

BÖLÜM - 1

1.1- GİRİŞ

1980'lerde ışık dalgaları ile haberleşme ortaya çıktı. ABD ve diğer sanayileşmiş milletler fiber optik kullanmaya başladılar ve o kadar çok kullandılar ki son on yıl "camın on yılı" olarak adlandırıldı. Koaksiyel veya başka türden onlarca mil uzunluğundaki bakır kablolar, uzun mesafe haberleşmesinde modası geçmiş olarak kabul edildi. Bakır kablolar, band genişliği denilen çok fazla bilgi taşıma kapasitesine sahip olmadıkları için, fiber optik kablolar ile değiştirilmişlerdir.

Bir fiber optik haberleşme sisteminde, bilgi, metalik sistemlerdeki gibi elektron hareketiyle olmaktan ziyade ışık dalgasıyla taşınır. Optiksel fiber, içinde ışığın kolayca yayılabilmesi için temiz cam veya temiz plastikten yapılan şeffaf ince bir çubuktan ibarettir. Işık sinyali vericiden çıkarak çubuğun içindeki alıcıya gider ve çubuğun içindeki bu alıcıdan kolayca algılanabilir.

Bir fiber optik haberleşme sistemi üç ana bileşene sahiptir, elektrik sinyallerini ışık sinyallerine çeviren bir verici, sinyalleri iletmek için bir optik fiber ve diğer uçtaki sinyalleri yakalayıp onları elektrik sinyallerine çeviren bir alıcı.

Vericinin önemli bir parçası bir ışık kaynağıdır. Bu, ya bir iletken lazer diyod veya ışık yayıcı diyoddur. (LED).

Bir optik fiber camdan yapılırsa dahi, şaşırtıcı biçimde serttir. Aslında tel gibi bükülüp burulabilir. Bununla beraber optik fiberi uç uca eklemek zor olabilir, fiberlerin uçları mekanik ekleme veya füzyon ile birleştirilebilir.

Optik fiberler, ultra saf oldukları için çok az iletim kayıplarına sahiptirler.

Her bir fiber üç kısma sahiptir. Fiberin merkezinde ışık sinyalini taşıyan nüve vardır. Nüve, “kaplama” adı verilen yaklaşık olarak 125 pm çapındaki eş eksenli bir cam tabakası ile çevrelenmiştir. Kapsama, nüveden farklı bir kırma indisine sahip olduğu için ışığı nüvede muhafaza ederek tam iç yansıma oluşur. Kaplamanın çevresi, fiberi aşınma, baskı ve kimyasallardan koruyan poli üretan bir ceketir. Birden birkaç yüze kadar sayıdaki fiber, bir kablo oluşturmak için gruplandırılırlar.

BÖLÜM - 2

2.1. IŞIK KURAMININ TARİHÇESİ

Fiber optiğin insanları neden bu kadar çok etkilediğini anlamak için beklide önce ışık kuramının tarihçesine bakmak gerekir. Son 3000 yıl içinde ışık ile ilgili geliştirilen onlarca kuramdan önemli olan altısı şunlardır.

- 1) Dokunma
- 2) Işıma
- 3) Parçacık
- 4) Dalga
- 5) Elektromanyetik
- 6) Kuantum

Dokunma kuramı, temelinde hissetmeye dayalı bir teori. Eski çağlarda, gözün görünmez bir cisim göndererek maddeye dokunduğu ve onu algıladığı sanılırdı. Işıma kuramıysa dokunma kuramının tersine parlak cisimlerin gönderdiği ışın veya parçacıkların cisimler üzerinden sekerek göze gelmesine ve algılanmasına dayanır. Işıma kuramı 11. y.y. dokunma kuramına göre daha fazla kabul gördü.

Bundan sonra gelen iki kuram Sir Isaac Newton’un parçacık ve Christian Huygens’in dalga kuramları. Bunlar, birbirlerine tam ters

olan kuramlardır. Newton'a göre ışık, parçacık olarak düz bir yol üzerinde yer alır. Diğer bir deyişle, ışık bir parçacık sistemidir ve kaynağında her yöne düz doğrular boyunca yayılır. Newton'un fizik yasası parçacıkların cisimlerden yansımalarını açıklayabilir.

Huygens'in dalga kuramı ise Newton'un kuramını kabul etmiyor. Ona göre, eğer ışık parçacıklardan oluşsaydı birbiriyle karşılaşan ışık demetleri kendilerini yok etmeliydi. Huygens, bunu açıklamak için karşılaşan iki su akıntısını gösterdi. Gerçektende ışık böyle bir özellik göstermez ve ışık demetleri karşılaştıklarında, su örneğinde olduğu gibi bir olay ortaya çıkar. Huygens, ışığın bir dalga olduğunu öne sürdü. Ona göre ışık ve onunla ilgili olaylar tümüyle dalga kuramına oturtulmalıydı. Buna karşılık Newton da eğer ışık bir dalgaysa, hareketi boyunca rastladığı köşeleri de dönmesi gerektiğini ancak bunun olmadığını ileri sürerek dalga kuramını reddetti. Bu günün bilimi ise ışığın gerçekten köşeleri döndüğünü gösterebiliyor. Ancak dalga boyunun çok küçük olmasından dolayı bu olayın gözle görülmesi olası değil. Dalga kuramı 1800 'lü yıllarda kabul gördü. Parçacık kuramıysa 1800'lü yılların sonunda tamamen terk edildi.

Ondokuzuncu yüzyıl sonlarında, James Clerk Maxwell, elektrik, manyetizme ve ışığı bir kuramda birleştirdi. Bu kurama elektromanyetik teori denildi. Maxwell'e göre ışık bir elektromanyetik dalgadır ve diğer elektromanyetik dalgaların özelliklerini gösterir. Maxwell, elektrik ve manyetik sabitlerden yararlanarak ışık hızını hesapladı. Gerçi bulunduğu hız kabul edilebilir değer içinde; ancak Maxwell'in teorisi fotoelektrik etkisini açıklayamıyor.

1887'de Heinrich Hertz, metal üzerine gönderilen belli özellikteki ışığın, elektronları metal yüzeyinden kopardığını buldu. 1900'de Max Planck, ışık ile ilgili başka bir kuram geliştirdi. Buna göre ışık, içinde enerji olan küçük bir paket içinde iletilir ve madde tarafından emilir. Bu küçük pakete 'quanta' adını verdi. Quanta içindeki enerji, ışığın

frekansıyla doğru orantılı. Albert Einstein, Planck'ın kuramını tamamen kabul ederek ışığın quanta olarak iletilmesinin ve madde tarafından emilmesinin yanında, ışığın quanta olarak yol aldığını ileri sürdü. Einstein, quanta birimi olarak foton'u kabul etti. Değişiklikler, ışığın yoğunluğunu arttırıp azaltılarak ayarlanabiliyor ve hoparlör benzeri bir aleti çalıştırabiliyor.

2.2. FİBERİN KUA ÖZGEÇMİŞİ :

1854'te, John Tyndall, ışığın bükülmüş bir band içindeki sudan geçirebileceğini ve dolayısıyla ışığın eğilebileceğini gösterdi. 1880'de Alexander Graham Bell, ışık demeti üzerinden bir ses sinyalini ileten "Photophone" isimli aleti buldu. Ancak elektrik sinyalini kullanarak ses iletişimini sağlayan telefonu bulduktan sonra bu çalışmasına devam etmedi. Photophone'un temel sorunu, ışık sinyalinin havadan geçerken atmosferik olaylardan etkilenmesiydi. Örneğin, bulutlu bir havada sinyal bozulabiliyordu. Aynı yıl, William Wheeler, içi kaplanmış ışık borusunu kullanarak ışığı yönlendiren olaylar deneyler yaptı.

1888'de, Viyana'da Roth ve Reuss sağlık bilimleri grubu, bükülmüş ışık borularını insan insan vücudunun tanınmasında kullandılar.

1895'te, Fransız mühendis Henry Saint-Rene, bükülmüş cam borularından yararlanarak görüntüleri aktarmaya yarayan bir sistem tasarımı geliştirdi.

1898 yılında Amerikalı David Simith, ameliyat lambası olarak kullanılabilen bir bükülmüş cam borunun patenti için başvurdu.

1920'lerde İngiliz John Logie Baird ve Amerikalı Clarence W.Hansell, televizyon ve faksın ilk örnekleri sayılan saydam cam

borulardan oluřan ve g r nt n n iletilmesine yarayan cihazları i in patent aldılar.

1930'da alman tıp   rencisi Heinrich Lamm, ilk kez v cudun g r nmeyen yerlerini g zlemek amacıyla fiber optik kablolardan oluřan bir sistem kurdu. Ancak g r nt ler olduk a yetersizdi ve patent alma giriřimleri Hensell'in İngiliz patenti y z nden geri  evrildi.

1905'te Einstein kuantum kuramını kullanarak fotoelektrik olayını a ıkladı. Kuantum kuramını, iki temel kuramın, par acık ve dalga kuramının birleřtirilmesi idi. Bu birleřtirme zorunluydu; ıřık bazen par acık bazen dalga  zelli i g sterir. Iřık, enerjinin bir bi imidir. Fotonlar, ancak bir fotonun hareket halinde olması durumunda var olurlar.

Fiber optikle ıřı ın en yakın iliřkisi yansımadır. Newton yasaları ıřı ın nasıl yansıdı ı a ıklayabiliyor. Newton kuramına g re, ıřı ın bir y zeyeye gelme a ısıyla yansıma a ısı de iřmez. Iřı ın  ok  nemli bir  zelli iyse kırılma. Kırılma, ıřı ın de iřik ortamlarda yol almasıyla ortaya  ıkıyor. Belli  zellikteki bir ortamdan, bařka  zellikteki bir ortama ge erirken ıřık kırılır. Iřı ın hızı, hareket etti i ortama ba lı olarak bazen artar bazen de azalır.  rne in, ıřık havada camdan daha hızlı ilerler. Bir ortamdan di erine ge erirken ıřık hızının de iřmesi, onun kırılmasına neden olur.

Fiber optik teknolojisi, son birka  y zyıldır geliřtirilen ıřık kuramının bir sonucudur. G rd k ki eski zamanda ateř bir sinyal aracı olarak kullanılmıřtı. Bilim geliřtik e haberleřmede kullanılan sinyalleme řekil de iřtirdi. Ve bu iřlem  ok daha karıřık bir hale geldi. Iřıkla ilgili bilim adamlarının  alıřmaları  ok eskiye dayanmakla birlikte, fiber teknolojisindeki geliřme  ok yenidir.

Tekrar geriye gittiğimizde, 1621 yılında Willebiord Sinell'in kendi adıyla bilinen kanununu formüle ettiğini görüyoruz. 1860'da Graham Bell, ses iletimini ses dalgaları tarafından titreştirilen aynalar kullanarak gösterdi. Ses, tarafından modüle edilen aynalar, ışığı bu modülasyona göre yansıtırlar. Modüle edilen bu ışığın selenyum plakası yüzeyine yansıtılması, yüzeydeki direnci değiştirir.

1954'te Hollandalı bilim adamı Abraham Van Heel ve İngiliz bilim adamı Harold H. Hopkins birbirlerinden bağımsız olarak görüntü paketleri konusunda makaleler yazdılar. Hopkins, üzeri başka bir camla kaplanmamış fiber kablo içinde ışığın iletimini anlatırken, Van Heel, fiber kablo üzerine kırılma indisi daha düşük bir cam kaplamanın dış etkenlerden ve diğer fiber kablolardan etkilenmesini azaltacağını buldu. O günlerde en büyük sorun, ışığın fiber boru içinde yol alırken sinyalin azalmasıydı.

1961'de American Optical'dan Elias Snitzer, tek modlu fiberlerin teorik tanımlanmasını yayımladı. Snitzer'in düşüncesi, insan vücudunun içine bakmayı amaçlayan sağlık bilimlerindeki uygulamalar için uygundu ve kayıp, bir metrede yaklaşık bir desibel civarındaydı. Ancak iletişim aletlerinde kabul edilebilir ışık şiddeti kaybının kilometrede 10 veya 20 desibel'in üzerinde olmaması gerekir.

1964'te Dr. C. K. Kao, uzun mesafeli iletişimde kullanılan kritik özellikleri fiber kablolar için tanımladı. Buna göre ışık şiddeti kaybı kilometrede 10 veya 20 desibel olarak belirlendi. Kao, aynı zamanda kayıpları azaltmak için daha saf cam kullanılması gerektiğini belirtti.

1970'te araştırmacılar, eritilerek birleştirilmiş, çok saf, erime sıcaklığı ve kırılma indisi düşük olan silis üzerinde deneyler yapmaya başladılar. Araştırma grupları cama ekledikleri değişik malzemelerle fiber damarındaki kırılma indeksini fiber kabuğuna göre çok az miktarda arttırarak günümüzde kullanılan fiber kabloları elde etmeye

başladılar. Cam konusunda uzman Robert Maurer, Donald Keck ve Peter Schultz, ilk fiber optik kabloyu veya fiber optik dalga kılavuzunu buldular. Bu kablo bakır kabloya göre 65.000 kat daha fazla bilgiyi binlerce kilometre uzağa götürebilmekteydi.

1975’de, ABD hükümeti Cheyenne Mountain’da bulunan NORAD karargahındaki bilgisayarları elektronik gürültüyü azaltmak amacıyla fiber kablo kullanarak birbirine bağlamaya karar verdi.

1977’de 2 km uzunluğundaki ilk fiber telefon iletişim hattı Chicago’da 672 ses kanalıyla kullanılmaya başlandı.

Günümüzde uzun mesafe iletişim trafiğinin %80’i fiber kablolar üzerinden yapılıyor. Değişik firmalar tarafından üretilen yaklaşık 25 milyon kilometrelik fiber kablo kullanılıyor.

BÖLÜM - 3

3.1. İLETİM ORTAMI:

3.1.1. Serbest Uzay İletimi:

Serbest uzay ortamında güneş ışığı kullanılarak yapılan ilk optik haberleşme düzeni, 1880’de A.G.Bell’in fotofonudur. Bu düzenleme ilk 200 m’lik bir mesafeye bilgi ulaştırabilmiştir. Bu iletim şekli, dış uzayda basit muhtemelen uygun olur. Yersel haberleşme için toz parçacıkları ve yoğunluk homojensizliklerinin sebep olacağı saçılmalar hakkında endişe duyulabilir. Her şeyden önce yoğunluk atmosferde yükseklikle değişir; daha da önemlisi, solar ısınma, küçük ölçekte hızlı değişen yoğunluk dalgalanmalarına yol açabilir. Hava durumu ciddi soğuruma yol açabilir; mesela sis kolayca 40-60 dB’lik ciddi soğuruma yol açabilir. Ayrıca atmosferik gazlar tarafından da soğurum vardır. Sonuç olarak, serbest uzayda iletim pratik değildir. (bazı özel uygulamalar dışında)

3.1.2. Kılavuzlanmış yayılma:

Kılavuzlanmış yayılmada ilk teşebbüs, her biri f odaklılık (birkaç on metre) ve $4t$ aralıkla yerleştirilmiş bir yakınsak mercekler serisi (ortak odaklı mercekler-confocallens) kullanmaktı. Bir merceğin $2t$ kadar önünde bulunan bir kaynağın görüntüsü, $2f$ arkasında bir noktada oluşturulur; görüntünün olduğu yer bir sonraki merceğin tam olarak $2t$ kadar önündedir ve böylece devam eder.

1960'larda, metal veya helozon biçimli tellerden yapılan dairesel dalga kılavuzlarında TE_{01} modu, mikrodalga frekansları için yoğun bir biçimde incelendi. Böyle dalga kılavuzları optik ve IR frekanslarında mümkündür; aslında milimetre altı bölgeye gidersek kullanılabilir.

Yansıtma borusu, 1960'larda incelenen bir başka eski fikirdir. Ve çok eğik gelişteki yüksek yansıtma dayanır. Ancak, böyle bir iletim hattını gerçekleştirmek çok zordur.

Kılavuzlayıcı ortam olarak cam fiberlerinin kullanımının çok cazip olduğu gösterildi. Bunun sebebi cam fiberlerin küçük boyutluğu hafifliği kolay kullanılması ve maliyetinin düşüklüğüdür.

3.2. OPTİK KAYNAKLAR :

Optik fiberler tarafından sunulan yeni imkanlar, ebat ve güvenilirlik bakımından uyumlu ve düşük güç harcayan optik kaynaklar ve dedektörlerle ilgili araştırmaları hızlandırmıştır. Yarıiletken ışık yayıcılar ve katıhal dedektörleri en ümit verici düzenler olarak görülmüştür. $77^{\circ} K$ 'ne kadar soğutulmuş bir GaAs eklemine lazer olayı 1962 gibi eski bir tarihtedir. Ve p-n ekleminden elde edilen kohorent olmaya yayılımın ilk gösterilmesi 1963'te olmuştur. 1968'de ilk çifte hetero yapılı lazer çalışması yapılmıştır, ancak 1970'de oda sıcaklığında sürekli dalga çalışması elde edilebilmişti. Bu sonuç sıra ile

değişen GaAs ve $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ tabakalarından oluşan bir yapı kullanarak elde edildi. Çalışma dalga boyu $0,84\ \mu\text{m}$ idi. Bu düzenlerin ömrü birkaç saatten uzun değildi.

O zamandan beri güvenilirlik ve ömür bakımından göz alıcı ilerlemeler sağlanmıştır. 1973'te, 1000 saatten fazla ömürlü aygıtlar yapılmıştır. 7000 saatten uzun ömürlü DHS lazerler 1977'de elde edilmiştir.

Kohorent olmayan yayıcılara (LED'ler) gelince, 1971'de küçük alanlı, baştan yayımlı, yüksek ışımalı, $0,85\ \mu\text{m}$ 'de yayılan DHS LED'leri geliştirildiğinde, önemli bir adım atılmıştı, bu LED'ler çok modlu optik fiberlere kuplas için uygundu daha ucuz fabrikasyon ve daha basit sürücü devreleriyle birlikte mükemmel güvenilirlik karakteristikleri bu LED'leri, lazerlere bir alternatif olarak, pratik uygulamalar için çok çekici optik kaynaklar haline getirdi.

Uzun mesafeli, yüksek bit hızlı iletimin, çok düşük kayıplı ve çok düşük dispersiyonlu fiberlerle elde edilme imkanı, bu yeni dalga boyu bölgeleri için, kaynaklar ve dedektörlerin geliştirilmesini kamçıladı. Işık kaynakları için III-V elementlerinin ikili, üçlü ve dörtlü kombinezonları kullanıldı. En başarılısı GaInAsP/InP çalışması ile 2000 saatten fazla ömür sağlandı. Eşik akımı bu 1000 mA civarına vardı. Bu tarihlerde $1,3\ \mu\text{m}$ 'de yayınım yapan küçük alanlı yüksek ışımalı InGaAsP cw LED'leri yapıldı. Lazerler konusunda son derece çok sayıda yapı geliştirildi. Eşik akımı ticari cihazlarda 10-30 mA bölgesine kadar düşürüldü. $1,55\ \mu\text{m}$ 'lik DFB lazer diyotlarda 100 mHz 'den daha dar çizgi genişliklerine ulaşılmıştır. Lazer diyotlar yüksek kapasiteli sistemler için, hız ihtiyaçlarını çok iyi bir şekilde karşılar. InGaAsP/InP düzenlerinin laboratuvar örnekleri 20 GHz'in çok yukarısında çalıştırılmıştır. En iyi ticari cihazlar ise 10 GHz 'e kadar geniş band genişlikleri gösterebilir.

3.3. FOTODEDEKTÖRLER :

Modüle edilmiş optik dalganın, bir dedektör tarafından tekrar bir elektriksel bir işarete dönüştürülmesi gerekir. Dedektör seçiminde, kuantum verimi (yani foto elektron salma verimi), spektral cevap ve frekans cevabı dikkate alınmalıdır.

İki ana tipte dedektör vardır. Bunlar, pozitif-intrinsic-negatif (PIN) fotodiyotlar ve çığ fotodiyotlar (ADP) dır. Ve PIN ve ADP arasındaki seçim, gerekli olan işaret kalitesine bağlıdır.

Eğer yüksek bir S/N gerekli ise o zaman alınan güç öyle yüksek bir seviyede olmalıdır ki, bu güç seviyesinde APD ve PIN aynı performansı sağlar. Diğer taraftan eğer S/N üzerindeki ihtiyaç çok katı değilse, o zaman APD, daha düşük alıcı gücün yeterli olması anlamında, çok daha etkilidir.

Basit Ge dedektörlerinin zayıf performansı yüzünden, 1,3-1,55 μm 'de çalışacak olan, üçlü (InGaAs/InP) ve dörtlü (InGaAsP/InP) alaşımlı fotodedektörlerde geliştirilmiştir. En iyi ticari PIN InGaAs dedektörlerde 10 GHz üzerinde band genişlikleri elde edilmiştir.

3.4. PASİF ELEMANLAR :

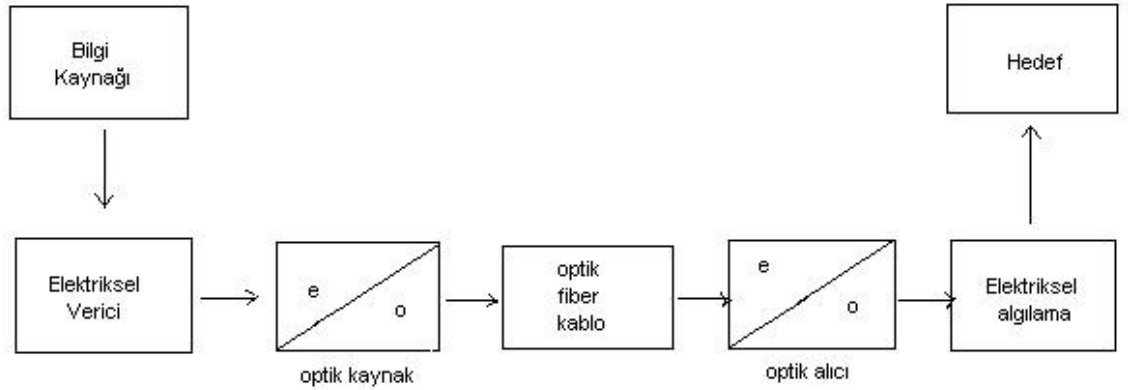
Özellikle 10 μm veya daha düşük özçapları olan tek modlu fiberlerin birbirlerine bağlanması için, bağlanma teknikleri büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Toplam kayıpları 0,3 dB'nin altında olan konnektörler gerçekleştirilmiştir ve ticari olarak kullanıma sunulmuştur.

Lehim yapma teknikleri, arazide 0,05 dB'den daha az ortalama kayıpların rutin olarak başarılmasına imkan vermektedir. Bu sonuçlar, geometrik parametrelerin daha sıkı kontrolü ve çok modlu yayılım etkilerinin olmaması yüzünden, tek modlu fiberlerde, çok modlu

fiberler için elde edilenlerden daha iyidir. Pek çok başka önemli cihazlarda geliştirilmiştir. Yölu kuplörler, yıldız kuolörler, izolotürler. Bunların çoğu, çok düşük kayıplı ve hattın kalan kısmıyla yüksek uyumluluğa sahip optik fiberlerle gerçekleştirilmiştir.

3.5. FİBER OPTİK HABERLEŞME SİSTEMİ :

Şekil 3-1 de optik fiber haberleşme sistemi blok şema olarak gösterilmiştir. Bilgi kaynağı, optik haberleşme sistemine elektriksel işareti sağlar elektriksel verici optik kaynağı sürer. Optik kaynak taşıyıcı ışık kaynağının modülasyonunu yapar. (Elektrikten optiğe dönüşüm e/o). Optik fiber kablo taşıyıcı ortam olarak kullanılır. Optik alıcı (Fotodiyot ve tottransistör) demodülasyon yapar.(optikten elektriğe dönüşüm o/e). Daha sonra elektriksel algılama yapılarak hedefe gönderilir.



Şekil 3-1 Optik Fiber Haberleşme Sistemi

Bilginin taşıdığı yol boyunca, yukarıdaki şemada “hat yükselticileri” zayıflamaları telafi etmek için belli aralıklarla yerleştirilirler. Bu hat yükselticileri elektro optik düzenler olduğu gibi, tamamen fiber yükselteçlerde olabilir.

Optik fiberli haberleşme sistemindeki gelişmeler aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

a-) ilk kuşak sistemler :

Çok modlu basamak indisli fiberler kullanılmış ve kısa dalga boyu bölgesinde (0,8-0,9 μm) çalışılmıştır.

b-) ikinci kuşak sistemler :

Çok modlu gradyan indisli fiberler kullanılmış ve hem kısa hem de uzun dalga boyu bölgelerinde (0,8-1,6 μm) çalışılmıştır.

c-) üçüncü kuşak sistemler :

Tek modlu fiberler kullanılır ve uzun dalga boyu bölgesinde (1,1-1,6 μm) çalışılır.

BÖLÜM - 4

4.1. IŞIN TEORİSİ İLE İLETİM ve TEMEL KAVRAMLARI:

Şekil 3.1’de gösterilen yapı, n_1 kırılma indisli şeffaf bir öz ve onu saran, biraz küçük n_2 kırılma indisli şeffaf bir yelekten oluşmaktadır. Yelek, dalga kılavuzu yapısını destekler ve yeterince kalın olduğu zaman, çevre hava ortamına radyasyonla kaybı önemli ölçüde azaltır. Aslında, ışık enerjisi, kendisine eşlik eden alanların yelek-hava ara yüzeyinde ihmal edilebilir. Bir değere düşmesine imkan sağlayarak hem öz hem de yelek içinde taşınır.

Şekil-1

4.1.1. TAM İÇ YANSIMA:

Işın teorisi modelini kullanarak ışığın bir optik fiber içindeki yayılımını incelemek için, dielektrik ortamın kırılma indisini hesaba

katmak gerekir. Bir ortamın kırılma indisi, ışığın vakumdaki hızının o ortamdaki hızına oranı olarak verilir. Bir ışık ışını optik olarak yoğun bir ortamda, daha az yoğun bir ortamdakinden daha yavaş ilerler ve kırılma indisi bu etkinin ölçüsünü verir. Bir ışın, kırılma indisleri farklı iki dielektrik arasındaki ara yüzeye geldiği zaman şekil 3.2 (a) 'da gösterildiği gibi kırılma oluşur. Işığın geldiği ortamın kırılma indisi n_1 ve ara yüzeyin normali ile yaptığı açı ϕ_1 dir. Eğer ara yüzeyin diğer taraftaki dielektrik, n_1 'den daha küçük olan bir n_2 kırılma indisine sahipse, kırılma o şekilde meydana gelirken düşük indisli ortamdaki ışın yolunun, normale yaptığı ϕ_2 açısı ϕ_1 'den büyük olur. ϕ_1 ve ϕ_2 geliş ve kırılma açıları birbirine ve kırılma indislerine, Denk.(3.1)'deki Snell kırılma kanunları ile bağlanırlar.

Şekil-2

Snell Kanunu:

$$n_1 \sin\phi_1 = n_2 \sin\phi_2 \Rightarrow \frac{\sin\phi_1}{\sin\phi_2} = \frac{n_2}{n_1} < 1 \quad (4.1)$$

Şekil 4.2 (a)'dan ışığın küçük bir miktarının geliş ortamına geri yansıdığı (kısmi iç yansıma) da görülebilir. n_1 n_2 'den büyük olduğundan kırılma açısı daima geliş açısından büyüktür. Bu yüzden kırılma açısı 90° olduğu ve kırılan ışın dielektrikler arasındaki ara yüzeye paralel yayıldığı zaman geliş 90° dan az olmalıdır bu kırılmanın sınır durumudur ve bu duruma karşı gelen geliş açısı şekil 4.2 (b)'de gösterildiği gibi kritik açı (ϕ_c) olarak bilinir.

Kritik açı:

$$\sin\phi_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (4.2)$$

Kritik açıdan daha büyük geliş açılarında, ışık geldiği ortama (%99 civarında) bir verimlilikle geri yansıtılır bu olaya tam iç yansıma

denilir. (şekil 4.2 (c)) şekil 4.3 bir fiber içindeki bir ışık ışınının, silika öze, biraz düşük kırılma indisli indisli silika yelek arasındaki ara yüzeyde meydana gelen bir seri tam iç yansımalarla iletimini göstermektedir.

Şekil 4.3’de gösterilen ışın iletimi, özü ve özyelek düzgün olan ideal fiber içindir. Öz eksenini keserek ilerleyen bu tür ışınlara meridyenel ışınlar denir. Özyelek ara yüzeyindeki süreksizlikler ve bozukluklar tam iç yansımadan ziyade ışınların kırılmasına sebep olur. Bu durumda ışık ışına yeleğe girerek kayıpların oluşmasına yol açar. Tam iç yansıma mekanizması, ışığın fiber içinde kalarak yayılmasını (kılavuzlanma) sağlar.

Şekil-3

4.1.2. KABUL AÇISI, NÜMERİK AÇIKLIK ve BAĞIL KIRILMA İNDİS FARKI:

Işığın fiber içinde ilerleyebilmesi için, girişte fiber eksenini ile yapacağı en büyük açıya kabul açısı denir ve bu açı şekil 4.4 ‘te θ_a ile gösterilir. θ_a ’ya eşit yada daha küçük bir θ açısıyla giren ışın, A-ışınında olduğu gibi, fiberin öz-yelek arayüzeyine tam yansıma şartını ($\theta \geq \theta_c$) sağlayacak şekilde ulaşır. Böyle ışınlar fiber boyunca kılavuzlanır. θ_a ’dan büyük bir açıyla gelen ışınlar, B ışınında olduğu gibi, öz yelek ara yüzeyinde tam yansıma şartını sağlayamayacaklarından yeleğe girerler ve sonunda radyasyonla kaybolurlar.

Şekil-4

Üç ortamın yani öz, yelek ve havanın kırılma indisleri ile kabul açısı arasında bir bağlantı bulmak için, ışın teorisi analizi sürdürmek

mümkündür. Bu iş, nümerik açıklık (NA) denen bir kavramın tanımına götürür. Bu analizde de fiberdeki meridyenel ışınlarla ilgileneceğiz.

Şekil 4.5 kabul açısı θ_a 'dan küçük olan bir θ_1 geliş açısıyla fibere giren bir ışını göstermektedir. Şekil- 4.5 'de A noktasında snell kanunu kullanarak,

Şekil-4.5

**Şekil - 4.5 Fiberin kabul açısından küçük bir açıyla
havadan optik fibere giren meridyenel ışının yolu**

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 \sin \theta_2 \text{ yazılabilir.} \quad (4.3)$$

ABC üçgeninden

$$\phi = \frac{\pi}{2} - \theta_2 \quad (\theta > \theta_2) \quad (4.4)$$

yazılabilir. Denk (4.3), bu durumda

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 \cos \phi \quad (4.5)$$

olur.

$$\theta_1 < \theta_a \text{ için; } \phi > \phi_c \text{ olması sağlanır. } \sin^2 \phi + \cos^2 \phi = 1 \text{ 'den, Denk (4.5)}$$

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 (1 - \sin^2 \phi)^{1/2} \quad (4.6)$$

şeklinde yazılır. Sınır durumunda $\theta_1 = \theta_a$ için $\phi = \phi_c$ olur. Bu durumda Denk (4.2) ve (4.6) dan,

$$n_0 \sin \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (4.7)$$

elde edilir. Buradan nümerik açıklık (NA) tanımına ulaşılır.

$$(NA) = n_0 \sin \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (4.8)$$

Genel olarak $n_0 = 1$ (hava) için; $NA = \sin \theta_a$ olur. (en fazla 1 olur)

Genellikle kırılma indislerinin yerine, aşağıda tanımlanan bağıl kırılma indis farkı (Δ), bir fiberin karakteristiklerinden biri olarak kullanılır.

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \cong \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (n_1 \cong n_2 \text{ yani } \Delta < <1 \text{ için}) \quad (4.9)$$

şimdi; Denk. (4.8) ve (4.9)'dan

$$(NA) \cong n_1 (2\Delta)^{1/2} \quad (4.10)$$

olarak yazılabilir. Nümerik açıklık, fiberin ışık toplama kabiliyetinin bir ölçüsüdür. $8\mu m$ 'ye kadar olan fiber öz çapları için çaptan bağımsızdır. Daha düşük çağlar için, geometrik optik (ışın optiği) yaklaşımları geçersiz olduğundan, bu bağıntılarda geçersizdir. Bunun sebebi, ışın teorisi modelinin, ışığın karakterinin yalnızca bir kısmını tanımlamasıdır. Bu teori bir düzlem dalga bileşeninin fiber içindeki yönünü tanımlar; fakat, böyle bileşenler arasındaki girişimi hesaba katmaz. Girişim olayı işe sokulduğu zaman, fiber özünde sadece belli ayrı karakteristiklere sahip olan ışınların yayılacağı bulunmuştur. Böylece, fiber sadece ayrı çok sayıdan kılavuzlanmış modu besler. Bu durum sadece bir veya birkaç modun beslediği küçük öz çaplı fiberlerde kritik hale gelir. Bu yüzden böyle durumlarda elektromanyetik mod teorisi uygulanmalıdır.

4.1.3 ÇAPRAZ IŞINLAR:

Bu ışınlar fiber ekseninden geçmezler, Şekil 4.6'da gösterildiği gibi, fiber içinde helezoni bir yol izlerler. Yansımada helezoni yol, yönce $2\mathcal{Y}$ 'lık bir değişmeye uğrar. Burada $\mathcal{Y}$, ışının iki boyuttaki iz düşümü ile yansıma noktasında çizilen fiber özünün yarıçapı arasındaki açıdır.

Şekil 4.6 Optik fiberde çapraz ışın yolu

a) Fiber boyunca çapraz ışın yolu

b) Fiberin kesit görünüşü

Hava ortamında, çapraz ışınların fiberden çıkış noktası, Fibere giriş şartlarından çok, maruz kalınan yansıma sayısına bağlı olur. Bu yüzden nonuniform ışık girişlerini daha daha üniform bir çıkışa dönüştürme özelliği vardır. (ışık dağılımı üzerinde düzeltme etkisi)

Şekil 4.7'de B' noktasında, gelen ve yansıyan ışınlar aynı düzlemedir. B noktasında ϕ açısıyla yansıma,

$$\cos \theta \sin \theta = \cos \phi \quad (4.11)$$

ve; $\cos \phi = (1 - \sin^2 \phi)^{1/2}$ olduğundan;

$$\cos \theta \sin \theta = (1 - \sin^2 \phi)^{1/2} \quad (4.12)$$

ile tanımlanır. Tam iç yansıma sınır durumunda ($\phi = \phi_c$), Denk. (4.2)'de

$$\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1} \text{ olduğundan;}$$

$$\cos \theta \sin \theta \leq \cos \theta_c = (1 - \frac{n_2^2}{n_1^2})^{1/2} \quad (4.13)$$

şeklinde yazılabilir. A noktasında snell kanunu kullanılırsa,

$$n_0 \sin \theta_a = n_1 \sin \theta \quad (4.14)$$

Şekil 4.7 Bir çapraz ışının fiber içindeki yolu

elde edilir. Burada θ_a meridyenel ışınlar için en büyük eksenel giriş açısı ve θ iç taraftaki eksenel açıdır. Denk. (4.13)'deki $\sin \theta$ Denk (4.14)'de kullanılarak,

$$\sin\theta_{aj} = \frac{n_1 \cos\phi_c}{n_0 \cos\gamma'} = \frac{n_1}{n_0 \cos\gamma'} \left(1 - \frac{n_2^2}{n_1^2} \right)^{1/2} \quad (4.15)$$

elde edilir. Burada θ_{aj} , çapraz ışınlar için max giriş açısıdır. (kabul açısı). Böylece, çapraz ışınlar için kabul şartları;

$$n_0 \sin\theta_{aj} \cos\gamma = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = NA \quad (4.16)$$

ve $n_0 = 1$ olduğundan,

$$\sin\theta_{aj} \cos\gamma = NA \quad (4.17)$$

olarak yazılabilir. Meridyenel ışınlar için; $\cos\gamma = 1$ olduğundan $\theta_{aj} = \theta$ olur.

SONUÇ: max. giriş açısı (meridyenel ışınlar için)

$$\theta_a \rightarrow \{$$

min. giriş açısı (çapraz ışınlar için)

Çapraz ışınlar $\cos\gamma'$ 'nin değerine bağlı olarak meridyenel ışınlarla göre daha büyük açılarda kabul edilirler.

Çapraz ışınlar, meridyenel ışınlarla birlikte, fiberin ışın toplama kabiliyetini arttırır. Pratik amaçlar için, sadece meridyenel ışınlarla ait NA (Denklem 4.8 ve 10)'u kullanmak yeterlidir.

4.2 FİBER OPTİĞİN TEMEL PRENSİPLERİ

Fiber kablonun çalışması, ışığın tam yansıma prensibine dayanıyor. Işık, Fiber kablo içinde (damarında) çeperlerden yansıyarak ilerler. Tam yansımanın olabilmesi ışık demetinin fiber kabloya giriş açısına bağlıdır.

Kırılma indeksi, ışığın bulunduğu ortamdaki yayılım hızını gösteren bir kavram. Işık boşlukta saatte 800.000 km'lik bir hızla ilerler. Kırılma indeksi ışığın boşluktaki hızının herhangi bir ortamda hızına bölünmesinden elde edilir:

$$\text{Kırılma indeksi} = \text{Işığın boşluktaki hızı} / \text{Işığın ortamdaki hızı}$$

Boşlukta kırılma indeksi bu durumda 1'dir. Aşağıdaki tablo bazı tipik ortamlar için kırılma indeksini gösteriyor.

Ortam	Tipik Kırılma İndeksi (Kızılötesi)	Işık hızı
Boşluk	1	Hızlı
Hava	1,0003	
Su	1,33	
Fiber kablo çeperi	1,46	
Fiber kablo damarı	1,48	Yavaş

Bir ortamda ilerleyen ışık, başka bir ortama girdiğinde herhangi bir kayıp olmadan geldiği ortama geri yansırsa buna Tam Yansıma denir.

Fiber kabloların çeperi (dış kaplama bölümü) ve damarı (iç bölümü) değişik malzemelerden yapıldığı için fiber içinde ilerleyen ışık, damar bölgesinden çepere çarptığında tam yansımaya uğrayarak damara geri döner. Tam yansımanın olabilmesi için çeperin kırılma indeksinin damarınkinden daha az olması gerekir.

Işığın fiber kablo içinde tam yansımaya uğrayarak ilerleyebilmesi için fiberin damar bölgesine giren ışığın belli bir açının altında olması gerekir. Bu kritik açının oluşturduğu hayali koniye kabul konisi denilebilir. Kabul konisinin büyüklüğü, çeper ve damar kırılma indeksine bağlıdır.

4.3 FİBER OPTİK KABLOLARIN UYGULAMA PRENSİPLERİ

Elektromanyetik spektrumda insan gözünün algılayabildiği bölgeye görünür bölge diyoruz. Görünür bölgede ışığın dalga boyu, ışık renkleriyle ifade edilebilir. Gökkuşağı renkleri – kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi ve mor – görünür bölgede bulunurlar. Fiber optik iletişimde kullanılan elektromanyetik dalgaların dalga boyu görünür bölgenin üzerinde bulunur. Tipik optik iletişim dalga boyları, 850 nanometre (nm), 1310 nm ve 1550 nm’dir. Hem lazerler hem de LED’ler fiber optik kablo üzerinden ışık sinyali üretiminde kullanılabilir. Lazer kaynakları 1310 ve 1550 nm ve tek mod uygulamalarında uygundur. LED’lerse 850 veya 1300 nm dalga boyundaki çoklu mod uygulamalarında kullanılabilir.

Fiberin en iyi çalıştığı bazı dalga boyu aralık pencereleri bulunuyor. Bunlara çalışma pencereleri denilebilir. Her pencere tipik dalga boyunun etrafında oluşur. Aşağıdaki tablo bu pencereleri veriyor.

Pencere	Dalga boyu
800 – 900 nm	850 nm
1250 – 1350 nm	1310 nm
1500 – 1600 nm	1550 nm

Bu pencerenin seçilmesinin nedeni, Fiber optiğin çalıştığı en iyi bölgeler olması, diğer bir deyişle eldeki ışık kaynağıyla iletişim özelliklerinin en iyi şekilde çalışması.

Sistemin frekansındansa şu anlaşıyor, sayısal veya analog sinyalin modülasyon frekansı veya diğer bir anlatımla ışık kaynağı tarafından bir saniyede gönderilen sinyal sayısı, frekans, Hertz birimi ile ölçülür. 1 hertz saniyede 1 pulsa karşılık gelir. İletişimde kullanılan pratik birimse megahertz’dir (MHz) ve saniyede 1 milyon atmaya (pulsa) karşılık gelir.

4.4 FİBER OPTİK KABLOLARDA KAYIPLAR

Fiber kablo içinde yer alan ışık sinyalinin enerjisi ve dolayısıyla şekli, değişik nedenlerle kayba uğrar. Bu kayıp desibel cinsinden ölçülür (dB/km). belli bir mesafede kullanılan fiberin düşük kayıplı olması gerekir. Dolayısıyla düşük kayıplı fiber optik sistemleri tercih edilir. Örneğin ilk çıkış gücünün %50 sini kaybı 3.0 dB'lik bir kayba karşılık gelir. Fiber optik kablolar birleştirildiğinde veya sistem içine monte edildiğinde, bazı kayıplarla karşılaşır. İki fiber kablo uç uca birleştirilirse, tipik kayıp 0,2 dB dir. Kayıp nedenleri pek çok olmakla birlikte iç ve dış kayıplar olarak iki sınıfa ayırabiliriz.

Işık sinyali, fiber kablo içinde herhangi bir düzensiz bölgeye gelirse saçılma uğrar ve saçılma uğramış sinyal o bölge tarafından emilerek ilerlemesi engellenebilir. Rayleigh saçılması, bilinen en önemli saçılım şeklidir. Fiber içindeki ışık, fiberi oluşturan cam atomları ile etkileşir. Işık dalgaları atomlarla esnek çarpışma yapar ve ışık dalgası saçılma uğrar. Eğer ışık saçılımdan sonra tam kırılması sağlayan açıdan daha büyük bir açıyla çepere çarparsa, fiber kabloyu terk eder ve kaçar.

İkinci tip iç kayıp, ışık sinyalinin fiber tarafından emilmesidir. Bu tür kayıplar genel kayıpların %3-5'ini oluşturur. Işık sinyalinin fiber tarafından emilmesinin nedeni, fiberi oluşturan camın içinde bulunan kirliliklerdir. Bunlar titreşimi veya başka çeşit enerji kayıplarına neden olurlar.

Diğer kayıp tipiye dış kayıplardır. Örneğin, eğer fiber optik kablo bükülürse bu bölgedeki gerilim artar ve gerilimin artması da kırılma indeksini değiştirir. Bu durumda ışık sinyalinin tam yansımaları gerçekleşmeyerek damar bölgesinin terk edilmesine neden olur. Bu tür eğilmelere makro bükülüm adı verilir.

Bu bükölümder mikro düzeyde kablonun içinde olursa sinyal fiberin damar bölgesini terk ederek kayba neden olur.

Işık artması, fiber kablo içerisindeki yolculuğu sırasında yayılır. Bu durumda artma genişleyerek bir önceki veya bir sonraki atma ile çakışır, yani gönderilen ışık sinyali artık ayrılamaz hale gelir. Sonuç olarak iletilen bilginin karakteristik özelliği yitirilmiş olur. Diğer bir anlatımla bilgi kaybolur.

Kromatik dağılım, ışık kaynağında kullanılan dalga boyu aralığına bağlıdır. Lazer veya LED'ler tarafından üretilen ışığın dalga boyu belli bir aralıkta olur. Fiber içinde yer alan değişik dalga boyundaki dalgalar, değişik hızlara sahiptir. Dolayısıyla eşit mesafeleri farklı sürelerde alırlar; bu da sinyalin yayılmasına neden olur. Sinyalin gereğinden fazla yayılması onun karakterini bozar ve bilginin kaybolmasına neden olur. Bu tür kayıplar, tek mod fiber optik uygulamalarında oldukça önemlidir.

Bant Aralığı: Bant aralığını ışık sinyalini gönderdikten sonra diğer uçta bulunan dedektörün ayırabileceği özellikleri taşıyan bilgi miktarı olarak tanımlayabiliriz.

Daha önce anlatıldığı gibi yayılma, ışık sinyalinin dağılmasına neden olur. Bu dağılma, ışık atomlarının birbirleri ile birleşmelerine neden olur. Belli bir mesafede ve belli bir frekansta gönderilen atma, alıcı tarafından okunamaz hale gelir. Bunu dışında, genellikle çoklu mod fiberlerde görünen sinyallerin üst üste gelip karışması da bilginin kaybına neden olur.

Sistemlerin bant aralığı bir kilometrede megahertz (MHz) ile ölçülür. Örneğin eğer bir sistemin bant aralığı 200 MHz-km ise, bir saniyede 200 milyon atma (puls) bir kilometrelik fiber içinde birbirine karışmadan algılayıcıya ulaşır.

BÖLÜM - 5

FİBER MALZEMELERİ ve ÖZELLİKLERİ

5.1 GİRİŞ:

Haberleşme amaçlı optik fiberler, özellikler camdan dielektrik malzemeden yapılırlar. Yüksek silikalı camlar şimdi çok bileşenli camlar terk edildiğinden, rakipsizdirler. Silika olmayan oksit camlar ve oksit olmayan camlar incelemeye devam edilmektedir. Haberleşme amaçlı optik fiberler için, malzemenin sahip olması gereken temel özellikler, kullanılan spektral bölgede mükemmel şeffaflık, kimyasal etkilere direnç, iyi kararlılık, iyi mekanik özellikler, düşük fiyat ve endüstriyel işlemlere iyi uyumluluktur. Şekil 5.1 fiber optikte kullanılan veya üzerinde çalışılan malzemelerin ana ailesini göstermektedir.

Şekil 5.1

5.2 CAMLAR:

Şimdilerde haberleşme amaçlı kullanılan bütün optik fiberler camsı malzemelerden yapılır. Hatta yakın gelecekte ümit vadeden malzemeler bile camsı malzemelerdir.

Camsı durumu tanımlamak kolay değildir. Cam olmayan şeyi tanımlamak veya bir camı elde etmede kullanılan işlemi tanımlamak daha kolaydır. Bu münasebetle, bir cam, amorf (yani, kristal halde olmayan) bir malzeme olarak göz önüne alınır veya alternatif olarak, kristallemeye başlayacak yeterli zaman bulunamayacak kadar hızlı bir şekilde soğutulan bir sıvı olarak kabul edilebilir. İkinci tanımlama, cam üretmede kullanılan pek çok metottan sadece birini belirler.

Kompozisyon, bir camın özelliklerini tanımlamak için yeterli değildir, çünkü, cam, temel ve mekanik bir sürecin sonucudur ve özellikleri bu sürece bağlıdır. Farklı süreç parametreleri kompozisyonları aynı olsa bile farklı malzemeler oluşturur, pek çok durumda, farklar önemli derecededir. Bu yüzden, hızlı soğutma süreçleri, daha yavaş soğutma ile elde edilen camlardan daha düşük yoğunlukta, atomlar arası mesafe daha fazla, düşük kırılma indisli düşük viskoziteli camlar meydana getirir.

Fiktif sıcaklığı (T_f) kavramı camın bütün özelliklerini, camın geçmişine bakmaksızın tek bir temel parametreye bağlamak için bir girişimdir. Böylelikle basit olarak fiktif sıcaklığı, yapısal değişim olmaksızın camın termal dengeyi bulduğu sıcaklıktır denilebilir. Gösterilmiştir ki, aynı kompozisyona sahip camlar, iç yapıları farklı olsa bile aynı kırılma indisine ve aynı fiktif sıcaklığına sahip olabilir. Böylece şu sonuca varılır ki T_f , camın durumunu temsil edemez.

Bu noktaya kadar, bir cam daima homojen bir malzeme olarak göz önüne alınmıştır ve homojenlik özelliklerin izotropisini içerir. Yoğunluk ve kompozisyondaki dalgalanmalar bu görüşe ilk aykırılık olarak gözükür. Fakat cam yapım tekniğinin geçmişinde önemli bir bölüm, camsı yapının bozulmasına (devikrifikasyon) ayrılmıştır, burada bu terim (devikrifikasyon) bir camsı yapıyı etkileyen bütün değişimleri ihtiva eder. Camsı yapının bozulması, faz ayrışması yani kristalleşme demektir. Kristalleşme sıcaklığı (T_x), erime noktası (T_m) ile cam geçiş noktası (T_g) arasındadır. ($T_g < T_x < T_m$). T_x 'in değişim aralığı genellikle birkaç dereceyi geçmez ve bu yüzden T_x 'de T_g gibi, genellikle belirli bir sıcaklık olarak alınır.

Yeterince yüksek sıcaklıkta tutulan bir camın, çoğu kez, belli derecede camsı yapıdan ayrılma gösterdiği bulunmuştur, bu ayrılmanın şiddeti gözleme zamanı ile artar ve $T_x - T_g$ arttırıldıkça azalır. Bu

yüzden $\Delta_1 = T_x - T_g$ ($^{\circ}C$) çoğu kez cam kararlılığının bir göstergesi olarak kullanılır. Oda sıcaklığında kullanılmak istenen camlar için $\Delta_2 = T_x^2 - T_g^2$ niceliği daha önemli olarak gözükmemektedir; çünkü Δ_1 'e ek olarak, T_x ve T_g 'nin sıfırdan olan uzaklığını da hesaba katar. ($\Delta_2 = \Delta_1(T_x + T_g)$) Silika camlar için alandan çok daha ciddi devitrifikasyon problemine sahip malzemelerden olan çeşitli florlu camlar için kararlılık indisleri (Δ_1, Δ_2) gösterilmiştir.

Devitrifikasyon olayı oldukça karmaşık bir olaydır ve özellikle birden fazla elemanlı camlar için tam olarak açık değildir.

5.3 YÜKSEK SİLİKALİ CAMLAR

Çok düşük kayıplı optik fiberler, şimdiye kadar yüksek silika içerikli camın sentezlenmesiyle elde edilmiştir. Bu camları tanımlamak zordur; çünkü, onları çok bileşenli camlardan ayırt eden hiçbir kesin kompozisyon yoktur. Silika temel elemandır, bu elemana diğer oksitler eklenir; böylelikle onun kimyasal ve fiziksel özellikleri uygun şekilde değişir. Sonuç olarak, silikadan başka oksitlerin oranı yükseldikçe, camın davranışı, geleneksel çok elemanlı camlarınkine daha çok benzer. Cam çekme sıcaklığı, bu iki sınıfın arasını en iyi ayıran parametredir. Çekme sıcaklığı 800 ve 1200 $^{\circ}C$ arasında olan fiberler, çok elemanlı cam fiberler olarak adlandırılır; çekme sıcaklığı yaklaşık olarak 2000 $^{\circ}C$ 'ye ulaşanlar ise yüksek silikalı cam fiberler olarak adlandırılırlar.

Yüksek silikalı cam fiberler için, özdeki silika oranı, çok modlu fiberlerde %85'den, saf silika özlü tek modlu fiberler için %100'e kadar değişebilir. Kompozisyonu oluşturmada kullanılacak olan diğer bileşikler, böylece nispeten düşük oranlarda kullanılırlar ve katkı (dopant) olarak adlandırılırlar. Yüksek silisyumlu camların özellikleri, bu yüzden silika camlarınkine çok yakın olur.

Kimyasal özellikleri bakımından, silika cam, normal olarak, iyi bir malzeme olarak görülebilir. Sonuç olarak bu cam, hasar verebilen ve bozabilen ürünlerle temasa karşı korunmalıdır.

Diğer taraftan $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar olan sıcaklık aralığında silika camın kararlılığı dikkate değer. Tablo 5.1 camsı silikanın ana fiziksel parametrelerini göstermektedir. Fiziksel özellikler takımı (mekaniksel ve özellikle optik alanlar) yüksek silikalı camı, haberleşme optik fiberleri için en uygun malzeme haline getirmektedir.

Tablo 5.1 Camsı Silikanın Özellikleri

Yoğunluk (g/cm^3)	2,2
Kırılma indisi (n_d)	1,4585
20-320 $^{\circ}\text{C}$ 'de ısı genleşme katsayısı ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	$5,5 \times 10^{-7}$
20 $^{\circ}\text{C}$ 'de ısı iletkenlik ($cal\text{cm}^{-1}\text{s}^{-1}^{\circ}\text{C}^{-1}$)	0,0033
0-100 $^{\circ}\text{C}$ 'de özgül ısı ($cal\text{g}^{-1}$)	0,18
Yumuşama noktası ($^{\circ}\text{C}$)	≈ 1665
Tavlama noktası ($^{\circ}\text{C}$)	≈ 1140
Gerilme dayanımı (MPa)	48
Sıkıştırılma dayanımı (MPa)	> 1100
Sertlik Modülü (GPa)	31,03
Young Modülü (GPa)	71,9
Poisson oranı	0,16
20 $^{\circ}\text{C}$ 'de direnç (Ωm)	10^8
20 $^{\circ}\text{C}$ 'de dielektrik sabiti (1 MHz)	3,75

5.4 OKSİT CAMLAR (ÇOKLU-OKSİT CAMLAR)

İlk modern optik fiberler oksit camlarla yapılmıştır. Bu fiber, yine de yüksek zayıflamaya sahipti (600 dB/km) ve geleneksel oksit camlardan oluşmuştu; fakat geleneksel olmayan bir işlemle elde

edilmişti. Haberleşme optik fiberlerine ait araştırma, çeşitli katkılara sahip camsı silikaya doğru kaydı, bunun sebebi, hem 20 dB/km'nin altında zayıflamaya sahip ilk fiberin yüksek-silika tipli olması ve hem de külçe halindeki camlar üzerinde yapılan ölçmelerin, camsı silikanın, en iyi çoklu oksit camlardan daha geçirgen olması tezini doğrulamalıdır. Zayıflatma mekanizmalarının (özellikle saçılma) daha iyi anlaşılması, ilgi tekrar oksit camlara yöneltmiştir. Bu camlar silika camdan daha düşük cam geçiş sıcaklığına (T_g) sahiptirler ve bu yüzden daha düşük öz inçli saçılma kayıpları vardır.

Bazı oksit camlarda ölçülen saçılma kayıplarının, camsı silika için olanda daha düşük olacağı etkin şekilde bulunmuştur. Ancak, tozlarda başlayarak oldukça sert camlar elde etmekteki zorluklar, yüksek-silikalı işlemlerin, düşük-silikalı oksit camları pratik olarak dışlayan bir ölçüde, endüstriyel seviyede kabul etmesini sağlamıştır.

Çok bileşenli cam optik fiberler genellikle ve karbonatlardan başlayarak üretilirler. SiO_2 , GeO_2 , B_2O_3 , Na_2CO_3 , K_2CO_3 ve BaCO_3 hazırlama yöntemi reaktantların saflaştırılması veya sentezlenmesi ile başlar, reaktantlar daha sonra karıştırılır ve bir cam oluşturmak için füzyona getirilir. En yaygın kullanılan cam tipi, sodyum borosilikattır. Cam kararlılığını, mekanik dayanımı ve difüzyon-ilişkili zayıflamayı iyileştirmek ve erime noktasını düşürmek için diğer kompozisyonlar da incelenmiştir. Soda kireç silikat camlarda, soda-alüminosilikat camlarla ve alkali-germanosilikat camlarla da iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kesin olarak, değiştirilebilen kompozisyonları yüzünden, birçok elemanlı camlar optik fiberler hazırlamak için ihtiyaç duyulan optik, mekanik ve kimyasal özellikler elde etmek için geniş bir imkanlar sahası sunar. Ancak, az veya çok kirlenmiş tozlardan başlayan bu gelişmemiş hazırlama yöntemi ve malzeme saflığını koruyan bir fiber hazırlama işleminin yokluğu, yüksek kaliteli fiber üretimini engellemiştir. Bu malzemeler hala, çoğunlukla kısa mesafede "birinci-pencere" de

çalışma veya SELFOC yöntemiyle elde edilen GRIN optik fiberler için, düşük maliyetli fiberler elde etmede kullanılmaktadır.

Optik kızılaltına (2-20 μm) kaydırılmış dalga boylarında çalışan optik fiberler geliştirmek için, şimdilerde ağır metal oksit camlar incelenmektedir. Uygun kompozisyonlar, La_2O_3 , Ga_2O_3 -SrO, Sb_2O_3 , Bi_2O_3 , $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$, TeO_2 ve GeO_2 esaslıdır. Son ikisinden fiberler çekilmiş ve karakterize edilmiştir. Bu camların hazırlanmasında VPP yöntemleri kullanılabildiğinden çok ilgi çekicidir.

5.5 HALOJEN CAMLAR

1960'ların başında IR Linfaredl görüntüleme demetleri için orta kızılaltı (MIR) bölge için imal edilmişti. 1970'den bu tarafa, silika fiberlerle elde edilen çabuk ve cesaret verici sonuçlar, diğer malzemelere olan ilgiyi yok etmiştir. Son yıllarda yeni malzemelere yönelen araştırmalar, zayıflatmada daha fazla azalma elde etme ümidiyle yeniden başlamıştır. Hala, Pasifik veya Atlantik okyanusunu tekrarlayıcı kullanmadan geçerek haberleşme imkanı sağlayacak olan aşırı düşük kayıplı fiber hayali vardır. İncelenen malzemelerin geçirgen (şeffaf) olduğu dalga bölgesi kızılaltı gölgedir. Kızılaltı dalga boyu bölgesi Tablo 4.2'de gösterildiği gibi alt kısımlara bölünür. Bu muhtemel ikinci nesil fiberler için aday malzemeler camsı yapıdadır. Camsı malzemeler arasında, en ümit verici olan, metal halojenleri olarak gözükmektedir.

Tablo- 4.2 Em Spektrumun kızılaltı bölgesi

	Dalga Boyu bölgesi (μm)
Yakın-Kızılaltı (NIR)	0,78 - 2
Orta-Kızılaltı (MIR)	2 - 20
Uzak-Kızılaltı (FIR)	20 - 100
Uç-Kızılaltı (EIR)	100 - 1000

--	--

5.6 ÇİNKO Klorür CAMLAR

1925'lerde C.G.Marer, Çinko klorürün cam haline gelme kapasitesinden bahseder. Ancak elde edilen cam, optik özellikleri mükemmel olduğu halde, kararsız ve oldukça hijroskopiktir (yani, genellikle iletim özellikleri, su buharının soğurulmasıyla önemli derecede etkilenen malzeme).

5.7 BERİLYUM FLORÜR CAMLAR

Berilyum florür tabanlı camlar (BeF_2) Gold Schmit ve arkadaşları tarafından keşfedilmiştir ve sonra K.H.Sun ve arkadaşları tarafından karakteristikleri incelenmiştir. Morötesinden kızılaltına uzanan yüksek geçirgenliğe ek olarak, bu camların en ilginç özellikleri düşük kırılma indisi ve düşük kromatik dispersiyondur. Bu özellikler, özellikle, kendi kendine odaklanma problemini azaltan düşük nonlineer kırılma indisi, bu camları yüksek enerjili lazerler için uygun hale getirmektedir.

Bunların düşük zayıflatması ve oksit camlardan daha uzun dalga boylarına ($4,5\ \mu\text{m}$)uzanan iletim penceresi , bu malzemeleri, hem üçüncü pencerede hem de MIR bölgesinde çalışan optik fiberler için ilginç hale getirmektedir. Berilyum florür oldukça zehirleyici ve hijroskopiktir; bu yüzden bu konudaki araştırma çalışmalarının cesaretini kırmıştır.

5.8 ALÜMİNYUM FLORÜR CAMLAR

K.H.Sun ayrıca alüminyum florlu (AlF_3) camlarda elde etmiştir. Bunlar kızılaltı bölgede geçirgendirler fakat çekme sırasında cam yapının bozulması problemi vardır ki, hiçbir kristal oluşumu olmayan fiberler üretmeyi zorlaştırır.

5.9 AĞIR METAL FLORÜR CAMLAR

1975’de, şimdi kızılaltında iletim fiberleri için en ümit verici malzemeler olarak gözüken, ağır metal florür camları (HMFG) J.Lucas ve M.Ponlain tarafından keşfedilmiştir. Özellikle ilgilenilenler, ana eleman olarak (%50 ve %70 mol arasında) zirkonyum florür (ZrF_4) veya hafniyum florür (HfF_4), modifikatör olarak (%20 ve %3 mol oranında) baryum florür (BaF_2) ve stabilazör olarak alkali metallerin, geçiş metallerinin, nadir toprak elementlerinin veya aktinidlerin bir veya daha çok florürlerini ihtiva eden kompozisyonlardır.

Bu camlar, 3-4 μm arasında $10^2 - 10^3$ dB/km’lik minimum zayıflama vererek, yakın UV’den (yaklaşık 0,3 μm) orta IR’ye (8 μm civarı) kadar uzanan geniş bir geçirim penceresiyle karakterize edilirler. Bu durum bunları, lazerler, mercekler, filtreler ve tabii olarak optik fiberler için geliştirilen pencereler için çok ilgi çekici yapar.

Bu camların kırılma indisi, bileşikler eklenerek değiştirilebilir; bu işlem ayrıca camın kararlılığını da arttırır.

5.10 FLORÜRDEN BAŞKA HALOJEN CAMLAR

KCl- BCl_3 , AgCl, AgBr, AgI ve PbBr esaslı camlar (camlaşma bölgeleri bilinmese de ve özellikleri ile ilgili çok az yayın olsa da) geliştirilmişlerdir. Muhtemelen flozikonatlara alternatif olabileceklerinden CdF_2 esaslı camlar üzerinde bir ilgi vardır.

5.11 DİĞER MALZEMELER

5.11.1 KALKOJEN CAMLAR

Kararlı camlar, sülfürler, selenürler ve tellürler gibi kalkojen karışımlarından da oluşabilirler. En çok dikkati çeken camlar: Ge-S, As-S, As-Se, Ge-As-Se ve Ge-As-Te 2,4 μm ’lik bir dalga boyunda 35

dB/km'lik en düşük zayıflatma seviyesi olan fiberler As-S camlardan yapıldı. Bazı sülfürler için 4-6 μm dalga boyu bölgesinde 10^2 dB/km'lik bir teori zayıflatma hesaplanmıştır. Bu malzemelerin mekanik özelliklerinin çok iyi olmaması yüzünden, diğer uygulamalar için ümit verici olabilseler de, haberleşme uygulamaları için genellikle göz önüne alınmazlar.

5.11.2 KRİSTALLER

İyi kalitede bir kuartz kristalinde, saçılma değerleri, en iyi camsı silkanınkinden 15 kez daha düşük olabilir. Kristal KCL için 10^4 dB/km'lik bir zayıflatma hesaplanmıştır. Kristal fiberler elde etmek için çalışmalar yapılmıştır. Ancak, öz-yelek ara yüzeyindeki saçılma kadar, çok yavaş üretim yöntemlerinde, kristal fiberleri haberleşme uygulamaları için genellikle uygun olmaktan çıkarmaktadır. Aynı şey çoklu kristal fiberler içinde geçerlidir, bunlar edilemez ışık saçma değerleri göstermektedir.

5.11.3 PLASTİKLER

Silika esaslı optik fiberlerin uzak mesafe haberleşme amaçları için en yaygın kullanılmalarının yanında, ek yapma sırasındaki zorluklar ve kırılma kaybı sebebiyle de dezavantajları vardır. Kısa ve orta mesafedeki haberleşmeler için yüksek kayıplı fakat kolay kullanımlı fiberler kullanılabilir. İşte plastik fiberler bu tür fiberlerdir. Plastik fiberleri kendi içinde ikiye ayırabiliriz. Plastik yelekli silika fiberler veya plastik yelekli optik fiberler (PCOF) ve Tamamen Plastik Fiberler (POF).

PCOF Fiberler, çoğu kez camsı silika olan bir camöze ve genellikle silikon elastomer olan daha düşük kırılma indisli yeleğe sahiptirler. PCOF fiberler genellikle, 850 nm'de bulunan birinci

pencerelerde kullanılırlar; bu dalga boyunda zayıflatmaları 5-8 dB/km'dir. Bu kayıp cam fiberinkinden daha yüksektir ve optik gücün bir kısmın taşıyan yüksek kayıplı plastik yekek yüzündendir. PCS'ler deki soğurum mekanizmaları cam fiberlerdekine benzerdir; bununla beraber, yekek malzemesi olarak düşük indisli plastik kullanıldığı zaman, yüksek NA'lı fiberler elde edilebilir.

Silikon elastomerin üç ana kusuru vardır; önemli derecede plastiğı konnektör uygulamalarını zorlaştırır; yapıştırılarak bağlama imkansızdır. Ve pratik olarak organik çözücülerde çözülmezler. Bu sıkıntılar bu malzemeyi sevimsiz hale getirir. Bağlantı uygulamalarındaki güçlüklerinden dolayı silikon elastomer yekek yerine, sert yekekli silika (HLS) fiberler yapılmıştır. Bu fiberlerde yekek malzemesi perfloro-akoksi polimer (PFA) dır. Bu fiberler 5,2 GPa'lık gerilme dayanımına, nem ve radyasyona karşı iyi dirence sahiptirler.

PCS fiber tasarımı basamak indisli profille sınırlıdır, bu da düşük veri hızı doğurur. Zayıflatmaları, tamamen plastik fiberler kadar yüksek olmadığından, PCS'ler orta mesafeli haberleşmeler için kullanılabilirler.

Plastik fiberlerin temel zafiyeti önemlidir. En yaygın kullanılan plastiklerde, 80 °C - 100 °C arasındaki sıcaklıklarda, optik kayıplar kadar mekanik güvenilirlik gibi polimer yapısında değişimler söz konusu olabilir.

BÖLÜM 6

OPTİK FİBER ÜRETME TEKNİKLERİ

6.1 YÜKSEK SİLİKALİ ÜRETME TEKNİKLERİ

Optik fiberlerde en önemli konu, zayıflamada baskın rol oynayan, malzemelerin saflığıdır. Pencere camı ile modern optik fiberlerde ulaşılan geçirgenlik arasında 10⁴katlık (dB olarak) bir fark vardır.

(Eğer deniz, optik fiber camdan yapılmış olsaydı, Atlantik Okyanusunun dibi net bir şekilde görülebilirdi; bir güneş sözlüğünün etkisi 3 m kalınlığında bir pencere camı ile elde edilirken, aynı etki 3 km'lik bir optik fiber camla elde edilebilirdi.)

Tabii kuartz kristallerini eriterek cam elde edilmesine rağmen, haberleşme optik fiberleri için kullanılan silikanın sentetik orjinli olduğu söylenebilir. Geliştirilen teknikler iki ana grupta toplanabilir; İçerden buhar fazında oksitlenme (IVPO) ve dışardan buhar fazında oksitlenme (OVPO) her ikisi de Buhar Fazı işlemleri sınıfına dahildir.

VPP'ler, ek kirlilikleri en aza indirmekle kalmayıp, aynı zamanda kullanılan reaktif maddeden daha saf olan camların eldesini sağlar. Ana reaktif maddelerin (SiCl_4 , GeCl_4 , TiCl_4 , BCl_3) buhar basıncı, kirliliklerinkinden çok daha yüksektir ve basit buharlaştırma ile kirlilik azaltılır.

OVPO işlemi, 1970'de ilk düşük kayıplı optik fiberin üretilmesine imkan vermiştir. Bu yöntem SiCl_4 buharının bir gaz yakıcıya gönderilmesinden oluşur. Alevin olduğu yerde $\text{SiCl}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{Cl}_2$ reaksiyonu meydana gelir. Bu şekilde oluşan silika parçacıkları bir hedef üzerine biriktirilir. İşlem şartlarına bağlı olarak camsı silika elde etmek veya çeşitli büyüklüklerde camsı silika parçacıklarından oluşan bir kurum çubuğu elde etmek mümkündür. İki ana OVPO işlemi, ileri bir pekiştirme safhasından sonra bir preform haline gelecek olan bir çubuk verir.

IVPO işlemleri, yarı iletken endüstrisinde yaygın olarak kullanılan kimyasal buharla biriktirme işlemlerinden geliştirilmiştir. Bir silika camdan yapılmış reaksiyon tüpünden geçirilen asaloksitleyici bir gaz karışımı içine küçük bir miktar SiH_4 katılmıştır. Bazı işlem parametrelerini değiştirmekle, tüpün iç duvarı üzerinde camsı bir SiO_2 tabakası oluşturmak mümkün olmuştur. Pek çok SiO_2 tabakasından

sonra, daha yüksek kırılma indisli tabakalar oluşturmak için, gaz karışımına küçük bir miktar GeH_4 katılmıştır. Daha sonra tüp yüksek sıcaklıkla çöktürülmüştür. Böylelikle bir preform elde edilmiştir. Tüp küçük çaplı, işlem düşük verimli yavaş bir işlem ve yüksek zayıflatmalı fiberler elde edilmiştir. Bununla birlikte bu yöntem, kısa zamanda optik fiber teknolojisi alanında en güçlü bir araştırma aracı haline gelen MCVD işleminin geliştirilmesinde temeli oluşturmuştur. Orijinal CVD’de yapılan ana değişiklikler şunlardır:

- 1- Hidroksil oluşumunu önlemek için hidrürlerle klorürler değiştirilmiştir
- 2- Bir “hacim” reaksiyonu (homojen reaksiyon) elde etmek ve böylece daha büyük verime ulaşmak için bir yüksek sıcaklıklı yakıcı eklenmiştir.
- 3- Düzgün tabakalar oluşturmak ve uzun preformlar elde etmek için, reaksiyon tüpü döndürülmüş ve yakıcı uzunluğuna hareket ettirilmiştir.

Sadece bu değişiklikler MCVD yönteminin çok büyük başarısını ve potansiyelini açıklamaz; oldukça iyi esnekliği kadar basitliği ve düşük maliyeti de üstünlüklerindendir.

6.1.1 MCVD YÖNTEMİ

Bu yöntem, pek çok bakımdan yapılan katkılarla yavaş yavaş değiştirilmiş olan, bir içten biriktirme (IVP) işlemidir. MCVD işlemi en yaygın preform elde etme yöntemidir. Bir preform, sonuçta elde edilecek olan fiberin kırılma indis profiline sahip olan, ancak oldukça büyük çaplı ve 1 m uzunluklu bir çubuktur. İşlemdeki ilk adım, bir SiO_2 tüpünü oluşturmaktır. Bu tüp, sonuç fiberin yeleği görevini görecek ve bu yüzden oluşturulurken katkılanabilir. Bu tüp mandral denen, dönen seramik bir elamanın üzerine, kurum olarak adlandırılan SiO_2 parçacıkları ve katkılایıcılar da oluşan bir tabakanın biriktirmesiyle oluşturulur. Kurum yeterli kalınlığa ulaştıncaya, yaklaşık

1400 °C'ye kadar ısıtılarak temiz bir cam haline getirilir. Daha sonra Mondrel çekilir.

Bu şekilde oluşturulan silika yelek tüpünün kısa bir bölgesi, tüp, bir cam işleme tezgahı üzerinde döndürülürken tüp boyunca hareket ettirilen harici bir ısıtıcı ile ısıtılır. Bu har fazında olan reaktif maddeler, taşıyıcı oksitleyici asal gazların bir karışımı ile beraber kontrollü miktarlarda reaksiyon tüpünden geçirilir, ısıtılan bölgeye yakındalarında oksitlenme oluşur.

Isıtıcı hızı, reaktif madde akışı yönünde kontrol edilir. Reaksiyon tüpünün ısıtılan bölgesinin sıcaklığı, aynı ısıtıcı taşıyıcısına yerleştirilmiş olan bir pirometre (sıcaklık ölçer) ile okunur. Tipik sıcaklık bölgesi 1200 °C'den 1600 °C'ye kadardır. Isıtılan bölgede, tüpün iç duvarı ile gazlar arasında homojen bir reaksiyon meydana gelir; bu reaksiyonla silika parçacıkları oluşur. Bu parçacıklar, sıcak bölgenin ilerlediği yönde tüp duvarları üzerinde bir kurum oluşturur.

Bir sıcaklık değişimi olan bir bölgede bulunan bir parçacık, yüksek sıcaklıktaki parçacıklarla çarpışmanın bir sonucu olarak, soğuk bölgelere doğru hareket eder.

Biriktirme verimi ε ,

$$\varepsilon = 0,8 \frac{T_r - T_e}{T_r} \quad \text{ile ifade edilir.}$$

6.1.2 OVD YÖNTEMİ

OVD yöntemi, 1930'da J.F.Hyde tarafından geliştirilen yönteme çok benzer ve OVPO işlemleriyle birlikte kısaca tasvir edilmiştir. Biriktirme fazı, yüksek sıcaklığa dayanıklı bir malzemeden (genellikle Al_2O_3 veya grafit) yapılmış küçük çaplı silindirik bir çubuğun dış duvarı üzerinde meydana gelir, bu çubuk aynı zamanda preformun desteğini

oluşturur ve biriktirme işleminin sonunda çıkarılır. Çubuk bir tazgah üzerinde döndürülür ve biriktirme ocağının alevine tutulur. Ocak, tezgah eksenini boyunca hareket eder ve tazgahın bir gidiş geliş mesafesi preformun uzunluğunu belirler. Yakıt gaz, bazen diğer hidrokarbonlarla beraber olmak üzere çoğu kez metan veya hidrojenidir.

Başlangıç bileşikleri, IVPO yöntemindekilerle aynıdır. Reaktantlar, bunlar olarak yakıcıya gönderilir, akış kontrolü ve karıştırma sistemleri, eş merkezli bir ağız takımıyla sağlanır. Reaktant gazlar merkezi ağızlardan, yanacak gazlar dıştaki ağızlardan çıkar. Bir asal gaz orta ağızlardan çıkar ve reaksiyon gazlarını alevin en sıcak bölgesine doğru götürür.

Burada, reaksiyon, oksijenlerle halojenler arasında meydana gelir ve 0,1 µm çaplı, silika veya katkılı silikanın küçük camı parçacıklarından oluşan bir toz oluşur. Bu parçacıklar çubuğun üstüne püskürtülür ve beyaz süngerimsi silindirik bir gövde oluşturur; bu gövdenin yoğunluğu, bitmiş preformunkinden %15-25 daha azdır. Biriktirme fazından sonra, destek çubuk çıkarılır ve süngerimsi silindir müteakip bir destek fazına geçer bu süngerimsi ara evrenin avantajları, düşük işlem sıcaklığı olması (bu, daha az katkı maddesinin buharlaşmasına yol açar) ve yoğun cama göre süngerimsi kütleden OH gruplarını gidermenin daha kolay olmasıdır. Biriktirmenin meydana geldiği dolanım, yüksek temizlik şartlarında çalışmayı mümkün kılmalıdır. OVD işleminde, biriktirme hızı ve verimi, üzerine biriktirmenin yapıldığı silindirin çapıyla ve akan gazların miktarıyla artar.

Bu yöntemin üstünlükleri, yüksek biriktirme hızı, büyük preform boyutu, düşük OH miktarı ve preformun iyi geometrik düzenliliği olarak özetlenebilir. Bir preform elde etmek için gereken adımların çokluğu bu yöntemin dezavantajıdır. Bundan başka, tüp biçimindeki bir preformdan konsolidasyon evresi geçirme özelliği olan bütün işlemler gibi, eksenel dönüş (dip) problemi vardır.

6.1.3 VAD YÖNTEMİ

VAD yöntemi, iyi ürün kalitesi sağlamak, daha fazla işlem çok yönlülüğü elde etmek için endüstrileşme ve araştırmada büyük gelişme sağlamıştır. VAD'yi diğer buhar fazında biriktirme işlemlerinden ayıran karakteristik, optik fiber fabrikasyonu için sürekli bir işlem olarak kullanılabilmesidir. OVD için olduğu gibi, VAD, dehidrasyon ve konsolidasyon evresinin izlediği bir süngerimsi preform büyütme evresi ihtiva eder. OVD'de büyütme preform boyunca radyal iken, VAD'de akseneldir ve preform, biriktirme odasından tedricen çıkarılmalıdır. Böylece biriktirme ve pekiştirme evresi ard arda gelir ve aynı tesiste aynı hat üzerindedir. Camsı silika biriktirme odasının üst ucunda, pekiştirme evresi için bir elektriksel direnç ihtiva eden ikinci bir oda vardır. Dış çevreden gelebilecek kirliliği önlemek için, iki oda sağlamca bağlanır ve mühürlenir. Preform, pekiştirme odasından dik bir konumda yavaşça çekilir. Simetriyi iyileştirmek için, ayrıca, preform çekilirken ekseni etrafında döndürülür.

İyi işlem düzgünlüğünü sağlamak için, sürekli kontrol altında tutulacak parametreler şunlardır. Reaktant ve yanıcı gazların akışı, egzost akışı alev ve büyüme yüzeyi sıcaklığı, dönme hızı ve preform konumlandırma. Mesela, preform konumunda bir dalgalanma, çapta bir değişime ve kırılma indisi profilinde düzensizliğe yol açar. Bunu önlemek için, büyüme bölgesi, dikkatlice sabit tutulur ve bir telekamera ile sürekli gözlenir. Preformun tekrar üretilebilirliğini ve kırılma indis profili düzgünlüğünü etkileyen diğer bir etken, ocak biçimidir. Yelek malzemesini biriktiren ocak, genellikle büyüyen preforma dik yerleştirilir.

Tüp çöktürülerek preform eldesinde kullanılan diğer yöntemlere göre bu işlemin üstünlüklerinden birisi, hiçbir aksenel düşüşün olmamasıdır, çünkü preform, bir tüpün kapatılmasından ziyade, bütün

bir t p n konsolidasyonu ile elde edilir. Konsolidasyondan sonra, uygun  z yelek oranlı fiberler elde etmek i in, preform y ksek sıcaklıkta gerilir ve sonra preform  zerine   kt r lerek olan, uygun boyutlardaki camsı silikondan yapılmı  bir t p ceketle kaplanır. Ana dezavantaj, her tip kırılma indisi profili i in gerekti inde ayarlanabilen yakıcıların kompleksli i olarak g z k r.

6.1.4 T P  İNDE  UBUK Y NTEM 

Bu  ok basit ve optik fiber imalatında kullanılan ilk metodlar arasında bulunan bir y ntemdir. Y ksek kırılma indisli katı silindirik bir cam  ubuk, daha d    k kırılma indisli fakat benzer kimyasal ve fiziksel  zellikleri olan bir cam t p i ine konulur. Bu topluluk bir fırın i ine tedricen sokulur. Bu fırında a- t p  ubu a yakla acak  ekilde   ker b- toplulu un  apı fiberi olu turacak  ekilde b z l r.  ubuk ve t p n sokulma hızları,  z ve yelek  apları arasındaki oranı de i tirmek i in de i tirilebilir.  ekme i leminin balarısı i in,  ekme sıcaklı ı yakınında iki camın viskozitesinin ve fermal genle me katsayılarının uyumu  ok  nemlidir.

 zel dikkat g sterilmezse, kabarcıklar ve pisletici par acıklar  z-yelek aray zeyinde kolayca bulunabilirler; bu da ı ı ın sa ılmasına ve so rulmasına neden olur. Bundan sakınmak i in, temasa gelen cam y zeyler,  ekme i leminde  nce temizlenir; bu i lem kontroll  tozsuz bir atmosferde ger ekle melidir. Bu teknik,  imdi CVD i lemiyle elde edilen preformun  z/yelek oranını d zeltmek veya  retim verimini arttırmak i in bazen kullanılmaktadır. Bu ama la, herhangi bir metotla  retilen bir preform, y ksek optik kalitede bir cam t p i ine sokulur ve sonra  ekilir.

6.1.5  İFT POTA Y NTEM 

Çift pota yöntemi, sadece düşük kalitede düşük maliyette optik fiberin üretiminde ve yeni cam malzemelerin (ortak kızılötesi fiberler) çekilmesinde hala kullanılmaktadır. Temel malzemeler genellikle nispeten düşük erime noktalı ($800-1200\text{ }^{\circ}\text{C}$) çok bileşenli camlardır. Çift pota, cam topları veya çubukları ile beslenir.

Kısa mesafeli (LAN gibi) uygulamalar için yararlı olan yüksek NA'lı fiberler (mesela silika fiberler için $\text{NA}=0,6$) çift pota yöntemiyle elde edilebilir.

Çift pota yönteminde ortaya çıkan ana sakıncalar, eriyikte bulunan gaz yüzünden kabarcıkların oluşumu ve fiber çapında değişimlere yol açan, ikinci pota dışındaki çekme menüsküsünün değişkenliğidir. Son olarak, pota malzemesinin sebep olduğu külçe kirlenmesi vardır. Platin bile bu açıdan ideal değildir. Diğer taraftan bu yöntemin ana faydası yüksek üretim verimini sağlayan sürekli bir işlem olmasıdır.

6.1.6 PLAZMA İŞLEMLERİ

Alevli yakıcı yerine ısı kaynağı olarak mikrodalga oyuğu veya R.F bobini veya mikrodalga dalga kılavuzunun kullandığı yöntemlerde vardır. Bunlar plazma CVD (PCVD), plazmayla güçlendirilmiş MCVD (PEMCVD veya PMCVD), tahrik edilmiş plazmalı CVD (PICVD) olarak adlandırılırlar.

6.2. FİBER ÇEKME

Optik fiberler, çekme olarak adlandırılan bir işlem kullanılarak preformlardan elde edilirler. Bu işlem, preformun sahip olduğu optik özellikleri ve kırılma indisi profilini değiştirmeden, preformun çapını fiberin çapına tedrici olarak düşürme işlemidir. Çap, düşey vaziyette, malzemenin erime noktasının yukarısındaki bir sıcaklıkta azaltılır.

Çekme sıcaklığının seçimi ilk önce cam tipine (katkı yüzdesi) yani sıcaklığa göre viskozite $\eta(T)$ eğrisine; daha sonra preform çapı, çekme hızı ve fırın boyutları gibi diğer parametrelere bağlıdır.

Bir çekme makinesi aşağıdaki kısımlardan oluşmuştur.

- 1- Bütün makine elemanlarının bağlandığı düşey bir destek; bu destek mümkün olduğunca sağlam olmalıdır.
- 2- Preformu fırının içine aşamalı olarak sokan bir besleme mekanizması
- 3- Bir yüksek sıcaklı fırını (fiber çekme için)
- 4- Bir fiber çapı ölçme sistemi
- 5- Kaplama işlemi için tüp biçimli fırın
- 6- Fiberi çekme ve sarma makinesi

Bu klasik düzen zaman içinde büyük değişikliklere uğramıştır. Başlıca değişiklikler şunlardır; Kasnak, toplayıcı kasnaktan ayrı olan bir çekme sistemi ile yer değiştirmiştir ve bir veya daha fazla kaplama ağızlığı ile fiber üzerinde daha fazla koruyucu tabakalar oluşturmak için birleşik kaplama işleme fırınları eklenmiştir.

Endüstride daha büyük boyutları olan preformlar üretme eğilimi olduğundan ve desteğe bağlanan elemanların sayısı ve büyüklüğü arttığından, modern çekme kuleleri gittikçe yükselmektedir. Başlangıçta birkaç metre iken sonradan 10 veya 15 m'ye veya daha fazlaya çıkmıştır,

Bir silika çekme fırını için aranan özellikler şunlardır:

- 2000-2200 $^{\circ}C$ 'de çalışma kabiliyeti
- Isıtma ve soğutma hızı
- Havayla az veya hiç reaksiyona girmeme
- Uzun ömür, az veya hiç parçacık püskürtmeme

Bütün bu gerekleri karşılayan tek bir fırın tipi yoktur. En yaygın kullanılan ısıtma sistemleri H_2/O_2 alevi, CO_2 lazer, grafit rezistans, ZrO_2 veya grafit suseptörlü indüksiyon fırınıdır.

6.3 KAPLAMA

Silika cam, iyi fiziksel ve kimyasal özellikli bir malzeme olmasına rağmen, dış ortam onun mekaniksel ve iletim özelliklerinin hızlı bir şekilde bozulmasına yol açabilir. İletim özelliği, sadece hidrojen ve iyonize edici radyasyon tarafından bozulur. Bir fiberin mekaniksel özellikleri onun yüzey şartlarına çok sıkı bağlıdır; Gerilme, veya atmosferik tozdaki aşındırıcı parçacıkların sebep olduğu mekaniksel etkiler; çevre sıcaklığında, su moleküllerinin, alkali çözeltilerin, hirdoflorik asitlerin ve birkaç tuzlu çözeltinin kimyasal etkileri veya kimyasal ve mekanik etkilerin birleşmesi yüzünden oluşan cam yüzeyi üzerindeki havar mekanik özelliklerde, özellikle gerilme dayanımında hızlı bozulmaya yol açar. Bu yüzden koruyucu kaplamalar yapılır. Bazı durumlarda, daha kuvvetli bir cam elde etmek için, preformun dışının katkılanması teşebbüsleri yapılmıştır. Mesela bu işlem bor-silikat cam fiberler durumunda ZnO ve Al_2O_3 yüzey katkılanmasıyla yapılmıştır. Ancak, en yaygın yöntem organik polimer kaplamalar kullanmak olmuştur. Organik polimerler sadece atmosferik toza karşı mükemmel koruma sağlarken, aşınmaya karşı iyi koruma sağlar fakat sudan ve su buharı sızmasından iyi korunmaz; bugün, sadece inorganik kaplamalar iyi (etkilenmezlik) özellikleri gösterirler.

BÖLÜM - 7

7.1 FİBER OPTİK KABLOLARIN KULLANIM ALANLARI:

- Fiber optik kablo en çok haberleşme hizmetlerinde kullanılır.
- Kablolulu TV
- Bilgisayar Şebekesi

- Endüstriyel sahalar
- Tıbbi uygulamalar
- Güvenlik Şebekeleri
- Trafik Sinyalizasyon
- Yüksek gerilim hatları ve demiryolları
- Air-Craft
- Nükleer Tesisler
- Explosive alanlar
- Fabrika iletişim ve otomasyonu
- Dekorasyon
- İntegre optik
- İntegre optik düzenler vb...

7.2 FİBER OPTİK KABLONUN AVANTAJLARI

1. KABLO TEORİSİ KOLAYDIR

Diger kablolarla karşılaştırıldığında kablo dış çapı küçüktür. (Fiber optik kablo dış çapı dahili tip 11,5 mm arme tipi 19mm) Bu yüzden büzlerden rahat çekilir ve yeraltında tesis tasarrufu sağlar.

Kablo dümdüz çekilmek zorunda değildir. Fiber optik kablo büzler içinde S yapabilir. Bunun transmisyon açısından bir sakıncası yoktur. Halbuki transmisyon boruları düz çekilmek zorundadır.

2. İLETİŞİM KALİTESİ ve GÜVENİLİRLİĞİ FAZLADIR

Transmisyon kalitesi ve kapasitesi yüksektir.

Diyoteni kesinlikle yoktur.

Elektrik sinyalleri fiber iletişimi için ışık dalgalarına çevrildiğinden, dinlenilmesine imkan yoktur.

Elektrik ve radyo parazitlerine karşı duyarsızdır.

Telsiz ve RF interferans problemi yoktur

Frekansa ve ısıya bağımlılığı yoktur.

Zayıflaması düşüktür, dolayısıyla haberleşme kalitesi de yüksektir.

Repetör aralığı yüksek olduğundan daha ekonomiktir.

Elektromanyetik enterfrans yoktur. Bu yüzden enerji kablolarından etkilenmezler. Bu özelliğinden dolayı yüksek gerilim ENH kabloları içinde fiber optik damarlarda konularak kompozit (Haberleşme/Enerji) kabloları yapılmaktadır.

Ek noktalarında mekanik bağlantı yoktur.

3. HAM MADDESİ SINIRSIZDIR

Dolayısıyla her geçen gün fiber optik kablo ucuzlayacaktır. Halbuki dünya bakır rezervi ise sınırlıdır.

7.3 FİBER OPTİK KABLONUN DEZAVANTAJLARI

- 1- Mevcut şebekeye ayarlanmasında zorluklar çıkmaktadır. (Bakır devre ve fiberin uyuşmaması gibi)
- 2- Digital ve analog sistemlerin uyuşmaması
- 3- Fiber fiyatlarının yeteri kadar ucuz olmaması. (Uzak mesafe irtibatlarında, fiber optik sistemler konvansiyonel sistemlere göre daha ucuza gelmektedir.)

BÖLÜM - 8

SONUÇ

Endüstrinin gelişimine bakıldığında, bilgi çağının 1895'te başladığını ve 1995 yılından itibaren hızının yavaşladığını söylemek yanlış olmaz. Artık yeni bir çağa, iletişim çağına hızla ilerliyoruz. Bu çağın en önemli karakteri, bilgiye ulaşmanın ve bilginin dağıtımının yani iletişim araçlarıyla yapılması. İnsanların internet'i kullanmaya başlaması ve bu konudaki talebin çok hızlı artması, ulusal iletişim altyapısının tekrar gözden geçirilmesi ve yenilenmesine neden olmuş bulunuyor. Bu çağa ulusal bazda ayak uydurmanın en önemli kriteriyse, ülkedeki iletişim trafiğinin büyüklüğü. İletişimi arttırmanın ve çağa ayak uydurmanın yoluysa doğal olarak alt yapının yeterince iyi olmasına bağlıdır. Dolayısıyla fiber teknolojilerinin ülkemizde yoğun olarak kullanılması yaşamsal öneme sahip bir göreliliktir.

Bilgi çağında insanlar daha çok tek yönlü, etkileşimsiz olarak bilgiye ulaşmanın yolunu arıyorlardı. Yeni durumda, yani iletişim

çağında koşullar hızla değişiyor. Yeni durumda insanlar bilgiye ulaşmada ve diğerleri ile iletişimde çift yönlü ve etkileşimli araçlar kullanıyorlar.

Fiber optik kablolar artık tüm ülkelerde hızla bakır kabloların ve diğer iletişim araçlarının yerini alıyor. Fiber optik kabloların diğer iletişim ortamlarından en önemli farkı, ses, veri ve görüntü iletişimindeki yüksek hız. Fiber kablo uçları yakında oturma odamıza kadar uzanacak diğer uçta ise milyonlarca bilgi kaynağının ve etkileşimli iletişim sağlayabildiğimiz kişilerin olduğunu düşünürsek globalleşmenin ne olduğunu ve önemini anlamak şüphesiz daha kolay olacaktır.

KAYNAKLAR

(3) Doç.Dr. Sedat ÖZSOY, Fiber Optik, Birsen Yayınevi, Kayseri 1998

(2) Bilim ve Teknik. Sayı 397, sayfa:34-37

(1) Raymond A. Serway, Serway Fen ve Mühendislik için Fizik, cilt II, sayfa:1009-1012, Palme yayıncılık

(4) HESFİBEL Döküman