



سبش از دور

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

## ارائه روشی برای اصلاح نوفه نواری آشکارسازها در تصاویر اخذ شده به وسیله سنجنده TM ماهواره لندست ۵

محمدرضا مباشری<sup>۱\*</sup>، عرفان امرائی<sup>۲</sup>

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

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

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱/۳۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۶/۱۶

### چکیده

نوفه آشکارسازها در تصاویر ماهواره‌ای معمولاً به صورت نوارهای افقی یا عمودی دیده می‌شوند. جهت نوارشدگی‌ها به تکنیک تصویربرداری سنجنده (پوش‌بروم یا ویسک‌بروم) بستگی دارد. در تصاویر سنجنده TM نیز برخی نوارشدگی‌ها دیده می‌شود که منشأ آنها آشکارسازهاست. از دلایل پیدایش نوفه نواری در تصاویر اخذ شده به وسیله سنجنده TM می‌شود به تطابق نداشتن آشکارسازها، واسنجی نامناسب آشکارسازها و یا فرسایش آنها در طول زمان اشاره کرد. با توجه به اینکه سنجنده TM از تکنیک تصویربرداری ویسک‌بروم استفاده می‌کند، این نوارشدگی‌ها در تصاویر به صورت افقی دیده می‌شوند. نوفه نواری در تصاویر اخذ شده 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 با استفاده از پیکسل‌های تاریک و دشوار شدن استخراج اطلاعات از تصاویر می‌شود. در این پژوهش، برای اصلاح نوفه نواری سنجنده TM، پس از شناسایی آشکارسازهای نوفه‌ای، روش‌های میانه (MM)، تطبیق ممان‌های مکانی اصلاح شده (MSMM) و پالایش تصویر در حوزه 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 فوریه 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 به ترتیب برابر با ۱/۴۲، ۱/۳۶، ۱/۳۱ و ۱/۲۶ است. کاهش به وجود آمده در انحراف معیار پس از حذف نوفه، نواری، بهبود تصاویر را نشان می‌دهد. برای مقایسه این روش‌ها با یکدیگر و با کارهای دیگران، از MSE، RMSE و PSNR و همچنین، داده‌های شبیه‌سازی شده برای نوفه نواری متناوب استفاده شده است. مقادیرهای به دست آمده PSNR برای روش‌های MM، MSMM، IFFD و IFSD به ترتیب برابر با ۵۴/۶۶، ۵۱/۱۴، ۴۸/۴۷ و ۴۵/۶۵ دسی‌بل است. در این میان، بیشترین میزان PSNR و به تبع آن، کمترین میزان MSE مربوط به روش MM و MSMM بود که نشان از دقت بیشتر این روش‌ها در مقایسه با پالایه‌های حوزه فرکانس و مکان دارد.

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

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

۰۹۱۲۱۲۲۶۳۰

Email: mobasheri@kntu.ac.ir

## ۱- مقدمه

مؤلفه‌های اصلی استفاده کرده است. پس از به‌دست آمدن مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه‌های مرتبه بالایی نوفه‌ای به صفر کاهش داده می‌شوند و در نهایت، از نتایج حاصل تبدیل معکوس گرفته می‌شود. از مشکلات این روش می‌شود به حجم محاسبات بالا برای محاسبه 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 متناب موجود در تصاویر لندست، از روش پالایش طیف توان<sup>۵</sup> 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 هسته کانولوشن، از طیف توان اصلاح‌شده عکس تبدیل فوریه گرفته می‌شود. مشکل این روش این است که برای به‌دست آوردن هسته کانولوشن باید اصلاحات زیادی روی طیف توان صورت پذیرد. الگری و فورد<sup>۶</sup> (۱۹۸۱) برای اصلاح نوفه نواری از تصاویر ماهواره‌ای، از روش برابری رادیومتریکی استفاده کرده‌اند. در این روش، یک مدل ساده ضریب بهره و بایاس برای همه آشکارسازها، برای جبران‌سازی ارائه شده است. مشکل این روش این است که مدل برای تغییرات غیرخطی سنجنده مفید نیست. بیسان و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۰۳) از روش تطبیق ممان‌های مکانی<sup>۸</sup> برای اصلاح نوفه 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

در تصاویر اخذشده در باند ۴ سنجنده نقشه‌بردار موضوعی (Thematic Mapper) که به اختصار TM نامیده می‌شود، برخی نوارشدگی‌های متناب به چشم می‌خورد. این نوع نوفه در تصاویر سطح صفر سنجنده TM دیده می‌شود (وبگاه سازمان USGS، ۲۰۱۴). از دلایل پیدایش نوفه نواری در تصاویر اخذشده به وسیله سنجنده TM، می‌شود به تطابق نداشتن آشکارسازها، واسنجی<sup>۱</sup> 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 نوفه نواری کاهش می‌یابد اما به صورت کامل محو نمی‌شود. بنابراین، نوفه نواری آشکارساز در تصاویر سطح یک سنجنده TM نیز وجود دارد. تصاویر سطح یک لندست همان تصاویر سطح صفرند که از لحاظ رادیومتریکی 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 نوفه آشکارسازها دیده می‌شود.

در این زمینه، تسا و چن<sup>۲</sup> (۲۰۰۸) برای شناسایی موقعیت الگوهای نواری در تصاویر ماهواره‌ای، از الگوریتم‌های شناسایی لبه و رهگیری خطوط استفاده کرده‌اند. پس از شناسایی این الگوها، نوفه نواری با استفاده از توابع زبانه‌دار مکعبی<sup>۳</sup> اصلاح می‌شود. مزیت این روش این است که می‌شود الگوهای نواری غیرمتناب 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<sup>۴</sup> (۱۹۸۶) برای اصلاح خطوط پویس نوفه‌ای از تصاویر سنجنده TM از روش تحلیل

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

نوارشدگی‌ها به حوزه فرکانس، با استفاده از تبدیل فوریه یک‌بعدی، پالایه انطباقی با بهنجارسازی سطوح DC سطرها و یا ستون‌ها نوفه را حذف می‌کند. یکی از راه‌های این‌گونه یکسان‌سازی رساندن مقادیرهای 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<sup>۷</sup> بالا موجب تلفات اطلاعاتی می‌شود و ممکن است لبه‌ها و مرزهای موجود در تصویر حذف شوند.

در این پژوهش، برای اصلاح نوفه نواری متناوب در تصاویر دریافت‌شده به وسیله سنجنده TM ماهواره لندست ۵، چهار روش پیشنهاد شده است. این روش‌ها عبارت‌اند از: روش میانه، تطبیق ممان‌های مکانی اصلاح‌شده، پالایش تصویر در حوزه فرکانس و حوزه مکان. از میان روش‌های یادشده، روش تطبیق ممان‌های مکانی از سوی دیگر محققان به کار گرفته شده است که در این مقاله، این روش به گونه‌ای که در بخش‌های بعد توضیح داده خواهد شد، اصلاح شده است.

اهداف کلی این مطالعه عبارت است از: کاهش و یا حذف نوفه نواری از تصاویر دریافت‌شده به وسیله سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و مقایسه عملکرد روش‌های ارائه‌شده در این پژوهش با یکدیگر و با روش‌های پرکاربرد پیشین.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

داده مورد استفاده در این پژوهش، تصویر اخذشده از دریای خزر در ۷ اوت ۲۰۱۰ در باند ۴ سنجنده TM ماهواره 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                       |                             |

به صورت سراسری استفاده می‌شود، به این صورت که برای تخمین پارامترهای آماری مرجع جهت محاسبه ضریب بهره و خروج مبدأ آشکارسازها از سراسر تصویر به منزله داده مرجع استفاده می‌شود. ضریب بهره و خروج از مبدأ در این روش، برای کنترل انحراف معیار و میانگین سطرها و یا ستون‌های تصویر به کار 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<sup>۲</sup> (۲۰۰۷) برای اصلاح نوفه در تصاویر سطح صفر سنجنده TM، ضریب بهره هر آشکارساز را به صورت یک رابطه 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<sup>۳</sup> (۲۰۰۸) برای اصلاح نوفه نواری در تصاویر ماهواره‌ای، از روش تطبیق ممان‌های طیفی<sup>۴</sup> استفاده کردند. باندهای باریک پیوسته، به دلیل مجاورت با یکدیگر در طیف امواج الکترومغناطیسی همبستگی بالایی دارند. در این روش، از این میزان بالای همبستگی برای مقایسه مشخصات آماری یک آشکارساز با مشخصات آماری آشکارساز متناظر در باند (به شدت) 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<sup>۵</sup> (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. پاندى-چتری و عبدالرحمان<sup>۶</sup> (۲۰۱۱) برای اصلاح نوفه نواری در تصاویر ماهواره‌ای از تبدیل موجک و پالایه<sup>۷</sup> و فوری حوزه فرکانس استفاده کرده‌اند. در این روش، پس از انتقال مؤلفه‌های موجک جهت‌دار در راستای

میانۀ عددی است که نیمی از داده‌ها در سمت چپ و نیم دیگر داده‌ها در سمت راست آن قرار می‌گیرند. برای محاسبه RMSE و میانۀ، با استفاده از نمودار فراوانی، از روابط ۱ و ۲ استفاده شده است.

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

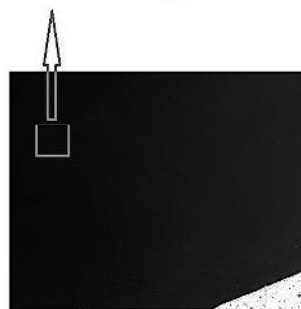
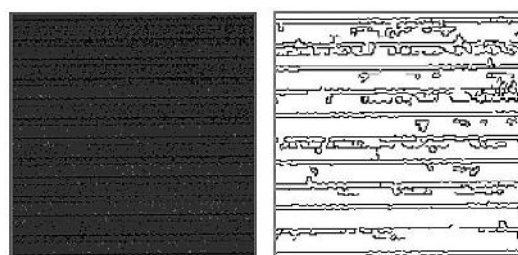
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{N-1}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این روابط  $m$  میانۀ،  $n$  فراوانی داده‌ها،  $L$  کرانه پایین طبقه میانۀ دار،  $g$  فراوانی تجمعی طبقه پیش از طبقه میانۀ دار،  $f$  فراوانی طبقه میانۀ دار،  $w$  فاصله 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 میانۀ شوند و نیز نمودار RMSE آنها با نمودار RMSE دیگر آشکارسازها متفاوت باشد، آشکارساز نوفه‌ای شناسایی شوند.

## ۲-۳- روش پژوهش برای اصلاح نوفه نواری

الف) روش میانۀ (Median Method (MM)) یکی از روش‌های ابداع شده در این مطالعه برای کاهش نوفه نواری آشکارسازها روش MM است. برای تصحیح نوفه آشکارسازها به روش MM، پس از شناسایی منابع نوفه به صورت زیر عمل شده است:

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



شکل ۱. تصویر باند ۴ سنجنده TM اخذشده از دریای خزر در ۷ اوت ۲۰۱۰. با توجه به تاریک بودن صحنه تصویربرداری و نیز همگن بودن آن، برای بهتر نشان دادن موقعیت نوفه نواری در تصویر از لبه‌یاب کانی<sup>۱</sup> استفاده شده است

با توجه به همگن بودن صحنه 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 میانۀ به کار رفته است. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) انحراف معیار تفاوت بین مقدارهای پیش‌بینی شده و مقدارهای حاصل را نشان می‌دهد. همچنین، در تعریف میانۀ می‌شود گفت

1. Canny edge detector

$$x_{ilk} = \alpha_{ik} x_{ijk} + \beta_{ik} \quad \text{رابطه (۳)}$$

همچنین، برای محاسبه ضریب بهره و خروج مبدأ از روابط (۴) و (۵) بهره گرفته شده است (Bisun et al., 2003).

$$\alpha_{ik} = \frac{\sigma_{ik}}{\sigma_{ik}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\beta_{ik} = m_{ik} - \alpha_{ik} m_{ik} \quad \text{رابطه (۵)}$$

ج) پالایش تصویر در حوزه فرکانس

#### Image Filtering in Frequency Domain (IFFD)

در این روش، برای بررسی بصری تبدیل فوریه تصویر و شناسایی موقعیت مؤلفه‌های نوفه از طیف فوریه استفاده شده است. برای به دست آوردن طیف فوریه اندازه تبدیل فوریه محاسبه شده است. پس از شناسایی مؤلفه‌های نوفه در حوزه فرکانس، برای حذف این مؤلفه‌ها و اصلاح نوارشدگی‌ها از پالایه شکاف مستطیلی استفاده شده است. در شکل ۲ منحنی پاسخ فرکانسی پالایه طراحی شده برای اصلاح نوفه نواری در تصویر شکل ۱ دیده می‌شود. همان‌طور که در منحنی شکل ۲ دیده می‌شود، در این روش پالایه‌ای جدید در حوزه فرکانس ایجاد شده که میزان نوسان<sup>۱</sup> در منحنی پاسخ فرکانسی آن بسیار پایین است. برای کاهش میزان نوسان منحنی پاسخ فرکانسی پالایه شکاف مستطیلی، ماسکی در حوزه فرکانس ایجاد شده که در فرکانس‌های مربوط به مؤلفه‌های نوفه مقدار آن صفر و در دیگر فرکانس‌ها دارای مقدار یک است. بنابراین، با ضرب این پالایه در تبدیل فوریه تصویر، دامنه مؤلفه‌های فرکانسی نوفه نواری به صفر کاهش می‌یابد.

۴. اگر میانه آشکارساز معیوب از میانگین میانه آشکارسازهای سالم کمتر باشد، برای تصحیح نوفه، تفاضل میانه آشکارساز معیوب از میانگین میانه آشکارسازهای سالم با داده‌های آشکارساز معیوب جمع بسته می‌شود.

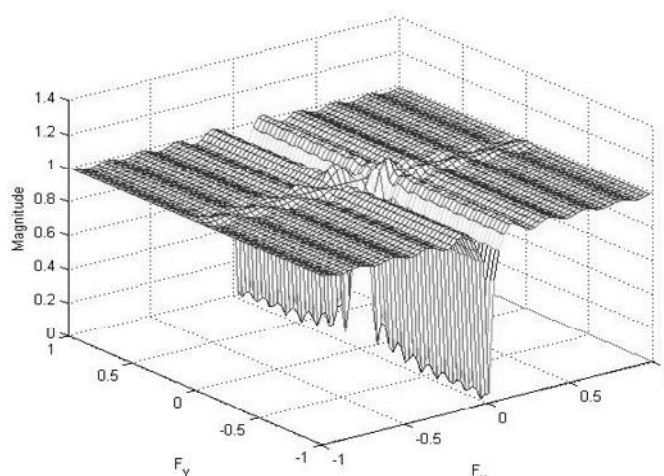
نوآوری مهم این روش اصلاح نوفه آشکارسازهای معیوب، بدون تخریب داده‌ای آشکارسازهای بدون نوفه است. برای این کار، نمودار فراوانی داده‌های نوفه‌ای به اندازه به دست آمده در قست دوم، به سمت چپ یا راست منتقل می‌شود. در این روش، داده‌های بدون نوفه تغییر نمی‌کند و فقط داده‌های نوفه‌ای تصحیح می‌شوند.

ب) روش تطبیق ممان‌های مکانی اصلاح شده

#### Modified Spatial Moment Matching (MSMM)

اصلاح روش تطبیق ممان‌های مکانی از دیگر نوآوری‌های این پژوهش است. چگونگی اصلاح روش به این صورت است که برای تخمین پارامترهای آماری مرجع از داده‌های اخذ شده به وسیله آشکارسازهای سالم استفاده شده است. این در حالی است که در مطالعات پیشین، برای محاسبه پارامترهای آماری مرجع از کل تصویر استفاده می‌شد که این کار موجب تأثیرگذاری نوفه در روش اصلاح تصویر می‌شود. برای شناسایی آشکارسازهای سالم و نوفه‌ای از روش‌های ارائه شده در بخش ۲-۲ بهره گرفته شده است. فرض شود که  $m_{ik}$  میانگین آشکارساز نام در باند  $k$ ام، و  $\sigma_{ik}$  انحراف معیار آشکارساز نام در باند  $k$ ام باشد. افزون بر این،  $\bar{m}_{ik}$  و  $\bar{\sigma}_{ik}$  مقدارهای مرجع این ممان‌ها به شمار می‌روند. پس از محاسبه این ممان‌ها باید برای محاسبه ضریب بهره  $\alpha_{ik}$  و خروج از مبدأ  $\beta_{ik}$  برای هر آشکارساز اقدام کرد. در این روش، برای اصلاح داده‌های تصویر برای نمونه نام، سطر زام و باند  $k$ ام ( $x_{ijk}$ ) از رابطه (۳) استفاده شده است (Bisun et al., 2003).

1 Ripple

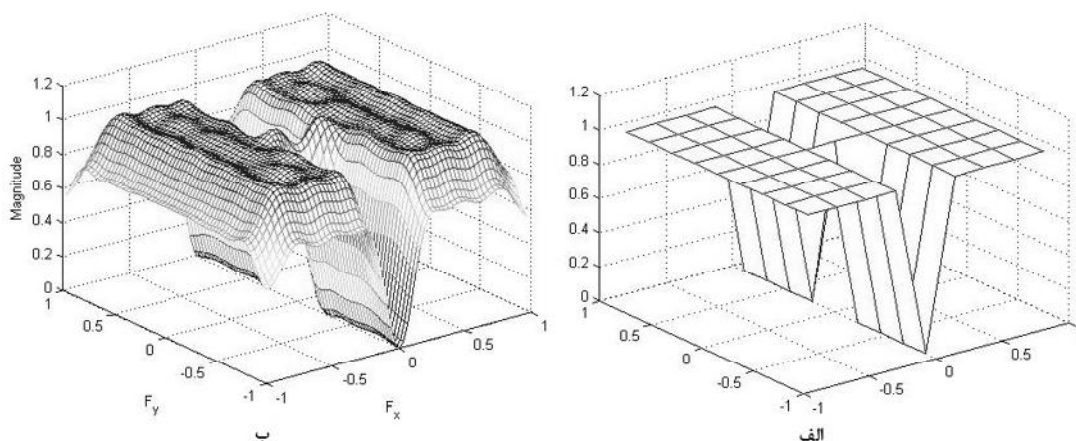


شکل ۲. منحنی پاسخ فرکانسی پالایه شکاف مستطیلی طراحی شده برای اصلاح نوفه نواری در شکل ۱

برابر صفر و در دیگر فرکانسها برابر یک باشد. پس از تعیین منحنی پاسخ فرکانسی پالایه ایده‌آل، نرم‌افزار هسته کانولوشن را در حوزه مکان محاسبه می‌کند. از مزایای این روش این است که می‌شود با افزایش ابعاد ماتریس مشخص‌کننده منحنی پاسخ فرکانسی پالایه ایده‌آل، میزان نوسان پالایه را کاهش داد. ماتریس زیر پنجره ۱۵ در ۱۵ پیکسل هسته کانولوشن طراحی شده برای اصلاح نوفه نواری در شکل ۱ را در حوزه مکان نشان می‌دهد. همچنین، در شکل ۳ منحنی پاسخ فرکانسی پالایه در دو حالت ایده‌آل و واقعی نمایش داده شده است.

د) پالایش تصویر در حوزه مکان  
Image Filtering in Spatial Domain (IFSD)  
در این روش همانند روش IFFD، برای شناسایی مؤلفه‌های نوفه از طیف فوریه تصویر استفاده شده است. پس از شناسایی این مؤلفه‌ها، برای حذف آنها از پالایه حوزه 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 پالایه ایده‌آل را به صورت ماتریسی برای نرم‌افزار مشخص کرد. این منحنی باید عکس مدل نوفه در طیف فوریه تصویر باشد. یعنی مقدار منحنی در فرکانس‌های مربوط به مؤلفه‌های نوفه

0	0	0	0	0	0	0	39	0	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	0	13	24	23	33	157	33	23	24	13	0	0	0	0
0	0	28	49	60	83	85	-77	85	83	60	49	28	0	0	0
0	12	26	33	55	57	76	281	76	57	55	33	26	12	0	0
0	30	46	80	98	134	139	-85	139	134	98	80	46	30	0	0
0	18	38	49	79	85	110	361	110	85	79	49	38	18	0	0
-91	-269	-205	-681	-494	-1105	-730	8450	-730	-1105	-494	-681	-205	-269	-91	×10 <sup>-4</sup>
0	18	38	49	79	85	110	361	110	85	79	49	38	18	0	0
0	30	46	80	98	134	139	-85	139	134	98	80	46	30	0	0
0	12	26	33	55	57	76	281	76	57	55	33	26	12	0	0
0	0	28	49	60	83	85	-77	85	83	60	49	28	0	0	0
0	0	0	13	24	23	33	157	33	23	24	13	0	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	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0



شکل ۳. الف) منحنی پاسخ فرکانسی پالایه ایده آل طراحی شده برای اصلاح نوفه در تصویر شکل ۱؛ ب) منحنی پاسخ فرکانسی پالایه واقعی طراحی شده 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. رابطه ریاضی هر یک از این پارامترها به ترتیب در روابط ۲ و ۶ تا ۱۰ آمده است.

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

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

$$MSE = RMSE^2 \quad \text{رابطه (۸)}$$

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

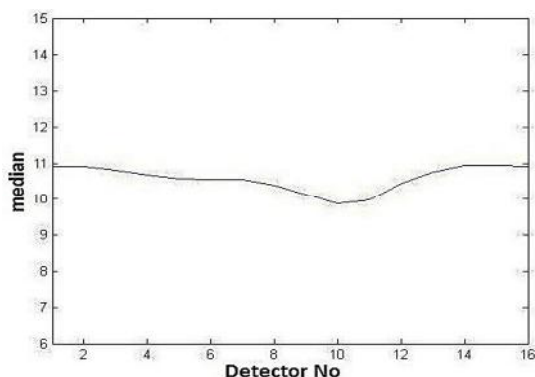
$$Relative - Error = \frac{RMSE}{\mu} \times 100 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

در این روابط  $\mu$  میانگین،  $x$  پیکسل‌های تصاویر مورد نظر،  $\sigma$  انحراف معیار و  $\max(i)$  بیشترین سطح کوانتاش را نشان می‌دهد.

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- شناسایی آشکارسازهای نوفه‌ای

در شکل ۴ نمودار میانه داده‌های آشکارسازها در باند ۴ سنجنده TM نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود و با توجه به فرضیات مطرح شده در بخش ۲-۲، آشکارسازهای ۸ تا ۱۲ به منزله منبع نوفه نواری شناسایی شدند.



شکل ۴. نمودار میانه داده‌های آشکارسازها در تصویر اخذ شده در باند ۴ سنجنده TM ماهواره لندست ۵

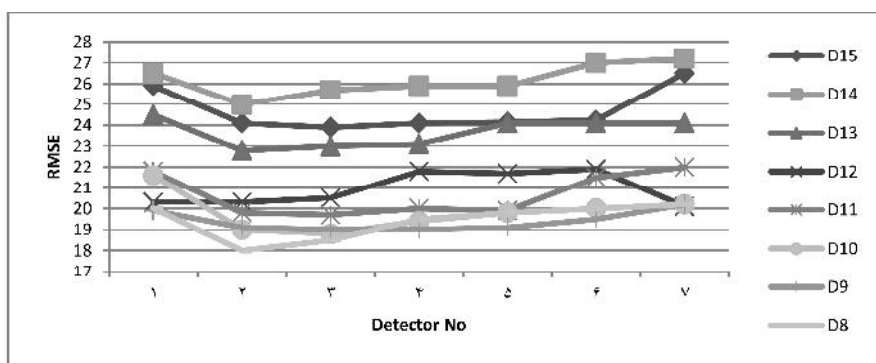
افزون بر این، برای بررسی بیشتر، RMSE آشکارسازهای ۸ تا ۱۵ به نسبت آشکارسازهای ۱ تا ۷ محاسبه شده است. برای بهتر دیده شدن تفاوت

میانۀ آشکارسازها آمده است. همان طور که در این نمودار پیداست و مقادیر محاسبه شده RMSE برای آشکارسازها نشان دادند، آشکارسازهای شماره ۸ تا ۱۲ عامل پیدایش نوفه نواری در تصویرند. در شکل های ۶(ج) و ۶(د)، به ترتیب، تصویر اصلاح شده و نمودار میانۀ آشکارسازها در تصویر اصلاح شده نشان داده شده است. همچنین، نتیجه آشکارسازی موقعیت نوارهای افقی موجود در تصویر، پیش و پس از حذف نوفه، در شکل ۶(ه) و ۶(ی) نشان داده شده است.

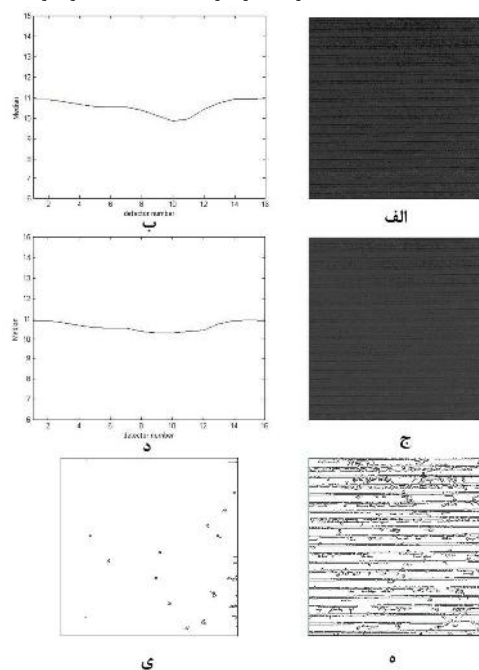
RMSE آشکارسازهای ۸ تا ۱۴ به نسبت دیگر آشکارسازها، نمودار RMSE آشکارسازها ترسیم و در شکل ۵ نشان داده شده است. این نمودار نتایج حاصل از شناسایی آشکارسازهای نوفه ای با استفاده از نمودار میانه را تصدیق می کند.

### ۳-۲- روش MM

نتیجه حاصل از اصلاح تصویر شکل ۱ به روش میانه در شکل ۶ نشان داده شده است. در شکل ۶(ب) نمودار



شکل ۵. نمودار RMSE آشکارسازهای ۸ تا ۱۵ به نسبت آشکارسازهای ۱ تا ۷. همان طور که دیده می شود، RMSE آشکارسازهای شماره ۸ تا ۱۲ به نسبت آشکارسازهای ۱ تا ۷ با RMSE دیگر آشکارسازها، به نسبت آشکارسازهای ۱ تا ۷ متفاوت است



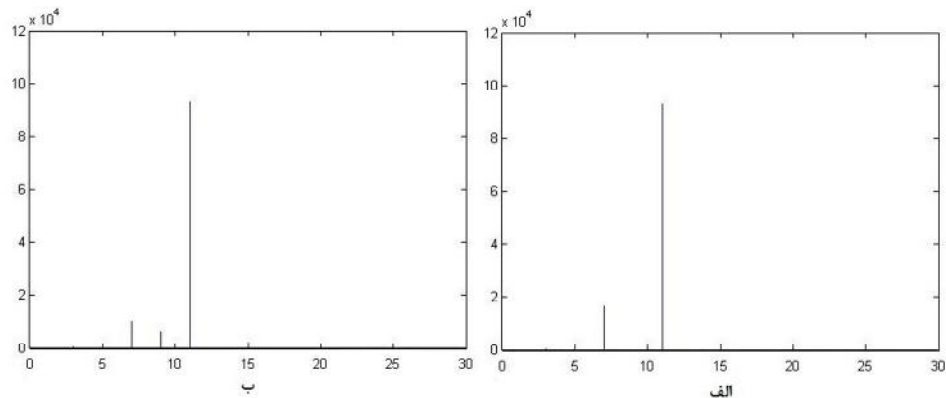
شکل ۶. الف) تصویر اولیه؛ ب) نمودار میانۀ آشکارسازها در تصویر اولیه؛ ج) تصویر اصلاح شده؛ د) نمودار میانۀ آشکارسازها در تصویر اصلاح شده؛ ه) نتیجه شناسایی موقعیت نوفه نواری در تصویر اولیه؛ ی) نتیجه شناسایی موقعیت نوفه نواری در تصویر اصلاح شده



### ۳-۳- روش MSMM

روش MSMM به تصویر نشان داده شده در شکل ۱ اعمال شد. در شکل ۸ نتیجه اصلاح تصویر و نوارهای آشکارسازی شده با استفاده از لبه یاب کانی نمایش داده شده است. همچنین، نمودار فراوانی تصاویر اولیه و اصلاح شده به ترتیب در شکل ۹ (الف) و ۹ (ب) نشان داده شده است.

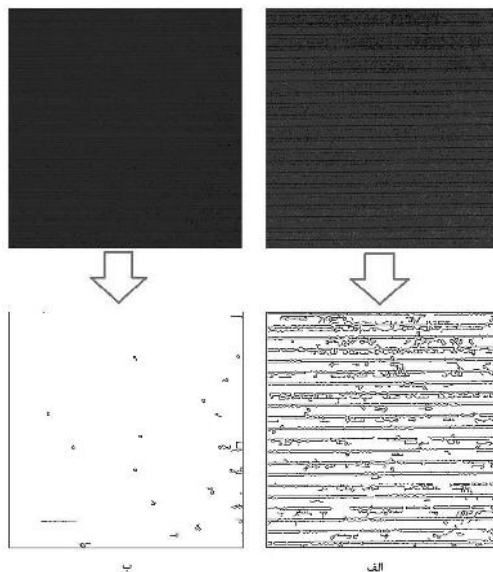
نمودارهای فراوانی تصاویر شکل ۶ (الف) و ۶ (ج) به ترتیب در شکل ۷ (الف) و ۷ (ب) نشان داده شده است. همچنین، در جدول ۱ نتایج محاسبه پارامترهای آماری برای تصویر اصلاح شده آورده شده است.



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

جدول ۱. نتایج محاسبه پارامترهای آماری برای تصویر اولیه (شکل ۶ (الف)) و تصویر اصلاح شده (شکل ۶ (ج))

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



شکل ۸. نتیجه اصلاح نوفه نوری به روش MSMM؛ الف) تصویر اولیه و نوارهای آشکارسازی شده در تصویر اولیه، ب) تصویر اصلاح شده و نوارهای آشکارسازی شده در تصویر اصلاح شده

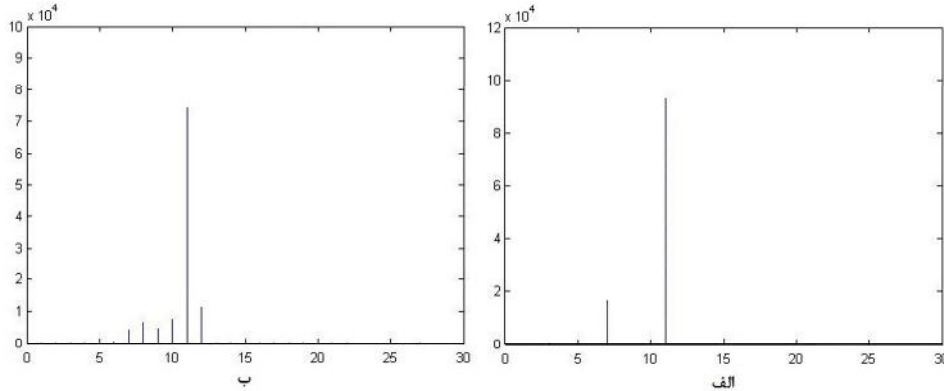
ارائه روشی برای اصلاح نوفه نواری آشکارسازها در تصاویر اخذشده ...

در شکل‌های ۱۰ (الف) و ۱۰ (ب) نشان داده شده است. افزون بر این، نوارهای آشکارسازی شده با استفاده از لبه‌یاب کانی در تصاویر اولیه و اصلاح‌شده در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

علاوه بر این، پارامترهای آماری تصویر اولیه و تصویر اصلاح شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

### ۳-۴- روش IFFD

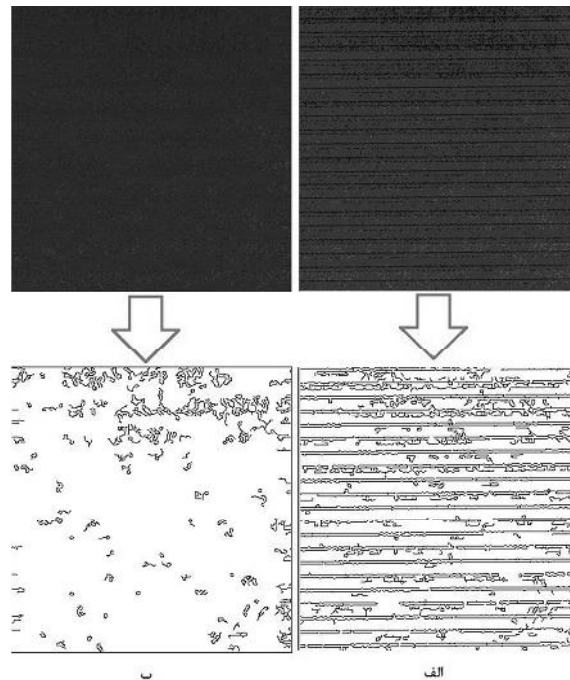
تصویر اولیه و نتیجه اصلاح آن به روش IFFD، به ترتیب



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

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

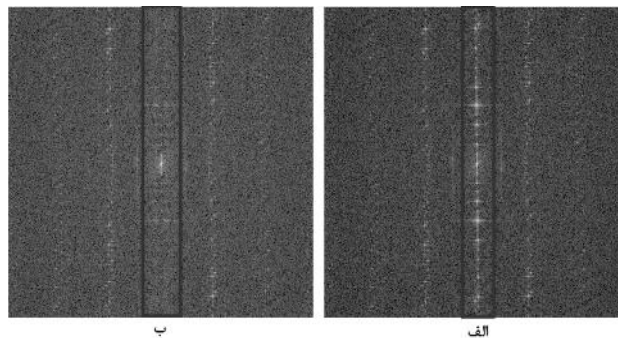
PSNR (dB)	RMSE	MSE	انحراف معیار تصویر اصلاح‌شده	میانگین تصویر اصلاح‌شده	انحراف معیار تصویر اولیه	میانگین تصویر اولیه
۵۱/۱۴	۰/۷	۰/۴۹	۱/۴۲	۱۰/۶۶	۱/۵۶	۱۰/۴۸



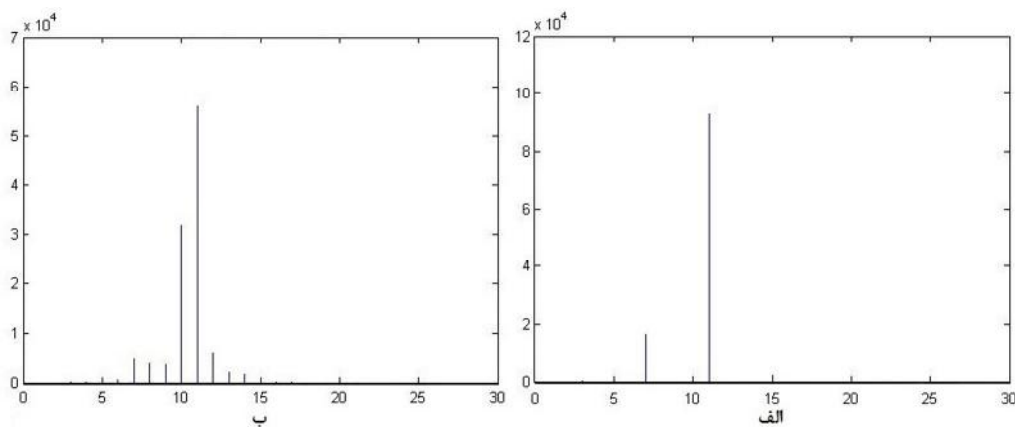
شکل ۱۰. نتیجه اصلاح نوفه نواری متناوب؛ الف) تصویر اولیه و نوارهای آشکارسازی شده در تصویر اولیه، ب) تصویر اصلاح‌شده و نوارهای آشکارسازی شده در تصویر اصلاح‌شده

نمودار فراوانی تصویر اولیه و اصلاح شده 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.

طیف فوریه 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 نقطه روشن وسط طیف مربوط به مؤلفه‌های فرکانس صفر تصویر است.



شکل ۱۱. الف) طیف فوریه تصویر شکل ۱۰ (الف، ب) طیف فوریه 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)

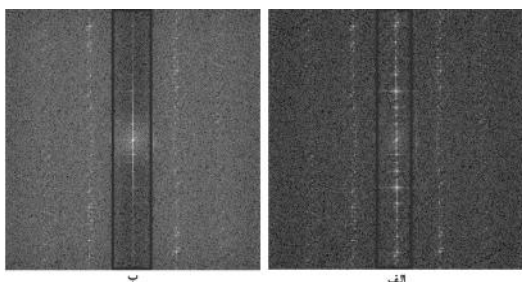
جدول ۳. نتایج محاسبه پارامترهای آماری برای تصاویر شکل ۱۰ (الف) و ۱۰ (ب)

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

در بخش ۲-۳ (د)، به تصویر شکل ۱ و نوارهای آشکارسازی شده پیش و پس از اصلاح تصویر، در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

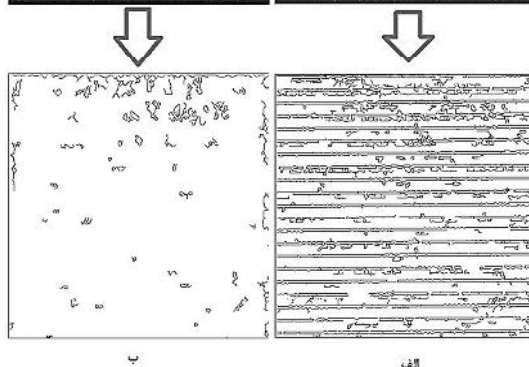
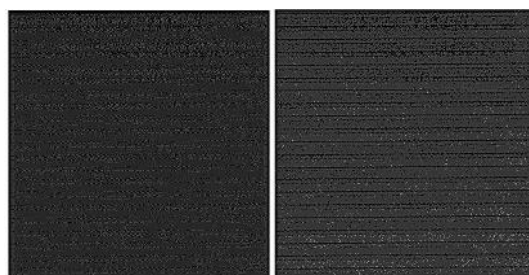
### ۳-۵- روش IFSD

یکی دیگر از روش‌های پیشنهادی استفاده از روش IFSD است. نتیجه اعمال پالایه حوزه مکان پیشنهادی



شکل ۱۴. طیف فوریه تصویر اولیه (الف)،  
طیف فوریه تصویر اصلاح شده (ب)

افزون بر این، نمودار فراوانی مربوط به تصویر اولیه و تصویر اصلاح شده در شکل ۱۵ نشان داده شده است. همچنین، برای بررسی بیشتر مشخصه‌های آماری تصویر قبل و پس از اصلاح به روش IFSD در جدول ۴ نشان داده شده است.

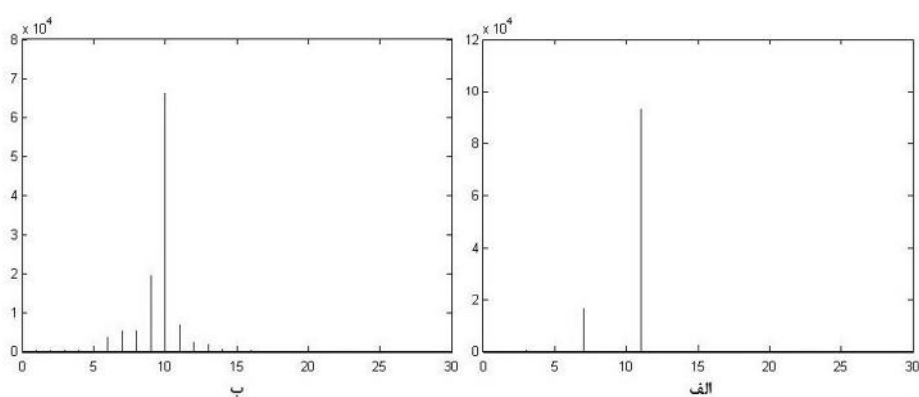


شکل ۱۳. نتیجه اصلاح نوفه نواری با استفاده از پایایه حوزه مکان؛  
تصویر اولیه و نوارهای آشکارسازی شده در تصویر اولیه (الف)، تصویر  
اصلاح شده و نوارهای آشکارسازی شده در تصویر اصلاح شده (ب)

### ۳-۶- نتایج اصلاح تصویر شبیه سازی شده برای نوفه نواری

در این بخش، روش‌های ارائه شده در بخش ۲-۳ به تصویری شبیه سازی شده برای نوفه نواری اعمال شده و خطای نسبی بین تصویر اولیه و تصاویر اصلاح شده محاسبه شده است. این تصاویر در شکل ۱۶ نمایش داده شده‌اند. در تصویر شکل ۱۶ (ب) آشکارساز فرضی شماره ۱۴ به منزله منبع نوفه در نظر گرفته شده است.

طیف فوریه تصویر، قبل و پس از اصلاح به روش 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.



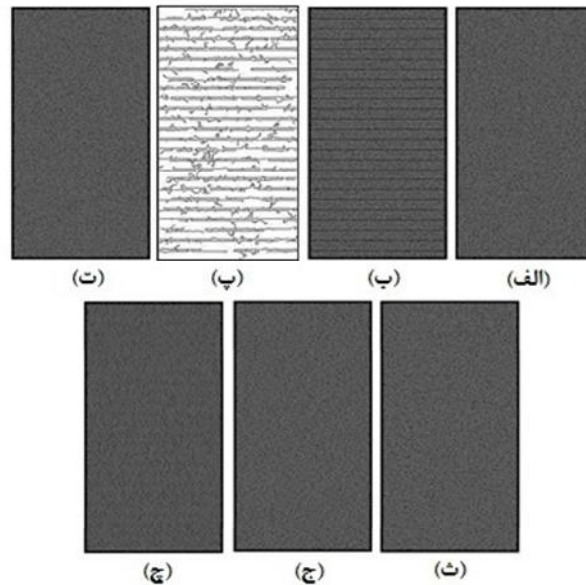
شکل ۱۵. الف) نمودار فراوانی تصویر شکل ۱۳ (الف)، ب) نمودار فراوانی تصویر شکل ۱۳ (ب)

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

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

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

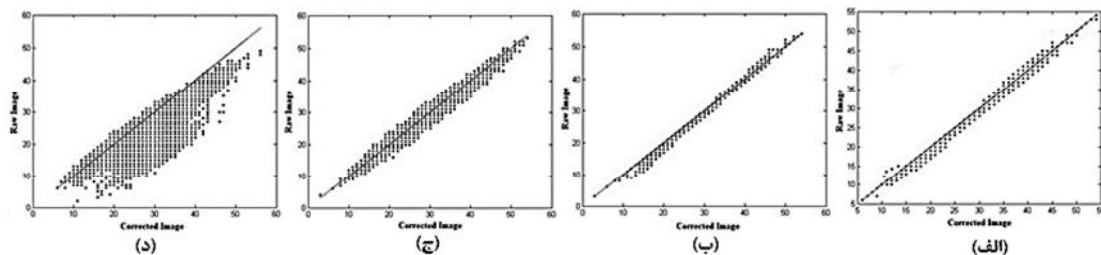
در جدول ۵ نتایج محاسبه خطای نسبی بین تصویر شکل ۱۶ (الف) و تصاویر اصلاح شده (شکل‌های ۱۶ (پ) تا ۱۶ (ج)) نشان داده شده است. رابطه خطای نسبی بر حسب درصد در معادله ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۶. الف) تصویر اولیه، ب) تصویر شبیه‌سازی شده برای نوفه نوری، پ) نوارهای آشکارسازی شده در شکل (ب)، ت) تصویر اصلاح شده به روش MM، ث) تصویر اصلاح شده به روش MSMM، ج) تصویر اصلاح شده به روش IFSD، د) تصویر اصلاح شده به روش IFSD

جدول ۵. نتایج محاسبه خطای نسبی بین تصویر نشان داده شده در شکل ۱۶ (الف) و تصاویر اصلاح شده با استفاده از روش‌های پیشنهاد شده در این پژوهش (تصاویر نشان داده شده در شکل‌های ۱۶ (ت) تا ۱۶ (د))

IFSD	IFFD	MSMM	MM
۱۴/۰۵	۴/۱۱	۰/۹۷	۰/۷



شکل ۱۷. الف) نمودار پراکندگی پیکسل‌ها بین تصاویر شکل ۱۶ (الف) و ۱۶ (ت)، ب) نمودار پراکندگی پیکسل‌ها بین تصاویر شکل ۱۶ (الف) و ۱۶ (پ)، ج) نمودار پراکندگی پیکسل‌ها بین تصاویر شکل ۱۶ (الف) و ۱۶ (د)، د) نمودار پراکندگی پیکسل‌ها بین تصاویر شکل ۱۶ (الف) و ۱۶ (ج).

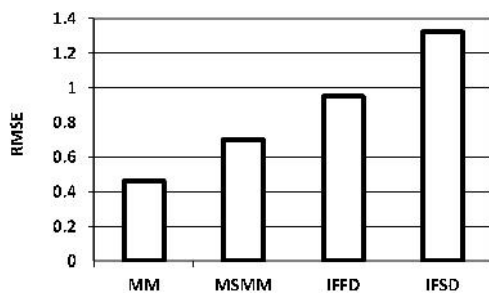
۴- بحث

۴-۱- بررسی اثربخشی روش‌های ارائه شده در

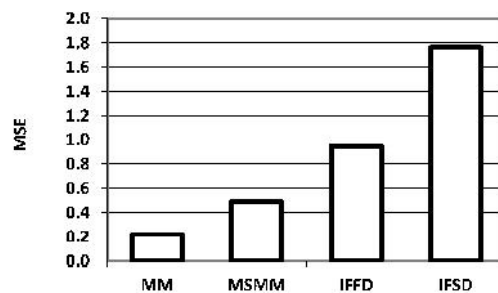
اصلاح نوفه نواری

نخستین هدف در این مطالعه اصلاح نوفه نواری در تصاویر اخذ شده به وسیله سنجنده TM ماهواره لندست ۵ است. بررسی بصری تصاویر و مقایسه 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 شبیه‌سازی شده و پراکندگی نقاط در نمودارهای پراکندگی حول نیمساز ربع اول نشان از مؤثر بودن روش‌های پیشنهادی در اصلاح نوفه نواری دارد. همچنین، بررسی طیف فوریه تصاویر در روش‌های IFSD و IFSD، قبل و پس از اصلاح، نشان‌دهنده حذف

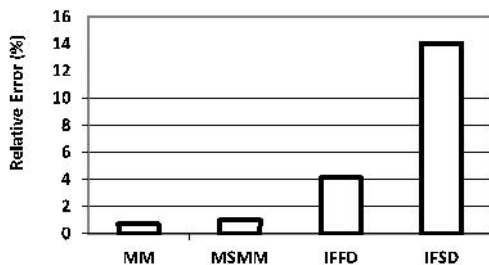
مؤلفه‌های نوفه در تبدیل فوریه تصویر و به تبع آن، حذف نوارشدگی‌ها از تصویر است. نوآوری‌های ارائه شده در این مطالعه اصلاح نسبی نوفه نواری در روش‌های MM و MSMM و همچنین، ایجاد پالایه‌های حوزه فرکانس و حوزه مکان با کمترین نوسان، با استفاده از تابع پاسخ فرکانسی پالایه شکاف مستطیلی و روش پنجره‌سازی در MATLAB است. همان‌طور که در بخش‌های ۲-۲ و ۳-۲ توضیح داده شد، برای اصلاح نسبی نوفه 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 حوزه فرکانس و حوزه مکان موجب می‌شود پالایه در مؤلفه‌های فرکانسی اصلی تصویر تأثیر اندکی داشته باشد.



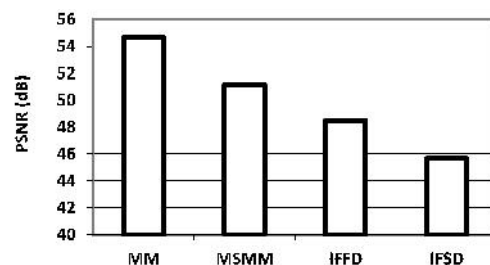
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

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

#### ۴-۲- مقایسه 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 نوفه‌ی 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 نوفه مخرب را بیان می‌کند. افزون بر این، میانگین مربعات خطا (MSE) یک برآوردگر، میانگین مربعات را اندازه‌گیری می‌کند. همچنین، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) انحراف معیار تفاوت بین مقدارهای پیش‌بینی شده و مقدارهای حاصل را نشان می‌دهد. میزان MSE و RMSE کوچک و PSNR بزرگ نشان‌دهنده 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 همچنین بالا بودن مقدار به‌دست‌آمده برای PSNR در روش MM دقت بالای این روش را، در مقایسه با دیگر روش‌ها، در اصلاح نوفه‌ی 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 نوفه‌ی نواری از دیگر روش‌ها ضعیف‌تر بوده است.

#### ۴-۲- مقایسه نتایج حاصل با کارهای دیگران

در این بخش، بین روش‌های ارائه‌شده در این تحقیق برای اصلاح نوفه‌ی نواری متناوب و روش ارائه‌شده از سوی سرینواسان و همکاران (۱۹۸۸) مقایسه‌هایی صورت گرفته است. آنها برای اصلاح نوفه‌ی نواری در تصاویر لندست از روش پالایش طیف توان استفاده

کرده‌اند. پالایش طیف توان روشی پرکاربرد در اصلاح نوفه‌ی نواری متناوب در تصاویر ماهواره‌ای است که محققان برای اصلاح تصاویر ماهواره‌ای به کار می‌برند. این روش به تصویر شکل ۱ اعمال شده که نتیجه محاسبه MSE، RMSE و PSNR در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. نتیجه محاسبه MSE و PSNR برای روش ارائه‌شده از سوی سرینواسان و همکاران (۱۹۸۸)

PSNR (dB)	RMSE	MSE
۴۱/۹۵	۲/۰۵	۴/۲۱

با توجه به مقدارهای MSE و PSNR به‌دست‌آمده برای روش یادشده و مقایسه آنها با نتایج حاصل شده در بخش ۳، می‌شود نتیجه گرفت که دقت روش‌های پیشنهادی در این پژوهش از روش سرینواسان و همکارانش (۱۹۸۸) بیشتر است. برای اثبات این ادعا، روش ارائه‌شده مورد نظر به تصویر شبیه‌سازی شده 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، در مقایسه با روش سرینواسان و همکاران نشان می‌دهد.

#### ۵- نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر، روش‌هایی برای اصلاح نوفه‌ی نواری در تصاویر دریافتی به‌وسیله سنجنده TM ماهواره لندست ۵ ارائه شد. برای سنجش کمی نتایج حاصل از اصلاح تصویر واقعی، از پارامتر MSE و PSNR استفاده شد. مقدارهای به‌دست‌آمده PSNR برای روش‌های MM، MSMM، IFSD و IFFD به ترتیب برابر با ۵۴/۶۶، ۵۱/۱۴، ۴۸/۴۷ و ۴۵/۶۵ دسی‌بل است. افزون بر این، برای سنجش کمی نتایج حاصل از اصلاح تصویر شبیه‌سازی شده از پارامتر خطای نسبی استفاده شد. مقدارهای به‌دست‌آمده خطای نسبی برای روش‌های

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

MM, MSMM, IFFD و IFSD به ترتیب ۰/۷، ۰/۹۷، ۴/۱۱ و ۱۴/۰۵ درصد است. با توجه به نتایج حاصل از اصلاح تصویر باند ۴ سنجنده TM و همچنین، تصویر شبیه‌سازی شده برای نوفه نواری و مقدارهای به دست آمده برای PSNR و خطای نسبی، ثابت شد که روش‌های MM و MSMM از روش‌های IFFD و IFSD دقت بیشتری دارند. دلیل این را می‌شود به اصلاح نسبی نوفه نواری در روش‌های MM و MSMM نسبت داد. در این روش‌ها سعی می‌شود که رفتار آشکارسازهای نوفه‌ای در برابر آشکارسازهای سالم تصحیح شود. بنابراین، فقط داده‌های اخذشده به وسیله آشکارسازهای نوفه‌ای تحت تأثیر الگوریتم اصلاح قرار می‌گیرند که این امر موجب کاهش MSE و افزایش PSNR می‌شود. این در حالی است که در روش‌های IFFD و IFSD سراسر تصویر تحت تأثیر الگوریتم اصلاح قرار می‌گیرد که خود موجب افزایش MSE و کاهش PSNR در مقایسه با روش‌های MM و MSMM می‌شود. افزون بر این، نتایج حاصل از اصلاح تصویر شکل ۱ و تصویر شبیه‌سازی شده به روش IFFD و IFSD نشان دهنده برتری IFFD به IFSD در اصلاح نوفه نواری است. دلیل آن را می‌شود به نوسان پایین منحنی پاسخ فرکانسی پالایه حوزه فرکانس و نیز، لبه‌های تیز آن نسبت داد که در نتیجه آن تأثیرگذاری پالایه در مؤلفه‌های فرکانسی محتویات اصلی تصویر کاهش می‌یابد. این در حالی است که در پالایش حوزه مکان، افزون بر محتویات مؤلفه‌های فرکانسی نوفه، پالایه در مؤلفه‌های فرکانسی محتویات 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.