

تشخیص برون خط جعل دست خط فارسی غیر وابسته به متن با استفاده از تحلیل بافت

الهه قنبری ممان^۱، محسن ابراهیمی مقدم^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هوش مصنوعی، ۲- دانشیار، دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی

(دریافت: ۹۷/۰۳/۲۰، پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۴)

چکیده

امروزه دست خط به عنوان یک زیست‌سنج رفتاری شناخته شده و مورد قبول است. همراه با گسترش این مقبولیت سوء استفاده از آن نیز گسترش یافته است. در این مقاله روشی برای تشخیص برون خط جعل دست خط فارسی در حالت غیر وابسته به متن ارائه شده است. این روش مبتنی بر استخراج دو بافت متراکم از حروف پایه و جزئیات نوشته می‌باشد. پس از دودویی کردن و استخراج اسکلت نوشته و اعمال متوالی فیلتر گابور و تدریج فاز محلی بردار ویژگی نمونه‌ها استخراج و در نهایت با استفاده از دسته‌بندی یک کلاسه و تنها با وجود نمونه‌های مثبت داده‌ها دسته‌بندی شده و جعلی بودن یا نبودن آنها بررسی می‌شود. استفاده از ترکیب این دو توصیف‌گر برای دادگان فارسی برای اولین بار در این مقاله به کار گرفته شده است. از آنجا که هیچ مجموعه داده مناسبی در زبان فارسی برای این منظور وجود نداشت، یک مجموعه داده از ۶۲ نویسنده با دو نمونه نوشته جمع‌آوری شد. در نمونه اول از نویسندگان درخواست شد که متنی را بازنویسی کنند و در نمونه دوم از آنها خواسته شد درباره یک تصویر مطلبی بنویسند. برای تولید نمونه‌های جعلی از هنرجویان ممتاز خط خواسته شد که نمونه دوم را تقلید کنند تا برای هر نویسنده سه مورد نمونه جعل تولید شود. نتایج آزمایش‌ها رضایت‌بخش بوده و با دقت بیش از ۸۴ درصد کیفیت روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: زیست‌سنجی، تشخیص جعل، تحلیل بافت، غیر وابسته به متن

۱- مقدمه

تأیید هویت نویسنده یک متن در سند های قانونی امری لازم به نظر می‌رسد. در تأیید هویت هدف آن است که با داشتن نمونه یا نمونه‌هایی از زیست‌داده‌های جمع‌آوری شده از افراد و نمونه‌های نامعلوم که احتمال جعل آن وجود دارد، بتوان این نمونه‌ها را از یکدیگر تمییز داد.

سامانه‌های تشخیص و تأیید هویت از دید چگونگی جمع‌آوری داده به دو دسته تقسیم می‌شوند. برخط و برون خط. سیستم برخط سیستمی است که برای جمع‌آوری نمونه‌ها (در اینجا دست خط یا امضا) از دستیار شخصی رقمی^۴ یا دودویی کننده^۵ استفاده کرده و همزمان با وارد نمودن اطلاعات، ویژگی‌های داده (مانند فشار، سرعت و غیره) را ثبت می‌کند. در مقابل، سیستم‌های برون خط تنها پس از کامل شدن نمونه از تصویر اسکن شده آن استفاده می‌کنند. سیستم‌های برخط دارای اطلاعات بیشتری هستند [۲].

سیستم‌های تشخیص و تأیید هویت مبتنی بر دست خط از دید محتوا به دودسته تقسیم می‌شوند: وابسته به متن و مستقل از متن. در سیستم‌های وابسته به متن، متن داده مورد پرسش و

احراز هویت^۱ افراد مسئله مهمی در امنیت و دسترسی به منابع کنترلی محسوب می‌شود. برای این منظور ساده‌ترین راه استفاده از پین کد^۲ است. از آنجایی که محیط‌های پیچیده نامنی‌های پیچیده‌تری را به همراه دارند، محدود شدن به رمزهای عبور چندان منطقی و عاقلانه نخواهد بود. ظهور فناوری‌های جدید گام را از حروف و ارقام فراتر نهاده و جایگزینی مطمئن‌تر برای آن‌ها یافته‌اند. از نمونه این نوع فناوری می‌توان به بیومتریک^۳ یا زیست‌سنجی اشاره کرد. زیست‌سنجی در اصل به فراهم‌سازی امنیت با استفاده از جنبه‌های فیزیکی بدن مانند اثر انگشت و یا خصوصیات رفتاری مانند امضا اشاره دارد.

امروزه دست خط به عنوان یک زیست‌سنج رفتاری در جوامع پذیرفته شده و علی‌رغم گسترش متون رقمی استفاده از آن در انواع سند های قانونی همچنان رایج است [۱]. به همراه این مقبولیت سو استفاده از آن نیز در حال گسترش است. از این‌رو،

* رایانامه نویسنده مسئول: m_moghadam@sbu.ac.ir

¹ Authentication

² PIN code

³ Biometric

⁴ Personal Digital Assistant

⁵ Digitizer

ویژگی نیز به دو روش کلی استخراج ویژگی‌های ساختاری^۸ و ظاهری از دست‌خط و تحلیل بافت متن نوشته^۹ انجام می‌گیرد. در ادامه چند نمونه پژوهش مرتبط با دست‌خط در زمینه‌های تشخیص، تأیید و جعل در زبان‌های فارسی و انگلیسی در هر دو دسته‌ی استخراج ویژگی معرفی خواهد شد.

سانگ هوک و چارلز تپرت در [۵] روشی برای تشخیص خودکار جعل دست‌خط ارائه داده‌اند. در این مقاله ادعا شده‌است که اگرچه می‌توان شکل و انحنای حروف نوشته شده توسط هر نویسنده را تقلید کرد ولی تقلید جنبه‌های پویا مانند سرعت و شتاب نوشتن بسیار دشوار است. از آنجا که جاعلان به هنگام جعل سرعت پایینی دارند، با اسکن کردن نوشته در تفکیک‌پذیری بالا می‌توان لرزش جوهر را در نوشته‌های جعلی تشخیص داد. نسبت تعداد پیکسل‌ها در دو حالت تفکیک‌پذیری بالا و پایین مقدار لرزش را مشخص می‌کند. این مدل با یک شبکه عصبی آموزش داده شده و مقادیر ۹/۶٪ و ۱۱/۲٪ به ترتیب برای خطای نوع اول و دوم برای آن ذکر شده است.

برتولینی و همکاران [۶] برای تشخیص نویسنده ابتدا عناصر پیوسته متن را استخراج و با کاهش فاصله بین آن‌ها یک بافت متراکم و همگن از نوشته ایجاد کرده‌اند. با استفاده از دو توصیف‌گر الگوی دودویی محلی^{۱۰} و تدریج فاز محلی^{۱۱}، از داده‌های مجموعه Firemaker بردار ویژگی استخراج شده و با دسته‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان^{۱۲} بر روی تعداد نویسنده‌های متفاوت ۲۰ و ۱۰۰ تایی برای آموزش و ۱۵۰ نویسنده برای آزمون آزمایش انجام شده است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد در حالت شمول تمام نمونه‌های هر نویسنده میزان خطا ۱۶٪ برای الگوی دودویی محلی و ۱۴٪ برای تدریج فاز محلی می‌باشد.

در [۴] برای تشخیص نوشته‌های دسته چک یک توصیف‌گر سه‌بعدی از گابور (اکس-گابور^{۱۳}) ارائه شده است که به ادعای نویسنده بر خلاف گابور دو بعدی که قادر به تشخیص خطوط راه راه در تصویر است، خطوط خمیده راه راه را از تصویر استخراج می‌کند. از این توصیف‌گر به همراه ماتریس تراکم مسیر برای تشخیص جعل تقلیدی در کلمات پرتکرار در چک استفاده شده است. در این راستا استخراج ویژگی در دو حالت کلی و جزئی انجام شده است. توصیف‌گرهای گابور و اکس-گابور ویژگی‌های کلی نوشته را استخراج می‌کنند. برای استخراج ویژگی‌های جزئی اسکلت دست‌خط استخراج و خروجی آن به یک گراف تبدیل

متن داده‌های آموزشی یکسان است [۳]. از این‌رو، این سیستم تنها در حالت‌های خاص دارای کاربرد است. در سیستم مستقل از متن محتوای داده مورد پرسش و داده‌های آموزشی می‌توانند متفاوت باشند. یعنی این سیستم باید توانایی بررسی هر دو نمونه ورودی (با محتوای یکسان و متفاوت) را داشته باشد. این سیستم بسیار کاربردی‌تر از سیستم وابسته به متن است.

جرم جعل از جمله جرائمی است که از زمان پیدایش خط و اسناد در بسیاری از جوامع وجود داشته و در دهه‌های اخیر نیز گسترش یافته است. چهار دسته روش جعل دست‌خط در مقالات مشابه اخیر ذکر شده‌است که عبارت‌اند از [۴]:

- جعل تصادفی^۱: این گروه جعل به معنای آن است که شخصی بی‌تجربه و بدون داشتن نمونه‌ای از دست‌خط نویسنده اصلی سعی در جعل آن می‌کند.
- جعل مبتدی^۲: این جعل توسط یک شخص عادی انجام می‌شود و بسته به مورد برای انجام جعل یک یا چند نمونه در اختیار او قرار می‌گیرد. تشخیص این نوع جعل برای یک متخصص تشخیص جعل عملی ممکن و در بیشتر موارد ساده است.
- جعل حرفه‌ای و نیمه حرفه‌ای^۳: جعل حرفه‌ای توسط یک جاعل حرفه‌ای انجام می‌گیرد. یک جاعل حرفه‌ای خود در شناسایی جعل خبره بوده و با دانستن ملاک‌های مهم در تشخیص جعل، تمرین و ممارست بالا سعی در مخفی‌سازی آن ملاک‌ها در نمونه جعل خود دارد. تشخیص این نوع جعل برای متخصص تأیید هویت امری سخت است.
- جعل تقلیدی^۴: این نوع جعل توسط هر کسی می‌تواند انجام گیرد و نحوه انجام آن گذاردن کاغذ بر روی دست خط اصلی و تقلید نقطه به نقطه آن است.

در زمینه تشخیص جعل دست‌خط کارهای محدودی انجام شده است. تشخیص جعل تا کنون بیشتر بر پایه امضای افراد بوده است و به تشخیص جعل دست‌خط صورت بسیار محدود مورد توجه قرار گرفته است. بیشتر پژوهش‌های انجام شده در حیطه کاری دست‌خط نیز منحصر به تشخیص یا تأیید نویسنده و تشخیص حروف و کلمات هستند. سیستم‌های مبتنی بر بررسی دست‌خط و امضا عمده‌تاً دارای سه مرحله کلی هستند: پیش پردازش^۵، استخراج ویژگی^۶ و دسته‌بندی^۷. زیر بخش استخراج

⁸ structural feature extraction

⁹ texture analysis

¹⁰ Local Binary Pattern (LBP)

¹¹ Local Phase Quantization (LPQ)

¹² Support vector machine (SVM)

¹³ X-Gabor

¹ random forgery

² unskilled forgery

³ skilled forgery

⁴ mimic forgery

⁵ pre process

⁶ feature extraction

⁷ classification

دقت ۹۸ درصد ارائه کرده‌اند.

نکته حائز اهمیت در فرایند تشخیص جعل این است که دقت تشخیص حروف و کلمات در فارسی به قدری بالا نیست تا ابتدا تمام حروف و کلمات تشخیص داده شده و سپس مقایسه شوند. بنابراین به منظور بررسی دست‌خط به صورت غیر وابسته به متن در روش پیشنهادی این مقاله دست‌خط به صورت یک بافت در نظر گرفته شده است. در این صورت می‌توان شاخص‌های دست‌خط هر فرد را بدون نیاز به دانستن محتوای متن نوشته شده مورد بررسی و مقایسه قرار داد.

نوآوری‌های این مقاله به صورت خلاصه عبارتند از:

تصدیق هویت متفاوت با تشخیص جعل است و برای تشخیص جعل غیر وابسته به متن کار چندان بر روی دادگان فارسی انجام نشده است. این بررسی برای اولین بار انجام شده است.

از آنجا که پژوهش‌های قبلی مبتنی بر امضا و یا وابسته به متن (یعنی تعداد کلمات خاص و محدود) بوده‌اند، ارائه یک مجموعه داده جدید داده جعلی فارسی غیر وابسته به متن در این حوزه و تقسیم‌بندی نمونه‌های دست‌خط از نوآوری‌های این پژوهش می‌باشد.

اعمال فیلتر تاری حرکتی برای اولین بار برای استخراج خطوط نوشته از نوشته‌های دارای شیب به کار گرفته شده است.

ترکیب دو توصیف‌گر و اعمال روش ترکیبی بر روی بافت دست‌خط فارسی. این توصیف‌گرها بر روی تصاویر دودویی عملکرد مناسبی ندارند و برای حذف تاثیرات قلم تصاویر باید دودویی شوند. به همین دلیل اعمال توصیف‌گر گابور یک بافت خاکستری از تصویر به دست می‌دهد که برای اعمال توصیف‌گر محلی مناسب خواهد بود.

ساختار این مقاله به شرح زیر است: در ادامه ابتدا شمایی کلی از روش پیشنهادی ارائه می‌شود. سپس مراحل استخراج بافت همگن از متن و بعد از آن مراحل استخراج ویژگی‌های کلی و جزئی با اعمال توصیف‌گرهای محلی و سراسری بیان شده و در نهایت نتایج آزمایشگاهی ارائه خواهد شد.

۲- مقدمات پژوهش

در این بخش ابتدا به مرور تعاریف اولیه در زیر بخش مقدمات فنی و سپس در زیر بخش مقدمات ریاضی به توضیح مختصر مفاهیم ریاضی به کار رفته در این مقاله پرداخته می‌شود:

شده است. سپس مسیر حرکت دست هنگام نوشته تخمین زده می‌شود که این مورد به نوعی شبیه‌سازی ویژگی‌های آنلاین است. در نهایت، این روش بر روی مجموعه داده جمع‌آوری شده به منظور تشخیص جعل تقلیدی توسط نویسنده آزموده شده است که در بهترین حالت دقت ۹۷٪ برای پذیرش صحیح و ۸۷٪ برای رد صحیح به دست آمده است.

در [۷-۸] از فیلتر گابور به منظور استخراج بردار ویژگی دست‌خط، پس از کمی کاهش فاصله خطوط از توصیف‌گر گابور و چند ویژگی استخراجی از آن مانند گشتاورهای گابور برای تشخیص و تأیید نویسنده به صورت غیر وابسته به متن استفاده شده است. در [۸] بر روی مجموعه داده فارسی با ۴۰ نویسنده در بهترین حالت دقتی در حدود ۹۷ درصد گزارش شده است.

استفاده از اجزای کوچک زبان عربی که در بالا و پایین حروف علاوه بر حروف اصلی متن نوشته می‌شوند راه کار دیگری برای تشخیص جعل است [۹]. در این مقاله ذکر شده است که هر نویسنده علاوه بر سبک نوشتار خاص در نوشتن کلمات در نوشتن این اجزا نیز سبک خاصی دارد. با استخراج این موارد از نوشته و با استفاده از توصیف‌گر الگوی دودویی محلی با ۲۵۵ ستون به جای ۲۵۶ ستون دقت ۹۷/۵٪ بر روی مجموعه داده IFN/ENIT گزارش شده است. علت استفاده از الگوی دودویی محلی با ۲۵۵ ستون آن است که تصویر متنی دودویی و فقط شامل نقاط سیاه و سفید است. بنابراین عدد دهدهی ۲۵۶ معادل با نقاط تماماً سیاه (مربوط به فضای داخل نوشته) و یا تماماً سفید (مربوط به پس‌زمینه) است. با حذف این ستون دقت از ۵۰٪ به ۹۵٪ رسیده است.

در [۱۰] برای تشخیص جعل در مجموعه داده IAM^۱ ابتدا تصاویر دودویی شده و اسکلت نوشته استخراج شده است. سپس شاخه‌های انتهایی دست‌خط به عنوان ویژگی هر فرد مشخص شده و از مدل ترکیبی گاوسی^۲ برای تعیین مقدار شباهت نمونه‌های بهره برده شده است. با در نظر گرفتن ۲۰٪ داده جعلی دقت این روش ۹۵٪ گزارش شده است. همچنین با افزایش میزان جعل تا ۶۰٪ دقت به میزان ۸۰٪ رسیده است. پژوهش‌های مشابه دیگری نیز در حوزه تشخیص و تأیید نویسنده انجام شده است [۱۱-۱۵].

در [۱۶] نیز محمد جلید خان و همکاران راه‌کاری برای تشخیص جعل بر مبنای نحوه پخش جوهر نوشته بر روی مجموعه داده WIHSI و با استفاده از شبکه‌های کانولوشنی با

^۱ IAM = Institut für Informatik und angewandte Mathematik

^۲ Gaussian Mixture Model (GMM)

۱-۲- مقدمات فنی

توصیف‌گر محلی و سراسری: توصیف‌گرهای محلی بر روی ناحیه‌های کوچک تصویر عمل می‌کنند و ویژگی‌های محلی تصویر را استخراج می‌کنند و در مقابل توصیف‌گرهای سراسری هستند که ویژگی‌های کلی بافت را از تصویر استخراج می‌کنند.

توصیف‌گرهای متراکم و تنک: توصیف‌گرهای متراکم از تمام پیکسل‌های تصویر عملیات ویژگی استخراج می‌کنند در حالی که توصیف‌گرهای تنک بر روی ناحیه‌های برجسته و مهم تصویر عمل می‌کنند.

تابع نقطه گستر (PSF): این تابع پاسخ سیستم تصویر برداری به منبع نور نقطه‌ای است. می‌توان این تابع را با پاسخ تصویر به تابع ضربه یکسان دانست.

مدل ترکیبی گاوسی (GMM): یک تابع احتمال چگالی است که به صورت جمع وزن‌دار مولفه‌های چگالی گاوسی ارائه می‌شود. در پردازش تصویر از این مدل ترکیبی برای بخش‌بندی تصویر به قسمت‌های مشابه استفاده می‌گردد. در واقع این تابع بخش‌های با چگالی متفاوت در تصویر را از هم متمایز می‌کند.

ماشین بردار پشتیبان (SVM): از ماشین بردار پشتیبان معمولاً برای دسته‌بندی دو کلاسه استفاده می‌شود. مبنای کاری این دسته‌بندی کننده، دسته‌بندی خطی داده‌ها است و در تقسیم خطی داده‌ها سعی بر آن است خطی انتخاب شود که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد. برای دسته‌بندی یک کلاسه این دسته‌بندی کننده برای مدل‌سازی چندین نمونه منفی تولید کرده و جداساز را تعیین می‌کند که نیازمند در اختیار داشتن تعداد زیاد نمونه آموزشی است. در غیر این صورت مشکل بیش‌برازش روی خواهد داد.

دسته‌بندی یک کلاسه (OCC): دسته‌بندی یک کلاسه زمانی به کار برده می‌شود کلاس منفی وجود ندارد یا داده‌های مناسبی برای آن وجود ندارد. در واقع در این دسته‌بندی یک کلاس هدف وجود دارد و قصد آن است که با ورود داده تست تشخیص داده شود آیا این داده متعلق به کلاس هدف می‌باشد یا نه.

BDT (کد اختصاری برای بافت پایه کلمات) بخش پایه کلمات فارسی هستند. استخراج این بافت در ادامه کاملاً شرح داده خواهد شد.

PDT (کد اختصاری برای بافت اجزای کلمات) اجزای ریز کلمات فارسی مانند سرکش، نقطه و ... را شامل می‌شود. استخراج این بافت در ادامه به صورت کامل شرح داده خواهد شد.

منحنی مشخصه عملکرد سیستم: منحنی ROC یا مشخصه

عملیاتی گیرنده یکی از مشهورترین روش‌های ارزیابی مدل است. این منحنی یک معیار سنجش میزان کارایی در مسایل دسته‌بندی و یک نمایش گرافیکی از میزان حساسیت یا پیش‌بینی درست در مقابل پیش‌بینی غلط در یک سیستم طبقه‌بندی دودویی است که آستانه تفکیک در آن متغیر است. همچنین منحنی ROC با رسم مثبت‌های درست پیش‌بینی شده در مقابل مثبت‌های غلط پیش‌بینی شده، نشان داده می‌شود. سطح زیر منحنی ROC عددی است که یک جنبه از کارایی را مورد سنجش قرار می‌دهد. AUC (مساحت زیر نمودار) مقداری بین صفر و یک است. مقدار $0/5$ برابر پیش‌بینی تصادفی است و مقدار ۱ برابر پیش‌بینی عالی است.

مجموعه داده Firemaker: این مجموعه داده شامل چهار نمونه متنی از ۲۵۰ نویسنده است. صفحه اول نوشته افراد در حالت معمولی و با متن از پیش تعیین شده است. در صفحه دوم همان متن با حروف بزرگ نوشته شده است. در صفحه سوم از افراد خواسته شده است که متن را به شکلی بنویسند که گویا یک دست‌خط خیالی را تقلید می‌کنند. این نمونه به‌عنوان نمونه جعل در نظر گرفته می‌شود. صفحه چهارم نیز شامل یک تصویر است که در آن از افراد خواسته شده که متنی در مورد آن بنویسند.

مجموعه داده IAM: این مجموعه داده یکی از مجموعه‌های داده بسیار معروف و شناخته شده در زمینه کاربردهای مربوط به دست‌خط مانند تشخیص و تایید نویسنده و تشخیص کلمات در زبان انگلیسی است. متن نوشته‌ها از ۶۵۷ نفر جمع‌آوری و با ریزدانه‌گی ۳۰۰ dpi اسکن شده‌اند. محتوای نوشتار برای هر فرد متفاوت است. در حدود ۳۵۰ نویسنده فقط یک نمونه دست‌خط دارند. حدود ۳۰۰ نویسنده بیش از دو مورد و ۱۲۵ نویسنده نیز حداقل چهار نمونه دست‌خط در این مجموعه داده نوشته‌اند.

مجموعه داده IF/ENIT: این مجموعه داده به زبان عربی است و در آن از ۴۱۱ نویسنده درخواست شده است که فرمی را بازنویسی کنند که در آن نام شهرهای تونسسی به همراه کد آن شهر نوشته شده است.

۲-۲- مقدمات ریاضی

LPQ: تدریج فاز محلی: توصیف‌گر تدریج فاز محلی برای بررسی تصاویر تار^۱ معرفی شده است. در حوزه فرکانس یک تصویر تار شده از ضرب تصویر اصلی و یک تابع گاوسی (مانند تابع نقطه گستر)^۲ ایجاد می‌شود که در حوزه فرکانس به‌صورت ضرب

^۱ blurred

^۲ PSF (Point Spread Function)

$$CLBP_{C_{r,p}} = s(x_c - \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M I(i,j)) \quad (7)$$

۲- CLBP_S: همانند الگوی دودویی محلی است.

۳- CLBP_M: این قسمت از توصیف‌گر با توجه به رابطه ۸ تفاضل نقطه مرکزی و همسایه‌های آن را با یک میانگین کلی از تصویر، دودویی می‌کند.

$$CLBP_{M_{r,p}} = \sum_{n=0}^{p-1} s(|x_{r,p,n} - x_c| - \mu_{r,p}^8) 2^n \quad (8)$$

در انتها این سه بردار تجمیع شده و بردار ویژگی نهایی را تولید می‌کنند. به همین دلیل اندازه بردار ویژگی بسیار بزرگ است. اما نسبت به الگوی دودویی محلی خاصیت متمایزکنندگی بسیار بهتری دارد و در برابر نوفه^۲ مقاوم‌تر است.

LTP: الگوی سه تایی محلی:

توصیف‌گر الگوی سه تایی محلی توسعه دیگری از الگوی دودویی محلی است که از دو حد آستانه استفاده می‌کند و مطابق رابطه‌های ۹ و ۱۰ محاسبه می‌شود [۲۰]:

$$LBP_{r,p} = \sum_{n=0}^{p-1} s(x_{r,p,n} - x_c) 2^n \quad (9)$$

$$s(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (10)$$

توصیف‌گر گابور:

توصیف‌گر گابور از نوع سراسری، متراکم و بر پایه پردازش سیگنال است که از سیستم بینایی انسان الهام گرفته شده است. این توصیف‌گر از ضرب یک تابع سینوسی و یک تابع گاوسی ایجاد و با رابطه (۱۱) بیان می‌گردد. فیلترهای دو بعدی گابور با توجه به رابطه (۱۲) تعریف و در تصویر کانالو می‌شوند. در این رابطه I نشان‌دهنده تصویر دو بعدی ورودی، X, Y مختصات مکانی نقاط تصویر، θ اندازه زاویه و φ فرکانس تابع سینوسی است [۲۱].

$$g(x, y, \theta, \varphi) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}\right) \cdot \exp(2\pi\varphi(x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta)) \quad (11)$$

$$G(x, y, \theta, \varphi) = \iint I(p, q) g(x - p, y - q, \theta, \varphi) dpdq \quad (12)$$

نقطه‌ای دو تابع خواهد بود (روابط ۱ و ۲). در واقع پاسخ سیستم به تابع نقطه گستر نتیجه تاثیر تابع ضربه بر روی سیستم ورودی است. اگر فرض کنیم که این تابع نسبت به مرکز متقارن است در نتیجه فازهای ایجاد شده برای تصویر تار مقداری حقیقی دارد و برابر است با 0 یا π . (رابطه ۳) می‌توان از این خاصیت استفاده کرده و با اعمال تبدیل فوریه گسسته بر روی تصویر که در رابطه (۴) بیان شده است، بردار ویژگی آن تصویر را استخراج کرد. این توصیف‌گر شکل کلی بافت را که در فرکانس‌های پایین وجود دارد، حفظ می‌کند و جزئیات بافت را که در فرکانس‌های بالا قرار دارد نادیده می‌گیرد [۱۷].

$$|G(u)| = |F(u)| \cdot |H(u)| \quad (1)$$

$$\angle G(u) = \angle F(u) + \angle H(u) \quad (2)$$

$$\angle H(u) = \begin{cases} 0 & H(u) \geq 0 \\ \pi & H(u) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$F(u, x) = \sum_{y \in N_x} f(x - y) e^{-j2\pi u^T y} = w_u^T f_x \quad (4)$$

LBP: الگوی دودویی محلی:

توصیف‌گر الگوی دودویی محلی از یک همسایگی محلی (۳ در ۳) برای دودویی کردن استفاده می‌کند. به این ترتیب که یک نقطه مرکزی در نظر گرفته و نقاط همسایه را با آن مقایسه می‌کند. اگر شدت روشنایی^۱ همسایه‌ها بیشتر از مرکز باشد، مقدار یک و اگر کمتر یا مساوی باشد مقدار صفر را به آن نسبت می‌دهد. در انتها مقادیر دودویی شده در یک همسایگی با توجه به موقعیت مکانی به عددی ده‌دهی تبدیل شده و هیستوگرام آن به‌عنوان بردار ویژگی در نظر گرفته می‌شود. نحوه محاسبه این اعداد ده‌دهی در هر همسایگی در رابطه‌های (۵-۶) بیان شده است [۱۸].

$$LBP_{r,p} = \sum_{n=0}^{p-1} s(x_{r,p,n} - x_c) 2^n \quad (5)$$

$$s(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (6)$$

از نظر شهودی الگوی دودویی محلی فیلتری برای یافتن لبه در همه جهات است.

CLBP: الگوی دودویی محلی ترکیبی:

توصیف‌گر الگوی دودویی محلی ترکیبی بر پایه الگوی دودویی محلی و شامل سه بخش است [۱۹]:

۱- CLBP_C: این قسمت از توصیف‌گر با توجه به رابطه ۷ نقطه مرکزی را با یک حد آستانه که از کل تصویر به‌دست می‌آید، دودویی می‌کند.

² noise

¹ intensity

۳-۲- ایجاد بافت متراکم برای استخراج ویژگی

در یک صفحه شامل متن معمولاً پس‌زمینه نسبت بیشتری از متن را به خود اختصاص می‌دهد. از آنجایی که توصیف‌گرهای متراکم بافت مبتنی بر پیکسل^۲ عمل می‌کنند، به همین دلیل برای کاهش تأثیر نسبت زیاد پس‌زمینه که الزاماً اطلاعات ارزشمندی در بر ندارد باید تا حدودی از میزان نقاط مربوط به پس‌زمینه در تصویر کم کرد. یعنی فاصله خطوط نوشته را کاهش داد و بافت متراکم‌تری ایجاد نمود.

برای استخراج بافت از متن انگلیسی از مؤلفه‌های همبند^۳ استفاده می‌شود ولی در یک نوشته فارسی، از آنجا که چسبیده نویسی یک قاعده نوشتن است، بعضی کلمات کاملاً پیوسته هستند و برخی دارای چند زیربخش پیوسته. علاوه بر آن بعضی حروف فارسی مانند کاف، گاف، ط، ظ دارای اجزای جداگانه‌ای هستند که این اجزا گاهی به صورت منفصل/متصل از/به کلمات نوشته می‌شوند. در نتیجه برای کاهش فاصله بین خطوط و کلمات ابتدا باید خطوط نوشته را تفکیک نمود و سپس فاصله بین آن‌ها را کاهش داد.

روش‌های متعددی برای تشخیص خطوط نوشته در متن وجود دارد. یکی از ساده‌ترین روش‌ها استفاده از افکنش^۴ در راستای خطوط نوشته است. با انجام این کار تراکم پیکسلی در راستای نوشته محاسبه می‌شود. مقادیر قله در خروجی نشان‌دهنده خطوط زمینه در نوشته هستند. با هموار کردن قله‌ها نتیجه بهتر خواهد شد. این روش در جدا کردن خطوط متون چاپی به خوبی عمل می‌کند. به دلیل آن که در این روش فقط تراکم پیکسلی بدون در نظر گرفتن شیب نوشته محاسبه می‌شود در نوشته‌هایی که کمی شیب دارند مانند نوشته‌ی شکل ۳-الف و یا نوشته‌هایی که فاصله خطوط آن‌ها خیلی کم است بسیار ضعیف عمل می‌کند.

روش بعدی استفاده از تابع یابنده نواحی^۵ برای استخراج خط است که در [۲۲] بیان شده است. از این روش بیشتر برای استخراج متون چاپی در تصاویر مناظر طبیعی استفاده می‌شود. مراحل کار به شرح زیر است:

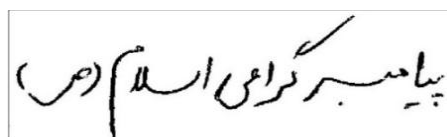
از آنجا که متن‌های موجود در تصویر در بیشتر موارد دارای رنگ یکسانی هستند، می‌توان مکان‌هایی که شدت رنگ مشابه

تشخیص جعل علاوه بر مراحل نرمال‌سازی تصاویر باید اثر قلم نیز از نوشته‌ها حذف شود. مراحل پیش‌پردازش انجام شده بر روی تصاویر به شرح زیر است:

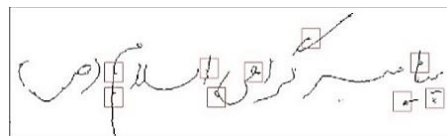
- رفع خط‌خوردگی‌ها
- بریدن حاشیه‌های تصویر و استخراج قسمت متن
- چرخش به منظور افقی کردن زاویه خط
- دودویی کردن تصویر: این مورد تأثیر رنگ قلم را از بین می‌برد.
- نازک‌سازی^۱ تصاویر به ضخامت یک پیکسل و هموار کردن خطوط: پس از استخراج اسکلت متن برای رفع اعوجاج‌های موجود و کاهش زائده‌های غیر ضروری یک فیلتر گاوسی اعمال می‌شود تا ضمن هموار شدن فقط شکل کلی کلمات باقی بماند. این پردازش تأثیر نوع قلم را تا حد قابل قبولی کاهش می‌دهد. تابع گاوسی از رابطه (۱۳) به دست می‌آید. در این رابطه مقدار σ به گونه‌ای تغییر داده می‌شود که تصویر خروجی دارای کمترین اعوجاج باشد. سیگما در این پژوهش، مقدار ۲ انتخاب شده است.

$$G(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (13)$$

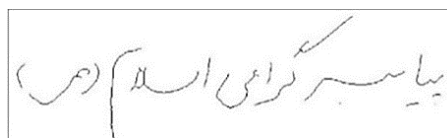
در شکل (۲-الف)، تصویر نمونه دودویی یک دست‌نوشته مشاهده می‌شود. در شکل (۲-ب) و (۲-پ)، به ترتیب خروجی مراحل نازک‌سازی نوشته و هموارسازی آن دیده می‌شود. مشاهده می‌شود که با اعمال این فیلتر زائده‌های موجود در نوشته بر اثر هموارسازی تا حد قابل قبولی کاهش یافته‌اند.



الف) بخشی از یک نوشته



ب) خروجی همراه با اعوجاج



پ) خروجی هموار شده

شکل (۱): مراحل هموارسازی اسکلت نوشته

^۲ pixel wise

^۳ Connected Component (CC)

^۴ projection

^۵ Maximally Stable Extremal Regions (MSER)

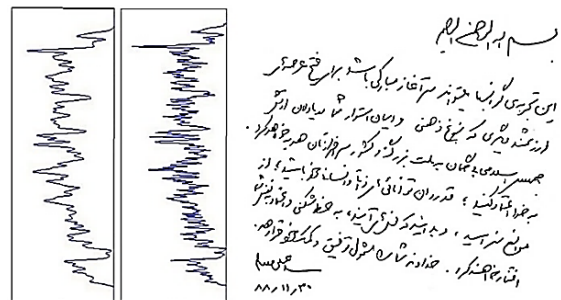
^۱ skeletonize

دارند را فیلتر کرد. سپس با استفاده از تابع یابنده لبه، لبه‌ها مشخص شده و داخل نواحی آن‌ها پر می‌شود. آن‌گاه با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های همبند مناطقی که متن در آن‌ها وجود ندارد هرس می‌شوند. در پایان حروف به هم متصل شده و خطوط را تشکیل می‌دهند. نتایج حاصل از این مرحله به‌عنوان مکان‌هایی که متن در آن‌ها وجود دارد اعلام خواهند شد. این روش نیازمند تعیین چندین پارامتر برای حد آستانه برای جداسازی مؤلفه‌های همبند است که تطابق‌پذیری^۱ آن برای نوشته‌های مختلف را کم می‌کند. همچنین به دلیل آن‌که از یکنواختی شدت روشنایی نوشته‌ها استفاده می‌کند برای حروف چاپی مناسب‌تر است. نمونه خروجی از این روش برای متن دست‌نویس در شکل (۳-ب) دیده می‌شود.

برای جداسازی کلمات بر روی متن یک فیلتر لاپلاسین گاوسی^۲ اعمال شده است. فیلتر لاپلاسین گاوسی که برای بار اول در [۲۳] مطرح و برای تشخیص لبه به‌کار برده شد، مطابق با رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$\nabla^2 G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^4} \left(2 - \frac{x^2 + y^2}{\sigma^2} \right) e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}} \quad (14)$$

انجام این کار باعث می‌شود که اجزای یک کلمه (یعنی حروف) که نسبت به اجزای خط (یعنی کلمات) فاصله کم‌تری دارند در هم ادغام شوند. سپس با دودویی کردن خروجی مرحله قبل مشاهده می‌شود که کلمات تا حد قابل قبولی از هم جدا می‌شوند. با توجه به این ویژگی می‌توان بر روی نوشته یک فیلتر تاری حرکتی^۳ در جهت افقی اعمال نمود (مطابق با شکل (۴-الف)). این فیلتر اجزایی که در جهت افقی به هم نزدیک‌تر هستند را در هم ادغام می‌کند. در نتیجه حروف کلمات در هم ادغام می‌شوند. در صورتی که اندازه شعاع فیلتر بزرگ‌تر شود، کلمات یک خط نیز در هم ادغام می‌شوند. سپس با دودویی کردن خروجی می‌توان عناصر پیوسته یعنی کلمات هر خط را جدا نمود (شکل ۴-ب). خروجی این روش در شکل (۴-پ) دیده می‌شود.

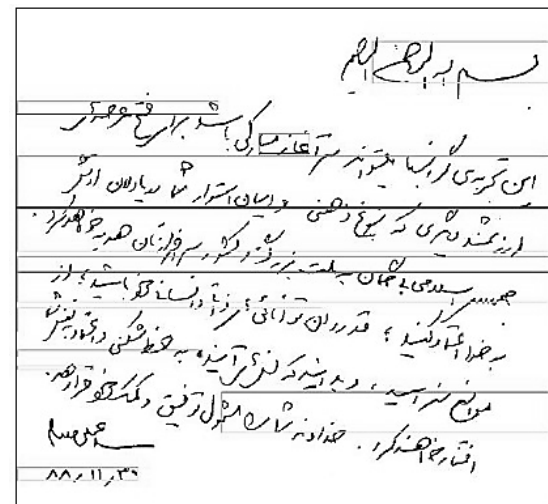


الف) خروجی روش افکشن بر روی متن با وجود شیب

فیلتر تاری حرکتی طبق رابطه (۱۵) به‌دست می‌آید که در آن L اندازه و θ جهت حرکت را مشخص می‌کنند [۲۴]. مقادیر L و θ در روند کار به‌صورت تجربی انتخاب شده‌اند. منظور از روند تجربی آن است که این مقادیر در فضای در برگیرنده پارامترها تغییر داده می‌شوند. یعنی یک پارامتر ثابت و پارامتر دیگر تغییر می‌کند. در نهایت مجموعه پارامتری انتخاب می‌شوند که بهترین جواب را به‌دست بدهند. در این بخش منظور از بهترین جواب آن است که تعداد خطوط استخراج شده از نوشته کمترین فاصله را از تعداد خطوط واقعی نوشته داشته باشد. مقادیر ۲۰۰ برای اندازه و ۵ برای درجه فیلتر تاری به‌کار رفته است.

$$h(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{L} & \text{if } \sqrt{x^2 + y^2} \leq \frac{L}{2} \text{ and } \frac{x}{y} = -\tan(\theta) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

پس از استخراج خطوط می‌توان فاصله بین کلمات را نیز برای رسیدن به یک بافت همگن‌تر کاهش داد. برای استخراج کلمات از فیلتر گاوسی استفاده شده است. همان‌طور که در شکل (۵-الف) مشاهده می‌شود، کلمات بیشتر در سطح افقی به هم نزدیک هستند.



ب) خروجی روش تابع یابنده نواحی بر روی یک متن فارسی

شکل (۲): خروجی روش‌های متفاوت استخراج خطوط نوشته

در این پژوهش برای استخراج خط روشی بیان می‌شود که به الهام از [۱۴] اجرا شده است و بدون نیاز به حد آستانه با دقت بسیار بالایی خطوط نوشته را از متون استخراج می‌کند. در [۱۴]

² Laplacian of Gaussian filter (LoG)

³ motion blur filter

¹ adaptation

سیگما به گونه‌ای تغییر داده می‌شود تا خروجی نتیجه قابل قبولی از کلمات یک خط باشند. منظور از قابل قبول آن است که تعداد کلمات به دست آمده کمترین تفاوت را با تعداد واقعی کلمات موجود در خط داشته باشند. رابطه ۱۶ نحوه محاسبه فیلتر گاوسی را بیان می‌کند: مقادیر ۱۵ و ۴۵ برای اندازه بردار در جهت افقی و عمودی و ۲۵ برای سیگما انتخاب شده است.

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (16)$$

حضرت علی (علیه السلام) می‌فرماید: کسی که با کتاب

الف) نمونه یک خط از دست‌نویسته فارسی



ب) نتیجه اعمال فیلتر گاوسی بر شکل قسمت الف



پ) نتیجه حاصل از دودویی کردن شکل قسمت ب



ت) استخراج مؤلفه‌های همبند از خروجی قسمت پ

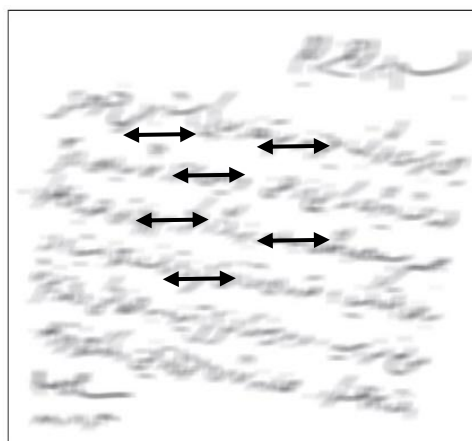
شکل (۴): مراحل استخراج کلمات و زیر کلمات از یک خط

در مرحله بعد کلمات جدا شده باید با فاصله یکسان در کنار هم و بر روی یک خط قرار بگیرند تا یک بافت همگن از نوشته‌ها ایجاد شود [۲۵] (شکل ۶). این بافت، بافت متراکم پایه کلمات^۱ است و به اختصار بافت پایه نامیده خواهد شد. به طور متوسط در هر بافت پایه، نسبت نقاط نوشته به پس‌زمینه ۸۰ درصد است.

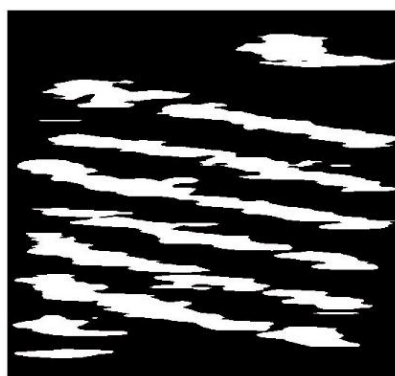


شکل (۵): چیدن مؤلفه‌های همبند استخراجی بر روی یک خط

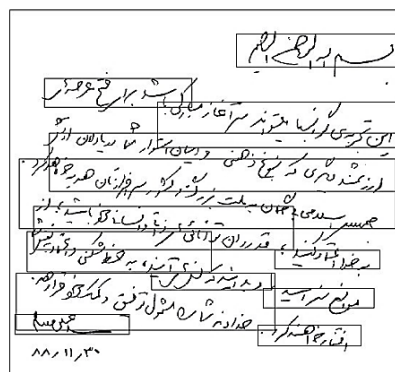
بررسی نمونه‌های جعلی در مجموعه داده نشان می‌دهد که افراد جاعل بیشتر سعی در تقلید پایه کلمات و کلیت یک نوشته داشته‌اند و جزئیات کلمات (شامل سرکش‌ها، مد الف، نقطه‌ها و بعضی حروف تنها مانند "د"، "و"، "ر"، "..." بدون دقت کافی نوشته شده‌اند. در این حالت شکل ظاهری دو نوشته بسیار به هم شبیه است ولی در جزئیات آن‌ها تفاوت وجود دارد. از این رو علاوه بر استخراج بافت پایه تصمیم گرفته شد تا جزئیات نوشته نیز استخراج شود. برای استخراج جزئیات نوشته علاوه بر موارد



الف) تصویر تار شده با فیلتر تاری حرکتی



ب) تصویر دودویی شده



پ) خروجی بر روی یک متن با وجود شیب خطوط

شکل (۳): مراحل اعمال فیلتر تاری حرکتی برای استخراج خطوط نوشته

همچنین برای دربرگرفتن اجزای غیر پایه باید اجزا تا حدودی در جهت عمودی نیز با هم ادغام شوند. به همین دلیل فیلتر گاوسی مناسب به نظر می‌رسد. خروجی اعمال فیلتر گاوسی در شکل (۵-ب) دیده می‌شود. در ادامه مانند روش استخراج خط، خروجی مرحله قبل دودویی شده و سپس مؤلفه‌های همبند آن استخراج می‌گردند. نتیجه حاصل از این دو مرحله به ترتیب در شکل‌های (۵-پ) و (۵-ت) مشاهده می‌شود. در این رابطه مقدار

¹ Base Dense Texture (BDT)

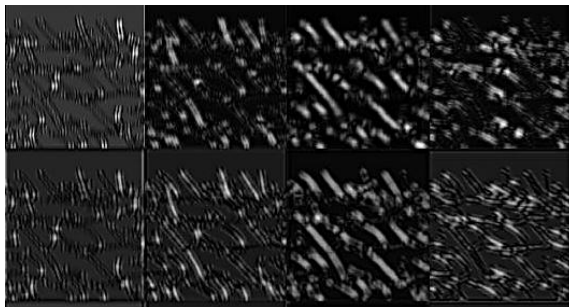
۳-۳- استخراج ویژگی

پس از به دست آوردن بافت پایه و بافت اجزا از نمونه دست خط باید ویژگی‌های متمایزکننده آن را استخراج نمود. برای این کار می‌توان از توصیف‌گرهای محلی و سراسری بهره گرفت.

توصیف‌گرهای محلی خاصیت تمیز^۱ بسیار بالایی دارند اما همان طور که در [۱۵] بیان شده است، بر روی تصاویر خاکستری بسیار خوب عمل می‌کنند و برای تصاویر دودویی - که تصاویر مربوط به بررسی متن نیز معمولاً دودویی هستند - پاسخ مناسبی تولید نمی‌کنند و به آستانه دودویی کردن وابسته هستند. برای رفع این مشکل ابتدا توصیف‌گر گابور بر روی تصاویر دودویی اعمال و سپس توصیف‌گرهای محلی بر روی خروجی این مرحله اعمال می‌شوند. در واقع بر خلاف روش معمول در فیلتر گابور به جای نمونه برداری از تصاویر دامنه گابور بدون از دست دادن دقت آن‌ها را کنار هم قرار داده و یک تصویر ماکرو^۲ از ورودی ایجاد می‌کنیم. این تصویر ماکرو به عنوان ورودی با سطح خاکستری برای توصیف‌گر محلی به کار گرفته می‌شود.

شکل (۹) بخشی از یک تصویر ماکرو از یک نمونه بافت پایه را نشان می‌دهد که فیلتر گابور در ۴ اندازه و ۸ زاویه بر روی آن اعمال شده است. در نهایت بردار ویژگی با اعمال توصیف‌گر تدریج فاز محلی بر روی این تصاویر ماکرو به دست می‌آید.

مقادیر L و ϕ برای مقادیر گابور در یک فضای دربرگیرنده پارامترها با تعداد بالایی از مقادیر تست شده و پاسخ تصویر به این فیلتر آزموده شده است. بهترین نتایج با محاسبه مساحت زیر نمودار انتخاب و گزارش شده‌اند.

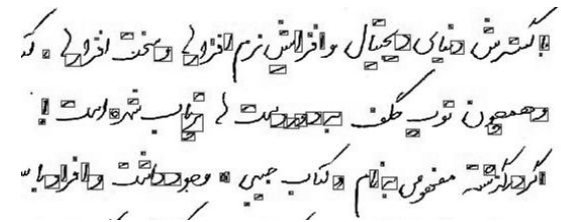


شکل (۹): ایجاد یک تصویر ماکرو با اعمال فیلتر گابور بر روی یک بافت پایه

۳-۴- دسته بندی

معمولاً در تأیید هویت زیست داده‌ها، داده منفی (جعلی) در سیستم در نظر گرفته نمی‌شود. دلیل این امر آن است که با

ذکر شده در استخراج اجزای ریز و استخراج حروف تنها را نیاز داریم. حروف تنها ظاهر کلی نوشته را تغییر نمی‌دهند زیرا نسبت به کلمات کشیده خیلی کوچک تر هستند ولی هر نویسنده در نوشتن این اجزا نیز سبک نوشتاری خاص خود را دارد. برای استخراج اجزا و حروف تنها از روش استخراج مؤلفه‌های همبند و در نظر گرفتن مساحت هر مؤلفه (مقداری بین ۵۰ پیکسل و میانگین مساحت کلمات همان نوشته) استفاده شد. اجزای استخراج شده در شکل (۷) با کادر مشخص شده‌اند.

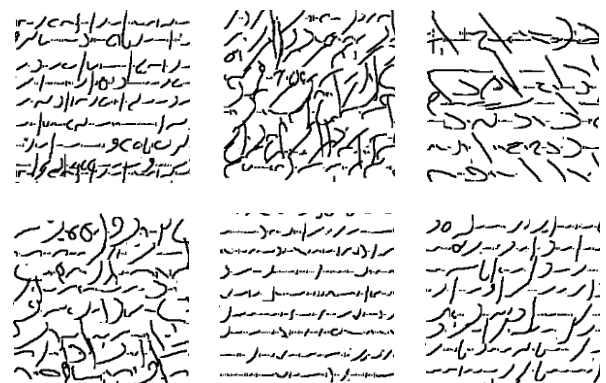


شکل (۶): پیدا کردن اجزا و حروف تنها از نوشته

با همان روش گفته شده برای استخراج بافت پایه، اجزا نیز به صورت یک بافت مترامک برای هر نویسنده استخراج و به اندازه های یکسان تقسیم شد. این بافت، بافت مترامک اجزای کلمات نامیده می‌شود و به اختصار بافت اجزا نامیده خواهد شد. شکل های (۷-۸) چند نمونه از این دو نوع بافت را نشان می‌دهد.



شکل (۷): چند نمونه بافت پایه استخراجی از نوشته‌های PHFD



شکل (۸): چند نمونه بافت اجزا استخراجی از نوشته‌های PHFD

¹ discrimination

² Gabor Magnitude Picture (GMP)

³ macro picture

چندین مجموعه داده برای تشخیص نویسنده از روی دست خط وجود دارد اما هیچ کدام از آنها نمونه جعل ندارند [۲۹-۲۷]. مجموعه داده معرفی شده در [۴]، وابسته به متن و دارای کلمات محدودی است که برای این مورد مناسب نیست. البته در زبان انگلیسی یک مجموعه داده به نام Firemaker [۳۰] برای داده‌های جعل وجود دارد. این مجموعه علی‌رغم آن که داده‌های جعلی دارد، برای این بررسی مناسب به نظر نمی‌رسد. زیرا با توجه به آنچه در [۳۱] بیان شده است، کاربرد آن در مواردی است که فردی را که نامه‌های تهدیدآمیز می‌نویسد و سعی در تغییر دست خط خود دارد را بتوان شناسایی کرد. در واقع برای تشخیص جعل در این مجموعه داده به دنبال شباهت‌ها در داده‌های متفاوت به منظور تایید هویت نویسنده در هر شرایط هستیم. در صورتی که هدف در این مقاله تشخیص تفاوت‌ها در داده‌های مشابه است. مراحل گردآوری مجموعه داده جعل دست خط فارسی به شرح زیر است:

- ۱- ابتدا متنی با توزیع خوب کلمات با تکرار مناسب از هر پایه حروف فارسی انتخاب شد.
- ۲- در مرحله بعد تصویری که تا حدودی با متن بالا مرتبط بود، انتخاب شد. این کار به دلیل این انجام شد که افراد از کلیدواژه‌های مرتبط با متن بالا استفاده کنند.
- ۳- برای جمع‌آوری نمونه‌های اصلی از هر فرد خواسته شد که متن اول را با سرعت معمولی و بدون دقت اضافی در کادری بازنویسی کند. همچنین از افراد خواسته شد که درباره تصویر هر چه به ذهنشان می‌رسد در حداقل شش خط بنویسند. این متن به عنوان داده نمونه در سیستم استفاده خواهد شد. به منظور شبیه‌سازی بیشتر شرایط طبیعی در جمع‌آوری نمونه‌ها هیچ محدودیتی بر روی قلم مورد استفاده، خط‌کشی و غیره قرار داده نشده است. در نهایت با حذف نمونه‌های نامناسب ۶۲ مورد انتخاب شد. آمار نهایی نمونه‌ها در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود. طبق این آمار نسبت مشارکت افراد با چهار ویژگی جنسیت، چپ/راست دست بودن، سن و سطح تحصیلات افراد دسته‌بندی شده است.

وجود داده منفی ممکن است سیستم نسبت به آن داده بایاس^۱ شده و بر روی انواع دیگر داده جعلی پاسخ مناسبی تولید نکند. برای دسته‌بندی نمونه‌های تست از دسته‌بندی‌های یک کلاسه [۲۶] استفاده شده است که فقط نمونه‌های مثبت در آموزش وجود دارند.

از ماشین بردار پشتیبان معمولاً برای دسته‌بندی دو کلاسه استفاده می‌شود. برای دسته‌بندی یک کلاسه این دسته‌بندی کننده برای مدل‌سازی چندین نمونه منفی تولید کرده و جداساز را تعیین می‌کند که نیازمند در اختیار داشتن تعداد زیاد نمونه آموزشی است. در غیر این صورت مشکل بیش‌برازش^۲ روی خواهد داد. روش دیگر استفاده از حد آستانه است. این روش پرکاربردترین روش دسته‌بندی زیست داده‌ها است. در این روش فاصله بردار ویژگی نمونه‌های آموزشی و آزمایشی محاسبه و با یک حد آستانه مقایسه شده و تصمیم نهایی سیستم بر این اساس اتخاذ می‌گردد. حد آستانه از میانگین گیری نمونه‌های آموزشی موجود تعیین می‌شود.

معیارهای متفاوتی برای محاسبه فاصله وجود دارد مانند فاصله اقلیدسی، فاصله کای دو، بری کورتیس^۳ و مشابه آن. در روش پیشنهادی از فاصله بری کورتیس استفاده شده است. در معیار فاصله بری کورتیس قدر مطلق تفاضل هر مقدار در بردار ویژگی نمونه آموزشی از مقدار متناظر در بردار ویژگی آزمایشی محاسبه شده و در نهایت مجموع تفاضل‌ها بر مجموع اندازه دو بردار تقسیم می‌شود. این معیار فاصله شهود خوبی ارائه می‌دهد. برای مثال فاصله ۰ یعنی دو بردار کاملاً برابرند و فاصله ۱۰۰ یعنی دو بردار کاملاً متفاوت‌اند. ولی در فاصله اقلیدسی و کای دو برای تعیین میزان تشابه، نیاز به یک حد آستانه با توجه به داده‌ها داریم.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- مجموعه داده

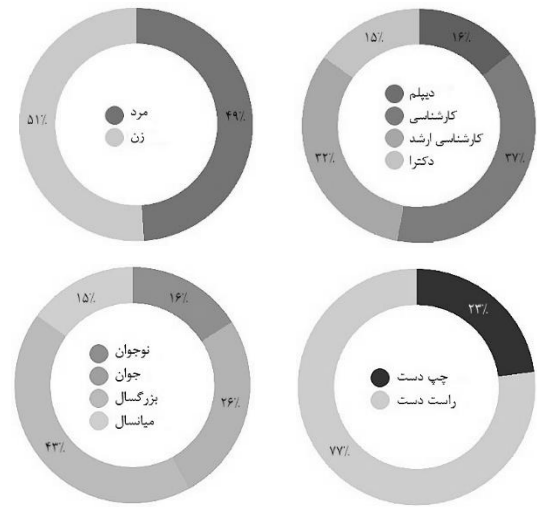
برای آزمودن سیستم نیاز به داده‌هایی از دست خط افراد مختلف و نمونه‌های جعل شده آن وجود دارد. متأسفانه برای تشخیص جعل در دست نوشته‌های فارسی هیچ مجموعه داده‌ای وجود ندارد. به همین دلیل در این پژوهش مجموعه داده مناسبی برای این منظور جمع‌آوری شده است. در زبان فارسی و انگلیسی

¹ bias

² over fitting

³ Bray Curtis

که این کار را انجام دهند. افراد خوش خط قادر به تقلید خط افراد بد خط هستند ولی عکس آن به ندرت اتفاق می افتد. همچنین هنرجویان خط در هر دوره سرمشق های استاد را تقلید می کنند به همین دلیل تا حد قابل قبولی می توان به این خروجی اعتماد کرد. برای این کار فقط نمونه متن اول از هر نویسنده در اختیار هنرجو قرار گرفت و از آن ها درخواست شد که با تمرین از روی این نمونه همان متن را با سعی در تقلید خط نویسنده بازنویسی کنند. از سه هنرجوی فوق ممتاز و دو هنرجوی ممتاز در این زمینه کمک گرفته شد. برای هر نمونه دست خط سه نمونه جعلی تولید شد. این مجموعه داده در این نوشتار "مجموعه داده جعل دست خط فارسی" نامیده می شود و به اختصار PHFD معرفی و نمونه هایی از آن در شکل (۱۱) مشاهده می گردد.



شکل (۱۰): آمار مجموعه داده جعل دست خط فارسی

۴- برای جمع آوری نمونه های جعل با توجه به در دسترس نبودن جاعل حرفه ای دست خط، با ایده یکی از اساتید خط شناس دانشگاه هنرهای زیبای دانشگاه تهران، از هنرجویان با درجه ممتاز خوشنویسی درخواست شد

در ادامه نتایج آزمایش های انجام شده بر روی این مجموعه داده ارائه می شود.

اصلی	<p>حضرت علی (علیه السلام) من ترا می بینم کسی که با کتاب استن و الفقی در پیشه با کتاب و کتاب خوانی دارد. همین در دوران و اسلام، کتاب و کتاب خوانی از جایگاه بسیار عظیم اشکال مختلف در میان مردم شمرده است و اولین سوره فرشتگان، محمودترین بزرگ هر چه یک ملت محسوب می شود. کتاب خوانی و ترویج مطالعه در جامعه است. در واقع از اطلاعات و گنجینه های فرهنگی در آن جامع است. کتاب بهترین وسیله انتقال میراث ادبی از نسلی به نسلی است.</p>	<p>حضرت علی (علیه السلام) من ترا می بینم کسی که با کتاب دین، فرهنگ و تاریخ را از او بیرون می بیند و کتاب خوانی کتاب استن و الفقی در پیشه با کتاب و کتاب خوانی دارد. همین در دوران و اسلام، کتاب و کتاب خوانی از جایگاه بسیار عظیم اشکال مختلف در میان مردم شمرده است و اولین سوره فرشتگان، محمودترین بزرگ هر چه یک ملت محسوب می شود. کتاب خوانی و ترویج مطالعه در جامعه است. در واقع از اطلاعات و گنجینه های فرهنگی در آن جامع است. کتاب بهترین وسیله انتقال میراث ادبی از نسلی به نسلی است.</p>	<p>حضرت علی (علیه السلام) من ترا می بینم کسی آسانترین هنر که از او سبب نمی شود در در پیشه با کتاب و کتاب خوانی از جایگاه بسیار عظیم اشکال مختلف در میان مردم شمرده است و اولین سوره فرشتگان، محمودترین بزرگ هر چه یک ملت محسوب می شود. کتاب خوانی و ترویج مطالعه در جامعه است. در واقع از اطلاعات و گنجینه های فرهنگی در آن جامع است. کتاب بهترین وسیله انتقال میراث ادبی از نسلی به نسلی است.</p>
جعلی	<p>حضرت علی (علیه السلام) من ترا می بینم کسی که با کتاب استن و الفقی در پیشه با کتاب و کتاب خوانی دارد. همین در دوران و اسلام، کتاب و کتاب خوانی از جایگاه بسیار عظیم اشکال مختلف در میان مردم شمرده است و اولین سوره فرشتگان، محمودترین بزرگ هر چه یک ملت محسوب می شود. کتاب خوانی و ترویج مطالعه در جامعه است. در واقع از اطلاعات و گنجینه های فرهنگی در آن جامع است. کتاب بهترین وسیله انتقال میراث ادبی از نسلی به نسلی است.</p>	<p>حضرت علی (علیه السلام) من ترا می بینم کسی که با کتاب دین، فرهنگ و تاریخ را از او بیرون می بیند و کتاب خوانی کتاب استن و الفقی در پیشه با کتاب و کتاب خوانی دارد. همین در دوران و اسلام، کتاب و کتاب خوانی از جایگاه بسیار عظیم اشکال مختلف در میان مردم شمرده است و اولین سوره فرشتگان، محمودترین بزرگ هر چه یک ملت محسوب می شود. کتاب خوانی و ترویج مطالعه در جامعه است. در واقع از اطلاعات و گنجینه های فرهنگی در آن جامع است. کتاب بهترین وسیله انتقال میراث ادبی از نسلی به نسلی است.</p>	<p>حضرت علی (علیه السلام) من ترا می بینم کسی آسانترین هنر که از او سبب نمی شود در در پیشه با کتاب و کتاب خوانی از جایگاه بسیار عظیم اشکال مختلف در میان مردم شمرده است و اولین سوره فرشتگان، محمودترین بزرگ هر چه یک ملت محسوب می شود. کتاب خوانی و ترویج مطالعه در جامعه است. در واقع از اطلاعات و گنجینه های فرهنگی در آن جامع است. کتاب بهترین وسیله انتقال میراث ادبی از نسلی به نسلی است.</p>

شکل (۱۱): چند نمونه اصلی و جعلی از مجموعه داده جعل دست خط فارسی

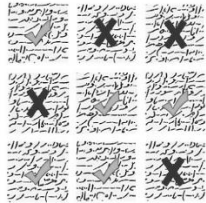
۴-۲- جعل تصادفی

تشخیص جعل تصادفی تا حدودی مانند احراز هویت نویسنده است و وجود داده منفی در آن متصور است. به همین دلیل در هر کلاس نمونه های منفی کلاس های دیگر به عنوان داده منفی استفاده شد. در این مرحله فقط از بافت پایه استفاده شده است. نتایج جدول (۱) که بر روی مجموعه داده جعل دست خط فارسی

به منظور ارزیابی سیستم در دو حالت جعل تصادفی و حرفه ای از دو دسته بندی کننده ماشین بردار پشتیبان^۱ و دسته بندی کننده یک کلاس^۲ [۲۹] با معیار فاصله بری کورتیس استفاده شده است.

¹ Support Vector Machine (SVM)
² One Class Classification

فراتر باشد، داده باید به‌عنوان داده جعلی تعیین شود. به عبارت دیگر تفاوت‌های معمول در دستخط یک فرد نیز باید در نظر گرفته شود. (شکل ۱۲)



شکل (۱۲): در صورتی که تعداد قطعاتی از یک متن بیشتر از آستانه پذیرش برچسب جعلی دریافت کنند، آن متن به‌عنوان جعل در نظر گرفته می‌شود.

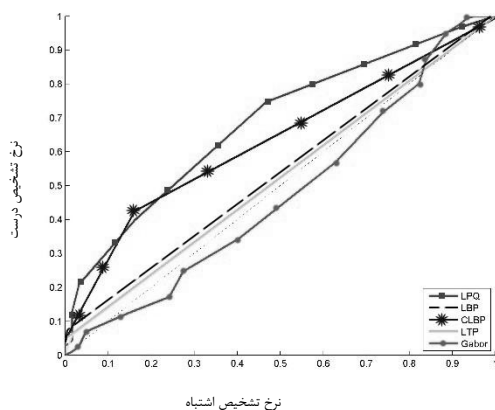
برای این نوع جعل توصیف‌گرها بر روی بافت پایه و بافت اجزا استخراج شده از تصاویر مجموعه داده جعل دستخط فارسی اعمال شده و منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای هر دو حالت رسم گردید (شکل ۱۳ و ۱۴). در شکل‌های (۱۳-۱۴) مساحت زیر نمودار^۱ نشان‌دهنده دقت سیستم است. همان‌طور که در شکل (۱۳) قابل مشاهده است:

- نتیجه اعمال فیلتر گابور به تنهایی از بقیه توصیف‌گرها کمتر و حتی کمتر از مقدار تشخیص تصادفی است.

- نتایج دو توصیف‌گر LBP و LTP نیز بسیار به مقدار تشخیص تصادفی نزدیک هستند.

- منحنی بعدی مربوط به CLBP است که مساحت زیر نمودار آن از موارد قبلی بیشتر است.

- بیشترین مساحت زیر نمودار مربوط به منحنی LPQ است که به همین دلیل از این توصیف‌گر در ترکیب استفاده شده است.



شکل (۱۳): منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای بافت پایه استخراج شده از مجموعه داده جعل دستخط فارسی

انجام شده است، نشان می‌دهد که توصیف‌گرهای بافت به خوبی قادر به تمییز نمونه‌های دستخط هستند.

جدول (۱): خروجی دقت و خطای توصیف‌گرهای بافت برای جعل تصادفی بر روی مجموعه داده جعل دستخط فارسی

	توصیف‌گر بافت				
	LPQ	LBP	CLBP	LTP	Gabor
دقت	۹۸/۴	۹۷/۸	۹۸/۳	۹۰/۰	۹۸/۲
خطا	۱/۶	۲/۲	۱/۶	۹/۰	۱/۷

جدول (۲) نتایج چند روش تشخیص نویسنده در زبان‌های انگلیسی، فارسی و عربی را نشان می‌دهد. این روش‌ها بر روی مجموعه داده‌های متفاوتی آزمایش شده‌اند که هیچ کدام شامل داده جعلی نیستند اما در آنها داده‌های نویسندگان دیگر به‌عنوان داده منفی به دسته‌بندی کننده داده شده است.

جدول (۲): نتایج روش‌های تشخیص و تایید نویسنده

دقت	موضوع
٪۹۶	تشخیص نویسنده [۷]
٪۹۷	تشخیص نویسنده [۸]
٪۹۷	تشخیص نویسنده [۹]
٪۱۰۰	تشخیص نویسنده [۱۱]
٪۹۵	تشخیص نویسنده [۱۲]
٪۸۷	تشخیص نویسنده [۱۳]

۳-۴- جعل حرفه‌ای

در فاز دوم، یعنی مرحله تشخیص جعل حرفه‌ای و نیمه حرفه‌ای، نمونه‌های جعلی وارد سیستم گردید. برای تشخیص جعل در دست‌نوشته‌های یک فرد پس از استخراج بردار ویژگی هر نمونه فاصله آن با نمونه‌های آموزشی همان کلاس محاسبه شده و با در نظر گرفتن یک حد آستانه جعلی یا اصلی بودن آن تعیین می‌شود.

علاوه بر حد آستانه برای تشخیص میزان شباهت یک حد آستانه دوم نیز با عنوان "آستانه پذیرش" تعریف شده است. پس از مشخص شدن پیش‌بینی سیستم در مورد تک تک بافت‌های استخراج شده از یک متن آزمایشی مطابق شکل (۱۱) اگر درصد جعلی به اصلی بودن بافت‌ها از آستانه پذیرش بیشتر بود آن نوشته جعلی تشخیص داده شده در غیر این صورت نوشته برچسب اصلی خواهد خورد. به‌عنوان مثال اگر آستانه پذیرش را ۰/۲ در نظر بگیریم بدین معنی خواهد بود که اگر ٪۲۰ از قطعات یک متن جعلی تشخیص داده شود، آن‌گاه تمام آن نوشته برچسب جعلی خواهد خورد. دلیل انجام این آستانه‌گیری آن است که همه متن یک نوشته الزاماً خیلی متفاوت از دستخط اصلی نخواهد بود و در صورتی که سطح تفاوت از یک حد آستانه

^۱ Area Under Curve (AUC)

با توجه به جدول (۳) بهترین دقت در هر دو حالت بافت اجزا و پایه مربوط به توصیف‌گر تدریج فاز محلی است. همچنین این توصیف‌گر کمترین زمان استخراج ویژگی را دارد.

برای افزایش دقت همان‌طور که گفته شد ابتدا توصیف‌گر گابور و سپس توصیف‌گرهای محلی بر روی بافت‌ها اعمال شد. برای انتخاب بهترین اندازه، بافت‌ها را در دو حالت ۱۲۸ پیکسلی و ۲۵۶ پیکسلی در نظر گرفتیم. همچنین ضخامت خطوط نوشته در سه حالت ۲، ۳ و ۴ پیکسلی در نظر گرفته شده است. نتایج در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): تاثیر اندازه بافت و ضخامت بر روی دقت تشخیص در مجموعه داده جعل دست‌خط فارسی

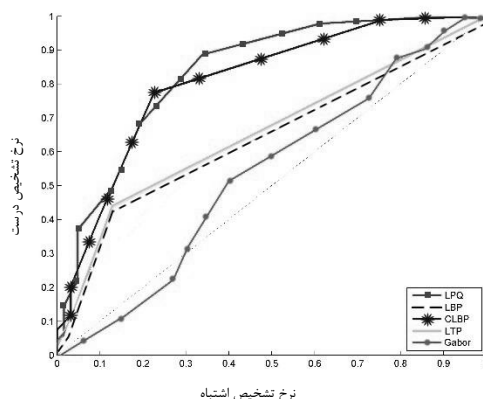
		توصیف‌گر				
		LPQ	LBP	CLBP	LTP	ضخامت
۲	×۱۲۸	۷۰/۹۹	۶۱/۹۹	۶۴/۷۴	۶۱/۱۲	مساحت زیر نمودار
	۱۲۸					
۳	×۲۵۶	۷۹/۲۲	۶۹/۶۷	۷۴/۸۸	۶۲/۰۷	مساحت زیر نمودار
	۲۵۶					
۴	×۱۲۸	۷۵/۱۷	۶۰/۸۳	۶۹/۰۸	۶۴/۰۸	مساحت زیر نمودار
	۱۲۸					
۴	×۲۵۶	۸۳/۳۴	۶۵/۳۷	۸۰/۸۶	۶۵/۶۲	مساحت زیر نمودار
	۲۵۶					

به‌منظور افزایش دقت با توجه به نتایج داده‌های جدول (۳) بافت‌های با ضخامت ۳ پیکسل و اندازه ۲۵۶×۲۵۶ پیکسل انتخاب شده و سپس پارامترهای گابور و تدریج فاز محلی را تغییر داده‌ایم. نتایج حاصل در جدول (۶) مشاهده می‌شود.

جدول (۶): تاثیر مقادیر مختلف برای پارامترهای فیلتر گابور و تدریج فاز محلی بر روی دقت تشخیص در مجموعه داده جعل دست‌خط فارسی

	پارامترهای فیلتر گابور	اندازه پنجره LPQ		
		۹	۱۱	۱۵
مساحت	۲	۸۳/۰۲	۸۲/۱۶	۸۲/۸۵
	۳	۸۳/۲۵	۸۳/۳۲	۸۳/۵۱
زیر نمودار	۳	۸۳/۲۵	۸۳/۳۴	۸۳/۳۲
	۴	۷۲/۹۷	۷۵/۵۵	۷۶/۱۵
۴	۸	۸۲/۸۸	۸۲/۷۷	۸۳/۹۸
	۵	۷۴/۳۲	۷۴/۸۷	۷۸/۰۸

در نهایت با تغییر حد آستانه پذیرش با توجه به جدول (۷) بهترین میزان دقت ۸۴٪ تشخیص درست بر روی بافت‌هایی با



شکل (۱۴): منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای بافت اجزای استخراج شده از مجموعه داده جعل دست‌خط فارسی

به شکل مشابه در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود:

- نتیجه اعمال فیلتر گابور به تنهایی بر روی بافت اجزا مساحت بیشتری از بافت پایه کلمات را نشان می‌دهد اما همچنان کمترین مقدار را در بین دیگر منحنی‌ها دارد.

- منحنی‌های مربوط به توصیف‌گرهای LBP و LTP رفتار مشابه و کمی بهتر از گابور نشان می‌دهند.

- منحنی LPQ و CLBP بالاترین مساحت زیر نمودار را دارند.

مقادیر جدول (۳) نشان می‌دهد که دقت تشخیص هنگامی که جزئیات دست‌نوشته در نظر گرفته می‌شود برای همه توصیف‌گرها بیشتر است.

زمان استخراج ویژگی‌ها و دسته‌بندی زیست‌داده‌ها برای هر توصیف‌گر در جدول (۴) گزارش شده است.

جدول (۳): مساحت زیر نمودارهای مشخصه عملکرد سیستم برای شکل‌های ۱۳ و ۱۴

	توصیف‌گر	بافت	شکل‌های ۱۳ و ۱۴				
			LPQ	LBP	CLBP	LTP	Gabor
مساحت		پایه	۶۸/۴۶	۵۲/۱۵	۶۳/۳۲	۵۲/۴۱	۴۷/۶۲
زیر نمودار		اجزا	۸۰/۲۰	۶۵/۰۷	۷۸/۲۹	۷۶/۷۹	۵۳/۳۲

جدول (۴): زمان استخراج ویژگی و دسته‌بندی برای توصیف‌گرهای جدول (۳)

زمان اجرا (ثانیه)	توصیف‌گر				
	LPQ	LBP	CLBP	LTP	Gabor
استخراج ویژگی	۹۵/۸	۱۶۵/۲	۱۸۵/۶	۱۴۴۴/۲	۳۱۱/۴
دسته‌بندی	۷۲/۵	۸۵/۵	۵۹/۹	۴۵/۱۸	۵۸/۳۷
مجموع	۱۶۸/۳	۲۲۳/۷	۲۴۵/۵	۱۴۸۱/۳۸	۳۶۹/۷۷

آن کلمات به هم چسبیده نوشته می‌شوند و از این اتصال کلمات در این روش استفاده شده است.) به همین دلیل روش پیشنهادی با دقت بیش از ۰.۸۴٪ در این آزمون، برای دست خط‌های همپایه با فارسی مانند عربی و غیره مناسب خواهد بود همچنین می‌توان با اعمال تغییرات جزئی برای دست خط انگلیسی نیز از این روش بهره برد.

در انتها پیشنهاد می‌گردد با توجه به زمان ایجاد تصاویر خاکستری و مقایسه آن با بهترین توصیف‌گر جدول (۳) برای ایجاد تصاویر خاکستری روش سریع تری مانند اعمال فیلتر گاوسی در نظر گرفته شود.

۶- منابع

- [1] H. Arora, S. Lee, S. Srihari, and S. Cha, "Individuality of Handwriting," *Journal of Forensic Sciences*, vol. 47, pp. 1-17, 2002.
- [2] M. Sreeraj and S. Idicula, "A survey on writer identification schemes," *International Journal of Computer Application*, vol. 26, pp. 23-33, 2011.
- [3] M. Bulacu and L. Schomaker, "Text-Independent Writer Identification and Verification Using Textural and Allographic Features," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 29, 2007.
- [4] B. Helli and M. E. Moghaddam, "An off-line cheque handwritten forgery detection based on feature route density matrix," *Pattern Analysis and Applications*, vol. 17, 2014.
- [5] S. Cha, C. Tappert, M. Gibbons, and Y. Chee, "Automatic Detection of Handwriting Forgery using a Fractal Number Estimate of Wrinkliness," *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 18, pp. 1361-1371, 2004.
- [6] D. Bertolini, L. S. Oliveira, E. Justino, and R. Sabourin, "Assessing textural features for writer identification on different writing styles and forgeries," in *22nd International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 2014.
- [7] H. Said, T. Tan, and K. Baker, "Personal identification based on handwriting," *Pattern Recognition*, vol. 33, 2000.
- [8] F. Shahabinejad and M. Rahmati, "A New Method for Writer Identification and Verification Based on Farsi/Arabic Handwritten Texts," in *Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition*, 2007.
- [9] M. Lutf, X. You, and H. Li, "Offline Arabic handwriting identification using language diacritics," in *20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 2010.
- [10] C. Fahn, C. Lee, and H. Chen, "A text independent handwriting forgery detection system based on branchlet features and Gaussian mixture models," in *14th Annual Conference on Privacy, Security and Trust (PST)*, 2016.

اندازه 256×256 و با ضخامت ۳ پیکسل و با اعمال فیلتر گابور در ۴ اندازه و جهت و اندازه ۱۵ برای پنجره توصیف‌گر تدریج فاز محلی و آستانه پذیرش ۰/۱۸ به دست آمده است. هدف از تغییر مقادیر آستانه بیشینه کردن مساحت زیر نمودار بوده است که تعداد زیادی از مقادیر برای این کار انتخاب و با کم و زیاد کردن و پیش‌بینی روند تغییر آن، مقدار بهینه انتخاب شده است. بعضی مقادیر بهینه و بهترین مقدار در جدول (۷) ذکر شده است. زمان ایجاد تصاویر ماکرو، استخراج ویژگی و دسته‌بندی زیست‌داده‌ها در این روش در مجموع $4762/5$ ثانیه به دست آمده است. این زمان حدود ۲۸ برابر بهترین زمان به دست آمده در جدول (۴) است. تمامی آزمایش‌ها در نرم‌افزار متلب ۲۰۱۳ و بر روی سیستمی با پردازنده Intel® Quad-Core i7 ۶۴ بیتی و حافظه ۶ گیگابایت اجرا شده‌اند.

جدول (۷): تاثیر آستانه پذیرش بر روی دقت تشخیص در مجموعه داده جعل دست خط فارسی

مساحت زیر نمودار	آستانه پذیرش
۸۳/۸۵	۰/۱
۸۳/۵۵	۰/۱۵
۸۴/۰۴	۰/۱۸
۸۳/۹۸	۰/۲
۸۳/۸۸	۰/۲۵
۸۱/۴۳	۰/۳
۸۲/۶۵	۰/۴
۸۱/۶۶	۰/۵
۸۱/۶۶	۰/۶

۵- نتیجه گیری

روش ترکیبی این مقاله نیز برای اولین بار برای دادگان فارسی به کار رفته است. این توصیف‌گرها بر روی تصاویر دودویی عملکرد مناسبی ندارند و در واقع از توصیف‌گر گابور نه برای استخراج ویژگی بلکه برای تبدیل تصویر دودویی به تصویر خاکستری بهره گرفته شده‌است.

نتایج به دست آمده بر روی مجموعه داده جعل دست خط فارسی که به همین منظور جمع‌آوری شده است، این گفته را اثبات می‌کند.

ویژگی‌های ظاهری دست خط زبان انگلیسی و فارسی متفاوت است. این روش برای پوشش دادن ویژگی خاص زبان فارسی ارائه شده است. (یکی از ویژگی‌های دست خط فارسی آن است که در

- [22] H. Chen, "Robust text detection in natural images with edge-enhanced Maximally Stable Extremal Regions," in 18th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Brussels, 2011 .
- [23] D. Marr and E. Hildreth, "Theory of edge detection," Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, pp. 187-217, 1980.
- [24] L. Reginald, "Basic Methods for Image Restoration and Identification," Information and Communication Theory Group, Delft University of Technology, Elsevier, 1997.
- [25] D. Bertolini, L. Oliveira, E. Justino, and R. Sabourin, "Texture-based descriptors for writer identification and verification," Expert Systems with Applications , vol. 40, pp. 2069-2080, 2013.
- [26] J. Bhatt and N. Patel, "a survey one class classification using ensembles method," International Journal for Innovative Research in Science and Technology, vol. 7, 2015 .
- [27] R. Safabaksh, A. Ghanbarian, and G. Ghiasi, "HaFT: A handwritten Farsi text database ," in Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing (MVIP), 2013.
- [28] M. Ziaratban, K. Faez, and F. Bagheri, "FHT: An Unconstraint Farsi Handwritten Text Database ," in International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), 2009.
- [29] H. El Abed and V. Margner, "The IFN/ENIT-database - a tool to develop Arabic handwriting recognition systems ," in International Symposium on Signal Processing and Its Applications. ISSPA, 2007.
- [30] V. Pervouchine and G. Leedham, "Extraction and analysis of forensic document examiner features used for writer identification ," Pattern Recognition , vol. 40, pp. 1004-1013 .
- [31] M. Malik, M. Liwicki, L. Alewijnse, W. Ohyama, M. Blumenstein , and B. Found, "Signature verification and writer identification competitions for on-and offline skilled forgeries (sigwcomp) ," in 12th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition, 2013.
- [11] B. Helli and M. E. Moghaddam, "A text-independent Persian writer identification based on feature relation graph (FRG) ," Pattern Recognition, pp. 2199-2209, 2010 .
- [12] B. Helli and M. E. Moghaddam, "A writer identification method based on XGabor and LCS," IEICE Electronics Express , vol. 6, pp. 623-629, 2009 .
- [13] H. Yaâcoub, I. Siddiqi, and M. Kettani, "Arabic Writer Identification Using Local Binary Patterns (LBP) of Handwritten Fragments," Pattern Recognition and Image Analysis, 2015 .
- [14] X. Wu, Y. Tang, and W. Bu, "Offline Text-Independent Writer Identification Based on Scale Invariant Feature Transform," IEEE transactions on information forensics and security, vol. 9, 2014.
- [15] A. Nicolaou, A. Bagdanov, M. Liwicki, and D. Karatzas, "Sparse Radial Sampling LBP for Writer Identification," arXiv preprint arXiv, vol. 1504, 2015.
- [16] M. Y. A. A. a. K. K. Khan, "Deep learning for automated forgery detection in hyperspectral document images," Journal of Electronic Imaging, vol. 5, 2018.
- [17] V. Ojansivu and J. Heikkilä, "Blur insensitive texture classification using local phase quantization," Image and signal processing, 2008 .
- [18] T. Ojala, M. Pietikäinen, and D. Harwood, "A Comparative Study of Texture Measures with Classification Based on Feature Distributions," Pattern Recognition, vol. 29, pp. 51-59, 1996 .
- [19] Z. Guo, L. Zhang, and D. Zhang, "A completed modeling of local binary pattern operator for texture classification," IEEE Transactions on Image Processing , vol. 19, 2010 .
- [20] X. Tan and B. Triggs, "Enhanced local texture feature sets for face recognition under difficult lighting conditions," IEEE Transactions on Image Processing, pp. 1635-1650, 2010.
- [21] T. Lee, "Image representation using 2D Gabor wavelets ," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 18, pp. 959-971, 1996 .

Offline Text-Independent Persian Handwriting Forgery Detection using Texture Analysis

E. Ghanbari Maman, M. Ebrahimi Moghaddam*

*Shahid Beheshti University

(Received: 10/06/2018, Accepted: 05/03/2019)

ABSTRACT

Nowadays handwriting is known and accepted as a behavioral biometric. Handwriting-based authentication has become a hot topic of research as a result of increasing handwriting forgery. In this research an offline text-independent method for detection of forgeries in Persian handwritten documents is presented. The proposed approach is based on extracting two dense textures of basic alphabet and some text details. A one class classification (OCC) with only positive (original) samples is used in classification together with Binarization and Skeletonization in the preprocessing phase. Also, a combination of Gabor filter and LPQ descriptor is used to complete the feature vector. Both descriptors have been used for writer identification and verification in English and Persian but this is the first time that the combination of these two is used on a Persian handwriting. We also introduce a new dataset from 62 individuals with 2 pages per each. In the first instance the writers were instructed to copy a preset text and in the second one they were asked to write at least 6 lines about a picture. These instances were to be used as training and testing samples respectively. In order to generate counterfeit samples, we asked 5 qualified calligraphers to duplicate the second sample of each writer. Three forgeries per writer were generated in this way. Tests results are satisfactory and present more than 84% accuracy, demonstrating the quality of the proposed method.

Keywords: Biometrics, forgery detection, texture analysis, text-independent

* Corresponding Author Email: m_moghaddam@sbu.ac.ir