

تشخیص عادت‌های نوشتاری و استفاده از آن در سنتز کلمات در دستخط‌های فارسی

فرزین یغمایی*

چکیده

تولید کلمات در زبان فارسی و ساخت دستخط به کمک اتصال حروف دست نوشته، یکی از موضوعات جالب و کاربردی می‌باشد، به طوری که راهبردهای جدیدی را در زمینه تشخیص حروف دست نویس فارسی و همچنین تصدیق صحت دستخط افراد مختلف، مشخص می‌کند. در این مقاله به ساخت دستخط افراد از دستخط‌های قبلی آنها بر اساس اتصال حروف، پرداخته شده است. برای این منظور در ابتدا به کمک استخراج نقاط کنترلی حروف فارسی، برخی از عادت‌های نوشتاری نویسنده تشخیص داده شده، سپس دسته بندی مشخصی از نحوه نوشتن کلمات و اتصال حروف نویسنده به دست می‌آید. الگوریتم ساخت کلمات به کمک اتصال حروف، با استفاده از روش‌های تقریب توابع و درونیابی با درجه‌های مختلف و در گام‌های متوالی ارائه می‌گردد که استفاده از این روش در ساخت کلمات، برای هرچه طبیعی‌تر شدن کلمه ساخته شده و مشابهت به دستخط واقعی نویسنده مفید می‌باشد. نتایج ارزیابی کلمات و قطعات ساخته شده با این روش نشان می‌دهد که تقریباً میانگین ۸۰ درصد شباهت با دستخط واقعی نویسنده بدست آمده است.

کلید واژه‌ها

سنتز، دستخط‌های فارسی، اتصال حروف، نقاط کنترلی، درونیابی

سازی و یادگیری دستخط، انجام شده است. بخشی از مطالعات انجام شده نیز مربوط به دستخط‌های هندی، چینی، عربی و ژاپنی می‌باشد.

در روش‌های تولید نویسه‌های^۱ هندی، اکثراً از قلم‌های نوری و تبلت‌هایی استفاده می‌شود. یکی از مزایای تبلت‌ها این است که امکانات زیادی برای مدل سازی منحنی‌های دستخط، فراهم می‌کند [۱]. در ساخت نمونه به صورت برخط، می‌توان به دو روش شبیه سازی نوع حرکت قلم و چینش حروف کنار هم، اشاره کرد. یکی از ویژگی‌هایی که باید در سنتز دستخط لحاظ شود، طبیعی بودن آن است به طوری که کمترین تفاوت را با دستخط واقعی افراد داشته باشد. هر حرف می‌تواند به سه قسمت ابتدا، انتها و بدنه تقسیم شود. مدل‌هایی برای اتصال حروف به انتهای حرف

۱ مقدمه

سنتز دستخط، علم تولید دوباره دستخط افراد از دستخط‌های قبلی آن‌ها می‌باشد. دستخط‌ها، اغلب یک بعد شخصی به متن نوشته شده می‌دهند و تشخیص و تصدیق نویسنده نیز می‌تواند با روش‌های سنتز به گونه بهتری انجام شود. همچنین می‌توان با استفاده از سنتز دستخط، سیستم‌های غلط گیر املائی به صورت برخط و غیر برخط ایجاد کرد. در مورد سنتز دستخط فارسی تاکنون روش قابل توجهی ارائه نشده است و اکثر روش‌های موجود، برای زبان انگلیسی بوده و برای این دستخط‌ها، تحقیقاتی در زمینه مدل

این مقاله در خردادماه ۱۳۹۵ دریافت، در آبان‌ماه بازنگری و در همان ماه پذیرفته شد.

*دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان،

رایانامه: f_yaghmaee@semnan.ac.ir

¹ Character

عبارت‌اند از نحوه چسبیدن قلم، انحناها در نوشتن حروف، دامنه‌های زاویه دار و پهنای قلم. علاوه بر موارد مطرح شده، احتمال استفاده از یک حرف و یا یک شکل در دستخط نویسنده محاسبه شده است.

روش دیگری برای سنتز و تشخیص دستخط مطرح گردیده که در آن ویژگی‌های جدیدی از داده‌های آموزشی استخراج شده است مانند هیستوگرام گرادیان^۳ تصاویر نویسه‌های موجود [۱۳]. در این روش یک جفت از کاراکترهای آموزشی انتخاب می‌شوند و از نظر شباهت‌ها و تفاوت‌های ساختاری مورد بررسی قرار می‌گیرند و سپس با هم ترکیب شده و یک نویسه جدید را تولید می‌کنند.

الگوریتم‌هایی نیز مطرح شده‌اند که از ساخت مدل برای نویسه‌های موجود استفاده می‌کنند و از این طریق سنتز دستخط را انجام می‌دهند. به عنوان نمونه الگوریتم [۱۴] در دو فاز عمل می‌کند، در فاز اول یک مدل قابل تغییر چند بعدی از نویسه‌های موجود هر نویسنده ساخته می‌شود. سپس با محاسبه احتمال انحنا تعیین می‌گردد که اتصال نویسه‌ها به چه صورت باشد.

جهت ارزیابی الگوریتم‌های سنتز دستخط انگلیسی، مرجع [۱۵] مطرح شده است. به طور کلی ارزیابی سنتز دستخط به دو دسته کمی^۴ و کیفی^۵ تقسیم بندی می‌شود که در حالت کیفی نظرات اشخاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالت کمی، پارامترهای مختلفی چون نرخ بازبازی کلمه^۶ یا نرخ تشخیص نویسنده^۷ و یا میزان شباهت با مدل مرجع^۸ در نظر گرفته می‌شود.

اکثر روش‌های مطرح شده در حوزه دستخط فارسی، مربوط به شناسایی دستخط و مخصوصاً اعداد دستخط بوده است [۱۶] و [۱۷]. برای نمونه، الگوریتمی برای تشخیص اعداد دست‌نویس بیان شده است که از روش RF^۹ و نیز CNN^{۱۰} برای شناسایی استفاده می‌کند [۱۶]. برای این منظور ابتدا بر روی تصویر ورودی، پیش‌پردازش^{۱۱} انجام شده که شامل بخش مقیاس‌گذاری^{۱۲} و نیز قسمت اضافه کردن^{۱۳} می‌باشد. سپس در بخش استخراج ویژگی، خصوصیات بلوک‌های تصویر و نیز هیستوگرام گرادیان استخراج شده است. در نهایت دسته‌بندی‌های مختلفی چون RF و KNN برای دسته‌بندی مورد استفاده قرار گرفته است.

یکی از تحقیقاتی که در زمینه شناسایی دستخط فارسی مطرح شده، از تبدیل دو بعدی موجک^{۱۴} استفاده کرده است [۱۸]. در این روش، با استفاده از تبدیل موجک، ویژگی‌های تصویر دستخط، استخراج شده و بر این اساس، سگمنت^{۱۵} کردن تصویر انجام می‌

قبلی، با استفاده از به کارگیری روش‌های اتصال در زبان انگلیسی مطرح شده است [۲].

همچنین تحلیل‌های ریاضی و هندسی می‌تواند برای یادگیری تولید دستخط‌ها کمک کننده باشد [۳]. روش‌هایی بر پایه تولید سلسله مراتبی نیز به وجود آمده است که ابتدا یک کاراکتر را انتخاب کرده و برای موقعیت اتصال آن، تصمیم‌گیری می‌کند. برخی الگوریتم‌ها نیز بر پایه تولید فونت‌های شخصی به صورت اسکریپت‌ها به وجود آمده است. این روش‌ها از یک پایگاه داده از حروف و از یک روش ژئومتریک برای تولید دستخط استفاده می‌کند. مهمترین چالش در سنتز و ساخت دستخط، ناخوانا بودن و یا عدم تشابه به دستخط واقعی است [۴].

برای ایجاد دستخط‌های متفاوت، باید به گزینه‌های توزیع فشار و زاویه دستخط و شکل اتصال حروف در ابتدا و انتهای آنها و حروف و کلمات و فاصله آنها و ... اشاره کرد. عامل فشار، فقط با تبت اندازه‌گیری می‌شود، به طوری که در محاسبه آن، سرعت نویسنده ثابت فرض شده است [۲]. روش‌هایی نیز بر پایه یافتن کمترین تعداد حروف در نقاط مشخص، یعنی قطعی‌ترین آنها به وجود آمده است که در آنها ضریب تکرار یا فرکانس حروف، ذخیره سازی شده و نویسنده عمل نوشتن را در یک تبت انجام می‌دهد [۴]. یکی از مباحث مهم در این حوزه، تحقیقات بر پایه قلم و طراحی رابط‌های کاربری، بر اساس قلم نوشتاری می‌باشد [۵].

اکثر الگوریتم‌های سنتز بر دو روش بازسازی و استفاده از تکه‌های قبلی تأکید دارد [۶]. الگوریتم‌های دیگر، بر این اساس عمل می‌کنند که ابتدا حروف یک کلمه جدا شده و در یک خط پیکسلی در خط زمینه قرار می‌گیرند و سپس به هم متصل می‌شوند. روش‌های سنتز دستخط، در سه نوع مختلف طبقه بندی می‌شوند که عبارت‌اند از بر پایه مدل، بر پایه آشفستگی دستخط و بر پایه مثال [۷]. مطالعات زیادی روی سیستم‌های فرکتالی^۱ در زبان انگلیسی انجام شده است. در این روش‌ها قسمت‌هایی از تصویر باید به تصویر دیگر نگاشت شود. دامنه و نرخ کیفیت فشرده سازی، به تعداد انتقالات انجام شده و کیفیت تصویر بستگی دارد. همسان شدن زیر تصاویر در این روش‌ها به تعیین یک مقدار مناسب برای ضریب همبستگی وابسته است [۸].

در [۹] سعی شده با استفاده از تحلیل فرکتالی در دستخط‌های فارسی، بعد فرکتالی تصاویر دستخط را با روش شمارش جعبه‌ها محاسبه کرده و با بررسی ۵۰ نویسنده و روش دسته بندی KNN بهبودی را در تشخیص و تأیید نویسنده حاصل کند. مرجع [۱۰] در دو گام اساسی به تحلیل نویسه‌های عربی و تشخیص آنها می‌پردازد. ابتدا محدوده کلمات را تعیین کرده و سپس با اعمال ۵ گام اصلی روش‌های OCR^۲ به تشخیص نویسه‌ها و محدوده آنها می‌پردازد. Bulacu به چند نکته اساسی از رفتارهای نوشتاری، برای تأیید و تصدیق نویسنده تأکید می‌کند [۱۱] و [۱۲]. این نکات

³ Histogram of Gradient

⁴ Objective

⁵ Subjective

⁶ Word Retrieval rates

⁷ Writer Identification rates

⁸ Resemblance with a reference model

⁹ Random Forest

¹⁰ Convolutional Neural Network

¹¹ Preprocessing

¹² Scaling stage

¹³ Padding stage

¹⁴ 2-D Wavelet

¹⁵ Segment

¹ Fractal

² Optical Character Recognition

موجود، Glyph استخراج می‌شود، منظور از Glyph یک نماد نمایش دهنده‌ی یک حرف یا ترکیبی از دو یا چند حرف می‌باشد. برای ساخت فونت مورد نظر، نیاز به ترکیب دو یا چند Glyph استخراج شده است که در این ترکیب، عملیاتی از قبیل تنظیم خط زمینه، قرار دادن نقطه در محل مورد نظر و انجام شده می‌شود.

در این روش، به منظور چگونگی استخراج Glyph یک الگوریتم یادگیری مورد نیاز می‌باشد به طوری که تعداد داده‌های آموزشی اندکی، برای یادگیری لازم است. برای نمونه در آزمایشات این مقاله، تعداد ۸ نویسنده از ۵۲ نویسنده برای مرحله آموزش مورد استفاده قرار گرفته است.

در این مقاله از روش‌های درون‌یابی برای سنتز کلمات به کمک اتصال تصویر نویسه‌های قبلی کاربر، استفاده می‌گردد. اساس کار به این صورت است که در ابتدا، نمونه‌هایی از تصاویر دست‌نوشته شخص، برای نویسه‌های مختلف داریم. به کمک این نمونه‌های موجود از کلمات شخص، می‌توان نحوه اتصال نویسه‌های مختلف در حالات متفاوت را به کمک روش‌های آماری یاد گرفت. به این ترتیب با توجه به عادت‌های نوشتاری شخص، عملاً نحوه اتصال نویسه‌ها، مشخص شده و اتصال ایجاد می‌شود. البته مشکلات و پس پردازش‌های^۴ بسیاری برای طبیعی جلوه کردن این دستخط لازم است که در بخش‌های بعد به صورت کامل، به این مسأله پرداخته می‌شود. دقت تشابه حدود ۸۰ درصد از دید کاربران انسانی است که معیار خوبی برای نمایش موفقیت روش پیشنهادی است.

ساختار مقاله به شرح زیر است: ابتدا در بخش دوم به ویژگی‌های مربوط به دستخط فارسی پرداخته می‌شود، سپس در بخش سوم نقاط مهم و کنترلی در کلمات فارسی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم روش پیشنهادی برای تخمین نحوه اتصال حروف بیان شده است. بخش پنجم به چگونگی ساخت کلمه بر اساس روش پیشنهادی می‌پردازد. در بخش ششم نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی آورده شده است و در بخش هفتم چالش‌های پیش رو بیان شده است. در نهایت بخش هشتم به جمع بندی مطالب ارائه شده، اختصاص دارد.

۲ - ویژگی دستخط فارسی

دستخط‌ها دارای دو نوع خصیصه عمومی و خصوصی می‌باشند، مشخصات عمومی، ویژگی‌هایی از دستخط هستند که به شکل کلی دستخط و زوایای آن مربوط می‌شود. این مشخصات عبارت‌اند از طول خطوط اصلی، زاویه خطوط اصلی، فاصله بین خطوط اصلی و چپش از سمت راست و چپ و [۱۲]. مشخصات خصوصی یک دستخط، ویژگی‌های مربوط به حروف و کلمات آن دستخط می‌باشند، این ویژگی‌ها عبارت‌اند از میزان چسبندگی،

شود. برای این منظور، تصویر به بلوک‌های مستطیلی غیر هم-پوشان^۱ تقسیم می‌گردد. سپس از الگوریتم KNN استفاده شده تا تا بر اساس تحلیل داده‌های آموزشی، دسته بندی داده تست صورت گیرد یا به عبارت دیگر نویسنده دستخط جدید داده شده، شناسایی شود.

در مرجع [۱۹] روشی برای تشخیص نویسنده ارائه شده است به طوری که در آن از فیلتر گابور و نیز مدل اصلاح شده آن Xgabor به منظور استخراج ویژگی‌ها استفاده می‌شود. سپس ویژگی‌های استخراج شده به صورت فازی در ۵ دسته مختلف، طبقه‌بندی شده و توابع عضویت مناسب برای آنها تعریف می‌گردد. این روش منحصراً برای زبان فارسی قابل استفاده است. الگوریتم دیگری مشابه [۱۹] برای زبان عربی مطرح شده است که از تبدیل موجک، برای تشخیص استفاده می‌کند [۲۰].

روش دیگری که در حوزه شناسایی دستخط فارسی و عربی مطرح گردیده است از یک الگوریتم سریع و با دقت بالا برای تشخیص استفاده می‌کند. این روش به صورت غیر برخط بوده و به نویسنده وابسته می‌باشد و بر اساس یافتن و تنظیم^۲ کانتور زیر-کلمات عمل می‌کند. به طوری که شباهت دو زیرکلمه از میزان همخوانی کانتورهای تنظیم شده آنها بدست می‌آید [۲۱].

در حوزه ایجاد فونت اختصاصی، تحقیقاتی صورت گرفته است که اکثراً مربوط به زبان‌های غیر فارسی می‌باشد، برای مثال در مورد زبان چینی و ژاپنی مطالعات قابل توجهی انجام شده است [۲۲] و [۲۳]. برای نمونه در [۲۲] یک الگوریتم سریع و آسان برای ساخت فونت مربوط به زبان چینی مطرح گردیده است، به طوری که در این روش، یک واسط کاربری تحت وب، برای ذخیره دستخط ورودی طراحی شده است، از روی دستخط موجود، مولفه‌های مورد نظر جدا می‌گردند و از ترکیب این مولفه‌ها، فونت مورد نظر ساخته می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که به دلیل تعداد زیاد کاراکترها در زبان چینی نسبت به سایر زبان‌ها، ساخت فونت برای این زبان، فرآیند پیچیده و زمان‌بری می‌باشد.

در مورد زبان انگلیسی نیز مطالعاتی صورت گرفته است، برای مثال در الگوریتمی برای تولید فونت انگلیسی مطرح گردیده است که شامل دو فاز تعریف فونت و ایجاد آن می‌باشد. در این روش از الگوریتم ژنتیک تعاملی^۳ برای ایجاد فونت استفاده شده است، به طوری که ارزیابی نتیجه به صورت تعاملی از کاربران پرسیده می‌شود [۲۴].

در مورد زبان فارسی، طبق بررسی‌های ما کار چندانی صورت نگرفته است. تنها روش قابل ذکر در این زمینه، الگوریتمی برای ایجاد فونت اختصاصی مربوط به زبان فارسی و عربی می‌باشد [۲۵] که ویژگی اصلی آن، تعداد محدود کلمات مورد نیاز از دستخط یک کاربر است، به طوری که در ابتدا، بر اساس کلمات

¹ Non-Overlap

² Alignment

³ Interactive

⁴ Post Processing

حالت‌های اتصال، قسمت یا قطعه افقی حرف که روی خط زمینه قرار می‌گیرد، قطعه اصلی شرکت کننده در فرآیند اتصال است. به طور مثال حرف "ب" شامل یک قسمت افقی می‌باشد که در اکثر دستخط‌ها این قسمت افقی، روی خط زمینه بوده و شرکت کننده اصلی در فرآیند اتصال است. حروف عمودی به حروفی گفته می‌شود که در یکی از حالت‌های اتصال، قسمت یا قطعه عمودی این حرف، قطعه اصلی شرکت کننده در فرآیند اتصال می‌باشد و قطعه-ای از آن حرف که روی خط زمینه قرار می‌گیرد، در اتصال تأثیر چندانی ندارد. به طور مثال حرف "ط" شامل یک قسمت عمودی می‌باشد که در اکثر دستخط‌ها این قسمت، شرکت کننده اصلی در فرآیند اتصال از سمت چپ این حرف است. ذکر این نکته ضروری است که دسته بندی حروف فارسی در این مقاله بدون در نظر گرفتن نقاط می‌باشد. جدول ۱ انواع حروف در زبان فارسی و نحوه اتصالات آنها را نمایش می‌دهد.

طول کاراکترها، کشیدگی، فاصله بین حروف، جهت حروف و که در شناخت عادات نوشتاری مفید واقع می‌شوند.

۲-۱ مشخصات حروف فارسی

ماهیت حروف فارسی دارای ویژگی‌هایی می‌باشد که اساس تفاوت آن با حروف انگلیسی، اتصال حروف و استفاده از نقاط در زبان فارسی است. اکثر حروف فارسی می‌توانند به صورت اتصال از جلو، اتصال از عقب، اتصال از طرفین و یا بدون اتصال با سایر حروف ظاهر شوند. به طور مثال حرف "ب" از چند نوع اتصال شامل "ب"، "ب" و "ب" و "ب" تشکیل شده است. از بین حروف زبان فارسی، می‌توان حرف‌هایی را پیدا کرد که با جابه جایی یا اضافه و کم کردن نقاط، حروف دیگری ساخته شود، مانند حروف "ب" و "پ" و "ت" و

همچنین مشخصه دیگر حروف فارسی افقی یا عمودی بودن آنها می‌باشد. حروف افقی به حروفی گفته می‌شود که در یکی از

جدول ۱ انواع حروف فارسی

خوشه	نوع	تنها	ابتدایی	میانی	انتهایی	تنها	ابتدایی	میانی	انتهایی
۱	عمودی در اتصال راست					ا	ا	ا	ا
۲	افقی	پ	پ	چ	سپ	ب	ب	ب	ب
۲	افقی	ث	ث	ث	ث	ت	ت	ت	ت
۳	افقی	چ	چ	چ	چ	ج	ج	ج	ج
۳	افقی	خ	خ	خ	خ	ح	ح	ح	ح
۴	افقی	ذ	ذ	ذ	ذ	د	د	د	د
۵	افقی	ز	ز	ز	ز	ر	ر	ر	ر
۵	افقی					ژ	ژ	ژ	ژ
۶	افقی	ش	ش	ش	ش	س	س	س	س
۷	افقی	ض	ض	ض	ض	ص	ص	ص	ص
۸	عمودی در اتصال چپ	ظ	ظ	ظ	ظ	ط	ط	ط	ط
۹	افقی	غ	غ	غ	غ	ع	ع	ع	ع
۱۰	افقی	ق	ق	ق	ق	ف	ف	ف	ف
۱۱	عمودی در اتصال راست	گ	گ	گ	گ	ک	ک	ک	ک
۱۲	عمودی در اتصال راست					ل	ل	ل	ل
۱۳	افقی					م	م	م	م
۱۴	افقی	ی	ی	ی	ی	ن	ن	ن	ن
۱۵	افقی					و	و	و	و
۱۶	افقی					ه	ه	ه	ه

"ل"، چسبان انتهایی مانند "ل" و حالت بدون اتصال "ل" می‌باشد. برای تولید یک حرف با توجه به متن موجود، باید برای هر کدام از این مدل‌های حروف در مجموعه داده‌ها، جستجو داشته باشیم. برای پنبج حرف "د"، "ر"، "ز"، "ژ" و نیز "و"، نمی‌توان برخی از حالت‌های اتصال را در نظر گرفت.

انواع اتصالات بین حروف فارسی را می‌توان به سه دسته اتصالات دنداندار، کششی و ساده تقسیم بندی کرد. اتصالات دنداندار اتصالاتی هستند که در آنها یک حرف در اتصال با یک

۲-۲ انواع اتصالات حروف فارسی

هر یک از حروف فارسی می‌تواند به حالت‌های مختلف و به شکل خاصی ظاهر شوند. برای نمونه در میان کلمه یا در انتهای کلمه و یا در ابتدای آن بیاید. برای دسته بندی مکان حروف در جایگاه‌های مختلف می‌توان آنها را به چهار دسته چسبان ابتدایی، چسبان میانی، چسبان انتهایی و حالت بدون اتصال تقسیم کرد. به طور مثال حرف ل به شکل‌های چسبان ابتدایی "ل"، چسبان میانی مانند

جدول ۲ آمده است. شماره‌های قید شده در جدول ۲، همان شماره نویسه‌های مشخص شده در جدول ۱ می‌باشد که برای سهولت نگارش به جای نام نویسه‌ها فقط شماره آنها آمده است.

۳- نقاط کنترلی پیشنهادی

برای ساخت دستخط مشابه با دستخط شخص و همچنین خوانایی آن، باید بتوان لبه‌های حروف و کشیدگی یا انحنا آنها را هماهنگ کرد. نقاط کنترلی برای یک حرف، نقاطی هستند که روی یک حرف در نظر گرفته می‌شوند که شکل یک حرف را به صورت یک گراف، مدل می‌کنند. نقاط کنترلی در بیشینه‌های محلی بدنه حروف قرار می‌گیرند. در مجموعه داده‌های ما، کلیه حروف و اتصالات مختلف آنها قرار دارند، ولی برای خواناتر شدن و شباهت بیشتر به دستخط واقعی فرد نویسنده، باید اتصال نقاط کنترلی به صورت اتصالات واقعی باشند.

برای استخراج نقاط کنترلی یک اتصال، از ابتدای آن اتصال شروع می‌کنیم و سپس در مسیر پیکسل‌های مشکی آن اتصال یا حرف، ادامه می‌دهیم و نقاطی که در آن، اختلاف y ها نسبت به اختلاف x ها بیشتر از یک حد آستانه باشند را یک نقطه کنترلی در نظر می‌گیریم. به طور کلی یک حرف را می‌توان با مجموعه‌ای از نقاط کنترلی بیان کرد.

حرف دیگر با انحنایی با زاویه آلفا به سمت بالا حرکت می‌کند. در واقع یک شکاف بین دو حرف به صورت عدد ۸ ایجاد می‌شود. نوع اتصال بعدی اتصالات کششی است که در آنها دو حرف یک قطعه خط تقریباً افقی را به صورت مشترک می‌سازند. برای مثال کلمه "کم" را در نظر بگیرید، در بین حروف این کلمه یک قسمت مشترک وجود دارد که می‌توان آن را برای هر کدام از این دو حرف، به حساب آورد.

دسته بندی دیگری برای انواع اتصالات حروف در زبان فارسی می‌تواند به صورت اتصال حروف افقی به حروف افقی، اتصال حروف افقی به حروف عمودی، اتصال حروف عمودی به حروف افقی و اتصال حروف عمودی به حروف عمودی باشد. در جدول ۱ خوشه بندی از حروف فارسی مشخص شده است که ما برای هر خوشه، نماینده‌ای انتخاب می‌کنیم. در حالت کلی، تعداد ۱۲۰ حالت برای اتصال حروف افقی به حروف افقی وجود دارد. همچنین ۳۰ حالت برای اتصال حروف افقی به حروف عمودی وجود دارد. برای اتصال حروف عمودی به حروف عمودی به حالت وجود داشته و در نهایت برای اتصال حروف عمودی به حروف افقی ۱۳ حالت ممکن است. البته در نظر داشتن این نکته ضروری است که اتصال برخی حروف غیرقابل اتصال مانند "د" در قسمت راست اتصال در محاسبه حالات بیان شده در نظر گرفته نشده است. انواع جایگشت‌های مختلف در حروف زبان فارسی در

جدول ۲ انواع اتصالات

انواع اتصال (راست به چپ)	جایگشت‌های مختلف خوشه‌های حروف جدول ۱
افقی به افقی	$[2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16] < [2 3 6 7 9 10 11 12 13 14 15 16]$
افقی به عمودی	$[1 11 12] < [2 3 6 7 9 10 11 12 13 14 15 16]$
عمودی به افقی	$[2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 14 15 16] < [8]$
عمودی به عمودی	$[1 11 12] < [8]$

بالایی و نقاط کنترلی پایینی به صورت مجزا، نمایش داده شده است.



شکل ۱ نقاط کنترلی لبه‌ای و غیر لبه‌ای

همچنین دسته‌بندی دیگر نقاط کنترلی، بر اساس مکان اتصال است که به دو دسته نقاط کنترلی مرزی و غیر مرزی تقسیم می‌شود. محدوده نقاط کنترلی مرزی حد فاصل انتهای سمت چپ و یا راست جعبه‌های حروف تا دندان‌ها و یا لبه‌های حروف می‌باشد. نقاط کنترلی مرزی نقاطی هستند که مستقیماً در اتصال شرکت دارند. به طور معمول این نقاط

۱-۳ انواع نقاط کنترلی

نقاط کنترلی از لحاظ شکل حروف به دو دسته نقاط لبه‌ای و غیر لبه‌ای تقسیم می‌شوند. نقاط لبه‌ای نقاطی هستند که به طور قطعی در لبه‌های حروف واقع‌اند. دسته دیگر نقاط کنترلی، نقاط کنترلی غیر لبه‌ای هستند که در داخل بدنه حروف و یا بدنه اصلی اتصال برخی از حروف فارسی به یکدیگر قرار دارند. برای مثال اتصال حرف "ب" به "و" را در نظر بگیرید. در این اتصال، بدنه اتصال و نقاط کنترلی غیر لبه‌ای در مرکز ثقل اتصال قرار دارد و قبل از تشکیل بدنه اصلی اتصال، ابتدا یک خط منحنی از بدنه حرف سمت راست به حرف "و" رسم می‌شود که این انحنا نیز جزء عادات نوشتاری نویسنده می‌باشد. معمولاً این نقاط کنترلی غیر لبه‌ای در اتصالات حرف های "و"، "ف" و "ق" دیده می‌شوند. شکل ۱ این نقاط کنترلی و منحنی گذرنده از آنها را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۱ می‌توان دید، منحنی گذرنده برای نقاط کنترلی

در دستخط یک نویسنده می‌پردازیم. برای بدست آوردن این انحنا باید از درون‌یابی با درجات مختلف استفاده کنیم. درون‌یابی یا تقریب منحنی گذرنده از نقاط موجود در بدنه اصلی دو حرف کاندید اتصال، برای تشخیص میزان انحنای اتصال دو حرف قابل استفاده است. واضح است که با درون‌یابی با درجات پایین، میزان خطای تقریب اتصال زیاد بوده و نمی‌توان انحنای دقیق و واقعی را بدست آورد.

برای بررسی درون‌یابی مناسب، در ابتدا روش خود را با درون‌یابی درجه یک آغاز می‌کنیم. اگر منحنی حاصل از این درون‌یابی، روی لبه‌های حروف شرکت کننده در اتصال باشد، معادله بدست آمده از درون‌یابی را ذخیره می‌کنیم. در غیر این صورت تشخیص می‌دهیم که درون‌یابی مناسب نبوده و برای ایجاد منحنی بهتر، باید درجه درون‌یابی را افزایش دهیم و همین کار را تکرار کنیم. ممکن است اتصال نقاط کنترلی بالایی با یک درون‌یابی با درجه خاص تقریب زده شود و نقاط کنترلی محدوده پایین اتصال، با درجه بیشتر یا کمتری درون‌یابی شوند.

مشاهده می‌شود که در معادلات درون‌یابی، با افزایش درجه درون‌یابی از درجه‌ای خاص به بعد، تابع تقریب زده شده تغییری نمی‌کند و بهترین منحنی که می‌توان از این نقاط، درون‌یابی کرد، تابع چندجمله‌ای با درجه ۲ می‌باشد. همچنین از سایر روش‌های تقریب منحنی مانند نمایی و یا لگاریتمی نیز می‌توان استفاده کرد. لازم است این نکته در نظر گرفته شود که تقریب چندجمله‌ای در این اتصالات، از دقت بالاتری برخوردار است. در اینجا پارامترهای متغیر، تعداد نقاط کنترلی مرزی و درجه درون‌یابی می‌باشد.

در نهایت در چند نمونه، برای دسته بندی‌های خاص که در جدول ۱ مطرح شده‌اند، معادلات تقریب را بدست می‌آوریم. پس از استخراج معادلات تقریب، اگرچه ممکن است درجه معادلات درون‌یابی شده یکسان شود، اما مطمئناً ضرایب متغیر این معادلات، برای همه نمونه‌های اتصال آن دو دسته حروف، یکسان نمی‌باشد. بنابراین برای تشخیص و مطمئن شدن از عادت‌های نوشتاری، باید میزان خطای ضرایب این معادلات، مقدار کمینه و ثابتی داشته باشند. اگر مقدار اختلاف ضرایب، عددی کمینه و ثابت باشد، می‌توان نتیجه گرفت که شخص تقریباً همه اتصالات آن دسته از حروف را با انحنای ثابتی رسم می‌کند.

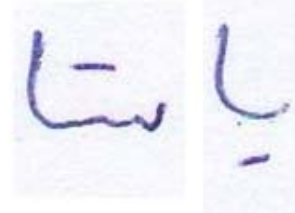
اگر درجه اتصال یک حرف با حروف دیگر با دسته‌بندی معین، از ابتدا مشخص باشد و یا ضرایب تقریبی میانگین معادلات درون‌یابی تشخیص داده شود، می‌توانیم برای اتصالات جدید که فاصله بین دو حرف شرکت کننده در اتصال به طور دقیق مشخص نیست، از معادله میانگین استفاده کنیم.

به عبارت دیگر اگر بتوانیم برای هر شخص در دسته‌بندی اتصالات حروف، یک میانگین ضرایب در یک درجه خاص درون‌یابی بیابیم، در این صورت می‌توانیم از این معادله میانگین برای اتصالاتی که تاکنون ندیده‌ایم، استفاده کنیم و با مقدار خطای قابل قبول، معادله تقریبی با ضرایب تقریباً درست از اتصالات جدید را

اختلاف ارتفاع زیادتری نسبت به اولین نقطه کنترلی حرف سمت چپ خود دارند. در واقع می‌توان گفت مرز اتصال در همان نقطه واقع است. علت انتخاب این نقاط به عنوان نقاط مرزی این است که نقاط کنترلی غیر مرزی در روی دندانها و یا داخل حروف در فرآیند اتصال دخالتی ندارند و نباید از نقاط آنها اتصالی انجام شود. به طور مثال نمی‌توان از وسط دندانها حرف "س" به ابتدای حرف "ت" اتصالی انجام شود. بر این اساس می‌توان گفت هرچه نقاط کنترلی یک حرف بیشتر باشد، تأثیر آن حرف در اتصال بیشتر نمایان خواهد شد و شکل انتها و ابتدای حروف، تعیین کننده شکل اتصال می‌باشد.

۴- روش پیشنهادی برای تخمین نحوه اتصال

به طور کلی می‌توان گفت که هر نویسنده در هنگام نوشتن متن، قلم را به صورت خاص و با زاویه و فشار مشخص و تقریباً منحصر به فرد در دست می‌گیرد. این نوع چسبیدن قلم باعث به وجود آمدن نوعی رفتار نوشتاری خاص می‌شود که این رفتار و یا عادت در حروف مختلف با قطعات داخلی مشابه از طرف نویسنده، تکرار می‌شود. به عبارت دیگر، عادت‌های نوشتاری شخص، همان مسیر حرکت قلم و فشار قلم برای نوشتن حروف است که در حروف مشابه، این رفتار یکسان است. بنابراین این رفتار موجب به وجود آمدن برخی اتصالات، کشش‌ها، لبه‌ها و فاصله‌ها و ... با زیر قطعات یکسان و شکل‌های مشابه، می‌شود. در شکل ۲ تشابه قطعه "یا" و "تا" به وضوح مشخص است.



شکل ۲ تشابه دو قطعه

با دقت بیشتر در دستخط این شخص متوجه می‌شویم در دستخط این نویسنده، شکل نوشتاری یا عادت نوشتاری این قطعه، تقریباً در همه موارد به همین شکل می‌باشد. فقط در برخی موارد به علت وجود نویز و عوامل محیطی دیگر، ممکن تغییراتی در دستخط ایجاد شود.

برای یافتن این عادت‌ها در یک دستخط، باید میزان انحناها و کشش‌ها، به صورت کامل بررسی شده و مورد تحلیل قرار گیرد. برای تحلیل این شکل‌ها و شناسایی این انحناها و کشش‌ها، در این مقاله، روش استخراج نقاط کنترلی معرفی می‌شود که با استفاده از این روش، نقاط لبه‌ای اصلی سازنده یک انحنا یا کشش قلم در اتصال دو حرف، استخراج شده و سپس معادله گذرنده از آن با استفاده از درون‌یابی با درجه‌های مختلف، به دست می‌آید.

برای تشخیص پارامترهای عادت نوشتاری نویسنده با استفاده از استخراج نقاط کنترلی، به بررسی میزان انحنای اتصالات حروف

معادله گذرنده از نقاط کنترلی استخراج شده در محدوده مرزی بالایی اتصال حرف "ض" به "ل" با درون‌یابی درجه ۲ به صورت رابطه ۱ می باشد:

$$E_1 = -0.0680x^2 + 4.9220x - 8.2304 \quad (1)$$

معادله گذرنده از نقاط کنترلی استخراج شده در محدوده مرزی پایینی اتصال حرف "ض" به "ل" با درون‌یابی درجه ۲ با استفاده از رابطه ۲ قابل نمایش است:

$$E_2 = -0.0567x^2 + 3.1918x - 7.8123 \quad (2)$$

بدست آوریم. در شکل ۳ قطعه "ضا" مربوط به دستخط نویسنده اول قابل مشاهده است. همچنین معادله گذرنده از نقاط کنترلی استخراج شده در محدوده مرزی بالایی در رابطه ۱ و محدوده مرزی پایینی در رابطه ۲ آمده است. همچنین در جدول ۳ چند نمونه دیگر از دستخط نویسنده اول، مربوط به اتصالات با دسته-بندی حروف افقی به عمودی به همراه معادلات بدست آمده، آورده شده است.



شکل ۳ منحنی اتصال

جدول ۳ شکل های اتصال حروف مشابه و معادلات محدوده های بالایی و پایینی

$E_3 = -0.0625x^2 + 3.6726x + 6.8095$	
$E_4 = -0.0670x^2 + 3.8929x + 7.0748$	
$E_5 = -0.1149x^2 + 5.4426x + 13.4426$	
$E_6 = -0.1030x^2 + 4.6277x + 28.1676$	
$E_7 = -0.0631x^2 + 2.8910x + 28.0317$	
$E_8 = -0.0705x^2 + 2.3181x + 30.8874$	
$E_9 = -0.0887x^2 + 4.1804x + 6.8561$	
$E_{10} = -0.0824x^2 + 3.1934x + 4.8901$	
$E_{AVG-UP} = -0.0781x^2 + 4.2217x + 9.3819$	میانگین معادلات محدوده بالایی اتصال
$E_{AVG-DOWN} = -0.0759x^2 + 3.4447x + 12.6415$	میانگین معادلات محدوده پایینی اتصال

جدول ۴ شکل های اتصال حروف مشابه و معادلات محدوده های بالایی و پایینی

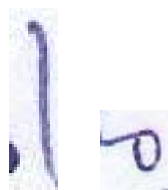
اتصال عمودی	اتصال افقی ۳ (زیر خط زمینه)	اتصال افقی ۲ (لبه)	اتصال افقی ۱ (حرف دایره ای)
$E_{AVG-UP} = -0.0902x^2$ $+ 3.0337x$ $+ 37.6571$	$E_{AVG-UP} = 0.0265x^2$ $- 2.4438x$ $+ 101.0669$	$E_{AVG-UP} = 0.1528x^2$ $- 9.835x$ $+ 217.2437$	$E_{AVG-UP} = -0.0605x^2$ $+ 3.7835x$ $- 2.4539$
$E_{AVG-DOWN} = -0.0426x^2$ $+ 1.5734x$ $+ 51.9379$	$E_{AVG-DOWN} = 0.0339x^2$ $- 3.1201x$ $+ 120.7114$	$E_{AVG-DOWN} = 0.1567x^2$ $- 9.7709x$ $+ 216.9267$	$E_{AVG-DOWN} = 0.0704x^2$ $+ 4.1807x$ $- 3.1604$

شده پدیدار خواهد شد. در شکل ۴، حرف "م" و "ا" از قسمت دیگری از متن نویسنده جدا شده است.

۵- ساخت کلمه

برای تولید یک کلمه با حالت واقعی نویسنده، ابتدا فرض می‌کنیم یک پایگاه داده از جعبه‌هایی از حروف جداگانه، با انواع اتصالات که در بالا ذکر شدند، وجود دارد. این جعبه‌ها با استفاده از مکان-یابی روی خط زمینه به یکدیگر متصل می‌شوند. ابتدا فرض کنید در دستخط نویسنده اول، قرار است دو کلمه "ما" و "تا" را بسازیم. ابتدا یک حرف "م" داریم که باید به حرف "ا" بچسبد. اگر اتصال این جعبه‌ها به همدیگر به صورت ساده باشد، نمی‌توان دستخطی مشابه با دستخط نویسنده تولید کرد. زیرا می‌دانیم که عادت نوشتاری نویسنده این است که حروف "م" کششی بلند چسبان جلو را با میزان b مقدار پیکسلی بالای خط زمینه خواهد نوشت.

بنابراین جعبه حرف "م" را باید با مقدار فاصله مناسب از خط زمینه در بالا قرار داد. مسأله‌ای که در اینجا ممکن است به وجود آید به هم خوردن نقاط اتصالی این دو جعبه از حروف خواهد بود، حتی در صورتی که یک مکان و نقطه مناسب در بالای خط زمینه محاسبه شود، باز هم اختلافاتی بین دستخط واقعی و شبیه‌سازی



شکل ۴ اتصال م متفاوت با ا متفاوت

برای چسباندن یک حرف به یک قطعه دیگر، این نکته باید مد نظر قرار گرفته شود که اگر قطعات حروف به صورت هماهنگ با خط زمینه به همدیگر متصل نشوند، اتصال به صورت طبیعی برقرار نخواهد شد. برای مثال در شکل ۵ و ۶، اتصال قطعه "م" را در نظر بگیرید که در آن اگر قطعه "م" به قطعه "ا" به صورت معمولی متصل شود، به علت اختلاف ناچیز فاصله بین "م" و خط زمینه در حالت نمونه واقعی، اتصال به صورت طبیعی نمی‌باشد. البته این اختلاف، قابل حل است، به این صورت که می‌توان با چرخاندن حرف "م" این تفاوت زاویه با خط زمینه را از بین برد، اما این نکته باید در نظر گرفته شود که چرخاندن و بالا آوردن این

۵-۲-۱ گام اول: اتصال محدوده نقاط کنترلی بالای اتصال

این اتصال می‌تواند با محاسبه تعداد نقاط انتهایی جعبه حرف سمت راست، انتخاب شده و همچنین تعداد M نقطه از نقاط کنترلی مرزی از ابتدای جعبه حرف سمت چپ، انتخاب گردد. سپس لازم است برای N نقطه مشخص با مختصات تعیین شده، درونیابی با معادله منحنی میانگین (در رابطه ۳ و ۴ ذکر شده) انجام دهیم.



شکل ۸ درونیابی محدوده بالای اتصال

با استفاده از نقاط کنترلی استخراج شده از لبه‌های حروف و اعمال معادله درونیابی میانگین که در رابطه ۴ ذکر شد، نقاط شکاف بدست می‌آیند. از این طریق می‌توان محدوده حرکت قلم را در اتصال، شبیه‌سازی کرده و نقاط مجهول را بدست آورد. همانطور که در شکل ۸ مشخص است، اگر محدوده پایین منحنی شکاف اتصال، پر شود، اتصال، تقریباً شبیه به عادت نوشتاری نویسنده، سنتز شده است.

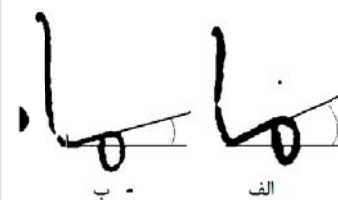
۵-۲-۲ گام دوم اتصال محدوده نقاط کنترلی پایین اتصال

همان‌طور که ذکر شد، ممکن است تعداد نقاط و درجه درونیابی برای محدوده نقاط کنترلی پایین، در مقایسه با نقاط کنترلی بالا، متفاوت باشد. اما این نکته باید در نظر گرفته شود که نباید اختلاف زیادی بین درجه‌های درونیابی نقاط کنترلی بالا و پایین اتصال و معادلات درونیابی میانگین یا همان عادت نوشتاری هر شخص، وجود داشته باشد. زیرا شکل حرکت قلم روی کاغذ به صورتی است که قسمت بالا و پایین اتصال، تقریباً شکل ثابتی دارند. بنابراین اگر معادلات بالا و پایین اتصال درجه‌های یکسانی نداشته باشند، می‌توان گفت نقاط کنترلی به درستی انتخاب نشده‌اند. به عبارت دیگر، برای اطمینان از اتصال صحیح، باید درجه درونیابی و یا حتی ضرایب متغیرها در معادلات بالا و پایین اتصال، یکسان بوده و تا حد ممکن با خطای کمینه باشند. این مساله که در شکل ۹ نمایش داده شده است به تأیید و تصدیق اتصال کمک می‌کند.

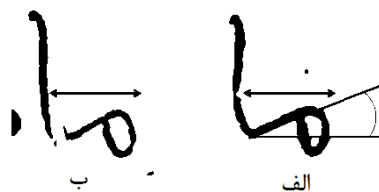


شکل ۹ درونیابی محدوده بالای و پایین اتصال

حرف، باعث دور شدن محل‌های اتصال یا همان نوک قلم‌های اتصال دو حرف و یا دو قطعه می‌شود. بنابراین نیاز به درونیابی و محاسبه محدوده اتصال می‌باشد. همچنین می‌توان گفت اتصال ساده جعبه‌ها امکان ندارد، زیرا فاصله کشش کوتاه از بدنه "الف" تا شروع "م" باعث غیر طبیعی شدن دستخط ساخته شده می‌شود.



شکل ۵ اختلاف زاویه با خط زمینه و مشابهت کم



شکل ۶ اختلاف فاصله افقی دو حرف و مشابهت کم

در شکل ۶ مشکل اختلاف زاویه با خط زمینه و اندازه کشش حرف "م" حل شده است، اما مشکل بزرگتری به وجود آمده است که اختلاف افقی ایجاد شده بین حرف اول و شروع حرف دوم است. بنابراین برای حل این مشکل، ابتدا برای محاسبه مکان و نحوه اتصال این جعبه‌ها، باید معادله اتصال دسته حروف یا همان شکل اتصال که عادت نوشتاری نویسنده است، با روش‌های گفته شده در بالا با استفاده از نقاط کنترلی محاسبه شود و سپس روی این اتصال اعمال شود. به عنوان نمونه، دستخط واقعی شخص و زیر کلمه "ما" در شکل ۷ نمایش داده می‌شود.



شکل ۷ دستخط اصلی نویسنده

همچنین معادله میانگین درونیابی اتصال این دسته حروف برای این نویسنده (نویسنده اول که نمونه‌های دستخط ایشان در جدول ۳ آمده است) در فرمول ۳ و ۴ قابل مشاهده است.

$$E_{AVG-UP} = -0.0781x^2 + 4.2217x + 9.3819 \quad (3)$$

$$E_{AVG-DOWN} = -0.0759x^2 + 3.4447x + 12.6415 \quad (4)$$

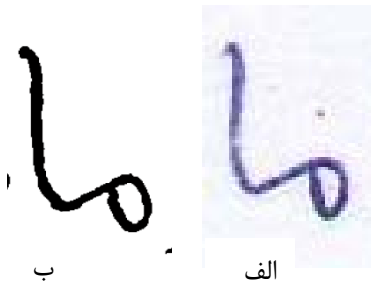
۵-۲-۲ گام‌های اتصال حروف

هر اتصال باید کاملاً طبیعی و مشابه با دستخط اصلی نویسنده باشد، بنابراین در این قسمت مقاله، گام‌های اتصال مطرح می‌شود. هر فرآیند اتصال شامل ۴ گام اصلی است:

۲-۲-۴ گام چهارم: محاسبه قطعات اضافی و نرم سازی اتصال

پس از محاسبه تقریب اتصال یا درون‌یابی نقاط کنترلی انتخاب شده در دو جعبه حروف، ممکن است بخش‌هایی از بدنه دو جعبه به علت خطای تقریب، خارج از تابع تقریب زده شده باشند. در این صورت، بخش‌هایی از نمودار منحنی که نقاط کنترلی بدنه حروف، در بالا و یا پایین آن واقع شده‌اند، به عنوان قطعات اضافی اتصال معرفی می‌شوند. همان‌طور که در بخش ۲-۳-۵ توضیح داده شد، این کار برای طبیعی‌تر بودن اتصال و به هم نخوردن حالت اولیه حروف می‌باشد.

لازم است بخش‌هایی از قطعات اضافی اتصال که در نزدیکی شکاف قرار دارند یا نقاط کنترلی بدنه حروف که در بالای منحنی تقریب زده شده واقع شده‌اند، از بین بروند. برای این کار، می‌توان از صیقل دادن لبه‌های محدوده اتصال استفاده کنیم. مرحله صیقل دادن، در گام چهارم و پس از اتمام سه گام اتصال مطرح شده، انجام می‌گردد. برای مثال در اتصال حرف "م" به "ا" مشاهده می‌شود که به علت شکل خاص حرف "م"، محل اتصال دارای ضخامت زیاد قلم می‌باشد، در حالی که این مسأله به عادات نوشتاری فرد نویسنده مربوط نمی‌باشد. بنابراین باید محل اتصال تا نرمال شدن ضخامت قلم، صیقل داده شود. شکل ۱۱ این هموارسازی را با استفاده از الگوی ابتدای حرف "م" و قسمت انتهای حرف "ا" نشان می‌دهد. این کار با استفاده از عملگر سایش که یک عملگر مورفولوژی است، صورت می‌گیرد.



شکل ۱۲ مقایسه دستخط واقعی و ساخته شده

۶- نتایج پیاده سازی

در این بخش، نمونه‌هایی را مطرح می‌کنیم و از روش پیشنهادی، برای تولید و اتصال حروف برای ساخت کلمات استفاده می‌نماییم. در شکل ۱۳ اتصال حرف "م" به "ا" برای نویسنده دیگری قابل مشاهده است. همان‌طور که در تصویر مشاهده می‌شود در اتصال شکل ۱۳ الف یک شکاف ایجاد شده است و کلمه شکل ۱۳ ب واقعی می‌باشد.

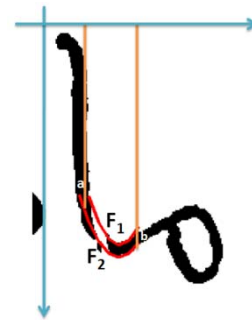
با توجه به شکل ۱۳ برای ساخت کلمه "ما" نیاز به درون‌یابی داریم که این کار با تقریب درون‌یابی درجه سه با رابطه معادله ۷ بدست می‌آید.

$$P_3 = 0.0002x^3 - 0.0429x^2 + 3.0868x + 24.5$$

(۷)

۲-۲-۳ گام سوم: محاسبه و پر کردن محدوده شکاف های ایجاد شده

محاسبه محدوده یا مساحت شکاف ایجاد شده، با مساحت زیر منحنی تابع تقریب زده شده، در بازه نقاط کنترلی مرزی، برابر می‌باشد. برای اتصال با دقت بالاتر، این نکته باید در نظر گرفته شود که اگر بدنه اصلی هر کدام از حروف، مقدار γ کمتری نسبت به منحنی داشته باشند، شکاف‌هایی به وجود می‌آید. به بیان دیگر، اگر نقاط کنترلی محاسبه شده در بدنه حروف از منحنی تقریب زده شده، پایین‌تر باشد، این شکاف‌ها ایجاد می‌شوند. در اتصال واقعی، باید شکل اصلی حروف حفظ شده و نیز بدنه حروف کمترین تغییرات را نسبت به شکل واقعی و دستخط اصلی نویسنده داشته باشد. برای محاسبه محدوده شکاف اتصال که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است، رابطه ۵ و ۶ برقرار می‌باشد.



شکل ۱۰ محدوده منحنی اتصال حرف "م" به حرف "ا"

$$S = \int_a^b F_2 - \int_a^b F_1 \quad (5)$$

برای اتصال قابل مشاهده در شکل ۱۰ مقدار محدوده شکاف اتصال با فرمول ۶ محاسبه می‌شود.

$$S = \int_a^b E_{AVG-DOWN} - \int_a^b E_{AVG-UP} \quad (6)$$

محدوده شکاف ایجاد شده با استفاده از نقاط کنترلی مرزی آن، به صورت یک چند ضلعی می‌باشد که برای پر کردن این شکاف با استفاده از الگوریتم‌های پر کردن نواحی چند ضلعی پیکسل‌های مشخص، محدوده چند ضلعی به رنگ مشکی در خواهد آمد.

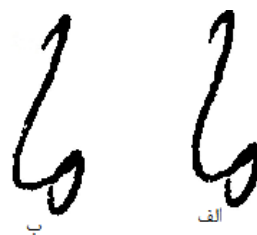


شکل ۱۱ چند ضلعی محدوده نقاط کنترلی

مقاله، آورده شده است و ستون ب دستخط واقعی نویسنده را نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است، کلمه ساخته شده شباهت بسیاری به دستخط نویسنده دارد. در ستون ج درجه شباهت بین کلمه ساخته شده و دستخط واقعی نویسنده آورده شده است. درجه شباهت از خیلی کم با نماد E تا خیلی زیاد با نماد A متغیر می‌باشد.

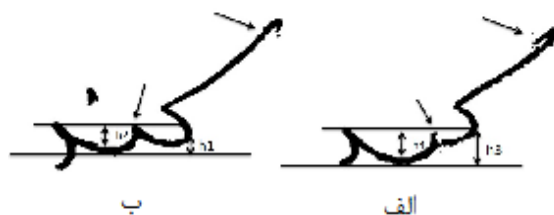
جدول ۵ نتایج ساخت کلمه به روش پیشنهادی الف: کلمه ساخته شده ب: دستخط واقعی نویسنده (A شباهت زیاد و E شباهت کم است)

درجه شباهت (از A تا E)	ب	الف
C		
B		
B		
A		
B		
B		
C		
B		



شکل ۱۳ اتصال حرف "م" به حرف "ا"

نمونه‌ای از ساخت یک کلمه سه حرفی در شکل ۱۴ قابل مشاهده است. در این حالت، تفکیک اجزای کلمه بر اساس حروف یا کلمات موجود مربوط به دستخط شخص نویسنده، مورد نیاز می‌باشد. در شکل ۱۴ قطعه "ند" برای ساخت کلمه "کند" به حرف "ک" اتصال پیدا می‌کند.



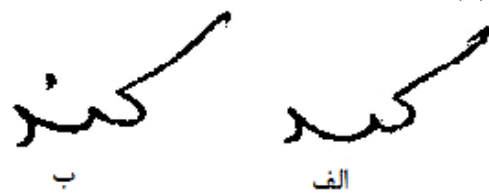
شکل ۱۴ اتصال حرف "ک" به قطعه "ند"

شکل ۱۴ ب دستخط واقعی نویسنده بوده و دستخط تولید شده در شکل ۱۴ الف با اتصال بدست آمده است. فواصل نشان داده شده در شکل و فلش‌های موجود، نشان دهنده تفاوت‌های ظاهری نسبتاً زیاد است. برای بدست آمدن حالت واقعی در این تصویر، باید در فرآیند اتصال، با در نظر گرفتن مشخصات خط زمینه نوشتار، تنظیم و هماهنگی صورت گیرد. قرار دادن حرف "ک" روی خط زمینه باعث دور شدن این حرف از محل اصلی اتصال می‌شود. به طور مثال در شکل ۱۴ رابطه ۸ برقرار است.

$$h_2 \approx h_4, h_3 \gg h_1 \quad (8)$$

همان طور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، در پایان فرآیند اتصال و پس از عملیات نرم سازی، کلمه ساخته شده با دستخط اصلی نویسنده که در تصویر ۱۵ ب موجود است، مشابه و قابل مقایسه می‌باشد. معادله محدوده بالایی اتصال در فرمول ۹ آمده است.

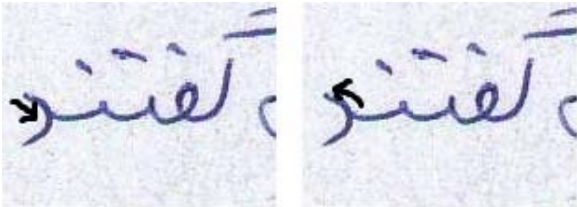
$$P_4 = 0.0320x^2 + 3.6524x - 66.2519 \quad (9)$$



شکل ۱۵ اتصال حرف "ک" به قطعه "ند"

در جدول ۵ بخشی از نتایج ساخت کلمه با روش مطرح شده قابل مشاهده است. در ستون الف کلمه ساخته شده با روش این

نکته دیگری که باید در اتصال حروف دسته افقی به حرف "و" و "ک" رعایت گردد این است که در اکثر دستخط‌ها، اتصال حرف قبلی و حرف "و" یا "ک" در میزان زاویه و یا انحنا چرخشی دایره این حروف مؤثر می‌باشد. به طوری که می‌توان از این انحنا نمونه برداری کرده و برای تشخیص درجه‌های درونیابی دستخط‌های مختلف، استفاده نمود. نکته جالب توجه این است که درجه درون‌یابی اتصال یک دسته حرف افقی مانند "ب" به "و" و اتصال همین دسته به حرف "ک" با درجه‌های درونیابی با میزان اختلاف ضرایب قابل قبول، یکسان است. مسأله دیگر، اتصال برخی حروف دسته افقی مانند "ب" با حروفی مانند "د" است. در این نوع اتصال، فرآیند اصلی اتصال با نوشته شدن تکه بالایی حرف "د" انجام می‌شود و تکه پایینی بعد از یک بار نوشته شدن قسمت اتصال و برگشت قلم روی تکه اول صورت می‌گیرد. بنابراین در لحظه نوشته شدن تکه پایینی، فرآیند اتصال تمام شده و تکه پایینی نقش مهمی در اتصال ایفاء نمی‌کند. در شکل ۱۸ نمونه‌ای از این اتصال قابل مشاهده است.



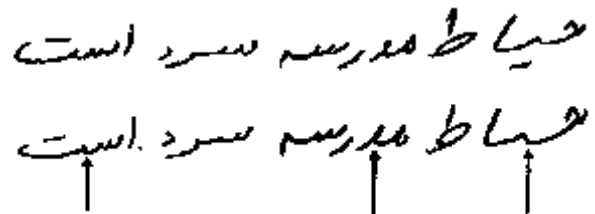
شکل ۱۸ مسیر حرکت رفت و برگشت قلم در اتصال حرف "ن" به "د" در کلمه "گفتند"

در نهایت برای بررسی کیفیت دستخط‌های ساخته شده، نتایج نظرسنجی از ۱۵ نفر جمع‌آوری شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، به طور متوسط حدود ۸۰ درصد شباهت با دستخط‌های واقعی وجود دارد. برای نمایش بخشی از نتایج به دست آمده، تعداد ۵ نویسنده را به صورت تصادفی انتخاب کرده و در جدول ۶ نتایج مربوط به آنها، آورده شده است. قطعات مربوط به هر نویسنده نیز به صورت تصادفی از بین نمونه‌های موجود از دستخط آنها انتخاب شده‌اند. برای ارزیابی نتایج به صورت کیفی، از تعداد ۱۰ نفر شخص عادی و تعداد ۵ نفر شخص آگاه به علم پردازش تصویر، پرسش نموده‌ایم. اعداد موجود در جدول، نمایان‌گر میزان یا درصد شباهت‌ها می‌باشد که اشخاص مختلف به صورت کیفی اعلام کرده‌اند.

برای ارزیابی میزان شباهت هر یک از قطعات موجود در جدول ۶ یک میانگین از نظرات افراد غیر آگاه به پردازش تصویر و یک میانگین از نظرات افراد آگاه به پردازش تصویر آورده شده است. در نهایت میانگین کل برای هر قطعه، نشان می‌دهد میزان شباهت قطعه مربوطه با دستخط واقعی نویسنده به صورت کلی چند درصد می‌باشد.

B	متن	متن
D	دست	دست
C	تا	تا
A	هر	هر
C	بفر	بفر

در ادامه در شکل ۱۶ ساخت یک جمله با روش مطرح شده، آورده شده است. در این جمله ۴ کلمه وجود دارد که اتصالات نشان داده شده در آن، از سایر جملات نویسنده مذکور، استخراج شده است. در شکل ۱۶ دستخط اول، دستخط اصلی نویسنده می‌باشد و دستخط دوم به روش ما ساخته شده است.



شکل ۱۶ ساخت جمله به روش پیشنهادی (دستخط اول دستخط نویسنده اصلی و دستخط دوم دستخط ساخته شده است)

۷- چالش‌های پیش رو

یکی از چالش‌هایی که در برخی از دستخط‌ها مشاهده می‌شود این است که اتصال برخی از دسته‌های حروف با یکدیگر به صورت قطعه‌های شکسته و خطوط شکسته است و هیچ منحنی گذرنده از آن نمی‌توان یافت. حرف "ر" از شکل ۱۷ را در نظر بگیرید.



شکل ۱۷ عدم وجود منحنی در اتصال حرف "ر" در کلمه "سیر"

جدول ۶ نتایج ارزیابی و نظر سنجی شباهت دستخط های ساخته شده با دستخط واقعی

افراد	نویسنده اول			نویسنده دوم			نویسنده سوم		نویسنده چهارم			نویسنده پنجم				
	ما	نا	تا	بفر	بیا	هی	یکی	متن	خو	سا	ست	کلا	خیلی	حیا	ها	
غیر آگاه به پردازش تصاویر	۱	۹۰	۸۰	۹۰	۷۰	۹۰	۹۵	۶۵	۹۵	۸۵	۹۰	۶۰	۷۰	۸۵	۹۵	۶۵
	۲	۸۵	۷۵	۸۰	۹۵	۹۵	۸۵	۷۵	۶۵	۷۵	۷۰	۳۵	۸۰	۹۵	۸۵	۸۵
	۳	۸۵	۸۵	۷۰	۸۰	۷۵	۸۵	۸۰	۸۵	۸۵	۷۰	۶۵	۹۵	۹۰	۹۵	۸۵
	۴	۸۰	۹۰	۶۰	۸۵	۷۰	۸۰	۸۰	۶۵	۸۵	۸۵	۸۰	۸۵	۹۵	۹۵	۸۰
	۵	۷۵	۸۰	۵۵	۷۰	۶۵	۷۰	۹۰	۹۵	۸۰	۱۰۰	۶۵	۶۰	۸۰	۹۵	۸۰
	۶	۸۰	۷۰	۶۰	۸۵	۹۵	۸۰	۸۵	۶۵	۸۵	۹۵	۸۵	۶۵	۸۰	۹۵	۹۵
	۷	۷۰	۶۰	۷۰	۸۰	۸۰	۷۰	۶۵	۸۵	۸۵	۹۵	۸۵	۶۰	۸۵	۱۰۰	۹۵
	۸	۶۰	۶۵	۸۰	۷۰	۵۵	۶۰	۷۵	۸۰	۷۰	۸۰	۶۰	۴۰	۶۵	۸۵	۶۵
	۹	۹۵	۸۵	۸۵	۸۰	۸۵	۹۵	۹۰	۹۵	۸۵	۹۵	۸۵	۸۰	۹۵	۱۰۰	۹۵
	۱۰	۸۵	۷۵	۷۰	۵۵	۷۵	۸۵	۹۰	۶۵	۸۵	۸۰	۸۵	۶۵	۹۵	۹۵	۸۰
میانگین	۸۰	۷۶	۷۲	۷۷	۷۸	۸۰	۷۹	۷۹	۸۲	۸۶	۷۰	۷۰	۸۶	۹۴	۸۲	
آگاه به پردازش تصاویر	۱	۸۰	۶۵	۶۵	۷۰	۸۵	۹۵	۸۰	۷۰	۸۰	۸۵	۵۵	۶۰	۶۵	۸۵	۸۵
	۲	۸۵	۷۰	۶۵	۶۵	۸۵	۹۰	۸۵	۷۰	۹۰	۸۵	۸۵	۵۰	۷۰	۱۰۰	۸۵
	۳	۶۵	۶۰	۸۰	۸۵	۱۰۰	۹۵	۷۰	۶۵	۷۰	۸۰	۶۵	۷۰	۸۵	۹۰	۷۰
	۴	۸۵	۸۰	۸۵	۶۵	۸۰	۸۰	۷۰	۵۵	۷۵	۷۵	۶۰	۷۰	۸۵	۸۵	۸۵
	۵	۷۰	۸۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۸۰	۸۰	۸۵	۷۰	۶۰	۸۵	۷۰	۹۰	۷۵
میانگین	۷۷	۷۱	۷۱	۷۱	۸۶	۹۰	۷۷	۶۸	۸۰	۷۹	۶۵	۶۷	۷۵	۸۹	۸۰	
میانگین کل	۷۸	۷۳	۷۱	۷۴	۸۲	۸۵	۷۸	۷۳	۸۱	۸۲	۶۷	۶۸	۸۰	۹۱	۸۱	

گفت برای بدست آوردن درصد شباهت هر یک از قطعه‌ها در جدول ۷ از تعداد ۸۱۰ رأی که حاصل ۱۵*۵۴ می‌باشد، میانگین گرفته شده است. درصد شباهت بدست آمده یا همان میانگین میانگین‌های شباهت، نشان می‌دهد قطعه ساخته شده تا چه اندازه با روش پیشنهادی ما قابل ساخته شدن می‌باشد.

۸- نتیجه گیری

در این مقاله روشی مطرح شده است که با استفاده از نمونه‌های موجود از دستخط یک فرد، کلمات جدید و مشابه با دستخط آن شخص، ساخته می‌شود. این موضوع علاوه بر کمک به مفهوم پردازش نوری نویسه‌ها، می‌تواند در تصدیق دستخط هم مورد استفاده قرار گیرد.

برای ساخت کلمات، در ابتدا نحوه استخراج نقاط کنترلی از روی حروف، مطرح شد و سپس روش‌هایی برای اتصال جعبه-های حروف که از پایگاه داده نویسنده استخراج شده است،

در جدول ۷ در سطر اول تعداد ۶ قطعه به عنوان نمونه، قابل مشاهده است و در سطر دوم، یک عدد به عنوان درصد شباهت آورده شده است.

جدول ۷ میانگین نتایج ارزیابی و نظر سنجی شباهت دستخط های ساخته شده با دستخط واقعی برای کلیه نویسندگان

قطعه	نا	هی	خو	سا	کلا	حیا
درصد	۷۰	۸۳	۸۰	۷۷	۶۷	۸۷

برای بدست آوردن درصد شباهت، مشابه جدول ۶ برای هر نویسنده، یک میانگین به عنوان شباهت قطعه ساخته شده با دستخط واقعی آن نویسنده، به دست می‌آوریم که در نتیجه ارزیابی ۱۵ نفر (۱۰ نفر غیر آگاه به پردازش تصویر و ۵ نفر آگاه به پردازش تصویر) حاصل شده است. سپس این کار را برای کلیه ۵۴ نویسنده انجام می‌دهیم و میانگین میانگین‌های شباهت بدست آمده را محاسبه می‌کنیم. به عبارت دیگر می‌توان

- [7] Zheng, Y., Doermann, D., "Handwriting Matching and Its Application to Handwriting Synthesis", ICDAR, 2005.
- [8] Vincent, N., Seropian, A., Stamon, J., "Synthesis for handwriting analysis", Pattern Recognition Letter, PP. 267-275, 2005.
- [9] Farshchi, M. R., Janati Fard, A., "A Novel Fractal Approach for Persian/Arabic identification Based on Handwriting Recognition", Journal of Computer Science, Vol. 7, 2011.
- [10] Abdullah, M., Alhrigry, L., Al-Fraidi, H., "Off line Arabic Handwriting Character Recognition Using Word Segmentation", Journal of Computing, Vol. 4, 2012.
- [11] Bulacu, M., Schomaker, L., Brink, A., "Text-Independent Writer Identification and verification on offline Arabic handwriting", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine intelligence, 2007.
- [12] Bulacu, M., Schomaker, L., "Text-Independent Writer Identification and Verification Using Textural and allographic features", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine intelligence, Vol. 29, 2007.
- [13] Visessenee, S., Marukatat, S., Kongkachandra, R., "Automatic training data synthesis for handwriting recognition using the structural crossing-over technique", International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIA), Vol. 5, No. 5, September 2014.
- [14] Chen, H., Lin, T. J., Jian, X. F., Shen, I. C., Chen, B. Y., "Data-driven Handwriting Synthesis in a Conjoined Manner", The Eurographics Association and John Wiley & Sons Ltd, 2015.
- [15] Elarian, Y., Abdel-Aal, R., Ahmad, I., Parvez, M., Zidouri, A., "Handwriting synthesis: classifications and techniques", International Journal on Document Analysis and Recognition (IJ DAR), Vol. 17, PP. 455-469, 2014.
- [16] Zamini. Y., Suri, Y., Rashidi, H., kasaei, S., "Persian Handwritten Digit Recognition by Random Forest and Convolutional Neural Networks", 9th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing, PP. 37-40, 2015.
- [17] Azad, R., Azad, B., Mogharreb, I., Jamali, S., "Classifier fusion method to recognize handwritten persian numerals", International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI), Vol. 3, No. 3, June 2014.
- [18] Borna, k., Hajhashemi, V., "A New Offline Persian Hand Writer Recognition based on 2D-Wavelet transforms", International Journal of Image, Graphics and Signal Processing, 2015.
- [19] Helli, B., Ebragimi Moghaddam, M., "A text-independent Persian Writer Identification based on Feature Relation Graph (FRG)", Pattern Recognition, Vol. 43, pp. 2199-2209, 2010.
- [20] Saad, S.M., "Application of fuzzy logic and genetic algorithm in biometric text-independent writer

معرفی گردید. در مرحله بعد، با استفاده از روش‌های تقریب توابع، منحنی‌های گذرنده از نقاط کنترلی حروف، بدست آمده و از این منحنی‌ها، برای ساخت اتصال مشابه با دستخط واقعی نویسنده، استفاده شده است. در نهایت پس‌پردازشهایی جهت بالا رفتن کیفیت دستخط پیشنهاد شد.

انتخاب تعداد نقاط کنترلی در هر جعبه برای اتصال، یک نکته بسیار مهم محسوب می‌شود، زیرا تعداد این نقاط و مکان آن‌ها، شکل اصلی منحنی تقریب را به وجود می‌آورد. همچنین در فرآیند سنتز دستخط، بحث عادات‌های نوشتاری هر شخص مطرح می‌باشد که بدین منظور، انحناها و کشش‌های قلم برای هر نویسنده بررسی شده و معادلات میانگین محدوده‌های بالا و پایین اتصال برای دستخط‌های موجود، محاسبه می‌شوند. در این مقاله، فرآیند اتصال به ۴ گام تقسیم‌بندی شده است که هریک از گام‌ها، قسمتی از عمل اتصال را انجام می‌دهند. همچنین روش کیفی نظرخواهی برای تشخیص میزان شباهت بین دستخط واقعی و دستخط ساخته شده، دقتی حدود ۸۰٪ را نشان می‌دهد.

به عنوان کارهای آینده، می‌توان معیارهای مشابهت دستخط-ها را با استفاده از میزان انحناها و کشش‌های قلم و یا ضخامت قلم در محل‌های اتصال بدست آورد. با استفاده از این معیار، می‌توان به صورت کمی، کیفیت دستخط ساخته شده را تشخیص دهیم.

مراجع

- [1] Jawahar, C. V., Balasubramanian, A., Meshesha, M., Namboodiri, A., "Retrieval of online handwriting by synthesis and matching", international institute of information technology, Vol. 42, PP. 1445-1457. , July 2009.
- [2] Lin, Z., Wan, L., "Style-preserving English handwriting synthesis", Pattern Recognition, Vol. 40, PP. 2097-2109. , July 2007.
- [3] Wang, J., Wu, C., Xu, Y., Shum, H., "Learning-based cursive handwriting synthesis", Frontiers in Handwriting Recognition, PP. 157-162, 2002.
- [4] Guyon, I., "handwriting synthesis from handwritten glyphs", Fifth International Workshop on Frontiers of Handwriting Recognition, 1996.
- [5] Hinckley, K., Baudisch, P., Ramos, G., Guimbretiere, F., "Design and analysis of delimiters for selection-action pen gesture phrases in scriboli", Proceedings of SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, PP. 451-460, 2005.
- [6] Wang, J., Wu, C., Xu, Y. Q., Shum, H. Y., "Combining shape and physical models for on-line cursive handwriting synthesis", IJDAR, PP. 219-227, 2005.



فرزین یغمایی کارشناسی ارشد و دکتری خود را به ترتیب در سال های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۸ در حوزه هوش مصنوعی از دانشگاه صنعتی شریف اخذ نمود. وی هم‌اکنون عضو هیات علمی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه سمنان است. زمینه تحقیقاتی مورد علاقه وی پردازش تصویر و ویدئو و ابزار تحلیلی زبان فارسی است.

Identification", IET Information Security, Vol. 5, No.1, pp.1-9, 2011.

- [21] Fouladi, k., Araabi, B., Kabir, E., "A fast and accurate contour-based method for writer-dependent offline handwritten Farsi/Arabic subwords recognition", International Journal on Document Analysis and Recognition (IJ DAR), Vol. 17, PP. 181-203, 2014.
- [22] Lin, J. W., Hong, C. Y., Chang, R. I., Wang, Y. C., "Complete Font Generation of Chinese Characters in Personal Handwriting Style", 2015 IEEE 34th International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC), 2015.
- [23] Shin, J., Suzuki, K.: "Interactive system for handwritten-style font generation. In: Proc. of the Fourth" IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT'04), PP. 94-100, 2004.
- [24] Yoshida, K., Naagawa, Y., Koppen, M., "Interactive genetic algorithm for font generation system", World Automation Congress (WAC), 2010.
- [25] Fouladi, k., Araabi, B., "Toward automatic development of handwritten personal Farsi/Arabic OpenType fonts", International Journal on Document Analysis and Recognition (IJ DAR), Vol. 18, PP. 249-262, 2015.