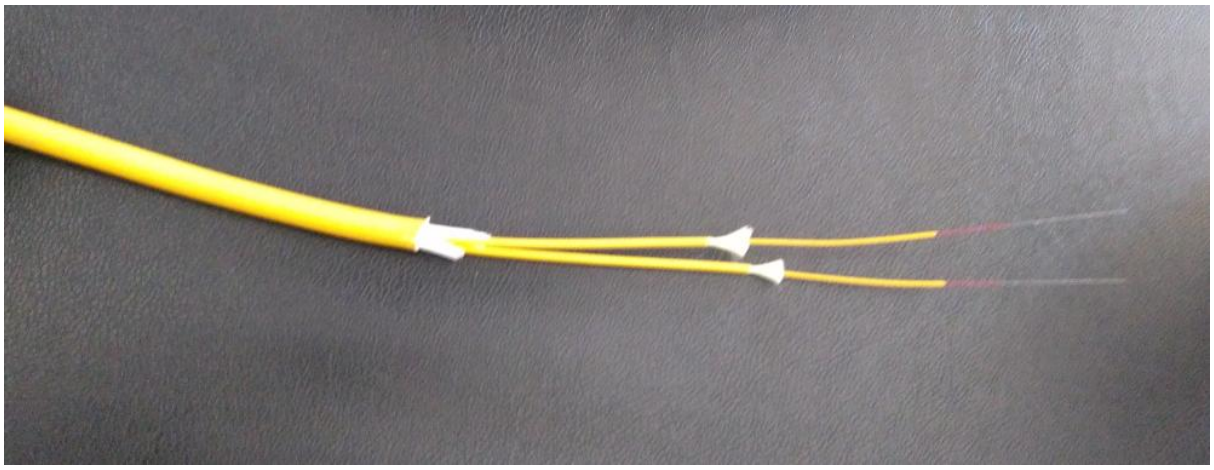
OTDR ölçümlerinde cihazdan kaynaklı nadiren ortaya çıkan hatalı ölçümler: Yukarıda Şekil 4.18' de testin canlı testin esnasındaki ayrık zamanlı grafik görülmektedir. Grafiğe bakıldığında kablo kayıp farklarının 650 ölçümde sadece birkaç defa olduğundan çok daha yüksek ya da düşük çıktığı görülmektedir. Bu durumun OTDR cihazının peş peşe yaptığı ölçümler süresince yanılabilmesinden ya da kalitesinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

4.3. Germe Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması

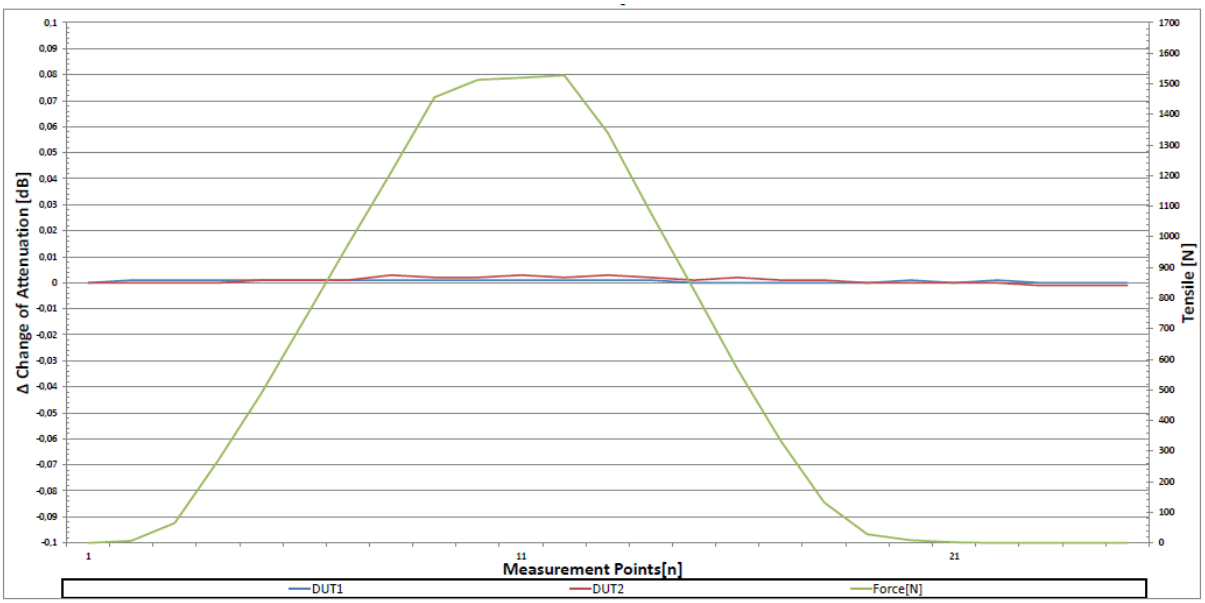
Test sonuç grafiğinden fiber optik kablonun gerilmeye karşı verdiği tepki görülmektedir. Buradaki kablo kayıp değerinin,kablo uzamasının ve fiber uzamasının belirli bir aralıkta olması gerekmektedir. Bu aralık kablo üreticisi ve kabloyu satın alan firma arasındaki anlaşmaya göre belirlenebilmektedir.

4.3.1. Yerli Üretim 7 mm 2 Fiberli Drop Kablo Tek Modlu Drop Kablo (G657 A2)

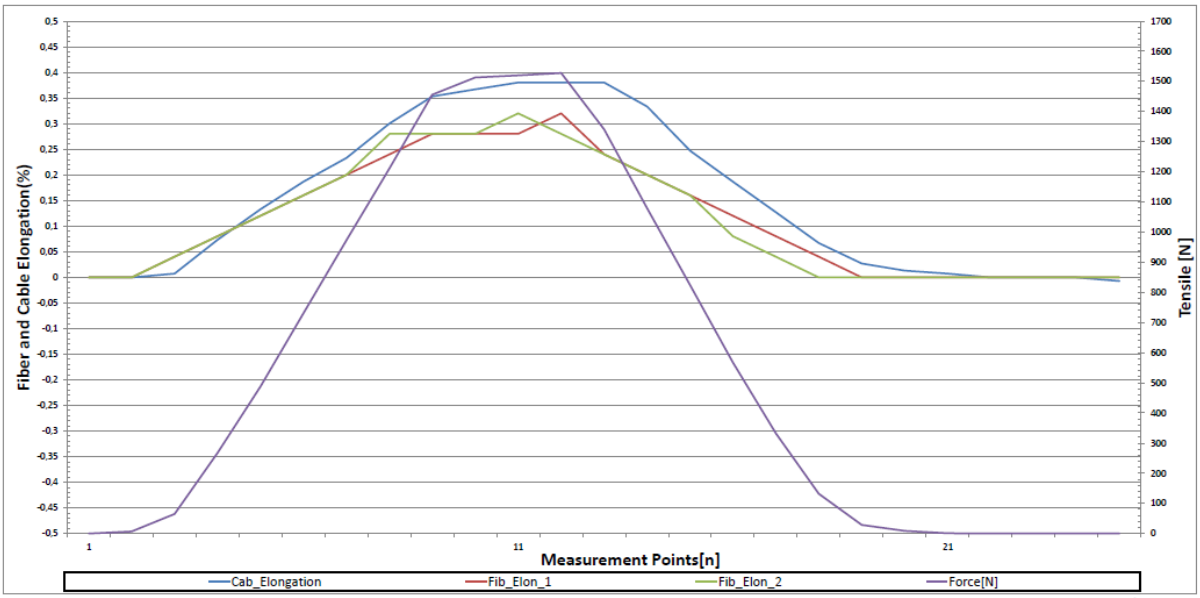
Aşağıdaki resimde yerli üretim, 2 fiberli, tek modlu, indoor (kapalı alan) ve outdoor (açık alan) uygulamalarında ve baz istasyonlarında kullanılan bir drop kablo örneğinin test sonuç grafikleri aşağıdaki gibidir. Mukavemet malzemesi olarak kevlar ve cam aramid iplik kullanılmıştır.



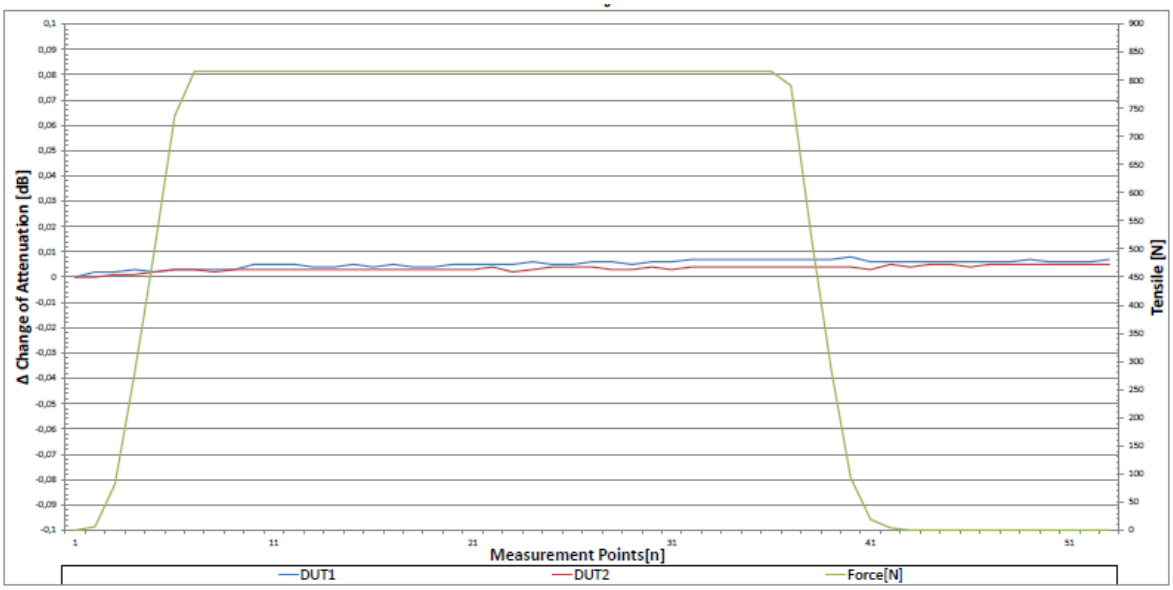
Şekil 4.19. Yerli üretim 7 mm 2 fiberli drop kablo tek modlu drop kablo



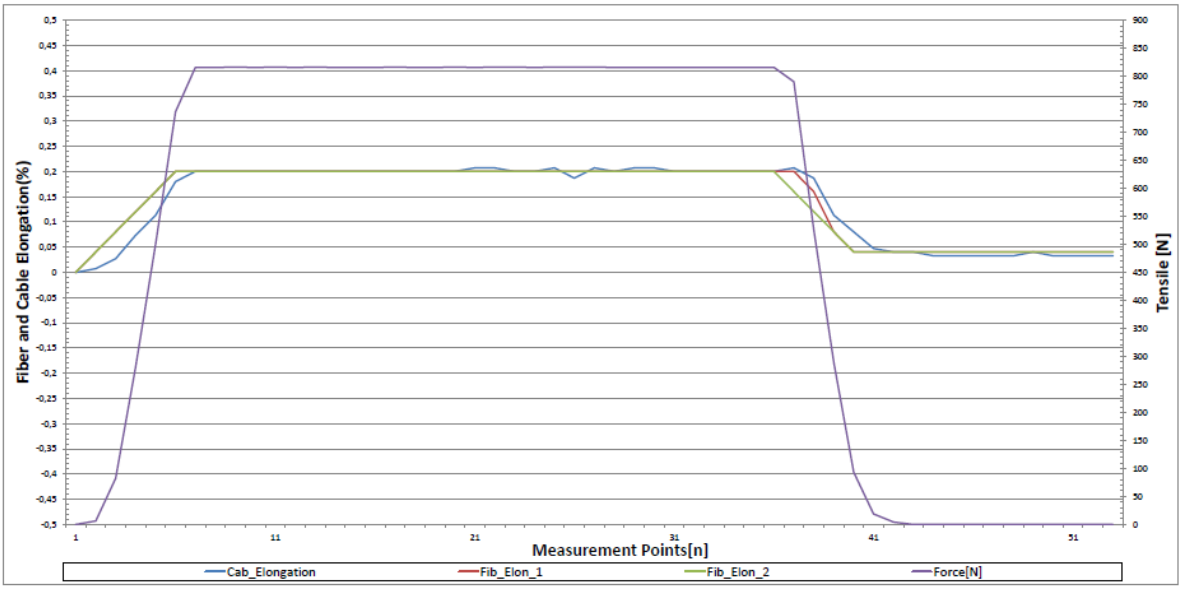
Şekil 4.20. Yerli üretim 7 mm 2 fiberli drop kablo 1550 nm short term ınsertion loss grafiği



Şekil 4.21. Yerli üretim 7 mm 2 fiberli drop kablo 1550 nm short term fiber ve kablo uzaması grafiği



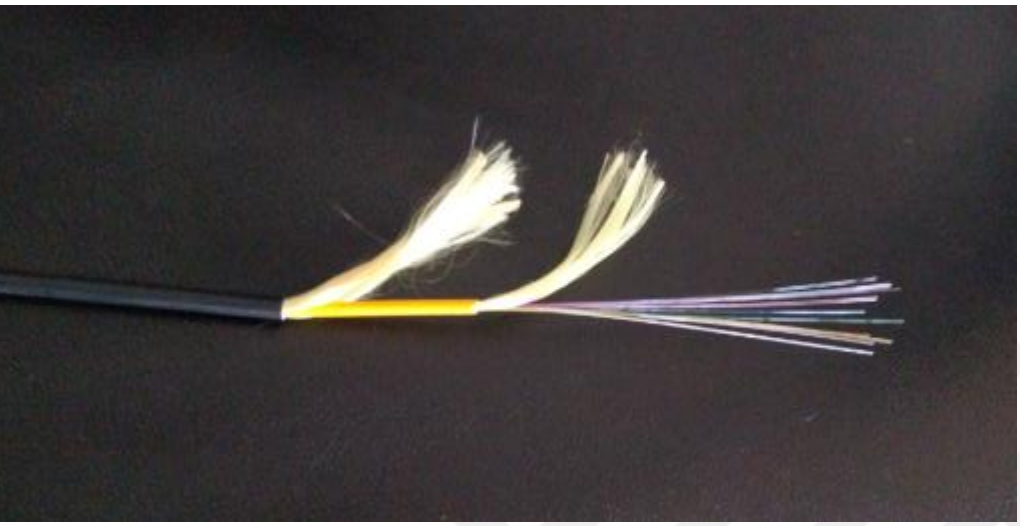
Şekil 4.22. Yerli üretim 7 mm 2 fiberli drop kablo 1550 nm long term ınsertion loss



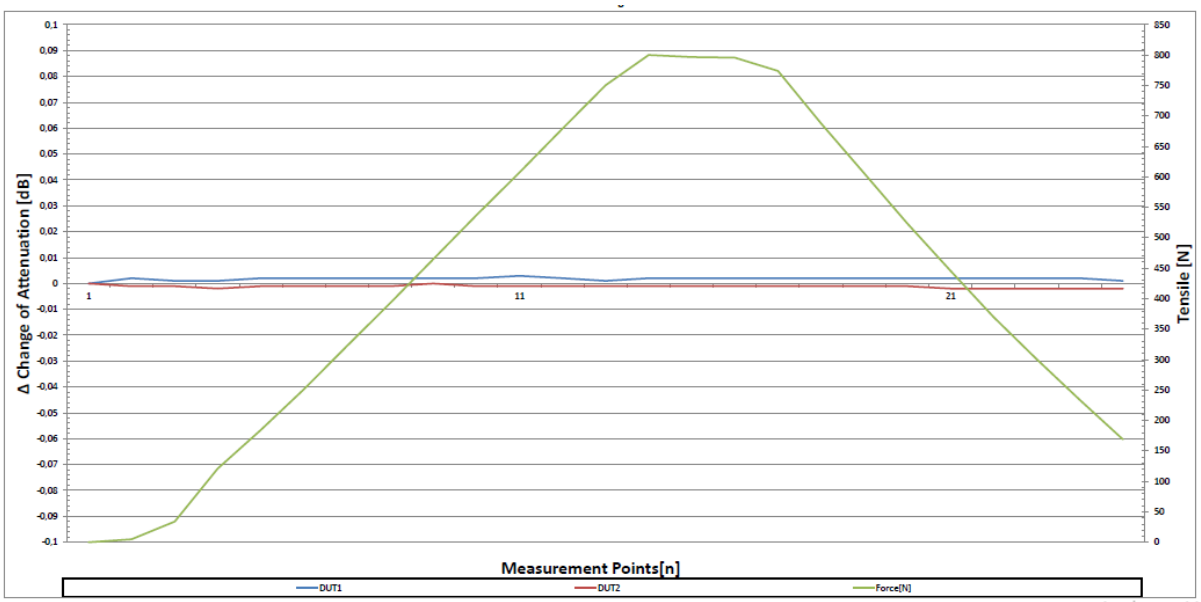
Şekil 4.23. Yerli üretim 7 mm 2 fiberli drop kablo 1550 nm long term fiber ve kablo uzaması grafiği

4.3.2. Yerli Üretim 12 Fiberli Drop Kablo Tek Modlu Drop Kablo(G657 A2)

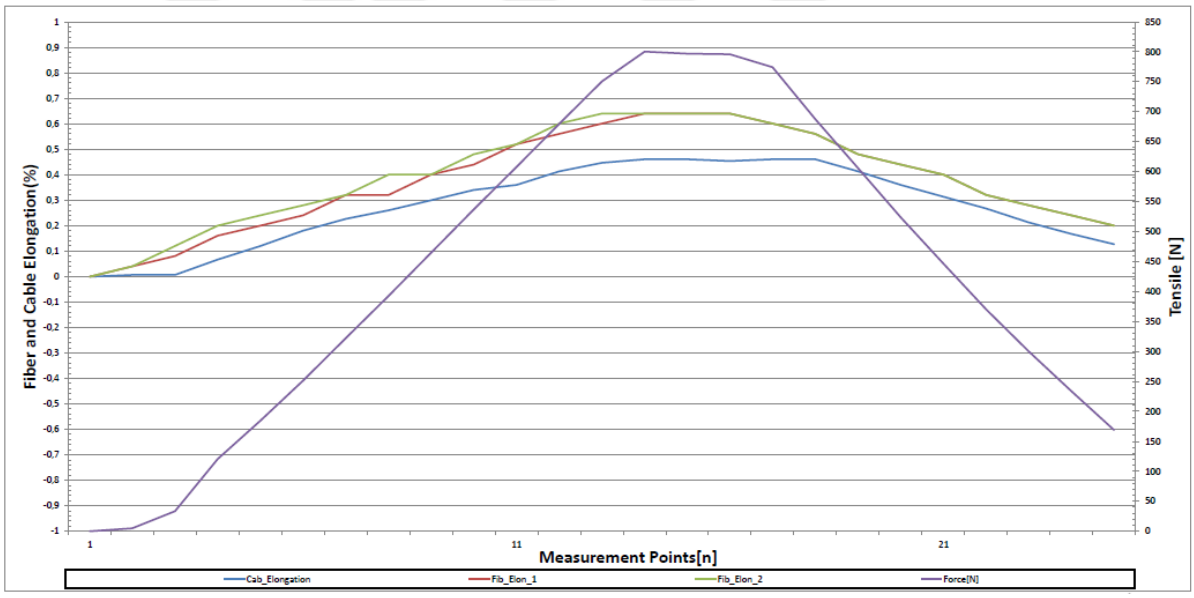
Aşağıdaki resimde yerli üretim, 12 fiberli, tek modlu, kapalı alan ve outdoor açık alan uygulamalarında özellikle baz istasyonlarında kullanılan bir drop kablo örneğinin test sonuç grafikleri aşağıdaki gibidir. Mukavemet malzemesi olarak iç kısımda aramid iplik ve dış kısımda cam elyaf kullanılmıştır.



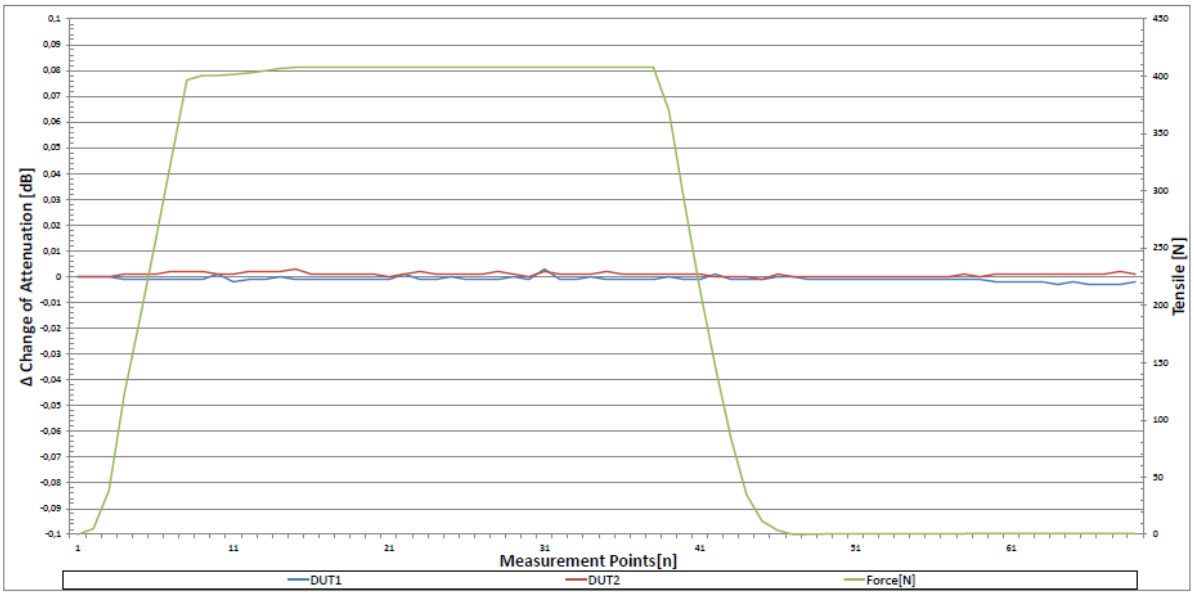
Şekil 4.24. Yerli üretim 5 mm 12 fiberli tek modlu drop kablo



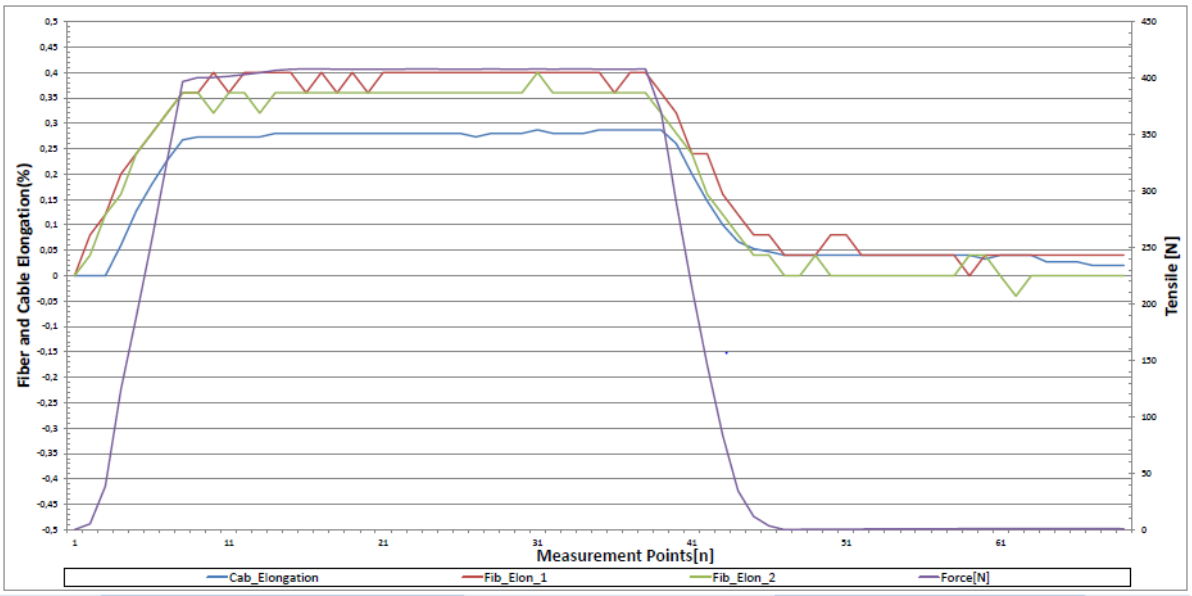
Şekil 4.25. Yerli üretim 5 mm 12 fiberli drop kablo 1550 nm short term ınsertion loss grafiği



Şekil 4.26. Yerli üretim 5 mm 12 fiberli drop kablo 1550 nm short term fiber ve kablo uzaması grafiği

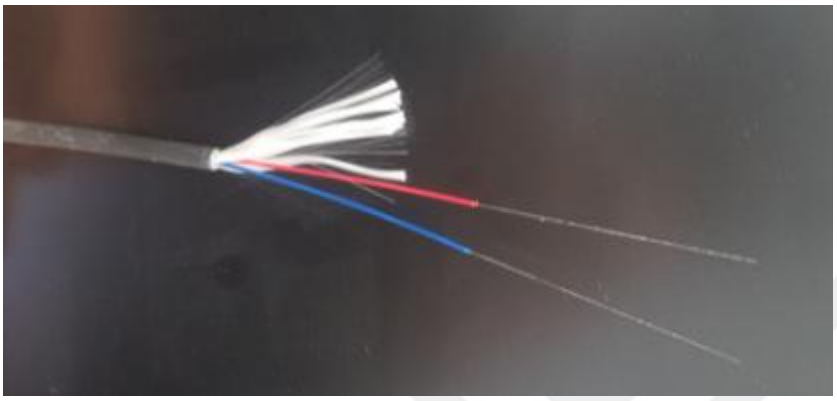


Şekil 4.27. Yerli üretim 5 mm 12 fiberli drop kablo 1550 nm long term ınsertion loss grafiği



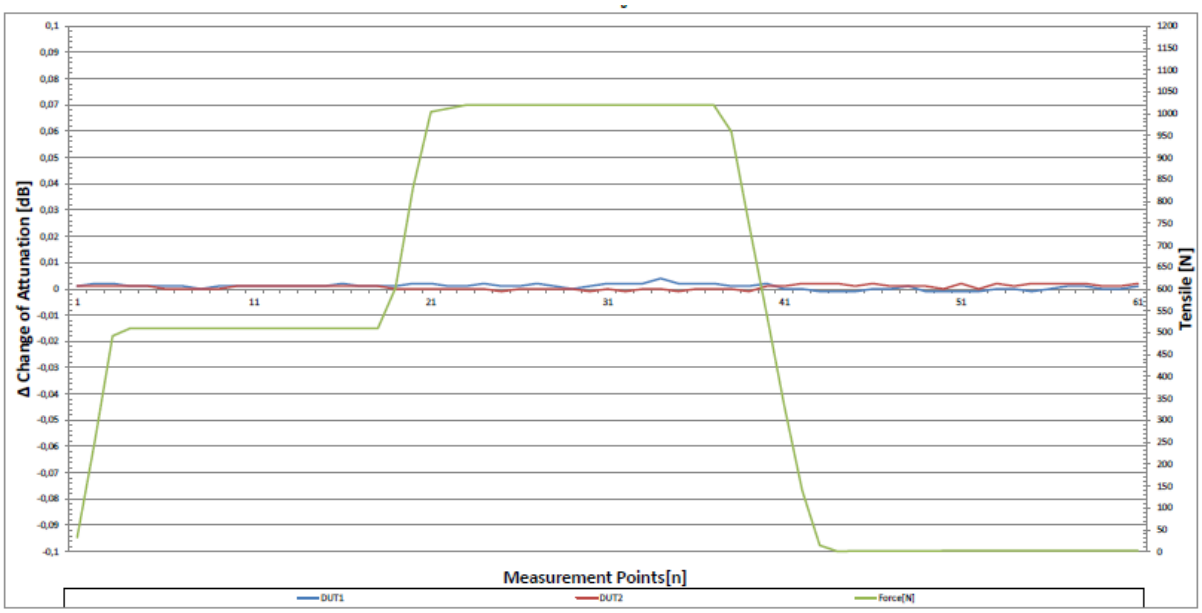
Şekil 4.28. Yerli üretim 5 mm 12 fiberli drop kablo 1550 nm long term fiber ve kablo uzaması grafiği

4.3.3. Huber Suhner Marka 2 Fiberli Tek Modlu Drop Kablo(G657 A2) için Gerilme Test Sonuç Grafikleri

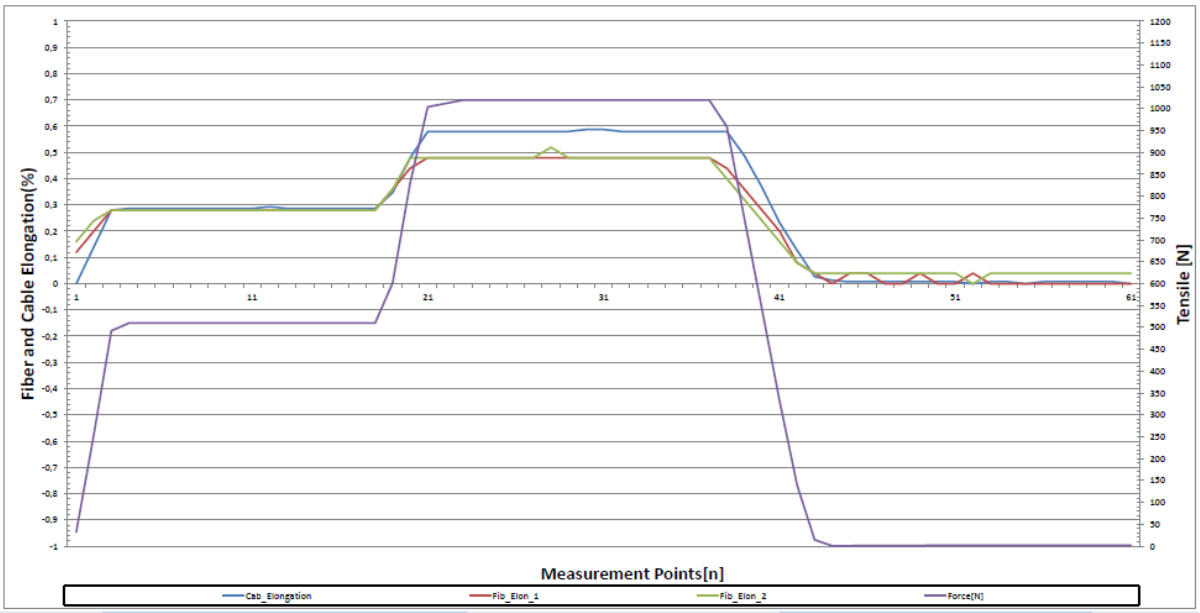


Şekil 4.29. Huber suhner 4.8 mm 2 fiberli tek modlu drop kablo

Şekil 4.29'da Huber Suhner marka açık alan ve kapalı alan uygulamaları için 2 fiberli single mod br fiber optik kablo görülmektedir. Mukavemet malzemesi olarak cam elyaf kullanılmaktadır.

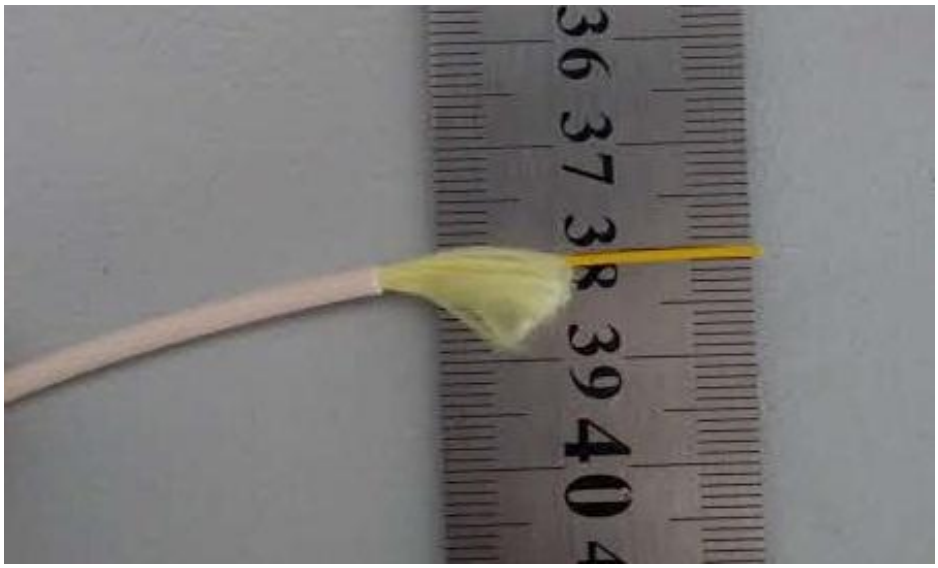


Şekil 4.30. Huber Suhner 4.8 mm 2 fiberli drop kablo 1550 nm short ve long term insertion loss grafiği

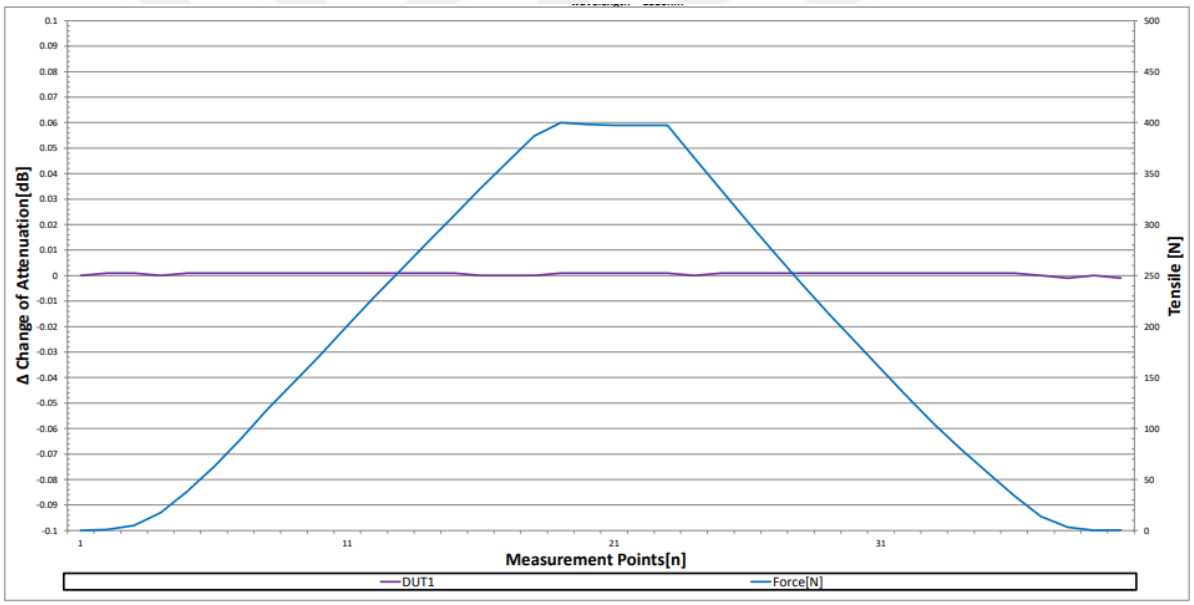


Şekil 4.31. Huber Suhner 4.8 mm 2 fiberli drop kablo 1550 nm short ve long term fiber ve kablo uzaması grafiği

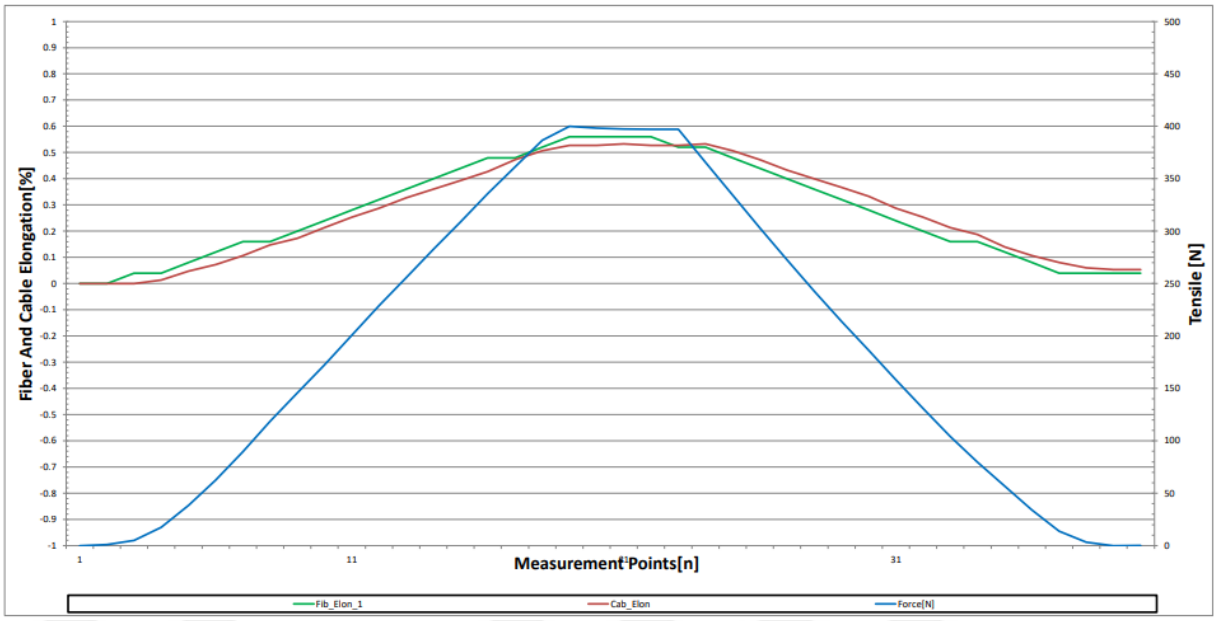
4.3.4. Yerli Üretim Tek Fiberli Tek Modlu Drop Kablo(G657 B3) için Gerilme Test Sonuç Grafikleri



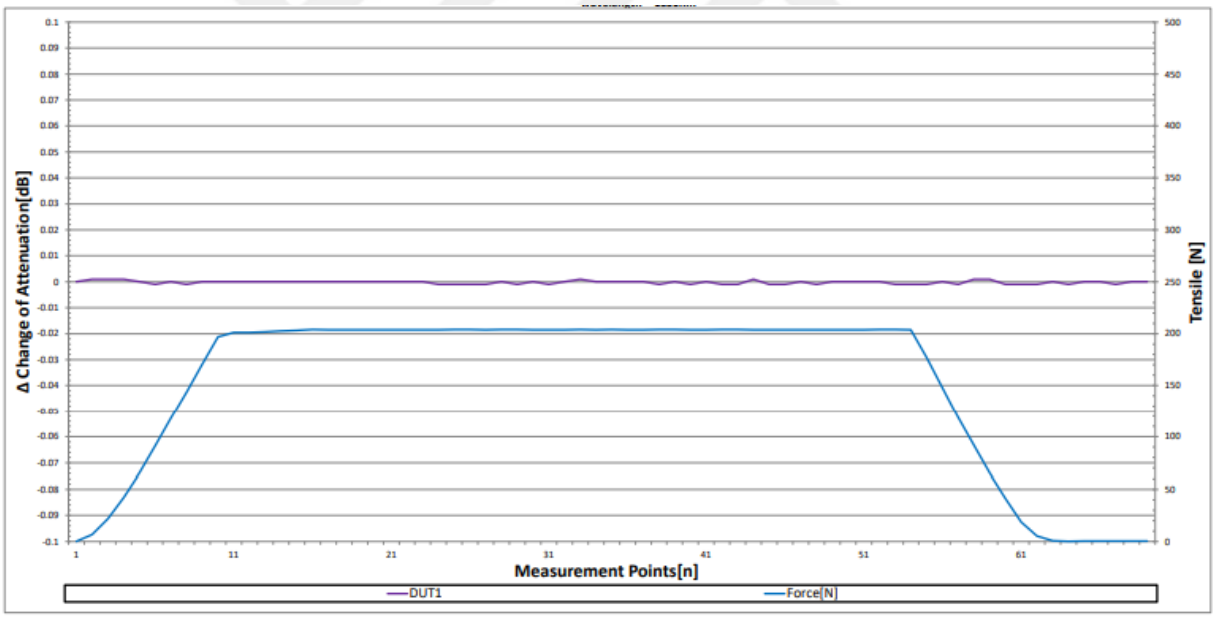
Şekil 4.32. Yerli üretim 3 mmttek fiberli drop kablo



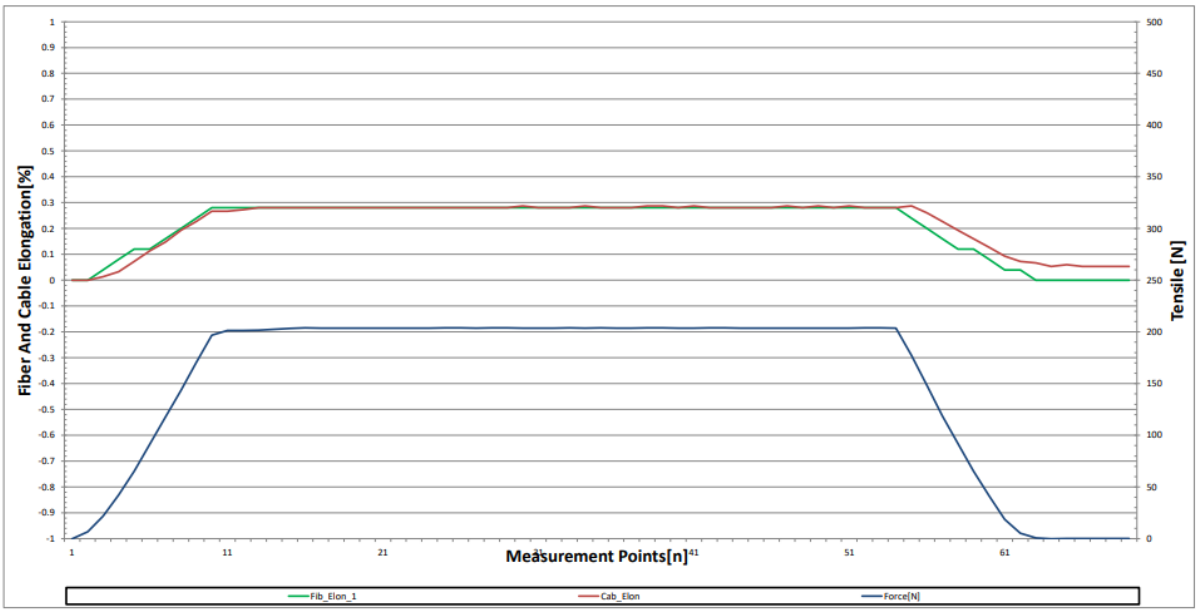
Şekil 4.33. Yerli Üretim 3 Mm Tek Fiberli Drop Kablo 1550 Nm Short Term İnsertion Grafiği



Şekil 4.34. Yerli üretim 3 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm short term fiber ve kablo uzaması grafiği

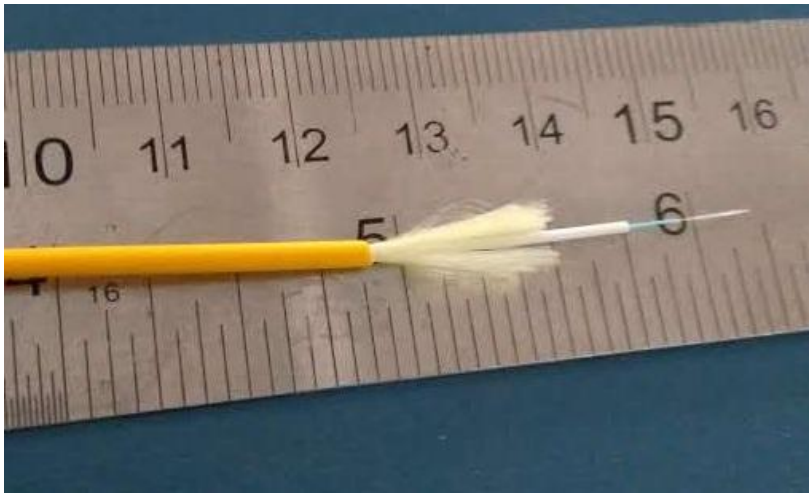


Şekil 4.35. Yerli üretim 3 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm long term insertion grafiği



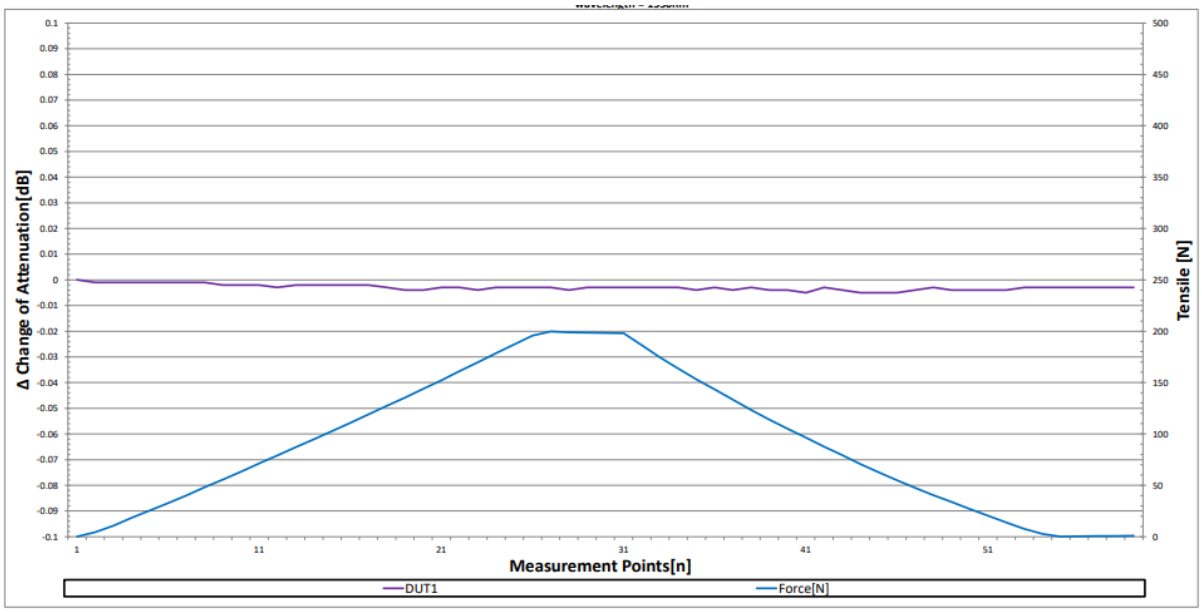
Şekil 4.36. Yerli üretim 3 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm long term fiber ve kablo uzaması grafiği

4.3.5. Yerli Üretim Tek Fiberli Tek Modlu Low Bend Drop Kablo(G657 A2) için Gerilme Test Sonuç Grafikleri

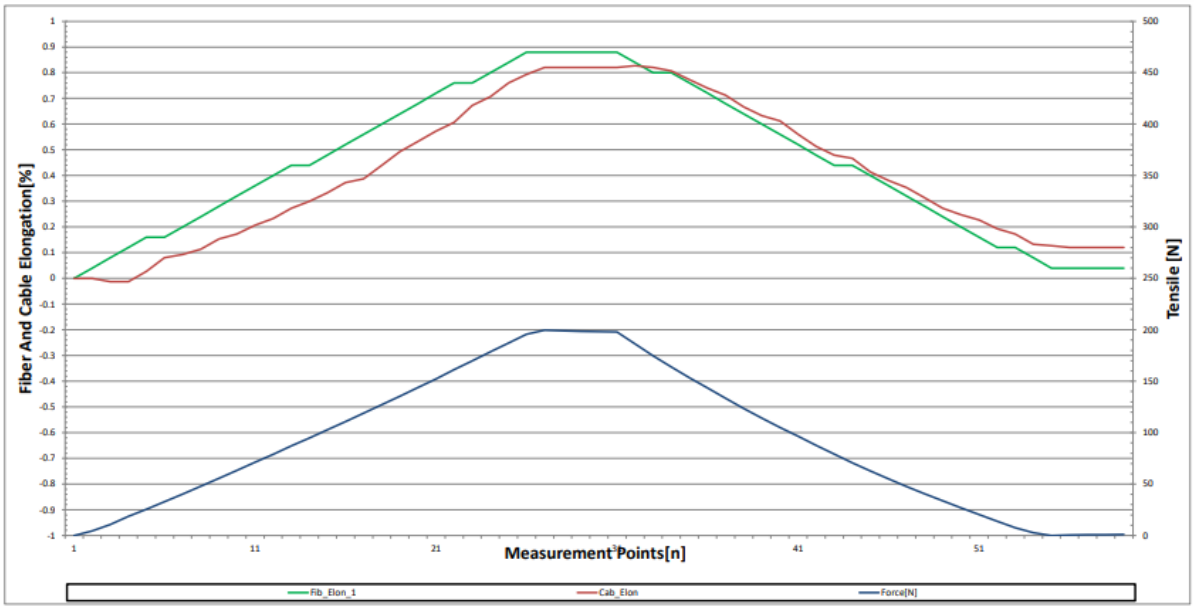


Şekil 4.37. Yerli üretim 2 mm tek fiberli drop kablo

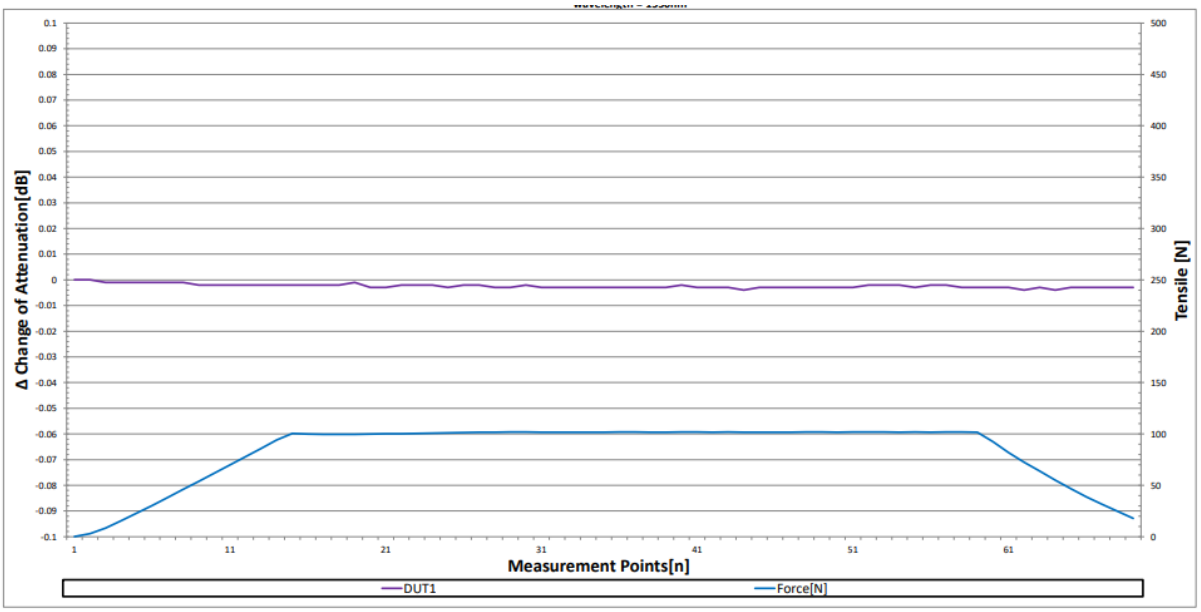
Mukavemet malzemesi olarak iç kısımda aramid kullanılmıştır. Dış kılıfta ise LSFH malzemesi kullanılmıştır.



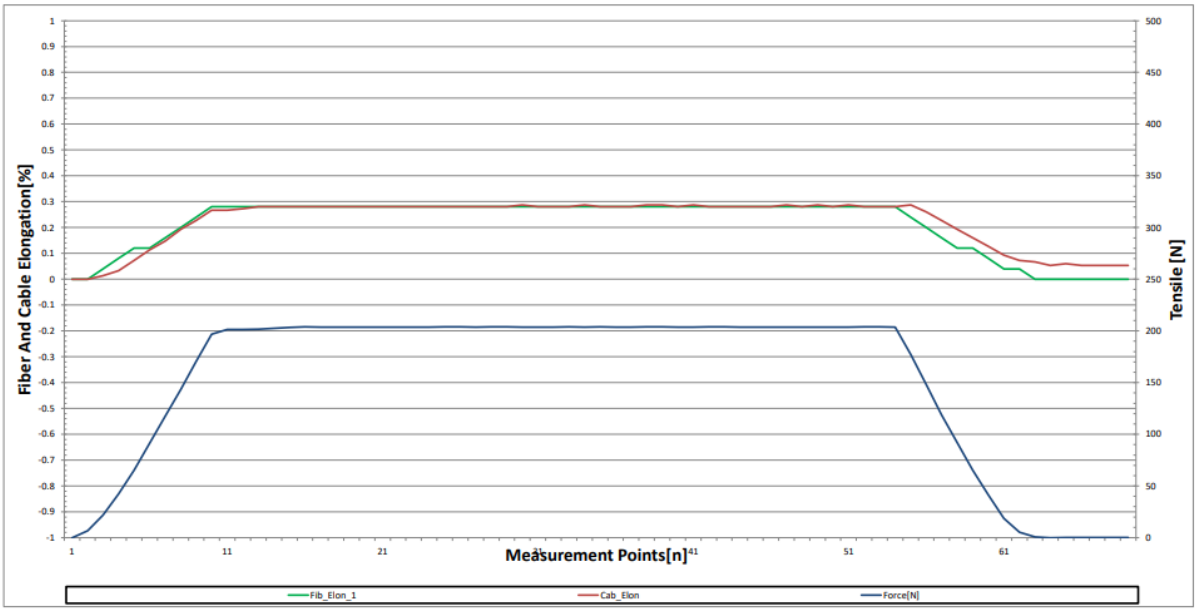
Şekil 4.38. Yerli üretim 2 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm short term insertion grafiği



Şekil 4.39. Yerli üretim 2 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm short term fiber ve kablo uzaması grafiği

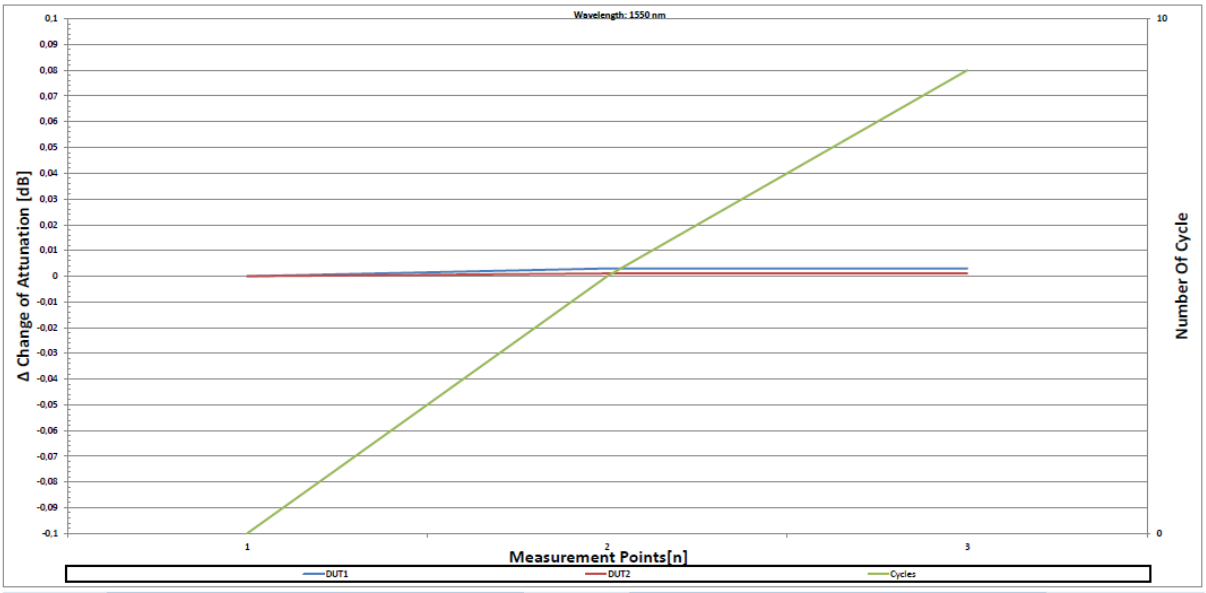


Şekil 4.40. Yerli üretim 2 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm long term insertion grafiği



Şekil 4.41. Yerli üretim 2 mm tek fiberli drop kablo 1550 nm long term fiber ve kablo uzaması grafiği

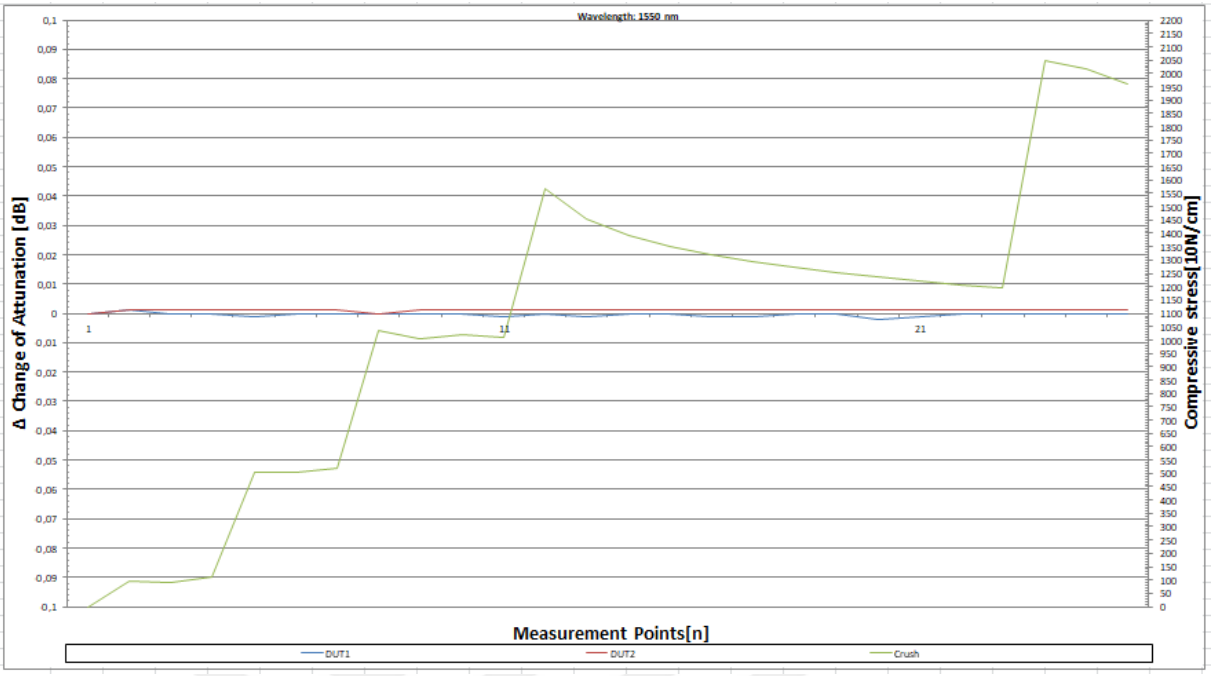
4.4. Darbe Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması



Şekil 4.42. Darbe testi Kablo Kayıp Grafiği

Test sonuç grafiğinden fiber optik kablonun darbe etkisine karşı verdiği tepki görülmektedir. Buradaki kablo kayıp değerinin,kablo uzamasının ve fiber uzamasının belirli bir aralıkta olması gerekmektedir. Bu aralık kablo üreticisi ve kabloyu satın alan firma arasındaki anlaşmaya göre belirlenebilmektedir.

4.5. Ezme Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması

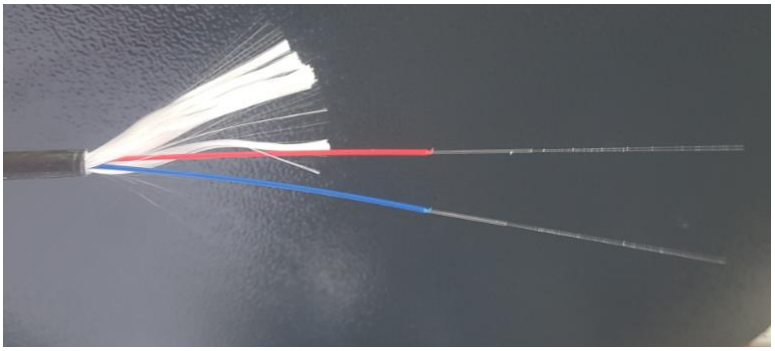


Şekil 4.43. Ezme testi kablo kayıp grafiği

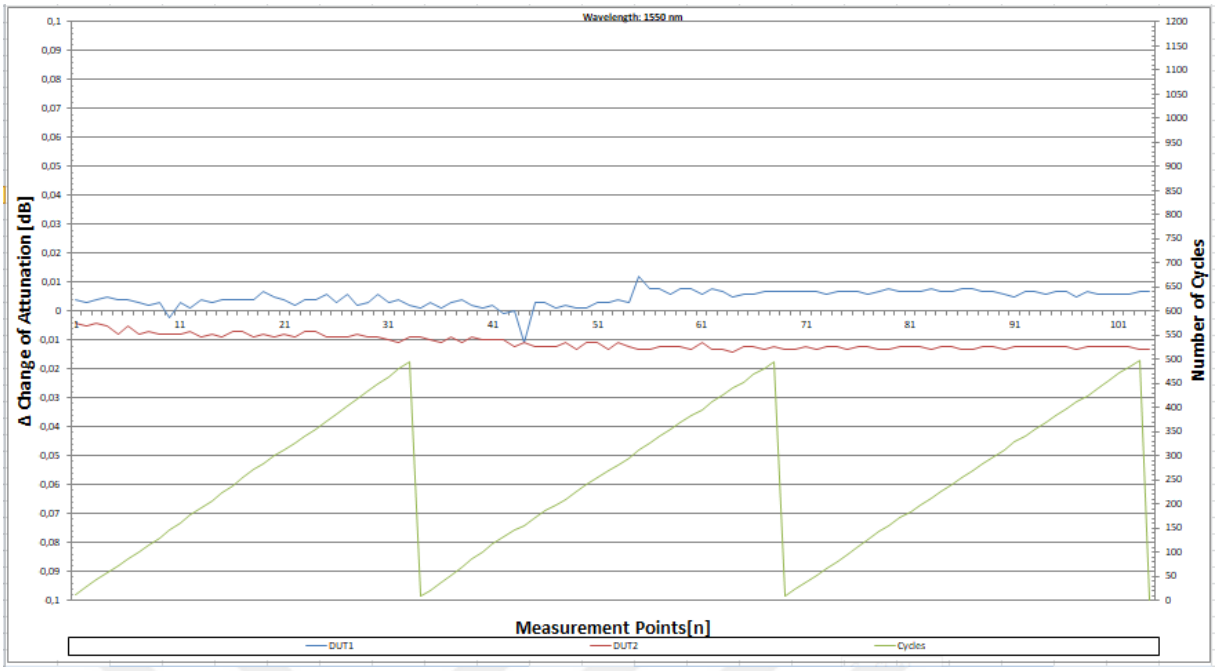
Test sonuç grafiğinden fiber optik kablonun darbe etkisine karşı verdiği tepki görülmektedir. Buradaki kablo kayıp değerinin,kablo uzamasının ve fiber uzamasının belirli bir aralıkta olması gerekmektedir. Bu aralık kablo üreticisi ve kabloyu satın alan firma arasındaki anlaşmaya göre belirlenebilmektedir.

4.6. Tekrarlı Bükülme Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması

4.6.1. Huber Suhner Marka 2 Fiberli Tek Modlu Drop Kablo(G657 A2) için Tekrarlı Bükülme Test Sonuç Grafikleri



Şekil 4.44. Huber Suhner marka 2 fiberli tek modlu 4.8mm drop kablo (g657 a2)

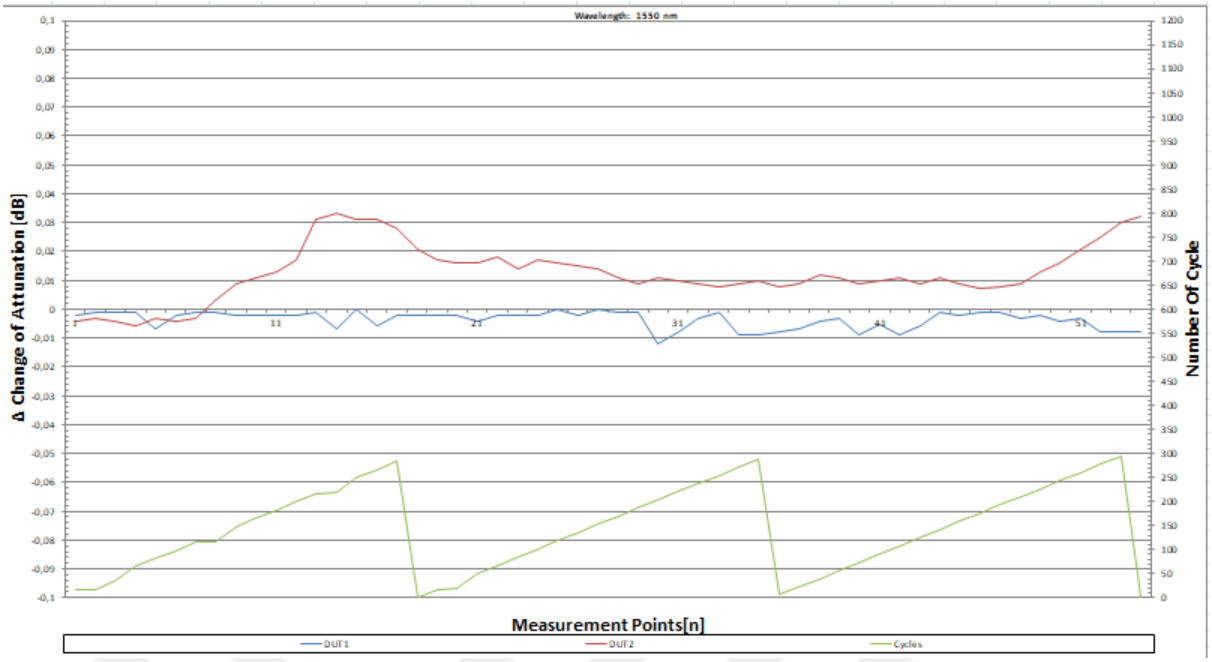


Şekil 4.45. Huber Suhner marka 2 fiberli tek modlu 4.8mm drop kablo (g657 a2) için tekrarlı bükülme testi kablo kayıp grafiği

Yukarıda 4.8 mm Huber Suhner marka 2 fiberli kablonun tekrarlı bükülme test grafiğidir. Test toplamda 1500 tekrar ile gerçekleştirilmiştir.

Turkcell Superonline Marka Çok Fiberli Tek Modlu Kablo

Şekil 4.46. Superonline marka 8 fiberli tek modlu 12mm drop kablo (g657 a2)

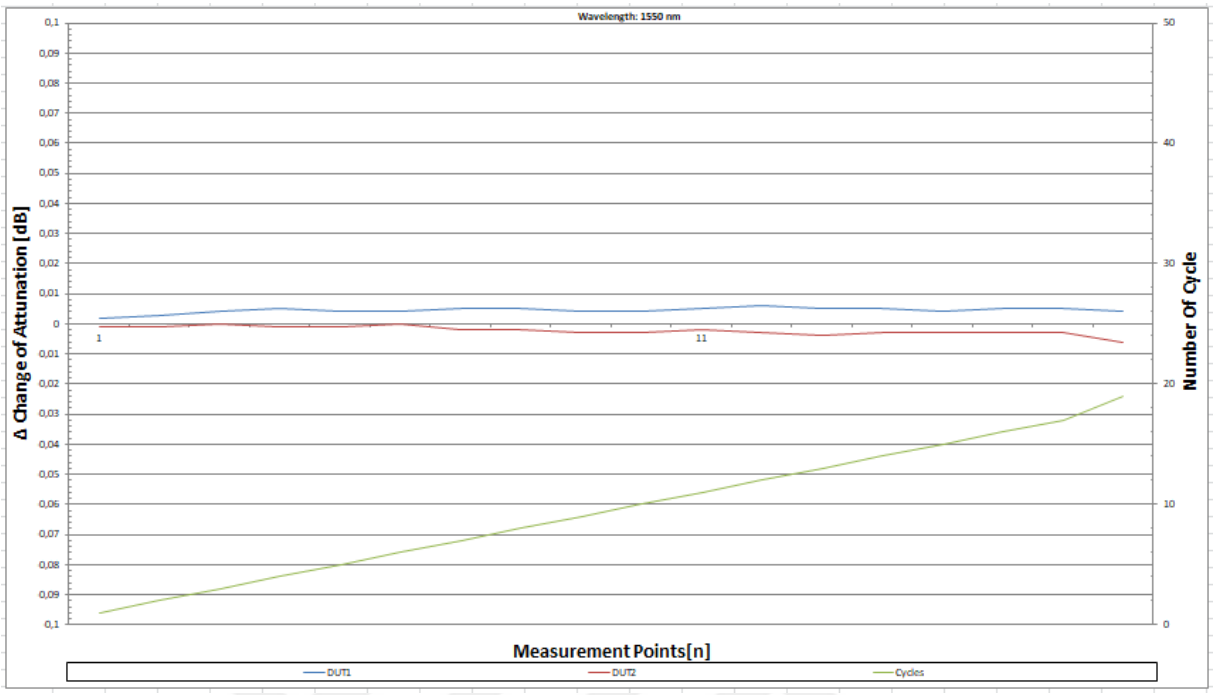


Şekil 4.47. Superonline marka 8 fiberli tek modlu 12 mm drop kablo tekrarlı bükülme kablo kayıp grafiği

Yukarıdaki test grafiğinde Superonline marka çok fiberl, ve metal zırhlı bir dış ortam kablosunun 900 tekrarlı bükülme test sonucu görülmektedir.

Test sonuç grafiğinden fiber optik kablonun tekrarlı bükülme etkisine karşı verdiği tepki görülmektedir. Buradaki kablo kayıp değerinin belirli bir aralıkta olması gerekmektedir. Bu aralık kablo üreticisi ve kabloyu satın alan firma arasındaki anlaşmaya göre belirlenebilmektedir.

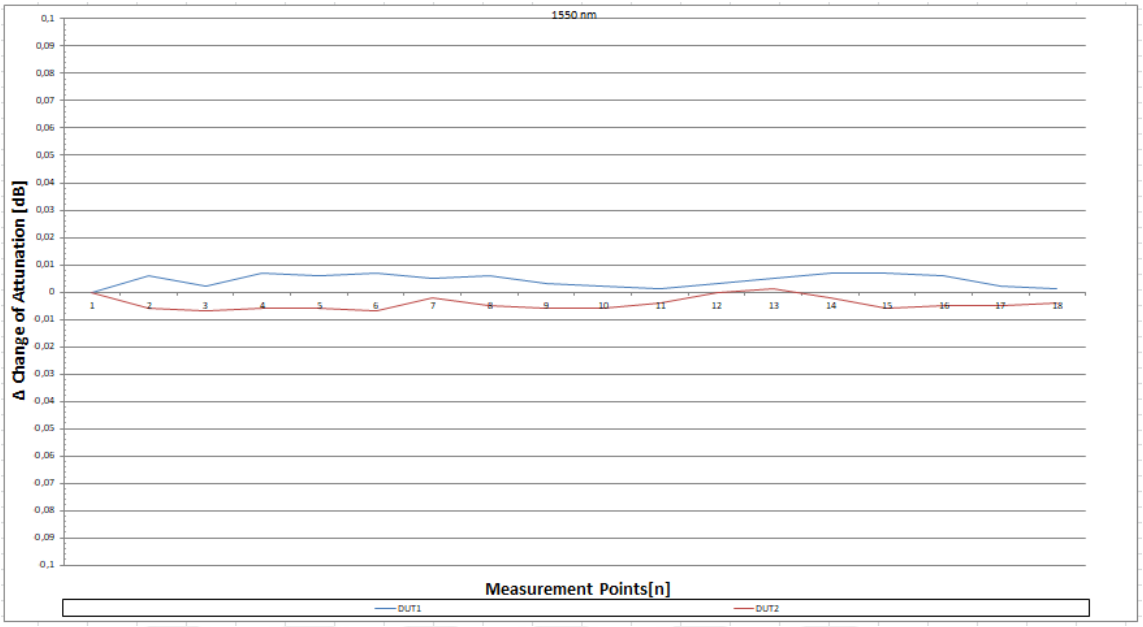
4.7. Burulma Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması



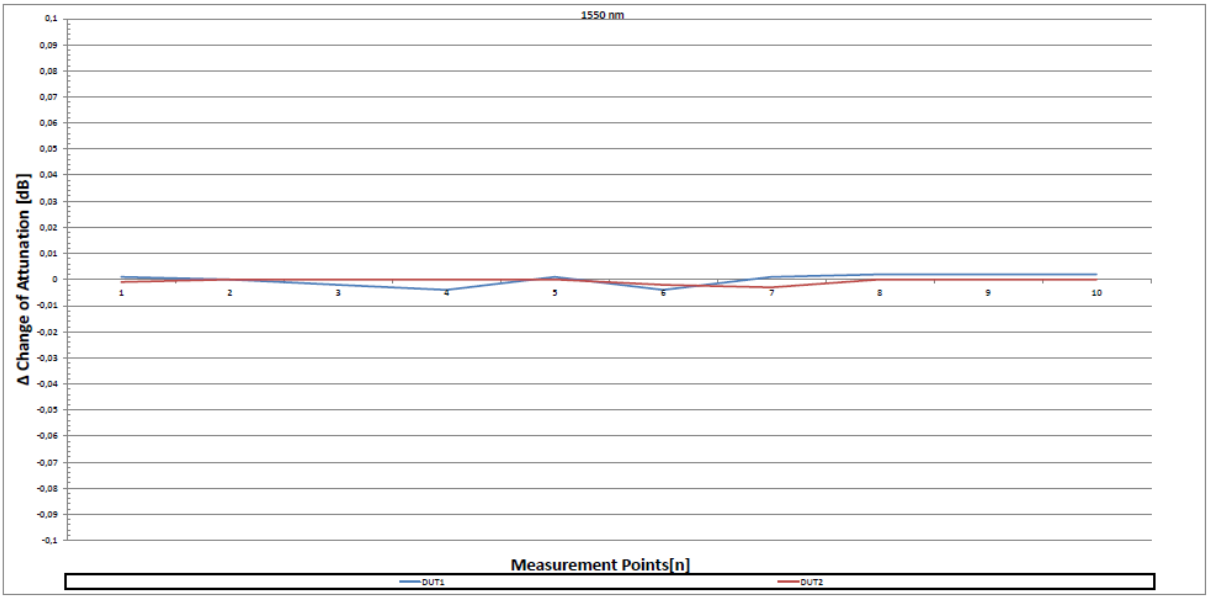
Şekil 4.48. Superonline marka 8 fiberli tek modlu 12 mm drop kablo tekrarlı burulma kablo kayıp grafiği

Test sonuç grafiğinden fiber optik kablonun tekrarlı bükülme etkisine karşı verdiği tepki görülmektedir. Buradaki kablo kayıp değerinin belirli bir aralıkta olması gerekmektedir. Bu aralık kablo üreticisi ve kabloyu satın alan firma arasındaki anlaşmaya göre belirlenebilmektedir.

4.8. Kıvrılma(Kink) Testi Test Sonuçları ve Yorumlanması



Şekil 4.49. Superonline marka 8 fiberli tek modlu 12 mm drop kablo tekrarlı burulma testi kablo kayıp grafiği



Şekil 4.50. Huber Suhner marka 2 fiberli tek modlu 4.8 mm drop kablo tekrarlı burulma testi kablo kayıp grafiği

Şekil 4.9 ve Şekil 4.50'deki test sonucuna bakılarak kablo kaybının istenilen aralıkta olup olmadığı belirlenmektedir. Ayrıca test sonunda kabloda hiçbir kıvrılma durumu oluşmamalıdır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Fiber optik kablo testlerini otomatik olarak gerçekleştirecek bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistem fiber optik test cihazları, dijital ve mekanik test ekipmanları ile haberleşebilmektedir. Ayrıca sistem için gerekli kullanıcı arayüzleri, canlı takip ekranları ve rapor dosyaları tasarlanmıştır.

Kablo boyuna ve testin gerekliliklerine uygun test cihazı seçimi yapılmıştır. Sıcaklık çevrim testinde 1 km üzerinde bir kablo için OTDR cihazı ile ORL, parça kablolar için ise MAP200 cihazı ile IL değerlerine bakılması uygun bulunmuştur. Germe testinde fiber uzama tesbiti için pulse delay metodunu kullanarak fiberin boyunu hassas bir şekilde hesaplayabilen MAP200 cihazı uygun bulunmuştur.

Bu çalışmada tasarlanan ve yeniden yapılandırılan test sistemleri, fiber optik kablonun üretim kusurlarının tespit edilebilmesine, özel dayanım koşullarına uygun kablo tasarımlarının gerçekleştirilebilmesine, askeri standartlar gibi özel koşullar için en uygun kablonun tesbit edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Teorik ve deneysel çalışmaların sonuçları birleştirilip ortaya en ideal kablo yapısı çıkarılabilmektedir.

Testler insan bağımsız gerçekleştirilerek otomatik bir şekilde test raporları alınabilmektedir. Bu sayede hem maliyet, hem de test sonuçlarındaki hata oranı minimize edilmiştir.

Sıcaklığa bağlı kablo kaybı ve fiber uzaması değişimine bakılarak fiberin bulunduğu ortamın sıcaklığının tespit edilebileceği görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

Agrawal, Govind P. 2002. *Fiber-Optic Communications Systems, Third Edition. Communications*. C. 6. https://doi.org/10.1002/9780470611388.

Alwayn, Vivek. 2004. *Optical network design and implementation*. Cisco Press.

Demir, Zeki. 2002. "Fiber Optik Kablo Teknolojisi ve Askeri Uygulamalarda Kullanımı.pdf".

Elliott, Barry, ve Mike Gilmore. 2002. *Fiber Optic Cabling*. *Fiber Optic Cabling*. 2. baskı. https://doi.org/10.1016/B978-075065013-7/50008-8.

Feng, Xie. 2013. "Optical Fibre Line Failure Detecting".

Gibson, Jerry D. 2013. *The Communications handbook*. *Choice Reviews Online*. C. 34. https://doi.org/10.5860/choice.34-6293.

Laferrière, J., G. Lietaert, R.Taws, ve S. Wolszczak. 2011. "Fiber Optik Testler İçin Başvuru Kılavuzu". Içinde , 1:92.

Max Born, ve Emil Wolf. 2003. *Principles of optics*. 7. baskı. New York. http://www.cambridge.org.

Pnev, A. B., A. A. Zhirnov, K. V. Stepanov, E. T. Nesterov, D. A. Shelestov, ve V. E. Karasik. 2015. "Mathematical analysis of marine pipeline leakage monitoring system based on coherent OTDR with improved sensor length and sampling frequency". *Journal of Physics: Conference Series* 584 (1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/584/1/012016.

Thomes, Jr., William J., Richard F. Chuska, Melanie N. Ott, Frank V. LaRocca, Robert C. Switzer, ve Shawn L. Macmurphy. 2008. "Fiber optic cable thermal preparation to ensure stable operation". *Optical Technologies for Arming, Safing, Fuzing, and Firing IV* 7070 (August): 70700B. https://doi.org/10.1117/12.796977.

Wiltshire, B., ve M. H. Reeve. 1988. "A Review of the Environmental Factors Affecting Optical Cable Design". *Journal of Lightwave Technology* 6 (2): 179–85. https://doi.org/10.1109/50.3986.

Wing F. Yeung, ve Alan R. Johnston. 1978. "Effect of temperature on optical fiber transmission" 17 (23): 135–39.

Yetim, Serhat. 2011. "Fiber Optik Kablolar ve Uygulama Alanları". TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ.

7. ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Evren Polat - Samm Teknoloji firmasının Arge merkezinde yazılım ve donanım tasarımı konusunda görev yapan ve Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği 2016 mezunu ve Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bağlı Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda fiber optik kabloların ölçüm metodları ile kalite parametrelerinin belirlenmesi konusunda yüksek lisans çalışmalarını yürütmekte olan bir mühendistir.