

## FİBER OPTİK İLETİŞİMİNE GENEL BİR BAKIŞ

**Ayhan ALPMAN (Aselsan)**  
**Hümi GÜVEN (ODTÜ)**

Birbirinden uzakta bulunan iki nokta arasında bir iletişim dizgesi kurabilmek, eski çağlardan beri insanoğlunun ilgisini çekmiştir. Böyle bir iletişim dizgesinin akış şeması aşağıda görülmektedir.

Sistemdeki her birimin işlevini kısaca şöyle özetleyebiliriz:

### **Haber Kaynağı: Vericiye girecek bilgiyi sağlar.**

**Verici.**- Haber kaynağından gelen bilgiyi iletim kanalının özelliklerine uygun bir şekle getirir ve kanala gönderir.

**İletişim Kanalı:** Alıcı ile verici arasında köprü görevi yapan ortamdır. İletim dalga kılavuzu, telli iletim hattı gibi kılavuzlandırılmış kanallarda veya uzay, atmosfer gibi ortamlarda olur.

**Alıcı :** Vericiden gelen zayıflamış ve bozulmuş işareti elde eder (zayıflama ve bozunum hatlardaki ısı kaybından, gürültüden veya optik gücün dağılması ve atmosferde ışık moleküllerinin soğrulması gibi etkenlerden kaynaklanır) bu işareti düzeltir kullanılacak hale getirir.

**Dinleyici:** Haberin ulaştırılmak istendiği hedeftir.

### **İLETİŞİM DİZGELERİNİN YAPISI**

Şimdiye kadar değişik yapıda birçok iletişim dizgesi yapılmıştır ve hepsinin amacı, iletişimin doğruluğunu, güvenilirliğini daha fazla bilgi göndermek için veri hızını veya tekrarlayıcılar kullanarak iletişim uzaklığını arttırmak olmuştur. 19. yüzyıldan önce tüm iletişim dizgelerinin veri hızı çok düşüktü, iletişim optik ve akustik anlamda işaret lambası ve boru kullanarak yapılıyordu.

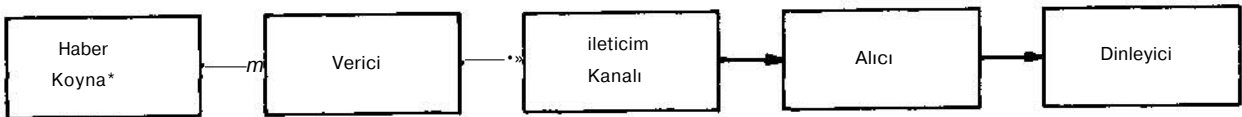
M.ö. 8 inci yüzyılda bilinen ilk iletişim sistemi, Yunanlıların alarm vermek, yardım çağırmak veya bir olayı bildirmek için ateşi kullanımlarıyla kurulmuştur. Bu sistemde alıcı ile verici arasında önceden kararlaştırılan yalnızca bir işaret gönderilebiliyordu. M.ö. 4 üncü yüzyılda iletim yapılacak yerler arasındaki uzaklık tekrarlayıcı birimleri kullanılarak arttırıldı. M.ö. 150 yıllarında optik işaretler abece'ye bağlı kodlanarak her türlü bilgi-

nin uzaklara iletiminin yapılması olanağı hale getirildi. Fakat bu dizge o günün teknolojik yetersizlikleri nedeniyle geliştirilemedi. Teknolojik yetersizliklere örnek olarak; sis, yağmur gibi çevre koşullarının iletişim güvenilirliğini azaltması, iletim hızının alıcı görevini gözün yapmasından dolayı sınırlı olması, alıcı ve vericinin birbirini görecek şekilde yerleştirilmelerini gösterebiliriz, işte bu yüzden karayolu ağını kullanarak bir kurye kullanmak daha verimli ve güvenilirirdi.

1938'de Samuel F. Morsun telgrafı bulması iletişimde yeni bir çığır açmıştı ve ilk telgraf hattı 1944'de kuruldu. Bunu izleyen yıllarda ise bütün dünyada birçok telgraf şebekeleri kuruldu. Telli hatlar kullanarak yapılan iletişim en gelişmiş halini Amerika ile Avrupa arasında telefon bağlantısı kurulmasıyla aldı. 1887'de Heinrich Hertz'in uzun dalga elektromanyetik yayını kullanarak iletişim olabileceğini ortaya koymasına kadar telli hatlar iletişimde kullanılan tek ortam olmuştur. Hertz'in düşüncesi 1895'de Guglielmo Markoni'nin yaptığı radyo gösterisi ile uygulamaya konulmuştur.

Sonraki yıllarda elektromanyetik yörüngenin daha büyük bir kısmı bilgi iletişimde kullanılmaya başlandı. Çünkü elektriksel iletişim dizgelerinde veri genellikle bilgi işaretinin, taşıyıcı denilen sinüs şeklinde değişen elektromanyetik dalgayı modüle etmesiyle; yani bilgi işareti görüngeninin daha yüksek bir frekansa taşınması, daha sonra modüle edilmiş elektromanyetik dalganın kanala verilmesiyle gönderilir.

Gönderilmek istenen bilgi işareti alıcıda taşıyıcı dalgadan gerekli düzeltmeler yapılarak elde edilir, iletilecek bilgi miktarı taşıyıcının frekansı ile doğru orantılıdır. Bilgi kapasitesini genişletmek için taşıyıcı frekansını arttırmak gerekir, çünkü veri hızı arttıkça temel band genişliği artar. Elektriksel sistemlerde gelişmelerin yüksek frekanslarda olma nedeni de budur. TV, radar ve mikrodalga linklerinin ortaya çıkışı böyle olmuş, taşıyıcı frekans artırılarak çok geniş bantlı işaretlerin iletimi olanaklı kılınmıştır (TV band genişliği bilindiği gibi yaklaşık 8 MHz., taşıyıcı frekansı ise 174-280 MHz arasındadır). Şekil 2'de elektromanyetik görüngenin elektriksel iletişimi için kullanılan parçası görülmektedir. Görüngenin bu bölümünde metal teller, milimetre ve mikrodalga kılavuzları, radyo dalgaları (atmosfer) gibi ortamlar iletim



ŞEKİL 1. Bir iletişim dizgesinin temel elemanları

kanalı olarak kullanılır, bu kanalları kullanan telefon, AM ve FM radyo, TV CB (Citizens Band = Halk Bandı) radyo, radar, uydular günlük yaşamın birer parçası olmuştur. Yukarıdaki uygulamaların çalışma frekansı 300 Hz (ses frekansı) ile 90 GHz (milimetrik band) arasındaki oldukça geniş bir bölgeyi kaplar. Elektromanyetik görünümün diğer bir önemli bölümü ise optik bölgedir (Bkz. Şekil 2). Yalnız bu bölgede ilgili bandlar frekans yerine dalga boyu cinsinden ifade edilmiştir. Optik görüme mor ötesi (50 nm dalga boyu) ile kızıl ötesi (100  $\mu$ m) arasında yer alır, gözle görünen band ise 400 ile 700 nm arasındadır. Radyo frekans bölgesinde olduğu için atmosfer ve kılavuzlandırılmış dalga kanalları iletim ortamı olarak kullanılır.

1960'da Lazer'in geliştirilmesi sonunda optik frekanslara olan ilgi artmıştır. Çünkü, lazer tek frekanslı, birleşik (coherent) optik enerji kaynağıdır. Optik frekans  $5 \times 10^{14}$  Hz mertebesinde ve lazer'in bilgi kapasitesi kuramsal olarak mikrodalga sistemlerinin bilgi kapasitesinden 10<sup>7</sup> kat daha fazladır; bu sayı ise 10 milyon TV kanalına eşittir. Lazer'in böyle büyük iletim potansiyelini değerlendirmek amacıyla atmosferde birçok deney gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak lazer'in de modüle edilebileceği öğrenilmiştir. Fakat, böyle bir dizge kurulmasının ve dizgedeki elemanları geliştirebilmenin yarattığı mali yük, ilk girişimlerin çekiciliğini azaltmıştır. Ayrıca atmosferdeki iletişimin yağmur, kar, sis gibi çevre koşullarından dolayı sınırlı kalması, o günkü kanal gereksinimi göz önüne alındığında, veri hızı böylesine yüksek bir dizge ekonomik olarak çekiciydi.

Bunlara karşın yerden uzay'a yapılan iletişimi ilerletmek için temel band frekanslarda çalışan optik dizgelerde sayısız gelişmeler yapılmıştır (yapılan çalışmaların bir kısmı da optik fiberler üzerindeki çeşitli araştırmalardır). Çünkü optik fiberler daha güvenilir ve diğer bir özellikleri de atmosfer kanallarından çok daha üstündü. Ama ilk denemelerde en kaliteli optik fiberlerde bile kayıpların 1000 dB/km'den fazla olduğu gözlenmişti. Bu da doğal olarak uygulamayı olanaksız hale getiriyordu. 1966'da Kao, Hockman ve A. Well's aynı anda kayıpların fiber materyalinin saflığının kötü olmasından kaynaklanabileceğini ayrıca, optik fiber dalga kılavuzlarında iletim uzaklığını arttırmak için olası olan en fazla kayba kadar yapılabileceğini düşündüler. Böylece optik fiber uygulamaya geçirilmiş oldu. Corning Glass Work firmasında Kapron, Keck ve Manner 10 dB/km'lik zayıflaması olan ilk optik fiber üretimini gerçekleştirdiler, fiber optik iletim hatlarında böylece yeni bir çığır açıldı. Ancak fiber optik iletim hatlarındaki gelişmeler yarı iletken teknolojisinin gelişimine bağlı kalmıştır (foto dedektörler, ge-

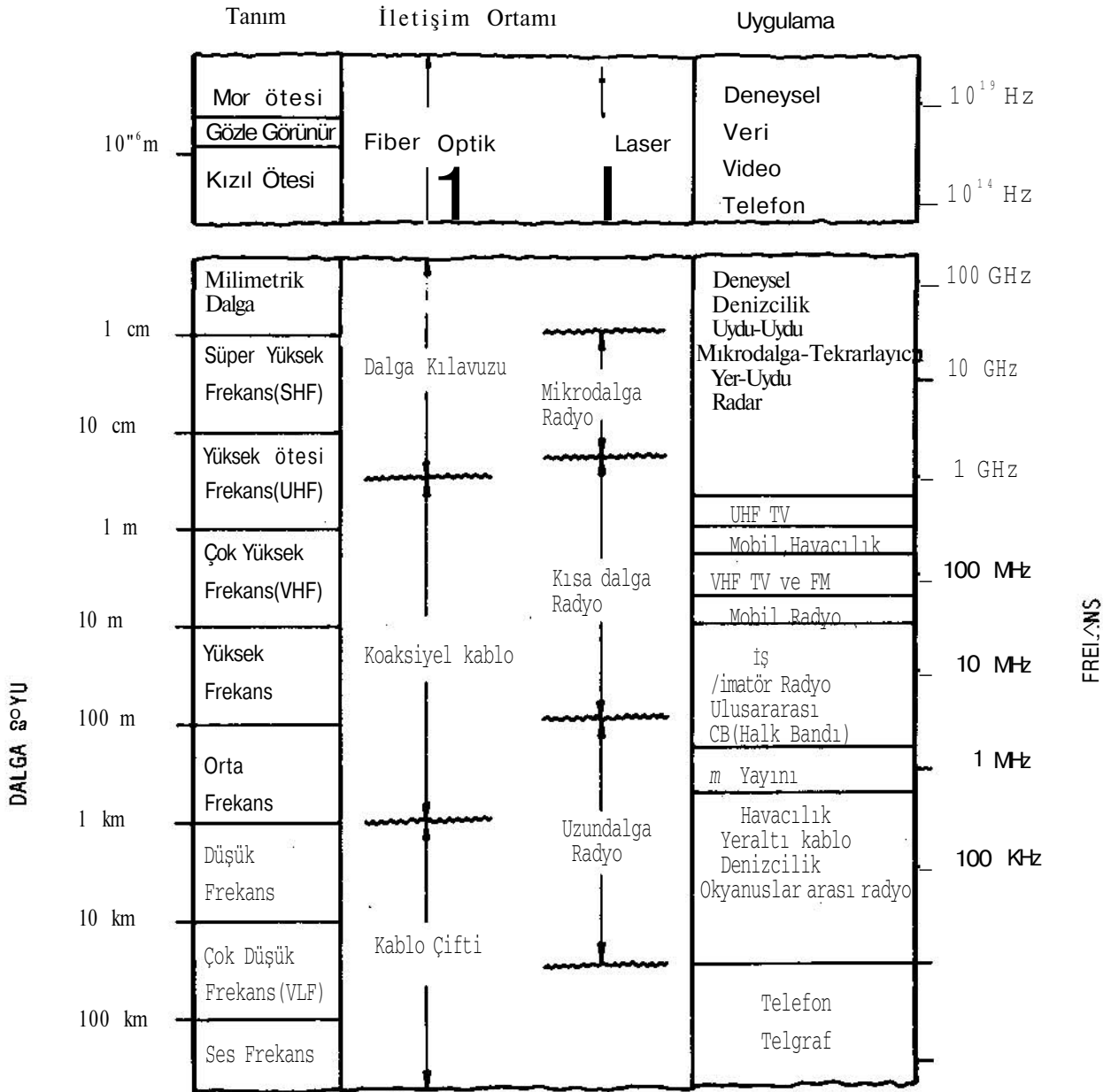
rekli ışık kaynakları ve optik dalga kılavuzu gibi fiber optik sistemlerin temel elemanları gibi). Sonuçta bir iletim bağlantısı kurulmuştur ve uz iletişimde kullanılan bakır hatlara göre birçok üstünlüğü kanıtlanmıştır. Örnek olarak fiber optikte kayıplar daha az, bant genişliği kıyaslanmayacak kadar geniştir. Artık daha uzak yerlere çok daha fazla bilgi gönderilmesi olanaklı kılınmıştır. Bu arada kullanılması gerekli olan tekrarlayıcı sayısı da azalacaktır. Hafifliği, saç teli kadar ince olması, bakır tellerle karşılaştırıldığında aynı kablo içinden daha fazla hat geçeceği ortaya çıkar. Bu da bir başka üstünlüktür. Taktik askeri uygulamalarda örnek olarak uçaklarda aynı şey söz konusu olup, uçağın çeşitli denetim birimleri için çok sayıda tel kablo gerekmektedir, bu nedenle tel kablo yerine genellikle optik fiber kullanılmaya başlanmıştır.

Optik fiber dielektrik maddedir. Yeraltı şehir aydınlatma hatlarının yapacağı elektromanyetik girişimlerden, radarın yarattığı elektromanyetik darbelerden (askeri uygulamaları için çok önemlidir) optik fiber dalga kılavuzları etkilenmez. Toprak döngüleri diye bir sorun yaratmaz, fiberler arası etkileşim çok azdır ve veri emniyeti çok fazladır. Çünkü, optik işaret dalga kılavuzu içinde çok iyi ekranlaşmıştır (Fiber etrafında ışık geçirmeyen bir kılıf vardır, bu ise ışığın çevreye yayılmasını sağlar). Optik fiber genellikle silika'dan yapılır ve silika ise her yerde bulunan ve çok ucuz bir madde olan kumdan elde edilmektedir.

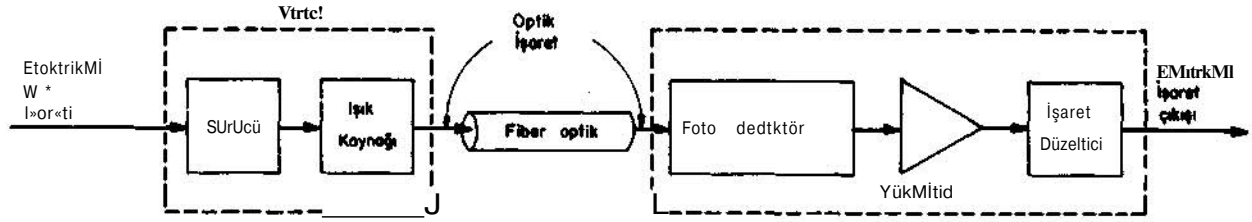
1970'lerde yukarıdaki özelliklerin ortaya konulması ile Fiber optik iletişim dizgeleri ve ilgili bütün alanlarda birçok etkinlik başlamıştır. Bu etkinlikler sonucunda pratik, ekonomik olarak yapılabilir fiber optik iletişim dizgelerinin kurulması sağlanmıştır (canlı telefon, kablolu TV, uz iletişim trafik işlemleri gibi). Kurulan bu dizgelerde veri temel band frekanslarda gönderilmektedir, iletişim yalnızca vericiyi açıp kapamakla yapılmaktadır. Çok basit yapıdaki bu dizge halen kullanılan diğer iletişim tiplerinin yarattığı birçok soruna çok daha iyi çözümler getirmiştir.

## FİBER OPTİK İLETİM LİNKLERİNİN ELEMANLARI

Şekil 3'te fiber optik linklerinin elemanları görülmektedir. Ana bölümler ışık kaynağı ve ona bağlı sürücü devrelerden oluşan verici, optik fiberi çevre etkilerinden koruyan kablo, fotodedektör ve yükseltici, işareti ilk haline getiren alıcıdır. Kablo; fiber hattının en önemli elemanıdır, tekrarlayıcılara besleme gerilimi kablodaki tellerden alınır, hat çekilirken fiberi korur (Tekrarlayıcı uzunca bir yolu aşması gereken işareti belirli uzaklıklarda yükseltir). Kablonun içi genellikle her biri bağımsız bir iletişim kanalı olan saç teli kalınlığında birkaç fiber taşır.



ŞEKİL 2. Elektromanyetik görüme göre iletişim dizgeleri uygulamalarının örnekleri



ŞEKİL 3. Fiber optik iletişim bağlantısının temel elemanları

Bakır telli hatlara benzer şekilde fiber kablolar hava, toprak altı, su altı hatlar olarak çekilirler. Hatları bağımsız ve fiber üretimin getirdiği sınırlamalar sonucunda kablo uzunluğu birkaç yüz metre ile birkaç kilometre (uzun mesafe uygulamaları) arasındadır. Bir tek kablonun gerçek uzunluğu uygulamaya bağlıdır (Kablonun ağırlığı gibi). Hat her bir kablonun birbirine eklenmesiyle tıpkı diğer elektriksel hatlar gibi döşenir.

Optik fiberlerin başlıca karakteristiklerinden biri dalga boyunun işlevi olarak Şekil 4'de görülen zayıflama eğri-leridir (dB olarak ifade edilir). Fiber, ilk çıktığı günkü teknolojiye genellikle 800-900 nm kullanıyordu, çünkü zayıflama karakteristiğinin en az olduğu yer o dalga boyu etrafındaydı. Ayrıca 800-900 nm dalga boyunda çalışan fotodedektörler ve optik kaynaklar kolaylıkla elde edilebiliyordu. Fiber maddesindeki hidroksit (OH) iyonlarının konsantrasyon ve metalik iyon saflığının azaltılmasıyla fiber üreticileri, 1300-1600 nm bölgesinde az kayıplı optik dalga kılavuzları yapabildiler (bu bölgeye uzun dalga bölgesi denir). Böylece 1300 nm dalga boyuna olan ilgi fazlaştı, çünkü bu bölgede saf silika fiberlerde işareti en az bozulmaya uğratiyordu. Örneğin Bell Laboratuvarları, mühendisleri, 1980 yılında Kalifornia'nın Sacramento kentinde ilk defa 1300 nm. LED tabanlı telefon dizgesi denemesi yapmışlardı. Birçok ABD, Japon ve Fransız iletişim şirketleri daha sonra etkin bir şekilde daha uzun dalga boylarında deneyler yapmaya başlamışlardır.

3-5 nm dalga boyunda kullanılacak yeni tip fiber maddeleri üzerinde araştırmalara 1980 yılından sonra başlamıştır, ilk çalışmalar Çinko Klorür ( $ZnCl_2$ ), Talyum Bromit (TIBr) ve Talyum Bromigodit (KRS-5 diye bilinir) gibi polikristalin metal halitler üzerinde olmuştur. Kuramsal olarak yapılan tahminlere göre bu tip fiberlerde zayıflama 0.01 dB/km'den az olacaktır. Az kayıplı fiberlerin üretimi başarılı olursa çok uzun iletişim hatlı dizgelerde başarı ile uygulanabilecektir.

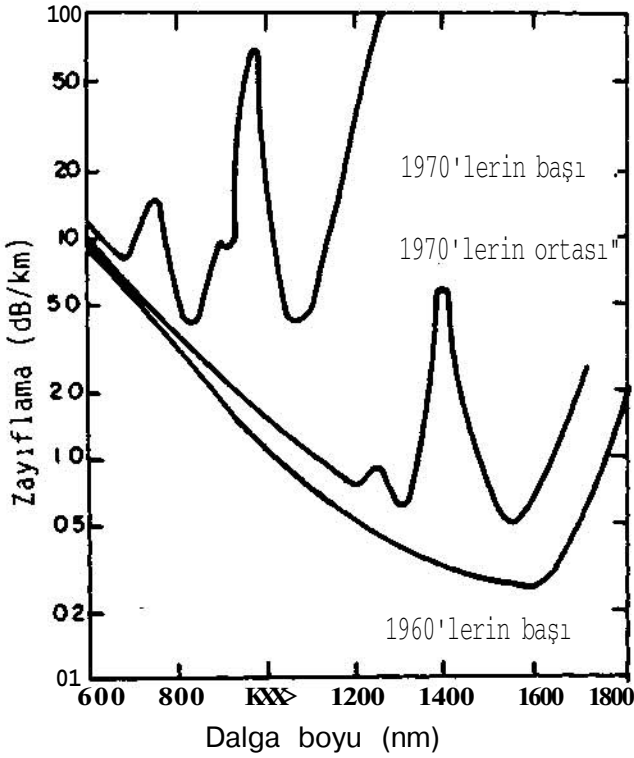
Kablo fiberle aynı boyutlarda bir ışık kaynağına bağlanarak, fibere optik güç sağlanır. LED'ler ve laser diyodlar bu amaçla kullanılan uygun verici kaynaklarıdır, çünkü ışık çıkışı hızlı bir şekilde diyodların akımlarını

değiştirmekle modüle edilmektedir. Vericinin elektriksel giriş işareti sayısal veya örneknel (analog) olabilir. Verici devresi ışık kaynağından akan akımı değiştirerek bu elektrik işaretlerini optik işaretlere çevirir. Optik kaynak kare kuralı ile çalışan bir cihazdır ve sürüş akımındaki doğrusal değişimler optik çıkış gücünü de doğrusal olarak değiştirir. 800-900 nm bölgesindeki ışık kaynakları genellikle GaAlAs alaşımlarından yapılır. Daha uzun dalga boylarında (1100'den 1600 nm'ye ise InGaAsP alaşımları optik kaynakların yapıldığı başlıca maddelerdir).

Optik işaret fiber'e girildikten sonra yayıldıkça, aldığı yolun artmasıyla dalga kılavuzundaki bozulma ve dağılma mekanizmaları nedeniyle hem zayıflayacak hem de bozulacaktır. Alıcıda ise, fiber ucunun yaydığı, zayıflamış ve bozulmuş modülasyonlu optik güç, fotodiyod tarafından sezilenecektir. Işık kaynağına benzer olarak fotodiyod da kare kuralı bir cihazdır, çünkü aldığı optik gücü doğrudan elektrik akım çıkışına çevirir (foto akım). Yarı iletken pin ve çığ (avalanche) fotodiyodlar (APD), fiber optik linklerinde kullanılan başlıca iki fotodedektördür. İki tip diyod da yüksek verimlidir ve tepkileri hızlıdır. Düşük güçlü optik işaret olan uygulamalarda normal olarak çığ fotodiyod kullanılır, çünkü iç kazanç mekanizmasından (çığ etkisinden) dolayı çok daha duyarlıdır. Silikon fotodedektörler 800-900 nm bölgesinde kullanılır ve daha uzun dalga boylarında çeşitli daha optik dedektörler bulunmaktadır. 1100-1600 nm bölgesinde InGaAs alaşımları birinci dedektör maddesi adaydır.

Alıcının tasarımı doğal olarak verici tasarımıyla çok daha zordur, çünkü alıcı fotodedektörlere gelen zayıf işareti hem yükseltecek hem de düzelterek yapıda olmalıdır. İstenen veri hızında bir alıcı için en önemli özellik, analog dizgeler için belirli bir işaret/gürültü oranı, sayısal dizgeler için ise verilen hatalı bit oranının (bit Error Rate) en az optik güç işaret seviyesinde sağlanmasıdır ki buna da duyarlılık diyoruz. Alıcının yüksek bir performans göstermesi kullanılan fotodedektör tipine, dizgedeki gürültünün etkisine ve kat kat bağlı yükselticilerin karakteristiklerine bağlıdır.

Optik işaret daha önce de belirtildiği gibi, belirli uzun-



ŞEKİL 4. Fiber optikte zayıflamanın dalgi boyunun işlevi olarak değişmesi

lukta fiber boyunca yol aldığıında, o kadar zayıflayıp bozulmaktadır ki, iletim hattı üzerinde bazı noktalarda işaretini yükseltmek ve düzeltmek gerekmektedir. Bu işi yapacak cihazlara tekrarlayıcı denir. Tekrarlayıcının alıcısı gelen optik işaretini sezinler, elektrik işaretine çevirir ve gelen elektriksel işaret yükseltilir, düzeltilir ve tekrarlayıcının vericisine verilir. Verici ise elektriksel işaretini optik işarete çevirir ve optik dalga kılavuzuna verir.

ölçüm teknikleri tasarımı, üretim yapabilmenin, dizge kurabilmenin tamamlayıcı ve önemli bir parçasıdır. Linkteki her bir elemanın özelliğini görebilmek, böylece kurulu dizgelerin istenildiği gibi çalışmasını sağlamak için çok gereklidir.

### FİBER OPTİK DİZGELERİ

Fiber optik teknoloöisinin ilk uygulamaları sayısal iletişim linkleri ile kaynaşmış bir durumdaydı. Bu ilk kuşak linkler, prensip olarak 2-50 Mb/s arasında veri hızında çalışacak şekilde tasarlanmışlardı. Dizgedeki elektro-optik elemanlar 810-890 nm dalga boyları arasında çalışmaktaydı ve fiber kablosundaki iletim kaybı 4 ile 6 dB/km kadardı. Böyle bir dizge de 5 ile 10 km arasında tekrarlayıcıya gerek duyulmadan (ki tekrarlayıcı insan gözetiminde çalışıyordu) birçok şehir içi uygulama yapılıyordu, **ikinci kuşak dizgeler ise 13 nm dalga boyunda**

çalışıyordu, kayıplar 1 dB/km'ye ulaşlıyordu ve tekrarlayıcı kullanmadan iletim uzaklığını oldukça arttırılıyordu.

Fiber optik linkleri iletişim dizgeleri dışında elektrik enerji tesislerine de bağlıdır. Linkler, dizge koruma, gözetme ve denetim gibi büyük, karmaşık ve gelişmiş enerji tesisleri için çok önemli olan bilgileri taşımak için kullanılır. Bu tür bilgiler daha önceleri enerji hattı ve iletişim kabloları ile birlikte mikrodalga dizgeleri ile iletilirdi. Fakat, büyük şehirlerde 200 KV seviyesinde gerilim taşıyan enerji hatlarının yarattığı girişim emniyeti ve yüksek kalite mikrodalga dizgeleri ile çalışmayı bile zorlaştırıyordu.

Elektromanyetik girişimlerden etkilenmemesi ve yüksek veri kapasitesi fiber optiğin diğer iletişim dizgelerine mükemmel bir alternatif olmasını sağlamaktadır.

Fiber optik teknoloöisinin gelişmekte olan diğer bir uygulaması telefon abone şebekeleridir. Şebeke telefon abone terminalini en yakın santrale bağlayan iletişim dizgesinin bir parçasıdır. Şebekeler de yaygın olarak iki telli bakır kablo kullanılmaktadır ve bunlar yeterlilik ve güvenilirlik açısından ve maliyetinin düşük olması nedeniyle yıllardan beri ses işaretini taşımakta kullanılmaktadır. Fakat ev ve ofislerin elektronik posta, banka işlemleri alış, veriş gibi yaygın servislere olan giderek artan talebi karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Sonuçta, fiber optik teknoloöisinden evi veya ofisi en yakın santrale bağlayan telefon şebekesi olarak yararlanabilmek için fiber optiğe olan ilgi artmıştır. Bakır kabloları göre optik fiber'de zayıflamanın azlığı, geniş bilgi taşıma kapasitesi, fiberler arası çapraz konuşmanın yok denecek kadar az olması, işaret frekansından bağımsız gözükmesi ve eşleme (equalization circuitry) devrelerine olan gereksinimi ortadan kaldırması, fiber optiğe üstünlük kazandırmaktadır. Bu özelliklerinden yararlanarak fiber optik abone şebekeleri tasarlanmış ve böylece şimdi veya gelecekte doğacak birçok yaygın servis ihtiyacı karşılanmış olacaktır. Yapılan birçok denemeden sonra dünyanın çeşitli yerlerinde yeraltı hatları planlanmaktadır. Japonya'da Hİ-OVİS (Highly Interactive Optical Visual Information System), Kanada'da Yorkwille (Bell Kanada) ve Elie Rural (Manitoba Telefon) dizgesi, Fransız PTT'sinin parasal desteğini sağladığı Barritz gündemde olan fiber optik etkinlikleridir.

### KAYNAKÇA:

- "Optical Fiber Communications", Gerd Keiser, Mc Graw Hill, 1983.
- "Optical Communication Systems", John Gowar Prentice Hall, 1983.