

# الگوریتم بخش‌بندی مبتنی بر لبه برای تصاویر ماهواره‌ای SAR با استفاده از

## اتوماتای سلولی فازی بهینه شده

محمد فرید<sup>۱</sup>، غلامرضا اکبری‌زاده<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد برق-الکترونیک، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی، گروه برق-الکترونیک، g.akbari@scu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۴

### چکیده

اخیراً پیشرفت‌های زیادی در وضوح تصاویر SAR انجام گرفته و مطالعات زیادی نیز بر روی روش‌های بخش‌بندی این تصاویر برای ساخت و به‌روز رسانی اطلاعات جغرافیایی صورت گرفته است. در این مقاله، الگوریتم اتوماتای سلولی فازی برای بخش‌بندی تصاویر SAR پیشنهاد شده است. این نظریه ترکیب اتوماتای سلولی و قوانین فازی برای ایجاد یک مدل به نام اتوماتای سلولی فازی است. در این مقاله از همسایگی هشت تایی مور استفاده شده است. سه متغیر به نام سلول اولیه، وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه و سطح خاکستری سلول‌های همسایه در هشت جهت مختلف مور بررسی شده و قوانین فازی بر روی آنها اعمال شده است. سپس نتایج بر روی دو دسته از تصاویر آزمایش شده‌اند. دسته اول تصاویر اپتیکی و شبیه‌سازی شده‌ی SAR است که ابتدا با الگوریتم FCA بخش‌بندی شده و سپس با الگوریتم GA و AFS مقایسه می‌شوند. میزان درصد خطای FCA پیشین و FCA پیشنهادی نیز محاسبه شده است. دسته دوم، تصاویر واقعی SAR است که پس از بخش‌بندی با الگوریتم FCA، با الگوریتم‌های ABC، AFS، GA، الگوریتم آستانه‌گیری مبتنی بر هیستوگرام و FCA پیشین مقایسه شده‌اند. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که روش ارائه شده نسبت به دیگر روش‌ها برای بخش‌بندی تصاویر SAR به دلیل داشتن دقت بیشتر در بخش‌بندی و خطای کمتر مناسب‌تر است.

### کلیدواژه

بخش‌بندی تصاویر، رادار روزنه ترکیبی، اتوماتای سلولی، اتوماتای سلولی فازی

### مقدمه

از تصاویر معمولی است. بخش‌بندی تصویر یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین مراحل پردازش تصاویر SAR است. بخش‌بندی، اطلاعات اساسی و پایه‌ای از هر تصویر یا صحنه را در اختیار ما قرار می‌دهد [۴]. اخیراً از روش‌های متفاوتی برای بخش‌بندی تصویر SAR استفاده می‌شود که به‌طور کلی می‌توان آنها را به چهار بخش آستانه‌گیری، تشخیص لبه، خوشه‌بندی و رشد ناحیه-ای تقسیم‌بندی کرد [۲]. ویژگی‌هایی که در بخش‌بندی تصاویر SAR استفاده می‌شود شامل مقدار سطوح خاکستری و ویژگی‌های بافت است [۵]. هدف از بخش‌بندی تصاویر SAR، تقسیم‌بندی یک تصویر به مناطقی با ویژگی‌های مختلف است. یکی از مشکلات و چالش‌های اساسی بخش‌بندی تصاویر SAR، وجود نویزهای ضرب‌شونده اسپیکل است که کنترل آنها بسیار سخت‌تر از نویزهای معمولی است و همین امر موجب می‌شود تا همه‌ی الگوریتم‌های بخش‌بندی تصویر، الزاماً روی تصاویر SAR به‌خوبی جواب ندهد [۶]. مقالات و کتاب‌هایی که در زمینه

امروزه تحلیل و به‌کارگیری تصاویر رادار روزنه ترکیبی<sup>۱</sup> (SAR) کاربردهای بسیار زیادی پیدا کرده است. از ویژگی‌های بارز این تصاویر نسبت به سایر تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، عدم تأثیر شرایط بد آب و هوایی و حتی تاریکی و روشنی ناشی از شب و روز بر روی این تصاویر است [۱]. از دیگر مزایای تصاویر SAR، قابلیت تصویربرداری از فاصله بسیار زیاد نسبت به زمین، نفوذ و عبور از ریزگردها و سایر مواد موجود در فضا و جو زمین و درجه تفکیک‌پذیری بسیار بالا نسبت به سایر تصاویر هوایی است [۲]. با همه‌ی این مزایا، تفاوت تصاویر SAR با تصاویر اپتیکی در آلودگی ذاتی این تصاویر است که در اثر نویز اسپیکل<sup>۲</sup> ایجاد می‌شود. نویز اسپیکل تفکیک‌پذیری فضایی تصویر را کاهش می‌دهد و جزئیات ساختارها را آلوده می‌کند [۳]. لذا پردازش تصاویر SAR پیچیده‌تر

1. Synthetic Aperture Radar  
2. Speckle Noise

بخش‌بندی و تشخیص بافت تصاویر SAR ارائه شده‌اند، نويز موجود در تصاویر SAR را به عنوان مهم‌ترین و اساسی‌ترین معضل در بخش‌بندی معرفی کرده‌اند [۷]. روش‌های بسیاری برای بخش‌بندی تصاویر SAR موجود است که شامل روش آستانه‌گیری [۸-۱۰]، الگوریتم خوشه‌یابی [۱۱]، روش‌های مبتنی بر مدل آماری [۱۲]، الگوریتم مورفولوژیک [۱۳] و غیره هستند. به طور کلی می‌توان بخش‌بندی تصاویر را به دو گروه بخش‌بندی براساس رشد ناحیه‌ای و بخش‌بندی بر پایه‌ی تشخیص لبه تقسیم‌بندی کرد. لبه، مهم‌ترین و پایه‌ای‌ترین اطلاعات از هر تصویر را ارائه می‌کند و دارای اطلاعات بسیار مهمی برای شناسایی اشیاء در تصویر است [۱۴-۱۶]. در سال‌های اخیر عموماً از الگوریتم‌های سوبل<sup>۳</sup>، کنی<sup>۴</sup>، ویولت<sup>۵</sup> و غیره برای تشخیص لبه استفاده شده است. روش‌های رایج مشکلاتی دارند که موجب می‌شود تشخیص لبه با اشکال همراه شود. تشخیص مرتبه و نوع فیلتر انتخابی یکی از مشکلات این روش‌هاست. مشکل مهم‌تر این روش‌ها، در نظر نگرفتن پیکسل‌های همسایه‌ی لبه است که موجب می‌شود تشخیص لبه به خوبی صورت نگیرد [۱۴]. در این روش‌ها، گرادیان هر پیکسل با یک آستانه‌ی مشخص مقایسه می‌شود. در صورتی که مقدار گرادیان بیشتر از آن آستانه باشد، پیکسل به عنوان یک پیکسل از لبه نام‌گذاری می‌شود. این مقدار آستانه غالباً به صورت تجربی مشخص می‌شود که این امر احتمال اشتباه را به شدت افزایش می‌دهد [۱۵]. برای بهبود تشخیص لبه، روش اتوماتای یادگیر سلولی [۱۷] پیشنهاد شده که علاوه بر انتخاب مقیاس مناسب برای فیلتر، سلول‌های همسایه‌ی لبه را هم در نظر می‌گیرد. این روش مشکلات روش‌های پیشین را برطرف کرده ولی به تنهایی نمی‌تواند روش مناسبی برای تشخیص لبه باشد؛ زیرا بعضی از ویژگی‌های لبه را در نظر نمی‌گیرد. از این رو ترکیب و به‌کارگیری قوانین و ویژگی‌های فازی کمک بزرگی به بهبود تشخیص لبه می‌کند. لبه، علاوه بر نشان دادن تغییر ناگهانی سطح خاکستری تصویر در ناحیه‌ی مربوطه، اطلاعاتی از همسایه‌های لبه را نیز در اختیار می‌گذارد. ویژگی‌های همسایه‌ی لبه عبارتند از [۱۴]: (۱) تغییر ناگهانی سطح خاکستری در لبه؛ (۲) لبه فقط یک مرز خالی در تصویر نیست؛ (۳) لبه دارای پهنا می‌باشد؛ (۴) لبه دارای راستا است؛ و (۵) لبه دارای پیوستگی است. از این رو ترکیب و به‌کارگیری قوانین و ویژگی‌های فازی کمک بزرگی به بهبود تشخیص لبه می‌کند. در واقع می‌توان گفت یکی از ترکیب‌های مناسب، نخست استفاده از قوانین فازی برای

تشخیص مناسب لبه و ویژگی‌های آن، و سپس استفاده از اتوماتای سلولی برای تقویت و بهبود لبه‌های مورد نظر است [۱۶]. کارایی بخش‌بندی براساس کار مستقیم بر روی شدت روشنایی پیکسل‌های تصویر رو به کاهش است. روش‌هایی با کارایی خوب اغلب در محاسبات پیچیده درگیرند که ممکن است منجر به این شود که تمام فرایندها از نظر زمان طولانی شود، بنابراین ابداع روش‌های موثر و ساده ضروری می‌باشد [۱۸]. اتوماتای سلولی فازی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند برای بخش‌بندی تصاویر SAR مورد استفاده قرار گیرد. این نظریه ترکیب اتوماتای سلولی و قوانین فازی برای ایجاد یک مدل به نام اتوماتای سلولی فازی است. بنابراین پیکسلی که سطح خاکستری دارد می‌تواند بین جسم و پس‌زمینه به خوبی به کار گرفته شود و نتیجه خوبی از بخش‌بندی تصویر حاصل شود. اگر حالت سلول به حالت اتوماتای سلولی فازی تغییر یابد، تمام قوانین به قوانین فازی تغییر یافته و اتوماتای سلولی فازی شکل می‌گیرد. به این ترتیب مساله بخش‌بندی می‌تواند بهتر حل شود و یک الگوریتم بخش‌بندی تصویر جدید به دست آید [۱۹]. روش ارائه شده در این مقاله، الهام گرفته از کار انجام شده در مرجع [۱۹] است که در آن از الگوریتم اتوماتای سلولی فازی برای پردازش تصاویر به طور کلی استفاده شده است. در این مقاله، با توجه به این که هدف بخش‌بندی تصاویر SAR می‌باشد و این تصاویر در اثر نویزهای اسپیکل که نویزهای ضرب شونده بوده، تخریب شده‌اند، برخی از قوانین قبلی متناسب با تصاویر SAR اصلاح شده و یک سری قوانین جدید نیز به روش قبلی افزوده شده‌اند. در این مقاله ابتدا قوانین فازی که در گذشته بر روی تصاویر اپتیکی اعمال شده، معرفی می‌شوند و با تغییراتی این قوانین را بر روی تصاویر SAR اعمال می‌کنیم. سپس قوانین فازی جدید ارائه می‌شوند و با قوانین قبلی مقایسه می‌شوند. ادامه این مقاله در بخش‌های زیر تنظیم شده است: در بخش دوم، به مروری بر الگوریتم‌های GA<sup>۶</sup>، AFS<sup>۷</sup>، ABC<sup>۸</sup> و آستانه‌گیری مبتنی بر هیستوگرام می‌پردازیم. در بخش سوم، به توصیف مختصر مفهوم اتوماتای سلولی و اتوماتای سلولی فازی پرداخته شده و الگوریتم‌های پیشنهادی ارائه شده‌اند. در بخش چهارم، نتایج آزمایش‌ها بر روی تصاویر اپتیکی و شبیه‌سازی شده‌ی SAR مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش پنجم، نتایج آزمایش‌ها بر روی تصاویر واقعی SAR مورد بررسی قرار می‌گیرد و در نهایت در بخش ششم، نتیجه‌گیری ارائه شده است.

6 . Artificial Bee Colony  
7 . Fish-Swarm Algorithm  
8 . Genetic Algorithm

3 . Sobel  
4 . Canny  
5 . Wavelet

۶) تصویر فیلتر شده I با آستانه‌گیری مناسب S بخش‌بندی شده و تصویر نهایی بخش‌بندی شده به‌دست می‌آید.

### الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک روش بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت موجودات زنده است که می‌توان در طبقه‌بندی‌ها از آن به‌عنوان یک روش عددی جستجوی مستقیم و تصادفی یاد کرد. این الگوریتم، الگوریتمی مبتنی بر تکرار است و اصول اولیه‌ی آن از علم ژنتیک اقتباس گردیده و با تقلید از تعدادی از فرآیندهای مشاهده شده در تکامل طبیعی، اختراع شده است و به‌طور موثری از دانش‌های موجود در یک جمعیت استفاده می‌کند تا راه‌حل‌های جدید و بهبود یافته را ایجاد کند. الگوریتم ژنتیک در هر تکرار چند نقطه از فضای جستجو را در نظر می‌گیرد؛ بنابراین شانس این‌که به یک ماکزیمم محلی همگرا شود، کاهش می‌یابد. الگوریتم ژنتیک از عملگرهای زیر تشکیل شده است [۲۰]:

(۱) کدگذاری؛ (۲) ارزیابی؛ (۳) ترکیب؛ (۴) جهش و (۵) رمزگشایی.

### الگوریتم هجوم ماهی (AFS)

این الگوریتم در ناحیه‌ای از آب که در آن تعدادی از ماهی‌ها بیشترین تغذیه را دارند، مشخص می‌شود. این الگوریتم به تقلید از رفتار شکار ماهی برای رسیدن به هدف مطلوب ارائه شده است. AFS قابلیت‌ها و مزیت‌های بسیاری دارد؛ مانند توانایی پیدا کردن حداقل یا حداکثر تابع ریاضی جهانی، انتخاب پارامترها، نیرومندی، عملکرد آسان و غیره. الگوریتم AFS امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته و کاربردهای بسیاری در تشخیص الگو، شبکه‌ی عصبی و تخمین پارامترها پیدا کرده است. مدل داده‌ی الگوریتم در زیر نشان داده شده است: حالت منحصر به فرد AF وابسته به بردار  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  است که در آن  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$  و متغیر را برای مقدار مطلوب جستجو می‌کند. موقعیت غلظت غذا جایی است که AF در حال حاضر قرار گرفته است و با  $Y = f(x)$  نشان داده می‌شود. در اینجا  $r$  مقدار تابع هدف است [۲۱].

### آستانه‌گیری مبتنی بر هیستوگرام

پارامترهای هیستوگرام تصویر SAR از توزیع گاما استفاده می‌کنند. تکنیک ماکزیمم احتمال از تخمین چندین توزیع استفاده می‌کند. فرض کنیم هیستوگرام تصویر، یک ترکیب خطی از چندین تابع گاما است. تکنیک احتمال ماکزیمم گاما، پارامترهای هیستوگرام  $(u, p)$  را تخمین می‌زند. هیستوگرام  $h(x_i)$  تصویر SAR حالتی از M را نشان می‌دهد که  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  یک بردار تصادفی است. متغیر تصادفی  $x_i$  برابر با طول هیستوگرام است. در مرجع [۲۲] آستانه‌گیری برای

## الگوریتم ABC، GA، AFS و آستانه‌گیری مبتنی بر هیستوگرام

### کلونی زنبور عسل مصنوعی (ABC)

زنبور عسل یک نوع حشره اجتماعی است که در کلونی زندگی می‌کند و ویژگی‌ها و اجزای بسیار زیادی دارد. این ویژگی‌ها و اجزای شامل زنبور جستجوگر، زنبور رقص، زنبور ملکه، انتخاب کار، تصمیم‌گیری جمعی، انتخاب محل لانه، جفت‌گیری و سیستم‌های ناوبری است که می‌توانند به‌عنوان مدل‌هایی برای کاربردهای هوشمند استفاده شوند. در الگوریتم ABC، کلونی زنبور عسل مصنوعی شامل زنبورهای کارگر، ناظران و دیده‌بان‌ها هستند.

مراحل مهم این الگوریتم در زیر توصیف می‌شوند:

(۱) مقداردهی اولیه‌ی کلونی زنبور عسل  $x = \{x_i | i = 1, 2, \dots, n\}$  که  $n$  بیانگر اندازه‌ی جمعیت و  $x_i$  زنبورها می‌باشند؛  
(۲) مطابق تابع تناسب، تناسب  $f_i$  از هر زنبور کارگر  $x_i$  محاسبه می‌شود و ماکزیمم میزان شهد به‌عنوان منبع غذایی مربوطه ضبط می‌شود؛

(۳) هر زنبور کارگر با رابطه  $v_i = x_i + (x_i - x_k) \times \phi$ ، یک راه‌حل جدید  $v_i$  در حافظه تولید می‌کند. در این رابطه  $k$  یک عدد صحیح نزدیک به  $i$  است؛ به‌گونه‌ای که  $k \neq i$  بوده و  $\phi$  یک مقدار تصادفی در بازه  $[-1, 1]$  است؛

(۴) از معیار حریص برای به‌روز رسانی  $x_i$  استفاده شده و تناسب  $v_i$  محاسبه می‌شود. اگر  $v_i$  برتر از  $x_i$  باشد،  $x_i$  جانشین  $v_i$  می‌شود؛ در غیر این صورت  $x_i$  باقی می‌ماند.

مراحل اصلی این الگوریتم بر روی تصاویر SAR به‌صورت زیر است [۱۹]:

(۱) تصویر اصلی با سه سطح<sup>۹</sup> DWT تجزیه می‌شود؛  
(۲) یک فیلتر پایین‌گذر برای مقابله با تصویر تقریب شده به کار گرفته می‌شود و یک تصویر فیلتر شده به‌دست می‌آید؛

(۳) تصویر گرادپان نرمالیزه شده I و تصویر فیلتر شده G در بازه  $[0, 255]$  به‌دست می‌آیند؛

(۴) آنتروپی خاکستری دو بعدی به‌عنوان تابعی متناسب با الگوریتم ABC در نظر گرفته شده و مجموعه پارامترهای کنترل در الگوریتم ABC تنظیم می‌شوند؛

(۵) در دوره‌های متعدد، زنبورهای عسل مختلف با الهام از وظایف زنبورهای شاغل، ناظران و دیده‌بان‌ها به‌تدریج روش آستانه‌گیری را بهبود داده و به هر سطح خاکستری  $(s, t)$  وزن مناسبی داده می‌شود؛

می‌سازد. در اینجا هر سلول، CA را در همان حافظه‌ای می‌نویسد که از آنها می‌خواند و در نتیجه  $\Delta \Leftarrow \in$  می‌باشد.

### عملکرد اتوماتای سلولی در بخش‌بندی تصویر

عملکرد اتوماتای سلولی در بخش‌بندی تصویر از دو فاز ساخته شده است. در اولین فاز، هر پیکسل در تصویر که سیستم ایمنی نام دارد، به‌دست آورده می‌شود. سیستم ایمنی نوعی مکانیزم حفاظت است که در آن ویژگی‌های پیکسل در سلول‌های مرزی به نمایش گذاشته می‌شود. بعد از به‌دست آمدن تمام پیکسل‌ها، آنها حملات فشرده‌ای را در فرایند آغاز می‌کنند که فاز دوم را شامل می‌شود. هدف حمله، از بین بردن همه پیکسل‌هایی است که در عملکرد سیستم ایمنی وجود ندارند [۱۹].

### اتوماتای سلولی فازی

با توجه به توانایی منطق فازی در پردازش داده‌های غیرقطعی، ساختاری از اتوماتای سلولی معرفی شده است که در آن به‌جای استفاده از مقادیر قطعی در سلول‌ها و توابع انتقال‌شان از مقادیر غیرقطعی و فازی استفاده می‌شود. در اتوماتای سلولی فازی<sup>۱۱</sup> (FCA)، مجموعه حالات یک سلول، تابع انتقال محلی یا همان قوانین فازی هستند؛ که مجموعه حالات یک سلول، متغیرهای زبانی هستند. این متغیرهای زبانی با توجه به دانش ما از مسئله مورد نظر تعیین می‌شود و حالت هر سلول در مرحله بعد بستگی به حالت فعلی سلول و حالات فعلی همسایه‌هایش دارد. این تغییر حالت توسط تابع انتقال محلی اتوماتای سلولی فازی انجام می‌شود. تابع انتقال محلی برای کلیه سلول‌ها یکسان و یک تابع فازی است. این تابع به این صورت عمل می‌کند که در هر مرحله مقدار عضویت همسایگی سلول را گرفته و مقدار عضویت آن را در مرحله بعد محاسبه می‌کند. برای نمایش روند تکامل اتوماتای سلولی فازی، از مقادیر عضویت متغیرهای زبانی سلول در هر لحظه بهره می‌گیریم و متغیر برای نمایش خروجی یک سلول در هر مرحله به کار می‌رود. همسایگی برای تمام سلول‌ها یکسان می‌باشد و در طی زمان بدون تغییر باقی می‌ماند. اتوماتای سلولی فازی را می‌توان به صورت چهارتایی  $(z, s, r, f)$  نمایش داد که  $z$  یک توری منظم  $n$  بعدی از سلول‌ها،  $s$  مجموعه حالات هر سلول می‌باشد که هر سلول در هر مرحله می‌تواند یکی از آنها را اختیار کند و مقادیر عضویت این مجموعه در بازه  $[0, 1]$  قرار دارند،  $r$  شعاع همسایگی است و  $f$  تابع انتقال فازی است [۲۳].

هیستوگرام چند حالتی تعمیم داده شده است و آستانه‌گیری به گونه‌ای تعیین شده که احتمال بین کلاس‌ها در تصویر را به حداقل برساند (دو حالت  $(c_i, c_{i+1})$  در نتیجه، آستانه‌گیری  $M + 1$  را داریم به گونه‌ای که  $T_0, \dots, T_i, \dots, T_M$  معین است و در آن  $T_0 = 0$  و  $T_M$  مربوط به بالاترین سطوح است. احتمال  $\text{misclass}$  کلاس  $C_i$  برای  $i \in [1, M]$  به صورت زیر است:

$$P_{\text{misclass}}(C_i) = p(i) \left( \int_0^{T_{i-1}} f(x, u(i), l) dx + \int_{T_i}^{+\infty} f(x, u(i), l) dx \right)$$

## بخش‌بندی تصاویر SAR با استفاده از اتوماتای سلولی فازی

### اتوماتای سلولی

اتوماتای سلولی در حقیقت سیستم‌های دینامیکی گسسته‌ای هستند که رفتارشان کاملاً براساس ارتباط محلی استوار است. در اتوماتای سلولی فضا به صورتی که شبکه تعریف می‌گردد که به هرخانه‌ی آن یک سلول گفته می‌شود. زمان نیز به صورت گسسته پیش می‌رود و قوانین آن به صورت سرتاسری است که از طریق آن در هر مرحله، هر سلول وضعیت جدید خود را با در نظر گرفتن همسایه‌های خود به‌دست می‌آورد. قوانین اتوماتای سلولی نحوه تاثیرپذیرفتن  $CA$  سلول از سلول‌های همسایه را مشخص می‌کنند [۲۳].  $CA$  یک مجموعه‌ی هفت‌تایی است که به صورت  $\{Q, d, v, \in, \Delta, \delta, \lambda\}$  می‌باشد که در آن [۲۴]:

$Q$ : مجموعه حالاتی است که هر سلول می‌تواند اختیار کند؛  
 $d$ : ابعاد فضای سلول را مشخص می‌کند که اگر  $d = 2$  باشد، در این صورت یک  $CA$  دوبعدی خواهیم داشت؛  
 $v$ : برای هر سلول  $x$  در  $CA$ ، آرایه  $v$  مشخص کننده  $k + 1$  همسایه‌ای می‌باشد که به صورت مستقیم با سلول در ارتباط هستند؛

$\in$ : الفبای ورودی  $CA$  است؛

$\Delta$ : الفبای خروجی  $CA$  است؛

$\delta$ : تابع انتقال است که به فرم  $Q \rightarrow (Q \times \in)^{k+1}$  می‌باشد.

براساس تابع انتقال، حالت هر سلول به حالت و مقادیر حافظه‌ی ورودی تمام همسایه‌های سلول در مرحله فعلی بستگی دارد.

$n$  تعداد حافظه‌های ورودی و خروجی هر سلول می‌باشد؛

$\lambda$ : رابطه مبدل است که زیر مجموعه متناهی از  $\Delta^n \times (Q \times \in)^{k+1}$  می‌باشد. این مبدل مقدار هر حافظه خروجی در هر سلول را با توجه به حالت و مقادیر حافظه‌ی ورودی همسایه‌هایش مشخص

### عملکرد اتوماتای سلولی فازی در بخش‌بندی تصویر

برای یک تصویر داده شده سه متغیر در هشت جهت مختلف همسایگی مور بررسی می‌شوند که این سه متغیر عبارتند از: سطح خاکستری سلول‌های همسایه، وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه و وضعیت سلول‌های همسایه که به‌عنوان متغیرهای ورودی سیستم فازی در نظر گرفته شده و مقادیر آنها به‌صورت زیر تعریف شده‌اند [۱۹]:

(۱) سطح خاکستری سلول‌های همسایه پنج مقدار دارد: بالا، متوسط-بالا، متوسط-متوسط، متوسط-پایین و پایین که به اختصار به‌صورت  $(H, ML, MM, MH, L)$  است؛

(۲) وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه دو مقدار دارد: بالا و پایین که به‌اختصار به‌صورت  $(H و L)$  است؛

(۳) وضعیت سلول‌های همسایه سه مقدار دارد: بالا، پایین و پیام خارجی که به‌اختصار به‌صورت  $(H و L و G)$  است؛

فقط یک متغیر در خروجی سیستم فازی وجود دارد. این متغیر دارای سه مقدار است که این سه مقدار عبارتند از: درجه ایمنی بالا، درجه ایمنی پایین و پیغام خارجی  $(H و L و G)$  قوانین فازی قبلی بر روی پارامترهای خاکستری در بخش‌بندی تصویر به‌صورت زیر تعریف شده‌اند [۱۹]:

(۱) اگر سطوح خاکستری سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ ،  $ML$  باشد، آنگاه:

۱-الف) اگر سطوح خاکستری سلول‌های همسایه  $H$  باشد، آنگاه وضعیت سلول مرکز در مرحله زمان  $H, (t+1)$  است؛

۱-ب) اگر وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه  $H$  باشد، آنگاه وضعیت سلول مرکز در مرحله زمان  $H, (t+1)$  است؛

۱-ج) اگر وضعیت سلول‌های همسایه  $G$  باشد، آنگاه وضعیت سلول مرکز در مرحله زمان  $H, (t+1)$  است.

(۲) اگر سطوح خاکستری سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ ،  $MM$  باشد، آنگاه:

۲-الف) اگر سطوح خاکستری سلول‌های همسایه  $H$  باشد، آنگاه وضعیت سلول مرکز در مرحله زمان  $H, (t+1)$  است؛

۲-ب) اگر سطوح خاکستری سلول‌های همسایه  $MH$  یا  $MM$  باشد و وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه  $H$  باشد، آنگاه وضعیت سلول مرکز در مرحله زمان  $H, (t+1)$  است؛

۲-ج) اگر سطوح خاکستری سلول‌های همسایه  $ML$  یا  $L$  باشد و وضعیت سلول‌های همسایه  $H$  باشد، آنگاه وضعیت سلول مرکز در مرحله زمان  $H, (t+1)$  است؛

۲-د) اگر سطوح خاکستری سلول‌های همسایه  $L$  نباشد و وضعیت سلول‌های همسایه  $G$  باشد، آنگاه وضعیت سلول مرکز در مرحله زمان  $H, (t+1)$  است.

(۳) اگر سطوح خاکستری سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ ،  $MH$  باشد، آنگاه:

۳-الف) اگر سطوح خاکستری سلول‌های همسایه  $H$  باشد و وضعیت سلول‌های همسایه  $H$  باشد، آنگاه وضعیت سلول مرکز در مرحله زمان  $H, (t+1)$  است؛

۳-ب) اگر سطوح خاکستری سلول‌های همسایه  $MH$  یا  $MM$  یا  $ML$  باشد و وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه  $H$  باشد، آنگاه وضعیت سلول مرکز در مرحله زمان  $H, (t+1)$  است؛

۳-ج) اگر سطوح خاکستری سلول‌های همسایه  $ML$  یا  $L$  باشد و وضعیت سلول‌های همسایه  $G$  باشد، آنگاه وضعیت سلول مرکز در مرحله زمان  $H, (t+1)$  است.

با توجه به این که قوانین بالا برای بخش‌بندی بر روی تصاویر SAR جواب قابل قبولی نمی‌دهند، لذا برای اعمال بخش‌بندی مبتنی بر قوانین فازی بر روی تصاویر SAR، این قوانین باید تغییر داده شوند.

بررسی‌ها نشان داد که اعمال فازی بر روی سلول مرکز دارای نتایج بهتری نسبت به سلول  $(t+1)$  که همان سلول‌های همسایه است، می‌باشد. بنابراین سه متغیر ورودی بدین صورت تغییر می‌کنند:

(۱) سلول مرکز دارای پنج مقدار است. سطوح بالا، متوسط-بالا، متوسط-متوسط، متوسط-پایین و پایین که به‌اختصار به‌صورت  $(H, MH, MM, ML و L)$  است؛

(۲) وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه دارای سه مقدار سطوح بالا، پایین و پیام خارجی است که به اختصار به صورت  $(H و L و G)$  است؛

(۳) سطح خاکستری سلول‌های همسایه پنج مقدار دارد. سطوح بالا، متوسط-بالا، متوسط-متوسط، متوسط-پایین و پایین که به اختصار به‌صورت  $(H, MH, MM, ML و L)$  است.

در قوانین فازی نیز تغییراتی ایجاد شده است. به‌گونه‌ای که قوانین ۱-ج، ۲-ج، ۲-د و ۳-ج حذف شده‌اند و قانون زیر به مجموعه قوانین فازی اضافه شده است:

اگر سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ ،  $MM$  باشد، وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه،  $G$  نباشد و وضعیت سطوح خاکستری همسایه‌ها  $MM$  باشد، آنگاه وضعیت خروجی در مرحله زمان  $H, (t+1)$  است.

### الگوریتم پیشنهادی

برای یک تصویر داده شده سه متغیر در هشت جهت مختلف همسایگی مور بررسی می‌شوند که این سه متغیر عبارتند از: سلول اولیه، وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه و سطح خاکستری سلول‌های همسایه. این سه متغیر، به‌عنوان متغیرهای ورودی

سیستم فازی در نظر گرفته شده و مقادیر آنها به صورت زیر تعریف شده‌اند:

(۱) سلول مرکزدارای پنج مقدار است. سطوح بالا، متوسط-بالا، متوسط-متوسط، متوسط-پایین و پایین که به اختصار به صورت (H, MH, MM, ML, L) است؛

(۲) وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه دارای سه مقدار سطوح بالا، پایین و پیام خارجی است که به اختصار به صورت (H, L, G) است؛  
 (۳) سطح خاکستری سلول‌های همسایه پنج مقدار دارد: سطوح بالا، متوسط-بالا، متوسط-متوسط، متوسط-پایین و پایین که به اختصار به صورت (H, MH, MM, ML, L) است.

فقط یک متغیر در خروجی سیستم فازی وجود دارد. این متغیر دارای سه مقدار است که این سه مقدار عبارتند از: درجه ایمنی بالا، درجه ایمنی پایین و پیغام خارجی (H, L, G).

قوانین فازی بر روی پارامترهای سطح خاکستری در بخش‌بندی تصویر به صورت زیر تعریف می‌شوند:

(۱) اگر سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ , H باشد، آنگاه خروجی در مرحله زمان  $(t+1)$ , H است؛

(۲) اگر سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ , MH باشد، آنگاه خروجی در مرحله زمان  $(t+1)$ , H است؛

(۳) اگر سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ , MM باشد، وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه H باشد و سطوح خاکستری سلول‌های همسایه H باشد، آنگاه خروجی در مرحله زمان  $(t+1)$ , H است؛

(۴) اگر سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ , MM باشد، وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه H باشد و سطوح خاکستری سلول‌های همسایه MM باشد، آنگاه خروجی در مرحله زمان  $(t+1)$ , H است؛

(۵) اگر سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ , MM باشد، وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه L باشد و سطوح خاکستری سلول‌های همسایه ML باشد، آنگاه خروجی در مرحله زمان  $(t+1)$ , H است؛

(۶) اگر سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ , ML باشد، وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه L باشد و سطوح خاکستری سلول‌های همسایه ML باشد، آنگاه خروجی در مرحله زمان  $(t+1)$ , L است؛

(۷) اگر سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ , ML باشد، وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه L باشد و سطوح خاکستری سلول‌های همسایه L باشد، آنگاه خروجی در مرحله زمان  $(t+1)$ , L است؛

(۸) اگر سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ , ML باشد، وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه L باشد و سطوح خاکستری سلول‌های همسایه MM باشد، آنگاه خروجی در مرحله زمان  $(t+1)$ , L است؛

(۹) اگر سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ , L باشد و وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه L باشد، آنگاه خروجی در مرحله زمان  $(t+1)$ , L است؛

(۱۰) اگر وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه در مرحله زمان  $t$ , L باشد و سطوح خاکستری سلول‌های همسایه L باشد، آنگاه خروجی در مرحله زمان  $(t+1)$ , L است؛

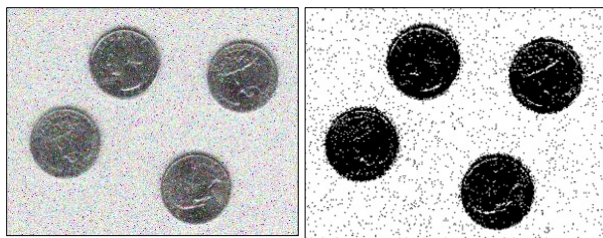
(۱۱) اگر وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه در مرحله زمان  $t$ , L باشد و سطوح خاکستری سلول‌های همسایه ML باشد، آنگاه خروجی در مرحله زمان  $(t+1)$ , L است.

(۱۲) اگر سلول مرکز در مرحله زمان  $t$ , MM باشد، وضعیت ایمنی سلول‌های همسایه، G نباشد و وضعیت سطوح خاکستری همسایه‌ها MM باشد، آنگاه وضعیت خروجی در مرحله زمان  $(t+1)$ , G است.

## بخش‌بندی تصاویر شبیه‌سازی شده SAR

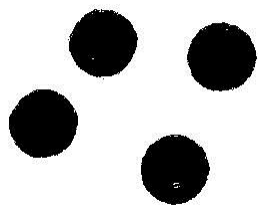
### بخش‌بندی شهودی تصاویر اپتیکی و شبیه‌سازی شده SAR

در این قسمت تصاویر دارای اندازه  $295 \times 230$  پیکسل با  $256$  سطح خاکستری هستند. در شکل ۱ (الف) یک تصویر اپتیکی بدون نویز نشان داده شده است. در شکل ۱ (ب) نتیجه‌ی بخش‌بندی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک (GA) که در مرجع [۲۵] پیشنهاد شده، ارائه شده است. در شکل ۱ (ج) نتیجه‌ی بخش‌بندی با استفاده از روش الگوریتم هجوم ماهی (AFS) که در مرجع [۲۶] پیشنهاد شده، ارائه شده است. شکل ۱ (د) نتیجه‌ی بخش‌بندی با استفاده از روش اتوماتای سلولی فازی پیشنهاد شده در این مقاله را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۱) دیده می‌شود، روش پیشنهاد شده در این مقاله نسبت به دو روش قبل در بخش‌بندی تصویر موفق‌تر عمل نموده است. سپس به تصویر شکل ۱ (الف) سه نوع نویز آزاد اضافه می‌کنیم. (ترکیب نویز گوسین با میانگین ۰ و واریانس  $0.1$ ، نویز اسپکل با واریانس  $0.05$ ، نویز نمک و فلفل با چگالی  $0.2$ ) که این تصویر در شکل ۲ (الف) دیده می‌شود. در شکل ۲ (ب) نتیجه‌ی بخش‌بندی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک (GA) که در مرجع [۲۵] پیشنهاد شده، ارائه شده است. در شکل ۲ (ج) نتیجه‌ی بخش‌بندی با استفاده از روش الگوریتم هجوم ماهی (AFS) که در مرجع [۲۶] پیشنهاد شده، ارائه شده است. شکل ۲ (د) نتیجه‌ی بخش‌بندی با استفاده از روش اتوماتای سلولی فازی پیشنهاد شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۲) دیده می‌شود، روش پیشنهادی نسبت به دو روش قبل در بخش‌بندی تصویر حتی با وجود نویز نیز موفق‌تر عمل نموده است. در الگوریتم GA، اندازه جمعیت ۵۰، ماکزیمم تعداد تکرارها ۷۰، متغیر ارقام باینری ۱۶، احتمال تقاطع  $0.7$ ، احتمال جهش  $0.1$  تنظیم شده است. در الگوریتم AFS، مسافت ماهی مصنوعی ۵۰، تراکم شاخص  $0.5$

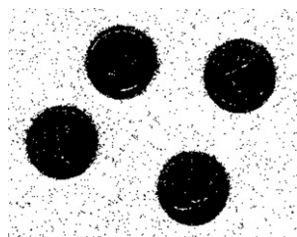


(ب)

(الف)



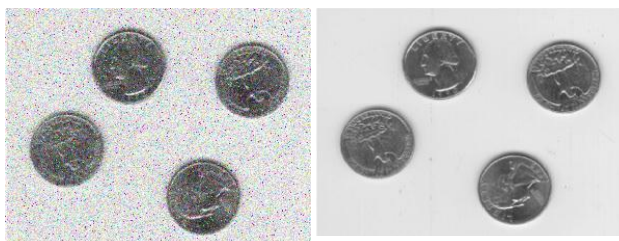
(د)



(ج)

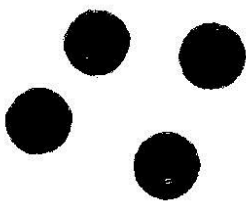
شکل ۲. مقایسه نتایج آزمایش‌ها در بخش‌بندی تصویر: (الف) تصویر شبیه‌سازی شده‌ی SAR؛ (ب) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در مرجع [۲۵]؛ (ج) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در مرجع [۲۶]؛ (د) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در این مقاله.

ذکر این نکته حائز اهمیت است که مهم نیست که تصویر بخش‌بندی شده آلوده به نویز است یا خیر. همیشه روش پیشنهادی، یک تصویر باینری رضایت بخش با کنتراست روشن و لبه پیوسته را به دست می‌دهد که در تصویر نهایی تقریباً نویز ناپدید شده است.

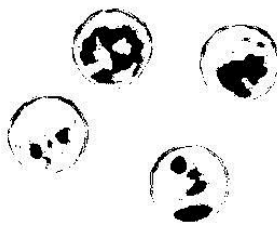


(ب)

(الف)



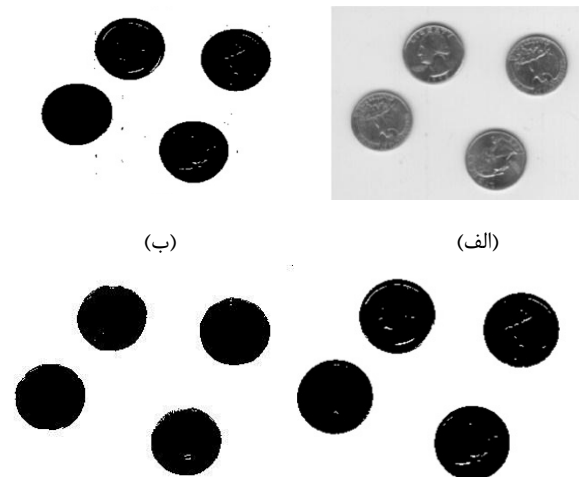
(د)



(ج)

شکل ۳. میزان درصد خطا: (الف) تصویر اولیه؛ (ب) تصویر شبیه‌سازی شده‌ی SAR (ج) بخش‌بندی با روش FCA قبلی (درصد خطا: ۱۴/۸۵) [۱۹]؛ (د) بخش‌بندی با روش FCA پیشنهادی (درصد خطا: ۴/۴۶).

مرحله ماکزیمم حرکت ۳، زمان تلاش ۵، اندازه جمعیت ۳۰، ماکزیمم تکرار ۱۰۰ است.



(ب)

(الف)

(د)

(ج)

شکل ۱. مقایسه نتایج آزمایش‌ها در بخش‌بندی تصویر: (الف) نویز آزاد تصاویر اپتیکی؛ (ب) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در مرجع [۲۵]؛ (ج) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در مرجع [۲۶]؛ (د) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در این مقاله.

### درصد خطا

در این قسمت میزان درصد خطا با دو روش اتوماتای سلولی فازی قبلی و اتوماتای سلولی فازی پیشنهادی مقایسه می‌شوند. در شکل (۳)، این آزمایش و نتیجه‌ی حاصل از مقایسه‌ی درصد خطای هر روش، ارائه شده است. در شکل (۳-الف)، تصویر زمین مرجع اولیه و در شکل (۳-ب) تصویر SAR شبیه‌سازی شده‌ی آن نشان داده شده است. در شکل (۳-ج) نتیجه‌ی حاصل از بخش‌بندی با استفاده از روش FCA قبلی و در نهایت در شکل (۳-د)، بخش‌بندی با استفاده از روش FCA پیشنهادی در این مقاله نشان داده شده است.

همانطور که در این مقایسات مشاهده می‌شود، اتوماتای سلولی فازی قبلی [۱۲] دارای تعداد پیکسل‌های با بخش‌بندی نادرست ۱۰۰۷۴ و درصد خطای ۱۴/۸۵ می‌باشد و اتوماتای سلولی فازی پیشنهادی دارای تعداد پیکسل‌های با بخش‌بندی نادرست ۳۰۲۶ و درصد خطای ۴/۴۶ می‌باشد. لذا بخش‌بندی با مدل FCA پیشنهاد شده در این مقاله، خطا را بیش از ده درصد بهبود داده و از این نظر موفق‌تر عمل نموده است.

عمدتاً در اثر تغییر در جزئیات لبه‌ی تصاویر دانست. میانگین خطای بدست آمده از این آزمایش،  $2/3315$  بوده و مینیمم مقدار خطا به‌ازای تصویر اول برابر  $0/9750$  است. با توجه به این آزمایش، هر چه جزئیات لبه در تصویر بیشتر باشد، درصد خطا کمتر می‌شود؛ لذا روش پیشنهادی، که یک روش بخش‌بندی مبتنی بر لبه است، می‌تواند روش مفیدی جهت ارائه‌ی درصد خطای کمتر باشد.

در جدول (۱)، برای ده تصویر زمین مرجع متفاوت با تعداد پیکسل‌های یکسان، نویزهایی با واریانس یکسان اضافه شده و بخش‌بندی به‌روش پیشنهادی بر روی آنها انجام شده و درصد خطا برای هر یک، جداگانه محاسبه شده است. میزان خطای بخش‌بندی با روش FCA در مقایسه با تصویر زمین‌مرجع در سطر دوم این جدول ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ده مقدار خطای متفاوت به‌دست آمده است که گستره‌ی تغییرات خطای بخش‌بندی بین  $0/075$  و  $0/5825$  (به ترتیب برای ستون‌های نهم به دهم و دوم به سوم) می‌باشد. چنین تغییراتی را می‌توان

جدول ۱. ده تصویر مختلف با نویز و تعداد پیکسل‌های یکسان

اندازه تصویر	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$
درصد خطا	0/9750	1/3600	1/9425	2/1250	2/3500	2/6575	2/8100	2/9675	3/0600	3/0675

ستون سوم و چهارم جدول) و گاهی این افزایش نرخ خطا بسیار چشمگیر است (اختلاف  $1/4$  بین ستون نهم و دهم جدول). از این آزمایش چنین استنباط می‌شود که تغییر ماهیت تصویر که عمدتاً لبه‌ها می‌باشند، در نتایج ارائه شده توسط روش پیشنهادی، تأثیرگذار است. میانگین خطای به‌دست آمده از این آزمایش،  $3/0125$  بوده و مینیمم مقدار خطا به‌ازای تصویر اول برابر  $1/5925$  است.

در جدول (۲)، برای ده تصویر متفاوت با تعداد پیکسل‌های یکسان، نویزهای متفاوتی به هر تصویر اعمال شده و ده مقدار خطای متفاوت به‌دست آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رفتار روش پیشنهادی برای تصاویر با جزئیات لبه‌ی متفاوت، مختلف است. در این آزمایش که نرخ افزایش واریانس، از سمت چپ به راست ثابت می‌باشد، نرخ افزایش خطا، آهنگ یکسانی ندارد. گاهی اوقات، این افزایش خطا بسیار ناچیز است (اختلاف  $0/075$  بین

جدول ۲. ده تصویر مختلف با تعداد پیکسل‌های یکسان و نویزهای مختلف

اندازه تصویر	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$
درصد خطا	1/5925	1/9425	2/3425	2/3500	2/8900	3/0325	3/2225	3/2700	3/9850	5/3850

برای تصاویر با سایز بالاتر، بهتر عمل می‌کند. از آنجایی که روش پیشنهادی برای تصاویر SAR ارائه شده است و با توجه به این که تصاویر SAR دارای سایز بسیار بزرگی هستند، لذا روش پیشنهادی برای این تصاویر، روش مفیدی است. میانگین خطای بدست آمده از این آزمایش،  $5/85384$  بوده و مینیمم مقدار خطا به‌ازای تصویر اول برابر  $1/6440$  است.

در جدول (۳) ده تصویر مختلف با سایزهای متفاوت به‌کار گرفته شده و بر روی همه آنها به یک میزان نویز اضافه شده است. میزان درصد خطای بخش‌بندی به روش FCA در مقایسه با تصویر زمین مرجع در سطر دوم این جدول ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، با کاهش سایز تصویر، میزان درصد خطا افزایش می‌یابد. لذا چنین به‌نظر می‌رسد که روش پیشنهادی

جدول ۳. ده تصویر مختلف با تعداد پیکسل‌های مختلف و نویزهای یکسان

اندازه تصویر	$300 \times 250$	$250 \times 150$	$200 \times 200$	$150 \times 100$	$100 \times 100$	$150 \times 80$	$120 \times 60$	$80 \times 70$	$50 \times 50$	$50 \times 25$
درصد خطا	1/6440	2/3493	2/3500	4/8533	6/1300	4/5083	4/4306	6/3929	11/88	14/00

الگوریتم، ده مقدار خطای متفاوتی بدست آمده است و این به دلیل میزان پراکندگی نویز در هر بار اجرای الگوریتم است. میزان درصد خطای بخش‌بندی به روش FCA در مقایسه با تصویر زمین مرجع در سطر دوم این جدول ارائه شده است. میانگین خطای

در جدول (۴)، برای یک تصویر، ده بار نویز تصادفی با واریانس یکسان اعمال شده است. هدف از این آزمایش، بررسی میزان توانایی روش پیشنهادی در مواجهه با نویزهای تصادفی با واریانس یکسان می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در هر بار اجرای

پراکندگی مختلف، جواب نسبتاً قابل قبولی ارائه می‌دهد و با تغییر پراکندگی نویز، درصد خطا افزایش چشمگیری ندارد.

بدست آمده از این آزمایش،  $2/40325$  بوده و مینیمم مقدار خطا به ازای تصویر اول برابر  $2/3375$  است. از نتایج این آزمایش چنین استنباط می‌شود که روش پیشنهادی در مقابل یک نویز با

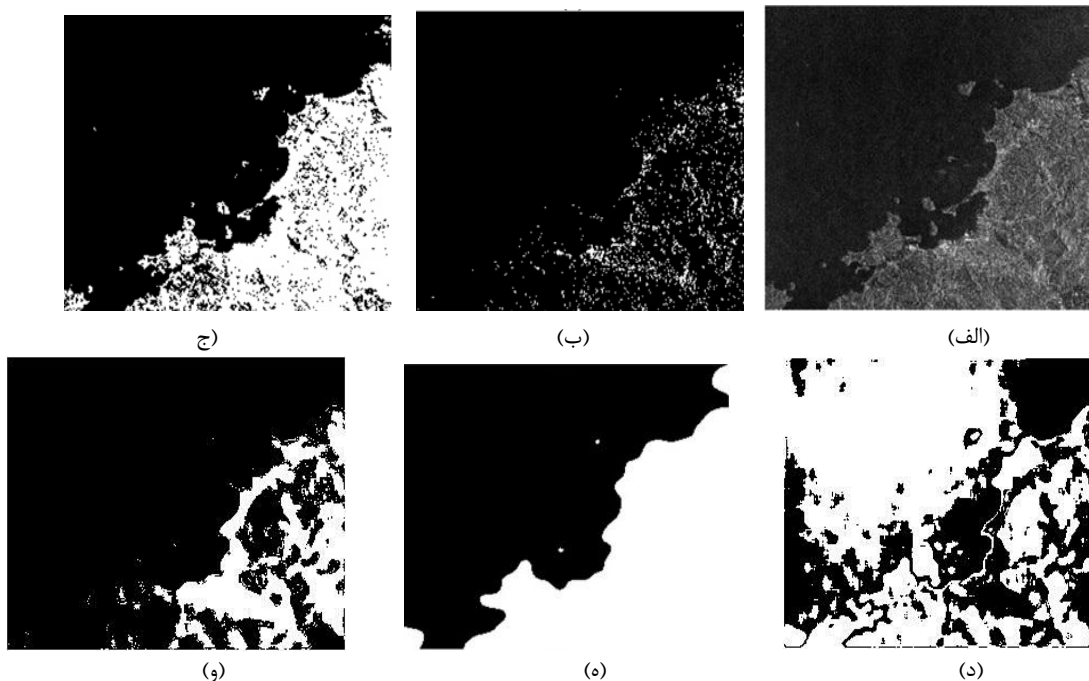
جدول ۴. میزان درصد خطای بخش‌بندی روش پیشنهادی برای یک تصویر با نویزهای تصادفی دارای واریانس یکسان

اندازه تصویر	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$	$200 \times 200$
درصد خطا	$2/3375$	$2/3875$	$2/3950$	$2/3975$	$2/4000$	$2/4025$	$2/4125$	$2/4150$	$2/4325$	$2/4525$

۴ (ه) نتیجه‌ی بخش‌بندی با استفاده از روش الگوریتم کلونی زنبور عسل (AFS) که در مرجع [۱۸] پیشنهاد شده، ارائه شده است. شکل ۴ (و) نتیجه بخش‌بندی با استفاده از روش اتوماتای سلولی فازی پیشنهاد شده در این مقاله را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۴ دیده می‌شود، روش پیشنهاد شده نسبت به پنج روش قبل در بخش‌بندی تصویر واقعی SAR موفق‌تر عمل نموده است و در الگوریتم ABC چون عکس ساحل حفره‌دار را نشان می‌دهد، نتوانسته حفره‌ها را به‌درستی بخش‌بندی کند.

### بخش‌بندی تصاویر واقعی SAR

در این قسمت نتایج بر روی تصاویر واقعی SAR آزمایش می‌شوند. شکل ۴ (الف) یک تصویر SAR از یک ساحل حفره‌دار با پیکسل  $298 \times 234$  را نشان می‌دهد. در شکل ۴ (ب) نتیجه‌ی بخش‌بندی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک (GA) که در مرجع [۲۵] پیشنهاد شده، ارائه شده است. در شکل ۴ (ج) نتیجه‌ی بخش‌بندی با استفاده از روش الگوریتم هجوم ماهی (AFS) که در مرجع [۲۶] پیشنهاد شده، ارائه شده است. شکل ۴ (د) نتیجه بخش‌بندی با روش اتوماتای سلولی فازی در مرجع [۱۹] را نشان می‌دهد. شکل

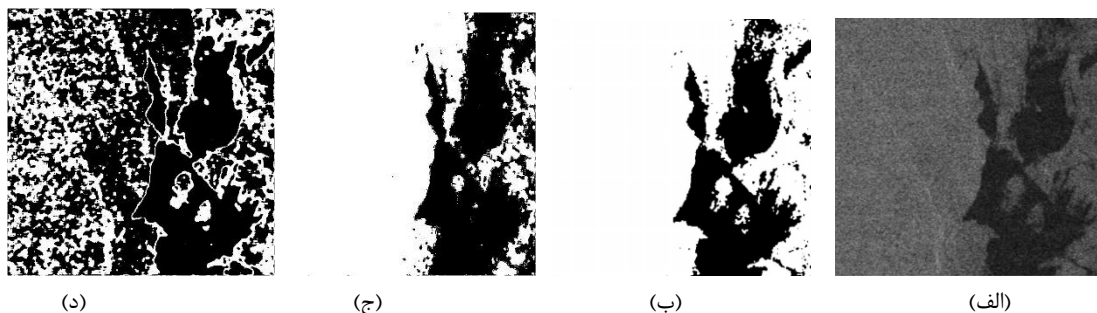


شکل ۴. مقایسه آزمایشات در بخش‌بندی تصویر: (الف) تصویر واقعی SAR؛ (ب) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در مرجع [۲۵]؛ (ج) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در مرجع [۲۶]؛ (د) بخش‌بندی تصویر با روش FCA پیشنهاد شده در مرجع [۱۹]؛ (ه) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در مرجع [۱۵]؛ (و) بخش‌بندی تصویر با روش FCA پیشنهاد شده در این مقاله.

پیشنهاد شده، ارائه شده است. شکل ۵ (ج) نتیجه‌ی بخش‌بندی با روش اتوماتای سلولی فازی در مرجع [۱۹] را نشان می‌دهد. شکل ۵ (د) نتیجه‌ی بخش‌بندی با استفاده از روش اتوماتای سلولی فازی

شکل ۵ (الف) تصویر SAR واقعی با ابعاد  $548 \times 548$  را نشان می‌دهد. در شکل ۵ (ب) نتیجه‌ی بخش‌بندی با استفاده از روش الگوریتم آستانه‌گیری مبتنی بر هیستوگرام که در مرجع [۲۲]

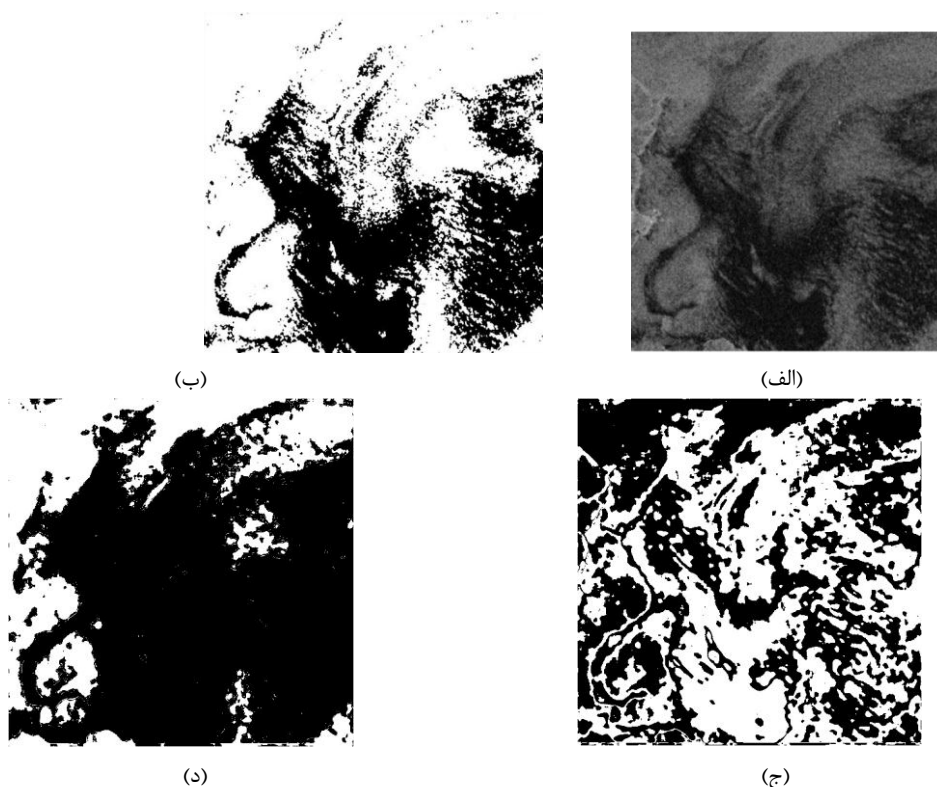
پیشنهاد شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، روش پیشنهادی نسبت به سه روش قبل در بخش‌بندی تصویر واقعی SAR موفق‌تر عمل نموده است.



شکل ۵. مقایسه آزمایشات در بخش‌بندی تصویر: (الف) تصویر واقعی SAR؛ (ب) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در مرجع [۲۲]؛ (ج) بخش‌بندی تصویر با روش FCA پیشنهاد شده در مرجع [۱۹]؛ (د) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در این مقاله.

شکل ۶ (د) نتیجه بخش‌بندی با استفاده از روش اتوماتای سلولی فازی پیشنهاد شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، روش پیشنهادی نسبت به سه روش قبل در بخش‌بندی تصویر واقعی SAR موفق‌تر عمل نموده است.

شکل ۶ (الف) تصویر SAR واقعی با ابعاد  $548 \times 548$  را نشان می‌دهد. در شکل ۶ (ب) نتیجه بخش‌بندی با استفاده از روش الگوریتم آستانه‌گیری مبتنی بر هیستوگرام که در مرجع [۲۲] پیشنهاد شده، ارائه شده است. شکل ۶ (ج) نتیجه بخش‌بندی باروشات و ماتای سلولی فازی در مرجع [۱۹] را نشان می‌دهد.



شکل ۶. مقایسه آزمایشات در بخش‌بندی تصویر: (الف) تصویر واقعی SAR؛ (ب) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در مرجع [۲۲]؛ (ج) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در مرجع [۱۹]؛ (د) بخش‌بندی تصویر با روش پیشنهاد شده در این مقاله.

[6] Fan Wang, Yan Wu, Qiang Zhang, Wei Zhao, Ming Li, and Guisheng Liao "Unsupervised SAR Image Segmentation Using Higher Order Neighborhood-Based Triplet Markov Fields model," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 52, NO. 8, August 2014.

[7] G. Akbarizadeh, "A New Statistical-Based Kurtosis Wavelet Energy Feature for Texture Recognition of SAR Images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 5, no. 11, pp. 4358-4368, Oct. 2012.

[8] A. El-Zaart, A.A. Ghosn, "SAR image thresholding for oil spill detection," *Saudi Int. Electronics and Photonics Conference*, Apr. 2013, pp. 1-5.

[9] S. Singha, T.J. Bellerby, Q. Trieschmann, "Satellite oil spill detection using artificial neural networks," *IEEE Journal of Selected Topics in Appl. Earth Observation and Remote Sens.*, vol. 6, no. 6, pp. 2355-2363, Dec. 2013.

[10] Q.R. Wei, D.Z. Feng, M.D. Yuan, "Automatic local thresholding algorithm for SAR image edge detection," *IET Int. Radar Conference*, 14-16 Apr. 2013, pp. 1-5.

[11] Sh. Gou, X. Zhuang, H. Zhu, T. Yu, "Parallel sparse spectral clustering for SAR image segmentation," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sens.*, vol. 6, no. 4, pp. 1949 – 1963, Aug. 2013.

[12] H. Deng, D. A. Clausi, "Unsupervised segmentation of synthetic aperture radar sea ice imagery using a novel Markov random field model," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 43, no. 3, pp. 528–538, Mar. 2005.

[13] F. Soares, J. Catalao, G. Nico, "Using K-means and morphological segmentation for intertidal flats recognition," *IEEE Int. Geosci. Remote Sens. Sym.* pp. 764-767, Jul. 2012.

[14] Ke Zhang, Zhong Li, Xiao-Ou Zhao, "Edge Detection of Images based on Fuzzy Cellular Automata," *Eighth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing*.

[15] Dhiraj Kumar Patel, Prof. Sagar A. More, "Edge Detection Technique by Fuzzy Logic and Cellular Learning Automata using Fuzzy Image Processing," *2013 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI -2013)*, Jan. 04 – 06, 2013, Coimbatore, INDIA.

[16] Saman Sinaie, Afshin Ghanizadeh, Siti, Mariyam Shamsuddin, Emadaldin Mozafari Majd, "A Hybrid Edge Detection Method Based on Fuzzy Set Theory and Cellular Learning Automata," *2009 International Conference on Computational Science and Its Applications*.

[17] Gholamreza Akbarizadeh, "Segmentation of SAR Satellite Images Using Cellular Learning Automata and

## نتیجه گیری

در این مقاله الگوریتم جدیدی تحت عنوان اتوماتای سلولی فازی برای بخش‌بندی تصاویر SAR پیشنهاد شد که در آن سه متغیر از هشت جهت بررسی شدند و قوانین فازی بر روی آن‌ها اعمال شد که منجر به روش جدیدی برای بخش‌بندی شدند. در مقایسه با روش‌های ABC، GA، AFS و FCA، پیشین، الگوریتم FCA پیشنهادی دارای نتایج بهتری با توجه به آزمایش‌های نشان داده شده می‌باشد. در ادامه این روش با روش آستانه‌گیری مبتنی بر هیستوگرام نیز مقایسه شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که روش FCA پیشنهادی بخش‌بندی بهتری نسبت به دیگر روش‌ها ارائه می‌دهد و دقت بخش‌بندی نیز بالاتر می‌باشد.

## سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از نتایج تحقیق در راستای یک پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد می‌باشد که توسط دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (اعتبار ویژه‌ی پژوهشی) سال ۱۳۹۳ طبق قرارداد گزین به شماره‌ی ۹۳/۳/۰۲/۲۷۱۷۱ حمایت مالی شده است. نویسندگان مقاله از حمایت‌های معنوی و مادی دانشگاه شهید چمران اهواز از این مقاله و پایان‌نامه، تشکر و قدردانی می‌کنند.

## مرجع‌ها

[1] Lu Gan, Yan Wu, Fan Wang, Peng Zhang, and Qiang Zhang "Unsupervised SAR Image Segmentation Based on Triplet Markov Fields With Graph Cuts," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 11, No. 4, April 2014.

[2] Hui Zhang, Q. M. Jonathan Wu, Thanh Minh Nguyen, and Xingming Sun "Synthetic Aperture Radar Image Segmentation by Modified Student's t-Mixture Model" *IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 52, NO. 7, July 2014.

[3] H. Sui, F. Peng, CH. Xu, K. Sun, J. Gong, "GPU-accelerated MRF segmentation algorithm for SAR images," Contents lists available at SciVerse ScienceDirect, ELSEVIER, PP. 159–166, 2012.

[4] Peng-Lang Shui, and Ze-Jun Zhang "Fast SAR Image Segmentation via Merging Cost With Relative Common Boundary Length Penalty," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 52, NO. 10, October 2014

[5] X. Xue, X. Wang, F. Xiang, H. Wang, "A New Method of SAR Image Segmentation Based on the Gray Level Co-occurrence Matrix and Fuzzy Neural Network," *9th IEEE Int. Conf. WICOM, Sep. 2010, pp. 1-4.*

- [۲۳] قاهری بدر، آبتین؛ میبیدی، محمدرضا؛ محمودی، فریبرز، «استخراج ویژگی در تصاویر رنگی با استفاده از اتوماتای سلولی فازی»، دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران) ایران، تهران، ۱۳۸۷
- [24] J. L. Gordillo, J.V. Luna, , “Parallel Sort on Linear Array of Cellular Automata,” *IEEE Int. conf. Information and Technology*, Oct. 1994, vol. 2, pp. 1903-1907.
- [25] G. Chen, H.F. Zuo, “2-D maximum entropy method of image segmentation based on genetic algorithm,” *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, vol. 14, no. 6, pp. 530-534, 2002.
- [26] Z. Pan, Y.Q. Wu, “The two-dimensional Otsu thresholding based on fish-swarm algorithm,” *Acta Optica Sinica*, Vol. 29, no. 8, pp. 2115-2121, 2009.
- Adaptive Chains,” *Journal of Remote Sensing Technology* August 2013, Vol.1
- [18] M. Ma, J. Liang, M. Guo, Y. Fan, Y. Yin, “SAR image segmentation based on Artificial Bee Colony algorithm,” *Contents lists available at ScienceDirect, ELSEVIER*, pp. 5205-5214, 2011.
- [19] H.Wang, J.Jiang, L.Zhou, L.Du, “Image Processing Based on Fuzzy Cellular Automata Model” *4th IEEE Int. Conf. ICICIC*, Dec. 2009, pp. 954-957.
- [۲۰] خلیلی‌نیا، مهدی، «الگوریتم ژنتیک»، پایان نامه دوره کارشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمین، بهار ۱۳۹۰
- [21] Y. M. Tian, L. Chen, “Unscented Particle Filter Algorithm Based on Artificial Fish Swarm Algorithm,” *8th IEEE Int. Conf. ICNC*, May. 2012, pp. 1123 – 1126.
- [22] A. E. Zaart, D. Ziou, SH. Wang, Q. Jiang, “Segmentation of SAR images,” *The Journal of the Pattern Recognition society*, pp. 713-724, 2002.