

FTTH Ağlarda Performans Analizi

Sakine HOCAOĞLU¹, Murat YÜCEL^{2,*}

¹ Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Bölümü, Ankara, Türkiye

^{2,*} Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

sakine.hocaoglu@gazi.edu.tr, muyucel@gazi.edu.tr

(Geliş/Received:03.06.2016; Kabul/Accepted:26.10.2016)

DOI: 10.17671/btd.92794

Özet- Geniş bant erişim ağı, kullanıcılara yüksek hızda çeşitli hizmetler sunmaktadır. FTTH (Fiber to the home, Eve kadar fiber) son kullanıcıya metalik kablo yerine optik kabloyla erişim sağlayan ağ mimarisine sahiptir. Önümüzdeki yıllarda dünya çapında büyük yer kaplayan bakır erişim şebekeleri fiber erişim ağ ile değiştirilecek, servis sağlayıcılar için büyük fırsatlar yaratacaktır. Bu değişimin önemli nedeni ise bakır kabloların artan bant genişliği için tüketici talebini karşılayamayacak olmasıdır. Bu çalışmada, OCDMA (Optical Code Division Multiple Access, Optik kod bölmeli çoklu erişim) tekniği kullanarak FTTH ağ sistemi tasarlanmış ve bu sistemin performans analizi yapılmıştır. Daha sonra hat boyunu uzatmak için sisteme EDFA (Erbium Doped Filter Amplifier, Erbiyum Katkılı Fiber Yükseltec) eklenerek OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile BER (Bit Error Rate, Bit Hata Oranı) performans sonuçları ve Q faktör değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler- FTTH, Bit Hata Oranı, OCDMA

Performance Analysis of FTTH Network

Abstract- Broadband access network offers users various services at high speed. FTTH (Fiber to the Home) has the network architecture that enables access via optical cable instead of metal cable to last user. Copper Access networks which are covering the major locations around the world, will be replaced with Fiber Access Network and this change will create great opportunities for service providers. The main reason for this change is that the copper cables could not meet the demands of customers for increased bandwidth in the future. In this study, FTTH network system has designed and the performance of this system has analyzed with using the OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) technique. After with adding the EDFA (Erbium Doped Filter Amplifier) to this system, Optisystem 7.0 simulation programme with BER (Bit Error Rate) performance results and Q factor values have presented with comparison.

Keywords- FTTH, Bit Error Rate, OCDMA

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda hızla artan talepler sebebiyle, veri iletimine ek olarak ses ve video iletişiminin yapılması internet omurga yapısında önemli büyüme sağlamıştır. Bu nedenle iletişim teknolojilerinde optik haberleşmenin önemi artmıştır. Ayrıca optik iletişim teknolojisi; kaliteli, hızlı, geniş bantlı ve güvenilir iletişim ortamı sunmaktadır.

Shumate, P. W. tarafından 2008 yılında yapılan çalışmaya göre, FTTH ilk olarak 1977 yılında Japonya'da video tabanlı iletişim için kullanılmıştır. 1980'li yıllardan itibaren ise Avrupa'da FTTH denemeleri başlamıştır [1].

Bir erişim ağı sisteminin optik kısmı aktif yada pasif bileşenlerden oluşabilir ve mimarisi noktadan noktaya yada noktadan çoklu noktaya şeklinde olabilir. Fiber optik ağlar, kolayca yüksek performans gösterebilir ve

gelecekteki uygulamalar için köklü mimari değişikliklerine ihtiyaç duymaz.

Kullanıcı ihtiyaçlarına göre fiber optik iletişiminin vereceği hizmetler sınıflandırılmıştır. FTTH sistemleri günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan ve önemi gün geçtikçe artan sınıflandırmadan biridir. Hızlı bir iletişim sistemi olan optik fiber, cam üzerinden ışığın iletilmesiyle çalışır. Elektrik sinyali optik sinyale dönüştürülerek taşıyıcı ışık dalgası ile iletilir ve alıcıda tekrar orijinal elektrik sinyaline geri dönüştürülür.

OCDMA, yerel alan ağlarında birden fazla kullanıcının gecikme veya planlama olmadan asenkron olarak aynı fiberin kanalına erişmesine olanak sağladığı için FTTH sistemlerinde önerilmekte ve kullanılmaktadır. FTTH ile

konut, apartman ve iş merkezleri gibi binalar merkezi bir noktaya doğrudan kullanım sağlar ve bu şekilde görülmemiş yüksek hızda internet erişimi olmaktadır [1]. Optik kod bölümlü çoklu erişim hizmeti fiziksel katmanda farklılaşma kalitesi sağlar [2]. Bu nedenle, OCDMA heterojen uygulamalarda farklı kalite gerektiren geniş ağlarda büyük ilgi görmektedir. OCDMA tekniğinde; asenkron erişime izin verme, geliştirilmiş spektral verimlilik, artan esneklik ve maliyet verimliliği gibi özellikleri bulunmasından dolayı kullanımı artmaktadır [3, 4]. Ayrıca OCDMA sistemlerinde alıcıda verileri yüksek güvenlik kullanarak kullanıcılara iletmektedir [5]. Spektral genlik kodlama (SAC), OCDMA için geliştirilen çeşitli şifreleme tekniklerinden biridir [6].

Bu çalışmada, gelişen teknolojiyle veri iletimini arttıran ve kullanıcıya güvenilir hizmet sağlayan FTTH sistemi OCDMA tekniği kullanılarak, üç kullanıcı için referans bir sistem oluşturulmuş ve daha uzun mesafe için optik yükselteç eklenerek sistem performansları karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

2. FTTH AĞLAR (FTTH NETWORKS)

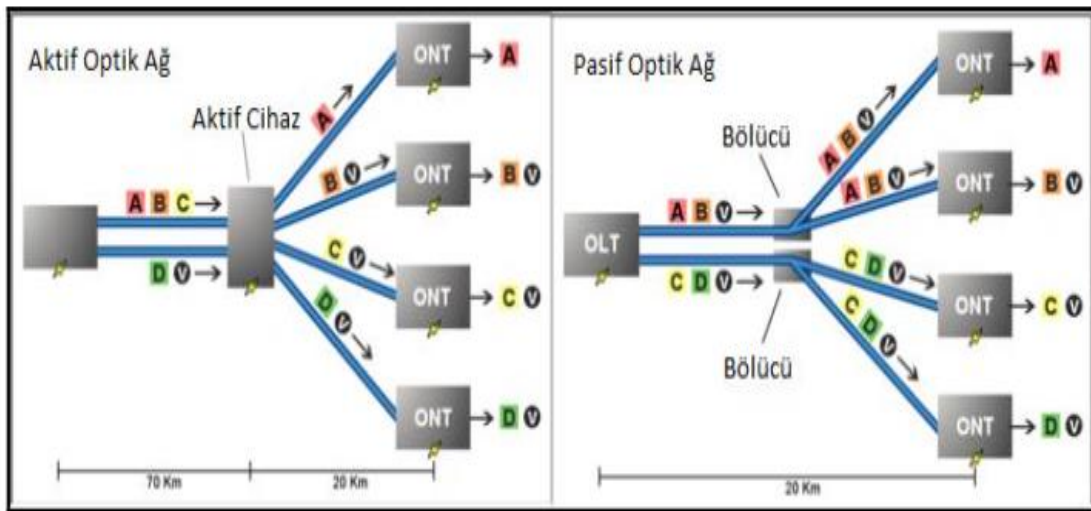
FTTx (Fiber to the X, X'e kadar fiber) sistemleri, fiber optik aracılığıyla sayısal sinyallerin taşınmasını sağlamaktadır. Böylece multimedya, uzaktan eğitim gibi uygulamalarda yüksek hızlı hizmet sunmaktadır. FTTH, kullanıcıya bakır kablo yerine optik kablolar kullanan optik bir ağ mimarisidir. FTTH sistemlerinde sonlandırıldığı lokasyon (x) ile tanımlanır. Noktadan noktaya veya noktadan çok noktaya erişim sağlanabilir. AON (Active Optical Network, Aktif Optik Ağ) ve PON (Passive Optical Network, Pasif Optik Ağ) topolojileri ile planlanabilir. Planlanmaya yönelik olarak farklı mesafelerde aşağıdaki şekilde sonlandırılabilir:

- FTTN (Node):** Outdoor-Son kullanıcı >300m olup, fiber optik kablo ve bakır kablo bağlantısı gerçekleştirilir. Son kullanıcı ile fiber kablo bağlantı mesafesi 300 m'den daha çoktur.
- FTTC (Cabinet):** Outdoor-Son kullanıcı <300m olup, fiber optik kablo ve bakır kablo bağlantısı gerçekleştirilir. Son kullanıcı ile fiber kablo bağlantı mesafesi 300 m'den daha azdır.
- FTTB (Building):** Indoor-Bina girişi olup, fiber optik kablo ve bakır kablo bağlantısı gerçekleştirilir. Fiberin sonlandırıldığı noktadan sonra kullanıcılara bina içi dağıtım yapılır.
- FTTH (Home):** Indoor-Bina içi-Ev dışı olup, fiber optik kablo bağlantısının kullanıcının evinde son bulunduğu yöntemdir. Çok katlı binalarda bina içlerinde kablolarla kullanıcılara erişim sağlanır.
- FTTP (Premises):** Indoor-Ev içi olup, merkezde yönlendirme (Routing/switching), dağıtım (splitting) ve son kullanıcıya erişim içeren ağaç yapısı (tree) topolojisi ile uygulanır .

FTTH ağları telekomünikasyon dünyasında FTTH iletim sistemlerinin ailesine aittir. Geniş bant kabul edilen bu ağlar, son kullanıcıya yakın bir noktaya kadar yüksek bit hızlarında veri ve bilgileri taşıma özelliği vardır ve ilerleyen teknolojiye uyum sağlamaktadır [7].

2.1. FTTH Ağlarda Optik Dağıtım Ağ Mimarileri (Optical Distribution Network Architectures in FTTH Networks)

Optik dağıtım ağ mimarisi, AON ve PON olmak üzere iki gruba ayrılır. PON yapısı OLT (Optical Line Termination, Optik Hat Sonlandırma), ONT (Optical Network Terminal, Optik Ağ Terminali) ve bilgi akışının sağlandığı kısım Güç Bölücü'den (Power Splitter) oluşur. Bilgi akışında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise ONU (Optical Network Unit, Optik Ağ Birimi) bloklarında kendilerine ait olmayan bilgilerin alınmaması ve bilgilerin çakışmamasını sağlamaktır [8].



Şekil 1. Optik dağıtım ağ mimarisi [2] (Optical Distribution Network Architecture)

AON yapısı genel olarak ethernet ağ yapısına benzetilir. Şekil 1’ de AON ve PON mimarisi gösterilmiştir.

Aktif Optik Ağlarının özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Aktif ekipmanlar kullanılır.
- Görece yüksek sayıda (500) son kullanıcıya erişilebilir.
- İstenen trafik tipi, doğrudan ve yalnızca istenen son kullanıcıya iletilebilir. (unicast)
- Uçtan uca görece uzun mesafelere ulaşılabilir (90km).
- Trafik, Merkez - Son Kullanıcı arasında (access) Katman-2 seviyesinde, Merkez – Backbone arasında (core) Layer-3 seviyesinde taşınır [9].

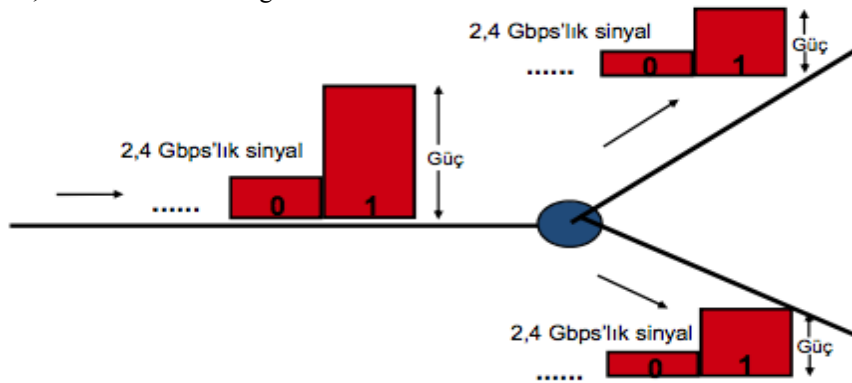
PON yapısı gereği fiber optik aracılığıyla kullanıcılara genişbant hizmetleri sağlayan ağıdır. PON, ağ boyunca trafiği yönlendirmek için sunucu ve istemci arasındaki optik bileşenlerin çıkarılmasına izin verir. PON, noktadan çoklu noktaya fiber kullanan telekomünikasyon ağıdır. PON, servis sağlayıcının merkez ofisinde olan OLT ve son kullanıcı dizisini oluşturan ONT’ den oluşur. Bir PON yapısı, noktadan noktaya iletişim mimarileri ile karşılaştırıldığında gerekli fiber ve merkez ofis ekipman miktarını azaltmakta hatta şifreleme ile dinlemeleri önlemektedir. PON yapısı genellikle FTTH ağlarda kullanılmakta ve maliyeti azaltmaktadır. Buna karşılık, bant genişliği tahsis edilmez; bunun yerine ağ erişim noktaları tek fiberde çoğullama yapılır [9].

OLT, merkez ofiste bulunan ve optik dağıtım ağındaki bilgilerin iki yönlü akışını kontrol eder. Optik dağıtım ağında 20 km’ye kadar iletim mesafesini desteklemektedir. OLT’nin aşağı yöndeki işlevi; uzun mesafeli ağlardan ses, veri ve video trafiğini almak ve

bunu dağıtım ağında bulunan ONT modüllerine iletmektir. OLT’nin yukarı yöndeki işlevi ise ağ kullanıcılarına tüm trafiği dağıtmaktır. Optik dağıtım ağındaki ayrı hizmet türlerinin aynı anda iletimi, her iletim yönü için farklı dalga boyları kullanmakla sağlanmaktadır. PON aşağı iletimde ses ve veri trafiği için 1490 nm dalga boyunu ve video dağıtım için 1550 nm dalga boyunu kullanır. Yukarı iletimde ses ve veri için 1310 nm dalga boyu kullanır. Her OLT üst üste iki farklı boyları kullanılarak, downlink ve uplink kanal içeriği arasında girişimi engellemek için görevlendirilmiştir. Bunun için WDM (Wavelength Division Multiplex, Dalga boyu Bölmeli Çoklama) teknikleri kullanılır [10].

ONT, yukarı yöndeki PON için optik bağlantı sağlar ve müşteri tesislerinde yer alır. Üzerinde Ethernet ve WiFi özellikleri bulunabilir. Kullanıcı bloklarına yada müşterilerin iletişim gereksinimlerine bağlı olarak, ONT çeşitli Ethernet oranları da içeren telekomünikasyon hizmetlerinin bir karışımını destekler. Yani ONT, OLT’ den gelen ilişkili bilgileri filtreleme yeteneğiyle kullanıcılara sunar. Ayrıca, kullanıcıların bilgilerini içerir ve uygun ağa yönlendirir [10].

Optik Bölücüler, Pasif Güç Bölücü olarak da adlandırılır ve OLT- ONT arasında iletişimi sağlar. Optik sinyalin 2, 4, 8, 16, 32 ve 64 gibi oranlara eşit olarak bölünmesini sağlayan enerji gereksinimi olmayan malzemelerdir. Sadece güç çoğullama yapmak yada sinyal çoğullamasını kaldırmak için değil güçleri bir araya getirmek için de kullanılır. Bir girişli ve çok çıkışlı olan çift yönlü optik dağıtım cihazlarıdır. Tamamen pasif elemanlarla; dağıtım, işletme ve bakım maliyetlerini düşürerek, harici güç olmadan çalışmasına olanak sağlar. İletişim sinyallerindeki optik güç kaybını ifade ederler [10].



Şekil 2. Optik bölücü [11] (Optical splitter)

Optik bölücüler, belirli bir kayıpla ışığı eşit güçlerdeki birden fazla parçaya ayırırlar. Şekil 2’de gösterildiği gibi çıkış kollarında güç azalmıştır. Bit hızı ve bant genişliği değişmemiştir.

3. ÇOKLU ERİŞİM TEKNİKLERİ (MULTIPLE ACCESS METHODS)

Aynı iletim ortamının çok sayıda kullanıcı tarafından kullanılması için çoğullama teknikleri geliştirilmiştir. Verinin birden çok kaynaktan gelerek yine birden çok kaynağa iletilmesi sistemine çoğullama denilmektedir. Çoğullama sayesinde iletim ortamı daha etkin

kullanılmaktadır. Birden çok kullanıcının aynı bant kullanması maliyeti azaltmaktadır. Çoklu erişim yöntemlerinden en yaygın kullanılanları TDMA (Time Division Multiple Access, Zaman Bölmeli Çoklu Erişim), FDMA (Frequency Division Multiple Access, Frekans Bölmeli Çoklu Erişim), CDMA (Code Division Multiple Access, Kod Bölmeli Çoklu Erişim), WDM (Wavelength Division Multiple Access, Dalgaboyu Çoklu Erişim) ve OCDMA'dır. Aynı bant üzerinde iletişim yapan ağlarda kaynak paylaşımı yapılmalı ve çakışmalardan dolayı ortaya çıkan sorunların giderilmesi gerekmektedir. Bu bölümde referans sistemde kullanılan OCDMA tekniği anlatılacaktır. CDMA sisteminde kullanıcılar, bant genişliğinin tamamını aynı anda kullanırlar. Bunun için ise kullanıcılara gürültü benzeri kod atama işlemi yapılır. Kullanıcı istediği zaman istediği bantta ve frekansta iletim yapabilir. Her kullanıcının kendine özel ve diğer kullanıcı kodlarıyla ortogonal (dik) olan kodu vardır. Bundan dolayı kullanıcılar arasında girişim olmaz.

Optik fiberler, dairesel dalga kılavuzları, optik enerji ve bilgi taşıyabilirler. Fiberler, LED ve lazer diyot ile veri iletimini sağlayan düşük kırılma indisine sahip olan merkezi çekirdeğe sahiptir. OCDMA sistemlerinde ise elektromanyetik dalgalar yerine ışık ile veri darbeleri gönderilir. OCDMA'da kullanıcı her veri bitini ve kodunu düzenler ve iletme başlar. Çok sayıda kullanıcının aynı anda aynı bant kullanılarak verinin gönderilmesi için zaman ve frekans yönetimi gerektirmez. OCDMA sistemleri merkezi kontrolü olmadan asenkron olarak çalışır ve tüm optik işleme yapısı için izin verebilir. Güvenli veri iletimi sağlar. Optik CDMA'da kullanıcı her veri bitini ile kodunu (veya adresi) düzenler ve asenkron olarak iletimi başlatır. Bu nedenle sadece hedeflenen alıcı tarafından tanınabilen bir şekilde spektrumu görünümünü değiştirir. Aksi takdirde, sadece gürültü benzeri patlamaları görülür. Sonuç olarak; TDM (Time Division Multiple, Zaman Bölmeli Çoklama), FDM (Frequency

Division Multiple, Frekans Bölmeli Çoklama) ve WDM (Wavelength Division Multiple, Dalgaboyu Bölmeli Çoklama) gibi diğer çoğullama teknikleri üzerinde OCDM tekniğinin avantajları çoktur [11].

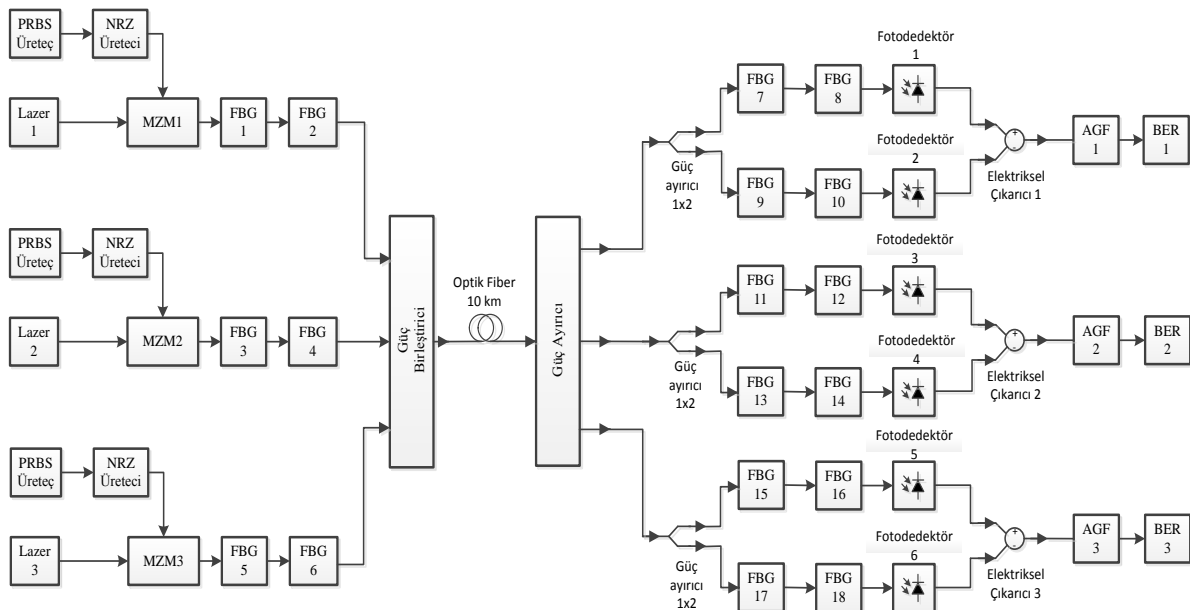
SAC-OCDMA adı verilen spektral genlik kodlama tekniğinde ise kod ağırlıkları değiştirilerek hizmet ayrımı yapılmasını destekleyen OCDMA için geliştirilmiş olan kodlama tekniğidir.

4. SİSTEM TASARIMI (SYSTEM DESIGN)

Şekil 3'te referans optik haberleşme sistemi gösterilmiştir. Bu çalışmada, OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile üç taşıyıcı kanal, FBG (Fiber Bragg Grating, Fiber Bragg Izgara) kullanarak OCDMA ağında 200 Mbps için simüle edilmiştir. Çakışmayan kaynak kullanılarak PRBS (Pseudorandom binary sequence, Sözde rastgele ikili dizi) üreticisiyle çoğullama yapılmış, demodüle edilmiş ve sinyal üretilmiştir. Lazer ışık kaynağının dalgaboyu 1550,5 nm, güç de -115 dBm'e ayarlanmıştır. Düzgün dağılımlı FBG ile spektral genlik kodlama yapılmıştır. FBG'nin bant genişliği 0,3 nm, yansımaya katsayısı 0,9998 ve frekans değerleri ise kanallara göre 1550,1 nm, 1550,9 nm ve 1552,5 nm olarak ayarlanmıştır. Sinyal NRZ PRBS ile üretilip Mach – Zehnder modülatörle (MZM) taşıyıcı ışık sinyaline modüle edilmiştir.

Alıcı kısım ise dengeli şekilde birbirine bağlı olan filtre ve foto dedektörden oluşmaktadır. Alçak bant geçiren filtre (AGF) ve BER analizatör ile kod çözme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Burada kanal 1 ve 2 açık, kanal 3 ise kapalı konumda seçilmiştir. Güç birleştirici ile 3 sinyal birleştirilir ve uzunluğu 10 km olan fiber optik hatta uygulanmıştır.

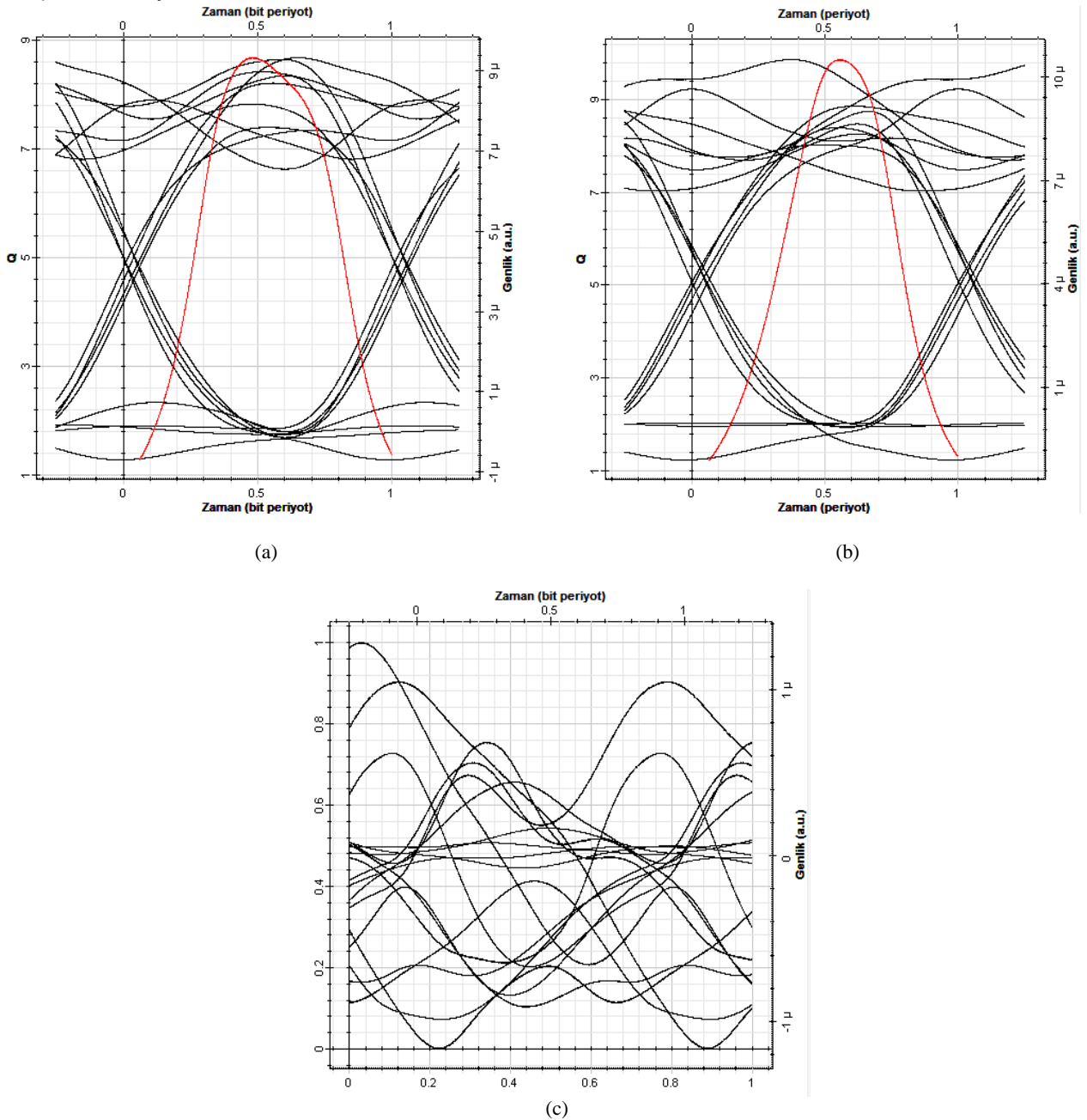


Şekil 3. Referans optik haberleşme sistemi (Reference optical communication system)

Geniş bant optik kaynağın optik çıkışı, Mach - Zehnder modülator kullanılarak kanal veri sinyali tarafından modüle edilir. Modüle edilmiş optik sinyal frekans bileşenleri seçmeli olarak bir imza koduyla uygun şekilde ileten tarafta kodlanır. Aynı bant genişliğine sahip ve farklı dalga boylarındaki üç FBG, her kanala ayrı kod elde etmek için kullanılır. Optik modülörden gelen çıkış sinyalleri 3:1 optik birleştirici kullanılarak fibere gönderilir. Geleneksel tek modlu fiber verici ve alıcı arasındaki iletim bağlantısını oluşturur. İletim bağlantısının sonunda optik güç 1:3 optik dağıtıcı kullanılarak 3 bölüme ayrılır, her kanal için ayrı bağlantı sağlanmış olur. Kanallar gelen sinyali 1:2 optik dağıtıcıyla bileşenlerine ayırır. Birinci bileşen, vericide kullanılan aynı kodlayıcı filtresi içermektedir. İkinci bileşen tamamlayıcı filtre olarak kullanılmaktadır. Bu iki

bileşen PIN foto diyotlar kullanılarak tespit edilir. Bessel alçak bant geçiren filtre tarafından filtrelenir ve alıcının dijital kısmına veri ayıklamak için gönderilir. Alçak bant geçiren filtre kullanıldığında gürültü ve parazit bileşenler bilgi sinyali spektrumu dışında kalır.

BER analizleri incelendiğinde, üç optik kanal için farklı bant genişliğinin ve farklı güçlerin fonksiyonu olarak BER değişimleri analiz edilmiştir. Işık kaynağının gücünün, vericide önemli bir etkiye sahip olduğu ve veri hızını arttırdığı görülmüştür. 10 km sabit fiber uzunluğu için, sistem performansı giriş ışık kaynağının gücü azaldığında bozulur ve veri hızı da azalır. Işık kaynağının gücü 0 dBm'den -10 dBm'e düştüğünde BER değerleri düşer.

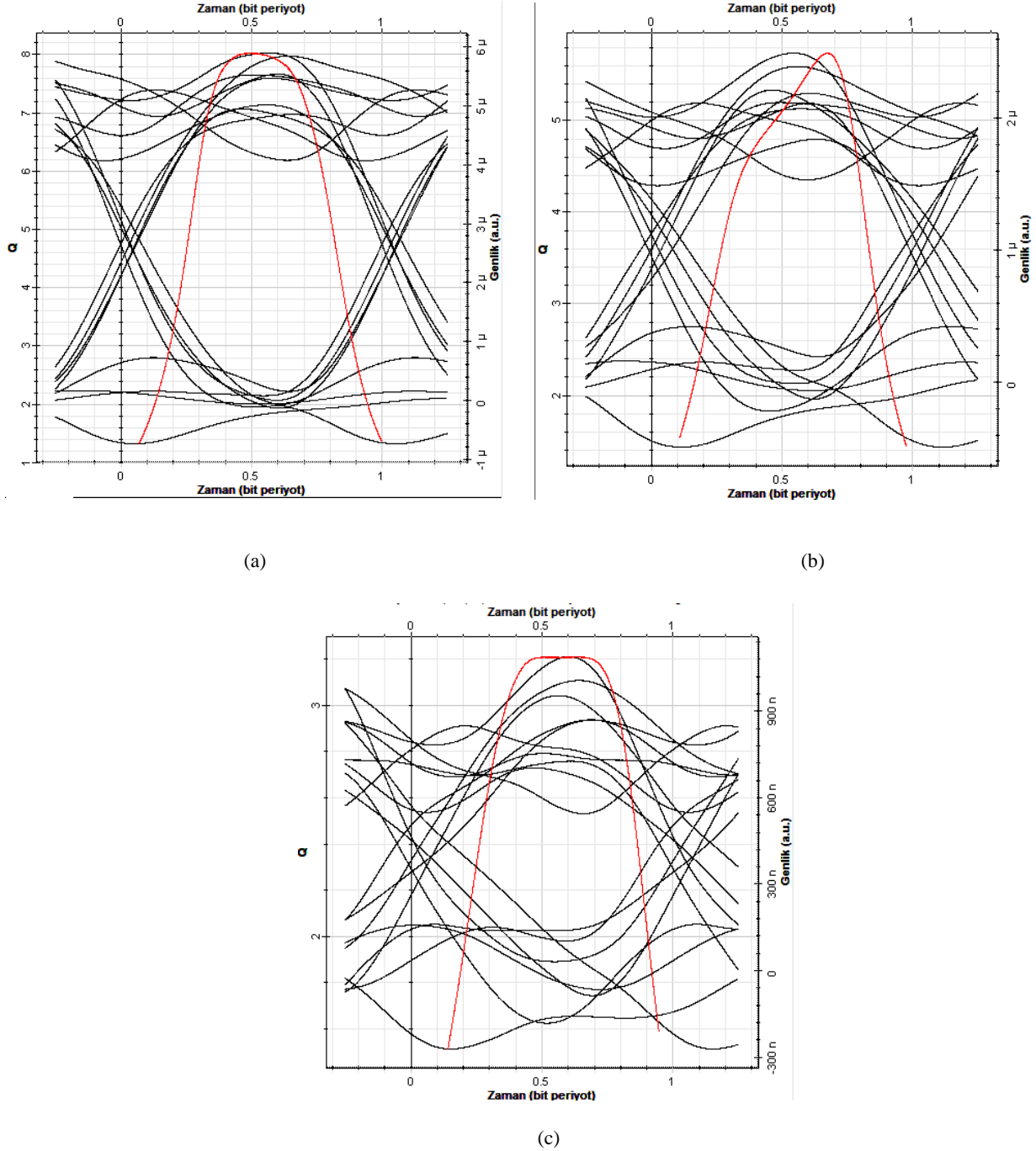


Şekil 4. Göz Diyagramları (a) Kanal 1 için, (b) Kanal 2 için (c) Kanal 3 için (Eye Diagrams (a) for Channel 1, (b) for Channel 2, for (c) Channel 3)

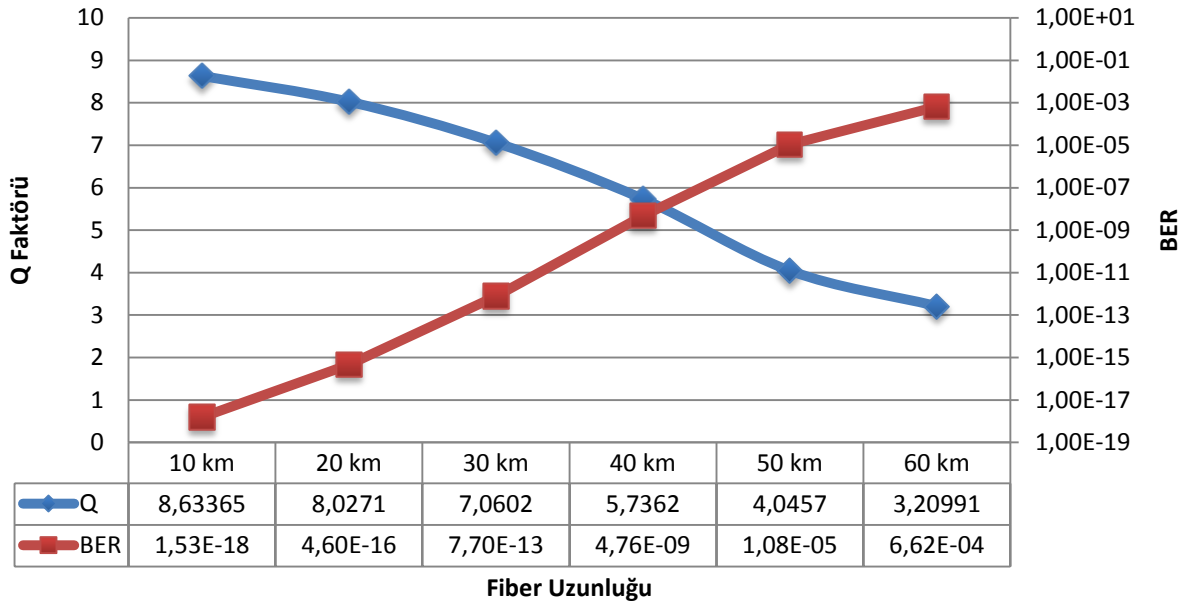
Şekil 4.a ve 4.b'de kanal 1 ve 2 için göz diyagramı (eye diagram) gösterilmiştir. Ancak kanal 3 kapalı konumda olduğu için BER analizinde göz diyagramı elde edilememiştir.

Uzunluk arttıkça BER diyagramında bozulmanın başladığı ve kalite faktörü olan Q değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Çok uzun mesafelerde planlanan veri iletiminin başarısız olma olasılığının arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 5'te farklı uzunluktaki fiberler için BER analizi tekrarlanarak sadece kanal 1 için analiz yapılmıştır.



Şekil 5. Farklı fiber uzunlukları için kanal 1'in göz diyagramları (a) 20 km, (b) 40 km, (c) 60 km (Eye diagrams of the channel 1 for different fiber lengths (a) 20 km, (b) 40 km, (c) 60 km)

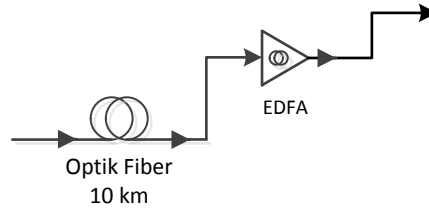


Şekil 6. Optik fiber uzunluğuna göre Q-BER değişimi (Q- BER difference according to the optical fiber length)

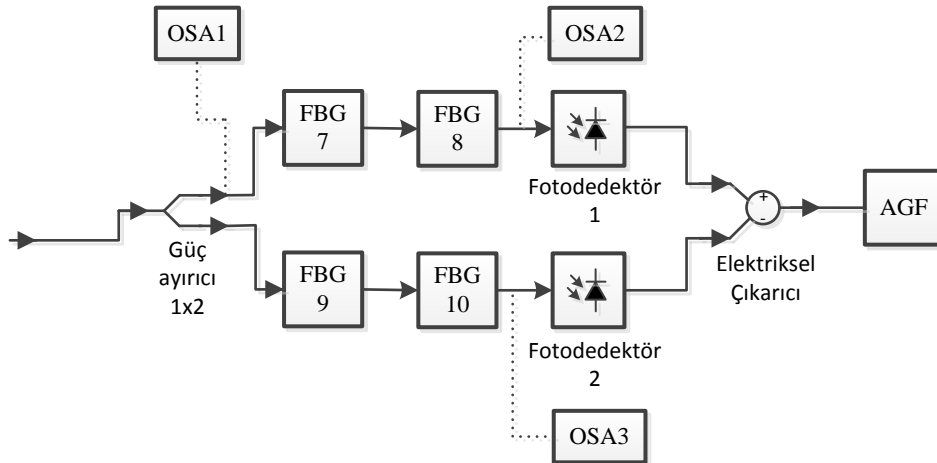
Şekil 6'da fiber uzunluğu 10 km ile 60 km arasında değiştirilerek BER ve Q değerleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5'teki BER diyagramlarıyla elde edilen sonuçlar ile paralel çıkmakta ve mesafe arttıkça verim azalmaktadır. Q faktöründe görülen bu düşüşün nedeni mesafe arttıkça kullanıcıya giden gücün düşmesiyle orantılıdır. BER diyagramlarından elde edilen Q faktörü değerleri incelendiğinde, fiber uzunluğun 100 km olduğunda haberleşmenin gerçekleşmediği sonucuna

varılır. Q faktörü 0 olduğunda, minimum hata oranı olan BER oranının 1 olduğu anlamına gelir.

İletişim hattı boyunca zayıflayan sinyalin güçlendirilmesi için optik yükselteçler kullanılmaktadır. Aynı referans sistem için düzenleme yapılarak optik fiber sonuna EDFA eklenmiş ve BER analizi yapılmıştır. EDFA'lar yüksek kazanç, düşük gürültü ve yüksek bant genişliklerine sahiptirler, minimum zayıflamayla verimli çalışmaktadırlar [12].



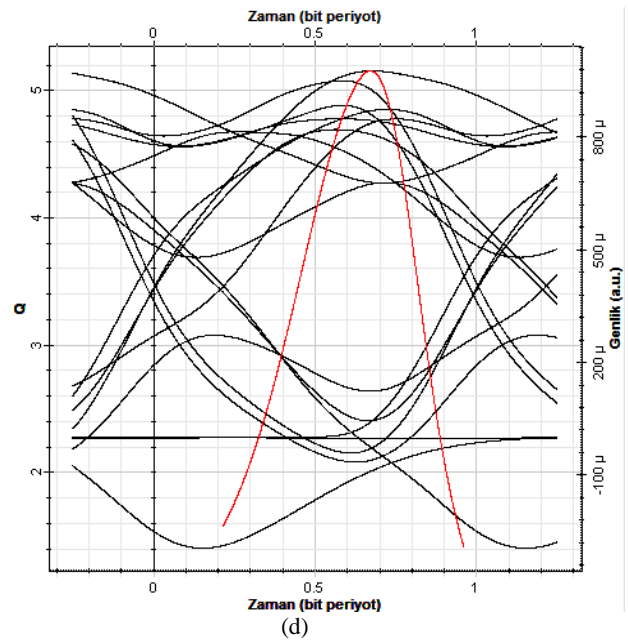
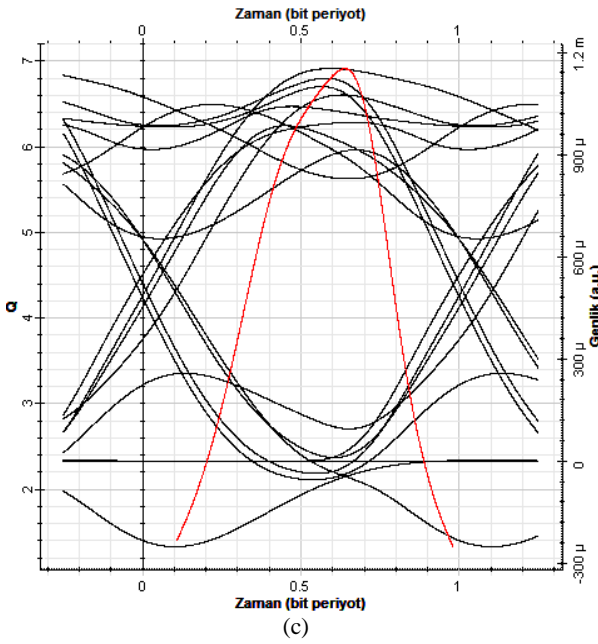
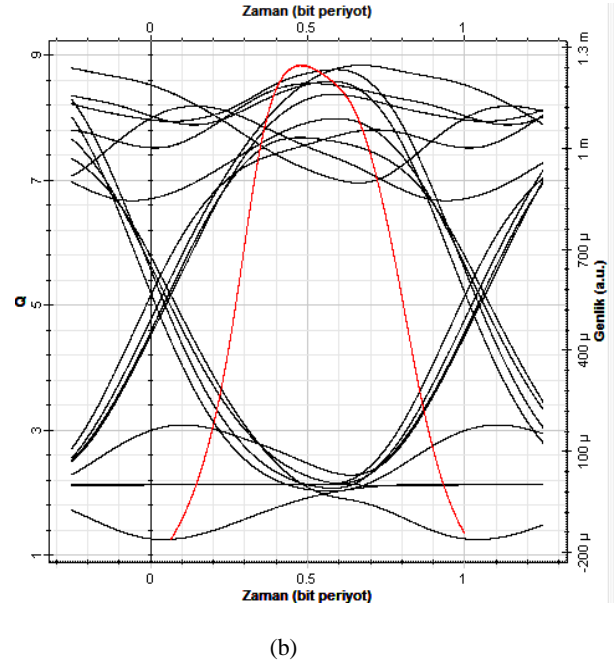
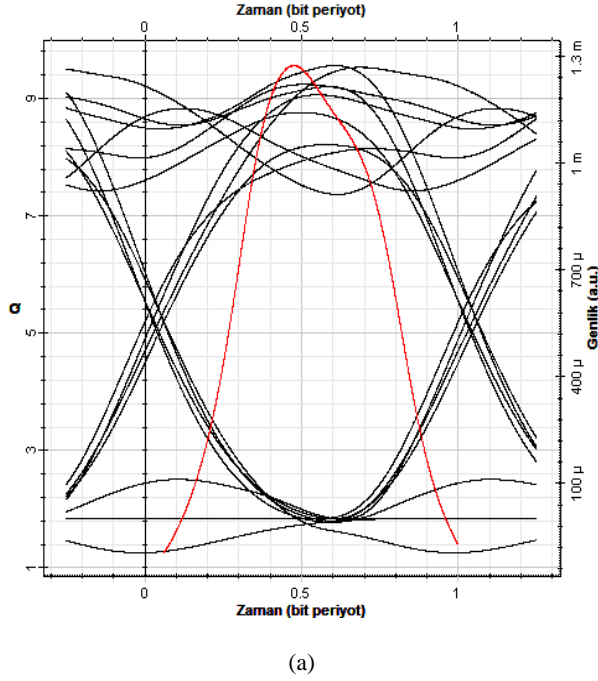
Şekil 7. EDFA eklenmiş yeni referans sistem (The new reference system with EDFA)



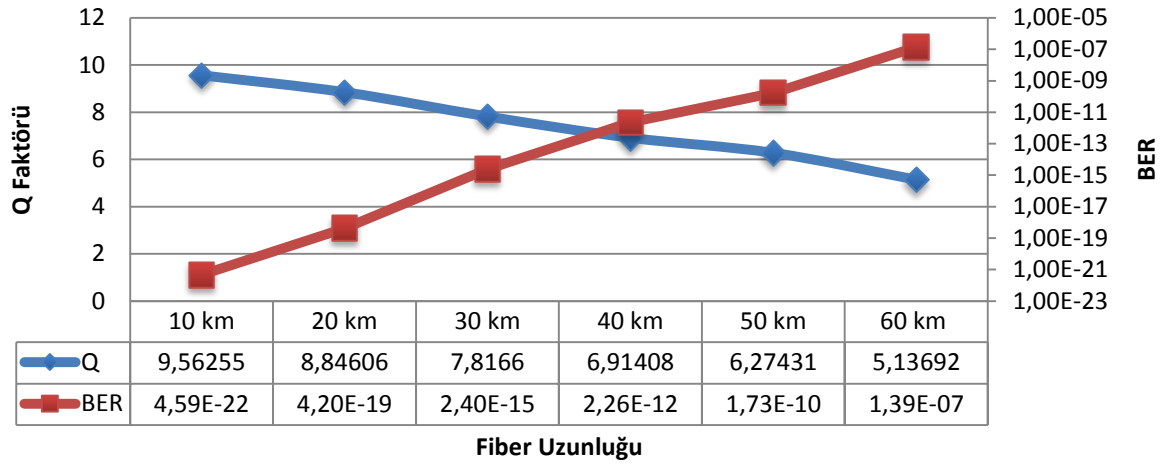
Şekil 8. Kanal 1 verici sistemi (Transmitter system for Channel 1)

Kanal 1 için EDFA kullanılarak farklı optik fiber uzunluklarıyla analiz tekrarlanmıştır. Simülasyonlar SAC

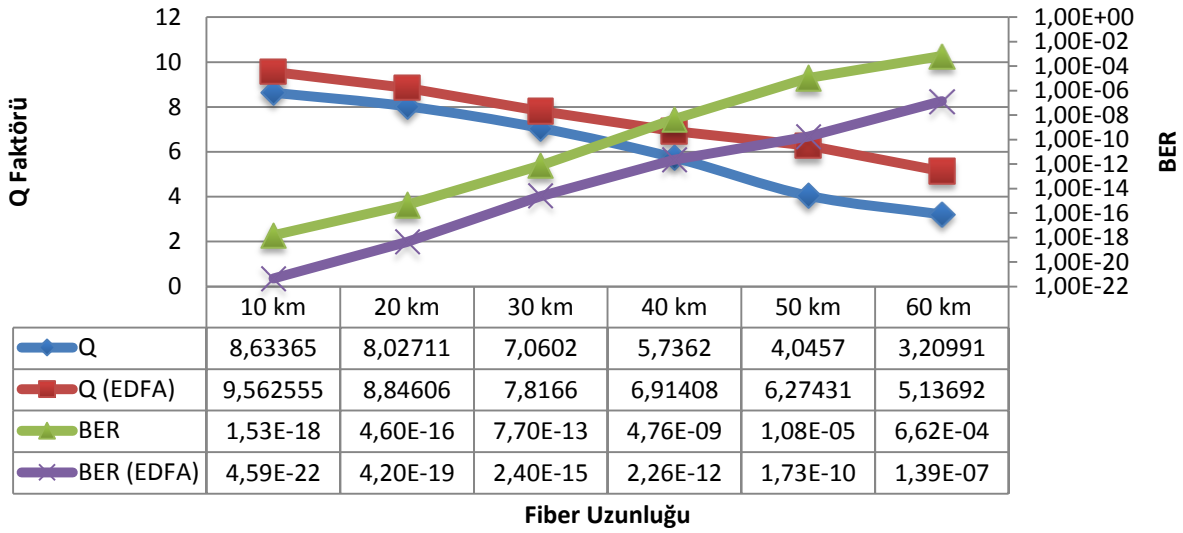
OCDMA merkezli EDFA etkilerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Analiz verileri Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 9. Farklı uzunluktaki hatlarda Kanal 1 için EDFA'lı göz diyagramları (a) 10 km, (b) 20 km, (c) 40 km, (d) 60 km
(Eye diagrams for Channel 1 in different lengths with EDFA (a) 10 km, (b) 20 km, (c) 40 km, (d) 60 km)



Şekil 10. EDFA'lı sistemde optik fiber uzunluğuna göre Q-BER değişimi (Q- BER difference according to the optical fiber length with EDFA)



Şekil 11. EDFA eklenmiş ve EDFA eklenmemiş sistemde optik fiber uzunluğuna göre Q-BER değişimi (Q- BER difference according to the optical fiber length with/without EDFA)

Şekil 10'da fiber uzunluğu 10 km ile 60 km arasında değiştirilerek BER ve Q değerleri incelenmiştir. Şekil 10'da verilen grafik verileri Şekil 9'da elde edilen göz diyagramları ile paralel sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Şekil 11' de ise EDFA'lı sistem ile EDFA eklenmemiş sistem değerleri karşılaştırılmalı sunulmuştur.

5. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada, OCDMA tekniği kullanarak referans FTTH ağ sistemi tasarlanmış ve bu sistemin performans analizi yapılmıştır. Referans sisteme EDFA eklenerek OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile BER performans sonuçları karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Üç kanalla oluşturulan sistemde, kanal 1 ve 2 açık konumda kanal 3 ise kapalı durumdadır. Öncelikle kanallar için verici ve alıcı kısımlarında bulunan optik analizör ile giriş ve çıkış

güçleri gözlemlenmiştir. FBG ile süzülen frekansların çıkış kısmında bulunmadığı gözlemlenmiştir. Kanallar için yapılan BER analiz sonuçlarına göre açık konumda olan 1 ve 2 kanalları ve kapalı konumdaki 3 kanalı için BER analizi yapılmıştır.

Sistem analizinin diğer kısmında ise sadece kanal 1 için optik fiber uzunluklarına bağlı olarak BER analizi yapılmıştır. Optik fiber uzunluğu arttıkça sistemin performansının azaldığı gözlemlenmiş, BER değeri artarken Q faktör değerinde azalma olmuştur. Yine kanal 1 için yükselteç ilavesi yapılarak optik fiber uzunlukları değiştirilerek analizler tekrarlanmıştır. Sisteme eklenen EDFA'nın sistemin BER ve Q faktör değerlerine olumlu etki yaparak BER değeri azalırken Q faktör değerinde artış gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] P. W. Shumate, "Fiber-to-the-Home", 1977–2007, *Journal Of Lightwave Technology*, VOL. 26, NO. 9, 2008.
- [2] G. C. Yang, "Variable-weight optical orthogonal codes for CDMA networks with multiple performance requirements", *IEEE Trans. Commun.* 44 (1), 47–55, 1996.
- [3] Z. Jiang, D. S. Seo, S. D. Yang, D. E. Leaird, R. V. Roussev, C. Langrock, M. M. Fejer, and A. M. Weiner, "Four-User, 2.5-Gb/s, spectrally coded OCDMA system demonstration using low-power nonlinear processing," *J. Lightwave Technol.* 23 (1), 143–158, 2005.
- [4] B. Huiszoon, L. M. Augustin, E. A. Bente, H. Waardt, G. D. Khoe, M. K. Smit, and A. M. Koonen, "Integrated Mach-Zehnder-based spectral amplitude OCDMA on a passive optical network," *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* 13 (5), 1487–1496, 2007.
- [5] M. M. Hamarsheh, H. M. Shalaby, and M. K. Abdullah, "Design and analysis of a dynamic code division multiple access communication system based on tunable optical filter", *J. Lightwave Technol.* 23 (12), 3959–3965, 2005.
- [6] S. Ahmad Anas, M. Abdullah, M. Mokhtar, S. Aljunid, S. Walker, "Optical domain service differentiation using spectral-amplitude-coding", *Optical Fiber Technol.* 15 (1), 26–32, 2009.
- [7] G. Pekkuçuk, İ. Uzar, **Optik Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan Optik Devre Elemanlarının Analizi ve Uygulamaları**, Haberleşme Devre Tasarımı Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik – Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2014.
- [8] K. Nakanishi, **Standardization of Broadband Optical Access Network**, NTT Access Network Service Systems Laboratories, 2007.
- [9] S. Nilsson-Gistoik "Optical fiber theory for communication networks", *Ericsson Networks Technologies*, AB, 2002.
- [10] G. Kramer, B. Mukherjee, G. Pesvento, "Ethernet PON (EPON): Design and Analysis of an Optical Access Network", *Photonic Network Communications*, 307-319, 2001.
- [11] İnternet: Türk Telekom Akademi Dökümanı, <http://www.turktelekomakademi.com.tr>, 2013.
- [12] M. Yücel, **Kazancı Düzleştirilmiş Geniş Bantlı Fiber Yükselteçlerin Tasarımı**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, 2008.