

**T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

UÇAK BAKIM

**FİBER OPTİK
440FBO009**

Ankara, 2011

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- PARA İLE SATILMAZ.

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR	iii
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1	3
1. OPTİK (IŞIK).....	3
1.1. Işık Nedir?	3
1.2. Işık Kaynakları	4
1.3. Işık Nasıl Yayılır?	4
1.4. Gölge –Tam Gölge - Yarı Gölge	4
1.5. Renkler	5
1.6. Işığın yansıması ve yansıma kanunu	7
1.7. Işığın kırılması ve kırılma kanunu.....	8
1.8. Aynalar	9
1.8.1. Düzlem Aynalar	9
1.8.2. Küresel Aynalar.....	10
1.8.3. Parabolik Aynalar.....	12
1.9. Mercekler	12
UYGULAMA FAALİYETİ.....	13
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	14
ÖĞRENME FAALİYETİ-2	15
2. FİBER OPTİK.....	15
2.1. Fiber optik nedir?	15
2.1.1. Fiber Optiğin Tarihçesi	15
2.2. Fiber Optik Sistem Özellikleri	18
2.2.1. Işık kaynakları	19
2.2.2. Işın Demetinin Fibere Enjekte Edilmesi.....	19
2.2.3. Mod (Enjekte edilen ışın)	21
2.2.4. Modal Yayılma (Ulaşım zamanı)	21
2.2.5. Malzeme Yayılması.....	22
2.2.6. Zayıflama.....	22
2.2.7. Mikrobent Kayıpları	23
2.2.8. Fiber türleri.....	23
2.3. Fiber Optik Kablo.....	23
2.3.1. Fiber Optik Kablonun Çalışması	27
2.3.2. Fiber optik kablolarda kayıplar:	28
2.4. Konnektörler.....	30
2.4.1. Tek Yollu Konnektör.....	31
2.4.2. Çok Yollu Konnektörler	31
2.4.3. Elektro-optik Konnektörler	31
2.5. Avantajlar ve Dezavantajları	32
2.5.1. Avantajları	32
2.5.2. Dezavantajlar.....	33
UYGULAMA FAALİYETİ.....	34
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	35
ÖĞRENME FAALİYETİ-3.....	36
3. Uçak üzerinde kullanılan veri iletim yöntemleri	36
3.1. Optik Veri İletimin Havacılıkta Kullanımı.....	37

3.1.1. Fly-By-Light Uçuş Kontrol Sisteminin Gelişimi	37
3.2. Optik Sensörler.....	41
3.3. Optik olmayan sensörlerle uçak ölçümleri	45
3.3.1. Pnömatik kumandalarda kullanılan basıncın ölçülmesi	45
3.3.2. Yakıt miktarının ölçülmesi	46
3.3.3. Yakıt Seviyesinin Fiber Optik Yöntemle Ölçülmesi	47
3.4. Jiroskop Ölçümler	48
UYGULAMA FAALİYETİ.....	49
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	51
MODÜL DEĞERLENDİRME	52
CEVAP ANAHTARLARI.....	53
KAYNAKÇA	55

AÇIKLAMALAR

KOD	440FBO009
ALAN	Uçak Bakım
DAL	Uçak Gövde-Motor Teknisyenliği
MODÜL	Fiber Optik
MODÜLÜN TANIMI	Uçaklardaki kullanılan fiber optik sistemlerinin standartlara ve tekniğe uygun olarak bakımını yapabilmek için kullanılacak öğrenme materyalidir.
SÜRE	40 / 16
ÖN KOŞUL	Dijital uçak sistemleri modülünden başarılı olmak
YETERLİLİK	Fiber optik modülü ile fiber optik kabloları kullanmak
MODÜLÜN AMACI	Genel Amaç Gerekli ortam sağlandığında standartlara ve tekniğine uygun olarak fiber optik kabloları kullanabileceksiniz. Amaçlar 1. Teknik katalog özelliklerine göre fiber optik kabloları seçebileceksiniz. 2. Fiber optik bağlantılarını hatasız yapabileceksiniz. 3. Fiber optiklerin uçak sistemlerindeki uygulamalarını bakım dokümanlarında Aircraft Maintenance Manuel (AMM) belirtildiği şekilde yapabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Ortam:Atölye ortamı Donanım:JAR 145 onaylı bakım malzemeleri
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Modülün içinde yer alan herhangi bir öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendi kendinizi değerlendireceksiniz. Modül sonunda öğretmeniniz tarafından teorik ve pratik performansınızı ölçme teknikleri uygulayarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek değerlendirileceksiniz.



GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Fiber optik, artık günümüzde telekomünikasyon bilgisinin taşınmasında bir standart hâline gelmiştir. Aynı zamanda gelecekte de geniş bantlı servislerde önemli roller almaya devam edecektir. Taşıyıcılar ülke çapındaki ağlar üzerinde servis hizmetlerini gerçekleştirirken fiber optik iletimi kullanmaktadırlar. Bugün dünyadaki uzun mesafe iletişim trafiğinin % 80'lik kısmı fiber optik kablolarla gerçekleştirilmektedir. Fiber optik kablo kullanılarak gerçekleştirilen telekomünikasyon uygulamaları, global ağlardan masaüstü bilgisayarlara kadar çok geniş bir alana yayılmış durumdadır. Bu uygulamalar bir metreden daha az mesafelerden yüzlerce kilometrelik mesafelere kadar, birkaç çeşit dizayndaki kablolardan, birkaç çeşit transmisyon standardı kullanarak veri, ses, görüntü gibi bilgilerin aktarılmasını içermektedir. Analog telefon servisleri, kablolu TV üzerinden gönderilen dijital video servisleri, biyomedikal sistemlerdeki uygulamalar, yeraltı ve denizaltı sanayisindeki transmisyon işlemleri bu uygulamalara bir örnektir.

Optik iletimin adını önemli ölçüde bahsettirdiği sektörlerden biri de havacılık sektörüdür. Bu alanda fiber optik iletim, sağladığı avantajlardan dolayı çok tercih edilmektedir. Her ne kadar optik iletim havacılık alanında tamamen yerleşmedi ise de bugün itibarı ile gerek uçuş kontrol sistemleri, gerek uçuş izleme sistemlerinde büyük ölçüde kullanılma aşamasındadır. Fly-By-Light uçuş kontrol sistemi buna çok iyi bir örnektir. Optik iletim yavaş yavaş elektriksel iletimin yerini almaktadır. Havacılıkta geleceği çok açık görülen bir teknolojidir. Üreticilerin çok kısa bir zaman zarfı içerisinde tamamen optik iletimi kullanan araçlar ve sistemleri hizmete sunma olasılığı bir hayli yüksek görülmektedir. Bu sayede havacılık sektörünün daha güvenilir, daha modern, daha etkin ve verimli bir sektör hâline gelmesi mümkün olacaktır.



ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Standartlara ve tekniğine uygun olarak teknik katalog özelliklerine göre fiber optik kabloları seçebileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Sanal ortamda ve kütüphanede optik sistemler ile ilgili gerekli araştırmaları yapıp bir rapor haline getiriniz. Hazırlamış olduğunuz raporu sınıfta arkadaşlarınızla tartışınız.

1. OPTİK (IŞIK)



Resim 1.1: Prizmada ışık tayfı

Cisimleri görmeyi, renkleri ayırt etmeyi sağlayan fiziksel enerji; erke, ziya, nur, şavk gibi isimlerle adlandırılır.

1.1. Işık Nedir?

Çevremizdeki cisimleri sahip olduğumuz beş duyu organımızla tanıyıp algılamaya çalışırız. Bu organlarımızın en önemlilerinden birisi de gözümüzdür. Çünkü etrafımızda meydana gelen birçok şeyi görerek tanır ve onlar hakkında fikir ediniriz. Görme olayı ise tamamen ışıqla gerçekleşir. Etrafımızdaki cisimlerden bir kısmı ışık yayarak görünürler (Güneş, yıldızlar, yanan kibrit, lamba, ateş böceği vb.). Ayrıca ışık yaymadıkları hâlde ışık kaynaklarından yayılan ışığı yansıtarak görünen cisimler de vardır (Çiçekler, ev, masa, sıra vb.). İşte cisimleri görmemizi sağlayan, göze gelerek bize algılatan enerjiye ışık diyoruz. Işık, en basit tanımı ile düz dalgalar hâlinde yayılan ve dalga boyu gözle görülebilir olan (yaklaşık 400-780 nm Dalga boyları arası) bir elektromanyetik dalgadır. Bunun yanında bilimsel terminolojide gözle görünmeyen dalga boylarına da ışık denilebilir. Işığın ve tüm diğer elektromanyetik dalgaların temel olarak üç özelliği vardır:

- **Frekans:** Dalga boyu ile ters orantılıdır, insan gözü bu özelliği *renk* olarak algılar.
- **Şiddet:** Genlik olarak da geçer, insan gözü tarafından *parlaklık* olarak algılanır.
- **Polarite:** Titreşim açısidir, normal şartlarda insan gözü tarafından algılanmaz.

Işığın enerjisi hem frekans hem de ışık genliği ile doğru orantılıdır. Dalga-parçacık ikiliğine (düalitesine) göre ışık ölçüm yöntemine göre hem dalga hem de parçacık özellikleri gösterebilir. Işığın doğası halen modern fiziğin araştırma konularındandır.

1.2. Işık Kaynakları

Hangi ortamda olursa olsun, gece ve gündüz kendiliğinden ışık yayarak görülebilen cisimlere ışık kaynağı denir. Işık kaynakları, yapılarına göre, sıcak (akkor) ışık kaynakları ve soğuk (akkor olmayan) ışık kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır.

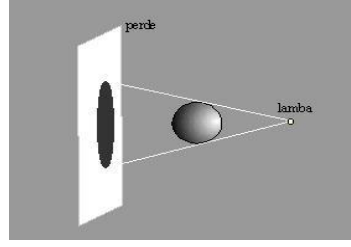
Sıcak ışık kaynakları, ısı yoluyla ışık yayan (Güneş, mum alevi, ampul, kızgın metaller gibi) kaynaklardır. Soğuk ışık kaynakları ise, elektrik ve manyetik etkilerle ışık veren (Flüoresan lamba, ateş böceği gibi) kaynaklardır. Üzerine düşen ışığı geçirip geçirmemelerine göre, maddeler üç kısımda incelenir. Üzerlerine düşen ışığı tamamıyla geçirebilen, cam, su ve hava gibi maddelere saydam maddeler denir. Üzerlerine düşen ışığın bir kısmını geçiren maddelere yarı saydam madde denir. Buzlu cam, yağlı kâğıt gibi ortamlar da yarı saydam maddelerdir. Bir de ışığı hiç geçirmeyen bakır, kitap, duvar gibi maddeler vardır ki, bunlara saydam olmayan maddeler denir.

1.3. Işık Nasıl Yayılır?

Işık kaynaklarından yayılan ışınlar türdeş ortam içerisinde doğru boyunca ilerler ışığın ilerlemesi için ortama ihtiyaç yoktur. Işık türdeş saydam ortam içerisinde sabit hızla yayılır ve ışık hızı ortama göre değişir. Işığın boşlukta yayılma hızı yaklaşık olarak saniyede üçyüzbin kilometredir ($c = 3.10^8$ m/s) Işık ışınlarının bir yılda gittikleri ($9,46.10^{12}$ km) uzaklığa bir ışık yılı denir.

1.4. Gölge –Tam Gölge - Yarı Gölge

Kaynaklardan yayılan ışınlar, ortamda ilerlerken saydam olmayan cisimler üzerine düşerlerse, cisimleri geçemediklerinden dolayı, cisimlerin arka tarafında karanlık bölgeler oluşur. Meydana gelen bu karanlık alana gölge denir. Gölgenin şekli, saydam olmayan cismin şeklinin en büyük kesiti gibidir. Bunun sebebi, noktasal ışık kaynağından çıkan ışığın doğrusal olarak yayılmasıdır. Kare, küp şeklindeki cisimlerin gölgesi kare; daire ve küre şeklindeki cisimlerin gölgeleri dairesel olur. Işık kaynağından çıkan ışınların hiç düşmediği bölgelere tam gölge, kaynağın bazı bölgelerinden ışık düşüp bazı bölgelerine düşmediği bölgelere de yarı gölge denir. Gece oynanan maçlarda sporcuların üç dört tane gölgelerinin olması yarı gölgeye güzel bir örnektir. Dört gölgenin olduğu alana ışık düşmesine rağmen, diğer alanlar aydınlık olduğundan o bölgeler yarı karanlık görülür ve bu bölgelere de yarı karanlık bölge denir.



Resim 1.2: Gölge

1.5. Renkler

Bir cisim, belli bir derece ısıtıldığında, ya da gazlar bir enerji yardımı ile uyarıldığında, ısıtmaya bağlı olarak, çeşitli uzunluklarda ışın saçar. Güneş de bu tür enerji kaynaklarından biridir ve dalgalar halinde ışın yayar. Renkleri belirleyen bu dalga boylarıdır. Buna göre, Güneş ışınları tüm renkleri içeren bir ışık dalgasıdır. Bu durum, ışık, bir prizmadan geçirildiğinde gözle de görülebilir. Buna ışık izgesi (ışık demeti, spektrum, tayf) denir. Ancak, bu ışınların bazıları gözle görülebilirken, bazılarını gözle algılamak mümkün değildir.

Işık kaynağının beyaz olduğu yolundaki yaygın inanca (eğilime) rağmen, ışık her zaman beyaz renkli değildir. Belli bir dereceye kadar ısıtılan siyah cisimler de ışın saçar. Fizikte, belli bir dereceye kadar ısıtılan bu tür (siyah cisimlerin) yaydığı ışına renk sıcaklığı (farbtemperatur) adı verilir. Renk sıcaklığı Kelvin derecesi (K) ile ölçülür. 0 Kelvin derecesi - 273,15°C (santigrat) dereceye, 20 derece, 293,15 Kelvin derecesine, ortalama gün ışığı ise 5000-5500 Kelvin derecesine (renk sıcaklığına) eşittir. Düşük düzeydeki renk sıcaklığı, insan gözü tarafından, kırmızı yönünde bir renk, yüksek renk sıcaklığı ise mavi yönünde bir renk olarak algılanır. Morötesi (UV-ultraviyole) ve kızılötesi (IF-infrared) ışınlar ise, gözle algılanamayan ışık dalgalarıdır.

İnsan tarafından renklerin algılanması, ışığa, ışığın cisimler tarafından yansıtılışına ve öznenin göz yardımıyla beyne iletilmesi sayesinde gerçekleşir. Göz tarafından algılanan ışık, retinada sinirsel sinyallere dönüştürülüp, buradan optik sinir aracılığıyla beyne iletilir. Göz, üç temel birleştirici renk olan, kırmızı, yeşil ve maviye tepki verir ve beyin, diğer renkleri bu üç rengin farklı kombinasyonları olarak algılar. Renklerin algılanışı dış koşullara bağlı olarak değişir.

Aynı renk güneş ışığında ve mum ışığında farklı algılanacaktır. Fakat insanın görme duyusu ışığın kaynağına uyum sağlayarak, bizim her iki koşuldakinin de aynı renk olduğunu algılamamızı sağlar. Tat alma, duyma, dokunma ve diğer duyularımızda da olduğu gibi, renklerin algılanışı da kişiden kişiye değişir. Bir rengi sıcak, soğuk, ağır, hafif, yumuşak, kuvvetli, heyecan verici, rahatlatıcı, parlak veya sakin olarak algılayabiliriz. Ancak bu tanımlama, kişinin, kültür, dil, cinsiyet, yaş, ortam veya deneyimlerinden kaynaklanır. Kısacası diyebiliriz ki herhangi bir renk, iki ayrı insanda asla aynı duyguları uyandırmayacaktır. İnsanların gamma ışınına duyarlılıklarıyla da birbirlerinden ayırmak mümkündür. Bir nesnenin şekli de bu farklılıklardan birini oluşturmaktadır. Büyük bir ihtimalle, katalogdan seçtiği bir ürünün rengi, asıl rengi ile katalogdaki rengi arasında hiçbir ilgisi olmadığını fark eden kişi sayısı hiç de az değildir. Işık, aydınlattığı nesnenin

algılanmasını sağlayan araç olarak da tanımlanır. Biz bir nesneyi ancak gözlerimiz nesnenin yansıttığı ışık tarafından uyarıldığı zaman görür ve bunu bir renk olarak algılarız.

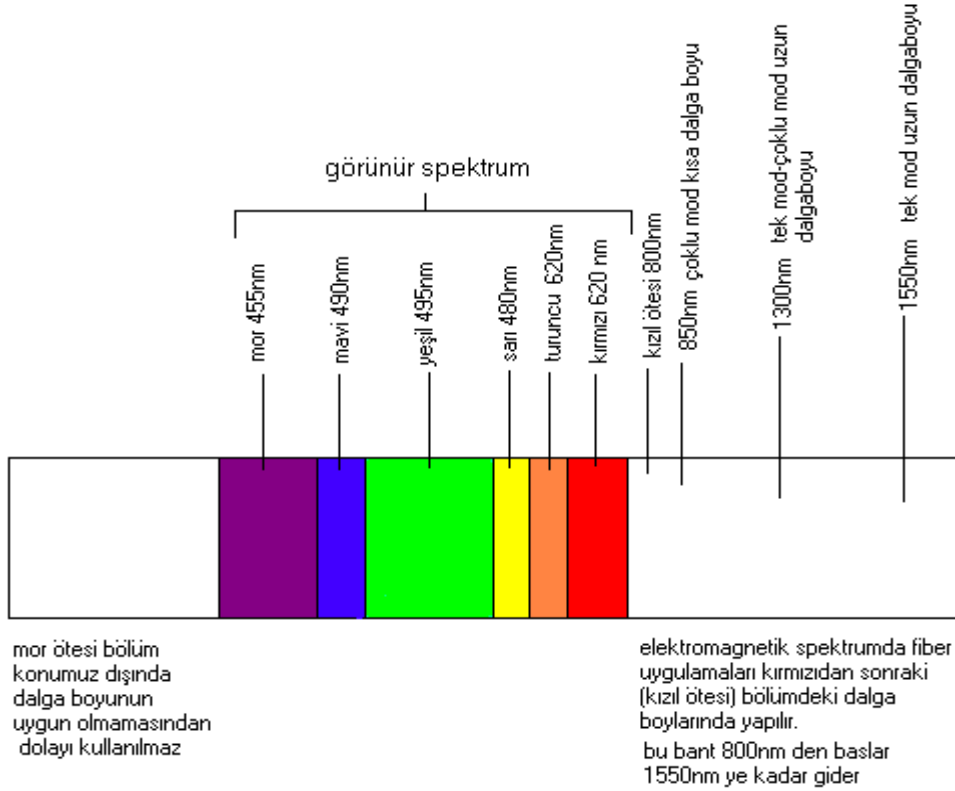
Telekomünikasyonda kullanılan radyo dalgaları gibi, ışık da elektromanyetik bir dalgadır. Işığın özellikleri, radyo dalgalarından gamma ışınlarına kadar gidebilen, elektromanyetik dalganın boyuna göre değişir. Büyüklükler yaklaşık 400nm –700 nm (1 nanometre, metrenin milyarda birine eşit, ışığın dalga boyunu ölçmekte kullanılan uzunluk birimidir.) arasında değişen dalgalar aracılığıyla taşınan enerji, retinadaki alıcıları uyarak, renk uyarıları üretecektir. CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) 380 nm ile 780 nm arasındaki dalga boylarını “görülebilir” olarak belirlemiştir. İnsanlar öyle ışığı “beyaz ışık” olarak algırlar. Bu görülen ışığın 400 nm’den (mavi) 700 nm’ye (kırmızı) değişen kombinasyonlarıdır.

Beyaz ışığın bir prizmadan geçtiği esnada, ışık kırılır ve gökkuşağının yedi rengine ayrılır. Bu ışık bir cisimle karşılaştığında, bir bölümü cismin üstüne yansır. Bizim nesnenin rengi olarak algıladığımız şey de işte bu yansımadır.

➤ Işığın Dalga Boyları ve Spektral Genişlik

Her ışının bir dalga boyu vardır. Bu dalga boyu ışığın görünür- görünmez ya da elektromagnetik spektrumda nerede ve ne özellikte olduğunu belirler. Örneğin infrared (kızıl ötesi) ışınlar insan gözünün algılayabileceği sınırın altındadır.

Bir ışın demetinin nüve içerisinde ilerleme hızı dalga boyuna bağlıdır. Örneğin, mor olan yani mor renkli ışığın dalga boyu 455 nm, kırmızı ışığın dalga boyu 620 nm. Bunun anlamı bu iki ışın fiber içinde aynı hızla ilerlemez. Kırmızı ışın aralarındaki dalga boyu farkı kadar daha hızlı ilerler (her saykılta). Işık bu özelliği bize bir dezavantaj olarak geri döner (modal yayılma olarak).



Şekil 2.1: Işık dalgaları ve spektral genişlik

1.6. Işığın yansıması ve yansıma kanunu

Saydam ortamda hareket eden ışığın herhangi bir yüzeye çarpıp geri dönmesine yansıma denir. Yansıma olaylarında ışığın hızı, frekansı, rengi yani hiçbir özelliği değişmez. Sadece hareket yönü değişir.

Bir yüzeyde 90° lik açı yapan dikmeye yüzeyin normali denir. Gelen ışınla normal arasındaki açıya gelme açısı (α), yansıyan ışınla normal arasındaki açıya yansıma açısı (β) denir.



Resim 1.3: Işığın yansıması

➤ **Yansımaya kanunu**

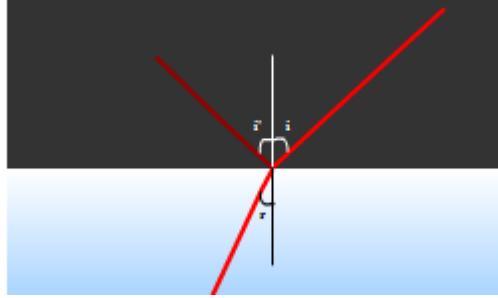
- Gelen ışın, normal ve yansıma ışın aynı düzlemedir.
- Gelme açısı yansıma açısına eşittir. ($\alpha=\beta$)

Yüzeyin bütün noktalarına gelen ışınların gelme açıları birbirlerine, yansıma açıları da birbirlerine eşit olur. Bundan dolayı yüzeye paralel gelen ışın demeti, yüzeyden de paralel olarak yansır. Bu yansımaya düzgün yansıma denir. Her yüzey az ya da çok ışınların yansıtır. En iyi düzgün yansıtıcılar düzlem aynalardır.

Eğer yüzey düzgün değilse, yüzeyin bütün noktalarındaki normaller farklıdır. Yüzeye paralele gelen ışınların gelme açıları yansıma açlarına eşit olmaz. Bu yansımaya dağınık yansıma denir.

1.7. Işığın kırılması ve kırılma kanunu

Işık ışınları saydam bir ortamdan başka bir saydam ortama geçerken ışınların bir kısmı yansıyarak geldiği ortama dönerken bir kısmı da ikinci ortama, doğrultusu ve hızı değişerek geçer. Işığın ikinci ortama geçerken doğrultu değiştirmesine ışığın kırılması denir.



Resim 1.4: Kırılma

➤ **Kırılma kanunu**

- Gelen ışın, normal ışın ve kırılan ışın aynı düzlemedir.
- Gelme açısının sinüsünün, kırılma açısının sinüsüne oranı her zaman sabittir.

Bu sabit, ikinci ortamın birinci ortama göre kırılma indeksine eşittir. Bu kanuna Snell bağıntısı denir. Bağıntıdaki sabit değere ışığın havadan saydam maddeye girişte kırılma indisi veya sadece ortamın kırılma indisi denir.

$$\sin \Phi_1 \cdot n_1 = \sin \Phi_2 \cdot n_2 = n \cdot 1,2$$

Işık kırılma indisi küçük ortamdan kırılma indisi büyük ortamlardan geçerken normale yaklaşır.

Kırılma indisi büyük ortamlardan kırılma indisi küçük ortamlara geçerken normalden uzaklaşır.

Işık az yoğun ortamdan çok yoğun ortama veya çok yoğun ortamdan az yoğun ortama dik olarak geçerse doğrultusu değişmez, fakat hızı ve dalga boyu değişir.

Gelme açısı büyüdükçe kırılma açısı da büyür ve ışığın kırılma açısı 90° olduğu andaki gelme açısına sınır açısı denir.



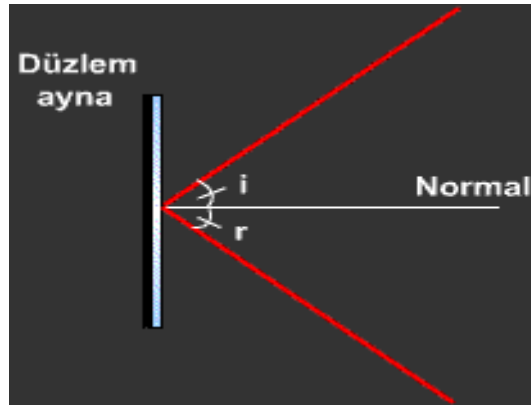
Resim 1. 5: Ayna

1.8. Aynalar

Üzerine düşen ışığın tamamına yakını yansıtabilen yüzeylere ayna denir. Ayna, ışığın % 100'e yakın bir kısmını düzgün olarak yansıtan cilalı yüzey metal yüzeylerin parlatılmasıyla ilk ayna elde edilmiştir. Daha sonraları ise, cam levhaların bir yüzeyleri **cıva** amalgamları ile kaplanarak, ayna elde edilmiştir. Günümüzde ise, genellikle cam levhaların bir yüzü, ince bir **gümüş** tabakası ile sırlanarak elde edilir. Bazan gümüş yerine **alüminyum**, **altın**, hatta **platin** dahi kullanılır. Alüminyum sırlı aynalar, dalga boyu 0,4 **mikrondan** küçük olan **morötesi ışınları** da yansıtırlar. Aynalar yansıtıcı yüzeyin şekline göre adlandırılırlar; düz, küresel ve parabolik diye üç gruba ayrılırlar.

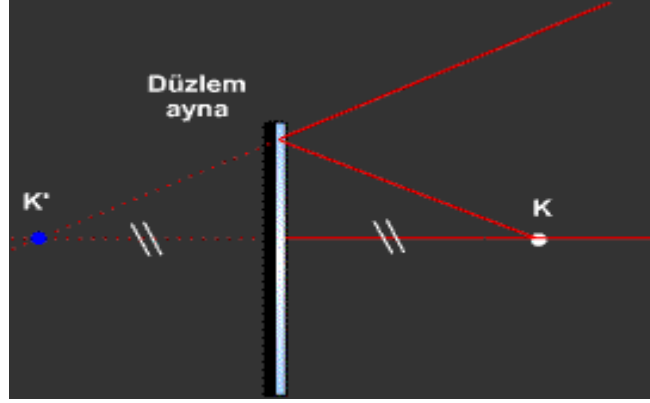
1.8.1. Düzlem Aynalar

Bir cismin veya noktanın düz bir aynada görünen şekline görüntü denir. Düzlem aynada görüntü, cismin tam simetriğidir. Yani cisim ve görüntünün, aynaya uzaklıkları ve boyları birbirine eşittir. Görüntü gerçek değildir, zahiridir. Çünkü aynanın içinde imiş gibi görünür. Zahiri görüntüyü bir ekran üzerine düşürmek mümkün değildir.



Resim 1. 6: Düzlem ayna

Herhangi bir cismin görülebilmesi için, cisimden yayılan ışınların göze gelmesi gerekir. Cisimden çıkan ışınlar doğrudan göze gelirse cisim görülür. Eğer cisimden çıkan ışınlar, yansıma veya kırılma sonucu göze gelirse algılanana şey cismin görüntüsüdür.



Resim 1.7: Düzlem aynada kırılma

- **Görüntünün özellikleri:**
 - Noktasal bir cismin görüntüsü oluşması için en az iki ışın gereklidir.
 - Cisimden çıkan ışınlar optik düzeneklerde yansıdıktan veya kırıldıktan sonra kesiştikleri yerde görüntüleri oluşur.
 - Yansıyan veya kırılan ışınların kendileri kesişirse görüntü gerçek, uzantıları kesişirse görüntü zahiri olur.
 - Zahiri görüntüler her zaman görünen görüntülerdir. Gerçek görüntüler ise perde üzerine düşülerek değişik noktalardan görülebildiği gibi gerçek görüntüden göze gelen ışınlar nedeniyle de perde olmadan da görülebilir.
- **Düzlem aynada görüntü ve özellikleri:**
 - Zahiridir.
 - Aynaya olan uzaklığı, cismin aynada olan uzaklığına eşittir.
 - Boyu, cismin boyuna eşittir.
 - Cisme göre sağlı solludur. Sağ elimiz, görüntümüzün sol elidir.
 - Aynaya göre simetridir.

1.8.2. Küresel Aynalar

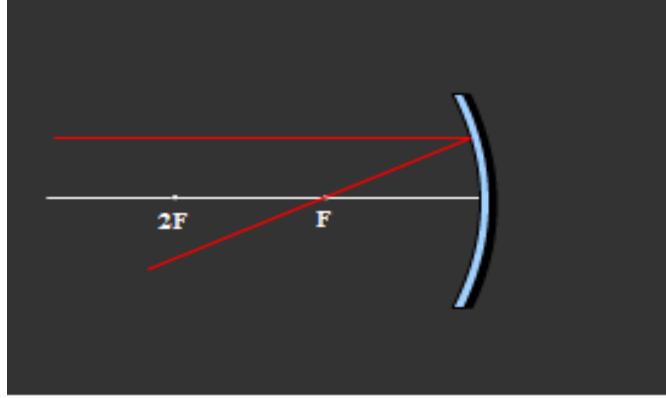
Yansıtıcı yüzeyi, küre kapağı şeklinde olan aynalardır. Yansıtıcı yüzey, küre kapağının iç yüzeyi ise bu aynalara **çukur, konkav veya iç bükey aynalar** denir.

Yansıtıcı yüzey, küre kapağının dış yüzeyi ise böyle aynalara **tümsek, konveks veya dış bükey aynalar** denir.

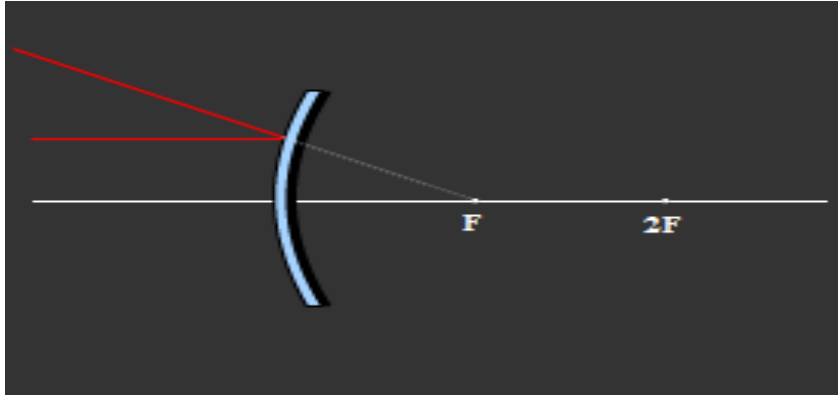
Küresel yüzeyin merkezinden geçen eksene **asal eksen** veya optik eksen denir. Asal eksenin aynayı kestiği noktaya tepe noktası, tepe noktası (T) ile merkezin tam ortasına da odak noktası (F) adı verilir. Asal eksene paralel olarak gelen ışınlar, yansıdıktan sonra

odaktan geçerler. Odaktan geçerek gelen ışınlar ise asal eksene paralel olarak yansır. Merkezden geçen ışınlar aynı yoldan geriye yansır. Tepe noktasına gelen ışınlar ise asal eksen ile meydana getirdiği açı kadar diğer tarafta açı yaparak yansır.

Çukur aynada, merkezin dış tarafındaki bir cismin görüntüsü, merkez ile odak arasında cisimden küçük, ters ve gerçek bir görüntüdür. Cisim merkezden geçerken görüntüsü de merkezde ters, gerçek ve boyu cismin boyuna eşittir. Cisim merkezle odak arasındayken görüntü merkezin dışında ters, gerçek ve cisimden büyüktür. Cisim odak ile ayna arasında ise, görüntüsü aynanın arkasında düz, zahiri ve cisimden büyüktür.



Resim 1.8: Çukur ayna



Resim 1. 9: Tümsek ayna

Tümsek aynanın önünde bulunan bir cismin görüntüsü ise, daima odak ile ayna arasında, cisimden küçük, düz ve zahiridir. Cisim, aynanın tepe noktasına geldiği zaman, görüntünün boyu cismin boyuna eşit olur. Tümsek aynalarda ışık toplanmaz. Sadece uzantıları odaktan geçer, kendileri geçemez.

Aynalarda ışıkların yansıması kanunlarını bulan **İbn-i Heysem**'dir. Tümsek aynalar, seyahat otobüslerinde dikiz aynası olarak yaygın kullanıma alanı bulmaktadır. **Teleskop** imalinde de kullanılır. Tepe noktası delinmiş tümsek aynalar ise kulak, burun, boğaz boşluklarını incelemede kullanılır. Bu tür aynalar ile yapılan incelemeler başarılı neticeler verir. Çukur aynalar ise **mikroskoplarda** ve tuvalet aynası olarak kullanılır.

1.8.3. Parabolik Aynalar

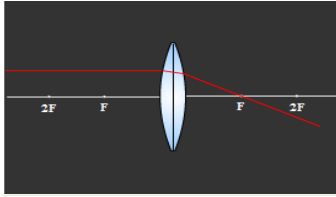
Yansıtıcı yüzeyleri parabolik olan aynalardır. Otomobil farlarındaki aynalar birer parabolik aynadır. Diğer ayna türleri arasında silindirik aynaları saymak mümkündür. Bu tür aynalar gerçek görüntüye benzemeyen acayip görüntüler verirler. Panayır yerlerinde ve fuarlarda eğlence maksadıyla kullanılan bu tip aynalar, parabolik ve silindirik aynaların bir araya getirilmesiyle elde edilir.

1.9. Mercekler

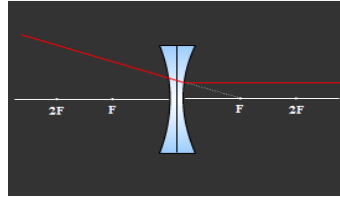
İki küresel yüzey veya bir düzlemlerle bir küresel yüzey arasında kalan saydam ortamlara mercek (lens) denir. Yüzeyler kesişiyorsa ince kenarlı mercek olur ki bu mercek üzerine gelen bütün ışınları her iki yüzeyden kırarak asal eksene yaklaştırır bundan dolayı ince kenarlı mercekler yakınsak mercek denir. İnce kenarlı mercekler ışığı toplar, kalın kenarlı mercekler ışığı dağıtır. Bu durum merceğin kırılma indisinin ortamın kırılma indisinden büyük olması halinde mümkündür.

Aynalarda olduğu gibi merceklerde de ışığın toplandığı nokta odak noktası ve bu noktanın merceğe uzaklığı odak uzaklığıdır. Fakat burada odak uzaklığı küresel yüzeylerin yarıçapı kadar değildir, merceğin hem sağından gelen ışınlar hem de solundan gelen ışınlar her iki yüzeyde eşit miktarda kırıldıkları için eşit uzaklıklarda odaklanır. Merceğin odak uzaklığı;

- Merceğin yapıldığı maddenin ve içinde bulunduğu ortamın kırılma indisine,
- Merceğin yan yüzeylerinin eğrilik yarıçapının büyüklüğüne ve cinsine,
- Kullanılan ışığın cinsine bağlıdır.



a) İnce kenarlı mercek



b) Kalın kenarlı mercek

Resim 1.10: Mercek çeşitleri

UYGULAMA FAALİYETİ

Bu modülde optik (ışık) sistemleri ile ilgili temel uygulama yapacaksınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Uygulamada kullanılacak ışık kaynağı, ölçü aleti, cam prizma, su dolu cam kavanoz, mum, çeşitli ayna ve lensleri hazırlayınız. ➤ Kullanmış olduğunuz ışık kaynaklarının şiddetini ölçünüz. ➤ Işık tayfını görebilmeniz için cam prizmadan ışığı karanlık ortamdan geçiriniz. ➤ Işığın yansıma ve kırılma kanunlarını yaparken su dolu bir fanus kullanınız. ➤ Gölge deneyleri için karanlık ortamda bir mum yakınız. ➤ Çeşitli aynalarda görüntünüzü inceleyiniz. ➤ Çevrenizde uzak ve yakını görmeye kullanılan çeşitli tipteki gözlüklerden yararlanınız.	➤ Işık kaynağı deneyi hazırlarken çeşitli ışık şiddetinde kaynak kullanınız ve ışık değerlerini ölçünüz. ➤ Yağmurlu havalardan sonra güneş çıkınca görünen gökkuşağını inceleyiniz. ➤ Cam fanustaki görüntünüz ve fanusun içerisine sokulan bir kalemin görüntüsü size yansıma ve kırılma kanunlarına örnek olabilir. ➤ Güneşin gün içerisindeki hareketinde gölgemizdeki değişimleri inceleyiniz. ➤ Kullanmış olduğunuz gözlüklerin merceklerine dikkat ediniz.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız becerileri **Evet**, kazanamadığınız becerileri **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. İşe başlamadan önce gerekli güvenlik önlemlerini aldınız mı?		
2. İş için gerekli ekipmanı hazırladınız mı?		
3. Işık şiddetini ölçebiliyor musunuz?		
4. Işığın hızını biliyor musunuz?		
5. Işık tayfının biliyor musunuz?		
6. Düz ve küresel yüzeylerde yansıma kanununu biliyor musunuz?		
7. Aynalarda yansıma, kırılma kanunlarını biliyor musunuz?		
8. Mercekler nedir biliyor musunuz?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Cisimleri görmeyi, renkleri ayırt etmeyi sağlayan fiziksel enerjiye; erke, ziya, nur, şavk denir
2.: Dalgaboyu ile ters orantılıdır, insan gözü bu özelliği *renk* olarak algılar.
3.: Genlik olarak da geçer, insan gözü tarafından *parlaklık* olarak algılanır.
4. : Titreşim açısıdır, normal şartlarda insan gözü tarafından algılanmaz.
5. Işığın boşlukta yayılma hızı yaklaşık olarak saniyede
6. Cisimlerin arka tarafında karanlık bölgeler oluşur. Meydana gelen bu karanlık alana denir
7. Işık kaynağından çıkan ışınların hiç düşmediği bölgelere , kaynağın bazı bölgelerinden ışık düşüp bazı bölgelerine düşmediği bölgelere de denir.
8. Saydam ortamda hareket eden ışığın herhangi bir yüzeye çarpıp geri dönmesine denir
9. Bir yüzeyde 90° lik açı yapan dikmeye denir
10. Işığın ikinci ortama geçerken doğrultu değiştirmesine denir.
11. İki küresel yüzey veya bir düzlemle bir küresel yüzey arasında kalan saydam ortamlara denir

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

Standartlara ve tekniğine uygun olarak fiber optik bağlantılarını hatasız gerçekleştireceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Sanal ortamda ve kütüphanede fiber optik sistemler ile ilgili gerekli araştırmaları yapıp bir rapor haline getiriniz. Hazırlamış olduğunuz raporu sınıfta arkadaşlarınızla tartışınız.

2. FİBER OPTİK

2.1. Fiber optik nedir?

Son on yılda, elektronik iletişim endüstrisinde çok sayıda önemli ve dikkate değer değişim meydana geldi. Ses, veri ve görüntü iletişimindeki olağanüstü artış, daha ekonomik, daha geniş kapasiteli iletişim sistemlerine olan talebin de aynı şekilde artmasına neden oldu. Bu da elektronik iletişim endüstrisinde teknik bir devrime yol açtı. Yeryüzü mikrodalga sistemleri çoktan maksimum kapasitelerine ulaşmış bulunmaktadır. Uydu sistemleri de her geçen gün artan talebe ancak geçici bir rahatlama getirebilmektedir. Geniş kapasitelere cevap verebilecek ve yüksek kalitede hizmet sağlayabilecek ekonomik iletişim sistemlerinin gerekli olduğu açıkça ortadadır.

Bilgi taşıyıcısı olarak ışığın kullanıldığı iletişim sistemleri, son zamanlarda oldukça ilgi görmektedir. Bu bölümde daha ileride göreceğimiz gibi, ışık dalgalarını yeryüzü atmosferinde yaymak zor ve elverişsizdir. Dolayısıyla, günümüzün önde gelen çeşitli ve geliştirme laboratuvarlarında, bir ışık dalgasını "içermek" ve bu dalgayı bir kaynaktan bir varış yerine göndermek üzere cam ya da plastik fiber kabloların kullanıldığı sistemlerle ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Güdümlü bir fiber optik aracılığıyla bilgi taşıyan iletişim sistemlerine fiber optik sistemler denmektedir.

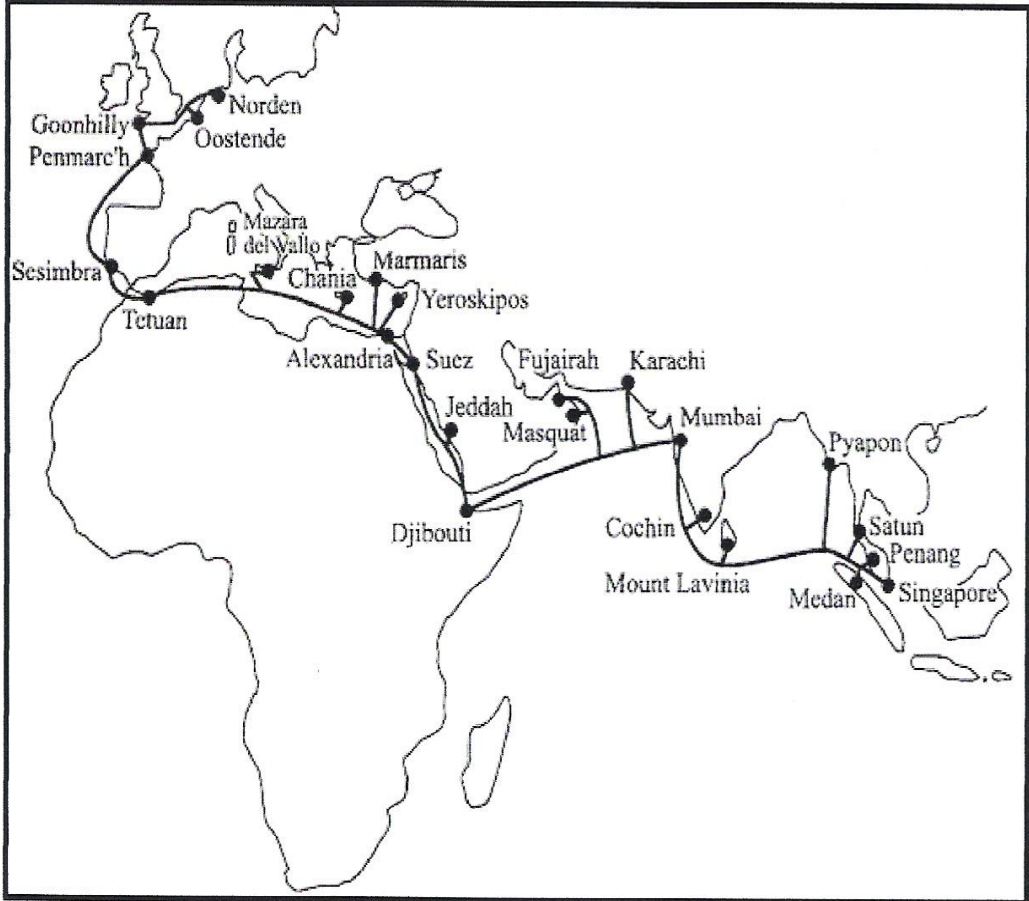
2.1.1. Fiber Optiğin Tarihçesi

İnsanlar için iletişim, insanlığın var olmasıyla başlayan, beslenme kadar önemli ve hayati bir ihtiyaçtır. İletişim yakın mesafede önce işaretleşme ile sonra da sözcükler ile yani ses iletişimiyle başladı. Uzak mesafelerde ise iletişim ihtiyacı ateş, duman, güvercin ve klasik posta hizmetiyle sağlandı. Nitekim elektronik haberleşmenin hayatımıza girmesi büyük bir devrim oldu ve insanların hayatını çok kolaylaştırdı (Telefon santralleri, telsiz haberleşmesi, radyo-televizyonlar, görüntülü telefonlar ve ilk bilgisayarlar ile birlikte

internet iletişimi, e-posta ve bilgisayarların iletişimi yani Networks). Ama artık elektronik haberleşme de bizlere yetmiyor. Elektronik haberleşme temelde elektronların yer değiştirmesiyle gerçekleştirilir. Dolayısıyla elektronun hızı, kullandığımız iletkenin (bakır vb.) türü, yapısı ve boyutları vb. etkenler iletişim hızımızı etkiliyor. Evrendeki bildiğimiz en hızlı varlık ışıktır. Araştırmalar neticesinde; ses ve elektrikten sonra ışık da iletişim alanında bize hizmet etmeye başladı. Dolayısıyla yaklaşık saniyedeki **300.000 km**'lik hızıyla ışık, bizlere çok avantajlar sağladı.

1854'te, John Tyndall, ışığın bükülmüş bir boru içindeki sudan geçirilebileceğini 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 deneyler yaptı. 1888'de, Viyana'da Roth ve Reuss sağlık bilimleri grubu, bükülmüş ışık borularını insan vücudunun tanınmasında kullandılar. 1895'te, Fransız mühendis Henry Saint-Rene, bükülmüş cam borulardan yararlanarak görüntüleri aktarmaya yarayan bir sistem tasarımını gerçekleştirdi (ilk televizyon denemesi). 1898 yılında Amerikalı David Smith, ameliyat lambası olarak kullanılabilen bir bükülmüş cam borunun patenti için başvurdu. 1920' lerde, İngiliz JohnLogie Baird ve Amerikalı Clarence W. Hansell, televizyon ve faksın ilk örnekleri sayılan saydam cam borulardan oluşan ve görüntünün iletilmesine yarayan cihazları için patent aldılar. 1930'da Alman tıp öğrencisi Heinrich Lamm, ilk kez vücudun görünmeyen yerlerini izlemek amacıyla fiber optik kablolardan oluşan bir sistem kurdu. Ancak görüntüler oldukça yetersizdi ve patent alma girişimleri Hansell'in İngiliz patenti yüzünden geri çevrildi. 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 kablonun üzerine kırılma indeksi daha düşük olan 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 tanımlamasını 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 desibelin 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 gösterdi. 1970'te araştırmacılar, eritilerek birleştirilmiş, çok saf, erime sıcaklığı ve kırılma indeksi 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 uzaklığa iletebilmekteydi.

1960'da lazer (uyarılmış yayının emisyonu ile ışığın kuvvetlendirilmesi) icat edildi. Nispeten yüksek çıkış gücü, yüksek çalışma frekansı ve aşırı geniş bant genişliğine sahip sinyalleri taşıma yeteneği, lazeri yüksek kapasiteli iletişim sistemleri için çok uygun kılmaktadır. 1970'lerin son yılları ile 1980'lerin ilk yıllarında, daha iyi optik kabloların üretilmesi ve yüksek kapasiteli, çok pahalı olmayan ışık kaynaklarının ve dedektörlerinin geliştirilmesi, yüksek kaliteli yüksek kapasiteli ve verimli fiber optik iletişim sistemlerinin geliştirilmesine imkân sağlamıştır. 1975'te, Amerika Birleşik Devletleri hükümeti Cheyenne Mountain'da bulunan NORAD karargâhındaki bilgisayarları elektronik gürültüyü azaltmak amacıyla fiber kablo kullanarak birbirlerine 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 yapılmakta ve farklı firmalar tarafından üretilen yaklaşık 25 milyon kilometrelik fiber kablo kullanılmaktadır.

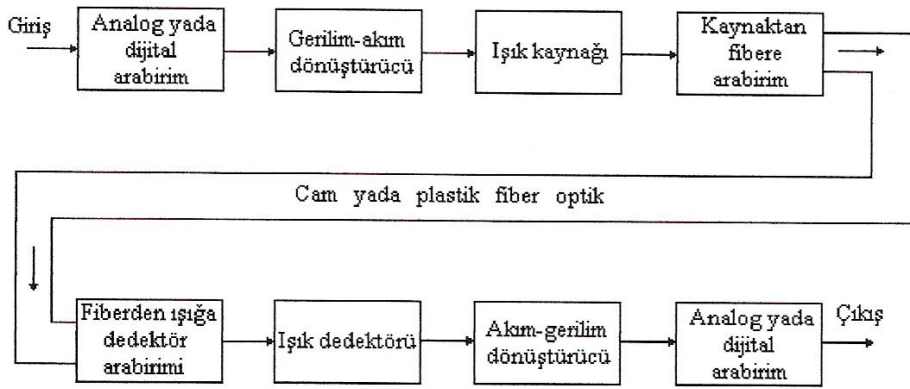


Resim 2.1: Kıtalar arası optik veri iletim hattının bir kısmı

2.2. Fiber Optik Sistem Özellikleri

Fiber optik iletim hattının basitleştirilmiş blok diyagramını göstermektedir. Hattın üç ana elemanı verici, alıcı ve fiber kılavuzudur.

- **Verici;** şunlardan oluşur: Analog ya da sayısal bir arabirim, bir gerilim-akım dönüştürücüsü, bir ışık kaynağı ve bir kaynaktan- fibere ışık bağlayıcı
- **Fiber kılavuz** ya saf cam ya da plastik bir kablodur.
- **Alıcı (terminal)** ise şunları içerir: Bir fiberden ışık dedektörüne bağlaşım aygıtı, bir fotodedektör, bir akım-gerilim dönüştürücüsü, bir yükselteç ve analog ya da sayısal bir arabirim



Şekil 2.1: Fiber optik veri iletim hattının blok diyagramı

Fiber optik bir verici de, ışık kaynağı sayısal ya da analog bir sinyal tarafından modüle edilebilir. Analog modülasyondan, giriş arabirimi empedansları eşler ve giriş sinyal genliğini sınırlar. Sayısal modülasyonda, başlangıçtaki kaynak zaten sayısal biçimde olabilir; eğer kaynak bilgi sayısal değil de analog biçimde ise, sayısal darbe akışına dönüştürülmesi gerekir. Kaynak bilgi analog olduğunda, arabirimde ek olarak bir analog/sayısal dönüştürücü bulunmalıdır.

Gerilim-akım dönüştürücü, giriş devreleriyle ışık kaynağı arasında bir arabirim vazifesi görür. Işık kaynağı, ya ışık yayan bir diyot (LED) ya da lazer diyotudur (ILD). Bir LED ya da ILD tarafından yayılan ışık miktarı, akımının miktarına eşittir. Gerilim akım dönüştürücüsü, bir giriş sinyal gerilimini, ışık kaynağını kullanılan bir akıma dönüştürür.

Kaynaktan fibere bağlayıcı, mekanik bir arabirimdir. İşlevi, kaynaktan yayılan ışığı fiber optik kabloya bağlamaktır, fiberden ışık dedektörlerine bağlaşım aygıtı da mekanik bir bağlayıcıdır. Bu aygıtın işlevi, fiber kablodan mümkün olduğunda çok ışığı ışık dedektörüne bağlamaktır.

2.2.1. Işık kaynakları

Temel olarak, fiber optik iletişim sistemlerinde ışık üretmede yaygın olarak kullanılan iki aygıt vardır: Işık yayan diyodlar (LED'ler) ve enjeksiyon lazerli diyodlar (ILD'ler). Her iki aygıtın da avantajları ve dezavantajları vardır ve birine oranla öteki aygıtın seçilmesi, sistem gerekliliklerini bağlı olarak yapılır. Işık yayan diyotlar temel olarak, ışık yayan diyod (LED) yalnızca bir P-N eklem diyodudur. Çoğunlukla, alüminyum galyum arsenit (AlGaAs) veya galyum arsenit fosfit (GaAsP) gibi yarı iletken bir malzemeden yapılır. Ledler ışığın doğal emisyonla yayarlar; ışık, elektronlar ile deliklerin yeniden birleşiminin bir sonucu olarak yayılır. Diyod ileri ön gerilimli olduğunda, P-N eklemi üzerinde azınlık taşıyıcıları meydana gelir. Azınlık taşıyıcıları eklemde, çoğunluk taşıyıcıları ile yeniden birleşip, enerjiyi ışık şeklinde verirler. Bu süreç, temel olarak klasik bir diyottaki süreç ile aynıdır; aradaki fark şudur: LED'lerde belli yarı iletken malzemeler ve katkılama maddeleri, süreç ışımaya yapacak (foton üretecek) şekilde seçilir. Foton, elektromanyetik dalga enerjisinin bir nicesidir. Fotonlar ışık hızında ilerleyen parçalardır, ancak durağan halde iken kütleleri yoktur. Klasik yarı iletken diyotlarda (sözgelimi, germanyum ve silisyum), süreç temel olarak ışımaya yapmaz ve foton üretimi olmaz. Bir LED imal etmek için kullanılan malzemenin enerji aralığı, LED'den yayılan ışığın görünür ışık olup olmadığını ve ışığın rengini belirler.

En basit LED yapıları, sade eklemli, epitaksiyel olarak büyütülmüş veya tek dağılmış aygıtlardır. Epitaksiyel olarak büyütülmüş LED'ler, genellikle silisyum katkı galyum arsenitle yapılırlar. Bu tür LED'den yayılan tipik bir dalga boyu 940 nm'dir; 100 mA'lık ileri yönde akımda tipik çıkış gücü ise 3 mW'tır. Düzlemsel dağılmış (sade eklemli) LED'ler 900 nm'lik bir dalga boyunda yaklaşık 500 mW çıkış yaparlar. Sade eklemli LED'lerin önde gelen dezavantajı, ışık emisyonlarının yönlü olmayışıdır; bu da bu tür diyotları fiber optik sistemler açısından kötü bir seçenek haline getirir.

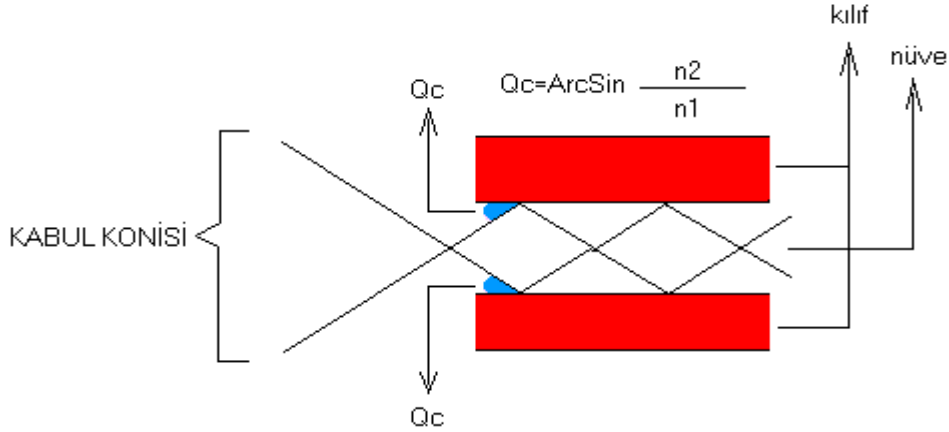
Düzlemsel karışık eklemli LED, epitaksiyel olarak büyütülmüş LED'e oldukça benzer; aradaki fark, düzlemsel karışık eklemli LED'de geometrik tasarımın, ileri yönde akımı aktif katmanın çok küçük bir alanına yoğunlaştıracak şekilde yapılmış olmasıdır. Bu yüzden, düzlemsel karışık eklemli LED'lere oranla çeşitli avantajları vardır.

➤ **Bu avantajlar şunlardır:**

- Akım yoğunluğundaki artış, daha parlak bir ışık spotu oluşturur.
- Emisyon yapan alanın daha küçük, yayılan ışığı bir fibere bağlamayı kolaylaştırır
- Etkili küçük alanın kapasitansı daha düşüktür; bu da düzlemsel karışık eklemli LED'lerin daha yüksek hızlarda kullanılmasını sağlar.

2.2.2. Işın Demetinin Fibere Enjekte Edilmesi

Gönderilecek ışın ya da sinyal fiberin nüvesine enjekte edilir. Ancak fiber içerisinde kılıfa geçmemesi için belirli bir açı dâhilinde nüveye girmeli ki nüve kılıf sınırından tam yansıma yapabilsin bu açıya **kritik açı** denir. Hesaplanması aşağıdaki gibidir.

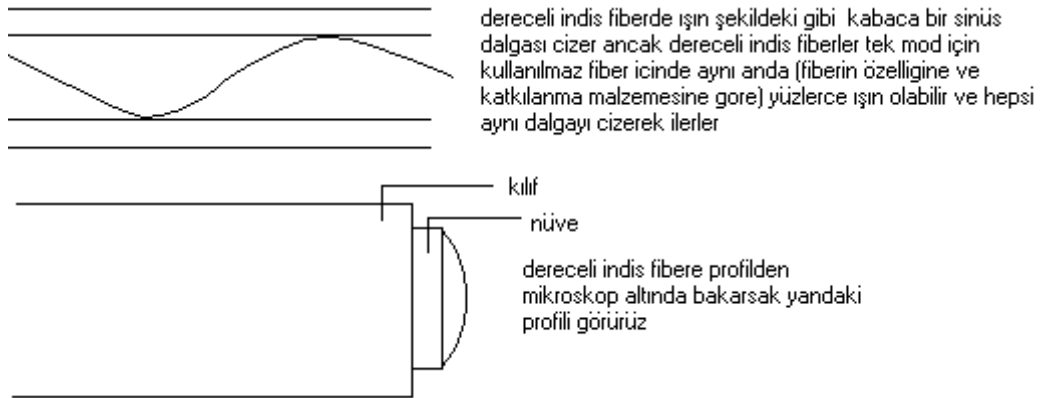


Şekil 2.2: Kablo konisi

Şekildeki kabul konisi olarak görülen bölüm kritik açının oluşturduğu ve tamamen fiber kablonun parametrelerine göre değişebilen bir konidir. Bu açılardan küçük gelen her ışın demeti fibere girer. Formüldeki n1 nüve n2 kılıf indisleridir.

➤ Dereceli İndis Fiber

Aynı kesit dereceli indis fiberden alınacak olursa nüvenin dışı doğru tıpkı bir dış bükey mercek gibi yay çizdiği görülür. Bunun anlamı ise nüvenin çok sayıda farklı yoğunluklarda cam tabakadan oluştuğudur. Bu durumda ışık nüve içerisinde kabaca bir sinüs dalgası çizerek ilerler.



Şekil 2.3: Dereceli indisler

➤ Kademeli İndis Fiber

Çok modlu kademeli indis fiber en basit fiber tiplerinden biridir 100 – 970 µm arasında bir nüve çapına sahiptir. Nüve çapının daha fazla olması daha fazla mod taşınması açısından faydalıdır. Ancak modal yayılma en çok bu tip fiberde olur. Yayılma km başına 15-30 nano saniye olur. Rakam saniyenin milyarda 15- 30 u gibi görünebilir ama bütün kodlama sistemlerinde hataya sebep olacak düzeydedir. Kabul edilebilir yayılma miktarı km de 1 ns dir.



Şekil 2.4: Kademeli dereceli indisler

Işık nüve içinde dereceli indis fiber gibi sinüs dalgaları çizmek yerine tam yansıma kurallarına bağlı zig zaglar çizerek ilerler.



Resim 2.2: Üretici firma barkodu

2.2.3. Mod (Enjekte edilen ışın)

Mod genel olarak bir fibere enjekte edilen her ışın şeklinde tanımlanabilir ve kısmen fiberin bilgi taşıma kapasitesini ifade eder. Her fiberin taşıyabileceği mod sayısı nüvenin çapına ve yapısına bağlıdır. Fiberin iletebileceği mod sayısı için ilk önce normalize olmuş nümerik açıklık frekansı (V) bulunur. Daha sonra iletebilecek mod sayısı (N) bulunur.

$$V = (2\pi d / \lambda) NA$$

V: normalize olmuş nümerik açıklık frekansı
 λ : ışığın dalga boyu
d: nüve çapı
NA: nümerik açıklık (birimsiz)

$$N = \frac{V^2}{2} \quad \text{basit kademeli indis fiber için}$$

$$N = \frac{V^2}{4} \quad \text{dereceli indis fiber için}$$

2.2.4. Modal Yayılma (Ulaşım zamanı)

Aynı anda fibere enjekte edilen ışınlar fiber sonuna farklı zamanlarda ulaşırlar buna modal yayılma denir ve sadece çok modlu fiberlerde meydana gelir. **Modal yayılmayı** azaltmanın üç yolu vardır:

- Kullanılacak fiberi daha az moda izin verecek şekilde seçmek, dolayısıyla daha dar bant genişliğine kullanmak

- Dereceli indis fiber kullanmak: Dereceli indis fiber kullanıldığında bütün ışınlar dalga boyu ne olursa olsun nüvenin yapısından dolayı aynı yolu izleyeceklerdir. Bu en etkili yöntemdir. Bant genişliği açısından da kısıtlama getirmez.
- Tek modlu fiber kullanmak: Bu tip fiberde yalnız tek mod bulunduğundan bir gecikme söz konusu olmaz.



Resim 2.3: Modal yayılma

2.2.5. Malzeme Yayılması

Farklı dalga boyları (renkler) fiber nüvesi içerisinde farklı hızlarda hareket eder. Ancak farklı ortamlarda da ortama göre de farklı hızlarda hareket eder. Işık hızının malzeme (nüve) içerisindeki hızı hem nüve malzemesine hem de ışığın dalga boyuna bağlıdır. Malzeme özelliğinden kaynaklanan yayılmaya bu nedenle malzeme yayılması denir. Bir kaynak normalde tek bir dalga boyunda ışık yaymaz. Bir çok dalga boyundan ışık yayabilir. Bu dalga boyları aralığı spektral genişlik olarak tanımlanabilir.

Spektral genişlik ledler için 35nm lazer için 2-3 nm'dir. Örnekten de anlaşılacağı gibi kullanılan kaynak lazer ise malzeme yayılması çok daha az olur.

Örneğin, lazer kaynağımızın 850nm de çalışmasını istiyoruz. Kaynak 848 nm ile 851 nm arasında bir spektral çerçevede çalışır. 848nm deki sinyaller (kırmızımsı) 851 nm deki sinyallerden daha hızlı hareket edecektir. Ancak led göre çok daha az bir yayılma ortaya çıkar.

2.2.6. Zayıflama

Zayıflama ışık fiber içerisinde yol alırken meydana gelen güç kaybıdır dB/km olarak ölçülür. Plastik fiberler için 300dB/km tek modlu cam fiberler için 0,21dB/km civarındadır.

Zayıflamanın en fazla olduğu bölgeler 730-950 nm ve 1250-1380nm bölgeleridir. Bu bölgelerde çalışmamak daha avantajlı olur. Zayıflama iki sebepten dolayı olur: Saçılma ve absorblama

- **Saçılma:** Gelen ışının yabancı bir maddeye çapmasıyla oluşan dağılma ve ışık kaybıdır. Saçılma uzun dalga boyundaki ışınlarda çok daha küçük bir etkiye sahiptir. Matematiksel olarak saçılma dalga boyunun 4.kuvvetinin tersi ile orantılı olduğundan kısa dalga boyundan uzun dalga boylarına geçirdikçe hızla azalır, ama asla sıfır olmaz.
 - 820nm de :2,5db
 - 1300nm de :0,24db
 - 1550nm de :0,012db gibi değerlerde seyrederek.
- **Absorblama :** Saçılmayla aynı nedenden oluşur. Temel farklılık saçılma, ışığın dağılması şeklinde bir bozuklukken, bu olayda ışığın sönümlenmesi söz konusudur. Fiber içindeki yabancı maddeler (Örneğin, kobalt, bakır krom) absorblamaya neden olur. Kayıpların düşük olması için bu maddelerin fiberde milyarda bir düzeyinde olmalıdır.

2.2.7. Mikroben Kayıpları

Mikroben kayıpları kablunun çeşitli sebeplerden bükülmesinden dolayı oluşur. Eğer ciddi boyutlarda bir bükülme varsa ışının tamamen yok olması söz konusu olabilir. Bu nedenle fiber kablolar genelde çok katmanlı korumalı imal edilir.

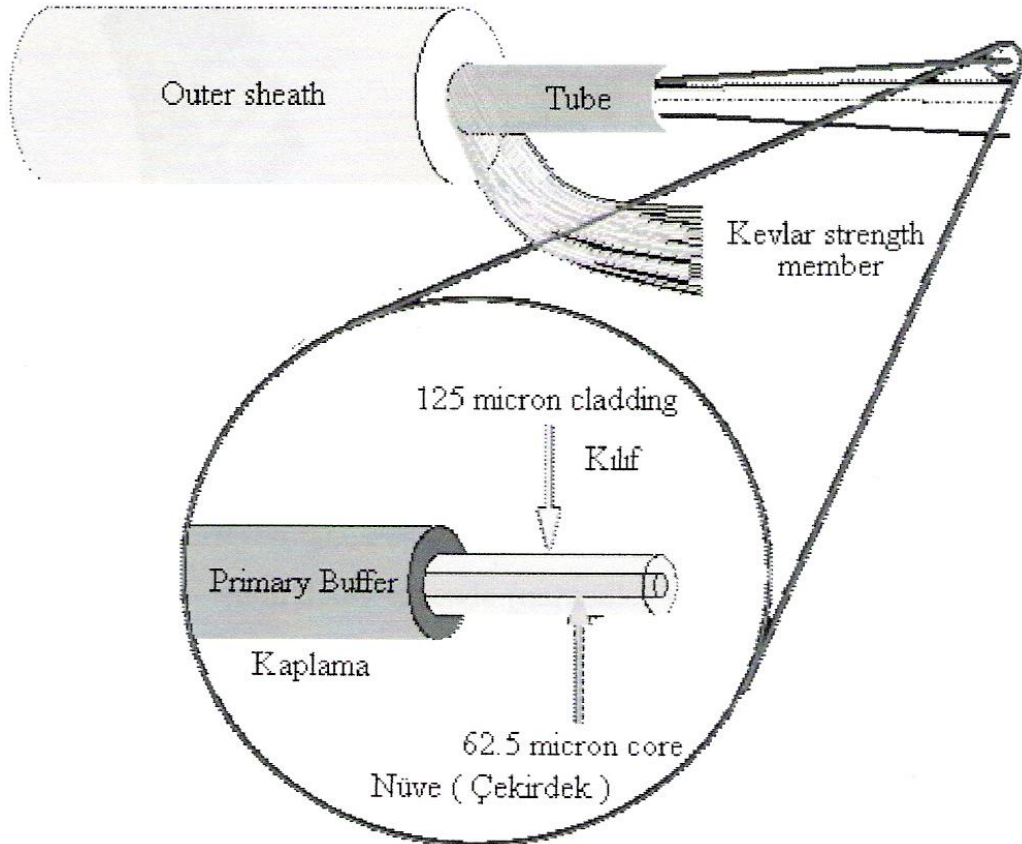
2.2.8. Fiber türleri

- **Cam Fiberler:** Nüvesi ve kılıfı camdan imal edilir. Veri iletimi açısından en iyi performansı gösterir. Yapımında kullanılan cam ultra saf silikon dioksit veya kuartz kristalidir. malat aşamasında indisi azaltmak için, flor veya bor, indisi artırmak için, germanyum veya fosfor ile katkılanır.
- **Plastik kaplı silisyum fiber:** Cam nüveye plastik kılıfa sahiptirler. Fiyat olarak cam fiberlere göre daha ucuz ama performans açısından daha verimsizdir.
- **Plastik fiberler:** En ucuz fiber tipidir. Nüvesi de kılıfı da plastiktir. Performansı en zayıf fiyatı en uygun fiberdir genelde kaplamaları yoktur. Kısa mesafe iletişimi için uygundur.

2.3. Fiber Optik Kablo

Fiber optik kabloların ışığı ileten kısmı, temel olarak core (nüve) ve cladding (kılıf) olmak üzere iki kısımdan oluşur. Nüve, ışığın içerisinde ilerlediği ve kablunun merkezindeki kısımdır. Çok saf camdan yapılmıştır ve esnektir. Yani belirli sınırlar dâhilinde eğilebilir. Cinsine göre, tek modlu veya çok modlu oluşuna göre çapı 8 mikrometre ile 100 mikrometre arasında değişir (İnsan saçı 100 mikro metre civarındadır). Kılıf ise tipik olarak 125 mikrometre çapında nüveyi saran ve fibere enjekte edilen ışığın nüveden çıkmasını engelleyen kısımdır. Aynı nüve gibi camdan yapılmıştır ancak indis farkı olarak yaklaşık %1 oranında daha azdır. Bu indis farkından dolayı ışık ışını nüveye enjekte edildikten sonra kılıfa geçemez (aşırı bir katlanma ya da ezilme yoksa). Işın, kılıf nüve sınırından tekrar nüveye döner ve böyle yansımalar dizisi halinde nüve içerisinde ilerler. Ayrıca nüve ve kılıfı saran dışta coating (kaplama) dediğimiz saydam bir tabaka daha vardır.

Optik bir özelliği olmayan kaplama polimer veya plastik olabilir. Bir veya birden fazla katmanlı olabilir. Optik bir özelliği yoktur sadece fiberi darbe ve şoklardan korur. Bazı ışınlar nüve içinde yansımayıp kayarak kılıfa kaçır. Kaplamanın indisi kılıfa göre büyük olduğundan, kılıfa kaçıp kontrolden çıkan ışınlar kaplamada emilir. Ayrıca kaplama, nüve ve kılıf ı mekaniksel etkilerden korur.



Şekil 2.4: Fiber optik kablounun iç yapısı

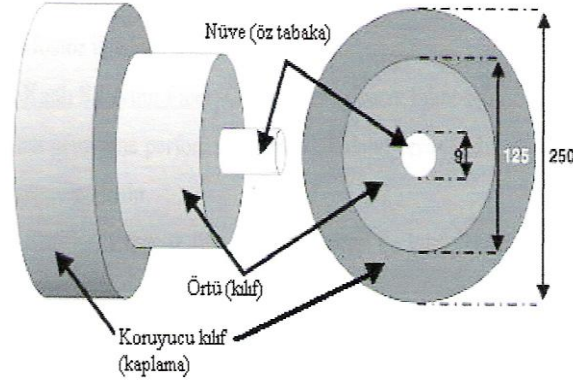
Fiber, ışık kaynağından gelen bütün ışınları kabul etmez. Fiberin kabul edeceği ışın miktarı nüve çapına ve ışının geliş açısına bağlıdır. Fiber, nüve eksenine belli bir değerden (8max) büyük açıyla gelen ışınları kabul etmez. Çünkü 8 max açısının üstünde gelen ışınlar (α açısı) kritik açının altında kalır ve kırınım uğrayarak kılıfa geçer. Kılıfa geçen ışın kaybolur. 8 açısının (ışığın nüve tabakasına girdiği açı) alabileceği maksimum sinüs değeri Numerical Aparture'dır (NA). Geometrik olarak formülsüze edildiğinde görülecektir ki NA ne nüve çapına ne de saydam maddenin indis değerine bağlıdır. Sadece nüve ve kılıfın indis farklılığına bağlıdır ve doğru orantılıdır. İndis farkı arttıkça NA büyüyeceğinden fiberin kabul ettiği ışın miktarı artar. Kısaca NA fiber damar içinde ilerleyebilecek ışınların ışık kaynağından en çok kaç derecelik açı ile geldiğini belirleyen bir değerdir. Tek bir ışının fiber içinde izlediği yola (path) mod denir.

Fibere değişik açılarla giren ışınlar farklı açılarla yansıyarak gideceğinden farklı yollar izler. Diğer uca farklı sürelerde ulaşırlar. Örneğin; nüve eksenine 0° açıyla gelen ışın,

yansımayı uğramadan, asal eksene paralel en kısa yolu kat ederek en kısa zamanda uca ulaşır. Bu moda ana mod (LPOI) denir. Eksene açıyla gelen ışınlar ise nüve içinde yansıyarak gider. Kat edilen yol ışının geliş açısı büyüdükçe yani α (yansıma) açısı küçüldükçe artar. Fibere farklı açılarda gelen ışınlar, diğer uca farklı zamanlarda ulaşır. Veri işaretleri (sinyaller, darbeler) bir grup ışın demeti ile bir uçtan diğerine iletilir.

Modlar arası faz farkından (ayrı yollardan ilerleyen ışınların farklı zamanlarda diğer uca ulaşması) meydana gelen girişimle, işaretler zaman içinde genişler. Bu durum işaretin veri iletim hızını, dolayısıyla bant genişliğini azaltır. İstenmeyen bu duruma modsal dağılım denir. Tabi ki bu durum sadece multi mod (çok modlu) fiberlerde oluşan bir durumdur.

Fiberin çalışma prensibi temel optik kurallarına dayanır. Bir ışın demeti az yoğun bir ortamdan daha yoğun bir ortama geçerken geliş açısına bağlı olarak yansıması (tam yansıma) ya da kırılarak ortam dışına çıkması (bu istenmeyen durumdur) meydana gelir.



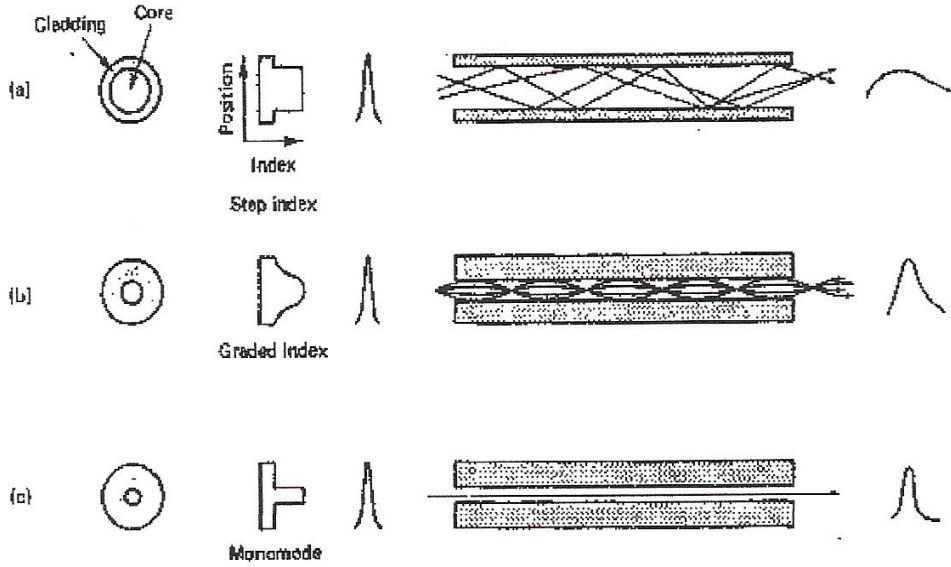
Şekil 2.5: Fiber optik kablo kesiti

Fiber optik kablonun tipini etkileyen diğer bir faktör de kablo çekilecek merkezler arasındaki mesafe ve iletim hızıdır. Fiber kablolar multi mod ve single mod olmak üzere iki farklı özellikte üretilmektedirler. Multi mod fiber kablolar aynı anda birden fazla iletişim yapma avantajına sahiptirler. Ama multi mod fiberler bu avantajına karşın fazla uzak mesafelerde kullanılamazlar. Bu, multi mod kabloların dezavantajıdır. Dolayısıyla eğer kablo çekilecek merkezlerin arası belirli bir mesafeden fazla ise singlemod kablolar kullanmak zorundayız. Özet olarak fiber optik kabloların karakteristiği; iletim hızı (kullanılan mode sayısı) ve fiberin iletim kayıpları gibi faktörlere bağlıdır. Belirli bir mesafeden kısa uzaklıklarda, multi mod kablo, uzun mesafelerde de single mod kablo kullanılmalıdır denilebilir.

İki tip kırılma indisi vardır: Kademeli indis ve dereceli indis. Bir kademeli indis fiberin uç kesitine baktığımızda düz bir kesit görürüz bunun yorumu fiber nüvesinin her noktasında aynı indis değerinin olduğudur. Yani enjekte edilen ışık nüvenin her yerinde aynı dirençle karşılaşır. Dolayısıyla bildiğimiz sıradan yansıma kurallarına göre nüve içerisinde yansıyarak ilerler. Aynı kesit dereceli indis fiberden alınacak olursa nüvenin dışa doğru tıpkı bir dış bükey mercek gibi yay çizdiği görülür. Bunun anlamı ise nüvenin çok sayıda farklı yoğunluklarda cam tabakadan oluştuğudur. Bu durumda ışık nüve içerisinde kabaca bir sinüs

dalgası çizerek ilerler. Çok modlu kademeli indis fiber en basit fiber tiplerinden biridir 100-970Jlm arasında bir nüve çapına sahiptir. Nüve çapının daha fazla olması daha fazla mod taşınması açısından faydalıdır ancak modal yayılma en çok bu tip fiberde olur.

Fiberler, ışının fiberin öz tabakası içinde izlediği yola (mod) göre de tanımlanırlar. Multimod fiberlerde ışık, kaynak ile fiberin uzak ucu arasında birçok yolda ilerleyebilir. Bazı yollar diğerlerinden daha uzundur. Bunun sonucunda kaynaktan gelen orijinal sinyalin şekli alıcıya gelene kadar genişleme gösterir buna yayılma da denilebilir. Bu genişleme ulaşılabilir olan veri hızını ve bant genişliğini sınırlar. Daha ileriki durumda ise sinyaller birbirinin üzerine binmeye başlar. Yayılma düşük veri hızlarında çok fazla önemli değildir. Çünkü düşük veri hızıyla sinyallerin daha geniş yer kaplamalarına izin verilirken üst üste binmeler gerçekleşmez.



Şekil 2.6: Işığın izlediği yola göre fiber çeşitleri

Singlemod fiber sadece tek bir ışının öz tabakaya geçişine izin verir. Bu da yayılma ve üst üste binme olaylarını önlemek için yeterlidir. Singlemod fiberin öz tabakasının çapı son derece küçüktür (5 İlm civarında). Kaynaktan gelen ışığın gerçekten kabul edilebilmesi için, tam olarak fiberin içine yönetilmeli ve fiber içinde ilerleyebilmelidir. Pozisyon hatasından dolayı fibere giremeyen ışınların kaybını karşılamak için ışık kaynağının gücü artırılabilir. Single mod fiberin kullanılması en yüksek veri hızını ve uzun mesafelerde kullanımını sağlar.

Daha güçlü kaynak ve uygun birleştirme gerektirmektedir. Bu fiberin dedektörü de daha güçlü ve tam olarak birleştirilmiş olmalıdır. Böylece singlemod fiberin maliyetinde artış meydana gelir.

Multi mod fiberin iki çeşidi vardır: Step indeks ve dereceli (graded) indeks. Step indeks fiberde kılıfın içine doğru kırılma meydana gelmemesi için öz tabakada keskin

yansımalar gerçekleşmektedir. Step indeks fiber düşük hızlar ve kısa mesafeler için oldukça kullanışlı ve ucuzluk sağlamaktadır.

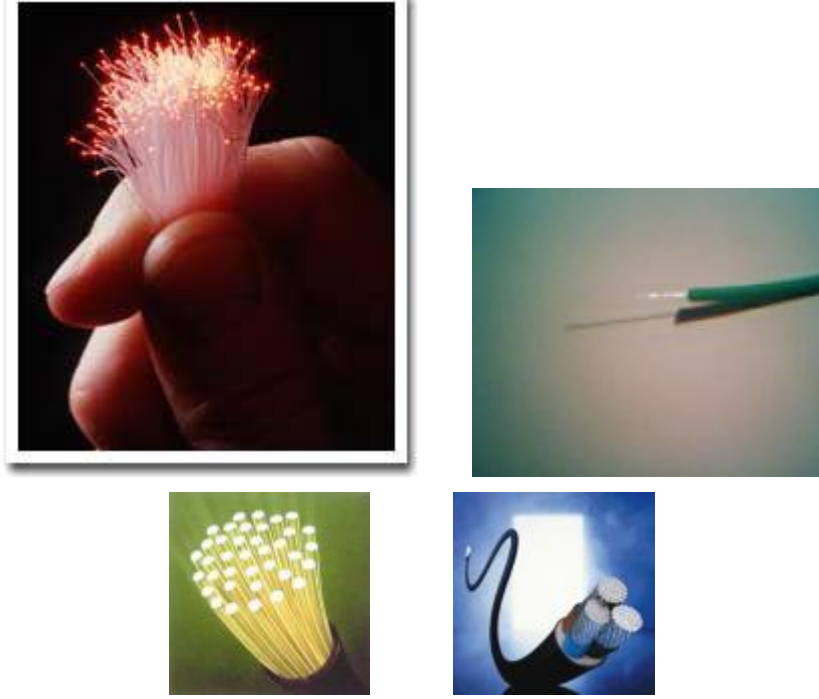
Dereceli indeks, multimod fiber daha kompleks bir yapıya sahiptir. Step indeks fiberden farklı olarak, bir kademeli indeks nüve birçok ince tabakayı içerir. Her tabakada ayrı bir kırılma-yansıma meydana gelir. Kırılmaların azalması ışığın hızının artmasına sebep olur. Dereceleme sonucunda nüvenin kenarlarından giden ışınlar merkezden giden ışınlarla oranla daha fazla yol almış olur ancak daha uzun rotasına rağmen aynı zamanda ulaşırlar. Dereceli indeks fiber mümkün olan tüm yollar için ışınların seyahat sürelerini eşitler. Bu durum uzun yollardan geçen ışının daha hızlı olmasıyla açıklanabilir. Dereceli indeks fiberin dağılımı step indeks fiberlerden daha azdır. Ve bu fiberler daha uzak mesafelerde ve daha yüksek yüklerde kullanışlıdır, fakat bu fiber daha pahalı imal edilir. Dereceli indeks fiberler 50-100 m çaplarında mevcuttur.

2.3.1. Fiber Optik Kablonun Çalışması

Fiberin çalışma prensibi temel optik kurallarına dayanır. Bir ışın demeti az yoğun bir ortamdan daha yoğun bir ortama geçerken geliş açısına bağlı olarak yansıması (tam yansıma) ya da kırılarak ortam dışına çıkması (bu istenmeyen durumdur) mantığına dayanır.

➤ **Kablo üç kısımdan oluşur:**

- **Nüve:** Işığın içerisinde ilerlediği ve kablounun merkezindeki kısımdır. Çok saf camdan yapılmıştır ve esnektir. Yani belirli sınırlar dâhilinde eğilebilir. Cinsine göre çapı tek modlu veya çok modlu oluşuna göre 8 mikrometre ile 100 mikrometre arasında değişir (İnsan saçı 100 mikrometre civarındadır.).
- **Kılıf:** Tipik olarak 125 mikrometre çapında nüveyi saran ve fibere enjekte edilen ışının nüveden çıkmasını engelleyen kısımdır. Aynı nüve gibi camdan yapılmıştır. Ancak indis farkı olarak yaklaşık %1 oranında daha azdır. Bu indis farkından dolayı ışık ışını nüveye enjekte edildikten sonra kılıfa geçmez (aşırı bir katlanma ya da ezilme yoksa) ışın kılıf nüve sınırından tekrar nüveye döner, böyle yansımalar dizisi halinde nüve içerisinde ilerler.
- **Kaplama:** Optik bir özelliği olmayan kaplama polimer veya plastik olabilir bir veya birden fazla katmanı olabilir. Optik bir özelliği yoktur sadece fiberi darbe ve şoklardan korur.



Resim 2.4: Fiber optik kablolar

2.3.2. Fiber optik kablolarda kayıplar:

Fiber optik kablolarda iletim kayıpları, fiberin en önemli özelliklerinden biridir. Fiberdeki kayıplar, ışık gücünde bir azalmaya neden olur ve böylece sistem bant genişliğini, bilgi iletim hızını, verimliliği ve sistemin genel kapasitesini azaltır. Başlıca fiber kayıpları şunlardır:

- **Soğurma kayıpları:** Fiber optikteki soğurma (yutma) kaybı, bakır kablolardaki güç kaybına benzer; fiberin saf olmaması nedeniyle fiberde bulunan maddeler, ışığı soğurur ve ısıya dönüştürür. Fiber optikleri imal etmede kullanılan aşırı saf cam, yaklaşık %99.9999 saftır. Gene de, 1 dB/km arasındaki soğurma kayıpları tipik değerlerdir. Fiber optikteki soğurma kayıplarına yol açan üç faktör vardır: Morötesi soğurma, kızılaltı soğurma ve iyon rezonans soğurması.
 - Morötesi soğurma
 - Kızılaltı soğurma
 - İyon rezonans soğurması-İyon rezonans soğurmasına, malzemedeki OH-iyonları neden olur. OH-iyonlarının kaynağı, imalat sürecinde camın içinde sıkışıp kalan su molekülleridir. İyon soğurmasına demir, bakır ve krom molekülleri e neden olabilir.
- **Malzeme ya da rayleigh saçınım kayıpları:** İmalat sürecinde, cam çekilerek çok küçük çaplı uzun fiberler hâline getirilir. Bu süreç esnasında, cam plastik hâldedir (sıvı ya da katı halde değil). Bu süreç esnasında cama uygulanan germe kuvveti, soğuyan camda mikroskopla görülmeyecek kadar küçük

düzensizliklerin oluşmasına neden olur. Bu düzensizlikler fiberde kalıcı olarak oluşur. Işık ışınları, fiberde yayılım yaparken bu düzensizliklerden birine çarparsa kırınım meydana gelir. Kırınım, ışığın birçok yönde dağılmasına ya da saçılmasına yol açar. Kırınım yapan ışığın bir kısmı fiberde yoluna devam eder, bir kısmı da koruyucu zarf üzerinden dışarı kaçar. Kaçan ışık ışınları, ışık gücünde bir kayba karşılık gelirler. Buna rayleigh saçılım kaybı denir.

- **Renk ya da dalga boyu ayrılması:** Daha önce de belirtildiği gibi, bir ortamın kırılma indisi dalga boyuna bağlıdır. Işık yayan diyodlar (LED'ler) çeşitli dalga boylarını içeren ışık yayarlar. Bileşik ışık sinyalindeki her dalga boyu farklı bir hızda ilerler. Dolayısıyla, bir LED'den aynı zamanda yayılan ve fiber optikte yayılım yapan ışık ışınları, fiberin en uç noktasına aynı anda ulaşmazlar. Bunun sonucu olarak, alma sinyalinde bozulma meydana gelir; buna kromatik bozulma denir.
- **Yayılım kayıpları:** Yayılım kayıplarına, fiberdeki küçük bükümler ve burulmalar neden olur. Temel olarak, iki tür büküm vardır: Mikro büküm ve sabit yarıçaplı büküm. Mikro büküm, çekirdek malzemesi ile koruyucu zarf malzemesinin ısı büzülme oranları arasındaki farktan kaynaklanır. Mikro büküm, fiberde rayleigh saçılımının meydana gelebileceği bir süreksizlik oluşturur. Sabit yarı çaplı bükümler, fiberin yapımı ya da monte edilmesi sırasındaki bükümler sonucu meydana gelir.
- **Model yayılma:** Model yayılmanın ya da darbe yayılmasının nedeni, bir fiberde farklı yollar izleyen ışık ışınlarının yayılım sürelerindeki farktır. Model yayılmanın yalnızca çok modlu fiberlerde meydana gelebileceği açıktır. Dereceli indeksli fiberler kullanılmak suretiyle model yayılma önemli ölçüde azaltılabilir; tek modlu kademe indeksli fiberler kullanıldığında ise hemen hemen bütünüyle bertaraf edilebilir. Model yayılma, bir fiberde yayılım yapmakta olan bir ışık enerjisi darbesinin yayılarak dağılmasına neden olabilir. Eğer darbe yayılması yeterince ciddiye, bir darbe bir sonraki darbenin tepesine düşebilir(bu, semboller arası girişime bir örnek oluşturmaktadır). Çok modlu kademe indeksli bir fiberde doğrudan fiber eksenini üzerinden yayılım yapan bir ışık ışını, fiberi bir ucundan diğer ucuna en kısa sürede kat eder. Kritik açıyla çekirdek/koruyucu zarf sınırına çarpan bir ışık ışını, en çok sayıda dâhili yansımaya maruz kalacak. Dolayısıyla fiberi bir ucundan diğer ucuna en uzun sürede kat edecektir.
- **Bağlaşım kayıpları:** Fiber kablolarında, şu üç optik eklem türünden herhangi birinde bağlaşım kayıpları meydana gelebilir: Işık kaynağı-fiber bağlantıları, fiber-fiber bağlantıları ve fiber fotodedektör bağlantıları. Eklem kayıplarına çoğunlukla şu ayar sorunlarından biri neden olur: Yanal ayarsızlık, açısal ayarsızlık, aralık ayarsızlık ve kusursuz olmayan yüzey
- **Yanal ayarsızlık:** Yanal ayarsızlık, bitişik iki fiber kablo arasındaki yanal kayma ya da eksen kaymasıdır. Kayıp miktarı, bir desibelin beş ila onda biri ile

birkaç desibel arası olabilir. Eğer fiber eksenleri, küçük fiberin çapının yüzde beşi dâhilinde ayarlanmışsa, bu kayıp ihmal edilebilir.

- **Açısal ayarsızlık:** Açısal ayarsızlığa bazen açısal yer değiştirmede denir. Açısal ayarsızlık ikiden az ise kayıp 0.5 desibelden az olur.
- **Aralık ayarsızlığı:** Aralık ayarsızlığına bazen uç ayrılması da denmektedir. Fiber optiklerde ekler yapıldığında, fiberlerin birbiri ile temas etmesi gerekir. Fiberler birbirinden ne kadar ayrı olursa, ışık kaybı o kadar fazla olur. İki fiber birbirine bağlantı parçasıyla birleştirilmişse, uçlar temas etmemelidir. Bunun nedeni, iki ucun bağlantı parçasında birbiri ile sürtünmesinin fiberlerden birine ya da her ikisine birden hasara yol açabilecek olmasıdır.
- **Kusursuz olmayan yüzey:** İki bitişik kablonun uçlarının bütün pürüzleri giderilmeli ve iki uç birbirine tam olarak uymalıdır. Fiber uçların dikey çizgiden açıklıkları üç'den az ise, kayıpları yarım desibelden az olur.

2.4. Konnektörler

Konnektörler, fiber optik kablo sonuna, ışık kaynağı veya alıcılara konulan aynı alet ile birleşmeye izin veren mekanik aksamlardır. Verici, bilginin ışık yatağından fiber optik kablo ya konnektörden geçişini sağlar. Alıcı ise bilgiyi, fiber optik kablodan ışık yatağına konnektör vasıtasıyla alır. Işık yatağı, ışığın ekipmanda izlediği yoldur. Konnektör ışığı doğrudan ve toplayarak vermelidir. Ekipmana kolayca takılmalı ve sökülmelidir. Cam ve plastik fiber optik kablo da kullanılan birçok konnektör tipi mevcuttur. Plastik fiber optik kabloda konnektörler özellikle çok düşük maliyet ve kolay uygulanabilirliği ile tercih edilir. Plastik fiber optik kablo konnektörleri hem özel hem de standart dizaynlara sahiptir.

Konnektör seçimi, fiber boyu, fiber tipi ve konnektör kablo birleşmesi gibi faktörlerden etkilenir. Geniş çaplı sistemlerde sinyal yolu üzerindeki konnektörlerin sayısı da göz önünde tutulur.

- Aşağıdaki durumlarda fibere bağlanılarda bağlantı problemi medyada gelir.
 - Farklı çekirdek ve/veya kılıf parametreleri
 - Farklı aralıklar ve/veya farklı kırılma indisieri
 - Farklı kırılma indeks profilleri
 - Fiber hataları (Örneğin, çekirdek elipsliği, çekirdeklerin eşmerkezli olmama durumu)

Ara yüzdeki fiber-fiber birleşmenin tüm tiplerinde optik kayıplarla karşılaşılır. İdeal durumda, ara yüzden ışığın küçük bir yüzdesi her zaman geri yansır. Bu kayıp Fresnel yansıması yüzünden oluşur. Bu yansıma birleşme bölgesindeki kırılma indeksinde basamak değişimiyle gerçekleşir ve belirli durumlarda yarım dB den büyük olabilir.

Konnektör kılıfı belli başlı iki fonksiyonu yapar, optik bağlantının imzası ve çevreden gelen etkilere karşı kablo ara yüzeyinin ve bağlantıların korunması çevreye karşı hassas olmasının yanı sıra konnektörler, optik iletim hattında sinyalin zayıflaması eğilimine katkıda bulunurlar. Avionic alanında kötü bir şekilde hazırlanan bağlayıcı taslağı çevresel faktörleri

hesaba katmayan dizaynlardır. Bu tartışma çoklu mod avionic fiberlerin kullanmasını kısıtlamıştır .

Bir avionic ortamındaki fiber optik kablonun ekleme problemleri, hasarlanmış bölgeler için tamirin en iyi formu olan kablo değiştirmeye giderilir. Konnektör ve bağlantı takımı dizaynında bu olasılık hesaba katılmalıdır. Optik konnektörlerde kayıpların en aza indirilmesi için temiz bir ortamda birleştirilmelidirler. Eğer bir temizlik prosedürü benimsenmemiş ise, konnektörün bağlanamaması ihtimaldir ve pisliklerin girmesi güç hesaplarında hesaba katılmalıdır. Bu yüzden çevresel etkilerin üstesinden gelmede doğru konnektörü seçmek oldukça önemlidir. Örneğin, bir MIL-STD-1760 konnektör özellikle zorlu koşullara yatkın durumdadır.

2.4.1. Tek Yollu Konnektör

Diğerleri mevcut olmalarına rağmen, en iyi tanınan tek yol konnektör optik SMA' dır. Bu konnektör geniş ticari endüstri içinde kullanılmış ve askeri projelerde gelişimini sürdürmüştür. Zorlu çevrelerde kullanılmak için yapılmış olup yine de birçok eksikliklere sahiptir. Örneğin LRU'lar (Line Replaceable Unit) bir oyuklu bağlantıya sahiptir ve bir kere kirlendiğinde temizlenmesi kolay değildir.

Teorik olarak, bir optik konnektör, fiberler arasında bağlantı gerekli olmasaydı onun elektriksel benzerlerinden daha fazla güvenilir olabilirdi. Pratikte ise problem bölgeleri için iyi dizayn yapılmazsa devamlılık oldukça zorlaşır. Fakat bir optik ve elektriksel sistem arasında seçim yapabilmek için elektriksel konnektörlerin yüksek bant genişliğinde bağlanabilme zorluğu (optik konnektör tarafından kolayca karşılanabilen) küçümsenmemelidir.

2.4.2. Çok Yollu Konnektörler

Tek yollu konnektörlerdeki bütün problemler, daha büyük kılıf boyutları ile ortaya çıkan mekaniksel tolerans sıkıntılarıyla birlikte çok yollu konnektörlerde bulunabilir. Birçok çok yönlü optik konnektör, devam eden projelerde optik girişleri elektriksel biçimlere sokma eğilimi göstermektedir (Örneğin, MIL - C - 38999 Seri 3). Fiberlerin ve elektriksel bağlantıların karıştırılması iyi bilinen ve test edilmiş bir bağlantı elemanının kullanılması bakımından çekici olabilir. Fakat optik kablo karmaşık bir bölgeyi kapsar. Daha düşük toleranslı konnektör kılıflarının kullanılmasına izin verilmesiyle mekanik toleranslar optik girişler tarafından karşılanabilir.

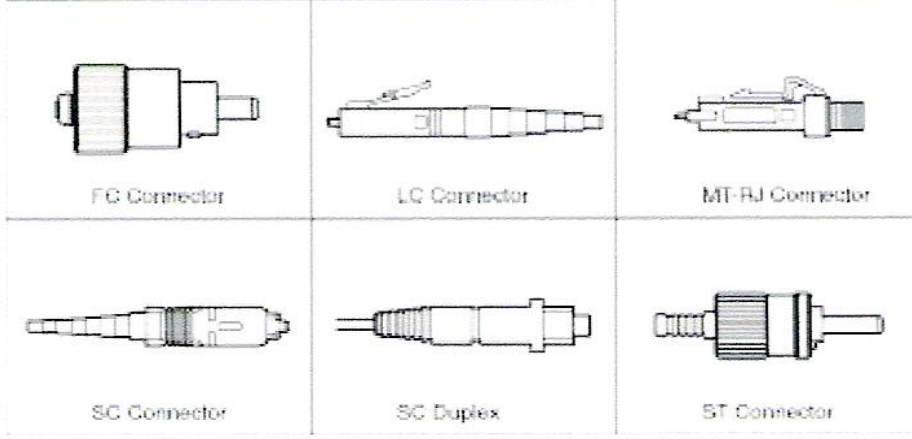
Genel olarak, uçak optik kabloları çift yollu yapıya sahiptir. Bunun anlamı konnektörün yedek kabloların sayısı kadar bağlantı sağlıyor olması ve her birinin sökülebilir olması gerektiğidir.

2.4.3. Elektro-optik Konnektörler

Bir arka düzlem ya da diğer devre bütününe doğrudan elektriksel bağlantıya İzin veren LRU cihazlarını kullanmak için konnektörün bu tipleri geliştirilmiştir. Konnektörlerin bu tipinin anahtar özelliği, konnektörün içerisine bir fotodiyotun dahil olması ile optik kanallar için bir elektriksel sonlanmayı sağlamasıdır. Bu sonlanma, optik kablonun bükülmesini

hesaba katarak LRU'nun içerisinde ilave alan gereksiniminden kaçınır. Bir optik ara yüzü bu konektörlere ek olarak ayrıca standart elektriksel ara yüz bağlantısı da içerebilir.

Piyasada kullanılan birçok optik konektör modeli bulunmaktadır. Değişik özelliklere sahip olmalarının yanında farklı kullanım amaçları içinde üretilenler mevcuttur. *FC/PC*, *SC*, *ST*, *SMA*, *LC*, *MT-RJ*, *MTP/MPO* gibi kısaltmalarla anılırlar.



Şekil 2.7: Çeşitli konektörler

2.5. Avantajlar ve Dezavantajları

2.5.1. Avantajları

Yapılan gereği optik frekanslar daha geniş bant genişlikleri sağladıkları için fiber sistemler daha büyük bir kapasiteye sahiptir. Metalik kablolarda, iletkenler arasında kapasitans ve iletkenler boyunca bir indüktans meydana gelir. Bu özellikler, metalik kabloların bant genişliklerini sınırlayan alçak geçiren filtreler gibi hareket etmelerine neden olur.

Fiber sistemler, manyetik indüksiyonun neden olduğu kablolar arası karışmadan (diyaforu) etkilenmezler. Fiber optik iletimde sinyaller öz tabaka dışına taşınmaz. Kırımlardan dolayı sinyaller öz tabaka dışına taşarsa bile diğer öz tabakalara girip onları etkilemez. Bu nedenle karışma (diyaforu) yoktur.

Fiber kablolar, yıldırımın, elektrik motorlarının, flüoresan ışığın ve diğer elektriksel gürültü kaynaklarının neden olduğu statik karışmadan etkilenmezler. Fiber optikler yerdeki yüksek güçlü vericilere dayanıklı olduğundan dolayı iletişim sistemlerinde kullanılan mükemmel bir çözümdür. Bakır iletkenli bakır tel, koaksiyel kablo vb. ve diğer iletim sistemleri elektromanyetik dalga vb. manyetik etkiden bozulurken, optik iletiminde bozulma yoktur.

Fiber kablolar, çevre koşullarındaki büyük değişikliklere karşı daha dirençlidir. Metalik kablolarla oranla daha geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilirler. Aynı şekilde fiber kablolar, aşındırıcı sıvılardan ve gazlardan daha az etkilenirler. Fiber kabloların monte edilmesi ve bakımı daha kolay ve daha güvenlidir. Cam ve plastik iletken olmadıkları için, fiberler kullanıldığında elektrik akımları ya da gerilimlerin yarattığı tehlikeler yoktur.

Fiber kablolar bakır kablolarla oranla daha emniyetlidir. Kullanıcının haberi olmaksızın fiber kablonun içine kaçak veya gizli bir bağlantı yapmak imkânsızdır. Bu da fiberi askeri uygulamalar için cazip kılmaktadır.

Çevresel etkenlere daha dayanıklı olmasından dolayı fiber sistemler daha uzun ömürlüdür.

Fiber optik kablolar daha düşük kayıplara sahip olduğundan dolayı sinyal yineleyici aralıkları daha fazladır. Gelişen teknoloji ile daha uzun mesafelere yineleyicisiz veri gönderimi mümkün olmuştur.

Fiber optik kablolar ile diğer kablolar kıyaslandığında maliyet açısından fiberler daha pahalıdır. Ancak eşdeğer bakır kabloya göre daha hafif, bant genişliği uzaklık çarpanının büyük, yineleyici aralıklarının daha uzun ve kanal sayısının fazla olması maliyetin düşmesine neden olmaktadır.

2.5.2. Dezavantajlar

Bugün için, fiber sistemlerin birkaç dezavantajı vardır. Tek önemli dezavantaj, fiber sistemin kurulmasında başlangıç maliyetini daha yüksek olmasıdır. Ancak gelecekte fiber sistem maliyetinin oldukça düşeceğine inanılmaktadır. Fiber sistemlerin bir başka dezavantajı, henüz kanıtlanmamış olmalarıdır. Henüz, uzun süredir kullanılmakta olan fiber sistemler mevcut değildir.

UYGULAMA FAALİYETİ

Fiber optik (ışık) sistemleri ile ilgili temel uygulamaları yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Uygulamada kullanacağınız malzemeleri hazırlayınız.	➤ Oluşturacağınız fiber optik iletim hattının blok diyagramını çiziniz
➤ Sisteminizdeki vericinin özelliğini belirleyiniz.	➤ Verici oluşturulurken analog veya sayısal bir ara birim, bir gerilim akım dönüştürücü, bir ışık kaynağı ve ışık bağlayıcı belirleyiniz.
➤ Fiber kılavuzun seçimini yapınız.	➤ Cam veya plastik bir boru seçebilirsiniz
➤ Alıcınızı belirleyiniz.	➤ Devrenizde oluşabilecek kayıpları inceleyiniz.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız becerileri **Evet**, kazanamadığınız becerileri **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. İşe başlamadan önce gerekli güvenlik önlemlerini aldınız mı?		
2. İş için gerekli ekipmanı hazırladınız mı?		
3. Işığın fibere enjekte edilmesini biliyor musunuz?		
4. Mod ve mod yayılmasını biliyor musunuz?		
5. Kullanmış olduğunuz malzemelerin özelliklerini biliyor musunuz?		
6. Oluşan kayıpların neler olduğunu biliyor musunuz?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Fiber optik kabloların ışığı ileten kısmı, olmak üzere iki kısımdan oluşur.
2. Tek bir ışının fiber içinde izlediği yola denir.
3. Fiber optik kabloların karakteristiği..... (kullanılan mode sayısı) ve fiberin gibi faktörlere bağlıdır.
4. Bir ışık ışınının madde içerisinde ilerlemesine gösterilen zorluk katsayısı
5. Işığın içerisinde ilerlediği ve kablonun merkezindeki kısımdır. Çok saf camdan yapılmıştır ve esnektir.
6. Tipik olarak 125 mikrometre çapında nüveyi saran ve fibere enjekte edilen ışının nüveden çıkmasını engelleyen kısımdır aynı nüve gibi camdan yapılmıştır
7. Optik bir özelliği olmayan kaplama polimer veya plastik olabilir bir veya birden fazla katmanı olabilir. Optik bir özelliği yoktur sadece fiberi darbe ve şoklardan korur.
8. Her ışının bir vardır.
9. genel olarak bir fibere enjekte edilen her ışın şeklinde tanımlanabilir ve kısmen fiberin bilgi taşıma kapasitesini ifade eder.
10. Aynı anda fibere enjekte edilen ışınlar fiber sonuna farklı zamanlarda ulaşırlar buna denir.
11. Malzeme özelliğinden kaynaklanan yayılmaya bu nedenle denir.
12. ışık fiber içerisinde yol alırken meydana gelen güç kaybıdır ve dB/km olarak ölçülür.
13. Gelen ışının yabancı bir maddeye çapmasıyla oluşan dağılma ve ışık kaybıdır.
14. Optik bir iletişim hattının üç asal ögesi, ,.....
15. Temel olarak, fiber optik iletişim sistemlerinde ışık üretmede yaygın olarak kullanılan iki aygıt vardır : ,.....
16. fiber optik kablo sonuna, ışık kaynağı veya alıcılara konulan aynı alet ile birleşmeye izin veren mekanik aksamlardır.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-3

AMAÇ

Standartlara ve tekniğine uygun olarak fiber optiklerin uçak sistemlerindeki uygulamalarını bakım dokümanlarında (AMM) belirtildiği şekilde yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Uçaklarda kullanılan fiber optik sistemleri ile ilgili sanal ortamda ve sektörde gerekli araştırmaları yapıp bir rapor hâline getiriniz. Hazırlamış olduğunuz raporu sınıfta arkadaşlarınızla tartışınız.

3. UÇAK ÜZERİNDE KULLANILAN VERİ İLETİM YÖNTEMLERİ

Uçak üzerinde de değişik noktalardan alınan fiziksel büyüklükler (sıcaklık, basınç, pozisyon bilgisi vb.) ve elektromanyetik dalgalarla taşınmış bilgiler elektrik sinyalleri çevrilip, uygun devrelerde işlendikten sonra ilgili sistemlere (göstergelere) iletilmektedir. Bu durum sistemler arasında yoğun bir kablo alış verişi oluşturmaktadır. Ayrıca her sistemi oluşturan elektronik devreler bu sistem için özel olarak tasarlanmıştır. Dolayısıyla bu sistemlerden birinin yerine diğer bir sistemi adapte etmek için sistemde büyük değişiklikler yapmak gerekir. Genellikle sistemler arasında veri transfer hızının yüksek ve sistemin güvenilir olması tercih edilmektedir. Avionic alt sistemlerin sayısı ve karmaşıklığı arttıkça veri iletim gereksinimlerindeki karmaşıklıkta artmaktadır. Sayısal (dijital) teknolojiye gelişmeler daha esnek, modüler ve güvenilir veri iletim sistemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Uçaklardaki veri iletim sistemlerinde de analog sistemlerden daha gelişmiş sayısal sistemler kullanılmaya başlanmış ve ARINC 429, ARTNC 629, MIL-STD 1553 gibi veri iletim standartları geliştirilmiştir.

Bu standartlar ile uçak üzerinde sistemler arasında yüzlerce kablo kullanmak yerine bütün bilgilerin transferi 2 kablo (hat) üzerinden yapılmaktadır. Paralel ve seri olmak üzere iki çeşit hat vardır.

Çeşitli uçak sistemlerindeki dijital bileşenlerin içindeki bilgi paralel hatla aktarılır. Paralel hat çok fazla iletkenle oluşmakta dolayısıyla bir bileşenden diğerine paralel hatla bilgi aktarılması çok fazla iletken kullanılması gerektirmektedir. Bu durum toplam kablo ağırlığını artıracığından sakıncalıdır. Ayrıca istenmeyen elektriksel gürültüler paralel hatta daha kolay girebileceğinden hattan geçen bilginin bozulmasına sebep olacaktır. Başka

bir deyişle paralel hat uzak mesafelere bilgi transferi için güvenilir değildir. Bu sebeplerden uçaklarda paralel bilgi transferi yerine seri bilgi transferi kullanılmaktadır.

MIL-STD-1553B elektriksel veri hatlarında veri iletim hızı 1 Mbit/s (megabit/saniye) dir. ARINC 429 standardında ise 12.0-14.5 Kbit/s (Kilobit/saniye) ve 100 Kbit/s olmak üzere iki farklı iletim hızı mevcuttur. Boeing tarafından 777 modeli için özel olarak geliştirilmiş ve çok yönlü iletim hattına sahip bir standart olan ARINC 629 ise 2Mbit/s hıza sahiptir. Bu standardın geliştirilmesi halen devam etmektedir ve ARINC 429 ile karşılaştırılırsa ARINC 429'da her bağlantının maliyeti 100\$ iken ARINC 629'da 1500\$'dır. Gelişmiş Avionic veri hatlarında iletim hızı daha yüksek (50 Mbit/s veya 1 Gbit/s'den daha fazla) ve elektromanyetik parazitlerin sistem performansı üzerindeki etkisi daha önemli olduğu için elektriksel veri iletim hatlarının hızları, band genişlikleri ve güvenilirlikleri yeterli olmamaktadır.

Bu yüzden avionic sistemlerde fiber optik teknoloji kullanılmaya başlanmıştır. Fiber optik kabloların ağırlıkları da daha düşük olduğu için uçak ağırlığı dolayısıyla yakıt sarfıyatı da düşmektedir.

Askeri uçaklar için geliştirilen MIL-STD-1773 standardında fiber optik veri hattındaki hız 1 Mbit/s 'dir. AS-1773 standardında ise 1 Mb/s veya 20 Mb/s hızlar mevcuttur. Sivil uçaklar için ise fiber optik iletim için ARINC 636 standardı geliştirilmiştir.

3.1. Optik Veri İletimin Havacılıkta Kullanımı

3.1.1. Fly-By-Light Uçuş Kontrol Sisteminin Gelişimi

Elektromanyetik parazitler, uçak komponentleri üzerinde oluşabilecek birçok mod hatasına sebep olmaktadır. Elektromanyetik parazitler ise şu nedenlerden ortaya çıkabilmektedir.

- **Şimşek çarpması:** Yüzlerce volt değerinde güce sahip elektriksel alanlarla çok büyük elektromanyetik darbeler üretilebilir ve çok geniş elektromanyetik radyasyon frekans spektrumu oluşabilir.
- **Yüksek güçlü radar/radyo vericileri üzerinden uçuş:** Hava araçları çok yüksek güçlü radar/radyo vericileri üzerinden uçarken otomatik uçuş kontrol sistemi devre dışı kalır. Hatta kontrol edilemez duruma gelir. Bu sorun yetersiz koruma sonucu uçuş kontrol sisteminin analog ekipmanlarının elektromanyetik parazitlere karşı hassasiyetinden meydana gelmektedir. Şu anadaki kullanımdaki dijital uçuş kontrol sistemleri çok yüksek elektromanyetik uyumluluğa sahiptir.
- **Elektromanyetik izolasyon sisteminde var olan bozukluklar:** Bu tür bozukluklardan dolayı avionik ekipmanlar radyo ve radar ekipmanları, elektrik jeneratörleri gibi iç elektromanyetik radyasyon kaynaklarına karşı hassasiyet gösterirler. Ayrıca dıştan gelen elektromanyetik etkilere karşı da duyarlı olurlar. İzolasyondaki bozukluklar, uçak yapısına yapılan toprak bağlantılarındaki

kırıklar ya da yüksek empedanstan ve yapıdaki korozyonun elektrik bağlantılarına olan etkilerinden meydana gelmektedir.

- **Nükleer bir patlamaya yakınlık:** Bu durumda oluşacak birbirini izleyen gama radyasyonu salınışları ve yüksek güçlü elektrik alanlarının oluşturduğu elektromanyetik darbeler istenmeyen sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle askeri avionic ekipmanları bu tür etkilerden etkilenmeyecek şekilde dizayn edilmeye çalışılmıştır. Bu özellik "nükleer sertlik" olarak adlandırılmış ve çeşitli devre dizaynları, nükleer açıdan yüksek dayanımlı parçalar, sayma teknikleri ve çok etkin izolasyon kullanılarak elde edilmiştir.

Elektronik elemanlar ve donanımları etkin bir elektromanyetik izolasyona sahip olacak şekilde dizayn edilebilirler. Ancak sorun beraber çalışan hatları birbirine bağlayıcılar üzerinde olabilir. Bu nedenle de bağlayıcı kablolar da çok iyi bir elektromanyetik izolasyona sahip olmalıdır ki bu da ekstra bir ağırlık getirmektedir. Kabloların içinden geçen teller de yine bir elektromanyetik filtreleme işlemine tabi tutulmalıdır. Bu filtreleme işlemi kablo içerisinde geçici indüklenmiş elektromanyetik voltaja karşı düşük empedans oluşturur. Geçici indüklenmiş voltaj, gerçek voltaj devreyi etkiledikten sonra yayılan voltajdır.

Dijital veri iletişimi kullanımı ile hata kontrol kodlaması mümkün olur. Böylece dijital verideki herhangi bir bozulma tespit edilebilir ve dikkate alınmaz. Tabi bu durumda belli bir veri kaybı meydana geldiği ve sistem karışıklık süresince donduğu için sadece çok kısa geçici bir kayıp tolerans olarak kabul edilir. Bu nedenle bağlantı kablolarının İzolasyon bütünlüğü uçuş emniyet gerekliliklerini gerçekleştirebilmek için mutlaka sağlanmalıdır.

Optik veri iletişimi gerek dijital, gerek analog bilginin modüle edilmiş ışık yoğunluğu şeklinde bir fiber optik kablo üzerinden iletilmesi ile sağlanan optik veri iletişiminin kullanılması bu problemleri ortadan kaldırmaktadır. Optik iletim ortamı elektromanyetik oluşumlardan etkilenmez ve çok daha yüksek veri oranlarına ulaşılabilir(Örneğin GHz mertebelerinde bant genişliği). Şu an kullanımda olan avionic sistemler 20 Mbits/s den 100 Mbits/s e kadarki aralıkta çalışan fiber optik iletişim kullanmaktadırlar.

Fiber optik kablolar ayrıca eşdeğer elektromanyetik özelliklere sahip kablolarla göre çok daha hafiftir. Bilindiği gibi havacılıkta ağırlığın çok büyük bir önemi vardır. Ayrıca ekipman montajları da daha verimli hale gelmiştir. Diğer yandan optik iletişimin tercih edilmesini pekiştiren olay uçak yapılarında kompozit malzemelerin kullanımının artmasıdır. Bu sayede alüminyum yüzeylerin sebep olduğu Faraday Kafesi sorunu ortadan kalkmıştır. Yani artık dış elektriksel alanlardan etkilenme gibi bir durum söz konusu değildir.

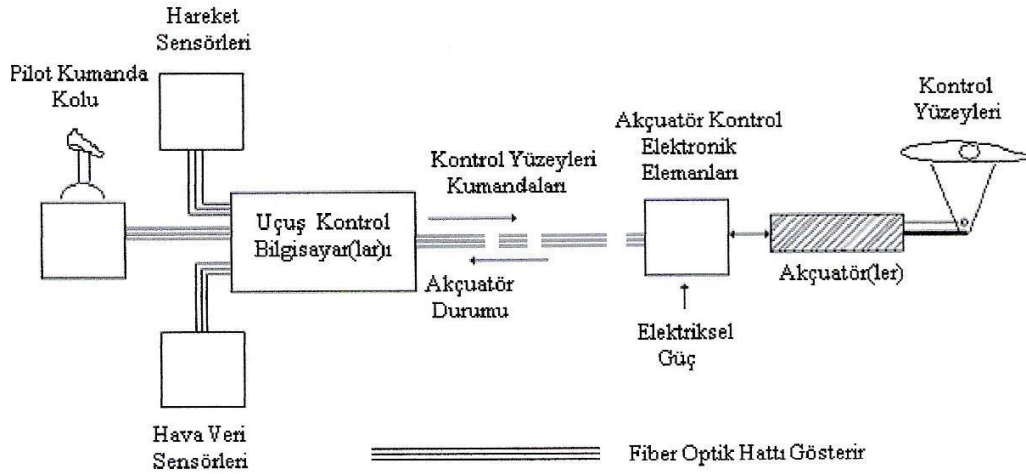
Fiber optik hatların uçuş kontrol sisteminin pilot lövyesi, sensörler, uçuş kontrol bilgisayarları, akçuatör kontrol elemanları gibi temel elemanlarını bağlamak amacı ile kullanılması Fly-By-Light olarak adlandırılmıştır.

Şekilde Fly-By-Light uçuş kontrol sistemi konfigürasyonu görülmektedir. Bu sistemde fiber optik hatlar, birimler arasında elektriksel hata yayını oluşma ihtimalini ortadan kaldırmak amacıyla uçuş kontrol sisteminin elemanlarını birbirine bağlar. Fiber optik hatlar

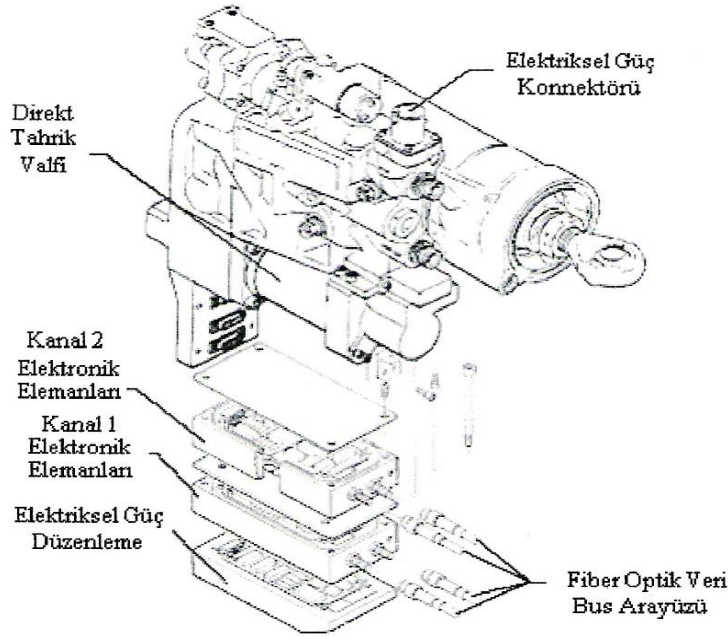
iki yönlü olarak çalışabilir ve sistem durumunu pilot kontrol/gösterge paneline taşımak için kullanılabilir.

Akçuatör kontrol elektronik elemanları ve akçuatörler birbirlerine çok yakın yerleştirilmişlerdir. Ayrıca gerekli olan bağlantılar sadece fiber optik kablo ve elektriksel güç bağlantılarıdır. Böylece eski sistemlerde gördüğümüz büyük kablo kalabalıkları artık sorun olmaktan çıkmış durumdadır. Bu tür sistemlere "sinact actuators" de denilmektedir.

Smart akçuatör, ilk olarak F-18 uçağının kanatçık akçuatör operasyonel gerekliliklerini tamamlamak için dizayn edildi. Bu akçuatör basit hidrolik destekli ve standart F-18 akçuatörü kadar uygun, düzgün ve fonksiyonel olacak şekilde tasarlandı. Akçuatör, bir DDV (Direct Drive Valve), servo-loop kontrolünü sağlayan iki bağımsız elektronik modül, hata izleyici ve artık yönetimine sahiptir. Elektronik modüllerden her biri FCCs (Flight Control Computers) in ayrı kanallarından kumanda edilmektedir. Akçuatörün Fail-Operate ve Fail-Safe olmak üzere elektriki hatalar için iki çalışma modu bulunmaktadır. Fail-Operate modu tek bir kanaldan hata tespiti olduğu zaman devam eden operasyon hâlidir. İkinci kanaldaki bir hata, akçuatörü Fail-Safe moduna getirir ki bu durum F-18 uçağının standart akçuatörü gibi çalışması demektir.

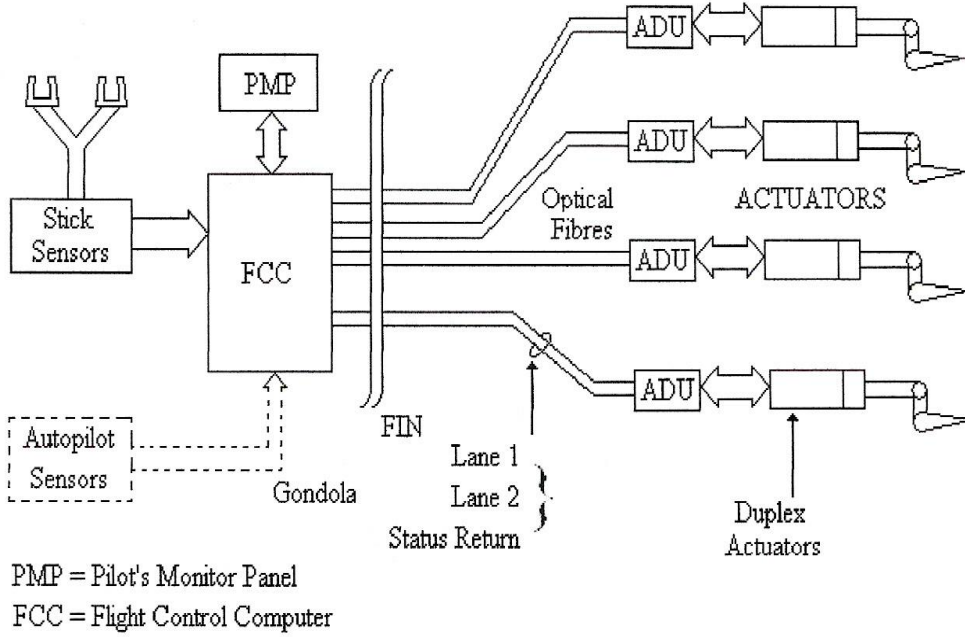


Şekil 3.1: Fly-By-Light uçuş kontrol sistemi



Şekil 3.2: Smart akçuatör

Fiber optik veri iletişiminin bir diğer avantajı da tek bir fiberin birkaç kanallık bilgiyi kodlanmış farklı dalga boyları (renkler) darbeleri kullanarak aynı anda iletmesi demek olan "dalga boyu bölümlenmesi" çoklamasına imkân vermesidir. Böylece her bir kanaldaki bilgiler, ışık sinyalinin istenen dalga boyu değerine ayarlanmış olan dalga boyu seçici pasif optik filtrelerden geçmesi ile optik karışımlardan korunmuş olmaktadır. Şayet çoklanmış kanallar iyi bir şekilde izole edilirse dalga boyu bölümlenmesi ile çoklama işlemi çok yüksek bir bütünlüğe sahiptir. İlginçtir ki Fly-By-Light teknolojisinin ilk uygulamalarından biri, en eski hava araçlarından olan ve airship diye adlandırılan hava aracında kullanılmıştır. Rijit olmayan airshipler havadan radar takip sistemleri için uzun süreli platformlar şekline kullanılarak havacılığa yeni bir başlangıç yapabilir gibi gözüküyor. Airship yapısı içerisinde geniş, yüksek güçlü radar antenleri taşıyabilme ve havada günlerce kalabilme özelliğine sahiptir. Ayrıca 24 saat operasyonları için gerekli olan geniş mürettebatı da rahat bir şekilde taşıyabilmektedir.



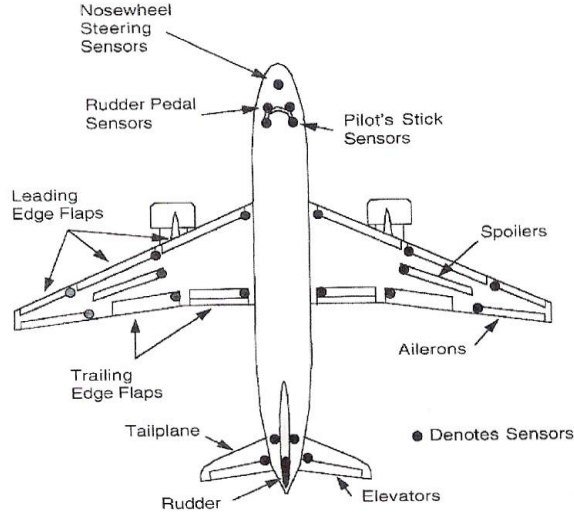
Şekil 3.3: Skyship 600 optik sinyalli uçuş kontrol sistemi

Airship'in yunuslama ve yatış kararsızlıklarını karşılamak için gerekli olan otostabilizasyon ve uzun görevlerde ihtiyaç duyulan otopilot işlemleri için airshipin geniş kontrol yüzeylerine tam güçlendirilmiş kontroller gereklidir. Gondoldan kontrol yüzeylerine uzanan kabloların uzunluğu ve şimşek oluşma ihtimali düşünüldüğünde optik sinyalli uçuş kontrol sistemi çok uygun bir çözümdür.

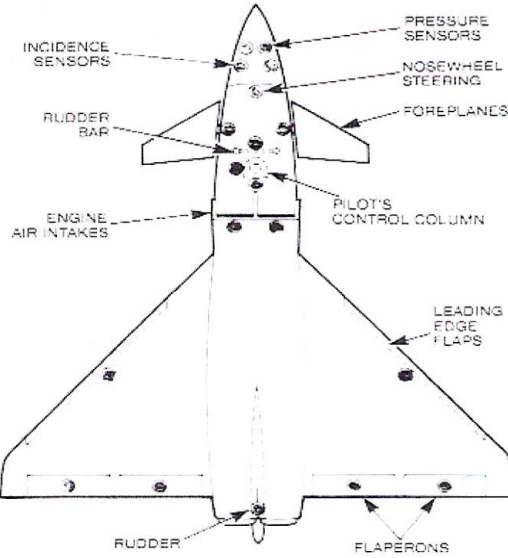
3.2. Optik Sensörler

Gerek askeri, gerekse sivil uçaklarda uçuş kontrol sisteminde çok sayıda optik sensör mevcuttur. Bunların çoğu çift yönlü olarak çalışmaktadır. Bu optik sensörleri çoğu uçağın uç kısımlarına yerleştirilmiştir ve yapıya bağlanan ekipmanlara göre daha az izole edilmiş durumlardadır. Ayrıca kompozit malzemelerin yaygın kullanımı elektromanyetik etkileri de azaltmaktadır. Pasif optik sensörler diye adlandırılan optik sensörler, elektromanyetik parazitlerden etkilenmedikleri için birçok uygulamada çeşitli avantajlar sağlamaktadırlar. Pasif optik sensörler elektriğe ihtiyaç duymayan ya da sensör kısmında herhangi bir elektronik işlem yapılmayan, çıkışını ölçülen miktara göre optik sinyal olarak üreten sensörlerdir. Bu optik sensörün çıkışı, elektromanyetik parazitlerden tamamen korunmuş ayrı bir elektronik devre taşınmaktadır. Optik sensör ile bu elektronik devre arasındaki tek bağlantı fiber optik kablodur. Sivil ve askeri uçaklardaki bazı optik sensörler şekilde gösterilmiştir. Optik prensipler ayrıca basınç, sıcaklık ve ivme gibi değerleri ölçülmesi amacı ile kullanılacak olan yeni pasif optik sensörlerin geliştirilmesi için detaylı bir şekilde takip

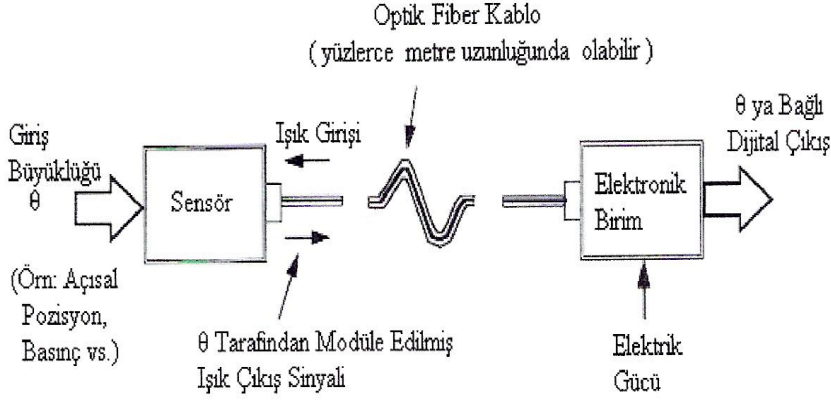
edilmektedir. Bu sensörler diğer yandan yüksek sıcaklık dayanımına sahiptirler (600 ° C ye kadar) ve uçuş kontrol sistemleri dışında morto kontrol sistemlerinde de kullanılabilirler.



Şekil 5.4 Sivil uçak üzerinde optik sensörlerin yerleri [18]



Şekil 3.4: Askeri uçakların üzerinde optik sensörlerin yerleri



Şekil 3.5: Pasif optik sensör diagramı

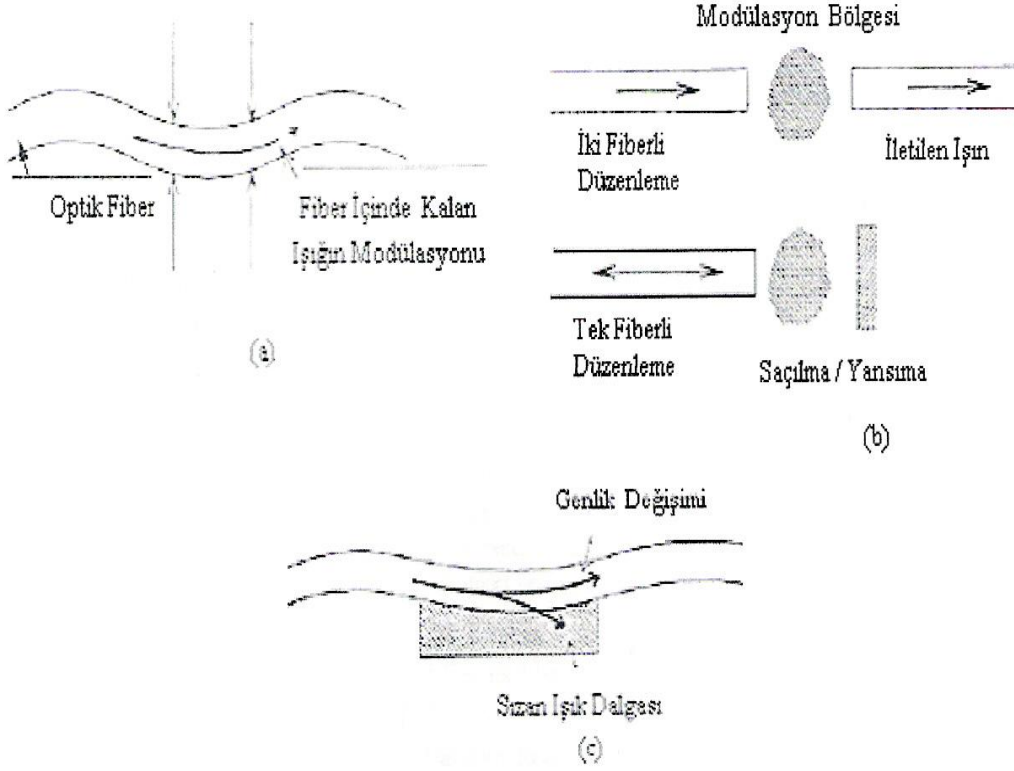
Optik fiberler; sahip oldukları büyük bant genişliği, hafiflik, küçük hacim, düşük zayıflamalı iletim gibi özellikleri sebebiyle kısa ve uzak mesafeli veri iletimi uygulamaları için büyük üstünlüklere sahiptir. Optik fiber haberleşmesi bakımından problem olarak gözüken pek çok özellik (zayıflama, faz kayması, sıcaklık, baskı ve gerilmeyle kırılma indisi değişimi vb.), bu özelliklerin çevresel etkilere olan duyarlılıklarının geliştirilmesiyle, fiber optik algılamada birer üstünlük haline gelmektedir. Uçaklardaki basınç, seviye ve jiroskop ölçmelerinin fiber optik sensörler kullanılarak ölçülmesi ise doğruluk, sinyal güvenliği ve hız açısından büyük avantajlar sağlayacaktır.

Optik fiberler, günümüzde optik haberleşme sistemlerinin en önemli parçalarından biri olan iletim ortamını teşkil ederler. Optik fiberlerin özellikleri onların algılama, kontrol ve ölçme uygulamalarında dönüştürücü eleman olarak tercih edilmelerini sağlar. Son 20 yıl içinde büyük ilerlemeler kaydeden fiber optik algılama yöntemi kullanılarak basınç, gerilme, sıvı seviyesi, sıcaklık, elektrik ve manyetik alan, atmosferik ve endüstriyel kirlilik, kimyasal özellikler, patlayıcı ve parlayıcı gazların algılanması ve izlenmesini sağlayan fiber optik sensörler, diğer sensörlere göre büyük üstünlüklere sahiptir. Fiber optik sensörler, endüstride, giderek klasik sensör sistemlerinin yerini almaktadır.

Fiber Optik Sensörler (FOS), fiber içerisinde ilerleyen ışığın modüle edici ortamla etkileşme durumuna göre üçe ayrılabilir. Işığın fiber içinden ayrılmadan çevresel etki tarafından değişikliğe uğratıldığı iç etkileşimli; ışığın taşıyıcı fiberden ayrılıp çevresel etki tarafından değişikliğe uğratıldıktan sonra aynı veya bir başka fibere tekrar girdiği dış etkileşimli ve fiber optik dalga kılavuzunda ilerleyen ışıktaki çevresel etki tarafından oluşturulan ölçülebilir kuplaj kaybını esas alan sızan alan fiber optik sensörler FOS'larla yapılan ölçmeler, kullandıkları prensiplere göre Şekil 5.8'de sınıflandırılmıştır.

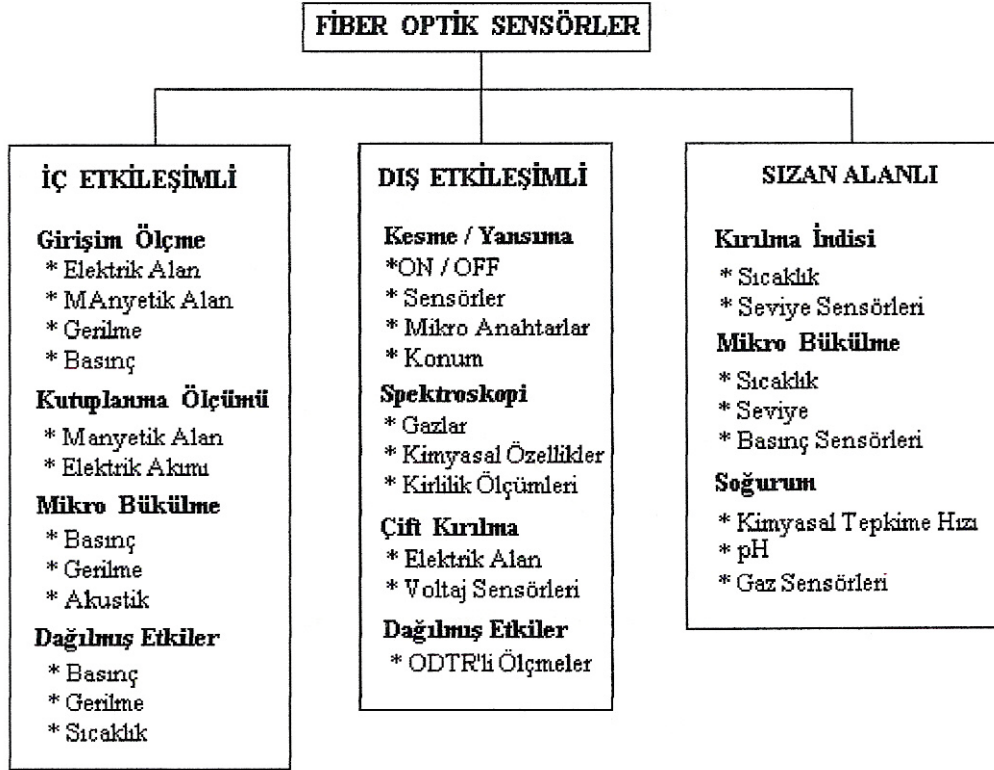
İç etkileşimli bir FOS'ta (optik fiber dalga kılavuzu içerisinde ilerleyen ışık dalgasının genlik, faz ve kutuplanma durumu gibi özellikleri, modüle edici etki tarafından değişikliğe uğratılır. İç etkileşimli FAS'lar, daha yüksek hassasiyetlidirler, ortamdaki bozululardan

etkilenmezler ve daha az bakım gerektirirler. Fakat cam fiberin modülasyon kabiliyeti düşük olduğundan, FOS tasarımında çoğunlukla özel tip fiberlere ihtiyaç duyulur.



Şekil 3.6: Fiber optik sensörlerin genel gösterimi

Dış etkileşimli sensörler de optik fiberler daha çok kaynaktan alınan ışığı modülasyon bölgesine, modülasyon bölgesinden alınan ışığı detektöre taşımada kullanılır. Dış etkileşimli FOS'lerde ışık optik fiberden ayrılarak modülasyona uğratıldığından bu sensörlerin, algılayıcı yüzeylerin ve/veya fiber uçlarının kirlenmesi, yanlış hizalama, modülatör olarak kullanılan dönüştürücünün zamanla optik özelliklerini yitirmesi istenmeyen saçılma ve yanı sıra vibrasyona duyarlılık ortam ışığından etkilenme gibi uygulama zorlukları vardır. Sızan ışıklı sensörler de çevresel etkiyi algılama prensibi tek modlu fiberlerde yelek bölgesine sızan ışığın çok modlu fiberlerde ise özellikle yüksek mertebeli modların modüle edici etki tarafından çeşitli yollarla tutulması ve detektöre ulaşmasının engellenmesidir. Genellikle, gerilme, basınç, yüzey pürüzlülüğü ölçmelerinde tercih edilen mikro bükülme ve kimyasal özelliklerini bileşimlerin algılanmasında kullanılan fiber özünü soğurucu bir filmle kaplanması en yaygın metotlardır.



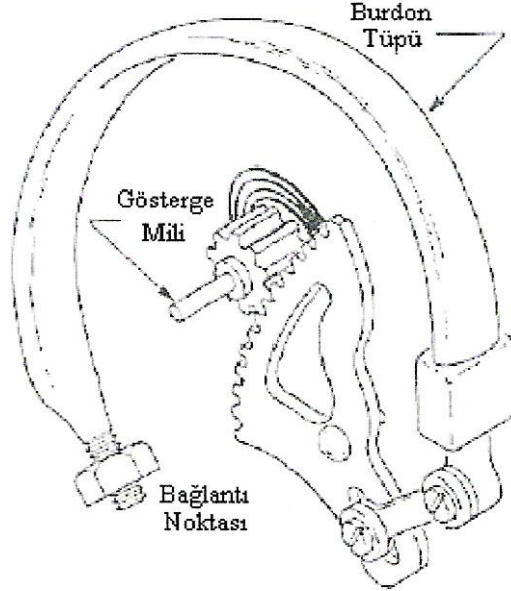
Şekil 3.7: Fiber optik sensör tiplerine göre algılama mekanizmaları ve uygulamaları

Uçaklarda, güvenli bir kalkış, uçuş ve iniş için, çeşitli noktalardaki basıncın ve uçuş güvenliği için ise yakıt miktarının sürekli izlenmesi gereklidir. Klasik yöntemlerle yapılan bu ölçmelere ait prensipler aşağıda verilmiştir.

3.3. Optik olmayan sensörlerle uçak ölçümleri

3.3.1. Pnömatik kumandalarda kullanılan basıncın ölçülmesi

Modem uçaklarda, sıkıştırılmış hava veya pnömatik, iniş takımlarının, kanatların, frenlerin, kargo kapılarının veya diğer mekanik aksamaların işletilmesi amacıyla kullanılabilir. Üretilen basıncı, büyüklüklerine göre; yüksek basınç (1000-3000 psi), orta basınç (100-150 psi) ve düşük basınç «100 psi) şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Yüksek basınçlı bir pnömatik sistemde, depolanmış basınç, Şekil 39'da prensibi verilen burdon tüplü bir cihazla mekanik olarak ölçülebilmektedir.



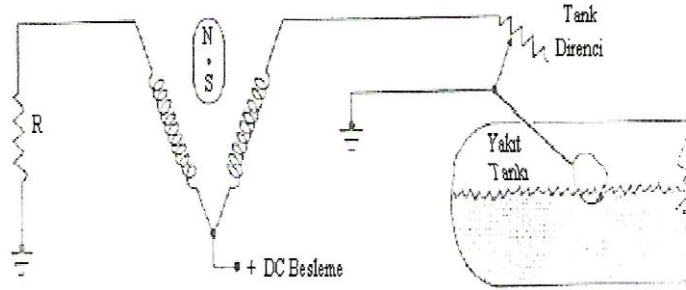
Şekil 3.7: Burdon tüplü cihazın mekanizması

Burdon tüplü ölçme cihazı, yarı-elips seklinde bükülmüş pirinç veya bronzdan yapılan içi boş bir tüpten ve tüpün esnemesiyle mil ucuna bağlanmış olan ibreye mekanik hareket sağlayan kısımlardan oluşur. Cihazdaki dişlilerin zamanla aşınması, sıklıkla bakım gerektirmesi ve ölçülecek yüksek basıncın izleme noktasına kadar taşınması zorunluluğu gibi, kullanım zorlukları vardır.

3.3.2. Yakıt miktarının ölçülmesi

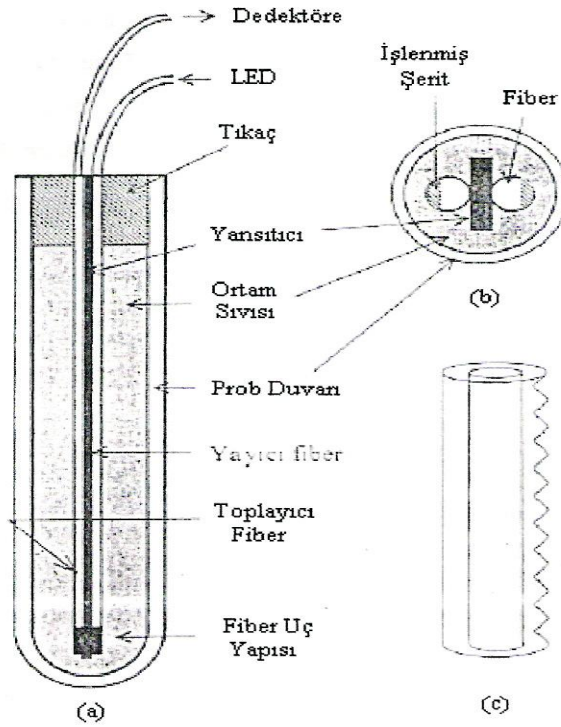
Uçaklarda yakıt miktarı, mekanik ve elektriksel olarak (alternatif akımla veya doğru akımla) ölçülebilmektedir. Mekanik olanlar, tank üzerine monte edilmiş olarak kullanıldığından kontrol odasına bilgi taşımak amacıyla kullanılmazlar.

Yukarıda doğru akım kullanan radyometre tipli yakıt seviyesi ölçme aletinin prensibi verilmiştir. Tank içerisindeki yakıt miktarının değişmesiyle şamandıranın yukarı aşağı hareketi algılanmakta ve bu hareketle şamandıranın ucuna bağlı tank direnci değiştirilmektedir. Tank direncinin değişmesi, aynı DA kaynağından beslenen paralel bağlı bobinlerden geçen akımı değiştirdiğinden, sabit mıknatısa bağlı bulunan ibrenin, akımla orantılı olarak sapmasını sağlamaktadır. Yakıt miktarı ölçümünde kullanılan diğer elektriksel yöntemlerde olduğu gibi bu sistemin de en büyük sakıncası, elektriksel ark veya kıvılcıma sebep olacak şekilde, yakıt tankının içine veya çok yakınına elektrik akımının taşınmasıdır. Ayrıca sistemin, mekanik aksamalarının zamanla aşınması ve sıklıkla bakım gerektirmesi gibi sakıncaları da vardır. Bu yüzden, yaygın olarak kullanılmasına rağmen potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır.



Şekil 3.8: Yakıt seviyesinin ölçülmesi

3.3.3. Yakıt Seviyesinin Fiber Optik Yöntemle Ölçülmesi



(a) Sensör probu, (b) Probun kesiti, (c) İşlenmiş şerit

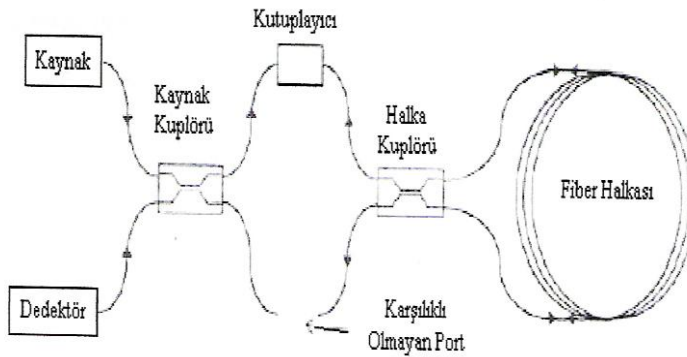
Şekil 3.9: Fiber optik sıvı seviye ölçümü

Fiber optik sensörlerle yapılan, sürekli veya aynı sıvı seviyesi ölçmeleri, genellikle, ölçülecek sıvı içinde kırılması esasına dayanır. Sıvının kırılma indisi, optik probun dış yüzeyinin kırılma indisine yakın olduğunda, kararsız veya yanlış okuma gibi problemler artar. Bu yüzden, çıkışı, sıvı kırılma indisinden bağımsız olan sensörler, daha az kalibrasyon ve bakım gerektireceklerdir. Şekil 8'de, farklı kırılma indisine sahip sıvılar için kalibrasyon

gerektirmeyen ve uçak ölçmelerine uyarlanabilecek bir sensörün prensibi verilmiştir. Düzenlemede, sensör probu, ortam sıvısı olarak adlandırılan bir sıvıyla doldurulur. Sensörün, ölçüm sonucunun kırılma indisinden bağımsız olması ve ayrı sıvılar için ölçümleme gerektirmemesi bu şekilde sağlanır. Sensörün prensibi ise, sıvı seviyesinin yükselmesi ile yayıcı fiberden toplayıcı fibere giren ışık miktarındaki azalmaya bağlı olarak dedekte edilen akım miktarının azalması şeklindedir. $\therefore$ %5'lik bir tolerans ile doğrusal olarak gerçekleşen tipik bir sensör çıkışı, şekilde verilmiştir. Şekildeki kesikli çizgiler, sensörün: i: %5'lik sınırını gösterir.

3.4. Jiroskop Ölçümler

Uçaklarda kullanılan mekanik jiroskoplar iki ucu yataklanmış ve döner yapıdadır. Bu yüzden zamanla bakım gerektirirler ve sonlu ömürlere sahiptir. Son yıllarda büyük ilerlemeler kaydederek seri üretime yakın bir ürün haline gelen ve Sagnac etkisi esaslı Fiber Optik Jiroskop (FOJ)'lar ise çok hızlı çalışmaya başlama, sınırsız sayılabilecek kadar uzun yedekte bekleme süresi, sıcaklık, şok ve titreşime çok iyi dayanıklılık gösterme gibi üstünlükleri vardır. Teorik olarak bakım gerektirmezler ve çok düşük maliyetlerde üretilebilirler. Fiber Optik Jiroskoplar, katı-hal düzenlemeleri olmaları sebebiyle, ayrıca, yüksek dinamik saha, yüksek bant genişliği gibi özelliklere de sahiptir. Dönen bir FOJ'da Sagnac etkisi ile meydana gelen faz kayması ile verilir. Burada, L fiberin uzunluğu; D , bobinin çapı; A , kaynağın vakum dalga boyu; c , vakumdaki ışık hızı ve Ω , bobin eksenine paralel hız bileşenidir. FOJ'lar üzerine son çalışmalar, bütünleşmiş-optik modülatörler kullanarak kompakt ve küçük hacimli bir yapı elde etmek; yüksek hassasiyeti sağlayan ve koruyan sistemler için yeni işaret işleme teknikleri geliştirmek ve geniş bantlı kaynak olarak kullanmak üzere nadir toprak katkılı fiber yükseltici/kaynak kullanmak üzerine yönelmiştir.



Şekil 3.10: Tamamen fiberli jiroskop

Fiber optik sensörler, elektriksel akım ve gerilimden bağımsız, tamamen yalıtkan, hafif ve küçük boyutlu olmaları sebebiyle uçak ölçmeleri için çok kullanışlıdır. Mekanik olmayan prensipleri sebebiyle sıklıkla bakım gerektirmezler ve çok uzun depolama sürelerine sahiptirler. Özellikle uzun süreli çalışmalarda hassasiyetin ve kararlılığın çok iyi korunması, uçuş güvenliğini artırırken, hafiflikleri iniş-kalkış ağırlığını azaltır. Bu sebeplerle fiber optik sensörler, alışılmış sensörlere çok iyi bir alternatif olarak uçak ölçmelerinde kullanılabilir.

UYGULAMA FAALİYETİ

Ana ve yardımcı uçuş kumandalarının AMM dosyalarında tekniğine uygun olarak bakım ve onarımı yapmak.

İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Uygulama yapacağınız uçağın AMM dosyasında fiber optik sistemler ile ilgili sayfaları bulunuz. ➤ Ana ve yardımcı uçuş kumandalarının başkaları tarafından bilginiz dışında hareket ettirilememesi için gerekli tedbirleri alınız. ➤ Bakımını ya da onarımını yapacağınız. AMM dokümanında belirtildiği gibi sabitleme ya da açma işlemini gerçekleştiriniz. ➤ Parça değişimi belli bir konuma getirilmesi veya sökülmesini, AMM dosyasının ilgili kısmında belirtildiği gibi ekipman yardımıyla gerçekleştiriniz. ➤ İşlemi tamamladıktan sonra talimatlara uygun şekilde sistemin çalışıp çalışmadığını kontrol ediniz.	➤ Çalışma bölgenizde gerekli güvenlik tedbirlerini alınız. ➤ Fiber optiklerin uçak sistemlerindeki uygulamalarını bakım dokümanlarından (AMM) belirtildiği gibi gerçekleştiriniz.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız becerileri **Evet**, kazanamadığınız becerileri **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. İşe başlamadan önce gerekli güvenlik önlemlerini aldınız mı?		
2. İş için gerekli ekipmanı hazırladınız mı?		
3. AMM dosyasının ilgili kısmını buldunuz mu?		
4. Diğer gerekli referansları buldunuz mu?		
5. AMM dosyasında belirtilen talimatların hepsine uydunuz mu?		
6. Yaptığınız bütün işlemlerde iş güvenliği kurallarına uydunuz mu?		
7. Verilen sürede işi bitirdiniz mi?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Boeing tarafından 777 modeli için özel olarak geliştirilmiş ve çok yönlü iletim hattına sahip bir standart olan ise 2Mbit/s hıza sahiptir.
2. Askeri uçaklar için geliştirilen standardında fiber optik veri hattındaki hız i Mbit/s 'dir.
3. Sivil uçaklar için ise fiber optik iletim için standardı geliştirilmiştir.
4. Fiber optik hatların uçuş kontrol sisteminin pilot lövyesi, sensörler, uçuş kontrol bilgisayarları, akçuatör kontrol elemanları gibi temel elemanlarını bağlamak amacı ile kullanılması olarak adlandırılmıştır.
5., sahip oldukları büyük bant genişliği, hafiflik, küçük hacim, düşük zayıflamalı iletim gibi özellikleri sebebiyle, kısa ve uzak mesafeli veri iletimi uygulamaları için büyük üstünlüklere sahiptir.
6., elektriksel akım ve gerilimden bağışık, tamamen yalıtkan, hafif ve küçük boyutlu olmaları sebebiyle uçak ölçmeleri için çok kullanışlıdırlar.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise “Modül Değerlendirme”ye geçiniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. () Renkleri belirleyen güneşin yaydığı dalga boylarıdır.
2. () Işığın enerjisi hem frekans hem de ışık genliği ile ters orantılıdır. ()
3. () Yansıma kanununa göre gelen ışın, normal ve yansıma ışın aynı düzlemedir.
4. () Güdümlü bir fiber optik aracılığıyla bilgi taşıyan iletişim sistemlerine fiber optik sistemler denmektedir.
5. () Aynı anda fibere enjekte edilen ışınlar fiber sonuna farklı zamanlarda ulaşırlar buna modal yayılma denir.
6. () Gelen ışının yabancı bir maddeye çapmasıyla oluşan dağılma ve ışık kaybına erime denir.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ- 1'İN CEVAP ANAHTARI

1	Işık
2	Frekans
3	Şiddet
4	Polarite
5	Üç yüz bin Kilometredir. $C = 3.108$ M/S
6	Gölge
7	Tam Gölge
8	Yarı Gölge
9	Yansıma
10	Yüzeyin Normali
11	Işığın Kırılması
12	Mercek (Lens)

ÖĞRENME FAALİYETİ- 2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	Temel olarak core (nüve) ve cladding (kılıf)
2	(Path) mod
3	İletim hızı, iletim kayıpları
4	İndis
5	Nüve
6	Kılıf
7	Kaplama
8	Dalga boyu
9	Mod
10	Modal yayılma
11	Malzeme yayılması
12	Zayıflama
13	Saçılma
14	Verici, alıcı ve kılavuzdur
15	Işık yayan diyodlar (LED'ler) ve enjeksiyon lazerli diyodlar (ILD'ler)
16	Konnektörler

ÖĞRENME FAALİYETİ- 3'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	ARINC 629
2	MIL-STD-1773
3	ARINC 636
4	Fly-By-Light
5	Optik fiberler
6	Fiber optik sensörler

MODÜL DEĞERLENDİRMENİN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Yanlış
3	Doğru
4	Doğru
5	Doğru
6	Yanlış

KAYNAKÇA

- WAYNE F. Tomasi, **Elektronik İletişim Teknikleri**, Prentice Hall Inc.,1998.
- SCHWEBER William, **Electronic Communication Systems**, Prentice Hall International Editions, 1996.
- SHRADER Robert L., **Electronic Communication**, Mc Graw-Hill International Editions 1993, Sixth Edition.
- ATTNYY Eyad, **Optik Haberleşme**, HEE 498 Havacılık Elektrik Elektroniği Uygulamaları, SHYO Haziran,2002.
- KAHVECIOĞLU A Işık Y, **Veri İletim Yöntemleri ve Optik Veri iletiminin Aviyonik Sistemlerdeki Kullanımı**, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Temmuz, 2003.
- ÇAKIR S., **Çağımızın İletişim Devriminde Fiber Optik**, Bilim ve Teknik Dergisi, Ekim 2000, Aralık 2000.
- KEISER Gerd, **Optical Fiber Communications**, Mc Graw-Hill International Editions 2000.
- BOYLESTAD R., L. Nashesky., **Elektronik Elemanlar ve Devre Teorisi**, Prentice Hall Inc., 1994.
- Collinson R.P.G., **Introduction To Avionics**, Chapman & Hall, 1996.