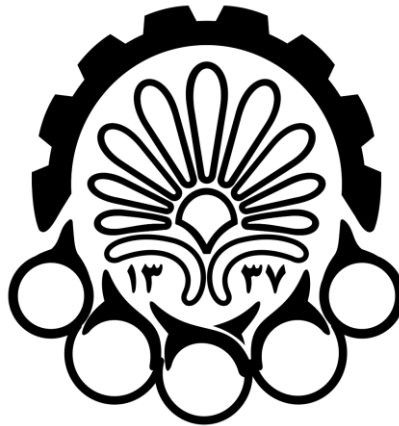


«*In The Name Of GOD*»



دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)

[HW-05-Report]

[DIGITAL IMAGE PROCESSING]

Hasan Masroor | [403131030] | May 29, 2025

"فهرست مطالب تمرین 05"

Problem 1	2
A)	2
B)	3
C)	4
D)	5
E)	6
F)	8
Problem 2	11
A)	11
B)	12
C)	12
Problem 3	14
Problem 4	17

Problem 1: Warming up with some Morphological Image Processing exercise

A.

07 a در سوال تصویر اصلی با a نشان داده شده است و همینطور

08 SE_L structuring element را با B مشاهده می کنیم که به صورت یک به علاوه است. در این چاربت عملیات گسترش یا Dilation

09 را باید اعمال کنیم و در این روش هر پیکسلی در تصویر که مقدار 1 داشته باشد تمامی نواحی اطراف آن مطابق شکل SE در خروجی 1 می شود و

10 این کار باعث بزرگ شدن نواحی روشن و پر شدن فضا های کوچک خالی

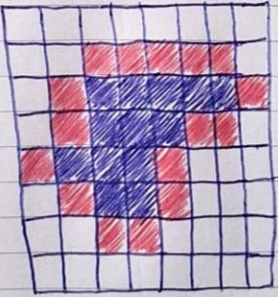
11 ا در داخل یا اطراف object می شود و از پیکسل چهار 1 تصویر اصلی شروع می کنیم و origin مربوط به SE که معمولاً عنصر وسط آن

12 است را روی پیکسل 1 قرار می دهیم و به عنوان مثال در این سوال با توجه به شکل SE چهار طرف مبدأ را 1 می کند. (به صورت Dilation

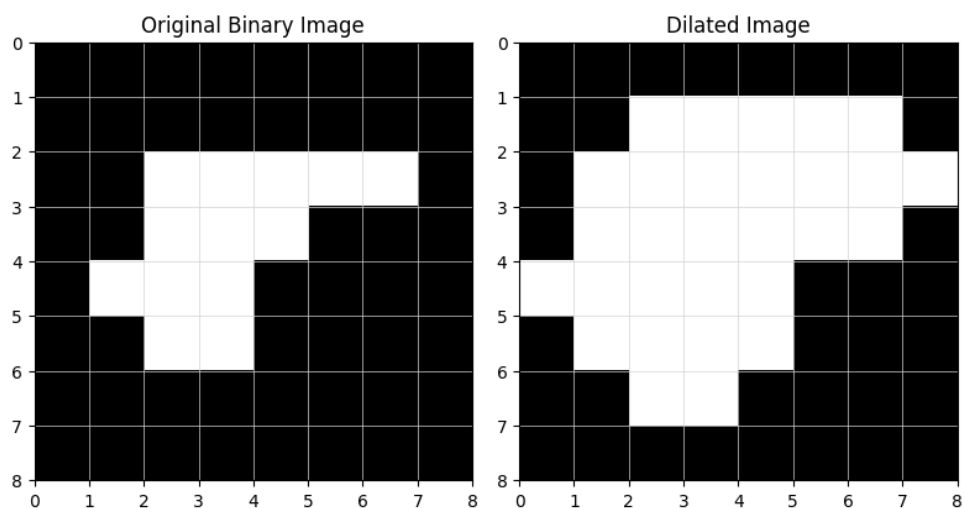
13 \oplus نشان داده می شود.)

14 $a \oplus b =$

15 * پیکسل های آبی همان شکل اولیه a هستند و پس از اعمال گسترش پیکسل های قرمز اضافه می شوند.



برای درک و نمایش بصری بهتر علاوه بر توضیحات قبل این بخش را در پایتون پیاده سازی شد و خروجی آن نیز به صورت زیر قابل مشاهده می باشد:



B.

07 ط این بخش عملیات Erosion یا SE اعمال شد و این

08 کار یکسایه ها را حفظ می کند که نواحی اطرافشان مطابق با ساختار

SE به طور کامل درون object باشد در غیر این صورت آن یکسایه

09 حذف می شود و یا \ominus نمایش داده می شود.

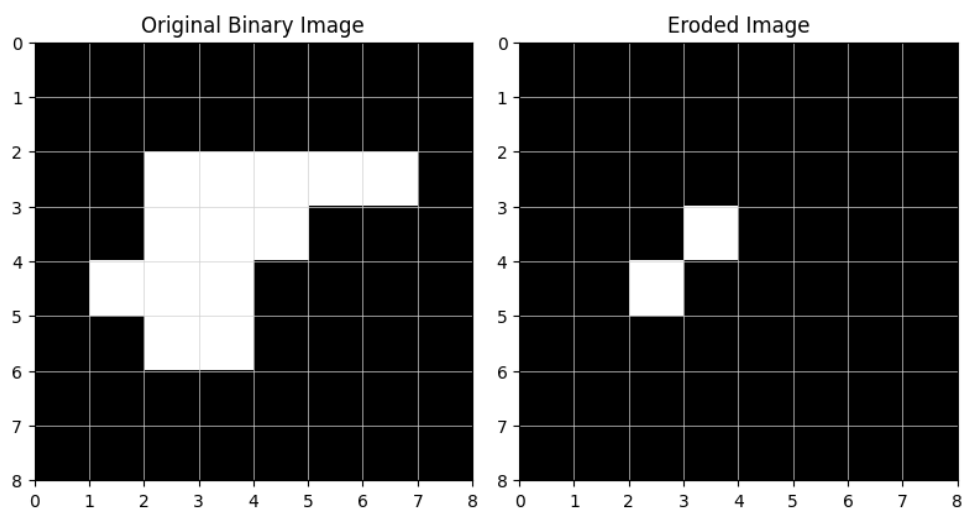
10 $a \ominus b =$

11

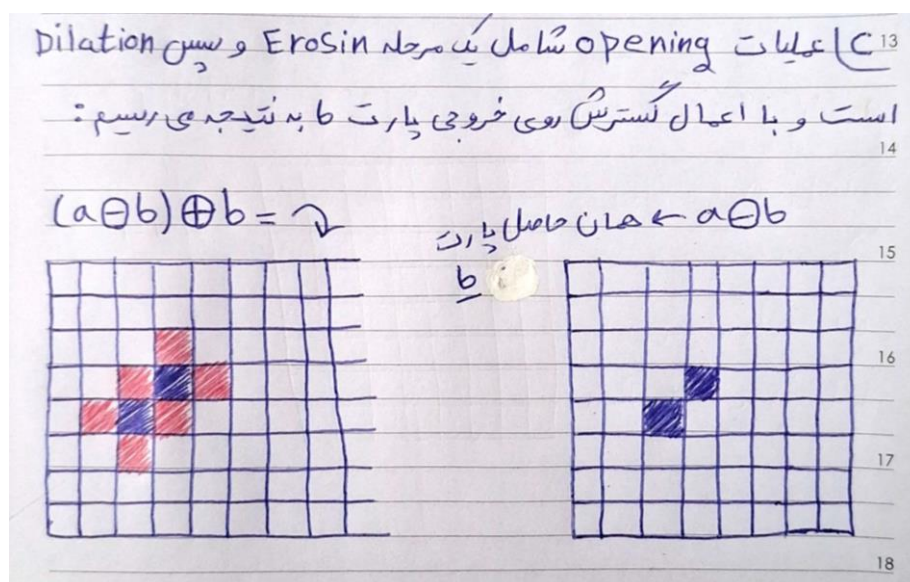
12

The figure shows handwritten text in Persian explaining the erosion operation. It states that erosion (SE) keeps only those pixels that are completely within the object, removing pixels on the boundaries. Below the text is a 6x6 grid with two blue squares at positions (3,3) and (4,4), representing the result of erosion on a 6x6 grid where the original object was a 4x4 square. The equation $a \ominus b =$ is written to the left of the grid.

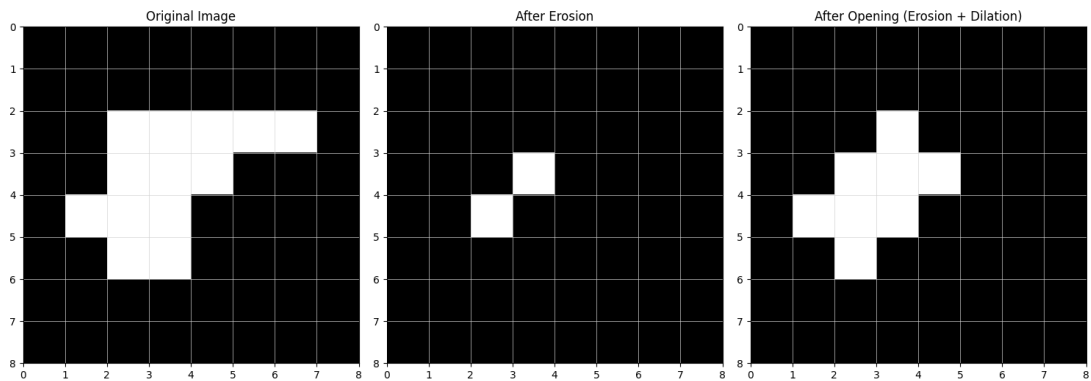
برای درک و نمایش بصری بهتر علاوه بر توضیحات قبل این بخش را در پایتون پیاده سازی شد و خروجی آن نیز به صورت زیر قابل مشاهده می باشد:



C.



برای درک و نمایش بصری بهتر علاوه بر توضیحات قبل این بخش را در پایتون پیاده‌سازی شد و خروجی آن نیز به صورت زیر قابل مشاهده می‌باشد:



D

07 closing برعکس opening است و اول Dilation اعمال و

08 سپس Erosion اعمال می شود. اگر روی خروجی پارت a عملیات

Erosion را اعمال کنیم به closing رسیدیم:

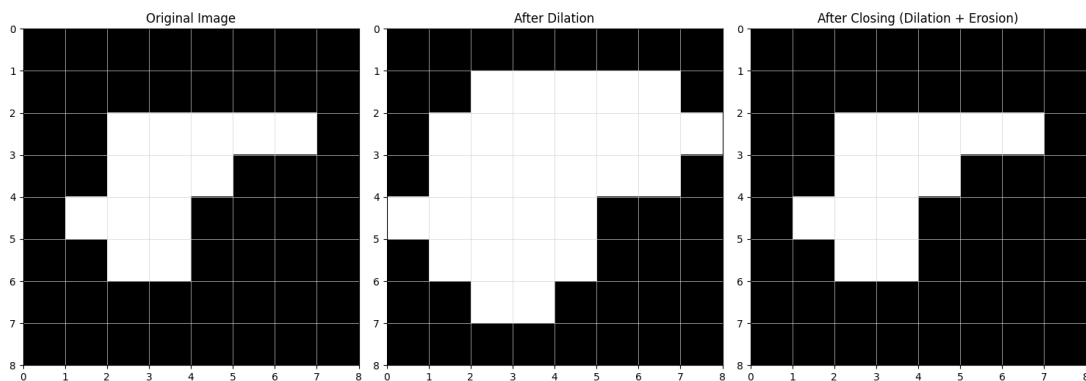
09 $(a \oplus b) \ominus b =$

10 $a \oplus b$ همان حاصل پارت

11 a

12 نتیجه همان شکل (a) اولیه سوال شد.

برای درک و نمایش بصری بهتر علاوه بر توضیحات قبل این بخش را در پایتون پیاده سازی شد و خروجی آن نیز به صورت زیر قابل مشاهده می باشد:



E

در این بخش، نتایج حاصل از چهار عملیات پایه مورفولوژیکی شامل dilation، erosion، opening و closing بررسی و با یکدیگر مقایسه می‌شوند. در ادامه هر کدام را به طور کامل بررسی می‌کنیم:

:Dilation

این عملیات باعث افزایش نواحی روشن (پیکسل‌های ۱) در تصویر می‌شود. مرزهای اشیاء به سمت بیرون گسترش می‌یابند و در نتیجه شکاف‌ها و حفره‌های کوچک درون یا اطراف نواحی روشن پر می‌شوند و اشیاء به هم پیوسته‌تر دیده می‌شوند..

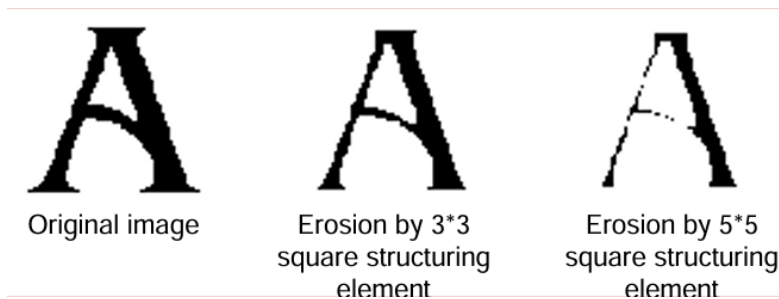
کاربردها: از مهم‌ترین کاربردهای آن می‌توان به پر کردن شکاف‌ها و حفره‌های کوچک در اجسام اشاره کرد به‌ویژه در تصاویری که به دلیل نویز یا خطاهای اسکن، نواحی روشن به‌طور ناقص نمایش داده شده‌اند. همچنین، این عملیات می‌تواند برای اتصال اجزای گسسته یا ناپیوسته یک شیء به کار رود؛ مانند اجزای جداشده‌ی یک کاراکتر در سیستم‌های تشخیص نویسه نوری (OCR) که به کمک Dilation، اتصال بهتری بین قسمت‌های شکسته ایجاد می‌شود و دقت شناسایی افزایش می‌یابد. علاوه بر این باعث تقویت و برجسته‌سازی مرزهای اشیاء در تصویر می‌شود که در مراحل بعدی مانند استخراج ویژگی، تحلیل شکل یا شمارش اشیاء، نقش مهمی ایفا می‌کند. این عملیات در پیش‌پردازش داده‌ها برای بینایی ماشین، پردازش پزشکی، سامانه‌های امنیتی و حتی تحلیل تصاویر ماهواره‌ای نیز بسیار مؤثر است.



Erosion:

این عملیات موجب کوچک تر شدن نواحی روشن (پیکسل‌های ۱) در تصویر می‌شود. در طی این فرآیند، مرزهای اشیاء به سمت داخل جمع شده و بخش‌های نازک، نوپزهای جزئی، و زائده‌های کوچک حذف می‌شوند. در نتیجه، ساختار اصلی تصویر ساده‌تر و فشرده‌تر به نظر می‌رسد و نواحی روشن که به اندازه کافی بزرگ یا کامل نیستند، ممکن است کاملاً حذف شوند.

کاربردها: از مهم‌ترین کاربردهای Erosion می‌توان به حذف نوپزهای ریز و زائده‌های ناخواسته اشاره کرد به‌ویژه در تصاویری که شامل نویز پراکنده یا نقاط روشن کوچک هستند. این عملیات در تفکیک اشیاء متصل نیز مؤثر است؛ برای مثال در تصاویری که اشیاء به دلیل نزدیکی به هم چسبیده‌اند، Erosion می‌تواند مرز آن‌ها را تفکیک کرده و شناسایی جداگانه‌ی آن‌ها را ممکن سازد. همچنین در تحلیل شکل و اندازه اجسام، فرسایش برای کاهش یا فشرده‌سازی ناحیه‌ها پیش از انجام سایر پردازش‌ها مفید است. Erosion در زمینه‌های مختلفی مانند پردازش تصاویر پزشکی (مثلاً برای جداسازی سلول‌ها)، بینایی ماشین، تشخیص اشیاء، تحلیل بافت و استخراج اسکلت اشیاء کاربرد دارد و اغلب به‌عنوان یک مرحله‌ی مقدماتی برای آماده‌سازی تصویر جهت پردازش‌های بعدی استفاده می‌شود.



Opening:

عملیات Opening شامل یک مرحله فرسایش (Erosion) و سپس یک مرحله گسترش (Dilation) است. در این فرآیند، ابتدا نواحی روشن نازک، نوپزهای کوچک، زائده‌ها یا اتصالات باریک حذف می‌شوند و سپس شکل اصلی با حفظ اندازه و موقعیت اجسام اصلی، دوباره بازسازی می‌گردد. نتیجه نهایی یک تصویر ساده‌تر، تمیزتر و عاری از جزئیات ناخواسته است بدون آنکه ساختارهای اصلی دچار تخریب قابل توجهی شوند.

کاربردها: Opening به‌طور خاص در حذف نوپزهای کوچک و زائده‌های ناپیوسته از تصاویر باینری کاربرد دارد، به‌ویژه در شرایطی که بخواهیم جزئیات غیرضروری را بدون آسیب رساندن به اشیاء اصلی حذف کنیم. این عملیات برای جداسازی اجسام نازک، پاک‌سازی پس‌زمینه، فیلتر کردن ذرات کوچک و آماده‌سازی تصویر برای تشخیص اشیاء بزرگ‌تر مفید است. در پردازش تصاویر پزشکی (مثلاً حذف نوپزهای کوچک در عکس‌های میکروسکوپی یا CT)، در بینایی ماشین (مثل پاک‌سازی فرم‌ها و اسناد در OCR) و در تصاویر صنعتی برای حذف نقاط یا نواقص تولید به‌طور گسترده از Opening استفاده می‌شود. این عملیات کمک می‌کند تا شکل‌ها با دقت بیشتری تحلیل شوند و پردازش‌های بعدی مانند شمارش، طبقه‌بندی یا تشخیص با خطای کمتر انجام گیرد.

:Closing

عملیات Closing شامل یک مرحله گسترش (Dilation) و سپس یک مرحله فرسایش (Erosion) است. این فرآیند باعث پر شدن شکاف‌ها، بریدگی‌های کوچک و حفره‌های باریک در مرز یا درون اشیاء می‌شود، در حالی که شکل کلی ناحیه‌های روشن حفظ می‌شود. برخلاف Opening که برای حذف زائده‌ها و نوپه‌های نازک طراحی شده، Closing بیشتر بر پیوسته‌سازی و صاف کردن مرزهای اشیاء تمرکز دارد. نتیجه نهایی تصویری هموارتر، یکپارچه‌تر و عاری از فرورفتگی‌های ریز یا جزئیات ناخواسته است.

کاربردها: Closing در کاربردهایی مفید است که نیاز به پر کردن شکاف‌ها یا ترک‌های کوچک در اشیاء وجود دارد. برای مثال در پردازش فرم‌ها یا اسناد اسکن شده زمانی که خطوط حروف یا اشیاء دارای بریدگی یا وقفه‌های کوچک هستند، این عملیات به اتصال مجدد آن بخش‌ها کمک می‌کند. همچنین در پردازش تصاویر پزشکی (برای بستن نواحی باز در بافت‌ها)، در تحلیل تصاویر صنعتی برای پر کردن ترک‌ها یا نواقص سطحی و در بینایی ماشین برای افزایش انسجام اشیاء قبل از شمارش یا طبقه‌بندی بسیار کاربردی است. از آنجایی که Closing نواحی روشن را بدون تخریب ساختار اصلی یکپارچه می‌سازد، اغلب به عنوان یک مرحله پیش‌پردازش مهم قبل از تشخیص شکل، استخراج ویژگی یا جداسازی اجسام مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در ادامه مثال برای عملیات‌های گفته شده و مخصوصاً opening و closing را نیز آورده ایم:

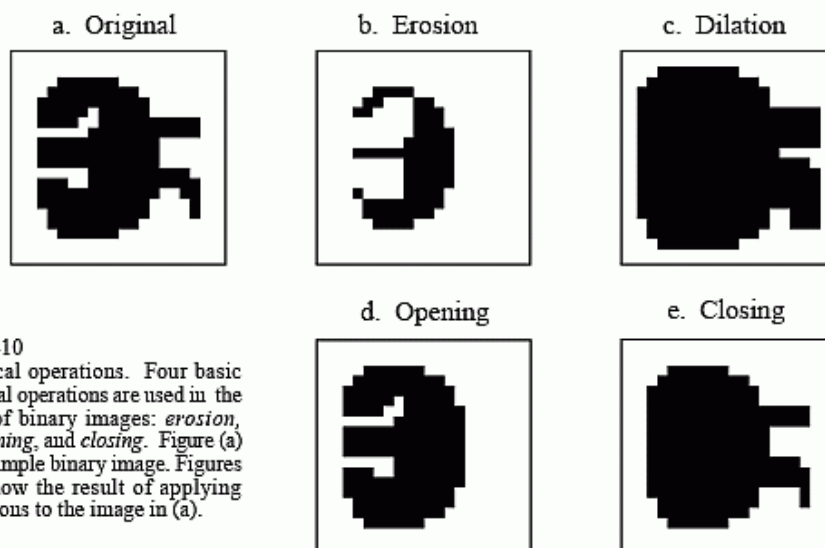
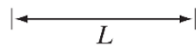
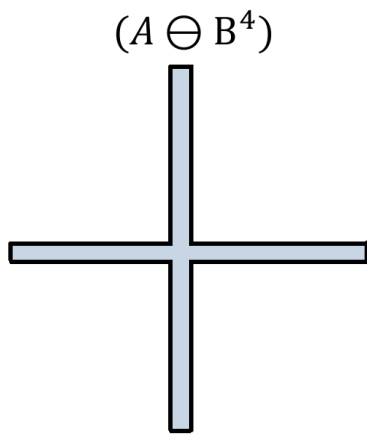


FIGURE 25-10 Morphological operations. Four basic morphological operations are used in the processing of binary images: *erosion*, *dilation*, *opening*, and *closing*. Figure (a) shows an example binary image. Figures (b) to (e) show the result of applying these operations to the image in (a).

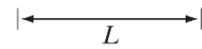
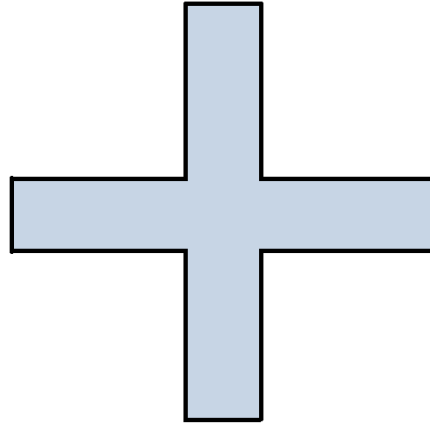
.F

برای حل این سوال و نمایش تمیزتر و بهتر، از نرم افزار paint استفاده کردیم و با کمک تصویر A و structuring elements سه بخش خواسته شده را انجام دادیم و به صورت تقریبی در ادامه به نمایش هر کدام پرداختیم:

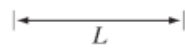
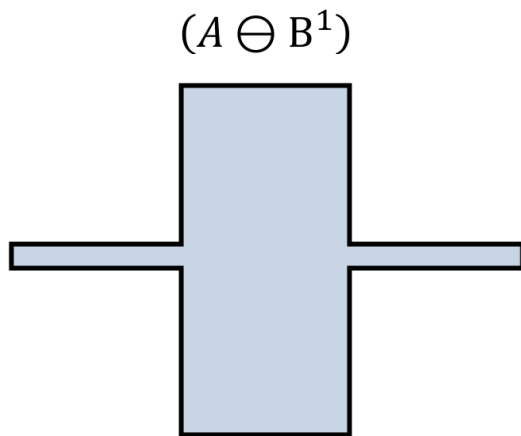
I. $(A \ominus B^4) \oplus B^2$



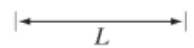
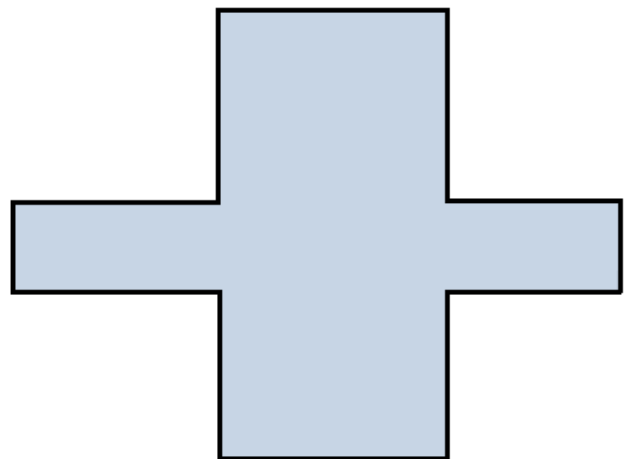
$(A \ominus B^4) \oplus B^2$



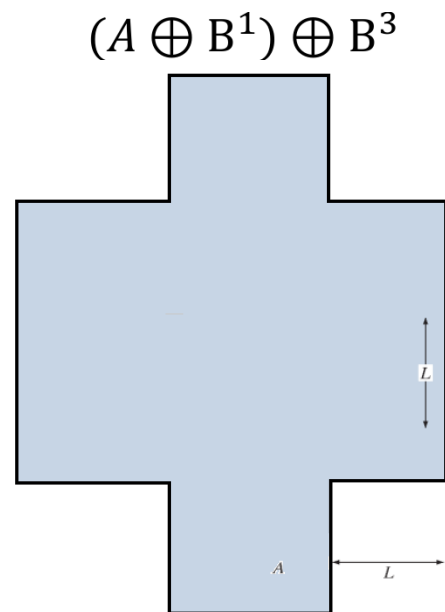
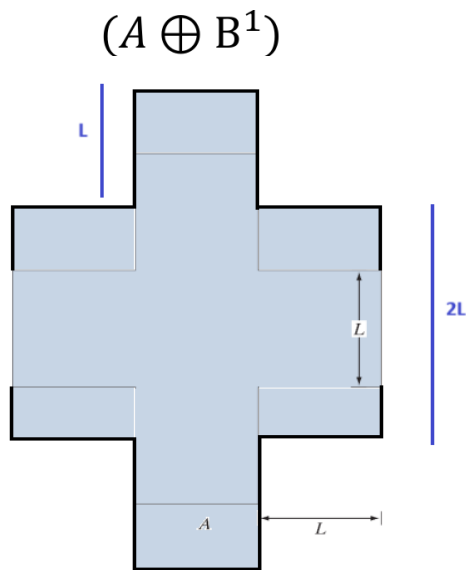
II. $(A \ominus B^1) \oplus B^3$



$(A \ominus B^1) \oplus B^3$



$$\text{III. } (A \oplus B^1) \oplus B^3$$



.....

Problem 2: Applying Image Morphological Operations for Filtering Images

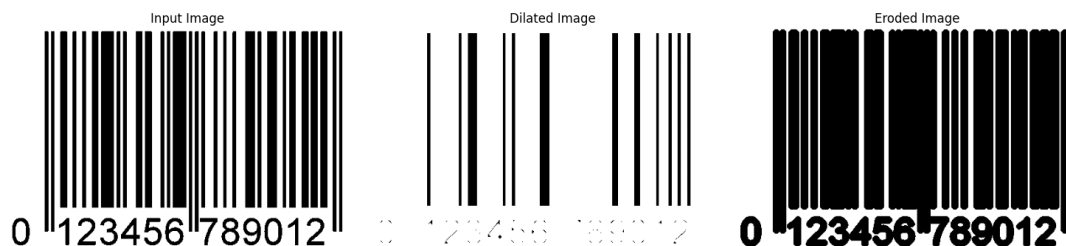
A.

در این تمرین، با هدف آشنایی عملی با مفاهیم پایه‌ای در پردازش مورفولوژیکی تصاویر دودویی، به پیاده‌سازی و تحلیل عملیات‌هایی مانند Erosion، Dilation، Opening و Closing می‌پردازیم. برای این منظور از تصویر باینری داده شده و structuring element که تعریف کردیم استفاده می‌کنیم.

structuring element را می‌توانستیم مثل همان SE در سوال 1 انتخاب کنیم اما تاثیر عملیات‌های گفته شده آنچنان خوب بدست نیامد و به همین دلیل سایز را بزرگتر و 7 در 7 در نظر گرفتیم که نتایج و مقایسه بهتری بتوانیم داشته باشیم و SE را به صورت زیر تعریف کردیم:

```
[0, 0, 0, 1, 0, 0, 0]
[0, 0, 1, 1, 1, 0, 0]
[0, 1, 1, 1, 1, 1, 0]
[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]
[0, 1, 1, 1, 1, 1, 0]
[0, 0, 1, 1, 1, 0, 0]
[0, 0, 0, 1, 0, 0, 0]
```

ابتدا کتابخانه‌های مورد نیاز را import کردیم و سپس تصویر مورد نظر را لود و باینری کردیم. در ادامه نیز با استفاده از structuring element که تعریف کردیم، دو عملیات پایه‌ای یعنی گسترش و فرسایش را بر روی تصویر اعمال نمودیم و نتیجه آن به صورت زیر می‌باشد:



همانطور که می‌بینیم در تصویر حاصل از گسترش، نواحی سفید گسترش یافته و مرزهای آن‌ها به درون نواحی سیاه نفوذ کرده‌اند، که منجر به پر شدن فضاهای باریک بین خطوط بارکد شده است. در مقابل، تصویر فرسایش باعث نازک شدن نواحی روشن و حذف جزئیات باریک شده که کاهش نویزهای مرزی و تفکیک بهتر ساختار را به دنبال دارد.

B.

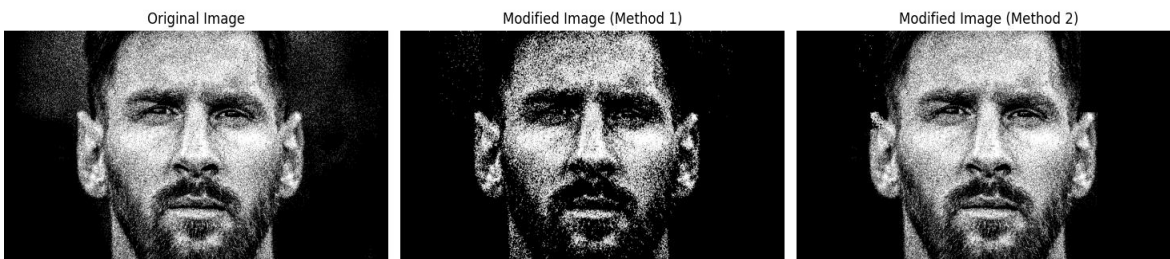
در این بخش از دو عمل مورفولوژیکی بازشدن (Opening) و بسته شدن (Closing) برای پردازش تصویر بارکد استفاده کردیم. بازشدن شامل فرسایش و سپس یک گسترش است و معمولاً برای حذف نویزهای کوچک روشن از تصویر به کار می‌رود، در حالی که بسته شدن شامل گسترش و سپس فرسایش است برای پر کردن فضاها و حفره‌های کوچک تیره در نواحی روشن مناسب است. در کد اجرا شده، ابتدا تصویر بارکد به صورت باینری درآمده و سپس با استفاده از structuring element که تعریف کرده بودیم، این دو عمل روی آن اعمال شده‌اند. نتیجه بازشدن حذف مؤثر نقاط کوچک روشن و حفظ نوارهای سیاه بود، در حالی که نتیجه بسته شدن باعث اتصال بخش‌های سفید و حذف جزئیات تیره شده است. خروجی این دو عملیات بر روی تصویر اولیه را در ادامه می‌توانیم مشاهده کنیم:



C.

در این سوال هدف حذف جزئیات ناخواسته‌ای است که به صورت نقاط کوچک یا نواحی گرد در اطراف شیء اصلی تصویر (به‌ویژه در ناحیه سر) ظاهر شده‌اند. این جزئیات معمولاً نویزهایی هستند که باعث کاهش کیفیت تصویر و تمرکز بر شیء اصلی می‌شوند. به همین منظور، با بهره‌گیری از عملیات ریخت‌شناسی سعی شده است این نواحی مزاحم از تصویر حذف شوند، بدون آن‌که به ساختار اصلی تصویر آسیبی وارد شود.

در این بخش، هدف ما حذف نواحی ناخواسته از تصویر leo.jpg با استفاده از عملیات ریخت‌شناسی بود. ابتدا کتابخانه‌های مورد نیاز را import کردیم و تصویر را grayscale کرده و با آستانه‌گذاری به تصویر باینری تبدیل کردیم. در روش اول، عمل Opening را دو بار به صورت متوالی اعمال کردیم (ابتدا با عنصر ساختاری افقی 1 و سپس با عنصر ساختاری عمودی $\frac{1}{1}$ روی کل تصویر اعمال کردیم). در روش دوم نیز ابتدا نواحی خاصی از تصویر که در اطراف سر لیونل قرار دارند مشخص کردیم، سپس با استفاده از یک عنصر ساختاری که تعریف کردیم عملیات Opening را فقط در این نواحی اعمال کردیم و در انتها، تصاویر حاصل از این دو روش را در کنار تصویر اصلی نمایش دادیم تا در ادامه به تجزیه و تحلیل آنها بپردازیم:



همان‌طور که در تصاویر بالا مشاهده می‌کنیم، روش اول با اعمال عملیات Opening سراسری تا حدی از نویزها کاسته اما بسیاری از نقاط مزاحم به‌ویژه در نواحی اطراف چهره همچنان در تصویر باقی مانده‌اند. در مقابل، روش دوم که به‌صورت هدفمند تنها بر نواحی مشخصی در اطراف سر لیونل اعمال شده، توانسته نویزهای موضعی را با دقت بیشتری حذف کند و ساختار کلی چهره را نیز حفظ نماید. این نتیجه نشان می‌دهد که استفاده از عملیات ریخت‌شناسی به‌صورت localized نه‌تنها در حذف جزئیات ناخواسته مؤثرتر است بلکه باعث کاهش تغییرات ناخواسته در بخش‌های سالم تصویر نیز می‌شود.

.....

Problem 3: Hit or Miss algorithm



07 در این سوال انجام الگوریتم hit or miss را از ما می خواهد.

08 اگر تصویر اصلی را A در نظر بگیریم و structuring element را B₁، فرمول زیر را برای این الگوریتم داریم:

09
$$A \circledast B = (A \ominus B_1) \cap (A^c \ominus B_2)$$

10 که یکسری جوابی که متعلق به object هستند به وسیله B₁ پیدا می شوند و جایی است که B₁ کامل فیت می شود داخل object و B₂ هم A₁ باقی هستند که به بکگراند object فیت می شوند و همچنین بین B₁ و B₂ نباید اشتراکی داشته باشیم و $B_1 \cap B_2 = \emptyset$

12 طبق سوال structuring element که از این به بعد SE می نامیم یک حرف T سفید رنگ (1) در پس زمینه سیاه (0) است و

13 معمولاً سایز SE را فرد در نظر می گیرند و به عنوان مثال ما 5x5

14 در نظر گرفتیم:

15
$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
 ← B₁ به صورت رویه پرو است (روی foreground تمرکز دارد.)

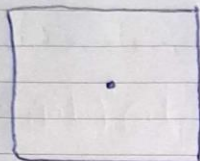
16
$$B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$
 ← B₂ نیز به این صورت است (روی background تمرکز دارد.)

17

18 * نقطه تلاقی خط عمودی واقعی در T، A، origin در نظر گرفتیم.

07 حالا طبق فرمول قبلی بخش اول یعنی $A \ominus B_1$ را بدست می آوریم

و B_1 فقط در تصویر اصلی که شامل UTK است روی T به طور کامل



08 قرار می گیرد و در محل origin یک نقطه داریم.

09 یک تصویر تماماً سیاه بایک پیکسل سفید در

مبداء T موجود در تصویر اصلی

10 در ادامه بخش دوم فرمول یعنی $(A^c \ominus B_2)$ را باید بدست آوریم

11 و ابتدا تصویر اصلی را هرجا 1 داریم به 0 تبدیل می کنیم و هرجا 0

داریم به 1 تبدیل می کنیم یعنی در A^c ما پس زمینه سفید داریم (1) که

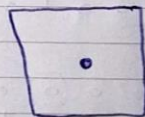
12 UTK به صورت سیاه (0) وسط آن قرار دارد. B_2 را هم در

13 صفحه قبل توضیح دادیم و حالا erosion آن را بدست می آوریم و

14 در نهایت باید اشتراک این دو بخش را پیدا کنیم که حاصل

$$15 \quad A \otimes B = (A \ominus B_1) \cap (A^c \ominus B_2)$$

15 بایک نقطه سفید (پیکسل) در origin مربوط به T نشان داده شده



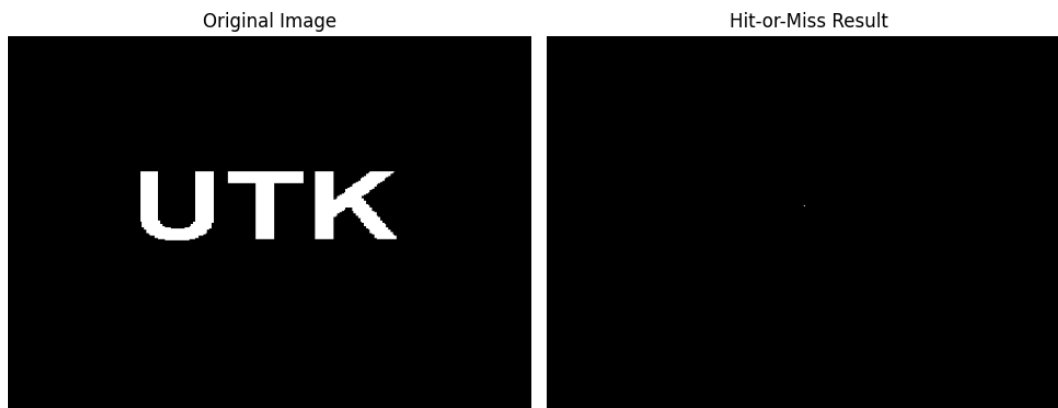
است.

16 * در بسیاری از موارد معمولاً origin را مرکز SE در نظر می گیرند

17 اما برآکر این SE که در سؤال داشتیم محل تلاقی خط عمودی و افقی

18 در حرف T انتخاب بهتری می تواند باشد.

برای نمایش دقیق تر و بهتر نتیجه الگوریتم Hit or Miss، پیاده سازی آن را در پایتون نیز انجام دادیم و خروجی به شکل زیر درآمد اما با این تفاوت که در این کد origin را به جای محل تقاطع خط عمودی و افقی نقطه وسط ماتریس SE در نظر گرفتیم و حاصل الگوریتم Hit or Miss را در شکل سمت راستی مشاهده می کنیم:



.....

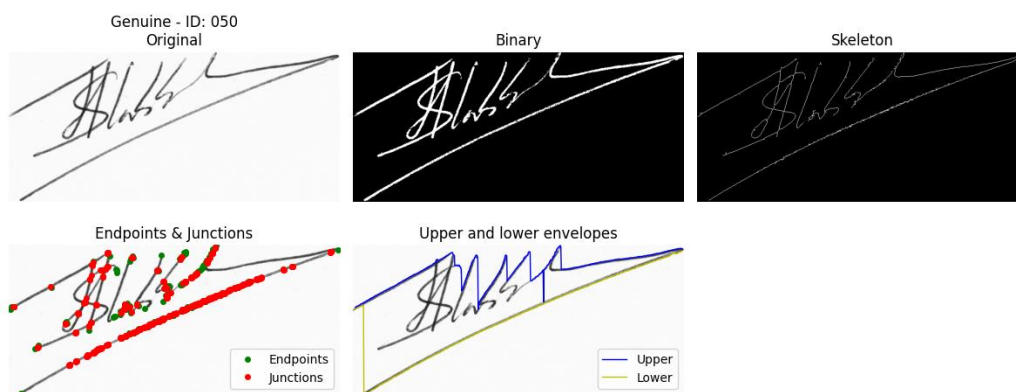
Problem 4: Offline signature feature extraction for signature recognition

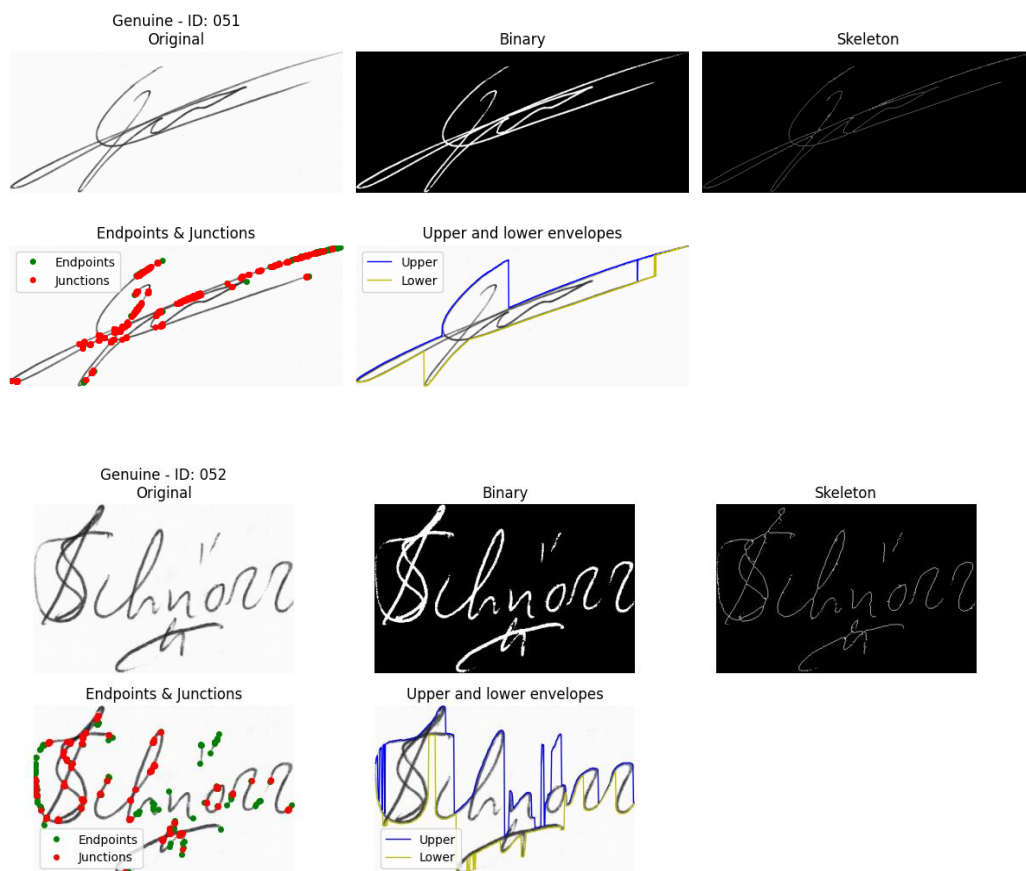
A.

در این تمرین هدف تشخیص صحت امضاهای دستی به صورت آفلاین است. برای این منظور، ابتدا چهار ویژگی مهم از هر تصویر امضا شامل اسکلت، نقاط انتهایی، نقاط انشعاب و پوش بالایی و پایینی استخراج می شود. سپس این ویژگی ها بین امضاهای واقعی هر فرد مقایسه شده و الگوی ثابتی برای هر شخص ایجاد می شود. در ادامه با استفاده از امضاهای واقعی مرجع (۵ نمونه اول)، امضاهای تستی (واقعی یا جعلی) با استفاده از فاصله های هاوسدورف ارزیابی و طبقه بندی می شوند. هدف نهایی، تشخیص دقیق امضاهای جعلی از واقعی با تکیه بر ویژگی های ساختاری آنهاست.

ابتدا کتابخانه های مورد نیاز را import می کنیم و ابتدا تصاویر امضا را به صورت سیاه و سفید خواندیم و با استفاده از آستانه گذاری Otsu آنها را به تصویر باینری تبدیل کردیم. سپس اسکلت امضا را استخراج کرده و با بررسی همسایگی ۸ جهته، نقاط انتهایی و نقاط انشعاب آن را شناسایی کردیم. پس از آن، پوش بالایی و پایینی هر امضا را بر اساس موقعیت پیکسل های فعال در هر ستون به دست آوردیم. برای نمایش نتایج، ویژگی های استخراج شده مانند اسکلت، نقاط کلیدی و پوش ها را روی تصاویر اصلی ترسیم کردیم. در نهایت، همه ویژگی های مربوط به هر فرد را به صورت ساختاریافته ذخیره کردیم تا در ادامه مورد استفاده قرار گیرد.

برای هر کدام از امضاهای افراد ۵۰، ۵۱ و ۵۲ نیز این ویژگی های a تا d که در سوال گفته شده بود را در ادامه برای درک بهتر و تجزیه و تحلیل نمایش دادیم:



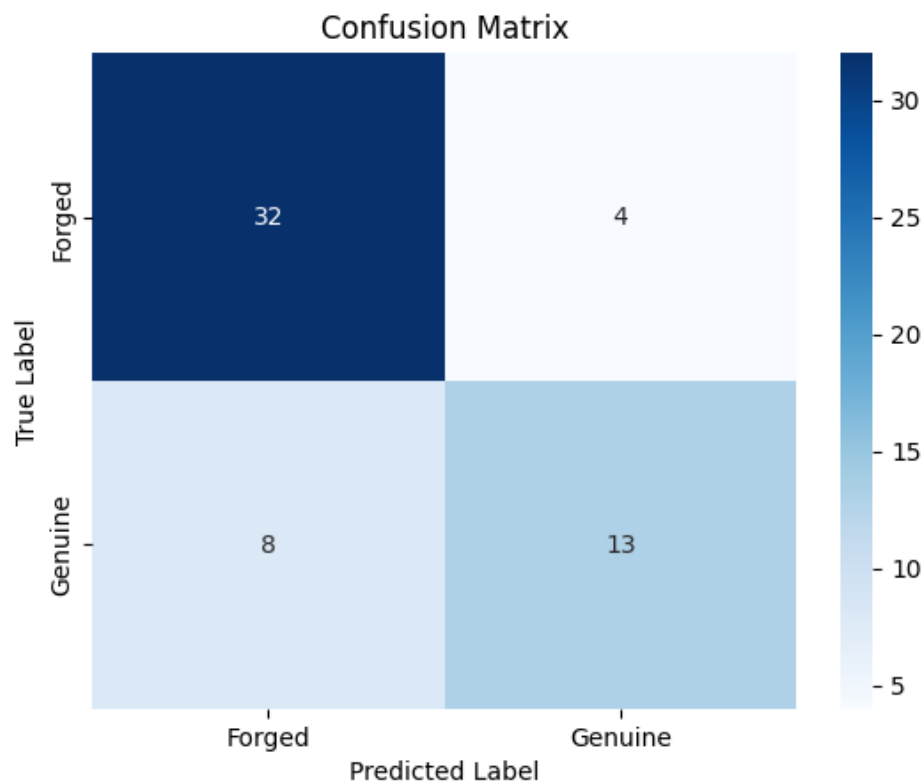


به عنوان مثال در خروجی بالا ویژگی‌های هندسی و ساختاری یک نمونه امضای واقعی با شناسه ۵۲. به خوبی استخراج و نمایش داده شده‌اند. تصویر اسکلت شده، نمایی ساده شده از مسیر اصلی حرکت قلم ارائه می‌دهد که پایه مناسبی برای مقایسه ساختاری است. نقاط انتهایی و انشعاب‌ها با دقت بالا استخراج شده‌اند و پراکندگی منظم آن‌ها نشانه‌ای از پیچیدگی و اصالت امضا است. پوش‌های بالایی و پایینی نیز موفق شده‌اند انحناهای کلی امضا را در طول تصویر دنبال کنند. این ترکیب از ویژگی‌ها می‌تواند در تمایز دقیق بین امضای واقعی و جعلی بسیار مؤثر واقع شود.

هدف ما طبقه‌بندی امضاها بر اساس شباهت ساختاری آن‌ها به امضاهای واقعی مرجع بود. برای این منظور، ابتدا مختصات فعال اسکلت هر امضا را به صورت لیستی از نقاط استخراج کردیم. سپس با استفاده از فاصله‌ی هاوسدورف، میزان اختلاف بین امضای تستی و مجموعه‌ای از امضاهای واقعی (۵ نمونه اول هر فرد) محاسبه شد. هر امضا بر اساس این فاصله و یک آستانه مشخص، به عنوان واقعی یا جعلی طبقه‌بندی شد. در ادامه نیز نتایج پیش‌بینی و کلاس‌های واقعی ذخیره شدند و با استفاده از آن‌ها Accuracy، Recall و F1-score را محاسبه کردیم و نتایج به شرح زیر حاصل شدند (مقادیر به دست آمده نشان می‌دهند که مدل با دقت ۷۹٪ عملکرد نسبتاً قابل قبولی دارد اما مقدار Recall پایین‌تر ۶۲٪ بیانگر این است که تعدادی از امضاهای واقعی به اشتباه جعلی تشخیص داده شده‌اند):

Evaluation Metrics:
Accuracy: 0.79
Recall: 0.62
F1-score: 0.68

در ادامه نیز با استفاده از داده‌های واقعی و پیش‌بینی‌شده Confusion Matrix رسم کردیم تا عملکرد مدل را به صورت تصویری نمایش دهیم و تحلیل کنیم. این ماتریس نشان می‌دهد که مدل در شناسایی درست نمونه‌های جعلی و واقعی تا چه حد موفق بوده است و محور عمودی True Label و محور افقی نیز Predicted Label را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است مدل توانسته ۳۲ امضای جعلی را به درستی تشخیص دهد و تنها ۴ مورد جعلی را به اشتباه واقعی پیش‌بینی کرده است. در مقابل، تنها ۱۳ امضای واقعی به درستی شناسایی شده‌اند و ۸ مورد از آن‌ها به اشتباه جعلی تشخیص داده شده‌اند. ماتریس درهم ریختگی را نیز در ادامه نمایش دادیم:



«... خردادماه ۱۴۰۴ ...»