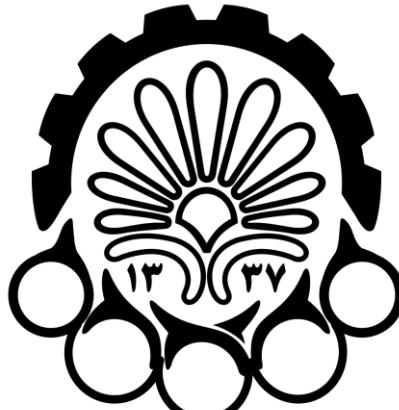


«In The Name Of GOD»



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(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

در سوال تصویر اصلی a و مساحت داده شده است و همین‌ها با b مساحت دیگر SE ل structuring element دیده شوند.

صورت یک ب علاوه است. در این پاره کار محاسبات لسترس باشد.

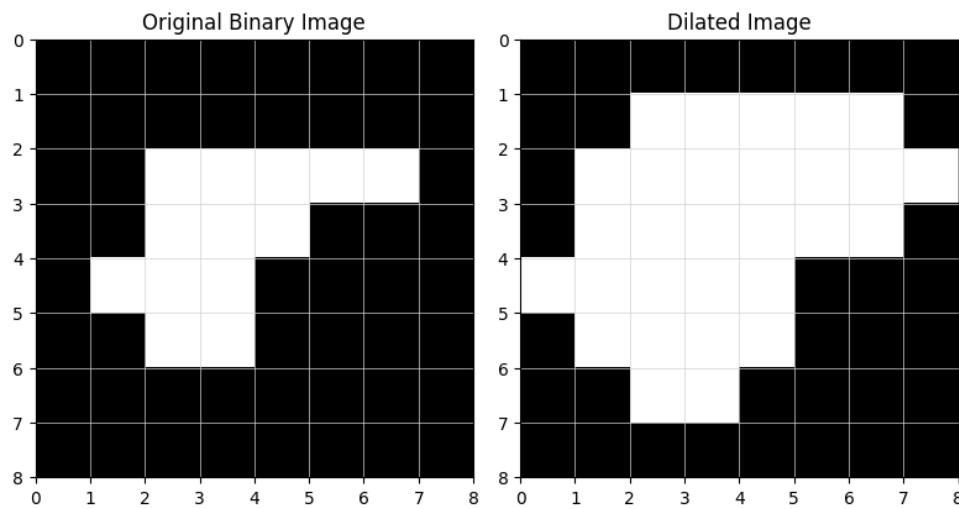
را پایید اعمال کنیم و در این روش هر پیکسل در تصویر کد مقادیر داشته باشد تماشی نواحی اطراف آن مطابق سکل ۴ در خروجی ۱ می‌شود و این کار باعث بزرگ شدن نواحی روشن و پرسدن فضاهای وجود خانی در داخل یا اطراف object می‌شود و از پیکسل ها که ۱ تصویر اصلی شروع کنند و origin مربوط به SE که معمولاً عنصر وسط آن است را روی پیکسل ۱ قرار می‌دهیم و به عنوان مثال در این سوال با وجود بد سکل SE چهار طرف مبدأ را ۱ می‌کنند. (به صورت Dilation)

\oplus مساحت داده می‌شود.

$a \oplus b =$

* پیکسل ها که آبی همان سکل اولید a هستند و سه از اعمال لسترس پیکسل ها که قریب افتاده شوند.

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:

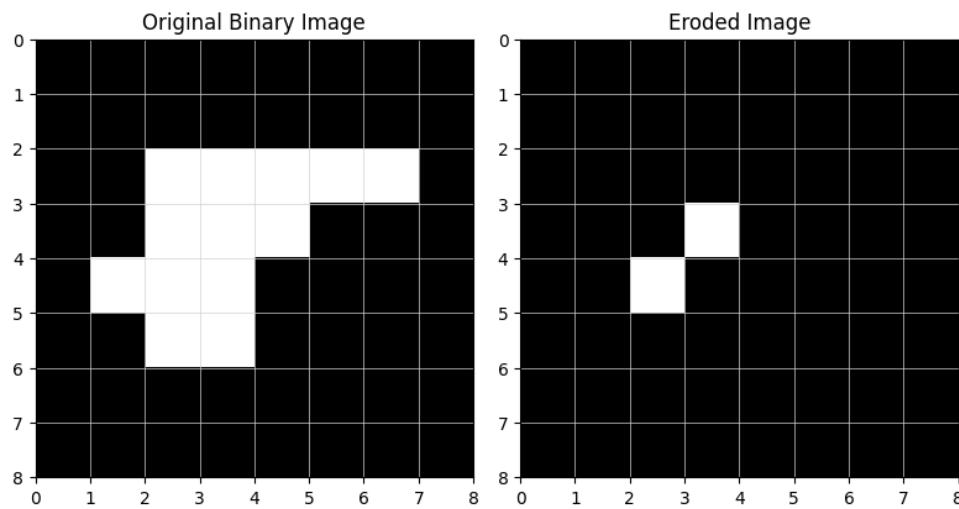


B

۰۷ طبق در این بحث عملیات SE Erosion یا اعمال سُد و این
 کار پیکسل هایی را حفظ می کند که نواحی اطراف سیان مخلابق با ساختار
 ۰۸ SE به طور کامل ادرون object باشد، غیر اینصورت آن پیکسل
 ۰۹ حذف می شود و یا \ominus نمایش داده می شود.

$a \ominus b =$

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:

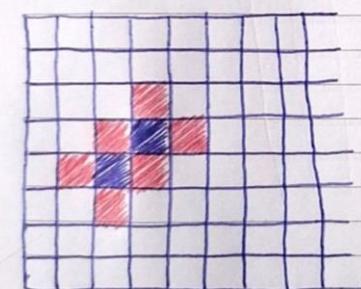


.C

اعمال opening و سپس Erosion نه مراحلی ¹³

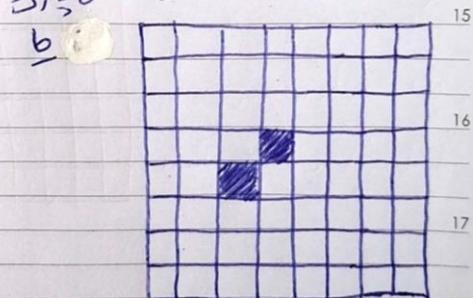
است و با اعمال لسترسنی خروجی پاره طبق نتیجه هی رسیم: ¹⁴

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

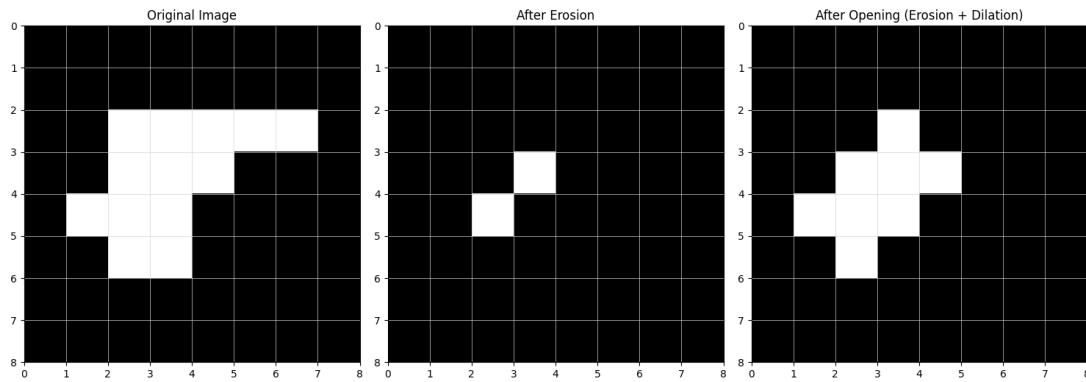


$$a \ominus b \leftarrow \text{هان حاصل بود}$$

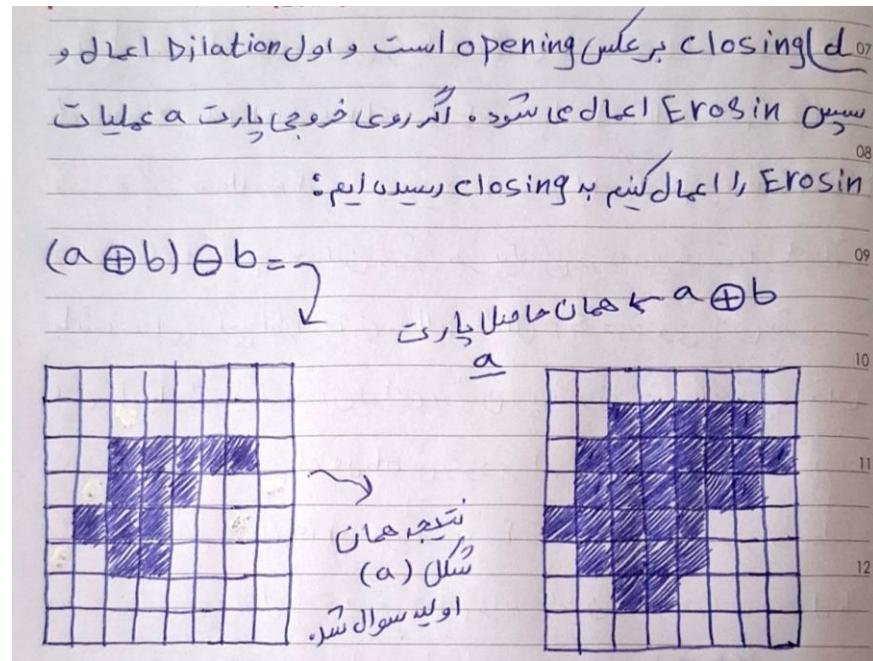
b



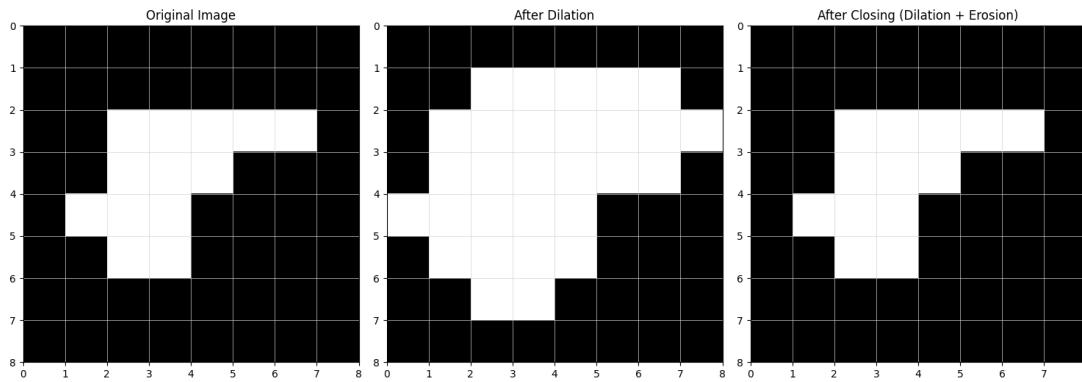
برای درک و نمایش بصری بهتر علاوه بر توضیحات قبل این بخش را در پایتون پیاده‌سازی شد و خروجی آن نیز به صورت زیر قابل مشاهده می‌باشد:



.D



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:



.E

در این بخش، نتایج حاصل از چهار عملیات پایه مورفولوژیک شامل opening، erosion، dilation 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 پیرون گسترش می‌یابند و در نتیجه شکاف‌ها و حفره‌های کوچک درون یا اطراف نواحی روشن پرمی‌شوند و اشیاء به هم پیوسته‌تر دیده می‌شوند..

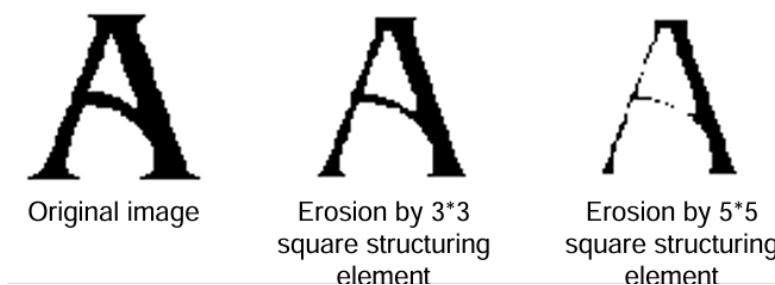
کاربردها: از مهم‌ترین کاربردهای آن می‌توان به پر کردن شکاف‌ها و حفره‌های کوچک در اجسام اشاره کرد بهویژه در تصاویری که به دلیل نویز یا خطاهای اسکن، نواحی روشن به طور ناقص نمایش داده شده‌اند. همچنان، این عملیات می‌تواند برای اتصال اجزای گستته یا ناپیوسته یک شیء به کار رود؛ مانند اجزای جداسده‌ی یک کاراکتر 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 کوچکتر شدن نواحی روشن (پیکسل های ۱) در تصویر می شود. در طی این فرآیند، مرزهای اشیاء به سمت داخل جمع شده و بخش های نازک، نویزهای جزئی، و زائد های کوچک حذف می شوند. در نتیجه، ساختار اصلی تصویر ساده تر و فشرده تر به نظر می رسد و نواحی روشن که به اندازه کافی بزرگ یا کامل نیستند، ممکن است کاملاً حذف شوند.

کاربردها: از مهم ترین کاربردهای Erosion می توان به حذف نویزهای ریز و زائد های ناخواسته اشاره کرد به ویژه 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 نزدیک به هم چسبیده اند، Erosion می تواند مرز آنها را تفکیک کرده و شناسایی جداگانه آنها را ممکن سازد. همچنان در تحلیل شکل و اندازه اجسام، فرسایش برای کاهش یا فشرده سازی ناحیه ها پیش از انجام سایر پردازش ها مفید است. Erosion در زمینه های مختلف مانند پردازش تصاویر پزشکی (مثلًا برای جداسازی سلول ها)، بینایی ماشین، تشخیص اشیاء، تحلیل بافت و استخراج اسکلت اشیاء کاربرد دارد و اغلب به عنوان یک مرحله ای مقدماتی برای آماده سازی تصویر جهت پردازش های بعدی استفاده می شود.



:Opening

عملیات Opening شامل یک مرحله فرسایش (Erosion) و سپس یک مرحله گسترش (Dilation) است. در این فرآیند، ابتدا نواحی روشن نازک، نویزهای کوچک، زائد های یا اتصالات باریک حذف می شوند و سپس شکل اصلی با حفظ اندازه و موقعیت اجسام اصلی، دوباره بازسازی می گردد. نتیجه نهایی یک تصویر ساده تر، تمیز تر و عاری از جزئیات ناخواسته است بدون آنکه ساختارهای اصلی دچار تخریب قابل توجهی شوند.

کاربردها: Opening به طور خاص در حذف نویزهای کوچک و زائد های ناپیوسته از تصاویر با اینتری کاربرد دارد، به ویژه در شرایطی که بخواهیم جزئیات غیر ضروری را بدون آسیب رساندن به اشیاء اصلی حذف کنیم. این عملیات برای جداسازی اجسام نازک، پاک سازی پس زمینه، فیلتر کردن ذرات کوچک و آماده سازی تصویر برای تشخیص اشیاء بزرگ تر مفید است. در پردازش تصاویر پزشکی (مثلًا حذف نویزهای کوچک در عکس های میکروسکوپی یا CT)، در بینایی ماشین (مثل پاک سازی فرم ها و اسناد در OCR) و در تصاویر صنعتی برای حذف نقاط یا نواقص تولید به طور گسترده از Opening استفاده می شود. این عملیات ممکن می کند تا شکل ها با دقت بیشتری تحلیل شوند و پردازش های بعدی مانند شمارش، طبقه بندی 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، بردگی‌های کوچک و حفره‌های باریک در مرز یا درون اشیاء می‌شود، در حالی که شکل کلی ناحیه‌های روشن حفظ می‌شود. برخلاف Opening که برای حذف زائدات و نویزهای نازک طراحی شده، Closing بیشتر بر پیوسته‌سازی و صاف کردن مرزهای اشیاء تمرکز دارد. نتیجهنه نهایی تصویری هموارتر، یکپارچه‌تر و عاری از فرورفتگی‌های ریز یا جزئیات ناخواسته است.

کاربردها: Closing در کاربردهای مفید است که نیاز به پُر کردن شکاف‌ها یا ترک‌های کوچک در اشیاء وجود دارد. برای مثال در پردازش فرم‌ها یا استناد اسکن شده زمانی که خطوط حروف یا اشیاء دارای بردگی 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 مخصوصا closing و opening را نیز آورده ایم:

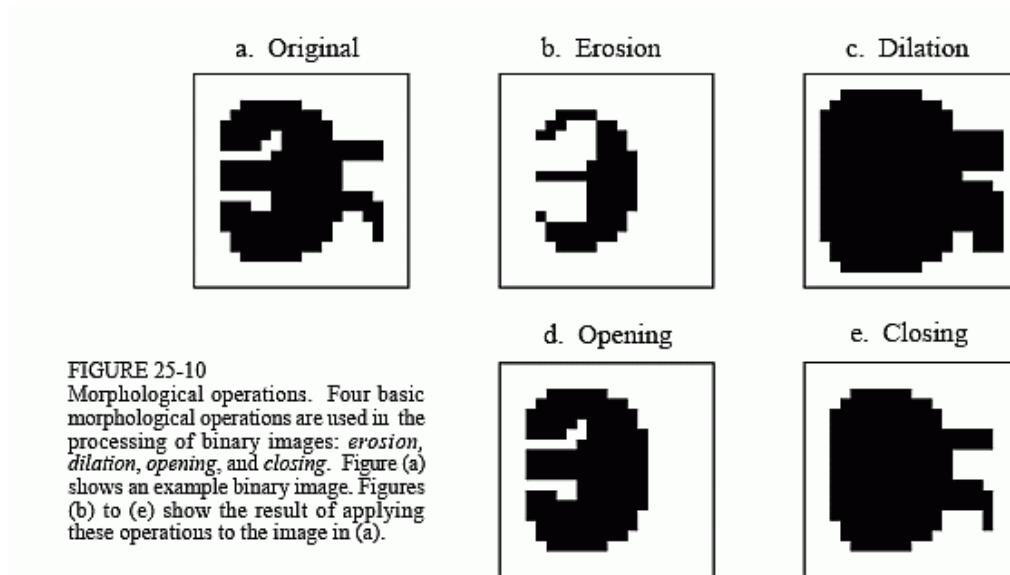
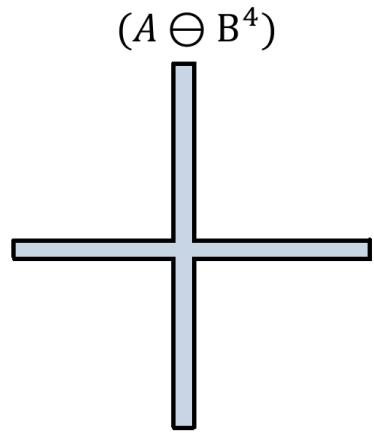


FIGURE 25-10
Morphological operations. Four basic morphological operations are used in the processing of binary images: *erosion*, *dilation*, *opening*, and *closing*. Figure (a) shows an example binary image. Figures (b) to (e) show the result of applying these operations to the image in (a).

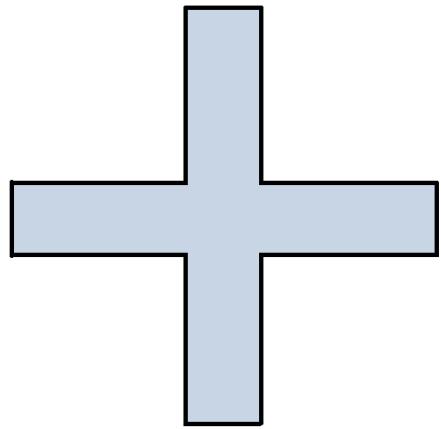
.F

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



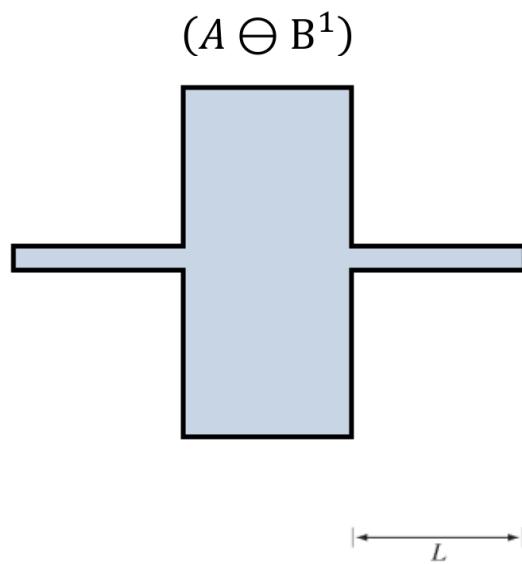
$(A \ominus B^4) \oplus B^2$



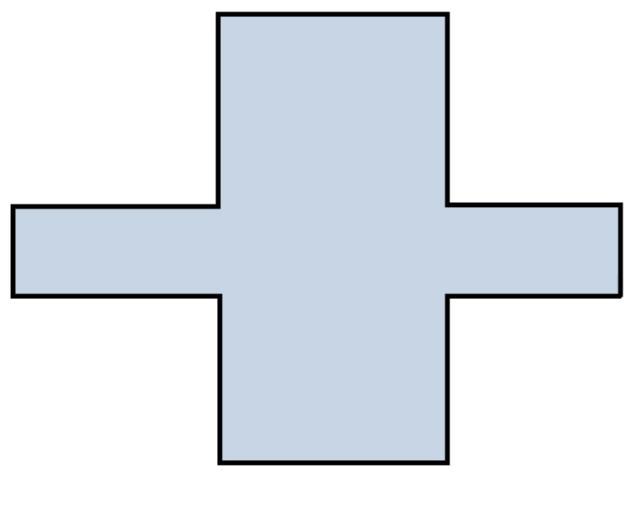
$| \xleftarrow{L} \xrightarrow{L} |$

$| \xleftarrow{L} \xrightarrow{L} |$

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



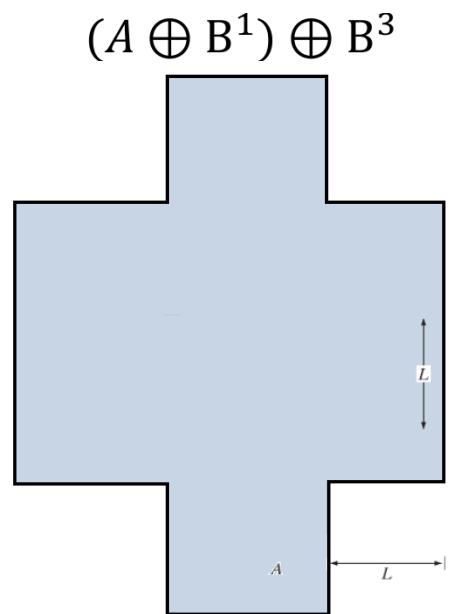
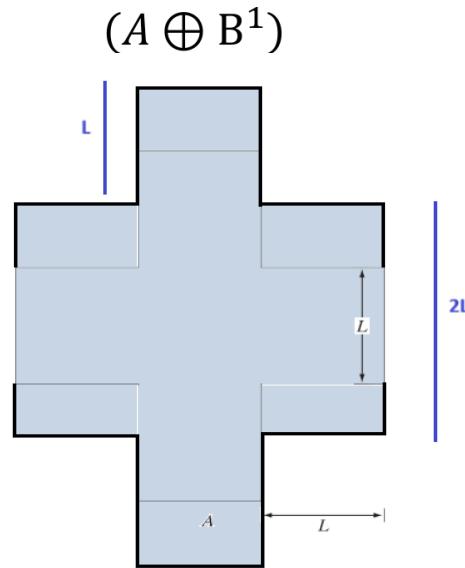
$(A \ominus B^1) \oplus B^3$



$| \xleftarrow{L} \xrightarrow{L} |$

$| \xleftarrow{L} \xrightarrow{L} |$

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



Problem 2: Applying Image Morphological Operations for Filtering Images

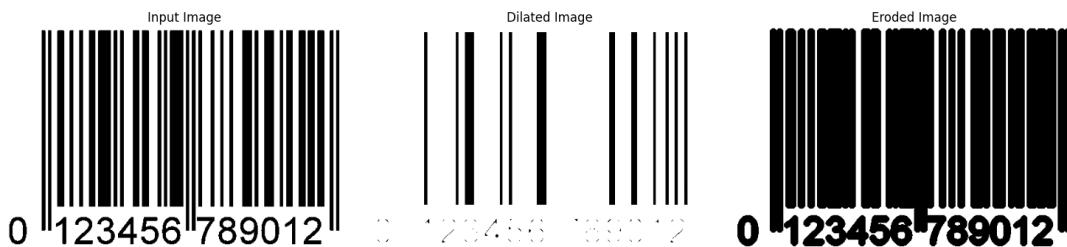
.A

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

آنچنان خوب بدست نیامد و به همین دلیل سایز را بزرگتر و ۷ در ۷ در نظر گرفتیم که نتایج و مقایسه بهتری بتوانیم داشته باشیم و SE را به صورت زیر تعریف کردیم:

$$\begin{bmatrix} 0, & 0, & 0, & 1, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 1, & 1, & 1, & 0, & 0 \\ 0, & 1, & 1, & 1, & 1, & 1, & 0 \\ 1, & 1, & 1, & 1, & 1, & 1, & 1 \\ 0, & 1, & 1, & 1, & 1, & 1, & 0 \\ 0, & 0, & 1, & 1, & 1, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 1, & 0, & 0, & 0 \end{bmatrix}$$

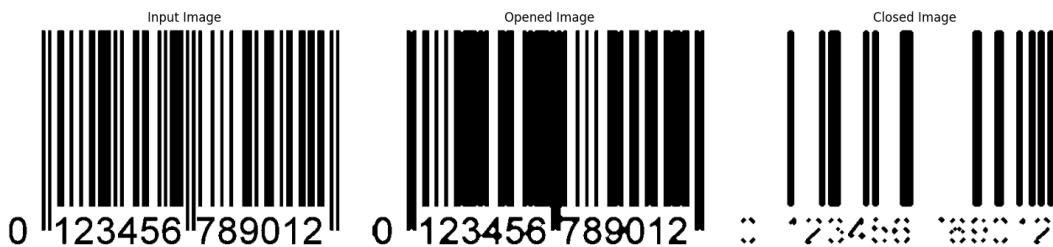
ابتدا کتابخانه‌های مورد نیاز را import کردیم و سپس تصویر مورد نظر را لود و باینری کردیم. در ادامه نیز با استفاده از structuring element که تعریف کردیم، دو عملیات پایه‌ای یعنی گسترش و فرسایش را بر روی تصویر اعمال نمودیم و نتیجه آن به صورت زیر می‌باشد:



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

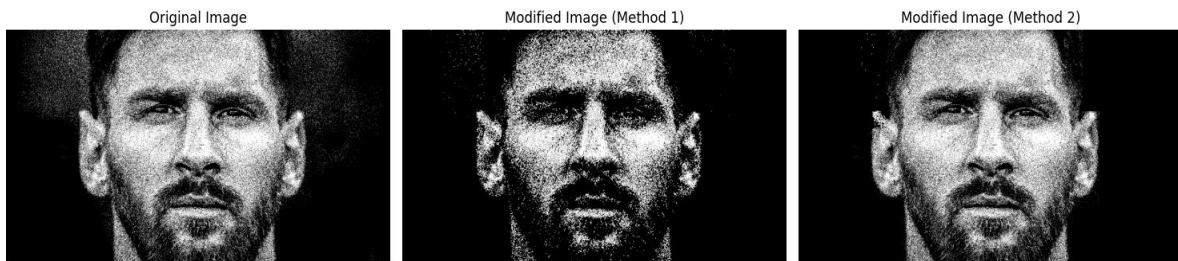
در این بخش از دو عمل مورفولوژیک بازشدن (Opening) و بسته شدن (Closing) برای پردازش تصویر بارکد استفاده کردیم. بازشدن شامل فرسایش و سپس یک گسترش است و معمولاً برای حذف نویزهای کوچک روشن از تصویر به کار می‌رود، در حالی که بسته شدن که شامل گسترش و سپس فرسایش است برای پرکردن فضاهای و حفره‌های کوچک تیره در نواحی روشن مناسب است. در کد اجرا شده، ابتدا تصویر بارکد به صورت باینزی 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 نواهای 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 نویزهای 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 باینزی تبدیل کردیم. در روش اول، عمل Opening را دو بار به صورت متواال اعمال کردیم (ابتدا با عنصر ساختاری افقی ۱ و سپس با عنصر ساختاری عمودی ۱ 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 انتهای، تصاویر حاصل از این دو روش را در کنار تصویر اصلی نمایش دادیم تا در ادامه به تجزیه و تحلیل آنها پردازیم:



همان طور 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 به صورت هدفمند تنها بر نواحی مشخصی در اطراف سر لیونل اعمال شده، توانسته نویزهای موضعی را با دقیق‌تری حذف کند و ساختار کلی چهره را نیز حفظ نماید. این نتیجه نشان می‌دهد که استفاده از عملیات ریخت‌شناسی به صورت localized نه تنها در حذف جزئیات ناخواسته مؤثرتر است بلکه باعث کاهش تغییرات ناخواسته در بخش‌های سالم تصویر نیز می‌شود.

Problem 3: Hit or Miss algorithm

.A

3⁰⁷ در این سوال انجام الگوریتم hit or miss با ازماق خواهد.
 اگر تصویر اصلی را A در نظر بگیریم و
 08 فرمول زیر را برای این الگوریتم داریم:

$$A \oplus B = (A \ominus B_1) \cap (A^c \ominus B_2) \quad 09$$
 که مکان هایی که مختلف به object هستند بوسیله B₁ شناسوده شوند
 10 و جایی است که B₁ کامل قبیت مسود داخل object و حجم B₂ هم
 11 آنچهی هستند که به پکاراند object قبیت می شوند و همچنین بین B₁
 12 و B₂ پایان است که داشته باشیم و $B_1 \cap B_2 = \emptyset$
 ملیق سوال structuring element نازین بعد
 13 نامیم که حرف T سینه (1) در پیزندگان (0) است و
 مجموعاً ساخته 5x5 را فرد در نظر گیرند و بد عنوان ماتریس 5x5
 14 در نظر گرفتیم:

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{origin} \quad 15$$
 15 به صورت رو برو است
 16 $B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{foreground} \quad 17$
 17 بنز بین صورت است
 18 نقطه تلاع خط عمودی و افقی در نظر گرفتیم.

حالا ملیق فرمول بخشن اول یعنی $A \ominus B_1$ بحسبت های آوریم

و B_1 فقط در تصور اصلی که متمال UTK است روی T بد طور کامل

قمارهایی را در محل origin ب نقطه داریم.
بنابراین T موجده در تصور اصلی سفید در
مبدأ T موجود در تصور اصلی)

در آدامه بخشن دوم فرمول یعنی $(A^c \ominus B_2)$ را باید بحسبت آوریم

و ابتدا تصور اصلی را هرچنان داریم به تبدیل های لینی و هرجا

داریم به T تبدیل های لینی یعنی در A^c ما سیزده سفید داریم (۱) که

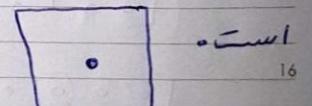
UTK به صورت سیاه (۰) وسط آن قرار گیرد. B_2 را هم در

صفحه قبل توضیح دادیم و حالا T را بحسبت های آوریم و

در نظریت باید استراک این دو بخش را برداشتم که حاصل

$A \otimes B = (A \ominus B_1) \cap (A^c \ominus B_2)$ یعنی تمحاص سیاه

با یک نقطه سفید (سیاه) در origin مربوط به T نشان داده شده

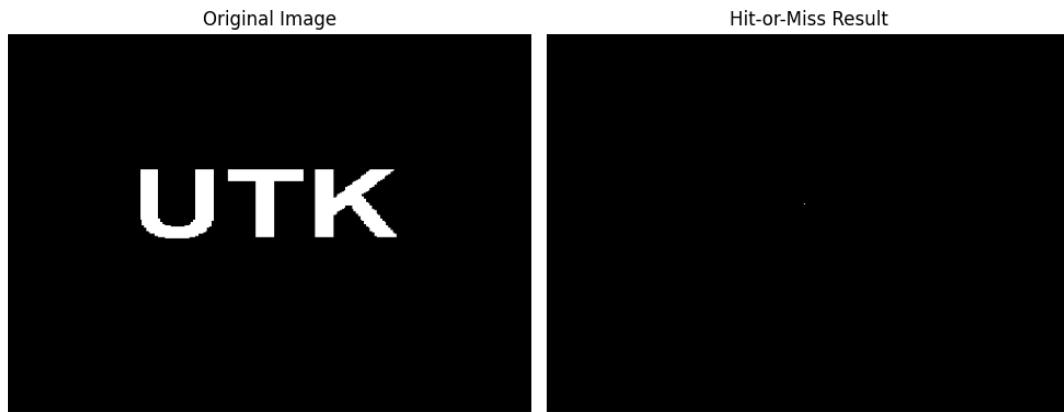


* در سیاری از موارد مجموع "origin" را مرکز SE در نظر گیرند

اما برای این SE که در سوال داشتم محل تلاقي خطا محدودی او اتفاق

در حرف T انتخاب بصری می تواند باشد.

برای نمایش دقیق تر و بهتر نتیجه الگوریتم Hit or Miss، پیاده سازی آن را در پایتون نیز انچام 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 راست مشاهده می کنیم:



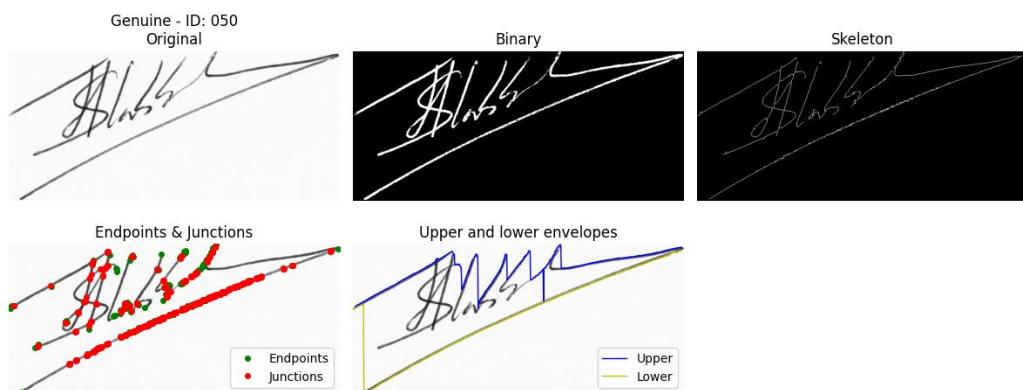
Problem 4: Offline signature feature extraction for signature recognition

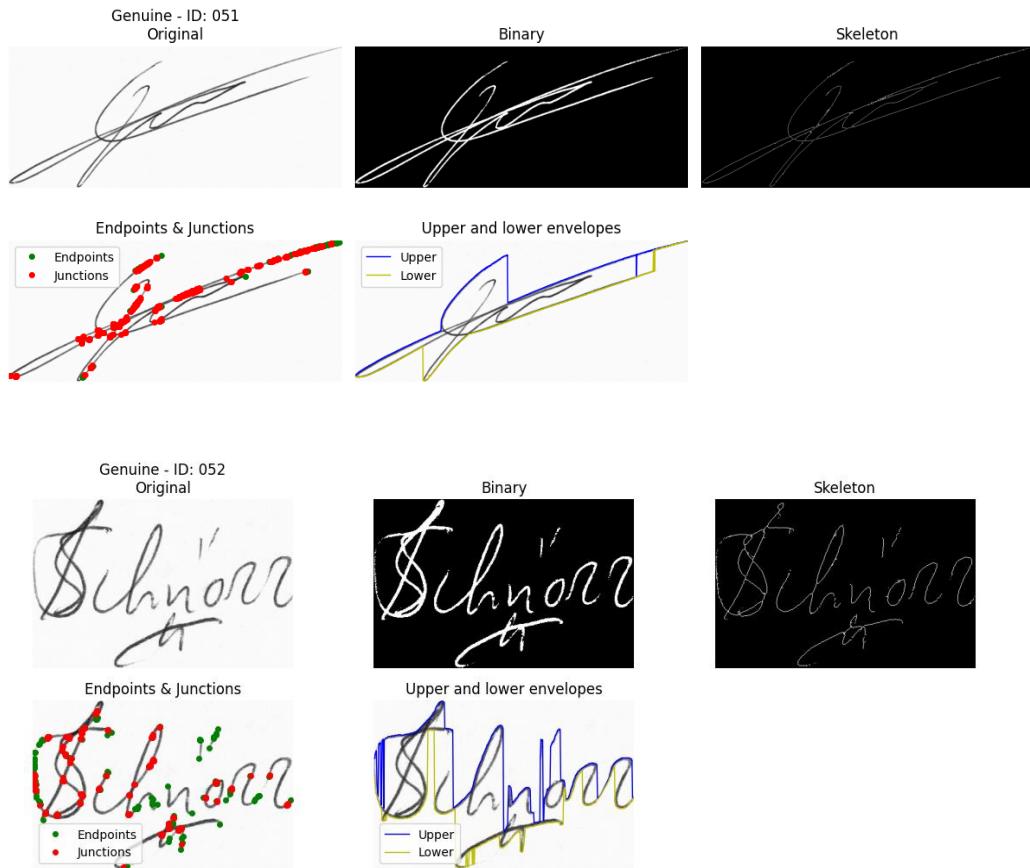
.A

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 می‌شود. سپس این ویژگی‌ها بین امضاهای واقعی هر فرد مقایسه شده و الگوی ثابتی برای هر شخص ایجاد می‌شود. در ادامه با استفاده از امضاهای واقعی مرجع (۵ نمونه اول)، امضاهای تستی (واقعی یا جعلی) با استفاده از فاصله‌ی هاوسدورف ارزیابی و طبقه‌بندی می‌شوند. هدف نهایی، تشخیص دقیق امضاهای جعلی از واقعی با تکیه بر ویژگی‌های ساختاری آن‌هاست.

ابتدا کتابخانه‌های مورد نیاز را `import` می‌کنیم و ابتدا تصاویر امضا را به صورت سیاه و سفید خواندیم و با استفاده از آستانه‌گذاری Otsu آن‌ها را به تصویر بازتر 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 پیکسل‌های فعال در هر ستون به دست آوردم. برای نمایش نتایج، ویژگی‌های استخراج شده مانند اسکلت، نقاط کلیدی و پوش‌ها را روی تصاویر اصلی ترسیم کردیم. در نهایت، همه ویژگی‌های مربوط به هر فرد را به صورت ساختاریافته ذخیره کردیم تا در ادامه مورد استفاده قرار گیرد.

برای هر کدام از امضاهای افراد 50، 51 و 52 نیز این ویژگی‌های a تا d که در سوال گفته شده بود را در ادامه برای درک بهتر و تجزیه و تحلیل نمایش دادیم:



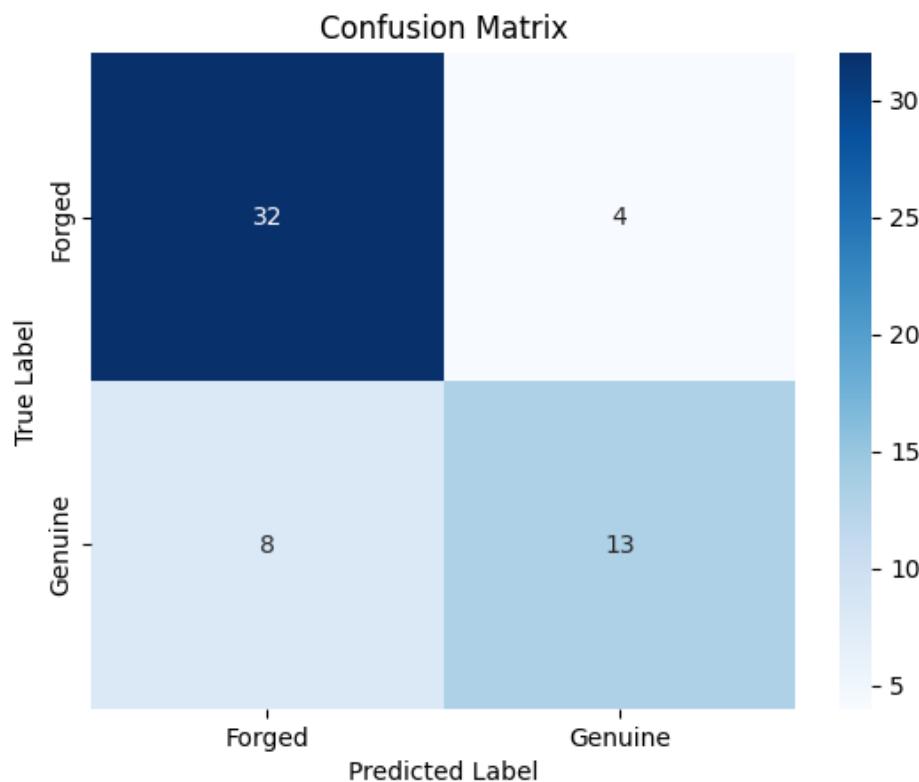


به عنوان مثال در خروجی بالا ویژگی‌های هندسی و ساختاری یک نمونه امضای واقعی با شناسه ۰۵۲. به خوبی استخراج و نمایش داده شده‌اند. تصویر اسکلت شده، نمایی ساده‌شده از مسیر اصلی حرکت قلم ارائه می‌دهد که پایه مناسبی برای مقایسه ساختاری است. نقاط انتهایی و انشعاب‌ها با دقت بالا استخراج شده‌اند و پراکندگی منظم آن‌ها نشانه‌ای از پیچیدگی و اصالت امضا است. پوش‌های بالایی و پایینی نیز موفق شده‌اند انحنای 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 امضاهای 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 هاووسدورف، 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 ادام 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 پیش‌بینی شده 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 امضای جعلی را به اشتباه واقعی پیش‌بینی کرده است. در مقابل، تنها ۱۳ امضای واقعی به درستی شناسایی شده‌اند و ۸ امضای از آن‌ها به اشتباه جعلی تشخیص داده شده‌اند. ماتریس درهم ریختگی را نیز در ادامه نمایش دادیم:



«... خردادماه ۱۴۰۴»