



سجش از دور

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

۷۰-۵۵



تحلیل قابلیت شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصاویر تلفیق‌شده ماهواره‌ای با مدلسازی تخریب طیفی و مکانی

مهرنوش شاکری پور^{۱*}، فردین میرزاپور^۲، علی درویشی بلورانی^۳، سید کاظم علوی پناه^۴

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
۲. استادیار، دانشکده برق، دانشگاه صدرا
۳. استادیار، دانشکده جغرافیا، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران
۴. استاد، دانشکده جغرافیا، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۳/۲۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۸/۱۰

چکیده

تلفیق تصاویر ماهواره‌ای و ایجاد داده‌هایی با قابلیت مکانی و طیفی بالاتر از داده‌های موجود جایگاه و نقشی ویژه در مباحث سنجش از دور دارد. این درحالی است که دقت و کارایی همه مراحل پردازش در مسیر استفاده از این داده‌ها به دقت و اعتمادپذیری داده تولیدشده وابسته است. درنهایت، استفاده بهینه از تصویر تلفیق‌شده مبتنی بر دقت روش تلفیق است. بررسی این مهم به انتخاب درست شاخص ارزیابی، متناسب با هدف و حیطة کاربرد تصویر تلفیق‌شده، نیاز دارد. ارجحیت حفظ اطلاعات مکانی و طیفی در کاربردهای گوناگون، همچون منابع طبیعی، مناطق شهری و مانند آن، متفاوت است. بنابراین، انتخاب بهترین روش تلفیق با بررسی از طریق شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصویر متناسب با حیطة کاربرد تصویر یکی از چالش‌های کاربران در این زمینه است. از این رو، مقاله حاضر به آنالیز و ارزیابی بیست روش رایج ارزیابی کیفیت تصویر، با هدف معرفی شاخص مناسب در بین شاخص‌های مطرح براساس کاربرد تصویر تلفیق‌شده، معرفی عوامل تفاوت نظر شاخص‌ها در بیان کیفیت و ارائه مدلی برای دریافتن توانای هر یک از شاخص‌ها در نمایش اعوجاجات رخ داده در جنبه اطلاعات طیفی و مکانی تصویر پرداخته است. بدین منظور، دو شاخص فیلتر بالاگذر و زاویه نگاشت طیفی به‌منزله مبنای اطلاعات مکانی و طیفی تصویر در نظر گرفته شد و عملکرد هر یک از شاخص‌ها در بیان کیفیت داده‌های شبیه‌سازی‌شده، که شامل تصاویری با اعوجاج طیفی و مکانی کنترل شده است، بررسی شد. برای ایجاد اعوجاج طیفی از اثر اعمال فیلتر بالاگذر، جابه‌جایی باند و تغییر تن رنگ بهره گرفته شده است. همچنین، از فیلتر پایین‌گذر و عملگرهای فرسایشی با عنصر ساختاری با ابعاد متفاوت برای مخدوش کردن اطلاعات مکانی استفاده شده است. در بررسی‌های انجام‌شده در این تحقیق، از تصاویر ماهواره‌های EO-1، Landsat8 و Worldview که قدرت تفکیک طیفی و مکانی متفاوت دارند، استفاده شد. از هر تصویر قطعاتی با کاربری اراضی متفاوت به‌منزله تصاویر تست برش داده شد. نتیجه ارزیابی شاخص‌ها روی تصاویر تست دسته‌بندی شاخص‌ها، از نظر توانایی نمایش انحرافات طیفی و مکانی، در سه گروه قرار می‌گیرد. دسته نخست روش‌های مبتنی بر نویز برای ارزیابی کلی تصویر در مقابل نویز است، شامل شاخص‌های WSNR، PSNR، MSE، ERGAS. دسته دوم روش‌های هم‌سو با روش نگاشت زاویه طیفی «SAM» که به دلیل نمایش بهتر انحرافات طیفی، برای برآورد تخریب اطلاعات طیفی تصویر مناسب‌تر است و شاخص‌های BIAS، RASE، Q، MSSIM، NQM، FSIM، SRSIM، SAM را در بر می‌گیرد. دسته سوم شاخص هم‌روند با شاخص فیلتر بالاگذر «HPF»، شامل شاخص‌های MAD و RFSIM است که برای برآورد تخریب اطلاعات مکانی تصویر مناسب‌تر است.

کلیدواژه‌ها: سنجش از دور، فیلتر بالاگذر^۱، شاخص نگاشت زاویه طیفی، اطلاعات طیفی و مکانی.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: تهران، خیابان انقلاب، خیابان وصال شیرازی، نبش کوچه آذین، دانشکده جغرافیا. تلفن: ۰۹۱۳۲۰۸۲۶۹۳

۱- مقدمه

محدودیت سیگنال به نویز سنجنده‌های سنجش از دور سبب شده تصاویر پانکروماتیک اطلاعات مکانی بالایی داشته باشند اما در مقابل، تصاویر چندطیفی و ابرطیفی اطلاعات طیفی بیشتری را با قدرت تفکیک مکانی کمتر ارائه دهند. تکنیک‌های تلفیق تصاویر، روشی مناسب برای دستیابی به تصویری با هر دو ویژگی طیفی و مکانی بالا است (Al-Wassai et al., 2011). هریک از روش‌های تلفیق نسبت‌های گوناگونی از اطلاعات مکانی و طیفی را به تصویر تلفیق‌شده انتقال می‌دهد که طی این فرایند، به‌طور معمول، مقداری اعوجاج در تصویر حاصل ایجاد می‌شود. یعنی در مراحل پیاده‌سازی الگوریتم، این اطلاعات دچار تغییراتی می‌شوند. در سال‌های اخیر، تکنیک‌های تلفیق تصاویر بسیاری توسعه یافته‌اند (Kim et al., 2011, Hu et al., 2010). بنابراین، انتخاب روش مناسب در بین روش‌ها با توجه به کارایی الگوریتم در حفظ اطلاعات تصویر و حیطة کاربرد تصویر اهمیت می‌یابد.

کیفیت تصویر بیان‌کننده میزان تخریب اطلاعات تصویر است (Zhang et al., 2011). از این‌رو، ارزیابی کیفیت تصویر تلفیق‌شده کارایی الگوریتم تلفیق را در حفظ اطلاعات تصاویر ورودی نشان می‌دهد. روش‌های ارزیابی کیفیت تصویر^۱ به دو دسته کلی روش‌های «ارزیابی بصری» و «ارزیابی کمی» تقسیم‌بندی می‌شود (Shi et al., 2005). ارزیابی بصری، افزون بر زمان‌بر و پرهزینه بودن، دارای مشکلاتی در روند ارزیابی است، همچون شرایط نمایش تصویر و تفاوت درک بصری افراد متفاوت. از این‌رو، ارزیابی کمی کیفیت تصویر از زمینه‌های فعال در تحقیقات مرتبط با حوزه تصویر است (Raut et al., 2013).

بر مبنای دیدگاهی کلی، روش‌های ارزیابی کیفیت کمی در سیر تکاملی خود، از روش‌های صرفاً آماری به روش‌های مبتنی بر پارامترهای بصری ارتقا یافته‌اند که براساس نوع عملکرد نیز دسته‌بندی شده‌اند. ابتدایی‌ترین روش‌های ارزیابی کیفیت تصویر شامل

«روش‌های صرفاً آماری»، مانند ضریب همبستگی^۲ است که همبستگی بین تصویر مرجع و تصویر حاصل از تلفیق را محاسبه می‌کند. این ضریب میزان شباهت بین دو تصویر را نشان می‌دهد که هر اندازه به ۱ نزدیک‌تر باشد، روش تلفیق ایده‌آل‌تر و تشابه دو تصویر به یکدیگر بیشتر است (Han et al., 2008). شاخص Bias بیانگر تفاوت میانگین تصویر مرجع و تصویر حاصل از تلفیق است که میزان کمتر این شاخص تشابه بیشتر تصاویر را نشان می‌دهد (Han et al., 2008). شاخص Mean Square Error (MSE) مقدار خطای میانگین مربعی بین هر زوج پیکسل متناظر تصویر حاصل از تلفیق و تصویر مرجع را نشان می‌دهد. بدیهی است که به کمترین میزان رسیدن این معیار بیانگر بیشترین شباهت دو تصویر است. شاخص Relative Average Spectral Error (RASE) توصیفگر میانگین عملکرد روش مورد نظر در حفظ اطلاعات باندهای طیفی است. این شاخص به درصد بیان شده و به کمترین میزان رسیدن آن نشان‌دهنده عملکرد بهتر روش تلفیق در حفظ اطلاعات تصاویر ورودی به تصویر تلفیق شده است (Yuhendra et al., 2012). شاخص ERGAS شاخصی مستقل از واحد، تعداد باندهای طیفی و نسبت مقیاس تصاویر تلفیق شده است که برای ارزیابی اعوجاج طیفی تصویر حاصل از تلفیق با تصویر مرجع در شرایط گوناگون ارائه شده است (Wald, 2000).

«روش‌های مبتنی بر نویز» شامل شاخص نسبت دامنه سیگنال به دامنه نویز Signal to Noise Ratio (SNR) براساس خطای جذر میانگین مربعی بین تصویر تلفیق‌شده با تصویر مرجع و، به عبارت دیگر، معیاری برای بیان اغتشاش در سیگنال است. هرچه الگوریتم تلفیق تصاویر بهتر عمل کرده باشد و تصویر حاصل از تلفیق و تصویر مرجع بیشتر به یکدیگر شبیه

1. Image Quality

2. Correlation Coefficient

رابطه خطی ساده‌ای این فاصله‌ها را محاسبه می‌کند. این روش مبتنی بر روشنایی^۱ و زاویه بصری^۲ است (Chandler & Hemami, 2007).

«روش مبتنی بر محتوای اطلاعات موجود در سیگنال» شامل شاخص کیفیت (UQI) universal quality index است. این معیار متشکل از سه بخش ضریب همبستگی بین تصویر حاصل از تلفیق و تصویر مرجع، تفاوت اختلاف روشنایی بین دو تصویر تلفیق شده و مرجع است که در واقع، نزدیکی میانگین روشنایی دو تصویر با محدوده تغییرات «۰-۱» را بیان می‌کند و شباهت کنتراست بین دو تصویر تلفیق شده و مرجع با دامنه تغییراتی «۰-۱» است و در صورت شباهت کامل، ارزش «۱» را دریافت می‌کند (Wang and Bovik, 2002).

«روش‌های مبتنی بر پارامترهای بصری» شامل روش مبتنی بر شباهت ساختاری^۳ است. شاخص شباهت ساختاری به منزله حالت بهبود یافته شاخص‌های نسبت سیگنال به نویز و RMSE معرفی شده است. در این معیار، الگوهای محلی درجات خاکستری پیکسل‌ها که در مقابل روشنایی و کنتراست نرمال شده‌اند، با یکدیگر مقایسه می‌شوند. بنابراین، برای استفاده از شاخص SSIM باید پنجره‌هایی روی هر دو تصویر تلفیقی و مرجع در نظر گرفته شود. شاخص شباهت ساختاری چندمقیاسه^۴ با رویکرد مبتنی بر سنتز تصویر برای کالیبره کردن و وزن‌دهی به پارامترها با اهمیت نسبی بین مقیاس‌های گوناگون است (Wang et al., 2004). شاخص (RFSIM) Resize Feature Similarity با حذف جزئیات و شناسایی مکان لبه‌ها، شباهت بین دو تصویر مرجع و تصویر دارای اعوجاج «تلفیق شده» را اندازه‌گیری می‌کند. در این روش، مجموع میزان لبه‌های استخراج شده از هر دو تصویر مرجع و تصویر دارای

باشند، مقدار بزرگتری برای این معیار به دست می‌آید (Hoult & Richards, 1976). در شاخص (WSNR) Weighted Signal to Noise Ratio وزن تخصیص یافته به دامنه سیگنال به وسیله پاسخ فرکانسی بر مبنای سیستم بینایی انسان تعیین می‌شود. سیستم بینایی انسان سیستمی غیرخطی است و اندازه‌گیری این پاسخ غیرخطی با تابع آستانه کنتراست صورت می‌گیرد که نشان‌دهنده کمترین میزان دامنه ضروری برای شناسایی موجی سینوسی، با توجه به فرکانس مکانی زاویه‌ای است. معکوس آستانه کنتراست پاسخ فرکانسی نامیده می‌شود. توزیع وزن به وسیله تبدیل فوریه تصویر مرجع و پاسخ فرکانسی تصویر تلفیق شده محاسبه می‌شود (Kite et al., 2000). شاخص (NQM) Noise Quality Measure تأثیر نویز را با نسخه شبیه‌سازی شده از تصویر تولیدی به وسیله فرایند فرکانس مکانی غیرخطی اندازه‌گیری می‌کند. شاخص NQM بر پایه هرم کنتراست Peli و طبق تغییر در حساسیت کنتراست با فاصله، ابعاد تصویر و فرکانس مکانی، تغییرات در میانگین درخشندگی محلی، تعامل بین کنتراست فرکانس‌های مکانی و آثار contrast masking محاسبه می‌شود (Damera et al., 2000). شاخص (VSNR) Visual Signal to Noise Ratio نسبت سیگنال به نویز بصری، با رویکردی دومرحله‌ای و معرفی آستانه، تلاش دارد ویژگی‌های سیستم بینایی انسان را پیاده‌سازی کند. مرحله نخست شناسایی کنتراست آستانه برای تشخیص اعوجاجات در تصویر با مدل مبتنی بر موجک، از طریق ماسک تصویر و جمع‌بندی بصری است. زیر آستانه تعریف شده $VSNR=\infty$ بدون اعوجاج تشخیص داده می‌شود و اگر بالاتر از حد تعیین شده باشد، ویژگی‌های سطح پایین و میانی کل تصویر در نظر گرفته می‌شود. این دو ویژگی در مدل فاصله اقلیدسی با موجک چندمقیاسه در فضای اعوجاج کنتراست تجزیه می‌شود و VSNR براساس

1. luminance
2. visual angle
3. Structural Similarity
4. Multi-Scale Structural Similarity

گرفته شده است. این بخش معیار از ویژگی‌های فیلتر گابور که قابلیت‌های آن در همخوانی با سیستم بینایی انسان به اثبات رسیده، استفاده شده است (Larson & Chandler, 2010).

هدف اصلی این پژوهش پاسخ به پرسش‌های مطرح‌شده در زمینه ارزیابی کیفیت تصاویر تلفیقی است. « شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصویر امکان دارد بیان‌کننده کیفیت تصویر به صورت همه‌جانبه باشند. با این حال، باید مشخص شود که هر یک از شاخص‌های مطرح‌شده توانایی نمایش اعوجاج را در کدام نوع اطلاعات تصویر دارد و نیز، تفاوت نظرهای شاخص‌ها در ارزیابی تصویر با کیفیت یکسان ناشی از چه عواملی است، در بین شاخص‌های مطرح‌شده با چه معیاری می‌شود شاخصی مناسب را براساس کاربرد تصویر تلفیقی انتخاب کرد و چگونه می‌شود دریافت یک شاخص چه نوع اطلاعات تصویر را ارزیابی می‌کند. در این مقاله، پس از مقدمه بیان‌شده و درک مسئله، در بخش مواد و روش‌ها، رویکرد پاسخ به پرسش‌های مطرح‌شده تشریح می‌شود. در بخش نتایج، پاسخ پرسش‌های مطرح‌شده بیان، و سرانجام، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای حاصل از پژوهش ارائه می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق، برای بررسی شاخص‌های معرفی‌شده در بخش مقدمه و تعیین قابلیت آنها در نمایش تخریب اطلاعات طیفی و مکانی، از تصاویر ماهواره‌ای Landsat8, EO_1, Worldview که دارای قدرت تفکیک مکانی و طیفی متنوعی‌اند، استفاده شد تا حساسیت عملکرد شاخص‌ها در برابر قدرت تفکیک متفاوت مکانی سنجیده شود.

1. phase congruency
2. Gradient Magnitude
3. visual saliency
4. spectral residual visual saliency
5. gradient modulus
6. Most Apparent Distortion

اعوجاج، و میزان ویژگی‌های استخراج‌شده در تعداد دفعات تبدیل تغییر سائز بر تصویر اعمال‌شده با یکدیگر مقایسه می‌شوند (Zhang et al., 2010). شاخص Feature Similarity (FSIM)، شاخصی مبتنی بر روش شباهت ساختاری به‌شمار می‌آید که خود، روشی مبتنی بر پیکسل است. بنابراین، این روش از دو جزء برای مرتفع کردن این ویژگی‌ها استفاده می‌کند. نخست، استفاده از تناسب فاز^۱ به‌جای تعریف مستقیم ویژگی‌هاست که تغییرات شدت را مشخص می‌کند و با استخراج تناسب فاز، ادعا دارد ویژگی‌ها، هر جا که اجزای فوریه در بیشینه فاز است، دریافت می‌شود. مرحله دوم شامل محاسبه مقدار گرادیان^۲ تصویر به‌منزله موضوعی سنتی در پردازش تصاویر است (Zhang et al., 2011). شاخص Spectral Residual (SR-SIM) براساس مدل VS^۳ و پذیرش شاخص SRVS^۴ به‌منزله شاخصی مؤثر و کارآمد است. این شاخص، مانند بسیاری از دیگر شاخص‌های این گروه، دومرحله‌ای است و از جزء اضافی برای جبران حساسیت کنتراست استفاده می‌کند. برای نمونه، ساده‌ترین راه استفاده از GM^۵ است. بنابراین، نخستین مرحله ایجاد نقشه شباهت‌های محلی و درنهایت، استخراج مجموع نقشه شباهت در نمره کیفیت تک‌سیگنال است (Zhang et al., 2012).

شاخص بیشترین انحراف آشکار^۶ به ویژگی‌های سیستم بینایی انسان توجه دارد و ضعف روش‌های ارائه‌شده پیشین را در مدل‌سازی تک‌استراتژی برای سیستم بینایی انسان می‌داند. بنابراین، این معیار استراتژی چندگانه‌ای برای نزدیک‌تر شدن به کیفیت فهم‌شدنی برای سیستم بینایی انسان دارد. این شاخص دارای دو معیار برای درک اعوجاج صورت‌گرفته است. d_{detect} برای تصویر کیفیت بالا طراحی شده که نشان می‌دهد تخریب صورت‌گرفته نزدیک آستانه است. برای بیان خطای کنتراست تصویر از مفهوم کنتراست masking استفاده می‌کند. معیار d_{appear} برای تصاویر با کیفیت پایین دارای اعوجاج بالاتر از حد آستانه در نظر

۲-۱- داده‌های مورد استفاده

با گرایشی واضح به نوعی از تخریب اطلاعات طیفی و مکانی ایجاد شود. باید این نکته را در نظر داشت که بین اطلاعات مکانی و طیفی همبستگی خاصی وجود دارد و تخریب یکی در دیگری تأثیرگذار است. برای انجام دادن نوعی تخریب اطلاعاتی ویژه روی تصویر، می‌شود شدت‌هایی از تخریب بیشتر را بر نوعی از این اطلاعات پیاده‌سازی کرد که تا اندازه قابل‌قبولی در اطلاعات دیگر کمترین تأثیر را داشته باشد. به این منظور، باید یادآور شد که لبه‌ها در تصویر به‌منزله اطلاعات مکانی در نظر گرفته شد. از این‌رو، در گام نخست، تلاش شد اطلاعات طیفی تخریب و اطلاعات مکانی ثابت نگه داشته شود. بنابراین، دو روش برای تخریب اطلاعات طیفی در نظر گرفته شد.

برای بررسی حساسیت عملکرد شاخص‌ها در برابر تغییر بافت تصویر، از تصاویر ماهواره‌ای متفاوت قطعاتی با کاربری اراضی گوناگون شامل کاربری شهری، کاربری پوشش گیاهی و یا کشاورزی، و کاربری‌های مخلوط شامل عوارض بشرساخت و طبیعی انتخاب شده است.

۱. ماهواره EO_1 سنجنده ALI که در محدوده باندی 0/433-2/350 با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در نه باند طیفی و یک باند پانکروماتیک در محدوده طیفی 0/480-0/690 با قدرت تفکیک مکانی ده متر تصویربرداری می‌کند. تصویر EO_1 مورد استفاده با ردیف ۱۶۴ و مسیر ۳۵ است که در تاریخ ۲۶ فوریه ۲۰۰۷ اخذ شده و از ترکیب باندی ۳۲۱ آن استفاده شده است.

۲-۲-۱- مدل نخست

در این مدل از فیلتر خطی تغییرناپذیر با مکان استفاده شده است. خطی بدین معنا که هر پیکسل از تصویر خروجی برابر با ترکیب خطی تعدادی از پیکسل‌های تصویر ورودی است که با پیکسل مورد نظر همسایه باشد. تغییرناپذیر با مکان به مفهوم این است که الگوریتم برای همه پیکسل‌های ورودی یکسان عمل می‌کند. این فیلتر از نوع پردازش‌های مجاورتی است که شامل تعریف نقطه مرکزی، عملیات روی پیکسل‌های تعریف شده به‌منزله همسایگی نقطه مرکزی، در نظر گرفتن نتیجه محاسبات به‌منزله پاسخ در آن نقطه و تکرار پردازش‌ها در همه نقاط تصویر است. بنابراین، عملیاتی که به جابه‌جایی نقطه مرکزی و تولید همسایگی جدید می‌انجامد، برای همه پیکسل‌های تصویر ورودی یکسان انجام می‌شود. در هر نقطه (x, y) ، پاسخ فیلتر برابر مجموع حاصلضرب ضرایب فیلتر در پیکسل‌های همسایگی ناحیه پوشیده شده به‌وسیله ماسک است. برای ماسکی با اندازه $n \times m$ ، فرض می‌کنیم $m=2a+1$ و $n=2b+1$ که a و b اعداد صحیح نامنفی‌اند. در واقع، دارای ابعاد فرد و دارای کمترین اندازه 3×3 هستند.

۲. ماهواره Landsat8، با یازده باند در محدوده طیفی

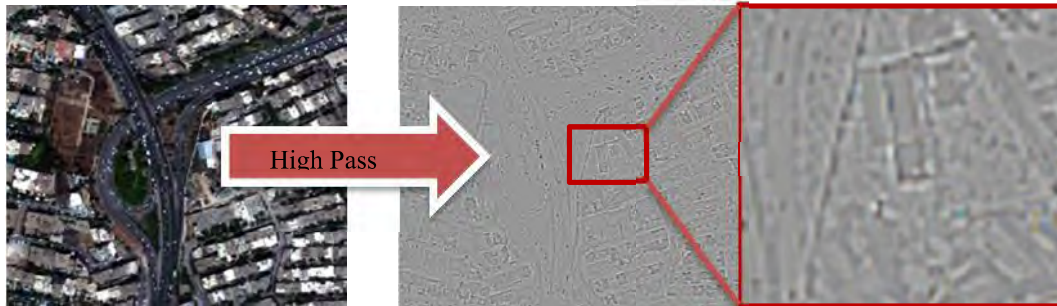
12/51-0/43 با قدرت تفکیک مکانی متفاوت سی متر برای هفت باند نخست و باند نه، باند هشت به‌منزله باند پانکروماتیک در محدوده طیفی 0/68-0/50 دارای قدرت تفکیک مکانی پانزده متر و باند ده و یازده به‌منزله باندهای حرارتی، دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۲۰ متر است. تصویر لندست ۸ با ردیف ۱۶۴ و مسیر ۳۷ در تاریخ دوازدهم ژوئیه ۲۰۱۳ اخذ شده و از ترکیب باندی ۴۳۲ آن استفاده شده است.

۳. ماهواره Worldview با هشت باند در محدوده طیفی

0/89-0/401 میکرومتر، با قدرت تفکیک مکانی دو متر و باند پانکروماتیک آن در محدوده طیفی 0/45 تا 0/8 میکرومتر، با قدرت تفکیک مکانی 0/5 متر در تاریخ چهاردهم ژوئن ۲۰۱۰ اخذ شده است. این تصویر مربوط به شمال تهران، و از ترکیب باندی ۴۳۲ آن استفاده شده است.

۲-۲- روش کار

برای ارزیابی شاخص‌ها در نمایش تخریب اطلاعات تصویر از دو جنبه مکانی و طیفی، تلاش شد تصاویری



شکل ۱. اعمال مدل نخست بر تصویر تست تصویر Worldview2 با بافت شهری

شد تا اطلاعات طیفی تصویر به شدت تخریب شود.

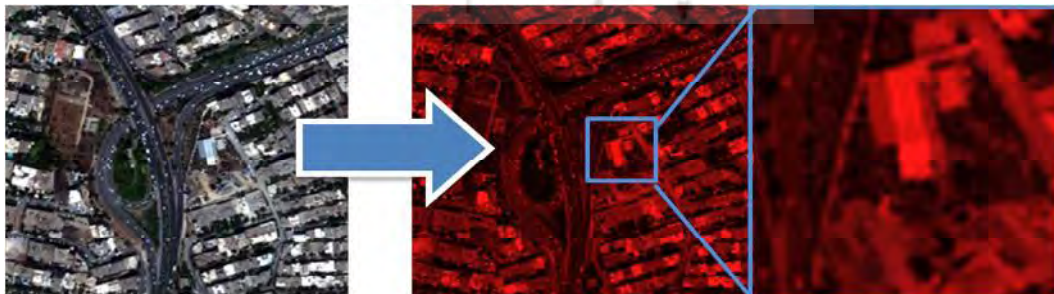
۲-۲-۳- مدل سوم

در این مدل نیز، ویژگی‌های فیلتر خطی تغییرناپذیر با مکان که در مدل نخست شرح داده شده است، به کار رفت. البته در این مدل، هدف تخریب اطلاعات مکانی است. بنابراین، از فیلتر پایین‌گذر^۱ استفاده شد که مجموع مقادیر المان‌های آن برابر با یک است. اثر این فیلتر تضعیف مؤلفه‌های بالا و تقریباً تغییر ندادن مؤلفه‌های پایین است. بنابراین، بیشترین تخریب اطلاعات مکانی با کمترین تأثیر در اطلاعات طیفی رخ می‌دهد. به عبارتی، فیلترهای پایین‌گذر تصویر را تار و مبهم می‌کند. این فیلتر دارای ابعاد 3×3 با مرزهای گسترش‌یافته، از طریق انعکاس تصویر در طول مرزها و اعمال فیلتر از طریق عملیات همبستگی صورت گرفت.

نکته دیگری که در استفاده از فیلترها باید در نظر داشت، مربوط به مرز تصویر مورد فیلتر است. روش‌های گوناگونی برای گسترش مرزهای تصویر ورودی وجود دارد، مانند تکرار مقادیر مرز خارجی، لایه‌گذاری مرزهای تصویر ورودی با مقدار p ، در نظر گرفتن انعکاس تصویر در طول مرزها و یا تصویر به صورت یک تناوب (تابع متناوب دو بعدی). بنابراین در مدل نخست، از فیلتر بالاگذر که مجموع مقادیر المان‌های فیلتر برابر صفر است، با ابعاد 3×3 و مرزهای گسترش‌یافته از طریق انعکاس تصویر در طول مرزها استفاده شد تا بدین ترتیب، روشنایی متوسط تصویر حذف و اطلاعات طیفی تصویر دچار تغییر شد.

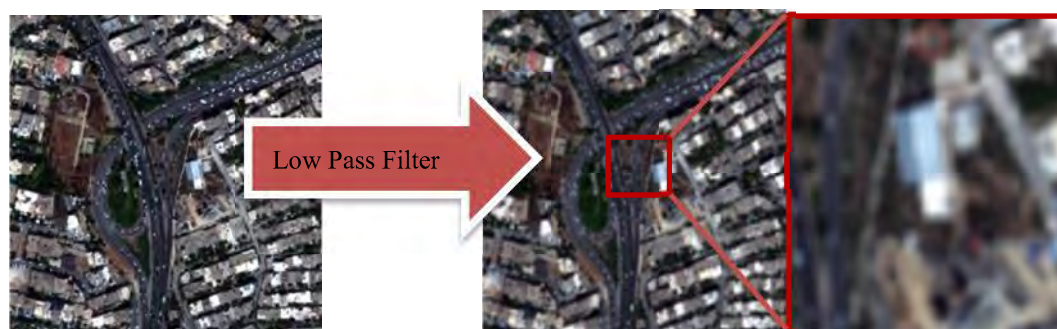
۲-۲-۲- مدل دوم

برای ایجاد اعوجاج طیفی، از جابه‌جایی باندها در برابر تصویر مرجع و افزایش ده‌برابر تن رنگ قرمز استفاده



شکل ۲. اعمال مدل دوم روی تصویر تست تصویر Worldview2 با بافت شهری

1. low-pass filter



شکل ۳. اعمال مدل سوم بر تصویر تست تصویر Worldview2 با بافت شهری

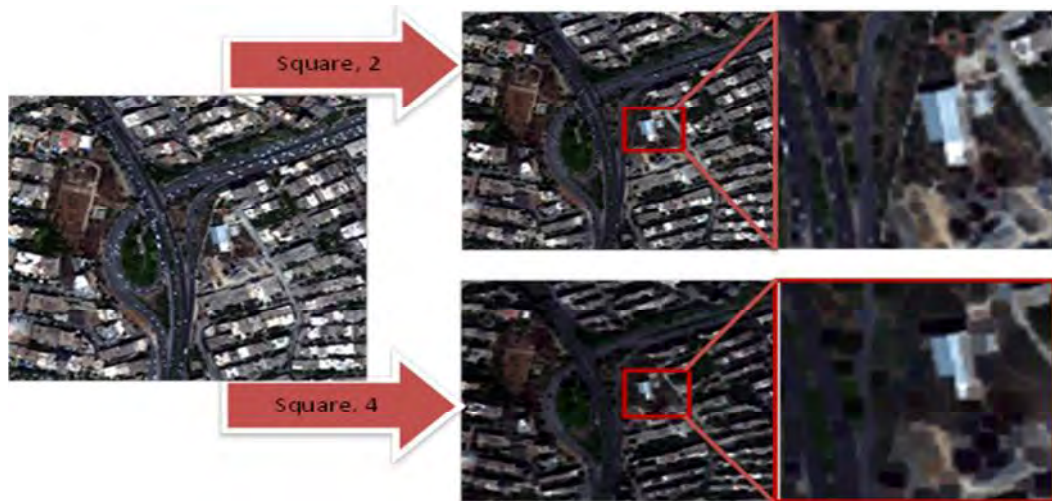
۴-۲-۲- مدل چهارم و پنجم

عملگر فرسایش بر یک تصویر این گونه عمل می‌کند که کمینه مقدار سطوح خاکستری مربوط به پیکسل‌های تصویر واقع در زیر عناصر ساختاری را به‌منزله مقدار متناظر در تصویر خروجی انتخاب می‌کند. بدین ترتیب، ناحیه‌ای از تصویر که از نواحی اطراف خود روشن‌تر باشد، فرسایش خواهد یافت و نواحی تیره‌تر گسترش می‌یابد. بنابراین، عملگر فرسایشی با مخدوش کردن لبه‌های تصویر اطلاعات مکانی به‌شدت را تخریب می‌کند. در نتیجه، به‌دلیل نوع عملکرد، عملیات فرسایش در تخریب اطلاعات مکانی در مدل چهارم عنصر ساختاری مربعی شکل با ابعاد ۲ و در مدل پنجم عنصر ساختاری مربعی شکل با ابعاد ۴ در نظر گرفته شد (شکل ۴)، با توجه به اینکه بین اطلاعات مکانی و طیفی همبستگی خاصی وجود دارد و تخریب یکی در دیگری تأثیرگذار است.

برای سنجش میزان تحریف در اطلاعات مکانی از شاخص فیلتر بالاگذر (HPF) استفاده شد که بر این اصل استوار است که اطلاعات مکانی در فرکانس‌های بالا متمرکز است، بدین صورت که تصاویر فیلتر و سپس ضریب همبستگی بین آنها محاسبه شد. برای تعیین میزان انحرافات طیفی از شاخص نگاشت زاویه طیفی SAM استفاده شده است که ابزاری برای

عملیات مورفولوژی^۱ که در منابع گوناگون با نام‌هایی همچون عملیات ساختاری، ریخت‌شناسی یا عملیات شکل‌شناسی یاد می‌شود، پیاده‌سازی شد. عملیات مورفولوژی مجموعه‌ای از عملیات غیرخطی است، غیرخطی بدین معنا که انجام دادن عملیات روی یک همسایگی و تعریف همسایگی‌های $n \times m$ و انتقال نقطه مرکزی از روی تصویر انجام می‌شود. درحالی‌که خطی براساس محاسبه مجموع ضرایب بود (عملی خطی) و بر مبنای تئوری مجموعه برای پردازش تصاویر باینری شکل گرفت و با گسترش مفاهیم مورد استفاده، این عملیات برای پردازش تصاویر غیرباینری (یعنی تصاویر سطح خاکستری و پس از آن، برای پردازش تصاویر چندباندی) نیز تعریف شد و هدف از آن ایجاد تغییر یا تصحیح در اجزای داخلی تصویر است. ایده پایه این عملگر مقایسه ساختار درون تصویر با شکلی مرجع به نام عنصر ساختاری^۲ است. عنصر ساختاری معمولاً شکلی متقارن، یکپارچه و محدب دارد. البته بنا به کاربرد و با توجه به دانش اولیه که درمورد مسئله وجود دارد، ممکن است شکل عنصر ساختاری این گونه نباشد. بنابراین، عنصر ساختاری ممکن است به شکل دلخواه شامل صفر و یک، یا به شکل لوزی با تعیین قطر، خطی با تعیین طول و زاویه، مستطیل با طول و عرض مشخص و یا مربعی به ضلع مشخص تعیین شود.

1. morphological operation
2. structuring element



شکل ۴. اعمال مدل سوم بر تصویر تست تصویر Worldview2 با بافت شهری

مکانی و طیفی، تصاویر ایجادشده در اختیار سی ناظر قرار گرفت و خواسته شد تا تصویر مورد نظر را در یکی از پنج گروه عالی، خوب، متوسط، بد و بسیار بد قرار دهند. سپس، از آنان درمورد گروه کیفیت هریک از تصاویر رأی‌گیری شد و بیشترین رأی به‌منزله گروه کیفیت آن تصویر بیان شد.

۲-۲-۶- مقایسه روش‌های کیفی و کمی

برای مقایسه کیفی مطرح‌شده، افزون بر میزان عددی هریک از شاخص‌ها، با توجه به تعریف شاخص متفاوت بدون حدود تعیین‌شده برای هر شاخص و تعریف بزرگ‌ترین یا کوچک‌ترین عدد در جایگاه نشانه بهترین کیفیت، الزام نرمالسازی و یکسان کردن تعریف کیفیت روش‌ها مطرح می‌شود. از این‌رو، حدود تعیین‌شده در هریک از روش‌های ارزیابی بررسی شدند. روش‌هایی همچون HPF، UQI، RFSIM و MSSIM روش‌های ارزیابی‌اند که محدوده تعریف [1-1-] دارند. میزان بیشتر و، به عبارت دیگر، نزدیک‌تر به یک بیانگر کیفیت بالاتر تصویر ادغام‌شده است. شاخص‌های ارزیابی MAD، SAM، MSE، RASE، ERGAS و Bias حدود تعریف [0-∞] دارد و کمتر بودن میزان عددی این

نقشه‌برداری سریع از شباهت طیفی به‌شمار می‌رود، ویژگی‌های هندسی بین دو طیف را با واحد درجه بررسی می‌کند و مقادیر کم آن نشان‌دهنده نبود اعوجاج طیفی زیاد در تصویر حاصل از تلفیق درمقایسه با تصویر چندطیفی اولیه است (Robila, 2005). افزون بر شاخص‌های بیان‌شده که برای نمایش نوعی اطلاعات تصویر طراحی شده، دیگر شاخص‌های ارزیابی کیفیت SR-SIM، RFSIM، MAD، FSIM، SNR، SSIM، MSSIM، VSNR، UQI، NQM، WSNR، PSNR، MSE، RASE، ERGAS، CC و BIAS کدنویسی و مقدار عددی آنها برای هر تصویر تست محاسبه شد. برای ارزیابی کمی هر شاخص ارزیابی کیفیت تصویر معرفی‌شده با دو شاخص مبنا SAM و HPF که نماینده اطلاعات طیفی و مکانی‌اند، روی هر تصویر تست پیاده‌سازی و نمودار روند نمایش تحریفات آنها برای هر شاخص، با هریک از تصاویر تست رسم شد.

۲-۲-۵- سنجش میزان تحریف در اطلاعات تصویر

به‌صورت کیفی

برای داشتن معیار کیفی مقایسه، افزون بر معیارهای کمی انتخاب‌شده به‌منزله مبنای تحریف اطلاعات






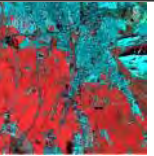
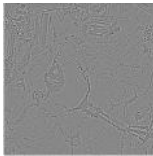



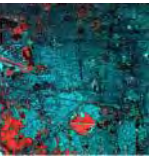
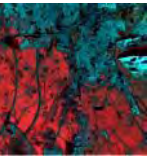
شد. برای درک بهتر تفاوت حاصل از روش چهارم و پنجم، این دو روش بر تصاویر EO-1 با قدرت تفکیک مکانی یکسان اعمال شد.

شایان ذکر است که کیفیت بیان شده از نظر انسان با کیفیت تصویر در برخی از عملیات‌هایی که روی تصاویر سنجش از دوری اعمال می‌شود، مانند طبقه‌بندی متفاوت است. برای نمونه، در طبقه‌بندی جزئیات تصویر، مانند سایه و روشن‌ها، اهمیت ندارد و افزون بر آن، به‌نوعی باعث کاهش دقت طبقه‌بندی است. در صورتی که از نظر کاربر انسانی، همین جزئیات دقیق‌تر کیفیت تصویر را بیان می‌کند. در اینجا، با توجه به گستردگی و پیچیدگی‌های این مبحث، از آن صرف‌نظر کرده ایم و فرض را بر این اساس گذاشته‌ایم که کیفیت مورد بحث از نوع کیفیت مطرح در روش‌های مستقیم ارزیابی کیفیت تصاویر است و ارزیابی کیفیت براساس محصول استخراج‌شده از تصاویر تلفیقی در نظر گرفته نمی‌شود. در نتیجه، از ارزیابی بصری نیز برای تحلیل و تبیین شاخص‌های ارزیابی کیفیت استفاده شده است. برای نمونه، ارزیابی اعمال‌شده بر تصویر Landsat8 با بافت شهری نمایش داده‌شده در شکل ۶ در جدول ۲ ارائه شده است.

شاخص‌ها معرف کیفیت بهتر تصویر ادغام‌شده است. شاخص‌های SNR، WSNR، VSNR و PSNR نیز در همین محدوده تعریف می‌شود، با این تفاوت که میزان بالاتر این شاخص بیانگر کیفیت برتر تصویر ادغام‌شده است. معیارهای ارزیابی کیفیت SSIM، SR-SIM و FSIM در دامنه [0-1] تعریف می‌شود و نزدیک بودن به یک بیانگر کیفیت بالاتر تصویر ادغام‌شده است. در نهایت، شاخص NQM و CC دارای حدود $[-\infty - \infty]$ و بالاترین میزان آن نماینده کیفیت بالاتر تصویر ادغام‌شده است. سپس، همه روش‌ها در دامنه [0-1] نرمال شدند، به‌گونه‌ای که کمترین میزان بیانگر بدترین کیفیت، و میل کردن به عدد یک بیانگر کیفیت بالاتر تصویر باشد. سپس تصاویر مرتب‌سازی شدند و در یکی از پنج گروه کیفی قرار گرفتند و مقدمات هر دو نوع ارزیابی کمی و کیفی فراهم شد.

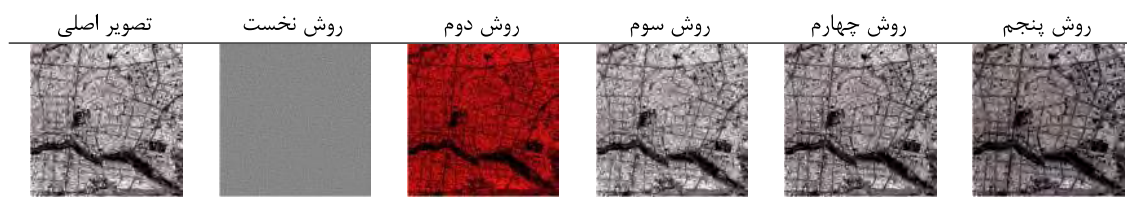
۳- نتایج و بحث

به ازای هر تصویر ماهواره‌ای برش داده‌شده از تصویر کلی، پنج تصویر با انحرافات طیفی و مکانی مشخص تولید شد. در شکل ۵ برش‌هایی از تصویر با ابعاد ۲۵۶*۲۵۶ پیکسل با کاربری‌های متفاوت آمده که روی هریک روش‌های بیان‌شده در بخش روش کار اعمال

	Worldview	Landsat8				EO1
تصویر اصلی						
	روش نخست	روش دوم	روش سوم	روش چهارم	روش چهارم	روش پنجم
تخریب‌های اعمال						

شکل ۵. تصاویر با اعوجاج طیفی و مکانی مشخص بر تصاویر ماهواره‌ای Landsat8، EO_1، و Worldview. مدل نخست: تخریب اطلاعات طیفی از طریق اعمال فیلتر بالاگذر، مدل دوم: تخریب اطلاعات مکانی طیفی از طریق اعمال جابه‌جایی باندها در برابر تصویر مرجع و افزایش دبرابری تن رنگ قرمز، مدل سوم: تخریب اطلاعات مکانی با اعمال فیلتر پایین‌گذر، مدل چهارم: تخریب اطلاعات مکانی با اعمال فیلتر فرسایشی ابعاد ۲، مدل پنجم: تخریب اطلاعات مکانی با اعمال فیلتر فرسایشی با ابعاد ۴

تحلیل قابلیت شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصاویر تلفیق‌شده ماهواره‌ای ...



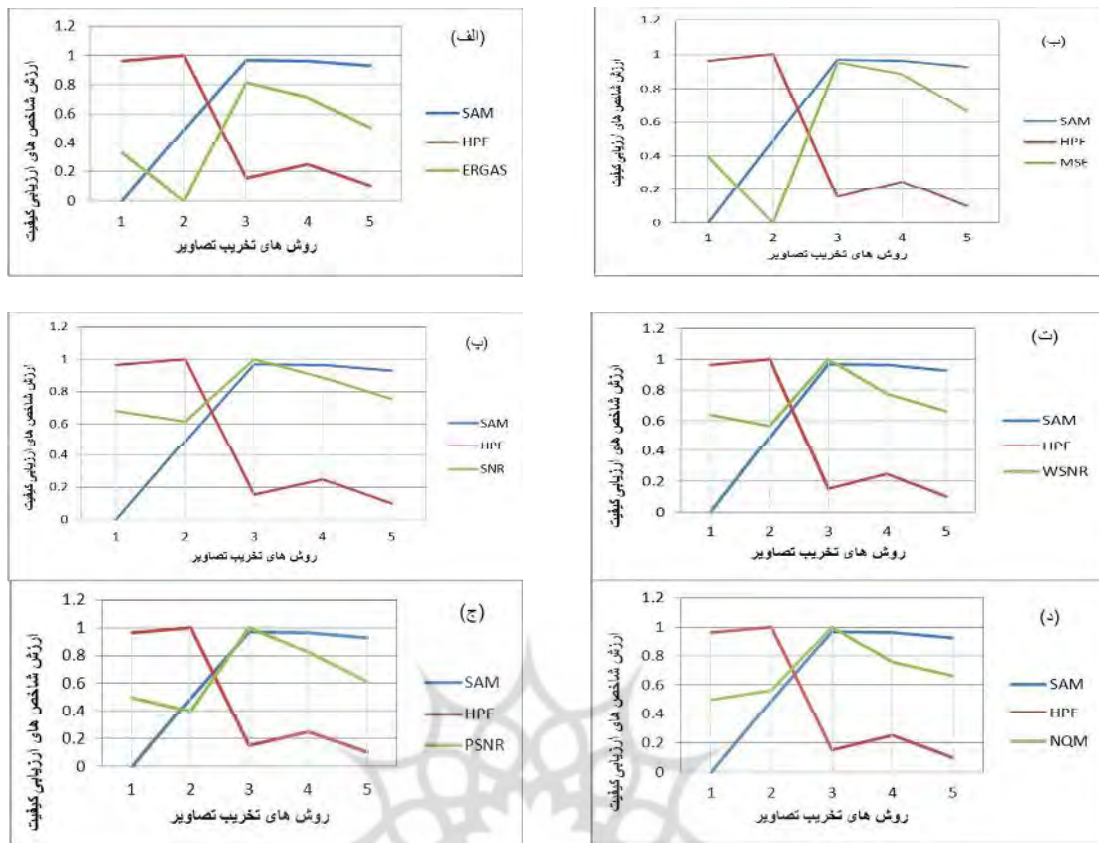
شکل ۶. تصاویر با اعوجاج طیفی و مکانی مشخص روی تصویر Landsat8 با بافت شهری

جدول ۲. نشان‌دهنده ارزیابی کیفی و کمی حاصل از شاخص‌های ارائه‌شده روی تصویر Landsat8 با بافت شهری

شاخص ارزیابی	شاخص									ارزیابی بصری
	HPF	SAM	SR-SIM	RFSIM	MAD	FSIM	SNR	WSNR	NQM	
روش نخست	0.9501	89.6235	0.669	-0.0006	213.2364	0.5817	6.1353	9.0164	-0.1043	بسیار بد
روش دوم	0.98702	45.7077	0.8279	0.848	117.379	0.6795	3.9497	4.3133	4.1537	بد
روش سوم	0.15067	2.9317	0.9646	0.2731	17.281	0.9448	17.2294	32.0773	32.7378	خوب
روش چهارم	0.24885	3.3148	0.9528	0.2075	62.2128	0.922	13.3208	17.8118	16.7468	عالی
روش پنجم	0.100138	6.4352	0.8552	0.0325	123.4992	0.7718	8.6818	10.568	10.539	متوسط
شاخص ارزیابی	UQI	VSNR	MSSIM	SSIM	PSNR	MSE	RASE	ERGAS	CC	BIAS
روش نخست	-0.5572	3.5721	-0.0476	-0.041	10.9957	5170.2	69.12759	22.6319	-0.7931	1.0948
روش دوم	0.4072	11.6283	0.7159	0.6199	8.8101	8552	87.093	33.7416	0.9419	0.6186
روش سوم	0.8144	21.6984	0.9823	0.9719	22.0898	410.8869	19.3502	6.3403	1.312	0.01812
روش چهارم	0.7248	18.6613	0.9276	0.9466	18.1812	988.4616	29.4316	9.6429	0.8008	0.1345
روش پنجم	0.4051	11.5268	0.8632	0.7642	13.5422	2876.5	51.1697	16.7593	0.2646	0.3285

می‌شد، عملکرد یکسانی از خود نشان می‌دهد. در آنالیز کمی، روند هر یک از شاخص‌های بیان‌شده با دو شاخص مبنای فیلتر بالاگذر به‌منزله بیان‌کننده اطلاعات مکانی، و شاخص نگاشت زاویه طیفی به‌منزله بیان‌کننده اطلاعات طیفی بررسی شد که نتایج این مقایسه‌ها در نمودارهای الف تا د شکل ۷ آمده است. روش‌های مبتنی بر نویز بیانگر میزان اغتشاش در سیگنال است. در واقع، اطلاعات تصویر را به‌صورت کلی و بدون تفکیک اطلاعات به طیفی و مکانی بررسی می‌کنند.

نتایج جدول بیشترین میزان تفاوت کیفیت بین شاخص SAM و HPF را که نماینده اطلاعات طیفی و مکانی‌اند، تأیید می‌کند. بنابراین، عملکرد روش‌ها تخریب یک‌جانبه اطلاعات تصویر را تا حد زیادی فراهم کرده است. در آنالیز کیفی، شاخص‌هایی که نتایج مشابهی ارائه دادند، در یک گروه قرار گرفته است. ERGAS، MSE، PSNR، WSNR، SNR، روش‌های بیان‌شده، همگی، از شاخص‌های مبتنی بر نویزند (Yuhendra et al., 2012) و همان‌گونه که پیش‌بینی

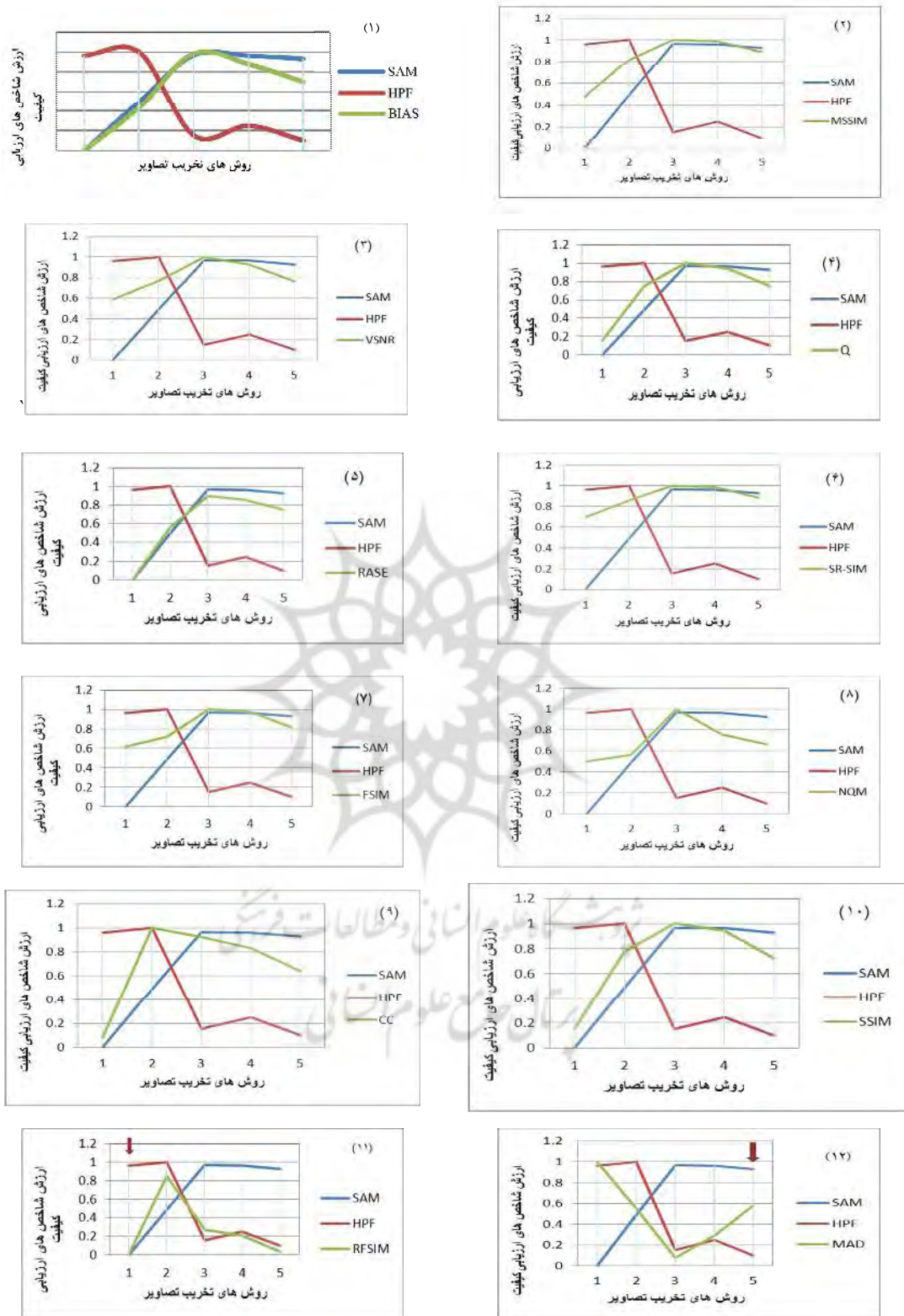


شکل ۷. شاخص های مبتنی بر نویز: الف) ERGAS، ب) MSE، پ) SNR، ت) WSNR، ج) PSNR، د) NQM

خاکستری پیکسل‌ها که در برابر روشنایی و کنتراست نرمال شده‌اند، با یکدیگر مقایسه می‌شوند. در واقع، شاخص‌های MSSIM، FSIM، و RSIM که بر پایه شاخص SSIM معرفی شده‌اند، در نمایش اعوجاج اطلاعات طیفی توانایی بیشتری از خود نشان می‌دهند. نکته مهم دیگر شاخص NQM و VSNR است که هرچند جزء روش‌های مبتنی بر نویزند، در آنالیز کیفی مطابق با شاخص‌های مبتنی بر اطلاعات طیفی اظهار نظر می‌کنند که به دلیل بررسی ویژگی‌هایی از تصویر، بر اطلاعات طیفی تصویر تأکید دارد. شاخص NQM تغییر کنتراست، تغییرات در میانگین درخشندگی محلی و آثار contrast masking را در نظر می‌گیرد. همچنین، شاخص VSNR روش مبتنی بر روشنایی و زاویه بصری است.

آنالیز کیفی شاخص‌های BIAS, RASE, UQI, SAM, MSSIM, NQM, FSIM, SRSIM, VSNR در یک گروه قرار می‌دهد. نیز، طبق نمودارهای ۱ تا ۸ در شکل ۸، آنالیز کمی نشان‌دهنده روند یکسان و هماهنگ روش‌های BIAS, RASE, UQI, MSSIM, SAM است. با توجه به این که شاخص SAM نمایش دهنده اعوجاجات طیفی است و همچنین، آن ویژگی از تصویر که هریک از شاخص‌های ذکر شده را بررسی می‌کند، می‌شود استدلال کرد شاخص‌های نامبرده در مورد اعوجاجات طیفی حساسیت بیشتری دارند و در نمایش این نوع اعوجاج توانایی بیشتری از خود نشان می‌دهند. شاخص‌های BIAS, RASE, UQI توصیفگر میانگین عملکرد روش مورد نظر در حفظ اطلاعات باندهای طیفی است. در شاخص SSIM الگوهای محلی درجات

تحلیل قابلیت شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصاویر تلفیق‌شده ماهواره‌ای ...



شکل ۸. نمودار روند شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصویر در برابر شاخص نگاشت زاویه طیفی و شاخص فیلتر بالاگذر

مکانی تصویر صورت نگرفته است.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، برای نخستین بار به تحلیل قابلیت شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصاویر تلفیق‌شده ماهواره‌ای با مدلسازی تخریب طیفی و مکانی پرداخته شده است. مدل پیشنهادی توانایی تعیین اطلاعات مورد بررسی به وسیله شاخص را در حد قابل قبولی دارد. شاخص‌های ارزیابی کیفیت بیان‌کننده کیفیت همه جانبه تصویر نیستند. همان‌طور که نشان داده شد، تصویر با تخریب اطلاعات مکانی بالا از نظر شاخص با نگرش طیفی مورد قبول است. با توجه به نکاتی که بیان کردیم، شاخص‌های ارائه شده در این مقاله را می‌شود در سه گروه دسته‌بندی کرد. دسته نخست، روش‌های مبتنی بر نویز برای ارزیابی کلی تصویر به نسبت نویز که شامل شاخص‌های MSE ، $ERGAS$ ، $PSNR$ ، $WSNR$ ، SNR هستند. دسته دوم، روش‌های همسو با روش نگاشت زاویه طیفی «SAM» که به دلیل نمایش بهتر انحرافات طیفی، برای ارزیابی تصاویر با کاربردهای حساس به طیف توصیه می‌شود و شامل شاخص‌های $BIAS$ ، $RASE$ ، Q ، $MSSIM$ ، NQM ، $FSIM$ ، $SRSIM$ و SAM است. شاخص‌های این دسته برای برآورد تخریب اطلاعات طیفی تصویر پیشنهاد می‌شود. دسته سوم شاخص هم‌روند با شاخص فیلتر بالاگذر MAD و $RFSIM$ است که در مقابل نمایش انحرافات مکانی قابلیت بالاتری دارد، از این‌رو برای برآورد تخریب اطلاعات مکانی تصویر مناسب است. البته باید توجه داشت که شاخص‌های ارزیابی کیفیت سعی در نزدیک کردن نتایج به ارزیابی بصری دارند بنابراین، اولویت با ویژگی‌هایی از تصویر است که چشم انسان به آن حساسیت بیشتری دارد و تغییرات اندک آن را به وضوح درک می‌کند. بنابراین، بیشتر شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصویر قابلیت بالاتری در

بخش ۴ نمودار ۱۱ روند هماهنگ شاخص $RFSIM$ را در مقابل روند شاخص HPF نشان می‌دهد. اساس کار این شاخص بر این واقعیت است که سیستم بینایی انسان بیشتر ویژگی‌های سطح پایین را دریافت می‌کند. با توجه به ویژگی‌های در نظر گرفته شده، چنین هماهنگی‌ای در این شاخص با شاخص HPF انتظار می‌رود، به جز در روش نخست که تخریب طیفی بیشترین مقدار است. در واقع، این شاخص بر حفظ اطلاعات مکانی تأکید دارد، در شرایطی که اطلاعات طیفی تا اندازه‌ای حفظ شده باشد و این روند بیانگر ارتباط انکارناپذیر اطلاعات طیفی و مکانی با یکدیگر است. شاخص MAD به نسبت دیگر شاخص‌های مبتنی بر ویژگی‌های بصری در درک تحریف اطلاعات مکانی شده است. در روش پنجم که اطلاعات مکانی و اطلاعات طیفی با نسبت‌های متفاوت تخریب شده، به هر دو نوع تخریب پاسخ داده است که این پاسخ استراتژی چندگانه این شاخص را تبیین می‌کند.

تاکنون در زمینه بررسی توانایی شاخص‌های ارزیابی تحقیقاتی صورت گرفته است. آنالیز آماری شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصویر از نظر میزان واکنش پذیری به تغییرات تصویر (Sayood, 2002)، آنالیز شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصویر از نظر هم‌خوانی با ارزیابی بصری که این ارزیابی، شاخص‌های مبتنی بر پارامترهای بصری را ارجح می‌داند (Klonus & Ehlers, 2009). بررسی تأثیرپذیری شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصویر توسط تصاویری با کشیدگی متفاوت (Zhang, 2008) به بیان دیگر با نوع نمایش متفاوت، نتیجه ناتوانی روش‌های ارزیابی کیفیت آماری در تشخیص این نوع تغییرات را تصدیق می‌کند. بررسی توانایی شاخص‌های ارزیابی کیفیت از طریق سنتز متحرک با مینا قرار دادن شاخص MSE (Wang & Simoncelli, 2004)، که کارایی شاخص $SSIM$ را از نظر هم‌خوانی با ارزیابی بصری تأیید می‌کند (Mattappillil et al, 2013). اما تا کنون تحقیقی در مورد توانایی شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصویر در نمایش نوع تحریف اطلاعات طیفی و

Chandler, D.M. & Hemami, S.S., 2007, **VSNR: A Wavelet-Based Visual Signal-to-Noise Ratio for Natural Images**, Image Processing, IEEE Transactions on, 16(9), 2284-2298.

Damera-Venkata, N., Kite, T.D., Geisler, W.S., Evans, B.L. & Bovik, A.C., 2000, **Image Quality Assessment Based on a Degradation Model**, Image Processing, IEEE Transactions on, 9(4), 636-650.

Han, S.S., Li, H.T. & Gu, H.Y., 2008, **The Study on Image Fusion for High Spatial Resolution Remote Sensing Images**, Int Arch Photogram Rem Sens Spatial Inform Sci, 37, 1159-1163.

Hoult, D.I. & Richards, R.E., 1976, **The Signal-to-Noise Ratio of the Nuclear Magnetic Resonance Experiment**, Journal of Magnetic Resonance (1969), 24(1), 71-85.

Hu, X., Lu, H., Zhang, L. & Serikawa, S., 2010, **A New Type of Multi-Focus Image Fusion Method Based on Curvelet Transforms**, In Electrical and Control Engineering (ICECE), 2010, June, International Conference on pp. 172-175.

Kite, T.D., Evans, B.L. & Bovik, A.C., 2000, **Modeling and Quality Assessment of Halftoning by Error Diffusion**, Image Processing, IEEE Transactions on, 9(5), 909-922.

Kim, Y., Lee, C., Han, D., Kim, Y. & Kim, Y., 2011, **Improved Additive-Wavelet Image Fusion**, Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 8(2), 263-267.

Klonus, S. & Ehlers, M., 2009, **Performance of Evaluation Methods in Image Fusion**, In Information Fusion, 2009, July, FUSION'09. 12th International Conference on pp. 1409-1416 IEEE.

نمایش انحرافات طیفی از خود نشان می‌دهد. با وجود چنین تحلیلی، نباید همبستگی اطلاعات طیفی و مکانی را از نظر دور داشت. تفاوت نظر شاخص‌ها ناشی از پارامترها و وزن هر یک از اطلاعات مورد سنجش تصویر است که شاخص مورد نظر ارزیابی می‌کند. با توجه به تعدد شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصویر، انتخاب شاخص ارزیابی تصویر مناسب نیازمند توجه به برخی نکات است. در گام نخست، تعیین هدف و حیطه کاربرد تصویر ارجحیت اطلاعات طیفی و یا مکانی را تعیین می‌کند. برای نمونه، در کاربردهای شهری و نقشه‌برداری، حفظ اطلاعات مکانی ارجحیت دارد و در کاربردهای کشاورزی و منابع طبیعی، مانند جداسازی و تشخیص گونه‌های گیاهی و گروه‌های بزرگ خاک، داشتن اطلاعات طیفی دقیق‌تر اهمیت می‌یابد. گام بعدی شناخت و درک ویژگی‌هایی از تصویر است که شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصویر مورد بررسی قرار می‌دهند. به‌طور کلی، هدف از ارزیابی بررسی اعتبار اطلاعات حاصل از تلفیق در دو بعد مکانی و طیفی است. داشتن ارزیابی درست و کامل زمانی حاصل می‌شود که دید جامع به تصویر وجود داشته باشد و ویژگی‌های مکانی و طیفی تصویر هم‌زمان ارزیابی شود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود برای ارزیابی همه‌جانبه تصویر، از شاخص‌های قرارگرفته در هر گروه به‌منزله نماینده اعوجاج طیفی و یا مکانی استفاده شود و با در نظر گرفتن حیطه کاربرد تصویر در زمینه‌های مطالعات و کاربرد تصاویر تلفیق‌شده در منابع طبیعی، مناطق شهری و دیگر کاربردها ارجحیت ویژگی مکانی و طیفی مشخص شود و در نهایت، روش تلفیقی انتخاب شود که پاسخگوی نیاز کاربران باشد.

۵- منابع

Al-Wassai, F. A., Kalyankar, N.V. & Al-Zuky, A.A., 2011, **Arithmetic and Frequency Filtering Methods of Pixel-Based Image Fusion Techniques**, Computer vision and pattern recognition, arXiv preprint arXiv: 1107.3348.

- Larson, E.C. & Chandler, D.M., 2010, **Most Apparent Distortion: Full-Reference Image Quality Assessment and the Role of Strategy**, Journal of Electronic Imaging, 19(1), 011006-011006.
- Mattappillil, J., Soundarya Mala, P., Sailaja, V. & Mahidar, R., 2013, **Comparative Evaluation of Image Fusion Technique Using Shift Invariant Transforms**, Journal of Engineering Research and Application,(3), 1073-1076.
- Raut, G.N., Paikrao, P.L. & Chaudhari, D.S., 2013, **A Study of Quality Assessment Techniques for Fused Images**, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), 2, 290-294.
- Robila, S.A., 2005, **Using Spectral Distances for Speedup in Hyperspectral Image Processing**, International Journal of Remote Sensing, 26(24), 5629-5650.
- Sayood, K., 2002, **Statistical Evaluation of Image Quality Measures**, Journal of Electronic imaging, 11(2), 206-223.
- Shi, W., Zhu, C., Tian, Y. & Nichol, J., 2005, **Wavelet-Based Image Fusion and Quality Assessment**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 6(3), 241-251.
- Wald, L., 2000, **Quality of High Resolution Synthesised Images: Is There a Simple Criterion?**, In Proceedings, pp. 99-103.
- Wang, Z. & Simoncelli, E.P., 2004, **Stimulus Synthesis for Efficient Evaluation and Refinement of Perceptual Image Quality Metrics**, In Electronic Imaging ,2004, June, pp. 99-108, International Society for Optics and Photonics.
- Wang, Z. & Bovik, A.C., 2002, **A Universal Image Quality Index**, Signal Processing Letters, IEEE, 9(3), 81-84.
- Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R. & Simoncelli, E.P., 2004, **Image Quality Assessment: from Error Visibility to Structural Similarity**, Image Processing, IEEE Transactions on, 13(4), 600-612.
- Yuhendra, Y., Alimuddina, I., Sri Sumantyoa, J.T. & Kuze, H., 2012, **Assessment of Pan-Sharpning Methods Applied to Image Fusion of Remotely Sensed Multi-Band Data**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation ,18. 165-175.
- Zhang, F., Ma, L., Li, S. & Ngan, K.N., 2011, **Practical Image Quality Metric Applied to Image Coding**, Multimedia, IEEE Transactions on 13(4), 615-624.
- Zhang, L. & Li, H., 2012, **SR-SIM: A Fast and High Performance IQA Index Based on Spectral Residual**, In Image Processing (ICIP), 2012, September, 19th IEEE International Conference on pp. 1473-1476, IEEE.
- Zhang, L., Zhang, D. & Mou, X., 2010, **RFSIM: A Feature Based Image Quality Assessment Metric Using Riesz Transforms**, In Image Processing (ICIP), 2010, September, 17th IEEE International Conference on pp. 321-324, IEEE.
- Zhang, L., Zhang, D. & Mou, X., 2011, **FSIM: A Feature Dimilarity Index for Image Quality Assessment**, Image Processing, IEEE Transactions on, 20(8), 2378-2386.
- Zhang, Yun., 2008, **Methods for Image Fusion Quality Assessment-A Review, Comparison and Analysis**, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37, 1101-1109.