

Pamukkale Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

EEM 740 Sayısal Görüntü İşleme

Yrd. Doç. Dr. Aydın Kızılkaya
Müh. Fak. Binası 4.Kat Oda No. 429
e-mail: akizilkaya@pau.edu.tr,
web: <http://akizilkaya.pamukkale.edu.tr>

2007-2008 Bahar Yarı Yılı

Sayısal Görüntü İşlemenin temelleri

1.1.Giriş

Görüntü, görme ve görünüm ile ilgili bir kavramdır. Nesnelerin, yüzeylerine çarpan veya içlerinden geçen ışınları yansıtma yoluyla algılanmalarına **görme**; söz konusu nesnelerin bu yoldan algılanabilen içeriğine **görünüm**; görünümün herhangi bir biçimde sağlanmış iki-boyutlu (2-B) çizgesi ise **görüntü** olarak adlandırılır. Görüntü, üç-boyutlu (3-B) görünümün iki boyut üzerindeki haritası olarak da tanımlanabilir.

Yukarıda verilen tanımlamalar ışığında, bir nesnenin x, y, z koordinatlarındaki bir noktasının herhangi bir t anındaki görünümünü temsil eden matematiksel ifade en genel anlamda

$$f(x, y, z, t, \lambda) = i(x, y, z, t, \lambda)r(x, y, z, t, \lambda) \quad (1.1)$$

biçiminde verilebilir. Burada,

$i(x, y, z, t, \lambda) \rightarrow$ Aydınlatma (illumination) fonksiyonu olup, bir nesnenin x, y, z uzaysal koordinatlarında herhangi bir noktasına herhangi bir t anında gelen λ dalga boyuna sahip ışığı temsil eder.

$r(x, y, z, t, \lambda) \rightarrow$ Yansıtma (reflectance) fonksiyonunu temsil eder.

$f(x, y, z, t, \lambda) \rightarrow$ Görüntü fonksiyonu olup ışık yoğunluğu fonksiyonu olarak da adlandırılır.

(x, y, z) uzaysal koordinatlarında f 'nin genliği veya değeri, o noktada görüntünün parlaklığını veya ışık yoğunluğunu tanımlar. Işık bir enerji biçimi olduğundan dolayı $f(x, y, z, t, \lambda)$ sıfırdan farklı ve sonlu bir değere sahip olmalıdır. Buna göre,

$$0 < f(x, y, z, t, \lambda) < \infty \quad (1.2)$$

$$0 < i(x, y, z, t, \lambda) < \infty \quad (1.3)$$

biçiminde tanımlanabilir. Yansıtma fonksiyonu için,

$$0 < r(x, y, z, t, \lambda) < 1 \quad (1.4)$$

ilişkisi mevcuttur. $r(x, y, z, t, \lambda) = 0$, ışığın nesne tarafından tümüyle soğrulduğu (yutulduğu); $r(x, y, z, t, \lambda) = 1$ ise ışığın nesneden tümüyle yansıdığı durumlara karşı düşer.

$i(x, y, z, t, \lambda)$ 'nin içeriğini ışık kaynağı tanımlarken, $r(x, y, z, t, \lambda)$ nesnenin özelliklerine göre davranış gösterir. (1.3) ve (1.4) ile verilen değerler teorik sınırlardır. Aşağıda aydınlatma ve yansıtma fonksiyonları için bazı tipik değerler verilmiştir.

Aydınlatma fonksiyonu için bazı tipik değerler:

Güneşli açık bir günde güneş, yeryüzünü 9000 fc[†]'den daha fazla bir ışık kuvvetiyle aydınlatır. Bu değer bulutlu havalarda 1000 fc'den daha aşağılara kadar düşebilir. Akşam açık bir günde ay yeryüzünü yaklaşık olarak 0.01 fc ışık kuvvetiyle aydınlatır. Ticari bir işyerindeki tipik aydınlatma seviyesi ise yaklaşık olarak 100 fc civarındadır.

Yansıtma fonksiyonu için bazı tipik değerler:

Siyah kadife kumaş	→ 0.01
Paslanmaz çelik	→ 0.65
Donuk beyaz duvar boyası	→ 0.80
Gümüş kaplamalı metal	→ 0.90
Kar	→ 0.93

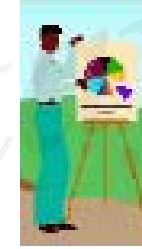
Sonuçta, nesneye ilişkin x, y, z koordinatlarındaki bir noktanın herhangi bir t anındaki görünümü aydınlatma ve yansıtma fonksiyonu cinsinden (1.1) ile ifade edilir. Nesneyi oluşturan birçok nokta için bu düşünüldüğünde, noktalardan yansıyan ışıklar fotoğraf makinesi gibi görüntüleme cihazları ile görüntüye dönüştürülür. Bu durum, Şekil 1.1'de örnek bir nesne için kabaca resmedilmiştir.

[†] fc = foot-candle, aydınlık düzeyi olup 1 fc = 0.0929 lux'dür (Bakınız [2]).



$$\begin{aligned} \text{red arrow} & \rightarrow i(x, y, z, \lambda) \\ \text{blue arrow} & \rightarrow f(x, y, z, \lambda) = i(x, y, z, \lambda) r(x, y, z, \lambda) \end{aligned}$$

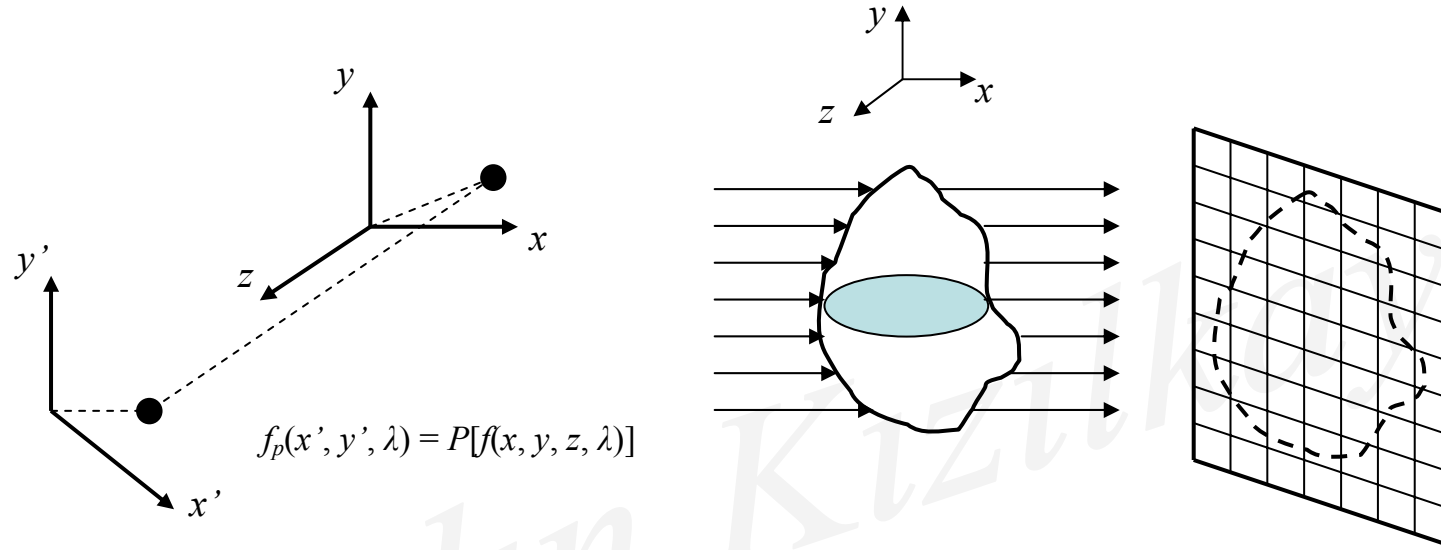
Fotoğraf makinesi ($f(x, y, z, \lambda)$) =



Şekil 1.1. Bir nesnenin görüntüsünün elde edilmesi (Şekildeki resimler [1]'den alınmıştır.)

Dikkat edilirse, Şekil 1.1'de verilen aydınlatma, yansıtma ve görünüm fonksiyonları ifadelerinde zaman değişkeni t çıkarılmıştır. Bunun nedeni, herhangi bir t anı için görünüm ve görüntünün elde edilmiş olmasıdır. Video çekiminin yapılması durumunda (Hareketli görüntülerin oluşturulması durumu) her bir an için ayrı görünüm ve görüntü elde edileceğinden dolayı (1.1) ile verilen gösterim korunur.

Şekil 1.1'den görüldüğü üzere, fotoğraf makinesi çıkışında 3-B görünümün iki boyut üzerindeki haritası yani 2-B görüntüsü elde edilmektedir. Böylece, (x, y, z) ile ifade edilen yeryüzü koordinatlarından (x', y') ile ifade edilen görüntü veya fotoğraf makinesi koordinatlarına geçilmektedir (Şekil 1.2). Fotoğraf makinesi, 3-B görünümün 2-B yansımasını (projection) üretmektedir.



Şekil 1.2. 2-B görüntünün elde edilmesi: (x, y, z) koordinatlarından (x', y') koordinatlarına yansıtma (projection)

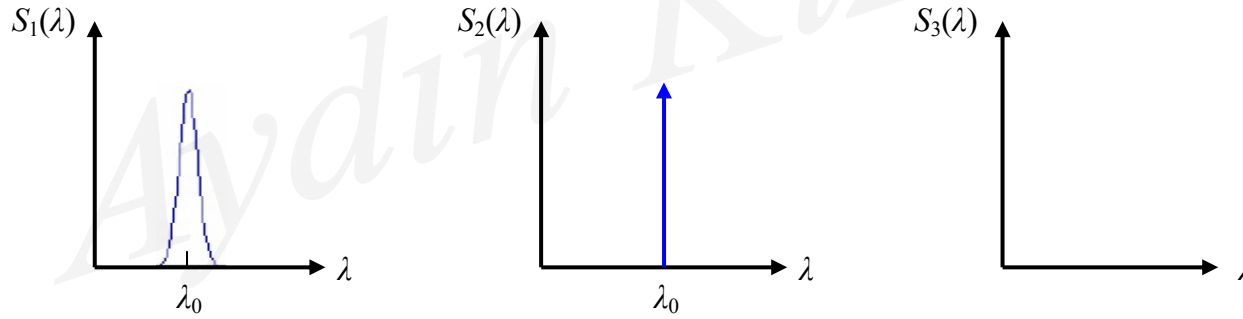
3-B görünümünden 2-B görüntünün izdüşüm (projection) yoluyla elde edilmesinin çeşitli yolları vardır. Ancak, ders kapsamında izdüşüm türleri anlatım dışında tutulmuştur.

2-B görüntünün fotoğraf makinesi gibi görüntüleme cihazları ile elde edilmesinde önemli olan özellik, görüntüleme cihazlarının duyarlılığı (sensitivity) ile ilgilidir. Söz konusu duyarlılık, nesneyi aydınlatan ışık kaynağının dalga boyu λ ile doğrudan ilişkilidir. Her bir görüntüleme cihazı, $S(\lambda)$ ile ifade edilen bir duyarlılık fonksiyonuna (sensitivity function) sahiptir. Bu duyarlılık fonksiyonu, görüntüleme cihazının $f_p(x', y', \lambda)$ ile ifade

edilen görüntü içerisindeki dalga boylarını yakalamadaki becerisini tanımlar. Buna göre, $S(\lambda)$ duyarlılığı ile görüntüleme cihazı tarafından elde edilen 2-B görüntü fonksiyonu

$$f(x', y') = \int f_p(x', y', \lambda) S(\lambda) d\lambda \quad (1.5)$$

ile ifade edilir. (1.5), görüntüleme cihazı koordinatları (x', y') 'de tutulan yansıyan ışık miktarını tanımlar. Şekil 1.3'te bazı duyarlılık fonksiyonlarına ilişkin grafikler verilmektedir.



Şekil 1.3. Duyarlılık fonksiyonu çeşitleri

Şekil 1.3'te verilen her bir duyarlılık fonksiyonu için (1.5) eşitliği yorumlanacak olursa, aşağıdaki sonuçlara ulaşılır:

- 1- $S_1(\lambda)$ ile tanımlanan duyarlılık fonksiyonuna sahip bir görüntüleme cihazı gerçeğe uygun bir biçime sahiptir (fiziksel olarak mümkün). Duyarlılık, λ_0 civarında belli bir bant aralığında yoğunlaşmıştır. Bu durumda görüntü fonksiyonu, (1.5)'den aşağıdaki gibi elde edilir:

$$f_1(x', y') = \int f_p(x', y', \lambda) S_1(\lambda) d\lambda$$

- 2- $S_2(\lambda)$ ile tanımlanan duyarlılık fonksiyonuna sahip bir görüntüleme cihazı gerçeğe uygun değildir (fiziksel olarak böyle bir cihazın varlığı olası değildir). Duyarlılık, impuls fonksiyonu ile tanımlanan tek bir dalga boyundadır (λ_0). Ancak, böyle bir duyarlılığa yakın cihazların varlığı da yok değildir. Bu durumda görüntü fonksiyonu, (1.5)'den aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\begin{aligned} f_2(x', y') &= \int f_p(x', y', \lambda) S_2(\lambda) d\lambda = \int f_p(x', y', \lambda) \delta(\lambda - \lambda_0) d\lambda \\ &= f_p(x', y', \lambda_0) \end{aligned}$$

- 3- $S_3(\lambda)$ ile verilen duyarlılık fonksiyonu ifadesi ise, görüntüleme cihazının merceğinin kapalı olduğu duruma karşı düşer ki bu durumda herhangi bir görüntü elde edilemez. Sonuç olarak, (1.5) eşitliğinden

$$f_3(x', y') = \int f_p(x', y', \lambda) S_3(\lambda) d\lambda = \int f_p(x', y', \lambda) 0 d\lambda = 0$$

elde edilir.

En genel anlamda görüntüleme **R(Kırmızı)**, **G(Yeşil)**, **B(Mavi)** kodlanmış aynı nesneye ait üç adet gri düzeyli görüntünün üst üste ekrana iletilmesi ile oluşur. Elektro-manyetik spektrumda 0,4-0,5 μm dalga boyu mavi renge; 0,5-0,6 μm dalga boyu yeşil renge; 0,6-0,7 μm dalga boyu kırmızı renge karşılık gelir. Bu dalga boylarında algılayıcılarla (sensor) elde edilmiş üç gri düzeyli görüntünün birleşimi sonucunda renkli görüntü elde edilmiş olur. Sonuçta λ ; kırmızı, yeşil ve mavi renklerine karşı düşen üç farklı değer alır.

Renkli görüntüleri yakalayan bir görüntüleme cihazının; kırmızı, yeşil ve mavi renklerinin dalga boylarına ayarlı duyarlılık fonksiyonları ile her biri (x', y') konumlarında olan üç algılayıcıya sahip olduğunu düşünelim. Bu durumda her bir algılayıcı çıkışında elde edilecek olan görüntü fonksiyonu sırasıyla,

$$f_R(x', y') = \int f_p(x', y', \lambda) S_R(\lambda) d\lambda \quad (1.6a)$$

$$f_G(x', y') = \int f_p(x', y', \lambda) S_G(\lambda) d\lambda \quad (1.6b)$$

$$f_B(x', y') = \int f_p(x', y', \lambda) S_B(\lambda) d\lambda \quad (1.6c)$$

olacaktır. (1.6) ile verilen görüntü fonksiyonları, renkli bir görüntüyü göstermek için bilgisayar ekranı veya yapay göz gibi görüntüleme cihazları ile birlikte kullanılabilir. Bu durumda, üç ana rengin (**RGB**) birleşimi sonucunda oluşan renkli görüntü fonksiyonu $f_C(x', y')$ ($C = \mathbf{R}, \mathbf{G}, \mathbf{B}$) aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$f_C(x', y') = \int f_p(x', y', \lambda) S_C(\lambda) d\lambda \quad (1.7)$$

1.2.Sayısal Görüntü Oluşumu

Görüntü fonksiyonu $f_C(x', y')$, belirli bir aralıkta sürekli olarak değişen $x' \in [x'_{min}, x'_{max}]$ ve $y' \in [y'_{min}, y'_{max}]$ değişkenlerinin bir fonksiyonudur. Görüntü fonksiyonu, $f_C(x', y') \in [f_{min}, f_{max}]$ olacak şekilde $f_{min} - f_{max}$ aralığında sürekli olarak değişen reel değerler alır. Sonuçta, $f_C(x', y')$ sürekli bir fonksiyon olup analog görüntüyü temsil eder. Sayısal bilgisayarlar, sürekli fonksiyonları/parametreleri işleyemezler. Analog görüntülerin bilgisayar ortamında işlenebilmesi için sayısallaştırılmaları gerekir. Sayısallaştırma için ilk olarak *örnekleme* daha sonra *nicemleme* (kuantalama) yapılır.

$f_C(x', y')$ 'nin bilgisayar ortamında işlenebilmesi için hem konumsal (uzaysal) olarak hem de genlikte sayısallaştırılması gerekir. Görüntü fonksiyonuna ilişkin (x', y') uzaysal koordinatlarının sayısallaştırılması, ***görüntü örnekleme*** olarak adlandırılırken; $f_C(x', y')$ 'nin genlik değerlerinin sayısallaştırılmasına ***görüntü nicemleme*** adı verilir.

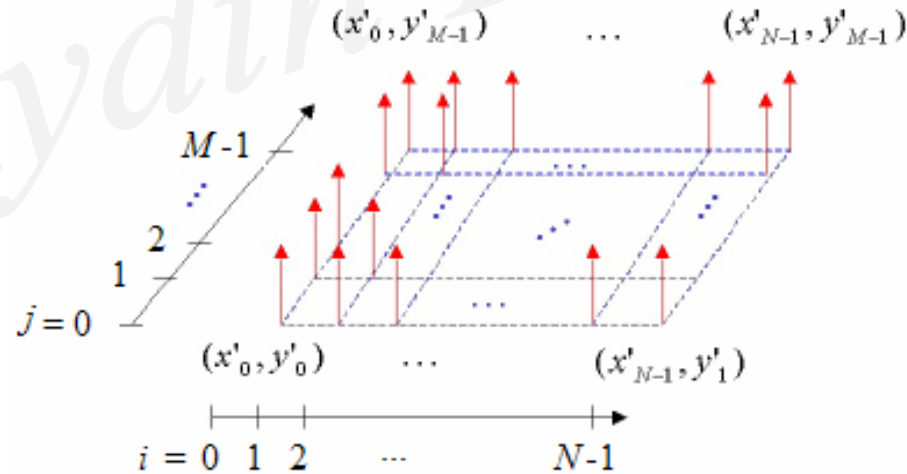
Görüntü Örnekleme:

Sürekli bir görüntü fonksiyonuna eşit aralıklarla x' -ekseni boyunca N örnek ve y' -ekseni boyunca M örnek alınarak yaklaşılabılır. Böylece, sürekli-zamanlı görüntü fonksiyonundan ayırık-zamanlı görüntü fonksiyonuna geçiş gerçekleşir ve 2-B ayırık-zamanda yatayda N ve düşeyde M örnekten oluşan toplam $N \times M$ sonlu örnek değeri ile analog bir görüntü yaklaşık olarak ifade edilebilir. Bu işlem, analog görüntü fonksiyonun *düzgün*

örneklenmesine karşı düşer. Düzgün örnekleme, analog görüntüden hem yatay hem de düşey yönde eşit aralıklarla örneklerin alınması ile gerçekleştirilmektedir. Buna göre, sürekli-zamanlı bir görüntü fonksiyonundan ayrık-zamanlı görüntü fonksiyonu matematiksel olarak,

$$f_c(x'_i, y'_j) = f_c(x', y') \text{ comb}(x', y') \quad (1.8)$$

ile elde edilir. Burada, $i = 0, 1, \dots, N-1$ ve $j = 0, 1, \dots, M-1$ olup ayrık-zamanlı görüntü fonksiyonunun örnek değerlerinin bulunduğu indisleri belirtir. $\text{comb}(x', y')$ ise, biçimi şekil 1.4'de verilen düzgün örnekleme için kullanılan tarak fonksiyonunu temsil etmektedir.



Şekil 1.4. Analog görüntü fonksiyonunun düzgün örnekleme için kullanılan tarak fonksiyonu

Şekil 1.4'den de görüldüğü üzere tarak fonksiyonu kaydırılmış impulsların toplamından oluşmaktadır. Başka bir deyişle,

$$comb(x', y') = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \delta(x'-i, y'-j) \quad (1.9)$$

biçiminde tanımlıdır.

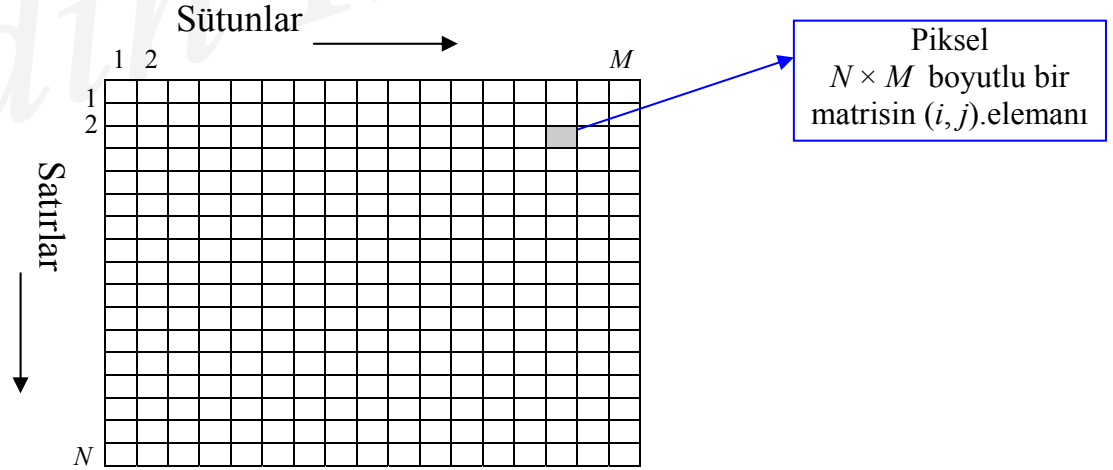
Böylece, (1.8) ve (1.9) eşitliklerini kullanarak $\{(x'_i, y'_j) | i = 0, 1, \dots, N-1, j = 0, 1, \dots, M-1\}$ ile verilen ayrık ızgara üzerinde tanımlı yeni bir görüntü fonksiyonu elde edilmiş olur. Bu görüntü fonksiyonu, ayrık değerler üzerinden $f_C(i, j)$ ile temsil edilir ve aslında N satır ve M sütundan oluşan bir matris gibi düşünülebilir. Belirtmekte fayda vardır ki (1.8) ile tanımlanan ayrıklaştırma veya örnekleme işlemi bilgi kaybı ile sonuçlanabilir.

Görüntü Nicemleme:

Örnekleme işlemi sonucunda sürekli-zamanlı görüntü fonksiyonunun belirli anlardaki değerleri elde edilir ki, bu ayrık görüntü fonksiyonuna karşı düşer. Ayrık görüntü fonksiyonunun bilgisayarın anladığı ikili sayılarla (0 ve 1) kodlanabilmesi için nicemleme işlemine tabi tutulması gerekir. Ayrık görüntü fonksiyonu $f_C(i, j)$ 'nin genlik değerleri $f_C(i, j) \in [f_{min}, f_{max}]$ olmak üzere belirli bir aralıkta değişim gösterir. Nicemleme işlemi, ayrık görüntü işaretinin en küçük ve en büyük genlik değerleri aralığını basamaklara ayırarak ilgili basamak değerine en yakın olan görüntü işareti değerlerini basamak değeri olarak tayin etme işlemidir. Bu işlem sonucunda, ikili sayılarla temsil edilebilen sayısal bir görüntü işareti elde edilir. Bu görüntü işareti $\hat{f}_C(i, j)$ ile temsil edilir.

Hem örnekleme hem de nicemleme işleminin birlikte gerçekleştirildiği yapıya bir örnek tarayıcı (scanner)'dır. Tarayıcıdan belli formatlarda elde edilen görüntüler sayısal'dır ve bilgisayarda yazılımlarla işlenebilecek haldedir.

Örnekleme ve nicemleme işleminden sonra elde edilen sayısal görüntü, belli bir aralıktaki **pozitif tamsayı** değerlerinin dikdörtgen şeklindeki ızgaralardan (grid) oluşmuş bir dizisidir (Şekil 1.5). Başka bir deyişle, sayısal bir görüntü, bileşenleri pozitif tamsayı değerlerinden oluşmuş iki-boyutlu matris yapısındadır. Sayısal görüntüyü temsil eden matrisin her bir elemanı *piksel* veya görüntü bileşeni anlamında *pel* olarak adlandırılır. Piksel, sayısal bir görüntüyü oluşturan en küçük eleman olup bir pikselin sahip olduğu değer ilgili görüntü elemanının *parlaklık şiddetini* belirtir. Parlaklık şiddeti ile ilgili olan pozitif tamsayı değeri, nicemleme ile belirlenir.



Şekil 1.5. $N \times M$ büyüklüğüne sahip 2-B bir sayısal görüntünün (resmin) temel yapısı

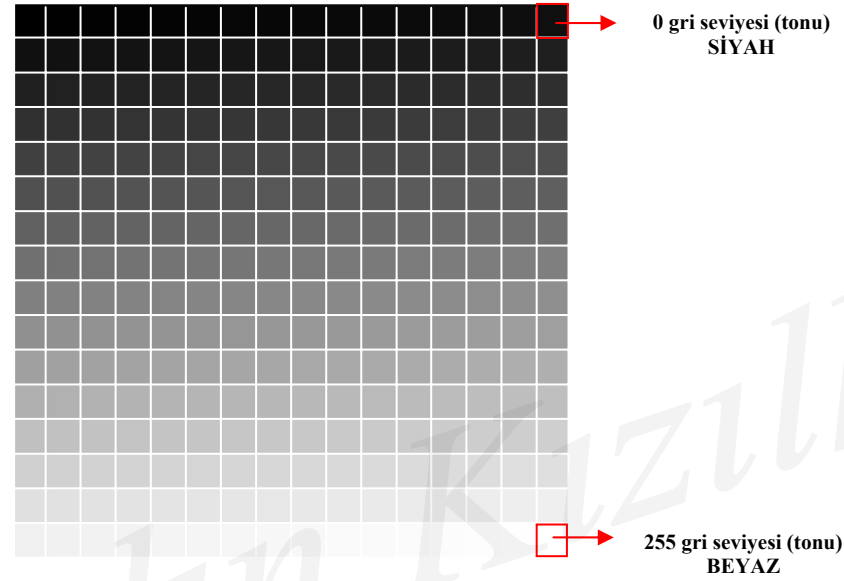
Sayısal bir görüntünün boyutları ve parlaklık değeri:

Örnekleme ve nicemleme işlemine ek olarak sayısallaştırma işlemi, görüntü boyutlarının ve her bir pikselin sahip olabileceği parlaklık değerinin belirlenmesini de gerektirir. Uygulamada genel olarak bu büyüklükler

$$N = 2^k, \quad M = 2^l, \quad G = 2^m \quad (1.10)$$

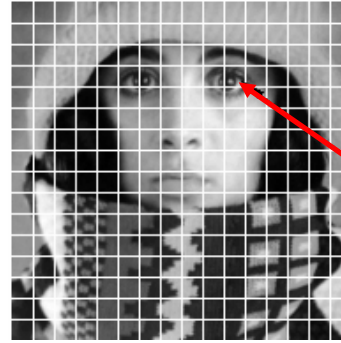
biçiminde hesapsal kolaylık için ikinin katları olacak şekilde seçilir. Burada k , l , ve m pozitif tamsayı değerleri olup G parlaklık değerlerinin sayısını ifade eder.

Sayısal görüntünün her bir pikselinin sahip olduğu parlaklık değerleri *gri seviyeler* olarak adlandırılır. Her bir pikseldeki parlaklık değerinin kodlandığı *bit* sayısına ($m \rightarrow$ bit sayısı) göre gri seviye aralığı belirlenir. En basit durumda pikseller 0 veya 1 değerlerini alırlar. Bu piksellerden oluşan görüntülere *ikili (binary) görüntü* adı verilir. İkili görüntüde her bir pikseldeki parlaklık değeri $m = 1$ bit ile kodlanır ve (1.10)'da verilen hesaplama göre $G = 2^1 = 2$ olacaktır. Bunun anlamı, ikili görüntüde gri seviye anlamında iki renk hâkimdir: **siyah (0)** ve **beyaz (1)**. Her bir pikseli $m > 1$ olacak şekilde kodlanan görüntülere ise *gri-ton (gray scale, monochromatic)* görüntüler adı verilir. Uygulamada yaygın olarak kullanılan gri-ton görüntülerin her bir pikseli $m = 8$ bit ile kodlanmıştır. Bu tip görüntülerde her bir piksel $G = 2^8 = 256$ farklı gri ton (parlaklık seviyesi) değerlerinden oluşur ve gri değer aralığı $G = \{0, 1, 2, \dots, 255\}$ biçiminde ifade edilir. Kural olarak; **0 gri seviyesi siyah renge, 255 gri seviyesi ise beyaz renge** ve bu değerler arasındaki gri seviyeler ise gri tonlara karşılık gelir. Şekil 1.6'da $N \times M = 16 \times 16$ 'lık bir ızgara üzerinde 256 farklı gri seviyenin gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.6. 16×16 'lık bir ızgara üzerinde 256 farklı gri seviyenin gösterimi

Şekil 1.7'de sürekli-zamanlı gri-ton bir görüntünün (resmin) sayısallaştırılması gösterilmiştir. Şekil 1.7'deki görüntü yatayda ve düşeyde olmak üzere $N = 16$ satır ve $M = 16$ sütuna bölünmüştür (örnekleme işlemi). Her bir piksele ilişkin değer, pikseldeki ortalama parlaklık değeri olup bu değer, en yakın pozitif tamsayı değerine yuvarlatılmıştır (nicemleme işlemi). Bu tamsayı değeri, her bir pikseli $m = 8$ bit ile kodlanan gri-ton bir görüntü için $G = \{0, 1, 2, \dots, 255\}$ gri seviye aralığında olmak üzere 256 farklı değer alabilir. Şekil 1.7 ile verilen bu tip bir görüntünün $(i, j) = (4, 11)$ koordinatlarındaki gri seviye değerinin 110 olduğu gözlenmiştir.

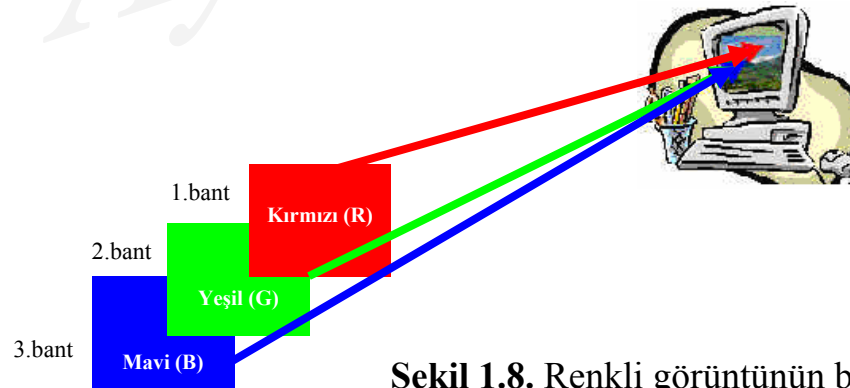


Piksel gri seviye değeri

$$\hat{f}_{gray}(4,11) = 110$$

Şekil 1.7. Sürekli-zamanlı gri-ton bir görüntünün (resmin) sayısallaştırılması

İkili ve gri-ton görüntülere ek olarak uygulamada yaygın olarak kullanılan diğer tip görüntüler, renkli görüntülerdir. Renkli görüntü, **R(Kırmızı)**, **G(Yeşil)**, **B(Mavi)** kodlanmış aynı objeye ait üç adet gri düzeyli görüntünün üst üste ekrana iletilmesi ile oluşur (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Renkli görüntünün bilgisayar ekranındaki oluşumu

Renkli görüntü kavramı, 1.bant kırmızı filtrelenmiş başka bir deyişle orijinal görüntüdeki gri değerler kırmızının tonları şeklinde ifade edilmiş benzer şekilde 2. ve 3.bantlar da yeşilin ve mavinin tonları şeklinde ifade edilip üst üste çakıştırılmış ve oluşan renk karışımından da doğal renkler elde edilmiştir şeklinde de açıklanabilir. Şekil 1.8’den de görüleceği üzere, RGB anlamında doğal renklerden oluşmuş renkli bir görüntü için bantların doğru birleşimi 1-2-3 biçimindedir. Şekil 1.9’da doğal renkli bir görüntüye ve bu görüntüye ait RGB bantlarına ilişkin gri-ton görüntüler gösterilmiştir.

Eğer RGB gösterimde bant birleşimlerinin yerleri değiştirilecek olursa renkler de değişecektir. Bu şekilde oluşan görüntülere *yapay renkli görüntüler* adı verilir. Bant birleşimleri;

$$\left. \begin{array}{l} 2.\text{bant} \rightarrow R \\ 1.\text{bant} \rightarrow G \\ 3.\text{bant} \rightarrow B \end{array} \right\} \Rightarrow (RGB \rightarrow 2-1-3)$$

$$\left. \begin{array}{l} 1.\text{bant} \rightarrow R \\ 3.\text{bant} \rightarrow G \\ 2.\text{bant} \rightarrow B \end{array} \right\} \Rightarrow (RGB \rightarrow 1-3-2)$$

$$\left. \begin{array}{l} 2.\text{bant} \rightarrow R \\ 3.\text{bant} \rightarrow G \\ 1.\text{bant} \rightarrow B \end{array} \right\} \Rightarrow (RGB \rightarrow 2-3-1)$$

biçiminde olan görüntüler yapay renkli görüntülere birer örnek olarak verilebilir (Şekil 1.10).

RGB görüntü (Doğal renkli)



Kırmızı (R) bandına (1.bant) ilişkin gri-ton görüntü



Yeşil (G) (2.bant) bandına ilişkin gri-ton görüntü



Mavi (B) (3.bant) bandına ilişkin gri-ton görüntü



Şekil 1.9. Doğal renkli bir görüntü ve bu görüntüye ait RGB bantlarına ilişkin gri-ton görüntüler

Doğal renkli görüntü: Bant birlesimi (RGB --> 1-2-3)



Yapay renkli görüntü: Bant birlesimi (RGB --> 2-1-3)



Yapay renkli görüntü: Bant birlesimi (RGB --> 1-3-2)






Yapay renkli görüntü: Bant birlesimi (RGB --> 2-3-1)



Şekil 1.10. Doğal renkli RGB bir görüntü ve bu görüntüden türetilen yapay renkli RGB görüntüler

Gri-ton görüntülerden farklı olarak, renkli görüntülerin her bir pikseli bilgisayar ekranlarında 24 bit'lik veri olarak görüntülenir. Şöyle ki, her bir renk $m = 8$ bit ile kodlanacağına göre üç renk (RGB) $3 \cdot 8 = 24$ bit ile kodlanacaktır. Bu durumda, RGB görüntülerin her bir pikseli $G = 2^{24} = 16.777.216$ (yaklaşık 17 milyon) farklı renk değerine sahip olabilir ve bu üç rengin birleşiminin değer aralığı **RGB** = **(0, 0, 0)**,..., **(255, 255, 255)** biçiminde gösterilir. Tablo 1’de ana renkler olan kırmızı, yeşil ve mavinin *tam parlaklık* değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Kırmızı, yeşil ve mavi renkleri için tam parlaklık değerleri

	Parlaklık değerleri			Görünüm
	R	G	B	
Kırmızı	255	0	0	
Yeşil	0	255	0	
Mavi	0	0	255	

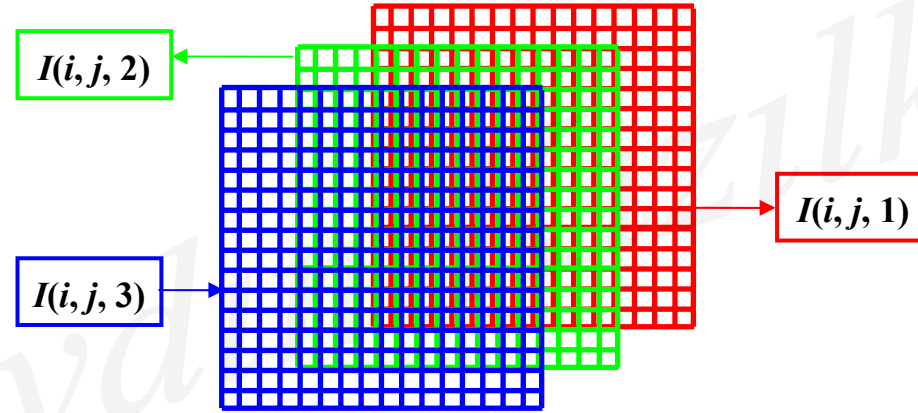
Tablo 1’e göre, RGB gösterimde **(0, 0, 0)** siyah, **(255, 0, 0)** kırmızı, **(0, 255, 0)** yeşil, **(0, 0, 255)** mavi, ve **(255, 255, 255)** beyaz rengi temsil eder. Beyaz renk tüm renkleri içerisinde barındırır.

Matris anlamında düşünüldüğünde doğal renkli 2-B bir RGB görüntü, aşağıdaki gibi her biri $(N \times M)$ büyüklüklü üç matrisin (ızgaranın) bileşimidir ve matris gösteriminde $\{I(i, j, k) | i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M; k = 1, 2, 3\}$ biçiminde temsil edilir. Genel olarak bu matrislerin her biri, pikselleri 256 gri seviyeden birine sahip olan gri-ton görüntüyü temsil eder.

$I(i, j, 1); i = 1, 2, \dots, N, \quad j = 1, 2, \dots, M \rightarrow$ Kırmızı banda ilişkin matris

$I(i, j, 2); i = 1, 2, \dots, N, \quad j = 1, 2, \dots, M \rightarrow$ Yeşil banda ilişkin matris

$I(i, j, 3); i = 1, 2, \dots, N, \quad j = 1, 2, \dots, M \rightarrow$ Mavi banda ilişkin matris



$(N \times M)$ büyüklüklü $I(i, j, 1) \in \{0, 1, 2, \dots, 255\}$ matrisi RGB görüntünün kırmızı bandına ilişkin gri-ton görüntüye, $I(i, j, 2) \in \{0, 1, 2, \dots, 255\}$ matrisi RGB görüntünün yeşil bandına ilişkin gri-ton görüntüye, ve $I(i, j, 3) \in \{0, 1, 2, \dots, 255\}$ matrisi RGB görüntünün mavi bandına ilişkin gri-ton görüntüye karşı düşer (Şekil 1.9).

Renkli görüntünün yeşil ve mavi bantlarına ilişkin gri-ton görüntülerin sıfır alınmasıyla sadece kırmızı bandına ait gri-ton görüntüsü elde edilir. Böylece, RGB gösterimde gri-ton görüntünün kırmızı yapay renklendirilmişine ulaşılır. Tablo 1’de de gösterildiği gibi, bu durumda $\text{RGB} = \text{R00} = (0, 0, 0), \dots, (255, 0, 0)$ olacaktır. Benzer

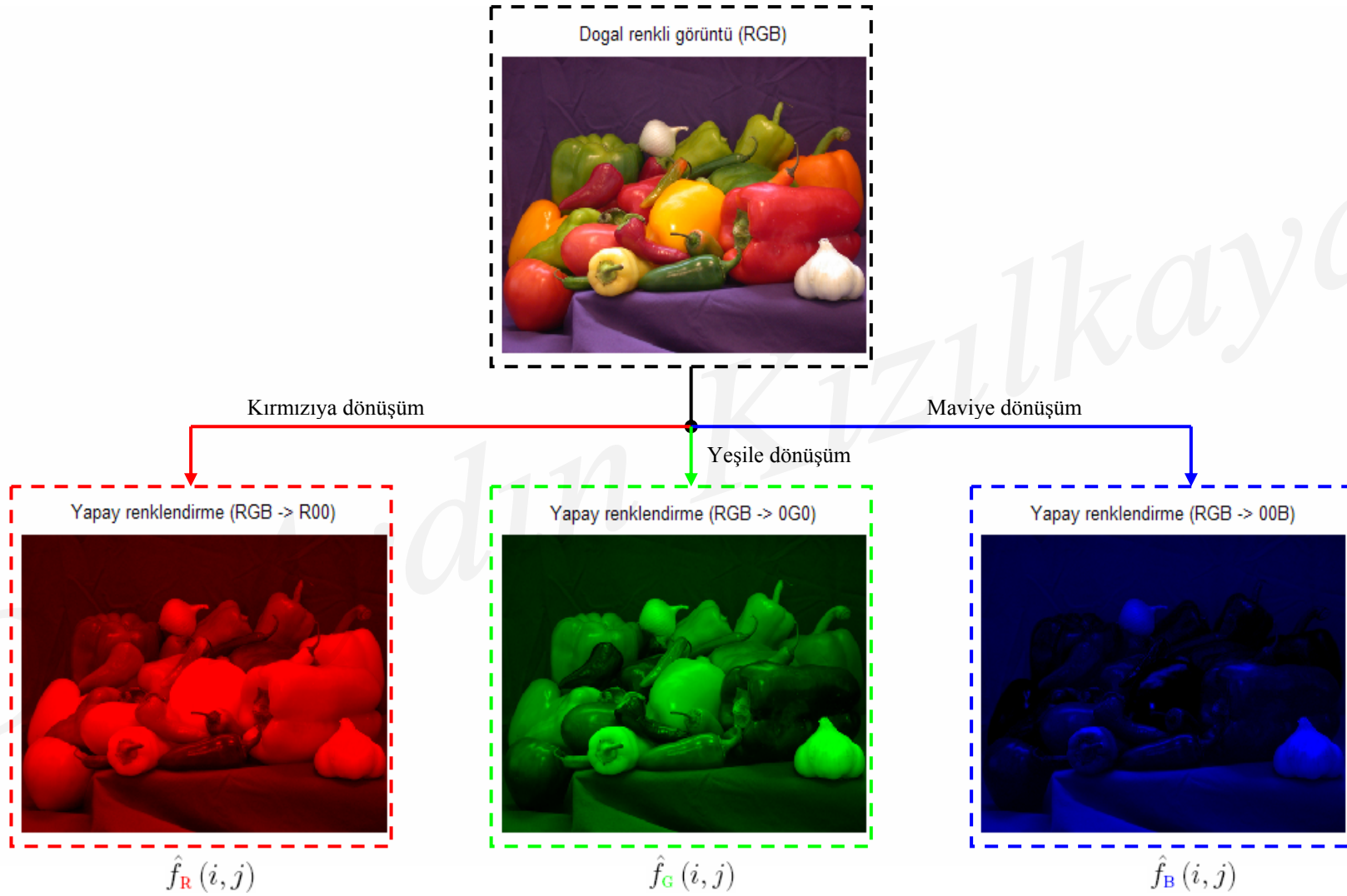
şekilde, yeşil ve mavi yapay renklendirilmiş görüntüler de sırasıyla $\mathbf{RGB} = \mathbf{0G0} = (0, 0, 0), \dots, (0, 255, 0)$ ve $\mathbf{RGB} = \mathbf{00B} = (0, 0, 0), \dots, (0, 0, 255)$ olacaktır. Matris gösteriminde; IR , IG ve IB ile temsil edilen kırmızı, yeşil ve mavi yapay renklendirilmiş görüntüler sırasıyla aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$\begin{aligned} IR(1:N, 1:M, 1) &= I(1:N, 1:M, 1); \\ IR(1:N, 1:M, 2) &= 0 \\ IR(1:N, 1:M, 3) &= 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IG(1:N, 1:M, 1) &= 0 \\ IG(1:N, 1:M, 2) &= I(1:N, 1:M, 2); \\ IG(1:N, 1:M, 3) &= 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IB(1:N, 1:M, 1) &= 0 \\ IB(1:N, 1:M, 2) &= 0; \\ IB(1:N, 1:M, 3) &= I(1:N, 1:M, 3); \end{aligned}$$

Yapılan bu tanımlamalar ışığında, doğal renkli RGB bir görüntünün ana renklerle yapay renklendirilmesi şekil 1.11’de verilmiştir.



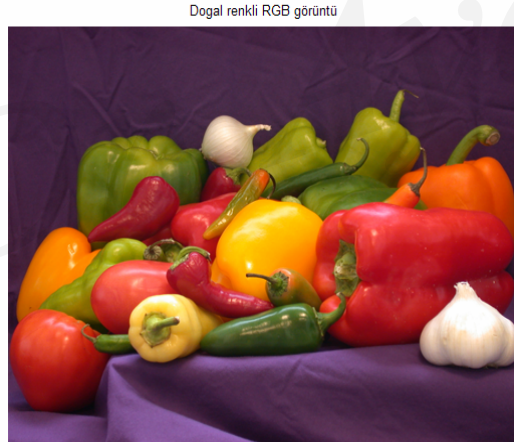
Şekil 1.11. Doğal renkli RGB bir görüntünün ana renklerle (Kırmızı-yeşil-mavi) yapay renklendirilmesi

Renkli görüntüden gri-ton görüntünün elde edilmesi

Renkli sayısal bir görüntüyü gri-ton bir görüntüye dönüştürme işlemi aslında RGB renk modelinde belirtilen her bir renk bandına karşı düşen gri-ton görüntülerin ölçeklendirilmesinden başka bir şey değildir. Bu anlamda renkli görüntünün parlaklık değerlerine sadık kalarak yapılan ölçeklendirme işlemi, yukarıda verilen gösterimi kullanarak

$$gri = 0.299 \cdot I(i, j, 1) + 0.587 \cdot I(i, j, 2) + 0.114 \cdot I(i, j, 3) \quad (1.11)$$

ile verilir. Böylece, (1.11) eşitliği ile renkli görüntünün gri-ton karşılığı elde edilmiş olur. Şekil 1.12’de renkli bir görüntü ve (1.11) eşitliğini kullanarak elde edilen gri-ton görüntüsü verilmiştir.



```
I = imread('peppers.png');  
figure(1), imshow(I)  
title('Dogal renkli RGB görüntü')  
  
% RGB bileşenleri  
R=I(:,:,1); G=I(:,:,2);  
B=I(:,:,3);  
  
% gri-ton görüntünün elde edilmesi  
gri = 0.299*R + 0.587*G + 0.114*B;  
figure(2), imshow(gri)  
title('RGB görüntüden elde edilen  
gri-ton görüntü')
```

Şekil 1.12. Renkli görüntüden karşılığı olan gri-ton görüntüsünün elde edilmesi

Sayısal Görüntünün Kapladığı Bellek Alanı:

N satır ve M sütundan oluşan ve her bir pikseli m bit ile temsil edilen ($N \times M$) büyüklüklü sayısal bir görüntüyü depolamak için gerekli bit sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$b = NMm, \text{ bit} \quad (1.12)$$

1byte = 8 bit, 1Kbyte = 1024 byte, 1Mbyte = 1024 Kbyte tanımlamalarını dikkate alarak her bir pikseli 1 - 8 bit ile temsil edilen çeşitli boyutlardaki gri-ton görüntülerin kapladığı bellek alanları Tablo 2’de $N = M$ için verilmiştir.

Tablo 2. Pikselleri $m = 1 - 8$ bit ile temsil edilen çeşitli boyutlardaki gri-ton görüntülerin kapladığı bellek alanları

$N \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8
64	512byte	1Kbyte	1.5Kbyte	2Kbyte	2.5Kbyte	3Kbyte	3.5Kbyte	4Kbyte
128	2Kbyte	4Kbyte	6Kbyte	8Kbyte	10Kbyte	12Kbyte	14Kbyte	16Kbyte
256	8Kbyte	16Kbyte	24Kbyte	32Kbyte	40Kbyte	48Kbyte	56Kbyte	64Kbyte
512	32Kbyte	64Kbyte	96Kbyte	128Kbyte	160Kbyte	192Kbyte	224Kbyte	256Kbyte
1024	128Kbyte	256Kbyte	384Kbyte	512Kbyte	640Kbyte	768Kbyte	896Kbyte	1Mbyte

Tablo 2’den görüldüğü üzere, her bir pikseli kodlamak için gerekli bit sayısı arttıkça görüntüyü depolamak için gerekli olan bellek miktarı da artmaktadır. Bunun bir sonucu olarak, renkli görüntüler gri-ton görüntülere göre bellek anlamında bilgisayarlarda daha fazla yer kaplarlar. Örneğin; 8 bitlik 1024×1024 pikselden oluşan renkli bir görüntünün bilgisayar belleğinde kapladığı alan 3Mbyte olurken, gri-ton bir görüntü için bu değer 1Mbyte’dır.

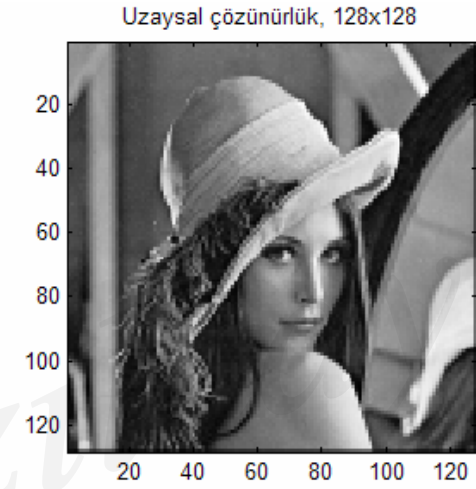
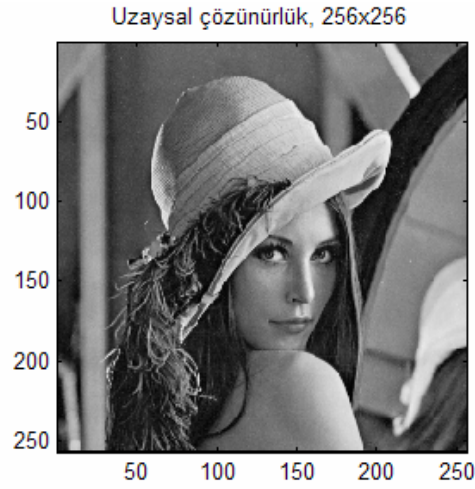
1.3. Alan ve Parlaklık Hassaslıkları: Uzaysal çözünürlük ve gri-seviye çözünürlüğü

Sürekli-zamanlı bir görüntünden onun iyi bir yaklaşığı olan sayısal görüntüyü elde etmek için gerekli olan örneklerin ve gri seviyelerin sayısının ne olması gerektiği, görüntülerin değerlendirilmesi ve üzerlerinde işlem yapılabilmesi açısından önemlidir. Yaklaşıklığın ölçüsü, *görüntü çözünürlüğü* ile ilgilidir. Bir görüntünün çözünürlüğü, görüntü içerisindeki ayrıntıların fark edilebilme derecesi olup hem örneklerin hem de gri seviyelerin sayısı olan N , M ve m parametreleri ile doğrudan ilintilidir. Bu parametrelerin değerlerindeki artış ne kadar fazla olursa sayısallaştırılmış görüntü orijinaline o oranda yaklaşır. Bununla birlikte, görüntünün kapladığı bellek alanı ve hesapsal karmaşıklık N , M ve m 'nin işlevi olarak hızlı bir şekilde artar.

Sayısal olarak elde edilmiş görüntüler için; *uzaysal çözünürlük* –ki buna görüntünün *alan hassaslığı* adı da verilir ve *gri-seviye çözünürlüğü* veya *parlaklık hassaslığı* olmak üzere iki tip çözünürlükten bahsedilebilir.

Alan hassaslığı (uzaysal çözünürlük):

Alan hassaslığı, sayısal görüntüyü elde etmek amacıyla analog görüntünün yatay/dikey taranması esnasında toplanan örnek sayısı ile ilgilidir. Sayısal görüntüyü oluşturan piksellerin sayısı ($N \times M$) ne kadar fazla olursa orijinal (analog) görüntüye o kadar fazla yaklaşılar. Diğer taraftan, piksellerin sayısı azaltılırsa bu durumda görüntünün uzaysal çözünürlüğü düşer ve görüntü içerisindeki ayrıntılar kaybolmaya başlar. Buna ***dama tahtası etkisi*** (checkerboard effect) adı verilir. Bu etki, görüntü içerisinde yapay karelerin oluşması ile sonuçlanır. Şekil 1.13'de çeşitli uzaysal çözünürlüklere sahip 8-bit gri-ton görüntüler verilmiştir.



Şekil 1.13. Çeşitli uzaysal çözünürlüklere sahip her bir pikseli 8-bit ile temsil edilen gri-ton görüntüler

Şekil 1.13'den görüldüğü gibi, piksel sayısı azaltıldığında görüntü üzerinde dama tahtası etkisi kendini göstermektedir.

512×512 pikselden oluşan sayısal bir görüntü, televizyon ekranındakine benzer bir uzaysal çözünürlük sunar. Diğer taraftan, 35-mm'lik film[†] üzerindeki analog görüntüye benzer bir uzaysal çözünürlüğe sahip olabilmek için sayısal görüntünün 1024×1024 pikselden oluşması gerekmektedir.

Parlaklık hassaslığı (gri-seviye çözünürlüğü):

Parlaklık hassaslığı, örneklenmiş halde bulunan analog görüntünün genlik değerlerinin sayısallaştırılması amacıyla yapılan nicemleme işleminde kullanılan gri seviyelerin sayısı ile ilgilidir.

Daha önce de ifade edildiği gibi, uygulamada yaygın olarak kullanılan gri-ton görüntülerin gri seviye anlamında tam parlaklık değeri 255 olup, bu değer beyaz renge karşı düşer. Yani, bu tip görüntülerin pikselleri $G = \{0, 1, 2, \dots, 255\}$ gri seviye aralığında olmak üzere 256 farklı değer alabilir ve sonuç olarak her bir piksel $m = 8$ bit ile temsil edilebilir. Gri seviyelerin sayısı azaldığında, işaret tabanlı nicemleme gürültüsü görüntü içerisinde yapay hatlar biçiminde görünmeye başlar. Bu durumda görüntünün her bir pikseli $m \ll 8$ bit ile temsil edilmektedir. Şekil 1.14'te gri seviye sayısı 256 (8 bit), 128 (7 bit), 64 (6 bit), 32 (5 bit), 16 (4 bit), 8 (3 bit), 4 (2 bit) ve 2 (1 bit) olan aynı uzaysal çözünürlüğe sahip gri-ton görüntüler verilmiştir.

[†] 35 mm, fotoğrafçılık ve sinemada yaygın olarak kullanılan temel film ölçüsüdür. George Eastman tarafından tedarik edilen ham filmi kullanarak, William Dickson ve Thomas Edison'un icat ettiği 35mm film, o zamandan bu yana neredeyse hiç değişmeden kalmıştır. 35mm adını, filmin 35mm (yaklaşık 1 3/8 inç) genişliğindeki şeritler halinde kesilmesinden almıştır (Kaynak: http://tr.wikipedia.org/wiki/35_mm).



Şekil 1.14. Çeşitli gri-seviye çözünürlüklerine sahip aynı uzaysal çözünürlüklü gri-ton görüntüler

Şekil 1.14'te gösterilen görüntülere bakıldığında, 256, 128, 64 ve 32 gri seviyeli görüntüler ilginçtir ki görsel olarak benzer görünümlere sahiptirler. Diğer taraftan 16, 8 ve 4 gri seviyeden oluşan görüntülerde nicemleme gürültüsünün kendini göstermeye başladığı ve görüntüler içerisinde yapay hatların olduğu gözlenmektedir. Dikkat edilirse, bu yapay hatlar en çok 4 gri seviyeden oluşan görüntüde daha fazla belirginleşmiştir. 2 gri seviyeden oluşan ikili görüntüde ise yapay hatlar oluşmamıştır. Aksine, bu görüntü içerisinde nesnelerin genel hatları ve sınırları ortaya çıkmıştır çünkü keskin bir renk farkı (siyah-beyaz) mevcuttur.

2-B sayısal görüntülerin matris olarak gösterimi: MATLAB gerçeeklemesi

Daha önce de ifade edildiği gibi $(N \times M)$ piksele sahip 2-B sayısal bir görüntü, N satır ve M sütundan oluşan bir matris gibi düşünülebilir. Matrisin bileşenleri, satır ve sütunların kesiştiği her bir noktada –ki bu noktalar sayısal görüntünün en küçük parçası olan pikseli temsil eder – pozitif tamsayı değerlerine sahiptir. Bu değerler rasgele olamazlar. Örneğin, 256 gri seviye içeren gri-ton görüntüler için bu değerler 0 – 255 aralığındaki tamsayılardan oluşur.

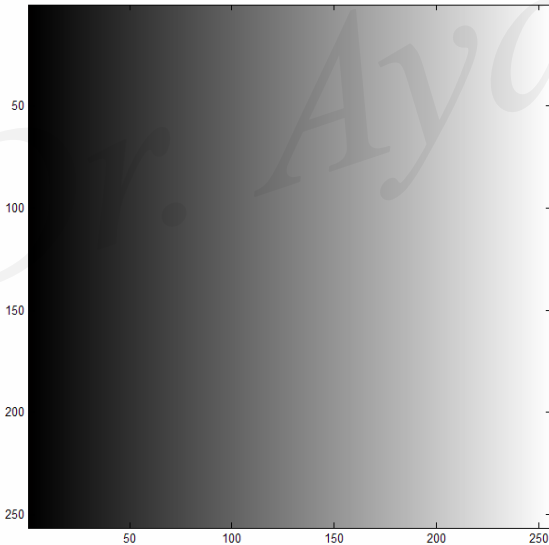
Sayısal bir görüntüyü temsil eden matrisin bileşenleri hiçbir zaman negatif ve tamsayı dışındaki değerlerden oluşamaz. Ancak, görüntü üzerinde işlemler yapıldıktan sonra elde edilen yeni görüntü içerisinde bu gibi sonuçlarla karşılaşmak olasıdır. Böyle durumlarda, yeni görüntüyü bilgisayar ekranında doğru bir biçimde görüntüleyebilmek için matris değerleri üzerinde uygun ölçeklendirme ve yuvarlatma işlemleri yapılmalıdır.

Aşağıda sayısal görüntülerin Matlab'de görüntülenmesine yönelik bazı örnekler verilmiştir:

Örnek 1: 2-B rampa fonksiyonunun 8-bit gri-ton görüntüsünün oluşturulması ile ilgili olup, 256×256 pikselden oluşan bu sayısal görüntünün matris temsili

$$A = \begin{matrix} & \xrightarrow{256 \text{ sütun}} \\ \begin{bmatrix} 0 & 1 & \dots & 255 \\ 0 & 1 & \dots & 255 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 1 & \dots & 255 \end{bmatrix} & \downarrow 256 \text{ satır} \end{matrix}$$

biçimindedir. Matlab’de bu matrisi oluşturma ve görüntüleme işlemi aşağıda verilmiştir.



Yandaki görüntüyü veren Matlab kodu:

```
for i = 1 : 256,  
    for j = 1 : 256,  
        A(i,j) = j - 1;  
    end  
end
```

%Görüntüleme için aşağıdaki kod satırlarından herhangi biri kullanılabilir

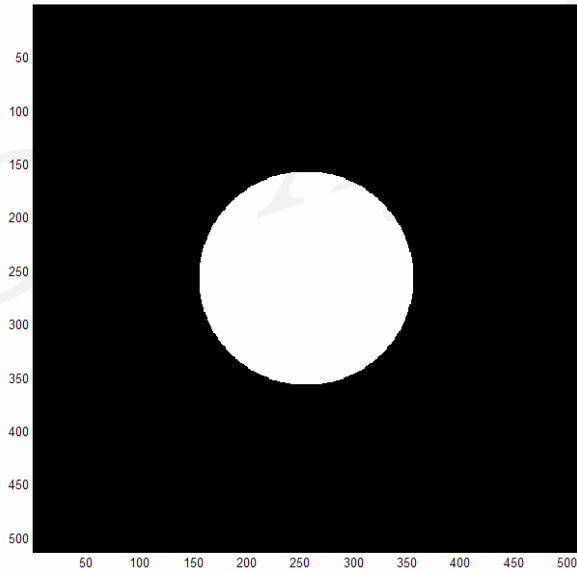
```
figure, imshow(A, [0 255]);  
figure, imagesc(A); colormap(gray); axis('image')
```

Örnek 2: Merkezi (256, 256) piksel konumunda olan ve yarıçapı 100 pikselden oluşan bir dairenin 512×512 pikselden oluşan 1-bit gri-ton görüntüsünün elde edilmesi.

Bu sayısal görüntünün matris gösterimi,

$$A(i, j) = \begin{cases} 1; & \text{eger } \sqrt{(i-256)^2 + (j-256)^2} < 100 \\ 0; & \text{diger} \end{cases}$$

ile $i = 1, 2, \dots, 512$ ve $j = 1, 2, \dots, 512$ için oluşturulur. Matlab'de bu matrisi oluşturma ve görüntüleme işlemi aşağıda verilmiştir.



Yandaki görüntüyü veren Matlab kodu:

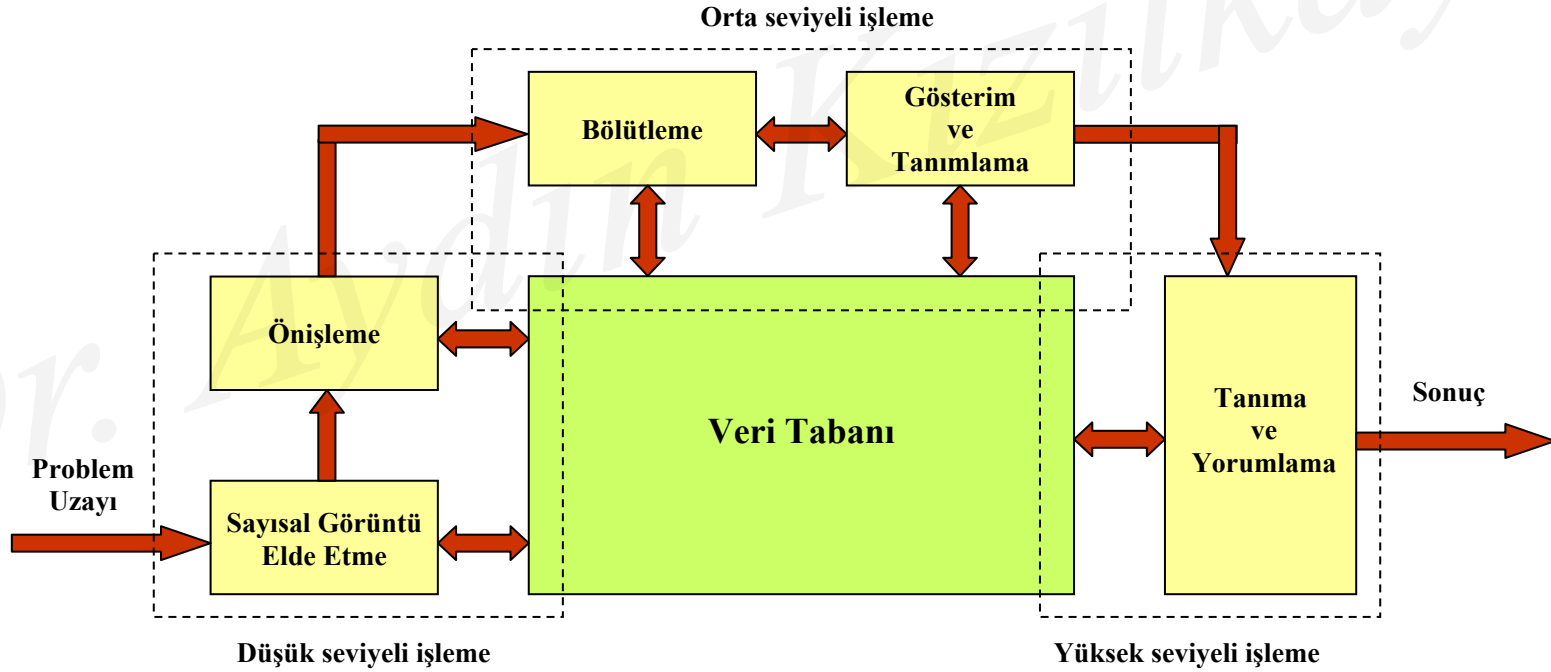
```
for i = 1 : 512,
    for j = 1 : 512,
        radius = sqrt((i-256)^2 + (j-256)^2);
        if radius < 100
            A(i,j) = 1;
        else
            A(i,j) = 0;
        end
    end
end
```

%Görüntüleme için aşağıdaki kod satırı kullanılabilir

```
figure, imagesc(A);colormap(gray);axis('image')
```


1.4. Sayısal görüntü işleme

Sayısal görüntü işleme, analog bir görüntünün sayısal biçime dönüştürülmesi ve daha sonra çeşitli amaçlar (iyileştirmesi, onarma, sınıflandırma, sıkıştırma, anlama ve yorumlama, v.b.) için sayısal bilgisayarlarla işlenmesi ile ilgilidir. Sayısal görüntü işlemenin temel basamakları Şekil 1.15’de blok diyagramı ile özetlenmiştir.



Şekil 1.15. Sayısal görüntü işlemenin temel basamakları

Görüntü işlemedeki ilk adım, sayısal görüntü elde etme işlemidir. Görüntüyü gerçek dünyadan bir film tabakasına veya bir hafıza birimine almamızı sağlayan, resim alıcılarıdır. Bu cihazlarda bir resim algılayıcısı ve algılanan resmi sayısal hale dönüştüren sayısallaştırıcı birim bulunmaktadır. Eğer resmi algılayıcısı resmi doğrudan sayısal hale dönüştürmüyorsa, algılayıcı tarafından elde edilen analog resim bir analog/dijital (A/D) dönüştürücü yardımıyla sayısal hale dönüştürülür. Sayısal kamera, tarayıcı ve sayısal fotoğraf makinesi analog resim veya görüntüleri sayısala dönüştüren yapılara örnek olarak verilebilir. Sayısal resim elde edildikten sonraki aşama ise ön-işleme'dir. Ön-işleme, elde edilen sayısal görüntüyü kullanmadan önce daha başarılı bir sonuç elde edebilmek amacıyla görüntünün bazı ön işlemlerden geçirilmesidir. Bu işlemler temel olarak; görüntü iyileştirme (image enhancement), görüntü onarma (image restoration) ve görüntü sıkıştırma (image compression) alt başlıkları altında toplanabilir. Şekil 1.15'de gösterildiği gibi görüntünün elde edilmesi ve ön işlemeye tabi tutulması **düşük seviyeli görüntü işleme** olarak adlandırılır.

Ön-işlemeden sonra bölütleme (segmentation) aşamasına geçilir. Bölütleme, görüntü işlemenin en zor uygulaması olup bir görüntüdeki nesne ve arka planın veya görüntü içerisindeki ilgilenilen değişik özelliklere sahip bölgelerin birbirinden ayrıştırılması işlemidir. Bölütleme; bir görüntüdeki nesnenin sınırları, şekli veya o nesnenin alanları gibi ham bilgiler üretir. Eğer nesnelerin şekilleriyle ilgileniyorsak, bölütleme bize o nesnenin kenarları, köşeleri ve sınırları hakkında bilgiler verir. Diğer taraftan görüntü içerisindeki nesnelerin yüzey kaplaması, alanı, renkleri, iskeleti gibi iç özellikleriyle ilgileniliyorsa bölgesel bölütleme yapılmalıdır. Karakter veya genel olarak örüntü (pattern) tanıma gibi oldukça karmaşık problemlerinin çözümü için her iki bölütleme yönteminin bir arada

kullanılması gerekebilmektedir. Bölütleme işleminden sonraki aşama, görüntünün gösterimi (simgelenmesi) ve tanımlanması'dır. Ham bilgiler, görüntüdeki ilgilenilen ayrıntı ve bilgilerin ön plana çıkarılması bu aşamada yapılır. Görüntünün bölütlenmesi, gösterimi ve tanımlanması **orta seviyeli görüntü işleme** grubuna girer.

Görüntülerin işlenmesindeki son aşama ise tanıma ve yorumlama'dır. **Yüksek seviyeli görüntü işleme** grubuna giren bu aşamada, çeşitli karar verme mekanizmaları ile görüntüdeki nesnelerin veya bölgelerin etiketlenilmesi (sınıflandırılması) yapılmaktadır. Yapay zekâ ve örüntü tanıma yüksek seviyeli görüntü işleme ile ilgilidir.

Bu anlamda görüntü işleme açısından bakıldığında insan algılama sistemi; görüntü yakalama, gruplama ve analiz konusunda bilinen en karmaşık sistemdir. İnsan görme sistemi gözlerle başlar. Göz bir fotoğraf makinesi gibi ve beynin görme bölümleri de analog temele dayanan bir görüntü işleme sistemi olarak düşünülebilir.

Görüntü işleme; askeri keşif ve gözetim, tıbbi teşhis, endüstriyel denetleme, güvenlik ve hukuk uygulamaları gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sayısal görüntü üzerinde yapılan işlemler

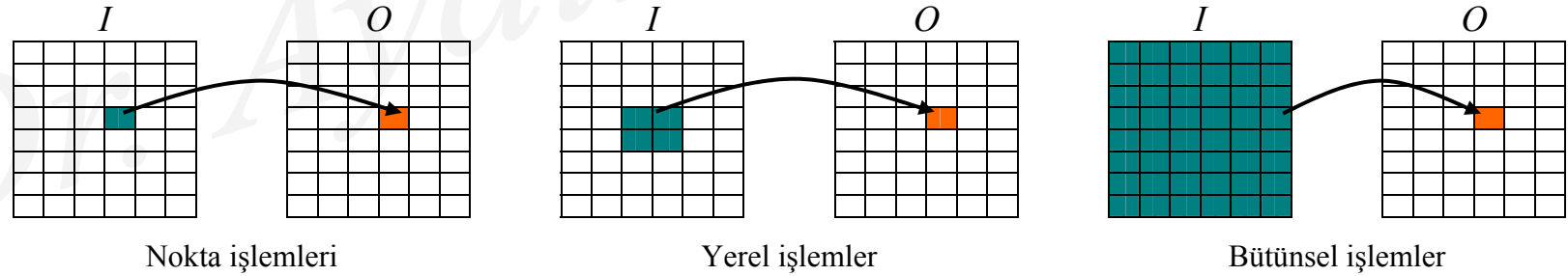
Görüntü işleme aşamasında yapılacak işlemlerin tümü görüntüyü oluşturan pikseller üzerinde yani bu piksellerin sahip olduğu gri seviye değerleri üzerinde gerçekleştirilir. Bu işlemler; *nokta işlemleri*, *yerel (bölgesel) işlemler* ve *bütünsel işlemler* olmak üzere üç grupta toplanabilir.

Nokta işlemlerinde, bir noktadaki çıkış gri seviyesi sadece ve sadece benzer noktadaki giriş gri seviyesine bağlıdır. Başka bir deyişle nokta işlemleri, kendisine komşu olan piksellerden bağımsız olarak bir pikselin gri seviyesinin değiştirilmesiyle ilgilidir.

Yerel (local) işlemlerde, bir noktadaki çıkış gri seviyesi bu noktanın komşuluğundaki giriş gri seviyelerine bağlıdır. Yerel işlemler için, uzay domeninde, çeşitli boyutlardaki maskelerden faydalanılır. Bu maskeler, görüntüdeki tüm pikseller üzerinde kaydırılarak görüntünün filtrelenmesinde kullanılır. Bu anlamda; görüntüdeki bulanıklaşmanın yok edilmesi, gürültünün temizlenmesi, kenar ve bölge özelliklerinin saptanması yerel işlemlere birer örnek olarak verilebilir.

Bütünsel (global) işlemlerde ise, bir noktadaki çıkış gri seviyesi giriş görüntüsündeki tüm gri seviye değerlerine bağlıdır.

$I(i, j)$ giriş görüntüsünü, $O(i, j)$ de çıkış görüntüsünü temsil etmek üzere, yukarıda ifade edilen görüntü işlemleri biçimsel olarak Şekil 1.16 ile verilebilir.



Şekil 1.16. Sayısal görüntü üzerinde yapılan işlemlerin gösterimi

1.5. Yararlanılan Kaynaklar

- [1] Onur G. Güteryüz, “Online lecture notes for digital image processing”,
<http://eeweb.poly.edu/%7Eonur/lectures/>
- [2] Lighting Handbook 8th Edition, Illuminating Engineering Society of North America, Apendix. 1993,
pp. 946-949.
- [3] J. S. Lim, “Two-dimensional signal and image processing”, Second Ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs,
NJ: 1990.
- [4] R. C. Gonzales, R. E. Wodds, “Digital image processing”, Addison-Wesley Pub., ABD, 1993.
- [5] M. Gökmen, “Image processing” ders notları, İTÜ.
- [6] A. Kızılkaya, “Taranmış bozuk görüntülerin kalitelerinin yazılım teknikleri ile artırılması”, Yüksek Lisans
Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 1997.
- [7] I. T. Young, J. J. Gerbrands, L. J. van Vliet, “Image processing fundamentals”,
<http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Contents.html>
- [8] B. Bayram, “Sayısal görüntü işleme”, <http://www.yildiz.edu.tr/~bayram/sgi/saygi.htm>