

## بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان

مجید مرزانی، سید محمد رضوی\*، مهران تقی‌پور گرجی‌کلایی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

majid.marzani@birjand.ac.ir, smrazavi@birjand.ac.ir, mtaghipour@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۰ دی ۱۳۹۵ تاریخ بازنگری: ۲۵ فروردین ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: ۱۲ خرداد ۱۳۹۶

\* نشانی نویسنده مسئول: سید محمد رضوی، بیرجند، انتهای بلوار شهید آوینی، دانشگاه بیرجند، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

**چکیده** - در این مقاله روشی برای بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی ارائه می‌شود. چهار مجموعه ویژگی نقطه‌ای و یک مجموعه ویژگی سراسری، از نمونه‌های پیش‌پردازش شده استخراج شده‌است. در این پژوهش ساختاری مناسب برای بردار ویژگی، تنها حاوی یک مجموعه ویژگی نقطه‌ای و بهره‌گیری از ویژگی‌های سراسری در کنار ویژگی‌های نقطه‌ای برای بهبود عملکرد طبقه‌بند ارائه می‌شود. به همین منظور آزمایش‌های متعددی با هرکدام از مجموعه ویژگی‌های نقطه‌ای و همچنین بهره‌گیری از ویژگی‌های سراسری در کنار هر یک از مجموعه ویژگی‌های نقطه‌ای با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکردهای یک در مقابل همه (OVA) و یک در مقابل یک (OVO) انجام شده‌است. در این تحقیق به منظور ارائه روشی سریع، دقیق و با قابلیت اطمینان بالا، طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) برای بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی، پیشنهاد شده‌است. روش پیشنهادی ارائه شده در این مقاله روی ارقام موجود در پایگاه داده Online-TMU انجام شده‌است، بهترین نرخ بازشناسی، با بهره‌گیری از تغییرات در راستای افقی ( $\Delta x$ ) و تغییرات در راستای عمودی ( $\Delta y$ ) به عنوان ویژگی نقطه‌ای در کنار مجموعه ویژگی‌های سراسری حاصل می‌شود، که میانگینی برابر با ۹۸/۰۸ درصد دارد.

**واژه‌های کلیدی:** بازشناسی برخط، ارقام دست‌نویس فارسی، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، یک در مقابل یک (OVO).

## Online Recognition of Farsi Handwritten digits Using SVM Classifier

Majid Marzani, Seyyed Mohammad Razavi\*, Mehran Taghipour-Gorjikolaie  
Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.  
majid.marzani@birjand.ac.ir, smrazavi@birjand.ac.ir, mtaghipour@birjand.ac.ir

**Abstract-** In this paper a method for online recognition of Farsi handwritten digit is presented. Four sets of Point Features and a set of global features are extracted from preprocessed patterns. In this study a suitable structure for feature vector, which contains only a set of point features and global features, to improve the performance of classifier, is presented. Therefore, numerous experiments with each of the point feature set and the global features using support vector machine (SVM) classifier, with one versus all (OVA) and one versus one (OVO) approaches is done. In this paper, for presenting a fast, accurate and reliable method, SVM classifier with OVO approach is proposed for online recognition of Farsi handwritten digits. This method is applied on online-TMU database. The best recognition rate with point feature set ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ )s and global features is achieved. The average recognition rate is 98.08%.

**Keywords-** Farsi handwritten digits, One versus on (OVO), Online recognition, Support vector machine (SVM).

## ۱- مقدمه

به‌منظور دستیابی به بهترین مجموعه ویژگی، آزمایش‌های متعددی با استفاده از مجموعه ویژگی‌های نقطه‌ای و همچنین استفاده از ویژگی‌های نقطه‌ای درکنار ویژگی‌های سراسری انجام شده‌است. در این تحقیق به‌منظور ارزیابی روشی سریع، دقیق و با قابلیت اطمینان بالا از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک<sup>۱۵</sup> (OVO) برای بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی استفاده شده‌است.

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

## ۲- معرفی پایگاه داده و نگارش ارقام

مجموعه داده Online-TMU توسط دانشکده مهندسی برق دانشگاه تربیت مدرس جمع‌آوری شده‌است [۱۱]. این مجموعه داده شامل ۱۲۲۰ رقم می‌باشد که ۱۲۴ نفر آن‌ها را با قلم و صفحه WACOM GRAPHIRE نوشته‌اند، شایان ذکر است که بیشتر نویسندگان برای اولین بار از قلم نوری و صفحه رقومی کننده<sup>۱۶</sup> استفاده کرده‌اند [۵] و [۱۱]. به‌طور متوسط از هر رقم ۱۲۰ نمونه وجود دارد. در نحوه نگارش ارقام محدودیتی اعمال نشده‌است، به‌عنوان مثال برای ارقام «۴» و «۶» به ترتیب نمونه‌هایی به صورت «ک و ۴» و «۶ و ۴» وجود دارند. شکل‌های ۱ و ۲ نمونه‌هایی از نگارش ارقام دست‌نویس این پایگاه داده را نشان می‌دهد، همان‌طور که مشاهده می‌شود ارقام «۴» و «۶» دارای نگارش متفاوتی از لحاظ ظاهری در شکل‌های ۱ و ۲ می‌باشد.

## ۳- روش پیشنهادی

همان‌طور که بیان شد، روش ارزیابی شده در این مقاله بر اساس ارقام پایگاه داده Online-TMU انجام شده‌است. در این تحقیق ارقام یک تا نه به ترتیب در گروه‌های یک تا نه و رقم صفر در گروه ده گروه‌بندی می‌شوند. در فرآیند بازشناسی و قبل از طبقه‌بندی داده‌ها، پردازش‌هایی روی داده‌ها انجام می‌گیرد. ابتدا به‌منظور یکنواخت‌سازی داده‌های خام پیش‌پردازش انجام می‌شود. سپس برای بهره‌گیری از ویژگی‌های قابل استفاده، استخراج ویژگی<sup>۱۷</sup> انجام می‌شود. سپس در مرحله آخر طبقه‌بندی انجام می‌شود.

امروزه با گسترش فناوری‌های نوین که برای ارتباط با کاربر از صفحات لمسی استفاده می‌کنند، نیاز به یک روش بازشناسی برخط دست‌نویس برای ارتباط با کاربر احساس می‌شود. این مقاله به بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی مبتنی بر پایگاه داده<sup>۱</sup> Online-TMU [۱] می‌پردازد.

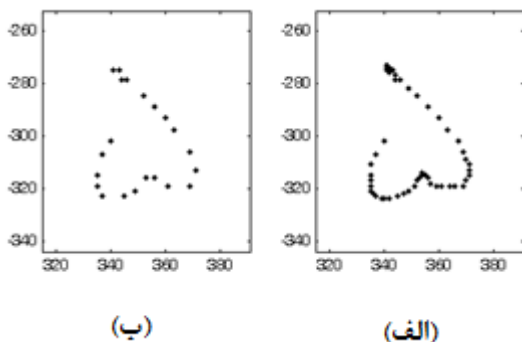
بازشناسی نوشتار با توجه به نحوه دریافت اطلاعات ورودی به دو دسته برون‌خط<sup>۲</sup> و برخط<sup>۳</sup> تقسیم می‌شود. بازشناسی برون‌خط شامل بازشناسی نوشتار تاپی و نوشتار دست‌نویس می‌شود ولی بازشناسی برخط فقط در بازشناسی دست‌نویس کاربرد دارد. در بازشناسی برخط، ورودی از طریق لوح یا وسایل حساس به لمس و یا 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 [۲]، [۳]، [۴]، [۵] و [۶]. تاکنون در مقایسه با زبان‌های لاتین برای بازشناسی برخط حروف و همچنین ارقام فارسی و عربی کارهای کمتری صورت گرفته است [۴] و [۷]. طبق بررسی‌های انجام شده تعداد تحقیقات در زمینه بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی و عربی بسیار پایین است.

در روش «خیراله<sup>۴</sup> و همکاران» برای بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس، از یک پایگاه داده شامل سی هزار رقم عربی استفاده شده‌است؛ فرآیند آموزش با مشارکت نگاشت خود سازمانده<sup>۵</sup> و الگوریتم k-نزدیکترین همسایه فازی<sup>۶</sup> صورت می‌پذیرد و طبقه‌بندی<sup>۷</sup> با یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه<sup>۸</sup> انجام می‌شود [۸]. در روش «عبدالعظیم<sup>۹</sup> و همکاران» برای بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس، از یک پایگاه داده شامل سی هزار رقم عربی که از سیصد نویسنده جمع‌آوری شده، استفاده شده‌است؛ ویژگی‌های برخط و برون‌خط به‌طور همزمان استخراج شده‌است و طبقه‌بندی با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان<sup>۱۰</sup> انجام می‌شود [۹]. در روش «جیانگ<sup>۱۱</sup> و همکاران» با استفاده از بردارهای جهت‌دار<sup>۱۲</sup> هشت‌تایی و طبقه‌بند درخت تصمیم<sup>۱۳</sup> یک روش سریع مستقل از نویسنده، برای ارقام برخط دست‌نویس ارزیابی شده‌است [۱۰].

در این مقاله روشی برای بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی ارزیابی می‌شود. چهار مجموعه ویژگی نقطه‌ای و یک مجموعه ویژگی سراسری، از نمونه‌هایی که روی آن‌ها پیش‌پردازش<sup>۱۴</sup> انجام شده استخراج شده‌است.

### ۳-۱-۲- پالایش نقاط

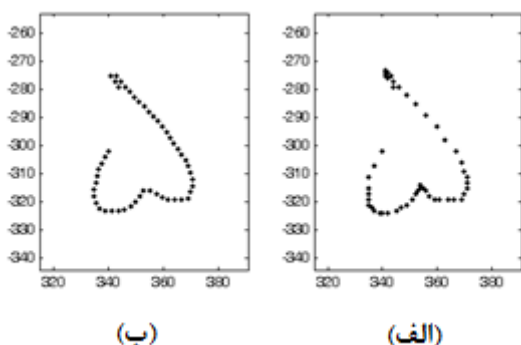
نقاطی که فاصله بین آن‌ها کمتر از دو برابر میانگین فواصل بین نقطه‌ای باشد حذف می‌شوند. با استفاده از این پیش‌پردازش می‌توان لرزش حرکت دست هنگام نوشتن را تا حدی از بین برد [۷]. در شکل ۳ نمونه‌ای از پالایش نقاط انجام شده روی پایگاه داده Online-TMU دیده می‌شود.



شکل ۳: نمونه‌ای از پالایش نقاط، (الف) قبل از پیش‌پردازش، (ب) بعد از پیش‌پردازش.

### ۳-۱-۳- یکسان‌سازی تعداد نقاط و فاصله بین آن‌ها

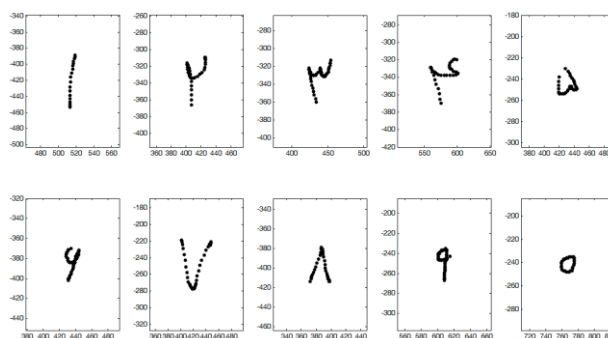
ابتدا با استفاده از درون‌یابی بین نقاط نمونه‌برداری شده از حرکت قلم، مسیر حرکت تخمین زده می‌شود. سپس با در دست داشتن طول حرکت قلم، پنجاه نقطه‌ای که فاصله‌ی یکسانی از هم دارند استخراج می‌شود [۷]، [۱۳] و [۱۴]. شکل ۴ نمونه‌ای از یکسان‌سازی تعداد نقاط و فاصله بین آن‌ها روی پایگاه داده Online-TMU مشاهده می‌شود.



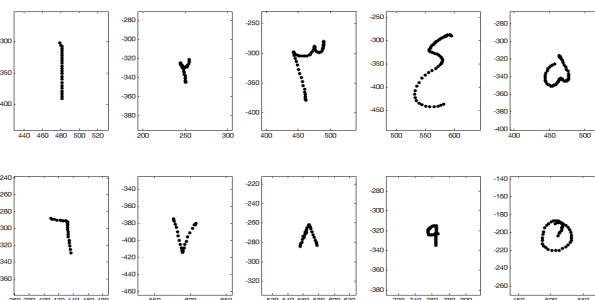
شکل ۴: نمونه‌ای از یکسان‌سازی نقاط و فاصله بین آن‌ها، (الف) قبل از پیش‌پردازش، (ب) بعد از پیش‌پردازش.

### ۳-۱-۴- یکسان‌سازی ابعاد و انتقال به مبدا

از آنجایی که ابعاد نویسه‌ها در داده‌های نمونه‌برداری شده برای افراد مختلف متفاوت است، بنابراین همه نمونه‌ها در یک چارچوب  $100 \times 100$  قرار می‌گیرند. همچنین برای یکسان‌سازی در نقطه



شکل ۱: نمونه‌ای از نگارش ارقام دست‌نویس پایگاه داده Online-TMU.



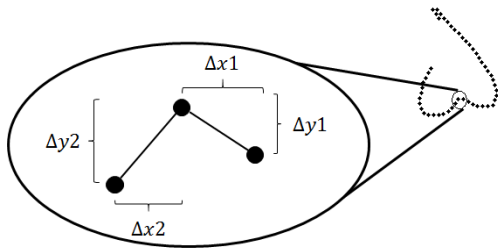
شکل ۲: نمونه‌ای دیگر از نگارش ارقام دست‌نویس پایگاه داده Online-TMU.

### ۳-۱-۱- پیش‌پردازش

پیش‌پردازش یکی از مراحل اساسی در بازنمایی دست‌نویس می‌باشد که اجرای صحیح آن کمک شایان توجهی به بهبود نرخ بازنمایی می‌کند [۱۲]. از آنجایی که داده‌های برخط با قلم نوری روی صفحه حساس به لمس نوشته می‌شوند، تنوع زیادی در تعداد و فاصله بین نقاط و همچنین ابعاد داده‌های نمونه‌برداری شده دارند. از این‌رو برای این‌که بتوان تغییرات در تنوع نوشتاری را به حداقل رساند می‌بایست پیش‌پردازش‌هایی روی داده‌ها انجام داد [۱۳]. در این پژوهش پیش‌پردازش‌هایی چون حذف نقاط تکراری، پالایش نقاط، یکسان‌سازی تعداد نقاط و فاصله بین آن‌ها، یکسان‌سازی ابعاد و انتقال به مبدا مختصات انجام شده‌است، که در ادامه به‌طور مختصر توضیحاتی در این زمینه ارائه می‌گردد.

### ۳-۱-۱- حذف نقاط تکراری

با بررسی مختصات نقاط نمونه‌برداری شده، می‌توان نقاطی که موقعیت مکانی یکسانی دارند حذف کرد، به این ترتیب که اگر موقعیت مکانی یکسانی برای نقاط مختلف وجود داشته‌باشد یکی از آن‌ها نگه‌داشته می‌شود و بقیه آن‌ها حذف می‌شوند [۱۳].



شکل ۵: تغییرات در راستای افقی و راستای عمودی برای سه نقطه متوالی.

### ۳-۲-۳- مجموعه ویژگی سوم

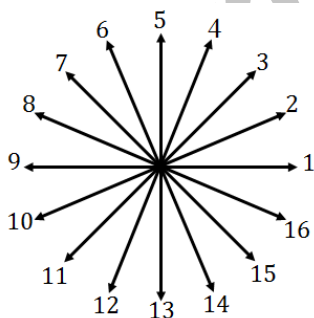
برای هر دو نقطه متوالی از پنجاه نقطه بدست‌آمده از مرحله پیش‌پردازش، میزان انحراف از راستای افقی ( $\Delta x$ ) و میزان انحراف از راستای عمودی ( $\Delta y$ ) به عنوان سومین مجموعه از ویژگی‌های نقطه‌ای استخراج می‌شود، که در روابط (۶) و (۷) قابل مشاهده هستند [۱۷] و [۱۸].

$$f_4 = \sin(\tan^{-1}(\frac{\Delta y}{\Delta x})) \quad (6)$$

$$f_5 = \cos(\tan^{-1}(\frac{\Delta y}{\Delta x})) \quad (7)$$

### ۳-۲-۴- مجموعه ویژگی چهارم

برای هر دو نقطه متوالی از پنجاه نقطه بدست‌آمده از مرحله پیش‌پردازش، زاویه‌ای که دو نقطه متوالی با افق می‌سازند و جهت دو نقطه متوالی با بردارهای جهت‌دار شانزده‌تایی که در شکل ۶ قابل مشاهده هستند، به عنوان چهارمین مجموعه از ویژگی‌های نقطه‌ای استخراج می‌شود [۱۰] و [۱۴].



شکل ۶: بردارهای جهت‌دار شانزده‌تایی [۱۰].

### ۳-۲-۵- مجموعه ویژگی پنجم

زاویه بردار ابتدا به انتهای حرکت قلم، اندازه بردار ابتدا به انتهای حرکت قلم، اندازه‌ی حرکت قلم در راستای افقی و اندازه حرکت قلم در راستای عمودی چهار ویژگی استخراج شده از حرکت قلم به عنوان ویژگی سراسری هستند [۱۹]. این ویژگی‌ها در روابط

شروع حرکت قلم، نقطه‌ای آغازین حرکت قلم به نقطه (۰,۰) انتقال داده می‌شود [۴]، [۷].

### ۳-۲- استخراج ویژگی

هدف از استخراج ویژگی، افزایش کیفیت الگوهای ورودی با استخراج و محاسبه خصوصیات و پارامترهای مربوط به سیگنال ورودی می‌باشد که منجر به بهبود عملکرد طبقه‌بندی کننده روی الگوهای ورودی می‌شود [۱۲]. به عبارت دیگر برای طبقه‌بندی نمونه‌ها، به مجموعه‌ای از ویژگی‌ها با قابلیت تمایز بالا نیاز است [۱۵] و [۱۶]. در این مقاله از چندین مجموعه ویژگی که شامل چهار مجموعه ویژگی نقطه‌ای و یک مجموعه ویژگی سراسری است برای طبقه‌بندی ارقام دست‌نویس فارسی برخط استفاده شده‌است، که به‌طور مختصر تشریح می‌گردد.

### ۳-۲-۱- مجموعه ویژگی اول

مختصات پنجاه نقطه بدست‌آمده از مرحله پیش‌پردازش به عنوان اولین مجموعه از ویژگی‌های نقطه‌ای استخراج می‌شود. مجموعه ویژگی اول شامل صد ویژگی است که پنجاه ویژگی برای  $x$  ها و پنجاه ویژگی برای  $y$  ها است، که در رابطه (۱) و (۲) قابل مشاهده است [۱۷].

$$f_1 = (x_i, y_i) \quad (1)$$

$$F_1 = \{x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_{50}, y_{50}\} \quad (2)$$

### ۳-۲-۲- مجموعه ویژگی دوم

برای هر دو نقطه متوالی از پنجاه نقطه بدست‌آمده از مرحله پیش‌پردازش، تغییرات در راستای افقی ( $\Delta x$ ) و تغییرات در راستای عمودی ( $\Delta y$ ) به عنوان دومین مجموعه از ویژگی‌های نقطه‌ای استخراج می‌شود. مجموعه ویژگی دوم شامل نود و هشت ویژگی است، که در روابط (۳) تا (۵) قابل مشاهده هستند. شکل ۵ تغییرات در راستای افقی و راستای عمودی را برای سه نقطه متوالی نشان می‌دهد [۱۷].

$$f_2 = \Delta(x_{i+1} - x_i) \quad (3)$$

$$f_3 = \Delta(y_{i+1} - y_i) \quad (4)$$

$$F_2 = \{\Delta x_1, \Delta y_1, \Delta x_2, \Delta y_2, \dots, \Delta x_{49}, \Delta y_{49}\} \quad (5)$$

می‌گیرد. در آخر به منظور اطمینان از صحت عملکرد روش پیشنهادی، این روش با روش‌های شناخته شده در مسایل طبقه‌بندی و بازشناسی الگو مانند شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با ساختار پیشخور<sup>۲۰</sup>، درخت تصمیم،  $k$ -نزدیکترین همسایه ( $k=3$ ) مقایسه شده‌است. شایان ذکر است، شبکه عصبی مورد استفاده با الگوریتم پس انتشار خطا آموزش داده شده و دارای دو لایه مخفی به ترتیب با ۸ و ۹ نرون می‌باشد که تابع فعالیت<sup>۲۱</sup> (*tangent sigmoid*) در آن استفاده شده‌است.

#### ۴- آزمایش‌ها و ارزیابی نتایج

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

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 تمام جدول‌ها دارای شرایط برابری از نظر تصادفی بودن داده‌های آموزشی و آزمایشی برای ده بار اجرا می‌باشد. لذا برای ده بار اجرای مجزا مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین در جدول‌ها ارایه شده‌اند. نتایج حاصل از آزمایش‌ها در جدول‌های ۱ تا ۴ گردآوری شده‌است. در طبقه‌بندی با SVM با رویکرد OVA و همچنین SVM با رویکرد OVO، از کرنل گوسی<sup>۲۲</sup> استفاده شده‌است، که مقدار پارامتر  $\sigma$  برابر ۱۰ انتخاب شده‌است.

جدول ۱: نتایج بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی با استفاده طبقه‌بند SVM با رویکرد OVA

مجموعه ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین
۱	۸۸/۴۱	۹۳/۲۷	۹۰/۳۰
۲	۸۹/۷۶	۹۴/۳۴	۹۳/۴۰
۳	۷۸/۷۱	۸۷/۶۰	۸۳/۸۵
۴	۸۸/۶۸	۹۱/۹۱	۹۰/۵۷

جدول ۲: نتایج بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی با استفاده طبقه‌بند SVM با رویکرد OVA

مجموعه ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین
۱ و ۵	۸۳/۸۳	۹۴/۶۱	۹۰/۲۷
۲ و ۵	۹۱/۱۰	۹۵/۶۹	۹۴/۲۳
۳ و ۵	۸۳/۵۶	۹۱/۳۷	۸۸/۳۶
۴ و ۵	۹۱/۳۷	۹۴/۰۷	۹۲/۴۳

(۸) تا (۱۱) مشاهده می‌شوند. همچنین نحوه استخراج ویژگی‌های سراسری برای ارقام «۲» و «۶» در شکل ۷ مشاهده می‌شود.

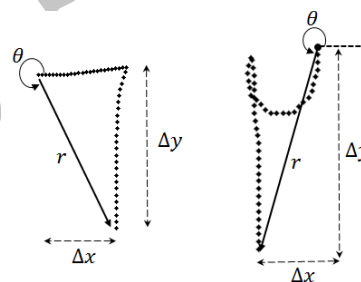
$$f_6 = \theta_{ste} = \tan^{-1} \left( \frac{y_{end} - y_{start}}{x_{end} - x_{start}} \right) \quad (8)$$

$$f_7 = r_{ste} = \left( \frac{y_{end} - y_{start}}{x_{end} - x_{start}} \right) \quad (9)$$

$$f_8 = \Delta(x_{max} - x_{min}) \quad (10)$$

$$f_9 = \Delta(y_{max} - y_{min}) \quad (11)$$

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،  $x_{start}$  و  $x_{end}$  به ترتیب مقدار نقطه آغازین و نقطه پایانی در راستای محور افقی،  $y_{start}$  و  $y_{end}$  به ترتیب مقدار نقطه آغازین و نقطه پایانی در راستای محور عمودی هستند. همچنین  $\theta_{ste}$  و  $r_{ste}$  به ترتیب زاویه ابتدا به انتها و بردار ابتدا<sup>۱۸</sup> به انتها می‌باشند.



شکل ۷: نحوه استخراج ویژگی‌های سراسری.

#### ۳-۳- طبقه‌بندی

در این مقاله پیشنهاد می‌شود طبقه‌بندی ارقام دست‌نویس فارسی برخط، با طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) انجام گیرد. لذا به منظور بررسی میزان مفید بودن روش پیشنهادی، آزمایش‌های متعددی با ویژگی‌های استخراج شده انجام گرفته‌است. ابتدا چهار مجموعه ویژگی نقطه‌ای استخراج شده به طور جداگانه با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل همه<sup>۱۹</sup> (OVA) [۲۰] طبقه‌بندی می‌شود. سپس با اضافه کردن مجموعه ویژگی سراسری به ویژگی‌های نقطه‌ای، عملکرد طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل همه (OVA) بررسی می‌شود. در ادامه با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد (OVO) [۲۱] آزمایش‌ها تکرار می‌شود و نتایج حاصل از آن مورد بررسی قرار

جدول ۵: ماتریس آسیمگی (Confusion) برای ده‌بار اجرای طبقه‌بند SVM با رویکرد OVO

خروجی هدف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	نرخ بازشناسی (%)
۱	۳۶۶	۳	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۹۸/۹۲
۲	۰	۳۶۶	۱۱	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۶/۳۲
۳	۰	۱۴	۳۵۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۶/۲۲
۴	۴	۶	۰	۳۷۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۷/۳۷
۵	۰	۰	۰	۰	۳۶۸	۰	۰	۰	۰	۲	۹۹/۴۶
۶	۰	۰	۰	۰	۰	۳۷۹	۰	۱	۰	۰	۹۹/۷۴
۷	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۳۷۶	۰	۰	۳	۹۸/۹۵
۸	۰	۱	۰	۰	۱	۳	۰	۳۵۱	۰	۴	۹۷/۵۰
۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۳۶۷	۰	۹۹/۱۹
۱۰	۰	۰	۰	۰	۶	۱	۰	۱	۲	۳۴۰	۹۷/۱۴
قابلیت اطمینان (%)	۹۸/۹۲	۹۳/۸۵	۹۷/۰۰	۹۹/۳۰	۹۷/۸۷	۹۸/۷۰	۱۰۰	۹۸/۶۰	۹۹/۴۶	۹۷/۴۲	۹۸/۰۸ ۹۸/۱۰

همه (OVA) را نشان می‌دهد، با توجه به جدول، جز مجموعه ویژگی ۱ در مابقی مجموعه ویژگی‌ها بهبود عملکرد طبقه‌بندی با اضافه‌شدن ویژگی‌های سراسری (مجموعه ویژگی ۵) به ویژگی‌های نقطه‌ای مشاهده می‌شود.

جدول ۳ نتایج حاصل از طبقه‌بندی چهار مجموعه ویژگی نقطه‌ای با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) را نشان می‌دهد، در مقایسه با جدول ۱ مشاهده می‌شود که بهره‌گیری از رویکرد یک در مقابل یک (OVO) برای طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) نسبت به رویکرد یک در مقابل همه (OVA) بهبود عملکرد طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) را به‌دنبال دارد.

جدول ۴ نتایج حاصل از طبقه‌بندی چهار مجموعه ویژگی نقطه‌ای همراه با ویژگی‌های سراسری (مجموعه ویژگی ۵) با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) را نشان می‌دهد، در مقایسه با جدول ۲ مشاهده می‌شود که بهره‌گیری از رویکرد یک در مقابل یک (OVO) برای طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) نسبت به رویکرد یک در مقابل همه (OVA) بهبود عملکرد طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) را به‌دنبال دارد.

با توجه به جدول‌های ۱ تا ۴ و بررسی تمام آزمایش‌های انجام شده، بهترین ترکیب برای بردار ویژگی استفاده از مجموعه ویژگی ۲ در کنار ویژگی‌های سراسری (مجموعه ویژگی ۵) و با

جدول ۳: نتایج بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی با استفاده از طبقه‌بند SVM با رویکرد OVO

مجموعه ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین
۱	۹۴/۸۸	۹۷/۵۷	۹۶/۶۶
۲	۹۶/۵۰	۹۸/۶۵	۹۷/۷۹
۳	۸۸/۹۵	۹۱/۳۷	۹۰/۰۸
۴	۹۴/۰۷	۹۵/۹۶	۹۴/۹۱

جدول ۴: نتایج بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی با استفاده از طبقه‌بند SVM با رویکرد OVO

مجموعه ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین
۱ و ۵	۹۵/۴۲	۹۷/۳۰	۹۶/۵۵
۲ و ۵	۹۷/۰۳	۹۹/۴۶	۹۸/۰۸
۳ و ۵	۹۲/۱۸	۹۴/۳۴	۹۲/۸۰
۴ و ۵	۹۵/۴۲	۹۷/۸۵	۹۶/۳۹

جدول ۱ نتایج حاصل از طبقه‌بندی چهار مجموعه ویژگی نقطه‌ای با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل همه (OVA) را نشان می‌دهد، با توجه به نتایج بدست‌آمده مشاهده می‌شود مجموعه ویژگی ۲ بهترین نرخ بازشناسی را دارد.

جدول ۲ نتایج حاصل از طبقه‌بندی چهار مجموعه ویژگی نقطه‌ای همراه با ویژگی‌های سراسری (مجموعه ویژگی ۵) با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل

جدول ۶ نتایج حاصل از طبقه‌بندی مجموعه ویژگی ۲ در کنار ویژگی‌های سراسری (مجموعه ویژگی ۵) را با استفاده از طبقه‌بندهای شبکه عصبی (MLP) (دارای دو لایه مخفی به ترتیب با ۸ و ۹ نرون می‌باشد و دارای بهترین ساختار ممکن که از سعی و خطای بسیار حاصل شده است)،  $k$ -نزدیکترین همسایه، درخت تصمیم و ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین نرخ بازشناسی طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) از روش‌های ذکر شده بالاتر می‌باشد.

جدول ۶: نتایج بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی با مجموعه ویژگی ۵ و ۲

طبقه‌بند کننده	حداقل	حداکثر	میانگین
$k$ -NN	۷۹/۷۶	۸۸/۲۶	۸۵/۷۵
Decision Tree	۸۵/۴۴	۹۱/۹۱	۸۷/۶۵
MLP	۸۱/۹۴	۹۴/۸۸	۸۸/۶۰
SVM(OVO)	۹۷/۰۳	۹۹/۴۶	۹۸/۰۸

#### ۵- نتیجه‌گیری

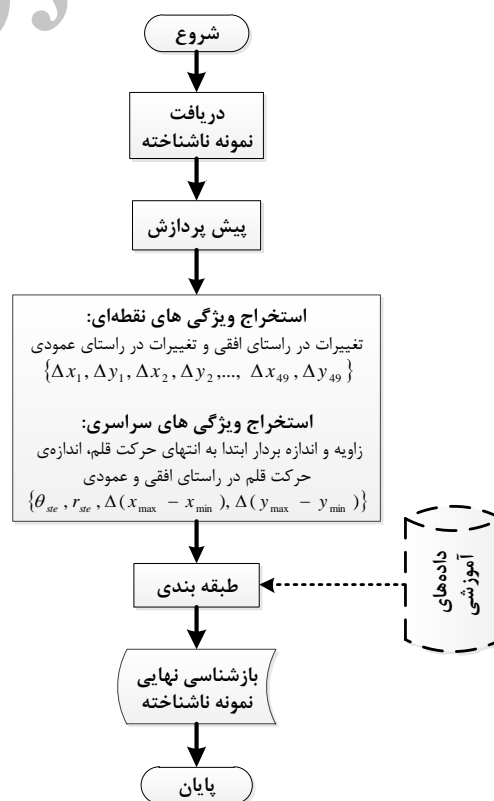
در این مقاله روشی برای بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی ارائه شد. در روش ارائه شده به منظور دستیابی به بهترین مجموعه ویژگی پنج مجموعه ویژگی از داده‌های نمونه‌برداری شده استخراج شده است، که شامل چهار مجموعه ویژگی نقطه‌ای و یک مجموعه ویژگی سراسری است. در این تحقیق به جهت بالا نرفتن ابعاد بردارهای ویژگی سعی بر استفاده از یک مجموعه ویژگی نقطه‌ای در هر آزمایش بوده است. بهره‌گیری از ویژگی‌های سراسری در کنار ویژگی‌های نقطه‌ای افزایش کیفیت بردارهای ویژگی را فراهم می‌کند و عملکرد بهتری برای طبقه‌بندها به دنبال دارد. بهترین مجموعه ویژگی، با بهره‌گیری از تغییرات در راستای افقی ( $\Delta x$ ) و تغییرات در راستای عمودی ( $\Delta y$ ) به عنوان ویژگی نقطه‌ای در کنار مجموعه ویژگی سراسری با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) حاصل می‌شود.

نتایج بدست‌آمده نشان می‌دهند که با استفاده از روش پیشنهادی ۹۸/۰۸ درصد از ارقام دست‌نویس فارسی برخط به درستی بازشناسی می‌شوند. این در شرایطی است که بیشتر نویسندگان برای اولین بار از قلم مغناطیسی و صفحه رقومی کننده استفاده کرده‌اند، و این در حالی است که تنوع نوشتاری زیادی از نظر سبک نگارش ارقام مختلف وجود دارد.

بهره‌گیری از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) حاصل می‌شود.

جدول ۵ ماتریس آسیمگی<sup>۳۳</sup> برای ده‌بار اجرای طبقه‌بند ماشین بردار (SVM) با رویکرد یک در مقابل یک (OVO) با استفاده از مجموعه ویژگی ۲ به همراه ویژگی‌های سراسری (مجموعه ویژگی ۵) را نشان می‌دهد. بیشترین تداخل بین ارقام «۱» و «۲» می‌باشد که شباهت زیادی از لحاظ نوشتاری باهم دارند. شاخص‌های دقت یا (نرخ) بازشناسی<sup>۳۴</sup> و قابلیت اطمینان معیارهای مهمی برای ارزیابی عملکرد سیستم می‌باشند. نرخ بازشناسی میزان عملکرد طبقه‌بند در تشخیص الگو و قابلیت اطمینان میزان اعتبار تصمیم گرفته‌شده توسط طبقه‌بند را بیان می‌کنند. با توجه به ماتریس آسیمگی قابلیت اطمینان برای کلاس «۷» برابر با ۱۰۰ می‌باشد، به این معنی که اگر سیستم نمونه‌ای را به کلاس «۷» تخصیص دهد حتما کلاس «۷» است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین نرخ بازشناسی و میانگین قابلیت اطمینان به ترتیب برابر ۹۸/۰۸ و ۹۸/۱۰ می‌باشند.

با توجه به مطالب ذکر شده، روند پیشنهادی برای بازشناسی نسبتاً دقیق و با قابلیت اطمینان بالای ارقام برخط دست‌نویس فارسی در شکل ۸ ارائه می‌شود.



شکل ۸: نمودار گردش کار روش پیشنهادی برای بازشناسی برخط ارقام دست‌نویس فارسی.

مراجع

[۱۸] م. ا. مهرعلیان و ک. فولادی، "بازشناسی برخط حروف مجزای دست‌نویس فارسی بر اساس تشخیص گروه اصلی بدنه با استفاده از مدل مخفی مارکوف"، پنزدهمین کنفرانس مهندسی کامپیوتر ایران، تهران، انجمن کامپیوتر، مرکز توسعه فناوری نیرو (متن)، ۱۳۸۸.

[19] M. Harouni, M. Dzulkifli and A. Rasouli, "Deductive Method for Recognition of On-Line Handwritten Persian/Arabic Characters," *2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, Singapore, Volume 5, pp. 791-795, 26-28 Feb. 2010.

[20] B. Sidaoui and K. Sadouni, "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.

[21] C. Bahlmann, B. Hassdonak and H. Burkhardt, "On-line Handwriting Recognition with Support Vector Machines A Kernel Approach," *Eighth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition (IWFHR)*, pp. 49-54, 2002.

[22] A. T. Al-Tanni, and S. Al-Haj, "Recognition of On-line Arabic Handwritten Characters Using Structural Features," *Journal of Pattern Recognition Research*, pp. 23-27, 2010.

[۱] س.م. رضوی و ا. کبیر، "یک پایگاه داده برای بازشناسی دست‌نوشته‌های برخط فارسی"، ششمین کنفرانس سراسری سیستم‌های هوشمند، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، آذر ۱۳۸۳.

[۲] س.م. رضوی، "بازشناسی دست‌نوشته برخط فارسی"، رساله دوره دکتری مهندسی برق-الکترونیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۲۶ صفحه، بهار ۱۳۸۵.

[۳] س.م. رضوی و ا. کبیر، "روشی ساده برای بازشناسی برخط زیر-کلمات فارسی"، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، دوره ۳، شماره ۲، ص ۶۳-۷۲، پاییز و زمستان ۱۳۸۴.

[۴] س.م. رضوی و ا. کبیر "بازشناسی برخط حروف فارسی با شبکه عصبی"، سومین کنفرانس ماشین بنایی و پردازش تصویر، تهران، دانشگاه تهران، ص ۸۳-۸۹، اسفند ۱۳۸۳.

[۵] و. قدس و ا. کبیر، "بررسی شیوه‌های متداول نگارش دست‌نوشته‌های برخط فارسی به‌منظور استفاده در بازشناسی آن‌ها"، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۱، شماره ۱، پیاپی ۶۱، ص ۲۲-۳۲، ۱۳۹۱.

[۶] و. قدس و ا. کبیر، "استخراج ویژگی‌های حروف برخط فارسی به‌منظور گروه‌بندی آن‌ها با استفاده از درخت تصمیم"، ششمین کنفرانس ماشین بنایی و پردازش تصویر، اصفهان، دانشگاه اصفهان، ص ۱-۶، آبان ۱۳۸۹.

[۷] م. ا. مهرعلیان و ک. فولادی، "بازشناسی برخط حروف مجزای دست‌نویس فارسی بر اساس تشخیص گروه بدنه اصلی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان"، دو فصل‌نامه پردازش و علایم و داده‌ها، شماره ۱، پیاپی ۱۷، ص ۵۹-۶۶، ۱۳۹۱.

[8] M. Kherallah and L. Haddad, A.M. Alimi and A. Mitiche, "Online handwritten digit recognition based on trajectory and velocity modeling," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 29, Issue 5, pp. 580-594, 1 April 2008.

[9] Sh. Abdel Azeem, M. El. Meseery and H. Ahmed, "On-line Arabic Handwritten Digits Recognition," *International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition*, pp. 135-140, 2012.

[10] W. L. Jiang, Zh. X. Sun, B. Yuan, W. T. Zheng and W. H. Xu "User-Independent Online Handwritten Digit Recognition," *Proceedings of the Fifth International Conference on Machine Learning Cybernetics*, Dalian, China, pp. 3359-3364, 13-16 August 2006.

[۱۱] شورای پژوهشی OCR کارگروه خط و زبان فارسی، پژوهشنامه نویسه‌خوان (OCR) فارسی، تهران، شورای عالی اطلاع رسانی، ۱۳۷۸.

[12] N. Tagougui, M. Kherallah, and A.M. Alimi, "Online Arabic Handwriting Recognition: a survey," *International Journal on Document Analysis and Recognition (IJ DAR)*, Vol. 16, Issue 3, pp. 209-226, September 2013.

[13] B.Q. Huang, Y.B. Zhang, and M-T. Kechadi, "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.

[14] F. Faradji, K. Faez and M.S. Nosrati "Online Farsi Handwritten Words Recognition Using a Combination of 3 Cascaded RBF Neural Networks," *International Conference on Intelligent Advanced Systems*, Kuala Lumpur, pp. 134-138, 25-28 Nov. 2007.

[15] V. Singh, B. Kumar and T. Patnaik, "Feature Extraction Techniques for Handwritten Text in Various Scripts: a Survey," *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, Volume-3, Issue-1, pp. 238- 241, March 2013.

[16] V. Ghods and E. Kabir, "Feature Extraction for Online Farsi Characters," *12th International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition*, Kolkata, pp. 477-482, 16-18 Nov. 2010.

[17] A. Biem, "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.

زیرنویس‌ها

- 1 Tarbiat Modarres University
- 2 Off-line
- 3 On-line
- 4 Kherallah
- 5 Self-Organization Maps (SOM)
- 6 Fuzzy k-Nearest Neighbour Algorithms (FKNNA)
- 7 Classification
- 8 Multi Layers Perception of Neural Networks (MLPNN)
- 9 Abdel Azeem
- 10 Support Vector Machine (SVM)
- 11 Jiang
- 12 Directional Vectors
- 13 Decision Tree
- 14 Preprocessing
- 15 One Versus One
- 16 Tablet Digitizer
- 17 Feature Extraction
- 18 start to end
- 19 One Versus All
- 20 Feed Forward
- 21 Activation Function
- 22 Gaussian Radial Basis Function Kernel
- 23 Confusion Matrix
- 24 Score of Recognition