

Pasif Optik Ağların Analizi ve Uygulamaları

Analysis and Applications of the Passive Optical Networks

Gizem Pekküçük, N. Özlem Ünverdi

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Yıldız Teknik Üniversitesi

gizem.pekkucuk@gmail.com, unverdi@yildiz.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, pasif optik ağların yapısı ve çeşitleri araştırılmış, FTTx kavramı açıklanmış ve pasif optik ağlarda en sık kullanılan çoklu erişim yöntemleri olan TDMA (Time Division Multiple Access, Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) ve WDMA (Wavelength Division Multiple Access, Dalgaboyu Bölmeli Çoklu Erişim) işlenmiştir. Teoride elde edilen bilgiler doğrultusunda OptiSystem 7.0 simülasyon programı üzerinde pasif optik ağ uygulaması yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu uygulama üzerinde fiber optik kablounun uzunluğunun ve kullanıcı sayısının artmasının sisteme etkileri incelenmiş ve ardından sistemdeki kuvvetlendirici kazancının artırılmasının geleceğe yönelik bir çözüm oluşturabileceği belirlenmiştir.

Abstract

In this thesis study, structure and types of passive optical networks have been investigated, FTTx concept and the most commonly used multiple access methods in passive optical networks such as TDMA, Time Division Multiple Access, and WDMA, Wavelength Division Multiple Access, have been explained. A passive optical network application have been designed on the OptiSystem 7.0 simulation software based on the information obtained from the theory. In this application, increased fiber optical cable length and number of end users effects on the system were examined. Finally, it was found that increased gain of the amplifiers in the system can be a solution in the future.

1. Giriş

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte kullanılan elektronik cihazların sayısı büyük ölçüde artış göstermiş, bu artışla birlikte cihazlara erişim ve kontrol kolaylığı artışına ihtiyaç duyulmuştur. Hızlılık, verimlilik ve daha çok kullanıcıya hitap etme yönünden optik fiberler, günümüz haberleşme sistemleri ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik büyük önem taşımaktadır. Optik fiberler ile oluşturulan optik ağ yapıları, haberleşmede kurulan geleneksel yöntemlere diğer bir deyişle bakır kablo ile yapılan iletişime karşın geniş band, verimlilik gibi birçok açıdan üstünlük sağlamıştır. Optik ağların son kullanıcıya kadar enerji gereksinimi olmadan taşınabildiği pasif optik ağlar günümüzde fiber optik haberleşmede önemli yer edinmiş ve halen üzerinde birçok

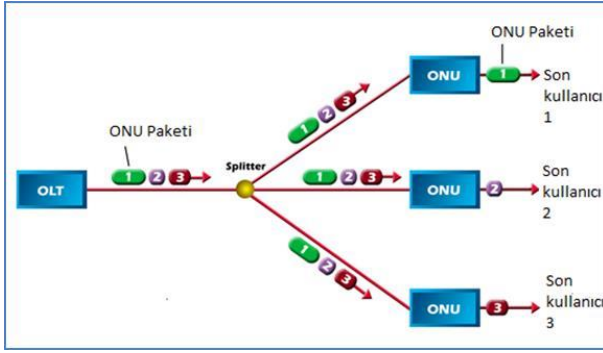
araştırma yapılmaya devam edilen bir teknoloji olarak literatürde yerini almıştır [1, 2].

2. Pasif Optik Ağlar

Günümüzde haberleşme ağlarında veri iletişiminin yanında, ses ve video trafiğinin taşınması ve yepyeni uygulamaların hayatımıza girmesiyle birlikte internet omurgasında yüksek band genişliğine ihtiyaç duyulmuştur. Bu yüksek kapasite ihtiyacını her geçen gün gelişen fiber teknolojisi karşılamaktadır. Optik haberleşme sistemleri, artan kapasite ihtiyacına yanıt verebildiği için son kullanıcıya kadar erişim amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Gelecekteki sistemlerin, fiberin doğrudan son kullanıcıya ulaştığı sistemler olması öngörülmektedir. Son kullanıcıya ulaşmayı sağlayan ve pasif elemanlarla oluşturulan sistemlere *pasif optik ağlar* adı verilmiştir. Pasif optik ağlar, bu özellikleri nedeniyle geleceğe yönelik en büyük yatırımlar arasında yer almaktadır [3, 4].

Tipik bir pasif optik ağ yapısı, OLT (Optical Line Termination, Optik Hat Sonlandırıcı), ONT (Optical Network Terminal, Optik Ağ Terminali), ONU (Optical Network Unit, Optik Ağ Ünitesi), OLT ve ONU blokları arasında bilgi akışının bölünmesini gerçekleştiren ve birleştiren Power Splitter (Güç Bölücü veya Optik Ayraç) ve bu cihazları birbirine bağlayan fiber optik kablolardan meydana gelir [3]. Sistemde, OLT biriminden çıkan bilgi, optik ayraç sayesinde tüm ONU bloklarına dağılarak iletişim gerçekleştirilir. Bilgi akışı sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli şey, ONU bloklarının, kendilerine ait olmayan bilgileri almamalarının sağlanmasıdır. Bunun dışında tüm ONU bloklarından gelen bilgi, optik ayraçtan geçtikten sonra tek bir fiber kablo ile OLT bloğuna iletileceği için bilgilerin bu yönde de çakışmayacak olmasını sağlamak yine en önemli noktalardan biridir [2, 5]. Şekil 1’de pasif optik ağ yapısı görülmektedir.

Bu çalışmada, OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile pasif optik ağ hazırlanmış ve tasarlanan bu sistem üzerinde mesafenin, kullanıcı sayısının ve kuvvetlendirici kazancının sisteme etkileri incelenmiştir. Bu analizlerin yapılması ve kurulan sistem üzerindeki verimin değerlendirilmesi sırasında BER (Bit Error Ratio, Bit Hata Oranı) analizörü kullanılmıştır. BER analizörü ile sistemin Eye Diagram (Göz Diyagramı veya BER modeli) incelenmiş ve bu modelin parametrelerine bağlı yorumlar yapılmıştır.

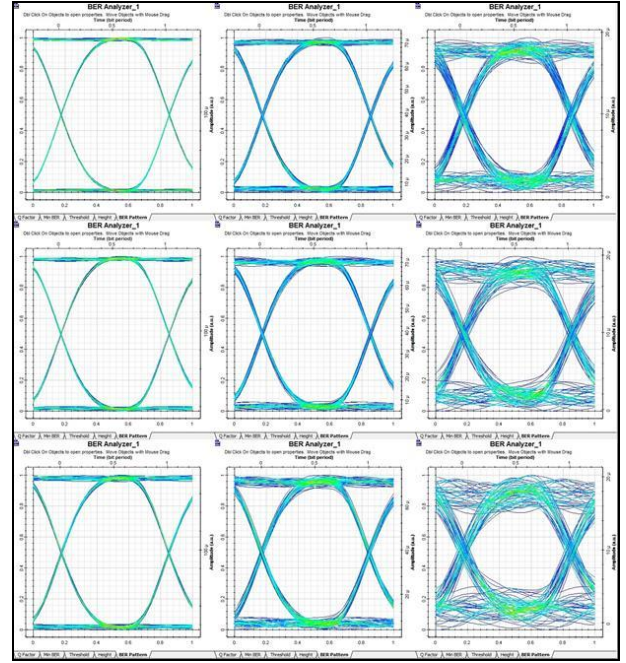


Şekil 1: Pasif optik ağ yapısı [3].

OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile gerçekleştirilen GPON (Gigabit Passive Optical Network, Gigabit Pasif Optik Ağ) tasarımı, Şekil 2’de görüldüğü gibi olmakla birlikte, veri hızı 1.2 Gbit/s, aşağı yönde dalgaboyu 1490 nm, yukarı yönde dalgaboyu 1310 nm, aşağı yönde ve yukarı yönde gücü ise 3 dBm olarak belirlenmiştir. Uygulama, optik verici, 5 dB kazançlı EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier, Erbium Katkılı Fiber Kuvvetlendirici) optik kuvvetlendirici, optik sirkülör, optik fiber, Butterworth optik filtre, 1:16 optik ayraç ve ONU (Optical Network Unit, Optik Ağ Birimi) bloklarından oluşmaktadır. Uygulamada mesafenin, diğer bir ifadeyle optik fiber uzunluğunun, kullanıcı sayısının ve kuvvetlendirici kazancının değişiminin GPON’a etkileri ölçülmüştür.

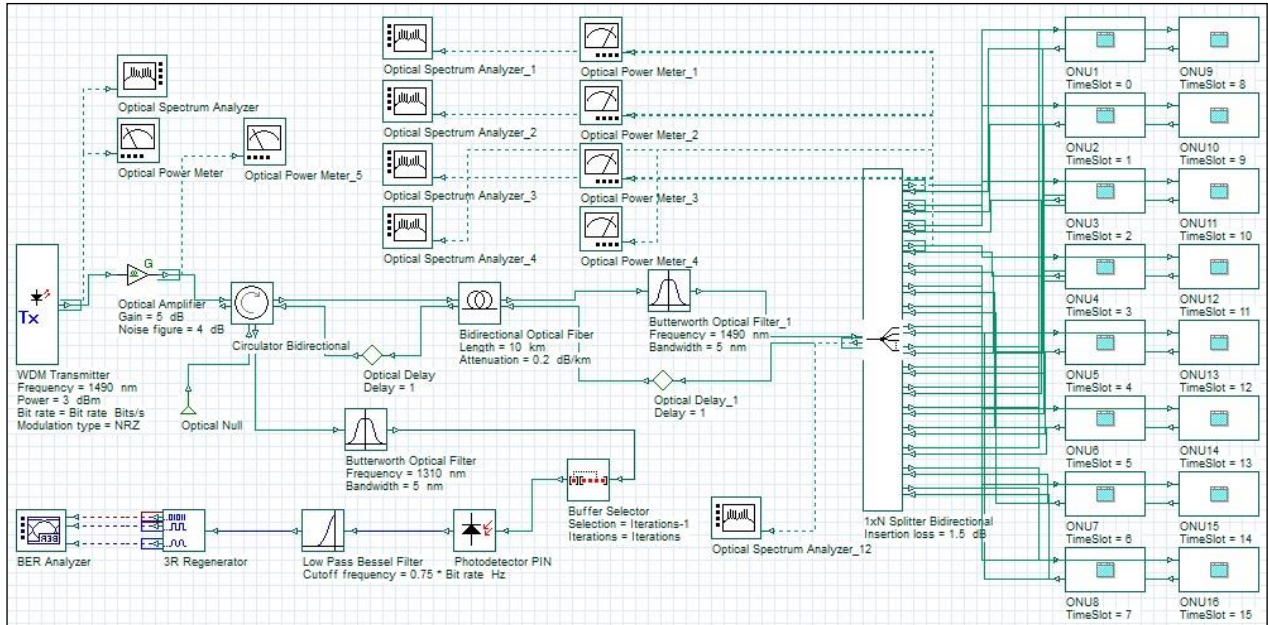
2.1. Mesafenin GPON’a Etkileri

10, 30 ve 60 kilometre mesafelerindeki üç farklı fiber optik

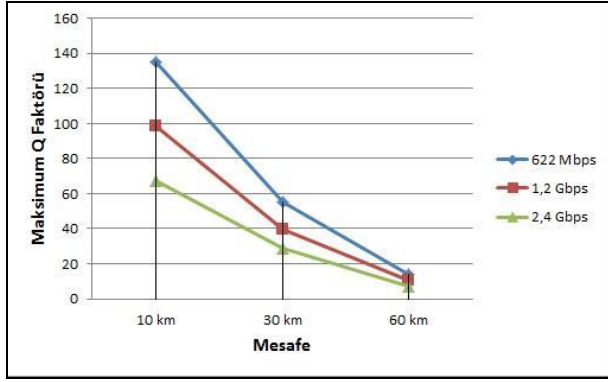


Şekil 3: Soldan sağa 10, 30 ve 60 kilometre mesafelerinde ve yukarıdan aşağıya 622 Mbit/s, 1.2 Gbit/s ve 2.4 Gbit/s bit hızlarına bağlı BER diyagramları.

kablo ile 622 Mbit/s, 1.2 Gbit/s ve 2.4 Gbit/s bit hızlarına bağlı elde edilmiş BER diyagramı sonuçları Şekil 3’te ve bu diyagrama bağlı Q faktörü (kalite faktörü) değişimleri Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 2: 1.2 Gbit/s 16 ONU ile gerçekleştirilmiş GPON tasarımı.



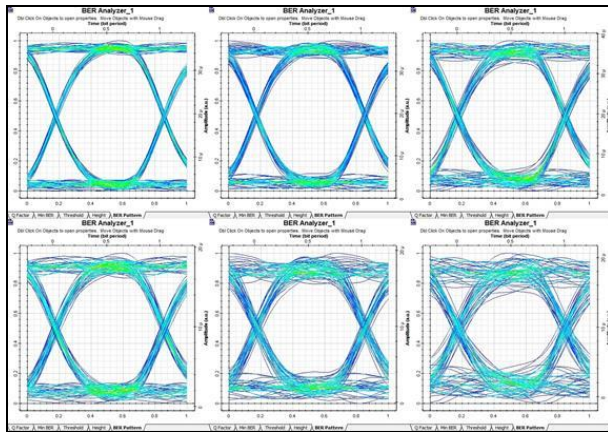
Şekil 4: Mesafeye ve bit hızına bağlı Q faktörü değişimleri.

Şekil 4'ten elde edilen sonuçlar, Şekil 3'deki BER diyagramlarından elde edilen sonuçlar ile paralel çıkmakta ve mesafe arttıkça sistemin veriminin düşüş gösterdiğini ifade etmektedir. Ek olarak, Q faktörü üzerinde meydana gelen bu düşüşün, mesafe arttıkça her bir kullanıcıya giden koldaki gücün düşmesi ile orantılı olduğu yapılan güç ölçümleriyle desteklenmiştir.

2.2. Kullanıcı Sayısının GPON'a Etkileri

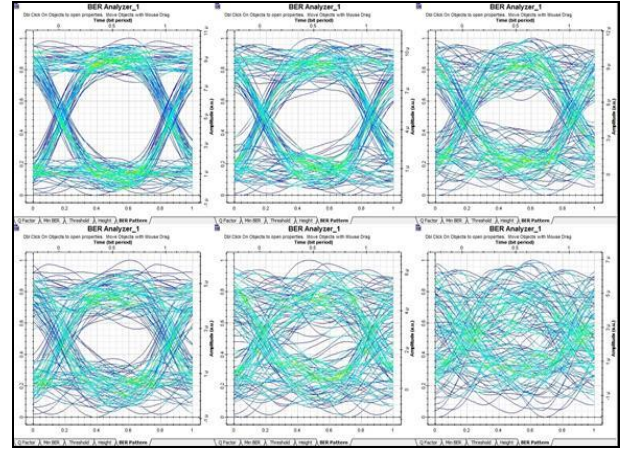
Bu bölümde, OptiSystem 7.0 üzerinden tasarlanan 16 kullanıcı 1.2 Gbit/s GPON üzerinde kullanıcı sayısı artırılmış, farklı kullanıcı sayılarındaki yeni sistemlerin 622 Mbit/s, 1.2 Gbit/s ve 2.4 Gbit/s bit hızlarına bağlı Q faktörleri incelenmiştir.

10 kilometre mesafe için 32 ve 64 kullanıcı yapı Şekil 5'te ve 30 kilometre mesafe için 32 ve 64 kullanıcı yapı ise Şekil 6'da görülmektedir. Bu yapıların BER diyagramlarına bağlı Q faktörü değişimleri ise Şekil 7'de verilmiştir.

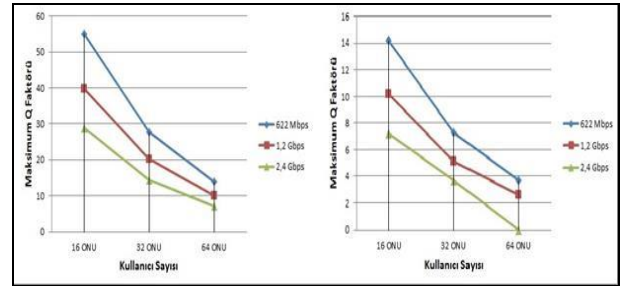


Şekil 5: 32 (üst hat) ve 64 (alt hat) kullanıcı, soldan sağa 622 Mbit/s, 1.2 Gbit/s ve 2.4 Gbit/s GPON BER analizleri (30 km).

Şekil 7'de görülen, fiber optik kablo hangi uzunlukta olursa olsun (30 kilometre veya 60 kilometre), sistem hangi bit



Şekil 6: 32 (üst hat) ve 64 (alt hat) kullanıcı, soldan sağa 622 Mbit/s, 1.2 Gbit/s ve 2.4 Gbit/s GPON BER analizleri (60 km).



Şekil 7: Kullanıcı sayısına ve bit hızına bağlı Q faktörü değişimleri (Soldan sağa 30 km ve 60 km).

hızında çalışıyor olursa olsun (622 Mbit/s, 1.2 Gbit/s veya 2.4 Gbit/s), kullanıcı sayısının artmasının sistem verimi üzerine etkisinin olumsuz olduğu yönündedir. Burada ek olarak, BER diyagramlarından elde edilen Q faktörü sayısal verileri incelendiğinde, fiber optik kablunun 60 kilometre uzunluğunda kullanıldığı 2.4 Gbit/s hızında 64 kullanıcı ile kurulan haberleşmenin gerçekleşmediği sonucuna varılır. Bunun sebebi, elde edilen Q faktörü değerinin "0" olmasından kaynaklanmaktadır. Q faktörünün "0" olması, minimum hata oranının (BER değerinin) "1" olduğu anlamına gelir ve bu teorik olarak gönderilen verinin kullanıcıya ulaşmadığını ifade eder. Ayrıca, tıpkı mesafenin GPON'a etkilerinde elde edildiği gibi, kullanıcı sayısının artma durumunda da Q faktörü üzerinde meydana gelen bu düşüşün, her bir kullanıcıya giden koldaki gücün düşmesi ile orantılı olduğu yapılan güç ölçümleriyle desteklenmiştir.

2.3. Kuvvetlendirici Kazancının GPON'a Etkileri

Kuvvetlendiriciler, iletişim hattı boyunca zayıflayan sinyalin güçlendirilmesi için optik haberleşme sistemlerinde oldukça sık kullanılan elemanlardır. Optik fiberdeki zayıflama ve saçılma problemleri, uzun mesafe optik iletişimin gerçekleşmesini önemli oranda sınırlamaktadır. Optik kuvvetlendiriciler, yüksek kazanç, düşük gürültü, yüksek band genişliği ve büyük çıkış gücü karakteristikleri ile zayıflama problemini aşılmasında önemli katkı sağlamaktadırlar. Optik

kuvvetlendiricilerde, optik sinyal, elektriksel sinyale dönüştürülmeden doğrudan optik olarak yükseltilmektedir. Bu sayede sistem hem daha ucuza mal edilmekte hem de basitleşmektedir [6].

Bir optik kuvvetlendiricinin kazancı, çıkış sinyal gücünün giriş sinyal gücüne oranı olarak belirlenir. Kazanç, fiberden kaynaklanan gürültü ve optik gürültü göz önünde bulundurulduğunda,

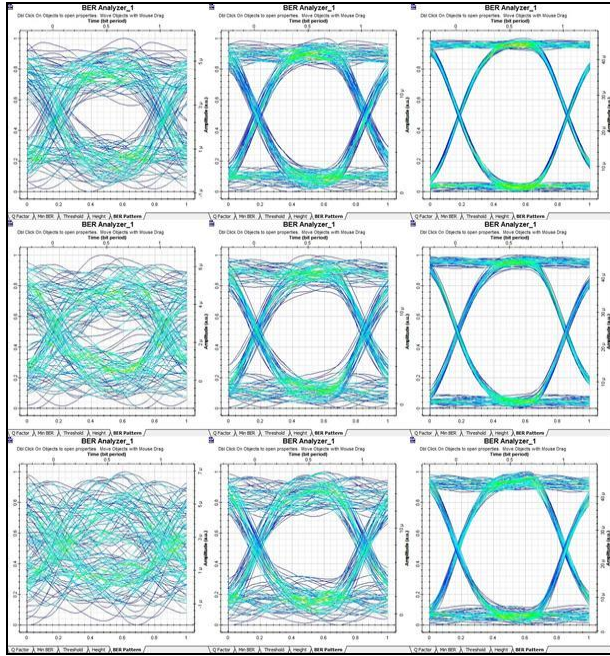
$$G (dB) = 10 \log_{10} [(P_{\text{çıkış}} - P_{\text{gürültü}}) / P_{\text{giriş}}] \quad (1)$$

eşitliği ile belirlenir.

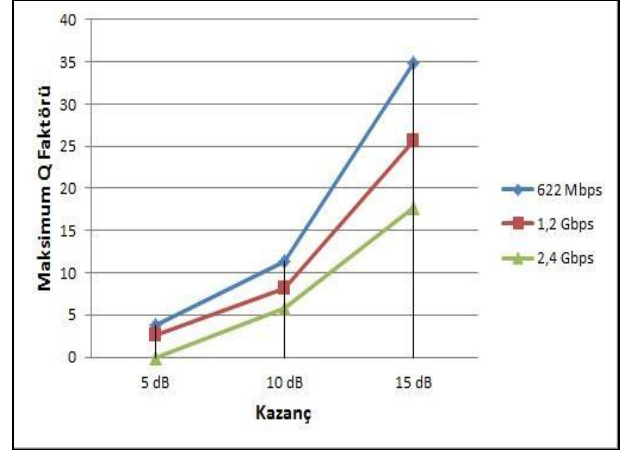
2.2 Bölümü'nde, kullanıcı sayısının GPON'a etkileri incelenirken, 64 kullanıcı ile oluşturulmuş GPON'un 60 kilometre mesafedeki veri iletimlerinin oldukça düşük seviyelerde gerçekleştiği, hatta 2.4 Gbit/s hızında veri iletiminin gerçekleşmediği sonucuna varılmıştır.

Bu bölümde, haberleşmenin oldukça düşük seviyelerde gerçekleştiği bu sistemdeki optik kuvvetlendiricinin kazanç değeri, sırayla 10 ve 15 dB'ye yükseltilerek veri iletimi iyileştirilmeye çalışılmış, kazançtaki bu değişiklik 622 Mbit/s, 1.2 Gbit/s ve 2.4 Gbit/s hızlarına bağlı olarak incelenmiştir.

64 kullanıcı 60 kilometrelik GPON'da kuvvetlendirici kazancının sırasıyla 5 dB'den 15 dB'ye artırılması doğrultusunda her bit hızı için elde edilen BER diyagramları Şekil 8'de, bu diyagramlara bağlı olarak Q faktöründe gerçekleşen değişim ise Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8: Soldan sağa 5 dB, 10 dB ve 15 dB kazançlı optik kuvvetlendirici ile yukarıdan aşağıya 622 Mbit/s, 1.2 Gbit/s ve 2.4 Gbit/s hızlarındaki sistemin BER analizleri (64 kullanıcı, 60 km).



Şekil 9: Kuvvetlendirici kazancına ve bit hızına bağlı Q faktörü değişimi grafiği (64 kullanıcı, 60 km).

Şekil 9'da görülen grafiğin, Şekil 8'den elde edilen diyagramlar ile paralel sonuçlar verdiği ve optik kuvvetlendirici kazancının artmasının, her bit hızında sistemin Q faktörüne olumlu yansarak bu değeri yükselttiği belirlenmiştir. Kuvvetlendirici kazancının, $P_{\text{giriş}}$ ve $P_{\text{çıkış}}$ parametrelerine bağlı olduğu bilinmektedir. Yapılan güç ölçümleri sonrasında, tıpkı diğer bölümlerde görüldüğü gibi, Q faktörü üzerindeki değişimin, her kola düşen güç miktarı ile orantılı olarak değiştiği sonucuna varılmıştır.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, GPON ile ilgili OptiSystem 7.0 simülasyon programı üzerinden 1.2 Gbit/s hızında 16 kullanıcı bir tasarım gerçekleştirilmiş ve bu tasarım ile ilgili çeşitli parametreler değiştirilerek sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda aşağıda yer alan sonuçlar elde edilmiştir:

Tasarlanan GPON'da kullanılan optik fiber kablonun uzunluğu 10 kilometreden sırasıyla 30 ve 60 kilometreye doğru arttıkça BER diyagramlarında saçaklanmaların başladığı, diyagram verimi olan Q faktörün azaldığı ve bu doğrultuda sistem veriminin diğer bir deyişle veri iletim yeteneğinin düşüş gösterdiği gözlenmiştir. Bu sonuçların, her kullanıcıya aktarılan güç ile doğru orantılı olduğu yapılan güç ölçümleri ile desteklenmiştir.

Kullanılan optik fiber kablo mesafesinin artırılması sonuçları ile paralel olarak, sistemde var olan kullanıcı sayısının artmasının da her bit hızında sistemi olumsuz etkilediği belirlenmiş, çok uzun mesafelerde çok fazla kullanıcı ile yapılması planlanan veri iletiminin başarısız olma riskinin oldukça yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bu doğrultuda, düzenlenen GPON'da veri iletimi gerçekleştirebilmek için maksimum kullanıcı sayısının 64 olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçların, yine tıpkı optik fiber kablo uzunluğunun sisteme etkilerinde olduğu gibi her kullanıcıya aktarılan güç ile doğru orantılı bir bağ içinde olduğu gözlenmiştir.

Elde edilen olumsuz etkilerin ardından, veri iletiminin sağlanamadığı 64 kullanıcı 60 kilometre uzunluğundaki GPON üzerinde verimin artmasına yardımcı olmak için kuvvetlendirici kazancı, 5 dB'den sırasıyla 10 ve 15 dB'ye yükseltilmiş, kazancın artırılması ile kuvvetlendirici çıkışındaki güç analizleri yapılmış ve çıkış gücünün kuvvetlendirici kazancı ile aynı oranda arttığı belirlenmiştir. Çıkış gücünün artmasının, her kullanıcıya aktarılan güçü artırması sebebi ile sistemdeki veri akışına olumlu etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuç, her bit hızı ve her kazanç değeri için BER diyagramları üzerinden teker teker incelenmiş ve paralel sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada, teoride incelenen GPON yapısı ile pratikte tasarımı yapılan GPON'ların maksimum mesafe ve maksimum kullanıcı sayıları açısından benzer sonuçlar gösterdiği belirlenmiş, teori, simülasyon çalışması ile desteklenmiş, bu sonuçları ve GPON'ları geliştirmeye yönelik kuvvetlendirici kullanımının mümkün olabileceği gösterilmiştir.

4. Kaynaklar

- [1] Pekküçük, G., *Pasif Optik Ağların Analizi ve Uygulamaları*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Lisans Tezi, İstanbul, 2014.
- [2] Turna, Ö. C., Aydın, M. A. ve Zaim, A. H., “Pasif Optik Erişim Ağlarının Gelişimi”, *11. Akademik Bilişim (AB'09)*, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 11-13 Şubat 2009.
- [3] Vacca, J. R., *Optical Networking Best Practices Handbook*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2007.
- [4] Güre, Ö., *Pasif Optik Ağlar ve Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [5] Azadeh, M., *Fiber Optics Engineering*, Springer Science, Chatsworth, 2009.
- [6] Küçükarslan, T., *Erbium ve İterbiyum Katkılı Optik Fiber Kuvvetlendiricilerin Kazanç Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.