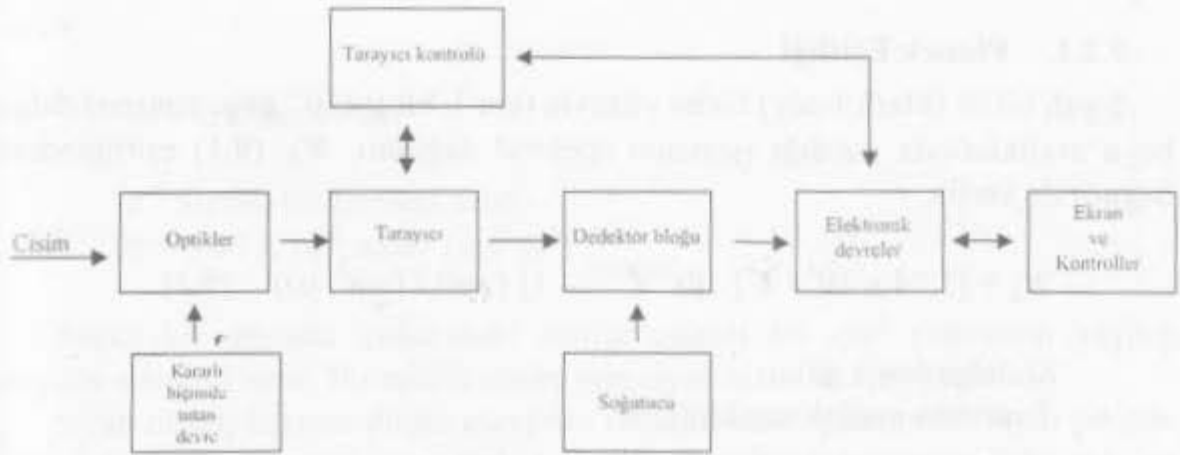


## 9. TERMAL GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ

### 9.1. Giriş

Termal görüntüleme sistemlerinin temeli infrared ışımadır. Dalga boyu  $0.7\mu$ 'dan daha uzun, mikrodalgadan daha kısa ışıma infrared ışıma (radyasyon) denir. İnfra kelimesi 'alt', red ise 'kırmızı' demek olduğuna göre, infrared (IR) ışıma Türkçe'ye *kırmızı-altı ışıma* olarak çevrilebilir. Frekans açısından bakıldığında da frekansı kırmızı renk frekansından daha küçük ışıma anlamına gelir. Bir termal görüntüleme sisteminin genel öbek çizimi Şekil 9-1'de verilmiştir.



Şekil 9-1 Termal görüntüleme sistemi

IR ışıma, ışımayı ortaya çıkaran enerji türüne göre, elektriksel orijinli IR ve termal (ısı) enerji olmak üzere iki türdür.

#### 9.1.1. Elektriksel Orijinli Infrared (IR)

Elektriksel orijinli IR, TV uzaktan kumandalarında olduğu gibi bir IR LED'den elektrik akımı geçirildiğinde oluşmaktadır. Lazer mesafe bulucuda kullanılan IRLASER'ler aynı şekilde elektriksel kaynaklı IR'a örnek gösterilebilirler.

#### 9.1.2. Termal IR

Termal IR'in varlığı *Sir William Herschel* tarafından 1800'lerin başlarında ortaya çıkarıldı. *Herschel*, bir ısı kaynağı olan güneşten gelen ışımayı incelerken, kırmızı rengin ötesinde de, gözle görülmemesine rağmen, ışımanın var olduğu gözlemlendi ve bu ışıma için çeşitli tanımlar kullandı: Görünmez ışınlar (invisible rays), termometrik spektrum, karanlık ısı (dark heat) gibi.

Termal IR kaynakları iki türe ayrılabilir:

- Doğal: Güneş, yeryüzü, kara/deniz, insan, vs.

- Yapay: Uçak motoru, füze egzost çıkışı, taşıma araçları, gemi, vs.

Doğal ve yapay, sıcaklığı  $-273^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{K}$ ) üzerinde olan her cisim ışıma (radyasyon) yayar. Isı enerjisi olan atom ve moleküllerin vibrasyon ve rotasyon hareketlerindeki artış, ışımaya yol açar. Sıcaklığı yaklaşık  $1500^{\circ}\text{K}$ 'den daha az olan cisimlerin sadece termal IR ışıma yaydığı söylenebilir. UV; ultraviyole, GI; görünür ışık, IR; infrared olmak üzere

Güneş: UV + GI + IR

Tungsten ampul: GI + IR

Yeryüzü / İnsan: IR

ışıma yayarlar.

## 9.2. İnfrared Işımanın Temel Bağlıları

### 9.2.1. Planck Eşitliği

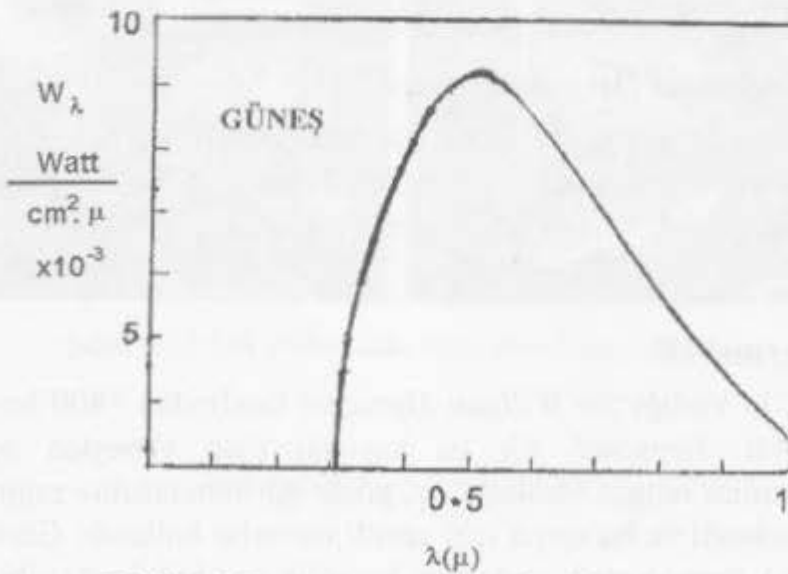
Siyah cisim (black body) birim yüzeyin ( $\text{cm}^2$ ), bir  $\mu$  ( $10^{-3}$  mm, mikron) dalga boyu aralıklarında yaydığı ışımının spektral dağılımı,  $W_{\lambda}$  (9.1) eşitliğindeki bağıntı ile verilir.

$$W_{\lambda} = [3.74 \times 10^4 / \lambda^6] \cdot [e^{14388/\lambda T} - 1] \text{ (watt / (cm}^2 \cdot \mu)) \quad (9.1)$$

$\lambda$ : dalga boyu,  $\mu$

T: cismin mutlak sıcaklığı,  $^{\circ}\text{K}$

Sıcaklığı yaklaşık  $T=5900^{\circ}\text{K}$  olan güneş için birim yüzeyin yaydığı ışımının dalga boyu ile değişimi Planck eşitliğinden hesaplanmış ve şekil 9.2'de gösterilmiştir.



Şekil 9-2 Güneş ışımalarının spektral dağılımı

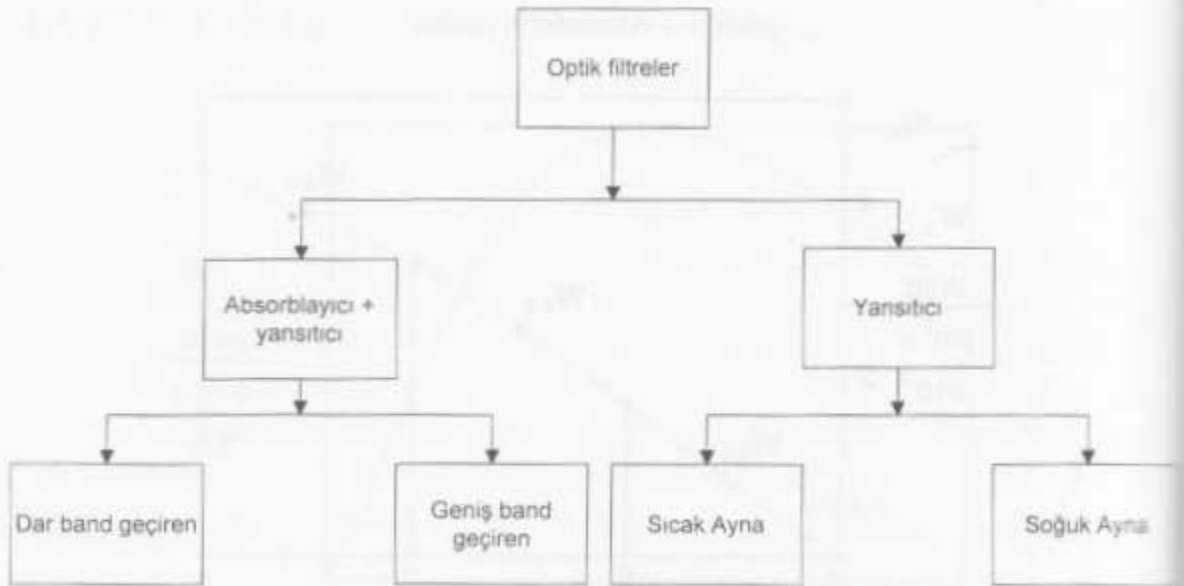
110 watt değeri elde edilir. Aşağıda bir IR görüntüleme sisteminde kullanılan çeşitli birimler hakkında bilgiler verilmiştir.

### 9.3. Optik Filtreler

Genellikle objektifin önüne yerleştirilen optik filtreler, görüş açısı içinde objektife düşen ve oradan dedektör üzerine yoğunlaşan ışımamın belirli dalga boylarını daha objektife düşmeden engeller, istenen dalga boylarını ise geçirir. Filtreler engelleme ve süzme işlevini, istenmeyen dalga boylarındaki ışımayı

- soğurma (soğurma) ile
- soğurmayla birlikte yansıma ile
- sadece geri yansıtarak

gerçekleştirir. Filtreler, soğurucu ile birlikte artı yansıtıcı ve sadece yansıtıcı filtreler olmak üzere iki ana türde gruplandırılabilir.



Termal görüntüleme sistemlerinde geniş band geçiren filtre ile soğuk ayna kullanılmaktadır.

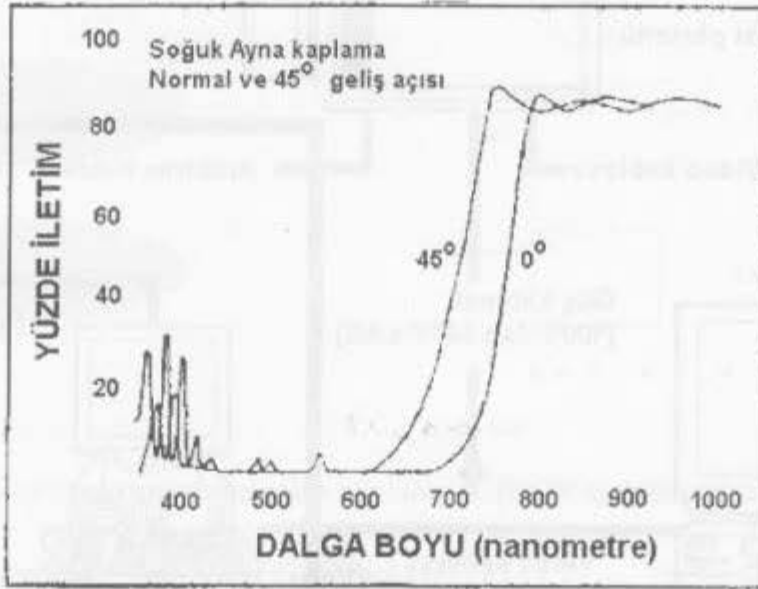
#### 9.3.1. Geniş Band Geçiren Filtre

UV, GI veya IR ışımaya karşılık gelen dalga boyu bandlarından birini geçiren, diğerlerini tutan filtre türüdür (band blocking filters). Örneğin, Melles Griot RG-695, IR geçiren filtredir. Şekil 9-6'da görünür ışığın yoğun olarak mevcut bulunduğu gündüz şartlarında, sadece IR ışımamın algılanması örnek olarak verilmiştir.

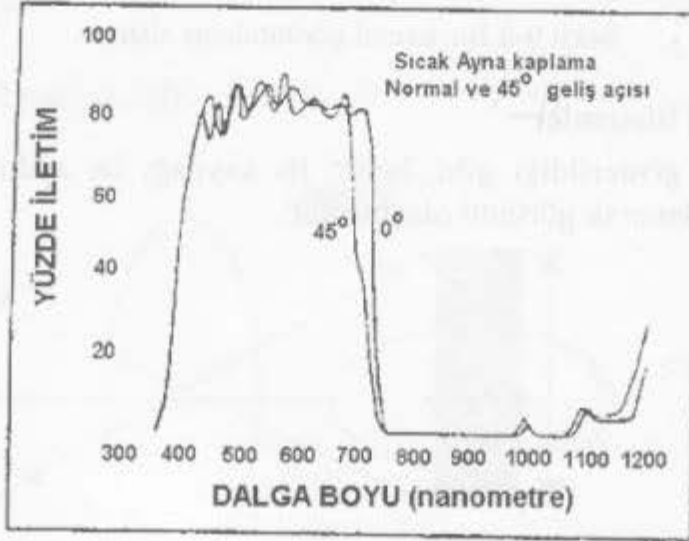
#### 9.3.2. Yansıtıcı Filtreler

Yansıtıcı optik filtreler, sıcak ayna (hot mirror) ve soğuk ayna (cold mirror) olmak üzere iki türdür.

IR ışınım, elektriksel enerji kaynaklı olduğu gibi termal (ısı) enerjiden de kaynaklanır. IR geçiren, GI ışınımı ise geri yansıtan ayna türüne "soğuk ayna" denmesinin nedeni, ışınımın geliş yönünden bakıldığında aynanın GI yansıtmasıdır.



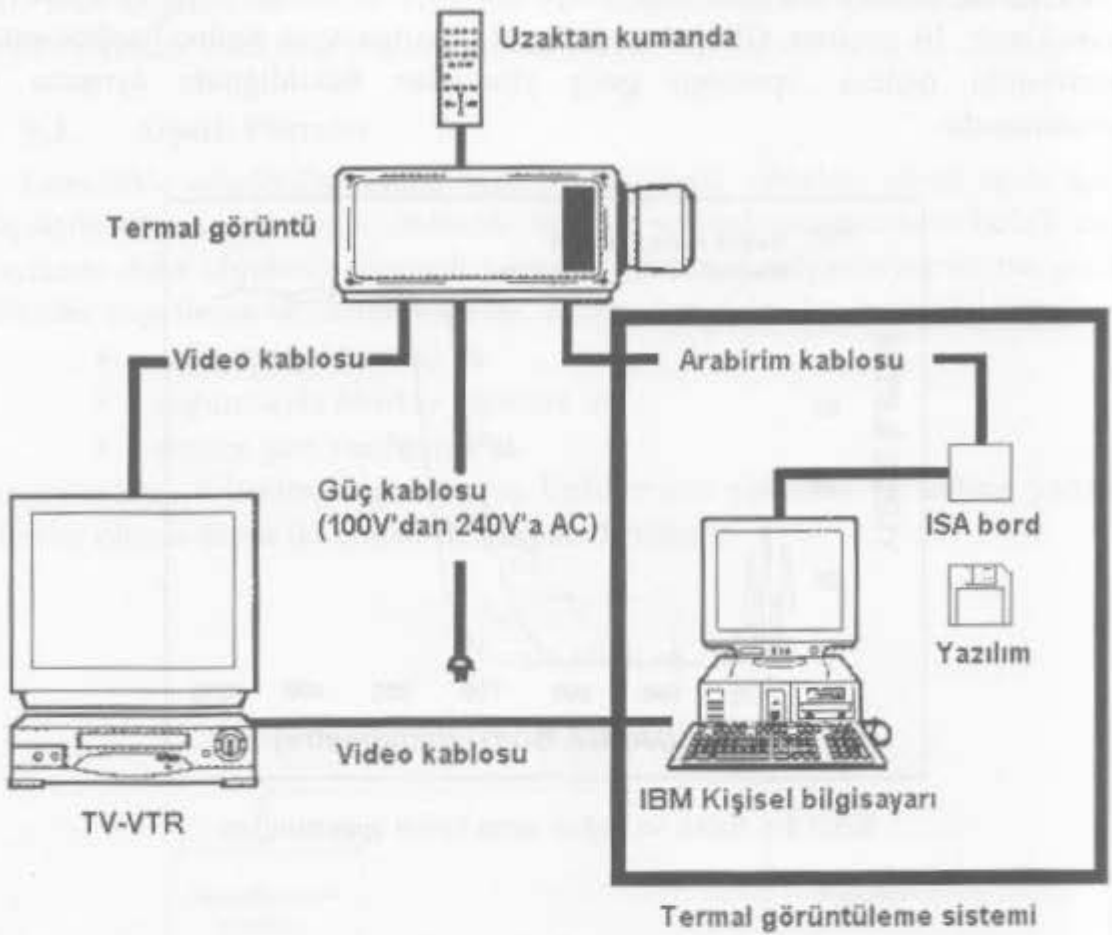
Şekil 9-6 Sıcak ve soğuk ayna iletim spektrumları



Şekil 9-7 Yansıtıcı filtre iletim spektrumu

#### 9.4. Termal Görüntüleme Sistemleri

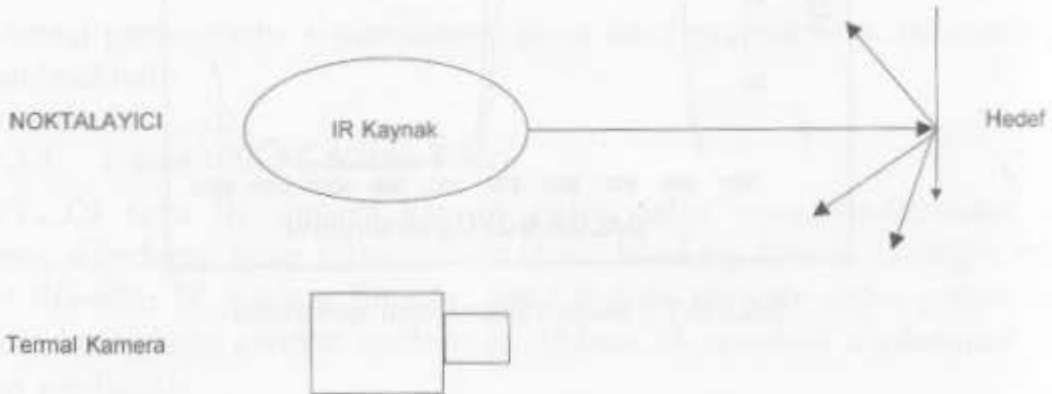
Bir termal görüntüleme sisteminin genel görünüşü şekil 9-8'de verilmiştir.



Şekil 9-8 Bir termal görüntüleme sistemi.

#### 9.4.1. Aktif Sistemler

Şekil 9-9'de gösterildiği gibi, hedef IR kaynağı ile aydınlatılır, hedeften yansıyan IR algılanarak görüntü oluşturulur.

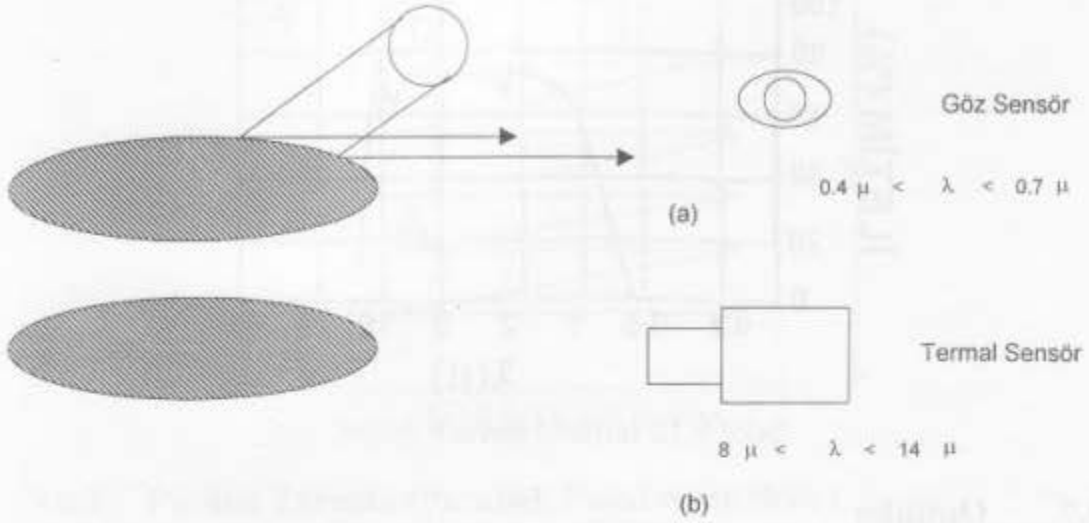


Şekil 9-9 Kaynağın hedefi aydınlatması ve termal kameranın algılaması

#### 9.4.2. Pasif Sistemler

Sadece, hedefin kendisinin yaydığı termal IR ışınımı algılayan bir görüntüleyici vardır.

GI ve termal IR ile görüntüleme türleri, karşılaştırmalı olarak aşağıda açıklanmıştır (Şekil 9-10):

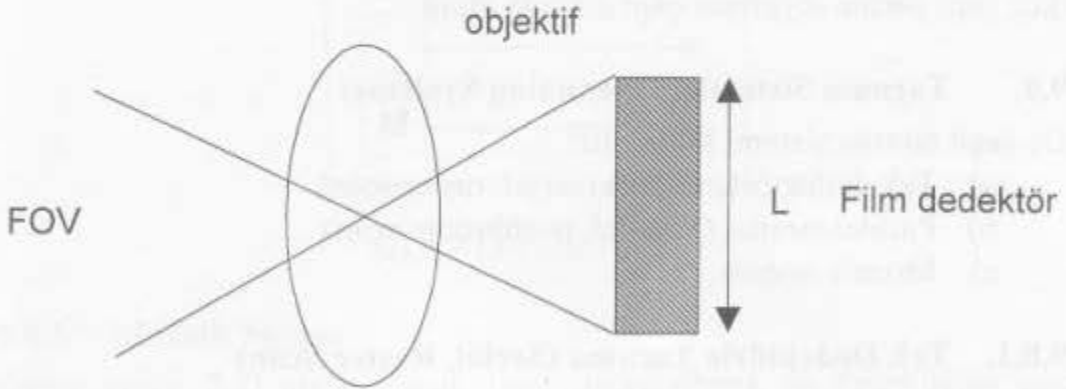


Şekil 9-10 (a) Görünür ışımının algılanması (b) IR ışımının algılanması

### 9.5. Termal Kameranın Görüş Açısı (FOV)

Bir termal görüntüleme sisteminin, optik algılayıcısının görüş açısını (field of view, FOV), objektif merceğin odak uzaklığı  $f$  ile görüntünün kayıt edildiği dedektör ortamının (film gibi) en geniş boyutu  $L$  belirler (Şekil 9-10). Görüş açısı FOV eşitliği:

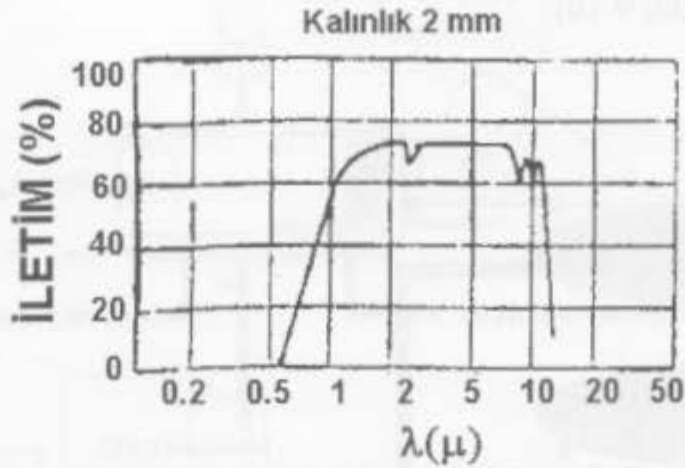
$$FOV = 2 \cdot \tan^{-1} (L/2f) \quad (9.5)$$



Şekil 9-11 Görüş açısı (FOV)

### 9.6. Infrared Mercek

Infrared (IR) ışımada da, aynı görünür ışıkta olduğu gibi, yansır, kırılır ve bir mercek ile odaklanabilir. IR merceğin geçirgenliğine bir örnek "As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> glass lens" için Şekil 9-12'de sunulmuştur. Bu mercek yaklaşık  $\lambda = 0,6 - 12,5 \mu$  arasında geçirgendir ( $Z_{opt} \cong \%55$ ).



Şekil 9-12 Infrared mercekle iletimi

### 9.7. Optikler

Olayın geçtiği yerden IR enerjii toplamak ve filtrelemek, bu işlemler bittikten sonra dedektörler üzerinde bir nokta üzerinde odaklamak.

Optik çeşitleri;

- Kırıcı (Mercekler)
- Yansıtıcı (Aynalar)
- Katadioptrik (Mercekler ve aynalar)

olarak sınıflandırılabilir.

Termal kamera sistemlerinde mikro kanal görüntü yoğunlaştırıcısı kullanılır.

Eğer mercekle önünde, objektif mercekle grubunun ortasında, çapı ayarlanabilen dairesel bir diyafram varsa, o zaman hesaplamalarda objektif merkez çapı yerine diyafram çapı dikkate alınır.

### 9.8. Tarama Sistemleri (Scanning Systems)

Üç çeşit tarama sistemi kullanılır:

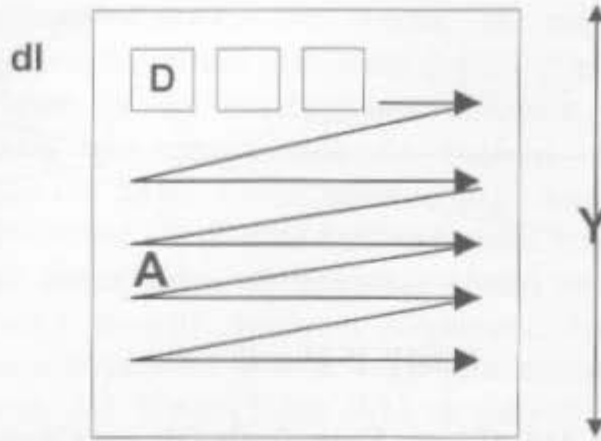
- a) Tek dedektörle tarama (serial, raster scan)
- b) Paralel tarama (parallel, pushbroom scan)
- c) Mozaik sistem

#### 9.8.1. Tek Dedektörle Tarama (Serial, Raster Scan)

Tek dedektörle yapılan tarama Şekil 9-13'de açıklanmıştır. Dedektör bir satır taradıktan sonra, bir sonraki satıra geçer. Dedektör görüntüyü  $n=Y/d$  çizgiden oluşturur. A alanının tümünün taranması süresine "frame time" denir. Dedektör alanı (d x d) bir "görüntü elemanı"ni oluşturur (piksel: picture element, picture cell).

Dedektör boyutu d, dolayısı ile alanı küçüldükçe sistemin "ayrıştırma gücü", çözünürlük artar. Tek dedektör kullanıldığından seri tarama sistemi daha ucuzdur.

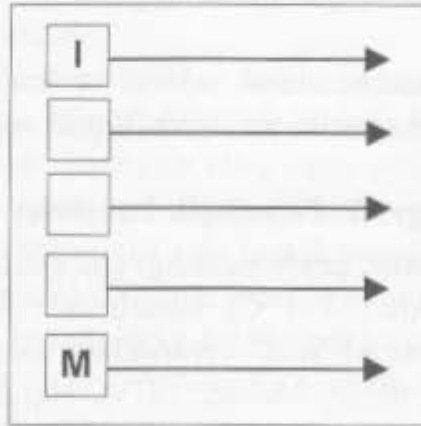
Ancak hareketli parçaları çok olduğundan mekanik olarak karmaşıktır.



Şekil 9-13 Seri tarama

### 9.8.2. Paralel Tarama (Parallel, Pushbroom Scan)

Paralel taramada, birden fazla dedektör kullanılır (Şekil 9-14). Dedektör sayısı  $n$ 'nin artması ile sinyal / gürültü oranı  $S/N$ 'da artar. Çünkü bu oran  $\sqrt{N}$  ile doğru orantılıdır. Birden fazla dedektör kullanımı fiyatını artırır ancak mekanik olarak daha az karmaşıktır.



Şekil 9-14 Paralel tarama

### 9.8.3. Mozaik Sistem

String array, 2-D array, focal plane array olarak da tanımlanan mozaik sistemde  $N \times N$  dedektör vardır. Ayrıca  $N=N'$  de olabilir. Mekanik, yani hareketli bileşeni yoktur. Ancak, dedektör sayısının artması sonucu elektronik kısım daha karmaşıktır. Buna karşılık, artan dedektör sayısı  $S/N$  oranını daha da artırır.

CCD teknolojisinin gelişmesi ile,  $3.07 \times 3.07$  cm boyutlarında  $2048 \times 2048$  dedektörlü mozaik sistem yapılabilmektedir. Burada bir dedektörün boyutları  $15 \times 15 \mu$  kadar küçük olabilmektedir (Şekil 9-15).