ارائه روشی برای حذف خطای نوارشدگی در تصاویر سنجنده‌های آرایه خطی

مریم رحمتی[1] محمدرضا اصغری بجستانی[2]

۱- کارشناسی ارشد- مجتمع برق و الکترونیک- دانشگاه صنعتی مالک اشتر- تهران- ایران
Rahmati_maryam.1015@yahoo.com
۲- دکتری مخابرات- مجتمع برق و الکترونیک- دانشگاه صنعتی مالک اشتر- تهران- ایران
Bejestani@yahoo.com

چکیده: در این مقاله به ارائه روشی برای حذف اثر نوارشدگی (نوعی خطای رادیومتریک) در تصاویر ماهواره‌ای بدست آمده از ابزارهای تصویربردار آرایه خطی پرداخته می‌شود. روش پیشنهادی بر پایه روش آماری انطباق گشتاور می‌باشد. در این روش با فرض خطی بودن پاسخ آشکارسازها، تصاویر تصحیح می‌شود. در بسیاری از کارهای ارائه شده در این زمینه با صرف نظر از اثر انحراف، با تخمین بهره و حذف اثر آن، به محاسبه پاسخ صحیح آشکارسازها می‌پردازند. در این مقاله نوارهای ایجاد شده در تصاویر ماهواره‌ای به اثر انحراف نسبت داده شده و با ارائه روشی به تخمین انحراف و تصحیح تصاویر پرداخته می‌شود؛ تصاویر حاصل با تصاویر تصحیح شده با تخمین بهره (به روش انطباق گشتاور وفقی) و همچنین با تصاویر تصحیح شده با استفاده از داده‌های کالیبراسیون روی برد سنجنده به عنوان تصاویر مرجع، مقایسه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های تخمین بهره بسیار مناسب‌تر بوده و تصاویر حاصل از آن به تصاویر مرجع بسیار نزدیکتر است. برای ارزیابی نتایج از معیار چگالی لبه‌ها در تصاویر استفاده شده است و بدین‌ترتیب صحت روش پیشنهادی تایید می‌شود. برای آشکارسازی لبه‌ها، آشکارسازهای لبه Prewitt، Canny و Roberts بکار گرفته شده است. از نظر محاسباتی روش پیشنهادی بسیار کم هزینه می‌باشد.

کلمات کلیدی: آرایه خطی، اثر نوارشدگی، انطباق گشتاور، تخمین، خطای رادیومتریک.

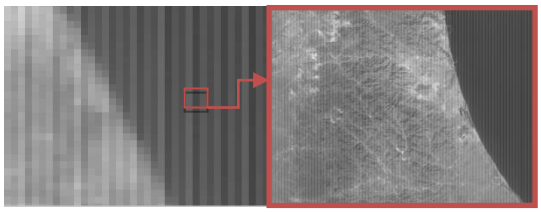
تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۱۷
تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۱۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۱۵
نام نویسنده‌ی مسئول: مریم رحمتی
نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – تهران – خیابان شعبانلو– دانشگاه صنعتی مالک اشتر – مجتمع برق و الکترونیک

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.2.7.3]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.2 Summer 2016

۱- مقدمه

این نوعی از خطاهای رادیومتریک بوجود آمده در تصاویر سنجش از راه دور، مربوط به خطاهای دستگاهی می‌باشد. یکی از رایج-ترین خطاهای دستگاهی، خطای نوارشدگی[۱] است. این خطا به خاطر ایده‌آل نبودن و همچنین یکسان نبودن پاسخ آشکارسازهای مختلف یک سنجنده ایجاد می‌شود. در ابزارهای تصویربردار ماهواره‌ای، در بسیاری از موارد ممکن است یک آشکارساز به طور کامل قطع نشود؛ ولی میزان حساسیت آن کاهش یابد. در این صورت به دلیل اختلاف در پاسخ آشکارسازها بر روی تصاویر نوارهایی دیده می‌شود که به این پدیده، نوارشدگی گفته می‌شود.

اثر نوارشدگی پارامترهای متفاوتی دارد که وابسته به ابزار اسکن صحنه و تعداد آشکارسازها می‌باشد. در تصاویر سنجنده-های آرایه‌ی نقطه‌ای[۲] (اپتیکال- مکانیکال) به دلیل حرکت دورانی یا نوسانی آینه‌های اسکن کننده که به صورت افقی و عمود بر مسیر حرکت ماهواره است، تمام نقاط یک خط از تصویر با یک سلول آشکارساز نمونه‌برداری می‌شود. بدین‌ترتیب این خطا به صورت نوارهای افقی و متناوب در روی تصویر ظاهر می-شود. اما در مورد تصاویر سنجنده‌های آرایه خطی[۳] این پدیده به شکل نوارهای عمودی ظاهر می‌شود(شکل۱). زیرا در این سنجنده‌ها همه‌ی خطوط تصویر با بکارگیری یک آرایه که در عرض شیارها واقع شده ثبت می‌شود و ستون‌های تصویر با حرکت ماهواره در جهت عمود بر اسکن خطوط حاصل می‌شود. در این روش نوارهای ایجاد شده در تصاویر غیر متناوب می-باشد[۱]. تصاویر مورد بررسی در این پروژه نیز با سنجنده‌هایی از نوع آرایه خطی بدست آمده‌اند.



شکل (۱): اثر نوارشدگی در تصاویر بدست آمده از ابزارهای تصویربردار آرایه خطی

اثر نوارشدگی کیفیت تصاویر بدست آمده را کاهش می دهد و در پردازش داده‌ها، به صورت نویز تاثیر می‌گذارد. بنابراین در مرحله پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای با بکارگیری روش‌های مختلف به تصحیح این خطا پرداخته می‌شود. به طور معمول این روش‌ها به روش‌های حوزه فرکانسی و روش‌های حوزه مکانی طبقه‌بندی می‌شوند[۲].

بطور معمول از فیلترها در حوزه فرکانس برای کاهش نوارهای متناوب در تصاویر استفاده می‌شود[۳]. از مزیت‌های روش‌های فیلتری قابلیت بکارگیری آن‌ها روی تصاویر کوچک است. برای تصحیح تصویر با این روش‌ها به تضعیف فرکانس‌های خاصی که سبب ایجاد نوارها شده پرداخته می‌شود. بکارگیری فیلتر wavelet برای تصحیح تصویر نمونه‌ای از این روش‌ها می-باشد[۴-۵]. در این راستا اطلاعات ساختاری تصویر در فرکانس-های یکسان با محدوده تضعیف شده حذف می‌شود. مرجع [۶] نیز روشی برای مشخص کردن اثر نوارها در مولفه‌های فرکانسی توسط توان طیف ارائه می‌دهد. در این مرجع نوارها با استفاده از فیلتری با پاسخ ضربه محدود حذف می‌شود. روش‌های فیلتری معمولا همه نوارها را حذف نمی کنند. علاوه بر آن حذف اطلاعات مفیدی از تصویر، منجر به محو شدن تصاویر می‌شود.

در حوزه مکان بیشتر الگوریتم‌ها به بررسی توزیع سطوح خاکستری (DN) بدست آمده برای هر سنسور می‌پردازند و سپس این توزیع با توجه به تعدادی توزیع مرجع، تنظیم می-شود[۷]. به این روش‌ها، روش‌های آماری نیز گفته می‌شوند؛ زیرا این روش‌ها اغلب بر این فرض استوار هستند که ورودی همه سنسورها مشخصه‌های آماری یکسانی دارند. از روش‌های این حوزه، تکنیک‌های انطباق مبتنی بر هیستوگرام است[۸-۱۱]. در این تکنیک‌ها فرض بر این است که ورودی‌ها، تابع چگالی احتمال یکسانی داشته باشند. از مزایای این روش‌ها قابلیت بکارگیری در برابر پاسخ‌های غیرخطی آشکارساز می‌باشد. از محدودیت‌های این روش‌ها آن است که بر روی تصاویر کوچک بویژه زمانی که تصویربرداری از نوع آرایه‌ی نقطه‌ای باشد، موثر نمی‌باشند[۱].

از دیگر روش‌های حوزه مکان، تکنیک‌های انطباق مبتنی بر گشتاور[۴] است. در این تکنیک‌ها، فرض بر این است که ورودی همه‌ی سنسورها بهره[۵] و انحراف معیار یکسانی دارند. در این روش‌ها رابطه بین سطح روشنایی ورودی آشکارساز و خروجی آن خطی فرض می‌شود[12].

علاوه بر روش‌های ارائه شده، روش‌هایی هم بکار رفته که با ترکیب چند روش به حذف دقیق‌تری از نوارها می‌پردازد. برای نمونه مرجع [۱۳] از ترکیب دو روش تبدیل فوریه و همچنین فیلتر wavelet به حذف نوارهای تصویر می‌پردازد. همچنین مرجع [۱۴] ترکیب دو روش انطباق گشتاور و همچنین فیلتر notch باتروورث را در حوزه فرکانس بکار می‌گیرد. بدین‌ترتیب که

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.13- No.2 Summer 2016

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.2.7.3]

ابتدا با محاسبه بهره و انحراف معیار ستون های تصویر در هر باند به تطبیق مشخصات آماری آرایه آشکارسازها نسبت به یک مقدار مرجع می پردازد و سپس با توجه ماهیت تصاویر، نوارهای قطری باقی مانده را با فیلتر notch حذف می نماید. اغلب روش‌های ترکیبی پیچیدگی محاسباتی بالایی دارند؛ بویژه زمانی که از روش‌های فرکانسی برای حذف نوارها بکار گرفته شود. زیرا روش‌های فرکانسی به دلیل بکارگیری تبدیل فوریه دارای پیچیدگی محاسباتی O(NLogN) می‌باشند.

علاوه بر روش‌های ارائه شده در این حوزه، روش‌های دیگری نیز مانند روش‌های درون یابی و Image Restoration، منجر به حذف نوارها و تصحیح تصویر شوند ولی این روش‌ها سبب محو شدن تصاویر شده و بویژه تک پیکسلی‌ها را blur می‌کند.

در مقاله حاضر با فرض خطی بودن پاسخ آشکارسازها (مدل افاین) به تصحیح اثر نوارشدگی تصاویر، با تکیه بر روش‌های انطباق گشتاور پرداخته می‌شود. ابتدا در الگوریتم پایه مطابق با روش ارائه شده در مرجع[۱]، با یک مدل آماری فرضی برای تصویر، یک تخمین‌گر برای تخمین گین در پاسخ آشکارسازها بکار گرفته شده و نشان داده می‌شود که این تخمین‌گر تحت فرض‌هایی ویژگی‌های همگرایی آماری دارد. در ادامه مدل آماری دیگری برای تصاویر ارائه شده و به تخمین انحراف پرداخته می‌شود.

ساختار این مقاله بدین‌ترتیب است که در بخش دوم به معرفی مبانی مدل در نظر گرفته شده برای آشکارسازها پرداخته و روش تصحیح مبتنی بر گشتاور به عنوان پایه‌ی روش پیشنهادی معرفی می‌شود. در بخش سوم روش جدید پیشنهادی برای تخمین پاسخ آشکارسازها و حذف نوارشدگی تصاویر ارائه می‌شود. بخش چهارم به پیاده‌سازی روش‌های انطباق گشتاور وفقی و روش پیشنهادی و مقایسه‌ی نتایج اختصاص دارد، در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری نهایی ذکر گردیده است.

۲- تخمین پاسخ صحیح آشکارسازها

۲-۱- ویژگی مدل سنجنده

چنانچه گفته شد به عنوان تخمینی که برای بیشتر آشکارسازهای ابزارهای ماهواره‌ای برقرار است، پاسخ آشکارساز می‌تواند به صورت تابع افاین و وابسته به دو پارامتر بهره و انحراف درنظر گرفته می‌شود. برای تصاویر بدست آمده از ابزارهای آرایه خطی هر ستون تصویر از پاسخ یک آشکارساز ایجاد می‌شود و با محاسبه بهره و انحراف هر ستون، در واقع پارامترهای آشکارساز مربوط به آن حاصل می‌شود. تصویر τ با $R\times C$ پیکسل را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$\tau=\{(r,c), r=1,...,R, c=1,...,C\}. \quad (۱)$$

، نمایشی از سطرها و c نشان‌دهنده ستون‌ها است. در مدل خطی اگر تصویر اصلی حاصل از آشکارساز سالم با x و تصویر خروجی یک سنجنده با y نشان داده شود رابطه‌ی بین x و y برای هر ستون به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$y_{r,c}=g_c x_{r,c}+o_c. \quad (۲)$$

در این رابطه g_c نشان دهنده گین و o_c نشان دهنده انحراف آشکارساز ستون c می‌باشد که در حالت ایده آل و با فرض سالم بودن آشکارسازها، گین برابر ۱ و انحراف برابر صفر فرض می‌شود.

۲-۲- تخمین پارامترهای مدل به روش انطباق گشتاور

در روش انطباق گشتاور، با صرف نظر از اثر انحراف در رابطه‌ی (۲)، خطای موجود در تصاویر به اثر بهره در پاسخ آشکارسازها نسبت داده شده و فقط به تخمین بهره در مدل ساده شده‌ی (۳) پرداخته می‌شود.

$$y_{r,c}=g_c x_{r,c} \quad (۳)$$

در این مدل، هدف تخمین بهره g_c برای هر کدام از ستون‌های تصویر است. از آنجایی که مقادیر داده‌ها در تصویر واقعی $(x_{r,c})$ ناشناخته هستند، با توجه به ابعاد معمولا بزرگ تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به افزونگی آماری تکیه کرد. بدین‌ترتیب که باید C گین ناشناخته، از روی $R\times C$ پیکسل تصویر موجود $(y_{r,c})$ تخمین زده شود. R (تعداد ردیف‌ها) می‌تواند به دلخواه زیاد باشد و انتظار می‌رود با افزایش آن نتیجه‌ی کلی بهبود یابد.

با تخمین مقدار بهره می‌توان بر اساس رابطه (۴) اثر بهره را در تصاویر حذف نموده و تصاویر را تصحیح کرد.

$$x'_{r,c}=y_{r,c}/g'_c \quad (۴)$$

در این رابطه، g'_c بهره تخمین زده شده برای آشکارسازی ستون cام و $x'_{r,c}$ تصویر تصحیح شده است.

میانگین تجربی یک ستون $\left(m_c^y\right)$ به صورت زیر بیان می‌شود:

$$m_c^y=\left(\frac{1}{R}\right)\sum_{r=1}^{R}y_{r,c}=g_c\left(\frac{1}{R}\right)\sum_{r=1}^{R}x_{r,c}. \quad (۵)$$

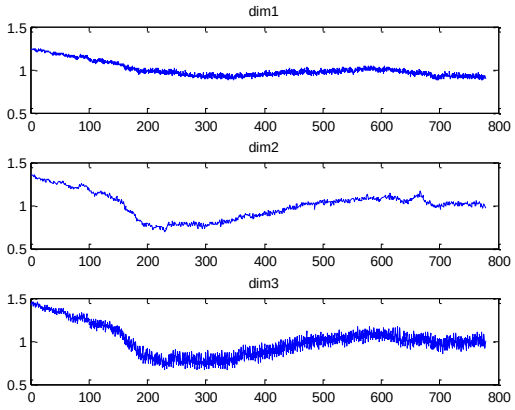
اگر فرض شود که تمام ستون‌های تصویر دارای میانگین آماری یکسانی است، یک تخمین‌گر بهره با تعداد نامحدودی

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.2.7.3]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.2 Summer 2016

ردیف به گین‌های درست همگرا می‌شود و به سادگی می‌توان آن را در چارچوب آماری تعریف کرد. در این حالت، مقدار رابطه (۵) به سمت $g_c m_c^x$ همگرا می‌شود که $m_c^x = E[X_{r,c}]$ میانگین داده‌های بی‌عیب است. از طرفی میانگین تجربی و آماری کل تصویر y برابر است (با فرض $E[g_c]=1$) با: $m_y = \left(\frac{1}{RC}\right)\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C} y_{r,c} = m_x E[g_c] = m_x$. بدین‌ترتیب تخمین‌گر بهره به روش انطباق گشتاور بر مبنای میانگین به صورت زیر بیان می‌شود[۱]:

$$g_c'^{EM} = \frac{m_c^y}{m_y} = \frac{\sum_{r=1}^{R} y_{r,c}}{\sum_{c'=1}^{C}\sum_{r=1}^{R} y_{r,c'}}. \qquad (۶)$$

در شکل (۲) گین محاسبه شده با این روش در یک تصویر نمونه، دارای ۳ باند طیفی با ابعاد ۶۰۱ × ۷۸۰ نشان داده شده است.



شکل (۲): نمودار تخمین گین در هر باند به روش انطباق گشتاور (محور افقی شماره ستون تصویر و محور عمودی مقدار گین زده شده را نشان می‌دهد)

۳-۲- تخمین بهره با روش انطباق گشتاور تطبیقی

روش انطباق گشتاور بیان شده در بخش ۲-۲ بیشتر برای حذف نوارهای متناوب در تصاویر سنجنده‌های آرایه نقطه‌ای مناسب می‌باشد. برای تصاویر بدست آمده با سنجنده‌های از نوع آرایه خطی، میانگین داده‌ها در طول ستون‌های یک تصویر با تعداد سطر کم را نمی‌توان ثابت فرض کرد. این مسئله در نمودارهای شکل (۲) به صورت تغییرات فرکانس پایین در هر یک از سه باند قابل مشاهده است. در چنین حالتی می‌توان از مدل تطبیقی بیان شده در [۱] استفاده کرد. در این مدل، میانگین تصویر به طور محلی با بکارگیری یک پنجره نرمالیزه اطراف هر ستون و نسبت دادن وزن به مقادیر هر ستون محاسبه می‌شود:

$$g_c'^{AD} = \frac{m_c^y}{m_{w_c}^y} = \frac{\sum_{r=1}^{R} y_{r,c}}{\sum_{c'=c-L}^{c+L} (w_{c'-c}\sum_{r=1}^{R} y_{r,c'})}. \qquad (۷)$$

$m_{w_c}^y$ بهره محلی وزن‌دار ستون c و ستون‌های مجاور است. معمولا پنجره گوسین با عرض $(2\times L)+1$ برای وزن‌دهی ستون‌های مجاور ستون مورد نظر استفاده می‌شود. برهمین اساس در شکل (۳) گین محاسبه شده با روش تطبیقی برای هر باند- از همان تصاویر استفاده شده در شکل (۲)- نشان داده شده است که کاملاً با نمودارهای متناظر نمایش داده شده در [۱] مطابقت دارد. ملاحظه می‌شود که فرکانس‌های پایین منحنی‌ها کاملا حذف شده‌اند.

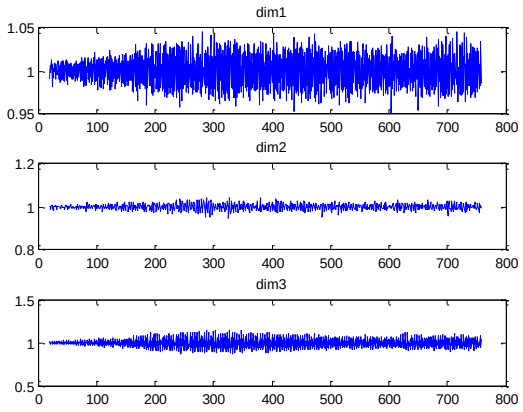
در این مقاله تخمین‌گر تطبیقی مبنای انجام محاسبات قرار می‌گیرد و در ادامه منظور از تخمین بهره، تخمین با این روش است.

۳- روش پیشنهادی (روش تخمین انحراف)

۳-۱- مبانی مدل روش پیشنهادی

همانطور که از رابطه‌ی (۳) مشخص است در صورتی که خطای آشکارساز به صورت یک بهره باشد، میزان خطای حاصل شده در تصویر خروجی سنجنده متناسب با مقدار روشنایی آن در تصویر اصلی خواهد بود. به عبارت دیگر انتظار می‌رود مقدار خطای مشاهده شده در تصویر $y_{r,c}$ در نقاط روشن تصویر بیشتر و در نقاط تاریک آن ناچیز باشد در حالیکه مشاهده و دقت در تصاویر موجود این مسئله را نشان نمی‌دهد، بلکه برعکس خطای نوارشدگی در نواحی تاریک تصویر (مثل دریاها) بسیار واضح‌تر از نقاط روشن (مثل ابرها) است و تقریبا در تمام سطح تصویر(قسمت خاکستری) به صورت یکنواخت وجود دارد(شکل ۴). این مسئله بیانگر این موضوع است که نسبت دادن اثر بهره به خطای آشکارسازها فرض درستی نیست. با فرض همان مدل خطی رابطه‌ی (۲) نوع و توزیع خطای مشاهده شده در تصاویر به خطایی در مقدار انحراف بسیار نزدیک‌تر است.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.13- No.2 Summer 2016
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.2.7.3]



شکل (۳): محاسبه گین برای هر باند تصویر شکل (۲) به روش انطباق گشتاور با تخمین‌گر بهره تطبیقی با پنجره گوسین به طول ۹ (L=۴) (محور افقی شماره ستون تصویر و محور عمودی مقدار تخمین گین را نشان می‌دهد).

با این توضیح، در روش پیشنهادی با صرف نظر از اثر گین خطای موجود در تصاویر دارای نوارشدگی، به اثر انحراف در پاسخ آشکارسازها نسبت داده می‌شود. بدین‌ترتیب رابطه بین پاسخ واقعی آشکارساز و پاسخ آشکارساز سالم به صورت رابطه (۸) می‌آید.

$$y_{r,c} = x_{r,c} + o_c \qquad (۸)$$

در این شرایط برای تصحیح تصویرخروجی آشکارساز، باید مقدار انحراف (o_c) تخمین زده شده و اثر آن حذف گردد. در روش ارائه شده مقدار انحراف هر ستون را بر اساس بهره تجربی و بهره محلی وزن‌دار آن ستون، متناظر با روش انطباق گشتاور تطبیقی (بخش ۲-۳) تخمین زده و سپس برای تصحیح تصویر، اثر آن از تصاویر خطادار حذف می‌گردد(۹).

$$x'_{r,c} = y_{r,c} - o'_c \qquad (۹)$$

در این روابط o'_cانحراف تخمین زده شده و $x'_{r,c}$ تصویر تصحیح شده با حذف اثر انحراف می‌باشد.

۲-۳- تخمین انحراف آشکارسازها

برای محاسبه تخمین انحراف هر ستون، از معادله (۸) شروع کرده و از طرفین معادله در طول داده‌های یک آشکارساز بهره گرفته می‌شود:

$$E_r(y_{r,c}) = E_r(x_{r,c}) + E_r(o_c). \qquad (۱۰)$$

با توجه به ثابت بودن مقدار انحراف در هر آشکارساز:

$$o_c = E_r(x_{r,c}) - E_r(y_{r,c}). \qquad (۱۱)$$

حال در طرفین رابطه‌ی (۱۱) امید ریاضی آشکارسازهای مختلف سنجنده (روی ستون‌ها) محاسبه می‌شود(۱۲).

$$E_c(o_c) = E_c(E_r(x_{r,c})) - E_c(E_r(y_{r,c})) \qquad (۱۲)$$

با فرض صفر بودن بهره انحراف آشکارسازهای مختلف سنجنده و همچنین یکسان بودن متوسط ورودی هر آشکارساز رابطه (۱۳) بدست می‌آید.

$$E_r(x_{r,c}) = E_c(E_r(y_{r,c})) \qquad (۱۳)$$

با جایگذاری رابطه (۱۳) در رابطه (۱۱) :

$$o_c = E_c(E_r(y_{r,c})) - E_r(y_{r,c}). \qquad (۱۴)$$

در نهایت با تخمین امید ریاضی با بهره حسابی مقادیر، انحراف یک آشکارساز تخمین زده می‌شود.

$$o'_c = \frac{1}{C}\frac{1}{R}\sum_{c'=1}^{C}\sum_{r=1}^{R} y_{r,c'} - \frac{1}{R}\sum_{r=1}^{R} y_{r,c} \qquad (۱-۱۵)$$

به عبارت دیگر با نمادهای بخش دوم:

$$o'_c = m^y - m^y_c. \qquad (۲-۱۵)$$

همانند روش انطباق گشتاور مبتنی بر بهره، در اینجا نیز اگر تعداد آشکارسازهای یک سنجنده مانند سنجنده‌های آرایه خطی زیاد باشد، ممکن است فرض یکسان بودن بهره ورودی همه‌ی آشکارسازها صادق نباشد. در این حالت در مرحله آخر به جای بهره روی تمام آشکارسازها می‌توان همانند روش انطباق گشتاور تطبیقی، از بهره وزن‌دار روی خروجی آشکارسازها در یک پنجره حول هر کدام از ستون‌ها استفاده کرد(۱۶).

$$o'_c = m^y_{w_c} - m^y_c = \frac{1}{R}\frac{1}{2L+1}\sum_{i=-L}^{L}\sum_{r=1}^{R} w_i y_{r,c+i} - \frac{1}{R}\sum_{r=1}^{R} y_{r,c} \qquad (۱۶)$$

در بخش بعد نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌های حذف نوارشدگی با روش انطباق گشتاور تطبیقی و روش پیشنهادی روی تصاویر نشان داده شده و مقایسه می‌شود.

۴- پیاده‌سازی

۴-۱- معرفی تصویر نمونه

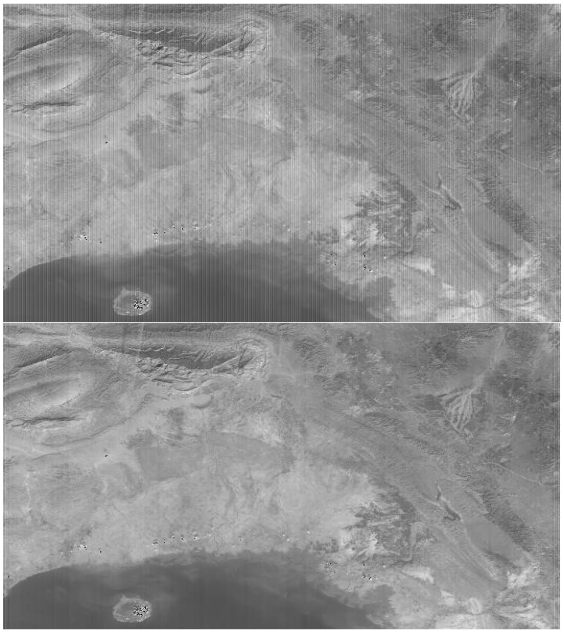
برای ارزیابی و مقایسه‌ی روش پیشنهادی، عملکرد روش‌های مطرح شده در بخش قبل بر روی تصاویری از سنجنده‌ی AWIFS ماهواره‌ی IRS-P6 پیاده‌سازی و مقایسه شده است که در این بخش نمونه‌ای از آن معرفی می‌شود. سنجنده‌ی AWIFS از نوع آرایه خطی و دارای دقت مکانی ۵۶ تا ۷۰ متر

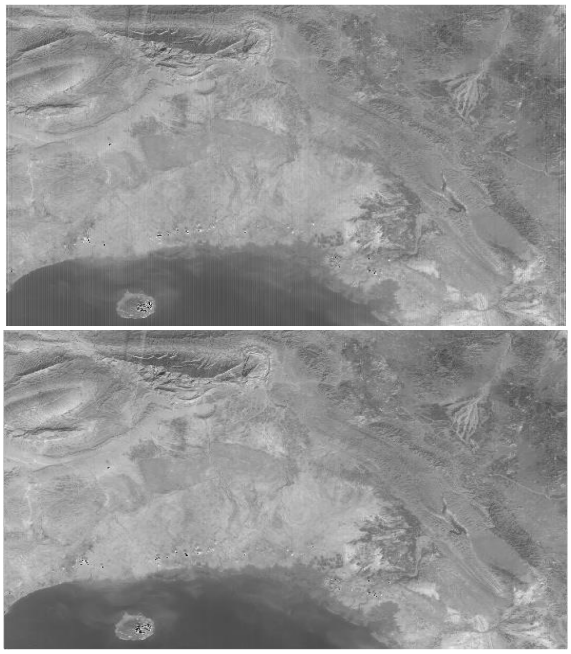
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.2.7.3]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.2 Summer 2016

است. هر خط از این سنجنده توسط چند آرایه‌ی خطی با مجموع ۱۲۰۰۰ نقطه و در چهار باند طیفی، سبز(G)، قرمز(R)، مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز کوتاه(SWIR) تصویربرداری می‌شود.

شکل (۴-الف) بخشی از یک باند تصویری از این سنجنده است که به عنوان تصویر تست در نظر گرفته و الگوریتم‌های ارائه شده روی آن‌ها پیاده‌سازی می‌شود. ابعاد این تصویر، ۱۲۰۰ × ۱۶۰۰ پیکسل است. خطوط عمودی و نامتناوب روی تصاویر ناشی از پدیده نوارشدگی می‌باشد. اجرای الگوریتم‌ها روی تصاویر در محیط شبیه‌سازی MATLAB صورت گرفته است. شکل (۴- ب) نتیجه اجرای الگوریتم حذف نوارهای تصویر با روش انطباق گشتاور تطبیقی و شکل (۴- ج) نتیجه اجرای روش پیشنهادی می‌باشد. برای بررسی و مقایسه عملکرد دو روش می‌توان این تصاویر را با تصویر نشان داده شده در شکل (۴-د) که تصویر تصحیح شده توسط ایستگاه دریافت(با استفاده از داده‌های کالیبراسیون برخط[۶]) ماهواره که به صورت مرجع استفاده می‌شود، مقایسه کرد.

تابع استفاده شده برای تصحیح به روش پیشنهادی در MATLAB در شکل (۵) آورده شده است.





شکل (۴): الف) تصویر اولیه دارای خطای نوارشدگی ب) حذف نوارها با روش انطباق گشتاور تطبیقی(مبتنی بر بهره). ج) حذف نوارها با روش پیشنهادی(مبتنی بر انحراف) د) تصویر مرجع

```
function [x] = destrip( y )

    [R , C , B] = size( y );
    L = 4;
  W = gausswin( 2*L+1 )';
    ColAve = sum( y ) / R;
    LocalAve = imfilter( ColAve , w / sum(w) );
    O_hat = LocalAve - ColAve;
    for r = 1:R
      x(r , : , :) = y(r , : , :) + O_hat(1 , : , : );
    end;
```

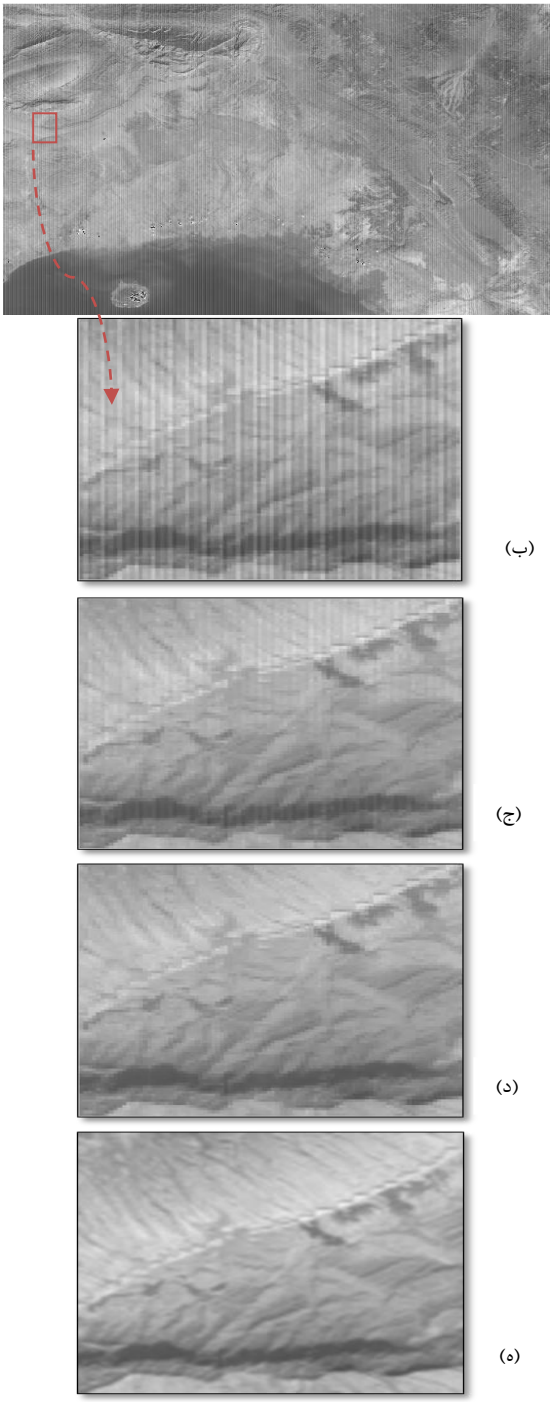
شکل (۵): تابع MATLAB برای تصحیح به روش پیشنهادی

۲-۴- مقایسه کیفی نتایج

مقایسه‌ی کیفی تصاویر نشان می‌دهد که تصحیح در روش پیشنهادی (با در نظر گرفتن اثر انحراف) بهتر انجام شده و نوارها به صورت موثرتری با این روش حذف شده است؛ در حالیکه در روش اول (شکل ۴-ب) هنوز نوارهایی در تصویر مشاهده می‌شود. در شکل (۶) نمای بزرگ شده‌ای از قسمتی از تصاویر تصحیح شده با هر دو روش و تصویر مرجع، برای مقایسه‌ی دقیق‌تر نشان داده شده است.

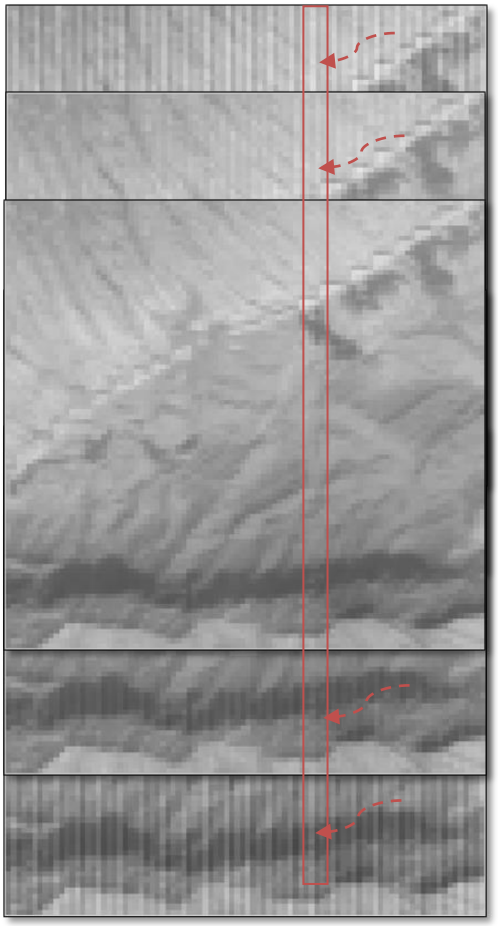
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.2.7.3]



شکل(۶): (الف) تصویر اولیه دارای خطای نوارشدگی، (ب) نمای بزرگ شده ناحیه مشخص از تصویر (الف)، (ج) تصویر تصحیح شده با روش مبتنی بر بهره، (د) تصویر حاصل از اجرای روش پیشنهادی، (ه) تصویر مرجع

با دقت بیشتر در نتایج روش مبتنی بر بهره مشخص می‌شود که در نواحی روشن تصویر، نوارهای تصویر اولیه، در تصویر تصحیح شده با نوارهای معکوس جایگزین شده‌اند. در حالیکه در نواحی تیره تصویر این نوارها به همان صورت نوارهای اولیه با شدت کمتر مشاهده می‌شوند. البته در نواحی با روشنایی متوسط، نوارها به خوبی حذف گردیده‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که میزان تصحیح با استفاده از روش بهره در نواحی روشن بیشتر از مقدار مورد نیاز و در نواحی تیره کمتر از مقدار لازم بوده است که در تصاویر تصحیح شده به روش پیشنهادی این مسئله دیده نمی‌شود(شکل ۷). دلیل این موضوع همانطور که در مقدمه‌ی روش پیشنهادی(بخش ۳-۱) ذکر شد متناسب بودن میزان تصحیح با مقدار روشنایی هر نقطه در روش بهره است.



شکل(۷): مقایسه نوارهای تصویر اولیه و تصویر حاصل از روش مبتنی بر بهره و روش پیشنهادی. بررسی نوارها در نواحی روشن و تیره تصویر (تصویر زیرین تصویر اولیه، تصویر وسط تصویر حاصل از اجرای الگوریتم روش مبتنی‌بر بهره و تصویر رویی تصویر حاصل از اجرای روش پیشنهادی است.)

۳-۴- ارزیابی کمی نتایج

برای بررسی دقیق‌تر نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌ها و مقایسه بین روش‌ها از چند مقدار کمی برای مقایسه‌ی تصاویر استفاده شده است. در این‌جا از چگالی لبه‌های موجود در تصاویر، به عنوان معیاری برای ارزیابی استفاده شده است. در این روش با کمک تکنیک‌های متعدد لبه‌های موجود در تصاویر استخراج شده و نسبت نقاط لبه به کل تصویر به عنوان معیار مقایسه در

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.2.7.3]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.2 Summer 2016

نظر گرفته می‌شود. با توجه به ماهیت فرکانس بالای خطای نوارشدگی، این خطا باعث ایجاد لبه‌های عمودی اضافی در تصویر می‌گردد. بنابراین مقایسه‌ی چگالی لبه‌ها در تصاویر می‌تواند معیاری از حذف صحیح خطای نوارشدگی باشد.

برای استخراج لبه‌ها از روش‌های آشکارسازی لبه Canny، Prewitt، Roberts استفاده شده و برای مقایسه‌ی چگالی لبه‌ها، اختلاف چگالی نسبی لبه‌های هر تصویر نسبت به تصویر مرجع با استفاده از رابطه (۱۷) محاسبه شده است.

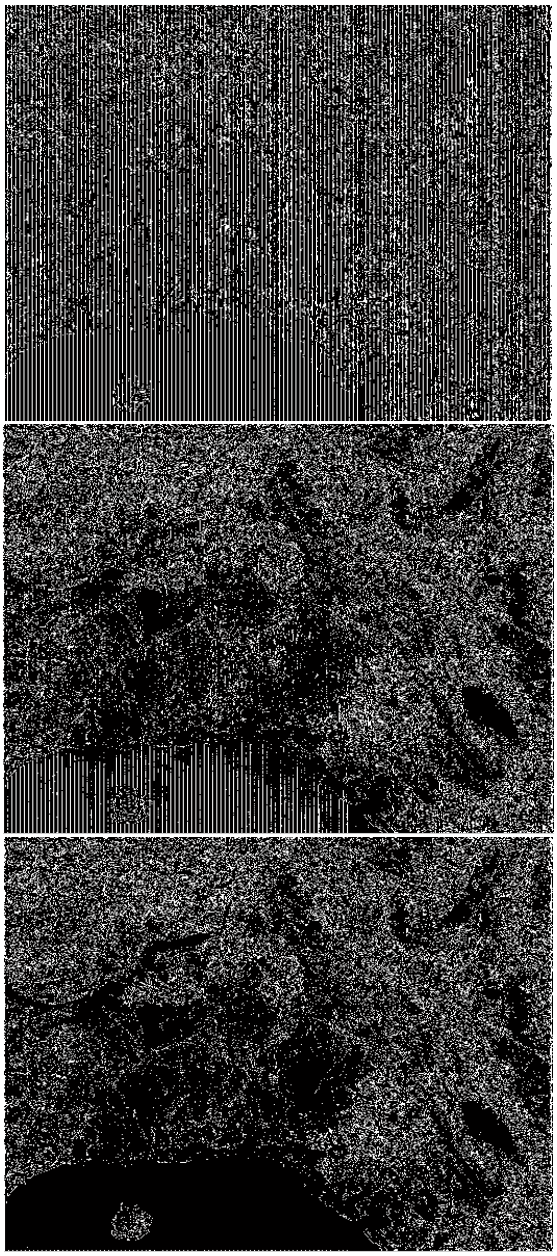
$$S_a = 1 - \frac{|d_a - d_t|}{d_t} \qquad (۱۷)$$

d_a چگالی لبه‌ها در تصاویر پس از اجرای الگوریتم حذف نوارها است d_t چگالی لبه‌ها در تصویر مرجع می‌باشد و S_a چگالی نسبی لبه‌ها است. در آشکارسازهای لبه مورد استفاده، مقدار آستانه 0.001 انتخاب شده است. جدول (۱) چگالی نسبی لبه‌ها در تصاویر را پس از اجرای الگوریتم‌های حذف نوارشدگی با بکارگیری روش‌های مختلف نشان می‌دهد. علاوه براین نتیجه تصحیح تصویر با کمک فیلتر پایین‌گذر نیز برای مقایسه بهتر در این جدول ارائه شده است.

جدول(۱): چگالی نسبی لبه‌ها در تصاویر پس از اجرای الگوریتم‌های حذف نوارشدگی

آشکارسازهای لبه / چگالی لبه-ها	Roberts	Canny	Prewitt
تصویر اولیه	۰,۷۶۳۲	۰,۸۷۲۱	۰,۸۵۵۶
تصویر حاصل از روش بهره	۰,۹۵۱۲	۰,۹۷۷۱	۰,۹۸۹۲
تصویر حاصل از فیلتر پایین-گذر	۰,۸۶۳۳	۰,۹۶۷۲	۰,۸۸۹۹
تصویر حاصل از روش پیشنهادی	۰,۹۸۸۰	۰,۹۹۴۴	۰,۹۹۵۴

به عنوان نمونه شکل‌های (۸) لبه‌های آشکارشده در تصاویر را با روش Roberts را نشان می‌دهند. برتری روش پیشنهادی بویژه در مناطق دارای بافت یکنواخت نظیر آبها به خوبی قابل مشاهده است.



شکل(۸): الف) لبه‌های آشکارشده در تصویر اولیه دارای خطای نوارشدگی. ب)آشکارسازی لبه‌های آشکارشده در تصویر به روش انطباق گشتاور وفقی(مبتنی بر بهره).ج) آشکارسازی لبه در تصویر حاصل از اجرای روش پیشنهادی(مبتنی بر انحراف)

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله به ارائه روشی برای حذف خطای نوارشدگی تصاویر ماهواره‌ای پرداخته می‌شود. در این روش با فرض خطی بودن پاسخ آشکارسازها و به صورت انحراف در نظر گرفتن خطای موجود در این پاسخ، به محاسبه انحراف پرداخته می‌شود و با حذف اثر آن تصاویر تصحیح می‌شود. روش ارائه شده برپایه روش آماری انطباق گشتاور می‌باشد. مقایسه نتایج پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم‌های مشابه در این زمینه، روی تصاویر

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.2.7.3]

مختلف به صورت کمی و کیفی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های رایج تصحیح خطای نوارشدگی، بسیار بهتر عمل می‌کند. همچنین در این مقایسه باید حجم محاسبات و داده‌های در اختیار هم در نظر گرفته شود. مسلما شاید بتوان روش‌هایی با مدل پیچیده‌تر (برای مثال غیرخطی) و البته با محاسبات بسیار بیشتر و یا با فرض وجود اطلاعات اضافی مانند جداول کالیبراسیون سنجنده و غیره بکار گرفت، که عملکردی بهتر از روش پیشنهادی داشته باشند ولی با توجه سادگی مدل درنظر گرفته شده، سادگی و سرعت محاسبات و همچنین عدم نیاز به هر گونه اطلاعات اضافی می‌توان ادعا کرد که روش پیشنهادی بهترین نتیجه را در مقایسه با تصحیح کننده‌های هم تراز خود داراست. مطالعه‌ی بیشتر روی نتایج حاصل از این روش مانند بکارگیری در سنجنده‌های دیگر با دقت مکانی، طیفی و رادیومتری متفاوت این ادعا را بیشتر اثبات می‌کند. ذکر این نکته هم جالب است که مقادیر انحراف محاسبه شده برای یک تصویر، برای تصحیح ستون‌های متناظر در تصاویر دیگری از همان سنجنده نیز استفاده شده است که نتایج مناسبی به همراه داشته است. این نکته اعتبار مدل در نظر گرفته شده و همچنین روش تخمین انحراف را تایید می‌کند. علاوه براین در روش ارائه شده حتی عارضه‌های تک پیکسلی نیز تک پیکسلی باقی می‌مانند.

مراجع

[1] Carfantan, H., Idier, J., "Statistical Linear Destriping of Satellite-Based Pushbroom-Type Images", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., VOL. 48, NO. 4, Apr. 2010.

[2] Yan, C., Xian, Z. and Jun, L., "Study on methods of noise reduction in a stripped image", The international archives of the photogrammetry, Remote sensing and spatial information Sciences, Vol. 37, pp. 213-216, 2008.

[3] Kaur, S. and Singh, R., "An efficient method for periodic vertical banding noise removal in satellite images. International Journal on Computer Science and Engineering, Vol. 4, No. 10, pp. 1710–1721, 2012.

[4] Münch, B., Trtik, P., Marone, F., and Stampanoni, M., "Stripe and ring artifact removal with combined wavelet-
Fourier filtering," Opt. Express, Vol. 17, No. 10, pp. 8567–8591, May 2009.

[5] Chen, J., Lin, H., Shao, Y., Yang, L., "Oblique Striping Removal in Remote Sensing Imagery Based on Wavelet Transform", Int. J. Remote Sens., Vol. 27, No. 8, pp. 1717–1723, Apr. 2006.

[6] Chen, J., Shao, Y., Guo, H., Wang, W., Zhu, B., "Destriping CMODIS Data by Power Filtering", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 41, No. 9, pp. 2119–2124, Sep. 2003.

[7] Shen HF, Ai TH, Li PX, "Destriping and Inpainting of Remote Sensing Images Using Maximum a-Posteriori Method", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Jul. 2008.

[8] Horn, B. K. P., Woodham, R. J., "Destriping LANDSAT MSS Images by Histogram Modification", Comput. Graph. Image Process. , Vol. 10, pp. 69–83, 1979.

[9] Poros and Peterson. C. J., "Methods for Destriping Landsat Thematic Mapper Images—A Feasibility Study for an Online Destriping Process in the Thematic Mapper Image Processing System (TIPS)," Photogramm. Eng. Remote Sens., Vol. 51, No. 9, pp. 1371–1378, Nov. 1985.

[10] Wegener, M., "Destriping Multiple Sensor Imagery by Improved Histogram Matching", Int. J. Remote Sens., Vol. 11, No. 5, pp. 859–875, May 1990.

[11] Bouali, M. and Ladjal, S., "Toward Optimal Destriping of MODIS Data using a Unidirectional Variational Model", IEEE Trans. on Geosc. Remote. Sens., Vol. *49, No. 8, pp. 2924-2935*, 2011.

[12] Gadallah, F. L., Csillag, F., "Destriping Multisensor Imagery with Moment Matching", Int. J. Remote Sens., Vol. 21, No. 12, pp. 2505–2511, 2000.

[13] M¨unch, B., Trtik, P., Marone, F., Stampanoni, M., "Stripe and ring artifact removal with combined wavelet-Fourier filtering", Opt. Express, Vol. 17, No. 10 May, 2009.

[14] Amraei, E., Mobasheri, M. R., "Striping Noise Removal of Images Acquired by CBERS 2 CCD Camera Sensor", The 1st ISPRS International Conference on Geospatial Information Research, Tehran, Iran, Nov. 2014.

[15] Resource sat-1(IRS-P6) Data user's handbook, National Remote Sensing Agency NRSA-India, Oct. 2003.

زیرنویس‌ها

[1] Destriping
[2] Wisk broom
[3] Push broom
[4] Moment
[5] Gain
[6] On board calibration

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.2.7.3]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.2 Summer 2016