سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال هفتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۴
Vol.7, No. 4, Winter 2016

۴۵-۶۰

ارائهٔ روشی برای اصلاح نوفهٔ نواری آشکارسازها در تصاویر اخذشده به‌وسیلهٔ سنجندهٔ TM ماهوارهٔ لندست ۵

محمدرضا مباشری*[۱]، عرفان امرائی[۲]

۱. استاد گروه سنجش از دور ، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. کارشناس ارشد مهندسی برق، مخابرات مؤسسهٔ آموزش عالی خاوران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۶/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱/۳۰

چکیده

نوفهٔ آشکارسازها در تصاویر ماهواره‌ای معمولا به صورت نوارهای افقی یا عمودی دیده می‌شوند. جهت نوارشدگی‌ها به تکنیک تصویربرداری سنجنده (پوش‌بروم یا ویسک‌بروم) بستگی دارد. در تصاویر سنجندهٔ TM نیز برخی نوارشدگی‌ها دیده می‌شود که منشأ آنها آشکارسازهاست. از دلایل پیدایش نوفهٔ نواری در تصاویر اخذشده به‌وسیلهٔ سنجندهٔ TM می‌شود به تطابق نداشتن آشکارسازها، واسنجی نامناسب آشکارسازها و یا فرسایش آنها در طول زمان اشاره کرد. با توجه به اینکه سنجندهٔ TM از تکنیک تصویربرداری ویسک‌بروم استفاده می‌کند، این نوارشدگی‌ها در تصاویر به‌صورت افقی دیده می‌شوند. نوفهٔ نواری در تصاویر اخذشده در باند ۴ از سطوح تاریک مانند دریا که در سطح یک پیش‌پردازش شده‌اند، رخ‌نمون بیشتری دارد. این نوع نوفه موجب بروز خطا در برخی اعمال مانند تصحیحات جوی بااستفاده از پیکسل‌های تاریک و دشوار شدن استخراج اطلاعات از تصاویر می‌شود. در این پژوهش، برای اصلاح نوفهٔ نواری سنجندهٔ TM، پس از شناسایی آشکارسازهای نوفه‌ای، روش‌های میانه (MM)، تطبیق ممان‌های مکانی اصلاح‌شده (MSMM) و پالایش تصویر در حوزهٔ فرکانس و مکان (IFFD & IFSD) پیشنهاد شده است. برای بررسی نتایج حاصل، از برخی کمیت‌های آماری همچون میانگین و انحراف معیار و نیز، نمودار فراوانی و طیف فوریهٔ تصاویر پیش و پس از اصلاح استفاده شده است. انحراف معیار در تصویر اولیه برابر با ۱/۵۶ است که پس از اصلاح تصویر، مقدارهای این کمیت برای روش‌های MM، MSMM، IFFD و IFSD به‌ترتیب برابر با ۱/۳۶، ۱/۴۲، ۱/۳۱و ۱/۲۶ است. کاهش به‌وجودآمده در انحراف معیار پس از حذف نوف، نواری، بهبود تصاویر را نشان می‌دهد. برای مقایسهٔ این روش‌ها با یکدیگر و با کارهای دیگران، از MSE، RMSE و PSNR و همچنین، داده‌های شبیه‌سازی‌شده برای نوفهٔ نواری متناوب استفاده شده است. مقدارهای به‌دست‌آمده PSNR برای روش‌های MM، MSMM، IFSD و IFFD به‌ترتیب برابر با ۵۴/۶۶، ۵۱/۱۴، ۴۸/۴۷و ۴۵/۶۵ دسی‌بل است. در این میان، بیشترین میزان PSNR و به‌تبع آن، کمترین میزان MSE مربوط به روش MM و MSMM بود که نشان از دقت بیشتر این روش‌ها درمقایسه با پالایه‌های حوزهٔ فرکانس و مکان دارد.

کلید واژه‌ها: نوفهٔ متناوب، واسنجی نسبی، پالایش تصویر، سنجش از دور.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ایران، تهران، خیابان ولیعصر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکدهٔ مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، کدپستی ۱۹۹۶۷۱۵۴۳۳. تلفن: ۰۹۱۲۱۲۲۶۶۳۰

Email: mobasheri@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

در تصاویر اخذشده در باند ۴ سنجندهٔ نقشه‌بردار موضوعی (Thematic Mapper) که به‌اختصار TM نامیده می‌شود، برخی نوارشدگی‌های متناوب به‌چشم می‌خورد. این نوع نوفه در تصاویر سطح صفر سنجندهٔ TM دیده می‌شود (وبگاه سازمان USGS، ۲۰۱۴). از دلایل پیدایش نوفهٔ نواری در تصاویر اخذشده به‌وسیلهٔ سنجندهٔ TM، می‌شود به تطابق نداشتن آشکارسازها، واسنجی[1] نامناسب آشکارسازها (Srinivasan et al., 1988) و فرسایش آشکارسازها (Zhang et al., 1999) طی زمان اشاره کرد. پس از تصحیح داده‌ها و تولید محصولات سطح یک، شدت نوفهٔ نواری کاهش می‌یابد اما به‌صورت کامل محو نمی‌شود. بنابراین، نوفهٔ نواری آشکارساز در تصاویر سطح یک سنجندهٔ TM نیز وجود دارد. تصاویر سطح یک لندست همان تصاویر سطح صفرند که از لحاظ رادیومتریک تصحیح شده‌اند (USGS, 2013). این تصحیحات برای تصاویر با سطوح روشنایی معمولی تا حدود زیادی موفق است (وبگاه سازمان USGS، ۲۰۱۴). اما در سطوح با بازتابندگی پایین، الگوریتم اصلاح تحت تأثیر رفتار غیرخطی آشکارسازها قرار دارد (وبگاه سازمان USGS، ۲۰۱۴). به همین دلیل، در تصاویر سطح یک که از سطوح تاریک و همگن مانند دریا دریافت شده‌اند، هنوز نوفه‌آشکارسازها دیده می‌شود.

در این زمینه، تسا و چن[2] (۲۰۰۸) برای شناسایی موقعیت الگوهای نواری در تصاویر ماهواره‌ای، از الگوریتم‌های شناسایی لبه و رهگیری خطوط استفاده کرده‌اند. پس از شناسایی این الگوها، نوفهٔ نواری بااستفاده از توابع زبانه‌دار مکعبی[3] اصلاح می‌شود. مزیت این روش این است که می‌شود الگوهای نواری غیرمتناوب را نیز از تصاویر حذف کرد. ایراد این روش این است که هنگام شناسایی موقعیت الگوهای نواری در تصاویر، برخی نوارهای اضافی را نیز آشکار می‌کند. همچنین، سرینیواسان[4] (۱۹۸۶) برای اصلاح خطوط پویش نوفه‌ای از تصاویر سنجندهٔ TM از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده کرده است. پس از به‌دست آمدن مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه‌های مرتبهٔ بالای نوفه‌ای به صفر کاهش داده می‌شوند و درنهایت، از نتایج حاصل تبدیل معکوس گرفته می‌شود. از مشکلات این روش می‌شود به حجم محاسبات بالا برای محاسبهٔ خواص آماری و بردارهای ویژه اشاره کرد که افزایش نوارشدگی‌ها در تصویر ممکن است موجب بالا رفتن میزان خطای روش در رفع نوفه شود. سرینیواسان و همکاران (۱۹۸۸) برای اصلاح الگوهای نواری متناوب موجود در تصاویر لندست، از روش پالایش طیف توان[5] استفاده کرده‌اند. در این روش، تصویر به چند بخش تقسیم و از هر قسمت تبدیل فوریه گرفته می‌شود و طیف توان متوسط تصویر محاسبه می‌شود. پس از مجموعه اصلاحاتی روی طیف توان، برای به‌دست آوردن هستهٔ کانولوشن، از طیف توان اصلاح‌شده عکس تبدیل فوریه گرفته می‌شود. مشکل این روش این است که برای به‌دست آوردن هستهٔ کانولوشن باید اصلاحات زیادی روی طیف توان صورت پذیرد. الگزی و فورد[6] (۱۹۸۱) برای اصلاح نوفهٔ نواری از تصاویر ماهواره‌ای، از روش برابرسازی رادیومتریکی استفاده کرده‌اند. در این روش، یک مدل سادهٔ ضریب بهره و بایاس برای همهٔ آشکارسازها، برای جبران‌سازی ارائه شده است. مشکل این روش این است که مدل برای تغییرات غیرخطی سنجنده مفید نیست. بیسان و همکاران[7] (۲۰۰۳) از روش تطبیق ممان‌های مکانی[8] برای اصلاح نوفهٔ نواری استفاده کرده‌اند. در این روش، از ممان‌های آماری مانند میانگین و انحراف معیار آشکارسازها در هر باند، برای اصلاح مشخصه‌های آماری آرایه‌های آشکارساز به مقدارهای مرجع استفاده می‌شود. این روش معمولاً

1. calibration
2. Tsai and Chen
3. cubic spline functions
4. Srinivasan
5. Power Spectrum Filtering
6. Algazi and Ford
7. Bisun et al.
8. spatial moment matching

به‌صورت سراسری استفاده می‌شود، به این صورت که برای تخمین پارامترهای آماری مرجع جهت محاسبهٔ ضریب بهره و خروج مبدأ[1] آشکارسازها از سراسر تصویر به‌منزلهٔ دادهٔ مرجع استفاده می‌شود. ضریب بهره و خروج از مبدأ در این روش، برای کنترل انحراف معیار و میانگین سطرها و یا ستون‌های تصویر به‌کار می‌رود. مشکل این روش در این است که وجود نوفه در تصویر موجب تأثیرگذاری آن بر الگوریتم تطبیق ممان‌های مکانی و ایجاد نوارهای جدید در تصویر می‌شود. مارکم و همکاران[2] (۲۰۰۷) برای اصلاح نوفه در تصاویر سطح صفر سنجندهٔ TM، ضریب بهرهٔ هر آشکارساز را به‌صورت یک رابطهٔ نمایی وابسته به زمان معرفی می‌کند. این روش برای اصلاح تصاویر با سطوح روشنایی معمولی کاملاً موفق است اما در تصاویر دریافتی از مناطق تاریک، تحت تأثیر رفتارهای غیرخطی آشکارسازها قرار می‌گیرد. لیشین و همکاران[3] (۲۰۰۸) برای اصلاح نوفهٔ نواری در تصاویر ماهواره‌ای، از روش تطبیق ممان‌های طیفی[4] استفاده کردند. باندهای باریک پیوسته، به‌دلیل مجاورت با یکدیگر در طیف امواج الکترومغناطیسی همبستگی بالایی دارند. در این روش، از این میزان بالای همبستگی برای مقایسهٔ مشخصات آماری یک آشکارساز با مشخصات آماری آشکارساز متناظر در باند (به‌شدت) همبسته استفاده شده است. این روش در اصلاح نوفه دقت بالایی دارد اما مشکل آن این است که فقط برای داده‌های ابرطیفی کاربردی است. مباشری و زنده‌باد[5] (۲۰۱۳)، پس از شناسایی ستون‌های آلوده به نوفه، برای تصحیح آنها از فاکتورهای اصلاح محاسبه‌شده از ستون‌های مجاور استفاده کرده‌اند. از معایب این روش این است که در صورت افزایش نوارها در تصویر، ممکن است خطای روش افزایش یابد. پاندی-چتری و عبدالرحمان[6] (۲۰۱۱) برای اصلاح نوفهٔ نواری در تصاویر ماهواره‌ای از تبدیل موجک و پالایهٔ وفقی در حوزهٔ فرکانس استفاده کرده‌اند. در این روش، پس از انتقال مؤلفه‌های موجک جهت‌دار درراستای نوارشدگی‌ها به حوزهٔ فرکانس، بااستفاده از تبدیل فوریهٔ یک‌بعدی، پالایهٔ انطباقی با بهنجارسازی سطوح DC سطرها و یا ستون‌ها نوفه را حذف می‌کند. یکی از راه‌های این‌گونه یکسان‌سازی رساندن مقدارهای DC به صفر یا هر مقدار ثابت دیگر است. ایراد این روش در این است که در تصاویر کوچک و یا در تصاویر با تباین[7] بالا موجب تلفات اطلاعاتی می‌شود و ممکن است لبه‌ها و مرزهای موجود در تصویر حذف شوند.

در این پژوهش، برای اصلاح نوفهٔ نواری متناوب در تصاویر دریافت‌شده به‌وسیلهٔ سنجندهٔ TM ماهوارهٔ لندست ۵، چهار روش پیشنهاد شده است. این روش‌ها عبارت‌اند از: روش میانه، تطبیق ممان‌های مکانی اصلاح‌شده، پالایش تصویر در حوزهٔ فرکانس و حوزهٔ مکان. از میان روش‌های یادشده، روش تطبیق ممان‌های مکانی از سوی دیگر محققان به‌کار گرفته شده است که در این مقاله، این روش به‌گونه‌ای که در بخش‌های بعد توضیح داده خواهد شد، اصلاح شده است.

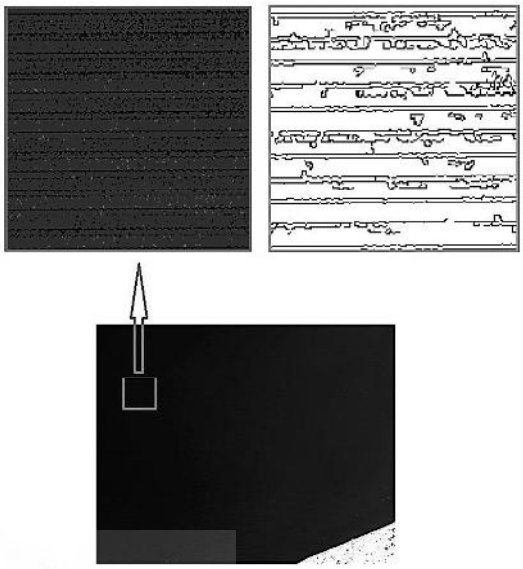
اهداف کلی این مطالعه عبارت است از: کاهش و یا حذف نوفهٔ نواری از تصاویر دریافت‌شده به‌وسیلهٔ سنجندهٔ TM ماهوارهٔ لندست ۵ و مقایسهٔ عملکرد روش‌های ارائه‌شده در این پژوهش با یکدیگر و با روش‌های پرکاربرد پیشین.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

دادهٔ مورد استفاده در این پژوهش، تصویر اخذشده از دریای خزر در ۷ اوت ۲۰۱۰ در باند ۴ سنجندهٔ TM ماهوارهٔ لندست ۵ است که در سطح یک پیش‌پردازش شده است. این تصویر در شکل ۱ نشان داده شده است.

1. gain and offset
2. Markham et al.
3. Lixin et al.
4. Spectral Moment Matching
5. Mobasheri and Zendehbad
6. Pande-Chhetri and Abd-alrahman
7. contrast



شکل ۱. تصویر باند ۴ سنجندهٔ TM اخذشده از دریای خزر در ۷ اوت ۲۰۱۰. با توجه به تاریک بودن صحنهٔ تصویربرداری و نیز همگن بودن آن، برای بهتر نشان دادن موقعیت نوفهٔ نواری در تصویر از لبه‌یاب کانی[1] استفاده شده است

با توجه به همگن بودن صحنهٔ تصویربرداری، برای بهتر نشان دادن موقعیت نوارهای افقی در تصویر از لبه‌یاب کانی استفاده شده است. افزون بر تصویر اصلی، تصویر باینری حاصل از آشکارسازی موقعیت نوارهای افقی نیز در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۲- روش تحقیق برای شناسایی آشکارسازهای نوفه‌ای

یکی از راهکارهای پیشنهادی در این تحقیق برای جلوگیری از تأثیرگذاری فرایند اصلاح نوفه در اطلاعات رادیومتریکی تصویر، شناسایی منبع نوفه و اصلاح آن است. به همین منظور، پیش از هر کاری به شناسایی منبع نوفه اقدام شده است. برای انجام دادن این مهم، کمیت‌های RMSE و میانه به‌کار رفته است. ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE) انحراف معیار تفاوت بین مقدارهای پیش‌بینی‌شده و مقدارهای حاصل را نشان می‌دهد. همچنین، در تعریف میانه می‌شود گفت میانه عددی است که نیمی از داده‌ها در سمت چپ و نیم دیگر داده‌ها در سمت راست آن قرار می‌گیرند. برای محاسبهٔ RMSE و میانه، بااستفاده از نمودار فراوانی، از روابط ۱ و ۲ استفاده شده است.

$$m = L + \frac{\frac{n}{2} - g}{f} \times w \qquad \text{رابطه (۱)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1 (x_i - y_i)^2}{N-1}} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

در این روابط m میانه، n فراوانی داده‌ها، L کرانهٔ پایین طبقهٔ میانه‌دار، g فراوانی تجمعی طبقهٔ پیش از طبقهٔ میانه‌دار، f فراوانی طبقهٔ میانه‌دار، w فاصلهٔ طبقات از یکدیگر، x و y پیکسل‌های متناظر تصاویر مورد نظر و N تعداد کل این پیکسل‌ها است. در اینجا فرض شده است آشکارسازهایی که موجب تغییر بسیار در نمودار میانه شوند و نیز نمودار RMSE آنها با نمودار RMSE دیگر آشکارسازها متفاوت باشد، آشکارساز نوفه‌ای شناسایی شوند.

۲-۳- روش پژوهش برای اصلاح نوفهٔ نواری

الف) روش میانه Median Method (MM)

یکی از روش‌های ابداع‌شده در این مطالعه برای کاهش نوفهٔ نواری آشکارسازها روش MM است. برای تصحیح نوفه‌آشکارسازها به‌روش MM، پس از شناسایی منابع نوفه به‌صورت زیر عمل شده است:

۱. محاسبهٔ میانگین میانهٔ آشکارسازهای سالم.
۲. محاسبهٔ تفاضل میانهٔ آشکارساز معیوب و میانگین میانهٔ آشکارسازهای سالم.
۳. اگر میانهٔ آشکارساز معیوب از میانگین میانهٔ آشکارسازهای سالم بیشتر باشد، برای تصحیح نوفه، تفاضل میانهٔ آشکارساز معیوب از میانگین میانهٔ آشکارسازهای سالم از داده‌های آشکارساز معیوب کسر می‌شود.

1. Canny edge detector

۴. اگـر میانـهٔ آشکارسـاز معیـوب از میـانگین میانـهٔ آشکارسازهای سالم کمتر باشد، برای تصحیح نوفـه، تفاضل میانهٔ آشکارسـاز معیـوب از میـانگین میانـهٔ آشکارسازهای سالم با داده‌هـای آشکارسـاز معیـوب جمع بسته می‌شود.

نـوآوری مهـم ایـن روش اصـلاح نوفـهٔ آشکارسـازهای معیوب، بدون تخریـب داده‌ای آشکارسـازهای بـدون نوفـه است. برای این کار، نمـودار فراوانـی داده‌هـای نوفـه‌ای بـه اندازهٔ به‌دست‌آمده در قست دوم، به سمت چـپ یـا راسـت منتقل می‌شود. در این روش، داده‌های بـدون نوفـه تغییـر نمی‌کنند و فقط داده‌های نوفه‌ای تصحیح می‌شوند.

ب) روش تطبیـق ممـان‌هـای مکـانی اصـلاح‌شـده Modified Spatial Moment Matching (MSMM)

اصـلاح روش تطبیـق ممـان‌هـای مکـانی از دیگـر نوآوری‌های این پژوهش است. چگونگی اصلاح روش بـه این صورت است که بـرای تخمـین پارامترهـای آمـاری مرجع از داده‌های اخذشده به‌وسیلهٔ آشکارسازهای سالم استفاده شده است. این درحالی اسـت کـه در مطالعـات پیشین، برای محاسبهٔ پارامترهای آماری مرجـع از کـل تصویر استفاده می‌شد که این کـار موجـب تأثیرگـذاری نوفه در روش اصلاح تصـویر مـی‌شـود. بـرای شناسـایی آشکارسازهای سالم و نوفه‌ای از روش‌های ارائـه‌شـده در بخش ۲-۲ بهره گرفته شده است. فرض شود کـه m_{ik} میانگین آشکارساز iام در باند kام، و σ_{ik} انحراف معیار آشکارساز iام در باند kام باشد. افـزون بـر ایـن، $\bar{m}_{ik}$ و $\bar{\sigma}_{ik}$ مقدارهای مرجع این ممان‌ها بـه‌شـمار مـی‌رونـد. پس از محاسبهٔ این ممان‌ها باید برای محاسـبهٔ ضـریب بهرهٔ α_{ik} و خروج از مبدأ β_{ik} برای هر آشکارساز اقدام کرد. در این روش، برای اصلاح داده‌هـای تصـویر بـرای نمونـهٔ iام، سـطر jام و بانـد kام (x_{ijk}) از رابطـه (۳) استفاده شده است (Bisun et al., 2003).

رابطه (۳)
$$x'_{ilk} = \alpha_{ik}\, x_{ijk} + \beta_{ik}$$

همچنین، برای محاسبهٔ ضریب بهره و خـروج مبـدأ از روابط (۴) و (۵) بهره گرفتـه شـده اسـت (Bisun et al., 2003).

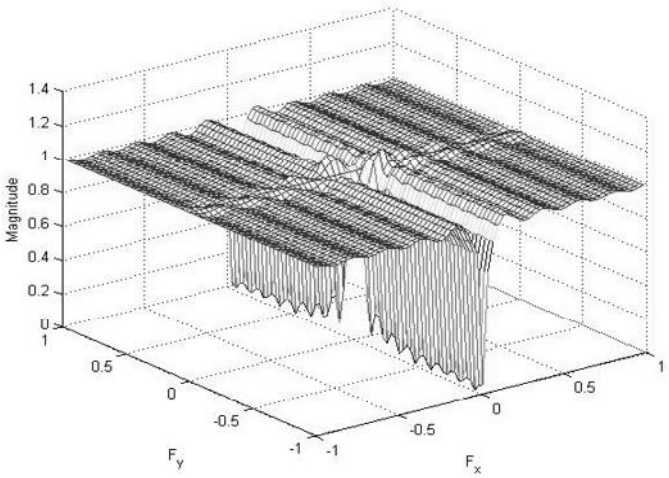
رابطه (۴)
$$\alpha_{ik} = \frac{\bar{\sigma}_{ik}}{\sigma_{ik}}$$

رابطه (۵)
$$\beta_{ik} = \bar{m}_{ik} - \alpha_{ik}\, m_{ik}$$

ج) پالایش تصویر در حوزهٔ فرکانس Image Filtering in Frequency Domain (IFFD)

در این روش، بـرای بررسـی بصـری تبـدیل فوریـهٔ تصویر و شناسایی موقعیـت مؤلفـه‌هـای نوفـه از طیـف فوریه استفاده شده است. بـرای بـه‌دسـت آوردن طیـف فوریه اندازهٔ تبدیل فوریه محاسـبه شـده اسـت. پـس از شناسایی مؤلفه‌های نوفه در حوزهٔ فرکانس، برای حـذف این مؤلفه‌هـا و اصـلاح نوارشـدگی‌هـا از پالایـهٔ شـکاف مستطیلی استفاده شده است. در شکل ۲ منحنی پاسخ فرکانسی پالایهٔ طراحی‌شده برای اصلاح نوفهٔ نـواری در تصویر شکل ۱ دیده می‌شود. همان‌طورکـه در منحنـی شکل ۲ دیده می‌شود، در این روش پالایـه‌ای جدیـد در حوزهٔ فرکانس ایجاد شده که میزان نوسان[1] در منحنـی پاسخ فرکانسـی آن بسـیار پـایین اسـت. بـرای کـاهش میزان نوسـان منحنـی پاسـخ فرکانسـی پالایـهٔ شـکاف مستطیلی، ماسکی در حوزهٔ فرکانس ایجاد شده کـه در فرکانس‌های مربوط به مؤلفه‌های نوفه مقدار آن صـفر و در دیگر فرکانس‌ها دارای مقدار یک است. بنـابراین، بـا ضـرب ایـن پالایـه در تبـدیل فوریـهٔ تصـویر، دامنـهٔ مؤلفه‌های فرکانسی نوفهٔ نواری به صفر کاهش می‌یابد.

1 Ripple

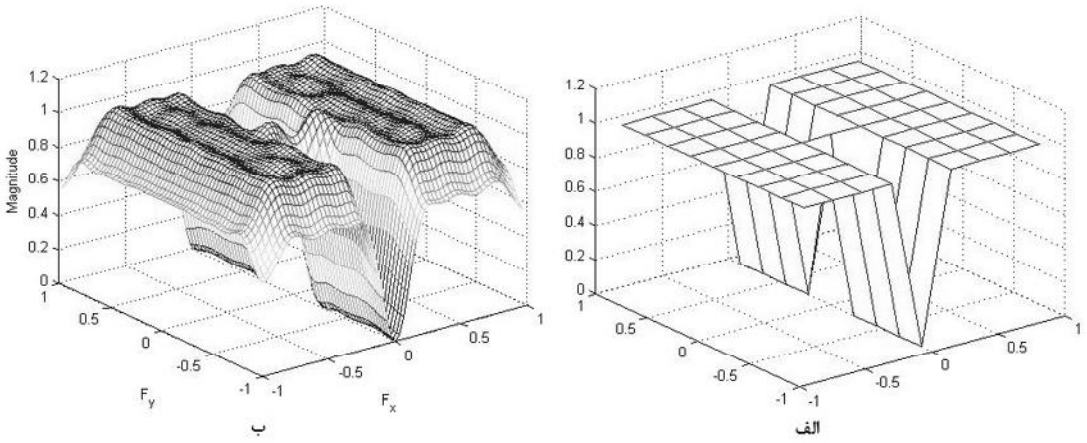


شکل ۲. منحنی پاسخ فرکانسی پالایهٔ شکاف مستطیلی طراحی‌شده برای اصلاح نوفهٔ نواری در شکل ۱

د) پالایش تصویر در حوزهٔ مکان
Image Filtering in Spatial Domain (IFSD)

در این روش همانند روش IFFD، برای شناسایی مؤلفه‌های نوفه از طیف فوریهٔ تصویر استفاده شده است. پس از شناسایی این مؤلفه‌ها، برای حذف آنها از پالایهٔ حوزهٔ مکان بهره گرفته شده است. باید ذکر کرد که برای طراحی پالایه از روش پنجره‌سازی در MATLAB استفاده شده است. در این روش جدید، نخست باید منحنی پاسخ فرکانسی پالایهٔ ایده‌آل را به‌صورت ماتریسی برای نرم‌افزار مشخص کرد. این منحنی باید عکس مدل نوفه در طیف فوریهٔ تصویر باشد. یعنی مقدار منحنی در فرکانس‌های مربوط به مؤلفه‌های نوفه برابر صفر و در دیگر فرکانس‌ها برابر یک باشد. پس از تعیین منحنی پاسخ فرکانسی پالایهٔ ایده‌آل، نرم‌افزار هستهٔ کانولوشن را در حوزهٔ مکان محاسبه می‌کند. از مزایای این روش این است که می‌شود با افزایش ابعاد ماتریس مشخص‌کنندهٔ منحنی پاسخ فرکانسی پالایهٔ ایده‌آل، میزان نوسان پالایه را کاهش داد. ماتریس زیر پنجرهٔ ۱۵ در ۱۵ پیکسل هستهٔ کانولوشن طراحی‌شده برای اصلاح نوفهٔ نواری در شکل ۱ را در حوزهٔ مکان نشان می‌دهد. همچنین، در شکل ۳ منحنی پاسخ فرکانسی پالایه در دو حالت ایده‌آل و واقعی نمایش داده شده است.

$$\begin{bmatrix}
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 39 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 23 & 33 & 33 & -40 & 33 & 33 & 23 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 13 & 24 & 23 & 33 & 157 & 33 & 23 & 24 & 13 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 28 & 49 & 60 & 83 & 85 & -77 & 85 & 83 & 60 & 49 & 28 & 0 & 0 \\
0 & 12 & 26 & 33 & 55 & 57 & 76 & 281 & 76 & 57 & 55 & 33 & 26 & 12 & 0 \\
0 & 30 & 46 & 80 & 98 & 134 & 139 & -85 & 139 & 134 & 98 & 80 & 46 & 30 & 0 \\
0 & 18 & 38 & 49 & 79 & 85 & 110 & 361 & 110 & 85 & 79 & 49 & 38 & 18 & 0 \\
-91 & -269 & -205 & -681 & -494 & -1105 & -730 & 8450 & -730 & -1105 & -494 & -681 & -205 & -269 & -91 \\
0 & 18 & 38 & 49 & 79 & 85 & 110 & 361 & 110 & 85 & 79 & 49 & 38 & 18 & 0 \\
0 & 30 & 46 & 80 & 98 & 134 & 139 & -85 & 139 & 134 & 98 & 80 & 46 & 30 & 0 \\
0 & 12 & 26 & 33 & 55 & 57 & 76 & 281 & 76 & 57 & 55 & 33 & 26 & 12 & 0 \\
0 & 0 & 28 & 49 & 60 & 83 & 85 & -77 & 85 & 83 & 60 & 49 & 28 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 13 & 24 & 23 & 33 & 157 & 33 & 23 & 24 & 13 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 23 & 33 & 33 & -40 & 33 & 33 & 23 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 39 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{bmatrix} \times 10^{-4}$$



شکل ۳. الف) منحنی پاسخ فرکانسی پالایهٔ ایده‌آل طراحی‌شده برای اصلاح نوفه در تصویر شکل ۱؛ ب) منحنی پاسخ فرکانسی پالایهٔ واقعی طراحی‌شده برای اصلاح نوفه در تصویر شکل ۱

۲-۴- روش ارزیابی نتایج

برای بررسی نتایج حاصل، از پارامترهای آماری مانند میانگین، انحراف معیار، MSE، RMSE، PSNR، خطای نسبی و نیز، نمودارهای پراکندگی و فراوانی استفاده شده است. رابطهٔ ریاضی هریک از این پارامترها به‌ترتیب در روابط ۲ و ۶ تا ۱۰ آمده است.

رابطه (۶)
$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N}$$

رابطه (۷)
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(x_i - \mu\right)^2}$$

رابطه (۸)
$$MSE = RMSE^2$$

رابطه (۹)
$$PSNR = 10\log\left(\frac{\max(i)^2}{MSE}\right)$$

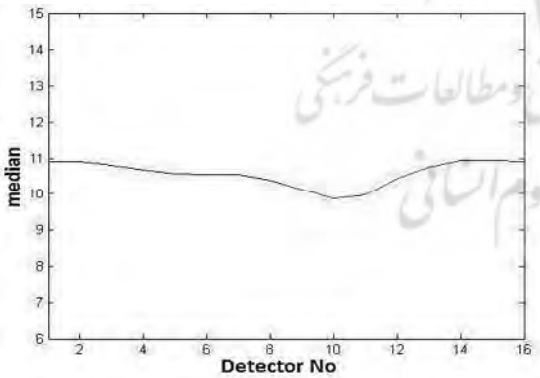
رابطه (۱۰)
$$\mathrm{Re}\,lative - Error = \frac{RMSE}{\mu} \times 100$$

در این روابط μ میانگین، x پیکسل‌های تصاویر مورد نظر، σ انحراف معیار و MAX(i) بیشترین سطح کوانتش را نشان می‌دهد.

۳- نتایج

۳-۱- شناسایی آشکارسازهای نوفه‌ای

در شکل ۴ نمودار میانهٔ داده‌های آشکارسازها در باند ۴ سنجندهٔ TM نمایش داده شده است. همان‌طورکه در این شکل دیده می‌شود و با توجه به فرضیات مطرح‌شده در بخش ۲-۲، آشکارسازهای ۸ تا ۱۲ به‌منزلهٔ منبع نوفهٔ نواری شناسایی شدند.



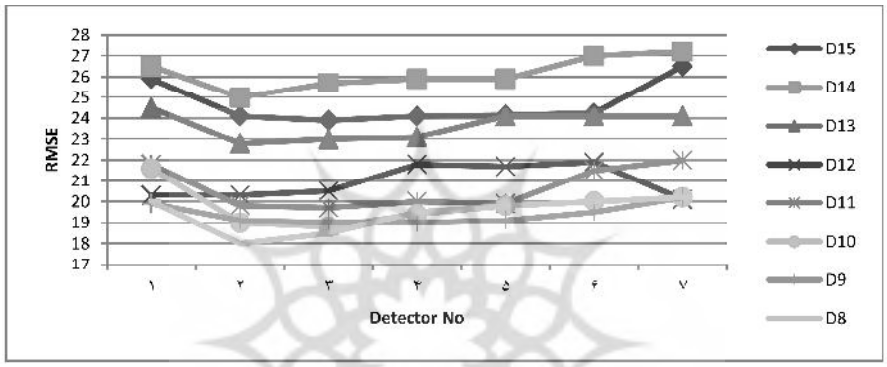
شکل ۴. نمودار میانهٔ داده‌های آشکارسازها در تصویر اخذشده در باند ۴ سنجندهٔ TM ماهوارهٔ لندست ۵

افزون بر این، برای بررسی بیشتر، RMSE آشکارسازهای ۸ تا ۱۵ به‌نسبت آشکارسازهای ۱ تا ۷ محاسبه شده است. برای بهتر دیده شدن تفاوت

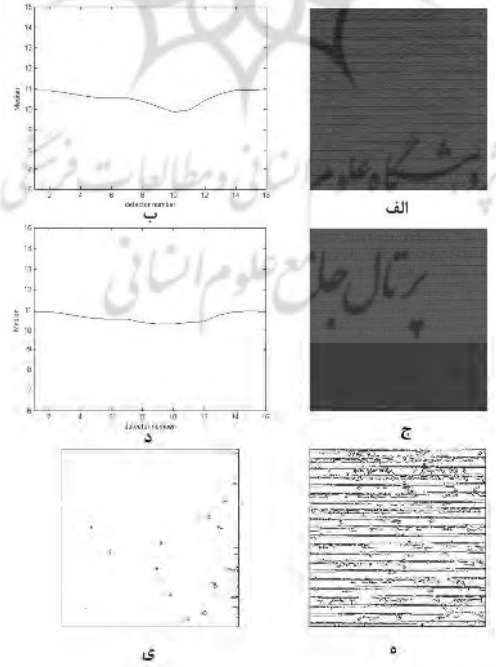
RMSE آشکارسازهای ۸ تا ۱۴ به‌نسبت دیگر آشکارسازها، نمودار RMSE آشکارسازها ترسیم و در شکل ۵ نشان داده شده است. این نمودار نتایج حاصل از شناسایی آشکارسازهای نوفه‌ای بااستفاده از نمودار میانه را تصدیق می‌کند.

۳-۲- روش MM

نتیجهٔ حاصل از اصلاح تصویر شکل ۱ به روش میانه در شکل ۶ نشان داده شده است. در شکل ۶(ب) نمودار میانهٔ آشکارسازها آمده است. همان‌طورکه در این نمودار پیداست و مقادیر محاسبه‌شدهٔ RMSE برای آشکارسازها نشان دادند، آشکارسازهای شمارهٔ ۸ تا ۱۲ عامل پیدایش نوفهٔ نواری در تصویرند. در شکل‌های ۶(ج) و ۶(د)، به‌ترتیب، تصویر اصلاح‌شده و نمودار میانهٔ آشکارسازها در تصویر اصلاح‌شده نشان داده شده است. همچنین، نتیجهٔ آشکارسازی موقعیت نوارهای افقی موجود در تصویر، پیش و پس از حذف نوفه، در شکل ۶(ه) و ۶(ی) نشان داده شده است.



شکل ۵. نمودار RMSE آشکارسازهای ۸ تا ۱۵ به‌نسبت آشکارسازهای ۱ تا ۷. همان‌طورکه دیده می‌شود، RMSE آشکارسازهای شمارهٔ ۸ تا ۱۲ به‌نسبت آشکارسازهای ۱ تا ۷ با RMSE دیگر آشکارسازها، به‌نسبت آشکارسازهای ۱ تا ۷ متفاوت است



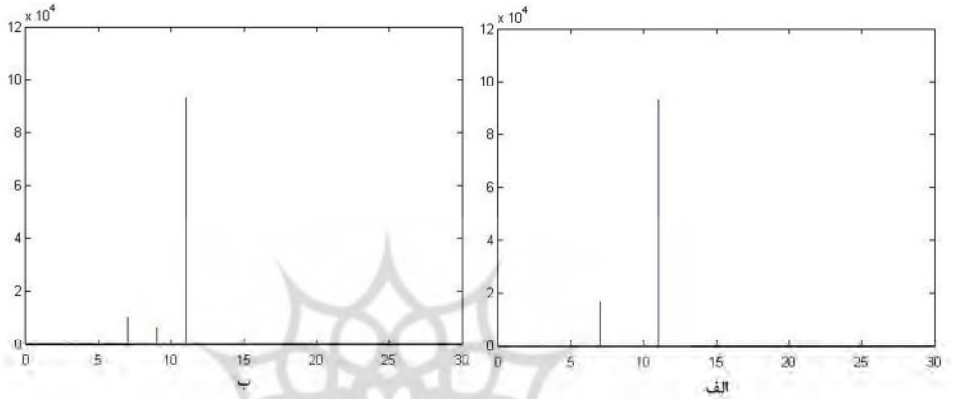
شکل ۶. الف) تصویر اولیه؛ ب) نمودار میانهٔ آشکارسازها در تصویر اولیه؛ ج) تصویر اصلاح‌شده؛ د) نمودار میانهٔ آشکارسازها در تصویر اصلاح‌شده؛ ه) نتیجهٔ شناسایی موقعیت نوفهٔ نواری در تصویر اولیه؛ ی) نتیجهٔ شناسایی موقعیت نوفهٔ نواری در تصویر اصلاح‌شده

نمودارهـای فراوانـی تصـاویر شـکل ۶(الـف) و ۶(ج) به‌ترتیب در شکل ۷(الف) و ۷(ب) نشان داده شده است.

همچنین، در جدول ۱ نتـایج محاسـبهٔ پارامترهـای آماری برای تصویر اصلاح‌شده آورده شده است.

۳-۳- روش MSMM

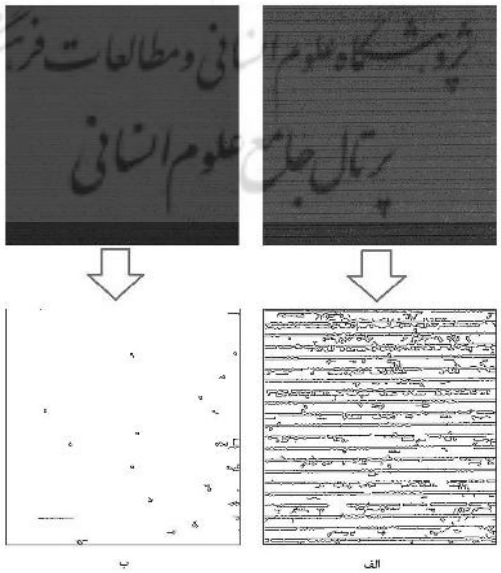
روش MSMM به تصـویر نشـان داده‌شـده در شـکل ۱ اعمال شد. در شکل ۸ نتیجهٔ اصلاح تصـویر و نوارهـای آشکارسازی‌شده با استفاده از لبه‌یاب کانی نمـایش داده شده است. همچنـین، نمـودار فراوانـی تصـاویر اولیـه و اصلاح‌شده به‌ترتیـب در شـکل ۹ (الـف) و ۹(ب) نشـان داده شده است.



شکل ۷. الف) نمودار فراوانی شکل ۶(الف)؛ ب) نمودار فراوانی شکل ۶(ج)

جدول ۱. نتایج محاسبهٔ پارامترهای آماری برای تصویر اولیه (شکل ۶ (الف)) و تصویر اصلاح‌شده (شکل ۶(ج))

میانگین تصویر اولیه	انحراف معیار تصویر اولیه	میانگین تصویر اصلاح‌شده	انحراف معیار تصویر اصلاح‌شده	MSE	RMSE	PSNR (dB)
۱۰/۴۸	۱/۵۶	۱۰/۵۹	۱/۳۶	۰/۲۲	۰/۴۶	۵۴/۶۶

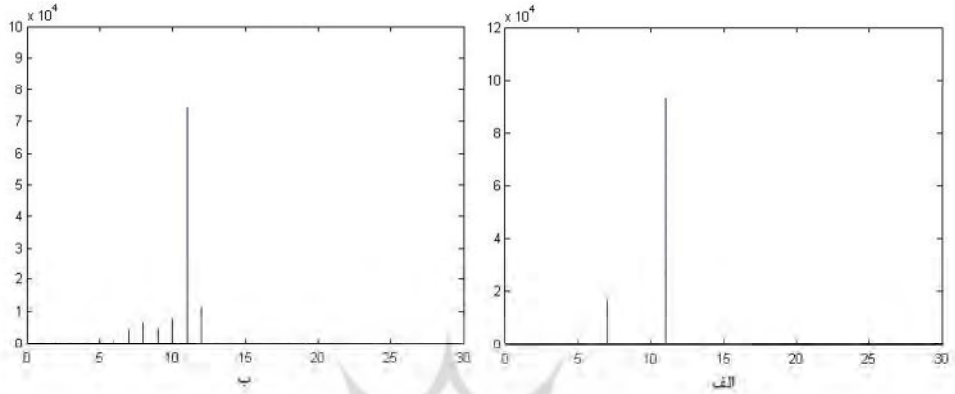


شکل ۸. نتیجهٔ اصلاح نوفهٔ نواری به‌روش MSMM؛ الف) تصویر اولیه و نوارهای آشکارسازی‌شده در تصویر اولیه، ب) تصویر اصلاح‌شده و نوارهای آشکارسازی‌شده در تصویر اصلاح‌شده

علاوه بـر ایـن، پارامترهـای آمـاری تصـویر اولیـه و تصویر اصلاح شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

۳-۴- روش IFFD

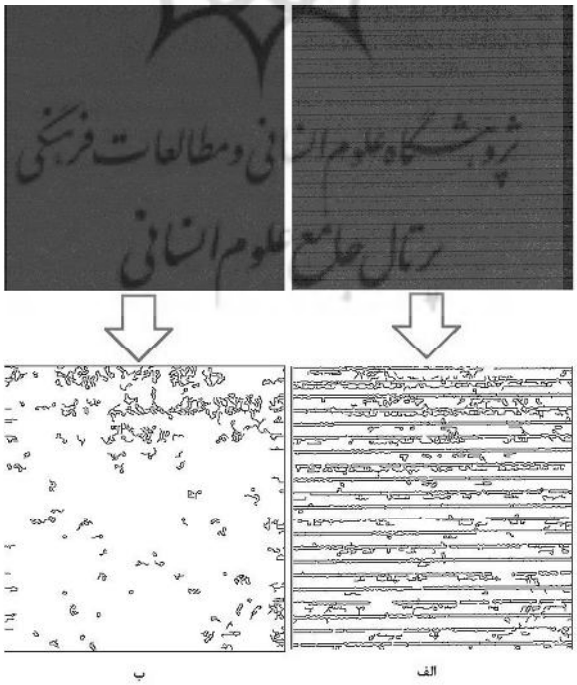
تصویر اولیه و نتیجهٔ اصلاح آن به‌روش IFFD، به‌ترتیب در شکل‌های ۱۰(الف) و ۱۰(ب) نشان داده شده اسـت. افزون بر ایـن، نوارهـای آشکارسـازی‌شـده بااسـتفاده از لبه‌یاب کانی در تصاویر اولیه و اصلاح‌شده در شـکل ۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۹. الف) نمودار فراوانی تصویر شکل ۸(الف)؛ ب) نمودار فراوانی تصویر شکل ۸(ب)

جدول ۲. نتایج محاسبهٔ پارامترهای آماری برای تصویر شکل ۸(الف) و ۸(ب)

میانگین تصویر اولیه	انحراف معیار تصویر اولیه	میانگین تصویر اصلاح‌شده	انحراف معیار تصویر اصلاح‌شده	MSE	RMSE	PSNR (dB)
۱۰/۴۸	۱/۵۶	۱۰/۶۶	۱/۴۲	۰/۴۹	۰/۷	۵۱/۱۴

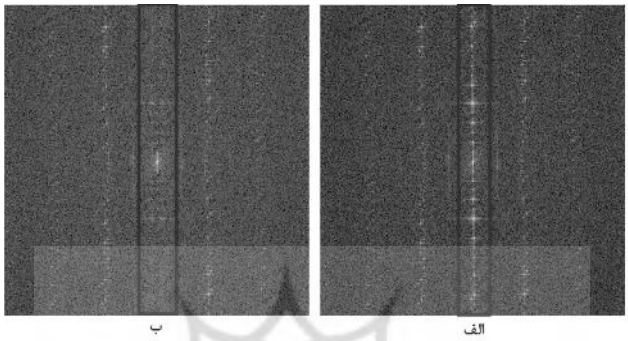


شکل ۱۰. نتیجهٔ اصلاح نوفهٔ نواری متناوب؛ الف) تصویر اولیه و نوارهای آشکارسازی‌شده در تصویر اولیه، ب) تصویر اصلاح‌شده و نوارهای آشکارسازی‌شده در تصویر اصلاح‌شده

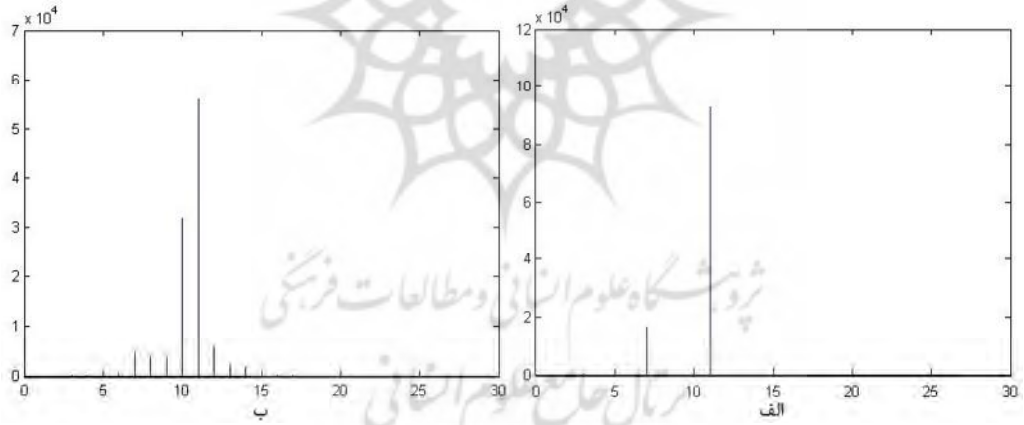
طیف فوریهٔ تصاویر شکل ۱۰(الف) و ۱۰(ب) به ترتیب در شکل ۱۱(الف) و ۱۱(ب) نشان داده شده است. در این شکل، موقعیت ضربه‌های مربوط به نوفه، قبل و پس از اصلاح، در طیف مشخص شده است. گفتنی است که نقطهٔ روشن وسط طیف مربوط به مؤلفه‌های فرکانس صفر تصویر است.

نمودار فراوانی تصویر اولیه و اصلاح‌شده در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

پارامترهای آماری تصویر قبل و پس از اصلاح به روش IFFD در جدول ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۱. الف) طیف فوریهٔ تصویر شکل ۱۰(الف)، ب) طیف فوریهٔ تصویر شکل ۱۰ (ب). نقاط روشن در کادر موقعیت مؤلفه‌های نوفه را مشخص می‌کند



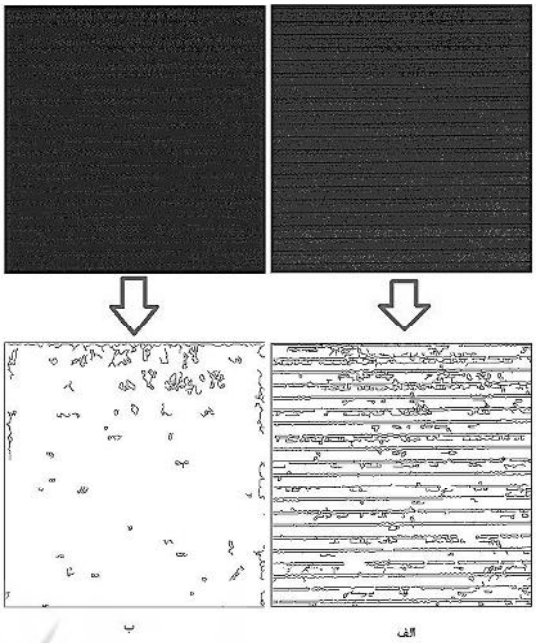
شکل ۱۲. الف) نمودار فراوانی تصویر شکل ۱۰(الف)، ب) نمودار فراوانی تصویر شکل ۱۰(ب)

جدول ۳. نتایج محاسبهٔ پارامترهای آماری برای تصاویر شکل ۱۰(الف) و ۱۰(ب)

میانگین تصویر اولیه	انحراف معیار تصویر اولیه	میانگین تصویر اصلاح‌شده	انحراف معیار تصویر اصلاح‌شده	MSE	RMSE	PSNR (dB)
۱۰/۴۸	۱/۵۶	۱۰/۵۱	۱/۳۱	۰/۹۲	۰/۹۵	۴۸/۴۷

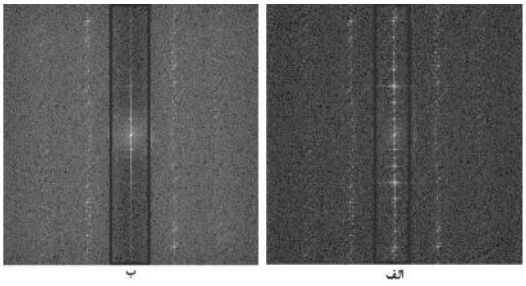
۳-۵- روش IFSD

یکی دیگر از روش‌های پیشنهادی استفاده از روش IFSD است. نتیجهٔ اعمال پالایهٔ حوزهٔ مکان پیشنهادی در بخش ۲-۳ (د)، به تصویر شکل ۱ و نوارهای آشکارسازی‌شدهٔ پیش و پس از اصلاح تصویر، در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۳. نتیجهٔ اصلاح نوفهٔ نواری بااستفاده از پالایهٔ حوزهٔ مکان؛ تصویر اولیه و نوارهای آشکارسازی‌شده در تصویر اولیه (الف)، تصویر اصلاح‌شده و نوارهای آشکارسازی‌شده در تصویر اصلاح‌شده (ب)

طیف فوریهٔ تصویر، قبل و پس از اصلاح به‌روش IFSD، در شکل ۱۴ نشان داده شده است. در این شکل موقعیت ضربه‌های مربوط به نوفه پیش و پس از اصلاح در طیف مشخص شده است.



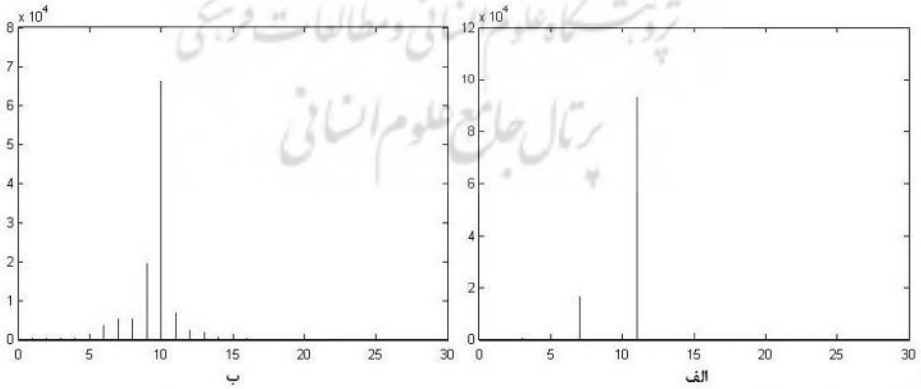
شکل ۱۴. طیف فوریهٔ تصویر اولیه (الف)، طیف فوریهٔ تصویر اصلاح‌شده (ب)

افزون بر این، نمودار فراوانی مربوط به تصویر اولیه و تصویر اصلاح‌شده در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

همچنین، برای بررسی بیشتر مشخصه‌های آماری تصویر قبل و پس از اصلاح به‌روش IFSD در جدول ۴ نشان داده شده است.

۳-۶- نتایج اصلاح تصویر شبیه‌سازی‌شده برای نوفهٔ نواری

در این بخش، روش‌های ارائه‌شده در بخش ۲-۳ به تصویری شبیه‌سازی‌شده برای نوفهٔ نواری اعمال شده و خطای نسبی بین تصویر اولیه و تصاویر اصلاح‌شده محاسبه شده است. این تصاویر در شکل ۱۶ نمایش داده شده‌اند. در تصویر شکل ۱۶(ب) آشکارساز فرضی شمارهٔ ۱۴ به‌منزلهٔ منبع نوفه درنظر گرفته شده است.



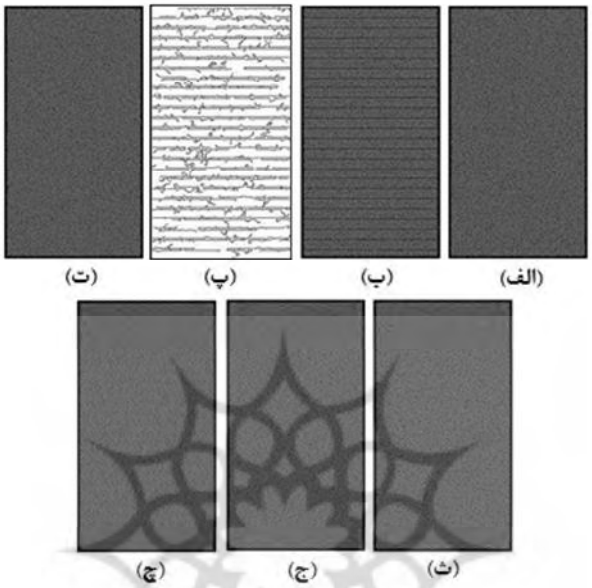
شکل ۱۵. الف) نمودار فراوانی تصویر شکل ۱۳(الف)، ب) نمودار فراوانی تصویر شکل ۱۳(ب)

جدول ۴. نتایج محاسبهٔ پارامترهای آماری برای تصاویر شکل ۱۳(الف) و ۱۳(ب)

میانگین تصویر اولیه	انحراف معیار تصویر اولیه	میانگین تصویر اصلاح‌شده	انحراف معیار تصویر اصلاح‌شده	MSE	RMSE	PSNR (dB)
۱۰/۴۸	۱/۵۶	۹/۵۹	۱/۲۶	۱/۷۶	۱/۳۲	۴۵/۶۵

در جدول ۵ نتایج محاسبهٔ خطای نسبی بین تصویر شکل ۱۶(الف) و تصاویر اصلاح‌شده (شکل‌های ۱۶(پ) تا ۱۶(ج)) نشان داده شده است. رابطهٔ خطای نسبی برحسب درصد در معادلهٔ ۱۰ نشان داده شده است.

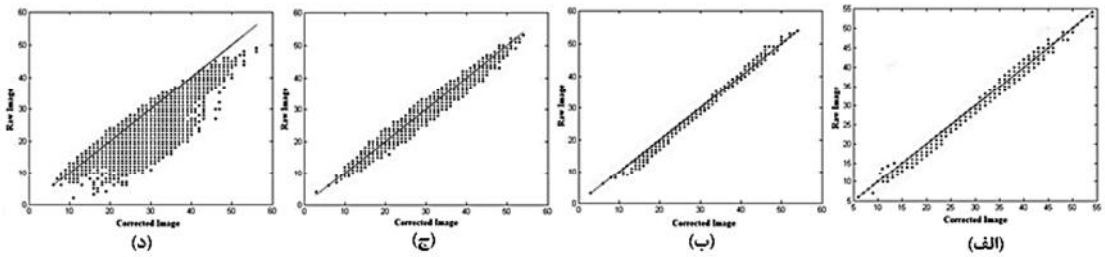
افزون بر این، بین تصویر اولیه و تصاویر اصلاح‌شده نمودارهای پراکندگی ترسیم شد که در شکل ۱۷ نشان داده شده‌اند. نمودار پراکندگی شباهت کیفی بین دو تصویر را بیان می‌کند.



شکل ۱۶. الف) تصویر اولیه، ب) تصویر شبیه‌سازی‌شده برای نوفهٔ نواری، پ) نوارهای آشکارسازی‌شده در شکل (ب)، ت) تصویر اصلاح‌شده به‌روش MM، ث) تصویر اصلاح‌شده به‌روش MSMM، ج) تصویر اصلاح‌شده به‌روش IFFD، چ) تصویر اصلاح‌شده به‌روش IFSD

جدول ۵. نتایج محاسبهٔ خطای نسبی بین تصویر نشان داده‌شده در شکل ۱۶(الف) و تصاویر اصلاح‌شده بااستفاده از روش‌های پیشنهادشده در این پژوهش (تصاویر نشان داده‌شده در شکل‌های ۱۶(ت) تا ۱۵(چ))

IFSD	IFFD	MSMM	MM
۱۴/۰۵	۴/۱۱	۰/۹۷	۰/۷

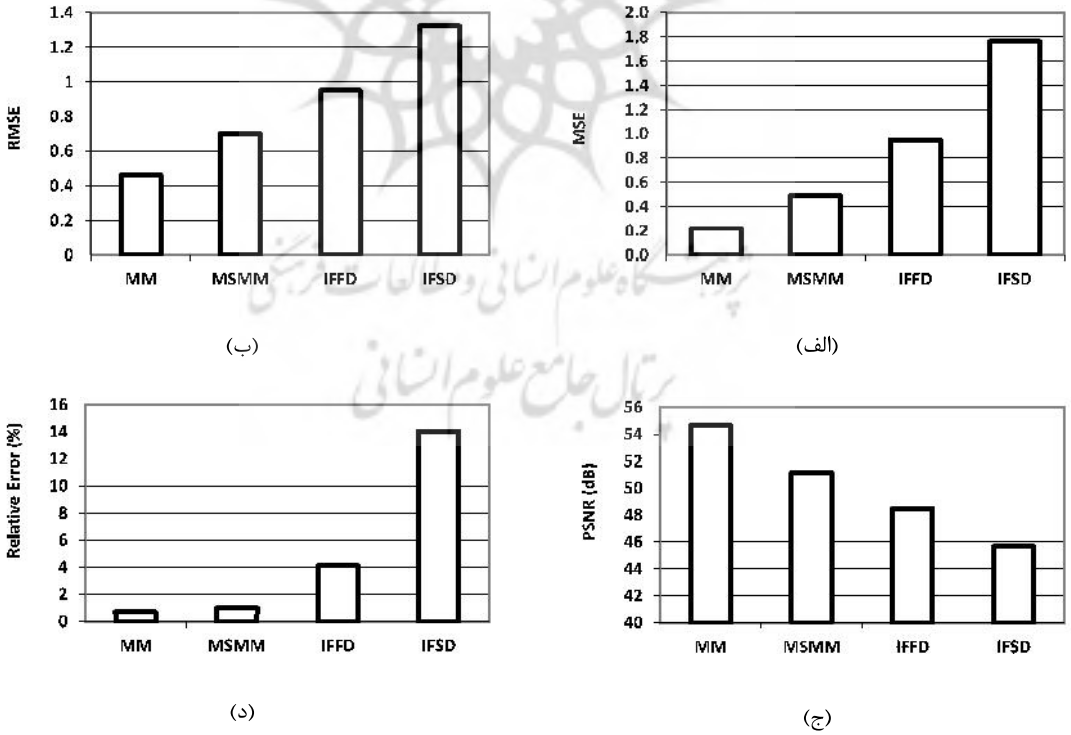


شکل ۱۷. الف) نمودار پراکندگی پیکسل‌ها بین تصاویر شکل ۱۵(الف) و ۱۵(ت)، ب) نمودار پراکندگی پیکسل‌ها بین تصاویر شکل ۱۵(الف) و ۱۵(ث)، ج) نمودار پراکندگی پیکسل‌ها بین تصاویر شکل ۱۵(الف) و ۱۵(ج)، د) نمودار پراکندگی پیکسل‌ها بین تصاویر شکل ۱۵(الف) و ۱۵(چ).

۴- بحث

۴-۱- بررسی اثربخشی روش‌های ارائه‌شده در اصلاح نوفهٔ نواری

نخستین هدف در این مطالعه اصلاح نوفهٔ نواری در تصاویر اخذشده به‌وسیلهٔ سنجندهٔ TM ماهوارهٔ لندست ۵ است. بررسی بصری تصاویر و مقایسهٔ آنها قبل و پس از اصلاح، استاندارد شدن توزیع داده‌ها در نمودار فراوانی تصویر و کاهش انحراف معیار پس از اصلاح نوفه، پایین بودن میزان خطای نسبی پس از اصلاح تصویر شبیه‌سازی‌شده و پراکندگی نقاط در نمودارهای پراکندگی حول نیمساز ربع اول نشان از مؤثر بودن روش‌های پیشنهادی در اصلاح نوفهٔ نواری دارد. همچنین، بررسی طیف فوریهٔ تصاویر در روش‌های IFFD و IFSD، قبل و پس از اصلاح، نشان‌دهندهٔ حذف مؤلفه‌های نوفه در تبدیل فوریهٔ تصویر و به‌تبع آن، حذف نوارشدگی‌ها از تصویر است. نوآوری‌های ارائه‌شده در این مطالعه اصلاح نسبی نوفهٔ نواری در روش‌های MM و MSMM و همچنین، ایجاد پالایه‌های حوزهٔ فرکانس و حوزهٔ مکان با کمترین نوسان، بااستفاده از تابع پاسخ فرکانسی پالایهٔ شکاف مستطیلی و روش پنجره‌سازی در MATLAB است. همان‌طورکه در بخش‌های ۲-۲ و ۲-۳ توضیح داده شد، برای اصلاح نسبی نوفهٔ نواری، نخست باید برای شناسایی آشکارسازهای نوفه‌ای اقدام کرد. این کار سبب تأثیر نگذاشتن روش‌های MM و MSMM در داده‌های بدون نوفه می‌شود. همچنین، میزان نوسان پایین پالایه‌های حوزهٔ فرکانس و حوزهٔ مکان موجب می‌شود پالایه در مؤلفه‌های فرکانسی اصلی تصویر تأثیر اندکی داشته باشد.



شکل ۱۸. الف) نمودار MSE، ب) نمودار RMSE، ج) نمودار PSNR برحسب دسی‌بل، د) نمودار خطای نسبی برحسب درصد

۴-۲- مقایسهٔ عملکرد روش‌های ارائه‌شده در این پژوهش

در این بخش، با توجه به مقدارهای به‌دست‌آمده برای MSE، RMSE، PSNR و خطای نسبی، عملکرد روش‌های پیشنهادی در اصلاح نوفهٔ نواری آشکارسازهای سنجنده TM با یکدیگر مقایسه شده است. در شکل ۱۸ نمودارهای تغییرات این کمیت‌ها برای روش‌های ارائه‌شده در این مقاله نشان داده شده است.

در علوم مهندسی PSNR یک کمیت است که نسبت بین بیشترین توان ممکن سیگنال و توان نوفهٔ مخرب را بیان می‌کند. افزون بر این، میانگین مربعات خطا (MSE) یک برآوردگر، میانگین مربعات خطا را اندازه‌گیری می‌کند. همچنین، ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE) انحراف معیار تفاوت بین مقدارهای پیش‌بینی‌شده و مقدارهای حاصل را نشان می‌دهد. میزان MSE و RMSE کوچک و PSNR بزرگ نشان‌دهندهٔ عملکرد بهتر روش مورد نظر در اصلاح نوفه است. خطای نسبی نیز میزان تفاوت دو تصویر را نشان می‌دهد. طبق نمودارهای شکل ۱۸ ، پایین بودن میزان خطای نسبی، MSE و RMSE و همچنینیزن بالا بودن مقدار به‌دست‌آمده برای PSNR در روش MM دقت بالای این روش را، درمقایسه با دیگر روش‌ها، در اصلاح نوفهٔ نواری نشان می‌دهد. پس از آن، روش MSMM و IFFD عملکرد بهتری از روش IFSD دارند. با توجه به مقدارهای بالای MSE، RMSE و خطای نسبی و پایین بودن PSNR در روش IFSD، می‌شود نتیجه گرفت عملکرد این روش در اصلاح نوفهٔ نواری از دیگر روش‌ها ضعیف‌تر بوده است.

۴-۲- مقایسهٔ نتایج حاصل با کارهای دیگران

در این بخش، بین روش‌های ارائه‌شده در این تحقیق برای اصلاح نوفهٔ نواری متناوب و روش ارائه‌شده از سوی سرینیواسان و همکاران (۱۹۸۸) مقایسه‌هایی صورت گرفته است. آنها برای اصلاح نوفهٔ نواری در تصاویر لندست از روش پالایش طیف توان استفاده کرده‌اند. پالایش طیف توان روشی پرکاربرد در اصلاح نوفهٔ نواری متناوب در تصاویر ماهواره‌ای است که محققان برای اصلاح تصاویر ماهواره‌ای به‌کار می‌برند. این روش به تصویر شکل ۱ اعمال شده که نتیجهٔ محاسبهٔ MSE، RMSE و PSNR در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. نتیجهٔ محاسبهٔ MSE و PSNR برای روش ارائه‌شده از سوی سرینیواسان و همکاران (۱۹۸۸)

MSE	RMSE	PSNR (dB)
۴/۲۱	۲/۰۵	۴۱/۹۵

با توجه به مقدارهای MSE و PSNR به‌دست‌آمده برای روش یادشده و مقایسهٔ آنها با نتایج حاصل‌شده در بخش ۳، می‌شود نتیجه گرفت که دقت روش‌های پیشنهادی در این پژوهش از روش سرینیواسان و همکارانش (۱۹۸۸) بیشتر است. برای اثبات این ادعا، روش ارائه‌شدهٔ مورد نظر به تصویر شبیه‌سازی‌شده اعمال شد. میزان خطای نسبی بین تصویر اولیه و تصویر اصلاح‌شده به روش پالایش طیف توان، برابر ۱۸/۶۰ درصد به‌دست آمد. این درحالی است که در بین روش‌های پیشنهادی در بخش ۲-۲ بیشترین میزان خطا مربوط به روش IFSD با خطای ۱۴/۰۵ درصد است. این امر دقت بالای روش‌های پیشنهادی را، درمقایسه با روش سرینیواسان و همکاران نشان می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

در مقالهٔ حاضر، روش‌هایی برای اصلاح نوفهٔ نواری در تصاویر دریافتی به‌وسیلهٔ سنجندهٔ TM ماهوارهٔ لندست ۵ ارائه شد. برای سنجش کمّی نتایج حاصل از اصلاح تصویر واقعی، از پارامتر MSE و PSNR استفاده شد. مقدارهای به‌دست‌آمدهٔ PSNR برای روش‌های MM، MSMM، IFSD و IFFD به‌ترتیب برابر با ۵۴/۶۶، ۵۱/۱۴، ۴۸/۴۷ و ۴۵/۶۵ دسی‌بل است. افزون بر این، برای سنجش کمّی نتایج حاصل از اصلاح تصویر شبیه‌سازی‌شده از پارامتر خطای نسبی استفاده شد. مقدارهای به‌دست‌آمده خطای نسبی برای روش‌های

MM، MSMM، IFFD و IFSD بـه‌ترتیـب ۰/۷، ۰/۹۷، ۴/۱۱ و ۱۴/۰۵ درصد است. با توجه به نتایج حاصـل از اصلاح تصویر باند ۴ سنجندهٔ TM و همچنـین، تصـویر شـبیه‌سـازی‌شـده بـرای نوفـهٔ نـواری و مقـدارهای به‌دست‌آمده برای PSNR و خطای نسبی، ثابت شد کـه روش‌های MM و MSMM از روش‌های IFFD و IFSD دقت بیشتری دارند. دلیل ایـن را مـی‌شـود بـه اصـلاح نسبی نوفهٔ نواری در روش‌های MM و MSMM نسـبت داد. در ایـن روش‌هـا سـعی مـی‌شـود کـه رفتـار آشکارسـازهای نوفـه‌ای دربرابـر آشکارسـازهای سـالم تصحیح شود. بنابراین، فقط داده‌های اخذشده به‌وسـیلهٔ آشکارسازهای نوفه‌ای تحت تأثیر الگوریتم اصـلاح قـرار می‌گیرند که این امـر موجـب کـاهش MSE و افـزایش PSNR می‌شود. ایـن درحـالی اسـت کـه در روش‌هـای IFFD و IFSD سراسر تصویر تحت تأثیر الگـوریتم اصـلاح قرار می‌گیـرد کـه خـود موجـب افـزایش MSE و کـاهش PSNR درمقایسه با روش‌های MM و MSMM مـی‌شـود. افزون بر ایـن، نتـایج حاصـل از اصـلاح تصـویر شـکل ۱ و تصویر شبیه‌سازی‌شده به‌روش IFFD و IFSD نشان‌دهندهٔ برتری IFFD به IFSD در اصلاح نوفهٔ نـواری اسـت. دلیـل آن را میشود به نوسان پایین منحنی پاسخ فرکانسی پالایـهٔ حـوزهٔ فرکـانس و نیـز، لبـه‌هـای تیـز آن نسـبت داد کـه درنتیجهٔ آن تأثیرگـذاری پالایـه در مؤلفـه‌هـای فرکانسـی محتویات اصلی تصویر کاهش می‌یابد. ایـن درحـالی اسـت که در پالایش حوزهٔ مکان، افزون بر محتویـات مؤلفـه‌هـای فرکانسی نوفه، پالایـه در مؤلفـه‌هـای فرکانسـی محتویـات اصلی تصویر نیز تأثیر می‌گذارد.

۶- مراجع

Algazi, V.R, Ford, G.E, 1981, **Radiometric Equalization of Nonperiodic Striping in Satellite Data**, Computer Graphics And Image Processing. 16(3), 287 -295.

Bisun, D., McVicar, T.R, Van Niel, T.G., Jupp, D.L.B. & Pearlman, J.S, 2003, **Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 41, No. 6, pp. 1246 - 1259.

Lixin, S., Robert, N., Karl, S. & White, H.P., 2008, **Automatic Destriping of Hyperion Imagery Based on Spectral Moment Matching**, Canadian journal of Remote Sensing, Vol. 34, pp. 68-81.

Mobasheri, M.R. & zendehbad, S.A., 2013, **Diagnosis and Repair of Random Noise in the Sensors CHRIS-PROBA**, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-1/W3.

Markham, B.L., Chander, G. & Barsi, J.A., 2007, **Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 4, No. 3, pp. 490-494.

Pande-Chhetri, R. & Abd-Elrahman, A., 2011, **De-Striping Hyperspectral Imagery Using Wavelet Transform and Adaptive Frequency Domain Filtering**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 66, pp. 620–636.

Tsai, F. & Chen, W., 2008, **Striping Noise Detection and Correction of Remote Sensing Images**, IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, Vol. 46, No. 12, pp. 4122 - 4131.

Srinivasan, R., 1986, **Noise Removal by the Karhunen -Loeve Transform**, Proceeding of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Symposium, Vol. 26 -2, pp. 263 -273.

Srinivasan, R., Cannon, M. & James, W., 1988, **Landsat Data Destriping Using Power Spectra Filtering**, SPIE-Optical Engineering, 27(11), 939 -943.

Zhang, M., Carder, K., Muller-Karger, F.E., Lee, Z. & Goldgof, D., 1999, **Noise Reduction and Atmospheric Correction for Coastal Applications of Landsat Thematic Mapper Imagery**, Remote Sensing of Environment, Vol. 70, pp. 167–180.

USGS, 2013, Landsat—A Global Land-Imaging Mission.

وبگاه USGS، ۲۰۱۴:

https://landsat.usgs.gov/science_L4-5_Cal_Notices.php