

استخراج لبه اتوماتیک از تصاویر SAR بر اساس سیستم استنتاج فازی

مهدی پودنچی^۱، غلامرضا اکبری زاده^۲، کریم انصاری اصل^۳

۱ کارشناس ارشد برق - الکترونیک، گروه برق - دانشکده مهندسی - دانشگاه شهید چمران اهواز، m.poodanchi@yahoo.com

۲ و ۳ استادیار گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱۴

چکیده

از اخذ داده توسط رادار روزنه ترکیبی (SAR) برای کاربردهای سنجش از دور و مقاصد نظامی استفاده می‌شود؛ زیرا این شیوه از اخذ داده، مستقل از وضعیت آب و هوا می‌باشد و دارای دقت بالا در روز و شب است. در این مقاله، یک روش جدید مبتنی بر منطق فازی، جهت استخراج لبه از تصاویر SAR پیشنهاد شده است. لبه‌یابی یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل داده و تصمیم‌گیری در مورد تصویر برای کاربردهای گوناگون می‌باشد. شناسایی لبه یک محدوده‌ی تحقیقاتی در پردازش تصویر و استخراج ویژگی است. یک چالش مهم در پردازش تصاویر SAR این است که تصاویر SAR دارای نویزی ذاتی به نام نویز لکه‌ای می‌باشند. حضور نویز لکه‌ای به شدت تفسیر و آنالیز تصویر SAR را با مشکل روبرو می‌کند. به همین دلیل روش‌های سنتی لبه‌یابی نمی‌توانند استخراج لبه‌ی خوبی از اینگونه تصاویر را ارائه دهند. در این مقاله با بهینه‌سازی سیستم استنتاج فازی (FIS) یعنی استفاده از کرنل‌ها و توابع عضویت مناسب، به استخراج لبه‌ی اتوماتیک از تصویر SAR پرداخته شده است. ورودی‌های سیستم استنتاج فازی، گرادیان‌های تصویر در دو راستای افقی و عمودی و نیز یک پارامتر ابتکاری خود تنظیم که با Ψ نشان داده شده، می‌باشند. این پارامتر خود تنظیم، برای تصاویر مختلف مقدار متغیری است و با کنترل منحنی تابع عضویت گاوسی، منجر به اتوماتیک شدن الگوریتم پیشنهادی می‌شود. در نهایت، روش پیشنهادی با روش‌های استخراج لبه‌ی مرسوم مقایسه می‌شود تا برتری‌های روش پیشنهادی نشان داده شود. در این کار، علاوه بر معیار شباهت ساختاری (MSSIM) از پارامترهای خطای میانگین مربعات (MSE) و حداکثر نسبت سیگنال به نویز (PSNR) جهت آنالیز عددی استفاده می‌شود. نتایج کمی نشان می‌دهند که الگوریتم فازی پیشنهادی نسبت به سایر الگوریتم‌های بکار برده شده جهت مقایسه، به مقادیر MSSIM و PSNR بیشتر و همچنین به مقدار MSE کمتری دست یافته است.

کلیدواژه

تصویر SAR، نویز لکه‌ای، فیلترینگ تصویر، لبه‌یابی، منطق فازی.

مقدمه

ای^۳ می‌باشند که آنالیز این تصاویر را با چالش روبرو می‌کند؛ اما به هر حال، امروزه استفاده از اخذ داده توسط SAR به عنوان روش امیدبخش مستقل از نور خورشید و پوشش ابر، برای تشخیص اهداف [۱]، مانیتورینگ دریایی [۲] و کاربردهای دیگر معرفی شده است. هدف ما پردازش روی اینگونه تصاویر با استفاده از انجام عملیات لبه‌یابی است. هدف از آشکارسازی لبه، نشان‌گذاری نقاطی از یک تصویر است که در آن‌ها شدت روشنایی به طور ناگهانی تغییر می‌کند. در واقع آشکارسازی لبه در تصویر به مفهوم کاهش اطلاعات غیر مفید از داده‌ها، همراه با حفظ خصوصیات ساختاری مهم است [۳، ۴]. دو راهکار اساسی برای آشکارسازی لبه

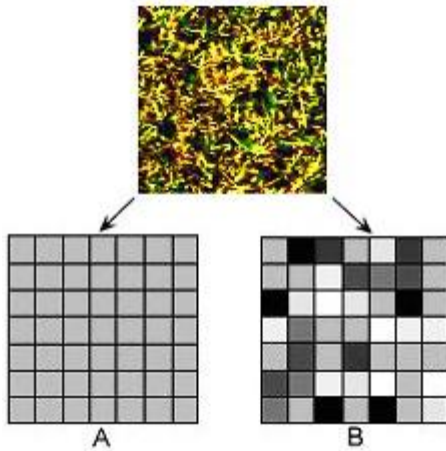
رادار روزنه ترکیبی^۱ که به اختصار SAR خوانده می‌شود، به نوعی از رادارها اطلاق می‌شود که برای امور نقشه‌برداری و اخذ داده از سطح زمین به کار می‌رود و معمولاً این فن‌آوری در هواپیماهای شناسایی با اهداف نظامی و غیرنظامی کاربرد دارد. امواج رادیویی این رادار در دفعات بالا با سرعتی زیاد به سطح مورد نظر تابیده شده و پس از بازگشت تصویری دو بعدی با مقیاس خاکستری^۲ از سطح مورد نظر را در اختیار کاربران قرار می‌دهد. مشکل عمده تصاویر SAR این است که آنها دارای نویزی ذاتی به نام نویز لکه-

1 Synthetic Aperture Radar

2 Greyscale

3 Speckle

این اختلال، پیکسل های تصویر با درجه روشنایی یکسان مشاهده می‌شوند (A). حال آنکه در تصویر حقیقی به علت تداخل سیگنال های پراکنده شده، پیکسل ها دارای درجات روشنایی متفاوت می-باشند (B).



شکل ۱. اثر نویز speckle بر بافت تصویر [۱۵]

مدل ریاضی نویز لکه‌ای را می‌توان با معادله‌ی زیر بیان کرد [۱۲]:

$$v(n,m) = f(n,m) * u(n,m) + \xi(n,m) \quad (1)$$

که در آن $v(n,m)$ نشان دهنده‌ی پیکسل نویز دار، $f(n,m)$ نشان دهنده‌ی پیکسل اصلی بدون نویز، $u(n,m)$ نشانگر بخش ضرب شونده و $\xi(n,m)$ نشانگر بخش جمع شونده‌ی نویز لکه‌ای است. در اینجا n و m مختصات پیکسل را در تصویر نمایش می‌دهند. در این مقاله برای کاهش اثر نویز لکه‌ای از فیلتر گوسین استفاده شده است. از نگاه ریاضی، فیلتر گوسی، سیگنال مقدماتی را می‌گیرد و سپس با کانولوشن در یک تابع گوسی، مقدار حاصل را جایگزین می‌کند. در واقع، هموارسازی تصویر به وسیله‌ی تابع گوسی صورت می‌پذیرد و منجر به کاهش اثر نویز در تصویر می‌شود. یک توزیع دو بعدی گوسی با انحراف معیار σ برای هر پیکسل (i, j) با معادله‌ی زیر تعریف می‌شود [۱۶]:

$$G(i, j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{i^2+j^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

مقادیر بزرگ σ منجر به مات شدن تصویر می‌گردند. در این کار، سایز فیلتر گوسی 5×5 و نرخ مات کنندگی $\sigma = 0.5$ انتخاب شده است.

روش پیشنهادی

در این بخش به ارائه‌ی روش پیشنهادی جهت استخراج لبه از تصویر SAR پرداخته شده است. روش پیشنهادی برای لبه‌یابی

وجود دارد: آشکارسازی دیفرانسیلی و انطباق مدل [۵]. در آشکارسازی دیفرانسیلی یک پردازش مکانی روی تصویر اصلی $f(x, y)$ انجام می‌شود تا تصویر دیفرانسیل یا $G(x, y)$ با تکیه بر تغییرات اندازه مکانی حاصل شود. سپس یک عملگر آشکارساز تفاضل اجرا می‌شود تا پیکسل‌هایی با مقدار تفاوت زیاد را بیابد. رویکرد دوم، شامل انطباق ناحیه‌ای محلی از پیکسل‌ها با یکی از مدل‌های لبه‌ی موجود است؛ اگر انطباق به مقدار قابل ملاحظه‌ای قانع کننده باشد، لبه در آن نقطه وجود دارد و در نهایت، یک تصویر دودویی هم‌اندازه با تصویر اصلی که در آن پیکسل‌های لبه با مقدار سفید و سایر نقاط با سیاه مشخص شده‌اند، به عنوان خروجی آشکارسازی لبه تولید می‌شود. بیشتر روش‌های آشکارسازی لبه همانند Prewitt, Sobel, Canny [۶] مبتنی بر گرادیان می‌باشند. در این روش‌ها، پیکسل‌های با مقدار گرادیان بزرگتر از یک سطح آستانه، به عنوان لبه در نظر گرفته می‌شوند. به دلیل اینکه این مقدار آستانه بصورت تجربی و دستی تعیین می‌شود، در اغلب موارد لبه‌ها به خوبی شناسایی نمی‌شوند و برخی از ویژگی‌ها از بین می‌رود.

در سال‌های اخیر تعدادی از مفاهیم و الگوریتم های سودمند همچون کلونی مورچه [۷]، منطق فازی [۸]، شبکه‌های عصبی [۹] و نیز تفاضل مورفولوژیکی [۱۰] جهت بهبود نتایج استخراج لبه، به کار گرفته شده‌اند. در این مقاله، از منطق فازی برای استخراج لبه از تصویر SAR استفاده شده است. برای این کار، پارامترهای سیستم فازی بگونه‌ای تنظیم شده‌اند تا نتیجه‌ی مطلوبی حاصل گردد.

ادامه‌ی این مقاله به این صورت می باشد که در ادامه در بخش ۲ به مرور نویز لکه‌ای و چگونگی کاهش آن از تصویر SAR می-پردازیم. در بخش ۳، روش پیشنهادی ارائه خواهد شد. سپس در بخش ۴ به بررسی نتایج و مقایسه آنها می پردازیم و در نهایت در بخش ۵، نتیجه گیری، بیان می شود.

نویز لکه‌ای

هنگام تشکیل یک تصویر SAR، در اثر ساختار بهم ریخته سطح و همچنین تداخل سیگنال‌های بازتابیده از هدف به سنجنده، تغییراتی در شدت بعضی از پیکسل‌ها بوجود می‌آید که موجب بروز یک الگوی نمک و فلفل^۴ به نام نویز لکه‌ای می‌شود [۱۲، ۱۱] که دارای طبیعت تصادفی هم نیست [۱۳]. در واقع، نویز لکه‌ای بدلیل اثرات متقابل امواج خارج از فاز با هدف ایجاد می‌گردد [۱۲]. وجود نویز لکه‌ای می‌تواند موجب کاهش توانایی در اخذ داده‌ی SAR برای شناسایی اهداف زمینی و تشخیص الگوهای فضایی شود [۱۴]. به عنوان نمونه، یک سطح هموار مانند علفزار نشان داده شده در شکل (۱) را در نظر بگیرید. بدون در نظر گرفتن اثر

4 Salt and Pepper Pattern

محاسبه شده و به ترتیب با I_x و I_y نشان داده می‌شوند. ماسک-های کانولوشنی که برای دو جهت انتخاب شده‌اند بترتیب $G_x = [-1, 1]$ و $G_y = G_x'$ می‌باشند که به دو دلیل برای این کار بهینه هستند؛ اول اینکه هر چه طول بازه‌ی انتخابی کمتر باشد، به نتایج دقیق‌تری دست یافته می‌شود (به صورت تجربی مشاهده شده است)؛ دلیل دیگر اینکه از آنجاییکه لبه‌ها حاصل تغییرات ناگهانی هستند، طبق بازه‌ی انتخابی، گذر از حالت صفر یا گذر از حالت منفی به حالت مثبت می‌تواند معرف تغییرات شدید (لبه) باشد.

مرحله‌ی بعدی در روش پیشنهادی، محاسبه‌ی پارامتر خود تنظیم Ψ می‌باشد. این پارامتر، یک مقدار را برای تابع عضویت فازی برای هر دو ورودی I_x و I_y مشخص می‌کند؛ به این صورت که ابتدا یک تابع عضویت گاوسی، برای هر ورودی تعیین می‌شود. منحنی تابع عضویت گاوسی دارای معادله‌ای به صورت زیر می‌باشد [۱۶]:

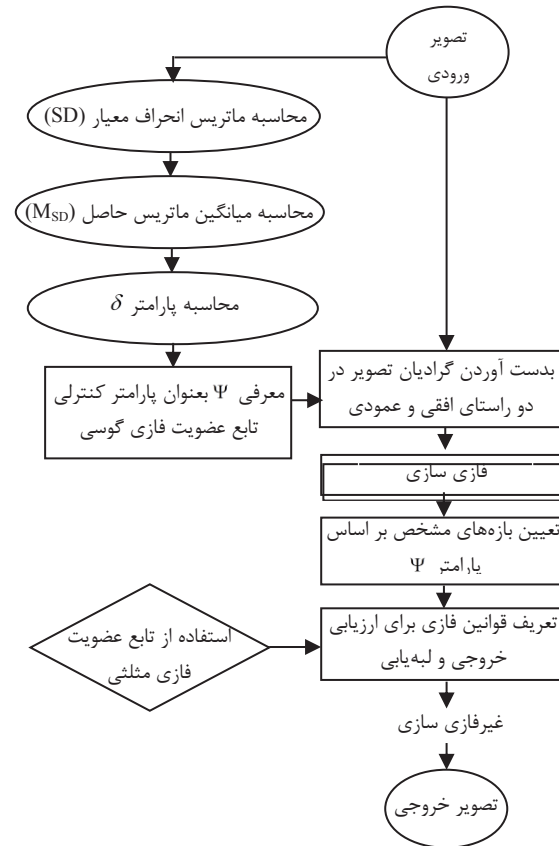
$$f(x; \sigma, \mu) = e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (۴)$$

همانطور که مشاهده می‌شود، این تابع به دو پارامتر σ (انحراف معیار) و μ (مرکز منحنی گاوسی) بستگی دارد که به صورت مرتب در بردار $[\sigma, \mu]$ قرار می‌گیرند. از آنجا که تعیین یک مقدار بهینه برای σ برای هر تصویر مشخص، مشکل است و به صورت دستی انجام می‌شود، از پارامتر Ψ استفاده می‌شود (مقدار بهینه برای تصاویر SAR در بازه‌ی $[0, 0.1]$ می‌باشد که بصورت تجربی و با انجام آزمایشات مکرر بدست آمده است). در واقع، پارامتر انحراف معیار Ψ به صورت اتوماتیک محاسبه شده و به جای σ استفاده می‌شود تا کارایی آشکار ساز لبه را بهبود دهد و آن را تنظیم نماید. سپس بر اساس درجه‌ی انحراف معیار مقادیر ضرایب موجک در تابع عضویت فازی-گاوسی، پیکسل‌ها به دو کلاس لبه و غیر لبه تقسیم می‌شوند.

جهت تخمین پارامتر انحراف معیار تابع عضویت گاوسی (σ) و بدست آوردن پارامتر Ψ با مقداری در بازه‌ی $[0, 0.1]$ ، ابتدا فیلتر انحراف معیار (SD-filter) روی تصویر SAR اولیه اعمال می‌شود. نتیجه‌ی حاصل، تصویری با مقادیر متفاوت از تصویر اصلی می‌باشد. برای هر پیکسل در تصویر ورودی، یک SD-filter، پارامتر انحراف معیار (SD) را از طریق یک ماسک همسایگی اطراف فیلتر محاسبه می‌کند و آن را به پیکسل مرکزی در تصویر خروجی اختصاص می‌دهد. برای بدست آوردن انحراف معیار از فرمول زیر استفاده می‌شود [۱۷]:

$$Stddev = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(r \times c) - 1}} \quad (۵)$$

تصویر SAR به این گونه است که ابتدا تصویر ورودی خوانده می‌شود. سپس عملیات گرادیان روی تصویر اعمال می‌شود تا برجستگی‌ها و نقاط با تغییرات ناگهانی بهتر مشخص گردند. در ادامه با استفاده از گرادیان پیکسل‌ها و یک پارامتر مبتنی بر انحراف معیار^۵ (پارامتر اتوماتیک سازی)، پیکسل‌های کاندید لبه استخراج شده و بر اساس تابع عضویت فازی به دو کلاس لبه و غیر لبه طبقه‌بندی می‌شوند. در نهایت بر اساس منطق فازی، تصمیم نهایی در مورد اینکه کدام پیکسل لبه است گرفته می‌شود. شکل (۲)، یک نمای کلی از الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

تشخیص مقدماتی لبه

روش استخراج لبه‌ی فازی پیشنهادی ابتدا به محاسبه‌ی گرادیان-های تصویر در دو جهت افقی و عمودی می‌پردازد. گرادیان یک تصویر می‌تواند به صورت معادله‌ی کانولوشنی (۳) محاسبه شود:

$$\hat{I}(x, y) = G * I(x, y) \quad (۳)$$

که در آن G یک کرنل کانولوشن، $I(x, y)$ تصویر اصلی و $\hat{I}(x, y)$ تصویر فیلتر شده می‌باشد. گرادیان‌های تصویر در دو راستای x و y

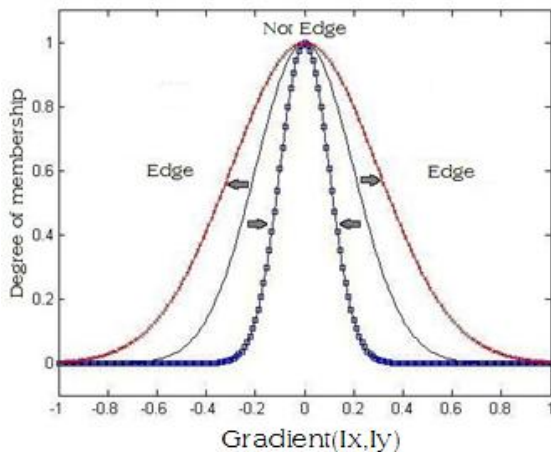
5 Standard Deviation

که در آن، X_i به هر پیکسل تصویر ورودی که به وسیله فیلتر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد اطلاق می‌شود. \bar{X} میانگین مقادیر همسایگی سایز انتخابی برای فیلتر می‌باشد، r و c نیز بترتیب سایز سطر و ستون انتخاب برای فیلتر می‌باشند. در این مقاله از یک ماسک 3×3 برای SD-filter استفاده شده است. همانطور که پیش‌تر ذکر شد، بعد از اعمال فیلتر انحراف معیار روی تصویر ورودی، ماتریس تصویری با مقادیر جدید بدست می‌آید. در این مقاله، میانگین این ماتریس جدید محاسبه می‌گردد تا یک عدد منفرد حاصل شود؛ زیرا نمی‌توان یک ماتریس با مقادیر مختلف را به یک پارامتر مشخص اختصاص داد. بنابراین میانگین گرفته می‌شود و با M_{SD} نشان داده می‌شود. سپس پارامتر جدیدی که به صورت تجربی بدست آمده است، به صورت زیر معرفی می‌شود:

$$\Psi = \frac{1}{10} \delta \quad (6)$$

که در آن δ یک ضریب متغیر می‌باشد که به M_{SD} وابسته است و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

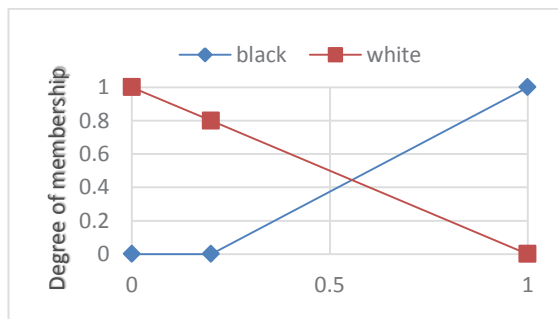
$$\delta = |\sin(M_{SD})| \quad (7)$$



شکل ۳. تابع عضویت ورودی و کلاس‌های تعریف شده

استخراج لبه نهایی و غیرفازی سازی

خروجی سیستم فازی تعیین می‌کند که به چه میزان یک پیکسل می‌تواند به عنوان لبه شناخته شود. با تعیین قوانین فازی، خروجی این سیستم فازی به دو کلاس طبقه‌بندی می‌شود. کلاس "سیاه" (black) متعلق به پیکسل‌هایی است که هیچ شانس برای لبه شدن ندارند و به طور مشابه، کلاس "سفید" (white) متعلق به پیکسل‌هایی است که به عنوان لبه شناخته می‌شوند. شکل (۴)، تابع عضویت خروجی را نشان می‌دهد.

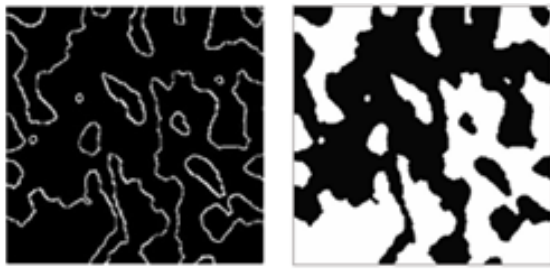


شکل ۴. توابع عضویت خروجی

مطابق مقادیر گرادیان پیکسل در دو راستای عمودی و افقی (I_x و I_y)، قوانین فازی در جدول (۱) خلاصه شده‌اند. واضح است که

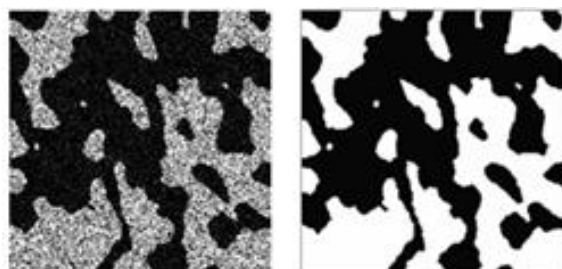
حال به چگونگی دست‌یابی به پارامترهای δ و Ψ که بصورت تجربی بدست آمده‌اند، می‌پردازیم. همانطور که قبلاً ذکر شد، هدف، تخمین مقدار پارامتری در بازه $[0, 0.1]$ می‌باشد. به این جهت از تخمین سینوسی استفاده شده است؛ زیرا از لحاظ ریاضی، معادله $-1 \leq \sin(\alpha) \leq 1$ همواره برقرار می‌باشد و چون مقداری مثبت مد نظر است، معادله δ معرفی شده، مقداری در بازه $[0, 1]$ را تضمین می‌کند؛ یعنی $0 \leq \delta \leq 1$. حال δ به عددی نزدیک به بازه دلخواه، نائل شده است. پس ضریب $\frac{1}{10}$ بکار برده می‌شود تا به هدف رسیده شود؛ یعنی همواره خواهیم داشت $0 \leq \Psi \leq 0.1$.

سرانجام، از این پارامترهای محاسبه شده (یعنی گرادیان‌های تصویر و پارامتر Ψ) جهت ورودی‌های سیستم فازی استفاده می‌شود. تصمیم نهایی در مورد پیکسل‌های کاندید لبه، توسط خروجی سیستم فازی صورت می‌پذیرد. تابع عضویت مناسبی برای ورودی‌های سیستم انتخاب شده‌اند. برای اعمال این توابع، همانگونه که قبلاً ذکر شد، ابتدا مقادیر ماتریس‌های تصویر I_x و I_y به بازه $[-1, 1]$ نگاشت می‌شوند. سپس مقادیر نگاشت شده، به دو کلاس لبه (edge) و غیر لبه (non-edge) تقسیم می‌شوند. کلاس‌های گرادیان با دو نماد Gr_e (برای لبه) و Gr_{ne} (برای غیر لبه) نشان داده می‌شوند.



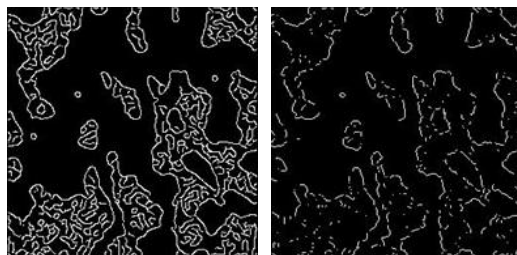
شکل ۵. (الف) تصویر زمین مرجع بدون نویز. (ب) تصویر ایده آل لبه‌های استخراج شده.

اکنون مطابق کاری که در [۲۰] و [۲۱] انجام شده است، تصویر شبیه‌سازی شده نویز دار شکل ۶(ب) با اعمال نویز بر تصویر زمین مرجع شکل ۶(الف) پدید آمده است.



شکل ۶. (الف) تصویر زمین مرجع بدون نویز. (ب) تصویر شبیه‌سازی شده نویزی.

جهت استخراج لبه، الگوریتم‌های لبه‌یاب مختلف از جمله الگوریتم فازی پیشنهادی بر روی تصویر شکل ۶(ب) اعمال شده‌اند. نتایج حاصل در شکل (۷) نشان داده شده‌اند. همانگونه که از این شکل پیداست، از لحاظ شهودی، الگوریتم Sobel به دلیل ناپیوستگی‌های زیاد، خروجی مطلوبی ندارد. نتیجه‌ی بدست آمده از روش گرادیان مورفولوژیکی^۷ (MG) بکار رفته در مرجع [۲۲]، پیوستگی خطوط را حفظ کرده است اما شامل حجم نویز بالا می‌باشد. الگوریتم Canny نیز دارای لبه‌های اشتباه می‌باشد. روش پیشنهادی نسبت به دیگر روش‌ها عملکرد بهتری دارد.



(ب) (الف)

استفاده از تابع عضویت گاوسی و پارامتر خود تنظیم (Ψ) ، ما را قادر می‌سازد تا از قوانین فازی کمتری استفاده کنیم که به نوبه‌ی خود در مبحث فازی، می‌تواند یک مزیت به شمار آید.

جدول ۱. قوانین سیستم فازی

قانون‌ها	تعریف
قانون-۱	اگر Ix و Iy لبه باشند آنگاه $Iout$ سفید باشد
قانون-۲	اگر Ix و Iy لبه نباشند آنگاه $Iout$ سیاه باشد

سرانجام، مقادیر فازی باید به مقادیر قطعی تبدیل شوند. غیرفازی سازی با استفاده از فرمول زیر صورت گرفته است [۱۹]:

$$\lambda = \frac{\sum \alpha \mu_c(\alpha)}{\sum \mu_c(\alpha)} \quad (8)$$

که در رابطه‌ی بالا، λ مقدار غیرفازی شده خروجی و $\mu_c(\alpha)$ مقدار عضویت کلاس c در مقدار α است.

سیستم فازی پیشنهادی شامل توابع عضویت و قوانین فازی مناسبی می‌باشد و می‌تواند در زمینه‌ی شناسایی لبه به خوبی تصمیم بگیرد. بنابراین، نسبت به تکنیک‌هایی چون Canny, Sobel و یا روش گرادیان مورفولوژیکی (MG) دارای مزیت می‌باشد.

شبیه‌سازی و نتایج

برای نشان دادن عملکرد الگوریتم پیشنهادی در برخورد با تصویر شبیه‌سازی شده و تصاویر نویز دار، الگوریتم پیشنهادی بر روی ۳ نمونه تصویر مختلف آزمایش شده است. به این گونه که در ابتدا، الگوریتم لبه‌یابی پیشنهادی بر روی یک تصویر شبیه‌سازی شده‌ی SAR تست شده و درصد خطا تعیین گردیده است. سپس، الگوریتم پیشنهادی بر روی دو نمونه از تصاویر SAR واقعی دارای نویز لکه‌ای اجرا شده است. برای شبیه سازی از نرم افزار MATLAB نسخه 8.1.0.604 (R2013a) استفاده شده است. سرانجام، روش پیشنهادی با روش‌های لبه‌یابی مرسوم مقایسه شده تا مزیت‌های این روش نسبت به دیگر روش‌ها آشکار شود.

استخراج لبه از تصویر شبیه‌سازی شده‌ی SAR

تصویر SAR زمین‌مرجع^۸ (که دارای دو بخش می‌باشد) به همراه تصویر ایده‌آل لبه‌های استخراج شده آن در شکل (۵) نشان داده شده‌اند. همانگونه که مشخص است، این تصاویر، حامل نویز نمی‌باشند [۲۰].

که در آن، M تعداد درایه‌های ماتریس SSIM می‌باشد. همچنین در این مقاله، علاوه بر معیار شباهت ساختاری (MSSIM) از پارامترهای خطای میانگین مربعات⁹ (MSE) و حداکثر نسبت سیگنال به نویز¹⁰ (PSNR) جهت آنالیز عددی استفاده می‌شود. طبق تعریف، معیار MSE بین دو تصویر اصلی (I) و تصویر نویزی (K) با سایزهای یکسان $m \times n$ بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2 \quad (11)$$

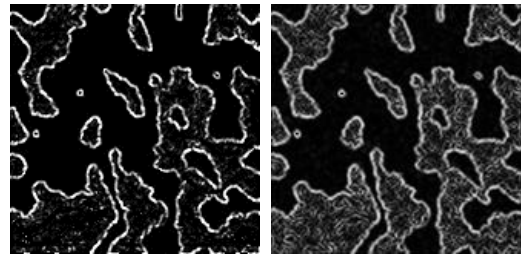
همچنین پارامتر PSNR (بر حسب dB) نیز بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (12)$$

$$= 20 \log_{10} (MAX_I) - 10 \log_{10} (MSE)$$

که در آن MAX_I نشانگر حداکثر مقدار پیکسل درون تصویر می‌باشد. در هر مقایسه، نتیجه‌ی مطلوب زمانیست که مقدار MSE کمینه و مقدار PSNR بیشینه باشد.

در نهایت، مقایسه‌ی عددی نتایج استخراج لبه‌ی الگوریتم‌های لبه-یاب مختلف (تکنیک‌های لبه‌یابی جعبه ابزار MATLAB، روش گرادیان مورفولوژیکی MG، و روش فازی اتوماتیک پیشنهادی) با تصویر ایده‌آل شکل ۵(ب) در جدول (۳) آورده شده است. نتایج نشان داده شده، حاصل میانگین‌گیری مقادیر MSE، PSNR و MSSIM از نتایج بدست آمده از اعمال الگوریتم‌های استخراج لبه-ی مختلف بر روی ۵۰ تصویر نویزی مشابه با شکل ۶(ب) می‌باشد (مقدار سطح نویز اعمالی به تصویر یکسان است؛ اما توزیع نویز بصورت تصادفی می‌باشد). طبق این جدول، بهترین نتیجه متعلق به الگوریتم فازی پیشنهادی می‌باشد که بصورت برجسته نشان داده شده است.



شکل ۷. مقایسه‌ی الگوریتم‌های لبه‌یاب مختلف برای تصویر شبیه‌سازی شده‌ی SAR. (الف) روش Sobel، (ب) روش Canny، (ج) روش MG [۲۲]، (د) روش فازی پیشنهادی.

جهت آنالیز عددی، از روش شباهت ساختاری^۸ (SSIM) که در مرجع [۲۳] معرفی شده استفاده می‌شود. شاخص SSIM روشی جهت اندازه‌گیری شباهت بین دو تصویر می‌باشد. SSIM دو تصویر هم‌اندازه‌ی X و Y بصورت زیر محاسبه می‌شود [۱۷]:

$$SSIM(X, Y) = \frac{(2\mu_x \mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (9)$$

که در آن $c_1 = (k_1 L)^2$ و $c_2 = (k_2 L)^2$ دو متغیر جهت جلوگیری از ناپایداری هستند و مطابق [۲۳] مقادیر $k_1 = 0.01$ و $k_2 = 0.03$ انتخاب می‌شوند. سایر پارامترهای SSIM در جدول (۲) معرفی شده‌اند.

جدول ۲. پارامترهای مورد استفاده در فرمول SSIM [۲۳]

SSIM Parameter	توضیحات
μ_x	میانگین تصویر X .
μ_y	میانگین تصویر Y .
σ_x^2	واریانس تصویر X .
σ_y^2	واریانس تصویر Y .
σ_{xy}	کوواریانس تصاویر X و Y .
L	رنج دینامیک مقدار پیکسل‌ها (برای یک تصویر سطح خاکستری ۸ بیت برابر با ۲۵۵ است).

از آنجا که SSIM یک ماتریس می‌باشد و برای اندازه‌گیری کیفیت یک تصویر، معمولاً از یک مقدار منفرد استفاده می‌شود، میانگین SSIM (MSSIM) پیشنهاد شده است که بصورت زیر محاسبه می‌گردد [۲۳]:

$$MSSIM = \frac{1}{M} [SSIM] \quad (10)$$

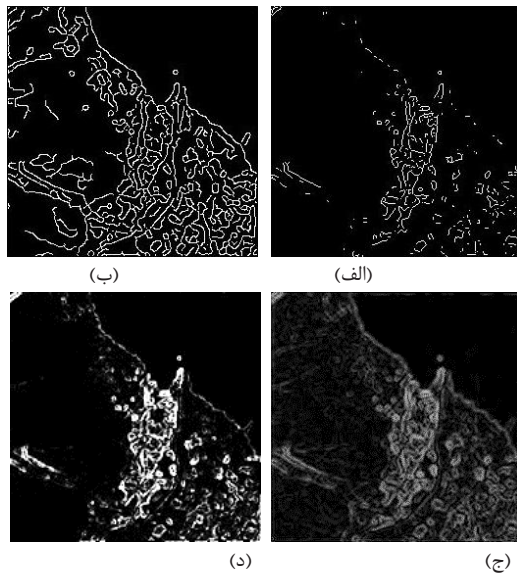
9 Mean squared error
10 Peak signal-to-noise ratio

8 Structural Similarity

جدول ۳. مقایسه‌ی عددی برای الگوریتم‌های لبه‌یاب مختلف.

Algorithm	MSSIM	MSE	PSNR
Sobel	0.4238	0.058	12.27
Canny	0.4076	0.13	8.78
MG	0.2709	0.019	16.21
Proposed Fuzzy	0.5317	0.018	17.2

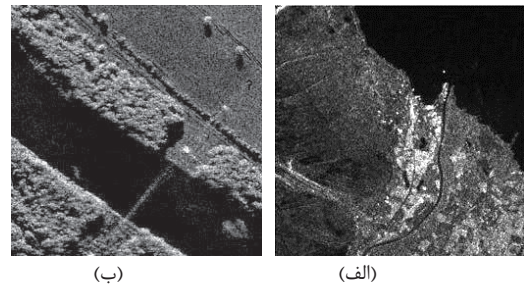
باشد و قسمتی از مرز میان خشکی و دریا را نیز تشخیص نداده است (به شکل (۱۰) توجه کنید). نتیجه‌ی بدست آمده از روش گرادیان مورفولوژیکی (MG) در این مورد خوب عمل کرده است؛ اما شامل حجم نویز بالا می‌باشد. الگوریتم Canny نیز صورت کلی تصویر را حفظ نکرده و دارای لبه‌های اشتباه می‌باشد. الگوریتم لبه‌یابی فازی پیشنهادی، تقریباً بر این مشکلات غلبه کرده و کیفیت لبه‌های پیدا شده به وسیله‌ی الگوریتم پیشنهادی نیز بهتر از سایر روش‌ها می‌باشد. جهت تصدیق مطالب عنوان شده در مورد تصویر SAR واقعی شماره-۱، بخشی از این تصویر بزرگ‌نمایی شده و در شکل (۱۰) نشان داده شده است.



شکل ۹. مقایسه‌ی الگوریتم‌های لبه‌یاب مختلف برای تصویر SAR واقعی شماره-۱: (الف) روش Sobel. (ب) روش Canny. (ج) روش MG [۲۲]. (د) روش فازی پیشنهادی.

استخراج لبه از تصاویر SAR واقعی

در این بخش، الگوریتم پیشنهادی بر روی ۲ نمونه تصویر SAR واقعی اعمال شده است و نتایج حاصل با روش‌های دیگر مقایسه گردیده‌اند. این تصاویر در شکل (۸) نشان داده شده‌اند.

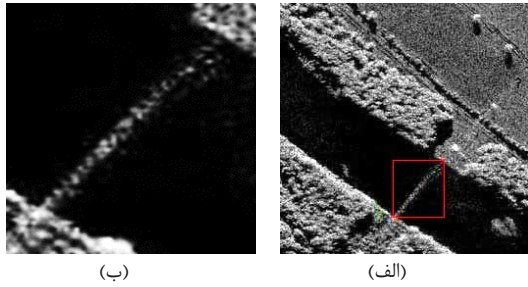


شکل ۸. (الف) تصویر SAR واقعی شماره-۱. (ب) تصویر SAR واقعی شماره-۲.

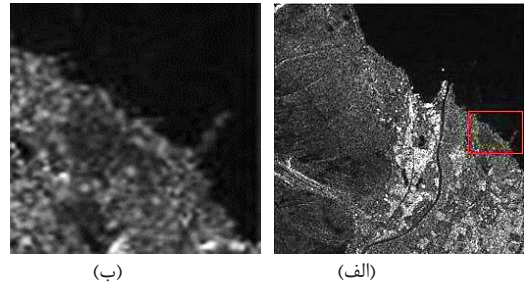
تصویر SAR واقعی شماره-۱ توسط Space Radar Laboratory Missions در سال ۱۹۹۴ به صورت three-look در باند فرکانسی X اخذ شده است. این منطقه، که یک زیرتصویر با ابعاد ۲۵۶×۲۵۶ از کشور سوئیس است، شامل سه ناحیه‌ی آب (قسمت سمت راست بالای تصویر)، منطقه شهری (قسمت پایین و متمایل به راست) و کوهستان (قسمت چپ تصویر) می‌باشد [۲۰]. تصویر SAR واقعی شماره-۲، قسمتی از یک تصویر SAR در باند فرکانسی Ku با رزولوشن مکانی ۱ متر است که از ناحیه‌ای از رودخانه‌ی Rio Grande در نزدیکی آلبکرک از ایالت نیومکزیکوی آمریکا گرفته شده است. این تصویر که دارای ابعاد ۲۵۶×۲۵۶ است، شامل سه ناحیه‌ی رودخانه (آب)، پوشش گیاهی و محصول کشاورزی می‌باشد [۲۰].

در نهایت، شکل‌های (۹) تا (۱۲) مقایسه‌ی نتایج حاصل از الگوریتم لبه‌یابی پیشنهادی را با روش‌های دیگر نشان می‌دهند که در ادامه با بحث پیرامون هر شکل، عملکرد بهتر آشکارساز لبه‌ی پیشنهادی نسبت به دیگر روش‌ها نشان داده شده است.

در شکل (۹)، الگوریتم‌های لبه‌یاب مختلف بر روی تصویر SAR واقعی شماره-۱ آزمایش شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در قسمت خط ساحلی، الگوریتم Sobel نتوانسته نتیجه‌ی رضایت بخشی را ارائه دهد زیرا دارای ناپیوستگی‌هایی در این قسمت می‌-



شکل ۱۲. بزرگ‌نمایی تصویر SAR واقعی شماره ۲: (الف) بخش مشخص شده جهت بزرگ‌نمایی. (ب) بخش بزرگ‌نمایی شده.



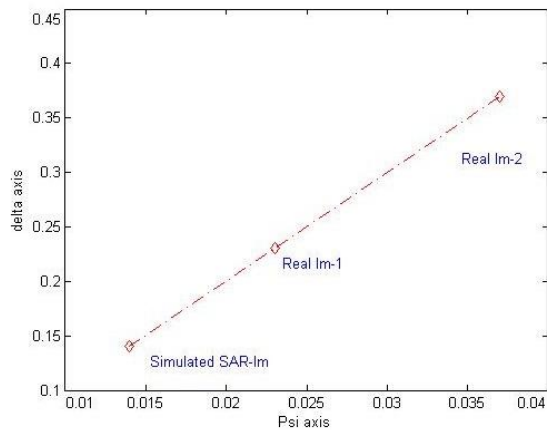
شکل ۱۰. بزرگ‌نمایی تصویر SAR واقعی شماره ۱: (الف) بخش مشخص شده جهت بزرگ‌نمایی. (ب) بخش بزرگ‌نمایی شده.

جدول (۴) مقادیر مختلف M_{SD} ، δ و Ψ را برای تصاویر مختلف تست شده در این مقاله نشان می‌دهد. مطابق این جدول، با افزایش مقدار M_{SD} ، مقدار δ افزایش می‌یابد ولی مقدار Ψ کاهش می‌یابد. در واقع، M_{SD} و δ با یکدیگر رابطه‌ی مستقیم و با پارامتر Ψ رابطه‌ی عکس دارند.

جدول ۴. مقادیر مختلف M_{SD} ، δ و Ψ

SAR Images	M_{SD}	δ	Ψ
Simulated SAR-Im	63.046	0.147	0.014
Real Im-1	13.62	0.235	0.023
Real Im-2	21.96	0.373	0.037

همچنین، دیاگرام پارامتر δ بر حسب Ψ در شکل (۱۳) نشان داده شده است.

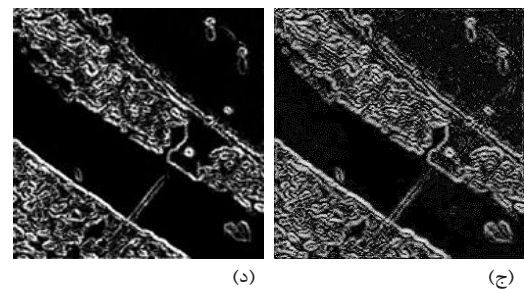
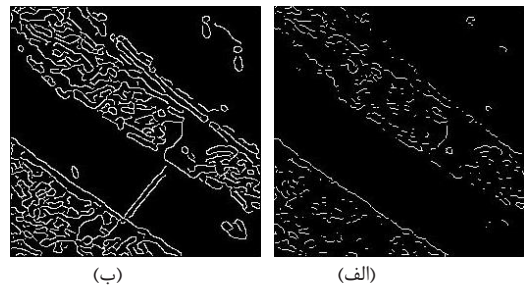


شکل ۱۳. نمودار پارامتر δ بر حسب Ψ

نتیجه‌گیری

استخراج لبه از تصویر رادار روزنه ترکیبی (SAR)، تفسیر یا آنالیز تصویر را راحت‌تر می‌کند و می‌تواند در پردازش‌هایی چون بخش بندی تصویر مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله، یک روش بهینه‌ی استخراج لبه مبتنی بر منطق فازی برای تصاویر SAR ارائه

در شکل (۱۱)، الگوریتم‌های لبه‌یاب مختلف بر روی تصویر SAR واقعی شماره-۲ آزمایش شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، روش MG به دلیل حجم نویز بالا در خروجی، نتوانسته نتیجه‌ی رضایت بخشی را ارائه دهد. الگوریتم Sobel نیز با وجود اینکه نتوانسته نویز را به خوبی کنترل کند؛ اما از نظر لبه‌یابی خوب عمل نکرده است. مطابق شکل (۱۲) که در آن بخشی از تصویر SAR بزرگ‌نمایی شده تا بتوان از نظر شهودی، الگوریتم‌های مختلف را بهتر با یکدیگر مقایسه کرد، این الگوریتم (روش Sobel) در بخش بزرگ‌نمایی شده دارای ناپوستگی می‌باشد. با این تفصیل و از لحاظ شهودی، الگوریتم‌های Canny و پیشنهادی، بهترین استخراج لبه را برای تصویر SAR واقعی شماره-۲ ارائه داده‌اند.



شکل ۱۱. مقایسه‌ی الگوریتم‌های لبه‌یاب مختلف برای تصویر SAR واقعی شماره-۲: (الف) روش Sobel. (ب) روش Canny. (ج) روش MG [۲۲]. (د) روش فازی پیشنهادی.

and Machine Intelligence, vol. 8, no. 6, pp. 679–698, Jun. 1986.

[7] H. Nezamabadi-pour, S. Saryazdi, and E. Rashedi, "Edge detection using ant algorithms," Springer Journal of Soft Computing, vol.10, no.7, pp. 623-628, 2006.

[8] G. Mansoori and H. Eghbali, "Heuristic edge detection using fuzzy rule-based classifier," Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, vol. 17, no. 5, pp. 457 – 469, 2009.

[9] R. Wang, L. Gao, S. Yang, and Y. Liu, "An edge detection method by combining fuzzy logic and neural networks," International Conference on Machine Learning and Cybernetics, pp. 4539-4543, Aug. 2005.

[10] A. N. Evans and X.U. Liu, "A Morphological Gradient Approach to Color Edge Detection," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 15, no. 6, pp. 1454 - 1463, 2006.

[11] J.W.Goodman, "Some Fundamental Properties of Speckle," Journal of the optical Society of America, vol. 66, pp. 1145-1150, 1976.

[12] F. Qiu, J. Berglund, J. R. Jensen, P. Thakkar, and D. Ren, "Speckle noise reduction in SAR imagery using a local adaptive median filter," GIScience and Remote Sensing, vol. 41, no. 3, pp. 244-266, 2004.

[13] S.Chitroub, A .Houacine, B. Sanal, "Statistical characterization and modelling of SAR images," Elsevier Signal Processing, vol. 82, pp. 69–92, 2002.

[14] Y. Sheng, Z.G. Xia, "A Comprehensive Evaluation of Filters for Radar Speckle Suppression," In Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 27–31 May, 1996.

[15] Natural Resources Canada, "Introduction to Fuzzy logic Using Matlab", A Canada Centre for Remote Sensing Remote Sensing Tutorial, 2011.

[16] M. Basu, "Gaussian-Based Edge-Detection Methods-A Survey," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 32, no. 3, pp. 252 – 260, Aug. 2002.

[17] M.P. Makynen, M.H.Simila, A.T.Manninen, M.T. Hallikainen, and J.A. Karvonen, "Dependence between standard deviation and measurement length for C-band backscattering signatures of the Baltic Sea ice," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Society, vol. 44, no. 10, pp. 2890 - 2898, Oct. 2006.

[18] R. C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins, "Digital Image Processing Using Matlab", 2nd edition, 2009.

[19] N. Mogharreban, and L. F. DiLalla, "Comparison of Defuzzification Techniques for Analysis of Non-interval Data," IEEE Conference on Fuzzy Information Processing Society, pp. 257-260, June. 2006.

[20] X. Zhang, L. Jiao, F. Liu, L. Bo, and M. Gong, "Spectral clustering ensemble applied to SAR image segmentation," IEEE Transactions on Geoscience and

داده شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، علاوه بر فائق آمدن بر نویز لکه‌ای، با بهینه سازی پارامتر σ که منحنی تابع عضویت گاوسی فازی را کنترل می‌کند، به طور موثری می‌تواند لبه‌های تصویر را پیدا کند. همچنین، مقایسه‌ی نتایج روش‌های لبه‌یابی مختلف ثابت می‌کند که آشکارساز لبه‌ی پیشنهادی، شکل کلی تصویر را حفظ کرده، پیوستگی بین پیکسل‌های لبه را بهبود بخشیده و نیز حجم نویز کمتری را به خروجی انتقال می‌دهد.

پیشنهاد می‌شود در کارهای آینده از الگوریتم پیشنهادی به عنوان پیش پردازشی جهت کارهایی چون تشخیص اشیا و یا بخش‌بندی تصویر بهره برد. همچنین می‌توان پارامتر بهینه‌سازی را بهبود داد تا بتوان به نتایج دقیق‌تری دست یافت. برای رسیدن به این هدف، روش‌های جدید ریاضی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

سپاسگذاری

این مقاله برگرفته از نتایج تحقیق در راستای یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد که توسط دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (اعتبار ویژه پژوهشی) سال ۱۳۹۴ طبق قرارداد گرنت به شماره ۹۴/۳/۰۲/۳۱۵۷۹ 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] U. Srinivas, V. Monga, and G. R. Raj, "SAR automatic target recognition using discriminative graphical models," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 50, no. 1, pp. 591–606, Jan. 2014.

[2] M. Arii, M. Koiwa, and Y. Aoki, "Applicability of SAR to marine debris surveillance after the great east Japan earthquake," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 7, no. 5, pp. 1729-1744, May. 2014.

[3] T. Acharya and A. K. Ray, "Image Processing Principles and Applications," John Wiley & Sons, 2005.

[4] D. Marr and E. Hildreth, "Theory of edge detection," *Proceedings of the Royal Society of London*, vol. 207, no. 1167, pp. 187-217, Feb. 1980.

[5] N. Senthilkumaran and R. Raj esh, "Edge Detection Techniques for Image Segmentation – A Survey of Soft Computing Approaches," *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 2009.

[6] J. F. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Transactions on Pattern Analysis*

Remote Sensing, vol. 46, no. 7, pp. 2126–2136, Jul. 2008.

[21] G. Akbarizadeh, "A New Statistical-Based Kurtosis Wavelet Energy Feature for Texture Recognition of SAR Images," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 50, no. 11, pp. 4358-4368, Nov. 2012.

[22] A. N. Evans and X.U. Liu, "A Morphological Gradient Approach to Color Edge Detection," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 15, no. 6, pp. 1454 - 1463, 2006.

[23] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: From error visibility to structural similarity," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, Apr. 2004.