

اصلاح نسبی نوفه نواری عمودی در تصاویر اخذ شده توسط سنجنده CCD-Camera مستقر بر ماهواره CBERS02

محمد رضا مباشری*^۱، عرفان امرائی^۲

^۱ دانشیار گروه سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
mobasheri@kntu.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد مهندسی برق، مخابرات - موسسه آموزش عالی خاوران
erfan.amraei7175@gmail.com
info@mail.khi.ac.ir

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۳، تاریخ تصویب دی ۱۳۹۴)

چکیده

سنجنده CCD Camera یک سنجنده چند طیفی است که بر روی ماهواره CBERS02 نصب شده است. تکنیک تصویربرداری در این سنجنده به صورت پوش بروم می‌باشد. در تصاویر اخذ شده توسط سنجنده CCD Camera برخی نویزهای نواری عمودی دیده می‌شود که علت آن عدم تطابق پاسخ طیفی آشکارسازها، تغییرات درونی آشکارسازها، واسنجی نامناسب سنجنده و پایین بودن نسبت سیگنال به نویز می‌باشد. این نویز در تصاویر دریافتی از سطوح همگن که در سطح ۲ پردازش شده‌اند رخ‌نمون بیشتری دارد. وجود این نویز تفسیر داده‌ها و استخراج اطلاعات از این تصاویر را با مشکل مواجه می‌کند. در این پژوهش برای اصلاح این تصاویر روش تطبیق ممان‌های مکانی پیشنهاد شده است. در این روش از ممان‌های آماری مانند میانگین و انحراف معیار ستون‌ها در هر باند، برای متعادل کردن مشخصه‌های آماری آرایه‌های آشکارساز به مقدرهای مرجع، استفاده شده است. در تصویر شبیه‌سازی شده برای نویز نواری عمودی، پس از اعمال الگوریتم پیشنهادی به تصویر، بازیابی ۹۷ درصدی تصویر اولیه حاصل شد. علاوه بر این، افزایش ۱۶ درصدی کیفیت تصویر باند ۱ و همچنین افزایش ۱۹ درصدی کیفیت تصویر باند ۲ نشان دهنده کاهش نویز نواری از تصاویر می‌باشد. همچنین اعمال الگوریتم حذف نویز به تصاویر باندهای ۱ و ۲ به ترتیب موجب کاهش انحراف معیار از ۹/۴۷ به ۹/۰۱ و ۵/۷۲ به ۵/۲۵ شد. نتایج آزمایشات و بررسی‌های کمی انجام شده نشان دهنده دقت روش پیشنهاد شده در این پژوهش می‌باشد.

واژگان کلیدی: CCD Camera، CBERS، نویز نواری، تصاویر ماهواره‌ای، سنجش از دور

۱- مقدمه

تصاویر اخذ شده توسط سنجنده CCD Camera^۱ مستقر بر ماهواره CBERS02^۲ به دلیل داشتن قدرت تفکیک مکانی و طیفی مناسب و همچنین دسترسی آسان به این تصاویر، در انجام مطالعات محیطی کاربرد فراوانی دارند. برای دریافت تصاویر اخذ شده از زمین توسط این ماهواره، می‌توان به پایگاه اینترنتی <http://www.cbers.inpe.br> مراجعه نمود. متأسفانه برخی نویزها به دلایل مختلف از جمله عدم تطابق آشکارسازها، واسنجی نامناسب آشکارسازها، تغییرپذیری درونی آشکارسازها و پایین بودن نسبت سیگنال به نویز در تصاویر دریافتی توسط این سنجنده دیده می‌شود [۱]. شایع‌ترین نویز در تصاویر دریافتی توسط این سنجنده نویز نواری می‌باشد. وجود این نویز در تصاویر، موجب ایجاد عدم قطعیت در صحت داده‌های استخراج شده از این تصاویر می‌شود. لازم به ذکر است که این نویز در تصاویر اخذ شده توسط سنجنده‌های پوش بروم و ویسک بروم دیده می‌شود. البته در سنجنده‌هایی که از تکنیک تصویربرداری ویسک بروم استفاده می‌کنند نویزهای نواری به صورت عرضی و متناوب دیده می‌شوند [۲]. نویز نواری در تصاویر اخذ شده توسط سنجنده‌هایی که از تکنیک تصویربرداری پوش بروم استفاده می‌کنند به صورت نوارهای عمودی و غیرمتناوب دیده می‌شوند [۳]. به همین دلیل پرداختن به این موضوع از اهمیت بالایی برخوردار است.

[۴] برای شناسایی موقعیت الگوهای نواری در تصاویر ماهواره‌ای، از الگوریتم‌های شناسایی لبه و رهگیری خطوط استفاده نموده است. در این روش پس از شناسایی نوارهای موجود در تصویر برای حذف آنها از توابع منحنی فضایی استفاده می‌شود. مزیت این روش این است که الگوهای نواری غیر متناوب را نیز از تصاویر حذف می‌کند. ایرادی که بر این روش وارد است این است که هنگام شناسایی موقعیت الگوهای نواری در تصاویر، برخی نوارهای اضافی نیز آشکارسازی می‌شوند. [۵] برای اصلاح نویز نواری در تصاویر ماهواره‌ای از روش تطبیق ممان‌های طیفی استفاده نموده است. باندهای باریک پیوسته به دلیل مجاورت با هم در طیف امواج الکترومغناطیسی دارای همبستگی بالایی هستند. 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 نویز از دقت بالایی برخوردار است اما مشکل آن این است که تنها برای داده‌های ابرطیفی قابل استفاده است.

علاوه بر این می‌توان پس از شناسایی ستون‌های آلوده به نویز برای تصحیح آنها از فاکتورهای اصلاح محاسبه شده از ستون‌های مجاور، استفاده نمود [۶، ۷]. از جمله معایب این روش این است که در صورت افزایش نوارها در تصویر، حجم محاسبات افزایش می‌یابد. [۸] از روش برابرسازی رادیومتریکی برای رفع نویز نواری استفاده کرده است. در این روش یک مدل ساده ضریب بهره و بایاس برای همه آشکارسازها برای انجام عمل جبران ارائه شده است. مشکل این روش این است که در برابر تغییرات غیر خطی سنجنده پاسخگو نیست. [۹] از روش بهبود هیستوگرام برای حذف نویز نواری در تصاویر ماهواره‌ای بهره گرفته است. در این روش هیستوگرام داده‌های نویزی برای تطبیق با هیستوگرام داده مرجع، ساخته می‌شود. هیستوگرام مرجع می‌تواند هیستوگرام کلی تصویر و یا هیستوگرام یکی از آشکارسازها باشد. این روش به سادگی اجرا می‌شود اما به دلیل استفاده از سعی و خطا در طی فرایند، ممکن است که نتایج حاصله متناقض باشند.

یکی از راه‌های پرکاربرد برای رفع نویز نواری پالایش تصویر می‌باشد. روش‌های پالایش تصویر به دو دسته تقسیم می‌شوند: پالایش تصویر در حوزه مکان مانند پالایه‌های کانولوشن، پالایش تصویر در یک حوزه انتقال یافته مانند تبدیل فوری، تبدیل موجک و تحلیل مولفه. تحلیل مولفه‌های اصلی یکی از این روش‌ها می‌باشد. در این روش پس از به دست آمدن مولفه‌های اصلی، مولفه‌های مرتبه بالای نویزی به صفر کاهش داده می‌شوند و در نهایت از نتایج حاصله تبدیل معکوس گرفته می‌شود [۱۰]. از جمله مشکلات این روش می‌توان به حجم محاسبات بالا برای محاسبه خواص آماری و بردارهای ویژه اشاره کرد. [۱۱] برای رفع نویز نواری از تصاویر ماهواره‌ای از یک الگوریتم تصحیح رادیومتریک نسبی که مبتنی بر پالایش انطباقی^۳ در حوزه فرکانس می‌باشد، استفاده نموده است. در این روش نوارهای موجود در تصویر تا حدود زیادی برطرف می‌شود. همچنین [۱۲] برای حذف نویز نواری از تصاویر ماهواره‌ای از پالایه‌های انطباقی و انتخابی در حوزه فرکانس استفاده کرده است. پالایش حوزه فرکانس

^۱ Charge Coupled Device

^۲ China Brazil Earth Resource Satellite

^۳ Adaptive Filter

۱-۱- ماهواره‌های CBERS و سنجنده CCD Camera

ماهواره CBERS01 در اکتبر ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد و پس از ۴ سال از مدار خارج شد. پس از آن، در اکتبر ۲۰۰۳ ماهواره CBERS02 به فضا پرتاب شد. این ماهواره‌ها کار مشترک کشورهای چین و برزیل می‌باشند. تجهیزات ماهواره CBERS02 مشابه CBERS01 می‌باشد. در جدول ۱ مشخصات مداری ماهواره نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات مداری ماهواره [۱]

نوع مدار	خورشید آهنگ
ارتفاع ماهواره	۷۷۸ کیلومتر
زاویه میل	۹۸/۴۸ درجه
دوره تناوب	۱۰۰/۲۶
زمان عبور از استوا	۱۰:۳۰ به وقت محلی
قدرت تفکیک زمانی	۲۶ روز
فاصله بین دو نوار مجاور	۱۰۷ کیلومتر

بر روی ماهواره CBERS02 سه سنجنده CCD Camera، IRMSS^۲ و WFI^۳ نصب شده است. سنجنده‌های CCD Camera و WFI در ناحیه طیفی VNIR تصویربرداری می‌کنند در حالی که سنجنده IRMSS در ناحیه SWIR و حرارتی از زمین تصویربرداری می‌کند. در این پژوهش سنجنده CCD Camera مورد مطالعه قرار گرفته است. این سنجنده یک سنجنده با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا می‌باشد که در ۵ باند و به صورت پوش بروم تصویربرداری می‌کند. در جدول ۲ مشخصات سنجنده آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات سنجنده CCD Camera [۱]

باند‌های طیفی (میکرون)	۰/۷۳ - ۰/۵۳ (پانکروماتیک)
	۰/۵۲ - ۰/۴۵ (باند ۱)
	۰/۵۹ - ۰/۵۲ (باند ۲)
	۰/۶۹ - ۰/۶۳ (باند ۳)
قدرت تفکیک مکانی	۲۰ متر
	عرض نوار (FOV)
عرض نوار (FOV)	۱۱۳ کیلومتر (۸/۳۲ درجه)
قدرت تفکیک زمانی	۲۶ روز
زاویه چرخش آینه متحرک	±۳۲ درجه
نرخ انتقال اطلاعات	۲×۵۳ مگا بیت بر ثانیه
فرکانس حامل	۸/۱۰۳ و ۸/۳۲۱ گیگا هرتز
نوع مدولاسیون	QPSK
قدرت تفکیک رادیومتریکی	۸ بیت

نتایج مطلوبی را در کاهش نویز نواری مخصوصا در حالتی که نویز نواری به صورت متناوب باشد، به دست می‌دهد. از جمله مشکلات عمده پالایه‌های حوزه فرکانس می‌توان به حذف اطلاعات اصلی تصویر مخصوصا در حالتی که نویز نواری به صورت غیرمتناوب باشد و همچنین ایجاد اثر لکه در نقاطی از تصویر که تغییرات شدید می‌باشد، اشاره نمود. علاوه بر این، [۱۳] برای حذف نویز نواری در تصاویر ماهواره‌ای از تبدیل موجک و پالایه انطباقی در حوزه فرکانس استفاده کرده است. در این روش، ابتدا از تصویر تبدیل موجک گسسته گرفته شده و به چند سطح مقیاس فرکانسی تجزیه می‌شود. در هر سطح، علاوه بر مولفه تقریب تصویر، سه مولفه جهتی (افقی، عمودی و مورب) ساخته می‌شود. این فرایندهای موجود در تصویر (علاوه بر سایر محتویات تصویر) را از میان مولفه‌های موجک در جهت نوارشدگی‌ها جداسازی می‌کند. سپس مولفه‌های جهتی موجک مرتبط با نوارهای موجود توسط یک پالایه انطباقی حوزه فرکانس پالایش می‌شوند. این فرایند بر این امر تاکید دارد که نوارها در حوزه فرکانس به صورت تغییراتی در مقادیر DC^۱ (دامنه مولفه‌های با فرکانس صفر) تبدیل فوریه سطرها و یا ستون‌های منفرد ظاهر می‌شوند. لذا می‌توان پالایش حوزه فرکانس به منظور اصلاح نوارشدگی‌ها در مولفه‌های موجک جهت‌دار را با یکسان‌سازی مقدار DC هر سطر یا ستون از تبدیل فوریه انجام داد. یکی از راه‌های انجام این گونه یکسان‌سازی‌ها رساندن مقادیر DC به صفر یا هر مقدار ثابت دیگری می‌باشد. ایراد این روش در این است که در تصاویر کوچک و یا در تصاویر با کنتراست بالا موجب تلفات اطلاعاتی شده و ممکن است لبه‌ها و مرزهای موجود در تصویر حذف شوند.

در این پژوهش برای اصلاح نویز نواری در تصاویر سنجنده CCD Camera از روش تطبیق ممان‌های مکانی استفاده شده است. لازم به ذکر است که از این روش می‌توان برای تصحیح تصاویر اخذ شده توسط سایر سنجنده‌های ماهواره‌ای پوش برم و ویسک بروم استفاده نمود. به طور کلی اهداف این پژوهش، رفع نویز نواری عمودی از تصاویر اخذ شده توسط سنجنده CCD Camera ماهواره CBERS02 و مقایسه نتایج حاصله با روش‌های پرکاربرد پیشین می‌باشد.

^۲ InfraRed Multi Spectral Scanner
^۳ Wide Field Imager

^۱ Direct Current

الف) جریان تاریک: این جریان که با نام‌های افست و خروج از مبدا نیز شناخته می‌شود، زمانی که هیچ نوری وجود ندارد در خروجی آشکارساز دیده می‌شود. این کمیت برای هر آشکارساز یک مقدار منحصر به فرد است. ب) ضرایب بهره متفاوت برای هر آشکارساز موجب می‌شود که پاسخ آشکارسازها به یک شعاع نور یکسان، متفاوت باشد. ج) هر یک از سه آرایه آشکارساز دارای پاسخ متوسط متفاوتی از دیگری می‌باشد. دلیل این امر تفاوت در ضریب بهره کلی در هر آرایه است.

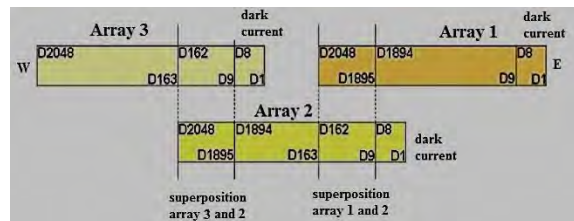
همچنین محدوده طیفی باند ۲ از محدوده پیش‌بینی شده بزرگتر است [۱]. محدوده پیش‌بینی شده برای این باند بین ۰/۵۹-۰/۵۲ میکرون می‌باشد، در حالی که اندازه‌گیری‌ها این محدوده را بین ۰/۶۳۵-۰/۵۱۵ میکرون نشان دادند [۱]. محدوده طیفی گسترده‌تر موجب می‌شود که رادینانس بیشتری توسط آشکارساز دیده شود و محدوده دینامیکی در باند مربوطه کاهش یافته و اشباع زودتر اتفاق بیفتد. لذا اشباع آشکارساز در باند ۲ بیشتر از سایر باندها اتفاق می‌افتد.

یکی دیگر از عوامل پدید آورنده نویز، پایین بودن نسبت سیگنال به نویز است. این کمیت برای باندها ۱، ۳ و ۴ به ترتیب ۴، ۲ و ۱ دسی بل از مقدار پیش‌بینی شده کمتر است [۱]. همچنین میزان نویز تصادفی اندازه‌گیری شده برابر ۲،۷ میکرو ولت (معادل 0.7 DN) می‌باشد [۱]. علاوه بر این، در هر آرایه آشکارساز، تغییرپذیری درونی آشکارساز موجب پیدایش نویز می‌شود [۱]. همه این عوامل موجب بوجود آمدن نویز در تصاویر و کاهش کیفیت داده‌ها می‌شود. لذا باید نسبت به رفع نویز از این گونه تصاویر اقدام نمود.

۲- روش پژوهش

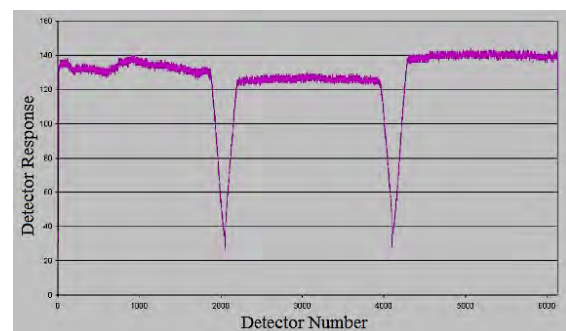
در این پژوهش برای رفع نویز نواری عمودی در تصاویر اخذ شده توسط سنجنده CCD Camera از روش تطبیق ممان‌های مکانی استفاده شده است. آمارهای آرایه‌های آشکارساز را می‌توان با جمع‌آوری میانگین، واریانس، حداقل و حداکثر هر پیکسل در هر باند مورد مطالعه قرار داد. در اینجا فرض شده که ارقام دیجیتال نویز نواری ستون‌ها مقدارهای معتبری دارند، اما به دلیل تفاوت در ضرایب بهره و خروج از مبدا آشکارسازها، این ارقام در ستون‌های مختلف با هم متفاوت هستند. در روش تطبیق ممان‌های مکانی از مشخصه‌های آماری ستون‌ها در هر باند (مانند میانگین و انحراف معیار) برای اصلاح مشخصه‌های آماری آرایه‌ها به هیستوگرام مرجع استفاده شده است. این

این سنجنده شامل سه آرایه از آشکارسازهای CCD می‌باشد که روی هر آرایه ۲۰۴۸ آشکارساز وجود داشته و در مجموع تعداد آشکارسازهای به کار رفته برابر ۶۱۴۴ عدد می‌باشد. از ۱۴ آشکارساز از آرایه سوم در ایستگاه‌های زمینی سیگنالی دریافت نمی‌شود و تنها ۶۱۳۰ پیکسل در هر سطر توسط ایستگاه‌های زمینی دریافت می‌شود. آرایه دوم با هر یک از آرایه‌های مجاور در ۱۵۴ آشکارساز همپوشانی دارند که این همپوشانی در مجموع به ۳۰۸ آشکارساز می‌رسد. همچنین روی هر آرایه ۸ آشکارساز وجود دارد که در ناحیه جریان تاریک قرار دارند. لذا هر سطر تصویر دارای ۵۷۹۸ پیکسل می‌باشد. در شکل ۱ هندسه آشکارسازها نشان داده شده است.



شکل ۱- هندسه آشکارسازهای سنجنده CCD Camera [۱]

از جمله عوامل پیدایش نویز در تصاویر سنجنده CCD Camera را می‌توان به عدم تطابق آشکارسازها، مشکلات واسنجی سنجنده، تغییرپذیری درونی آشکارسازها و نسبت سیگنال به نویز پایین نسبت داد [۱]. به عنوان مثال در شکل ۲ عدم تطابق آشکارسازها در باند ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود پاسخ آشکارسازها روی هر سه آرایه یکسان نیست که این مشکل موجب بروز نویز نواری در تصاویر می‌شود.



شکل ۲- پاسخ آشکارسازها روی هر سه آرایه در باند ۳ به یک شعاع نور یکسان [۱]

سه فاکتور زیر موجب ایجاد تغییر در پاسخ آشکارسازها می‌شوند [۱]:

۳- نتایج و تجزیه و تحلیل

اصلاح نویز در تصاویر سنجش از دوری باید به گونه‌ای باشد که فرایند حذف نویز کم‌ترین اثر را بر اطلاعات رادیومتریکی داشته باشد. برای نشان دادن میزان اثر بخشی روش پیشنهاد شده در رفع نویز نواری و همچنین مقایسه این روش با روش ارائه شده در [۱۳] از داده‌های شبیه سازی شده برای نویز نواری استفاده شده است. برای ایجاد یک تصویر شبیه‌سازی شده برای نویز نواری، فرض شده است که برای تصویربرداری، از یک آرایه یک بعدی از آشکارسازهای CCD استفاده شده است. همچنین فرض شده است که آشکارسازها غیر ایده‌آل بوده و با یکدیگر مطابقت ندارند. لذا برخی ستون‌های تصویر از بقیه ستونها روشن‌تر و برخی تیره‌تر قرار داده شده‌اند.

[۱۳] برای حذف نویز نواری در تصاویر ماهواره‌ای از روش پالایش مبتنی بر موجک استفاده نموده است. از جمله راهکارهای حذف نویز از تصاویر دیجیتال، پالایش تصویر در حوزه مکان یا یک حوزه تبدیل یافته می‌باشد که طیف گسترده‌ای از پالایه‌ها را شامل می‌شود. یکی از این حوزه‌ها، تبدیل موجک می‌باشد که به دلیل حفظ اطلاعات مکانی و فرکانسی تصویر به صورت همزمان [۱۳]، یک روش پرکاربرد در رفع نویز نواری از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد که نسبت به سایر روش‌های پالایش تصویر، تطبیق خطی ساده و روش‌های تطبیق و بهبود هیستوگرام از بازدهی بیشتری برخوردار است [۱۳]. به همین دلیل در این مقاله برای مقایسه نتایج به دست آمده از این روش استفاده شده است. لازم به ذکر است که برای پیاده‌سازی روش‌ها و راهکارها از نرم‌افزار MATLAB R2011a استفاده شده است. در شکل ۳ نتیجه رفع نویز نواری در تصویر شبیه سازی شده به روش تطبیق ممان‌های مکانی و پالایش مبتنی بر موجک نشان داده شده است.

روش می‌تواند به یکی از دو روش "محلی" و "سراسری" اجرا شود. در روش سراسری، ممان‌های آماری هر ستون برای تطبیق با کل تصویر اصلاح می‌شوند. در روش محلی ممان‌های مرجع به صورت محلی تخمین زده می‌شوند.

فرض شود که m_{ik} میانگین آشکارساز i ام در باند k ام و σ_{ik} انحراف معیار آشکارساز i ام در باند k ام باشد. علاوه بر این، \bar{m}_{ik} و $\bar{\sigma}_{ik}$ مقادیر مرجع این ممان‌ها باشند. در حالت سراسری \bar{m}_{ik} و $\bar{\sigma}_{ik}$ به ترتیب برابر \bar{m}_k و $\bar{\sigma}_k$ می‌باشد. پس از محاسبه این ممان‌ها باید نسبت به محاسبه ضریب بهره α_{ik} و خروج از مبدا β_{ik} برای هر آشکارساز اقدام نمود. در این پژوهش داده‌های تصویر برای نمونه i ام، ستون j ام و باند k ام (x_{ijk}) با استفاده از رابطه ۱ اصلاح شده‌اند:

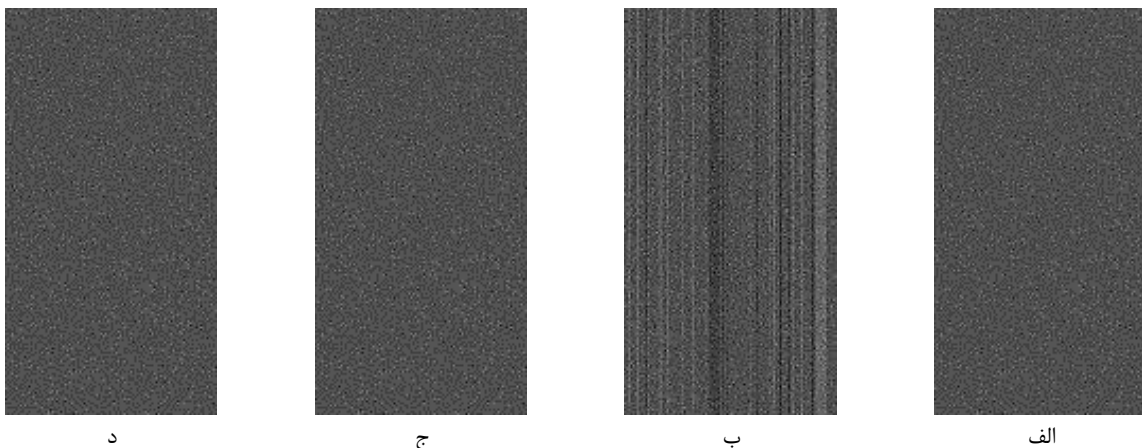
$$x'_{ijk} = \alpha_{ik} x_{ijk} + \beta_{ik} \quad (1)$$

برای محاسبه ضریب بهره و خروج مبدا از روابط زیر استفاده شده است:

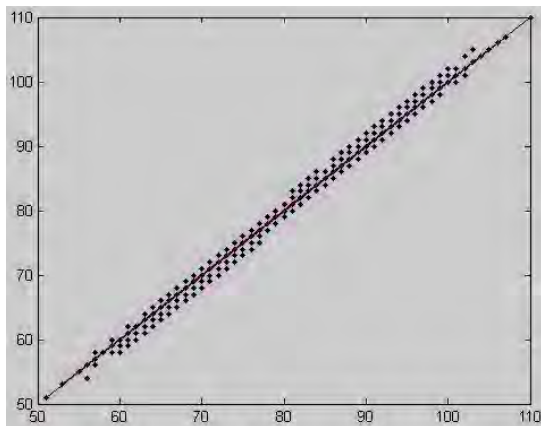
$$\alpha_{ik} = \frac{\bar{\sigma}_{ik}}{\sigma_{ik}} \quad (2)$$

$$\beta_{ik} = \bar{m}_{ik} - \alpha_{ik} m_{ik} \quad (3)$$

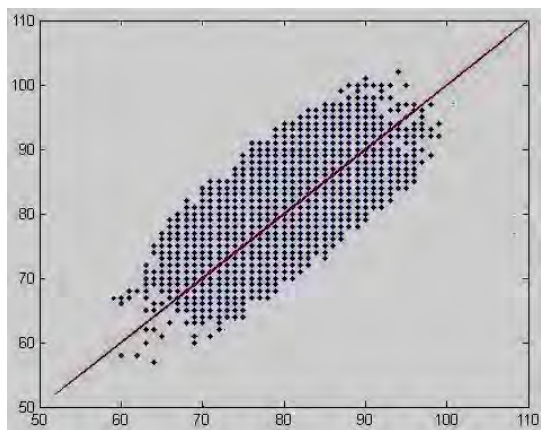
در این روابط از ضریب بهره و خروج از مبدا برای کنترل انحراف معیار و میانگین ستون‌های تصویر استفاده شده است. مشکل این روش تاثیرگذاری نویز بر روی پارامترهای آماری تصویر می‌باشد. در حالت سراسری، برای تخمین پارامترهای آماری مرجع، از کل تصویر استفاده می‌شود که وجود نویز در تصویر موجب افزایش انحراف معیار مرجع و به تبع آن تاثیرگذاری منفی نویز بر روش اصلاح تصویر می‌شود.



شکل ۳- الف) تصویر اولیه. ب) تصویر شبیه سازی شده برای نویز نواری عمودی. ج) نتیجه اصلاح نوارهای عمودی در تصویر شکل (ب) به روش تطبیق ممان‌های مکانی، د) نتیجه اصلاح تصویر شکل (ب) با استفاده از روش پالایش مبتنی بر موجک.



الف



ب

شکل ۴- الف) نمودار پراکندگی ترسیم شده بین شکل ۳ (الف) و (ج)، ب) نمودار پراکندگی ترسیم شده بین شکل ۳ (الف) و (د)

شکل ۵ (الف) یک قسمت از تصویر اولیه را نشان می‌دهد که شامل نویز نواری عمودی غیر متناوب است. نتیجه اصلاح نویز نواری عمودی به روش تطبیق ممان‌های مکانی و روش پالایش مبتنی بر موجک در شکل‌های ۵ (ب) و ۵ (ج) نشان داده شده است. برای مقایسه نتایج حاصله از اجرای روش پیشنهادی نسبت به روش [۱۳] از شاخص SSIM استفاده شده است. در جدول ۳ شاخص SSIM تصویر اصلاح شده را نسبت به تصویر اولیه (تصویر بدون نویز) مقایسه می‌کند. لذا هرچه مقدار SSIM بزرگتر باشد روش در رفع نویز نواری عملکرد بهتری دارد. اما هنگامی که مقایسه بین تصویر اصلاح شده و تصویر آلوده به نویز انجام پذیرد، مقدار SSIM کوچکتر نشان دهنده عملکرد بهتر روش در اصلاح نویز می‌باشد. شاخص SSIM به دست آمده بین تصویر اولیه و تصویر اصلاح شده به روش تطبیق ممان‌های مکانی برابر ۰/۸۴ می‌باشد. این به آن معناست که روش تطبیق ممان‌های مکانی ۱۶ درصد کیفیت تصویر را ارتقا داده است. این در حالی است

برای ارزیابی کمی نتایج حاصل از اصلاح تصاویر شبیه سازی شده از شاخص SSIM^۱ استفاده شده است [۱۴]. در جدول ۳ مقدارهای SSIM به دست آمده بین تصاویر پردازش شده و تصویر اولیه نشان داده شده است.

جدول ۳- شاخص‌های SSIM محاسبه شده برای رفع نویز نواری در تصاویر شبیه سازی شده

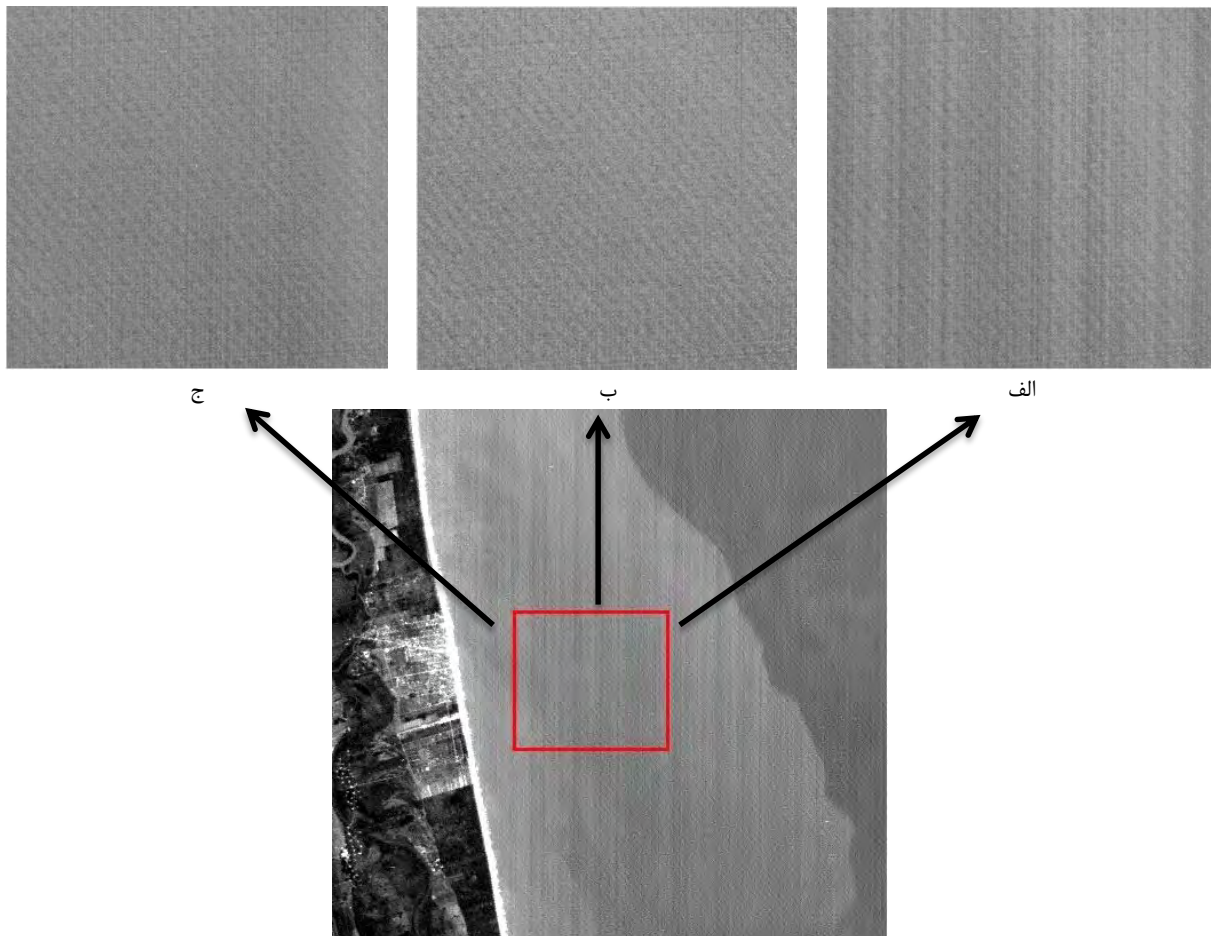
نویز نواری عمودی	تطبیق ممان‌های مکانی	پالایش مبتنی بر موجک
۰/۷۷	۰/۹۷	۰/۸۵

همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، شاخص SSIM در مقایسه تصویر اولیه و تصویر شبیه سازی شده برای نویز نواری عمودی برابر ۰/۷۷ می‌باشد. این امر بیانگر این حقیقت است که با اضافه شدن نویز نواری عمودی به تصویر اولیه کیفیت تصویر ۳۳ درصد کاهش یافته است. روش تطبیق ممان‌های مکانی موجب بازیابی ۹۷ درصدی تصویر شبیه سازی شده برای نویز نواری عمودی پس از رفع نویز شده است. این در حالی است که روش پالایش مبتنی بر موجک در بازیابی تصویر شبیه سازی شده برای نویز نواری عمودی تا ۸۵ درصد موفق بوده است. علاوه بر این، برای مقایسه کیفی نتایج حاصل از اصلاح تصویر شبیه سازی شده از نمودارهای پراکنش استفاده شده است. نمودار پراکنش بین پیکسل‌های متناظر دو تصویر ترسیم شده و شباهت تصاویر را به صورت کیفی نشان می‌دهد. هر چه پراکندگی نقاط به نیمساز ربع اول نزدیکتر باشد، روش حذف نویز از بازدهی بیشتری برخوردار است. در شکل ۴ نمودار پراکنش بین تصویر اولیه و تصاویر اصلاح شده به روش تطبیق ممان‌های مکانی و پالایش مبتنی بر موجک ترسیم شده است. همان طور که در این شکل دیده می‌شود، پراکنش نقاط در روش تطبیق ممان‌های مکانی به نیمساز ربع اول نزدیکتر می‌باشد. در شکل ۵ تصویر باند ۱ سنجنده CCD Camera ماهواره CBERS02 و نتیجه اصلاح نویز نواری به روش تطبیق ممان‌های مکانی و پالایش مبتنی بر موجک نشان داده شده است. مقایسه بصری بین نتایج حاصله موثر بودن روش در اصلاح نویز را نشان می‌دهد. همان گونه که قبلاً گفته شد، نویز نواری در تصاویر دریافتی از سطوح همگن رخ نمون بیشتری دارند که این موضوع در تصاویر به خوبی دیده می‌شود.

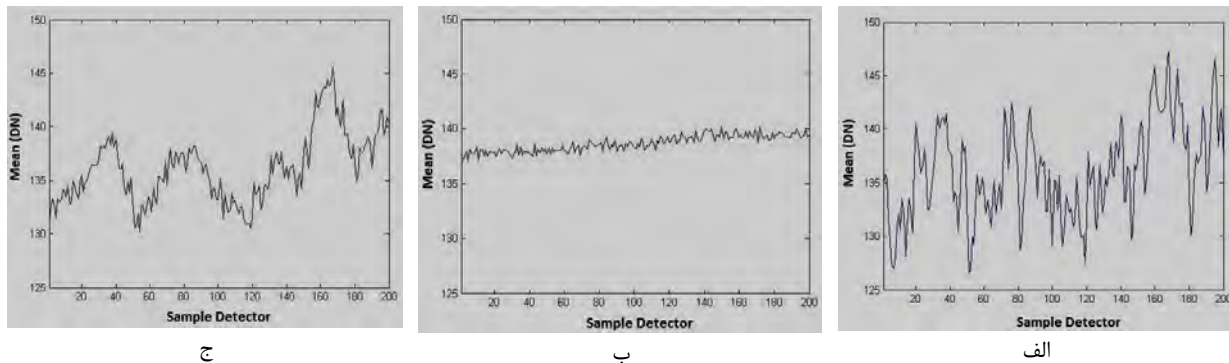
^۱ structural similarity index measure

آشکارسازها تغییرات شدید موجود در نمودار شکل ۶ (الف) را دنبال نمی‌کنند. این در حالی است که پس از اصلاح تصویر با استفاده از پالایه مبتنی بر موجک، تغییرات شدید موجود در نمودار میانگین داده‌های آشکارسازها به صورت کامل بر طرف نشده است (شکل ۶ (ج)). همچنین در شکل ۷ طیف توان تصویر اولیه و تصاویر اصلاح شده نشان داده شده است. نویز نواری عمودی موجب پیدایش باندهای باریک با دامنه بالا عمود بر جهت نوارها در طیف توان تصویر می‌شود. همان طور که در شکل ۷ (الف) دیده می‌شود باندهای پر انرژی مربوط به نویز نواری عمودی به صورت برخی نقاط روشن بر روی محور افقی طیف توان دیده می‌شوند. همان طور که در شکل‌های ۷ (الف) و (ب) مشخص است، پس از اصلاح تصویر دامنه باندهای مربوط به نویز کاهش یافته است. بیشترین میزان کاهش در دامنه مولفه‌های نویز در طیف توان تصویر اصلاح شده به روش تطبیق ممان‌های مکانی رخ داده است (شکل ۷ (ب)).

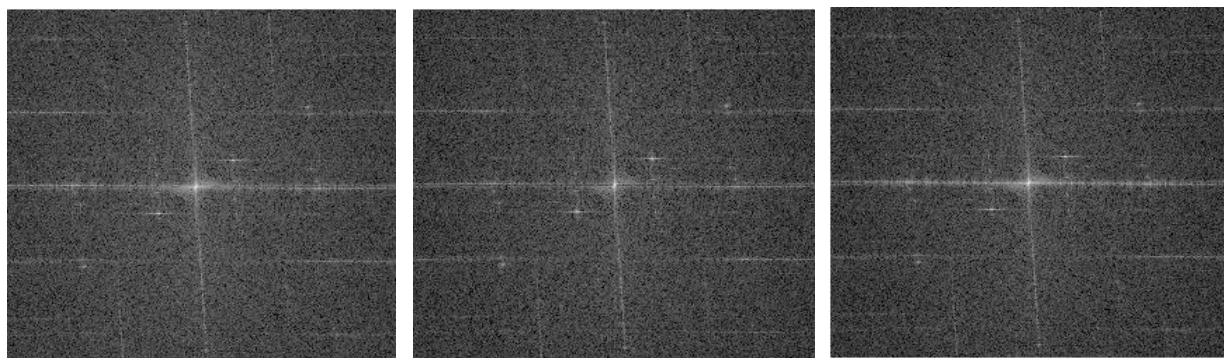
که شاخص SSIM به دست آمده بین تصویر آلوده به نویز و تصویر اصلاح شده به روش پالایش مبتنی بر موجک برابر ۰/۸۹ می‌باشد. این امر بیان‌گر این حقیقت است که پالایش تصویر با استفاده از پالایه مبتنی بر موجک تنها ۱۱ درصد کیفیت تصویر را افزایش داده است. همچنین در شکل ۶ نمودار تغییرات میانگین داده‌های آشکارسازها در تصاویر شکل ۵ نشان داده شده است. شکل ۶ (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب نمودار تغییرات میانگین داده‌های آشکارسازها در تصاویر اولیه، تصویر اصلاح شده به روش تطبیق ممان‌های مکانی و تصویر اصلاح شده با استفاده از پالایه مبتنی بر موجک نشان داده شده است. با توجه به همگن بودن صحنه انتظار می‌رود که داده‌های آشکارسازها تغییرات زیادی نداشته باشند. اما وجود نویز در تصویر موجب پیدایش تغییرات شدید در داده‌های آشکارسازها می‌شود. این امر در شکل ۶ (الف) به خوبی دیده می‌شود. همان طور که در نمودار شکل ۶ (ب) مشخص است، پس از رفع نویز به روش تطبیق ممان‌های مکانی، داده‌های



شکل ۵- تصویر دریافت شده در باند ۱ سنجنده ماهواره CBERS02. (الف) یک قسمت از تصویر اولیه. (ب) نتیجه اصلاح نویز نواری عمودی در تصویر اولیه به روش تطبیق ممان‌های مکانی (SSIM=0.84، ج) نتیجه اصلاح تصویر اولیه با استفاده از پالایش مبتنی بر موجک (SSIM=0.89).



شکل ۶- الف) نمودار میانگین داده‌های آشکارسازها در تصویر شکل ۵ (الف)، ب) نمودار میانگین داده‌های آشکارسازها در تصویر شکل ۵ (ب)، ج) نمودار میانگین داده‌های آشکارسازها در تصویر شکل ۵ (ج).

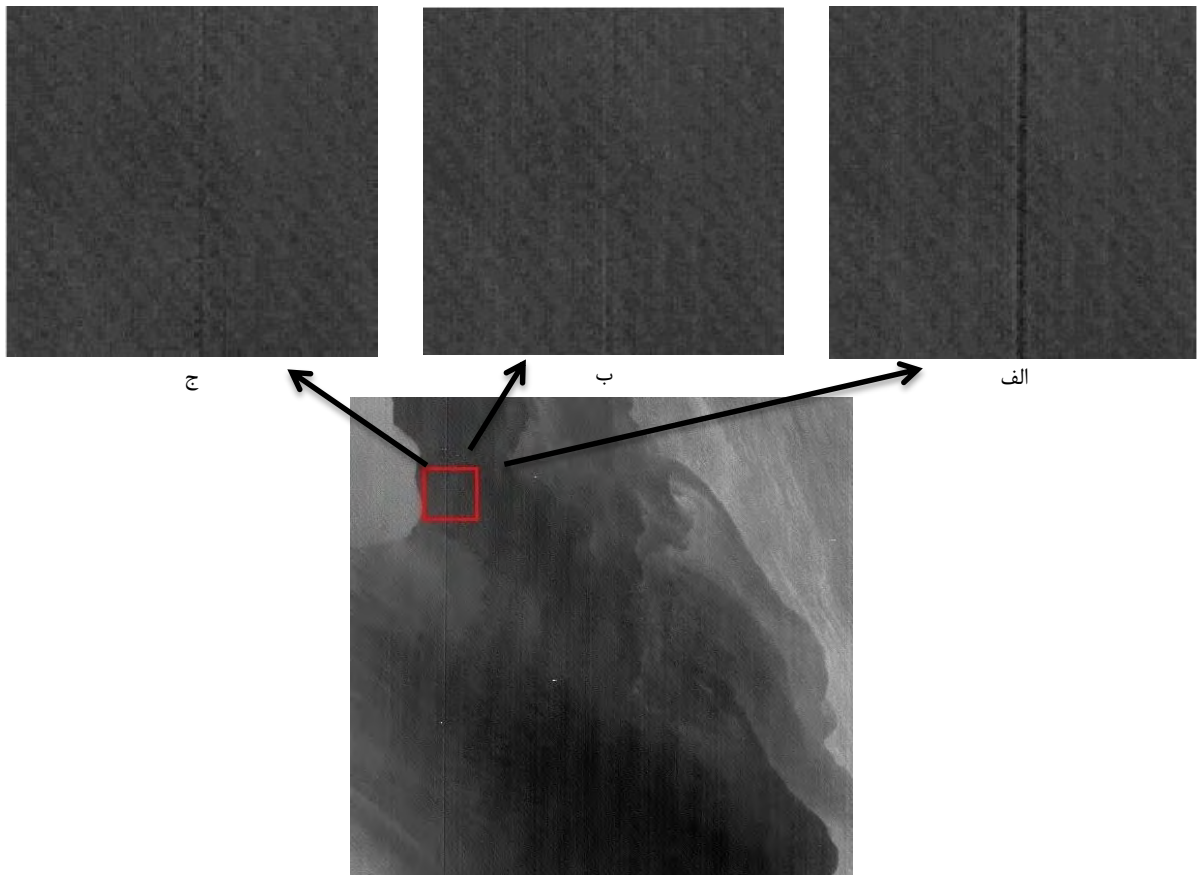


شکل ۷- الف) طیف توان تصویر شکل ۵ (الف)، ب) طیف توان تصویر شکل ۵ (ب)، ج) طیف توان تصویر شکل ۵ (ج).

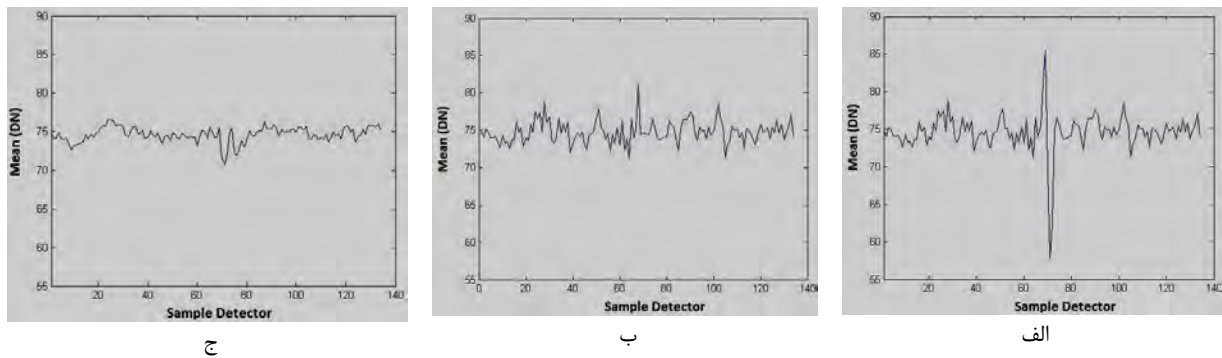
شده است. همان طور که در این نمودارها دیده می‌شود، تغییر شدید موجود در نمودار تصویر اولیه پس از اصلاح نویز برطرف شده است. لازم به ذکر است که روش تطبیق ممان‌های مکانی تنها بر روی داده‌های نویزی تصویر تاثیر گذاشته است که این امر موجب افزایش راندمان روش در رفع نویز می‌شود.

علاوه بر این، نتیجه محاسبه پارامترهای میانگین و انحراف معیار مربوط به تصاویر اولیه و تصاویر اصلاح شده در جدول ۴ نشان داده شده است. طبق تعریف، میانگین نشان دهنده شدت متوسط سیگنال می‌باشد. همچنین، انحراف معیار عددی است که نشان می‌دهد به طور متوسط داده‌ها چه مقدار از میانگین فاصله دارند. وجود نویز در تصویر موجب افزایش انحراف معیار می‌شود. با توجه به مقدارهای نشان داده شده در جدول ۴، کاهش در انحراف معیار تصاویر اصلاح شده نسبت به انحراف معیار تصاویر اولیه نشان دهنده کاهش و یا حذف نویز از تصاویر می‌باشد.

علاوه بر این در تصاویر دریافتی در باند ۲ سنجنده CCD Camera برخی نوارهای منفرد تاریک دیده می‌شود. این مشکل در شکل ۸ نشان داده شده است. برای شناسایی ستون معیوب هر جا که تغییر شدیدی در میانگین داده‌های آشکارسازها به وجود آید به عنوان ستون معیوب شناسایی می‌شود. شکل ۸ (الف) یک قسمت از داده اولیه شامل نویز را نشان می‌دهد. در شکل ۸ (ب) و (ج) نتیجه اصلاح نویز نواری با استفاده از روش تطبیق ممان‌های مکانی و پالایش مبتنی بر موجک نشان داده شده است. شاخص SSIM بین تصویر اولیه و تصویر اصلاح شده به روش تطبیق ممان‌های مکانی برابر 0.81 می‌باشد که این شاخص نشان دهنده افزایش ۱۹ درصدی کیفیت تصویر است. این در حالی است که پالایش مبتنی بر موجک ۱۲ درصد کیفیت تصویر را ارتقا داده است. علاوه بر این، در شکل ۹ نمودار میانگین داده‌های آشکارسازها در تصویر اولیه و تصاویر اصلاح شده با استفاده از روش‌های تطبیق ممان‌های مکانی و پالایش مبتنی بر موجک نشان داده



شکل ۸- تصویر دریافت شده در باند ۲ سنجنده CCD Camera ماهواره CBERS02. الف) یک قسمت از تصویر اولیه. ب) نتیجه اصلاح تصویر با استفاده از روش تطبیق ممان‌های مکانی (SSIM=0.81). ج) نتیجه اصلاح تصویر با استفاده از پالایش مبتنی بر موجک (SSIM=0.88).



شکل ۹- الف) نمودار میانگین داده‌های آشکارسازها در تصویر شکل ۸ (الف، ب) نمودار میانگین داده‌های آشکارسازها در تصویر شکل ۸ (ب، ج). نمودار میانگین داده‌های آشکارسازها در تصویر شکل ۸ (ج).

جدول ۴- پارامترهای آماری تصاویر اولیه و اصلاح شده

انحراف معیار (اصلاح شده)		میانگین (اصلاح شده)		انحراف معیار (اولیه)	میانگین (اولیه)	
پالایش مبتنی بر موجک	تطبیق ممان- های مکانی	پالایش مبتنی بر موجک	تطبیق ممان- های مکانی			
۹/۰۳	۹/۰۱	۱۳۷/۶۶	۱۳۷/۷۲	۹/۴۷	۱۳۷/۵۷	باند ۱
۵/۳۱	۵/۲۵	۷۴/۵۹	۷۴/۷۷	۵/۷۲	۷۴/۶۰	باند ۲

۴- نتیجه گیری

در مقاله حاضر از روش تطبیق ممان‌های مکانی برای رفع نویز نواری غیر متناوب در تصاویر اخذ شده توسط سنجنده CCD Camera ماهواره CBERS02 استفاده شد. در این روش از ممان‌های آماری داده‌های آشکارسازها مانند میانگین و انحراف معیار در هر باند، برای تصحیح مشخصه‌های آماری آرایه‌های آشکارساز به مقدارهای مرجع، استفاده شد. اگر آشکارسازها در ضریب بهره و خروج از مبدا با یکدیگر تفاوت داشته باشند، این امر نهایتاً موجب پدیدار شدن نویز نواری در تصاویر می‌شود، لذا برای کاهش نویز نواری، تنظیم میانگین و انحراف معیار هر آشکارساز به یک مرجع، کافی می‌باشد. در روش ارائه شده در این پژوهش، برای تنظیم انحراف معیار و میانگین داده‌های آشکارساز به یک مرجع از روابط ضریب بهره و خروج از مبدا که در این پژوهش به آنها اشاره شد، استفاده شده است. این کار موجب کاهش نویز نواری می‌شود.

بررسی نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهاد شده در این پژوهش بر روی داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی نشان دهنده توانایی روش در حذف نویز نواری از تصاویر می‌باشد. علاوه بر این مقایسه نتایج به دست آمده نسبت به

روش پالایش مبتنی بر موجک که یک روش پرکاربرد در رفع نویز نواری می‌باشد، نشان دهنده عملکرد بهتر روش تطبیق ممان‌های مکانی نسبت به پالایش مبتنی بر موجک می‌باشد. دلیل این امر این است که پالایش مبتنی بر موجک علاوه بر نویز، بر روی جزئیات تصویر موجود در مولفه موجک جهت‌دار در راستای نوارشدگی‌ها تاثیر می‌گذارد که این امر موجب کاهش راندمان روش می‌شود. این در حالی است که روش تطبیق ممان‌های مکانی با متعادل کردن میانگین و انحراف معیار داده‌های آشکارسازها به یک مرجع تا حد زیادی تنها نویز را تحت تاثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این، روش تطبیق ممان‌های مکانی برخی مشکلات روش‌های پیشین مانند حجم بالای محاسبات، عدم قطعیت نتایج به دلیل استفاده از سعی و خطا در محاسبات، ایجاد اثر لکه در تصاویر و ... را مرتفع می‌سازد.

همچنین پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی برای رفع مشکل ناشی از تاثیرگذاری نویز بر روش اصلاح تصویر که در بخش ۲ به آن اشاره شد، برای تخمین ممان‌های مرجع از داده‌های آشکارسازهای سالم استفاده شود. در این صورت قبل از هر عملی ابتدا باید نسبت به شناسایی آشکارسازهای فاقد نویز اقدام نمود.

مراجع

- [1] INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) and CAST, "Radiometric Quality Assessment of CBERS-2", 2004.
- [2] Chander, G., Helder, D.L., Boncyk, W.C., (2002). "Landsat-4/5 band 6 relative radiometry", IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, vol. 40, pp. 206-210.
- [3] Anger, C., Achal, S., Ivanco, T., Mah, S., Price, R., Busler, J., (1996), "Extended operational capabilities of casi", Proceedings of the Second International Airborne Remote Sensing Conference, San Francisco, California, pp. 124-133.
- [4] Tsai, F, Chen, W, (2008), "Striping Noise Detection and Correction of Remote Sensing Images", IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, vol. 46, pp. 4122 - 4131.
- [5] Lixin, S, Robert, N, Karl, S, H. Peter White, (2008), "Automatic destriping of Hyperion imagery based on spectral moment matching", Canadian journal of Remote Sensing, Vol. 34, pp. 68-81.
- [6] Garcia, J.C, Moreno, J, (2004), "Removal of Noises In CHRIS/PROBA Images: Application To The Sparc Campaign Data", Proceeding of the 2nd CHRIS/Proba Workshop, ESA/ESRIN, Frascati, Italy, ESA SP-578.
- [7] 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, Volume XL-1/W3.
- [8] Algazi, V. R, Ford, G. E, (1981), "Radiometric equalization of non-periodic striping in satellite data", Computer Graphic and Image Processing, vol. 16, pp. 287 -295.

- [9] Horn. B. K. P, Woodham. R. J, (1979) "Destriping Landsat MSS images by histogram modification", Computer Graphic and Image Processing, vol. 10, pp. 69 -83.
- [10] Srinivasan. R, (1986), "Noise removal by the Karhunen -Loeve transform", in Proc. Int. Soc. for Photogrammetry and Remote Sensing Symposium, Vol. 26, pp. 263 -273.
- [11] Hai-Chao. L, Hai-Feng. S, (2011) "A relative radiometric correction method for linear array push-broom imagery", Proc. SPIE 8194, International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2011: Advances in Imaging Detectors and Applications, Beijing, China.
- [12] Liu, J.G., Morgan, G.L.K., (2006), "FFT selective and adaptive filtering for removal of systematic noise in ETM+ imageodesy images", IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, vol. 44, pp. 3716–3724.
- [13] Pande. C. 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.
- [14] Horé. A, Ziou. D, (2010), "Image quality metrics: PSNR vs. SSIM", IEEE International Conference on Pattern Recognition, pp. 2366 – 2369.