

دوین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی نقشه برداری

۱۳۹۵ دی ماه ۲۹



The 2nd National Conference on Geospatial Information Technology (NCGIT)

K.N.Toosi University of Technology

Faculty of Geomatics Engineering

18 January 2017

کاهش نویز تصاویر سنجش از دوری با استفاده از فیلترینگ غیر خطی در حوزه فرکانس بر مبنای تغییر مقیاس طیف اندازه

حمید جنتی^{۱*}، محمود رضا صاحبی^۲، یاسر مقصودی^۳، محمد جواد ولدان زوج^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی

۲- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی

۳- استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی

۴- استاد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی

چکیده:

نویز پدیدهای مخرب و ناخواسته است که عمدتاً در مرحله اخذ و یا انتقال تصویر به وجود آمده و باعث کاهش اطلاعات مفید قابل وصول از تصویر می‌گردد. از این رو حذف و یا به بیان بهتر کاهش اثر نویز به ویژه در تصاویر سنجش از دوری و در مرحله پیش پردازش امری ضروری به نظر می‌رسد، چراکه مانع از ورود داده‌های نویزی به مرحله اصلی پردازش می‌شود. در دهه‌های گذشته با در نظر گرفتن انواع مختلف نویز و اثرات آنها بر تصویر اصلی، روش‌های گوناگونی همچون روش‌های حوزه مکان، روش‌های میتني بر تبدیل، روش‌های میتني بر ریختشناسی و نیز روش‌های یادگیری مینا جهت کاهش اثر آن ارائه گردیده است. هر یک روش‌ها بر اساس یک سری شخص کمی و کیفی و نیز زمان پردازش قابل ارزیابی هستند. بر همین اساس در مقاله حاضر با در نظر گرفتن شاخص‌های مورد نظر به خصوص حفظ جزئیات تصویر و در عین حال جلوگیری از افزایش مشهود زمان اجرای پردازش، روشی کارامد بر مبنای فیلترینگ غیر خطی حوزه فرکانس، با تغییر مقیاس طیف اندازه تبدیل فوریه تصویر، ارائه شده است. روش ارائه شده با فیلتر وینر مقایسه شد که با توجه به نتایج بدست آمده، ضمن بهبود کمی شاخص‌های MSE و CORR، شاخص حفظ لبه EEI برای $SNR_{dB} = 0$ حداقل ۶۰ درصد بهبود یافت. از این رو، کارایی الگوریتم به ویژه در حفظ لبه و در شدت‌های نویز بالا به اثبات رسید.

واژه‌های کلیدی: کاهش نویز، تبدیل فوریه، فیلترینگ، تصاویر سنجش از دوری.

نویسنده مکانیک کننده: حمید جنتی

آدرس پستی: تهران، خیابان ولی‌عصر، بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه برداری، کد پستی ۱۵۴۳۳-۱۹۹۶۷، صندوق پستی ۴۴۱۶-۱۵۸۷۵.

تلفن: ۰۹۱۸۳۰۷۰۸۹۶

آدرس پست الکترونیک: Hamid_Jannati@Live.com

۱- مقدمه

وجود نویز در تصویر دیجیتال امری ناخواسته است که معمولاً در مرحله اخذ تصویر و یا انتقال آن و در نتیجه تاثیر برخی عوامل محیطی و یا نحوه عملکرد خود سنسورهای اخذ تصویر ایجاد می‌شود [۱]. انواع مختلف نویز اثرات محربی بر روی تصاویر ایجاد می‌کنند که از این بین می‌توان به کاهش اطلاعات اصلی تصویر و نیز ورود داده غیر مفید به مرحله پردازش اصلی تصویر اشاره نمود. از این رو وجود نویز ضمن افزایش زمان اجرای پردازش داده‌ها، همچنین باعث ایجاد خطأ در نتایج میانی و پایانی پردازش می‌شود. به همین دلیل با در نظر گرفتن انواع مختلف نویز، شامل نویز سفید گاووسی^۱ [۲، ۳]، نویز اسپکل^۲ [۴، ۵ و ۶] و نویز نمک و فلفل (نویز ضربه‌ای)^۳ [۷]، روش‌های متفاوتی جهت کاهش نویز ارائه شده است که از یک نقطه نظر کلی می‌توان اغلب الگوریتم‌های مذکور را در روش‌های حوزه مکان^۴ [۸، ۹]، روش‌های مبتنی بر تبدیل^۵ [۱۰، ۱۱]، روش‌های مبتنی بر یادگیری^۶ [۱۲، ۱۳] و نیز فیلترهای مبتنی بر ریخت شناسی^۷ [۱۴، ۱۵] طبقه بندی نمود. ماهیت نویز گاووسی به گونه‌ای است که مقدار هر پیکسل از تصویر توسط یک متغیر تصادفی با میانگین صفر و واریانس مشخص که دارای توزیع گاووسی است، تحت تاثیر قرار گرفته و این میزان تاثیر که مستقل از مقدار پیکسل می‌باشد با مقدار اصلی پیکسل جمع می‌شود. به همین دلیل نویز گاووسی نویز جمع شونده نامیده می‌شود. از این رو می‌توان تصویر نویزی را به صورت حاصل جمع تصویر اصلی (بدون نویز) و نویز در نظر گرفت، که با توجه به مشخص نبودن میزان نویز در هر پیکسل حذف مستقیم آن از تصویر نویزی امکان پذیر نیست [۱۱]. نویز اسپکل که از نوع نویز ضرب شونده می‌باشد، دارای شدت اثری متفاوت بر روی پیکسل‌های مختلف تصویر می‌باشد، به گونه‌ای که بر روی پیکسل‌های با مقادیر بیشتر دارای اثر بیشتر و نیز اثر کمتر بر روی پیکسل‌های با مقادیر کمتر است [۱۶]. به همین دلیل اثر آن بر روی تصویر اصلی به صورت ضرب شونده مدل می‌شود. اثر نویز ضربه‌ای نیز به صورت لکه‌های روشن (شدت زیاد) و لکه‌های تاریک (شدت کم) با توزیع تصادفی در تصویر می‌باشد [۷]. در مقاله حاضر اثر نویز گاووسی بر روی تصویر در نظر گرفته شده است.

طیف فرکانسی نویز گاووسی به طور یکنواخت در تمامی فرکانس‌ها توزیع می‌شود، به همین دلیل مولفه‌های فرکانس بالای تصویر (جزئیات تصویر) که عموماً دارای اندازه کوچکتری نسبت به مولفه‌های فرکانس پایین هستند، بیشتر تحت تاثیر قرار گرفته و تخریب می‌گردد [۱۷]. بنابراین روش‌های ارائه شده جهت کاهش نویز به دنبال کاهش هرچه بیشتر نویز در تصویر و در عین حال حفظ جزئیات و بافت‌های موجود در تصویر می‌باشد. از سوی دیگر پیچیدگی الگوریتم مورد استفاده که مستقیماً با زمان اجرای آن در ارتباط است، در بسیاری از پردازش‌ها به ویژه پردازش‌های آنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. الگوریتم‌های مورد استفاده در حوزه‌ی مکان بر حسب اینکه از پارامترهای آماری محلی یا غیرمحلی در تصویر بهره می‌گیرند، به دوسته الگوریتم‌های محلی^۸ و غیرمحلی^۹ تقسیم می‌شوند. در بین الگوریتم‌های حوزه مکان محلی می‌توان به فیلتر وینر^{۱۰} [۱۸]، فیلتر حداقل مربعات^{۱۱} [۱۹]، فیلتر دوسویه^{۱۲} [۲۰] و یا فیلتر ناهمسانگرد^{۱۳} [۲۱] اشاره نمود. در این فیلترها مقدار هر پیکسل از تصویر، بر اساس برخی از پارامترهای آماری پیکسل‌های مجاور، تعیین می‌شود. با افزایش میزان نویز

¹ Gaussian Noise

² Speckle Noise

³ Salt and Pepper(impulsive)

⁴ Spatial domain

⁵ Transform base

⁶ Learning base

⁷ Morphology

⁸ Local

⁹ Non-Local

¹⁰ Wiener Filter

¹¹ Least Mean Square Filter

¹² Bilateral Filter

¹³ Anisotropic Filter

در تصویر میزان همبستگی بین پیکسل‌های مجاور کاهش می‌باید، از این رو برای رفع این مشکل الگوریتم‌های غیر محلی در حوزه زمان نظیر فیلترهای میانگین غیر محلی^۱ [۲۲] و یا میانگین غیر محلی تطبیقی^۲ [۲۳] توسعه یافته‌اند. در روش‌های مبتنی بر تبدیل و یادگیری مبنای نیز به جای تصویر اصلی در حوزه زمان از مدل‌های تبدیل یافته تصویر استفاده می‌شود [۲۴]. هرچند که الگوریتم‌های توسعه یافته توانایی بیشتری در حفظ جزئیات تصویر ضمن کاهش اثر نویز دارند، اما پیچیدگی آنها نسبت به فیلترهای محلی بیشتر بوده و زمان اجرای آنها نسبت به فیلترهای محلی افزایش می‌باید [۱۷]. بر همین اساس در مقاله حاضر روشی بر مبنای فیلترینگ غیر خطی در حوزه فرکانس بر مبنای تغییر مقیاس طیف اندازه تصویر ارائه شده است، که ضمن حفظ جزئیات تصویر زمان اجرای آن نیز بهینه می‌باشد. در بخش‌های بعدی ابتدا الگوریتم پیشنهادی معروفی شده و سپس نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از فیلتر وینر مقایسه می‌شوند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ داده‌های مورد استفاده

برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، یک تصویر ابر طیفی با 102×102 باند که مربوط به منطقه پاویا در ایتالیا بوده و با استفاده از سنجنده ROSIS [۲۵] اخذ شده؛ در نظر گرفته شده است. ابعاد تصویر 1096×490 بوده و حاوی عوارض و نواحی با ابعاد متنوعی می‌باشد. از این رو ویژگی‌های کمی و کیفی تصویر مورد نظر جهت تست و ارزیابی روش پیشنهادی مناسب به نظر می‌رسد.

۲-۲ روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی، ابتدا مطابق با رابطه (۱)، تبدیل فوریه گسسته دوبعدی بر روی تصویر اعمال شده و سپس طیف اندازه تصویر نویزی بدست می‌آید. به منظور سادگی، روند اجرای الگوریتم بر روی طیف یک طرفه تک بعدی و در شکل (۱) نشان داده شده است.

$$O_N(u, v) = DFT2(o_n(i, j)) = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} o_n(m, n) e^{-j2\pi \left(\frac{u}{M} m + \frac{v}{N} n \right)} \quad (1)$$

که در رابطه فوق $O_n(u, v)$ تبدیل فوریه گسسته دوبعدی تصویر نویزی $M \times N$ و $O_n(i, j)$ ابعاد تصویر نویزی می‌باشد.

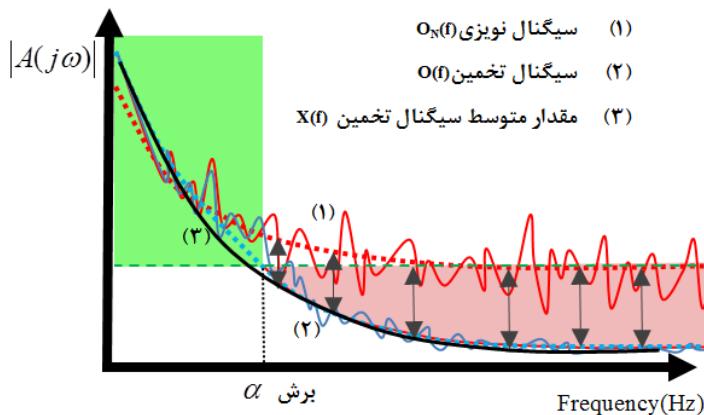
با در نظر گرفتن این موضوع که مولفه‌های فرکانس پایین تصویر دارای اندازه بزرگتر و مولفه‌های فرکانس بالای تصویر دارای اندازه کوچکتری می‌باشند، انتظار می‌رود طیف اندازه در فرکانس‌های پایین کمتر تحت تاثیر قرار بگیرد. از این رو با تخمین پارامتر α که در شکل (۱) مشخص شده، با تقریب خوبی فرض می‌شود مولفه‌های فرکانسی کوچکتر از α توسط نویز تخریب نشده است. یعنی:

$$O_N(u, v) \approx O(u, v) \quad \text{if} \quad \sqrt{u^2 + v^2} < \alpha \quad (2)$$

که در رابطه فوق α و ۷ مولفه‌های فرکانسی طیف اندازه و $O(u, v)$ طیف اندازه تصویر اصلی می‌باشند. از این رو ماتریس U مطابق با رابطه (۳) برابر با مولفه‌های فرکانسی تصویر نویزی با فاصله کوچکتر از α از مبدأ، تعریف می‌شود:

¹ Non-local mean

² Adaptive



شکل ۱: شمای تک بعدی و یک طرفه از تبدیل فوریه تصویر نویزی

$$U(u, v) = O_N(u, v) \quad \text{if} \quad \sqrt{u^2 + v^2} < \alpha \quad \text{رابطه (۳)}$$

مطابق شکل (۱)، با توجه به اینکه طیف اندازه نویز در همه فرکانس‌ها ثابت است، مقدار متوسط طیف اندازه تصویر نویزی به جای همگرا شدن به صفر، به سمت یک مقدار ثابت می‌کند (سیگنال ۱). با این فرض که طیف اندازه تصویر بدون نویز، بایستی دارای مولفه‌های بزرگ در فرکانس‌های پایین و مولفه‌های نزدیک به صفر در فرکانس‌های بالا باشد، تابعی ریاضی با این خاصیت جهت تخمین مقدار میانگین طیف اندازه تصویر اصلی

در نظر گرفته می‌شود. برای سادگی از بین توابع ریاضی موجود با این ویژگی، تابع $X(f) = \frac{b}{f}$ انتخاب شد، که البته

در عمل و برای فضای دو بعدی تصویر بایستی از تابع $Z(u, v) = \frac{B}{\sqrt{u^2 + v^2}}$ استفاده نمود. از حل معادله

به روش کمترین مربعات و با به کارگیری درایه‌های ماتریس U ، برآورد مقدار پارامتر B جهت تطبیق تابع Z با مقدار متوسط طیف اندازه تصویر اصلی، امکان پذیر است. بر همین اساس با محاسبه مقدار B تابع Z به عنوان یک تخمین از مقدار متوسط تصویر اصلی در نظر گرفته می‌شود. در مرحله بعد مقدار متوسط طیف اندازه تصویر نویزی

محاسبه شده و با $\bar{O}_N(u, v)$ نمایش داده می‌شود. سپس متغیر D مطابق با رابطه (۴) تعریف می‌شود:

$$D(u, v) = \bar{O}_N(u, v) - Z(u, v) \quad \text{if} \quad \sqrt{u^2 + v^2} > \alpha \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه (۴)، $D(u, v)$ برابر است با مقیاس طیف اندازه، $Z(u, v)$ و $\bar{O}_N(u, v)$ نیز به ترتیب مقدار متوسط طیف اندازه تصویر نویزی و مقدار متوسط تخمین زده برای طیف تصویر اصلی می‌باشند. بعد از تعیین مقدار $D(u, v)$ هر مقدار از طیف اندازه تصویر نویزی، برای مولفه‌های با فاصله بیشتر از α از مبدأ، مقیاس‌بندی می‌شود (رابطه ۵):

$$O_S(u, v) = \frac{O_N(u, v)}{D(u, v)}, \quad \sqrt{u^2 + v^2} > \alpha \quad \text{رابطه (۵)}$$

بعد از تعیین $O_S(u, v)$ ، طیف اندازه تخمین زده برای تصویر اصلی برابر با $\hat{O}(u, v)$ در نظر گرفته شده و با استفاده از رابطه (۶)، محاسبه می‌گردد:

$$\hat{O}(u, v) = \begin{cases} O_N(u, v) & \sqrt{u^2 + v^2} < \alpha \\ O_S(u, v) & \sqrt{u^2 + v^2} > \alpha \end{cases} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در رابطه فوق، $\hat{O}(u, v)$ تخمین طیف اندازه تصویر اصلی است. سپس با محاسبه عکس تبدیل فوریه گستته دو بعدی (مطابق رابطه (۷)) تصویر با نویز کاهاش یافته (تخمین تصویر اصلی) بدست خواهد آمد:

$$\hat{o}(i, j) = \text{IDFT2}(o(i, j)) = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \hat{O}(u, v) e^{j2\pi \left(\frac{i}{M} m + \frac{j}{N} n \right)} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در رابطه فوق $\hat{o}(i, j)$ تصویر بازسازی شده می‌باشد.

۲-۳ شاخص‌های ارزیابی

۲-۳-۱ خطای کمترین مربعات^۱

شاخص خطای کمترین مربعات (MSE) برابر است با مجموع مربع اختلاف تصویر اصلی از تصویر نویزی که به صورت رابطه (۸) تعریف می‌گردد:

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (O(i, j) - \hat{O}(i, j))^2 \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در آن، $M \times N$ بعد تصویر، $O(i, j)$ تصویر اصلی (بدون نویز) و $\hat{O}(i, j)$ تصویر بازسازی شده می‌باشد. مقدار MSE کمتر نشان گر عملکرد بهتر الگوریتم می‌باشد.

۲-۳-۲ سیگنال به نویز^۲

شاخص سیگنال به نویز (SNR) برابر است با مجموع مربعات مولفه‌های تصویر اصلی تقسیم بر MSE، که به صورت رابطه (۹) تعریف می‌شود:

$$SNR = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (O(i, j))^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (O(i, j) - \hat{O}(i, j))^2} \quad \text{رابطه (۹)}$$

مقدار بیشتر برای SNR، عملکرد بهتر الگوریتم را نشان می‌دهد.

۲-۳-۳ شاخص بهبود لبه^۳

شاخص بهبود لبه (EEI) برابر است با نسبت مجموع تفاضل پیکسل‌های متناظر در دو طرف یک لبه در تصویر بازسازی شده به همین مقدار در تصویر اصلی (رابطه (۱۰)). به طور معمول مقدار EEI کمتر از یک می‌باشد. مقدار کمتر از واحد نشان دهنده تخریب لبه، مقدار واحد نشان دهنده حفظ لبه و مقدار بزرگتر از یک نشان‌گر بهبود لبه است.

$$EEI = \frac{\sum |D_{N1\hat{O}} - D_{N2\hat{O}}|}{\sum |(D_{N1O} - D_{N2O})|} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در رابطه فوق، مقادیر D_{N1} و D_{N2} نشان دهنده مقادیر پیکسل‌های متناظر در دو طرف لبه می‌باشد.

^۱ Mean Square Error

^۲ Signal-to- Noise Ration

^۳ Edge Enhancement Index

۱-۲-۴ شاخص ضریب همبستگی^۱

شاخص ضریب همبستگی (CORR) به فرم رابطه (۱۱) تعریف می‌گردد:

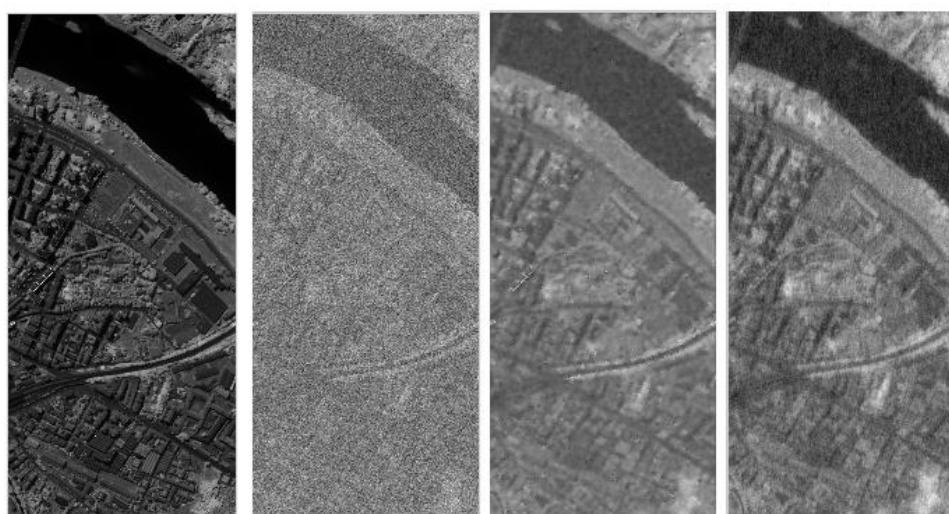
$$CORR(o, \hat{o}) = \frac{\text{cov}(o, \hat{o})}{\sigma_o \sigma_{\hat{o}}} = \frac{E[(o - \mu o)(\hat{o} - \mu \hat{o})]}{\sigma_o \sigma_{\hat{o}}} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

در رابطه فوق E اپراتور امید ریاضی، cov کواریانس و σ نماد واریانس می‌باشد. بازه ضریب همبستگی بین ۱ و -۱ است. هر چه مقدار CORR به یک نزدیکتر باشد، همبستگی بین تصویر اصلی و تصویر بازسازی شده بیشتر است و نشان دهنده عملکرد بهتر الگوریتم می‌باشد.

۳- نتایج

در هر مرحله از اجرای الگوریتم، یک باند از تصویر مورد استفاده به طور تصادفی انتخاب شده و نویز گاوی می‌باشد. نظر گرفتن نسبت سیگنال به نویزهای متفاوت به تصاویر انتخاب شده اضافه می‌گردد. بعد از اضافه نمودن نویز، الگوریتم پیشنهادی و همچنین فیلتر وینر جهت حذف نویز مورد استفاده قرار گرفته و نتایج بدست آمده از دو روش بر مبنای شاخص‌های معرفی شده در بخش ۳-۲، ارزیابی می‌گردد. نهایتاً بعد از چند مرحله انتخاب باند، میانگین بدست آمده برای شاخص‌ها به صورت نرمال شده جهت ارزیابی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در شکل (۲)، تصویر یک باند انتخابی به همراه تصویر نویزی و تصاویر بازسازی شده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی و فیلتر وینر نشان داده شده است:



تصویر اصلی تصویر نویزی خروچی الگوریتم پیشنهادی فیلتر وینر

شکل ۲: تصویر اصلی، تصویر نویزی ($SNR_{db} = 0$) و خروچی‌های فیلتر وینر و الگوریتم پیشنهادی

همچنین عملکرد کمی فیلتر وینر و الگوریتم پیشنهادی بر روی تصاویر نویزی با SNR^2 های مختلف (برحسب دسیبل) در جدول‌های (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵) آورده شده است. در هر یک از این جداول به طور همزمان برای هر دو روش

^۱ Correlation Coefficient

^۲ $SNR_{db} = 10 \log \left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right)$

شاخص‌های MSE، EEI و SNR آورده شده است. علاوه بر شاخص‌های مذکور زمان اجرای هر دو الگوریتم نیز در انتهای هر جدول جهت مقایسه کمی آن آورده شده است.

 جدول ۱: نتایج بدست آمده برای تصویر نویزی (SNR_{db}=5)

شاخص الگوریتم	MSE	SNR	EEI	CORR	Execution Time(second)
فیلتر وینر	2.47×10^5	11.89	0.55	0.91	0.06
روش پیشنهادی	2.30×10^5	11.97	0.63	0.92	0.16

 جدول ۲: نتایج بدست آمده برای تصویر نویزی (SNR_{db}=2)

شاخص الگوریتم	MSE	SNR	EEI	CORR	Execution Time(second)
فیلتر وینر	2.93×10^5	10.92	0.34	0.889	0.08
روش پیشنهادی	2.88×10^5	11.11	0.52	0.896	0.17

 جدول ۳: نتایج بدست آمده برای تصویر نویزی (SNR_{db}=1)

شاخص الگوریتم	MSE	SNR	EEI	CORR	Execution Time(second)
فیلتر وینر	3.11×10^5	10.90	0.36	0.88	0.07
روش پیشنهادی	3.01×10^5	10.94	0.43	0.89	0.16

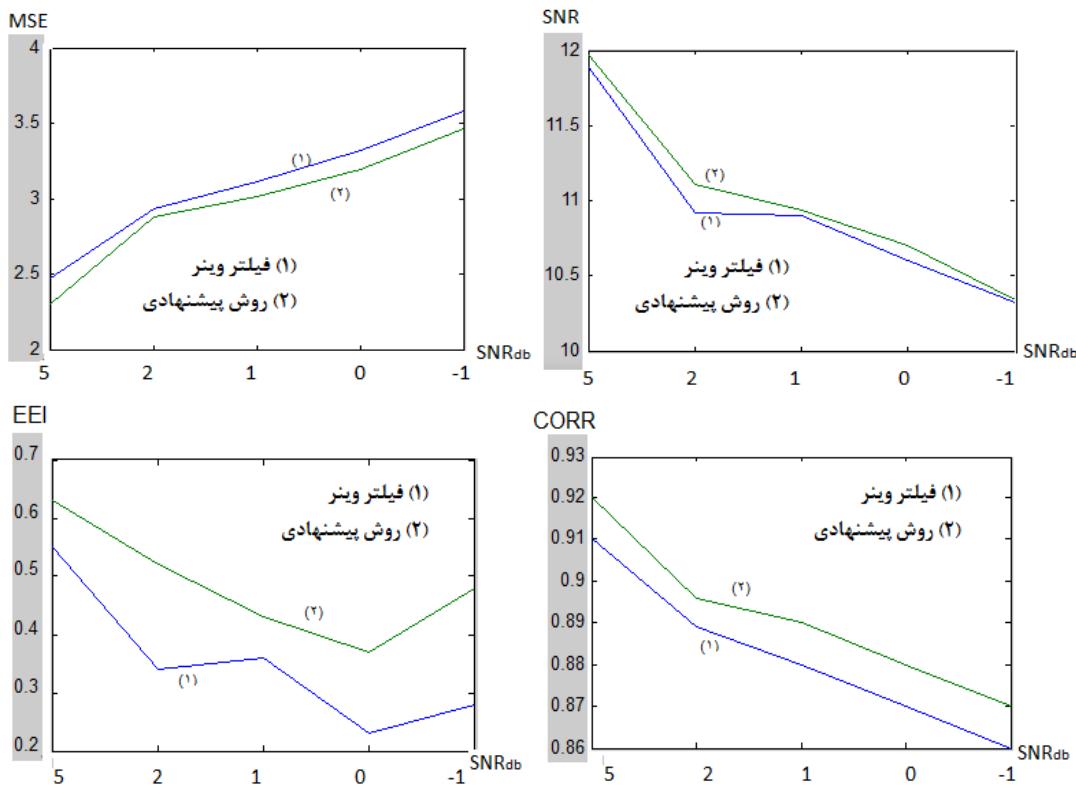
 جدول ۴: نتایج بدست آمده برای تصویر نویزی (SNR_{db}=0)

شاخص الگوریتم	MSE	SNR	EEI	CORR	Execution Time(second)
فیلتر وینر	3.32×10^5	10.6	0.23	0.87	0.11
روش پیشنهادی	3.19×10^5	10.7	0.37	0.88	0.19

 جدول ۵: نتایج بدست آمده برای تصویر نویزی (SNR_{db}=-1)

شاخص الگوریتم	MSE	SNR	EEI	CORR	Execution Time(second)
فیلتر وینر	3.58×10^5	10.32	0.28	0.86	0.07
روش پیشنهادی	3.46×10^5	10.34	0.48	0.87	0.16

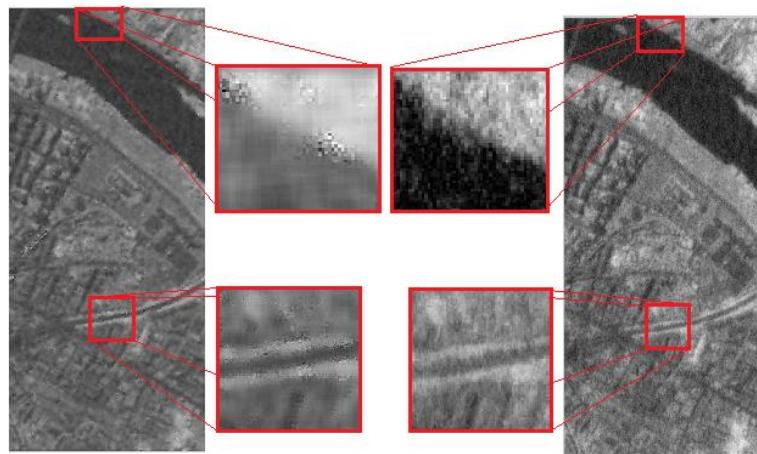
در شکل (۳)، مقدار هر شاخص برای هر دو روش بر روی تصاویر نویزی با شدت نویز مختلف (SNR_{db}) ترسیم شده است. در چهار نمودار ترسیم شده محور عمودی نشان دهنده شاخص مورد نظر و محور افقی نشان دهنده میزان شدت نویز در تصویر اصلی می‌باشد.



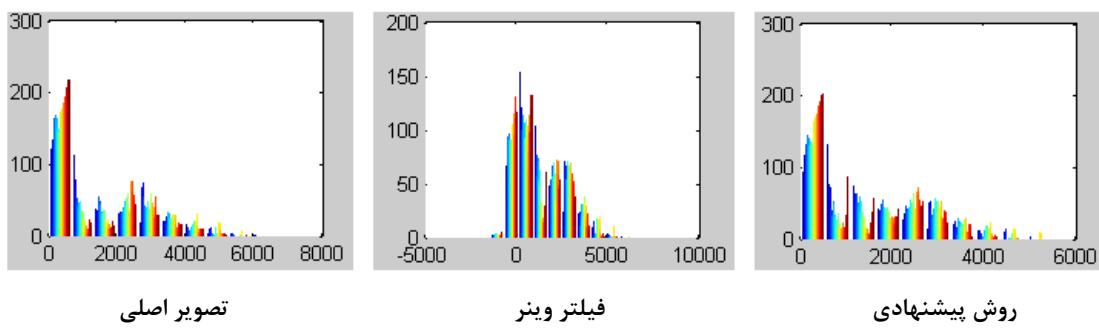
شکل ۳: روند تغییرات شاخص‌ها بر مبنای افزایش مقدار نویز (کاهش SNRdb تصویر اصلی)

۴- بحث

در بخش ۳، نتایج بدست آمده از اجرای الگوریتم پیشنهادی و نیز فیلتر وینر در جداول ۱ تا ۵ و نیز شکل‌های ۲ تا ۵ آورده شده است. در جدول‌های ۱ تا ۵ مقدار شاخص‌های MSE، SNR، CORR و EEI برای مقادیر مختلف شدت نویز یعنی $SNR=5$ تا -1 و برای هر دو روش آورده شده است. مقادیر مطرح شده در جدول‌های (۱)، (۲)، (۳) و (۵) به صورت مطلق بوده و بر اساس روابط عناوan شده در بخش ۳-۲ محاسبه گردیده است. در هر یک از این جداول مقادیر بدست آمده برای تمام شاخص‌ها در روش پیشنهادی بیشتر از فیلتر وینر می‌باشد. در شکل ۳، جهت مقایسه ساده‌تر و نیز نمایش گرافیکی عملکرد فیلتر وینر و روش پیشنهادی، روند تغییرات هر کدام از شاخص‌ها (محور عمودی) بر اساس افزایش شدت نویز (محور افقی) برای هر دو روش ترسیم شده است تا ضمن بررسی ساده‌تر عملکرد دو روش، امکان تحلیل همزمان تمام شاخص‌ها فراهم گردد. در شکل ۴ جهت نیز جهت نمایش عملکرد روش پیشنهادی در حفظ لبه به صورت بصری، تصاویر بازسازی شده به کمک هر دو روش فیلتر وینر و روش پیشنهادی برای شدت نویز -1 به صورت جزئی تر نمایش داده شده است. علاوه بر آن در شکل ۵ نیز هیستوگرام تصویر اصلی به همراه تصویر بازیابی شده به وسیله فیلتر وینر و روش پیشنهادی آورده شده است، که با توجه به آن شکل کلی هیستوگرام بدست آمده از روش پیشنهادی به هیستوگرام تصویر اصلی بسیار نزدیک می‌باشد. به همین دلیل می‌توان هیستوگرام بدست آمده از یک الگوریتم کاهش نویز را به عنوان معیاری جهت ارزیابی کمی الگوریتم در نظر گرفت.



شکل ۴: اثر فیلتر وینر و روش پیشنهادی بر روی لبه ($\text{SNR}_{\text{db}} = -1$)



شکل ۵: هیستوگرام تصویر اصلی به همراه هیستوگرام تصاویر بازیابی شده

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در بخش قبل، روش پیشنهادی نسبت به فیلتر وینر عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد، به طوریکه برای مقادیر مختلف شدت نویز، مقدار شاخص‌های CORR، EEI، SNR، MSE نسبت به فیلتر وینر ولی میانگین زمان اجرای الگوریتم نسبت به فیلتر وینر بیشتر است. البته باید در نظر داشت که این میزان افزایش زمان اجرا، با توجه به بهبود همه جانبه کاهش اثر نویز به صورت کمی در روش پیشنهادی، قابل چشم پوشی است. یکی از چالش‌های اساسی در طراحی الگوریتم‌های کاهش نویز حفظ جزئیات تصویر به ویژه لبه‌ها می‌باشد که در روش پیشنهادی در مقایسه با فیلتر وینر لبه‌ها به خصوص در شدت‌های نویز زیاد، به خوبی حفظ شده‌اند. همچنین با توجه به جداول ۱ تا ۵، نه تنها شاخص EEI در تمام شدت نویزها برای روش پیشنهادی بهتر است، بلکه صرف نظر از برتری نسبی، مقادیر مطلق به دست آمده به مقدار بهینه یعنی ۱ نزدیک است، که خود نشان دهنده توانایی خوب این الگوریتم در حفظ لبه‌ها می‌باشد. در مجموع روش پیشنهادی ضمن بهبود کمی قابل قبول شاخص‌های CORR، SNR و MSE، برای شدت نویز $0 = \text{SNR}_{\text{db}}$ بهبود حداقل ۶۰ درصدی را در شاخص حفظ لبه EEI نشان می‌دهد. از این رو، روش پیشنهادی می‌تواند به عنوان یک روش سریع و موثر، جهت کاهش نویز گاوسی به ویژه در تصاویر سنجش از دوری مورد استفاده قرار گیرد. در تحقیقات آتی، تعمیم‌پذیری روش پیشنهادی جهت کاهش سایر نویزها و نیز بهره‌برداری از آن به عنوان یک مازول تاثیرگذار در الگوریتم‌های کاهش نویز ترکیبی مورد توجه قرار خواهد گرفت.

مراجع

- [1] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, S. L. Eddins. Digital Image Processing using MATLAB. Pearson Education, 2004.
- [2] M. Sajid, K. Khurshid, "Satellite image restoration using RLS adaptive filter and enhancement by image processing techniques", presented at the Electrical Engineering (RAEE), 2015 Symposium on Recent Advances in, Islamabad, Pakistan, 2015.
- [3] J. L. Strack. E. J. Candès, D. L. Donoho, "The Curvelet Transform for Image Denoising", IEEE Transactions On Image Processing, Vol. 11, No. 6, pp. 670-684, 2002.
- [4] Y. hawwar, A. Reza, "Spatially Adaptive Multiplicative Noise Image Denoising Technique", IEEE Transactions On Image Processing, Vol. 11, No. 12, pp. 1397-1404, 2002.
- [5] S. G. Dellepiane, E. Angiati, "QualityAssessmentofDespeckledSARImages", IEEE Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol.7, No.2, pp. 691-707, 2014.
- [6] Y. Dong, A. K. Milne, B. C. Forster, "Toward Edge Sharpening: A SAR Speckle Filtering Algorithm", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.39, No.4, pp. 851-863, 2001.
- [7] Y. Zhu, C. Huang, "An Improved Median Filtering Algorithm for Image Noise Reduction ", presented at 2012 International Conference on Solid State Devices and Materials Science, Kyoto, Japan, 2012.
- [8] L. Shapiro and G. Stockman, Computer Vision. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 2001.
- [9] L. Shao, H. Zhang, and G. de Haan, "An overview and performance evaluation of classification-based least squares trained filters," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 17, no. 10, pp. 1772–1782, 2008.
- [10] M. N. Do and M. Vetterli, "The contourlet transform: An efficient directional multiresolution image representation," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 14, no. 12, pp. 2091–2106, 2005.
- [11] J. L. Starck, E. J. Candès, and D. L. Donoho, "The curvelet transform for image denoising," IEEE Trans. Image Process., vol. 11, no. 6, pp. 670–684, 2002.
- [12] J. Mairal, F. Bach, J. Ponce, G. Sapiro, and A. Zisserman, "Non-local sparse models for image restoration," presented in the International Conference on Computer Vision, 2009.
- [13] M. Elad and M. Aharon, "Image denoising via sparse and redundant representations over learned dictionaries," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 15, no. 12, pp. 3736–3745, 2006.
- [14] P. Soille, Morphological Image Analysis. Springer, Berlin, Heidelberg ,1999.
- [15] J. D. Mendiola-Santibanez, I. R. Terol-Villalobos, "Filtering of mixed gaussian and impulsive noise using morphological contrast detectors". IET Image Processing, vol.8, no. 3, pp. 131–141, 2014.
- [16] A. Shamsoddini, J.C. Trinder , "IMAGE TEXTURE PRESERVATION IN SPECKLE NOISE SUPPRESSION", presented at the ISPRS TC VII Symposium, Vienna, Austria, 2010.
- [17] L. Shao, R. Yan, X. Li, "From Heuristic Optimization to Dictionary Learning: A Review and Comprehensive Comparison of Image Denoising Algorithms". IEEE TRANSACTIONS ON CYBERNETICS, Vol. 44, No. 7, pp. 1001-1013 , 2014.
- [18] N. Wiener, Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series. New York, NY, USA: Wiley, 1949.
- [19] B. Widrow and S. Haykin, Least-Mean-Square Adaptive Filters. New York, NY, USA: Wiley-IEEE, 2003.
- [20] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," presented at the 6th International Conference on Computer Vision ,1998.
- [21] G. Z. Yang, P. Burger, D. N. Firmin, and S. R. Underwood, "Structure adaptive anisotropic filtering", Image and Vision Computing, vol.14, pp.135- 145, 1996.
- [22] J. Wang, Y. Guo, Y. Ying, Y. Liu, and Q. Peng, "Fast nonlocal algorithm for image denoising," presented at the IEEE International Conference on Image Processing, 2006.
- [23] T. Thaipanich, O. Byung Tae, W. Ping-Hao, X. Daru, and C. C. J. Kuo, "Improved image denoising with adaptive nonlocal means (ANLmeans) algorithm," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 56, no. 4, pp. 2623–2630, 2010.

- [24] J. Portilla, V. Strela, M. J. Wainwright, and E. P. Simoncelli, "Image denoising using scale mixtures of Gaussians in the wavelet domain," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 12, no. 11, pp. 1338–1351, 2003.
- [25] S. Holzwarth, A. Müller, M. Habermeyer, R. Richter, A. Hausold, S. Thiemann, and P. Strobl. HySens – DAIS 7915/ROSIS Imaging Spectrometers at DLR. presented at the 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, Herrsching, Germany, 2003.