

بازشناسی حروف برخط فارسی با استفاده از ویژگی‌های ساختاری

وحید قدس^(۱) - احسان‌اله کبیر^(۲)

(۱) مربی - دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، سمنان

(۲) استاد - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

تاریخ دریافت: تابستان ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: زمستان ۱۳۹۰

خلاصه: در این مقاله گروه‌بندی و بازشناسی حروف تنهای فارسی که به صورت برخط نوشته شده باشند، بر اساس ویژگی‌های ساختاری آنها ارائه شده است. حروف بر اساس شکل و ساختار نوشتاری بدنه اصلی آنها به ۹ گروه تقسیم می‌شوند. پس از استخراج ویژگی‌ها، گروه‌بندی با استفاده از درخت تصمیم انجام می‌شود. بازشناسی نهایی حروف با توجه به ساختار اجزای کوچک آنها در هر گروه صورت می‌پذیرد. با توجه به این که در این مقاله از روش‌های زمان‌بر برای بازشناسی استفاده نشده است، روش پیشنهادی، روشی سریع در بازشناسی حروف برخط فارسی است. نتایج پیاده‌سازی این روش بر روی مجموعه داده "حروف برخط دانشگاه تربیت مدرس"، گروه‌بندی و بازشناسی حروف را به ترتیب با دقت بالای 94% و 92% نشان می‌دهد و این در حالی است که میانگین زمان پردازش و بازشناسی یک حرف حدود 3 میلی ثانیه به دست آمد.

کلمات کلیدی: بازشناسی، گروه‌بندی، دستنوشته برخط، درخت تصمیم، فارسی، حروف تنها.

۱- مقدمه

در زمینه بازشناسی برون خط دستنوشته عربی و فارسی تحقیقات زیادی صورت پذیرفته است [۲۰،۱۹،۱۶،۱۵،۲،۱]، ولی در زمینه بازشناسی برخط دستنوشته در این دو زبان تحقیقات کمتری انجام شده است [۳-۹].

در مرجع [۲۱] برای بازشناسی برخط کلمات دستنویس از یک پایگاه داده 400 کلمه‌ای استفاده شده است. نرخ بازشناسی در میان این 400 کلمه 80% گزارش شده است.

در تحقیق‌های دیگری از مدل مارکوف مخفی [۱۳،۳]، برنامه نویسی پویا و استفاده از شبکه عصبی برای بازشناسی حروف و ارقام فارسی استفاده شده است. در [۲۲] با استفاده از بازشناسی الگوی فازی، بازشناسی کلمات فارسی برخط انجام شده است.

در تحقیقی دیگر، نویسه‌های برخط فارسی با یک درخت تصمیم باینری و با استفاده از ویژگی‌های پویا و ایستا بازشناسی می‌شوند [۵]. ویژگی‌های استفاده شده در این تحقیق، تعداد، موقعیت مکانی و ترتیب زمانی بیشینه‌ها و کمینه‌های محلی برای $x(t)$ و $y(t)$ ، موقعیت مکانی ابتدا و انتهای بدنه اصلی حرف، تعداد و حرکات قلم، موقعیت مکانی بخش‌های ثانوی نسبت به بخش اصلی و نسبت پهنا به ارتفاع بدنه اصلی

در زمینه بازشناسی دستنوشته تحقیقات زیادی صورت پذیرفته است. با توجه به نحوه دریافت اطلاعات، بازشناسی دستنوشته به صورت برون خط^۱، (offline)، و برخط^۲، (online)، صورت می‌پذیرد. در بازشناسی برخط، مختصات نقاط مسیر حرکت قلم، تعداد حرکات قلم و در بعضی موارد فشار قلم در دسترس هستند.

بازشناسی برخط نوشتار به دلیل راحت‌تر بودن نوشتن از تایپ کردن، عدم امکان تایپ در بعضی از مکان‌ها، عدم وجود یک صفحه کلید کامل روی کامپیوترهای کوچک و سخت بودن تایپ حروف در بعضی زبان‌ها به دلیل تعداد زیاد آنها، مورد توجه خاصی قرار گرفته است.

در برخی تحقیقات انجام شده به منظور بازشناسی بهتر، یک مجموعه خاص از حروف تعریف می‌شود که گاهی اوقات از شکل طبیعی آنها دور است. از این نمونه می‌توان مجموعه حروف Graffiti و Jot را نام برد [۱۸]. دقت بازشناسی حروف با استفاده از چنین الفباهایی بیش از 99% است؛ اما، رعایت اصول خاص برای نوشتن، کاربرد آنها را محدود می‌کند.

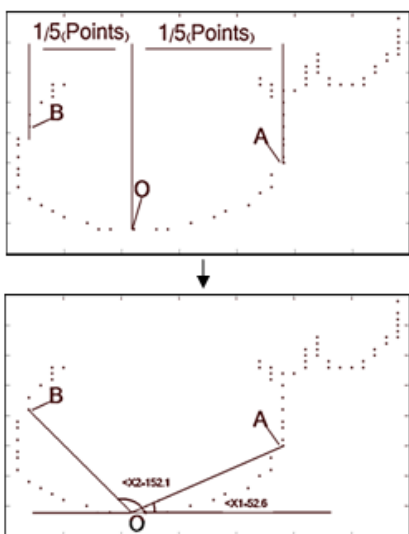
مجموعه از ۹ گروه پیشنهاد شده، ۲۴ ویژگی انتخاب شد [۱۴،۱۷]. در ادامه نحوه استخراج این ۲۴ ویژگی را که از شکل ساختاری گروهها ایده گرفته شده است، بیان می‌کنیم. ممکن است ایده یک ویژگی یکسان در چند گروه وجود داشته باشد. ویژگی‌های گروه اول که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، سه مورد است که به صورت زیر محاسبه می‌شود. مختصات نقاط مربوط به هر حرف حاصل نمونه‌برداری از دستنوشته برخط آن حرف است.

Table (1): Determined groups for the letters
جدول (۱): گروه‌های تعیین شده برای حروف

گروه ۱	س	ش	ل	ن	ص	ض	ق	ی
گروه ۲	ح	خ	ج	چ	ع	غ		
گروه ۳	ب	پ	ت	ث	ک	گ	ف	
گروه ۴	ر	ز	ژ	و				
گروه ۵	د	ذ						
گروه ۶	آ	ا						
گروه ۷	ط	ظ						
گروه ۸	م							
گروه ۹	ه							

- ویژگی‌های ایده گرفته از گروه اول [۱۱]

- ۱- در نظر گرفتن تعداد حرکت‌های قلم (ویژگی ۱)
- ۲- در نظر گرفتن بدنه اصلی حرف (حرکت اول قلم)
- ۳- یافتن کمینه (Min) یا در 2/3 نقاط پایانی حرف (نقطه O)
- ۴- حرکت در خلاف مسیر حرکت قلم به میزان 1/5 کل نقاط (نقطه A)
- ۵- حرکت در جهت مسیر حرکت قلم به میزان 1/5 کل نقاط (نقطه B)
- ۶- محاسبه x_1 : زاویه بین خط OA و محور Xها (ویژگی ۲)
- ۷- محاسبه x_2 : زاویه بین خط OB و محور Xها (ویژگی ۳)



شکل (۱): چگونگی محاسبه ویژگی‌های مربوط به گروه ۱ (حرف «س»)
Fig. (1): Calculation of group 1-features (letter "Sin")

حرف هستند. میزان بازشناسی برای ۵۰ نمونه از هر حرف 94.7% گزارش شده است. در [۱۰] ابتدا زیر حروف استخراج شده و سپس بر اساس ویژگی‌های ساختاری ساده به وسیله درخت تصمیم باینری در ۸ کلاس (مانند پاره خط افقی و پاره خط عمودی) طبقه‌بندی می‌شوند. 92% از مجموعه ۴۰ نمونه‌ای آزمایش به درستی تشخیص داده شد. در مرجع [۱۲] حروف مجزای فارسی با یک الگوریتم سلسله مراتبی تکه‌بندی می‌شوند و با یک روش فازی بازشناسی می‌شوند. دقت سیستم برای نمونه‌های آموزشی 93.4% و برای نمونه‌های آزمایش 90.2% است.

در یکی از آخرین تحقیقات در زبان فارسی ابتدا طبقه‌بندی بر اساس نقاط و سرکش‌ها و علائم کوچک انجام می‌شود و سپس در هر گروه با استفاده از بدنه اصلی شناسایی حرف، زیرکلمه صورت می‌گیرد [۹-۶]. با توجه به مطالب فوق و اندک بودن تحقیقات انجام شده بر روی بازشناسی برخط دستنوشته‌های فارسی و نیز ضرورت این امر، در این تحقیق به استخراج ویژگی‌های گوناگون مربوط به حروف تنه‌های برخط فارسی در گروه‌های مناسب پرداخته می‌شود. سپس می‌توان با استفاده از دسته‌بند مناسب، گروه‌بندی حروف را انجام داد که در این مقاله از درخت تصمیم برای دسته‌بندی استفاده شده است.

در بخش دوم مقاله راجع به گروه‌بندی حروف و در بخش سوم، استخراج ویژگی‌های هر گروه بحث می‌شود. در بخش چهارم دسته‌بندی با استفاده از درخت تصمیم ارائه شده است. بازشناسی نهایی حروف در بخش پنجم توضیح داده می‌شود. نتایج تجربی در بخش ششم بررسی شده است. مقایسه با کارهای مشابه، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها در بخش‌های هفتم و هشتم آورده شده است.

۲- گروه‌بندی حروف

بر اساس تنوع شکل در نوشتن حروف فارسی، ۹ گروه که اعضای هر گروه دارای ویژگی‌های مشترک می‌باشد تشکیل می‌دهیم. اعضای این گروه‌ها به قرار جدول (۱) است.

مبنای اصلی گروه‌بندی در این تحقیق بدنه حروف می‌باشد. گروه اول یک بخش «نیم‌دایره» شکل دارند که دارای نه عضو می‌باشد. اعضای گروه دوم نیز دارای بخش «نیم‌دایره» شکل می‌باشند که نسبت به گروه اول چرخیده است. حروفی که یک بخش «کشیده» دارند، در گروه سوم آمده است. حروفی که در حرکت اول قلم بر روی قطر اصلی چارچوب حرف قرار می‌گیرند، به گروه چهارم تخصیص داده شده است. در گروه پنجم دو حرف «کمر شکسته» فارسی آورده شده است. دو حرف عمودی «ا» و «آ» در گروه ششم است. حروف دسته‌دار عمودی در گروه هفتم قرار دارد. دو حرف «م» و «ه» که در گروه‌های قبلی جای نگرفته‌اند در دو گروه جداگانه هشتم و نهم آمده است.

۳- استخراج ویژگی‌ها

به منظور استخراج ویژگی‌ها با توجه به ساختار حروف در هر گروه، ویژگی‌های برخط ساختاری منحصر به آن گروه در نظر گرفته شد و در

دلیل انتخاب ویژگی ۷ علاوه بر ویژگی ۶، گوناگونی مسیر حرکت در انتهای حروف فارسی و اختلاف نقطه پایانی با نقطه بیشینه در برخی حروف است.

مراحل محاسبه سه ویژگی گروه چهارم در زیر آورده شده است. شکل (۳) چگونگی محاسبه را نشان می‌دهد.

- ویژگی‌های ایده گرفته از گروه چهارم

۱- در نظر گرفتن بدنه اصلی حرف (حرکت اول قلم)

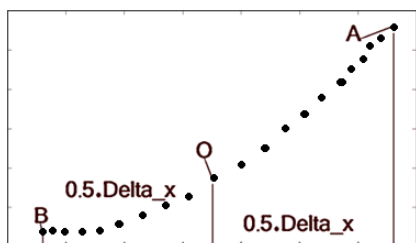
۲- یافتن نقطه وسط بازه $[x(\min) \ x(\max)]$ در حرف (نقطه O)

۳- در نظر گرفتن نقاط شروع و پایان حرکت اول قلم به ترتیب نقطه A و B

۴- محاسبه x_1 : زاویه بین خط OA و محور Xها (ویژگی ۱۰)

۵- محاسبه x_2 : زاویه بین خط OB و محور Xها (ویژگی ۱۱)

۶- محاسبه x_0 : زاویه بین خط AB و محور Xها (ویژگی ۱۲)



شکل (۳): چگونگی محاسبه ویژگی‌های مربوط به گروه ۴ حرف «ر»

Fig. (3): Calculation of group 4-features (letter "Re")

چهار ویژگی گروه پنجم با توجه به مسیر ۱ و مسیر ۲ که در شکل (۴) ارائه شده است، محاسبه می‌گردد.

- ویژگی‌های ایده گرفته از گروه پنجم

۱- در نظر گرفتن بدنه اصلی حرف (حرکت اول قلم)

۲- یافتن نقطه بیشینه Xها؛ یعنی کمر «د» (نقطه O)

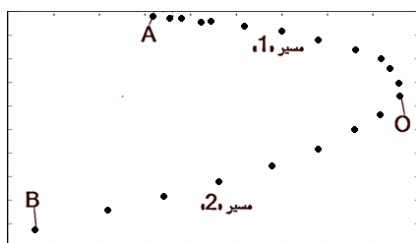
۳- در نظر گرفتن نقاط شروع و پایان حرکت اول قلم به ترتیب نقطه B و A

۴- محاسبه x_1 : زاویه بین خط OA و محور Xها (ویژگی ۱۳)

۵- محاسبه x_2 : زاویه بین خط OB و محور Xها (ویژگی ۱۴)

۶- نسبت تعداد نقاط مسیر OA به تعداد نقاط مسیر OB (ویژگی ۱۵)

۷- نسبت طول مسیر OA به طول مسیر OB (ویژگی ۱۶)



شکل (۴): چگونگی محاسبه ویژگی‌های مربوط به گروه ۵ حرف «د»

Fig. (4): Calculation of group 5-features (letter "Daal")

ویژگی‌های گروه دوم، دو مورد است که در دستگاه $y-x$ مانند گروه اول محاسبه شده است.

- ویژگی‌های ایده گرفته از گروه دوم [۱۱]

۱- در نظر گرفتن بدنه اصلی حرف (حرکت اول قلم)

۲- تغییر دستگاه $x-y$ به دستگاه $y-x$

۳- تعیین نقاط A,B,O همانند گروه اول

۴- محاسبه x_1 : زاویه بین خط OA و محور Xها (ویژگی ۴)

۵- محاسبه x_2 : زاویه بین خط OB و محور Xها (ویژگی ۵)

برای گروه سوم علاوه بر ویژگی تعداد حرکات قلم که در تمام گروه‌ها در نظر گرفته می‌شود، چهار ویژگی مجزا محاسبه شده است. نحوه محاسبه آن‌ها در شکل (۲) دیده می‌شود.

- ویژگی‌های ایده گرفته از گروه سوم

۱- در نظر گرفتن بدنه اصلی حرف (حرکت اول قلم)

۲- تعداد حرکات قلم در این گروه بزرگتر از «۱» است.

۳- نسبت عرض چارچوب حرکت اول قلم به طول آن.

$$\frac{[y(\max)-y(\min)]}{[x(\max)-x(\min)]} \text{ (ویژگی ۶)}$$

۴- نسبت عرض چارچوب حرکت اول قلم به طول آن (به طوری که نقطه بیشینه، مختصات نقطه آخر حرف در نظر گرفته شده است).

$$\frac{[y(\text{last sampled point}) - y(\min)]}{[x(\text{last sampled point}) - x(\min)]} \text{ (ویژگی ۷)}$$

۵- یافتن نقطه وسط بازه $[x(\min) \ x(\max)]$ در حرف (نقطه O)

۶- حرکت در خلاف مسیر حرکت قلم به میزان

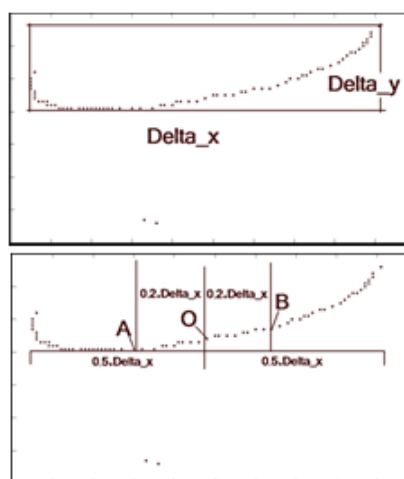
$$0.2 [x(\max)-x(\min)] \text{ (نقطه A)}$$

۷- حرکت در مسیر حرکت قلم به میزان

$$0.2 [x(\max)-x(\min)] \text{ (نقطه B)}$$

۸- محاسبه x_1 : زاویه بین خط OA و محور Xها (ویژگی ۸)

۹- محاسبه x_2 : زاویه بین خط OB و محور Xها (ویژگی ۹)



شکل (۲): چگونگی محاسبه ویژگی‌های مربوط به گروه ۳ حرف «ب»

Fig. (2): Calculation of group 3-features (letter "Be")

گروه نهم نیز تک عضوی است و ویژگی‌ها با توجه به دایره بودن حرف «ه» محاسبه شده است.

- ویژگی‌های ایده گرفته از گروه نهم

۱- در نظر گرفتن بدنه اصلی حرف (حرکت اول قلم)

۲- تعداد حرکات قلم در این گروه «۱» است.

۳- کمینه (Min) y ها در نقطه نمونه برداری شده پایانی حرف نباشد. (ویژگی ۲۰)

۴- محاسبه حداقل فاصله نقطه‌های اول تا پنجم با نقطه آخر حرف. (ویژگی ۲۲)

۵- آیا $x(\text{last sampled point}) > x(\text{first sampled point})$ (ویژگی ۲۳)

۶- آیا $y(\text{last sampled point}) > y(\text{first sampled point})$ (ویژگی ۲۴)

۴- دسته‌بندی

در این مرحله از میان دسته‌بندی‌های متفاوت از روش درخت تصمیم برای گروه‌بندی حروف استفاده می‌کنیم. در حالت کلی، درختان تصمیم یک ترکیب فصلی از ترکیبات عطفی قیدها را روی مقادیر ویژگی‌های نمونه‌ها بازنمایی می‌کنند. هر گره داخلی در درخت، ویژگی‌ای از نمونه را آزمایش می‌کند و هر شاخه‌ای که از آن گره خارج می‌شود متناظر یک مقدار ممکن برای آن ویژگی می‌باشد. همچنین هر گره برگ، بیانگر یک دسته‌بندی است. هر نمونه، با شروع از گره ریشه درخت و آزمایش ویژگی مشخص شده توسط این گره و حرکت در شاخه متناظر با مقدار ویژگی داده شده در نمونه، دسته‌بندی می‌شود. این فرآیند برای هر زیردرختی که گره جدید، ریشه آن می‌باشد تکرار می‌شود. درخت تصمیم نمونه‌ها را به نحوی دسته‌بندی می‌کند که از ریشه به سمت پایین رشد می‌کنند و در نهایت به گره‌های برگ می‌رسد. اغلب الگوریتم‌های یادگیری درخت تصمیم بر پایه یک عمل جستجوی حریصانه (Greedy) بالا به پایین (Top-Down) در فضای درخت‌های موجود عمل می‌کنند. در درخت تصمیم از یک مقدار آماری به نام بهره اطلاعات (Information Gain) استفاده می‌شود تا اینکه مشخص شود که یک ویژگی تا چه مقدار قادر است نمونه‌های آموزشی را بر حسب دسته‌بندی آنها جدا کند. بهره اطلاعات یک ویژگی عبارت است از مقدار کاهش آنتروپی که به واسطه جداسازی نمونه‌ها از طریق این ویژگی حاصل می‌شود که آنتروپی، میزان خلوص، بی‌نظمی یا عدم خالص بودن مجموعه‌ای از نمونه‌ها را مشخص می‌کند.

این روش جزو مشهورترین الگوریتم‌های یادگیری استقرائی است که به صورت موفقیت آمیزی در زمینه‌های مختلف به کار گرفته شده است. از روش‌های معروف برای استفاده از درخت تصمیم می‌توان از الگوریتم ID3، الگوریتم‌های کامل‌تر C4.5 و C5.0/See5 و تکنیک Classification And Regression Trees (CART) [۲۴] نام برد. در این مقاله از تکنیک CART بهره گرفته‌ایم.

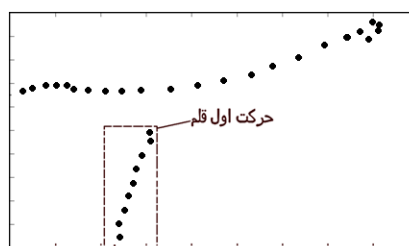
در گروه ششم همان طوری که در شکل (۵) نمایش داده شده، حرکت اول قلم را در نظر می‌گیریم.

- ویژگی‌های ایده گرفته از گروه ششم

۱- در نظر گرفتن بدنه اصلی حرف (حرکت اول قلم)

۲- نسبت عرض چارچوب حرکت اول قلم به طول آن

$[y(\max) - y(\min)] / [x(\max) - x(\min)]$ (ویژگی ۶)



شکل (۵): حرف «آ»

Fig. (5): Letter "Alef"

حرکت دوم قلم، معیار اصلی در محاسبه ویژگی‌های گروه هفتم است. (مانند شکل (۶))

- ویژگی‌های ایده گرفته از گروه هفتم

۱- در نظر گرفتن حرکت دوم قلم

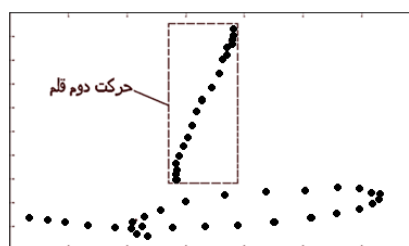
۲- تعداد حرکات قلم در این گروه بزرگتر از «۱» است.

۳- تعداد نقطه‌های حرکت دوم قلم (ویژگی ۱۷)

۴- طول مسیر حرکت دوم قلم (ویژگی ۱۸)

۵- نسبت عرض چارچوب حرکت دوم حرف به طول آن

$[y(\max) - y(\min)] / [x(\max) - x(\min)]$ (ویژگی ۱۹)



شکل (۶): حرف «ط»

Fig. (6): Letter "Taa"

گروه هشتم تک عضوی بوده و ویژگی‌ها با توجه به کشیدگی آخر حرف «م» به سمت پایین تعیین می‌شود.

- ویژگی‌های ایده گرفته از گروه هشتم

۱- در نظر گرفتن بدنه اصلی حرف (حرکت اول قلم)

۲- تعداد حرکات قلم در این گروه «۱» است.

۳- کمینه (Min) y ها در نقطه نمونه برداری شده پایانی حرف باشد. (ویژگی ۲۰)

۴- محاسبه متوسط زوایای بین محور x ها و خطوط ساخته شده با $1/6$ آخر نقطه‌های نمونه برداری شده حرف (از $5/6$ تا آخر). (ویژگی ۲۱)

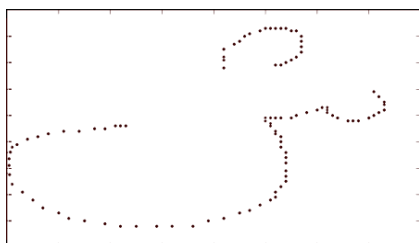
- دو نقطه است؛ اگر تعداد نمونه‌های حرکت دوم قلم بزرگتر از ۴ عدد باشد و Avg_Theta - که در رابطه (۱) نشان داده شده است - نزدیک صفر باشد؛ در این مقاله کمتر از ۱۵ درجه باشد. (مانند شکل (۸))

$$Avg_Theta = 1/N \sum_{i=1}^N |Theta_i| \quad (1)$$

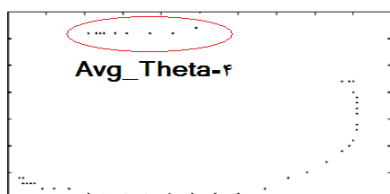
که $Theta_i$ زاویه بین خط حاصل از دو نقطه مجاور و محور x ها و N که تعداد نقاط نمونه‌برداری شده می‌باشد. مثلاً در شکل (۸) برای دو نقطه، Avg_Theta، ۴ درجه و در شکل (۹) برای سه نقطه، Avg_Theta، برابر ۱۴۰ درجه به دست آمد.

- سه نقطه است؛ اگر تعداد نمونه‌های حرکت دوم قلم بزرگتر از ۴ عدد باشد و Avg_Theta نزدیک صفر نباشد. (مانند شکل (۹))

- سرکش است؛ اگر مختصات 'y' نقطه شروع حرکت دوم قلم بزرگتر از بیشینه 'y' بدنه اصلی حرف (حرکت اول قلم) و مختصات 'x' نقطه شروع آن بیرون بازه $[x(\min) \ x(\max)]$ بدنه اصلی باشد که «ک» تشخیص داده می‌شود.



شکل (۷): حرف «ش»
Fig. (7): Letter "Shin"



شکل (۸): حرف «ت» (دارای دو نقطه سرهم)
Fig. (8): Letter "Te" (with continuous Two-dots)

آموزش درخت تصمیم توسط مجموعه تمرین انجام می‌شود. به طوری که تمام ویژگی‌های مربوط به همه گروه‌ها که در بخش (۳) ارائه شد، برای هر حرف از مجموعه تمرین محاسبه می‌شود؛ یعنی، برای هر حرف، ۲۴ ویژگی داریم. در جدول (۲) ویژگی‌های محاسبه شده برای یک حرف «ش» که در شکل (۷) دیده می‌شود، آورده شده است. در درخت آموزش دیده برگ‌ها، کلاس‌های ۱ تا ۹ مربوط به هر گروه می‌باشند و این درخت هر ویژگی را در جایی که لازم دارد و به بازشناسی گروه و رسیدن به برگ درست کمک می‌کند، در آموزش خود استفاده کرده است.

سپس با استفاده از مجموعه آزمایش و محاسبه تمام ویژگی‌ها برای هر حرف ورودی جدید، تعلق حروف به گروه‌های مناسب خود تعیین می‌شود.

۵- بازشناسی نهایی

در زمینه بازشناسی حروف پس از گروه بندی آن‌ها روش‌های مختلفی ارائه شده است. در این مقاله با توجه به استفاده از ویژگی‌های برخط ساختاری مناسب در گروه بندی حروف، در بازشناسی نهایی سرعت و دقت بالاتری وجود دارد که در ادامه بیان می‌گردد.

۵-۱- انواع اجزای کوچک با توجه به تعداد حرکات قلم

هر حرف می‌تواند با توجه به بدنه اصلی، تعداد نقاط و سرکش در تعداد متفاوت حرکت قلم - که وابسته به دست‌خط نویسنده نیز می‌باشد - نوشته شود. در این تحقیق به بخش‌هایی از حرف که به بدنه اصلی اضافه می‌شود؛ یعنی بخش‌هایی که در اثر حرکت دوم قلم و حرکات بعد از آن شکل می‌گیرد، اجزای کوچک حرف گوئیم. انواع حروف از نظر تعداد حرکات قلم و اجزای کوچک، حالت‌های زیر را تشکیل می‌دهند:

(الف) اگر تعداد حرکات قلم "۱" باشد؛ یعنی حرف فقط شامل بدنه اصلی است.
(ب) اگر تعداد حرکات قلم "۲" باشد، حرکت اول قلم بدنه اصلی و حرکت دوم قلم یکی از وضعیت‌های زیر را می‌تواند داشته باشد:
- یک نقطه است؛ اگر تعداد نمونه‌های حرکت دوم قلم کوچکتر از ۴ عدد باشد.

Table (2): Extracted features for letter "Shin" (Fig. 7)

جدول (۲): ویژگی‌های استخراج شده برای حرف «ش» (شکل (۷))

ویژگی ۱	ویژگی ۲	ویژگی ۳	ویژگی ۴	ویژگی ۵	ویژگی ۶	ویژگی ۷	ویژگی ۸
2	43.83	-746.9	-616.69	54.46	0.70	0.48	346.9
ویژگی ۹	ویژگی ۱۰	ویژگی ۱۱	ویژگی ۱۲	ویژگی ۱۳	ویژگی ۱۴	ویژگی ۱۵	ویژگی ۱۶
-66.03	56.85	-66.03	15.15	-78.69	6.84	0.14	0.06
ویژگی ۱۷	ویژگی ۱۸	ویژگی ۱۹	ویژگی ۲۰	ویژگی ۲۱	ویژگی ۲۲	ویژگی ۲۳	ویژگی ۲۴
25	16	1	0	32.14	0.59	0	0

که در آن $P_{1,k}$ ، نقطه k ام از بدنه حرف اول (B_1) و $P_{2,k}$ ، نقطه k ام از بدنه حرف دوم (B_2) است. $d(P_{1,k}, P_{2,k})$ فاصله بین دو نقطه است که از رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$d(P_{1,k}, P_{2,k}) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (3)$$

در گروه ۱ ابتدا فاصله اعضای حرف تعیین شده برای این گروه (که توسط درخت تصمیم انجام شده است)، با بدنه‌های اصلی «س»، «ل»، «ن»، «ص»، «ق» و «ی» تعیین می‌شود. هر کدام که کمترین فاصله را به دست آورد، به عنوان بدنه درست انتخاب می‌کنیم.

معیار در گروه ۲، کمترین فاصله نقاط نمونه‌برداری شده اعضای این گروه با دو بدنه اصلی «ح» و «ع» است.

در گروه ۳، کمترین فاصله نقاط نمونه‌برداری شده اعضای این گروه با سه بدنه اصلی «ب»، «ک» و «ف» معیار است.

کمترین فاصله نقاط نمونه‌برداری شده اعضای گروه ۴ با دو بدنه اصلی «ر» و «و» شاخص انتخاب بدنه درست است.

در مرحله بعد در هر گروه (از گروه‌های ۱ الی ۴) باتوجه به تعداد حرکات قلم و اجزای کوچک؛ یعنی، تک نقطه، دو نقطه، سه نقطه و سرکش که در بخش ۶-۱ توضیح داده شد، حرف درست بازنشاسی می‌شود.

برای مثال اگر در گروه ۱ بدنه حرف ورودی از این گروه با بدنه اصلی «س» کمترین فاصله را داشته باشد، اگر تعداد حرکات قلم "۱" باشد، حرف «س» و اگر بیشتر از "۱" باشد حرف «ش» بازنشاسی می‌شود.

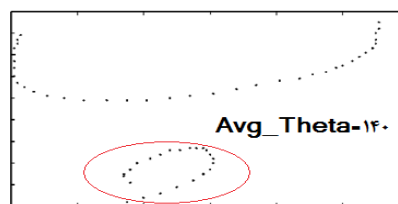
مثالی دیگر در گروه ۴، اگر بدنه حرف ورودی از این گروه با بدنه اصلی «ر» کمترین فاصله را داشته باشد، اگر تعداد حرکات قلم "۱" باشد، حرف «ر» و اگر بیشتر از "۱" باشد با توجه به تشخیص تک نقطه و یا سه نقطه به ترتیب حروف «ز» و «ژ» بازنشاسی می‌شود.

در گروه‌های ۲ و ۳ موقعیت بالا بودن یا نبودن اجزای کوچک نسبت به بدنه اصلی نیز در بازنشاسی صحیح مؤثر می‌شود. اگر در گروه ۲، بدنه حرف ورودی با بدنه اصلی «ح» کمترین فاصله را داشته باشد، اگر تعداد حرکات قلم "۱" باشد حرف «ح» و اگر بیشتر از "۱" باشد با توجه به تشخیص تک نقطه بالا، تک نقطه غیر بالا و سه نقطه به ترتیب حروف «خ»، «ج» و «چ» بازنشاسی می‌شود. همچنین در گروه ۳ نیز با توجه به اجزای کوچک تک نقطه، دو نقطه، سه نقطه بالا و سه نقطه غیر بالا به ترتیب حروف «ب»، «ت»، «ث» و «پ» بازنشاسی می‌شود. دو حرف «ک» و «گ» نیز پس از تشخیص بدنه اصلی با توجه به تعداد حرکات قلم (یعنی به ترتیب ۲ و ۳ حرکت) بازنشاسی می‌شوند.

با توجه به نحوه گروه بندی، بازنشاسی حروف در گروه‌های ۵ الی ۹ سریع و آسان است.

در گروه ۵ نیز اگر تعداد حرکات قلم "۱" باشد، حرف «د» و در غیر این صورت «ذ» بازنشاسی می‌شود.

در گروه ۶ اگر تعداد حرکات قلم "۱" باشد، حرف «و» و در غیر این صورت «آ» بازنشاسی می‌شود.



شکل (۹): حرف «پ» (دارای سه نقطه سرهم)
Fig. (9): Letter "Pe" (with continuous Three-dots)

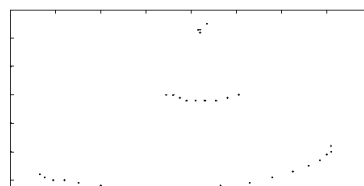
ج) اگر تعداد حرکات قلم "۳" باشد، حرکت اول قلم بدنه اصلی است و حرکات بعدی قلم وضعیت‌های زیر را دارد:

- دو نقطه است؛ اگر تعداد نمونه‌های هر دو حرکت آخر قلم، جداگانه، کوچکتر از ۴ باشد.

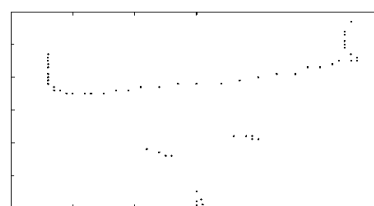
- سرکش است؛ اگر مختصات 'y' نقطه شروع حرکت دوم قلم بزرگتر از بیشینه 'y' بدنه اصلی حرف (حرکت اول قلم) و مختصات 'x' نقطه شروع آن بیرون بازه $[x(\min) \ x(\max)]$ بدنه اصلی باشد که «گ» تشخیص داده می‌شود.

- سه نقطه است؛ اگر دو حالت فوق رخ ندهد. (مانند شکل (۱۰))

د) اگر تعداد حرکات قلم "۴" باشد، حرکت اول قلم بدنه اصلی است و حرکات بعدی قلم، تشکیل سه نقطه را می‌دهند. (مانند شکل (۱۱))



شکل (۱۰): حرف «ث» (دارای دو نقطه سرهم و تک نقطه)
Fig. (10): Letter "Se" (with continuous Two-dots and One-dot)

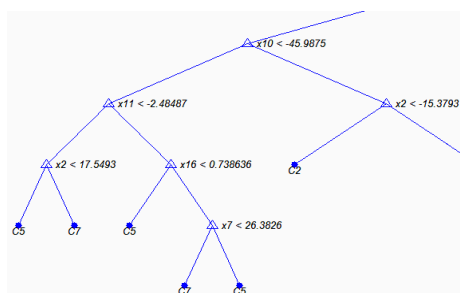


شکل (۱۱): حرف «پ» (دارای سه نقطه جدا)
Fig. (11): Letter "Pe" (with separate Three-dots)

۵-۲- بازنشاسی حرف در هر گروه

در گروه‌های ۱ الی ۴ به دلیل تنوع بدنه اصلی حروف در هر گروه، بازنشاسی حروف کمی مشکل است. روشی که برای بازنشاسی بدنه اصلی این گروه‌ها استفاده می‌کنیم، طبقه‌بندی نزدیکترین همسایه و یافتن حداقل فاصله نقاط نمونه‌برداری شده و نرمالیزه شده $[A]$ حروف با بدنه مرجع است. فاصله دو بدنه مانند B_1 و B_2 از رابطه (۲) به دست می‌آید.

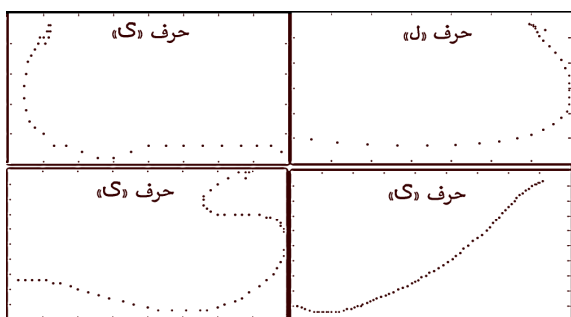
$$D(B_1, B_2) = \sum_{k=1}^N d(P_{1,k}, P_{2,k}) \quad (2)$$



شکل (۱۲): بخشی از درخت تصمیم
Fig. (12): A section of the decision tree

همان طوری که مشاهده شد، دقت بازشناسی گروه‌ها برای مجموعه آزمایش ۹۴.۲٪ و برای مجموعه تمرین ۹۹.۱٪ به دست آمده است. نمونه‌هایی از اشکالاتی که در شناسایی تعلق حروف به گروه مناسب در مجموعه آزمایش رخ داده است و موجب تفاوت دقت بازشناسی با مجموعه تمرین شده است، در زیر بررسی می‌شود.

در شکل (۱۳) نمونه‌هایی که عضو گروه ۱ می‌باشند ولی تشخیص داده نشده، نشان داده شده است. ویژگی‌های این نوع دستنوشته‌های غیر معمول را در الگوریتم در نظر نگرفته‌ایم.



شکل (۱۳): نمونه‌هایی که عضو گروه ۱ است ولی تشخیص داده نشده است.
Fig. (13): Samples of group-1 that are not recognized

در گروه ۷ اگر تعداد حرکات قلم "۲" باشد، حرف «ط» و اگر تعداد حرکات قلم "۳" باشد، حرف «ظ» بازشناسی می‌شود. (فرض بر این است که نویسنده بدنه حرف «ط» را در دو حرکت قلم نوشته باشد). در گروه‌های ۸ و ۹ به این دلیل که این دو گروه تک عضوی هستند، وضعیت بازشناسی حرف مشخص است.

با روش ارائه شده فوق در مورد بازشناسی حروف در هر گروه، به دلیل گروه‌بندی مناسب از الگوریتم پیچیده و یا زمان‌بری استفاده نشده است.

۳- نتایج تجربی

در این تحقیق از پایگاه داده "حروف برخط دانشگاه تربیت مدرس" که دارای حدود ۴۰۰۰ حرف دستنوشته برخط فارسی که توسط ۱۲۰ نویسنده نوشته شده است استفاده گردید؛ به طوری که ۱۱۷ نمونه برخط از هر حرف موجود است. در این پایگاه داده برای جمع‌آوری داده‌ها از قلم و صفحه WACOM GRAPHIRE استفاده شده است [۷].

۶۰ نمونه از هر حرف به عنوان مجموعه تمرین در نظر گرفته شد. پس از استخراج تمام ویژگی‌ها، به کمک نرم‌افزار MATLAB7.6.0 و با استفاده از تکنیک CART و به کارگیری تابع "classregtree"، درخت تصمیم را آموزش دادیم. بخشی از درخت تصمیم در شکل (۱۲) نشان داده شده است. در این شکل Cها نماینده گروه‌ها است که در برگ‌های درخت قرار گرفته است و Xها نماینده ویژگی‌های استخراج شده است که شرایط حرکت از ریشه به برگ مناسب از طریق شاخه‌ها را تعیین می‌کنند. لازم به ذکر است که تاکید اصلی در استخراج ویژگی‌ها بر اساس حرکت اول قلم یعنی بدنه حروف است.

سپس با استفاده از تابع "eval"، به ارزیابی گروه‌بندی در دو مجموعه جداگانه آزمایش و تمرین پرداختیم. مجموعه آزمایش انتخاب شده شامل ۵۷ نمونه برای هر حرف است. نتایج اجرای روش ارائه شده بر روی این پایگاه برای تعیین تعلق نمونه‌های مجموعه آزمایش و تمرین به گروه مناسب خود به ترتیب در جدول (۳) و (۴) آمده است. این جدول‌ها به صورت ماتریس تداخل ارائه شده است.

Table (3): Confusion matrix for training set (No. of every letter: 57)

جدول (۳): ماتریس تداخل برای مجموعه آزمایش (تعداد هر حرف: ۵۷)

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	Acc
C1	434	0	14	0	0	0	4	1	3	95.2
C2	0	334	0	0	0	0	1	7	0	97.7
C3	23	0	371	3	0	0	2	0	0	93.0
C4	6	0	6	214	2	0	0	0	0	93.9
C5	0	0	1	6	105	0	2	0	0	92.2
C6	0	1	0	0	0	113	0	0	0	99.2
C7	3	0	5	1	6	0	97	0	2	85.1
C8	2	1	0	0	0	2	0	52	0	91.3
C9	1	2	2	0	0	0	1	0	51	89.5
V	92.6	98.9	93.0	95.6	92.9	98.3	90.7	86.7	91.1	

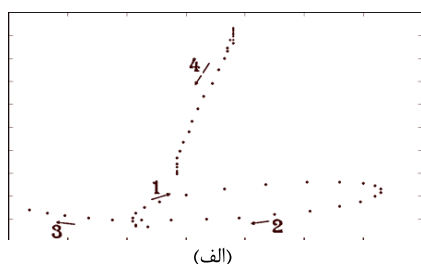
Acc=Accuracy (%), V=Validity (%), C=Class, G=Group
Total Accuracy=%94.2

Table (4): Confusion matrix for test set (No of every letter: 60)

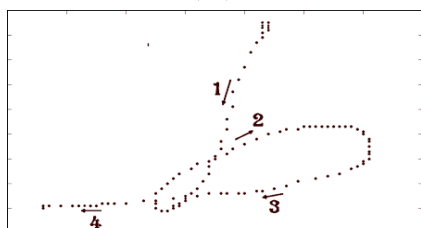
جدول (۴): ماتریس تداخل برای مجموعه تمرین (تعداد هر حرف: ۶۰)

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	Acc
C1	475	0	3	0	0	0	1	0	1	99.0
C2	0	360	0	0	0	0	0	0	0	100
C3	2	0	418	0	0	0	0	0	0	99.5
C4	0	0	1	239	0	0	0	0	0	99.6
C5	0	0	1	1	118	0	0	0	0	98.3
C6	1	0	0	0	0	119	0	0	0	99.2
C7	0	0	2	0	1	0	117	0	0	97.5
C8	1	0	0	1	0	1	0	57	0	95.0
C9	1	0	0	0	0	0	0	0	59	98.3
V	99.0	100	98.4	99.2	99.2	99.2	99.2	100	98.3	

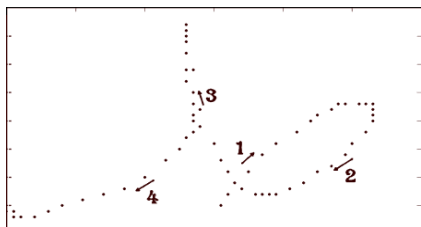
Acc=Accuracy (%), V=Validity (%), C=Class, G=Group
Total Accuracy=%99.1



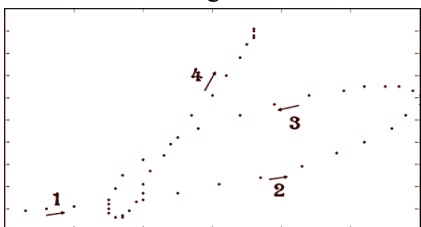
(الف)



(ب)



(ج)

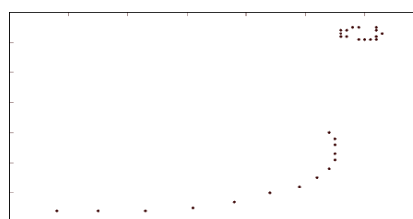


(د)

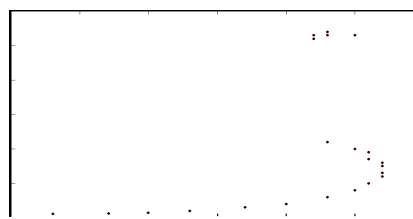
شکل (۱۶): تنوع ترتیب نوشتن اجزای حرف «ط»
Fig. (16): Different sequences of letter "Taa" writing

از اشتباهاتی که در بازشناسی گروه ۴ (مانند «ر») و گروه ۵ (مانند «د») رخ می‌دهد این است که برخی از اعضای این گروه‌ها به علت کشیدگی افقی در هنگام نوشتن حرف، به اشتباه در گروه ۳ (گروه «کشیده‌ها») تشخیص داده می‌شوند (مانند شکل (۱۴)) و دیگر این که برخی از اعضای گروه ۴ در گروه ۵ و نیز برخی از اعضای گروه ۵ در گروه ۴ به اشتباه شناسایی می‌شوند (مانند شکل (۱۵)).

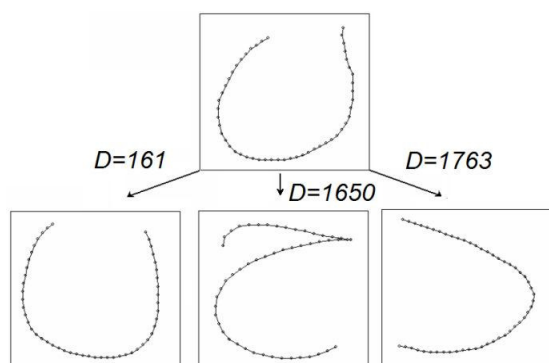
مسئله‌ای که در شناسایی گروه ۷ («ط» و «ظ») رخ می‌دهد تنوع نوشتن این دو حرف توسط افراد مختلف است. در نمونه‌های پایگاه داده، ۴ نوع نوشتن دیده شد که در شکل (۱۶) آورده شده است. در این مقاله، شیوه‌های متداول نوشتن حروف فارسی به عنوان پیش‌فرض در نظر گرفته شده است مثلاً ویژگی‌های نوع اول نوشتن اجزای حرف «ط» و «ظ» که در شکل (۱۶) (الف) دیده می‌شود، لحاظ شده است. در گروه ۹ («ه») نیز تنوع نوشتن این حرف زیاد است. شکل (۱۷)، سه نوع آن را نمایش داده است که در این الگوریتم فقط نوع (الف) را در نظر گرفته‌ایم.



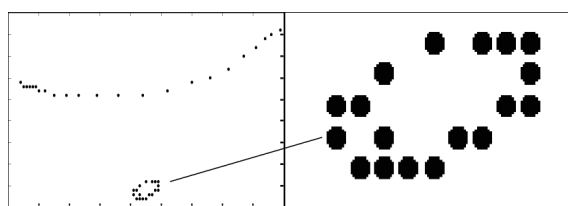
شکل (۱۴): حرف «ز» از گروه ۴ که در گروه ۳ شناسایی شده است.
Fig. (14): Letter "Ze" from group-4 that are recognized in group-3



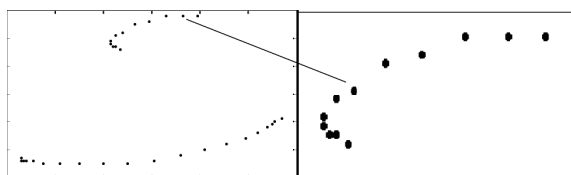
شکل (۱۵): حرف «ز» از گروه ۴ که در گروه ۵ شناسایی شده است.
Fig. (15): Letter "Ze" from group-4 that are recognized in group-5



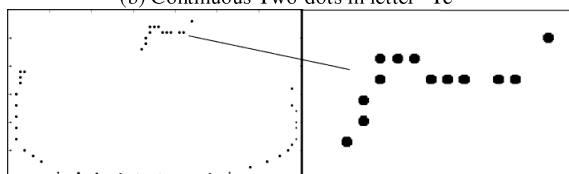
شکل (۱۸): فاصله بدنه یک حرف «ن» با بدنه‌های سه حرف «د، ج، ن»
 Fig. (18): Distances of a letter "Noon" from main bodies of letters "Daal, Jim, Noon"



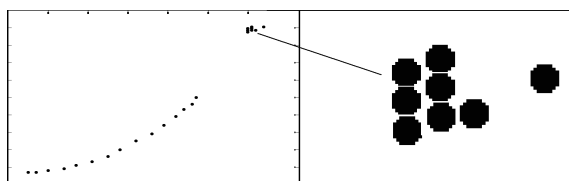
(الف) تک نقطه در حرف «ب»
 (a) One-dot in letter "Be"



(ب) دو نقطه سرهم در حرف «ت»
 (b) Continuous Two-dots in letter "Te"

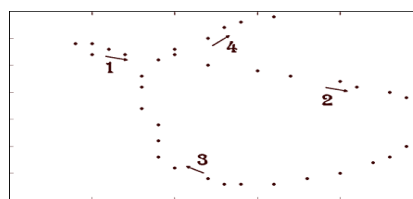


(ج) دو نقطه سرهم در حرف «ت»
 (c) Continuous Two-dots in letter "Te"

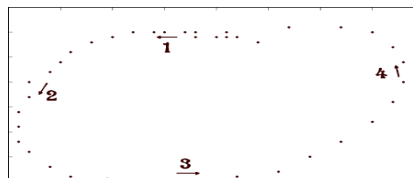


(د) تک نقطه در حرف «ز»
 (d) One-dot in letter "Ze"

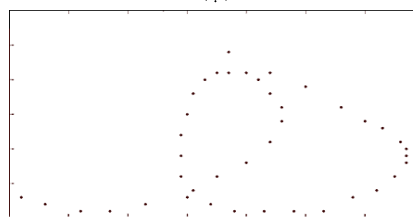
شکل (۱۹): نمونه‌های بازشناسی اشتباه در نقاط
 Fig. (19): Samples of wrong recognized dots



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۱۷): تنوع ترتیب نوشتن اجزای حرف «ه»

Fig. (17): Different sequences of letter "He" writing

پس از مرحله گروه‌بندی، به بازشناسی نهایی حرف در هر گروه پرداختیم. در گروه‌های ۱ الی ۴ پس از به دست آمدن بدنه حرف با توجه به معیار کمترین فاصله که از رابطه‌های (۲) و (۳) استفاده شد (مانند شکل (۱۸)) و با توجه به تعداد نقاط و بالا، وسط یا پایین بودن، بازشناسی حروف انجام شد. در گروه‌های ۵ الی ۹ کار بازشناسی حروف به آسانی انجام شد و دقت آن تقریباً برابر با دقت گروه بندی به دست آمد. برخی اشکالات که در تشخیص نقاط رخ داده است در شکل (۱۹) دیده می‌شود. در شکل (۱۹) (الف) نویسنده هنگام نوشتن تک نقطه حرف «ب»، قلم را یک دور چرخانده است که در بازشناسی به اشتباه سه نقطه سرهم تشخیص داده شده است. در شکل (۱۹) (ب) و (ج) به دلیل انحنای زیاد در نوشتن دو نقطه سرهم، Avg_Theta، به ترتیب 50 و 38 درجه به دست آمده است که از آستانه زاویه دو نقطه سرهم بیشتر است و به اشتباه سه نقطه سرهم تشخیص داده شده است. در شکل (۱۹) (د)، هنگام نوشتن تک نقطه حرف «ز» قلم لغزیده است و در نتیجه تعداد نقاط نمونه‌برداری از آستانه مربوط به تعداد نمونه‌های تک نقطه بیشتر شده و در بازشناسی به اشتباه سه نقطه سرهم تشخیص داده شده است.

نتایج بازشناسی برای تمام حروف در جدول (۵) آورده شده است. لازم به ذکر است اجرای الگوریتم بر روی پردازنده پنتیوم IV صورت گرفت و میانگین زمان گروه‌بندی برای یک حرف 1ms و میانگین زمان بازشناسی یک حرف در روش پیشنهادی حدود 3ms به دست آمد که نسبت به مرجع [۱۲] سریع‌تر شده است.

در صورتی که نویسنده قیود ذکرشده را رعایت نکند، به علت اینکه گروه‌بندی حروف با توجه به علائم انجام شده است، دقت گروه‌بندی و در نتیجه دقت بازشناسی حروف را تحت تأثیر منفی قرار می‌دهد. در جدول (۶)، روش و دقت بازشناسی حروف برخط فارسی در کارهای قبلی با روش پیشنهادی این مقاله مقایسه شده است. همه این مقالات از مجموعه داده "حروف برخط دانشگاه تربیت مدرس" استفاده کرده‌اند.

Table (6): Comparison of the proposed method with other methods on TMU dataset

جدول (۶): مقایسه روش و دقت بازشناسی بر روی مجموعه داده "حروف برخط دانشگاه تربیت مدرس"

مرجع	روش	دقت (%)
ساجدی [۳]	مدل مخفی مارکوف	88.87
سلیمانی باغشاه [۱۲]	فازی	90.2
رضوی [۸]	شبکه‌های عصبی - کمترین فاصله	93.3
روش پیشنهادی	درخت تصمیم	92.3

زمان و حجم محاسبات آموزش (یا آزمون) روش‌های "شبکه عصبی" و "مدل مخفی مارکوف" به مراتب از روش‌های ساختاری که در این مقاله استفاده شده است، بیشتر است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله روش ساختاری کارا و سریع جهت گروه‌بندی و بازشناسی حروف تنهای فارسی ارائه شده است. نتایج اولیه اجرای الگوریتم گروه‌بندی با دقت بالای 94% را نشان می‌دهد و اگر اصول و ترتیب نوشتن و تعداد حرکات قلم در بدنه اصلی حروف رعایت شود، الگوریتم گروه‌بندی دقت بالای 99% را نوید می‌دهد. در مرحله بازشناسی نهایی نیز روشی ساده برای تعیین سرکش و نقاط استفاده گردید که دقت 92.3% را نتیجه داد. در کاربردهایی که سریع و ساده بودن الگوریتم مدنظر نباشد، پیشنهاد می‌گردد برای تعیین نوع اجزای کوچک حروف از روش‌های شبکه عصبی و یا مدل مخفی مارکوف استفاده شود که دقت بالاتری را به دست می‌دهد.

سپاسگزاری

نویسنده بر خود لازم می‌داند از آقای دکتر سید محمد رضوی که پایگاه داده برخط حروف را در اختیار گذاشتند، سپاسگزاری نماید. این تحقیق با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان انجام شده است که از آن واحد تشکر می‌گردد.

Table (5): Accuracy of letters recognition

جدول (۵): درصد دقت بازشناسی حروف

حرف	ا	آ	ب	پ	ت	ث	ج	چ	ح	خ	د
%	99	99	84	90	83	92	87	89	99	98	92

حرف	ذ	ر	ز	ژ	س	ش	ص	ض	ط	ظ	ع
%	92	93	87	91	94	94	93	93	83	84	99

حرف	غ	ک	گ	ف	ق	ل	م	ن	و	ه	ی
%	98	91	90	90	93	94	91	94	94	90	96

Total Accuracy=%92.3

۴- مقایسه روش پیشنهادی با کارهای مشابه

در این بخش روش استفاده شده در این مقاله، برای نمونه، با روش‌های مراجع [۲۳]، [۵] و [۸] مقایسه می‌شود.

در مرجع [۲۳] به دلیل مقایسه بدنه‌ها بدون هیچ گروه‌بندی، امکان اشتباه بدنه‌ها زیاد است. ضمناً از موقعیت مکانی نقاط و علائم نسبت به بدنه اصلی (مانند بالا یا پایین بودن) استفاده نشده است که امکان اشتباه در بازشناسی را می‌افزاید. همچنین فرض شده است که هر نقطه در یک حرکت قلم نوشته شود؛ مثلاً دو نقطه حرف «ت» باید در دو حرکت قلم نوشته شود. در حالی که در روش پیشنهادی این مقاله محدودیت‌ها و اشکالات ذکر شده برطرف شده است.

در مرجع [۵]، گروه‌بندی بر اساس تعداد حرکات قلم انجام شده است. در فارسی، حروف دارای نقاط و علائم، به روش‌های مختلفی نوشته می‌شوند. در نتیجه هر حرف ممکن است در چند گروه قرار گیرد ولی در این مقاله معیار گروه‌بندی شکل ساختاری بدنه اصلی است و ویژگی‌های ساختاری طوری انتخاب شده است که تفکیک‌پذیری گروه‌ها بسیار بالا است.

در مرجع [۸]، حروف براساس نقاط و علائم به ۱۲ گروه تقسیم می‌شوند. ابتدا نقاط و علائم بالا یا پایین هر حرف تشخیص داده می‌شود و با توجه به آن گروهی که حرف ناشناخته در آن قرار می‌گیرد، تعیین می‌شود. در صورتی که در این گروه فقط یک کلاس وجود داشته باشد، آن کلاس به حرف ناشناخته نسبت داده می‌شود و گرنه بدنه حرف ناشناخته با بدنه‌های حروفی از مجموعه داده که با حرف ناشناخته هم گروه هستند مقایسه می‌شود و با طبقه بندی کمترین فاصله بازشناسی می‌شود. در آزمایش بر روی 4144 حرف، میزان بازشناسی برای حروف مجزا 93.3% به دست آمده است (جدول (۶)). دقت مطلوب در این روش با توجه به رعایت اصول تعیین شده توسط مؤلف مقاله در نوشتن علائم، نقاط و سرکش‌ها به دست آمده است و

Reference

- [1] R. Azmi, "Recognition of printed Farsi scripts", PhD thesis, Tarbiat Modarres University, 1999.
- [2] M. Shirali Shahreza, "Recognition of Farsi handwriting word and number using neural network", PhD thesis, Amirkabir University, 1995.
- [3] H. Sajed, M. Jamzad, H. Samety, B. Baba Ali, "A clustering method for recognition of Farsi online isolated characters based on hidden Markov models", Twelfth Int. Conf. on Comp. Soci. of Iran, pp.425-419, 2006.
- [4] H. Mozaffari, F. Rahgozar, Sh. Sharif, "Online recognition of Farsi handwritten digits", Ann. Conf. of Comp. Soci. of Iran, pp.196-204, Amirkabir University, Tehran, 1996.
- [5] K. Abbasian, E. Kabir, "Online Farsi character recognition", Proc. of the sixth Iranian Elec. Engi. Conf., Khaje Nasir Toosi University, Tehran, Vol.3, pp.141-146, 1998.
- [6] S.M. Razavi, "Online Farsi handwriting recognition", PhD thesis, Tarbiat Modarres University, 2006.
- [7] S.M. Razavi, E. Kabir, "A dataset for recognition of online Farsi scripts", Intell. Sys. Conf., Kerman, 2004.
- [8] S.M. Razavi, E. Kabir, "A simple method for recognition of Farsi online isolated character", J. of Engi., Ferdowsi University of Mashhad, 2005.
- [9] S.M. Razavi, E. Kabir, "A simple method for recognition of Farsi online sub-word", Journal of Electrical Engineering and Computer Engineering", No.2, Issue 2, pp.72 – 63, 2005.
- [10] E. Kabir, Gh. Ardeshir, "Handwriting character recognition based on structures", Proc. of the Third Ann. Conf. on Elec. Engi., Iran University of Science and Technology, 1995.
- [11] V. Ghods, E. Kabir, "Grouping online characters by detection of bowls of them", Fifteenth Ann. Conf. of Comp. Soci. of Iran, Tehran, 2009.
- [12] M. Soleimani Baghshah, S. Shuraky Bagheri, Sh. Kasai, "Recognition and learning of online Farsi characters by fuzzy approach", Fourteenth Int. Conf. on Elec. Engi., Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, 2006.
- [13] M.A. Mehralyan, K. Fooladi, "Recognition of online Farsi handwriting character based on main body detection using hidden Markov models", Fifteenth Ann. Conf. of Comp. Soci. of Iran, Tehran, 2009.
- [14] V. Ghods, E. Kabir, "Extraction features of online Farsi characters for grouping them using decision tree", Sixth Int. Conf. on Mach. Visi. and Image Proc., Iran, Isfahan University, 2010.
- [15] S. Alirezaee, H. Aghaeinia, K. Faez, M. Ahmadi, "Off-line recognition of handwritten middle age persian characters using moment", Patt. Rec. and Image Ana., Vol.16, No.4, pp.622-631, 2006.
- [16] S. Mozaffari, K. Faez, V. Margner, H. El-Abed, "Lexicon reduction using dots for off-line farsi/arabic handwritten word recognition", Patt. Recog. Lett., Vol.29, pp.724-734, 2008.
- [17] V. Ghods, E. Kabir, "Feature extraction for online Farsi characters", In Proc. of the 12th Int. Conf. on Front. in Hand. Recog. (ICFHR), Kolkata, India, pp.477-482, 2010.
- [18] S.D. Connell, "Online handwriting recognition using multiple pattern class models", PhD Thesis, Michigan State University, 2000.
- [19] M. Dehghan, K. Faez, M. Ahmadi, M. Shridhar, "Handwritten Farsi (Arabic) word recognition: A holistic approach using discrete HMM", Patt. Recog., Vol.34, pp.1057-1065, 2001.
- [20] R. Plamondon, N. Srihari, "On-line and off-line handwriting recognition: A comprehensive survey", IEEE Trans. on Patt. Anal. and Mach. Intell., Vol.22, No.1, pp.63-84, 2000.
- [21] A. Amin, "Machine recognition of handwritten arabic words by the IRAC II system", In Proc. of the 6th Inter. Conf. on Patt. Recog. Munich, Germany, pp.34-36, 1982.
- [22] R. Halavati, S. Bagheri Shouraki, "Recognition of persian online handwriting using elastic fuzzy pattern recognition", Int. J. of Patt. Recog. and Artif. Intell., Vol.21, No.12, pp.491-513, 2007.
- [23] A. Alimi, O. Ghorbel, "The analysis of error in an on-line recognition system of arabic handwritten characters", In Proc. of the ICDAR 1995, pp.890-893, Montreal, Canada, 14-16 Aug. 1995.