

# GÖZÜN ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ ÜZERİNE

## KAÇ PİKSEL

# GÖRÜYÖRÜZ?

Görüntüleme ve görüntü işleme, son yıllarda en çok gelişme gösteren alanlar. Özellikle görüntüleme araçlarındaki hızlı değişimler, bu araçlarla elde edilen görüntülerin işlenebildiği yazılımlardaki olağanüstü gelişmeler, sanki bazı kavramların da zamanla değişeceğine işaret ediyor. Giderek, özellikle de gelişmelerin etkisiyle daha önce sorulmamış ya da yanıtı henüz kesinlik kazanmamış sorularla karşılaşır oluyoruz. Özellikle görüntü yakalamanın artık cep telefonlarıyla bile yapılabilir hale gelmesi, bu türdeki hemen her aracın tanıtımında “XX megapiksel çözünürlük”ten söz edilmesi, yaşamı, neredeyse çözünürlük kavramına bağlamış görünüyor. “İnsan gözünün çözünürlüğü nedir; insan gözü kaç piksel görür” gibi sorular, günümüzün en popüler soruları...

Sayısal fotoğraf makineleri yalnızca fotoğraf teknolojisini değiştirmekle kalmadı. Bu teknolojiyi kullanan insanları, yepyeni bir terminoloji ve kavramlar yumağıyla da karşılaştırdı. Bazılarınıysa günlük yaşamın bir parçası kıldı. Çözünürlük de bu kavramlardan biri. Aslında çözünürlük, geleneksel fotoğrafın da önemli konuları arasında yer alır. Ünlü Amerikalı fotoğrafçı Ansel Adams da, 1958'de yaptığı “Ben Bir Fotoğrafçıyım” adlı konuşmasında, o dönemdeki fotoğraf terminolojisini açıklama girişiminde bulunmuş: “...Çizgi ayırma gücü (çözünürlük), objektifin ve aynı zamanda negatif

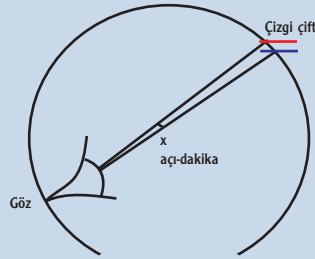
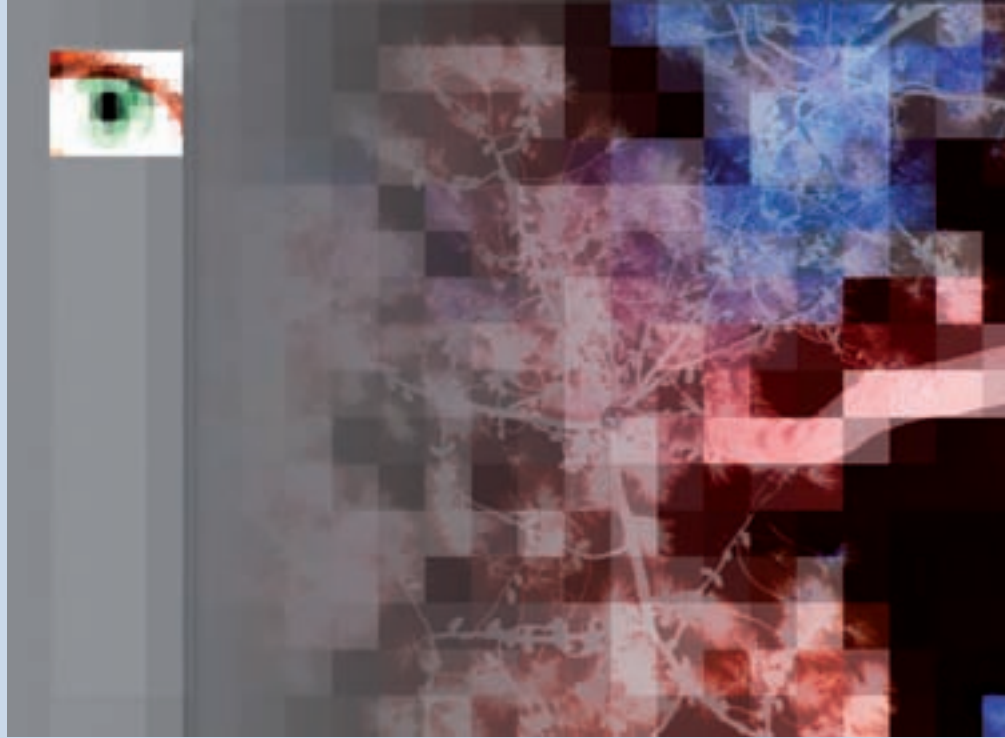
malzemenin niteliğini gösterir. Bir objektif çok yüksek çözünürlük verebilir -ki, bu 1 mm'deki x sayıda çizginin kesin olarak ayrılması demektir... Keskinlik, görüntüdeki mikro yoğunluk farklılıklarına ilişkin, çok önemli bir özelliktir ve en basit anlatımıyla keskinlik, kesin ton farklılaşmalarını gösterir... Çok yüksek çözünürlüğe sahip bir görüntünün keskinliği düşükse, bu bize netliğin olmadığı izlenimini verirken, çözünürlüğü düşük ve keskinliği yüksek bir görüntü de, netliğin iyi olduğu izlenimini verir...” Adams'ın konuşmasından da anlaşılacağı gibi, çözünürlük, keskinlik kavramları, fo-

toğrafçılıkta kullanılan objektiflerin optik özelliklerine, film ve kartların yapısına bağlı olarak değişiyor. Elbette film ve kart banyo süreçleri de belirleyici oluyor. Sayısal teknoloji gelişip, çevremizi sarmaladığında da bu kavramlar, hâlâ fotoğrafın içinde. Ancak günümüzde çözünürlük konusu, geçmişte olduğu gibi ileri bir konu olmaktan çıkıp, alınacak fotoğraf araç-gereçlerinin en belirgin özelliği haline dönüştü. Hatta bir rekabet ölçüsü oldu. Tüm bu gelişmelerden sonra, insan gözünün çözünürlüğü hakkındaki sorular da doğal olarak kendiliğinden geldi.

## İnsan Gözünün Çözünürlüğü

İnsan gözünün tek karelik bir basçek fotoğraf makinesi olmadığını söylemek, kimseyi şaşırtmaz. Gözün işleyişi, az çok bir video görüntüsündeki akışa benzetilebilir. Göz, küçük açılarda çabucak hareket eder ve görüntüyü sürekli güncelleyerek, detayları beyne kaydeder. Gözlerimiz ve beynimiz çözünürlüğü artırmak için birlikte çalışırlar. Gözden gelen sinyalleri beyin düzenler. Bir manzaraya ilişkin daha çok bilgi biriktirmek için, bakmakta olduğumuz manzaranın çevresinde gözlerimizi farklı yönlerde hareket ettiririz. Göz ve beynin işbirliği sayesinde, bakılan görüntü, retinadaki çok sayıda ışık algılayıcısıyla algılanabilir. Bu yüzden de göz ve beynin işbirliği sonucunda, görüntünün daha yüksek çözünürlükte oluşması sağlanır. Bir nesne ve onun görüntüsünün çok fazla sayıda ışık noktalarının bir araya getirilmesiyle oluştuğu düşünülebilir. Son zamanlarda, bu ışık noktalarına “piksel” deniyor. Böylece bir görüntüde megapikselle ifade edilen değerler, insan gözünün ne görebileceğini göstermekte kullanılır.

İnsan gözünün ya da insanda göz ve beynin işbirliğinden doğan düzenlemelerin çözünürlüğüne ilişkin yazılmış birçok “farklı sayı” var. Bu farklılığın nedenini şöyle açıklayabiliriz.  $1/a$  olarak tanımlanan görsel keskinlikte, “a”nın yanıtı “x/açı-dakika”dır. Geometri, haritacılık ve astronomi gibi alanlarda küçük açıların ölçümünde kullanılan bir birim olan açı-dakika, bir derecenin altmışta biridir, başka bir deyişle  $1 \text{ açı-dakika} = 1/60 \text{ derecedir}$ . Yeniden konumuza dönelim: Farklı araştırmacılar “x”in tanımında bazen bir çizgi, bazen bir çizgi çifti ve ya da bir tam dalga deseni kullanmışlar. Böylece, görsel keskinlik ve çözünürlük için birbirinden farklı değerler açıklamışlar. Ancak yapılan çalışmalarda, x’in nasıl tanımlandığı belirtilmişse, keskinliği yeniden hesaplamak zor değil. Kabaca söylemek gerekirse, insan gözü iki çizgiyi en az x açı-dakikada ayırt edebiliyorsa, o açı-dakikada iki algılayıcı bulunur. Bu da her açı-dakikada var olan piksel sayısını gösterir.



Şekil 1: İnsan gözünün iki çizgiyi ayırt ettiği açı-dakika değerinde, iki algılayıcı bulunur.

Tıpkı modern optiğin yaptığı gibi, x, bir çizgi çifti olarak tanımlanırsa, iyi ışık koşulları altında görsel keskinlik 1,7’dir. 1,7’lik bir keskinlik, çizgi çifti başına 0,59 açı-dakikaya karşılık gelir, yani 0,59 açı-dakikada bir çift çizgi bu-

lunur. Çizgi çiftlerini oluşturan her bir çizginin kalınlığı için de en az bir piksel gerekir. Böylece çizgilerden herbiri 0,3 açı-dakikalık boşluklara yerleşir. Başka bir deyişle 0,59 açı-dakikalık bir alana iki piksel yerleşir.

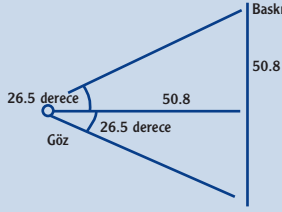
## Kaç Piksel Görüyoruz?

Gözün çözünürlüğünü hesaplamak için şu formülü kullanabiliriz. [Yatay görüş açısı \* 60 / 0,3 = Yataydaki toplam piksel sayısı] \* [Düşey görüş açısı \* 60 / 0,3 = Düşeydeki toplam piksel sayısı] = Gözün gördüğü piksel sayısı. Şimdi bir örnek yapalım. Gözden 50,8 cm uzakta duran, 33,8 x 50,8 cm boyutlarında bir fotoğraf baskısını, şekil 2’deki gibi göz önünde bulundurun. Böyle bir baskının yatay görüş açısı 35°, düşey görüş açısıysa 53° olur. Formülümüzü uyguladığımızda, bu baskının, insan gözünün görsel keskinliğinin sınırlarında, belirgin bir görünübilirliğe sahip olması için, yatayda 7000, düşeyde 10.600 olmak üzere toplam 74 megapixel (milyon piksel) olmasını gerektirir.

50,8 cm (20 inç) üzerindeki 10.600 piksel, inç başına 530 piksele karşılık gelir ki, bu gerçekten çok keskin bir görüntüdür. Bu görünüşü test etmek için,







Şekil 2: Gözden 50,8 cm uzakta duran, 33,8 x 50,8 cm boyutlarında bir fotoğraf baskısının yatay görüş açısı 35°, dikey görüş açısıysa 53° olur.

görme bozukluğu testlerinin uygulandığı, en çok 50 yaşında olan bazı kişilere 150, 300, ve 600 ppi (pixel per inch= inç başına piksel sayısı) olan baskılar gösterilmiş ve bunları çözünürlük bakımından sıralamaları istenmiş. Bu görüntülere bakanların hepsi, bozuk gözlü olmalarına karşın, sıralamayı en yüksek ppi'dan en küçüğüne doğru yapmayı başarmışlar. Bu test, insan gözünün aslında daha yüksek bir çözünürlüğe sahip olduğunu gösteriyor. Öte yandan bu test, insan gözünün çözünürlüğünden daha yüksek çözünürlüğe sahip fotoğraflar için geçerli olmaz.

Gözün farklı açılarda hareket ederek ve görüntüyü sürekli güncelleyerek beyne kaydettiğini söylemiştik. Buradan, gözün bu hareketlerinden her birinde ve çok kısa bir zaman diliminde gördüğü tek bir görüntünün çözünürlüğünün ne olabileceğine bakalım. Başka bir deyişle, “ne kadar piksel bir



araya gelirse, gözün sahip olduklarına eşdeğer bir çözünürlük elde edilebilir” sorusunun yanıtını bulmaya çalışalım. İnsan gözünün çözünürlüğü için, 0,3 açıdakika temel verisine dayanarak, “küçük” bir örnek üzerinde duralım. Önünüzde yatayda ve düşeyde 90 dereceden 90 dereceye yayılan bir man-

zaraya baktığınızı düşünün. Açık bir pencereden bakarak, bakış açısını bu derecelerle kısıtlayabilirsiniz, yani açık bir pencereden dışarıya baktığımızda gördüğümüz bir manzara gibi de düşünebilirsiniz. Bu manzaranın çözünürlüğü 324.000.000 piksel ya da 324 megapiksel olur. Herhangi bir anda, gerçekten bu kadar çok pikseli algılayamayız. Ancak gözler, istenen bütün ayrıntıları görmek için, manzaranın ya da görünüşün çevresinde hareket eder. Ama insan gözü, görünüşün, gerçekten 180 dereceye yakın bir alanını, yani çok büyük bir alanını görebilir. 120 derece'lik bir görüş açısıyla baktığımızı düşünürsek, görünüşü 576 megapiksel olarak görürüz. İnsan görüşünün maksimum açısı, çok daha fazla sayıda megapikselleri gerektirir. Bu tür bir görüntünün detaylarını görebilmekse, büyük format bir makine kaydını gerektirir. İnsan gözünün, çok hızlı açı değiştirebildiğini de unutmamak gerekir.

Bu yazının hazırlanmasında yaptıkları katkılardan ötürü, Çankaya Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Reza HASSANPOUR'a ve Elektronik Mühendisi Tanju Akdeniz'e teşekkür ederiz.

Serpil Yıldız

## Optik Çözünürlüğün Temel Sınırları

Optik çözünürlüğün sınırları nesneyi aydınlatmakta kullanılan ışığın dalgaboyuyla belirlenir. Bir ışığın dalgaboyundan daha küçük nesnelere ya da ayrıntıları göremeyiz. İnsan görüşü, ışığın kırmızı dalgaboylarındaki 720 nanometreden mavi-mor dalgaboylarındaki 400 nanometreye kadar olan bir aralıkta gerçekleşir. Bilim insanları gökkuşağının bütün renklerini kapsayan beyaz ışık için bir ortalama değer olarak 560 nanometreyi kullanırlar. İnsan gözü de dahil olmak üzere bir optik sistemin çözünürlüğünü, tam olarak ayırdedebildiğimiz ışığın iki noktası arasındaki açılardan yararlanarak ölçümler yapabiliriz. Ayırdetmenin gerçekleştiği “çözme açısı”ndan daha küçük açılarda, ışık noktası daha büyük ya da daha parlak bir nokta şeklinde görünür. Bilim insanları bu ışık noktalarına nokta kaynaklar adını verirler ve bunlar milyonlarca km uzaklıktaki çift yıldızlar ya da laboratuvarlarda insan eliyle yapılmış nokta kaynaklar olabilirler.

Küçük bir nesne bir insan gözüne doğru yaklaştırıldığında, nesne ayrıntılarıyla birlikte daha büyük görünür; çünkü bu nesne gözün retinasındaki ışık algılayıcılarının çoğunu doldurur. İnsan gözü, nesneye, odak noktasının dışına çıkmadan önce olabilecek en yakın durumda görüldüğünde, maksimum çözünürlüğe sahip olur. Bu noktaya

“yakın nokta” ya da “en belirgin görüş noktası” denir. Göz bozukluğu olmayan tipik bir insanda, belirgin görüş noktasının gözden uzaklığı yaklaşık 25 cm'dir. Gözün bu noktadaki açıl çözünürlüğü ise yaklaşık 1/60 derecedir. 1/60 derecenin ne kadar dar bir açı olduğunu gözünüzde canlandırabilmek için, ince bir saç telinin gözünüzden 25 cm uzaklıkta sahip olduğu görüş açısına eşit olduğunu belirtelim. (Bu, iki saç teli en belirgin görüş noktasına aralarında bir saç teli boşluk bırakılarak yerleştirildiğindeki ayırdedebilirliğine eşdeğerdir.) Çoğu ince saç telinin ortalama 73 mikrometre kalınlığında olduğunu düşünürsek, bu kalınlık, görünür bölgedeki ışığın dalga boyu ortalamasının yaklaşık 130 katıdır, ya da “bozuk olmayan bir insan gözü, çözünürlüğün temel optik sınırlarından 130 kez daha az bir açıl çözünürlüğe sahiptir” diyebiliriz. Bu nedenle en iyi olduğunda bile insan görüşü, çözünürlüğün temel optik sınırlarından 130 kez daha az bir açıl çözünürlüğe sahiptir. Yine bu nedenle, gözün yakın noktasından daha kısa ya da daha uzun mesafelerde bulunan nesnelere daha çok ayrıntıyı görebilmek ve yakın noktadaki görüntüleri çözme yeteneğimizi geliştirebilmek için teleskop ve mikroskopları kullanırız.

Kaynaklar  
<http://darkvision.com/imagetdetail/eye-resolution.html>  
<http://www.newton.dep.anl.gov/askasci/comp99/CS041.htm>  
<http://www.tiscall.co.uk/reference/encyclopaedia/hutchinson/m0010255.html>  
[www.fotografya.gen.tr/issue-7/ansel.html](http://www.fotografya.gen.tr/issue-7/ansel.html)