

روشی کاربردی برای بازشناسی برخط حروف مجزای دست‌نویس فارسی با استفاده

همزمان از دانش مربوط به بدنه اصلی و ریزحرکات

مجید مرزانی^۱، سید محمد رضوی^۲، مهران تقی‌پور گرجی‌کلایی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق و کامپیوتر - دانشکده مهندسی - دانشگاه بیرجند - بیرجند - ایران

majid.marzani@birjand.ac.ir

۲- استادیار، گروه برق و کامپیوتر - دانشکده مهندسی - دانشگاه بیرجند - بیرجند - ایران

smrazavi@birjand.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری، گروه برق و کامپیوتر - دانشکده مهندسی - دانشگاه بیرجند - بیرجند - ایران

mtaghipour@birjand.ac.ir

چکیده: در این مقاله، روشی برای بازشناسی برخط حروف مجزای دست‌نویس فارسی ارائه می‌شود. در روش پیشنهادی برای بازشناسی حروف مجزای دست‌نویس فارسی، از دانش مربوط به بدنه اصلی و ریزحرکات به‌طور همزمان و به‌منظور اعتبار بیشتر تعیین کلاس خروجی استفاده شده‌است. در این تحقیق حروف مجزای دست‌نویس فارسی بر اساس تشابه بدنه اصلی در ۱۸، و بر اساس تشابه ریزحرکات در ۱۱ گروه، گروه‌بندی می‌شوند. با توجه به روش پیشنهادی ارائه‌شده در این پژوهش برای تشخیص نمونه‌های ناشناخته ورودی، بدنه اصلی و ریزحرکات شناسایی می‌شوند، اگر گروه‌های شناسایی شده از بدنه اصلی و ریزحرکات همخوانی داشته‌باشند، نمونه ناشناخته بازشناسی می‌شود؛ در غیر این صورت ناهمخوانی پیش‌آمده با استفاده از الگوریتم تصحیح خطا، تا حد امکان تصحیح می‌گردد. به‌منظور کاهش هزینه محاسباتی و افزایش قدرت تفکیک‌پذیری ویژگی‌ها، با استفاده از روش‌های کاهش ابعاد ویژگی همچون تحلیل جداکننده خطی (LDA) و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)، ابعاد بردار ویژگی برای بدنه اصلی از ۱۰۲ ویژگی به ۱۷ ویژگی کاهش می‌یابد. برای طبقه‌بندی بدنه اصلی حروف و همچنین برای ریزحرکات از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) استفاده شده‌است. نتایج بدست‌آمده نشان می‌دهند که با استفاده از روش پیشنهادی حدود ۹۸ درصد از حروف مجزای دست‌نویس فارسی برخط به‌درستی بازشناسی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: بازشناسی برخط، تحلیل جداکننده خطی (LDA)، تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)، حروف مجزای دست‌نویس فارسی، ماشین بردار پشتیبان (SVM).

۱- مقدمه

کاربر از صفحات لمسی استفاده می‌کنند، نیاز به یک روش بازشناسی برخط دست‌نوشته برای ارتباط با کاربر احساس می‌شود. اما در پاره‌ای از موارد، به دلیل کوچک بودن صفحات لمسی تعبیه شده در این ابزارها از حروف مجزا برای شناسایی دست‌نوشته استفاده می‌شود. این مقاله به منظور ارائه روشی سریع، دقیق و با قابلیت اطمینان^۱ بالا به بازشناسی برخط حروف مجزای دست‌نویس فارسی مبتنی بر پایگاه داده^۱ Online-TMU [1] می‌پردازد.

امروزه با گسترش فناوری‌های نوین که برای ارتباط با

^۱ تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۲/۴/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۳/۰۳/۱۷

نام نویسنده مسئول : مجید مرزانی

نشانی نویسنده مسئول : ایران - بیرجند - دانشگاه بیرجند -

دانشکده برق و کامپیوتر

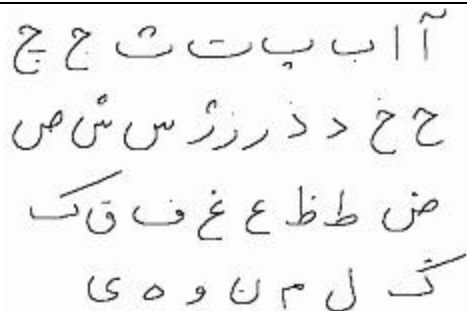
بازشناسی نوشتار با توجه به نحوه دریافت اطلاعات ورودی به دو دسته برون‌خط^۳ و برخط^۴ تقسیم می‌شود. بازشناسی برون‌خط شامل بازشناسی نوشتار تاییبی و نوشتار دست‌نویس می‌شود ولی بازشناسی برخط فقط در بازشناسی دست‌نویس کاربرد دارد. در بازشناسی برخط، ورودی از طریق لوح یا وسایل حساس به لمس و یا به‌طور مستقیم از طریق قلم نوری دریافت می‌شود. در بازشناسی برخط، مختصات نقاط مسیر حرکت قلم، تعداد حرکات قلم و در پاره‌ای از موارد فشار حرکت قلم در دسترس هستند [2-4]. تاکنون در مقایسه با زبان‌های لاتین برای بازشناسی برخط دست‌نویس فارسی و عربی تحقیقات کمتری انجام شده است [3,4]. در ادامه همین بخش کارهای انجام شده روی پایگاه داده Online-TMU به‌طور مختصر بیان می‌شود.

در [5] حروف مجزای فارسی بر اساس نقاط و علائم بالا یا پایین بدنه اصلی به ۱۲ گروه تقسیم می‌شوند. نخست نقاط و علائم بالا یا پایین هر حرف تشخیص داده می‌شود و سپس با توجه به آن گروهی که حرف ناشناخته در آن قرار می‌گیرد، تعیین می‌شود. در صورتی که در گروه مربوط فقط یک کلاس وجود داشته باشد، آن کلاس به حرف ناشناخته نسبت داده می‌شود و گرنه بدنه حرف ناشناخته با بدنه‌های حروفی از پایگاه داده که با حرف ناشناخته هم‌گروه هستند مقایسه می‌شود و با طبقه‌بندی کمترین فاصله بازشناسی انجام می‌گیرد. در [5] اگر گروه شناسایی شده از ریزحرکات به‌نادرستی تشخیص داده‌شود تعیین کلاس خروجی نهایی حرف ناشناخته منجر به خطا در بازشناسی خواهدشد. در [6] یک روش مبتنی بر گروه‌بندی، جهت بازشناسی حروف مجزای برخط فارسی مستقل از نویسنده، ارائه می‌شود. مدل‌سازی با استفاده از مدل مخفی مارکوف^۵ (HMM) انجام می‌پذیرد و ویژگی‌های متعددی از دنباله نقاط نمونه‌برداری شده از حروف دست‌نویس، جهت تخمین پارامترها، استخراج شده‌است. بهترین نتیجه با استفاده از ویژگی‌های مشتق زمانی مرتبه اول و مولفه‌های افقی و عمودی نقاط روی محورهای مختصات و تفاضل زوایای نقاط پی‌درپی، به‌دست آمده‌است. در [6] روشی مستقل از نویسنده ارائه می‌گردد به معنی دیگر محدودیتی برای

نگارش حروف اعمال نشده‌است اما نرخ بازشناسی قابل قبول نیست. در [7]، [8] فرآیند بازشناسی در دو مرحله انجام می‌گیرد، در مرحله اول بدنه اصلی حرف ورودی (اولین حرکت قلم) در قالب یکی از هجده گروه بدنه اصلی حروف، طبقه‌بندی^۶ می‌شود و سپس در مرحله‌ی دوم موقعیت، تعداد و شکل سایر حرکات‌ها مانند نقطه و سرکش (ریزحرکت‌ها)، حرف نهایی را تعیین می‌کند، که در [7] طبقه‌بندی با مدل مخفی مارکوف (HMM) و در [8] با استفاده از ماشین بردار پشتیبان^۷ (SVM) انجام می‌شود. در [7]، [8] برای تعیین کلاس خروجی نهایی حرف ناشناخته بعد از تشخیص بدنه اصلی حروف برای ریزحرکت‌ها محدودیتی اعمال شده‌است که در بخش دوم تشریح می‌گردد. در [9] استخراج ویژگی‌های حروف تنهای فارسی که به صورت برخط نوشته شده باشند به‌منظور گروه‌بندی درست آن‌ها، ارائه شده‌است. حروف بر اساس شکل و ساختار بدنه اصلی آن‌ها به ۹ گروه تقسیم می‌شوند و ویژگی‌های ساختاری تعیین می‌گردد. گروه‌بندی با استفاده از درخت تصمیم^۸ انجام می‌شود. در آموزش درخت تصمیم، برای هر حرف ورودی از مجموعه تمرین، تمام ویژگی‌ها محاسبه می‌شود و درخت تصمیم هر ویژگی را در جایی که لازم است و به بازشناسی کمک می‌کند به‌کار می‌گیرد. در [9] برای استخراج ویژگی‌های ساختاری تنوع نگارشی حروف مختلف در نظر گرفته نشده‌است. در [10] یک رویکرد فازی^۹ برای بازشناسی و یادگیری حروف مجزای برخط فارسی معرفی شده‌است. یک الگوریتم تکه‌بندی سلسله مراتبی معرفی می‌شود و برای توصیف و شناسایی تکه‌های بدنه اصلی حروف از دسته‌بند فازی استفاده می‌شود. بعد از مقایسه‌ی بدنه‌ی ورودی با الگوهای بدنه حروف، مقایسه‌ی علائم ثانویه صورت می‌گیرد. این علائم نیز با قوانین فازی توصیف می‌شوند. در [10] سرعت قابل ملاحظه‌ای برای بازشناسی حروف ناشناخته ارائه شده‌است اما نرخ بازشناسی قابل قبول نیست.

در این مقاله، روشی برای بازشناسی برخط حروف مجزای دست‌نویس فارسی ارائه می‌شود. در روش پیشنهادی برای بازشناسی حروف مجزای دست‌نویس فارسی، از دانش مربوط به بدنه اصلی و ریزحرکات به‌طور

می‌دهد.



شکل (۱): نمونه‌ای از نگارش حروف مجزای دست‌نویس فارسی [5].

حروف مجزا در نگارش فارسی دارای دو قسمت می‌باشند. قسمت اصلی حروف مجزا «بدنه»، و علایمی مانند نقطه، سرکش و دسته «ریزحرکت» نامیده می‌شوند [8,10]. زبان فارسی شامل ۳۲ حرف است. ۱۷ حرف از این حروف دارای نقطه هستند. تعداد نقاط این حروف بین یک تا سه متغیر است. نقاط ممکن است در بالا، پایین یا داخل بدنه حرف قرار گیرند. در پایگاه داده Online-TMU فرض بر این است که نویسنده حرف را به فرم متعارف نوشته‌است. یعنی ابتدا بدنه اصلی حرف را در یک حرکت قلم و سپس ریزحرکت را نوشته‌است. اما نمونه‌هایی نیز وجود دارند که به فرم متعارف نوشته نشده‌اند. تعداد این نمونه‌ها ۶۷ مورد است. در شکل (۲) نمونه‌هایی از داده‌ها با ساختار متعارف و ساختار نامتعارف قابل مشاهده می‌باشند. نقاط سیاه پررنگ نقطه اول هر حرکت قلم را نشان می‌دهد. شماره کنار هر حرکت قلم نشان دهنده ترتیب نوشتن حرکات قلم است.



شکل (۲): نمونه‌هایی از نگارش حروف [5]، (الف) نگارش متعارف، (ب) نگارش نامتعارف.

همزمان و به‌منظور اعتبار بیشتر تعیین کلاس خروجی استفاده شده‌است. در این تحقیق حروف مجزای دست‌نویس فارسی بر اساس تشابه بدنه اصلی در ۱۸ گروه، و بر اساس ریزحرکات در ۱۱ گروه، گروه‌بندی می‌شوند. برای مثال، سیستم برای حرف «ح»، بدنه اصلی «ح» و ریزحرکات «ح» را شناسایی می‌کند، اگر گروه شناسایی شده از بدنه اصلی و گروه شناسایی شده از ریزحرکات همخوانی داشته باشند، نمونه ناشناخته بازشناسی می‌شود. در صورت بروز ناهمخوانی احتمالی بین گروه‌های شناسایی شده از بدنه اصلی و ریزحرکات تصمیم‌گیری نهایی برای تعیین کلاس خروجی به عملیات پس‌پردازش واگذار می‌شود. در عملیات پس‌پردازش ناهمخوانی پیش‌آمده با استفاده از الگوریتم تصحیح خطا، تاحد امکان تصحیح می‌گردد. در بازشناسی برخط مهم‌ترین چالش تنوع زیاد در سبک نگارش افراد مختلف است. بنابراین یک روش بازشناسی باید نسبت به تغییرات جزئی که در نگارش یک حرف ممکن است رخ دهد، حساس نباشد ولی حروف متفاوتی را که شبیه به هم نوشته می‌شوند را به‌درستی از یکدیگر تشخیص دهد.

در ادامه این مقاله، در بخش دوم پایگاه داده معرفی و نگارش حروف بیان می‌شود. در بخش سوم الگوریتم پیشنهادی بازشناسی برخط حروف مجزای دست‌نویس فارسی به‌طور کامل تشریح می‌گردد. در بخش چهارم آزمایش‌ها و ارزیابی نتایج ارائه می‌گردد. در پایان و در بخش پنجم نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

۲- معرفی پایگاه داده و نگارش حروف

مجموعه داده Online-TMU توسط دانشکده مهندسی برق دانشگاه تربیت مدرس جمع‌آوری شده‌است. این مجموعه داده شامل ۴۰۲۲ حرف مجزا از مجموعه حروف فارسی می‌باشد که ۱۲۴ نفر آن‌ها را با قلم صفحه WACOM GRAPHIRE نوشته‌اند، شایان ذکر است که بیشتر نویسندگان برای اولین بار از قلم نوری و صفحه روقومی کننده استفاده کرده‌اند. در نوشتن حروف اعم از بدنه اصلی و ریزحرکات هیچ محدودیتی اعمال نشده‌است [5]. شکل (۱) نمونه‌ای از نگارش حروف مجزای فارسی در پایگاه داده Online-TMU را نشان

ویژگی‌های کارآمد کاهش ابعاد ویژگی^{۱۳} انجام می‌شود. سپس طبقه‌بندی انجام می‌گیرد و در نهایت پس‌پردازش^{۱۴} انجام می‌شود.

جدول (۱) : گروه‌بندی حروف بر اساس بدنه اصلی

گروه	اعضا گروه	گروه	اعضا گروه
۱	ا، آ	۱۰	ف
۲	ب، پ، ت، ث	۱۱	ق
۳	ج، چ، ح، خ	۱۲	ک، گ
۴	ذ، د	۱۳	ل
۵	ر، ز، ز	۱۴	م
۶	س، ش	۱۵	ن
۷	ص، ض	۱۶	و
۸	ط، ظ	۱۷	ه
۹	ع، غ	۱۸	ی

جدول (۲) : گروه‌بندی حروف بر اساس ریزحرکات

گروه	اعضا گروه	نوع ریزحرکات
۱	ا، ح، د، ر، س، ص، خ، ل، م، ن، ه، ی	بدون ریزحرکت
۲	آ	یک مد بالا
۳	ب، ج	یک نقطه پایین
۴	خ، ذ، ز، ض، غ، ف، ن	یک نقطه بالا
۵	ت، ق	دو نقطه بالا
۶	ث، ژ، ش	سه نقطه بالا
۷	پ، چ	سه نقطه پایین
۸	ک	یک سرکش بالا
۹	گ	دو سرکش بالا
۱۰	ط	یک دسته بالا
۱۱	ظ	یک دسته و یک نقطه بالا

در فرآیند بازشناسی و قبل از طبقه‌بندی داده‌ها، پردازش‌هایی روی داده‌ها انجام می‌گیرد. ابتدا به‌منظور یکنواخت کردن، پیش‌پردازش^{۱۵} روی داده خام انجام می‌گیرد. سپس برای بهره بردن از ویژگی‌های قابل استفاده، استخراج ویژگی^{۱۶} انجام می‌شود. در ادامه به‌منظور استفاده از ویژگی‌های کارآمد کاهش ابعاد ویژگی^{۱۷} انجام می‌شود. سپس طبقه‌بندی و در نهایت پس‌پردازش انجام می‌شود.

همان‌طور که بیان شد در نحوه نوشتن بدنه اصلی و همچنین نقاط هیچ محدودیتی در نظر گرفته نشده است [5]. به عنوان مثال برای حرف دست‌نویس «پ» نمونه به صورت دو حرکتی «پ» و سه حرکتی «پ» و چهار حرکتی «پ» موجود است [6]. در [7,8] برای نوشتن ریزحرکت‌ها محدودیتی اعمال شده است، به این ترتیب که «سه نقطه» می‌بایست از ترکیب «دونقطه» و «تک نقطه» تشکیل شده باشد. به علاوه دسته «ط» و «ظ» و سرکش «ک» و «گ» می‌بایست در حرکتی به جز حرکت بدنه اصلی نوشته شود. به عبارت دیگر حروف «ط» و «ک» باید در دو حرکت قلم و حروف «ظ» و «گ» باید در سه حرکت قلم نوشته شوند. حال آن‌که در پایگاه داده Online-TMU برای نگارش حروف هیچ محدودیتی در نظر گرفته نشده است. شایان ذکر است که برای حروف مجزای پایگاه داده Online-TMU استفاده شده در این تحقیق هیچ نمونه‌ای حذف نشده است. و همچنین محدودیتی برای نگارش ریزحرکات اعمال نشده است.

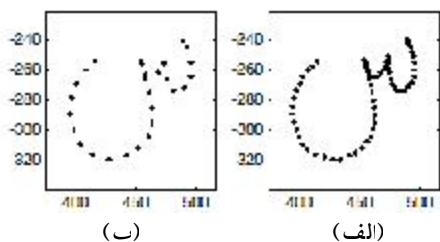
۳- روش پیشنهادی

در روش ارائه شده برای بازشناسی حروف مجزای فارسی از اطلاعات مربوط به بدنه اصلی و ریزحرکات به‌طور همزمان استفاده شده است. به عنوان مثال برای حرف «چ» بدنه اصلی و ریزحرکات شناسایی می‌شوند. اگر گروه شناسایی شده از بدنه با گروه شناسایی شده از ریزحرکات همخوانی داشته باشند، نمونه ناشناخته شناسایی می‌شود. در غیر این‌صورت با استفاده از الگوریتم تصحیح خطا ناهمخوانی پیش‌آمده تا حد امکان تصحیح می‌گردد. در این تحقیق حروف مجزای دست‌نویس فارسی بر اساس تشابه بدنه اصلی آن‌ها به ۱۸ گروه و بر اساس ریزحرکات به ۱۱ گروه تقسیم می‌شوند که به ترتیب در جدول (۱) و (۲) قابل مشاهده هستند.

در فرآیند بازشناسی و قبل از طبقه‌بندی داده‌ها، پردازش‌هایی روی داده‌ها انجام می‌گیرد. ابتدا به‌منظور یکنواخت کردن، پیش‌پردازش^{۱۱} روی داده خام انجام می‌گیرد. سپس برای بهره بردن از ویژگی‌های قابل استفاده، استخراج ویژگی^{۱۲} انجام می‌شود. در ادامه به‌منظور استفاده از

۳-۱-۱- پیش پردازش

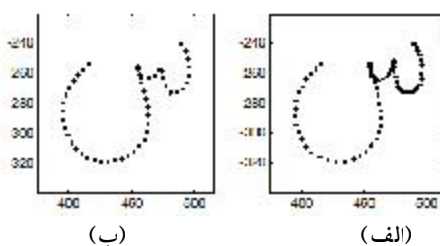
پیش پردازش یکی از مراحل اساسی در بازشناسی دست نوشته می باشد که اجرای صحیح آن کمک شایان توجهی به بهبود نرخ بازشناسی می کند [11]. از آنجایی که داده های برخط با قلم نوری روی صفحه حساس به لمس نوشته می شوند، تنوع زیادی در تعداد و فاصله بین نقاط و همچنین ابعاد داده های نمونه برداری شده دارند. از این رو برای این که بتوان تغییرات در تنوع نوشتاری را به حداقل رساند می بایست پیش پردازش هایی روی داده ها انجام داد [12]. در این پژوهش روی بدنه اصلی حروف پیش پردازش هایی چون حذف نقاط تکراری، حذف قلاب، پالایش نقاط، یکسان سازی تعداد نقاط و فاصله بین آن ها، یکسان سازی ابعاد و انتقال به مبدا مختصات انجام شده است، که در ادامه توضیحاتی در این زمینه ارائه می گردد.



شکل (۳): نمونه ای از پالایش نقاط، (الف) قبل از پیش پردازش، (ب) بعد از پیش پردازش.

۳-۱-۴- یکسان سازی تعداد نقاط و فاصله بین آن ها

ابتدا با استفاده از درونیابی بین نقاط نمونه برداری شده از حرکت قلم، مسیر حرکت قلم تخمین زده می شود. سپس با در دست داشتن طول حرکت قلم، ۵۰ نقطه که فاصله ی یکسانی از هم دارند استخراج می شود [12,13]. شکل (۴) نمونه ای از یکسان سازی در تعداد نقاط و فاصله بین آن ها را نشان می دهد.



شکل (۴): نمونه ای از یکسان سازی نقاط و فاصله بین آن ها، (الف) قبل از پیش پردازش، (ب) بعد از پیش پردازش.

۳-۱-۵- یکسان سازی ابعاد و انتقال به مبدا

از آنجایی که ابعاد نویسه ها در داده های نمونه برداری شده برای افراد مختلف متفاوت است، بنابراین همه نمونه ها در یک چارچوب 100×100 قرار می گیرند. همچنین برای یکسان سازی در نقطه شروع حرکت قلم، نقطه ی آغازین حرکت قلم به نقطه $(0,0)$ انتقال داده می شود [5,8].

۳-۲- استخراج ویژگی

هدف از استخراج ویژگی، افزایش کیفیت الگوهای ورودی با استخراج و محاسبه خصوصیات و پارامترهای مربوط به سیگنال ورودی می باشد که منجر به بهبود عملکرد

۳-۱-۱- حذف نقاط تکراری

با بررسی مختصات نقاط نمونه برداری شده، اگر موقعیت مکانی یکسانی برای نقاط وجود داشته باشد یکی از آن ها نگه داشته شده و بقیه حذف می شوند [12].

۳-۱-۲- حذف قلاب

قلاب ها معمولا در ابتدا و انتهای حرکت قلم ظاهر می شوند. مشخصه قلاب ها طول کوتاه و تغییر زاویه زیاد است [12,13]. با استفاده از این پیش پردازش می توان حرکات اضافی ابتدا و انتهای حرکت قلم را تا حد قابل قبولی از بین برد. بنابراین قلاب ها با استفاده از دو مشخصه ذکر شده تشخیص داده شده و سپس حذف می شوند.

۳-۱-۳- پالایش نقاط

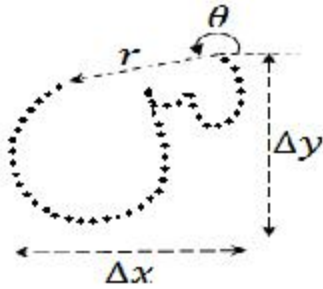
نقطه ای که فاصله بین آن ها کمتر از دو برابر میانگین فواصل بین نقطه ای باشد حذف می شوند. با استفاده از این پیش پردازش می توان لرزش حرکت دست هنگام نوشتن را تا حدی از بین برد [8]. در شکل (۳) نمونه ای از پالایش نقاط دیده می شود.

$$f_4 = \Delta(y_{\max} - y_{\min}) \quad (۴)$$

$$f_5 = \theta_{ste} = \tan^{-1} \left(\frac{y_{end} - y_{start}}{x_{end} - x_{start}} \right) \quad (۵)$$

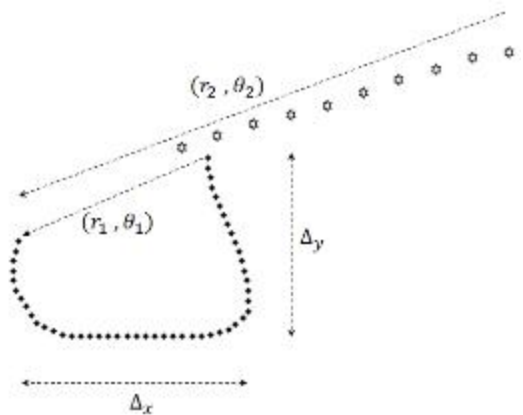
$$f_6 = r_{ste} = \left(\frac{y_{end} - y_{start}}{x_{end} - x_{start}} \right) \quad (۶)$$

در روابط فوق x_{min} و x_{max} به ترتیب مقدار حداقل و حداکثر در راستای محور افقی، y_{min} و y_{max} به ترتیب مقدار حداقل و حداکثر در راستای محور عمودی، x_{end} و x_{start} به ترتیب مقدار نقطه آغازین و نقطه پایانی در راستای محور افقی، y_{end} و y_{start} به ترتیب مقدار نقطه آغازین و نقطه پایانی در راستای محور عمودی هستند. همچنین θ_{ste} و r_{ste} به ترتیب زاویه ابتدا به انتها^{۱۸} و بردار ابتدا به انتها می‌باشند.



شکل (۶): نحوه استخراج ویژگی‌های سراسری برای حروف با یک حرکت قلم.

بردار و زاویه ابتدا به انتها برای حروفی که تعداد حرکات قلم در آن‌ها از یک بیشتر است از جمع بردار و زاویه ابتدا به انتهای اول و دوم مانند شکل (۷) بدست می‌آید.



شکل (۷): نحوه استخراج ویژگی‌های سراسری برای حروف با بیش از یک حرکت قلم.

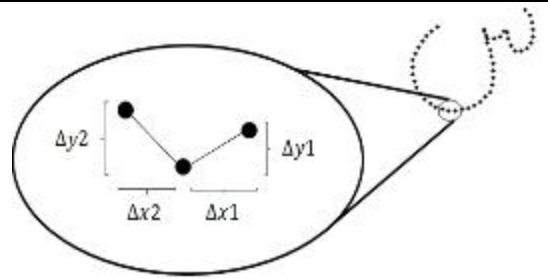
طبقه‌بندی کننده روی الگوهای ورودی می‌شود [11]. به عبارت دیگر برای طبقه‌بندی نمونه‌ها، به مجموعه‌ای از ویژگی‌ها با قابلیت تمایز بالا نیاز است [14,15]. در این مقاله از دو مجموعه ویژگی برای طبقه‌بندی بدنه اصلی حروف استفاده شده است.

۳-۲-۱- ویژگی‌های نقطه‌ای

برای پنجاه نقطه بدست آمده از مرحله پیش‌پردازش، تغییرات در راستای افقی (Δx) و تغییرات راستای عمودی (Δy) به عنوان ویژگی‌های نقطه‌ای استخراج می‌شود، که در روابط (۳) و (۴) قابل مشاهده هستند. شکل (۵) تغییرات در راستای افقی و راستای عمودی را برای سه نقطه متوالی نشان می‌دهد [16].

$$f_1 = \Delta(x_{i+1} - x_i) \quad (۱)$$

$$f_2 = \Delta(y_{i+1} - y_i) \quad (۲)$$



شکل (۵): ویژگی نقطه‌ای برای سه نقطه متوالی.

۳-۲-۲- ویژگی‌های سراسری

زاویه بردار ابتدا به انتهای حرکت قلم، اندازه بردار ابتدا به انتهای حرکت قلم، اندازه حرکت قلم در راستای افقی و اندازه حرکت قلم در راستای عمودی چهار ویژگی استخراج شده از حرکت قلم به عنوان ویژگی سراسری هستند [17]. این ویژگی‌ها در روابط (۳) تا (۶) مشاهده می‌شوند. همچنین نحوه استخراج ویژگی‌های سراسری برای حروف با یک حرکت قلم و بیش از یک حرکت قلم به ترتیب در شکل‌های (۶) و (۷) مشاهده می‌شوند.

$$f_3 = \Delta(x_{\max} - x_{\min}) \quad (۳)$$

۳-۲-۳- ویژگی‌های استخراج شده از ریزحرکات

ویژگی‌های استخراج شده از ریزحرکات شامل ویژگی‌های ساختاری و چند ویژگی استخراج شده از ریزحرکات اول و دوم در صورت وجود می‌باشد، که عبارتند از:

۱. تعداد ریزحرکات (با توجه به شکل (۸) می‌تواند بین «۰» تا «۳» باشد).

۲. تشخیص بالا یا پایین بودن ریزحرکات (اگر ریزحرکت پایین باشد «۱-»، اگر ریز حرکت بالا باشد «۱») و اگر ریزحرکت موجود نباشد «۰» در نظر گرفته می‌شود).

۳. طول حرکت قلم برای ریزحرکت اول و ریزحرکت دوم که از مجموع فاصله‌های اقلیدسی جفت نقاط متوالی موجود بدست می‌آید.

۴. بردار و زاویه ابتدا به انتها برای ریزحرکت اول و ریزحرکت دوم.

۵. طول حرکت قلم در راستای افقی برای ریزحرکت اول و ریزحرکت دوم.

۶. طول حرکت قلم در راستای عمودی برای ریزحرکت اول و ریزحرکت دوم.

لازم به تذکر است که، ویژگی‌های استخراج شده ۳ تا ۶ برای ریزحرکات اول و دوم در صورت وجود استخراج می‌شود و در غیر این صورت صفر در نظر گرفته می‌شود.

۳-۳- کاهش ابعاد ویژگی

بالا بودن ابعاد ویژگی مشکلاتی از جمله بالا رفتن زمان اجرا (افزایش هزینه محاسباتی) و افزایش پیچیدگی مساله را به همراه خواهد داشت. روش‌های کاهش ابعاد به دو دسته انتخاب ویژگی و استخراج ویژگی تقسیم می‌شوند. استخراج ویژگی به معنی تبدیل داده‌های اولیه با همه متغیرها به یک مجموعه داده با تعداد متغیرهای کمتر و قدرت تفکیک‌پذیری بالاتر است. در استخراج ویژگی از همه متغیرهای موجود استفاده می‌شود تا داده‌ها به وسیله تبدیلی خطی یا غیرخطی به فضای ویژگی با ابعاد کمتر انتقال یابند. بنابراین در استخراج ویژگی هدف این است که داده‌هایی با تعداد متغیر کمتر جایگزین داده‌های اولیه شوند. به این معنی که ویژگی‌ها از یک فضای با d بعد به فضایی با k بعد منتقل می‌شوند که $k < d$ می‌باشد.

با استفاده از کاهش ویژگی می‌توان مجموعه ویژگی‌های مناسب به ویژه برای طبقه‌بندی‌های ساده‌تر فراهم نمود. همچنین از این طریق می‌توان اثر مخرب اطلاعات تکراری را کاهش داد.

۳-۳-۱- تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)

هدف از تحلیل مولفه‌های اصلی^۹ (PCA)، تولید متغیرهای جدیدی است که اولاً ترکیب خطی از متغیرهای اولیه باشند و ثانیاً متغیرها همبستگی کمی به یکدیگر داشته باشند. از لحاظ هندسی، تحلیل مولفه‌های اصلی را می‌توان دوران محورهای مختصات اولیه به محورهای عمودی جدید دانست به صورتی که بر اساس واریانس متغیرهای اولیه مرتب شده‌اند. یکی از اهداف تحلیل مولفه‌های اصلی، پیدا کردن گروه‌های کوچک‌تری از متغیرهای اساسی است که بتوانند داده‌ها را توصیف کنند. برای انجام این کار، می‌بایست مولفه‌های اصلی اولیه بتوانند پراکندگی زیادی از داده‌های اولیه را تشکیل دهند.

بدون ریزحرکت	۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶
یک ریزحرکت	۱ ۲ ۳ ۴ ۵
دو ریزحرکت	۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶
سه ریزحرکت	۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷

شکل (۸) : تعداد ریزحرکات.

۳-۳-۲- تحلیل جداکننده خطی (LDA)

مقابل یک $(OVO)^{21}$ انجام شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که طبقه‌بندی ریزحرکات با استفاده از ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) همزمان با بدنه اصلی انجام گیرد. لذا به منظور اثبات روش پیشنهادی، روندی در نظر گرفته شده است که در ابتدا بدنه اصلی حروف با ویژگی‌های نقطه‌ای و طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل همه $(OVA)^{22}$ [18] طبقه‌بندی می‌شود. سپس با اضافه کردن ویژگی‌های سراسری به ویژگی‌های نقطه‌ای، عملکرد طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل همه (OVA) بررسی می‌شود. در ادامه با استفاده از کاهش ابعاد ویژگی به روش تحلیل جداکننده خطی (LDA) و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) ابعاد ویژگی برای بدنه اصلی از ۱۰۲ ویژگی به ۱۷ ویژگی کاهش می‌یابد، و بازشناسی با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل همه (OVA) انجام می‌شود و مقایسه‌ای بین نتایج دو روش کاهش ابعاد ویژگی مطرح شده انجام می‌گیرد. در آخر با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) [19] مراحل قبلی تکرار می‌شود و نتایج حاصل از آن بررسی می‌شود.

تحلیل جداکننده خطی $(LDA)^{23}$ از روش‌های آماری است. در این روش داده‌ها روی خطی جهت‌دار تصویر می‌شوند که برای طبقه‌بندی مناسب‌تر است. به عبارت ساده‌تر ایده اصلی در تحلیل جداکننده خطی یافتن خطی است که داده‌ها را از کلاس‌های مختلف به صورتی روی آن تصویر شوند که به خوبی قابل تفکیک باشند. تحلیل جداکننده خطی با تحلیل مولفه‌های اصلی شباهت دارد. از این نظر که، هر دو این روش‌ها برای ترکیب خطی متغیرها به شکلی که داده را به بهترین نحو توضیح بدهد به کار می‌روند. تفاوت اصلی تحلیل جداکننده خطی با تحلیل مولفه‌های اصلی این است که، در تحلیل جداکننده خطی تفاوت کلاس‌ها مدل‌سازی می‌شود. به این معنی که اگر تعداد کلاس‌ها برابر C باشد، با استفاده از تحلیل جداکننده خطی بردار ویژگی را می‌توان حداکثر به $C-1$ تصویر نمود. همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد ۹۸ ویژگی نقطه‌ای و ۴ ویژگی سراسری، در مجموع ۱۰۲ ویژگی از داده پیش‌پردازش شده استخراج می‌شود. که با استفاده از تحلیل جدا کننده خطی (LDA) و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) تعداد ویژگی‌ها به ۱۷ کاهش می‌یابد.

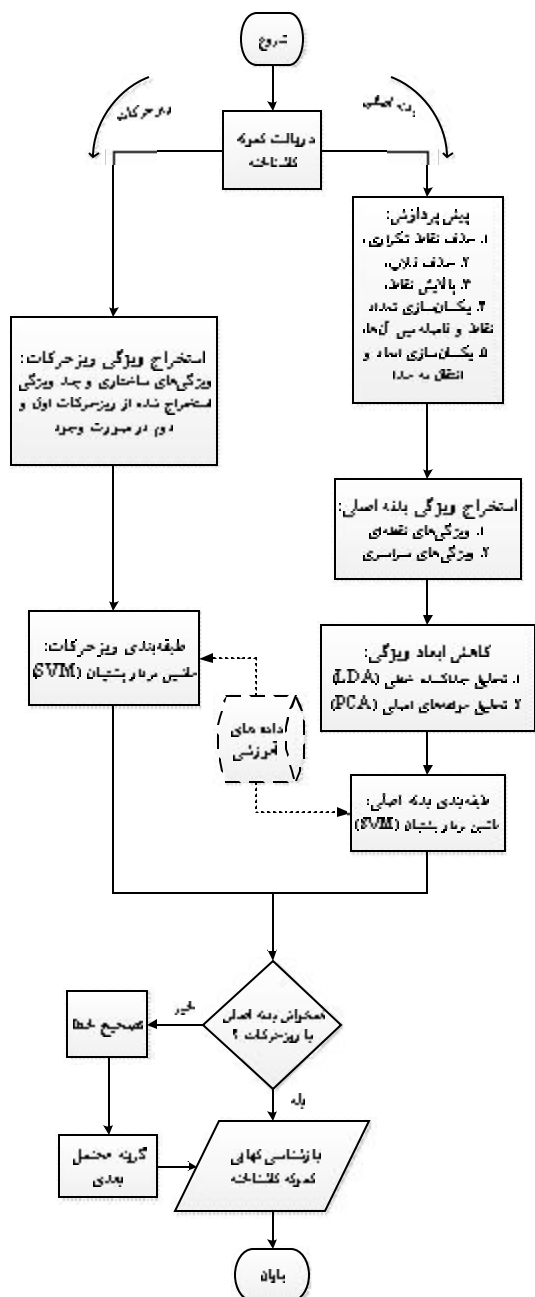
۳-۵- پس پردازش

همان‌طور که در ابتدای بخش سوم مطرح شد، بازشناسی حروف مجزای دست‌نویس فارسی به‌طور همزمان، با شناسایی بدنه اصلی و ریزحرکات انجام می‌گیرد. به این ترتیب که اگر گروه شناسایی شده از بدنه اصلی با گروه شناسایی شده از ریزحرکات همخوانی داشته باشند، بازشناسی نهایی انجام می‌گیرد، اما اگر همخوانی بین گروه شناسایی شده از بدنه اصلی با ریزحرکات وجود نداشته باشد با استفاده از الگوریتم تصحیح خطا، ناهمخوانی موجود تصحیح می‌گردد. به عنوان مثال اگر سیستم پیشنهادی بدنه

۳-۴- طبقه‌بندی

بازشناسی حروف مجزای دست‌نویس فارسی به‌طور همزمان، با شناسایی بدنه اصلی و ریزحرکات انجام می‌گیرد. بنابراین می‌بایست دو طبقه‌بند به‌طور همزمان طبقه‌بندی بدنه اصلی حروف و ریزحرکات را انجام دهند.

در این مقاله پیشنهاد می‌شود طبقه‌بندی بدنه‌ی اصلی حروف با استفاده از کاهش ابعاد ویژگی به روش تحلیل جداکننده خطی (LDA) یا تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در



شکل (۹): نمودار جعبه‌ای روش پیشنهادی برای بازشناسی برخط حروف مجزای فارسی.

اصلی نمونه ناشناخته را به اشتباه گروه (۱۱) «ق» و ریزحرکت مربوطه را به طور صحیح (۴) «یک نقطه بالا» تشخیص دهد، این ناهمخوانی بین گروه شناسایی شده از بدنه اصلی و ریزحرکات تصحیح شده و به بازشناسی حرف «ف» می‌انجامد. همچنین اگر سیستم پیشنهادی بدنه اصلی نمونه ناشناخته را به اشتباه گروه (۱۵) «ن» و ریزحرکت مربوطه را به طور صحیح (۱) «بدون ریزحرکت» تشخیص دهد، این ناهمخوانی بین گروه شناسایی شده از بدنه اصلی و ریزحرکات تصحیح شده و به بازشناسی حرف «ل» می‌انجامد. الگوریتم تصحیح خطای پیشنهادی در صورت بروز ناهمخوانی بوجود آمده از شناسایی بدنه اصلی و ریزحرکات وارد عمل شده و به بازشناسی صحیح کمک می‌کند.

همچنین سیستم پیشنهادی تا حد قابل قبولی می‌تواند حرفی که نامتعارف نگارش شده‌اند را بازشناسی کند. به عنوان مثال برای حرف «ط» که با یک حرکت قلم نوشته شده‌است، اگر سیستم بدنه اصلی نمونه ناشناخته را گروه (۸) «ط،ظ» و ریزحرکت مربوطه را گروه (۱) «بدون علامت» تشخیص دهد، با توجه به قدرت بالای طبقه‌بند استفاده شده برای بدنه اصلی حروف، این نمونه ناشناخته به بازشناسی حرف «ط» منجر می‌شود. شکل (۹) نمودار جعبه‌ای روش پیشنهادی برای بازشناسی برخط حروف مجزای فارسی را نمایش می‌دهد.

۴- آزمایش‌ها و ارزیابی نتایج

نسبت داده‌های آموزشی و آزمایشی به کل نمونه‌ها در تمام آزمایش‌های انجام شده به ترتیب ۰/۷ و ۰/۳ است، که برای ده بار اجرای برنامه و برای هر بار اجرا، به صورت تصادفی می‌باشد. شایان ذکر است نتایج هر جدول دارای شرایط برابری از نظر تصادفی بودن داده‌های آموزشی و آزمایشی برای ده بار اجرا می‌باشد. لذا برای ده بار اجرای

همان‌طور که در بخش دوم به معرفی پایگاه داده و نگارش حروف پرداخته شده‌است، روش پیشنهادی ارزیابی شده در این مقاله روی حروف مجزای پایگاه داده Online-TMU انجام شده‌است.

مجزا مقادیر حداقل و حداکثر و میانگین در جدول‌ها ارائه شده‌اند. نتایج حاصل از آزمایش‌ها در جدول‌های (۱) تا (۷) گردآوری شده است. لازم به تذکر است که، در تمام جدول‌ها روند بازشناسی بدنه اصلی بررسی می‌شود و بازشناسی ریزحرکات همان‌طور که بیان شد با طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) انجام می‌شود. با در طبقه‌بندی بدنه اصلی حروف، برای SVM با رویکرد OVA و همچنین SVM با رویکرد OVO، همچنین در طبقه‌بندی ریزحرکات، برای SVM با رویکرد OVO از کرنل گوسی ۲۳ استفاده شده است، که مقدار پارامتر σ به ترتیب برابر ۳/۸۵، ۷ و ۴ انتخاب شده است.

جدول (۳) : نتایج بازشناسی حروف مجزای دست‌نویس فارسی با استفاده از طبقه‌بند SVM با رویکرد OVA برای بدنه اصلی حروف

ویژگی‌های نقطه‌ای برای بدنه اصلی			ویژگی‌های نقطه‌ای برای بدنه اصلی			
بازشناسی نهایی	بازشناسی ریزحرکات	بازشناسی بدنه	بازشناسی نهایی	بازشناسی ریزحرکات	بازشناسی بدنه	
۸۷/۷۱	۹۶/۷۸	۸۸/۱۲	۸۴/۹۱	۹۶/۷۸	۸۵/۰۸	حداقل
۸۹/۲۹	۹۸/۴۳	۹۰/۱۰	۸۷/۰۶	۹۸/۴۳	۸۷/۳۸	حداکثر
۸۸/۷۹	۹۷/۵۲	۸۹/۳۵	۸۶/۱۸	۹۷/۵۲	۸۶/۵۰	میانگین

جدول (۴) : نتایج بازشناسی حروف مجزای دست‌نویس فارسی با استفاده از طبقه‌بند SVM با رویکرد OVA و کاهش ابعاد ویژگی به روش‌های LDA و PCA برای بدنه اصلی حروف

PCA برای بدنه اصلی			LDA برای بدنه اصلی			
بازشناسی نهایی	بازشناسی ریزحرکات	بازشناسی بدنه	بازشناسی نهایی	بازشناسی ریزحرکات	بازشناسی بدنه	
۹۳/۲۴	۹۷/۰۳	۹۳/۹۸	۹۱/۵۹	۹۷/۰۳	۹۲/۰۰	حداقل
۹۴/۷۲	۹۷/۸۵	۹۵/۰۵	۹۳/۹۸	۹۷/۸۵	۹۴/۱۴	حداکثر
۹۴/۰۴	۹۷/۴۵	۹۴/۴۷	۹۲/۸۸	۹۷/۴۵	۹۳/۲۱	میانگین

کاهش ابعاد ویژگی، زمان محاسبات کاهش یابد و در صورت امکان نرخ بازشناسی بالا رود. جدول (۴) مقایسه‌ای بین نتایج حاصل از طبقه‌بندی بدنه اصلی، ریزحرکات و نرخ بازشناسی نهایی با استفاده کاهش ابعاد ویژگی به روش تحلیل جداکننده خطی (LDA) و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) را نشان می‌دهد، که ویژگی‌های بدنه اصلی از ۱۰۲ ویژگی به جهت مقایسه‌ای صحیح بین دو روش LDA و PCA به ۱۷ ویژگی کاهش یافته‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در روش تحلیل جدا کننده خطی (LDA) و همچنین در روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) میانگین نرخ بازشناسی نهایی بالا رفته‌است و این به جهت بالا رفتن نرخ بازشناسی بدنه اصلی می‌باشد.

در جدول (۳) نتایج حاصل از طبقه‌بندی بدنه اصلی با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل همه (OVA)، همچنین طبقه‌بندی ریزحرکات با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) و در آخر بازشناسی نهایی حروف مجزای دست‌نویس فارسی مشاهده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با اضافه شدن ویژگی‌های سراسری به ویژگی‌های نقطه‌ای میانگین نرخ بازشناسی نهایی بالا رفته‌است و این به جهت بالا رفتن نرخ بازشناسی بدنه اصلی می‌باشد. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، با بالا رفتن ابعاد ویژگی هزینه محاسباتی (زمان محاسبات) و در نتیجه پیچیدگی مساله افزایش می‌یابد. بنابراین انتظار می‌رود با استفاده از

جدول (۵) : نتایج بازشناسی حروف مجزای دست‌نویس فارسی با استفاده از طبقه‌بند SVM با رویکرد OVO برای بدنه اصلی حروف

PCA برای بدنه اصلی			LDA برای بدنه اصلی			ویژگی‌های نقطه‌ای و سراسری برای بدنه اصلی			
بازشناسی نهایی	بازشناسی ریزحرکات	بازشناسی بدنه	بازشناسی نهایی	بازشناسی ریزحرکات	بازشناسی بدنه	بازشناسی نهایی	بازشناسی ریزحرکات	بازشناسی بدنه	
۹۶/۷۸	۹۶/۷۰	۹۷/۳۶	۹۶/۳۷	۹۶/۷۰	۹۷/۲۰	۹۵/۵۵	۹۶/۷۰	۹۵/۹۶	حداقل
۹۷/۶۱	۹۷/۹۴	۹۸/۶۰	۹۷/۷۷	۹۷/۹۴	۹۸/۲۷	۹۶/۸۷	۹۷/۹۴	۹۷/۵۳	حداکثر
۹۷/۲۹	۹۷/۴۸	۹۷/۹۷	۹۷/۲۰	۹۷/۴۸	۹۷/۳۶	۹۶/۳۵	۹۷/۴۸	۹۶/۸۵	میانگین

جدول (۶) : زمان تصمیم‌گیری برای یک نمونه ناشناخته با استفاده از رویکردهای OVA و OVO

OVA									
PCA برای بدنه اصلی			LDA برای بدنه اصلی			ویژگی‌های نقطه‌ای و سراسری برای بدنه اصلی			
بازشناسی نهایی	بازشناسی ریزحرکات	بازشناسی بدنه	بازشناسی نهایی	بازشناسی ریزحرکات	بازشناسی بدنه	بازشناسی نهایی	بازشناسی ریزحرکات	بازشناسی بدنه	
۱۴/۳۲	۴/۳۶	۹/۹۶	۱۴/۵۴	۴/۳۶	۱۰/۱۸	۱۵/۶۵	۴/۳۶	۱۱/۲۹	زمان (ms)
OVO									
PCA برای بدنه اصلی			LDA برای بدنه اصلی			ویژگی‌های نقطه‌ای و سراسری برای بدنه اصلی			
بازشناسی نهایی	بازشناسی ریزحرکات	بازشناسی بدنه	بازشناسی نهایی	بازشناسی ریزحرکات	بازشناسی بدنه	بازشناسی نهایی	بازشناسی ریزحرکات	بازشناسی بدنه	
۷/۶۶	۴/۳۶	۳/۳۰	۷/۷۲	۴/۳۶	۳/۳۶	۹/۲۶	۴/۳۶	۴/۹۰	زمان (ms)

بدنه اصلی حروف، مشاهده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بهترین نرخ بازشناسی نهایی برای حروف مجزای دست‌نویس فارسی با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) برای بدنه اصلی همچنین برای ریزحرکات با استفاده از کاهش ویژگی ابعاد به روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) بدست آمده‌است، که میانگینی برابر با ۹۷/۲۹ درصد دارد.

جدول (۶) زمان تصمیم‌گیری برای یک نمونه ناشناخته را برای بازشناسی بدنه اصلی و ریزحرکات نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که استفاده از رویکرد یک در مقابل یک (OVO) برای طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) زمان بازشناسی بدنه اصلی را کاهش داده‌است که منجر به کاهش زمان مجموع می‌شود. همان‌طور که انتظار می‌رود، مشاهده می‌شود که استفاده از کاهش ابعاد ویژگی به روش‌های LDA و PCA زمان تصمیم‌گیری برای بازشناسی بدنه اصلی را کاهش می‌دهد.

در جدول (۵) نتایج حاصل از طبقه‌بندی بدنه اصلی با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) با استفاده از ویژگی‌های اصلی و کاهش ابعاد ویژگی به روش تحلیل جداکننده خطی (LDA) و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و همچنین طبقه‌بندی ریزحرکات با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) و در آخر بازشناسی نهایی حروف مجزای دست‌نویس فارسی مشاهده می‌شود، که ویژگی‌های بدنه اصلی از ۱۰۲ ویژگی به ۱۷ ویژگی کاهش یافته‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، استفاده از رویکرد یک در مقابل یک (OVO) برای طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) نسبت به رویکرد یک در مقابل همه (OVA) بالا رفتن نرخ بازشناسی نهایی به جهت بالا رفتن نرخ بازشناسی بدنه اصلی حروف را به همراه خواهد داشت. همچنین میانگین نرخ بازشناسی نهایی به ترتیب در روش تحلیل جداکننده خطی (LDA) و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) به جهت بالا رفتن نرخ بازشناسی

می‌تواند با استفاده از شناسایی ریزحرکات به‌راحتی بازشناسی نهایی را انجام دهد. همچنین نرخ بازشناسی برای گروه «ا،آ» ۱۰۰ درصد است و این به این معنی است که سیستم پیشنهادی همه‌ی بدنه‌های آزمایش شده از این گروه را به درستی تشخیص داده است و می‌تواند با استفاده از شناسایی ریزحرکات بازشناسی نهایی را به‌راحتی انجام دهد. به عنوان مثال، شباهت بدنه اصلی گروه «ف» با گروه «ق» باعث شده تا نرخ بازشناسی برای گروه «ف» به ۹۰/۸۱ درصد کاهش یابد، که باعث می‌شود سیستم پیشنهادی در تصمیم‌گیری نهایی با ناهمخوانی بین گروه شناسایی شده از بدنه اصلی و ریزحرکات مواجه شود، سیستم پیشنهادی در مواجهه با این ناهمخوانی، با استفاده از الگوریتم تصحیح خطا (که در بخش ۳-۵ ارایه شده‌است) می‌تواند تا حد قابل قبولی این ضعف را تصحیح کند.

جدول (۷) ماتریس آسیمگی^{۲۴} میانگین ده‌بار اجرای طبقه‌بند SVM با رویکرد OVO و کاهش ابعاد ویژگی به روش PCA برای طبقه‌بندی بدنه اصلی را نشان می‌دهد. اعداد روی قطر اصلی میانگین تعداد نمونه‌های آزمایشی برای بدنه اصلی حروف که در ده‌بار اجرای برنامه به درستی طبقه‌بندی شده‌اند را نشان می‌دهد. شاخص‌های دقت یا (نرخ) بازشناسی^{۲۵} و قابلیت اطمینان معیارهای مهمی برای عملکرد طبقه‌بند در تشخیص الگو و قابلیت اطمینان میزان اعتبار تصمیم گرفته‌شده توسط طبقه‌بند را بیان می‌کنند. همان‌طور که مشاهده می‌شود نرخ بازشناسی برای گروه‌های «ب،پ،ت،ث»، «ج،چ،ح،خ» و «ر،ز،ژ» که اعضای بیشتری دارند بیش از ۹۸ درصد است و با توجه به اینکه سیستم پیشنهادی، تصمیم‌گیری نهایی را همزمان با توجه به گروه شناسایی شده از بدنه اصلی و ریزحرکات انجام می‌دهد

جدول (۷): ماتریس آسیمگی (Confusion) برای میانگین ده‌بار اجرای طبقه‌بند بدنه اصلی با استفاده از SVM با رویکرد OVO

خروجی هدف	ا	ب پ ت ث	ج چ ح خ	د ذ	ر ز ژ	س ش	ص ض	ط ظ	ع غ	ف	ق	ک گ	ل	م	ن	و	ه	ی	نرخ بازشناسی (%)
ا	۷۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
ب پ ت ث	۰	۱۴۵/۶	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳	۰	۰	۰/۹	۰	۰	۰	۹۹/۰۵
ج چ ح خ	۰	۰	۱۴۲/۷	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰/۸	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰/۱	۰	۹۹/۱۰
د ذ	۰/۱	۰	۰	۷۲/۲	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۷/۵۷
ر ز ژ	۰/۵	۰	۰	۱	۱۰۹/۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۸/۵۶
س ش	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۷۱/۵	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۱/۱	۹۷/۹۵
ص ض	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۷۳/۷	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۹/۵۹
ط ظ	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۷۳/۵	۰	۰	۰	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۹/۳۲
ع غ	۰/۲	۰	۰/۶	۰	۰	۰	۰	۰	۷۲/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۸/۹۰
ف	۰	۰/۷	۰	۰	۰/۱	۰	۰/۴	۰/۱	۰	۳۶/۶	۱/۷	۰/۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۰/۸۱
ق	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۴	۰	۰	۱/۱	۳۵	۰	۰	۰	۰/۳	۰	۰/۲	۰	۹۶/۵۹
ک گ	۰	۰/۷	۰	۰/۱	۰	۰	۰/۸	۰	۰/۲	۰	۰	۶۹/۳	۰	۰	۰	۰/۱	۰	۰/۸	۹۶/۲۵
ل	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۳۴/۹	۰	۰/۹	۰	۰/۵	۰/۵	۹۴/۳۲
م	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۶/۵	۰	۰/۲	۰	۰	۹۸/۶۵
ن	۰/۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۶/۲	۰	۰	۰	۹۷/۸۴
و	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۷/۵	۰	۰	۹۸/۶۹
ه	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۵	۰	۹۷/۲۲
ی	۰	۰	۰/۴	۰/۷	۰	۰/۵	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۰/۱	۰/۴	۳۵/۶	۹۳/۶۸
قابلیت اطمینان (%)	۹۸/۴	۹۸/۴	۹۹/۱۰	۹۸/۳	۹۷/۵	۹۸/۸	۹۸/۹	۹۸/۹	۹۸/۷	۹۵/۳	۹۵/۱۱	۹۸/۶	۹۹/۱۵	۹۹/۱۸	۹۸/۳	۹۸/۴	۹۹/۹	۹۳/۶	۹۷/۹۷ ۹۷/۵۹

۵- نتیجه گیری

مراجع

- در این تحقیق روشی جدید برای بازشناسی برخظ حروف مجزای دست‌نویس فارسی ارائه شد. در روش ارائه شده از دانش مربوط به بدنه اصلی حروف و ریزحرکات به‌طور همزمان استفاده شده‌است. به این ترتیب که در صورت همخوانی گروه شناسایی شده از بدنه اصلی و ریزحرکات نمونه ناشناخته تشخیص داده می‌شود و در غیر این صورت با استفاده از الگوریتم تصحیح خط ناهمخوانی پیش‌آمده تا حد امکان تصحیح می‌گردد. استفاده همزمان از دانش مربوط به بدنه اصلی و ریزحرکات شرایطی را فراهم می‌آورد که تصمیم‌گیری اولیه و همچنین تصمیم‌گیری نهایی برای تعیین کلاس خروجی از اعتبار بیشتری برخوردار باشد. با توجه به نرخ بازشناسی مناسب برای طبقه‌بندهای مربوط به بدنه اصلی و ریزحرکات، در صورت همخوانی بین گروه شناسایی شده از بدنه اصلی و ریزحرکات، نرخ بازشناسی اولیه برای تعیین کلاس خروجی میزان قابل توجهی دارد و همچنین تصمیم‌گیری با اطمینان بیشتری انجام می‌پذیرد. همچنین در صورت بروز ناهمخوانی بین گروه شناسایی شده از بدنه اصلی و ریزحرکات، ناهمخوانی پیش‌آمده توسط عملیات پس‌پردازش با تکیه بر تصمیم گرفته‌شده توسط از یکی طبقه‌بندها تا حد امکان تصحیح می‌گردد. به نظر می‌رسد استفاده همزمان از دانش مربوط به بدنه اصلی حرکت قلم و ریزحرکات برای بازشناسی کلمات و زیرکلمات نیز مفید باشد.
- با استخراج ویژگی‌های نقطه‌ای و استخراج چند ویژگی سراسری و با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) برای طبقه‌بندی بدنه اصلی و ریزحرکات، بازشناسی حروف مجزای دست‌نویس فارسی انجام می‌شود. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن است که، استفاده از کاهش ابعاد ویژگی برای بدنه اصلی حروف، و به صورت همزمان در نظر گرفتن انواع ریزحرکات نتایج مطلوبتری از نظر سرعت انجام محاسبات و همچنین نرخ بازشناسی نهایی به دنبال دارد.
- [1] Razavi. S. M, Kabir. E, "A Database for Recognition of Farsi Online Handwriting," 6th Iranian Conference on Intelligent Systems (ICIS2004).
- [2] Razavi. S. M, Kabir. E, "Recognition of Farsi Online Handwriting," Modares Journal of Electrical Engineering, Vol. 17. No 2, pp. 65-82, 2005.
- [3] Razavi. S. M, Kabir. E, "A Simple Recognition Method for Online Isolated Farsi Characters," Modares Journal of Electrical Engineering, Vol. 17. No 2, pp. 65-82, 2005.
- [4] Ghods. V, Kabir. E, "A study on usual styles of Farsi online handwriting in order to recognition," Tabriz Journal of Electrical Eng., Vol. 41, No. 1, Serial No. 61, pp. 22-32, 2011.
- [5] Razavi. S. M, Kabir. E, "Online Recognition of Farsi Handwritten Isolated by Natural Network," The Third Conference on Machine Vision, Image Processing & Applications (MVIP 2005), University of Tehran, Iran, Feb. 23-24, 2005.
- [6] Sajedi. H, Jamzad M, Sameti. H, Babaali B, "A Grouping-based method for On-Line Persian Discrete Character Recognition Using Hidden Markov Model," 12th. Annual International CSI Computer Conference (CSICC2007), Electrical and Computer Engineering Faculty, Shahid Beheshty University, 20-22 February 2007.
- [7] Mehralian. M. A, Fouladi. K, "The Recognition of Online Handwritten Persian Characters Based on their Main Bodies Using HMM," 15th. National CSI Computer Conference CSICC, Tehran. Iran, February 2010.
- [8] Mehralian. M. A, Fouladi. K, "The Recognition of Online Handwritten Persian Characters Based on their Main Bodies Using SVM," Journal Signal and Data Processing, 2013(Issue 1).
- [9] V. Ghods, E. Kabir, "Feature Extraction for Online Farsi Characters," 12th. International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition, 2010.
- [10] Soleymani. Baghshah, M, Bagheri Shouraki. S, Kasaei. S, "A Novel Fuzzy Classifier Using LVQ to Recognize Online Persian Handwriting" 14th. Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE2006), AmirKabir University, 2006.
- [11] Tagougui, N., Kherallah, M., Alimi, A.M., "Online Arabic Handwriting Recognition: a survey," International Journal on Document Analysis and Recognition (IJ DAR), Vol. 16, No 3, pp. 209-226, September 2013.
- [12] Huang. B.Q., Zhang. Y.B., Kechadi, M-T., "Preprocessing Techniques for Online Handwriting Recognition," Seventh International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, Rio de Janeiro, pp. 793- 800, 20-24 Oct. 2007.
- [13] Faradji, F., Faez, K., Nosrati, S.M, "Online Farsi Handwritten Words Recognition Using a

- ¹⁷ Dimensionality Reduction
- ¹⁸ star to end
- ¹⁹ Principle Component Analysis
- ²⁰ Linear Discriminate Analysis
- ²¹ One Versus One
- ²² One Versus All
- ²³ Gaussian Radial Basis Function kernel
- ²⁴ Confusion Matrix
- ²⁵ Score of Recognition

- Combination of 3 Cascaded RBF Neural Networks," International Conference on Intelligent Advanced Systems, Kuala Lumpur, pp. 134-138, 25-28 Nov. 2007.
- [14] Singh, V., Kumar, B., Patnaik, T., "Feature Extraction Techniques for Handwritten Text in Various Scripts: a Survey," International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), Vol 3, No 1, pp. 238- 241, March 2013.
 - [15] Ghods, V., Kabir, E., "Feature Extraction for Online Farsi Characters," 12th. International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition, Kolkata, pp. 477- 482, 16-18 Nov. 2010.
 - [16] Biem, A., "Minimum Classification Error Training for Online Handwriting Recognition," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 28, No. 7, pp. 1041-1051, July 2006.
 - [17] Harouni, M., Dzulkifli, M., Rasouli, A.; "Deductive Method for Recognition of On-Line Handwritten Persian/Arabic Characters," 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE), Singapore, Vol 5, pp. 791-795, 26-28 Feb. 2010.
 - [18] Sidaoui, B., Sadouni, K., "OVA Tree Multiclass Framework for support Vector Machine," Proceedings of the International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists, Hong Kong, IMECS, 13-15 March 2013.
 - [19] Bahlmann, C., Hassdonak, B., Burkhardt, H., "On-line Handwriting Recognition with Support Vector Machines A Kernel Approach," Eighth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition (IWFHR), pp. 49-54, 2002.
 - [20] T.Al-Tanni, A., Al-Haj, S., "Recognition of On-line Arabic Handwritten Characters Using Structural Features," Journal of Pattern Recognition Research, pp. 23-27, 2010.

¹ Reliability

² Tarbiat Modarres University

³ Off-line

⁴ On-line

⁵ Hidden Markov Model

⁶ Classification

⁷ Support Vector Machine

⁸ Decision Tree

⁹ Fuzzy

¹⁰ Tablet Digitizer

¹¹ Preprocessing

¹² Feature Extraction

¹³ Dimensionality Reduction

¹⁴ Post Processing

¹⁵ Preprocessing

¹⁶ Feature Extraction