



سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال چهارم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۱
Vol.4, No.3, Autumn 2012

۱۵-۲۸

آشکارسازی لبه در تصاویر SAR برمبنای الگوریتم فرکتال - فازی

حسین آقابابایی^{۱*}، جلال امینی^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تهران

۲. دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۷/۲۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۲/۲۶

چکیده

آشکارسازی لبه‌ها از نکته‌های مهم مورد استفاده در سنجش از دور است. بسیاری از الگوریتم‌های کلاسیک آشکارسازی لبه که عملکرد مناسبی را بر روی تصاویر اپتیکی ارائه کرده‌اند، فاقد توان تشخیص لبه در تصاویر رادار با وزنه ترکیبی (SAR) اند. در این مقاله الگوریتمی برمبنای آنالیز فرکتالی و منطق فازی به منظور آشکارسازی لبه‌ها در تصاویر SAR پیشنهاد می‌شود. از جنبه نظری، چون سیگنال دریافت‌شده در سیستم SAR به عنوان پدیده‌ای آشوبی شناخته می‌شود، دارای قابلیت مدل‌سازی در سیستم‌های دینامیکی آشوبی است. پدیده‌های آشوبی در سیستم‌های دینامیکی می‌توانند با بعد فرکتالی توصیف گردند، که در هندسه فرکتالی به منظور توصیف پیچیدگی هندسی پدیده‌ها تعریف می‌شود و روش‌های مختلفی برای محاسبه آن وجود دارد. در این مقاله بعد فرکتالی براساس مفاهیم آنالیز موجک و حرکت نسبی براون تعیین شده است. بعد فرکتالی به دو روش سراسری و محلی تعیین می‌شود که در حالت محلی، موضوع مهم انتخاب پارامترهای روش مورد نظر مانند اندازه پنجره محرک است. استفاده از پنجره‌های متفاوت در بردارنده نتایج متفاوتی نیز هست. بر این اساس، به منظور دستیابی به نتایج مطلوب‌تر، اندازه بهینه پنجره محرک با استفاده از منطق فازی محاسبه شده است. نتایج الگوریتم پیشنهادی بر روی تصاویر سنجنده ALOS-PALSAR با روش‌های کلاسیکی چون فیلترکنی مقایسه و ارزیابی شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم فرکتال - فازی به مراتب کمتر از روش‌های کلاسیک به نویز لکه‌ای حساس است و نتایج رضایت‌بخشی را ارائه کرده، به گونه‌ای که دقت الگوریتم پیشنهادی برابر با ۷۴/۲۱ درصد بوده است. این مقدار در مقایسه با دقت ۲۹/۴۴ درصد برای فیلترکنی نشان از کارایی الگوریتم ارائه‌شده دارد. همچنین نشان داده شده است که تعیین بعد فرکتالی با استفاده از منطق فازی، بیشتر و دقیق‌تر از تعیین آن با پنجره‌های دارای اندازه ثابت، باعث آشکارسازی لبه‌ها می‌شود.

کلیدواژه‌ها: آشکارسازی لبه، بعد فرکتالی، تصاویر SAR، الگوریتم فرکتال - فازی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، گروه مهندسی نقشه‌برداری

۱- مقدمه

لبه در تصاویر عموماً به تغییرات شدید در خصوصیات فیزیکی نظیر هندسه، مقادیر روشنایی و انعکاسی اطلاق می‌شود. آشکارسازی لبه از کاربردهای مهم در به‌کارگیری تصاویر سنجنش از دور به شمار می‌آید، که می‌توان از آن در استخراج خطوط ساحلی، قطعه‌بندی اراضی کشاورزی، استخراج راه‌ها و مانند اینها استفاده کرد. تا کنون روش‌های متفاوتی برای آشکارسازی لبه‌ها پیشنهاد شده است. از روش‌های کلاسیک آشکارسازی لبه می‌توان به اپراتورهای سوبل^۱، کنی^۲ و رابرت^۳ اشاره کرد. اپراتور کنی در بیشتر تصاویر نتایج نسبتاً مناسبی را ارائه کرده است. ایونزکو و گلینگ استفاده از روش‌های کلاسیک را برای آشکارسازی لبه در تصاویر سنجنش از دور رادار با روزه مجازی^۴ (SAR) مطرح کردند. نقطه‌ضعف این اپراتورها، آشکارسازی لبه‌ها در تصویر به صورت محلی است (Zhou et al., 2010). عموماً روش‌های کلاسیک بر روی تصاویر SAR نتایج پذیرفتنی‌ای ارائه نمی‌کنند، چون اساس روش‌های مذکور بر این است که نویز موجود در تصاویر، نویز سفید افزایشی^۵ و گوسی است؛ در حالی که تصاویر SAR با نویز لکه‌ای همراه‌اند (Xin et al., 2006).

در دهه اخیر روش‌هایی برای آشکارسازی لبه با استفاده از هندسه فرکتالی ارائه شده است که مبتنی بر تعیین بعد فرکتالی تصاویر هستند (Dawei et al., 2007; Tzeng et al., 2008; Aghababae and Amini, 2011). مهم‌ترین شاخص هندسه فرکتالی توصیف بی‌نظمی و پراکندگی اشکال طبیعی است - و در هندسه اقلیدسی این امکان وجود ندارد. به این ترتیب، هندسه فرکتالی ابزاری جدید را با جزئیات هندسی بیشتر برای توصیف این پدیده‌ها فراهم می‌سازد. بعد فرکتالی پارامتری مهم در هندسه فرکتالی است که پیچیدگی و بی‌نظمی پدیده‌ها را توصیف می‌کند و روش‌های بسیار متنوعی هم برای محاسبه آن وجود دارد. به عنوان مثال، یکی از روش‌ها استفاده از تبدیلات موجک و آنالیز نسبی براون^۶ (fBm) است که

دقت آن بیش از روش‌های دیگر است (Betti et al., 1997).

هدف اصلی این مقاله ارائه روشی جدید در آشکارسازی لبه در تصاویر رادار با روزه ترکیبی است، و الگوریتم پیشنهادی حساسیت بسیار کمی به نویز لکه‌ای دارد. در این مقاله با مدل‌سازی سیگنال SAR به عنوان پدیده‌ای آشوبی در سیستم دینامیکی غیرخطی (با نام مدل آشوب مکانی)، به محاسبه بعد فرکتالی در نهایت تصویر فرکتالی پرداخته شده است. بعد فرکتالی براساس مفاهیم آنالیز موجک و حرکت نسبی براون محاسبه می‌شود. تصویر فرکتالی در بردارنده اطلاعاتی درباره لبه‌های موجود در تصویر اصلی است، و لبه‌ها با قطعه‌بندی این تصویر استخراج می‌شوند. از آنجا که محاسبه تصویر فرکتالی بستگی به پارامترهای آن - مانند اندازه پنجره محرک - دارد، به منظور ایجاد بهینه‌تر تصویر فرکتالی، اندازه پنجره محرک با منطق فازی تعیین شده است.

در ادامه این مقاله، در بخش ۲ که مدل‌سازی سیگنال SAR در سیستم دینامیکی آشوبی است، در بخش ۳ روش پیشنهادی با نام الگوریتم فرکتال - فازی، و در بخش ۴ نیز پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج ارائه می‌گردد؛ و در بخش ۵ نتیجه‌گیری از روش‌های به‌کارگرفته شده درج می‌شود.

۲- مدل آشوب مکانی^۷ (SCM)

آشوب به رفتاری درازمدت و غیردوره‌ای در سیستم اطلاق می‌گردد که بستگی شدیدی به شرایط اولیه دارد. محل عمل پدیده آشوب، سیستم دینامیکی است و خود مشتمل است بر فضایی فازی که مختصات آن

1. Sobel operator
2. Canny operator
3. Roberts operator
4. Synthetic Aperture Radar
5. White Additive
6. Fractional Brownian Motion (fBm)
7. Spatial Chaotic model

که در آن X ، نشانگر وضعیت بردار در سیستم دینامیکی آشوبی و F تابع برداری غیرخطی است. اگر کره کوچکی به شعاع r در وضعیت y روی جذب کننده سیستم دینامیکی آشوبی یا نزدیک آن در نظر گرفته شود، می توان توزیع نقاط را برای این سیستم براساس رابطه (۲) تعریف کرد.

$$\rho(y) = \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{1}{K} \sum_{n=1}^K \delta(y - x(n)) \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، $\delta(\cdot)$ تابع دلتا در فضای k بعدی و K تعداد نقاط است. می توان ثابت \bar{g} را نسبت به تابع $g(y)$ با نظریه دینامیکی به صورت رابطه (۳) توصیف کرد.

$$\bar{g} = \int_{-\infty}^{\infty} g(y) \rho(y) dy \quad \text{رابطه (۳)}$$

تابع $g(y)$ اندازه گیری از تعداد نقاط موجود در کره کوچکی است به شعاع r ، وقتی که r به سمت صفر میل می کند. فاصله اقلیدسی بین مرکز کره و نقطه $X(n)$ در زمان n ام، $\|y - x(n)\|$ است. با مشتق گیری از رابطه (۳) می توان به تابع جدیدی $C(q, r)$ که وابسته به r و q است دست یافت. این در واقع، تابع همبستگی^۱، و اندازه گیری احتمال اینکه دو نقطه $x(n)$ و $x(j)$ بر روی جذب کننده با فاصله r از هم باشند. اگر فرض شود که تعداد نقاط K زیاد باشد، برای مقادیر کوچک r تابع همبستگی بدین صورت خواهد بود (Hilborn, 1994; Ott, 1993):

$$C(q, r) = r^{(q-1)D} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه مذکور، q مرتبه گشتاور، و D بعد فرکتالی جذب کننده عجیب است. در نتیجه ساختار هندسی پدیده آشوبی، نظیر سیگنال SAR در خور ارائه با بعد فرکتالی آن است (Tzeng et al., 2006, 2007 and 2008). تا کنون تحقیقات و مقالات متعددی مبنی بر آشوبی بودن سیگنال SAR ارائه شده اند که از آن جمله می توان به اینها اشاره کرد: (Goodman, 1976; Kang and Zhang, 2001; McDonald et al., 2002)

حالت دینامیکی سیستم را با به کارگیری قوانین دینامیکی مشخص می کند. منظور از رفتار درازمدت غیرادواری در سیستم های دینامیکی، آن است که وقتی زمان به بی نهایت میل می کند، مسیرهایی که در این سیستم ها وجود دارند، به نقاط ثابت یا مدارهای دوره ای و یا مدارهای شبه دوره ای منتهی نمی شوند. قطعی گویای آن است که سیستم دارای پارامترها یا ورودی های تصادفی نیست ولی رفتار بی نظم این سیستم ها از غیرخطی بودن ناشی می شود. منظور از حساس بودن به شرایط اولیه در سیستم های دینامیکی این است که مسیرهای مجاور با سرعت و به شکلی نمایی از هم جدا می شوند. در واقع این خصوصیت، تفاوت اصلی سیستم های دینامیکی آشوبی با سیستم های دینامیکی منظم است. در سیستم های دینامیکی غیر آشوبی یا منظم، اختلاف کوچک اولیه در دو مسیر همانا خطای اندازه گیری است و به صورت خطی با زمان افزایش می یابد. این در حالی است که در سیستم های دینامیکی آشوبی، همان گونه که اشاره شد، اختلاف بین دو مسیر با فاصله بسیار اندک به صورت نمایی افزایش می یابد. در سیستم های دینامیکی مجموعه ای از تمام مسیرهایی که به سمت نقطه ای ثابت یا حلقه محدود و یا غیرهمگرا می شوند، جذب کننده نام دارند. یکی از انواع آنها را نیز جذب کننده های عجیب^۱ می نامند. این جذب کننده ها به شدت به شرایط اولیه حساس اند، و از مجموعه ای از فرکتال ها تشکیل شده اند. در واقع جذب کننده سیستم های دینامیکی آشوبی از همین نوع موسوم به عجیب است. برای آشنایی بیشتر با سیستم های دینامیکی و پدیده های آشوبی، ن. ک. Hilborn (۱۹۹۴).

سیستم های دینامیکی آشوبی در فضای k بعدی در حالت گسسته را می توان با رابطه (۱) تبیین کرد (Hilborn, 1994; Ott, 1993).

رابطه (۱)

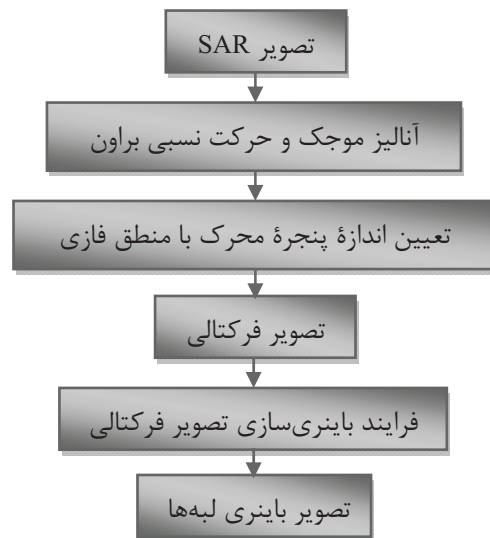
$$X(n+1) = F(X(n))$$

1. Strange Attractor
2. Correlation function

۳- روش فرکتال - فازی در آشکارسازی لبه در

تصاویر SAR

شکل ۱ نمودار روش پیشنهادی در استخراج لبه از تصاویر رادار با روزه مجازی است. براساس این شکل الگوریتم فرکتال - فازی با محاسبه بعد فرکتالی با استفاده از آنالیز موجک و حرکت نسبی براون آغاز می‌شود.



شکل ۱. نمودار الگوریتم فرکتال - فازی در آشکارسازی لبه از تصاویر SAR

حرکت نسبی براون یا fBm را که مندلبرات پیشنهاد کرد، روش ریاضی مناسبی برای مدل‌سازی فرکتال‌هاست. حرکت fBm دارای امید ریاضی صفر با توزیع گوسی است و به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود (Flandrin, 1989):

رابطه (۵)

$$B_H(t) - B_H(s) = \frac{1}{\Gamma(H+0.5)} \left\{ \int_{-\infty}^0 [(t-s)^{H-0.5} - (-s)^{H-0.5}] dB(s) + \int_0^{\infty} (t-s)^{H-0.5} dB(s) \right\}$$

در آن، $B_H(t)$ حرکت براون و H پارامتر براون یا شاخص هرت است که بین صفر و یک قرار دارد. آنالیز fBm فرایند ثابتی نیست بلکه صرفاً تغییرات آن ثابت و

خودمتشابه است. آنالیز fBm می‌تواند در مدل‌سازی و فهم بهتر پدیده‌های طبیعی همچون رشته کوه‌ها و مسیر ذرات و جز اینها کمک کند. چگالی توان طیفی fBm در حالت دوبعدی به صورت رابطه (۶) بیان می‌شود: رابطه (۶)

$$S(w_1, w_2) \propto \frac{1}{|w_1^2 + w_2^2|^{H+1}}$$

به منظور محاسبه چگالی توان طیفی fBm، می‌توان از تبدیل فوریه براساس رابطه (۷) استفاده کرد (Parra et al., 2003; Aghababae and Amini, 2011):

رابطه (۷)

$$S(w_1, w_2) = |\text{FFT}(\text{image})|^2$$

اگر سیگنال فرکانسی در قدرت تفکیک مشخصی (j) فیلتر شود، خواهیم داشت (Mallat, 1989):

رابطه (۸)

$$S_{2^j}(w_1, w_2) = S(w_1, w_2) |\Psi_{2^j}^3(2^{-j}(w_1, w_2))|^2$$

به طوری که $\Psi^3(w_1, w_2) = \psi(w_1)\psi(w_2)$ و $\psi(w_1)$ or $\psi(w_2)$ تابع موجک یک‌بعدی مرتبط با تابع مقیاس $\phi(w_1)$ or $\phi(w_2)$ هستند. همان‌طور که می‌دانیم، براساس تئوری آنالیز موجک، با وجود تابع موجک و مقیاس یک‌بعدی $(\psi(w_{1or2}) \text{ and } \phi(w_{1or2}))$ می‌توان سه تابع موجک دوبعدی را بدین صورت تعریف کرد:

رابطه (۹)

$$\Psi^1(w_1, w_2) = \phi(w_1)\psi(w_2),$$

$$\Psi^2(w_1, w_2) = \psi(w_1)\phi(w_2),$$

$$\Psi^3(w_1, w_2) = \psi(w_1)\psi(w_2)$$

در پژوهش Parra et al. (2003) مطرح شده که ورسین گسسته رابطه (۸) بدین صورت است.

رابطه (۱۰)

$$S_{2^j}(w_1, w_2) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{l=-\infty}^{\infty} S_{2^j}(w_1 + 2^j 2k\pi, w_2 + 2^j 2l\pi)$$

1. Scalling function

صورت $D=3-H$ نوشت. همان طور که بیان شد، پارامتر براون بین صفر و یک قرار دارد؛ در نتیجه بعد فرکتالی بین دو و سه خواهد بود.

تعیین بعد فرکتالی تصاویر سنجش از دور به دو صورت سراسری و محلی انجام می شود. در حالت تعیین بعد سراسری، برای کل تصویر یک بعد محاسبه می شود. در بیشتر مواقع تعیین یک بعد برای کل تصویر مناسب نیست؛ و از جمله در قطعه بندی تصویر به نواحی با بافت های مختلف، به تعیین بعد برای هر ناحیه نیاز است (بعد فرکتالی محلی). برای تعیین بعد محلی، یک پنجره محرک با اندازه مشخص تعریف می شود. این پنجره روی کل تصویر حرکت می کند و در هر وضعیت، یک بعد برای پیکسل مرکزی پنجره محاسبه می شود. در نهایت با محاسبه این بعدها در کل تصویر، تصور فرکتالی شکل می گیرد.

نکته مهم در تعیین بعد محلی همانا انتخاب اندازه پنجره است؛ یا به عبارتی، استفاده از اندازه کوچک مستلزم دانستن جزئیاتی از تغییرات در پوشش های زمینی است. بهتر است در نواحی غیرنرم از پنجره با اندازه کوچک استفاده شود، زیرا به کارگیری پنجره با ابعاد بزرگ با مشکلاتی همراه است. پنجره بزرگ دارای پوشش های زمینی مختلفی است که باعث اختلال پیکسلی می شود. همچنین اگر هدف نهایی از تعیین بعد محلی طبقه بندی باشد، استفاده از اندازه بزرگ پنجره باعث شناسایی نشدن عوارض کوچک می شود. دیگر پیامد استفاده از اندازه بزرگ پنجره، از دست دادن پیکسل ها در لبه ها است. تعیین اندازه مناسب پنجره، در محاسبه بعد محلی تأثیر می گذارد. در این مقاله سعی شده است تا با به کارگیری منطق فازی به عنوان راه حل مناسب، اندازه پنجره در نواحی مختلف تعیین گردد. به طور کلی در نواحی نرم و بدون لبه استفاده از پنجره هایی با ابعاد بزرگ مناسب می نماید، و در نواحی دارای لبه و سطوح ناهمسان بهتر است از پنجره هایی استفاده شود که ابعاد کوچک دارند (Novianto et al., 1999).

انرژی سیگنال گسسته فیلتر شده در قدرت تفکیک مشخص j ، با محاسبه انتگرال در Ψ_j^3 از فیلتر موجک انتخاب شده به دست می آید که آن را می توان بدین صورت نوشت:

رابطه (۱۱)

$$\sigma_{2^j}^2 = \frac{2^{-2j}}{4\pi^2} \int_{-2^j\pi}^{2^j\pi} \int_{-2^j\pi}^{2^j\pi} S_{2^j}(w_1, w_2) dw_1 dw_2$$

و با انتگرال گیری از آن در دو قدرت تفکیک متفاوت j و $j+1$ و محاسبه نسبت آنها، این رابطه به دست می آید:

رابطه (۱۲)

$$\sigma_{2^j}^2 = 2^{2H} \sigma_{2^{j+1}}^2$$

Ψ_{j-1}^3	Ψ_{j-1}^2			Ψ_{j-1}^3
	Ψ_j^3	Ψ_j^2	Ψ_j^3	Ψ_{j-1}^1
Ψ_{j-1}^1	Ψ_j^1		Ψ_j^1	
	Ψ_j^3	Ψ_j^2	Ψ_j^3	
Ψ_{j-1}^3	Ψ_{j-1}^2			Ψ_{j-1}^3

شکل ۲. تجزیه سیگنال دوبعدی (حوزه فرکانس)

با در نظر گرفتن قدرت تفکیک های مختلف، برآورد کمترین مربعات از مقدار H به صورت رابطه (۱۳) است (Betti et al., 1997):

رابطه (۱۳)

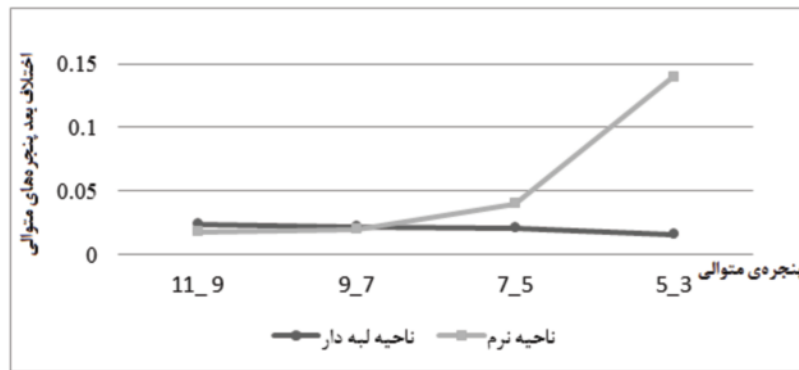
$$H = \frac{1}{(J+1)\log 4} \cdot \log \frac{\prod_{j=1}^{J-1} \sigma_{2^{j+1}}}{\prod_{j=1}^{J-1} \sigma_{2^j}}$$

با تعیین پارامتر H از رابطه مذکور، می توان بعد فرکتالی را از رابطه ۱۴ به دست آورد:

رابطه (۱۴)

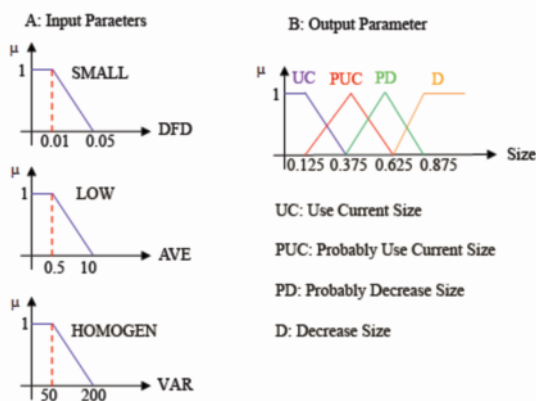
$$D = D_T + 1 - H$$

که در آن، D_T بعد توپولوژی و D بعد فرکتالی است. با توجه به اینکه بعد توپولوژی تصویر برابر با دو ($D_T=2$) است، این رابطه را برای تصویر می توان به



شکل ۳. نمودار تأثیر اندازه پنجره در محاسبه بعد فرکتالی (Novianto et al., 1999)

شده برای دو پنجره مذکور، اختلاف میانگین درجات خاکستری (AVE)، اختلاف واریانس (VAR) و اختلاف مقادیر بعد فرکتالی (DFD) دو پنجره محاسبه می‌شود. این سه اختلاف در واقع مقادیر ورودی سیستم فازی اند، و توابع عضویت در شکل (۴) نشان داده شده است. مطابق این شکل متغیرهای VAR و AVE و DFD به ترتیب مرتبط با ورودی‌های اختلاف واریانس، اختلاف میانگین درجات خاکستری و اختلاف بعد فرکتالی تعریف شده است؛ و متغیر اندازه پنجره به عنوان خروجی سیستم.



شکل ۴. سیستم فازی الگوریتم فرکتال - فازی، ورودی مرتبط با اختلاف مقادیر بعد فرکتالی (DFD)، اختلاف میانگین درجات خاکستری (AVE) و اختلاف واریانس دو پنجره متوالی (VAR) است و متغیرهای خروجی size به همراه مجموعه فازی، UC، PUC، PD و D

تأثیر اندازه پنجره در شکل ۳ نشان داده شده است. این شکل نمودار تغییرات اختلاف بعد فرکتالی برای دو پنجره متوالی در دو موقعیت متفاوت از یک تصویر است. این دو موقعیت در نواحی نرم و لبه‌دار انتخاب شده‌اند. محاسبه بعد فرکتالی این دو موقعیت با پنجره‌های متفاوت، نتایج مختلفی را به دست داده است. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، در ناحیه نرم با افزایش اندازه پنجره، اختلاف بعد فرکتالی پنجره‌های متوالی کاهش می‌یابد؛ در حالی که در موقعیت‌های لبه‌دار با افزایش اندازه پنجره، اختلاف بعد فرکتالی بین پنجره‌های متوالی نیز فزونی می‌گیرد. به همین خاطر بهتر است در نقاط مختلف تصویر از پنجره‌هایی با اندازه‌های متفاوت استفاده شود.

برای تعیین اندازه بهینه پنجره در نقاط مختلف از پنجره‌هایی با ابعاد ۱۱×۱۱ تا ۵×۵ استفاده شده است. روش کار چنین است که اختلاف مقدار بعد فرکتالی، در دو اندازه مختلف برای ناحیه محاسبه می‌شود. اگر این اختلاف زیاد باشد، نشان می‌دهد که بیشتر از یک ویژگی بافتی در ناحیه مورد نظر وجود دارد؛ و در نتیجه بهتر است از اندازه دیگری استفاده شود ولی اگر اختلاف کم باشد نیازی به تغییر اندازه نیست. به همین منظور در ابتدا برای هر ناحیه دو پنجره با اندازه‌های ۱۱×۱۱ و ۹×۹ در نظر گرفته می‌شود. پس از محاسبه بعد فرکتالی محلی نقطه مورد نظر (پیکسل مرکزی پنجره) با الگوریتم توضیح داده

فرکتالی بزرگ‌تر از حد آستانه اولیه باشد آن‌گاه این پیکسل لبه‌دار است و در غیر این صورت بدون لبه. در ادامه میانگین مقادیر پیکسل‌ها در این دو ناحیه از تصویر فرکتالی محاسبه می‌شود. سپس این دو ناحیه مجدداً با استفاده از مقادیر میانگین محاسبه شده برای هر ناحیه، خود به دو ناحیه لبه‌دار و بدون لبه تقسیم می‌شوند. این فرایند تا زمانی ادامه می‌یابد که مقدار حد آستانه محاسبه شده، چندان تفاوتی با حالت قبل نداشته باشد.

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

داده مورد استفاده، تصویر ۸ بیتی سنجنده ALOS-PALSAR در منطقه سندای (ژاپن) است. اندازه این تصویر ۴۰۰×۴۰۰ است و شکل ۵ آن را نشان می‌دهد. مهم‌ترین لبه موجود در این تصویر خط ساحلی است که دیده می‌شود. شکل ۶ تصاویر فرکتالی محاسبه شده از این تصویر را نشان می‌دهد. برای نشان دادن کارایی منطقی فازی در تعیین اندازه پنجره محرک، تصاویر فرکتالی با پنجره‌هایی با ابعاد ثابت در نقاط مختلف تصویر محاسبه شده‌اند. در این شکل تأثیر اندازه پنجره را می‌توان دید.



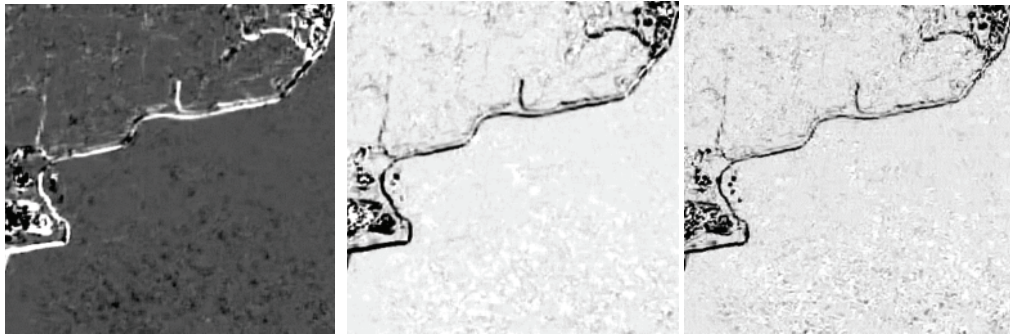
شکل ۵. تصویر سنجنده ALOS-PALSAR در منطقه سندای (ژاپن)

در سیستم فازی مورد نظر شش قاعده به کار رفته است. به عنوان نمونه، یکی از قاعده‌های به کار گرفته شده را می‌توان چنین بیان کرد که اگر اختلاف میانگین درجات خاکستری پایین باشد، آن‌گاه تعیین بعد محلی با پنجره استفاده شده محتمل‌تر است؛ یا به عبارتی:

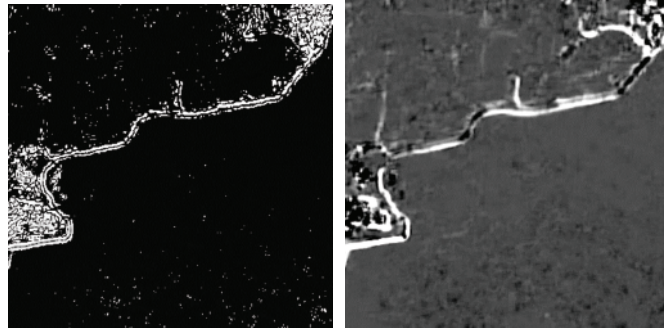
If AVE is LOW then Size=PUC

با ورود سه مقدار اختلاف به دست آمده از پنجره‌های ۱۱×۱۱ و ۹×۹، اگر خروجی سیستم در دامنه UC باشد، آن‌گاه استفاده از اندازه ۱۱×۱۱ برای تعیین بعد مناسب است و در غیر این صورت بایستی اندازه پنجره کاهش یابد. بدین منظور دوباره فرایند مذکور روی پنجره‌های با اندازه ۹×۹ و ۷×۷ انجام می‌شود. در صورتی که خروجی دوباره بیشتر از دامنه UC باشد، عملیات با کاهش اندازه پنجره تکرار می‌شود. این عمل تا جایی ادامه پیدا می‌کند که خروجی بیشتر از دامنه UC نباشد و یا به کوچک‌ترین اندازه یعنی ۵×۵ برسد. نکته لازم به ذکر در استفاده از متغیرهای مربوط به اختلاف درجات خاکستری و اختلاف واریانس این است که مقادیر نوشته شده در شکل (۴) مربوط به تصویر ۸ بیتی است و اگر تصویر ورودی دارای قدرت تفکیک طیفی متفاوت باشد لازم است این مقادیر تغییر کنند.

با تعیین اندازه پنجره متحرک و متعاقباً بعد فرکتالی در قسمت‌های مختلف تصویر می‌توان تصویر فرکتالی را ایجاد کرد. طبق شکل (۱) آخرین مرحله در استخراج لبه با الگوریتم پیشنهادی باینری‌سازی تصویر فرکتالی است. فرایند باینری‌سازی می‌تواند با استفاده از یک حد آستانه (T) در هر پیکسل انجام شود. در این مقاله T براساس روش Otsu تعیین شده است (Otsu, 1979). جزئیات این روش بدین صورت است که ابتدا یک حد آستانه اولیه $T^{(0)}$ براساس میانگین مقادیر موجود در تصویر فرکتالی انتخاب می‌شود. براساس این حد آستانه تمامی پیکسل‌های موجود در تصویر به نواحی لبه‌دار و بدون لبه تقسیم‌بندی می‌شوند، به طوری که اگر مقدار پیکسل در تصویر



(الف) تصویر فرکتالی با پنجره 5×5 (ب) تصویر فرکتالی با پنجره 7×7 (ج) تصویر فرکتالی با پنجره 9×9



(د) تصویر فرکتالی با پنجره 11×11 (ه) تصویر فرکتالی با پنجره متغیر (فازی)

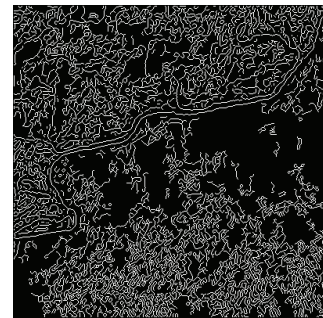
شکل ۶. تصاویر فرکتالی با پنجره‌های متفاوت محاسبه شده برای تصویر ALOS-PALSAR در منطقه مورد مطالعاتی



(ج) استخراج لبه از تصویر فرکتالی با پنجره 7×7



(ب) استخراج لبه از تصویر فرکتالی با پنجره 5×5



(الف) استخراج لبه با اپراتور کنی



(ی) استخراج لبه از تصویر فرکتالی با پنجره متغیر (فازی)



(ه) استخراج لبه از تصویر فرکتالی با پنجره 11×11



(د) استخراج لبه از تصویر فرکتالی با پنجره 9×9

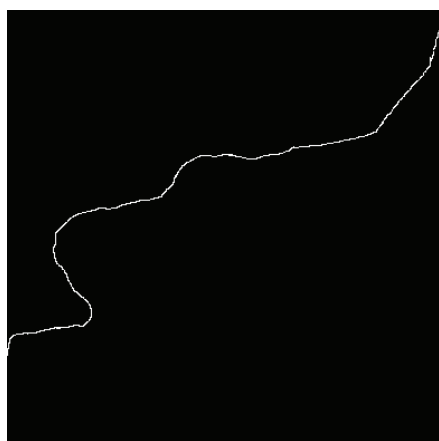
شکل ۷. لبه‌های استخراج شده از تصویر ALOS-PALSAR در منطقه مورد مطالعه با روش‌های متفاوت

۲- شاخص False Positives (FP): تعدادی از پیکسل‌های بدون لبه که به اشتباه به عنوان پیکسل لبه تشخیص داده شده‌اند ($PFP=FP/M$).

۳- شاخص True Negatives (TN): تعدادی از آنهایی که به درستی به عنوان پیکسل بدون لبه تشخیص داده شده‌اند ($PTN=TN/M$).

۴- شاخص False Negatives (FN): تعدادی از پیکسل‌های لبه که به اشتباه به عنوان پیکسل بدون لبه تشخیص داده شده‌اند ($PFN=FN/M$).

در این میان، M تعداد پیکسل‌های لبه و بدون لبه در نظر گرفته شده برای ارزیابی است. ناگفته نماند که کارایی روش را می‌توان با شاخص «تشخیص درست»^۱ ($PCC = PTP + PTN$) و «تشخیص نادرست»^۲ ($PFC = PFP + PFN$) ارزیابی کرد. برای ارزیابی کمی نتایج، از ۷۳۳ پیکسل لبه از خط ساحلی به مانند شکل ۸ استفاده شده است. برای انتخاب پیکسل‌های بدون لبه نیز منطقه‌ای با اندازه 15×15 پیکسل بر روی تصویر مد نظر قرار گرفته است. این منطقه بر روی نواحی کاملاً بدون لبه دریا انتخاب شده است.



شکل ۸. پیکسل‌های انتخاب شده (۷۳۳ پیکسل) از خط ساحلی به عنوان پیکسل لبه برای ارزیابی کمی نتایج

1. Correct detection
2. False detection

بر طبق شکل ۵ برای آشکارسازی لبه لازم است تصویر فرکتالی با روش بیان شده باینری شود. فرایند باینری‌سازی بر روی تصاویر فرکتالی موجود در شکل ۶ اعمال شده و نتایجی که در ادامه ذکر می‌گردند به دست آمده است. همچنین برای مقایسه الگوریتم پیشنهادی با روش‌های کلاسیک، فیلترکنی به عنوان روشی کلاسیک بر روی تصویر مورد مطالعه اعمال شده است. شکل ۷ لبه‌های استخراج شده از تصویر ALOS-PALSAR را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۷ نیز مشخص است، اپراتور کنی در تصویر مورد نظر نتیجه رضایت‌بخشی را به دست نداده و به شدت تحت تأثیر نویز لکه‌ای قرار گرفته است. در این شکل (۷ الف) بسیاری از پیکسل‌های آب تحت تأثیر نویز به عنوان پیکسل لبه تشخیص داده شده‌اند. مقایسه شکل‌های ۷-ب تا ۷-هـ مشخص می‌سازد که مناسب‌ترین پنجره برای آشکارسازی لبه، پنجره‌ای با اندازه 7×7 است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با پنجره ثابت 7×7 بیشتر قسمت‌های خط ساحلی آشکار شده است. این در حالی است که استفاده از سایر پنجره‌ها با اندازه ثابت (5×5 ، 9×9 و 11×11) نتایج چندان مطلوبی ندارد. هر چند با مقایسه تصاویر لبه حاصل از پنجره‌های ثابت با اپراتور کنی می‌توان گفت که هیچ یک از پنجره‌ها تحت تأثیر نویز نبوده‌اند. با این حال، برای دستیابی به نتیجه بهتر، پنجره‌هایی با ابعاد متغیر (فازی) در نقاط مختلف تصویر به کار گرفته شدند، که نتیجه آن را می‌توان در شکل ۷-ی مشاهده کرد. این شکل نتیجه الگوریتم پیشنهادی (فرکتال - فازی) است. در این شکل تأثیر نویز لکه‌ای حداقل است و بیشتر لبه‌ها تشخیص داده شده‌اند. در ادامه برای ارزیابی کمی نتایج ارائه شده با روش‌های مختلف از شاخص‌هایی که ذکر می‌گردد استفاده می‌شود.

۱- شاخص True Positives (TP): تعدادی از پیکسل‌های لبه که به درستی به عنوان پیکسل لبه تشخیص داده شده‌اند ($PTP=TP/M$).

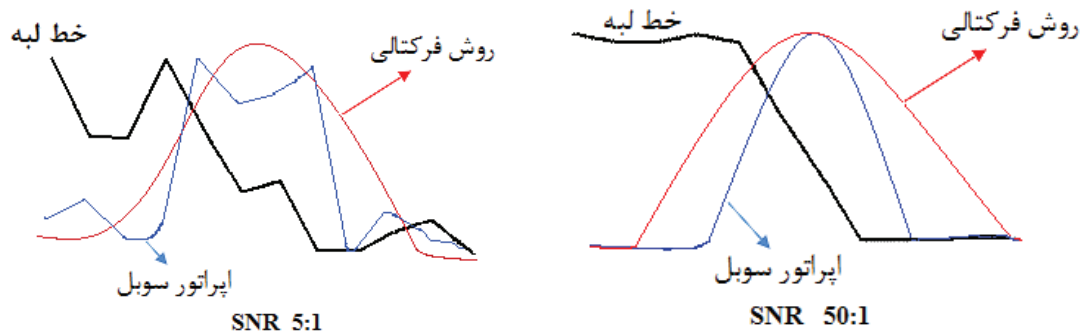
دست یافت. به دلیل حساسیت بالای روش‌های کلاسیک به نویز لکه‌ای، این روش‌ها بر روی تصاویر SAR نتیجه مطلوبی به دست نمی‌دهند. در شکل ۹ مقایسه‌ای کلی از تأثیر نویز در تشخیص لبه نشان داده شده؛ و در آن روش فرکتالی با روش کلاسیک سوئل در چگالی مختلف نویز مقایسه شده است. همان‌طور که در شکل ۹ (الف) مشخص است، هنگامی که نسبت سیگنال به نویز بالا باشد کارایی روش فرکتالی و روش کلاسیک سوئل نزدیک به هم خواهد بود. با این حال هنگامی که نسبت سیگنال به نویز پایین باشد - یا به عبارتی چگالی نویز بالا باشد - دقت روش فرکتالی به مراتب بهتر از روش سوئل خواهد بود. با توجه به شکل ۹ (ب) هنگامی که چگالی نویز بالاست، روش کلاسیک سوئل چندان کارایی ندارد.

جدول ۱ ارزیابی کمی لبه‌های استخراج‌شده را با روش‌های به کار گرفته شده نشان می‌دهد. برطبق این جدول درصد تشخیص درست و نادرست برای الگوریتم فرکتال - فازی به ترتیب برابر با $74/21$ و $25/78$ درصد است. این مقادیر در مقایسه با دقت دیگر روش‌های به کار گرفته شده، بسیار درخور توجه است. همان‌طور که مشخص است، روش‌های فرکتالی از وجود نویز لکه‌ای تأثیر نمی‌پذیرند. این در حالی است که اپراتور کلاسیک کنی با تأثیرپذیری نویز نتیجه‌ای پذیرفتنی ارائه نکرده است. روش فرکتالی با پنجره ثابت هم می‌تواند نتایجی نسبتاً پذیرفتنی ارائه کند ولی می‌بایست اندازه پنجره مناسب‌تر نیز مشخص گردد.

به عنوان مثال، در تصویر منطقه مورد مطالعه اندازه 7×7 نتیجه‌ای بهتر از پنجره‌های ثابت در بر داشته است. با این حال همان‌طور که مشخص است با تعیین پنجره با منطق فازی می‌توان به نتایج بس بهتری هم

جدول ۱. ارزیابی کمی نتایج با روش‌های مختلف به کار گرفته شده

روش به کار گرفته شده	تشخیص درست (PCC) به درصد	تشخیص نادرست (PFC)، به درصد
اپراتور کنی	۲۹/۴۴	۷۰/۵۶
روش فرکتالی با پنجره 5×5	۳۹/۹۸	۶۰/۰۲
روش فرکتالی با پنجره 7×7	۴۶/۴۵	۵۳/۵۵
روش فرکتالی با پنجره 9×9	۳۸/۲۰	۶۱/۷۹
روش فرکتالی با پنجره 11×11	۳۵/۸۰	۶۴/۱۹
روش فرکتالی با پنجره متغیر (فازی)	۷۴/۲۱	۲۵/۷۸



شکل ۹. میزان حساسیت روش فرکتالی و اپراتور سوئل به نویز در چگالی نویز مختلف برای استخراج لبه (Toennies and Schnabel, 1994)

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

آشکارسازی لبه در تصاویر سنجش از دور دارای کاربردهای مختلفی است مانند تشخیص خطوط ساحلی، استخراج راه‌ها و گسل‌ها، قطعه‌بندی اراضی کشاورزی و جز اینها. با توجه به کاربردهای مختلف، آشکارسازی دقیق لبه‌ها امری ضروری است. استفاده از روش‌های کلاسیک در تصاویر رادار با روزه مجازی به دلیل وجود نویز لکه‌ای در بردارنده نتایج مطلوبی نیست. به این خاطر برای حل مشکل تأثیر نویز، در این مقاله روشی بر مبنای آنالیز فرکتالی و منطق فازی (روش فرکتال - فازی) برای آشکارسازی لبه‌ها در تصاویر SAR ارائه شده است که حساسیت بسیار کمتری به نویز دارد. روش پیشنهادی با محاسبه بعد فرکتالی و متعاقباً تصویر فرکتالی آغاز می‌شود و با باینری‌سازی تصویر فرکتالی به آشکارسازی لبه می‌پردازد.

بعد فرکتالی می‌تواند ابزاری برای اندازه‌گیری پیچیدگی پدیده‌ها باشد. با توجه به اینکه کاربردهای مختلف فرکتال‌ها در سنجش از دور عمدتاً با بعد فرکتالی مرتبط است، تعیین دقیق بُعد کاملاً ضروری است. تعیین بعد فرکتالی در تصاویر سنجش از دور به روش‌های سراسری و محلی انجام می‌گیرد. در حالت سراسری برای هر باند یا هر تصویر خاکستری، یک بعد محاسبه می‌شود؛ و بُعد محاسبه‌شده بستگی به روش انتخابی و قدرت تفکیک مکانی تصویر - و البته نوع پوشش نیز - دارد. در صورتی که در حالت محلی، پنجره‌ای متحرک با اندازه مشخص تعریف می‌شود. این پنجره روی تصویر حرکت می‌کند و در هر مکان، یک بُعد به شمار می‌آید؛ و سرانجام محاسبه بعد برای کل تصویر به ایجاد تصویر فرکتالی می‌انجامد. بعدهای محاسبه‌شده در این حالت، بستگی دارد به: روش انتخابی، قدرت تفکیک مکانی تصویر، نوع پوشش، و مهم‌تر از همه اندازه پنجره متحرک. استفاده از پنجره‌های متفاوت، همان‌گونه که اشاره شد، نتایج متفاوتی نیز به همراه دارد. به طور کلی بهتر است از پنجره‌هایی با ابعاد بزرگ در نواحی نرم و بدون لبه

استفاده شود؛ و پنجره‌هایی با ابعاد کوچک در نواحی دارای لبه و تغییرات به کار روند. در این مقاله برای تعیین اندازه بهینه پنجره متحرک به صورت پویا در هر مکان، از منطق فازی استفاده شده است.

نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم ارائه‌شده با پنجره‌های ثابت و متغیر (فازی)، با روش‌های کلاسیک آشکارسازی لبه نظیر اپراتور کنی مقایسه شد و کارایی بیشتر این روش از الگوریتم‌های کلاسیک در آشکارسازی لبه از تصاویر SAR به اثبات رسید. همچنین نشان داده شد که در تصاویر SAR - که عمدتاً دارای نویز لکه‌ای اند - استفاده از روش‌های کلاسیک در آشکارسازی لبه‌ها در بردارنده نتایج مطلوبی نیست، زیرا این روش‌ها به نویز حساس‌اند؛ در صورتی که الگوریتم ارائه‌شده چنین حساسیتی ندارد و با وجود نویز می‌تواند نتایجی پذیرفتنی ارائه کند. اگر نسبت سیگنال به نویز بالا باشد، نتایج روش‌های کلاسیک و فرکتالی به هم نزدیک‌اند؛ در صورتی که اگر نسبت سیگنال به نویز بالا نباشد، روش کلاسیک کارایی ندارد لیکن روش فرکتالی کماکان می‌تواند با نتایجی درخور پذیرش همراه باشد. افزون بر اینها، از نتایج به‌دست‌آمده از پیاده‌سازی، مشخص شد که استفاده از پنجره ثابت نیز می‌تواند نتایج نسبتاً مناسبی به دست دهد ولی نکته مهم در واقع تعیین اندازه مناسب آن است. به عنوان مثال، در تصویر انتخابی در این مقاله اندازه پنجره 7×7 با نتایجی بهتر از دیگر اندازه‌های ثابت همراه بود. با این حال، استفاده از پنجره‌هایی با اندازه متفاوت در نقاط مختلف می‌تواند دقت آشکارسازی لبه را بسیار بهبود بخشد.

از آنجا که دقت آشکارسازی لبه در روش پیشنهادی (فرکتال - فازی) وابسته به روش باینری‌سازی است، استفاده از روش‌های دقیق‌تر برای باینری‌سازی یا قطعه‌بندی تصویر فرکتالی می‌تواند نتایج را بهبود بخشد. همچنین به نظر می‌رسد که اعمال اپراتورهای ریخت‌شناسی (مورفولوژی) نیز می‌تواند دقت آشکارسازی لبه‌های استخراج‌شده با روش پیشنهادی را بهبود بخشد.

- Ground and Sea**, in Proc. Asia-Pacific Microwave, PP. 577-580.
- Mallat, S.G., 1989, **A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation**, IEEE Transaction in Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 11, Issue 7, PP. 674 -693.
- McDonald, M.K.; Varadan, V. and Leung, H., 2002, **Chaotic Behavior and Non-linear Prediction of Airborne Radar Sea Clutter Data**, IEEE International conference in Radar, PP. 331-337.
- Novianto, S; Guimariies, L; Suzuki, Y.; Maeda, J. and Anh, V.V., 1999, **Multi-windowed Approach to the Optimum Estimation of the Local Fractal Dimension for Natural Image Segmentation**, IEEE International Conference on Image Processing, Vol. 3, PP. 222- 226.
- Ott, E., 1993, **Chaos in Dynamical Systems**, Cambridge University Press, Boston.
- Otsu, N., 1979, **A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms**, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 9, No. 1, PP. 62-66.
- Parra, C.; Iftekhaiddin, K. and Rendon, D., 2003, **Wavelet Based Estimation of the Fractal Dimension in fBm Images**, IEEE international conference in neural engineering, PP. 533-536.
- Toennies, K.D. and Schnabel, J.A., 1994, **Edge Detection Using the Local Fractal Dimension**, IEEE international conference on Computer-Based Medical Systems, PP. 34-39.
- ۶- سپاس‌گزاری**
- بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران به خاطر تأمین اعتبار برای تحقیق و نیز پروفیسور Tzeng استاد دانشکده مهندسی الکترونیک دانشگاه ملی تایوان به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌شان بسیار قدردانی و سپاس‌گزاری می‌شود.
- ۷- منابع**
- Aghababae, H. and Amini, J., 2011, **Fractal Analysis for Coastline Detection in SAR Images**, International symposium on remote sensing (IRIS), South Korea.
- Betti, A.; Barni, M. and Mecocci, A., 1997, **Using a Wavelet-based Fractal Feature to Improve Texture Discrimination on SAR Images**, IEEE International Conference on Image Processing, Vol. 1, PP. 251-254.
- Dawei, Qi; Li, L.; Jingwei, S.; Hongbo, M., 2007, **Application of Fractal Dimension in Edge Detection of Log with Rotten Knot Image**, IEEE International Conference on Control and Automation, PP. 2868-2873.
- Flandrin, P., 1989, **On the Spectrum of Fractional Brownian Motions**, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 35, Issue 1, PP.197 -199.
- Goodman, J., 1976, **Some Fundamental Properties of Speckle**, Journal of Optical Society of America, PP. 1145-1150.
- Hilborn, R.C., 1994, **Chaos and Nonlinear Dynamics**, New York: Oxford University Press.
- Kang, S. and Zhang, Z., 2001, **Chaotic Characteristics of Radar Scattering from**

- Tzeng, Y.C.; Chen, D. and Chen, K.S., 2008, **Integration of Spatial Chaotic Model and Type-2 Fuzzy Sets to Coastline Detection in SAR Images**, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Vol. 1, PP. I-430- I-433.
- Tzeng, Y.C. and Chen, K.S., 2007, **Change Detection in Synthetic Aperture Radar Images Using a Spatial Chaotic Model**, Optical Engineering, Vol. 46, No. 8, PP. 1926-1930.
- Tzeng, Y.C.; Chen, D.; and Chen, K.S., 2006, **Automatic Change Detections from SAR Images Using Fractal Dimension**, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Vol. 1, PP. 750-753.
- Xin K., Chongzhao H., Yi Y. and Tangfei T., 2006, **SAR Image Edge Detection by Ratio-based Harris Method**, IEEE International conference in Speech and Signal Processing (ICASSP), Vol. 2, pp. II.
- Zhou, G.Y.; Cui, G.Y.; Chen, G.Y; Yang, G.Y. and Rashvand, H.F., 2010, **SAR Image Edge Detection Using Curvelet Transform and Duda Operator**, Institution of Engineering and Technology, Electronics Letters, Vol. 46, issue 2, PP. 5-6.