



حذف نوارشده‌گی ناشی از نقص آشکارساز شماره ۴ از تصاویر باند ۵ سنجنده مادیس

محمد رضا مبایشی^{۱*}، سیما جعفری^۲

۱- استاد گروه مهندسی سنجش از دور، مؤسسه آموزش عالی خاوران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق-مخابرات مؤسسه آموزش عالی خاوران

چکیده:

سنجنده مادیس یک سنجنده ابرطیفی است که بر سکوهای ترا و آکوا نصب شده و هر یک الی دو روز یک بار از تمام سطح زمین در ۳۶ باند طیفی تصویربرداری می‌کند. تصاویر سنجنده مادیس با وجود قدرت تفکیک مکانی نسبتاً کم، کاربردهای بسیاری دارد. لذا برای دسترسی به اطلاعات موجود در تصاویر این سنجنده، نیازمند روش‌هایی برای حذف نویفه و بهبود تصاویر می‌باشیم. با گذشت زمان برخی از آشکارسازهای این سنجنده دچار اخلال شده و برخی دیگر از کار افتاده‌اند. بهمین دلیل در تصاویر دریافتی توسط این سنجنده نوارشده‌گی به صورت یک الگوی متناوب در سرتاسر تصویر دیده می‌شود. با توجه به کاربردهای وسیع تصاویر ماهواره‌ای در سنجش از دور، در این مقاله با استفاده از کمیت بازتابندگی به ارائه مدلی خطی برای حذف نوارشده‌گی از داده‌های این سنجنده اشاره شده است. در این روش اصلاح نویفه به صورت نسبی انجام می‌پذیرد و از آنجا که این روش تنها بر روی نویفه تأثیر گذاشته و بر روی قسمت‌های فاقد نویفه اثری ندارد، انتظار می‌رود که از دقت بالایی برخوردار باشد.

واژه‌های کلیدی: نوارشده‌گی، آشکارساز، مادیس، سنجش از دور.

۱- مقدمه

وجود نوشه در آشکارسازهای تعییه شده در سنجنده مادیس، باعث تخریب اطلاعات می‌شود. یکی از دلایل عمدۀ به وجود آمدن نوشه نوارشدگی در تصاویر ماهواره‌ای، آسیب‌دیدگی و بعض‌واسنجی نامناسب آشکارسازها می‌باشد. لذا برای هرگونه استفاده مفید از اطلاعات موجود در تصاویر دریافتی توسط سنجنده، باید ابتدا نوشه موجود در تصاویر برطرف شود. این نوشه می‌تواند به کوچکی چند درصد سیگنال و بزرگی از کارافتادگی کامل یک یا چند آشکارساز در یک یا چند باند باشد. در تصاویر ماهواره‌ای برداشت شده توسط سنجنده مادیس، هر سطر توسط یک آشکارساز برداشت می‌شود. حال اگر مقدار ضربی بهره^۱ و خروج از مبدأ^۲ آشکارسازهای مجاور نسبت به یکدیگر متفاوت از واسنجی قبل از پرواز باشند، الگوهای نواری در تصویر به وجود می‌آید. ضربی بهره و خروج از مبدأ، شاخص‌های واسنجی سنجنده می‌باشند. در واقع واسنجی عمل تبدیل داده‌های رقومی موسوم به DN^۳ به واحدهای مطلق از رادیانس طیفی در داخل سنجنده‌است. این تبدیل به صورت زیر تعریف می‌شود (رابطه (۱)):

$$\text{Radiance} = (\text{DN} \times \text{Gain}) + \text{Offset} \quad (1)$$

۲- نوشه آشکارسازهای سنجنده مادیس

از زمان پرتاب ترا و آکوا، کارهای زیادی برای ارزیابی کیفیت اطلاعات مادیس انجام شده است [۱]. اگر نوشه نوارشدگی اصلاح نشود، کیفیت تصویر را پایین می‌آورد و نویز زیادی را هنگام پردازش اطلاعات وارد می‌کند. گامی در سال ۲۰۰۲ بیان کرد که داده‌های مادیس تحت تأثیر سه نوع نوشه نوارشدگی آشکارساز به آشکارساز^۴، نوارشدگی آینه‌ای (باندی)^۵ و نوارشدگی نوشه‌ای^۶ قرار می‌گیرند [۱].

نوارشدگی آشکارساز به آشکارساز به وسیله یک الگوی مشخص و نوارشدگی تکراری (یکنواخت) در سرتاسر تصویر مشخص می‌شود. این نوع خطوط بیشتر از طریق بهره نسبی یا تفاوت‌های خروج از مبدأ در میان آشکارسازهای یک باند ایجاد می‌شوند [۲]. نوارشدگی آینه‌ای (باندی) تغییر ناگهانی سطح بایاس در همه آشکارسازهای است. این تغییر هنگام چرخش آینه اسکن ایجاد شده و میزان این تغییر تا حدودی ثابت است [۳]. نوارشدگی نوشه‌ای به دلیل خطاهای کوچک در سیستم واسنجی داخلی، تغییرات در پاسخ آشکارسازها، و نویز اتفاقی ایجاد می‌شوند. در اطلاعات سنجنده-مادیس، نوارشدگی نوشه‌ای بیشتر در باند حرارتی ایجاد شده و با گذشت زمان بدتر می‌شوند [۳].

۳- شناسایی آشکارسازهای نوشه‌ای

مادیس در هر مجموعه سعی در بهبود آشکارسازهای ناسالم داشته است و برای هر مجموعه جدولی را ارائه می‌دهد که در آن شماره آشکارسازهای از کار افتاده، غیر کاربردی و ناسالم مشخص شده است. جدول (۱) آخرین وضعیت آشکارسازهای مادیس را در تاریخ ۲۰۱۳/۵/۳۱ در مجموعه ۶ نشان می‌دهد [۴]. طبق این گزارش مشخص شد آشکارساز^۴ از باند ۵ این سنجنده از کار افتاده است.

¹. Gain

². Offset

³. Digital Number

⁴. Detector-to-Detector Stripes

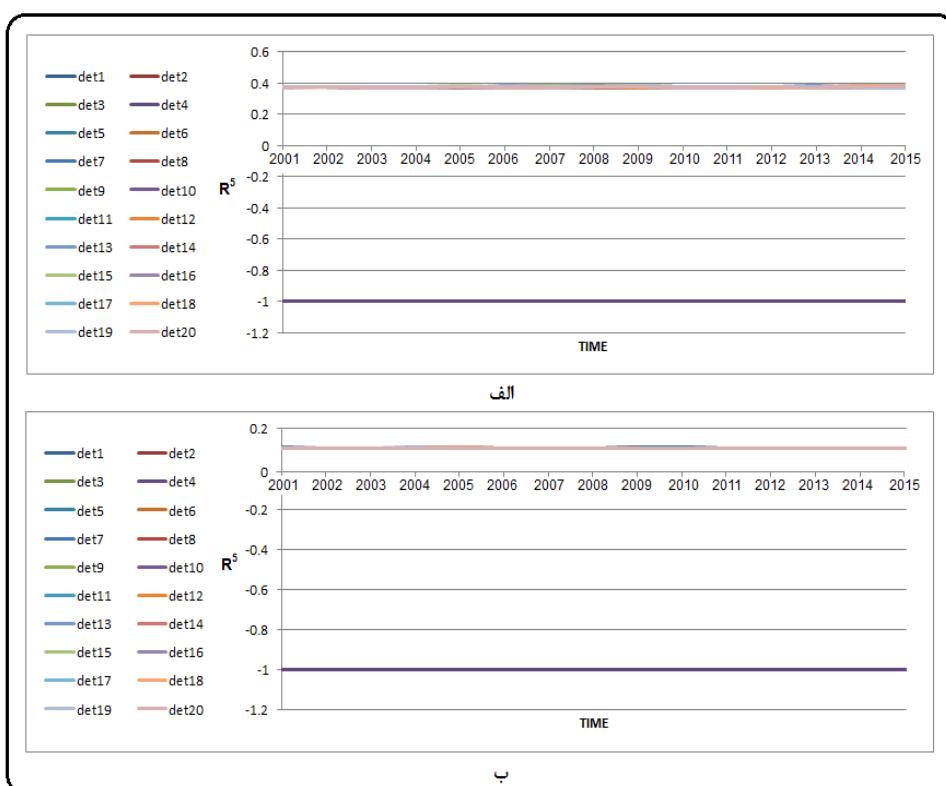
⁵. Mirror Side Stripes (Banding)

⁶. Noisy Stripes

جدول ۱: آخرین وضعیت آشکارسازهای مادیس به تفکیک باند در مجموعه ۶

			Terra QA Collection 6 LUT Update					
QA LUT Version #	Update Date	Time Stamp	Non-Functional Detectors (QA bit 1) (Product Order)	Noisy Detectors (QA bit 0) (Product Order)	Band/Detector # (sf = subframe)	Out-of-family Detectors (QA bit 2) (Product Order)	Band/Detector #	
V6.1.14.12	05/31/2013	2013125.1740	5/4 29/6	2/29,30/sf1 27/1,2,3,6,8 28/1,8,9,10 30/1,3,5,7,8 33/1 34/6,7,8	36/ All	5/4 21/1 22/7,8 23/10 28/2,3,8,10 30/8 33/1		

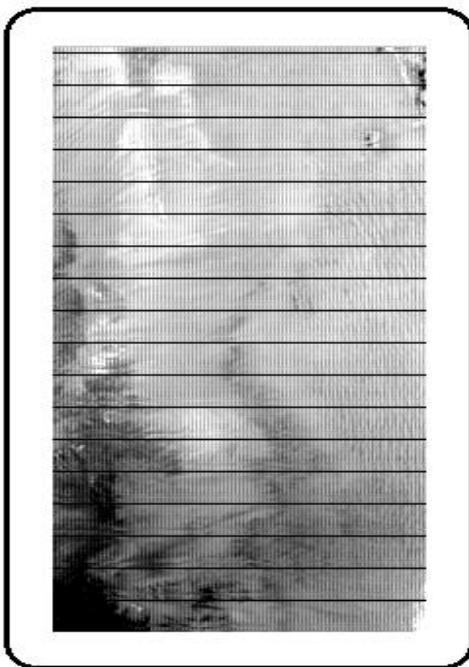
با استفاده از این گزارش و رسم نمودار بازتابندگی طی دوره کاری این سنجنده می‌توان رفتار آشکارسازهای آن را در باند ۵ بررسی کرد. برای شناسایی آشکارسازهایی که دچار نوفه نوارشده‌گی شده‌اند، چنین فرض می‌شود که اولین ردیف از تصویر اصلی توسط اولین آشکارساز سنجنده مادیس تولید می‌شود. از آنجا که باند ۵ دارای قدرت تفکیک ۵۰۰ متر می‌باشد، تصویر توسط یک ردیف ۲۰ تایی از آشکارسازها برداشت می‌شود به این معنا که با هر اسکن آینه، ۲۰ خط تصویر به طور همزمان شکل می‌گیرد[۵]. این آشکارسازها در جهت پرواز سنجنده در کنار هم قرار گرفته‌اند و در هر برداشت یک آرایه خطی توسط هریک از آنها ثبت می‌شود[۶]. با رسم نمودار بازتابندگی، مشاهده می‌شود برای سطحی همگن، رفتار آشکارساز شماره ۴ از این سنجنده در باند ۵ با بقیه آشکارسازها متفاوت بوده و به‌نظر می‌رسد دچار مشکل است. بنابراین می‌توان آشکارساز شماره ۴ را به عنوان آشکارساز از کار افتاده در باند ۵ معرفی نمود. شکل (۱) نمودار بازتابندگی آشکارسازهای باند ۵ را طی ۱۵ سال از سطح بیابان و آب عمیق نمایش می‌دهد.



شکل ۱: بازتابندگی آشکارسازهای باند ۵ سنجنده مادیس طی ۱۵ سال (الف) از سطح بیابان، (ب) از سطح آب عمیق. همانگونه که مشاهده می‌شود رفتار بازتابندگی آشکارساز شماره ۴ نسبت به سایر آشکارسازها متفاوت است.

۴- داده‌های مورد استفاده

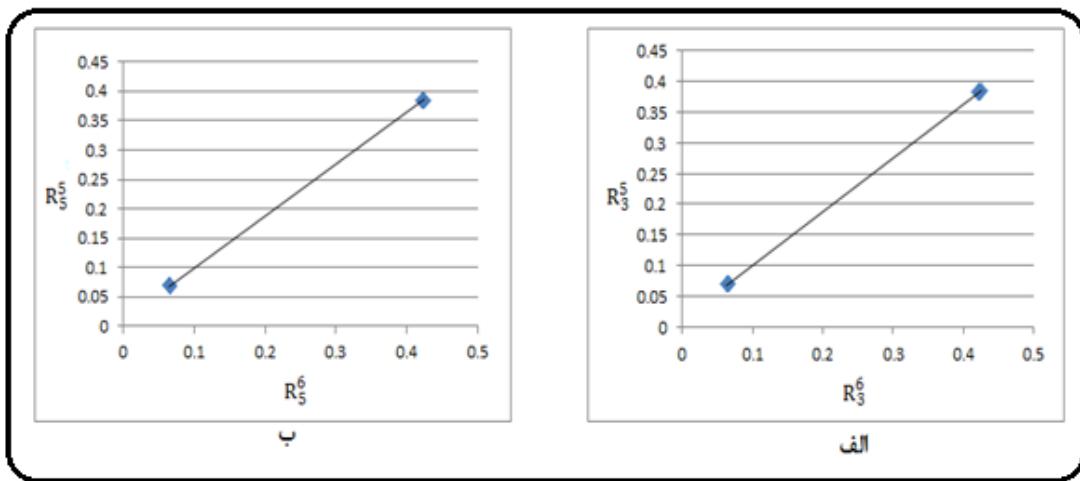
در این مقاله، از تصاویر سطح 1B سنجنده مادیس استفاده شده است. داده‌های سطح 1B همان داده‌های سطح 1A هستند که از لحاظ هندسی و رادیومتریک تصحیح شده‌اند [۷]. در شکل (۲) تصویر برداشت شده توسط سنجنده مادیس در ۲ جولای ۲۰۱۵ در باند ۵ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود نوارشدنگی به صورت یک الگوی متناوب در سرتاسر تصویر دیده می‌شود و بیان کننده این امر است که آشکارساز شماره ۴ باند ۵ این سنجنده دچار مشکل شده است.



شکل ۲: تصویر گرفته شده توسط سنجنده مادیس در ۲ جولای ۲۰۱۵ (باند ۵). همانگونه که مشاهده می‌شود نوارشدنگی به صورت یک الگوی متناوب در سرتاسر تصویر دیده می‌شود.

۵- روش حذف نوارشدنگی

در محصولات سطح 1B مادیس، پیکسل‌های مربوط به آشکارسازهای از کارافتاده توسط پیکسل‌های همسایه پر شده‌اند. این اقدام تنها از نظر بصری تصویر را بهبود می‌بخشد و در مناطق همگن که پیکسل‌های مجاور دارای مقادیر مشابه هستند، مشکلی ایجاد نمی‌کند اما در صورتی که پوشش پیکسل‌های اطراف متفاوت باشد، مقادیر پیکسل‌ها دچار خطا شده و در الگوریتم‌ها مشکل ایجاد می‌کند. بنابراین استفاده از پیکسل‌های همسایه روش مناسبی به نظر نمی‌آید. در این مقاله برای بازیابی آشکارساز شماره ۴ باند ۵، از باند ۶ که از منطقه موردنظر برداشت کرده و دارای قدرت تفکیک یکسان با باند ۵ است، استفاده می‌شود. شکل (۳) رابطه بین آشکارسازهای باند ۵ را با آشکارسازهای متناظر در باند ۶ در مناطق زمینی (کویر و آب عمیق) نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، بین آشکارسازهای متناظر این باندها رابطه‌ای خطی برقرار است.



شکل ۳: (الف) رابطه خطی بین آشکارساز شماره ۳ باند ۵ و آشکارساز متناظر در باند ۶، (ب) رابطه خطی بین آشکارساز شماره ۵ باند ۵ و آشکارساز متناظر در باند ۶

جدول (۲) به ترتیب رابطه خطی بین آشکارسازهای ۳ و ۵ و آشکارسازهای متناظر در باند ۶ را نشان می‌دهد. در این جدول منظور از R_y^x بازتابندگی آشکارساز شماره y در باند x می‌باشد. به عبارت دیگر R نشان‌دهنده بازتابندگی، x شماره باند و y شماره آشکارساز می‌باشد. A و B نیز بیانگر ضرائب تصحیح مدل خطی می‌باشند.

جدول ۲: رابطه بین آشکارساز شماره ۳ و ۵ باند ۵ و آشکارسازهای متناظر در باند ۶

	A	B
$R_3^5 = 0.8787 R_3^6 + 0.0119$	۰/۸۷۸۷	۰/۰۱۱۹
$R_5^5 = 0.8798 R_5^6 + 0.0119$	۰/۸۷۹۸	۰/۰۱۱۹

در مرحله بعد بین آشکارساز شماره ۳ باند ۵ و آشکارساز شماره ۴ باند ۶ رابطه‌ای خطی به دست می‌آید که با استفاده از آن می‌توان نسبت به اصلاح نوافه اقدام نمود. برای بررسی بیشتر می‌توان از رابطه بین آشکارساز شماره ۵ باند ۵ و آشکارساز شماره ۴ باند ۶ نیز برای بازیابی آشکارساز از کارافتاده باند ۵ بهره جست. در جدول (۳) رابطه بین آشکارساز شماره ۳ باند ۵ و آشکارساز شماره ۴ باند ۶ و همچنین رابطه بین آشکارساز شماره ۵ باند ۵ و آشکارساز شماره ۴ باند ۶ آمده است.

جدول ۳: رابطه بین آشکارساز شماره ۳ و ۵ باند ۵ و آشکارساز شماره ۴ در باند ۶

معادله اصلاح	A	B
$R_3^5 = 0.8772 R_4^6 + 0.0118$	۰/۸۷۷۲	۰/۰۱۱۸
$R_5^5 = 0.8806 R_4^6 + 0.0117$	۰/۸۸۰۶	۰/۰۱۱۷

از آنجاکه بازتابندگی در سطح بیابان و آب عمیق به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار بوده و سطوح دیگر با پوشش‌های مختلف بین این دو مقدار قرار دارند، بنابراین می‌توان انتظار داشت معادله اصلاح برای تمام سطوح قابل و یا هر نوع پوششی استفاده باشد.

۶- نتایج و تجزیه و تحلیل

برای ارزیابی نتایج به دست آمده از روش ارائه شده، از ریشه میانگین مربعات خطای موسوم به ^۱ RMSE و خطای نسبی استفاده شده است که روابط آنها در زیر آمده است [۸] (رابطه های ۲ و ۴).

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

که در آن x_i تصویر اولیه، y_i تصویر اصلاح شده و N تعداد پیکسل ها را نشان می دهد. خطای نسبی از تقسیم مقدار RMSE بر میانگین به دست می آید.

$$\text{Average} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{Relative error} = \frac{\text{RMSE}}{\text{Average}} \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

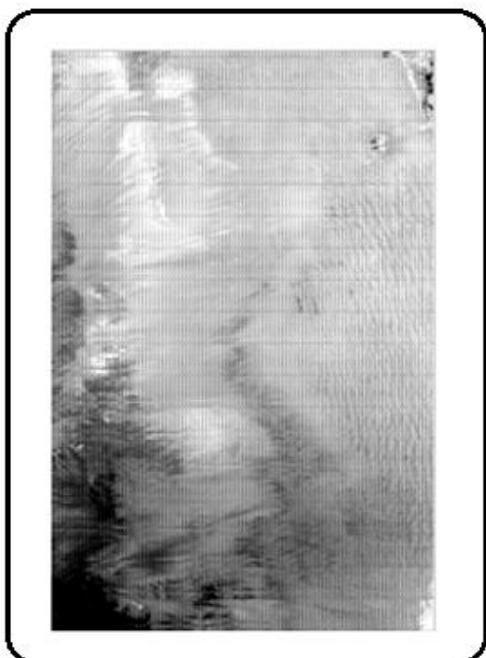
برای این منظور یکی از آشکارسازهای سالم باند ۵ (به عنوان مثال آشکارساز شماره ۱۰) عملاً از کارافتاده فرض شد و مقدار شبیه سازی شده آن با استفاده از معادلات اصلاح ذکر شده در جدول (۳) به دست آمد. نتیجه محاسبات و خطای نسبی در جدول (۴) آمده است.

جدول ۴: نتایج حاصل از محاسبات RMSE و خطای نسبی

خطای نسبی (درصد)	RMSE	
۴/۲	۰/۰۱۶	استفاده از رابطه خطی بین آشکارساز شماره ۳ از باند ۵ و آشکارساز شماره ۴ از باند ۶
۴/۵	۰/۰۱۷	استفاده از رابطه خطی بین آشکارساز شماره ۵ از باند ۵ و آشکارساز شماره ۴ از باند ۶

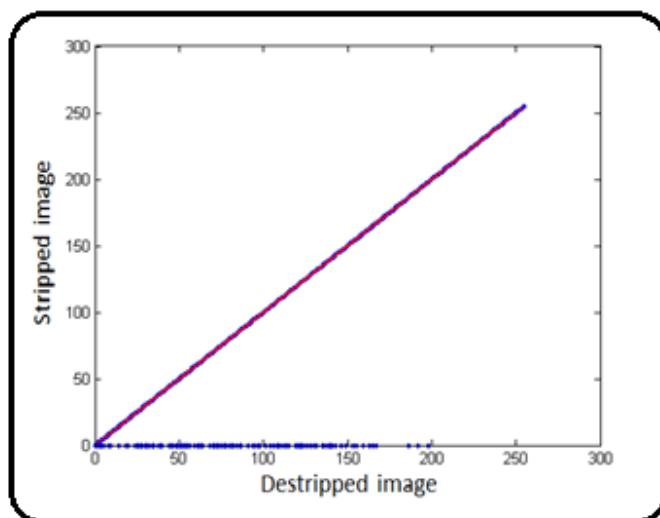
همان گونه که در جدول (۴) مشاهده می شود پایین بودن مقادیر RMSE و خطای نسبی نشان دهنده بهبود تصویر می باشد که این امر به خصوص هنگام استفاده از رابطه خطی بین آشکارساز شماره ۳ از باند ۵ و آشکارساز شماره ۴ از باند ۶ از نتیجه مطلوب تری برخوردار است بنابراین از این معادله برای اصلاح نوارشدنگی استفاده می کنیم. با اعمال معادله تصحیح ذکر شده بر روی تصویر اولیه، مشاهده می شود که نتایج پیکسل های آشکارساز از کارافتاده تا حدودی بهبود یافته است. شکل (۴) نتیجه اصلاح نوارشدنگی شکل با استفاده از معادله تصحیح را نشان می دهد.

^۱. Root Mean Square Error



شکل ۴: نتیجه اصلاح نوارشده‌گی با استفاده از معادله تصحیح

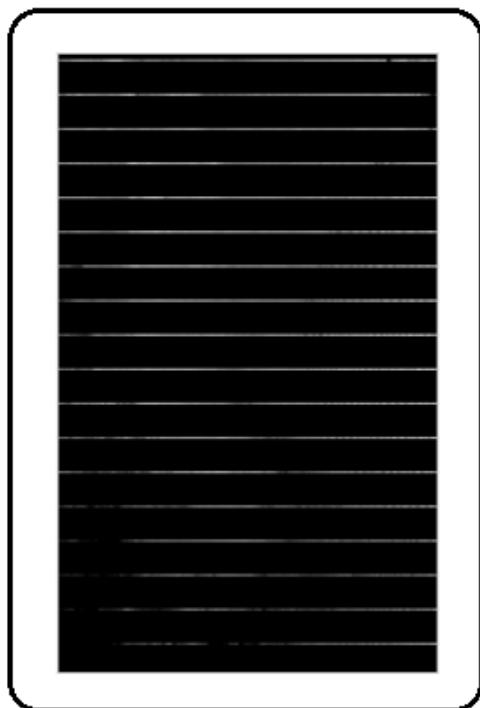
در شکل (۵) نمودار پراکندگی پیکسل‌ها بین تصویر اولیه (شکل (۲)) و تصویر اصلاح شده (شکل (۴)) در باند ۵ نشان داده شده است. از آنجا که این روش تنها بر روی نویفه تأثیر می‌گذارد و روی قسمت‌های فاقد نویفه اثری ندارد بنابراین برای قسمت‌های فاقد نویفه پراکندگی نقاط دقیقاً روی نیمساز ربع اول می‌باشد اما قسمت‌هایی که قبل از اصلاح دارای مقادیر صفر بوده‌اند، بعد از اعمال مدل دارای مقادیر مختلف روی محور x می‌باشند. این پراکندگی به سطح پوشش بستگی دارد. اگر سطح همگن باشد، همه نقاط در یک قسمت جمع خواهند شد اما در صورتی که پوشش پیکسل‌های اطراف متفاوت باشد، پراکندگی نقاط روی محور x خواهد بود. این امر نشان‌دهنده این است که مدل به خوبی عمل کرده است.



شکل ۵: نمودار پراکندگی پیکسل‌ها بین تصویر شکل ۲ و تصویر شکل ۴

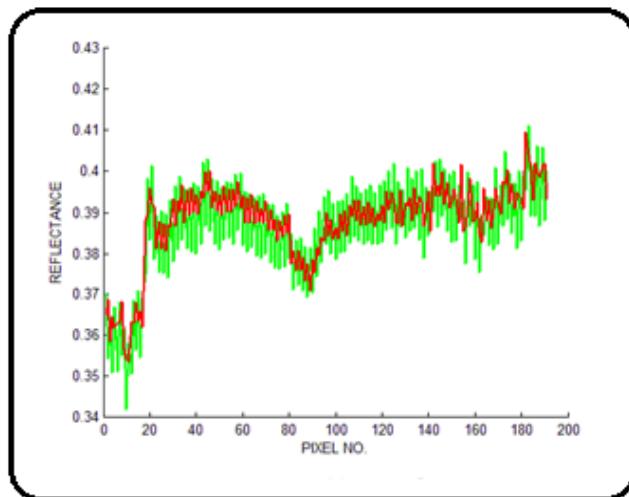
برای اثبات عملکرد مدل خطی بر روی داده‌هایی که دچار نوارشده‌گی شده‌اند علاوه بر نمودار پراکندگی پیکسل‌ها، تفاضل پیکسل‌ها بین تصویر اولیه (شکل (۲)) و تصویر شکل (۴) نیز در شکل (۶) نشان داده شده است. همانگونه که در

تصویر تفاضلی مشاهده می‌شود تمامی تصویر به جز نوارهایی که نشان‌دهنده آشکارساز شماره ۴ می‌باشند، تیره است. این امر نشان‌دهنده این است که مدل خطی تنها بر روی نویه تأثیر دارد، به این معنا که اصلاحات تنها بر روی آشکارساز شماره ۴ (آشکارساز از کارافتاده) صورت پذیرفته است. این اصلاحات به نوع پوشش سطح بستگی دارد به همین دلیل مقدار آن یکسان نبوده و دارای مقادیر مختلف می‌باشد.



شکل ۶: تفاضل پیکسل‌ها بین تصویر اولیه (شکل ۲) و تصویر شکل ۴

همچنین در شکل (۷) نمودار x-profile آشکارساز شماره ۳ از باند ۵ و آشکارساز شماره ۴ باند ۶ پس از اصلاح مشاهده می‌شود. در این نمودار رفتار آشکارساز شماره ۳ و آشکارساز اصلاح شده (آشکارساز شماره ۴) به ترتیب با رنگ سبز و قرمز نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، آشکارسازها دارای رفتار یکنواختی نسبت بهم می‌باشند و نشان‌دهنده این است که استفاده از باند ۶ برای بازیابی آشکارساز از کارافتاده انتخاب مناسبی می‌باشد.



شکل ۷: نمودار x-profile آشکارساز شماره ۳ از باند ۵ و آشکارساز شماره ۴ از باند ۶ پس از اصلاح

به طور کلی روش ارائه شده از دقت بالایی برخوردار است. علت این امر این است که در این روش ابتدا آشکارسازهای نو甫ه‌ای شناسایی شده و سپس از رفتار طیفی و خواص آماری آشکارسازهای سالم برای اصلاح نو甫ه آشکارساز از کارافتاده استفاده می‌شود. به عبارت دیگر این روش تنها بر روی نو甫ه تأثیر می‌گذارد و روی قسمت‌های فاقد نو甫ه اثری ندارد و بنابراین از صحت بالایی برخوردار است.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله مدلی خطی برای اصلاح نوارشده‌گی به وجود آمده در داده‌های دریافتی توسط آشکارساز شماره ۴ باند ۵ سنجنده مادیس ماهواره ترا، ارائه شد. با توجه به کاربردهای وسیعی که داده‌های این سنجنده دارد، توجه به آشکارسازهای معیوب و از کارافتاده این سنجنده و نحوه برخورد با آنها در الگوریتم‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. همچنین شماره آشکارسازهای ناسالم و سوخته در هر باند از سنجنده، در جدولی جداگانه ارائه شده است که می‌تواند برای شناسایی این پیکسل‌ها و تصمیم‌گیری در مورد آن در الگوریتم‌ها استفاده شود. در روش ارائه شده، اصلاح پیکسل‌های مربوط به آشکارساز سوخته تنها به صورت بصری و نسبی انجام می‌پذیرد. این به آن معناست که برای اصلاح نو甫ه آشکارساز از کارافتاده از داده‌های آشکارسازهای سالم به عنوان داده مرجع استفاده می‌شود. این امر موجب عدم تأثیرگذاری روش ارائه شده بر داده‌های فاقد نو甫ه می‌شود و تنها بر داده‌های نو甫ه‌ای تأثیر می‌گذارد. در این روش بین آشکارساز شماره ۳ باند ۵ و آشکارساز شماره ۴ باند ۶ که برای بازیابی مورد استفاده قرار گرفته است، رابطه‌ای خطی به دست می‌آید که با استفاده از آن می‌توان نسبت به اصلاح نو甫ه اقدام نمود. همچنین برای بررسی بیشتر عملکرد مدل خطی ارائه شده، از رابطه خطی بین آشکارساز شماره ۵ و آشکارساز شماره ۴ باند ۶ نیز برای بازیابی آشکارساز از کارافتاده باند ۵ استفاده شد. نتایج به دست آمده از اصلاح داده‌های آشکارساز از کارافتاده نشان دادند که کمترین میزان خطای اصلاح این آشکارساز مربوط به ضرائب تصحیح به دست آمده بین آشکارساز شماره ۳ باند ۵ و آشکارساز شماره ۴ باند ۶ است.

مراجع

- [1] W. Tutte, Graph theory. England: Cambridge University Press, 1984.
- [2] M. J. Egenhofer, and A. Frank, "Object-oriented modeling for GIS", Journal of the Urban and Regional Information Systems Association, Vol.4, pp. 3-19, 1992.
- [3] J. Lingham, "Description logics for vague spatial data", Ph.D Thesis, Department of Spatial Information Science and Engineering at The University of Maine, 2004.
- [4] M. Aiello, C. Monz, and L. Todoran, "Combining linguistic and spatial information for document analysis", in Proc. Of RIAO' 2000 Content based multimedia information access. J. Mariani, and D. Harman, Eds., Rio de Janeiro: Center of advanced study of information systems, 2000, pp. 266-275.
- [5] M. R. Hafeznia, Political geography of Iran. Tehran: SAMT Press, 2002 (Persian).
- [6] M. R. Mobasher, and Y. Rezaei, "Qualitatively and quantitatively assessment of low st cloud and frog, using MSG-1 Images", Journal of Univerisity College of Engineering, Vol. 40(8), pp. 1107-1119, 2007 (Persian).
- [7] S. Shafian, and M. J. Valadan Zoej, "Assessment crop yield estimation methods by using satellite images and ground observation", presented at the Map Asia Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 2007.