

قطعه‌بندی تصاویر با استفاده از روش خوشه‌بندی طیفی مبتنی بر سوپرپیکسل

فاطمه افسری شولی^۱، جلیل عظیم پور^۲، مرضیه دادور^۳

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه نرم‌افزار کامپیوتر، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران Fatemeh.afsari737@gmail.com

گروه نرم‌افزار کامپیوتر، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران Jalil@azimpour.ir

گروه هوش مصنوعی، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران Marziye.dadvar@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۲۸

چکیده

علم بینایی ماشین یکی از علومی است که در راستای افزایش کارایی حس بینایی در سیستم‌های هوشمند به کار گرفته می‌شود. اولین گام در بسیاری از کاربردهای بینایی ماشین، قطعه‌بندی تصویر می‌باشد. در این پژوهش، روش خوشه‌بندی طیفی با سوپرپیکسل برای قطعه‌بندی تصویر ارائه شده است. با اعمال الگوریتم KFCM و با استفاده از توزیع عضویت در ماتریس بخش‌بندی، یک میزان تشابه فازی هسته‌ای جدید پیشنهاد داده‌ایم که سبب کاهش میزان حساسیت پارامتر مقیاس‌گذاری می‌شود. علاوه بر این، به منظور کاهش هزینه محاسباتی برای قطعه‌بندی تصویر، سوپر پیکسل را معرفی کرده‌ایم و یک اندازه‌گیری جدید برای ساخت ماتریس وابستگی خوشه‌بندی طیفی ارائه شده است. الگوریتم‌های پیشنهادی بر روی ۳۰۰ تصویر طبیعی متفاوت اعمال می‌شود و توسط شاخص‌های ارزیابی، مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرند. نتایج حاصل شده از آزمایشات نسبت به دیگر روش‌های قطعه‌بندی مقایسه شده است و حاکی از برتری ۳/۴٪ دقت قطعه‌بندی الگوریتم پیشنهادی دارد و تمام شاخص‌های ارزیابی موردنظر پژوهش به میزان قابل قبولی افزایش پیدا کرده‌اند.

کلید واژه‌ها: قطعه‌بندی تصویر، خوشه‌بندی فازی هسته‌ای، خوشه‌بندی طیفی، سوپرپیکسل، رنگ، بافت.

۱- مقدمه

موفقی در خوشه‌بندی داده و مسائل قطعه‌بندی گراف استفاده شده‌اند. به خاطر عملکرد خوب آن در خوشه‌بندی داده و سادگی پیاده‌سازی، الگوریتم‌های خوشه‌بندی طیفی علائق زیادی را جلب کرده‌اند [۲]. می‌توان گفت که قطعه‌بندی تصویر، گام اول بسیاری از کارها در پردازش تصویر^۱ و ماشین بینایی^۲ است که کمک شایانی به ماشین خواهد کرد. نتیجه قطعه‌بندی یک تصویر، مجموعه‌ای است از قطعات که کل تصویر را تشکیل می‌دهد و یا یک مجموعه‌ای از خطوط استخراج شده از تصویر (تشخیص لبه) می‌باشد [۳]. تکنیک‌ها و الگوریتم‌های عمومی برای قطعه‌بندی تصاویر وجود دارند و اغلب این تکنیک‌ها با دانش دامنه برای حل مسئله قطعه‌بندی

در عصر جدید بکارگیری سیستم‌های هوشمند و کارا برای عملیات مختلف به منظور افزایش سرعت، دقت و راحتی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این سیستم‌ها با توجه به اطلاعات به دست آمده از محیط اطراف و برنامه‌ریزی انجام شده به پاسخ‌گویی سیگنال‌های ورودی می‌پردازند. یکی از مسیرهای دریافت اطلاعات محیط، حس بینایی است که پیشرفته‌ترین حس می‌باشد و مهم‌ترین نقش در درک انسان‌ها بر عهده دارد. این حس در ماشین‌ها با کمک دوربین‌ها اعمال می‌شود که با گرفتن عکس یا فیلم و پردازش آن به درک مفهوم تصویر در حد احتیاج ماشین می‌رسند [۱]. در دهه‌های گذشته، الگوریتم‌های خوشه‌بندی طیفی پیشرفت قابل توجهی را در خوشه‌بندی داده و جداسازی تصویر نشان داده‌اند و به‌طور

¹ Image processing

² Machine vision

از الگوریتم ژنتیک در کاربرد خاص این مقاله به راحتی قابل تعمیم به سایر تصاویر می‌باشند. یانگ و همکاران [6] با استفاده از خوشه‌بندی طیفی⁶ به قطعه‌بندی تصاویر پرداخته‌اند و روش پیشنهادی مورد استفاده در این پژوهش همان تغییر یافته NJW⁷ است در این پژوهش یک روش خوشه‌بندی طیفی جدید با استفاده از سوپر پیکسل‌ها جهت قطعه‌بندی تصویر پیشنهاد داده شده است و اندازه شباهت جدیدی برای ساخت ماتریس وابستگی جهت کاهش مؤثر حساسیت پارامتر مقیاس‌بندی⁸ و روش پیش‌پردازش مبتنی بر سوپر پیکسل برای کاهش هزینه محاسباتی اعمال شده است. با مقایسه با سایر الگوریتم‌های خوشه‌بندی، نتایج نشان می‌دهد که SCS به شدت پایدار است و به سختی تحت تأثیر پارامتر قرار می‌گیرد و می‌تواند وضوح قابل‌مقایسه‌ای را ایجاد کند و بهتر از الگوریتم‌های کلاسیک موجود عمل می‌کند.

یک چارچوب قطعه‌بندی جدید بر اساس پارتیشن‌بندی گراف دوبخشی پیشنهاد شده است که قادر به جمع‌آوری سوپر پیکسل‌های چند لایه در یک روش اصولی و خیلی مؤثر خواهد بود و در آن یک ساختار گراف دوبخشی نامتعادل طراحی شده است که منجر به یک الگوریتم طیفی زمان-خطی بسیار کارآمد می‌شود. روش پیشنهادی به دلیل استفاده از سوپر پیکسل به عنوان گروه‌بندی، برای قطعه‌بندی ساختار تصویر پیچیده رمزگذاری شده، دارای کارایی نسبتاً بالایی خواهد بود و از سوی دیگر، با ترکیب سوپر پیکسل‌های متنوع، در یک چارچوب بخش‌بندی گراف دوبخشی به شیوه‌ای کارآمد دست یافته‌اند. روش قطعه‌بندی پیشنهادی در مقایسه با دیگر روش‌های قطعه‌بندی، نیاز به نرمال‌سازی کمتری خواهد داشت. نتایج تجربی وسیع بر روی پایگاه داده دانشگاه برکلی⁹، نشان‌دهنده عملکرد برتر روش قطعه‌بندی تصویر پیشنهادی از نظر هر دو معیار کمی و ادراکی می‌باشد همچنین استفاده از روش آن‌ها، عملکرد بهتری را بر روی پایگاه داده قطعه‌بندی برکلی نسبت به تکنیک‌های دیگر فراهم آورده است [7].

تصاویر در یک موضوع خاص به طور مؤثر ترکیب می‌شوند میزان قطعه‌بندی به موضوع مورد بررسی بستگی دارد بدین معنی که هنگامی که اشیاء مورد نظر کاربر از هم جدا شدند باید قطعه‌بندی متوقف گردد در قطعه‌بندی با استفاده از ویژگی‌های سطح پایینی چون رنگ³، بافت⁴ و لبه⁵ به ویژگی‌های سطح بالایی که انسان در تحلیل صحنه‌ها، طبقه‌بندی و تشخیص تصاویر به کار می‌برد دست پیدا کند [4].

در ادامه این مقاله به بررسی برخی از جدیدترین کارهای انجام شده در بخش دوم می‌پردازیم، در بخش سوم پیش‌فرض‌های پژوهش بیان شده، در بخش چهارم پروتکل پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم KFCM و خوشه‌بندی طیفی مطرح شده و در نهایت به قطعه‌بندی تصاویر می‌انجامد. نتایج حاصل از ارزیابی پروتکل پیشنهادی در بخش پنجم آورده شده و در پایان نتیجه‌گیری و پیشنهادات در بخش ششم ذکر شده است.

۲- مروری بر تحقیقات انجام شده

در ادامه، به معرفی چند تحقیق مشابه در خصوص قطعه‌بندی تصویر مبتنی بر سوپرپیکسل با استفاده از خوشه‌بندی طیفی می‌پردازیم. فیاض و همکاران [5] یک شیوه مؤثر برای قطعه‌بندی تصاویر MRI مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ارائه شده داده‌اند و برای تخمین پارامترها، الگوریتم ژنتیک را جایگزین شیوه سعی و خطا نموده‌اند. قطعه‌بندی تصویر با روش خوشه‌بندی طیفی زمان نسبتاً زیادی لازم دارد. در این پژوهش به جای تخمین پارامترها روی تصاویر اصلی، پارامترها روی نمونه‌های کوچک‌تری از تصاویر تخمین زده می‌شوند و سپس برای تصویر اولیه اصلاح می‌شوند. عمل تخمین پارامترها با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک با دو متغیر ورودی انجام شده است و برای یک تصویر از مجموعه تصاویر مورد نظر عمل قطعه‌بندی به صورت دستی انجام پذیرفته است و در تابع تطابق الگوریتم ژنتیک، خروجی خوشه‌بندی هر جواب ممکن با این جواب از پیش مشخص مقایسه می‌شود و اختلاف کمتر به منزله برانندگی بیشتر کروموزوم خواهد بود. پارامترهای به دست آمده

⁶ Spectral clustering

⁷ Ng-gordan-Weiss

⁸ Scaling parameter

⁹ Berkeley

³ Color

⁴ Texture

⁵ Edge

الگوریتم خوشه‌بندی طیفی مبتنی بر فاصله بافتی برای قطعه بندی تصاویر ماهواره‌ای SAR انجام شده است و ابتدا تصویر از لحاظ کمیت شدت روشنایی توسط الگوریتم انتقال میانگین قطعه‌بندی می‌شود و به دنبال آن با استفاده از ویژگی‌های بافت قطعات و از روش خوشه‌بندی طیفی خودتنظیم‌شونده عمل ادغام قطعات صورت می‌گیرد. در این پژوهش استفاده از چندین نماینده بافت برای هر قطعه که توسط الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به دست می‌آیند، سبب شده تا نتایج این روش با بهترین الگوریتم‌های قطعه‌بندی موجود قابل رقابت باشد. از دیگر ویژگی‌های آن استفاده نکردن از اطلاعات مکانی برای عملیات قطعه‌بندی است. یکی از کاربردهای بسیار مفید روش پیشنهادی، قطعه‌بندی و متمایز نمودن بافت هر ناحیه از هر تصویر SAR است. در الگوریتم پیشنهادی نیازی به تنظیم دستی پارامتر مقیاس σ که یکی از مشکلات خوشه‌بندی طیفی است، نمی‌باشد؛ ضمن آنکه تعداد خوشه‌ها نیز به‌طور اتوماتیک تعیین می‌شود. الگوریتم پیشنهادی آن‌ها فرورفتگی‌ها و برآمدگی‌ها و همچنین زوایا در مرز نواحی را به‌خوبی مشخص می‌کند [۸].

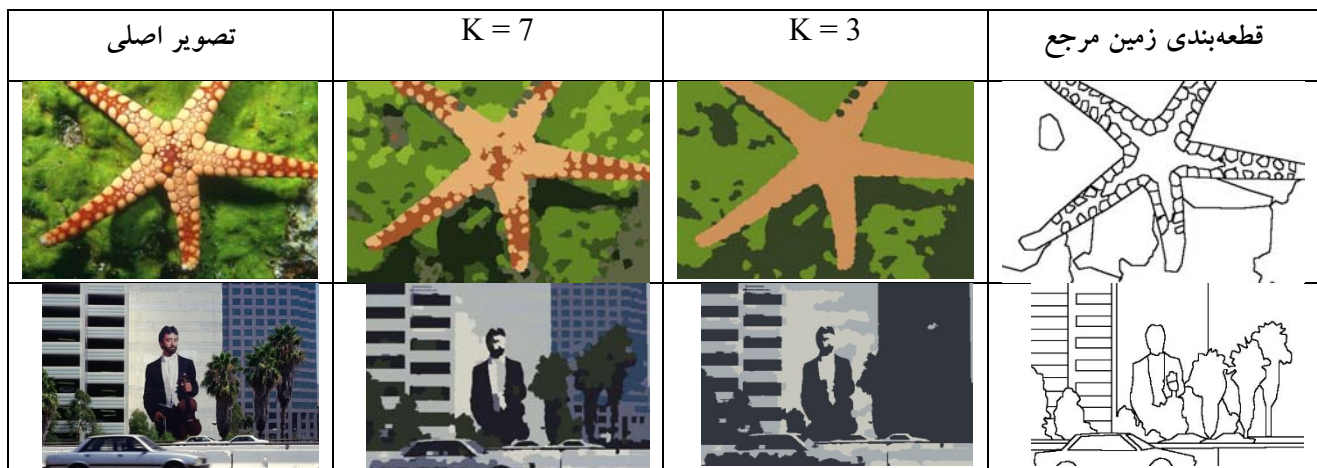
زمانی که تصاویر به‌واسطه نویز خراب‌شده باشند خوشه‌بندی طیفی نمی‌تواند کارایی قطعه‌بندی رضایت بخشی را فراهم آورد به‌منظور غلبه بر حساسیت نویز از الگوریتم خوشه‌بندی طیفی استاندارد، یک الگوریتم خوشه‌بندی طیفی فازی جدید با اطلاعات مکانی قوی برای قطعه‌بندی تصاویر ارائه شده است که در مرحله اول یک مجموعه‌ی پیکسل غیر محلی وزن‌دار از تصویر اصلی با یک ترتیب مشابه برای هر پیکسل تولید می‌شود. سپس با استفاده از تعریف مقادیر عضویت فازی، در میان مقادیر خاکستری یک معیار تشابه فازی قوی خاکستری در تصویر جدید تولید می‌شود. سپس، ماتریس شباهت به‌دست‌آمده توسط این معیار، تنها به تعدادی از سطح‌های خاکستری وابسته است و به‌راحتی می‌تواند ذخیره شود و روش پارتیشن‌بندی گراف طیفی می‌تواند بر روی گروه مقادیر خاکستری از تصویر تولیدشده‌ی جدید اعمال شود که در نهایت پیکسل‌های متناظر در تصویر برای به دست آوردن نتیجه قطعه‌بندی نهایی طبقه‌بندی می‌شوند [۹].

با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی و به کمک تطبیق ویژگی‌های رنگ و بافت دقت سامانه‌های بازیابی تصویر افزایش یافته است. برای استخراج ویژگی بافت از تبدیل موجک پارامتری استفاده کرده‌اند و ویژگی رنگ به‌صورت هیستوگرام رنگ در فضای رنگ HSV در نظر گرفته‌اند. پارامترهای موجک مادر و سطوح چندی سازی با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی برای حداکثر کردن دقت بازیابی بهینه گروه معنایی با استفاده از محاسبه گراف دقت ارزیابی شده است [۱۰]. در روش پیکسونی جهت بهبود روش FCM^{۱۰} در قطعه‌بندی تصاویر با استفاده به‌جای اینکه کلیه‌ی پیکسل‌های یک تصویر در قطعه‌بندی آن مورد ارزیابی قرار گیرند، تنها تعدادی پیکسون (که هر یک حاوی چندین پیکسل می‌باشند) در بخش‌بندی تصویر موردبررسی قرار می‌گیرند [۱۱].

۳- پیش‌فرض‌های پژوهش

تعیین تعداد دقیق خوشه‌های یک مجموعه اشیاء یکی از مسائل حل نشده یادگیری بدون نظارت می‌باشد روش‌هایی برای تعیین تقریبی تعداد خوشه ابداع شده است اما هنوز این روش‌ها کاملاً به نتیجه نرسیده است. در این پژوهش ما ارزیابی را بر مبنای تعداد مختلف خوشه انجام داده‌ایم. اگر تعداد خوشه‌ها در ابتدا مقداری کمتر از حد لازم تفکیک تعریف کنیم قطعات مجزای تصویر باهم یک قطعه واحد را می‌سازند و اگر تعداد خوشه مقداری بیشتر از حد لازم باشد خوشه‌بندی قطعات واحد را بر اساس تغییر جزئی در رنگ و بافت به قطعات مجزا تقسیم می‌کند [۱۲]. بر همین اساس در این پژوهش فرض بر آن شده است برای تصاویری که دارای تنوع رنگ بیشتری هستند تعداد خوشه‌ها را افزایش دهیم و برای تصاویر دارای تنوع رنگ کمتر تعداد خوشه‌ها را کاهش دهیم. در شکل ۱ نمونه‌ای از قطعه‌بندی پیشنهادی به ترتیب با تعداد خوشه ۷ و ۳، آورده شده است.

¹⁰ Fuzzy c-means



شکل ۱: تحلیل تعداد خوشه‌ها در تغییر مقدار k

۴- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی شامل چهار مرحله است. مرحله اول، ابتدا با استفاده از الگوریتم SLIC^{۱۱} به تولید سوپر پیکسل پرداخته‌ایم که این الگوریتم با استفاده از یک فضای ۵ بعدی و در فضای رنگی سیلب^{۱۲} سوپر پیکسل‌ها را تولید می‌کند. سپس برای نمایه‌سازی و تفکیک سوپر پیکسل‌ها و در نهایت یافتن قطعات تصاویر از دو دسته ویژگی رنگ و بافت تصویر استفاده می‌شود. در مرحله دوم ویژگی رنگ هر سوپر پیکسل استخراج می‌شود و چیدمان ویژگی رنگ هر سوپر پیکسل بدین صورت می‌باشد که برای هر تصویر در فضای HSV سه هیستوگرام مجزا برای کانال‌های $H^{۱۳}$, $S^{۱۴}$ و $V^{۱۵}$ در نظر گرفته شده و برای جلوگیری از پیچیدگی زمانی، هر هیستوگرام به ترتیب به ۸ و ۴ و ۴ زیر فاصله، چندی سازی^{۱۶} شده است و در مرحله سوم برای پیدا کردن ویژگی بافت از الگوریتم NSCT^{۱۷} استفاده شده است [۱۳] و در مرحله چهارم داده‌های ساخته شده با استفاده از روش پیشنهادی جدید خوشه‌بندی طیفی با هسته فازی خوشه‌بندی می‌شوند و تمام سوپر پیکسل‌هایی که یک برچسب خوشه دارند در یک قطعه قرار می‌گیرند [۱۴].

۴-۱. سوپر پیکسل

ایده اصلی سوپر پیکسل کاهش تعداد نمونه‌های مورد نیاز پردازش تصویری می‌باشد. هر سوپر پیکسل نماینده یک ناحیه همگن و با معنای تصویری که از مجموعه‌ای پیکسل‌های مجاور تشکیل شده است و در قالب یک واحد داده قابل دسترس و پردازش خواهد بود.

مزایای استفاده از سوپر پیکسل را می‌توان چنین برشمرد:

۱. معمولاً برنامه‌های پردازش تصویر به دلیل انجام پردازش بروی صدها هزار پیکسل هزینه پردازش زیادی دارند در صورتی‌که با استفاده از سوپر پیکسل می‌توانیم پیچیدگی فضائی پردازش را به تعداد چند صد واحد کاهش دهیم.
 ۲. با استفاده از سوپر پیکسل علاوه بر کاهش پیچیدگی فضای و افزایش سرعت پردازش کیفیت نتایج افزایش می‌یابد.
- روش‌های متعددی برای تولید سوپر پیکسل ابداع شده است در این تحقیق که نواحی همگن با اندازه‌های تقریباً همسان به منظور استخراج بافت تصویر مورد نیاز است روش SLIC را بکار برده‌ایم.

۴-۲. الگوریتم SLIC

الگوریتم SLIC الگوریتمی است که بر مبنای الگوریتم خوشه‌بندی K-mean ابداع شده است. برای خوشه‌بندی در این الگوریتم هر پیکسل در یک فضای ۵ بعدی که با ویژگی‌های L و a و v از فضای رنگی LAB تعریف می‌گردد

^{۱۱} Simple Linear Iterative Clustering

^{۱۲} CIE LAB

^{۱۳} Hue

^{۱۴} Saturation

^{۱۵} Value

^{۱۶} Quantize

^{۱۷} Nonsubsampled Contourlet Transform

[۱۵]

(۲)

$$bin = f(H.S.V) = [n_H H] n_S n_V + [n_S S] n_V + [n_V V]$$

از آنجاکه در این پژوهش از سوپر پیکسل به عنوان واحد پردازش تصویری استفاده شده است، برای هر سوپر پیکسل تعداد پیکسل‌هایی که رنگ آن‌ها در بازه چندی شده وجود دارد شمارش می‌گردد. هیستوگرام به صورت مجزا با شمارش پیکسل‌های ناحیه تخصیص داده شده به هر سوپر پیکسل که در بازه‌های تعریف شده قرار دارند انجام می‌گیرد و در نهایت توسط هیستوگرام برای هر سوپر پیکسل $120 \times 8 \times 4$ ویژگی به دست می‌آید.

بردار ویژگی رنگ عبارت است از

(۳)

$$F_{HSV-COLOR} = \{H'(1), H'(2), H'(3), \dots, H'(300)\}$$

که در این مجموعه ویژگی $H'(i)$ فراوانی نسبی رنگ چندی شده i می‌باشد.

(۴)

$$H'(i) = \frac{H(i)}{N}$$

$H(i)$ تعداد پیکسل‌های که دارای رنگ چندی شده i را دارا می‌باشند و N تعداد کل پیکسل‌ها در سوپر پیکسل انتخاب شده است. نمودار شماتیک ساخت هیستوگرام رنگ استفاده شده در این پژوهش در شکل شماره ۲ آورده شده است.

۴-۴. استخراج ویژگی بافت

جهت استخراج ویژگی بافت در این پژوهش از الگوریتم NSCT بهره جستیم این الگوریتم یک تصویر را به چندین زیر باند تجزیه می‌کند. زیر باندهای با مقیاس‌ها و جهات مختلف؛ که در این تحقیق ما از ۱۰ زیر باند استفاده کرده‌ایم [۱۸، ۱۹]. در مرحله بعد مرکز هر سوپر پیکسل‌های تولید شده را محاسبه می‌کنیم و از نقطه مرکزی پنجره‌ای به طول و عرض یکسان را در نظر می‌گیریم و ماسک مورد نظر ایجاد می‌شود این ماسک را بر روی ۱۰ زیر باند تجزیه شده تصویر اعمال می‌کنیم و ویژگی‌های آماری مورد نیاز این

برای انتخاب ویژگی پیکسل، به این دلیل از فضای رنگی LAB استفاده شده که در فاصله‌های کم از نظر ادراکی یک دست باشند. به جای استفاده مستقیم از معیار شباهت فاصله اقلیدسی، در یک فضای ۵ بعدی الگوریتم SLIC از یک فضای محدود مطلوب که به طور تقریبی برای همه سوپر پیکسل‌ها برابر است استفاده می‌کند. اگر تعداد پیکسل‌های این فضا K باشد ابعاد این فضای محدود $S = \sqrt{N/K}$ خواهد بود (N تعداد کل پیکسل‌های تصویر است).

اگر $[l_i, a_i, b_i, x_i, y_i]^T$ مختصات پیکسل i در فضای ۵

بعدی باشد و C_k با مختصات $[l_k, a_k, b_k, x_k, y_k]^T$

آنگاه معیار فاصله چنین خواهند بود:

(۱)

$$d_{lab} = \sqrt{(l_k - l_i)^2 + (a_k - a_i)^2 + (b_k - b_i)^2}$$

$$d_{xy} = \sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2}$$

$$D_s = d_{lab} + \frac{m}{S} d_{xy}$$

که در آن متغیر m پارامتری برای تنظیم فشردگی سوپر پیکسل‌ها می‌باشد. الگوریتم SLIC در مقایسه با K-mean پیشرفت‌های دیگری نیز داشته است. با کاهش فضای جستجو محاسبه فواصل به طرز چشمگیری کاهش می‌یابد و موجب افزایش سرعت خوشه‌بندی می‌شود [۱۶].

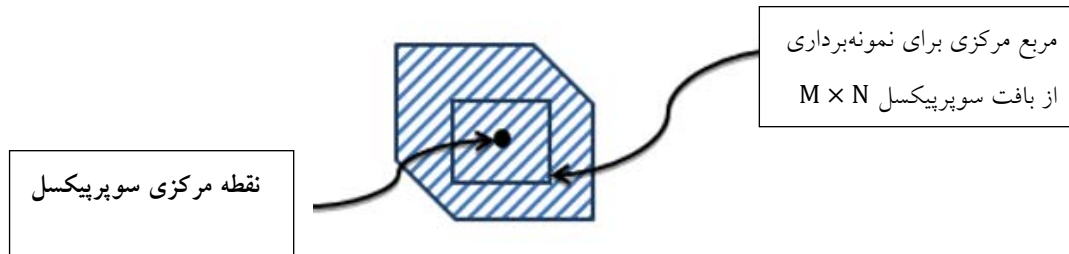
۴-۳. استخراج ویژگی رنگ

جهت استخراج ویژگی رنگ در این پژوهش از روش مرسوم هیستوگرام رنگ استفاده شده است و به این صورت عمل می‌کند که پس از تبدیل تصویر ورودی از فضای RGB به فضای HSV، H, S, V به صورت خطی بخش‌بندی می‌شوند. به دلیل توانایی افتراق (تمایز) حس بینایی انسان، حساسیت به رنگ (H) بیش از مؤلفه‌های روشنایی (S) و خلوص (V) است از این رو فضای H به هشت بازه و هر کدام از فضاهای S و V به چهار بازه چندی‌سازی می‌شوند [۱۷].

فرض کنیم هر رنگ در هر فضای رنگی در محدوده [0.1] قرار داشته باشد آنگاه اندیس هر زیر فاصله چنین محاسبه می‌شود:

می‌شود [۲۰]. شکل ۳ چگونگی نمونه‌برداری از بافت سوپرپیکسل را نشان می‌دهد.

پژوهش که میانگین، انحراف معیار و آنتروپی می‌باشد از هر نمونه بر روی زیر باندها، برای هر سوپر پیکسل محاسبه



شکل ۳: نشان‌دهنده‌ی نمونه‌برداری از بافت سوپرپیکسل

اندازه شباهت فازی هسته‌ای تعلق هر نمونه داده را به خوشه‌ها محاسبه می‌کنیم [۲۲].
مراحل الگوریتم استفاده شده در این پژوهش بدین شرح می‌باشد

۱. مجموعه اشیاء ابتدا با استفاده از الگوریتم KFCM خوشه‌بندی می‌شوند و یک ماتریس عضویت U ایجاد می‌گردد [۲۴، ۲۳].

۲. برای هر عنصر x_i تعداد t نزدیک‌ترین همسایه یافت می‌شود.
۳. برای تمام جفت اشیاء x_j, x_i

اگر x_j, x_i ، t نزدیک‌ترین همسایه یکدیگر نبودند آنگاه: $W_{ij} = 0$ ، اگر x_j و x_i به یک خوشه تعلق داشتند و t نزدیک‌ترین همسایه بودند آنگاه: $W_{ij} = 1$ در غیر این صورت $W_{ij} = e^{(\ln 2) \times (u_i \oplus u_j)}$ برای سنجش نزدیکی و مشابهت دوشی که درجه ت ق آن‌ها را در اختیار داریم از عملگرهای انحصاری (Exclusive OR) استفاده می‌کنیم که در واقع میزان هم‌پوشانی دو مجموعه فازی است.

۴. در این مرحله یک ماتریس قطری D تعریف می‌شود که در آن عنصر D_{ij} برابر با مجموع سطر i آم ماتریس W است. بنابراین داریم:

$$D_{ij} = \sum_{j=1}^n W_{ij}$$

پس از آن به صورت زیر نرمال‌سازی می‌شود.

ویژگی بافت هر سوپر پیکسل با توجه به معیارهای میانگین و انحراف معیار و آنتروپی به صورت زیر برای هر سوپر پیکسل ذخیره می‌شود:

(۵)

$$F_{\text{texture}}(I) = \left\{ \begin{array}{l} \mu(l, 1), \dots, \mu(l, 10), \sigma(l, 1), \dots, \sigma(l, 10), \text{Entropy}(l, 1) \\ \dots, \text{Entropy}(l, 10) \end{array} \right\}$$

و بدین گونه ۳۰ ویژگی برای بافت ذخیره می‌شود.

۴-۵. الگوریتم قطعه‌بندی پیشنهادی

در روش پیشنهادی برای قطعه‌بندی تصویر از الگوریتم جدید $KFCM^{18}$ استفاده شده است. $KFCM$ نسخه هسته‌ای از FCM^{19} را ارائه می‌دهد که با استفاده از یک تابع هسته، فاصله نقاط داده از مراکز خوشه را محاسبه می‌کند [۲۱]. در $KFCM$ داده‌ها از فضای ورودی، به فضایی با بعد بالاتر که معمولاً فضای هسته نامیده می‌شود، نگاشته می‌شوند و داده‌ها در آن به صورت ساختارها یا الگوهای ساده‌تر نشان داده می‌شوند تابع هسته در این الگوریتم با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

(۶)

$$K = e^{-\|x-y\|^2/\rho}$$

ابتدا تابع عضویت محاسبه می‌شود و سپس با استفاده از یک

¹⁸ Kernel fuzzy C-Means

¹⁹ Fuzzy C-Means

خوشه‌بندی نهائی آن‌ها را با استفاده از الگوریتم K-mean (۸)

اجام می‌دهیم.

$$L = D^{-1/2}WD^{-1/2}$$

برای تعیین دقت خوشه‌بندی از فرمول زیر استفاده می‌کنیم:

(۱۰)

$$Accuracy = \frac{\sum_{i=1}^n \delta(y_i, map(c_i))}{n}$$

برای مقایسه کارایی این الگوریتم، آن را با الگوریتم پیشنهاد شده‌ی یانگ و همکاران که در مرجع [۶] با نام SCS تعریف شده است مقایسه‌ی کرده‌ایم و بر روی دو دیتاست با نام Aggregation و JAIN اجرا کرده‌ایم.

تعداد K بردار ویژه بزرگ‌تر L را پیدا می‌کنیم (بردار اول انتخاب می‌شوند) و ماتریس

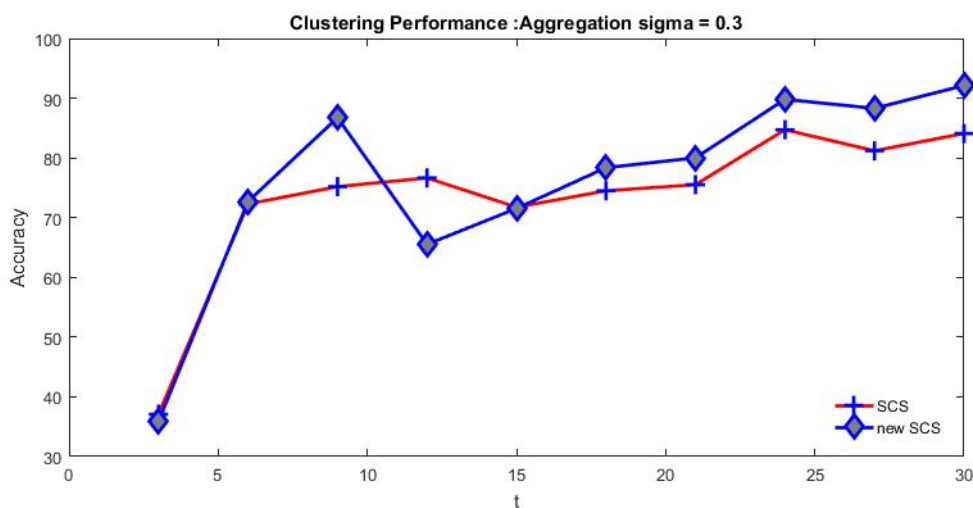
$$P = \{p^1, p^2, p^3, \dots, p^k\}$$

سپس الگوریتم با نرمال‌سازی مجدد هر سطر در ماتریس P ماتریس Y را تشکیل می‌دهد.

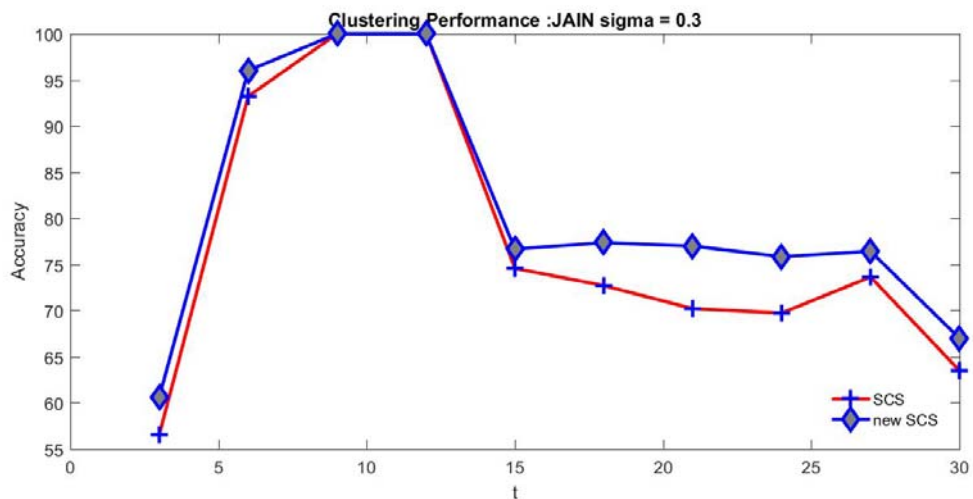
(۹)

$$Y_{ij} = \frac{p_{ij}}{(\sum_j p_{ij}^2)^{1/2}}$$

۵. هر سطر Y یک نقطه در فضای R^k تلقی می‌شود و در آخر



شکل ۴: نشان‌دهنده‌ی کارایی پایگاه داده Aggregation



شکل ۵: نشان‌دهنده‌ی کارایی پایگاه داده JAIN

همکاران بیشتر بوده است.

همان‌طور که در شکل‌های بالا نشان داده شده است میزان کارایی روش پیشنهادی نسبت به روش پیشنهادی یانگ و

جدول ۱: مقایسه دقت خوشه‌بندی برای چهار دیتاست ساختگی و با تنظیم سیگما ۰,۳ و تعداد نزدیک‌ترین همسایه ۹.

| نام دیتاست | تعداد خوشه | روش SCS | روش جدید پیشنهادی |
|-------------|------------|---------|-------------------|
| Aggregation | 7 | 74.20 | 77.60 |
| JAIN | 2 | 100.00 | 100.00 |

تصاویر دانشگاه برکلی انتخاب شده است. پارامترهای خوشه بندی برای هر دو الگوریتم یکسان در نظر گرفته شده مقدار سیگما ۰,۳ و مقدار تعداد نزدیک‌ترین همسایه ۹ خوشه‌بندی برای تعداد ۱۰؛ ۱۵ و ۲۰ خوشه برای هر تصویر انجام شده است به عبارتی هر تصویر با هر روش سه بار خوشه‌بندی می‌شود. پس از خوشه‌بندی با استفاده از توابع متلب نوشته شده که در سایت پردازش تصویر دانشگاه برکلی در دسترس است شاخص‌های BDE و GCE محاسبه شده‌اند.

بر اساس نتایج به دست آمده در جدول ۱، دقت خوشه‌بندی روش پیشنهادی ۴,۳ در مقایسه با الگوریتم SCS افزایش یافته است، مقایسه کارایی آنها در ادامه ارائه می‌گردد. در الگوریتم SCS برای ایجاد سوپر پیکسل از روش Turbopixel استفاده شده است ویژگی رنگ شامل ۶۴ مؤلفه و ۱۰ مؤلفه برای ویژگی بافت بکار رفته است. در این الگوریتم با همان روش کرنل فازی برای خوشه‌بندی استفاده شده است که مقایسه بخش خوشه‌بندی دو الگوریتم در فصل قبل با داده‌های ساختگی مورد بررسی قرار گرفت. سی تصویر از مجموعه

جدول ۲: نتایج الگوریتم SCS برای سی تصویر انتخابی در سه گروه خوشه‌بندی

| GCE | PRI | K |
|---------|--------|---------|
| 15.6574 | 0.7113 | 10 |
| 15.9511 | 0.7083 | 15 |
| 15.7750 | 0.7072 | 20 |
| 15.7945 | 0.7090 | میانگین |

جدول ۳: نتایج الگوریتم روش پیشنهادی برای سی تصویر انتخابی در سه گروه خوشه‌بندی

| GCE | PRI | K |
|---------|--------|---------|
| 15.3959 | 0.7206 | 10 |
| 15.7061 | 0.7174 | 15 |
| 15.9525 | 0.7105 | 20 |
| 15.6848 | 0.7162 | میانگین |

[۲] اکبری زاده، غلامرضا؛ رحمانی، معصومه؛ الگوریتم خوشه بندی طیفی مبتنی بر فاصله بافتی برای قطعه بندی تصاویر ماهواره ای SAR؛ فصلنامه صنایع الکترونیک ۴؛ ۱۳۹۲.

[3] Du, H., Wang, Y., Dong, X., & Cheung, Y. M. (2015, August). Texture image segmentation using spectral clustering. In International Conference on Human-Computer Interaction (pp. 671-676). Springer International Publishing.

[۴] مدنی، سحر؛ امین غفاری، مینا؛ (۱۳۸۸). یک روش خوشه بندی طیفی جهت یافتن مازول های مشابه در شبکه های پیچیده، پانزدهمین کنفرانس بین المللی سالانه انجمن کامپیوتر ایران، تهران، انجمن کامپیوتر، مرکز توسعه فناوری نیرو.

[۵] فیاض، طیه؛ طوسی، محمد امین (۱۳۹۴)، محاسبه پارامترهای خوشه بندی طیفی در تصاویر MRI با الگوریتم ژنتیک، هشتمین کنفرانس بین المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات، دانشگاه فردوسی مشهد.

[6] Yang, Y., Wang, Y., & Xue, X. (2016). A novel spectral clustering method with superpixels for image segmentation. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 127(1), 161-167.

[7] Li, Z., Wu, X. M., & Chang, S. F. (2012, June). Segmentation using superpixels: A bipartite graph partitioning approach. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference on* (pp. 789-796). IEEE.

[۸] اکبری زاده، غلامرضا؛ رحمانی، معصومه؛ (۱۳۹۲)، الگوریتم خوشه بندی طیفی مبتنی بر فاصله بافتی برای قطعه بندی تصاویر ماهواره ای SAR، فصلنامه صنایع الکترونیک ۴.

[9] Liu, H., Zhao, F., & Jiao, L. (2012). Fuzzy spectral clustering with robust spatial information for image segmentation. *Applied Soft Computing*, 12(11), 3636-3647.

[۱۰] راشدی، عصمت؛ نظام آبادی پور، حسین؛ سریزدی؛ سعید، (۱۳۹۲)، افزایش دقت سامانه های بازیابی تصویر به کمک تطبیق ویژگی های رنگ و بافت با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی، دستگاه های هوشمند در مهندسی برق، سال چهارم، شماره سوم.

[۱۱] حسن پور، حمید؛ نادر نژاد؛ احسان، (۱۳۸۶)، استفاده از ساختار پیکسونی جهت بهبود روش Fuzzy C-means در قطعه بندی تصاویر، سیزدهمین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران، جزیره کیش، انجمن کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شریف.

[12] Ferreira, M. R., & De Carvalho, F. D. A. (2014). Kernel fuzzy c-means with automatic variable weighting. *Fuzzy Sets and Systems*, 237,

همچنان که در دو جدول ۲ و ۳ دیده می شود در روش پیشنهادی شاخص PRI در جهت بهبود افزایش داشته و شاخص GCE در جهت بهبود کاهش داشته است.

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این پژوهش دو ویژگی رنگ و بافت جهت قطعه بندی تصویر در نظر گرفته شده است و با استفاده از الگوریتم های فازی هسته ای و تعریف یک تابع شباهت جدید برای مقایسه عناصر تصویری، قطعه بندی تصویر را پیاده سازی کرده ایم. در روش پیشنهادی برای افزایش سرعت و کاهش پیچیدگی فضائی و زمانی از ایده گروه بندی اولیه پیکسل ها یا سوپر پیکسل سود جستیم. خوشه بندی طیفی مستلزم هزینه محاسباتی بالا می باشد از این رو جهت صرفه جویی در زمان و سرعت بخشیدن به قطعه بندی تصاویر استفاده از خوشه بندی با سوپر پیکسل ها نتایج بهینه ای را محقق خواهد کرد و پیچیدگی زمانی و فضایی را کاهش می دهد. همان طور که در جدول های قبل نشان داده شد، الگوریتم پیشنهادی به طور کلی و با در نظر گرفتن ۲ معیار GCE و PRI کارایی خوبی را از خود نشان داده است و در مواردی بهتر از دیگر الگوریتم ها نیز می باشد [۲۵]. این نتایج خوب حاصل ابتکاراتی بوده که در الگوریتم پیشنهادی ارائه شده است. تعیین تعداد دقیق خوشه های یک مجموعه اشیاء هنوز یکی از مسائل حل نشده یادگیری بدون نظارت می باشد. روش هایی برای تعیین تقریبی تعداد خوشه ابداع شده است اما هنوز این روش ها کاملاً به نتیجه نرسیده است [۲۶]. در این پژوهش ما ارزیابی را بر مبنای تعداد مختلف خوشه انجام داده ایم. به عنوان کارهای آتی می توان با اعمال الگوریتم های مختلف و ارزیابی آن ها به نتیجه قطعی در مورد تعیین تعداد خوشه ها رسید.

منابع

[۱] صادقیان، پریا؛ بورجدی، معصومه؛ (۱۳۹۲)، بررسی روش های قطعه بندی تصویر و مقایسه آن ها، ششمین همایش فرا منطقه ای پیشرفته ای نوین در علوم مهندسی، تنکابن، موسسه آموزش عالی آیندگان.

wavelet domain. arXiv preprint arXiv:1205.1648.

[20] Xiaolan, H., Yili, W., & Yiwei, W. (2013). Texture feature extraction method combining nonsubsampling contour transformation with gray level co-occurrence matrix. *Journal of multimedia*, 8(6), 675-684.

[21] Gu, X., & Purvis, M. (2016, April). Image Segmentation with Superpixel Based Covariance Descriptor. In *Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 154-165). Springer International Publishing.

[22] Chen, L., Chen, C. P., & Lu, M. (2011). A multiple-kernel fuzzy C-means algorithm for image segmentation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 41(5), 1263-1274.

[23] Ferreira, M. R., & De Carvalho, F. D. A. (2014). Kernel fuzzy c-means with automatic variable weighting. *Fuzzy Sets and Systems*, 237, 1-46.

[24] Chaudhuri, K., Chung, F., & Tsias, A. (2012, June). Spectral clustering of graphs with general degrees in the extended planted partition model. In *Conference on Learning Theory* (pp. 35-1).

[25] Levinshtein, A., Stere, A., Kutulakos, K. N., Fleet, D. J., Dickinson, S. J., & Siddiqi, K. (2009). Turbopixels: Fast superpixels using geometric flows. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 31(12), 2290-2297.

[26] Jia, H., Ding, S., & Du, M. (2015). Self-tuning p-Spectral clustering based on shared nearest neighbors. *Cognitive Computation*, 7(5), 622-632.

1-46.

[13] Liu, M., Hou, Y., Guo, X., Huan, Z., & Yang, D. (2009, October). Texture classification using nonsubsampling contourlet transform and LS-SVM. In *Image and Signal Processing, 2009. CISP'09. 2nd International Congress on* (pp. 1-5). IEEE.

[14] Liu, H. Q., Jiao, L. C., & Zhao, F. (2010). Non-local spatial spectral clustering for image segmentation. *Neurocomputing*, 74(1), 461-471.

[15] Biswas, S., Ghoshal, D., & Hazra, R. (2016). A new algorithm of image segmentation using curve fitting based higher order polynomial smoothing. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 127(20), 8916-8925.

[16] Hsu, C. Y., & Ding, J. J. (2013, December). Efficient image segmentation algorithm using SLIC superpixels and boundary-focused region merging. In *Information, Communications and Signal Processing (ICICS) 2013 9th International Conference on* (pp. 1-5). IEEE.

[17] Figueroa, J. P., & Bykbaev, V. R. (2012). Image retrieval based on the combination of RGB and HSV's histograms and Colour Layout Descriptor. *Ingenius: Revista de Ciencia y Tecnología*, (7).

[18] Liu, M., Hou, Y., Guo, X., Huan, Z., & Yang, D. (2009, October). Texture classification using nonsubsampling contourlet transform and LS-SVM. In *Image and Signal Processing, 2009. CISP'09. 2nd International Congress on* (pp. 1-5). IEEE.

[19] Simon, P. (2012). A novel statistical fusion rule for image fusion and its comparison in non subsampling contourlet transform domain and