کاهش فضای جستجو در بازشناسی زیرواژگان تایپی فارسی با استفاده از موقعیت نقاط و علائم

اسماعیل میری، سیّد محمّد رضوی* و ناصر مهرشاد

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

چکیده

در این مقاله با استفاده از روشی ساده، اما کارا سعی شده دامنه جستجوی زیرواژگان به‌شدّت کاهش یابد. در گام آموزش، داده‌های آموزشی براساس موقعیت علائم گروه‌بندی می‌شوند، در گروه‌هایی که تعداد عناصر بیش از ده زیرواژه است، برای کاهش فضای جستجو با توجه به تعداد عناصر گروه، با استخراج ویژگی‌های ساده‌ای از پروفایل‌های افقی و عمودی خوشه‌بندی صورت می‌گیرد. در مرحلهٔ بازشناسی در نخستین مرحله با تعیین نسبت پهنا به ارتفاع زیرواژه (با علائم و بی‌علائم) و کد موقعیت نقاط و علائم، دامنهٔ جستجو به زیرواژگانی با این کد موقعیت که در محدوده‌ای از نسبت‌های یادشده باشند، محدود می‌شود؛ درصورتی‌که تعداد زیرواژگان محدودشده در این مرحله کمتر از ده باشد، این محدوده پذیرفته و در غیر این‌صورت در مرحلهٔ بعد با استخراج ویژگی‌های ساده‌ای از پروفایل‌های افقی و عمودی فضای جستجو به تعدادی از نزدیکترین خوشه‌ها به این زیرواژه که شرط نسبت پهنا به ارتفاع را نیز ارضا کنند محدود می‌شود. با اعمال روش پیشنهادی این مقاله فضای جستجو تا حد قابل قبولی کاهش یافته است.

واژگان کلیدی: بازشناسی، زیرواژگان تایپی فارسی، کاهش فضای جستجو، موقعیت نقاط و علائم

Search Space Reduction for Farsi Printed Subwords Recognition by Position of the Points and Signs

Esmail Miri, Seyyed Mohammad Razavi* & Nasser Mehrshad

Faculty of Electrical and computer Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

Abstract

In the field of the words recognition, three approaches of words isolation, the overall shape and combination of them are used. Most optical recognition methods recognize the word based on break the word into its letters and then recogniz them. This approach is faced some problems because of the letters isolation dificulties and its recognition accurcy in texts with a low image quality. Therefore, an approach based on none separating recognition could be useful in such cases.

In methods based on the overall shapes for subword recognition after extraction of subword features usually these features are searched in the image dictionary created in the training phase. Therefore, by considering that we are faced with massive amounts of classes, proposing ways to limit the scope of the search are the main challenges in the overall shape methods. Thus, the information of the overall shape usually is used to reduce the scope search in a hierarchical form.

In this paper, it is tried to reduce the search space of the subwords severely by using a simple and efficient method. In training phase, training data is grouped based on the location of the points and signs, in the groups where have more than 10 subwords, to reduce the search space, according to the number of elements in the group, by extracting the simple features of horizontal and vertical profiles clustering takes place. In

* Corresponding author

*نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

● تاریخ ارسال مقاله:۱۳۹۶/۸/۲ ● تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۲۹ ● تاریخ انتشار: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷ ● نوع مطالعه: پژوهشی

recognition phase, in the first step, by determining the width to height ratio of the subword (with signs and without signs) and the position code of the points and signs, the search scope is limited to subwords with this position code that are within the range of the ratios mentioned. This range would be accepted if the number of subwords in this phase is less than ten. Otherwise, in the next step, by extracting the simple features of the horizontal and vertical profiles of the subwords, the search space will be limited to a number of the closest clusters to this subword that also satisfies the width-to-height ratio. By using the proposed method of this paper, the search space has fallen to an acceptable level.

In this study, a database of 12700 subwords with five Lotus, Zar, Nazanin, Mitra and Yaghut fonts scanned 400 dpi was used. The four Lotus, Zar, Nazanin and Mitra fonts were used in the training phase and in the test phase, Yaghut font is used.

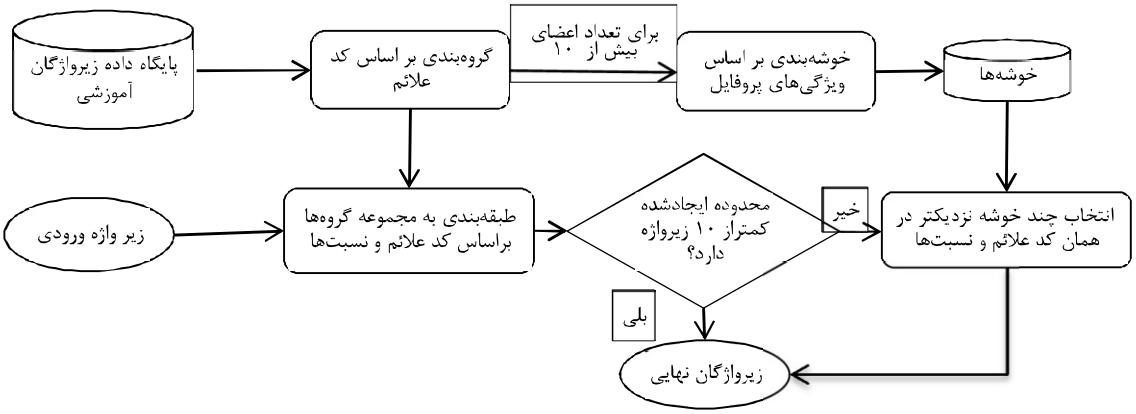
Keywords: Recognition, Farsi Typed Subwords, Search Space Reduction, Position of the Points and Symbols.

۱- مقدمه

امروزه به‌منظور ایجاد امکان ذخیره اسناد کتابخانه‌ها، موزه‌ها و بایگانی‌ها به‌صورت دیجیتالی و با قابلیت جستجو، روش‌های مختلف بازشناسی واژگان مورد توجه قرار گرفته‌اند. در زمینه بازشناسی واژگان سه رویکرد جداسازی واژگان، شکل‌کلی و ترکیبی از این دو استفاده شده است. واژگان در زبان فارسی از کنار هم قرارگرفتن حروف شکل می‌یابند که برخی از این حروف به هم می‌چسبند و برخی به‌صورت مجزا در ترکیب واژه حضور دارند. به قسمت‌های به‌هم چسبیده یک واژه زیرواژه گفته می‌شود. اکثر روش‌های بازشناسی نوری نویسه با شکستن واژه به حروف تشکیل‌دهنده آن و بازشناسی این حروف، واژه را بازشناسی می‌کنند. این رویکرد به‌دلیل مشکلات جداسازی حروف و بازشناسی دقیق آنها در متون با کیفیت تصویری پایین با مشکلاتی مواجه است؛ بنابراین رویکرد مبتنی بر بازشناسی بدون جداسازی در چنین مواردی کارساز خواهد بود. از طرفی پژوهش‌های روان‌شناسی زیادی در مورد نحوه قرائت انسان انجام شده است که یکی از نتایج این پژوهش‌ها این است که چشم انسان در زمان مطالعه یک خط متن، به‌طور پیوسته از راست به چپ حرکت نمی‌کند؛ بلکه به‌صورت گسسته از یک نقطه تمرکز به نقطه تمرکز دیگر جهش می‌کند. این پژوهش‌ها نشان داده زمان لازم برای بازشناسی یک کلمهٔ چهارحرفی برابر با زمان لازم برای بازشناسی یک حرف مجزا است. پژوهش‌های انجام‌شده بر اهمیت شکل کلی واژه در فرآیند بازشناسی تأکید کرده و با توجه به این موضوع برای به‌کارگیری ویژگی‌های تصویری در سطح واژه، روش‌هایی پیشنهاد شده است [1-3].

در روش‌های مبتنی بر شکل کلی، برای بازشناسی زیرواژه به‌طورعمومی پس از استخراج ویژگی‌های زیرواژه، این ویژگی‌ها در واژه‌نامه تصویری تشکیل‌شده در مرحله آموزش جستجو می‌شود؛ لذا با توجه به این‌که با حجم انبوهی از رده‌ها مواجه هستیم، ارائه روش‌هایی برای محدودکردن دامنهٔ این جستجو از چالش‌های اصلی موجود در روش‌های مبتنی بر شکل کلی است؛ ازاین‌رو اطلاعات شکل کلی به‌طورمعمول برای کاهش دامنهٔ جستجو در یک سامانهٔ سلسله‌مراتبی به‌کار می‌رود [4-6]. علاوه‌بر سامانه‌های بازشناسی، استفاده از اطلاعات شکل کلی واژه در بازیابی واژه میان مجموعه محدود واژگان، حجم پردازش را به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. همچنین، توصیف شکل کلی واژه، روشی کارآمد برای نشان‌کردن واژگان پرس و جو در تصاویر اسناد است [7-13]. کاهش فضای جستجو، علاوه‌بر کاهش حجم محاسبات مورد نیاز در مراحل بعد، دقت نهایی سامانه بازشناسی را نیز افزایش خواهد داد.

هدف از انجام این پژوهش ارائه یک روش ساده و در عین حال کارا جهت کاهش فضای جستجوی زیرواژگان فارسی است. در نخستین مرحله در گام آموزش زیرواژگان بر اساس کد موقعیت نقاط و علائم آنها گروه‌بندی می‌شوند؛ سپس در گروه‌هایی که تعداد اعضای آن بیش از ده زیرواژه است با استخراج ویژگی‌های ساده‌ای از پروفایل‌های افقی و عمودی با توجه به تعداد اعضا، خوشه‌بندی با این ویژگی‌ها صورت می‌گیرد. در گام بازشناسی در نخستین مرحله با تعیین نسبت پهنا به ارتفاع زیرواژه (با علائم و بی‌علائم) و کد موقعیت نقاط و علائم، دامنه جستجو به زیرواژگانی با این کد موقعیت که در محدوده‌ای از نسبت‌های یادشده باشند، محدود می‌شود. درصورتی‌که تعداد زیرواژگان محدودشده در این گام کمتر از ده باشد این محدوده پذیرفته می‌شود، در غیر این‌صورت در مرحله بعد با استخراج ویژگی‌های ساده‌ای از پروفایل‌های افقی و عمودی فضای جستجو به تعدادی از نزدیک‌ترین خوشه‌ها (مربوط به همان کد موقعیت نقاط) به این زیرواژه که شرط نسبت پهنا به ارتفاع را نیز ارضا کنند محدود می‌شود. شکل (۱) اجزای اصلی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.



(شکل- ۱): اجزای اصلی روش پیشنهادی

(Figure-1): The main components of the proposed process

پایگاه داده استفاده‌شده در این مقاله مجموعه ۱۲۷۰۰ زیرواژه رایج زبان فارسی [14] است که با پنج قلم لوتوس، زر، نازنین، میترا و یاقوت با اندازهٔ قلم چهارده نگارش و چاپ شده و با درجهٔ تفکیک چهارصد نقطه در اینچ روبش شده‌اند. در ادامه در بخش ۲ به مرور روش‌های موجود پرداخته و در بخش ۳ ساختار کلی سامانهٔ پیشنهادی ارائه می‌شود. ارزیابی روش پیشنهادی و نتایج در بخش ۴ آمده و در بخش ۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲- مروری برکارهای گذشته

پیوستگی حروف در برخی خطها و در بعضی از شیوه‌های نگارش، قطعه‌بندی شکل واژه را پیچیده‌تر می‌سازد و موجب می‌شود که پژوهش‌گران گرایش بیشتری به سمت روش‌های مبتنی بر شکل کلی داشته باشند. خطوط فارسی، عربی و همچنین دست‌نویس انگلیسی از این دسته هستند. پژوهش‌های متعددی درباره بازشناسی خطوط پیوسته انجام شده است [15].

در مرجع [16] روش‌های مختلف ارائه‌شده برای بازشناسی واژگان دست‌نویس با رویکرد مبتنی بر شکل کلی بررسی شده و مرجع [17] به مرور روش‌های بازشناسی واژگان عربی با هر دو رویکرد مبتنی بر قطعه‌بندی و مبتنی برشکل کلی پرداخته است.

پژوهش [18] یک استراتژی دومرحله‌ای برای حذف نامزدهای غیر شبیه قبل از بازشناسی واژگان دست‌نویس عربی برای افزایش سرعت بازشناسی ارائه داده است. اصول این روش شامل استخراج نقاط و زیرواژه‌ها از تصویر واژه پیوستهٔ عربی برای توصیف شکل آن است. در نخستین قدم از کاهش فضای جستجو، تعداد زیرواژگان واژه ورودی تخمین زده می‌شود؛ سپس در دومین مرحله از اطلاعات نقاط در نامزدهای مرحله قبل استفاده می‌شود. نتایج روی پایگاه داده IFN/ENIT که شامل ۲۶۴۵۹ تصویر زیرواژه است، کاهش ۹۲/۵ درصدی فضای جستجو با دقت ۷۴٪ را نشان می‌دهد.

پژوهش [19] یک روش کاهش فضای جستجو برای اسناد تاریخی عربی را ارائه می‌دهد که تصویر زیرواژه ورودی را با مدخل‌های لغت‌نامه مقایسه کرده و موارد با بیشترین تشابه را انتخاب می‌کند. در مقایسه تصاویر زیرواژگان، اهمیت بیشتری به مناطق شاخص شکل داده می‌شود، مناطق شاخص مناطق محلی از زیرواژه تعریف می‌شود که آن را از سایر زیرواژگان لغت‌نامه متفاوت می‌کند. در این روش ابتدا یک معیار مبتنی بر بازیابی برای محاسبه نمره تمایز برای هر منطقه محلی اعمال می‌شود که نشان می‌دهد که آن ناحیه از شکل چقدر شاخص است. این نمرات در اندازه فاصله تعریف‌شده برای تعدیل وزن‌های ویژگی‌های شکل مربوطه استفاده می‌شود؛ به‌طوریکه که مناطق با تمایز بیشتر، وزن بیشتری را به خود اختصاص می‌دهند. یک مرحله کاهش فضای ویژگی مبتنی بر ویژگی‌های کلی‌نگر مکان مشخصه به‌منظور تکمیل این توصیف‌گر محلی استفاده شده است. با روش پیشنهادی در پایگاه داده ابن‌سینا، حاوی بیش از دوازده‌هزار زیرواژه استخراج‌شده از یک سند تاریخی عربی، میزان کاهش ۹۸/۱۵٪ با دقت ۹۰/۱۵٪ به‌دست آمده است.

پژوهش [20] یک روش بازشناسی واژگان دست‌نویس فارسی مبتنی بر کاهش فضای جستجو ارائه داده است. در این روش پس از استخراج ویژگی، واژگان در فرهنگ لغت خوشه‌بندی می‌شوند. میانگین هر خوشه در فضای ویژگی به‌عنوان نماینده خوشه و مدخل مشترک اعضای آن خوشه در فرهنگ لغت در نظر گرفته می‌شود. در این روش روی مجموعه داده ایرانشهر در مرحله بازشناسی با انتخاب پنج خوشه نزدیک‌تر به واژه مورد آزمون با دقت ۹۳/۳۷٪ حدود ۷۶/۶۵٪ کاهش فضای جستجو را شاهد هستیم.

در پژوهش‌ها و کارهای انجام‌گرفتهٔ قبلی درخصوص زیرواژگان تایپی فارسی به طرق مختلف در جهت کاهش دامنه جستجو تلاش شده است. مرجع [21] از تخمین توصیف‌گر سازگار با شکل زیرواژه جهت کاهش فضای جستجو استفاده کرده است. روش پیشنهادی به این ترتیب است که ویژگی‌های مکان مشخصه، ناحیه‌بندی و تبدیل فوریه به‌عنوان سه ویژگی مناسب جهت بازشناسی زیرواژگان فارسی انتخاب شده‌اند. در مرحله آموزش، یک شبکهٔ عصبی جهت تشخیص توصیف‌کننده مناسب از بین سه توصیف‌کنندهٔ انتخاب‌شده آموزش می‌بیند. در مرحله آزمایش، ابتدا شبکهٔ عصبی آموزش‌دیده ویژگی توصیف‌گر مناسب جهت زیرواژه ورودی را تخمین می‌زند، سپس بر اساس این ویژگی تعدادی از نزدیک‌ترین زیرواژگان به زیرواژه ورودی به‌عنوان فضای جستجوی کاهش یافته انتخاب می‌شوند.

ابراهیمی برای کاهش دامنهٔ جستجو ابتدا زیرواژگان پایگاه داده را که از قلم‌ها و اندازه‌های متفاوت بودند با ویژگی‌های مکان مشخصه به سیصد خوشه تقسیم کرد [4]. در مرحله طبقه‌بندی، زیرواژه ورودی با مرکز خوشه‌های یادشده مقایسه شده و نزدیک‌ترین خوشه‌ها با استفاده از ویژگی‌های توصیف‌گرهای فوریه مورد جستجو قرار می‌گیرند.

در پژوهش دیگری *داودی* از خوشه‌بندی با ویژگی‌های سراسری و افزایش میزان اطمینان به خوشه انتخابی براساس ویژگی‌های محلی شکل جهت کاهش تعداد خوشه‌های انتخابی و در نتیجه کاهش بیشتر فضای جستجو استفاده کرده است [22].

در پژوهش دیگری *فتحی* از حروف شاخص برای کاهش دامنه جستجو بهره برده است [23]. در این پژوهش حروف شاخص نخست و آخر زیرواژه بدون جداسازی شناسایی و در مرحله طبقه‌بندی زیرواژه ورودی تنها در زیرواژگانی که دارای این حروف شاخص‌اند جستجو می‌شود.

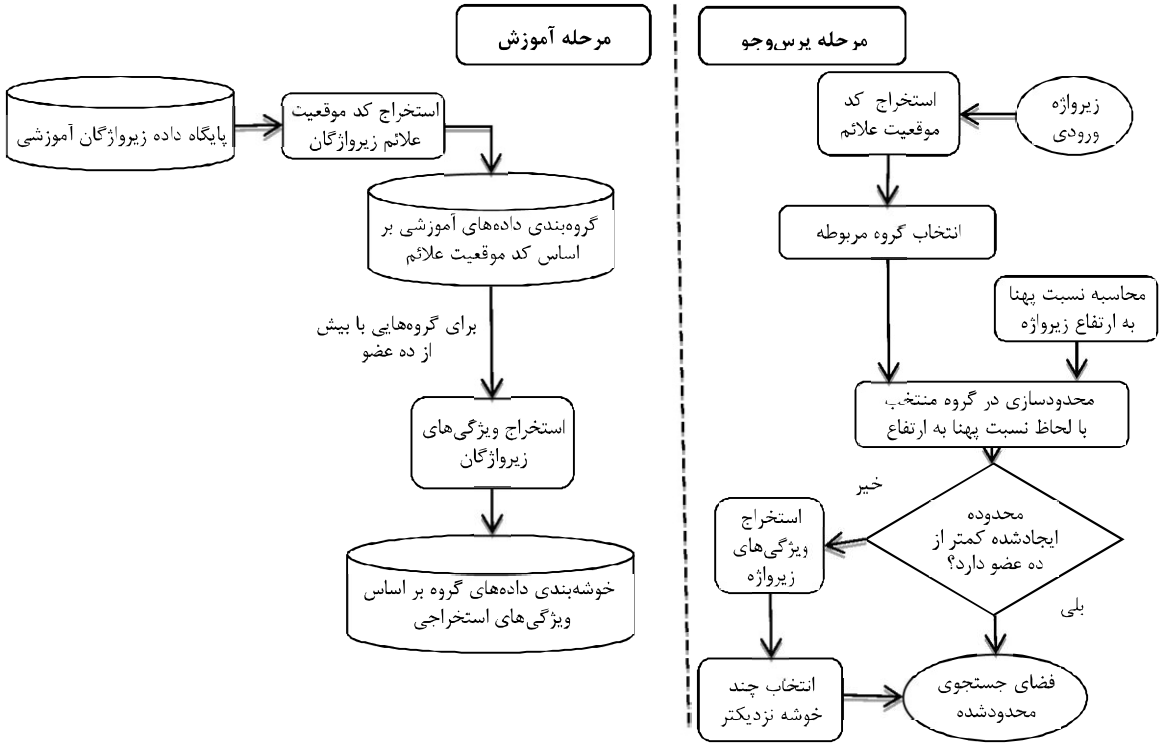
در پژوهش دیگری *علی‌بیگی* از کد نقاط به این منظور استفاده کرده است [24]. در این پژوهش در مرحله طبقه‌بندی زیرواژه ورودی تنها در بین زیرواژگانی که دارای کد نقاط مشابه هستند جستجو می‌شود؛ لذا دامنه جستجو به‌شدّت کاهش می‌یابد.

در پژوهش دیگری *میری* از خوشه‌بندی، کد موقعیت علائم و نسبت پهنا به ارتفاع زیرواژگان برای محدودسازی فضای جستجو استفاده کرده است [25]. در این پژوهش در نخستین مرحله با استخراج ویژگی‌های ساده‌ای از پروفایل‌های افقی و عمودی، فضای جستجو به تعدادی از خوشه‌های منتخب محدود شده است. در دومین مرحله با تعیین نسبت پهنا به ارتفاع زیرواژه، دامنهٔ جستجو به زیرواژگانی با محدوده‌ای از این نسبت محدود شده است. درمرحله سوم با توجه به موقعیت علائم تنها زیرواژه‌هایی مورد جستجو قرار می‌گیرند که موقعیت علائم آنها با زیرواژه ورودی یکسان باشند. با اعمال روش پیشنهادی فضای جستجو تا حد قابل قبولی کاهش یافته است.

۳- ساختار کلی روش پیشنهادی

ساختار روش پیشنهادی در شکل (۲) دیده می‌شود. در این پژوهش از پایگاه دادهٔ این‌گونه استفاده شده که از چهار قلم لوتوس، زر، نازنین، میترا برای آموزش و قلم یاقوت در مرحله آزمایش استفاده شده است.

در گام آموزش ابتدا پایگاه داده زیرواژگان آموزشی بر اساس کد موقعیت علائم گروه‌بندی می‌شوند؛ سپس برای گروه‌هایی که بیش از ده عضو داشته باشند، ویژگی‌های ساده‌ای از پروفایل‌های افقی و عمودی استخراج شده و با توجه به تعداد اعضا (به‌ازای هر ده عضو یک خوشه) خوشه‌بندی با استفاده از این ویژگی‌ها صورت می‌گیرد. در گام بازشناسی، کاهش فضای جستجو در چند مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله نخست کد موقعیت علائم زیرواژه ورودی و نسبت پهنا به ارتفاع (با علائم و بدون علائم) آن استخراج می‌شود. با توجه به کد موقعیت علائم استخراجی، فضای جستجو به محدوده‌ای از زیرواژگان که کد موقعیت علائم یکسان دارند، محدود می‌شود (گروه مربوطه) در مرحله بعد با توجه به نسبت پهنا به ارتفاع زیرواژهٔ ورودی، فضای جستجو در گروه مربوطه به زیرواژگانی که نسبت پهنا به ارتفاع (با علائم و بدون علائم) در محدوده مشخص داشته باشند، محدود می‌شود. در این مرحله اگر فضای جستجوی ایجادشده حاوی کمتر از ده زیرواژه باشد، محدودسازی پایان یافته است؛ در غیر آن صورت با استخراج ویژگی‌های پروفایل‌های افقی و عمودی با سنجش فاصله این ویژگی‌ها از مراکز خوشه‌ها، تعدادی از خوشه‌های نزدیک انتخاب و اعضای این خوشه‌ها با لحاظ محدودیت نسبت پهنا به ارتفاع (با علائم و بدون علائم) به‌عنوان محدوده مورد نظر انتخاب می‌شوند. در ادامه هرکدام از مراحل یادشده تشریح شده است.



(شکل-۲): ساختار روش پیشنهادی

(Figure-2): The structure of the proposed method

۱-۳- کد موقعیت علائم زیرواژه

در کارهای انجام‌شدهٔ قبلی از جمله در [4] و [23] و [24] از کد علائم زیرواژه در مراحل مختلف کار استفاده شده که در نوشتار با اندازه قلم کوچک و دقت تفکیک پایین منجر به خطای بالایی می‌شود؛ لذا در این مقاله برای حل این مشکل از کد موقعیت علائم جهت محدودسازی فضای جستجو استفاده شده است. جدول (۱) چند نمونه زیرواژه با علائم مختلف را نشان می‌دهد. برخی از خواص علائم که از این جدول قابل استنباط است عبارتند از:

۱. به‌طورتقریبی در تمام قلم‌ها با عنایت به شکل خاص سه نقطه تشخیص و ترکیب آن در نخستین قدم به ذهن متبادر می‌شود.
۲. دو نقطه مربوط به یک حرف در بیش‌تر قلم‌ها به هم چسبیده است؛ اما با توجه به نسبت پهنا به ارتفاع از یک نقطه قابل شناسایی است.
۳. فاصله دو نقطهٔ مربوط به یک حرف، به‌مراتب کمتر از دو نقطهٔ مربوط به دو حرف است.
۴. در دو حرف علامت‌دار کنار هم موقعیت عمودی مرکز علامت در بیش‌تر قلم‌ها متفاوت است.
۵. گاهی زیر یا رو بودن علامت تنها با داشتن خط زمینه قابل تشخیص نیست (گچ).
۶. اگرچه فاصله علائم، تابعی از اندازهٔ قلم است، اما این فاصله‌ها در قلم‌های مختلف متفاوت است.

(جدول-۱): موقعیت علائم در چند زیرواژه نمونه

(Table-1): The position of the syboles in a few sample subwords

قلم / نمونه	میترا	نازنین	لوتوس	زر	یاقوت
ثثت	ثثت	ثثت	ثثت	ثثت	ثثت
ثثت	ثثت	ثثت	ثثت	ثثت	ثثت
ثنت	ثنت	ثنت	ثنت	ثنت	ثنت
تنت	تنت	تنت	تنت	تنت	تنت
تتت	تتت	تتت	تتت	تتت	تتت
گچ	گچ	گچ	گچ	گچ	گچ

با لحاظ خواص قیدشده و با روش سعی و خطا درنهایت در جهت ایجاد قواعد یکنواخت برای استخراج کد علائم از پنج قلم مورد نظر مقاله، مراحل زیر طراحی شد:

مراحل استخراج کد علائم عبارتند از:

۱. برچسب‌زنی به اجزای زیرواژه و جداسازی بدنه زیرواژه (بزرگ‌ترین جز)
۲. استخراج پهنای قلم (پرتکرارترین ضخامت موجود در بدنه زیرواژه)
۳. ترکیب نقاط مربوط به یک حرف

در این راستا ابتدا علائم زیرواژه از راست به چپ مرتب می‌شوند؛ سپس نخستین علامت با علامت سمت چپ آن (درصورت وجود) در شروط زیر بررسی می‌شود:

أ. اگر فاصله افقی مرکز دو علامت کمتر از دو برابر پهنای قلم است.

ب. اگر فاصله عمودی لبه‌های دو علامت کمتر از ۱/۷ برابر پهنای قلم است.

درصورت برآورده‌شدن هم‌زمان شرایط بالا دو علامت با هم ترکیب‌شده و به‌عنوان یک علامت لحاظ می‌شوند و بار دیگر مراحل بالا با جزء ترکیبی تکرار و همین مراحل برای سایر علائم به‌ترتیب اجرا می‌شود. پس از تکمیل این فرایند، اجزای مربوط به سه‌نقطه و تعدادی از دونقطه‌ها ترکیب می‌شوند.

در مرحله بعد اجزای ترکیب‌شدهٔ قبلی کنار گذاشته می‌شوند و آنهایی را که مانده‌اند، در شرایط زیر بررسی می‌کنیم: بر آورده‌شدن این شرایط به‌صورت هم‌زمان باعث خواهد شد دونقطه‌های مجزای مربوط به یک حرف که در مرحله قبل ترکیب نشده‌اند، با هم ترکیب شوند:

أ. اگر فاصلهٔ عمودی مرکز دو نقطه کمتر از یک‌سوم پهنای قلم است؛

ب.اگر فاصلهٔ افقی لبه‌های دو نقطه کمتر از ۱/۵ برابر پهنای قلم است؛

ت.اگر نسبت نسبت‌های پهنا به ارتفاع دوجزئی که شرایط بالا را دارند، کمتر از ۱/۶ برابر است (این شرط باعث خواهد شد که یک نقطه با دو نقطهٔ به‌هم چسبیدهٔ حرف مجاور ترکیب نشود)؛

ث.اگر نسبت مساحت دو جزء بین ۰/۵تا ۲ است (این شرط از ترکیب همزه و نقطه مجاور جلوگیری می‌کند).

۴. تعیین موقعیت علائم

برای تعیین بالا یا پایین‌بودن علامت اگر مختصات گوشه چپ بالای چارچوب بدنه را $X_{b\min}$ و $Y_{b\min}$ و مختصات گوشه راست پایینی چارچوب بدنه را $X_{b\max}$ و $Y_{b\max}$ در نظر بگیریم و برای مختصات مربوط به علامت از $X_{c\min}$ ، $Y_{c\min}$، $X_{c\max}$ و $Y_{c\max}$ استفاده کنیم، مختصات مرکز چارچوب علامت عبارت خواهد بود از:

$$Y_{cmean}=\left(\frac{Y_{c\min}+Y_{c\max}}{2}\right) \text{ و } X_{cmean}=\left(\frac{X_{c\min}+X_{c\max}}{2}\right)$$

اگر $X_{b\min}\le X_{cmean}\le X_{b\max}$ باشد از مرکز چارچوب علامت به سمت بالا حرکت می‌کنیم اگر به بدنه زیرواژه برخوردکردیم؛ موقعیت علامت را پایین در نظر می‌گیریم در غیر آن صورت موقعیت علامت بالا در نظر گرفته می‌شود.

اگر $X_{cmean}\succ X_{b\max}$ از نقطه‌ای به مختصات $(X_{b\max},Y_{cmean})$ به سمت بالا حرکت می‌کنیم، اگر به بدنه برخورد کردیم، موقعیت علامت پایین و در غیر این‌صورت موقعیت علامت بالا در نظر گرفته می‌شود.

اگر $X_{cmean}\prec X_{b\min}$ از نقطه‌ای به مختصات $(X_{b\min},Y_{cmean})$ به سمت بالا حرکت می‌کنیم، اگر به بدنه برخورد کردیم، موقعیت علامت پایین و در غیر این‌صورت موقعیت علامت بالا در نظر گرفته می‌شود.

در مرحله بعد به هر زیرواژه یک کد موقعیت علائم اختصاص می‌یابد. گفتنی است که در تشخیص نوع علامت امکان خطای زیادی وجود دارد؛ ولی در تعیین موقعیت علامت با الگوریتم استفاده‌شده تنها ممکن است، خطاهای نادری ناشی از کیفیت پایین روبش تصاویر اتفاق بیفتد.

۵. اختصاص کد (تعیین گروه)

روش اختصاص کد به زیرواژگان به این ترتیب است که زیرواژه مورد نظر از راست به چپ مورد بررسی قرار می‌گیرد. در هر حرف اگر یکی از علائم (یک‌نقطه، دونقطه (ترکیب‌شده)، سه‌نقطه (ترکیب‌شده)، سرکش، مد، تشدید، همزه) در بالای بدنه قرار گرفته باشد به آن حرف کد یک اختصاص می‌یابد و درصورتی‌که هر یک از علائم در زیربدنه قرار گرفته باشد به آن کد دو تعلق می‌گیرد. در غیر آن صورت کدی به آن حرف تعلق نمی‌گیرد و درنهایت از کنار هم قرارگرفتن کد حروف از چپ به راست، کد زیرواژه به‌دست می‌آید. به زیرواژه‌ای که فاقد هرگونه علامت در پایین و بالا باشد کد صفر اختصاص می‌یابد. دوباره یادآوری می‌شود اعداد و نسبت‌های به‌کارگرفته‌شده در مراحل استخراج کد موقعیت علائم با سعی و خطا و کوشش در جهت ارائه یک طرح و فرمول فراگیر برای پوشش هر پنج قلم به‌دست آمده است.

جدول (۲) تعدادی از زیرواژه‌ها و کد موقعیت علائم استخراجی آنها را نشان می‌دهد. در جدول (۳) فراوانی کدهای مختلف در پایگاه داده نشان داده شده است. همان‌طورکه در این جدول دیده می‌شود، بیشترین فراوانی در مجموعه ۸۶ کد به‌دست‌آمده با ۱۶/۸٪ مربوط به کد یک (یک علامت بالا) است. از این ۸۶ کد ۴۶ کد دارای فراوانی کمتر از ده بوده که ۲۲ کد آن تنها یک عضو دارد. از تحلیل مجموعه‌اطلاعات ارائه‌شده توسط این جدول، کارایی بالای استفاده از این

محدودکننده به روشنی قابل مشاهده است. به‌عنوان یک نکتهٔ اصلاحی با توجه به اینکه امکان اتصال سرکش به بدنه در تعدادی از قلم‌ها وجود دارد، برای جلوگیری از خطا برای حرف "گ" هر دو کد بدون علامت و با یک علامت بالا لحاظ شده که این امر باعث اضافه‌شدن تعداد عناصر پایگاه داده از ۱۲۷۰۰ به ۱۳۸۸۲ شده است.

۲-۳- استخراج ویژگی

در کارهای انجام‌شدهٔ قبلی برای بازشناسی زیرواژگان از ویژگی‌های ساختاری و آماری متفاوتی استفاده شده است. در این مقاله با توجه به هدف که طراحی روشی ساده و کارا جهت کاهش دامنه جستجو است، ویژگی‌های ساده‌ای از پروفایل‌های افقی و عمودی استخراج شده است. با عنایت به طول متغیر بدنه زیرواژه‌ها و متغیرشدن طول بردار ویژگی، برای تولید بردارهای ویژگی با طول یکسان برای هر زیرواژه روش‌های متفاوتی از جمله انتخاب N ضریب نخست تبدیل فوریه، درون‌یابی، نرمال‌سازی و ... مورد آزمون قرار گرفت و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده درنهایت با روش نمونه‌برداری که در ادامه تشریح شده برای هر زیرواژه از هر جهت تنها ده ویژگی و درمجموع برای هر زیرواژه چهل ویژگی از پروفایل‌های افقی و عمودی تصویر زیرواژه استخراج شد.

شکل (۳) نحوه استخراج ویژگی برای پروفایل‌های بالا و سمت راست برای یک زیرواژهٔ نمونه را نشان می‌دهد. نمونه‌های استخراجی و ویژگی نهایی استخراج‌شده پروفایل بالایی زیرواژهٔ شکل (۳) در جداول (۴) و (۵) آمده است. این ویژگی‌ها در هر چهار جهت به همین ترتیب استخراج و درنهایت جهت نرمال‌سازی در هر بعد بر اندازه همان بعد تقسیم می‌شوند. در سطر دوم جدول (۴) ویژگی‌های نهایی از تقسیم سطر نخست همان جدول بر ۳۵ که ارتفاع زیرواژه شکل (۳) است به‌دست آمده‌اند.

روش ساده انتخاب ویژگی و تعداد کم ویژگی‌ها (چهل ویژگی) در مقایسه با کارهای قبلی نقطهٔ قوت روش پیشنهادی بوده و باعث افزایش سرعت و سادگی کار شده است. به‌عنوان نمونه در کارهای [4] و [18] از ویژگی‌های مکان مشخصه با سه تقاطع (۲۵۶ ویژگی) در مرحله خوشه‌بندی استفاده شده است.

(جدول-۲): کد موقعیت علائم چند زیرواژه

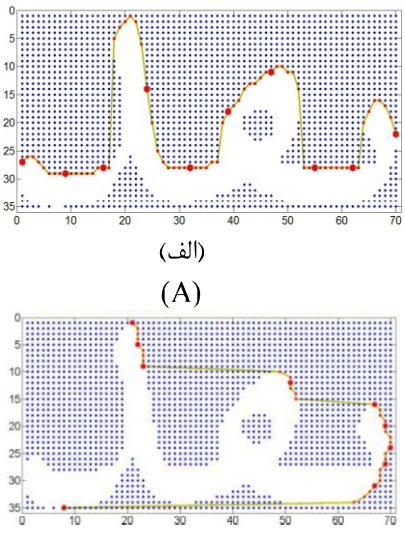
(Table-2): The position code of few subwords

زیرواژه	'بمیهن'	'بنگلا'	'بنگلا'	'بنگیا'	'بنگیا'
کد موقعیت علامت	221	211	21	212	2112
زیرواژه	'بنقشه'	'بنقصا'	'بنقطه'	'بنهند'	'بنهیم'
کد موقعیت علامت	2111	211	211	211	212
زیرواژه	'بهجتی'	'بهشتش'	'بهشتی'	'بهشهر'	'بهمکا'
کد موقعیت علامت	221	2111	211	21	2

(جدول-۳): کدهای موقعیت علائم و فراوانی آنها در زیرواژگان پایگاه داده

(Table-3): The position codes of the signs and their frequency in the subwords of the database

کد	تعداد	کد	تعداد	کد	تعداد	کد	تعداد	کد	تعداد	کد	تعداد	کد	تعداد	کد	تعداد	کد	تعداد
0	856	211	482	1222	20	1112	26	1222	1	22122	1	11222	1	212121	2
1	213	212	230	2111	88	1112	2	2111	4	22211	3	12111	1	221111	1
2	138	221	379	2112	39	1121	18	2111	2	22212	4	12112	1	221211	1
11	183	222	120	2121	77	1121	4	2112	13	11111	1	12122	1	221212	1
12	116	111	125	2122	17	1122	19	2112	3	11121	1	12222	2	221222	1
21	141	111	48	2211	86	1211	16	2121	11	11112	1	21111	2	222121	1
22	712	112	172	2212	36	1211	4	2121	2	11121	3	21112	1	112111	1
111	627	1122	48	221	28	12121	4	21221	4	111212	1	211211	3	1122211	1
112	379	1211	118	2222	9	12211	10	22111	8	111221	2	211212	3	2112111	1
121	667	1212	24	11111	16	12212	2	22112	11	112111	8	211221	1		
122	212	1221	86	11112	8	12221	4	22121	13	112121	1	212112	1		



(الف)

(A)

(ب)

(B)

(شکل-۳): استخراج ویژگی از بدنه زیرواژه، شکل سفیدرنگ: زیرواژه پس از حذف علائم، نمودارسبز: پروفایل زیرواژه، نقطه‌های قرمز روی نمودار سبزرنگ: ویژگی‌های پروفایل، دایره‌های روی منحنی سبز: ویژگی‌های نمونه برداری‌شده از پروفایل (شکل الف ویژگی‌های نمایه بالا و شکل ب ویژگی‌های پروفایل سمت راست).

(Figure-3): Extracting the feature from the body of subword, White Shape: after the removal of symbols, Green Curve: The profile of the subword, Red dots on the green Curve: Profile features, Circles on the Green Curve: Sample Profiles from the Profile (A: Top Profile features, and B: right Profile features).

(جدول-۴): ویژگی‌های استخراج شده از پروفایل بالایی زیرواژه نمونه

(Table-4): upper profile Extracted Features of the sample subwords

27	26	26	27	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29
28	28	28	5	3	2	1	2	6	14	20	25	27	28
28	28	28	28	28	28	28	27	27	20	18	17	16	14
13	13	12	11	11	10	10	11	11	14	28	28	28	28
28	28	28	28	28	28	28	20	18	16	16	17	19	22

(جدول-۵): ویژگی‌های نمونه برداری شده پروفایل بالایی

(Table-5): Upper profile sampled Features

نمونه‌های استخراجی	22	28	28	18	11	28	14	28	29	27
ویژگی‌های نهایی	0.63	0.8	0.8	0.51	0.31	0.8	0.4	0.8	0.83	0.77

همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، همواره پهنای تصویر به‌اندازهٔ تعداد ویژگی‌های مورد نظر نیست؛ درصورتی‌که پهنای تصویر N پیکسل باشد و بخواهیم M ویژگی داشته باشیم، بدین صورت عمل می‌کنیم که ابتدا M عدد حقیقی‌ای تولید می‌کنیم که نخستین آنها برابر یک و آخرین آنها برابر N باشد. بین یک تا N را به M-۱ بازه مساوی تقسیم می‌کنیم و M-۲ عدد حقیقی دیگر را به‌دست می‌آوریم و این اعداد را گرد می‌کنیم تا شماره عناصری را که باید از N عنصر اولیه انتخاب کنیم، داشته باشیم. درصورتی‌که N بزرگ‌تر یا مساوی M باشد، شماره‌های عناصر تکراری نخواهد بود؛ ولی اگر N بزرگ‌تر یا مساوی M باشد، شماره‌های عناصر تکراری نیز داریم که نمونه‌ها را چندبار انتخاب می‌کنیم.

در مثال بالا N =۷۰ و M=۱۰ است. اگر بخواهیم بین یک تا هفتاد را به نه قسمت مساوی تقسیم کنیم، این اعداد را خواهیم داشت:

۱ ۸/۶۷ ۱۶/۳۳ ۲۴ ۳۱/۶۷ ۳۹/۳۳ ۴۷ ۵۴/۶۷ ۶۲/۳۳ ۷۰

گردشدهٔ این اعداد عبارتند از:

۱،۹،۱۶،۲۴،۳۲،۳۹،۴۷،۵۵،۶۲،۷۰

بر این اساس عناصری که در جدول (۴) با رنگ قرمز مشخص شده‌اند، انتخاب و در جدول (۵) آمده‌اند؛ ولی برای مثال اگر N=۷ و M=۱۰ باشد ، این اعداد را داریم:

۱ ۱/۶۷ ۲/۳۳ ۳ ۳/۶۷ ۴/۳۳ ۵ ۵/۶۷ ۶/۳۳ ۷

و اگر این اعداد را گرد کنیم اعداد زیر به‌دست می‌آید:

۱،۲،۲،۳،۴،۴،۵،۶،۶،۷

همان‌طورکه مشاهده می‌شود، اعداد ۲،۴،۶ تکرار شده‌اند؛ بنابراین عناصر دوم، چهارم و ششم هر کدام دو بار و بقیه فقط یک‌بار انتخاب خواهند شد.

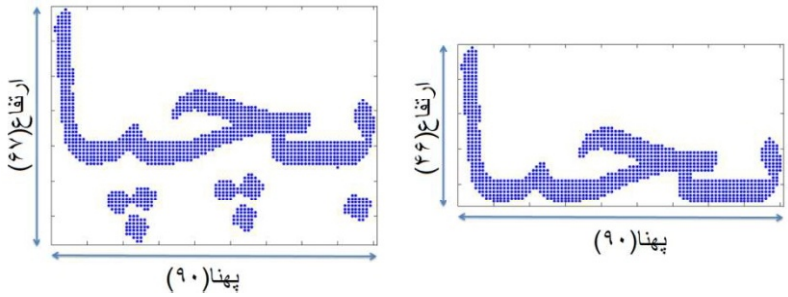
۳-۳- لحاظ نسبت پهنا به ارتفاع واژه

از محدودیت‌های ساده و مفیدی که برای کاهش فضای جستجو استفاده شده، به‌کارگیری نسبت پهنا به ارتفاع زیرواژه ورودی است. ویژگی عمده این محدودکننده این است که به‌علت ساختار نسبی آن مستقل از اندازهٔ قلم است. در این مقاله برای کاهش فضای جستجو و در عین حال پوشش کل زیرواژه‌ها در قلم‌های پنج‌گانه، با انجام آزمایش‌های متعدد، درنهایت فضای جستجو در خوشه‌های مربوطه به زیرواژه‌هایی که نسبت پهنا به ارتفاع بین ۰/۶ تا ۱/۴ نسبت پهنا به ارتفاع زیرواژه ورودی دارند (با علائم و بدون علائم) محدود شده است. شکل (۴) نحوه محاسبه نسبت پهنا به ارتفاع یک زیرواژه نمونه با علائم و بدون علائم و جدول (۶) همین نسبت‌ها را برای چند زیرواژه نمونه نشان می‌دهند.

(جدول-۶): نسبت پهنا به ارتفاع با علائم و بدون علائم چند زیرواژه

(Table-6): Width-to-Height ratio with and without symbols of few sample subwords

زیرواژه		'پ'	'چه'	'ثقی'	'بتیس'	'صمغی'	'بخشیم'	'غتصمو'	'نهفتن'	'گلسنگها'
نسبت پهنا به ارتفاع	با علائم	1.15	1.46	1.25	2.25	2.53	2.12	3.45	2.02	2.73
	بدون علائم	2.25	2.48	1.68	2.88	3.38	2.87	3.67	2.7	3.02



(شکل-۴): نسبت پهنا به ارتفاع با علائم و بدون علائم یک زیرواژه

(Figure-4): Width-to-Height ratio with and without symbols of a subword

۴-۳- گروه‌بندی و خوشه‌بندی

یکی از مراحلی که در این پژوهش به‌منظور کاهش فضای جستجو به‌کار گرفته شده گروه‌بندی است. در مرحله گروه‌بندی داده‌های آموزشی بر اساس کد موقعیت علائم آنها گروه‌بندی می‌شوند (زیرواژگانی که کد موقعیت علائم آنها یکسان است در یک گروه قرار می‌گیرند). در جدول (۳) کدهای موقعیت علائم و فراوانی آنها در زیرواژگان پایگاه داده ارائه شد. همان‌گونه که در این جدول دیده می‌شود در کل زیرواژگان پایگاه داده را از نظر کد موقعیت علائم می‌توان به ۸۶ گروه تقسیم کرد که تعداد زیادی از این گروه‌ها تنها یک عضو دارند.

گروه‌هایی که بیش از ده عضو دارند، با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی k میانگین با معیار فاصله اقلیدسی و ویژگی‌های استخراج‌شده در مرحلهٔ قبل به خوشه‌هایی تقسیم می‌شوند. تعداد خوشه‌ها با توجه به تعداد اعضای هر گروه اولیه (مجموعه‌ای که کد موقعیت علائم یکسان دارند)، یک خوشه به‌ازای هر ده عضو لحاظ شده و از متوسط ویژگی‌های چهار قلم زر، لوتوس، نازنین و میترا به‌عنوان ویژگی‌های ورودی (مرحله آموزش) و ویژگی‌های ۱۲۷۰۰زیرواژه با قلم یاقوت به‌عنوان ویژگی‌های آزمایش استفاده شده است.

به‌منظور حصول نتیجهٔ مورد نظر درخصوص کاهش فضای جستجو و در عین حال خطای کمتر در بازشناسی (وجود زیرواژه مورد نظر در جمع زیرواژه‌های پیشنهادی) تعدادی از نزدیک‌ترین خوشه‌ها به زیرواژه ورودی به‌عنوان فضای جستجو انتخاب می‌شوند. در ادامه در جهت بررسی شهودی روال کار، چهار زیرواژه (قشنگ، تعمیق، شصتمین، بیفتند) به‌عنوان ورودی در نظر گرفته و مراحل کار تشریح شده است.

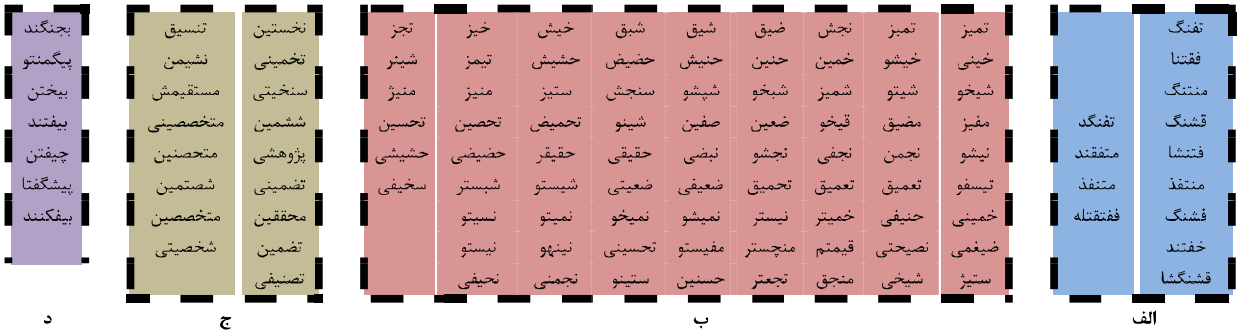
الف- زیرواژه قشنگ: با عنایت به کد موقعیت علائم این زیرواژه (۱۱۱۱) و جدول (۳)، در مرحله گروه‌بندی فضای جستجو برای این زیرواژه به ۱۲۵زیرواژه محدود می‌شود. با اعمال محدودیت پهنا به ارتفاع فضای جستجو به ۱۰۷ زیرواژه کاهش می‌یابد؛ لذا با توجه به روال تعریف‌شده خوشه‌بندی روی داده‌ها صورت‌گرفته (سیزده خوشه) و تعدادی از خوشه‌های نزدیک‌تر(یک ششم) به‌عنوان فضای منتخب نهایی انتخاب می‌شوند درنتیجه این مراحل فضای جستجوی نهایی برای این نمونه به سیزده زیرواژه محدود شده که در شکل (۵- الف) نشان داده شده است.

ب- زیرواژه تعمیق: با عنایت به کد موقعیت علائم این زیرواژه (۱۲۱) و جدول (۳) در مرحله گروه‌بندی فضای جستجو برای این زیرواژه به ۶۶۷ زیرواژه محدود می‌شود. با اعمال محدودیت پهنا به ارتفاع فضای جستجو به ۴۱۵ زیرواژه کاهش می‌یابد؛ لذا با توجه به روال تعریف‌شده خوشه‌بندی روی داده‌ها صورت گرفته (۶۷ خوشه) و تعدادی از خوشه‌های نزدیکتر(یک ششم) به‌عنوان فضای منتخب نهایی انتخاب می‌شوند درنتیجه این مراحل فضای جستجوی نهایی برای این نمونه به ۷۸ زیرواژه محدود شده که در شکل (۵- ب) نشان داده شده است.

ج- زیرواژه شصتمین: با عنایت به کد موقعیت علائم این زیرواژه (۱۱۲۱) و جدول (۳) در مرحله گروه‌بندی فضای جستجو به ۱۷۲زیرواژه محدود می‌شود.

با اعمال محدودیت پهنا به ارتفاع فضای جستجو برای این نمونه به ۴۵ زیرواژه کاهش می‌یابد؛ لذا با توجه به روال تعریف‌شده خوشه‌بندی روی داده‌ها صورت گرفته (۱۷ خوشه) و تعدادی از خوشه‌های نزدیک‌تر(یک‌ششم) به‌عنوان فضای منتخب نهایی انتخاب می‌شوند درنتیجه این مراحل فضای جستجوی نهایی برای این نمونه به هفده زیرواژه محدود شده که در شکل (۵- ج) نشان داده شده است.

د- زیرواژه بیفتند: با عنایت به کد موقعیت علائم این زیرواژه(۲۲۱۲۲) و جدول (۳) در مرحله گروه‌بندی فضای جستجو به هشت زیرواژه محدود می‌شود. با اعمال محدودیت پهنا به ارتفاع فضای جستجو به هفت زیرواژه کاهش می‌یابد؛ لذا با توجه به روال تعریف‌شده نیاز به خوشه‌بندی وجود ندارد و فضای جستجوی محدودشدهٔ نهایی در شکل (۵-د) نشان داده شده است.



(شکل-۵): فضای محدود شده برای چند زیرواژه منتخب

(Figure-5): Limited space for selected subwords

۴- آزمایش‌ها و تحلیل نتایج

در این مقاله در یک رهیافت بازشناسی زیرواژگان فارسی براساس شکل کلی زیرواژه، ارائهٔ یک روش ساده و در عین حال کارآمد در جهت محدودکردن فضای جستجوی زیرواژگان مد نظر قرار گرفته است. در نخستین مرحله با توصیف قیدشده در مراحل قبل کد موقعیت نقاط و علائم داده‌های آموزشی استخراج و بر اساس این کدها داده‌های آموزشی به ۸۶ گروه تقسیم شده‌اند. با توجه به تعداد زیرواژگان هرگروه برای گروه‌هایی که تعداد زیرواژگان بیشتر از ده دارند خوشه‌بندی براساس ویژگی‌های استخراج‌شدهٔ توصیف‌شده مبتنی بر متوسط ویژگی‌ها برای چهار قلم زر، لوتوس، نازنین و میترا صورت گرفته است. تعداد خوشه‌ها در این مرحله یک خوشه به‌ازای هر ده زیرواژه لحاظ شده که با توصیف بالا درمجموع برای ۳۹ کد خوشه‌بندی صورت گرفته است که اطلاعات مربوطه از جمله کدهایی که خوشه‌بندی شده‌اند و تعداد خوشه‌ها در هر کدام در جدول (۷) دیده می‌شود.

در گام آزمایش ابتدا کد موقعیت علائم زیرواژه ورودی استخراج گردیده و با توجه به آن گروه زیرواژگان مرتبط با آن انتخاب می‌شود؛ سپس با توجه به نسبت پهنا به ارتفاع محدودهٔ زیرواژگان مورد نظر محدودتر می‌شود. در این حالت اگر تعداد زیرواژگان محدودشده کمتر از ده زیرواژه باشد، کار پایان یافته تلقی می‌شود در غیر این صورت در جهت انتخاب نزدیک‌ترین زیرواژه‌ها به زیرواژه ورودی در محدودهٔ کد مورد نظر پس از استخراج ویژگی با مراکز خوشه‌های استخراج‌شده مقایسه شده و فاصله آن با مراکز خوشه‌ها مشخص‌شده و نزدیک‌ترین خوشه‌ها به زیرواژه ورودی به‌عنوان خوشه‌های هدف انتخاب می‌شوند. با توجه به تعداد متفاوت خوشه‌ها در کدهای مختلف برای سنجش تعداد مناسب خوشه‌ها نسبت خوشه‌های انتخابی به کلِّ خوشه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

جداول (۸) و (۹) تغییرات دقت و متوسط تعداد زیرواژه با تغییر نسبت خوشه‌های انتخابی به کلِّ خوشه‌ها برای داده‌های آموزش و آزمایش را بدون محدودیت نسبت پهنا به ارتفاع نشان می‌دهند. همان‌طورکه در جدول (۸) دیده می‌شود، بدون اعمال خوشه‌بندی یا به‌عبارت دیگر با لحاظ یک خوشه برای هر گروه متوسط تعداد عناصر گروه ۱۱۵۰خواهد بود که به معنی کاهش ۹۱٪ فضای جستجو با حفظ دقت ۱۰۰٪ است که با انتخاب یک‌ششم از خوشه‌ها تعداد متوسط زیرواژگان برای داده‌های آزمایش به ۲۰۱ زیرواژه است که به مفهوم کاهش ۹۸/۴٪ فضای جستجو با دقت ۹۹٪ است. این تعداد برای داده‌های آموزش به چهارده زیرواژه (کاهش ۹۹/۹٪ فضای جستجو) با دقت صددرصد کاهش یافته است.

(جدول-۷): تعداد خوشه‌ها و تعداد اعضا در کدهای مختلف

(Table-7): The number of clusters and the number of members in different codes

کد موقعیت	0	1	2	11	12	21	22	111	112	121	122	211	212	221	222	1111	1112	1121	1122	1211
تعداد	856	2139	1387	1831	1166	1416	712	627	379	667	212	482	230	379	120	125	48	172	48	118
تعدادخوشه	86	214	139	184	117	142	72	63	38	67	22	49	23	38	12	13	5	18	5	12
کد موقعیت	1212	1221	1222	2111	2112	2121	1212	2122	2211	2212	2221	11111	11121	11211	11221	12111	22121	21121	21211	22112
تعداد	24	86	20	88	39	77	24	17	86	36	28	16	26	18	19	16	13	13	11	11
تعدادخوشه	3	9	2	9	4	8	3	2	9	4	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2

(جدول-۸): تغییرات متوسط تعداد زیرواژه با تغییر نسبت خوشه‌های انتخابی به کل خوشه‌ها برای داده‌های آموزش بدون محدودیت نسبت پهنا به ارتفاع

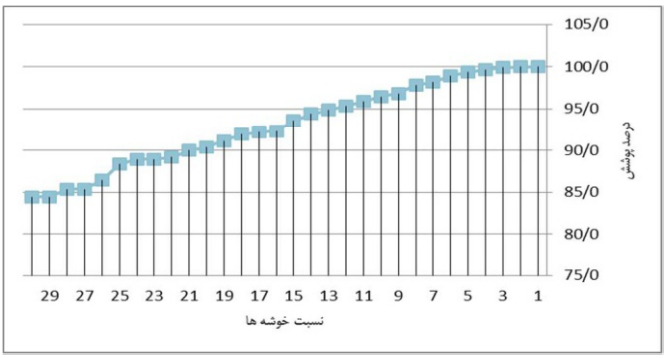
(Table-8): Mean variation of number of subword by changing the ratio of selected clusters to whole clusters for training data without the width-to-height ratio limiter

نسبت تعداد خوشه ها (۱ به ...)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
تعداد زیرواژه	1150	583	385	295	239	203	175	156	138	125	116	107	99	92	86

(جدول-۹): تغییرات دقت و متوسط تعداد زیرواژه با تغییر نسبت خوشه‌های انتخابی به کل خوشه‌ها برای داده‌های آزمایش بدون محدودیت نسبت پهنا به ارتفاع

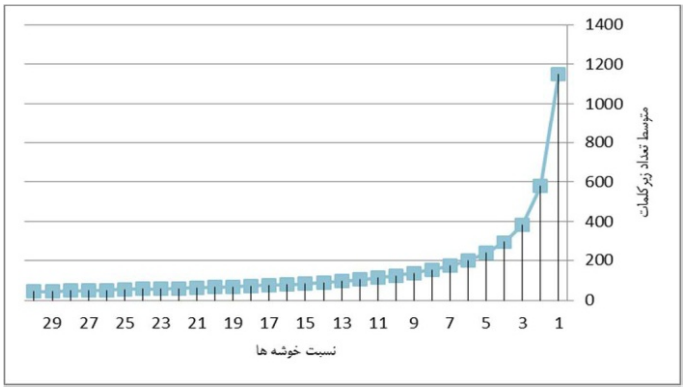
(Table-9): Coverage percentage and mean subword number variation with change in the ratio of selected clusters to total clusters for test data without limitation of width to height ratio

نسبت تعداد خوشه ها (۱ به ...)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
دقت	100	100	99.9	99.7	99.4	99	98.2	97.8	96.8	96.4
تعداد زیرواژه	1150	579	384	294	236	201	173	153	135	123



(شکل-۶): چگونگی تغییرات دقت با تغییرات نسبت خوشه‌ها در داده‌ها آزمایش(بدون لحاظ محدودیت نسبت)

(Figure-6): Coverage percentage changes with cluster ratio changes in test data (without regard to the limitation of the ratio)



(شکل-۷): چگونگی تغییرات متوسط تعداد زیرواژگان محدود شده با تغییرات نسبت خوشه‌ها در داده‌های ازمایش (بدون لحاظ محدودیت نسبت)

(Figure-7): Moderate changes in the number of subwords limited by changes in the ratio of clusters in the test data (without regard to the limitation of the ratio)

جداول (۱۰) و (۱۱) تغییرات دقت و متوسط تعداد زیرواژه را با تغییر نسبت خوشه‌های انتخابی به کل خوشه‌ها برای داده‌های آموزش و آزمایش با اعمال محدودیت نسبت پهنا به ارتفاع نشان می‌دهند. همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، بدون اعمال خوشه‌بندی یا به‌عبارت دیگر با لحاظ یک خوشه برای هر کد متوسط، تعداد عناصر خوشه در این شرایط به ۶۱۶ زیرواژه (۹۵٪ کاهش فضای جستجو) کاهش یافته است که با انتخاب یک‌ششم از خوشه‌های مرحله دوم تعداد متوسط زیرواژگان برای داده‌های آزمایش به ۱۲۹ زیرواژه (۹۹٪ کاهش فضای جستجو) با دقت۹۸/۹٪ کاهش یافته که نشان‌دهندهٔ کاهش ۳۶٪ فضای جستجو نسبت به حالت قبل است. این تعداد برای داده‌های آموزش به ده زیرواژه (۹۹/۹٪ کاهش فضای جستجو) با دقت صددرصد کاهش یافته است. شکل‌های (۸) و (۹) چگونگی تغییرات دقت و متوسط تعداد زیرواژگان را با تغییر نسبت خوشه‌ها نشان می‌دهند.

(جدول-۱۰): تغییرات دقت و متوسط تعداد زیرواژه با تغییر نسبت خوشه‌های انتخابی به کل خوشه‌ها برای داده‌های آموزش

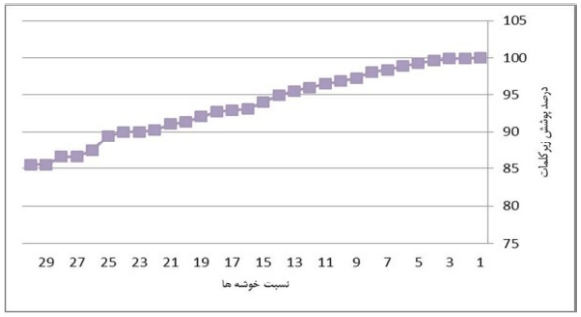
(Table-10): Coverage percentage and mean number of subword variation by changing the ratio of selected clusters to total clusters for training data

نسبت تعداد خوشه ها(۱ به ...)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
دقت	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
تعداد زیرواژه	616	329	230	182	151	130	114	102	91	84	77	72	67	63	59

(جدول-۱۱): تغییرات دقت و متوسط تعداد زیرواژه با تغییر نسبت خوشه‌های انتخابی به کل خوشه‌ها برای داده‌های آزمایش

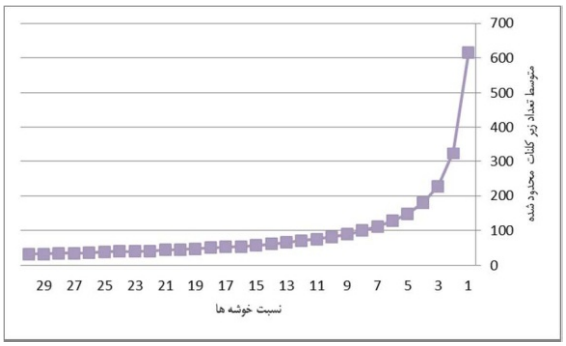
(Table-11): Coverage percentage and mean number of subword variation by changing the ratio of selected clusters to total clusters for test data

نسبت تعداد خوشه‌ها (۱ به ...)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
دقت	100	100	99.9	99.6	99.3	98.9	98.4	98.1	97.2	96.8
تعداد زیر واژه	615	324	228	180	149	129	112	100	90	82



(شکل-۸): چگونگی تغییرات دقت با تغییرات نسبت خوشه‌ها در داده‌ها آزمایش

(Figure-8): Coverage percentage variation by changing the ratio of selected clusters for test data



(شکل-۹): چگونگی تغییرات متوسط تعداد زیرواژگان محدود شده با تغییرات نسبت خوشه‌ها در داده‌های آزمایش

(Figure-9): mean number of subwords variation by changing the ratio of selected clusters to total clusters for test data

۴-۱- مقایسه نتایج با کارهای گذشته

در روش ارائه‌شده در این مقاله در مقایسه با روش‌های قبلی از جمله روش ارائه‌شده در [4] و [22] و [25] علاوه‌بر سادگی و نتایج به‌نسبه بهتر، سرعت بهتری نیز حاصل شده است که این نتایج در جدول (۱۲) ارائه شده است. همان‌طورکه درقبل نیز بیان شد، در [4] پس از خوشه‌بندی به سیصد خوشه ده خوشهٔ نخست به‌عنوان فضای کاهش‌یافته معرفی شده و در روش ارائه‌شده در [22] داوودی موفق شده است با یک مرحله بهبود فضای جستجو را با حفظ دقت ۹۹/۱۷٪ به ۴/۸ خوشه از سیصد خوشه کاهش دهد و در روش معرفی‌شده در [25] کاهش فضای ویژگی در چند مرحله به ۹۹/۲٪ رسیده است.

روش ارائه‌شده در این پژوهش در مقایسه با سه روش یادشده، در عین سادگی با همان دقت، فضای جستجو را تا ۹۹/۱٪ کاهش داده است که از دو روش نخست نتیجهٔ به‌مراتب بهتری حاصل شده و در مقایسه با روش سوم اگرچه نتیجه بهبودی را نشان نمی‌دهد، اما با توجه به دومرحله‌ای‌شدن گروه‌بندی و خوشه‌بندی از سرعت بیشتری برخوردار است که مزیت این روش نسبت به روش سوم است.

(جدول-۱۲): مقایسه نتایج
(Table-12): Comparing results

روش	درصد کاهش دامنه جستجو
خوشه‌بندی با ویژگی‌های سراسری (ابراهیمی [۴])	٪۹۶/۶
خوشه‌بندی با ویژگی‌های سراسری و نواحی شاخص (داوودی [۲۲])	٪۹۸/۴
خوشه‌بندی با متوسط ۴ قلم و نسب پهنا به ارتفاع و موقعیت علائم [۲۵]	٪۹۹/۲
روش ارائه شده در این مقاله	٪۹۹/۱

جهت مقایسه سرعت بازشناسی روش ارائه‌شده در [25] و روش پیشنهادی این پژوهش که به‌عنوان نقطه قوت این روش بیان شده است، در شرایط یکسان با استفاده از رایانه‌ای با مشخصات (CPU:Corc i7-3520M و RAM:8GB) و با استفاده از نرم‌افزار متلب، متوسط زمان صرف‌شده برای محدودسازی فضای جستجو برای یک زیرواژه اندازه‌گیری شده که این زمان برای روش نخست زمان یازده میلی‌ثانیه و در روش دوم ۱۰/۵ میلی‌ثانیه گزارش شده است. درضمن این زمان برای زیرواژگانی که در روش پیشنهادی در مرحله نخست کاهش فضای جستجو گیر می‌افتند که شامل ۴۷ گروه از ۸۶ گروه هستند، به‌شدت کاهش خواهد یافت.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به ساختار پیوستهٔ نوشته‌های فارسی و ایرادهای مطرح‌شده برای روش‌های بازشناسی مبتنی بر شکستن واژه به حروف، کارایی روش‌های مبتنی بر شکل کلی قابل توجه است. درخصوص ایرادها و مشکلات این روش، تعداد زیاد رده‌ها که معادل تعداد زیرواژگان است از گلوگاه‌های اصلی به‌شمار می‌آید. نخستین مرحله برای کاهش فضای جستجو در این رویکرد، تقسیم فضا به بخش‌های مختلف به‌کمک خوشه‌بندی است.

در این مقاله با توجه به هدف که طراحی روشی ساده و کارا جهت کاهش دامنهٔ جستجو است از گروه‌بندی و خوشه‌بندی به‌صورت هم‌زمان استفاده شده است. در نخستین مرحله پایگاه داده به ۸۶ گروه بر اساس کد موقعیت علائم زیرواژگان تقسیم می‌شود. با انتخاب گروه مرتبط با زیرواژه ورودی فضای جستجو به اعضای آن گروه محدود می‌شود. برای ایجاد محدودیت بیشتر در گروه انتخاب‌شده، تنها اعضایی که از نظر نسبت پهنا به ارتفاع در محدوده‌ای از نسبت پهنا به ارتفاع زیرواژه ورودی باشند، انتخاب می‌شوند. درصورتی‌که محدودیت‌های ایجادشده به فضایی بیش از ده زیرواژه منتهی شود (برای خوشه‌هایی که تعداد اعضای بیشتری دارند) یک مرحله خوشه‌بندی براساس ویژگی‌های ساده پروفایل‌های افقی و عمودی صورت گرفته و تنها تعدادی از خوشه‌های نزدیک به زیرواژه ورودی با رعایت حدود نسبت پهنا به ارتفاع، محدوده جدید را مشخص می‌کنند. برای مرحله خوشه‌بندی ویژگی‌های ساده‌ای از پروفایل‌های افقی و عمودی استخراج شده است. برای استخراج ویژگی نزدیک‌ترین فاصله پیکسل‌های تصویر بدنهٔ زیرواژه از لبه‌های چهارگانه کادر به‌عنوان ویژگی انتخاب شده و با عنایت به طول متغیر بدنه زیرواژه‌ها و متغیرشدن طول ویژگی، برای هر زیرواژه از هر جهت تنها ده ویژگی به روش درون‌یابی انتخاب شده است و درمجموع برای هر زیرواژه چهل ویژگی خواهیم داشت. از متوسط ویژگی‌های ۱۲۷۰۰ زیرواژه در چهار قلم زر، لوتوس، نازنین و میترا به‌عنوان ویژگی‌ها ورودی (مرحله آموزش) و ویژگی‌های ۱۲۷۰۰ زیرواژه با قلم یاقوت به‌عنوان ویژگی‌های آزمایش استفاده شده است. کاهش نهایی فضای جستجو از ۱۲۷۰۰ به ۱۲۹ (۹۹/۱٪ کاهش) گویای عملکرد قابل توجه روش پیشنهادی است.

6- References ۶- مراجع

[1] T. Adamek, N. E. Connor, and A. F. Smeaton, "Word matching using single closed contours for indexing Handwritten Historical Documents," *International Jurnal of Document Analysis and Recognition*, vol. 9, no. 2-4, pp. 153-165, 2007.

[2] J. R. Pinales, R. J. Rivas, and M. J. C. Bleda, "Holistic Cursive word recognition based on perceptual features," *Pattern Recognition Letters*, vol. 28, no. 13, pp. 1600-1609, 1 Oct. 2007.

[3] A. Amin, "Recognition of printed arabic text based on global features and decision tree learning techniques," *Pattern Recognition*, vol. 33, no. 8, pp. 1309-1323, 2000.

[۴] ابراهیمی، افشین، "استفاده از شکل کلی زیرکلمات چاپی در بازیابی تصویر مستندات و بازشناسی متون فارسی"، رساله دکتری مهندسی برق- الکترونیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۸۴.

[4] A. Ebrahimi, "Using the holistic form of print subwords in retrieving documentary images and recognizing Persian texts", Ph.D. dissertation, Electron. Eng., Tarbiat Modares Univ., Tehran, 1384.

[۵] خسروی، حسین و کبیر، احسان الله، "ارزیابی روش‌های بازشناسی متون فارسی بر مبنای شکل کلی زیرکلمات"، نشریه مهندسی برق و کامپیوتر ایران، جلد ۷، شماره۴، صص. ۲۸۰-۲۶۷، ۱۳۸۸.

[5] H. Khosravi, E. Kabir, " Evaluation of methods for recognizing Persian texts based on the holistic form of subwords," *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering,* vol.7, no.4, pp.267-280, 2005.

[6] S. Madhvanath, G. Kim, and V. Govindaraju, "Chain code contour processing for handwritten word recognition," *IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence,* vol. 21, no. 9, pp. 928-932, Sep. 1999.

[7] K. Zagoris, K. Ergina, and N. Papamarkos, "A document image retrieval system," *Engineering Application of Artificial Intelligence*, vol. 23, no. 6, pp. 872-879, 2010.

[8] S. Bai, L. Li, and C. L. Tan, "Keyword spotting in document images through word shape coding," *in Proc. 10th International Conference on Document Analysis and Recognition, ICDAR'09*, pp. 331-335, 26-29 Jul. 2009.

[9] L. Li, S. Lu, and C. L. Tan, "A fast keyword-spotting technique," *in Proc. 9th Int. Conference on Document Analysis and Recognition, ICDAR'07*, pp.68-72, 23-26 Sep. 2007.

[10] S. Lu and C. L. Tan, "Document image retrieval through word shape coding," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 30, no. 11, pp. 1913-1918, Nov. 2008.

[11] J. A. Rodriguez-Serrano and F. Perronnin, "Handwritten word spotting using hidden markov models and vocabularies," *Pattern Recognition*, vol. 42, no. 9, pp. 2106-2116, Sep. 2009.

[12] T. M. Rath and R. Manmatha, "Word spotting for historical documents," *International Jurnal on Document Analysis and Recognition*, Vol. 9, no. 2-4, pp. 139-152, Apr. 2007.

[13] Y. Lu and C. L. Tan, "Information retrieval in document image databases," *IEEE Transactions on nowledge and Data Engineering*, Vol. 16, no. 11, pp. 1398-1410, Nov. 2004.

[14] A. Ebrahimi and E. Kabir, "A pictorial dictionary for printed farsi sub words," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 29, no. 5, pp. 656-663, 2008.

[15] A. Rehman and T. Saba, "Off - line cursive script recognition: current advances, comparisons and remaining problems," *Artificial Intelligence Review*, vol. 37, no. 4, pp. 261-288, 2012.

[16] S. G. Madhvanath and V. Govindaraju, "The role of holistic paradigms in handwritten word recognition," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, no. 2, pp. 149-164, Feb. 2001.

[17] L. M. Lorigo and V. Govindaraju, "Off - line arabic handwriting recognition: a survey," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, no. 5, pp. 712-724, May 2008.

[18] S. Mozaffari, K. Faez, V. Märgner and H. Elabed, "Two-stage lexicon reduction for offline Arabic handwritten word recognition," *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence,* vol. 22, No. 07: pp. 1323-1341, November 2008.

[19] H. Davoudi, M. Cheriet and E. Kabir, "Lexicon reduction of handwritten arabic subwords based on the prominent shape regions," *International Journal on Document Analysis and Recognition*, vol 19, Issue 2, pp 139–153, 2016.

[۲۰] برومند، سمیه و ایرانپور مبارکه، مجید، "بازشناسی واژگان دست‌نوشته با ویژگی‌های نوین و کاهش فرهنگ لغت"، مجله پردازش بینایی و تصویر، آماده چاپ، ۱۳۹۶.

[20] S. Bromand, M. Iranpurmobaraka," Handwritten words recognion with new features and reducing the dictionary," *Machine Vision And Image Processing*, unpublished.

[21] H. Davoudi, E. Kabir, "Using compatible shape descriptor for lexicon reduction of printed farsi subwords," *International Journal on Document Analysis and Recognition*, vol. 19, Issue 2. pp 139-153, 2016.

[۲۲] داودی، هما و کبیر، احسان الله، "استفاده از مناطق شاخص زیرواژگان چاپی فارسی برای کاهش فضای جستجو در بازشناسی آنها"، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، ب –مهندسی کامپیوتر، سال ۱۲، شماره ۱، ۱۳۹۳.

[22] H. Davoudi, E. Kabir, "Using compatible shape descriptor for lexicon reduction of printed farsi subwords," *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 12, Issue1., 2014.

[۲۳] فتحی، فائقه، استخراج حروف شاخص از زیرواژگان چاپی فارسی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران، ۱۳۸۸.

[23] F. Fathi, " Extraction of index letters from Persian printed subwords", M.S. thesis, Dept. Electron.Eng., Sahand University of Technology, Tabriz, Iran, 2009.

[۲۴] علی‌بیگی، محمد، بازشناسی زیرواژگان تایپی فارسی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ۱۳۸۹.

[24] M. Alibaigi, "Persian printed subwords recognition", M.Sc. thesis, Departmet of Electronic Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran, 2010.

[۲۵] میری، اسماعیل، رضوی، سید محمد و مهرشاد، ناصر، "روشی ساده برای کاهش فضای جستجو در بازشناسی زیرواژگان تایپی فارسی "، نهمین کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، دانشگاه شهید بهشتی، آبان ماه ۱۳۹۴.

[25] E. Miri, S.M. Razavi, N. Mehrshad, " A simple method for search space reduction in Persian typed subwords recognition," *9th Conference on Machine Vision and Image Processing conference*, Shahid Behshti University, Tehran, 2015.

اسماعیل میری در سال ۱۳۷۲ مدرک کارشناسی مهندسی برق– الکترونیک را از دانشگاه تهران اخذ کرد و سپس در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۶ در مقاطع کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی برق– الکترونیک از دانشگاه بیرجند دانش‌آموخته شد و هم‌اکنون در شرکت مخابرات ایران مشغول فعالیت است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان عبارتند از: بازشناسی الگو و کاربردهای آن، پردازش تصویر.
نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:
miri.esmail@birjand.ac.ir

سیدمحمد رضوی در سال ۱۳۷۳ مدرک کارشناسی مهندسی برق – الکترونیک را از دانشگاه صنعتی امیرکبیر (واحد تفرش) اخذ کرد و در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ در مقاطع کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی برق – الکترونیک از دانشگاه تربیت مدرس دانش‌آموخته شد. از سال ۱۳۷۶ به‌عنوان عضو هیأت علمی در دانشگاه بیرجند مشغول انجام وظیفه است. وی هم‌اکنون دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه بیرجند است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان عبارتند از: بازشناسی الگو، پردازش تصویر و سامانه‌های هوشمند.
نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:
smrazavi@birjand.ac.ir

ناصر مهرشاد در سال ۱۳۷۳ مدرک کارشناسی خود را از دانشگاه فردوسی مشهد اخذ کرد و در سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۸۲ در مقاطع کارشناسی ارشد و دکترا در دانشگاه تربیت مدرس گرایش مهندسی پزشکی دانش‌آموخته شد. وی هم‌اکنون عضو هیأت علمی گروه مهندسی الکترونیک دانشگاه بیرجند بوده و به‌عنوان دانشیار مشغول فعالیت است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان شامل ماشین بینایی، پردازش سیگنال دیجیتال و اطلاعات مهندسی پزشکی است.
نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:
nmehrshad@birjand.ac.ir