

# BSM409 Görüntü İşleme

## Bölüm 9 Morfolojik Görüntü İşleme

Dr. Öğr. Üyesi Caner ÖZCAN

Biçim ve özellik, yüz ve dudak.. Tıpkı kardeşim gibi büyüdüm..  
Benzerliklerimiz sanki beni o yaptı.. Ve birimiz diğerimiz için..  
~Henry Sambrooke Leigh, Carols of Cockayne, The Twins (İkizler)

# İçerik

## 9. Morfolojik Görüntü İşleme

- ▶ Ön Bilgi
- ▶ Aşınma (Erosion) ve Genişleme (Dilation)
- ▶ Açma (Opening) ve Kapama (Closing)
- ▶ Temel Bazı Morfolojik Algoritmalar

# Giriş

- ▶ **Morfoloji (biçimbilim):** En genel anlamıyla biyolojide hayvanlar ve bitkilerin biçim ve yapıları ile ilgili olan bir bilim dalıdır.
- ▶ Morfolojik görüntü işleme görüntüdeki sınırlar, iskeletler ve dışbükey zarf gibi bölgesel şekillerin tanım ve temsilinde görüntü bileşenlerini elde edebilmek için kullanılır.

# Ön bilgiler

## ► Yansıma

$\hat{B}$  ile ifade edilen bir  $B$  kümesinin yansıması,

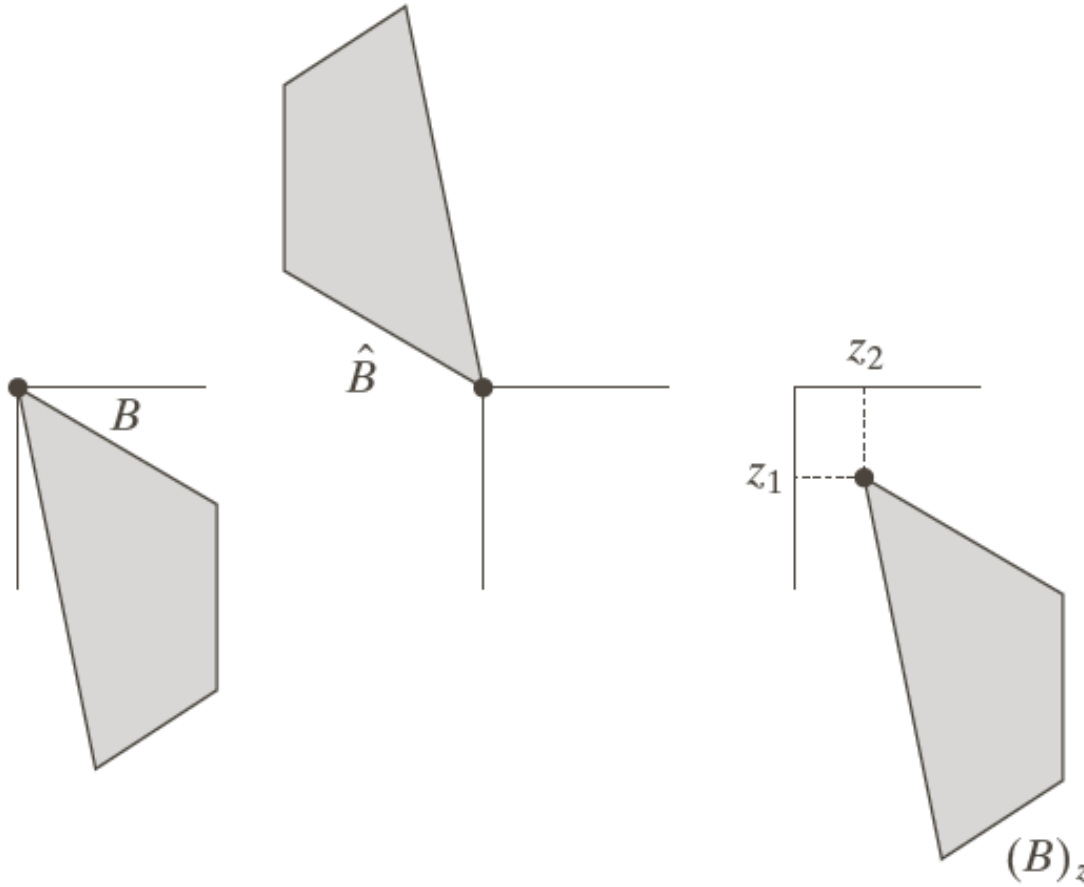
$$\hat{B} = \{w \mid w = -b, \text{for } b \in B\}$$

## ► Öteleme

Bir  $B$  kümesinin  $z = (z_1, z_2)$  noktası ile ötelenmesi  $(B)_z$  ile gösterilir.

$$(B)_z = \{c \mid c = b + z, \text{for } b \in B\}$$

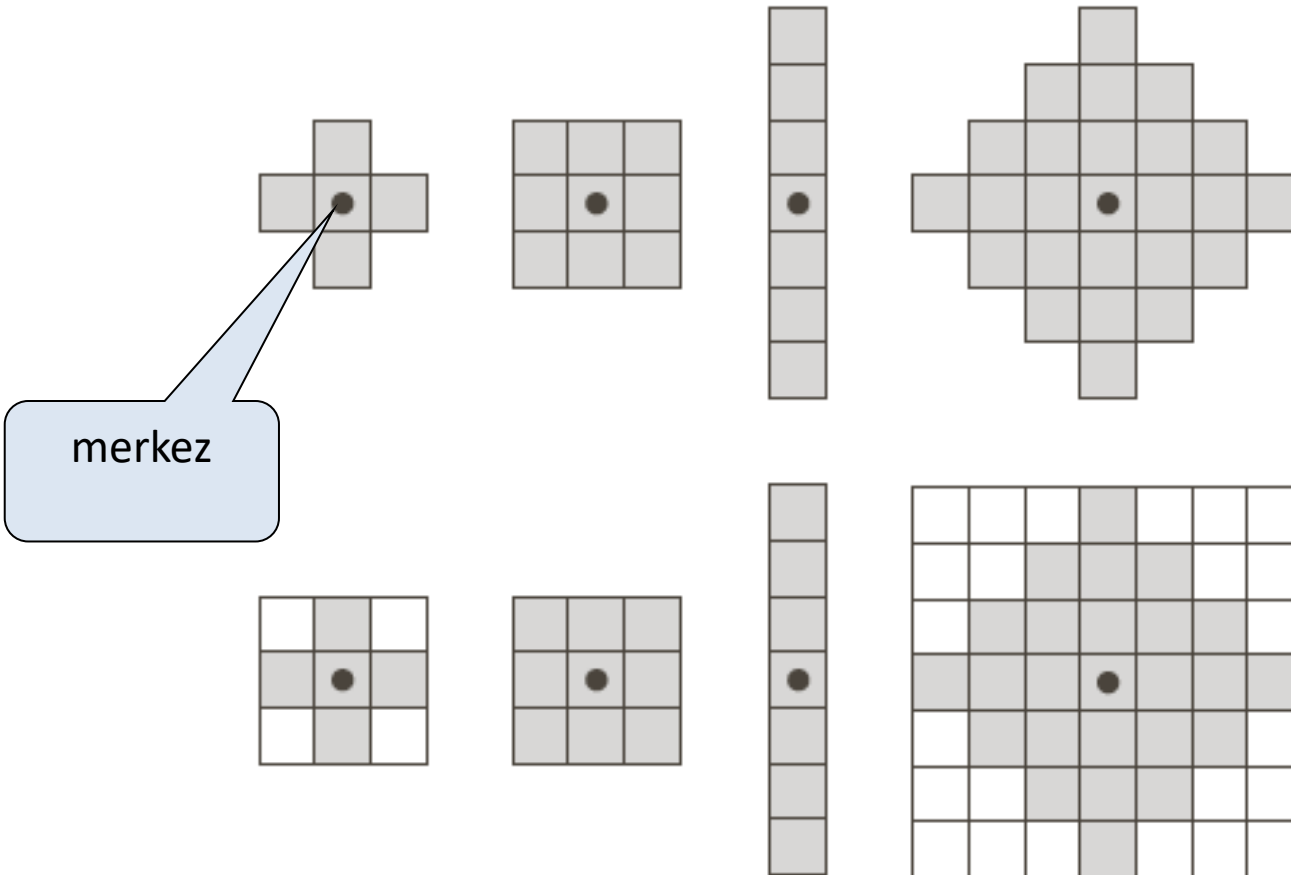
# Örnek: Yansıma ve Öteleme



a b c  
**ŞEKİL 9.1**  
(a) Bir grup, (b)  
grubun yansıması,  
(c) grubun  $z$  ile  
ötelemesi

# Örnekler: Yapısal Öğeler

İlgilenilen özellikler için çalışılan görüntüyü ifade edebilecek küçük kümeler veya alt görüntülerdir.

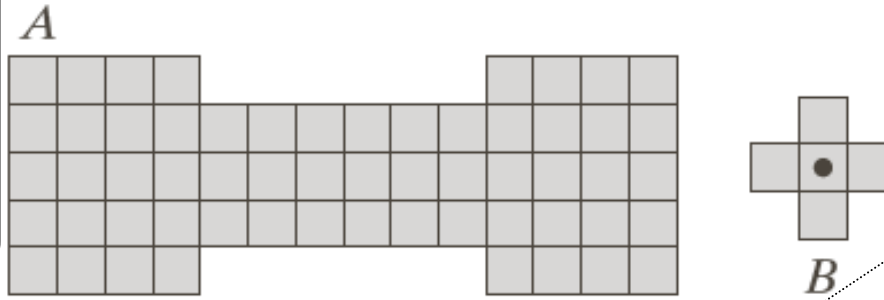


## ŞEKİL 9.2

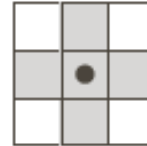
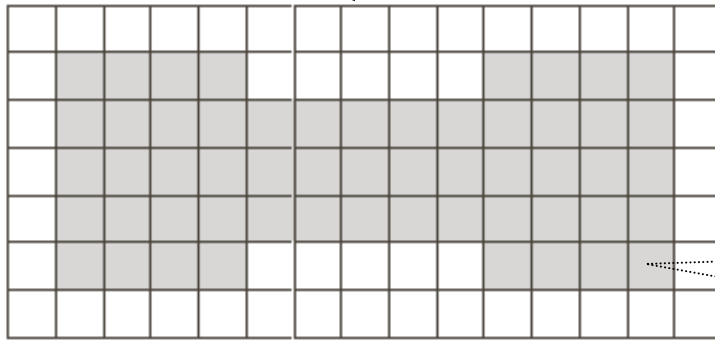
İlk satır: Yapısal öğelerin örnekleri. İkinci satır: Dikdörtgen biçimli dizilimlere çevrilmiş yapısal öğeler. Noktalar, yapısal elemanların merkezlerini gösterirler.

# Örnekler: Yapısal Öğeler

Orijini özgün kümenin sınırı üzerinde bulunduğunda, arka plan sınırı bütün yapısal elemanı yerleştirebilecek yeterli genişlikte olmalıdır.



B'nin orijini A'nın her bir elemanını tarar.



B'nin orijininin her bir konumunda, eğer B bütününü A'nın içerisinde kalıyorsa bu konumu yeni kümenin bir üyesi olarak işaretleyin değilse bu konumu yeni kümenin bir üyesi olmayacak şekilde işaretleyin.

a b  
c d e

**ŞEKİL 9.3** (a) Bir küme (herbir gölgeli alan kümenin bir üyesidir). (b) Bir yapısal eleman. (c) Dikdörtgen biçimli dizilim biçimini elde etmek için arkaplan bileşenleri ile dolgularanan küme ve arkaplan sınırı gösterimi. (d) Bir dikdörtgen biçimli dizilim şeklindeki yapısal eleman. (e) yapısal eleman ile işlenen küme.

# Aşınma (Erosion)

$Z^2$  içerisinde A ve B kümeleri olsun. A ve B'nin aşınması  $A\Theta B$  ile , gösterilir:

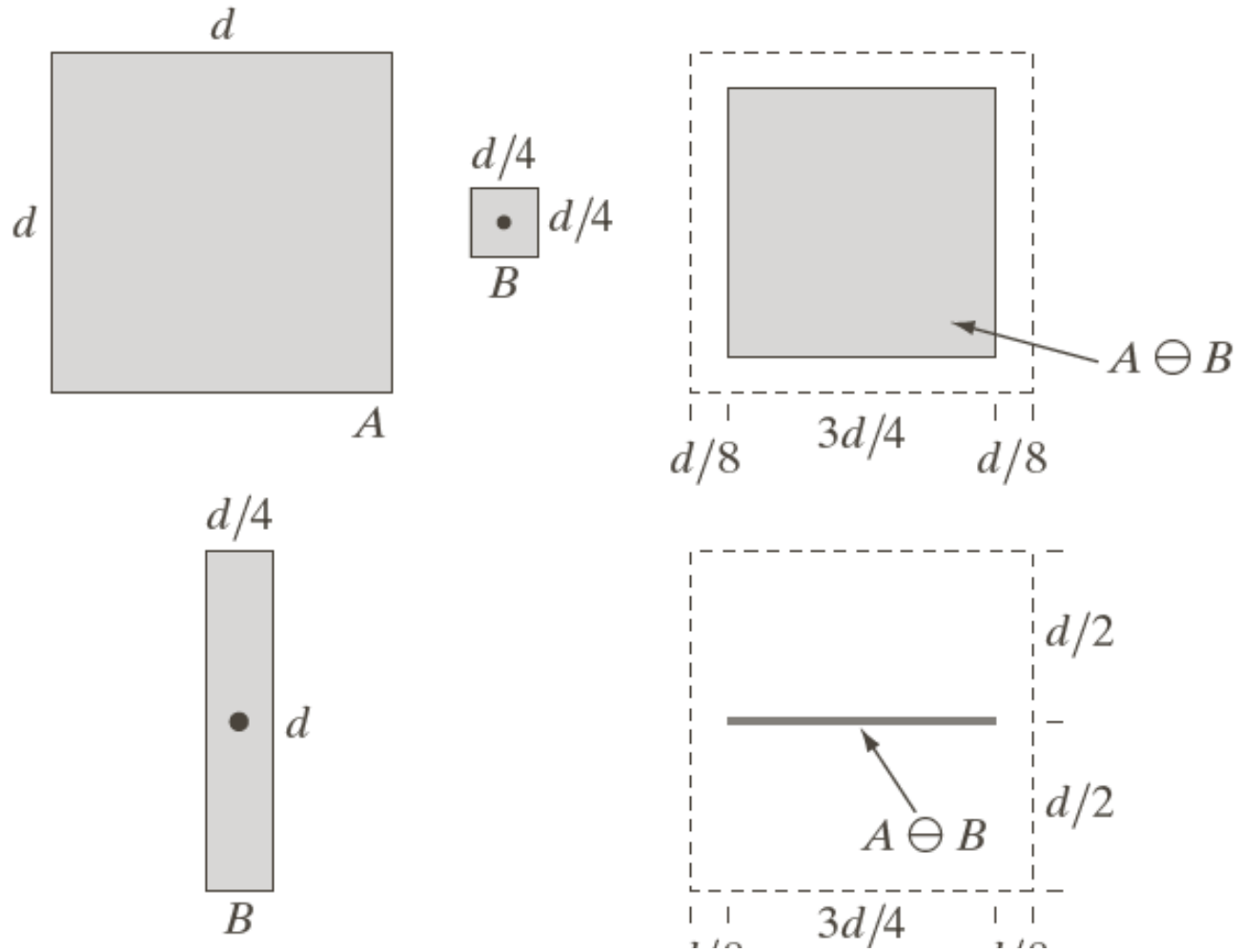
$$A\Theta B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\}$$

B'nin A içerisinde yer alabileceği bütün z noktaları kümesi olarak tanımlanır.

$$A\Theta B = \{z \mid (B)_z \cap A^c = \emptyset\}$$



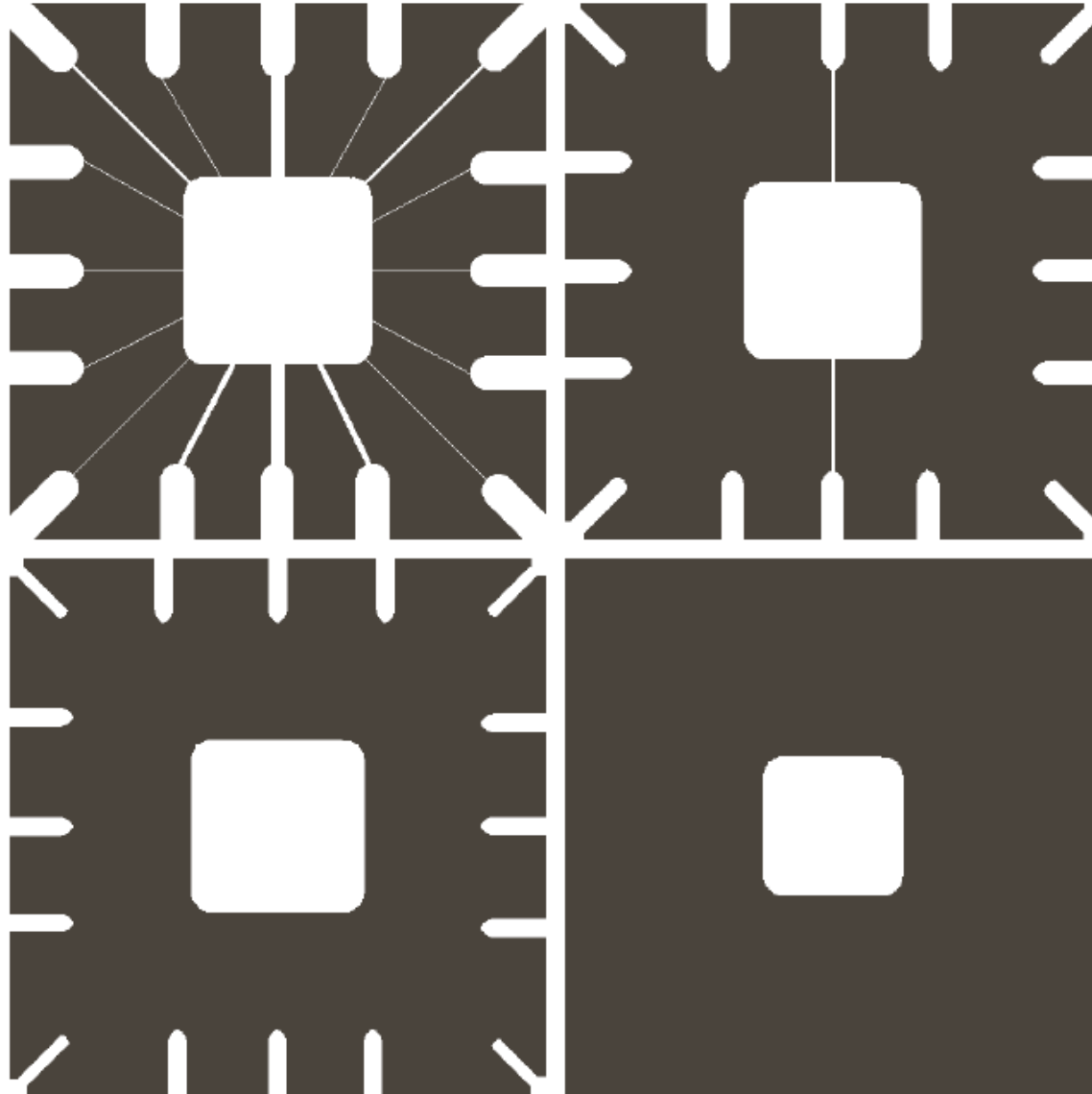
# Aşınma Örnek 1



a b c  
d e

**ŞEKİL 9.4** (a)  $A$  kümesi. (b) Kare biçimindeki  $B$  yapısal elemanı. (c)  $A$  ile  $B$ 'nin aşındırılması, gölgeli alan. (d) Boyuna uzatılmış yapısal eleman. (e) Bu elemanı kullanarak  $A$  ile  $B$ 'nin aşındırılması. (c) ve (d)'de gösterilen kesikli çizgi sadece referans amaçlı olarak  $A$ 'nın sınırını göstermek için verilmiştir.

## Aşınma Örnek 2



a b  
c d

### ŞEKİL 9.5

Görüntü bileşenlerini yok etmek için aşındırmayı kullanma. (a) İnce bağlantıları ihtiva eden  $486 \times 486$  piksel boyutlarındaki ikili bir görüntü. (b)-(d) Sırasıyla  $11 \times 11$ ,  $15 \times 15$  ve  $45 \times 45$  piksel boyutlarındaki yapısal elemanlar kullanarak görüntünün aşındırılması. Yapısal elemanın bütün elemanları “1” olarak alınmıştır.

# Genişleme (Dilation)

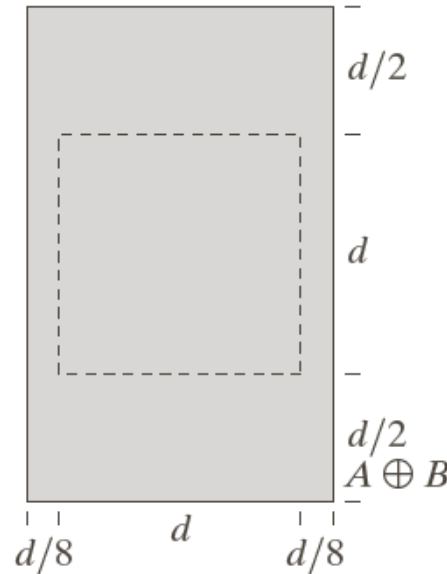
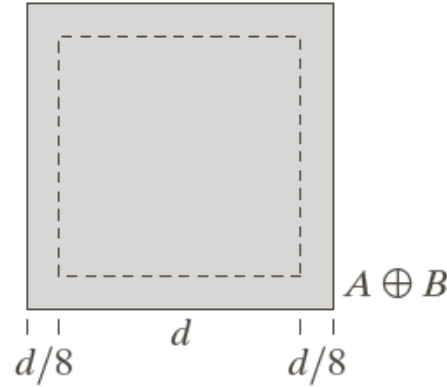
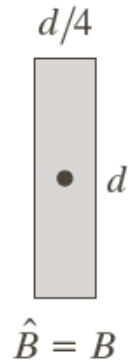
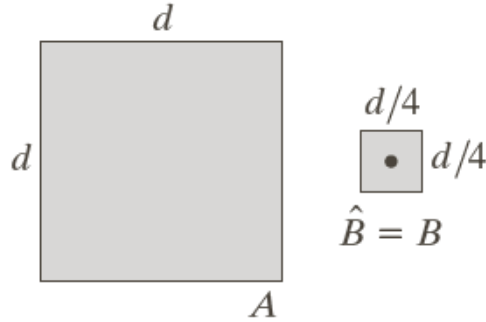
$Z^2$  içerisinde yer alan  $A$  ve  $\hat{B}$  kümeleri için  $A$ 'nın  $B$  ile genişlemesi  $A \oplus B$  ile gösterilir:

$$A \oplus B = \left\{ z \mid \left( \hat{B} \right)_z \cap A \neq \emptyset \right\}$$

$\hat{B}$  ve  $A$ 'nın en azından bir elemanı çakışacak biçimde bütün  $z$  kaymaları için bulunan değerleri ihtiva eden kümedir.

$$A \oplus B = \left\{ z \mid \left[ \left( \hat{B} \right)_z \cap A \right] \subseteq A \right\}$$

# Genişleme Örnek



a b c  
d e

**ŞEKİL 9.6**

(a)  $A$  kümesi. (b) Kare biçimindeki yapısal eleman (nokta orijini göstermektedir). (c)  $A'$  'nın  $B$  ile genişlemesi, gölge gösterim. (d) Dikey uzatılmış yapısal eleman. (e) Bu elemanı kullanarak  $A'$  'nın genişlemesi. (c) ve (e)' deki kesikli çizgi referans için gösterilmiş olup,  $A$  kümesinin sınırındır.

# Genişleme Örnek

Historically, certain computer programs were written using only two digits rather than four to define the applicable year. Accordingly, the company's software may recognize a date using "00" as 1900 rather than the year 2000.



Historically, certain computer programs were written using only two digits rather than four to define the applicable year. Accordingly, the company's software may recognize a date using "00" as 1900 rather than the year 2000.



0	1	0
1	1	1
0	1	0

a c  
b

## ŞEKİL 9.7

(a) Kırık karakterler bulunan düşük çözünürlüklü örnek bir yazı (kırık karakterler için büyütülmüş görünüme bakınız). (b) Yapısal eleman. (c) (a)'nın (b) ile genişlemesi sonucu kırık bölümler birleştirilmiştir.

# Çifteşlik

- ▶ Aşınma ve genişleme küme tamlayanı ve yansıması olarak düşünüldüğünde biri diğerinin çiftidir. Eşitlikler;

$$(A \ominus B)^c = A^c \oplus \hat{B}$$

ve

$$(A \oplus B)^c = A^c \ominus \hat{B}$$

# Çifteşlik

- Aşınmanın matematiksel tanımı verilecek olursa,

$$\begin{aligned}(A \ominus B)^c &= \left\{ z \mid (B)_z \subseteq A \right\}^c \\ &= \left\{ z \mid (B)_z \cap A^c = \emptyset \right\}^c \\ &= \left\{ z \mid (B)_z \cap A^c \neq \emptyset \right\} \\ &= A^c \oplus \hat{B}\end{aligned}$$

# Çifteşlik

- Genişlemenin matematiksel tanımı verilecek olursa,

$$\begin{aligned}(A \oplus B)^c &= \left\{ z \mid \left( \hat{B} \right)_z \cap A \neq \emptyset \right\}^c \\ &= \left\{ z \mid \left( \hat{B} \right)_z \cap A^c = \emptyset \right\} \\ &= A^c \in \hat{B}\end{aligned}$$



# Açma ve Kapama

- ▶ Açma, objenin dış hatlarını yumuşatır, dar geçitleri koparır, küçük çıkıntıları yok eder.
- ▶ Kapama, hatları yumuşatmaya çalışır, fakat açmanın tersine, küçük kırıkları ve uzun ince geçitleri birleştirir, küçük delikleri yok eder ve hat üzerindeki aralıkları doldurur.

# Açma ve Kapama

$A$  kümesinin  $B$  yapısal elemanı ile açılması  $A \circ B$  ile gösterilir:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

$A$  kümesinin  $B$  yapısal elemanı ile kapanması  $A \bullet B$  ile gösterilir:

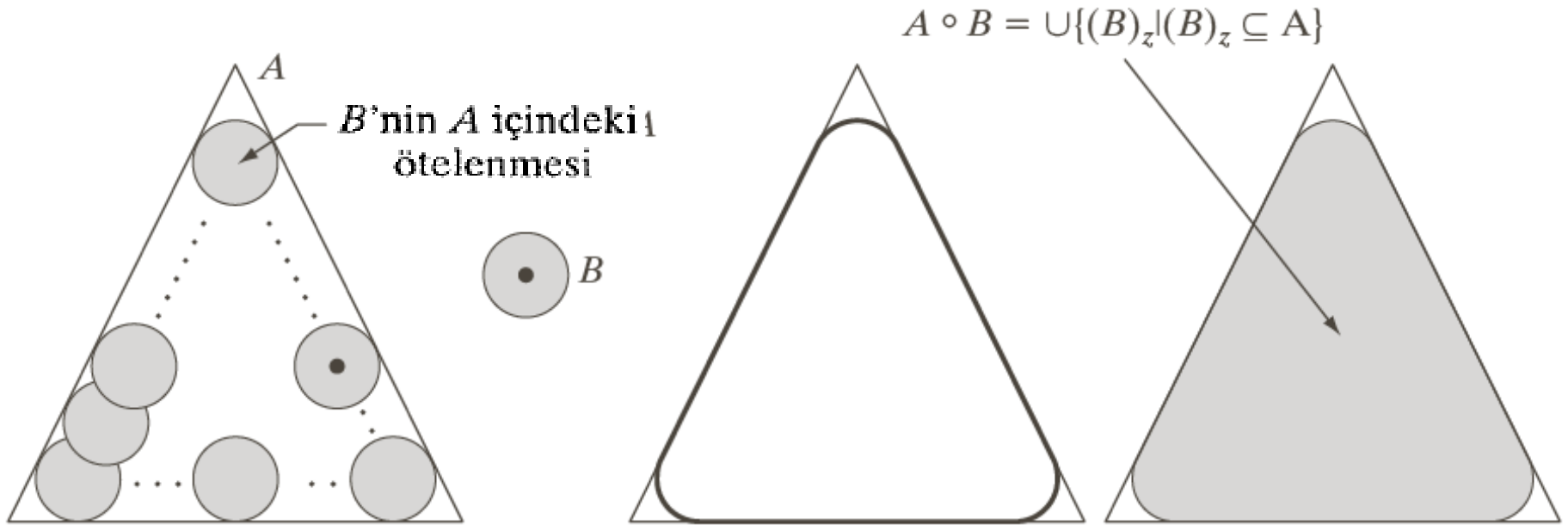
$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

# Açma

$A$  kümesinin  $B$  yapısal elemanı ile açılması şu şekilde de gösterilir:

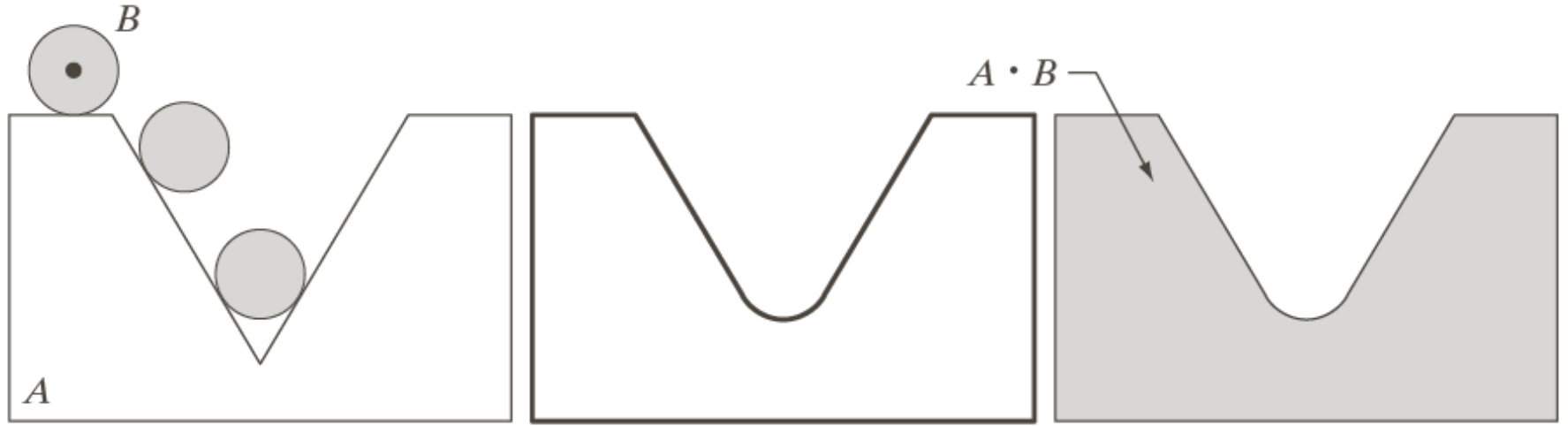
$$A \circ B = \bigcup \{ (B)_Z \mid (B)_Z \subseteq A \}$$

# Örnek: Açma



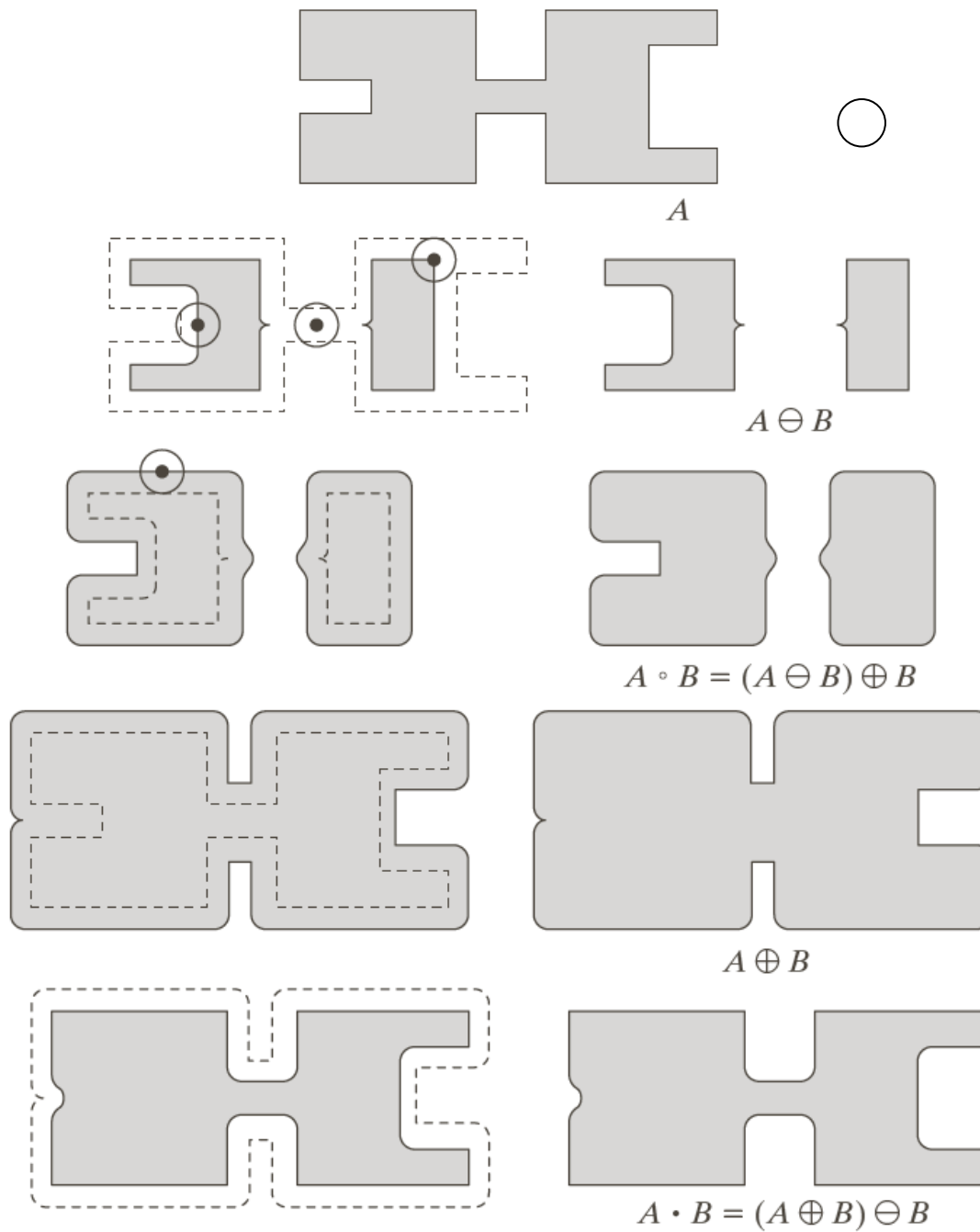
**ŞEKİL 9.8** (a)  $A$ 'nin sınırının içerisi boyunca "yuvarlanan"  $B$  yapısal elemanı (kesikli çizgi  $B$ 'nin orijinini göstermektedir). (b) Yapısal eleman. (c) Kalın çizgi açmanın dış sınırını göstermektedir. (d) Tamamlanmış açma işlemi (gölgeli gösterim). Daha iyi gösterebilmek için (a)'daki  $A$  gölgeli gösterilmemiştir.

# Örnek: Kapama



a b c

**ŞEKİL 9.9** (a)  $A$  kümesinin sınırının dışı boyunca “yuvarlanan”  $B$  yapısal elemanı. (b) Kalın çizgi kapamanın dış sınırını göstermektedir. (c) Tamamlanmış kapama işlemi (gölgeli gösterim). Daha iyi gösterebilmek için (a)’daki  $A$  gölgeli gösterilmemiştir.



a  
b c  
d e  
f g  
h i

### ŞEKİL 9.10

Morfolojik açma ve kapama işlemi. Yapısal eleman (b)'de değişik konumlarda gösterilen küçük dairedir. Yapısal elemanın anlamlılığının artırılması için gölgeli gösterilmemiştir. Siyah nokta yapısal elemanın merkezidir.

# Açma ve Kapamanın Çifteşliği

- ▶ Açma ve kapama işlemleri de tamamlama ve yansıma kümeleri ile ilgili olarak biri diğ erinin ç ifteş idir ve ş u ş ekilde ifade edilir:

$$(A \bullet B)^c = (A^c \circ \hat{B})$$

$$(A \circ B)^c = (A^c \bullet \hat{B})$$



a b  
d c  
e f

### ŞEKİL 9.11

(a) Gürültülü görüntü. (b) Yapısal eleman (c) Aşınmış görüntü. (d)  $A$ 'nin açılması. (e) Açılmanın genişletilmesi. (f) Açılmanın kapatılması. (Orijinal görüntü National Institute of Standards and Technology' nin izniyle kullanılmıştır.).



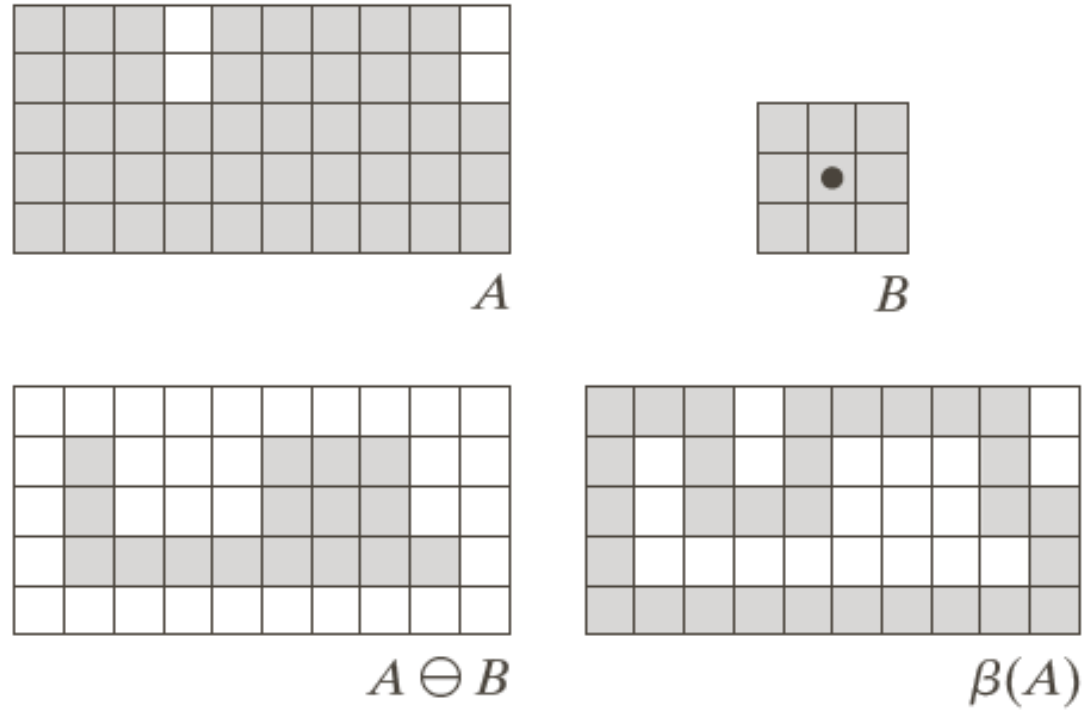
# Bazı Temel Morfolojik Algoritmalar

## ► Sınır Çıkarma

A kümesinin sınırı, önce A kümesini B ile aşındırıp daha sonra A ve A'nın aşındırılmış hali arasındaki küme farkını oluşturarak elde edilebilir.

$$\beta(A) = A - (A \ominus B)$$

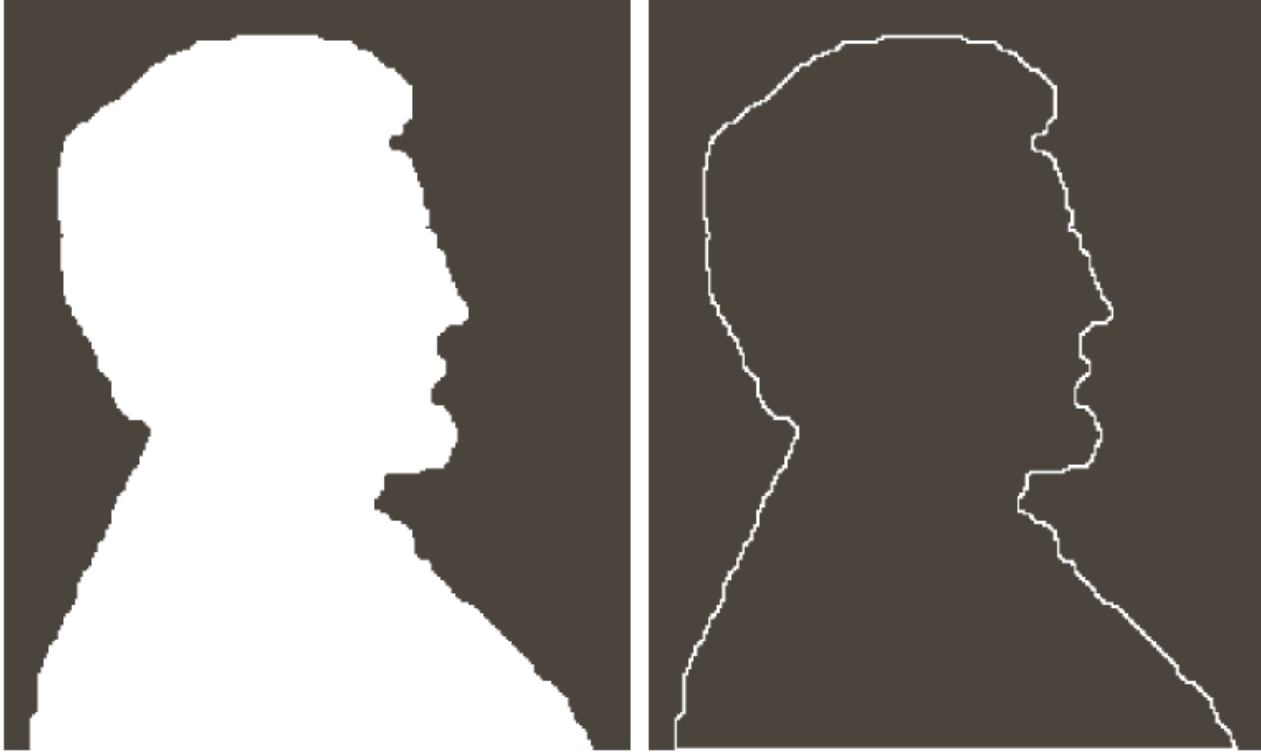
# Örnek



a b  
c d

**ŞEKİL 9.13** (a)  $A$  kümesi. (b)  $B$  Yapısal elemanı. (c)  $B$  ile aşınmış  $A$ . (d)  $A$  ve aşınmış hali arasındaki küme farkı ile elde edilen sınır.

# Örnek



a b

## ŞEKİL 9.14

(a) “1” lerin beyaz olarak gösterildiği basit bir ikili görüntü. (b) Şekil 9.13(b)’deki yapısal eleman ile Eşitlik (9.5-1)’in uygulama sonucu.

# Bazı Temel Morfolojik Algoritmalar

## ► Delik Doldurma

Bir delik, bağlantılı önplan piksellerin sınırı ile sarılmış bir arkaplan bölge gibi tanımlanabilir.

Her bir sınırı bir arkaplan bölgeyi çevreleyen (örneğin bir delik) 8-bağlı sınırlar kümesi  $A$  ile gösterelim.

Amaç, bütün delikler için, her bir delikte verilen noktalara "1" ler dolgulamaktır.

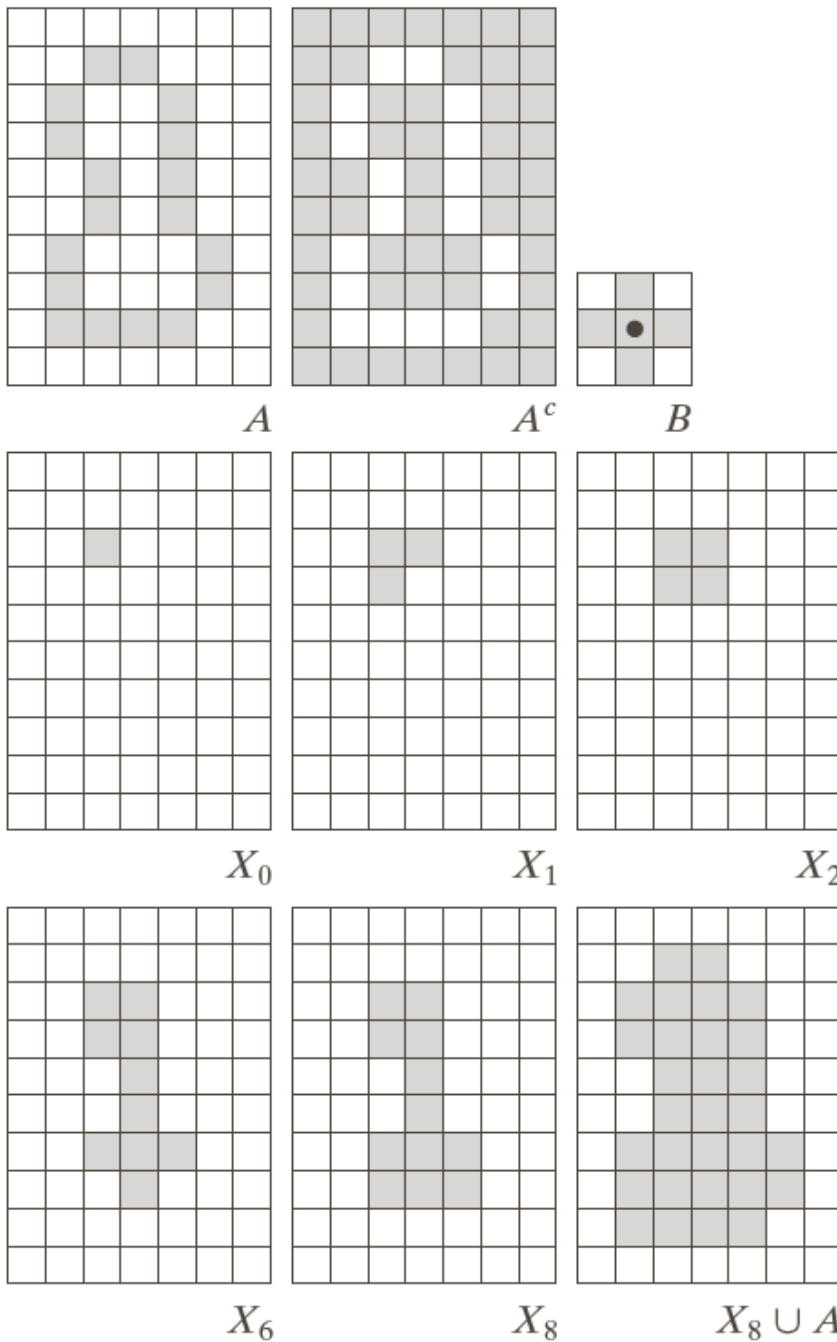
# Bazı Temel Morfolojik Algoritmalar

## ► Delik Doldurma

1. Bu işleme her bir delik içerisinde "1" olarak düzenlenmiş mevcut  $X_0$ 'daki bölgeler hariç, "0" lar dolgulanmış uygun bir  $X_0$  dizisi oluşturarak başlanır. Aşağıdaki eşitliğe uygun olarak bütün delikler "1" ler ile doldurulur.

$$2. \quad X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c \quad k=1,2,3,\dots$$

Şayet  $X_k = X_{k-1}$  ise algoritma sonlanır.



a b c  
d e f  
g h i

### ŞEKİL 9.15

Delik doldurma.

(a)  $A$  kümesi (göl-  
geli alan). (b)  $A'$

nın tamlayanı. (c)

$B$  yapısal elemanı.

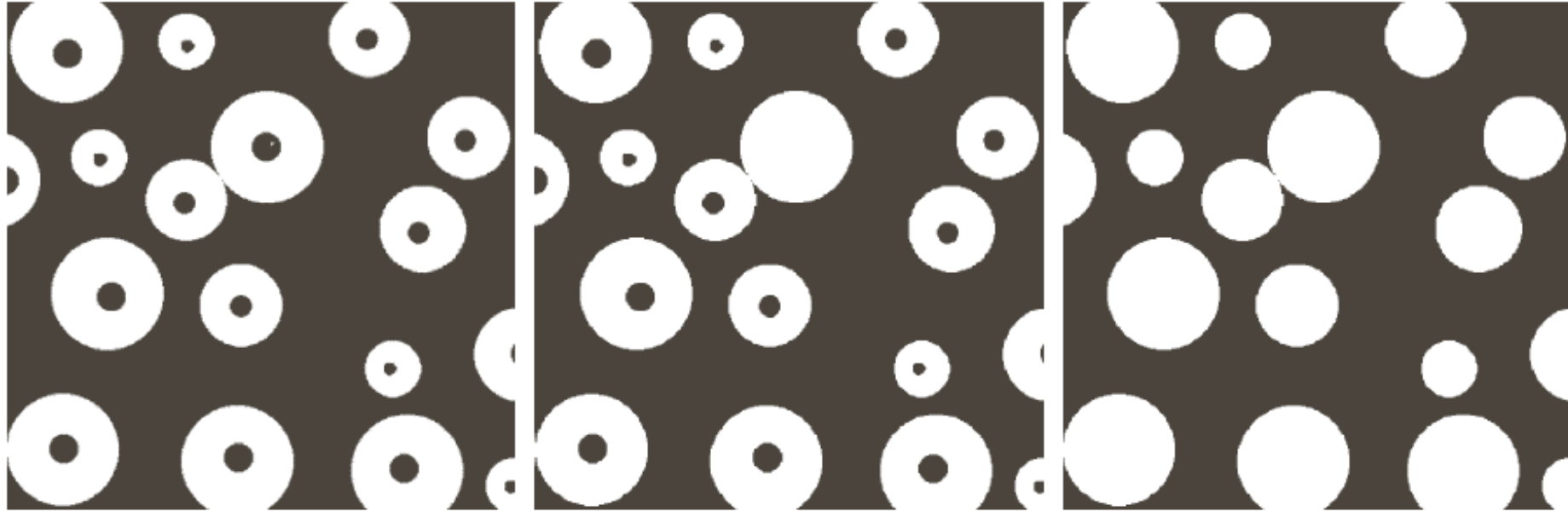
(d) Sınır içerisin-  
deki başlangıç

noktası. (e)-(h)

Eşitlik (9.5-2)'nin  
değişik adımları.

(i) Sonuç [(a) ve

(h)'nin birleşimi].



a b c

**ŞEKİL 9.16** (a) İkili görüntü (Bölgelerin birisi içerisindeki beyaz nokta delik doldurma algoritması için başlama noktasıdır). (b) Bu bölgenin doldurulmasının sonucu. (c) Bütün deliklerin doldurulması sonucu.

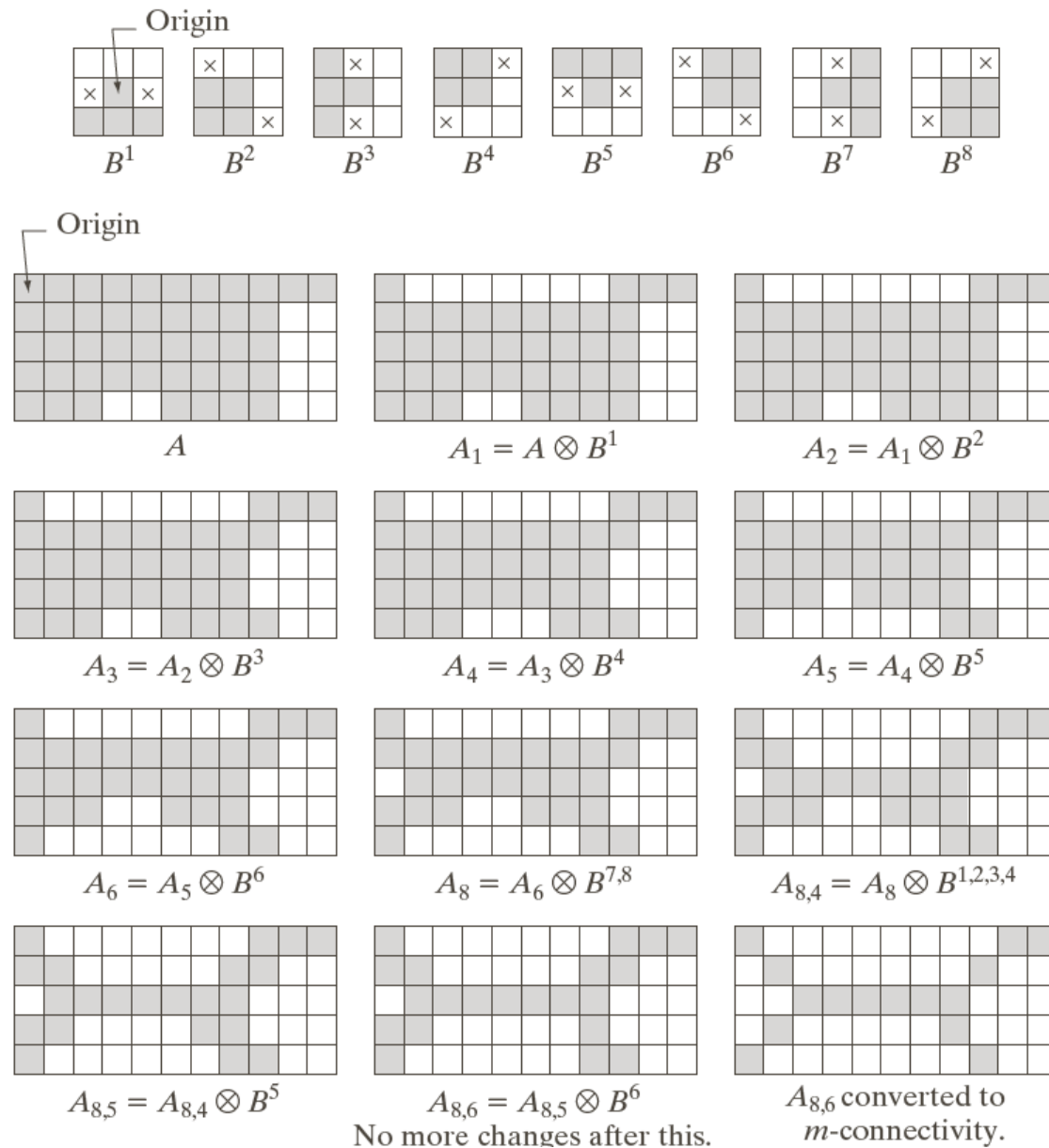
# Bazı Temel Morfolojik Algoritmalar

## ► İnceltme

Bir  $A$  kümesinin  $B$  yapısal elemanı ile inceltilmesi  $A \otimes B$  ile gösterilir.

$$\begin{aligned} A \otimes B &= A - (A \circledast B) \\ &= A \cap (A \circledast B)^c \end{aligned}$$





**ŞEKİL 9.21** (a) İnceltme için kullanılan döndürülmüş yapısal elemanlar dizisi. (b)  $A$  kümesi. (c) İlk eleman ile inceltme sonucu. (d)-(i) Sonraki yedi eleman ile inceltme sonuçları (Yedinci ve sekizinci elemanlar arasında değişim yoktur). (j) İlk dört elemanın tekrar kullanılması sonucu. (l) Yakınsamadan sonraki sonuç. (m)  $m$ -bağlıya dönüştürme.

# Bazı Temel Morfolojik Algoritmalar

## ► Kalınlaştırma:

Kalınlaştırma aşağıdaki eşitlikteki gibi ifade edilir.

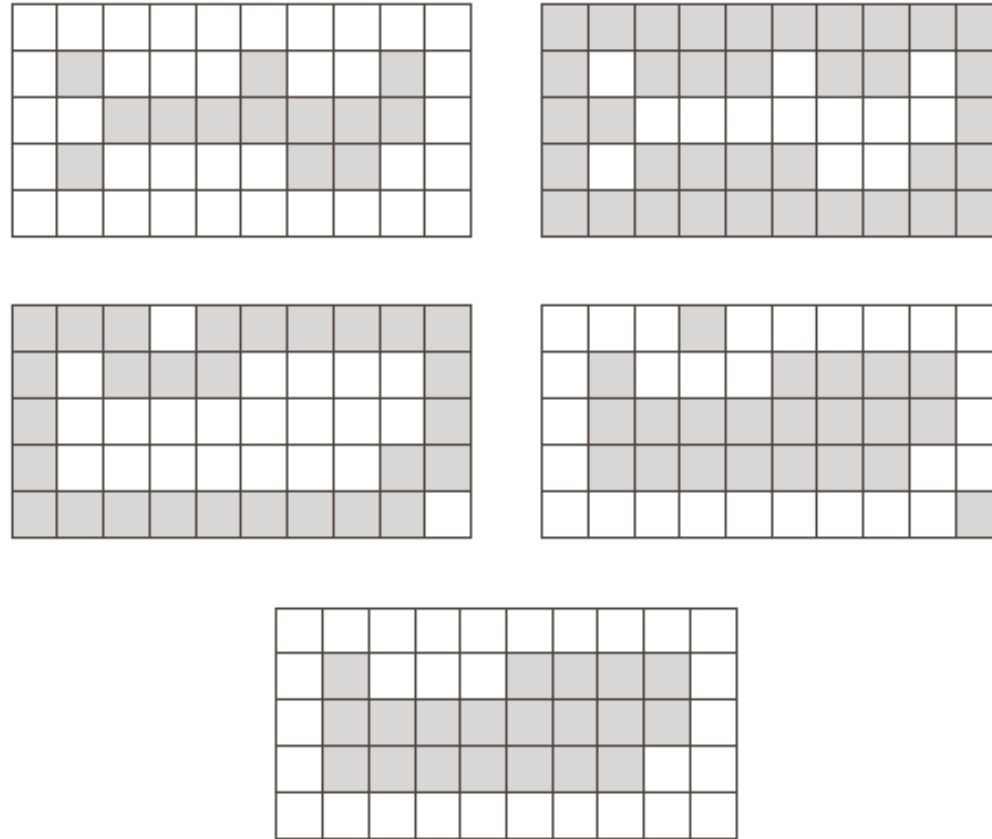
$$A \odot B = A \cup (A * B)$$

A'nın kalınlığı bir dizi işlemi ile tanımlanabilir.

$$A \odot \{B\} = (((...((A \odot B^1) \odot B^2)...) \odot B^n)$$

Uygulamada, kümenin arkaplanını inceltmek ve daha sonra sonucun tamlayanını elde etmektir.

# Bazı Temel Morfolojik Algoritmalar



a b  
c d  
e

**ŞEKİL 9.22** (a)  $A$  kümesi. (b)  $A'$  nın tamlayanı. (c)  $A'$  nın tamlayanını inceltme sonucu. (d) (c) şikkında tamlama ile elde edilen kümenin kalınlaştırılması. (e) Kopuk nokta bulunmayan sonuç.

# Python Kodları

## ► Erozyon ve Genişleme

```
import cv2
import numpy as np

img = cv2.imread('input.png', 0)

kernel = np.ones((5,5), np.uint8)

img_erosion = cv2.erode(img, kernel, iterations=1)
img_dilation = cv2.dilate(img, kernel, iterations=1)

cv2.imshow('Input', img)
cv2.imshow('Erosion', img_erosion)
cv2.imshow('Dilation', img_dilation)

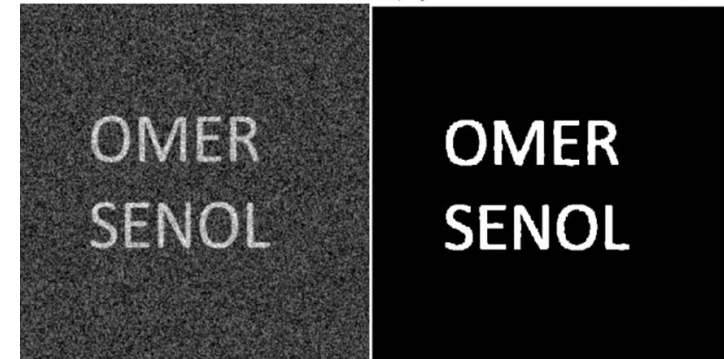
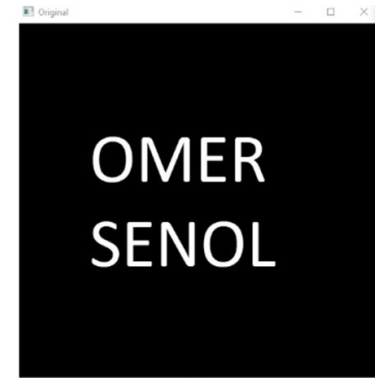
cv2.waitKey(0)
```



# Python Kodları

## ► Açma

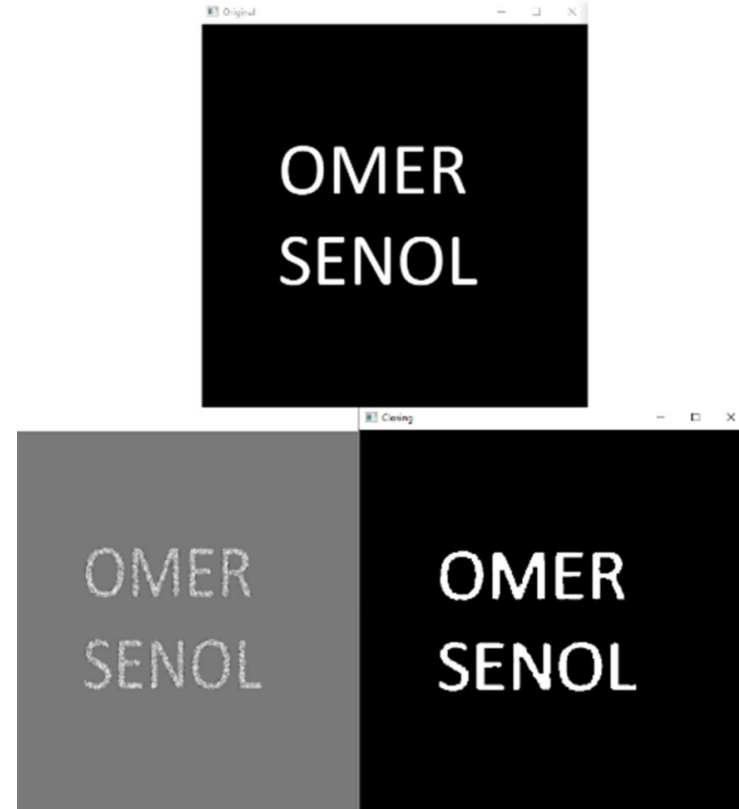
```
1  img = cv2.imread("isim.png",0)
2  cv2.imshow("Original",img)
3  cv2.waitKey(0)
4
5  kernel = np.ones((5,5),dtype=np.uint8)
6
7  whiteNoise = np.random.randint(0,2,size=img.shape[:2])
8  whiteNoise = whiteNoise*255
9  noise_img = whiteNoise + img
10
11  opening = cv2.morphologyEx(noise_img.astype(np.float32),cv2.MORPH_OPEN,kernel)
12  cv2.imshow("Opening",opening)
13  cv2.waitKey(0)
```



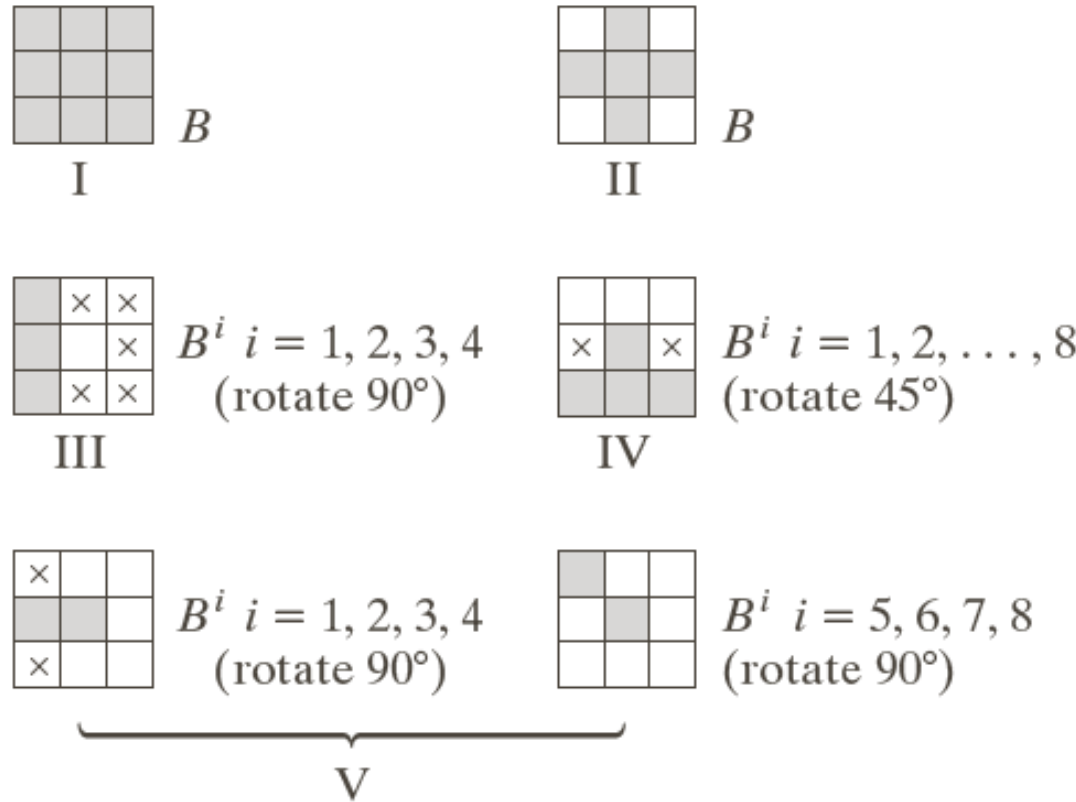
# Python Kodları

## ► Kapama

```
1  img = cv2.imread("isim.png",0)
2  cv2.imshow("Original",img)
3  cv2.waitKey(0)
4
5  kernel = np.ones((5,5),dtype=np.uint8)
6
7  blackNoise = np.random.randint(0,2,size=img.shape[:2])
8  blackNoise = blackNoise*-255
9  noise_img = blackNoise + img
10 noise_img[noise_img <=-245] = 0
11
12 closing = cv2.morphologyEx(noise_img.astype(np.float32),cv2.MORPH_CLOSE,kernel)
13 cv2.imshow("Closing",closing)
14 cv2.waitKey(0)
```



# Özet



**ŞEKİL 9.33**

İkili morfoloji için kullanılan beş temel tip yapısal eleman. Herbir elemanın orijini merkezdedir ve  $\times$ 'lar “dikkate alınmayan” değerleri gösterirler.

# Özet

İşlem	Eşitlik	Yorumlar (Romen rakamları Şekil 9.33'deki yapısal elemanlara atıf yaparlar)
Öteleme	$(B)_z = \{w   w = b + z, \text{ for } b \in B\}$ için	$B$ 'nin orijinini $z$ noktasına öteler.
Yansıma	$\hat{B} = \{w   w = -b, b \in B\}$ için	$B$ 'nin bütün elemanlarını bu kümenin orijinine yansıtır.
Tamlama	$A^c = \{w   w \notin A\}$	$A$ 'da bulunmayan noktalar kümesi.
Fark	$A - B = \{w   w \in A, w \notin B\} = A \cap B^c$	$A$ 'ya ait fakat $B$ 'ye ait olmayan noktalar kümesi.
Genişleme	$A \oplus B = \{z   (\hat{B}_z) \cap A \neq \emptyset\}$	$A$ 'nın sınırını "Genişletir". (I)
Aşınma	$A \ominus B = \{z   (B)_z \subseteq A\}$	$A$ 'nın sınırını "Daraltır". (I)
Açma	$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$	Konturları düzleştirir, dar yolları koparır, ve küçük adacıkları ve sivri tepeleri yokeder. (I)

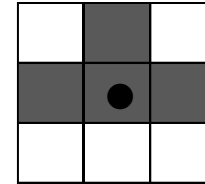
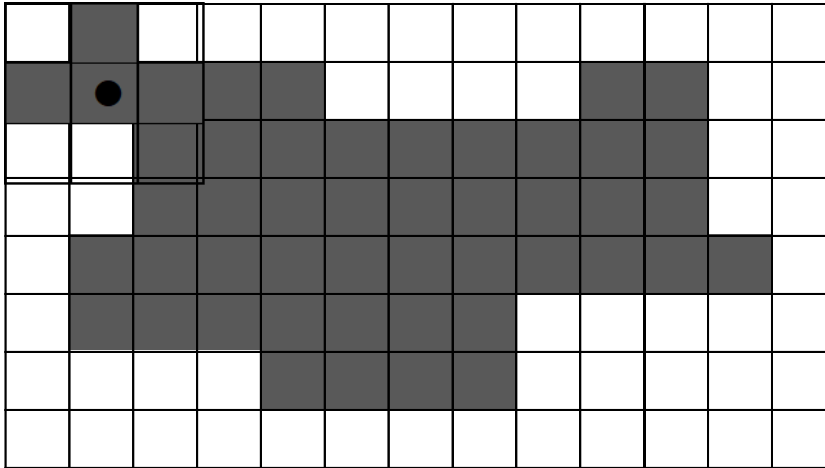
**TABLO 9.1**  
Morfolojik işlemlerin özeti ve özellikleri.



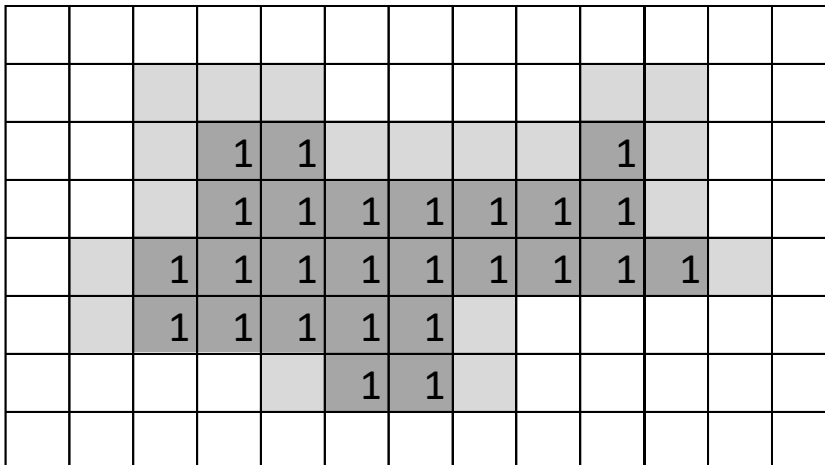
İşlem	Eşitlik	Yorumlar (Romen rakamları Şekil 9.33’ deki yapısal elemanlara atıf yaparlar)
Kapama	$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$	Konturları düzleştirir, küçük kopuklukları ve uzun ince geçitleri birleştirir, ve küçük delikleri yok eder.
Yakala- veya ıskala dönüşümü	$A \otimes B = (A \ominus B_1) \cap (A^c \ominus B_2)$ $= (A \ominus B_1) - (A \oplus \hat{B}_2)$	$B_1$ ’ in $A$ içerisinde ve $B_2$ ’ nin $A^c$ içerisinde eşzamanlı olarak benzerliklerinin bulunduğu noktalar kümesi.
Sınır çıkarma	$\beta(A) = A - (A \ominus B)$	$A$ kümesinin sınırı üzerindeki noktalar kümesi
Delik doldurma	$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c$ ; $k = 1, 2, 3, \dots$	$A$ ’ daki delikleri doldurur; $X_0$ = herbir delikteki bir adet “1” ile 0’ lardan oluşan dizi.
Bağlı bileşenler	$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A$ ; $k = 1, 2, 3, \dots$	$A$ ’ daki bağlı bileşenleri bulur; $X_0$ = herbir bağlı bileşen içerisinde bir adet “1” ve 0’ lar dizisi. (I)
Dışbükey zarf	$X_k^i = (X_{k-1}^i \oplus B^i) \cup A$ ; $i = 1, 2, 3, 4$ ; $k = 1, 2, 3, \dots$ ; $X_0^i = A$ ; ve $D^i = X_{\text{conv}}^i$	$A$ kümesinin $C(A)$ dışbükey zarfını bulur. Eşitlikteki “conv”, $X_k^i = X_{k-1}^i$ uyarınca yakınsamayı göstermektedir. (III)
İnceltme	$A \otimes B = A - (A \otimes B)$ $= A \cap (A \otimes B)^c$ $A \otimes \{B\} =$ $((\dots((A \otimes B^1) \otimes B^2) \dots) \otimes B^n)$ $\{B\} = \{B^1, B^2, B^3, \dots, B^n\}$	$A$ kümesini inceltir. İlk iki eşitlik inceltmenin temel tanımını verir. Son eşitlikler yapısal elemanlar dizisi ile inceltmeyi ifade ederler. Bu yöntem genelde pratikte kullanılır. (IV)
Kalın- laştırma	$A \odot B = A \cup (A \otimes B)$ $A \odot \{B\} =$ $((\dots(A \odot B^1) \odot B^2 \dots) \odot B^n)$	$A$ kümesini kalınlaştırır (Yapısal elemanları dizisi ile ilgili önceki yorumlara bakınız). 0’ lar ile IV’ ü kullanır ve 1’ ler tersine çevrilirler.
İskeletler	$S(A) = \bigcup_{k=0}^K S_k(A)$ $S_k(A) = \bigcup_{k=0}^K \{(A \ominus kB)$ $- [(A \ominus kB) \circ B]\}$ $\mathcal{A}$ ’ yı geriçatma $A = \bigcup_{k=0}^K (S_k(A) \oplus kB)$	$A$ kümesinin $S(A)$ iskeletini bulur. Son eşitlik $A$ ’ nın kendi iskelet altkümesi $S_k(A)$ ’ dan geriçatılabileceğini göstermektedir. Her üç eşitlikteki $K$ , $A$ boş bir küme oluncaya kadar aşındırma işleminden sonraki yineleme adımının değeridir. $(A \ominus kB)$ notasyonu, $A$ ’ nın $B$ ile ardışıl aşındırma

**TABLO 9.1**  
**Morfolojik işlemlerin özeti ve özellikleri.**

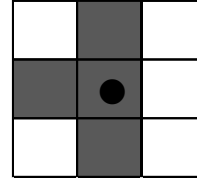
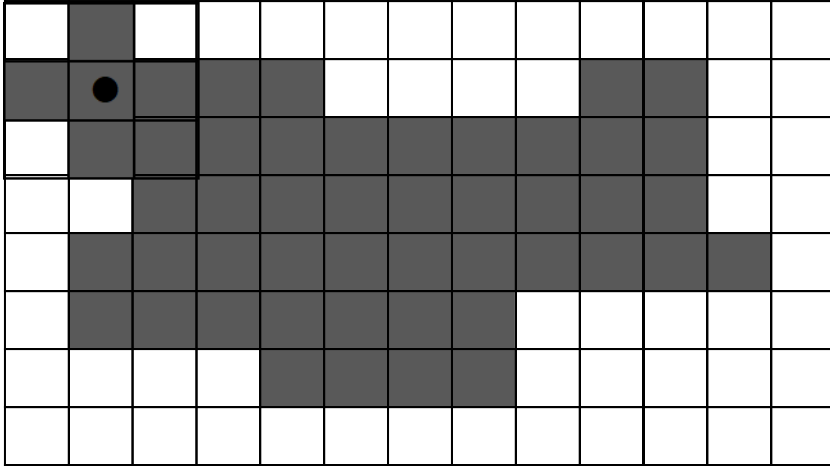
# Örnek Soru: Erozyon



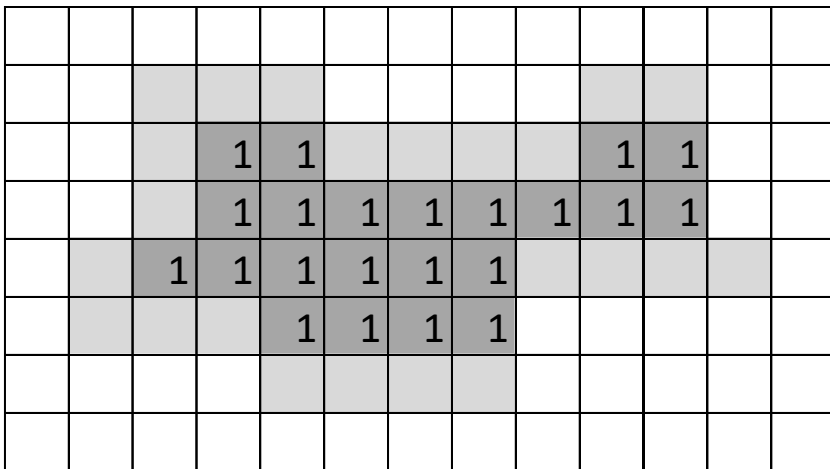
If perfect match    center =1  
If partial match    center=0  
No match            center=0



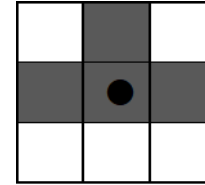
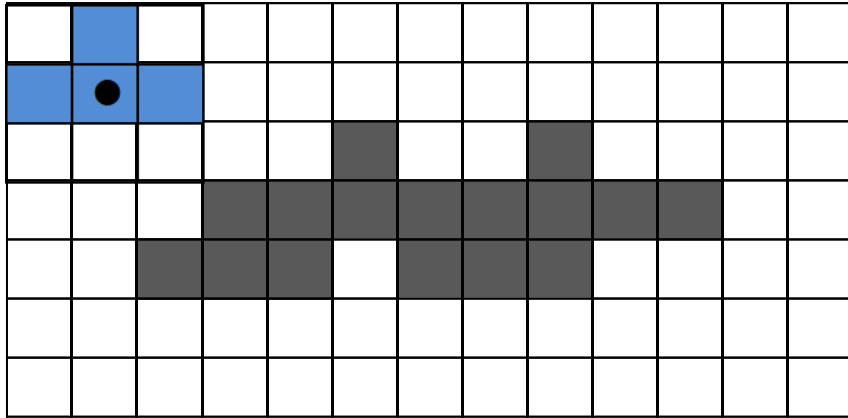
# Örnek Soru: Erozyon



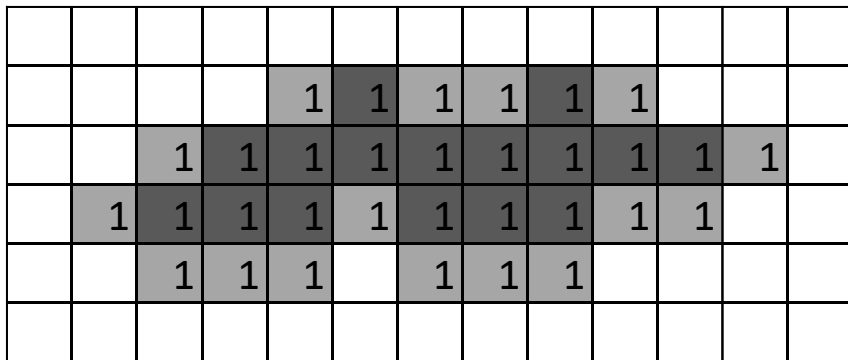
If perfect match    center =1  
If partial match    center=0  
No match            center=0



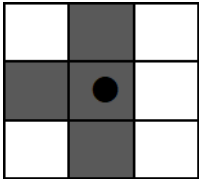
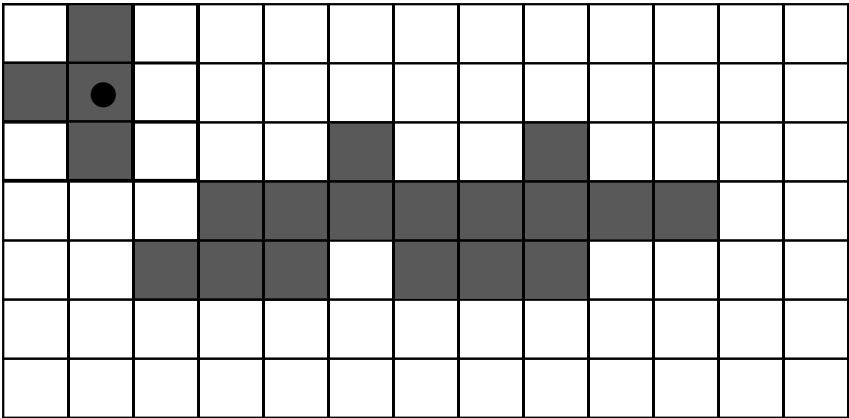
## Örnek Soru: Genişleme



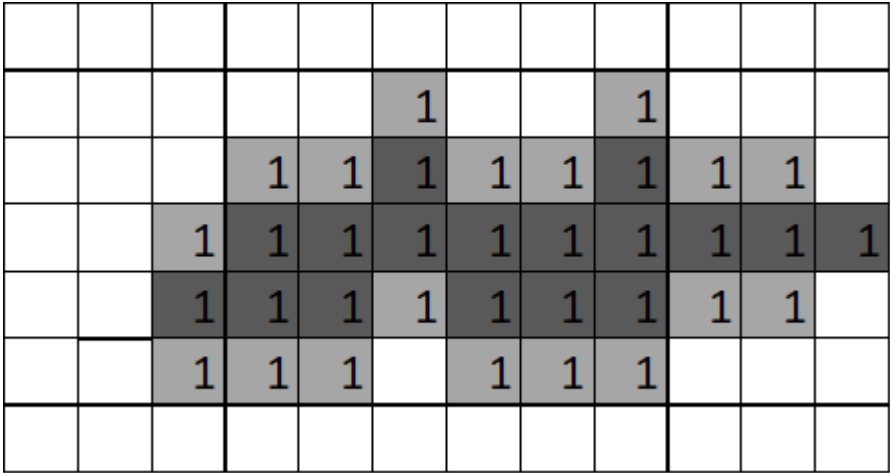
If perfect match	center =1
If partial match	center=1
No match	center=0



# Örnek Soru: Genişleme



If perfect match    center =1  
If partial match    center=1  
No match            center=0



# Kaynaklar

- ▶ <https://www.youtube.com/watch?v=IcBzsP-fvPo>
- ▶ Sayısal Görüntü İşleme, Palme Yayıncılık, Üçüncü Baskıdan Çeviri (Orj: R.C. Gonzalez and R.E. Woods: "Digital Image Processing", Prentice Hall, 3rd edition, 2008).
- ▶ "Digital Image Processing Using Matlab", Gonzalez & Richard E. Woods, Steven L. Eddins, Gatesmark Publishing, 2009
- ▶ Ders Notları, CS589-04 Digital Image Processing, F.(Qingzhong) Liu, <http://www.cs.nmt.edu/~ip>
- ▶ Ders Notları, BIL717-Image Processing, E.Erdem
- ▶ Ders Notları, EBM537-Görüntü İşleme, F.Karabiber
- ▶ <https://docs.opencv.org/>
- ▶ <https://subscription.packtpub.com/>
- ▶ <https://senolomer0.medium.com/>
- ▶ Bekir Aksoy, Python ile İmgeden Veriye Görüntü İşleme ve Uygulamaları, Nobel Akademik Yayıncılık