

CİSİMLERİ NASIL VE NE KADAR AYRINTILI GÖREBİLİRİZ? RESİM VE GÖRMEDE ÇÖZÜNÜRLÜK

Coşkun İŞÇİ*

ÖZET

Küçük cisimlerin ayrıntılı görülebilmesi için, cismin iki noktasından gelen ışınlar arasındaki açının, Rayleigh kriteri denilen formülde verilen θ_k açısından büyük olması gerekmektedir. Fotoğrafçılık ve biyolojik araştırmalarda önemli bir konu olan ayırma gücü, göz, fotoğraf makinası, mikroskop ve electron-mikroskopu için hesaplanmıştır. CD ve DVD lerin kayıt depolama kapasiteleri bu yönden değerlendirilmiştir.

1. GİRİŞ

Gözümüzün ve fotoğraf makinası gibi diğer optik cihazların birbirine çok yakın iki noktayı ayrı görmesi veya bitişik görmesi resim ve fotoğrafçılıkta çok önemlidir. Bir resim üstündeki noktalar ı ayrı ayrı görürsek resim veya fotoğraf bir bütünlük arz etmez ve noktalar kümesinden oluşur. Bir gazatedeki resme bir mercek bakarsak genelde noktalar yığını görürüz. Resimdeki noktalar arası uzaklık öyle ayarlanmıştır ki çıplak göz, bu noktaları bitişik görebilsin. Bu noktalar çok yakın olursa üst üste biner. Gerektiğinden fazla uzak olurlarsa resim net görünmez ve noktalar gurubu olarak görünür. Bu renkli veya siyah noktaların yanyana bitişik olması gerekmektedir.

Bir television veya bilgisayardaki resmin netliğide, resulasyon/ çözünürlük (resolution) ile ilgilidir. Ekranda, *pixel* denilen ve üzerine elektronlar düştüğü zaman farklı renkte ışık yayan çok küçük fosforlu plakalar vardır. Bunların sayısı ekrandaki resmin netliğini etkiler. Bu renk yayan plakacıklar bir mercek rahat görülür. Ayırma gücü (resulasyon) , küçük cisimlerin ayrıntılarını görme ,bunun tersi bir fiziksel olayla, açıklanmaktadır. Bir mikroskop altında mikropları inceleme de çözünürlükle ilgilidir. Mikroskobun yeterli büyütme yaparak, mikrobu veya bakterinin tanınacak kadar detaylı görünmesini sağlamak amaçlanır. Burda küçük canlının farklı noktalarından gelen ışınların

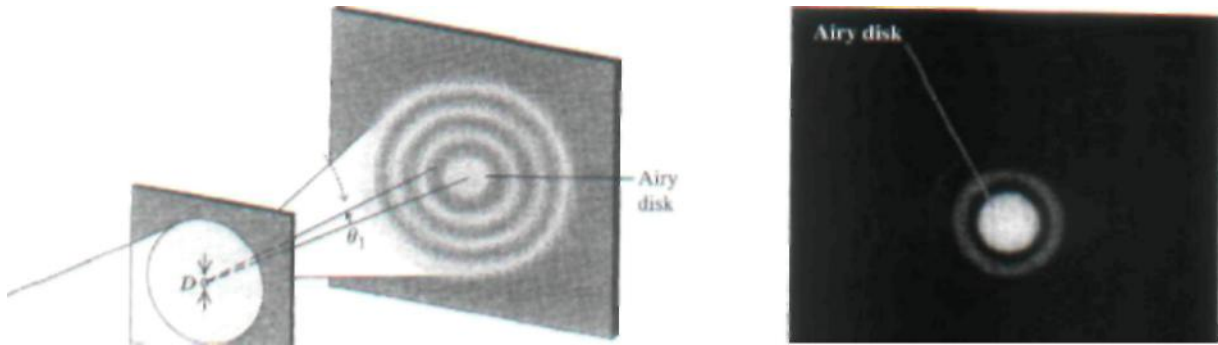
* Yaşar Üniversitesi, Fen – Edebiyat Fakültesi

biribirinden ayrılması şarttır. Yani bu noktalardan gelen resim parçasının üstüste binmemesi, ayrı görülmesi şarttır.

Gözümüzün ve herhangi bir cihazın ayırma gücü, küçük dairesel deliklerdeki kırınım (difraksiyon) ile açıklanmaktadır. Burada Rayleigh ayırma kriteri (*Rayleigh's Criterion*) devreye girer. Bu kriter gere, birbirine çok yakın iki noktanın ayrı görülebilmesi için, bu noktalardan gelen ışınlar arasındaki açının (θ) bir minimum kritik açıdan (θ_k) büyük olması gerekir.

2. DAİRESEL DELİKTEN OLUŞAN KIRINIM VE RAYLEIGH KRITERİ

Dairesel küçük bir delikten geçen ışık dalgaları kırınımına uğrar ve ekranda (gözün retinasında veya fotoğraf filmi üzerinde) aydınlık ve karanlık halkalar oluşur. Bunlara kırınım saçakları (diffraction fringes) denir. Merkezde parlak bir dairesel bölge bulunur. Bunun çevresinde 1. karanlık halka vardır. Sonra tekrar aydınlık ve karanlık halkalar oluşur. İlk parlak-aydınlık diske **Airy disk** denir. Işık enerjisinin %85 i buraya düşer. Bu Şekil.1. de gösterilmiştir.



Şekil.1. Dairesel delikte oluşan kırınım halkaları (Fringes, Young & Freedman,2008)

Birinci karanlık halkanın açısal yarıçapı;

$\sin \theta_k = 1.22 \left(\lambda / D \right)$ ile verilir. Burada D dairesel deliğin yarıçapı, λ gelen ışığın dalgaboyudur. Bu bağıntıya **Rayleigh Kriteri** denir ve çözünürlük (resülasyon) için limit koşuludur. Birinci aydınlık halkaya düşen ışık miktarı % 1.7, ikinci aydınlık halka için % 0.4 tür. Yani etkili olan Airy diskidir.

Aydınlık halkaların açısal yarıçapları;

$$\sin \theta = 1.63 (\lambda / D) \quad , \quad \sin \theta = 2.68 (\lambda / D), \quad \dots\dots$$

Karanlık halkaların açısal yarıçapları;

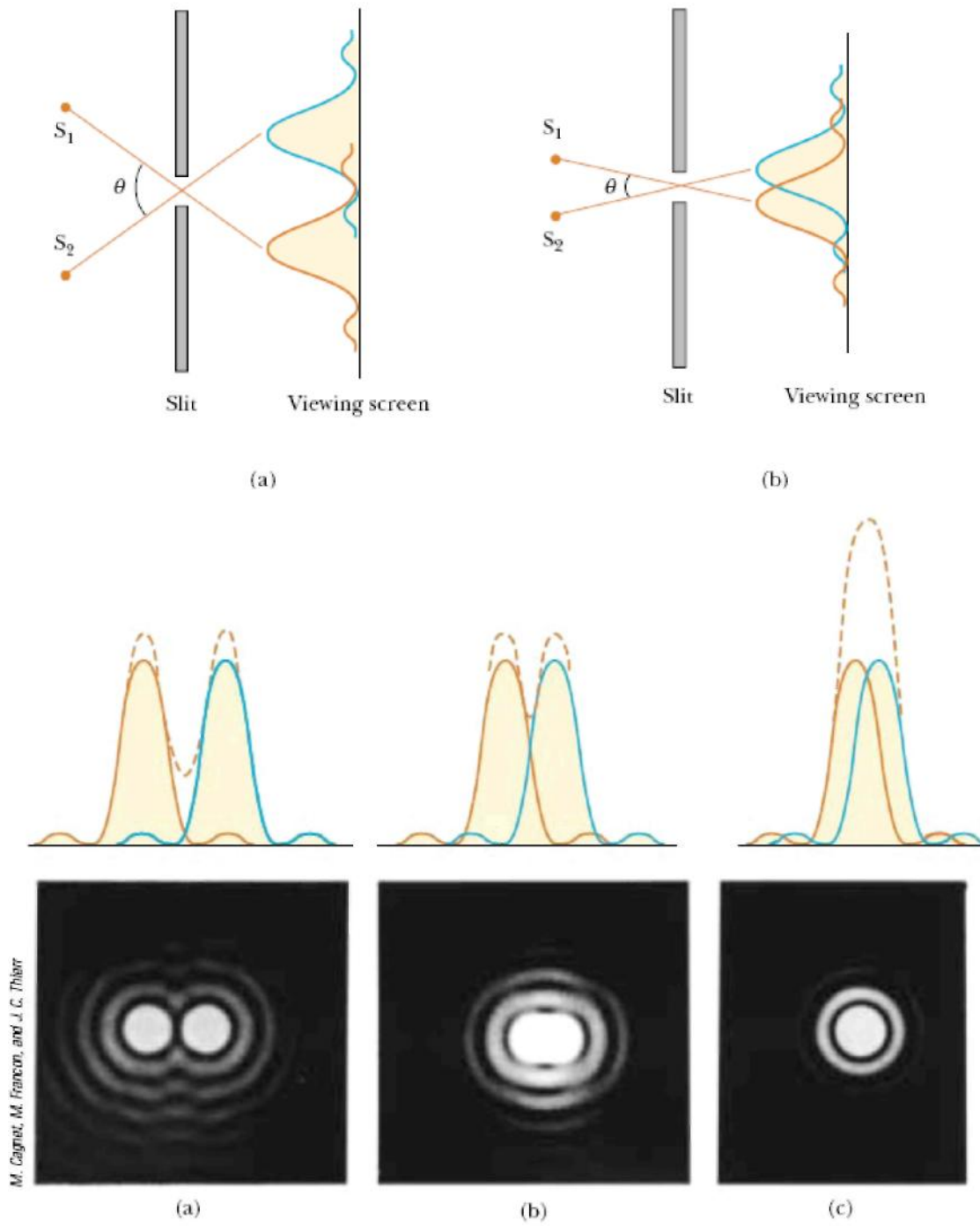
$$\sin \theta = 2.23 (\lambda / D) \quad , \quad \sin \theta = 3.24 (\lambda / D), \quad \dots\dots$$

Cisimlerin görünmesini sağlayan onlardan gelen veya yansıyıp gelen ışınlardır.

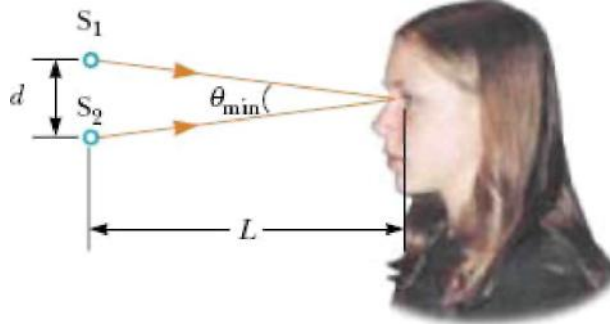
İki yakın noktadan gelen ışınların dairesel delikten veya yarıktan geçtikten sonraki görüntüleri aşağıdaki Şekil.2. de vermiştir. S1 ve S2 kaynakları veya noktasal cisimleri birbirine çok yakınsa, ekranda , görüntü ile ilgili parlak bölgeler üste üste gelmeye başlar. Işınlar arasındaki açı, θ , θ_k değerinden büyük olmalıdır. İkinci noktadan gelen görüntü, birinci cismin oluşturduğu kırınım desenindeki 1. minimum (karanlık) halkanın dışında olursa bu 2 cisim ayrı ayrı görülür. Aksi durumda bu iki nokta ayırt edilemez.

Gözümüzün veya bir mikroskopun ayırma gücü bu prensibe dayanır. Işığın dalga boyu λ ve ilgili cihazın delğinin açıklık çapı D (Aperture) formülde bulunmaktadır. (Şekil.3.)

λ küçüldüğünde θ_k da küçülür. $\theta > \theta_k$ şartı daha küçük θ lar (birbirine daha yakın iki noktasal cisimler) için sağlanır. Yani daha küçük ayrıntıları görme ve ayırma şansımız olmaktadır. D nin büyütülmesi de bu durumu sağlar. Yalnız bu durum kırınımına uğrayan ışığın şiddetinin azalmasına ve görüntünün netliğinin ve kontrastının bozulmasına neden olur. Bir çok fotoğrafçı, mümkün olan en küçük aperture (D) ile net resim çekmeyi amaçlar. Geniş aperture larda resim bulanıklaşır. Gözümüzde ve mikroskopta aynı optik olaylar geçerlidir.



Şekil.2. İki yakın noktanın bir dairesel delikten sonra kırınım deseni (Serway & Jewet, 2004),



Şekil.3. İnsan gözünün iki noktayı ayrı ayrı görmesi (Serway & Jewet, 2004)

Resim ve fotoğrafçılıkta, resim üzerindeki noktalar veya pixeller, birbirinden çok fazla uzakta olmamalıdır. Aksi durumda resim, yukarıda sözü edildiği gibi, noktalar kümesi gibi görünecektir. Gözün ayırma gücü limitlerinin çok az altında olmalıdır. Bu konuda örnek verilecektir.

3. RAYLEIGH ÇÖZÜNÜRLÜK KRİTERİNİN BAZI UYGULAMALARI

3.1. Fotoğrafçılık

Odak uzaklığı $f = 50$ mm olan bir fotoğraf makinası ile 5 m uzakdaki bir cismin görüntüsünü $f/2$ f-sayısı ile çeken bir fotoğrafçı, objenin detaylarını göstermek istemektedir. Resimde net çıkabilecek, obje üzerindeki en yakın iki nokta arası uzaklığını hesaplayalım.

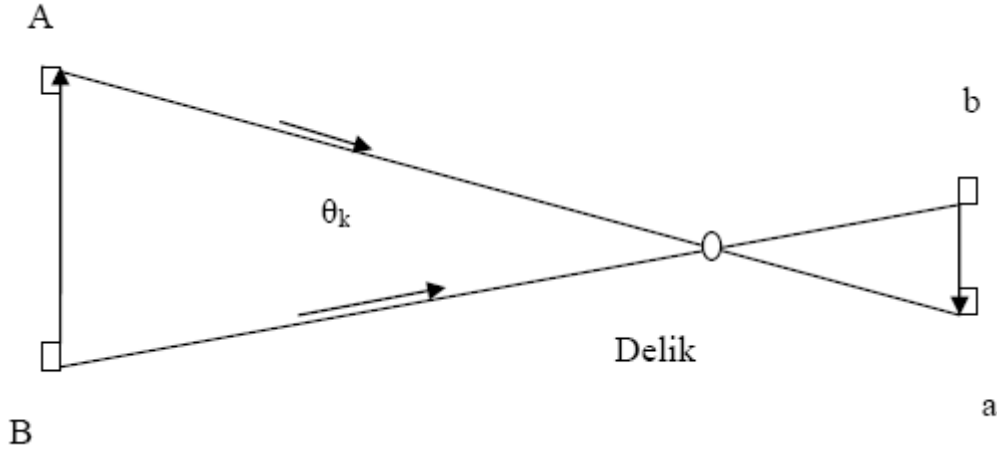
f-sayısı $= f / D$, D aperture çapı.

$$D = f / \text{f-sayısı} = 50 / 2 = 25 \text{ mm} = 25 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Güneş ışığının ortalama dalga boyu $= 500 \text{ nm} = 5000 \text{ \AA} = 500 \times 10^{-9} \text{ m}$

$$\sin \theta_k = 1.22 (\lambda / D) = 1.22 (500 \times 10^{-9} / 25 \times 10^{-3}) = 2.4 \times 10^{-5}$$

θ_k çok küçük olduğu için , $\sin \theta_k = \theta_k = 2.4 \times 10^{-5}$ radian



Şekil. 4. Bir fotoğraf makinasındaki görüntü

A ve B cisim üzerindeki iki nokta a ve b de film üzerindeki görüntüde iki noktadır. Cismin uzaklığı 5 m , odak uzaklığı 50 mm idi.

$$Y = AB = 5000 \text{ mm} \times \theta_k = 5000 \times 2.4 \times 10^{-5} = 0.12 \text{ mm (cisim üzerinde ayırma limiti)}$$

$$Y' = ab = 50 \text{ mm} \times \theta_k = 50 \times 2.4 \times 10^{-5} = 0.0012 \text{ mm (görüntü üzerinde ayırma limiti)}$$

3.2. Göz

Göz bebeğinin ortalama çapı 2mm, ışığın dalga boyu 500 A = 500 nm olsun. Normal bir göz 25 cm den net görür.

$$\sin \theta_k = 1.22 (\lambda / D) = 1.22 (500 \times 10^{-9} / 2 \times 10^{-3}) = 3 \times 10^{-4} = \theta_k$$

Şekil.3 teki d yi hesaplayalım;

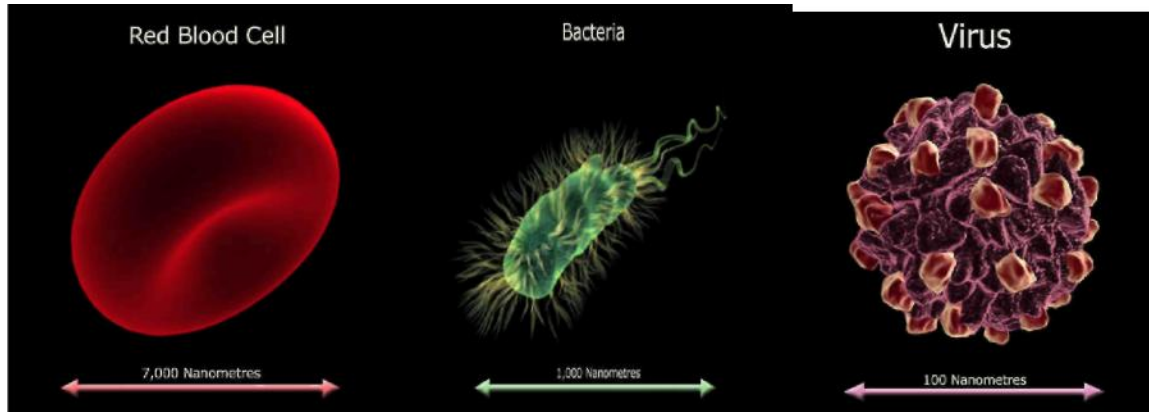
$$d = 25 \text{ cm} \times \theta_k = 250 \text{ mm} \times 3 \times 10^{-4} = 0.075 \text{ mm}$$

Bu yaklaşık bir saç kılının kalınlığıdır. Yani bir insanın bir resim üzerinde ayırabileceği en yakın iki nokta arası bundan (yaklaşık 0.08 mm) büyük olursa bu iki noktayı ayrı ayrı görür. Aksi durumda bitişik görür. İki nokta arasındaki uzaklık bundan çok daha az ise görüntüler üst üste biner.

3.3. Büyüteç ve Mikroskop

Büyüteçte cisim üzerindeki iki nokta arası büyütülerek açılır. Bu uzaklık 0.08 mm den daha büyük yapılır. Büyütecin büyütmesi 4 ise görme limiti $0.08 \text{ mm} / 4 = 0.02 \text{ mm}$ ye iner.

Klasik bir okul mikroskopunda büyütme 40 kez olabilir. Çok iyi bir laboratuar mikroskopunun Büyütmesi 400-500 olabilir. Bu durumda görme limiti $0.08 \text{ mm} / 400 = 0.0002 \text{ mm}$ ye iner. $1 \text{ mm} = 1000,000 \text{ nm}$ dir. Görme limiti yaklaşık $2 \times 10^{-4} \times 10^6 = 200 \text{ nm}$ olur. İyi bir mikroskopla alyuvarlar ve bakteriler incelenebilir. Virüslerin incelenebilmesi için çok daha kaliteli ve büyütmesi fazla olan mikroskoplar gereklidir. Elektron mikroskobu en idealidir.



Şekil.5. Bazı küçük cisimler ; Alyuvar (7000 nm), Bakteri (1000nm), Virüs (100nm)

Çizelge.1. Bazı küçük cisimlerin büyüklükleri

Cisim / dalga	Büyüklük (nm, nanometre)	Büyüklük (mikrometre, μm)	Büyüklük (mm)
Pire	1,500,000	1500	1.5
Toz Mite	200,000	200	0.2
Saç kılı-çap	50,000	50	0.05
Alyuvarlar	7000	7	0.007
Mikrop,Bakteri	1000	1	0.001
Virüs	100	0.1	0.0001
DNA	2	0.002	0.000002
Görünür ışık, λ	400-800	0.4-0.8	0.0004-0.0008
Elektron, 100keV, λ	0.004	4×10^{-6}	4×10^{-9}

$$1 \text{ mm} = 10^{-3} \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ nm} = 10^{-7} \text{ \AA}$$

$$1 \text{ \AA} (\text{Angstrom}) = 10^{-1} \text{ nm} = 10^{-4} \mu\text{m} = 10^{-7} \text{ mm} = 10^{-10} \text{ m}$$

3.4. Elektron Mikroskobu

Ayırma gücü ifadesinde dalga boyunun önemi verilmişti. Işığın veya dalganın dalga boyu ne kadar küçükse θ_k o kadar küçük olur ve biri birine çok yakın iki noktayı ayırmak mümkündür. Elektron mikroskobunda, ışık yerine elektronlara eşlik eden elektron dalgalar kullanılır. Bir elektronun enerjisi ne kadar büyükse dalga boyu o kadar küçüktür. Bunu de

Broglie ifadesinden görebiliriz.

$\lambda = h / (mv)$ de Broglie bağıntısı.

Burada h Planck sabiti, m elektronun kütlesi v de hızıdır.

$$h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ (SI birimlerde)}$$

$$m = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$K = (1/2) mv^2, \text{ elektronun kinetik enerjisi}$$

$$2Km = (mv)^2$$

$$\lambda = h / \sqrt{2Km}$$

100 keV (kiloelektronvolt) enerjiye sahip bir elektrona eşlik eden dalganın dalga boyunu hesaplayalım;

$$K = 100 \text{ keV} = 100 \times 1000 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ jul}, \quad m = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\lambda = h / \sqrt{2Km} = 6.62 \times 10^{-34} / \sqrt{2 \times 100 \times 1000 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 9 \times 10^{-31}} = 4 \times 10^{-12} \text{ m} = 0.004 \text{ nm} = 0.04 \text{ Ao}$$

Bu dalgaboyu, yaklaşık olarak görünür ışığın dalga boyundan 100,000 kez küçüktür. Yani θ_k kritik açısı normal ışığınkinden 100,000 kez küçüktür. Bu nedenle elektron mikroskobunun ayırma gücü (büyütmesi) ,klasik bir mikroskobunkinden yüzbin kez daha fazladır. Büyütme katsayısı 4-5 milyon olabilir.

Klasik iyi bir mikroskopla, alyuvarları ve mikropları inceleme mümkünken, virüs, DNA, moleküller, atomları incelemek için elektron mikroskopları kullanılır.

3.5. CD ve DVD farkı

Kompakt Disk (CD) ve Digital Video Disk (DVD) lerin depolama kapasiteleri, ayırma gücü ile açıklanmaktadır. CD lerde infrared (kırmızı ötesi) laser diyotlar yakma (yazma) ve okuma için kullanılmaktadır. Bunun ışığının dalga boyu 780 nm dir. DVD lerde kırmızı laser diyod kullanılır vr dalga boyu daha kısa 650 nm dir. Bu şekilde disk üzerinde daha sık çizgiler oluşturulur. CD nin kapasitesi 700 megabayt iken DVD ler 4700 megabayt (4.7 GB) tır. Son yıllarda 405 nm dalga boylu mor laser diyotlar kullanılarak DVD kapasitesi 15-20 GB ta çıkarılmıştır. Bu normal CD kapasitesinin yaklaşık 25 katıdır. Küçük dalga boylu laser ışığı ile ayırma gücü arttırılmıştır.

4. SONUÇLAR

Fotoğrafçılıkta, baskı yapılırken, noktalar arası uzaklık, gözün ayırma gücünün hemen altında olmalıdır. Buda normal bir göz için yaklaşık 0.08 mm dir. Küçük cisimler gözlenirken, ilgili optik cihazın ayırma gücü, cismin büyüklüğünün çok altında olmalıdır ki cismin (örneğin bir mikrobun) ne olduğu anlaşılabilsin. Aperture büyütmenin görüntü kalitesini bozması nedeni ile dalga boyu küçültülmelidir. Bu nedenle, virüs ve DNA araştırmalarında dalga boyu görünür ışığın dala boyundan 100,000 kez küçük olan elektron dalgaları kullanılır. Bu şekilde büyütme 4-5 milyon kat arttırılabilir. Daha kısa dalga boylu laser diyotlar kullanılarak DVD kapasiteleri yükseltilmiştir.

KAYNAKLAR

1. “Physics for Scientists and Engineers”, Raymond A. Serway & John. W. Jewet, Jr, Publisher: Thomson/Brooks, London, 6th Edition (2004), ISBN : 0-534-42398-1
2. “University Physics” H.D. Young & R.A. Freedman, Pearson International Edition, Addison-Wesley, Newyork, Toronto, 2008) ISBN: 0-321-50028-1.
3. www.en.wikipedia.org/wiki/Spatial_resolution
4. webphysics.davidson.edu/mjb/SESAPS2000/rayleigh3.html