



## کاربرد تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ در پایش محیطی

مصطفی کابلی‌زاده<sup>۱\*</sup>، کاظم رنگزن<sup>۲</sup>، شاهین محمدی<sup>۳</sup>

۱. استادیار گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. دانشیار گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. دانشجوی دکتری سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

### مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۳۱ شهریور ۱۳۹۷

پذیرش: ۲ آبان ۱۳۹۷

دسترسی اینترنتی: ۳۰ آبان ۱۳۹۷

واژه‌های کلیدی:

ادغام تصاویر

ارزیابی کیفیت تصویر

بهبود کیفیت تصویر

آشکارسازی تغییرات

اهواز

### چکیده

به‌منظور استفاده هم‌زمان از اطلاعات طیفی و مکانی تصاویر ماهواره‌ای از روش‌های مختلف تلفیق تصاویر استفاده می‌گردد، اما روش‌های ادغام تصاویر معمولاً با اعوجاجات طیفی و مکانی در تصویر خروجی همراه بوده که میزان این انحرافات با توجه به روش و نیز داده‌های مورد استفاده متغیر است. هدف از این تحقیق کاربرد تلفیق تصاویر سنجش‌ازدور لندست ۸ (OLI) مربوط به ۱۸ دی ۱۳۹۶ و سنتینل-۲ مربوط به ۲۱ دی ۱۳۹۶ با روش‌های ادغام تصاویر، Gram Schmidt، CN، Brovey، DWT، SFIM و Multiplication در پایش شهر اهواز است. به‌منظور ارزیابی کیفیت تصاویر حاصل از ادغام، شاخص‌های CC، PSNR، SAM، SIMM و فیلتر لاپلاسین استفاده گردید. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بین روش‌های مورد استفاده روش‌های DWT و Brovey به ترتیب بهترین روش از لحاظ حفظ اطلاعات طیفی و مکانی می‌باشند. همچنین بیشترین اعوجاجات از نظر طیفی با مقدار ۱/۱۸ در شاخص SAM مربوط به روش Multiplication و بیشترین انحراف مکانی در شاخص DWT با مقدار همبستگی ۰/۴۷ با تصویر مرجع مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که روش SFIM از جنبه طیفی و مکانی دارای دقت مناسب است.

\*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [m.kabolizade@scu.ac.ir](mailto:m.kabolizade@scu.ac.ir)

## مقدمه

امروزه به منظور پایش زمین مانند آشکارسازی تغییرات، طبقه‌بندی پوشش‌های زمینی، تشخیص عارضه اغلب نیاز به تصاویری با قدرت تفکیک مکانی و طیفی مناسب بیش‌ازپیش احساس می‌شود (۳ و ۹). این موضوع به‌خصوص زمانی اهمیت بیشتری می‌یابد که این داده‌ها در زمینه‌های حساسی مانند محیط‌زیست، منابع طبیعی و کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد (۵ و ۹). در سال‌های اخیر بسیاری از ماهواره‌های تصویربرداری در سنجش‌ازدور مانند Landsat, SPOT, IKONOS, Quick Bird, EO-1 و ALOS سنجنده‌هایی با توانایی ثبت تصویر پانکروماتیک (PAN) و نیز ثبت چند طیفی (MS) را پیدا کرده‌اند (۲۲). در سنجش‌ازدور محدودیت سیگنال به نویز سبب شده تصاویر پانکروماتیک اطلاعات مکانی بالایی داشته باشند اما در مقابل تصاویر چند طیفی و ابر طیفی اطلاعات طیفی بیشتری را با قدرت تفکیک مکانی کمتر ارائه دهند (۲۶). در حقیقت هدف اصلی از ادغام تصویر، حفظ مقادیر طیفی تصویر چند طیفی و بهبود قدرت تفکیک مکانی تصویر حاصل از ادغام می‌باشد (۱۱ و ۱۸). از آنجاکه الگوریتم‌های مختلف نتایج مختلفی را ارائه می‌دهند بنابراین در چند دهه اخیر روش‌های متعددی برای تلفیق تصاویر ارائه شده است (۲۰، ۲۱ و ۳۰). بنابراین انتخاب روش مناسب بین روش‌ها با توجه به کارایی الگوریتم در حفظ اطلاعات تصویر و حیطه کاربرد تصویر اهمیت می‌یابد (۱۷).

به‌منظور تلفیق تصاویر محققان روش‌های ادغام تصویر را به سه دسته کلی تقسیم‌بندی کرده‌اند. روش‌هایی مبتنی بر پیکسل، روش‌های مبتنی بر ویژگی و روش‌های مبتنی بر تصمیم‌گیری (۷). تلفیق در سطح پیکسل ساده و درعین حال پراستفاده‌ترین روش تلفیق تصاویر است (۱۱ و ۳۱). تلفیق در سطح ویژگی؛ ویژگی‌های مختلف تصویر را مانند پارامترهای بافت، خطوط، لبه‌ها را از منابع مختلف داده استخراج کرده که در نهایت ممکن است از این پارامترهای استخراج شده به‌عنوان داده اصلی در پردازش‌های بعدی استفاده کند، اما تلفیق در سطح تصمیم‌گیری نتایج الگوریتم‌های مربوط به منابع چندگانه

را ترکیب می‌کند تا به تصمیم‌گیری نهایی برسد. از آنجاکه پیکسل کوچک‌ترین واحد اطلاعات است بنابراین روش‌های مبتنی بر پیکسل اطلاعات تصویر اصلی را حفظ می‌کنند و در مقایسه با دو روش دیگر نتایج دقیق‌تری ارائه داده و کمترین مقدار خطا را در فرآیند ادغام ایجاد می‌کند (۲۳ و ۲۴)، بنابراین در این پژوهش روش‌های مبتنی بر پیکسل به‌منظور ادغام تصاویر مورد استفاده قرار گرفت. از جمله روش‌های مبتنی بر پیکسل می‌توان به تبدیل IHS (Intensity, Hue, Saturation)، (Color Normalized) CN Brovey، و (Principal Component Analysis) PCA و (Discrete Wavelet Transform) DWT اشاره کرد (۱، ۴ و ۶). در این راستا به‌منظور بررسی کیفیت تصویر ادغام‌شده، روش‌هایی ارائه گردیده است (۱۷) که به دو روش کلی، مقایسه توسط انسان (بصری) و محاسباتی انجام می‌پذیرد. روش‌های بصری بر اساس سیستم بینایی انسان مقایسه را انجام می‌دهند، در نتیجه این روش زمان‌بر و پرهزینه بوده و دارای مشکلاتی در روند ارزیابی می‌باشند، همچنین از آنجایی که شرایط نمایش تصویر و درک بصری افراد متفاوت است، از این‌رو ارزیابی محاسباتی کیفیت تصویر در دهه‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است (۱، ۶، ۷ و ۲۸). روش‌های ارزیابی کمی؛ با مقایسه تصویر ادغام‌شده با تصویر مرجع انجام می‌گیرد. این ارزیابی در روش‌های محاسباتی به‌منظور بررسی قدرت تفکیک طیفی و مکانی تصویر حاصل از ادغام صورت می‌گیرد. از جمله معیارهای متکی بر تصویر مرجع که ارزیابی کیفیت طیفی تصویر ادغام‌شده به دست می‌آورد شاخص‌هایی مانند SAM (Spectral Angle Mapper)، (Error Structural Similarity) SSIM، (Correlation Coefficient) CC، (Peak Signal to Noise Ratio) PSNR، (Root Mean Square) RMSE، (Index) را می‌توان نام برد (۲۲، ۲۵ و ۲۸). از طرف دیگر بهتر است علاوه بر بررسی کیفیت طیفی تصویر ادغام‌شده؛ کیفیت مکانی آن نیز مورد آنالیز قرار گیرد تا بررسی نتایج دقیق‌تر ارزیابی شود. به‌منظور ارزیابی حفظ اطلاعات مکانی توسط تصویر ادغام‌شده می‌توان از فیلتر بالاگذر لاپلاسی

در این عرصه فعالیت می‌کنند ایفا کند. برای رسیدن به این مهم، پژوهش حاضر باهدف تلفیق تصاویر دو ماهواره سنتینل-۲ و لندست-۸ انجام گرفت. برای رسیدن به این هدف روش‌های مختلف ادغام تصاویر با استفاده از این تصاویر این ماهواره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و به منظور بررسی کیفیت تصاویر ادغام شده با شاخص‌های ارزیابی کیفیت مورد ارزیابی قرار گرفت تا میزان دقت روش‌های مورد استفاده از لحاظ حفظ اطلاعات طیفی و مکانی مشخص گردد و از این طریق در نهایت مناسب‌ترین روش برای هر کاربرد تعیین شود. البته در بیشتر مطالعات ارزیابی فقط به کمک شاخص‌های طیفی انجام شده و کمتر شاخص‌های مکانی مدنظر بوده است، درحالی‌که داشتن ارزیابی درست و کامل زمانی حاصل می‌شود که دید جامع از ویژگی‌های مکانی و طیفی تصویر هم‌زمان باهم حاصل شود.

## مواد و روش‌ها

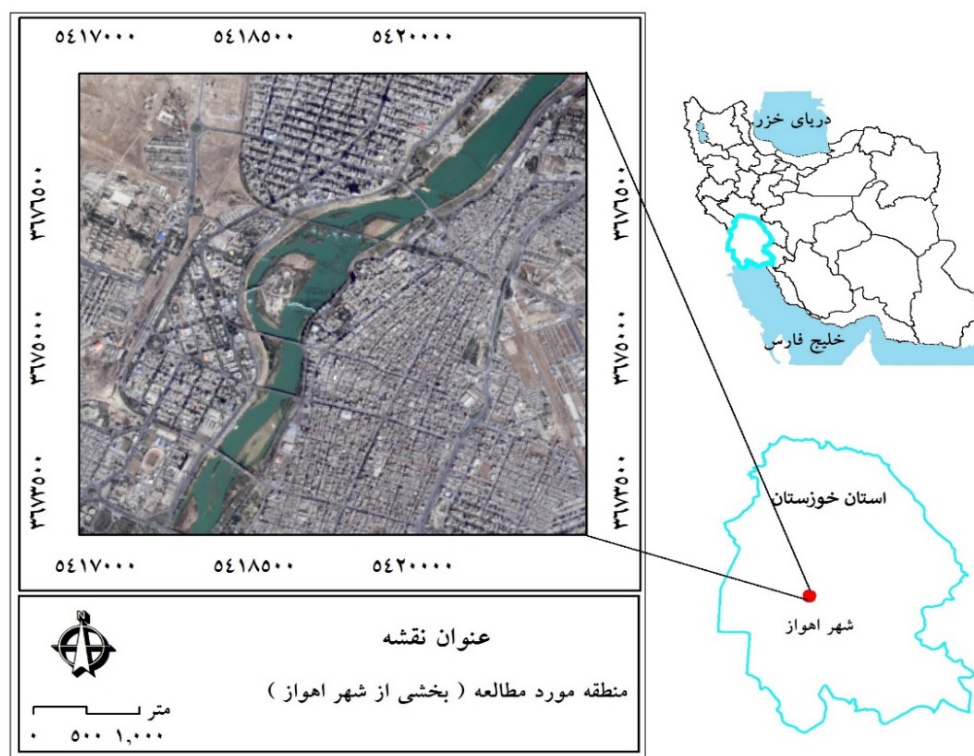
### منطقه مورد مطالعه

شهر اهواز مرکز استان خوزستان با مساحت ۲۲۲ کیلومتر مربع که در بین ۱۲' ۴۸° تا ۱۲' ۴۹° طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و در بین ۲۶' ۳۱° تا ۳۱' ۳۱° از خط استوا در کشور ایران واقع شده است (۸). این شهر دارای ۷ منطقه شهری است که به وسیله رودخانه کارون به دو نیمه شرقی و غربی تقسیم می‌شود (شکل ۱).

(Laplacian) و شاخص RFSIM (Riesz-transform based)

استفاده نمود (۲، ۷ و ۲۷). به منظور بررسی پیشینه تحقیق باهدف ادغام تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به مطالعه آفری و ورشو ساز (۱) با عنوان بهبود روش آماری تلفیق تصاویر کانگور با استفاده از فیلتر بالا گذر، بشیرپور و همکاران (۲) تحت عنوان تلفیق تصاویر سنجش‌ازدور با روش FFT-PCA، محمد نژاد نیازی و همکاران (۷) با مطالعه ادغام تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک IHS-GA مبتنی بر مناطق بهبود یافته گیاهی، دروال و همکاران (۱۳) با موضوع ادغام تصاویر با استفاده از روش SFIM، کانگور و همکاران (۱۴) ادغام تصاویر با استفاده از DWT و وانگ و همکاران (۲۸) که به منظور بررسی روش‌های تلفیق تصاویر ماهواره سنتینل-۲ و لندست-۸ انجام شده، اشاره نمود. از جمله کاربردهای تلفیق تصاویر می‌توان به مطالعه فاضلی و همکاران (۳) تحت عنوان عملکرد الگوریتم‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های ادغام تصاویر می‌توان اشاره نمود. در این تحقیق از ۴ روش استفاده از HPF، Gram، DWT، Schmidt و PC-Sharpened به منظور افزایش دقت طبقه‌بندی استفاده شد. در نهایت ذکر کردند که در بین روش‌های مورد استفاده روش Gram Schmidt نسبت به سایر روش‌ها، بیشترین تأثیر را در افزایش دقت طبقه‌بندی دارد.

دستیابی به تصویری با کیفیت طیفی و مکانی مناسب با استفاده از تکنیک‌های ادغام تصاویر سبب افزایش دقت مطالعات شده و می‌تواند نقش بسزایی در یاری‌رساندن به محققانی که



شکل ۱. تصویر محدوده مورد مطالعه

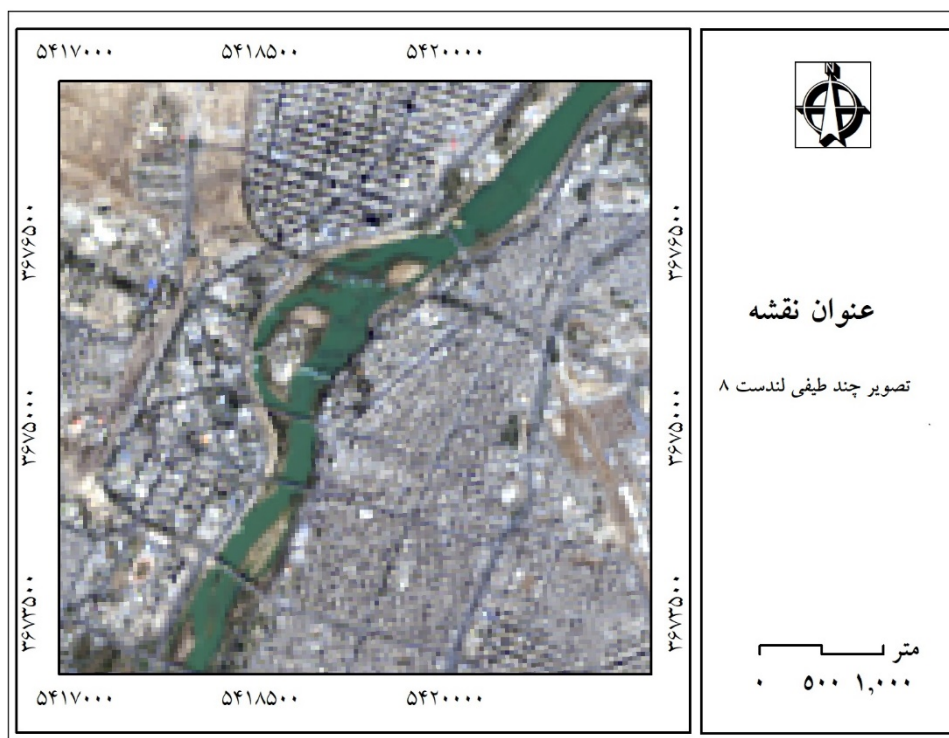
#### داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از تصاویر دو ماهواره لندست-۸ و ستینل-۲ استفاده گردید. تلفیق باندهای ۱ تا ۷ ماهواره لندست-۸ سنجنده OLI با قدرت تفکیک ۳۰ متر به عنوان تصویر چند طیفی (شکل ۲) و تلفیق باندهای ۲، ۳ و ۴ ماهواره ستینل-۲ با قدرت تفکیک ده متر به عنوان باند پانکروماتیک به کار گرفته شد (شکل ۳). اطلاعات و مشخصات تصاویر مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. در تحقیق حاضر

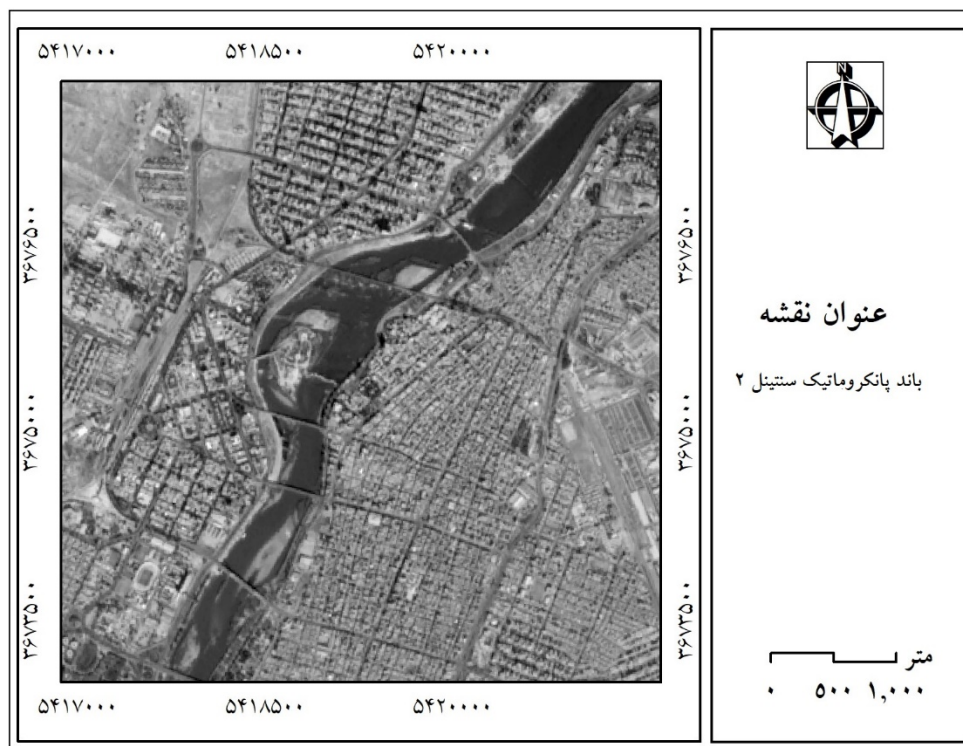
نزدیک بودن تاریخ اخذ تصاویر مدنظر قرار گرفته شد تا خطای ناشی از تغییرات درجات خاکستری حداقل شود. همچنین در این مطالعه به منظور کد نویسی، پردازش، تجزیه و تحلیل و خروجی از تصاویر نرم افزارهای ArcGIS، ENVI و Matlab به عنوان ابزارهای کار مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور بارز شدن و آشکارسازی تغییرات در لبه، قسمتی از شهر اهواز که دارای کاربری‌های مختلف و لبه‌های بارز بوده خروجی گرفته شد تا نتایج را بهتر بتوان مقایسه کرد.

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورد استفاده

ماهواره	سنجنده	قدرت تفکیک باندهای مورد استفاده	باند مورد استفاده	تاریخ	دوره بازگشت
لندست-۸	OLI	۳۰	۱ تا ۷	۲۰۱۸/۰۱/۰۸	۱۶
ستینل-۲	MSI	۱۰	۲ و ۳ و ۴	۲۰۱۸/۰۱/۱۱	۵



شکل ۲. ترکیب واقعی (RGB) ماهواره لندست-۸ منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. تصویر پانکروماتیک سنتینل ۲- منطقه مورد مطالعه

## روش‌های تلفیق اجرا شده

**الگوریتم Brovey** یکی از موفق‌ترین روش‌های تلفیق تصاویر است که بر اساس مدل‌سازی طیفی، به باندهای ورودی نرمال می‌رسد. این الگوریتم جز روش‌های تلفیق نسبت‌های بانندی و ترکیب‌های حسابی است. تبدیل Brovey باندهای چند طیفی را نرمال می‌کند و آن را با شدت و روشنایی تصویر پانکروماتیک تطبیق می‌دهد (۲۴). از آنجایی که ورودی این الگوریتم یک تصویر سه بانندی است خروجی آن نیز تصویر سه بانندی خواهد بود (رابطه ۱).

$$B = \frac{MS_i}{\sum_i^n MS_i} \times PAN \quad [1]$$

در این رابطه منظور از MS باندهای چند طیفی و i شماره باند است، همچنین PAN بیانگر باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا است.

**الگوریتم GS (Gram-Schmidt)** این روش یکی از روش‌های تلفیق تصاویر چند طیفی است که همانند روش PCA جز روش‌های جایگزینی مؤلفه به حساب می‌آید. در این الگوریتم ابتدا با استفاده از باندهای چند طیفی باند پانکروماتیک شبیه‌سازی شده و با سایر باندها تلفیق می‌شود. سپس یک تبدیل Schmidt Gram روی تصویر چند بانندی اعمال می‌گردد که به اندازه تعداد باندهای تلفیق شده مؤلفه ایجاد می‌شود. در مرحله بعد با جایگزینی مؤلفه اول این تصویر با باند پانکروماتیک اصلی تلفیق انجام می‌شود (۱۵ و ۲۴).

**الگوریتم CN** توسعه یافته روش Brovey بوده اما محدودیت تعداد بانندی را رفع کرده است و به کاربر امکان استفاده از تصاویر بیشتر از سه باند به عنوان تصویر ورودی می‌دهد (۲۴) که رابطه آن در پایین آورده شده است (رابطه ۲).

$$CN = \frac{3(MS_i+1)(PAN+1)}{\sum_i^n MS_i+3} - 1 \quad [2]$$

در این رابطه منظور از MS باندهای چند طیفی و i شماره باند است، همچنین PAN بیانگر باند پانکروماتیک با قدرت

تفکیک مکانی بالا است.

**الگوریتم تبدیل موجک (DWT)** روش‌های مبتنی بر DWT روش‌های محبوب ادغام در سطح پیکسل هستند که در دسته روش‌های مبتنی بر فیلتر و در حوزه فرکانس قرار می‌گیرد. اساس این روش نیز بر مبنای جایگذاری جزئی است. تصویر در تجزیه موجک به ۴ زیر تصویر یا مؤلفه (HH, HL, LH, LL) به نام ضرایب موجک تبدیل می‌شود؛ به LL زیر تصویر تقریب و به ضرایب LH, HL و HH به ترتیب ضرایب جزئیات در راستای عمودی، افقی و قطری می‌گویند که قسمت فرکانس پایین می‌تواند تا رسیدن به نتیجه دلخواه تجزیه شود (۲).

**الگوریتم SFIM** تلفیق در این روش بر اساس فیلترهای پایین گذر است و سعی بر آن است که اطلاعات طیفی تصویر تا حد امکان حفظ شود (۲۲). همچنین علاوه بر حفظ اطلاعات طیفی محدودیت بانندی در این روش وجود ندارد که یکی دیگر از مزیت‌های این روش است. در این روش ادغام تصاویر بر اساس رابطه ۳ انجام شد.

$$SFIM = \frac{MS_i * PAN}{Mean} \quad [3]$$

در این رابطه؛ MS باندهای چند طیفی سنجنده OLI و PAN باند با قدرت تفکیک مکانی بالا است. همچنین منظور از Mean تصویر میانگین ایجاد شده از باند پانکروماتیک با اعمال فیلتر پایین گذر روی آن و i شماره باند است.

**الگوریتم Multiplication** در این روش هر کدام از باندهای تصویر چند طیفی جداگانه به کمک اپراتورهای جمع، تفریق، ضرب و تقسیم با باند پانکروماتیک در ارتباط اند که چگونگی این ارتباط در رابطه ۴ ارائه شده است. این روش یکی از روش‌های قدرتمند تلفیق تصاویر است که سبب افزایش کنتراست است (۲۴).

$$X \quad [4]$$

X

$$XS3 = a3 + b3(P + 3XS3^1)/4$$

در این روابط  $a$  و  $b$  متغیرهای معادله‌ها می‌باشند. همچنین  $P$  نشان‌دهنده باند با قدرت تفکیک مکانی بالا و  $XS$  باند با قدرت سنجنده چند طیفی است که در این از سه باند استفاده می‌کند.

معیارهای ارزیابی نتایج حاصل از روش‌های ادغام تصاویر در این تحقیق به منظور ارزیابی میزان صحت اطلاعات طیفی و مکانی تصویر ادغام‌شده، از چندین روش که بیشترین استفاده را دارند استفاده شده است (۲۵).

معیارهای ارزیابی حفظ اطلاعات طیفی

ضریب همبستگی (CC) این معیار از جمله پرکاربردترین معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی تصویر تلفیق‌شده است. این معیار از شباهت تصویر تلفیق‌شده با تصویر چند طیفی، کیفیت طیفی روش موردنظر را مشخص می‌کند (۱۰) که هرچقدر این معیار به ۱ نزدیک‌تر باشد بیانگر شباهت بیشتر اطلاعات طیفی تصویر تلفیق‌شده با تصویر چند طیفی است (رابطه ۵).

$$PSNR = 10 \log_{10}(\text{Max}^2/\text{MSE}) \quad [V]$$

در این رابطه؛  $\text{Max}$  بیشترین مقدار پیکسل موجود در تصویر است و  $\text{MSE}$  میانگین مربع خطا است.

شباهت ساختاری (SSIM) شاخص SSIM برای اندازه‌گیری شباهت بین دو تصویر استفاده می‌شود. در این روش اندازه‌گیری کیفیت تصویر حاصل از ادغام بر اساس مقایسه با تصویر بدون فشردگی اولیه انجام می‌گیرد. این شاخص برای بهبود عملکرد شاخص‌های سنتی مانند نسبت سیگنال به نویز (PSNR) و خطای متوسط مربع (MSE) طراحی شده است (۱۶) که نحوه محاسبه آن در رابطه ۸ ارائه گردیده است.

$$SSIM = \frac{(2\mu_f\mu_r + C1) * (2\sigma_f\sigma_r + C2)}{(\mu_f^2 + \mu_r^2 + C1) * (\sigma_f^2 + \sigma_r^2 + C2)} \quad [A]$$

در این رابطه؛  $\mu_f$  و  $\mu_r$  میانگین‌های  $f$  و  $r$ ،  $\sigma_f$  و  $\sigma_r$  انحراف معیارهای  $f$  و  $r$  بوده که در اینجا  $f$  و  $r$  دوتا تصویری است که باهم مورد مقایسه قرار می‌گیرند. همچنین  $C1$  و  $C2$  دو متغیر هستند که تغییرات پویا ارزش‌های پیکسل را نشان می‌دهند.

#### معیار ارزیابی حفظ اطلاعات مکانی

این معیار از جمله شاخص‌ها و معیارهای ارزیابی کیفیت

در این روابط  $a$  و  $b$  متغیرهای معادله‌ها می‌باشند. همچنین  $P$  نشان‌دهنده باند با قدرت تفکیک مکانی بالا و  $XS$  باند با قدرت سنجنده چند طیفی است که در این از سه باند استفاده می‌کند.

معیارهای ارزیابی نتایج حاصل از روش‌های ادغام تصاویر در این تحقیق به منظور ارزیابی میزان صحت اطلاعات طیفی و مکانی تصویر ادغام‌شده، از چندین روش که بیشترین استفاده را دارند استفاده شده است (۲۵).

#### معیارهای ارزیابی حفظ اطلاعات طیفی

ضریب همبستگی (CC) این معیار از جمله پرکاربردترین معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی تصویر تلفیق‌شده است. این معیار از شباهت تصویر تلفیق‌شده با تصویر چند طیفی، کیفیت طیفی روش موردنظر را مشخص می‌کند (۱۰) که هرچقدر این معیار به ۱ نزدیک‌تر باشد بیانگر شباهت بیشتر اطلاعات طیفی تصویر تلفیق‌شده با تصویر چند طیفی است (رابطه ۵).

$$CC = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (f(x,y) - \mu_f)(r(x,y) - \mu_r)^2}{\sqrt{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n ((f(x,y) - \mu_f)(r(x,y) - \mu_r)^2)}} \quad [5]$$

در این رابطه؛  $f$  و  $r$  بیانگر پیکسل‌های باند تصویر چند طیفی و تلفیق‌شده و  $\mu_f$  و  $\mu_r$  میانگین پیکسل‌های باند تصویر چند طیفی و تلفیق‌شده است.

نگاشت زاویه طیفی (SAM) روش نقشه‌بردار زاویه طیفی اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط کروز و همکاران (۱۹) به‌کاربرده شد. این روش بر اساس شباهت بین طیف مرجع و طیف ثانویه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. شباهت بین طیف مرجع و طیف پیکسل، به‌وسیله محاسبه زاویه بین طیف‌ها ارزیابی می‌گردد (رابطه ۶) که مقدار بالای آن به معنی تخریب طیف و نامناسب بودن روش ادغام تصویر است.

$$\cos \alpha = \frac{\sum_{i=1}^N (A_{m,n} - \mu_A)(B_{m,n} - \mu_B)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N y_i^2}} \quad [6]$$

در این رابطه؛  $N$  تعداد باندها؛  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  و

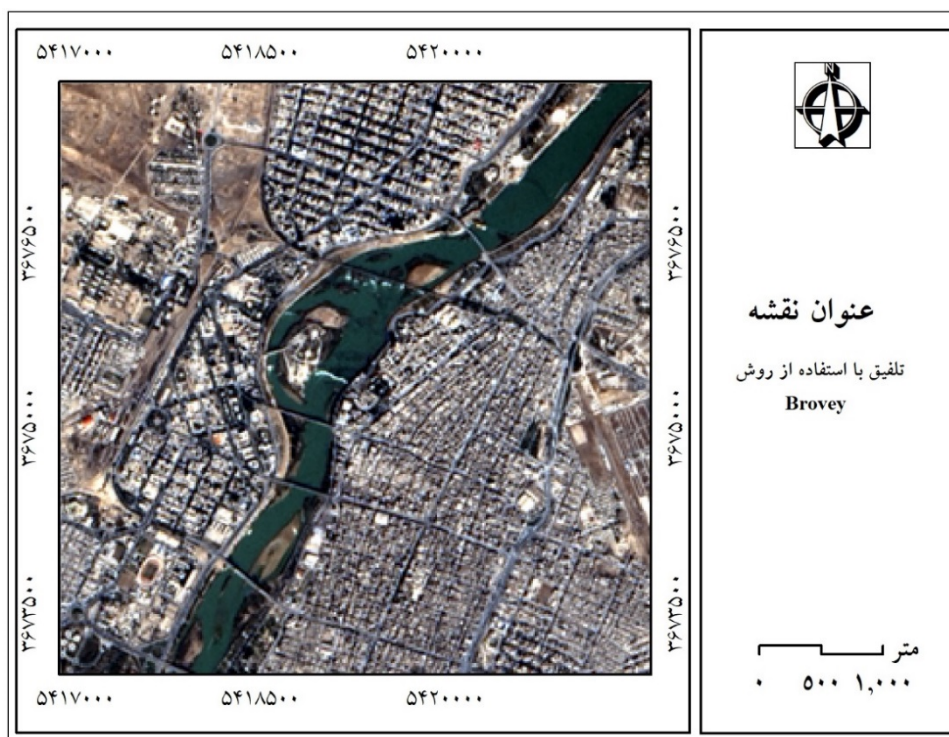
محدودیت بانندی ندارند. پس از حصول نتایج تلفیق تصاویر با روش‌های مختلف، این روش‌ها با استفاده از چندین شاخص ارزیابی کیفیت تصویر مورد ارزیابی قرار گرفتند. همان‌طور که در بالا اشاره شد برای ارزیابی کیفیت تصویر از لحاظ مکانی و طیفی روش‌های متعددی وجود دارد (۲۵). در مطالعه حاضر با در نظر گرفتن جامعیت روش‌ها، از میان روش‌های مورد استفاده ارزیابی کیفیت طیفی تصویر حاصل از ادغام چهار روش SAM، PSNR، SIM و CC مورد بررسی قرار گرفته و نتایج این ارزیابی در جدول ۲ ارائه گردید. نتایج این بخش از مطالعه نشان داد که تلفیق به کمک روش تبدیل موجک (DWT)، با استفاده از سه شاخص PSNR، SSIM و CC، بهترین روش برای ادغام تصویر در بین روش‌های مورد استفاده به لحاظ حفظ اطلاعات طیفی است، اما با استفاده از شاخص SAM، روش SFIM روش کارآمدتری در حفظ اطلاعات طیفی است. همچنین بعد از روش DWT می‌توان گفت روش SFIM دومین روش مناسب جهت حفظ اطلاعات طیفی در این مطالعه است.

مکانی است و به این صورت است که در ابتدا روی تصویر تلفیق‌شده و تصویر پانکروماتیک فیلتر بالا گذر در رابطه ۹ اعمال می‌شود و سپس از ضریب همبستگی بین این دو تصویر فیلتر شده جهت ارزیابی استفاده می‌شود (۲، ۷، ۲۷ و ۲۹). در نهایت بعد از اعمال فیلتر روی تصاویر ادغام‌شده و کیفیت بالا مقدار همبستگی آن‌ها محاسبه گردید.

$$HPF = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad [9]$$

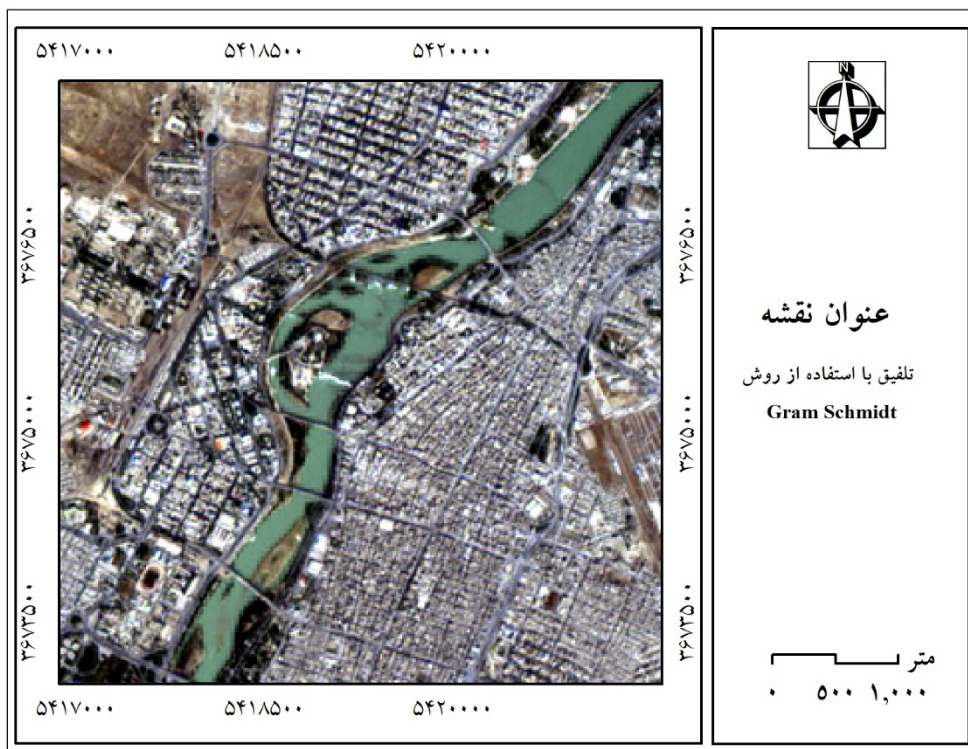
## نتایج

نتایج حاصل از تلفیق تصاویر دو ماهواره لندست با سنتینل با استفاده از روش‌های CN، Brovey، Gram Schmidt، SFIM، DWT و Multiplication انجام شد و نتایج حاصل از این آنالیزها در شکل ۴ تا ۹ ارائه گردید. در میان روش‌های مورد استفاده روش Brovey، DWT و Multiplication محدودیت بانندی داشته و فقط می‌توانند با تصویر سه بانندی تلفیق شوند اما روش Gram Schmidt، SFIM و CN

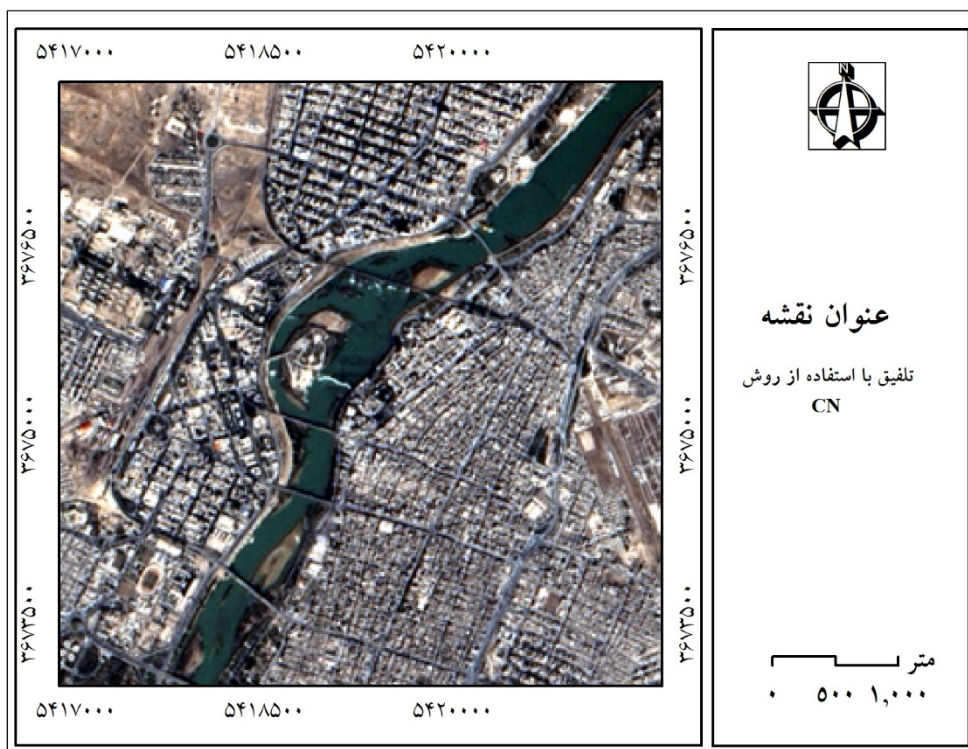


شکل ۴. تصویر حاصل از ادغام با استفاده از روش Brovey

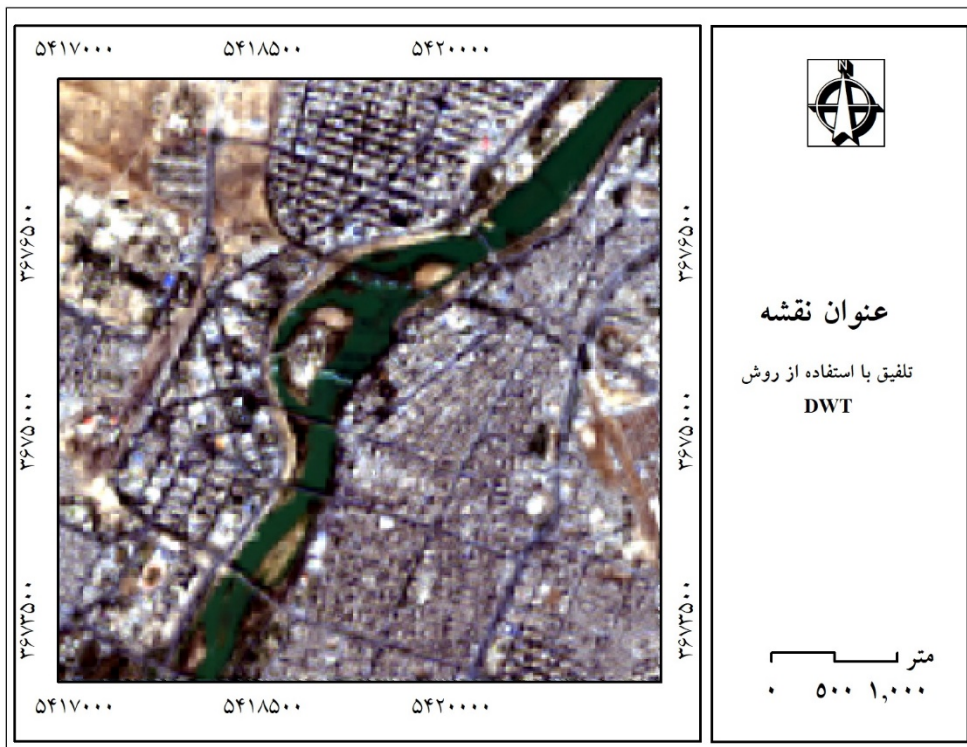




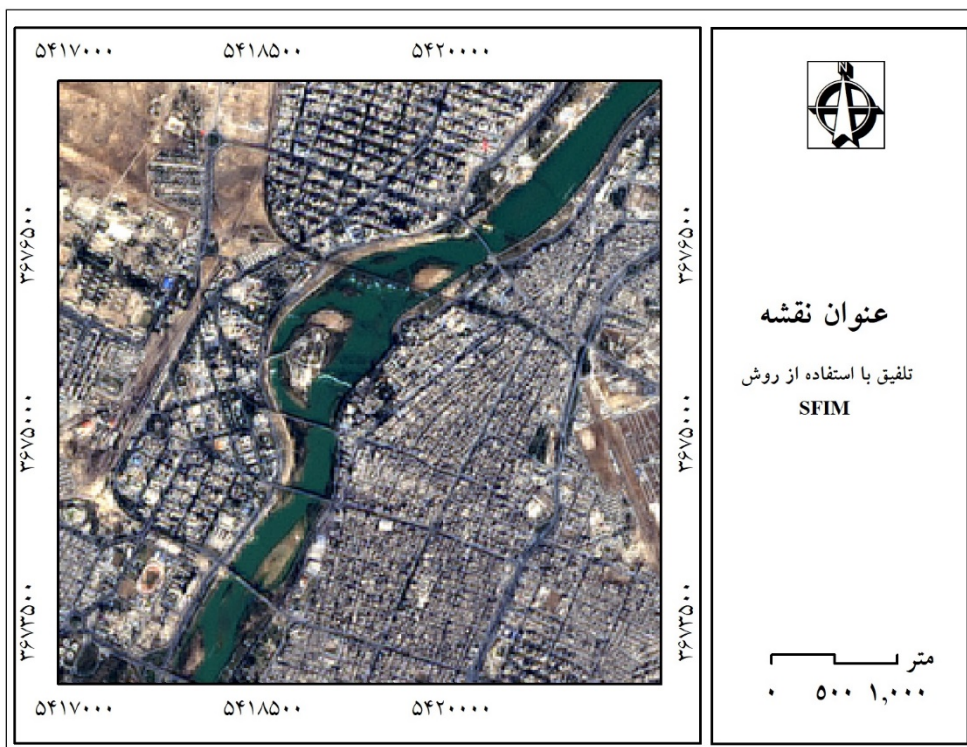
شکل ۵. تصویر حاصل از ادغام با استفاده از روش Gram Schmidt



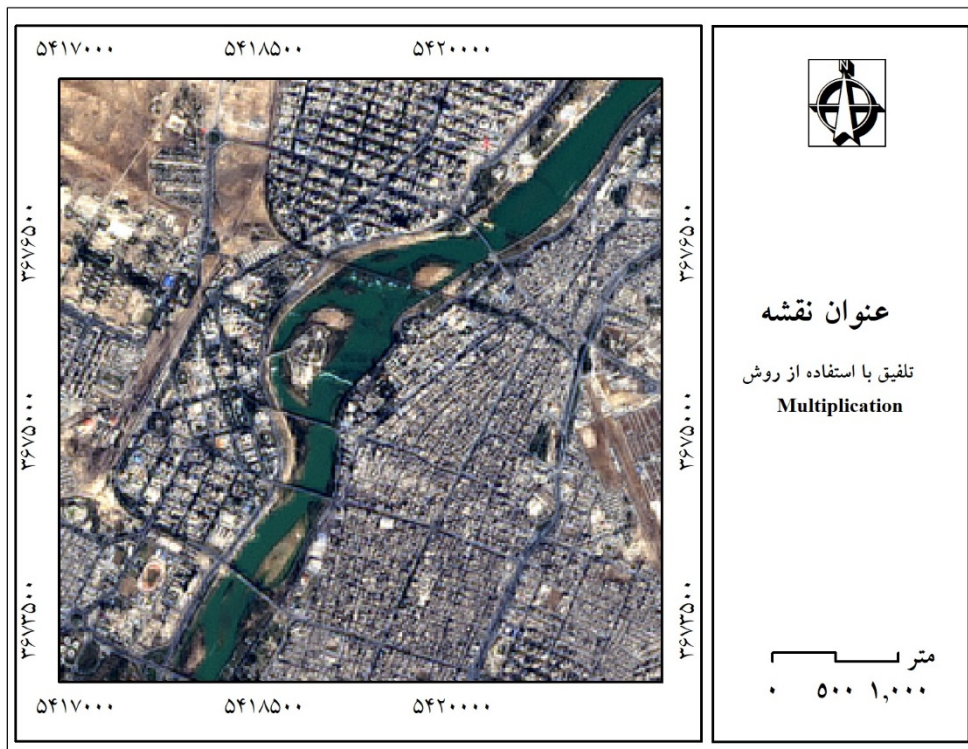
شکل ۶. تصویر حاصل از ادغام با استفاده از روش CN



شکل ۷. تصویر حاصل از ادغام با استفاده از روش DWT



شکل ۸. تصویر حاصل از ادغام با استفاده از روش SFIM



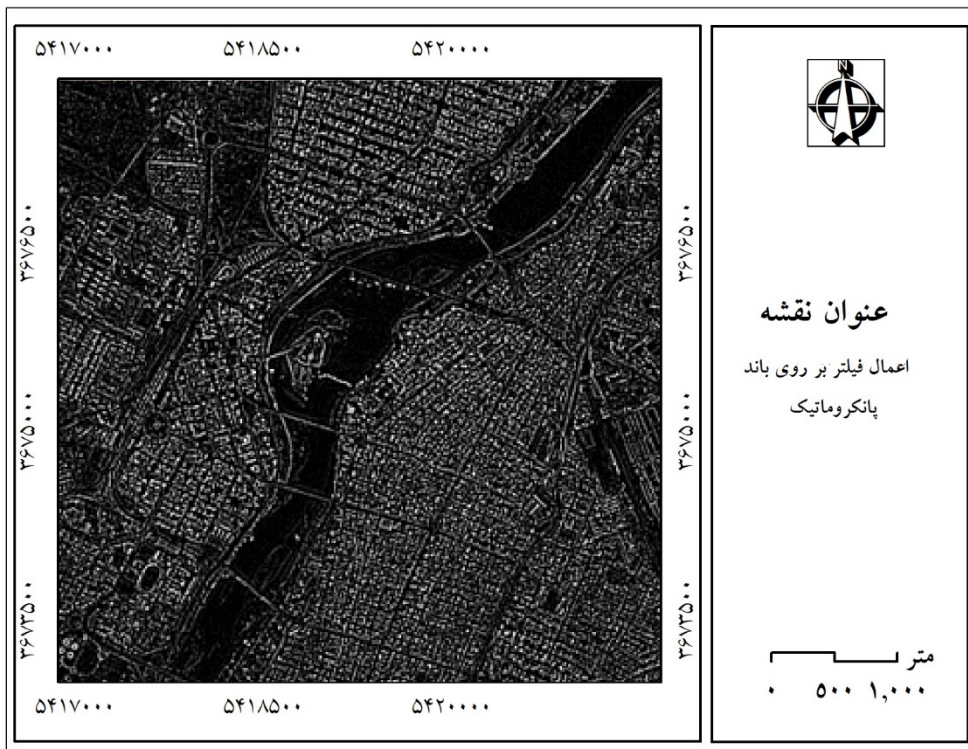
شکل ۹. تصویر حاصل از ادغام با استفاده از روش Multiplication

جدول ۲. نتایج حاصل از ارزیابی طیفی روش‌های مورد استفاده تلفیق تصاویر

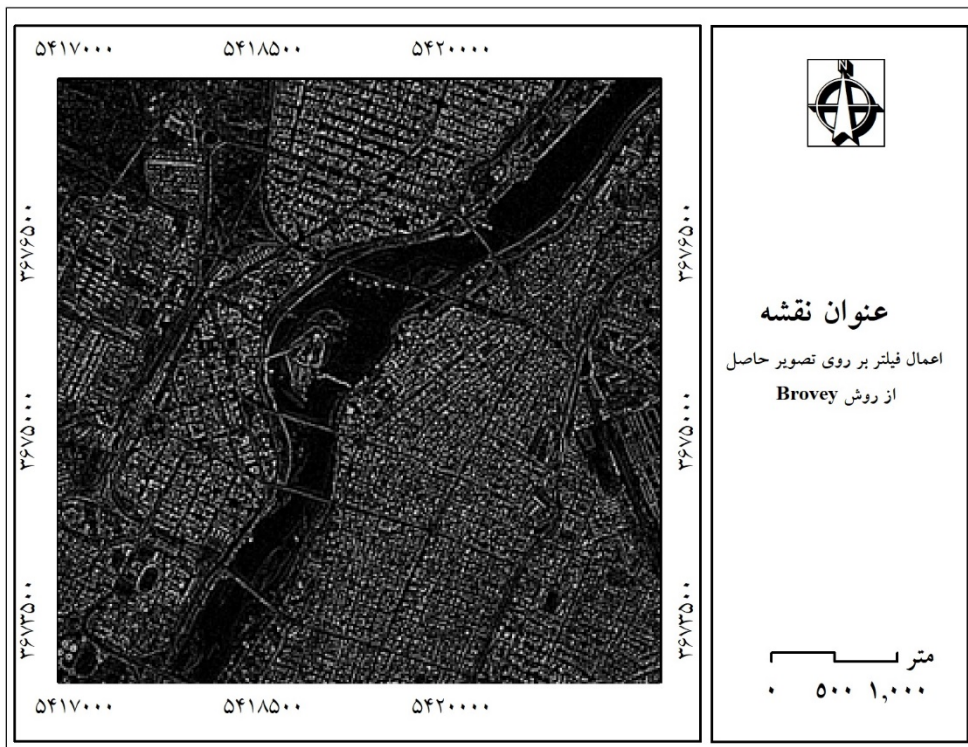
SAM	PSNR	SSIM	Correlation	روش ادغام تصاویر
۰/۴۵	۱۷/۳۸	۰/۱۰۷	۰/۸۴	Brovey
۰/۵۷	۱۸/۴	۰/۳	۰/۸۵	CN
۰/۹۷	۴۱	۰/۹۶	۰/۸۱	Gram Schmidt
۰/۳	۴۹	۰/۹۸	۰/۹۶	DWT
۰/۰۰۱	۴۲	۰/۹۵	۰/۸۶	SFIM
۱/۱۸	۲۲	۰/۷۲	۰/۹۵	Multiplication

همبستگی در جدول ۳ به منظور آنالیزهای مکانی و حفظ لبه‌ها ارائه گردید تا مقدار انحرافات مکانی تصویر حاصل از ادغام شده مورد بررسی قرار گرفته شود. همچنین با استفاده نتایج به دست آمده به منظور ارزیابی کلی روش‌های ادغام تصویر کاربرد هر کدام از روش‌ها در جدول ۴ ارائه گردید.

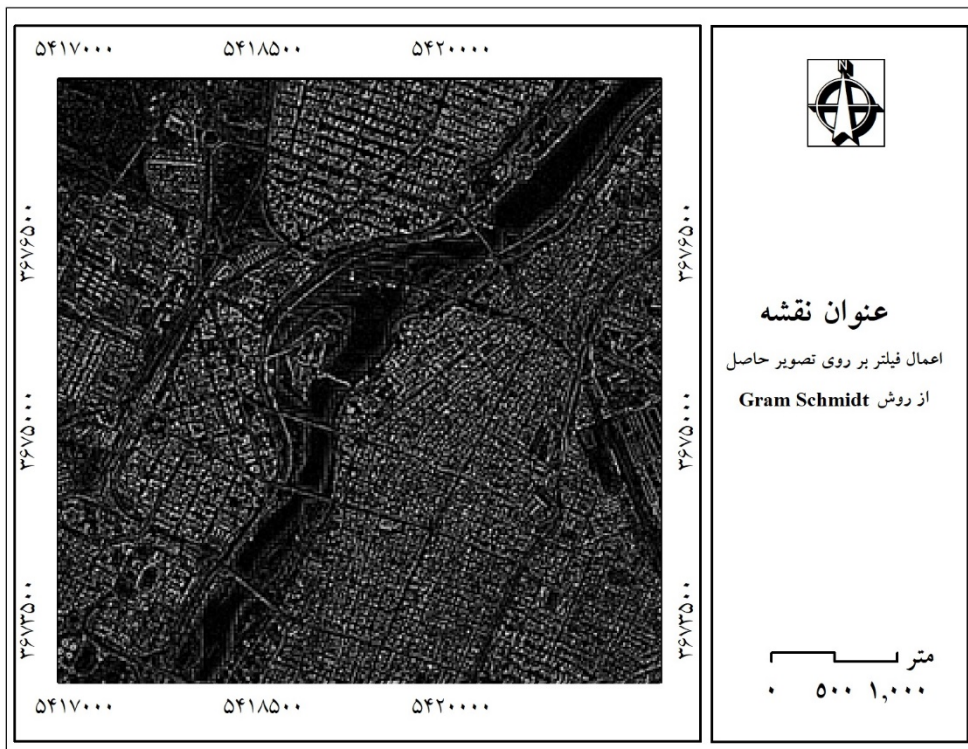
همچنین در بخش بعدی این مطالعه به منظور ارزیابی انحرافات مکانی فیلتر لاپلاسی روی تصاویر حاصل از ادغام و باند پانکروماتیک اعمال گردید و نتایج آن در شکل ۱۰ تا ۱۶ ارائه گردید و بین تصویر در شکل ۱۰ با سایر تصاویر موجود در شکل ۱۱ تا ۱۶ تک به تک همبستگی گرفته شد و نتایج این



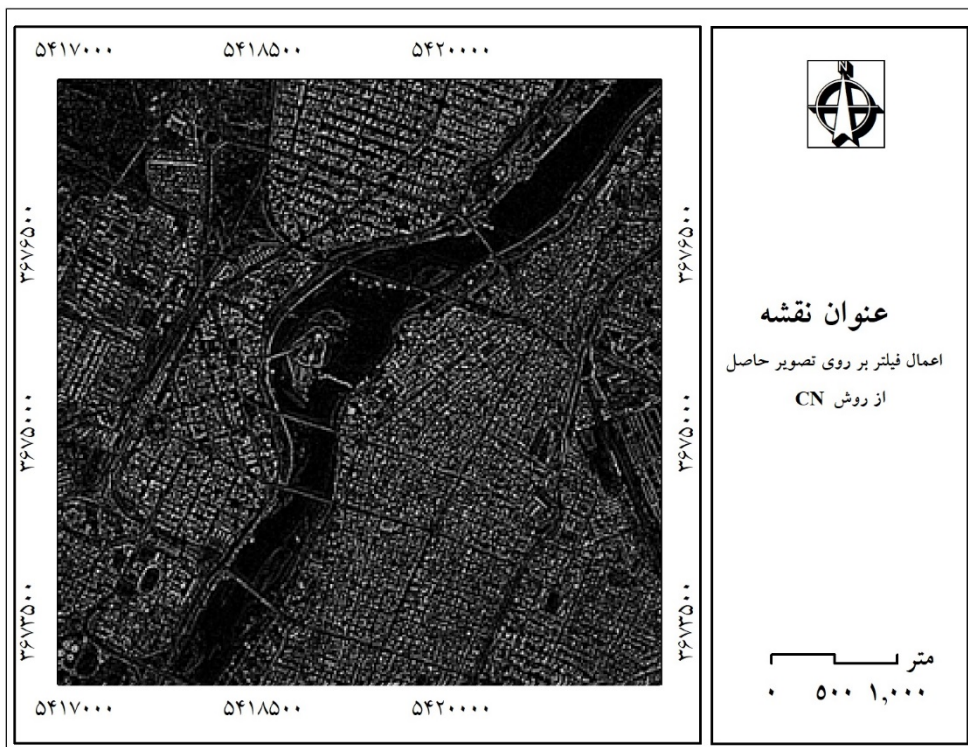
شکل ۱۰. اعمال فیلتر بالا گذر بر روی باند پانکروماتیک



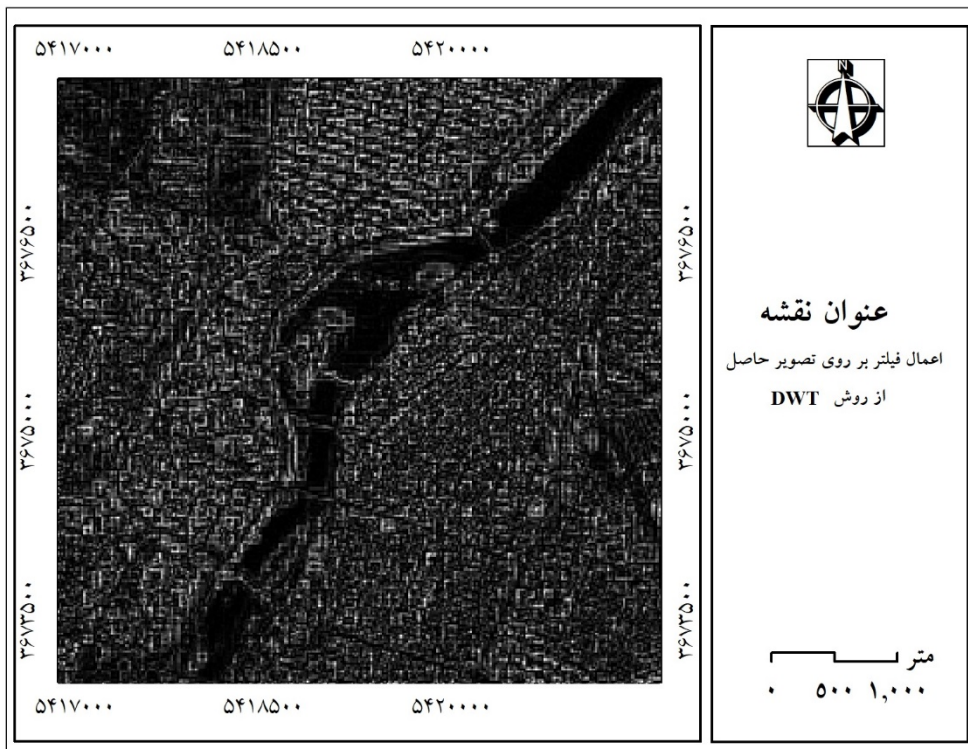
شکل ۱۱. اعمال فیلتر بالا گذر بر روی تصویر حاصل از ادغام روش Brovey



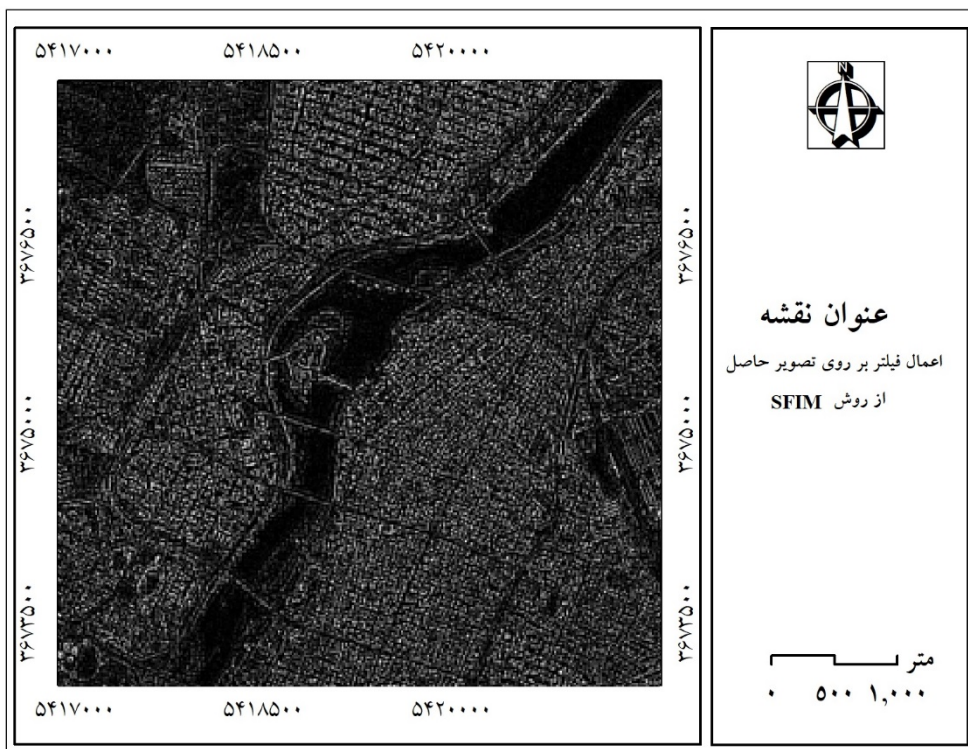
شکل ۱۲. اعمال فیلتر بالا گذر بر روی تصویر حاصل از ادغام روش Gram Schmidt



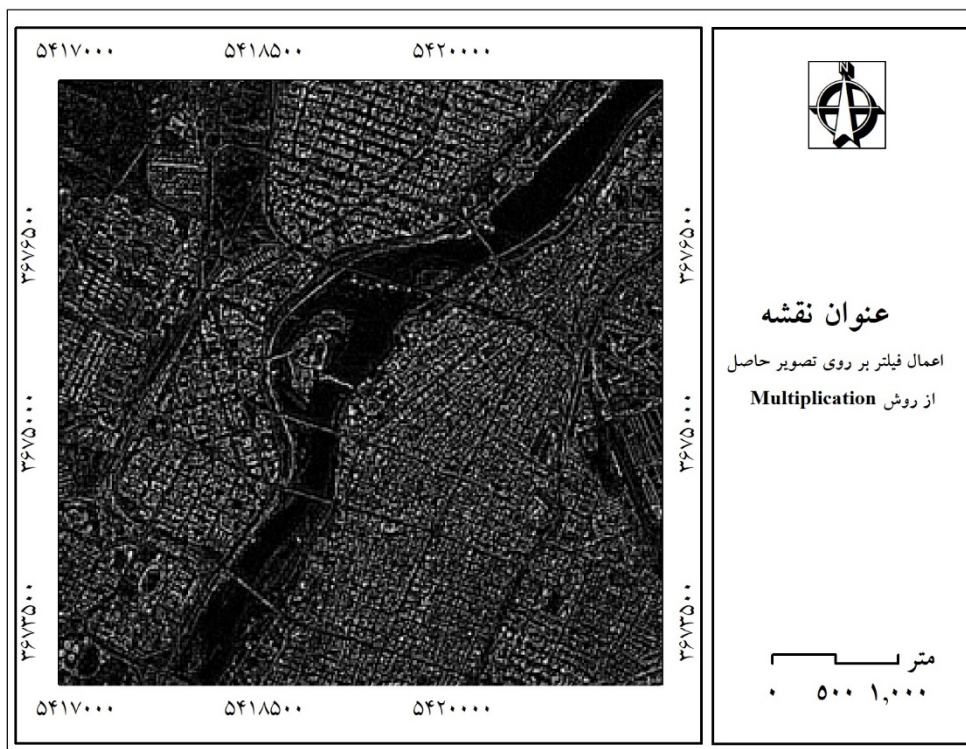
شکل ۱۳. اعمال فیلتر بالا گذر بر روی تصویر حاصل از ادغام روش CN



شکل ۱۴. اعمال فیلتر بالا گذر بر روی تصویر حاصل از ادغام روش DWT



شکل ۱۵. اعمال فیلتر بالا گذر بر روی تصویر حاصل از ادغام روش SFIM



شکل ۱۶. اعمال فیلتر بالا گذر بر روی تصویر حاصل از ادغام روش Multiplication

جدول ۳. نتایج حاصل از ارزیابی مکانی روش‌های مختلف (تصویر ادغام‌شده و پانکروماتیک)

روش‌های تلفیق	Brovey	GS	CN	DWT	SFIM	Multiplication
همبستگی مکانی	۰/۹۹۹	۰/۹۴	۰/۹۹۵	۰/۴۷	۰/۸۴	۰/۸۶

جدول ۴. ارزیابی کلی روش‌های مورد استفاده مطابق نتایج به دست آمده

کاربرد	محدودیت بانندی	حفظ اطلاعات طیفی	حفظ اطلاعات مکانی	روش ادغام تصاویر
حوزه شهری	دارد	ضعیف	خوب	Brovey
حوزه شهری	ندارد	ضعیف	خوب	CN
حوزه منابع طبیعی	ندارد	متوسط	خوب	GS
حوزه منابع طبیعی	دارد	خوب	ضعیف	DWT
حوزه شهری و منابع طبیعی	ندارد	خوب	متوسط	SFIM
حوزه منابع طبیعی	دارد	متوسط	متوسط	Multiplication

## بحث و نتیجه‌گیری

بهبود طبقه‌بندی، تشخیص عوارض، ارزیابی تغییرات و جایگذاری اطلاعات از دست‌رفته در یک تصویر با استفاده از تصویر سنجنده دیگر است. روش‌های مختلفی جهت تلفیق تصاویر ارائه شده است لذا جهت تلفیق تصاویر باید از روشی

روش‌های تلفیق تصاویر ماهواره‌ای همواره سبب بهبود کیفیت تصویر و افزایش مقدار جزئیات در تصویر ادغام‌شده خواهند شد. تلفیق تصاویر دارای کاربردهای زیادی از جمله

استفاده کرد که دارای دقت قابل قبولی باشد و بتواند علاوه بر بهبود دقت مکانی، محتوای طیفی تصویر چند طیفی را به خوبی حفظ کند. در تحقیق حاضر از روش‌های Brovey، CN، Gram، Multiplication، Schmidt، SFIM و DWT برای تلفیق تصاویر دو ماهواره سنتینل-۲ و لندست-۸ در محدوده شهر اهواز استفاده شد. توجه به این نکته ضروری است که باید برای ارزیابی یک روش ادغام از هر دو نوع معیار مکانی و طیفی به طور توأمان بهره برد این در حالی است که این در اغلب مطالعات ارزیابی مکانی نادیده گرفته می‌شود.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود روش تبدیل موجک (DWT) بیشترین همبستگی طیفی و شباهت را با تصویر اولیه داشته که نشان‌دهنده کمترین مقدار تخریب اطلاعات طیفی است و همچنین مقدار کم زاویه طیفی در این روش، نشان‌دهنده حفظ اطلاعات طیفی و جلوگیری از انحرافات طیفی است. نتایج نشان می‌دهد که روش تبدیل موجک در بین روش‌های مورداستفاده از لحاظ حفظ اطلاعات طیفی بهترین روش بوده، در صورتی که از لحاظ شاخص SAM روش تصویر ادغام‌شده با استفاده از روش SFIM، کمترین تغییر را در زاویه طیفی ایجاد می‌کند بنابراین کمترین مقدار انحرافات طیفی در این روش مشاهده می‌گردد که نتایج این تحقیق با تحقیق لیو (۲۲) مطابقت دارد. لیو (۲۲) در مطالعه خود بیان کرد که الگوریتم تلفیق SFIM می‌تواند از انحرافات طیفی تا حد زیادی پرهیز کند. همچنین این روش محدودیت باندی نداشته و نتایج حاصل از ارزیابی دقت مکانی آن مناسب است. نتایج حاصل از این بخش تحقیق با پژوهش‌های انجام‌گرفته توسط سایر محققان مطابقت دارد (۱۲ و ۱۳). ان و شی (۱۲) بیان کردند که کمترین مقدار انحراف زاویه طیفی مربوط به روش SFIM است، در حالی که بیشترین همبستگی طیفی در روش DWT دیده شد که نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه حاضر با نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها مطابقت دارد. البته آن‌ها در مطالعه خود روش SFIM را بهبود بخشیده و از روش ISFIM استفاده نمودند که علاوه بر اطلاعات طیفی، اطلاعات مکانی نیز تا حدی قابل توجهی حفظ می‌شود. بالا بودن مقدار

شاخص SAM نشان‌دهنده بالا بودن انحرافات زاویه طیفی، تصویر ادغام‌شده و تصویر اصلی چند طیفی است که در این مطالعه روش Multiplication بیشترین مقدار تغییرات زاویه طیفی را ایجاد می‌نماید که دلیل آن وجود دو متغیر a و b بوده که از طریق آزمون و خطا قابل برآورد است، بنابراین هنگام استفاده از این روش، آنچه حائز اهمیت است در نظر گرفتن مقدار بهینه برای این دو متغیر است که سبب افزایش دقت تلفیق می‌گردد. با بررسی روش Brovey مشخص شد که این روش از لحاظ مکانی بهترین روش شناخته شد اما از لحاظ طیفی ضعیف عمل می‌کند (جدول ۲ و ۳). در واول و ریچاد (۱۳) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که روش Brovey در حفظ اطلاعات طیفی نسبت به روش‌های تبدیل موجک و SFIM نمی‌تواند مفید واقع شود که نتایج مطالعه حاضر با نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش آن‌ها مطابقت دارد. همچنین گانور و شان (۱۴) در مطالعه‌ای که در زمینه تلفیق تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از روش‌های مختلف انجام دادند به این نتیجه رسیدند که روش DWT بیشترین همبستگی طیفی را با تصویر اولیه داشته و روش Brovey بین روش‌های مورد استفاده کمترین مقدار همبستگی را با تصویر مرجع دارد که نتایج مطالعه آن‌ها همسو با نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه می‌باشد.

نتایج این ارزیابی بیانگر دقت زیاد روش DWT در حفظ اطلاعات طیفی است در حالی که در حفظ اطلاعات مکانی روش Brovey بسیار کارآمدتر عمل می‌کند. همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود. روش‌های Brovey و CN در حفظ لبه‌ها بسیار مناسب عمل می‌کنند و همبستگی مکانی زیادی با باند پانکروماتیک دارند به گونه‌ای که لبه‌ها و مرزها به وضوح قابل تشخیص است در حالی که روش DWT اگرچه همبستگی طیفی مناسبی با تصویر مرجع دارند اما همبستگی مکانی ضعیفی از خود نشان دادند، به طوری که عملاً لبه‌ها و مرز عوارض در این روش غیرقابل تشخیص است بنابراین در کاربردهای آشکارسازی لبه‌ها نمی‌توانند درست عمل کنند (جدول ۳). همچنین بعد از روش DWT می‌توان گفت دومین روش در این مطالعه که در حفظ اطلاعات طیفی عملکرد



- فنون نقشه‌برداری، ۵(۲): ۱۲۳-۱۴۰.
۳. فاضلی فارسانی، آ.، ر. قضاوی. و م. فرزانه. ۱۳۹۴. بررسی عملکرد الگوریتم‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های ادغام تصاویر (مطالعه موردی: زیر حوزه بهشت‌آباد). نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۱): ۹۱-۱۰۶.
۴. کریمی، م.، ه. مهدوی نصب و ح. پور قاسم. ۱۳۹۱. یک روش جدید در بهبود کیفیت تصاویر ماهواره‌ای به کمک ادغام تصویر در سطح پیکسل با ترکیب روش‌های مبتنی بر تبدیل ویولت گسسته و آنالیز اجزای اصلی. اولین کنفرانس ملی ایده‌های نو در مهندسی برق، ۱۶ و ۱۷ آذرماه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان اصفهان. ۱۷۸ صفحه.
۵. کاظمی نیا، ع.، ک. رنگزن و م. محمودآبادی. ۱۳۹۶. بررسی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس (مطالعه موردی: اراضی غرب اهواز). نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۸(۲): ۱۱۱ - ۱۲۶.
۶. مالیان، ع.، م. تیموری و م. عربی. ۱۳۹۶. آشکارسازی و مستند نگاری رشته قنات بر پایه ادغام تصاویر هوایی و فضایی. نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری، ۷(۲): ۷۹-۹۲.
۷. محمد نژاد نیازی، س.، م. مختار زاده و ف. سعید زاده. ۱۳۹۴. ارائه روش ادغام تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک IHS-GA مبتنی بر مناطق بهبودیافته گیاهی. نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری، ۶(۱): ۲۳۵-۲۴۸.
۸. محمدی ده چشمه، م.، ع. پروزیان و م. علیزاده. ۱۳۹۶. استخراج و سنجش شاخص‌های شهر سالم در مناطق هشت‌گانه شهر اهواز. فصلنامه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۸(۲۹): ۱۶۱-۱۷۸.
۹. محمدی، ش.، خ. حبشی و س. پورمنافی. ۱۳۹۷. پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری/پوشش اراضی و ارتباط آن با خشک‌سالی (مطالعه موردی: زیر حوزه پارسل B<sub>۲</sub>، حوزه آبخیز زاینده‌رود). نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۹(۱): ۲۴-۳۹.
10. Acerbi-Junior F, Clevers J, Schaepman M. 2006. The assessment of multi-sensor image fusion using wavelet transforms for mapping the Brazilian Savanna. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4): 278-288.
11. Al-Wassai FA, Kalyankar N, Al-Zuky AA. 2011. Arithmetic and frequency filtering methods of

مناسبی از خود نشان داده روش SFIM بود. این روش از آنجایی که محدودیت در تعداد باند نداشته و انحرافات طیفی در آن بسیار کم است از روش‌های مناسب در تلفیق تصاویر به حساب می‌آید که سال‌های اخیر بسیار مورد توجه محققان بوده است. لازم به ذکر است که انتخاب روش مناسب با استفاده از شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصاویر، وابسته به هدف پژوهشگر از تلفیق تصاویر است. اگر هدف از تلفیق تصاویر بررسی کاربردهای کشاورزی، منابع طبیعی و جداسازی گونه گیاهی یا گروه‌های خاک باشد بهتر است شاخص‌های طیفی برای انتخاب روش تلفیق مدنظر قرار گرفته شود درحالی‌که اگر هدف کاربردهای شهری و نقشه‌برداری باشد، حفظ اطلاعات مکانی حائز اهمیت بوده و عمدتاً بهتر است شاخص‌های ارزیابی مکانی موردنظر قرار گرفته شود که در این مطالعه مطابق با نتایج به دست آمده با استفاده از بررسی انواع روش‌های تلفیق و ارزیابی آن‌ها با استفاده از شاخص‌های ارزیابی کیفیت تصویر می‌توان به صورت کلی روش‌های مورد استفاده به منظور تلفیق را مطابق جدول ۴ انتخاب نمود. در این راستا اگر هدف از تلفیق تصاویر آشکارسازی لبه‌ها و مرزها عوارض باشد روش‌هایی مانند CN, Brovey, مناسب‌تر بوده درحالی‌که اگر هدف بررسی خاک، پوشش گیاهی و طبقه‌بندی پوشش زمین باشد بهتر است از روش‌هایی که کمترین میزان انحراف طیفی را ایجاد می‌نمایند استفاده نمود که از جمله آن می‌توان DWT, SFIM و GS را نام برد که در این راستا روشی مانند SFIM به دلیل داشتن اطلاعات طیفی و مکان مناسب می‌تواند در هر دو شاخه مفید واقع شود. در نهایت باید گفت که داشتن ارزیابی درست و کامل زمانی حاصل می‌شود که دید جامع از ویژگی‌های مکانی و طیفی تصویر هم‌زمان با هم حاصل شود.

### منابع مورد استفاده

۱. آفری، ع. و م. ورشوساز. ۱۳۹۲. بهبود روش آماری تلفیق تصاویر کانگور، با استفاده از فیلتر بالاگذر. مجله مهندسی نقشه‌برداری، ۱(۲): ۳۱-۴۶.
۲. بشیر پور، م.، ج. ولدان و ی. مقصودی. ۱۳۹۶. تلفیق تصاویر سنجش‌ازدور با روش FFT-PCA. نشریه علوم و

- pixel-based image fusion techniques. arXiv preprint arXiv:11073348.
12. An Z, Shi Z. 2014. An improved-SFIM fusion method based on the calibration process. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 125(14): 3764-3769.
  13. Dhruval L, Richard S. 2015. Advance SFIM technique for image fusion in remote sensing domain. *International Journal of Innovative Research in Technology*, 2(1): 148-161.
  14. Gungor O, Shan J. 2004. Evaluation of satellite image fusion using wavelet transform. In: proceedings of 20th Congress ISPRS "Geo-Imagery Bridging Continents. pp 12-13.
  15. Han S, Li H, Gu H. 2008. The study on image fusion for high spatial resolution remote sensing images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B7): 1159-1164.
  16. Hoult DI, Richards R. 1976. The signal-to-noise ratio of the nuclear magnetic resonance experiment. *Journal of Magnetic Resonance (1969)*, 24(1): 71-85.
  17. Kim Y, Lee C, Han D, Kim Y, Kim Y. 2011. Improved additive-wavelet image fusion. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(2): 263-267.
  18. Klonus S, Ehlers M. 2007. Image fusion using the Ehlers spectral characteristics preservation algorithm. *GIScience & Remote Sensing*, 44(2): 93-116.
  19. Kruse FA, Lefkoff A, Boardman J, Heidebrecht K, Shapiro A, Barloon P, Goetz A. 1993. The spectral image processing system (SIPS)—interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote sensing of environment*, 44(2-3): 145-163.
  20. Lau W, King BA, Li Z. 2000. The influences of image classification by fusion of spatially oriented images. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B7/2; PART 7): 752-759.
  21. Lijun Y, Yueping N, Fang L, Jianfeng Z, Yueyin Y, Huaguang G. 2012. Research on data fusion method for archaeological site identification. In: *Image Analysis and Signal Processing (IASP), 2012 International Conference on*. Ieee, pp 1-4.
  22. Liu J. 2000. Smoothing filter-based intensity modulation: A spectral preserve image fusion technique for improving spatial details. *International Journal of Remote Sensing*, 21(18): 3461-3472.
  23. Pohl C, Van Genderen J. 1998. Multi sensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5): 823-854.
  24. Pohl C, Van Genderen J. 2016. *Remote sensing image fusion: A practical guide*. 1st edn. Crc Press, Boca Raton, 288.
  25. Ranchin T, Wald L. 2000. Fusion of high spatial and spectral resolution images: the ARSIS concept and its implementation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(1): 49-61.
  26. Sharma M. 2016. A review: image fusion techniques and applications. *Int J Comput Sci Inf Technol*, 7(3): 1082-1085.
  27. Wang Q, Blackburn GA, Onojeghuo AO, Dash J, Zhou L, Zhang Y, Atkinson PM. 2017. Fusion of Landsat 8 OLI and Sentinel-2 MSI data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(7): 3885-3899.
  28. Wang Q, Shi W, Atkinson PM, Wei Q. 2017. Approximate area-to-point regression kriging for fast hyperspectral image sharpening. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(1): 286-295.
  29. Wang Z, Bovik AC, Sheikh HR, Simoncelli EP. 2004. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. *IEEE transactions on image processing*, 13(4): 600-612.
  30. Zhang Y. 2004. Understanding image fusion. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(6): 657-661.
  31. Zhang Y. 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(PART B7): 1101-1109.



## Application of fusion in satellite images the Landsat-8 and Sentinel-2 in environmental monitoring

M. Kabolizadeh <sup>1\*</sup>, K. Rangzan <sup>2</sup>, Sh. Mohammadi <sup>3</sup>

1. Assist. Prof. College of Remote Sensing and GIS, Department of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

2. Assoc. Prof. College of Remote Sensing and GIS, Department of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

3. PhD Student of Remote Sensing and GIS, Department of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 22 September 2018

Accepted 24 October 2018

Available online 21 November 2018

#### Keywords:

Image fusion

Image quality assessment

Image quality enhance

Change detection

Ahvaz

### ABSTRACT

In order to increase the spectral and spatial resolution of satellite images, the fusion of multi-resolution images can be used, however, the image fusion usually introduces some spectral and spatial distortions in the resulting fused image that the amount of these distortions highly depends on the pan sharpening technique as well as the type of data. The aim of this study is the fusion of Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) with the date of 8 January 2018, and Sentinel-2 Multispectral Imager (MSI) with the date of 11 January 2018, using the Gram Schmidt, CN, Brovey, DWT, SFIM, Multiplication methods in the Ahvaz city. In order to evaluate the image quality that fused, CC, SAM, PSNR, SIMM, and Laplacian indices were used. The results showed among the used methods, DWT and Brovey, have the best results from the spectral and spatial aspect, respectively. Also, the highest spatial distortion with the amount of 1.18 in the SAM index was in the Multiplication method and the maximum spatial deviation in the DWT index with a correlation of 0.47 with the reference image. Multiplication and DWT methods have the most spatially and spectrally distortion. Therefore, the results showed that SFIM is the optimum method of spectral and spatial aspects.

\* Corresponding author e-mail address: [m.kabolizade@scu.ac.ir](mailto:m.kabolizade@scu.ac.ir)