نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال پنجم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۶

Vol.5, No.2, Summer 2017

۱۲۳-۱۴۰

تلفیق تصاویر سنجش‌از دوری با روش FFT-PCA

مرتضی بشیرپور[۱*]، محمدجواد ولدان‌زوج [۲] ، یاسر مقصودی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

۲- دانشیار دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

۳- استادیار دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۰۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۵

چکیده

به‌منظور استفاده توأم از اطلاعات طیفی و مکانی تصویر ماهواره‌ای از روش‌های تلفیق تصاویر استفاده می‌گردد. نتیجه تلفیق، تصویری است که شامل اطلاعات طیفی تصویر با حد تشخیص طیفی بالاتر (چند طیفی یا ابرطیفی) و اطلاعات مکانی تصویر با حد تشخیص مکانی بالاتر (پانکروماتیک) است. در تحقیق پیش‌رو روش FFT-PCA (Fast Fourier Transform-Principal Component Analysis) برای تلفیق دو مجموعه تصاویر شامل، هایپریون و IRS-1D و تصویر چندطیفی و پانکروماتیک آیکونوس معرفی و موردبررسی قرارگرفته است. این روش از جایگزینی جزئی تصویر پانکروماتیک با فیلترینگ فوریه سریع جهت تلفیق استفاده می‌کند. نتایج تلفیق با این روش با نتایج روش‌های تلفیق IHS (Intensity Hue Saturation)، PCA(Principal Component Analysis)، Wavelet-Intensity Hue (Saturation)Wavelet-IHS و FFT-IHS (Fast Fourier Transform-Intensity Hue Saturation) مقایسه و ارزیابی شد. جهت مقایسه و تجزیه‌وتحلیل نتایج روش‌های بیان‌شده، از معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی شامل ضریب همبستگی، نسبت سیگنال به نویز، خطای کمترین مربعات، ضریب همبستگی فیلترشده، شاخص SAM و (Erreur Relative Globale Adimensionalle de Synthe`se) ERGAS استفاده شده است. نتایج این ارزیابی بیانگر دقت بالای روش FFT-PCA در تلفیق این تصاویر می‌باشد. این روش علاوه بر اینکه در حفظ اطلاعات و محتوی طیفی تصویر هایپریون و آیکونوس بسیار کارآمدتر از سایر روش‌ها عمل می‌کند، در حفظ اطلاعات مکانی تصویر IRS-1D و تصویر پانکروماتیک آیکونوس نیز عملکرد خیلی خوبی را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: تلفیق، FFT-PCA، هایپریون، IRS-1D، آیکونوس.

*نویسنده مکاتبه کننده: تهران، خیابان ولی¬عصر، بالاتر از میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه¬برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

تلفن: ۰۹۱۴۸۴۷۰۶۵۶

Email: mbashirpour@mail.kntu.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

۱- مقدمه

امروزه پیدایش تصاویر ماهواره‌ای با پوشش دوره‌ای متناوب، ارائه جزئیات بیشتر، سرعت بالاتر و دقت قابل‌قبول، باعث گسترش کاربردهای سنجش‌ازدور و افزایش تقاضا به خدمات سنجش‌ازدوری شده است. با استفاده از این داده‌ها مناطق تحت پوشش در فواصل زمانی کمی پایش می‌شوند، و نقشه‌هایی با جزئیات زیاد می‌توانند تولید شوند. از این تصاویر می‌توان در برنامه‌ریزی‌های شهری اعم از: مدیریت منابع طبیعی، گسترش شهری، برنامه‌ریزی شبکه حمل‌ونقل و نقشه‌برداری کاداستر استفاده کرد [۱]. در حقیقت دقت رادیومتریکی، طیفی و مکانی تصاویر ماهواره‌ای نقش بسیار مهم و تعیین‌کننده‌ای در کاربرد موردنظر ایفا می‌کند. در حالت کلی هر چه قدرت تفکیک مکانی، طیفی و رادیومتریکی سنجنده بالاتر باشد، امکان سنجش عوارض و پدیده‌ها مناسب‌تر خواهد شد.

به دلیل محدودیت‌های تکنولوژیکی و فیزیکی، سیستم‌های تصویربرداری نمی‌توانند تصاویری اخذ کنند که هم به لحاظ قدرت تفکیک طیفی و هم قدرت تفکیک مکانی دارای رزولوشن بالایی باشد. و در بیشتر موارد عکس همدیگر می‌باشند. تصاویر پانکروماتیک دارای دقت مکانی بالاتر و طیفی پایین‌تری است، و تصاویر ابرطیفی دارای قدرت تفکیک طیفی بالاتر و مکانی پائین تری هستند. برای بهره‌مندی از هر دو نوع اطلاعات به‌صورت توأم(طیفی و مکانی) با دقت بالا از تکنیک تلفیق تصاویر استفاده می‌شود. نتیجه این تلفیق تصویر جدیدی خواهد بود که شامل اطلاعات مکانی تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا و خصوصیات تصویر ابرطیفی(چند طیفی) می‌باشد.

روش‌های تلفیق در حالت کلی در سه سطح طبقه‌بندی می‌شوند : (i) سطح پیکسل (ii) سطح عارضه (iii) سطح تصمیم‌گیری [۲]. روش‌های تلفیق در سطح پیکسل نیز به سه بخش دسته‌بندی می‌شود : (i) روش‌های مبتنی بر سیستم تصویر و جانشانی مثل IHS[1] ، PCA[2]، گرام اشمیت[3]; (ii) نسبت باندی و ترکیب‌های حسابی یا عددی ازجمله الگوریتم براوی و نسبت تغییرپذیری ترکیبی[4]; (iii) روش‌های مبتنی بر فیلتر و در حوزه فرکانس مانند FFT، فیلترهای بالاگذر، ویولت[5] و کرولت[6] [۳]. علاوه بر این روش‌ها الگوریتم‌هایی نیز با ترکیب این روش‌ها ارائه‌شده است، ازجمله : FFT-IHS [۴] و Wavelet-IHS [۵] هرچقدر نتایج تلفیق با روش موردنظر دارای اعوجاج طیفی کمتری باشد و بتواند اطلاعات مکانی تصویر پانکروماتیک را بهتر حفظ نماید، روش مناسب‌تر و دقیق‌تری برای تلفیق خواهد بود.

ازجمله روش‌های تلفیق که جهت بهبود روش‌های قبلی ارائه‌شده است، روش FIHS می‌باشد که علاوه بر سرعت بالا، محدودیت باندی روش IHS را نیز رفع کرده است [۶]. همچنین روش FFT-IHS که از فیلترینگ فوریه سریع[7] استفاده می‌شود [۴]. علاوه بر این روش‌ها الگوریتم WAVELET-IHS نیز جهت حداقل کردن اعوجاج طیفی ارائه شد، که در این روش نیز از تجزیه ویولت برای جایگذاری و تلفیق استفاده‌شده است [۵]. روش PCA نیز ازجمله پرکاربردترین روش‌ها در این حوزه می‌باشد. ولی این روش نیز باعث ایجاد اعوجاج طیفی در تصویر تلفیق‌شده می‌شود [۷].

در تحقیق پیش‌رو، روش FFT-PCA جهت تلفیق تصاویر هایپریون و IRS پیشنهاد و عملکرد آن مورد بررسی قرارگرفته است. سپس نتایج حاصل از این روش با روش‌های IHS، PCA، FFT_IHS و WAVELET_IHS مقایسه و ارزیابی‌شده است.

[1] Intensity Hue Saturation
[2] Principal Component Analysis
[3] Gram Schmidt
[4] Synthetic Variable Ratio
[5] Wavelet
[6] Curvelet
[7] Fast Fourier Transform

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش به معرفی منطقه مطالعه، داده‌های استفاده شده و روش‌های پیاده‌سازی شده پرداخته ی‌شود.

۲-۱- منطقه موردمطالعه و داده‌ها

منطقه مطالعاتی اول شهر نسیم‌شهر واقع در جنوب غربی استان تهران می‌باشد. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۰۵۰ متر است و دارای وسعتی حدود ۲۵۵ کیلومتر می‌باشد. داده‌های مورداستفاده برای این منطقه، تصویر IRS-1D مربوط به سال ۲۰۰۴ با دقت مکانی ۶ متر و تصویر ابرطیفی هایپریون مربوط به سال ۲۰۰۴ با سطح پردازشی L1R با دقت مکانی ۳۰ متر می‌باشد. درواقع منظور از سطح پردازشی L1R این است تصحیحات رادیومتریکی روی این تصویر انجام‌شده است و داده‌های این سطح رادیانس می‌باشد ولی تصحیح هندسی روی آن انجام نشده است. تصویر هایپریون دارای ۲۴۲ باند طیفی می‌باشد و شامل دو طیف‌سنج VNIR و SWIR می‌باشد که محدوده ۴۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتری را پوشش می‌دهد. منطقه مطالعاتی دوم، شهر شهریار واقع در غرب استان تهران می‌باشد ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۰۲۴ متر است. داده‌های مورداستفاده در این منطقه تصویر چندطیفی و پانکروماتیک آیکونوس می‌باشد. قدرت تفکیک مکانی تصویر چندطیفی آیکونوس ۴ متر و قدرت تفکیک مکانی تصویر پانکروماتیک آیکونوس ۱ متر می‌باشد.

۲-۲- روش‌های تلفیق اجراشده

در این بخش به معرفی روشها تلفیق اجرا شده در این تحقیق پرداخته می‌شود.

۲-۲-۱- روش IHS

یکی از پرکاربردترین و درعین‌حال ساده‌ترین روش‌های تلفیق جایگذاری مؤلفه رنگی، روش IHS می‌باشد [۸]. ایده اصلی روش IHS بر این فرض استوار است که دو مؤلفه H و S حاوی اطلاعات طیفی و مؤلفه I دربردارنده اطلاعات مکانی است[۹]. رابطه (۱) بیانگر تبدیل RGB به IHS می‌باشد. که I همان مؤلفه شدت، V1 و V2 متغیرهای واسط می‌باشند [۲].

روند کلی این روش به این صورت می‌باشد :

- رجیستر(منطبق) کردن تصویر چندطیفی با تصویر پانکروماتیک و نمونه‌برداری مجدد تصویر چند طیفی به‌اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک
- تبدیل تصویر ابرطیفی از RGB به سیستم رنگی IHS با رابطه (۱)
- جایگذاری مؤلفه شدت با تصویر پانکروماتیک
- تبدیل مؤلفه شدت جایگزین شده و مؤلفه‌های H و S به فضای RGB با رابطه (۲)

رابطه(۱)

$$\begin{pmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$$H = \tan^{-1}\left(\frac{v_2}{v_1}\right) \qquad S = \sqrt{{v_1}^2 + {v_2}^2}$$

رابطه (۲)

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$

ازجمله محدودیت‌های این روش می‌توان به محدودیت استفاده از سه باند به‌عنوان ورودی روش اشاره کرد. همچنین باعث ایجاد اعوجاج طیفی در تصویر می‌شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

۲-۲-۲-روش PCA

PCA یک روش آماری/عددی است که یک تعداد مؤلفه‌های وابسته از تصویر چند طیفی را به تعداد کمتری از ترکیبات خطی ناهمبسته از متغیرها به نام مؤلفه‌های اصلی تبدیل می‌کند [۹]. به‌طورکلی اولین مؤلفه اصلی (PC1) حاوی اطلاعات مشترک از همه باندهای استفاده‌شده به‌عنوان داده ورودی در PCA می‌باشد یعنی اطلاعات مکانی، درحالی‌که اطلاعات طیفی خاص هر باند، در دیگر مؤلفه‌های اصلی قرار می‌گیرد [۱۰].

در این روش نیز پس از رجیستر(منطبق) کردن تصویر چندطیفی با تصویر پانکروماتیک و نمونه‌برداری مجدد تصویر چند طیفی به‌اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک تبدیل PCA روی تصویر چندطیفی به‌دست‌آمده انجام می‌گیرد. سپس تطابق هیستوگرامی تصویر پانکروماتیک با اولین مؤلفه اصلی انجام‌گرفته و تصویر پانکروماتیک جدیدی تولید می‌شود و این تصویر پانکروماتیک جایگزین مؤلفه اول می‌شود. درنهایت تبدیل معکوس PCA انجام می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به عدم محدودیت باندی اشاره کرد ولی این روش نیز باعث ایجاد اعوجاج طیفی در تصویر تلفیق‌شده می‌شود.

۲-۲-۳-روش FFT-IHS

جهت رفع یا حداقل کردن اعوجاج طیفی، Ling و همکارانش در سال ۲۰۰۷ از روش ترکیبی FFT-IHS برای تلفیق تصاویر استفاده کردند. ایده اصلی این روش جایگذاری جزئی تصویر پانکروماتیک با مؤلفه شدت می‌باشد. که این جایگذاری جزئی بر اساس فیلترینگ فوریه سریع[1] انجام می‌گیرد. در این روش پس از رجیستر کردن دو تصویر و نمونه‌برداری مجدد تصویر چندطیفی به‌اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک،تصویر چندطیفی به سیستم IHS منتقل می‌شود. سپس مؤلفه شدت و تصویر پانکروماتیک به فضای فوریه منتقل‌شده و فیلتر بالاگذر روی تصویر پانکروماتیک و فیلتر پایین گذر بر روی مؤلفه شدت در فضای فوریه اعمال می‌شود و روی هر دو تصویر پس از اعمال فیلتر تبدیل معکوس فوریه انجام می‌شود. درنهایت پس از جایگذاری اطلاعات فرکانس بالا از تصویر پانکروماتیک با همان قسمت از مؤلفه شدت و تطابق هیستوگرامی مؤلفه شدت جدید با مؤلفه شدت اصلی، تبدیل معکوس IHS جهت انتقال به سیستم RGB اعمال می‌شود. اعمال فیلتر پایین‌گذر روی تصویر شدت باعث حذف بخش فرکانس بالای مؤلفه شدت می‌شود. برای اعمال فیلتر بالاگذر و پایین‌گذر جهت جدا نمودن اطلاعات فرکانس بالا و پایین، از فیلترهای مختلفی ازجمله فیلترهای هنینگ[2]، باترورس[3] و گوسین[4] می‌توان استفاده کرد.

۲-۲-۴-روش Wavelet-IHS

این روش ازجمله روش‌های ترکیبی جهت تلفیق می‌باشد که Zhang و همکارانش جهت بهبود دقت تلفیق تصاویر ارائه کردند. این روش در مقایسه با سایر روش‌ها مثل PCA و IHS اعوجاج طیفی خیلی کمتری ایجاد می‌نماید. اساس این روش نیز بر مبنای جایگذاری جزئی می‌باشد. تصویر در تجزیه موجک به ۴ زیر تصویر (LL، LH، HL، HH) به نام ضرایب موجک تبدیل می‌شود، به LL زیرتصویر تقریب و به ضرایب HL، LH و HH به ترتیب ضرایب جزئیات در راستای عمودی، افقی و قطری می‌گویند. در این روش پس از رجیستر کردن دو تصویر و نمونه‌برداری مجدد تصویر چندطیفی به‌اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک، تصویر چندطیفی به سیستم IHS منتقل می‌شود و تطابق هیستوگرام تصویر پانکروماتیک با مؤلفه شدت

[1] Fast Fourier Transform

[2] Hanning
[3] Butterworth
[4] Gussian

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

انجام‌شده و تصویر پانکروماتیک جدیدی تولید می‌شود. سپس تجزیه موجک روی مؤلفه شدت و تصویر پانکروماتیک جدید اعمال می‌شود و ضرایب موجک برای هر دو به دست می‌آید و مؤلفه تقریب تصویر شدت تجزیه‌شده (LL^I) به‌جای مؤلفه تقریب تصویر پانکروماتیک تجزیه‌شده (LL^P) جایگذاری می‌شود. درنهایت پس از اعمال تبدیل معکوس موجک و تولید مؤلفه شدت جدید، تبدیل معکوس IHS جهت انتقال به سیستم RGB اعمال می‌شود.

۲-۲-۵-روش پیشنهادی FFT-PCA

درروش PCA به دلیل جایگذاری کامل تصویر پانکروماتیک با مؤلفه اصلی اول (PC1)، تمام اطلاعات جزئیات مکانی این تصویر به تصویر تلفیق‌شده انتقال خواهد یافت. که در این صورت تصویر تلفیق‌شده به تصویر پانکروماتیک شبیه‌تر خواهد بود، که این باعث اعوجاج طیفی می‌شود [۱۱]. درروش FFT-PCA به‌جای جایگذاری کامل تصویر پانکروماتیک از جایگذاری جزئی با استفاده از فیلترینگ فوریه سریع استفاده می‌شود. در این روش بخش فرکانس بالای اولین مؤلفه اصلی با تصویر پانکروماتیک جایگذاری می‌شود. روند کلی این روش به این صورت است:

- رجیستر(منطبق) کردن تصویر چندطیفی با تصویر پانکروماتیک
- نمونه‌برداری مجدد تصویر چند طیفی به‌اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک
- انجام تبدیل PCA روی تصویر چند طیفی
- انتقال مؤلفه اصلی اول و تصویر پانکروماتیک به فضای فوریه
- اعمال فیلتر بالاگذر روی تصویر پانکروماتیک و فیلتر پایین‌گذر بر روی مؤلفه اصلی اول در فضای فوریه
- انجام تبدیل معکوس فوریه روی تصویر پانکروماتیک و مؤلفه اصلی فیلتر شده
- جایگذاری اطلاعات فرکانس بالا از تصویر پانکروماتیک با همان قسمت از مؤلفه اصلی اول فیلتر شده
- تطابق هیستوگرامی مؤلفه اصلی اول تولیدشده با مؤلفه اصلی اولیه
- تبدیل معکوس PCA

در این روش محدودیت باندی وجود ندارد و از هر تعداد باندی می‌توان جهت تلفیق تصاویر استفاده کرد. شکل (۱) روند کلی روش FFT-PCA را نشان می‌دهد.

۲-۳- معیارهای ارزیابی

در این تحقیق از معیارهای زیر جهت ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی تصاویر تلفیق‌شده استفاده‌شده است.

۲-۳-۱-ارزیابی بصری

یکی از معیارهای اولیه ارزیابی نتایج تلفیق ارزیابی بصری می‌باشد. ارزیابی بصری قادر به تشخیص کیفیت طیفی و مکانی دقیق نمی‌باشد و از این معیار می‌توان جهت تشخیص تغییرات رنگ و کنترل کیفیت کلی تصویر استفاده کرد جهت ارزیابی طیفی با ارزیابی بصری نمی‌توان به‌درستی به کیفیت تصویر تلفیق‌شده پی برد و باید از معیارهای ارزیابی طیفی دقیق‌تری جهت کنترل کیفیت طیفی بهره برد.

۲-۳-۲-ضریب همبستگی[1] (CC)

این معیار ازجمله پرکاربردترین معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی تصویر تلفیق‌شده می‌باشد. این معیار از شباهت طیفی تصویر تلفیق‌شده با تصویر چندطیفی و یا ابرطیفی، کیفیت طیفی روش موردنظر را مشخص می‌کند که هرچه این معیار به ۱+ نزدیک‌تر باشد بیانگر

[1] Correlation Coeficient

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

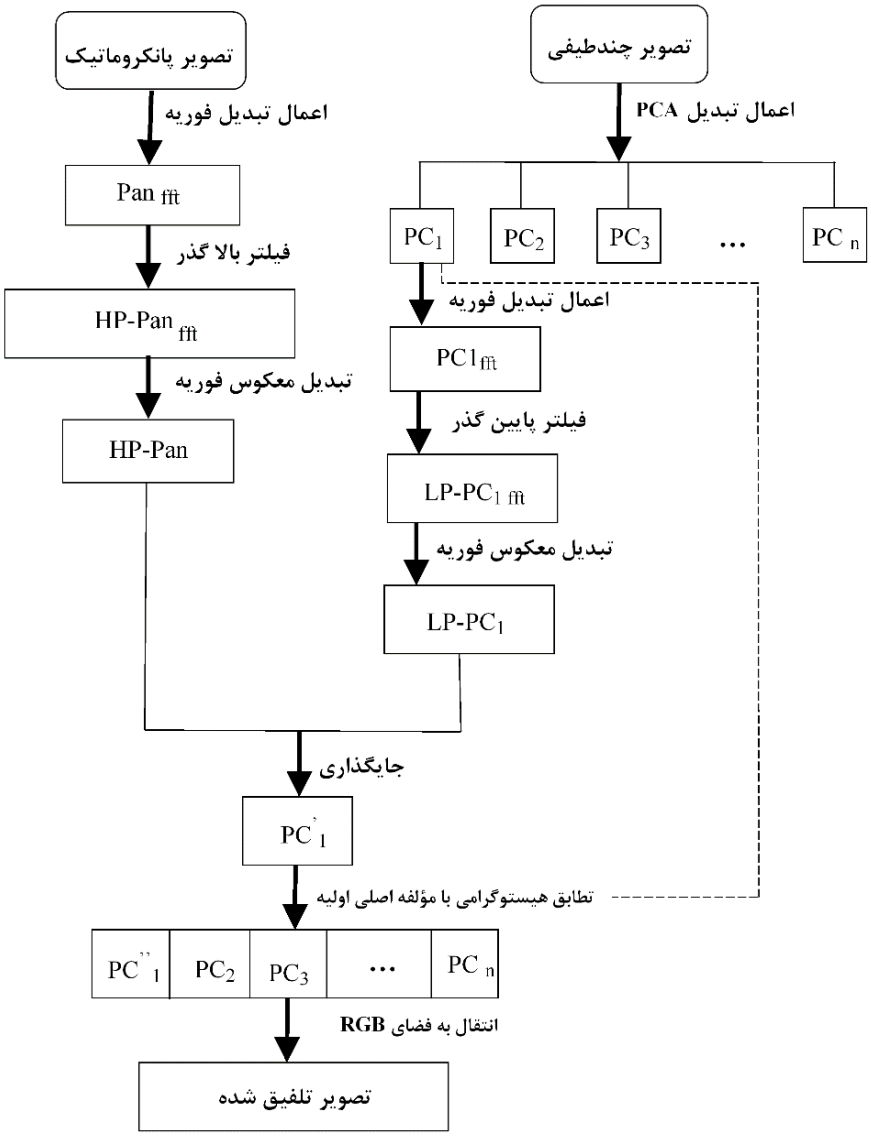
شباهت بیشتر اطلاعات طیفی تصویر تلفیق‌شده با تصویر چندطیفی است.

با استفاده از رابطه (۳) می‌توان ضریب همبستگی را محاسبه کرد [۱۲]:

رابطه (۳)

$$CC = \frac{\sum_{i}^{n}\sum_{j}^{m}(F_k(i,j)-\bar{F}_k)(M_k(i,j)-\bar{M}_k)}{\sqrt{\sum_{i}^{n}\sum_{j}^{m}(F_k(i,j)-\bar{F}_k)^2(M_k(i,j)-\bar{M}_k)^2}}$$

M_k و F_k بیانگر پیکسل‌های kامین باند تصویر چندطیفی و تلفیق‌شده و $\bar{M}_k$ و $\bar{F}_k$ بیانگر میانگین پیکسل‌های kامین باند تصویر چندطیفی و تلفیق‌شده هستند.



شکل ۱: فلوچارت روش FFT-PCA

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

۲-۳-۳-نسبت سیگنال به نویز (SNR)

از دیگر معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی، معیار سیگنال به نویز می‌باشد. با استفاده از رابطه (۴) می‌توان این معیار را محاسبه کرد. هرچقدر میزان این معیار بیشتر باشد نشان‌دهنده کیفیت طیفی بالاتری می‌باشد [۱۲].

رابطه (۴)

$$SNR_k = \sqrt{\frac{\sum_{i}^{n}\sum_{j}^{m}(F_k(\mathrm{i},\mathrm{j}))^2}{\sum_{i}^{n}\sum_{j}^{m}(F_k(\mathrm{i},\mathrm{j})-M_k(\mathrm{i},\mathrm{j}))^2}}$$

M_k و F_k بیانگر پیکسل‌های kامین باند تصویر چندطیفی و تلفیق‌شده است.

۲-۳-۴-ضریب همبستگی فیلترشده (FCC)

این معیار ازجمله شاخص‌ها و معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی می‌باشد و به این صورت می‌باشد که در ابتدا روی تصویر تلفیق‌شده و تصویر پانکروماتیک فیلتر بالاگذر رابطه (۵) اعمال می‌شود و سپس از ضریب همبستگی بین این دو تصویر فیلترشده جهت ارزیابی استفاده می‌شود. که بالا بودن این معیار نشان‌دهنده کیفیت مکانی بالا می‌باشد [۱۳].

رابطه (۵)

$$high\ pass\ filter = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

۲-۳-۵-خطای کمترین مربعات[1] (RMSE)

از معیار خطای کمترین مربعات جهت تعیین تغییرات یا اعوجاج طیفی ایجادشده در هر پیکسل تصویر تلفیق‌شده استفاده می‌شود. و هرچقدر مقدار این معیار کوچک‌تر باشد بیانگر کیفیت بالای طیفی تصویر تلفیق‌شده می‌باشد رابطه (۶) بیانگر این معیار می‌باشد [۱۳].

رابطه (۶)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{x}\sum_{i}F_i(x)-M_i(x))^2}{n*m*d}}$$

M تصویر چندطیفی، F تصویر تلفیق‌شده، x پیکسل، i شماره باند، n تعداد باند، m تعداد ستون و d تعداد باند می‌باشد.

۲-۳-۶-شاخص ERGAS

ازجمله شاخص‌های متداول جهت ارزیابی کیفیت طیفی شاخص ERGAS می‌باشد. کمتر بودن این شاخص نشان‌دهنده کیفیت بهتر و دقیق‌تر می‌باشد، رابطه (۷) بیانگر این معیار می‌باشد [۱۳].

رابطه (۷)

$$ERGAS = 100\frac{h}{l}\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{N=1}^{N}\left(\frac{RMSE(\mathrm{n})}{\mu(\mathrm{n})}\right)^2}$$

h/l نسبت پیکسل سایز تصویر چندطیفی و پانکروماتیک، $\mu(n)$ میانگین n امین باند و N تعداد باندها می‌باشد.

۲-۳-۷-معیار[2] (SAM)

از دیگر شاخص‌های مورداستفاده جهت ارزیابی کیفیت طیفی معیار SAM می‌باشد. این معیار از طریق محاسبه زاویه بین طیف‌ها به بررسی مشابهت طیفی بین طیف مرجع و طیف موردنظر می‌پردازد که هرچقدر مقدار این معیار کوچک‌تر باشد یعنی زاویه بین طیف‌ها کوچک‌تر است و به‌همین دلیل طیف موردنظر به طیف مرجع شباهت بیشتری دارد. با استفاده از رابطه (۸) می‌توان این معیار را جهت ارزیابی محاسبه کرد [۱۴].

[1] Root Mean Square Error

[2] Spectral Angle Mapper

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

رابطه (۸)

$$\alpha = \cos^{-1}\frac{X\ .R}{|X|\,|R|} = \cos^{-1}\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i r_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n} r_i^2}}$$

X بیانگر پیکسل تصویر تلفیق‌شده، R پیکسل تصویر رفرنس، α زاویه بین طیف مرجع و طیف موردنظر و n تعداد باند است.

۳- پیاده‌سازی و تجزیه‌وتحلیل نتایج

در این بخش به تشریح مراحل پیش پردازش و پیاده‌سازی روشهای تلفیق پرداخته می‌شود.

۳-۱- پیش‌پردازش

تصاویر هایپریونی که از طریق USGS در اختیار کاربران قرار می‌گیرد، پردازش سطح ۱ بر روی آن‌ها انجام‌شده است و یکسری خطاهای موجود در تصویر حذف‌شده‌اند و تصویر شامل میزان انرژی در هنگام ورود به سنجنده[1] می‌باشد. تصاویر هایپریون در طی انجام پردازش سطح یک باندهای مربوط به VNIR در ۴۰ و SWIR در ۸۰ ضرب شده‌اند، به همین دلیل به‌منظور واسنجی دوباره داده هایپریون و تبدیل آن به واحد انرژی مطلق باندهای مربوط به VNIR را بر ۴۰ و باندهای مربوط به SWIR را بر ۸۰ تقسیم شده است. از بین ۲۴۲ باند این تصویر تنها ۱۹۸ باند آن غیر صفر می‌باشد. از بین این باندهای غیر صفر نیز باندهای ۵۶ و ۵۷ در VNIR و باندهای ۷۷ و ۷۸ در SWIR در محدوده همپوشانی دو اسپکترومتر قرار دارند که باندهای ۷۷ و ۷۸ به دلیل سطح بالای نویز حذف شده‌اند. از بین این ۱۹۶ باند باقی‌مانده باندهایی که دارای سطح بالایی از نویز هستند و باندهای غیر کالیبره نیز بایستی حذف شوند. پس از حذف این باندها، جهت تبدیل تصویر به بازتابندگی باید اثرات اتمسفری از روی این داده‌ها برداشته شود. در این تحقیق جهت انجام تصحیحات اتمسفریکی از برنامه FLAASH[2] موجود در نرم‌افزار ENVI استفاده‌شده است. همچنین باندهای جذب بخارآب پس از تصحیح اتمسفریکی حذف خواهند شد.

سپس نوارهای بد قائم در تصویر که به دلیل عدم کالیبره صحیح آشکارسازها به‌وجود می‌آیند بایستی شناسایی و تصحیح شوند. ولی در این تصویر چون این نوارها بر روی منطقه مطالعاتی وجود نداشت این تصحیح انجام نشد. ازجمله پردازش‌های مهم این تصاویر تصحیح اثر Smile می‌باشد این اثر در تمامی تصاویر هایپریون وجود دارد و دلیل آن جابه‌جایی طول مرکز باند برای پیکسل‌های عمود بر مسیر اصلی از طول‌موج مرکزی می‌باشد که به علت تغییرات پراکندگی زاویه با موقعیت میدان دید و روش‌های مورداستفاده پراکندن طیف در تصویر ورودی است. این اثر باعث ایجاد گرادیان روشنایی در تصویر می‌شود که جهت مشاهده آن از تبدیل MNF استفاده می‌شود و قبل از پردازش‌های بعدی باید حذف گردد. جهت تصحیح اثر smile در این تحقیق از نرم‌افزار envi استفاده شده است.

انتخاب محدوده طیفی مناسب در تصاویر ابرطیفی دارای اهمیت فراوانی است چراکه این تصاویر دارای ابعاد بالایی از داده می‌باشد، لذا جهت کاهش افزونگی اطلاعات و کاهش زمان محاسباتی و پردازش سریع، زیرمجموعه طیفی و مکانی از تصویر مورداستفاده قرار گرفت. تصاویر هایپریون محدوده طیفی ۴۰۰-۲۵۰۰ نانومتر را پوشش می‌دهند درصورتی‌که محدوده طیفی پوشش داده‌شده توسط

[1] At sensor radiance

[2] Fast Line-of-sight Atmosphere Analysis lnSpectral Hypercubes

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

IRS_{PAN}-1D بین ۵۰۰ تا ۷۵۰ نانومتر می‌باشد چون هدف تلفیق تصاویر می‌باشد باید از باندهایی جهت تلفیق استفاده شود که در محدوده طیفی مشابه قرار داشته باشند. با توجه به دلایل ذکرشده تنها از ۲۶ باند تصویر هایپریون جهت تلفیق با تصویر پانکروماتیک IRS می‌توان استفاده کرد، که از این تعداد نیز به‌صورت سعی و خطا، ۱۲ باندی که نتایج دقیق‌تر و بهتری تولید می‌کردند جهت انجام تلفیق انتخاب شده است. مشخصات این باندها در جدول (۱) بیان‌شده است.

جدول ۱: مشخصات باندهای مورداستفاده از تصویر هایپریون جهت تلفیق

	Band Number	Wavelength
Blue Band	12-15	467/5172 – 498/0428
Green Band	22-25	569/2698 – 599/7955
Red Band	30-31 , 33-34	650/6727 – 660/8477 and 681/1983 – 691/3736

.سپس تصحیح هندسی روی تصویر هایپریون و تصویر پانکروماتیک IRS-1D انجام گرفت. جهت انجام تلفیق باید پیکسل‌های متناظر دو تصویر نسبت به هم رجیستر[1] باشند. همچنین تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک آیکونوس به دلیل اینکه تصحیح هندسی روی آن‌ها انجام‌شده بود، و به‌طور خیلی دقیقی نسبت به هم رجیستر بودند، تصحیح هندسی روی آن‌ها انجام نشد. و تنها تصحیحی که روی این تصاویر انجام می‌شود تصحیح رادیومتریکی است.

۳-۲- پیاده‌سازی روش‌های تلفیق بیان‌شده

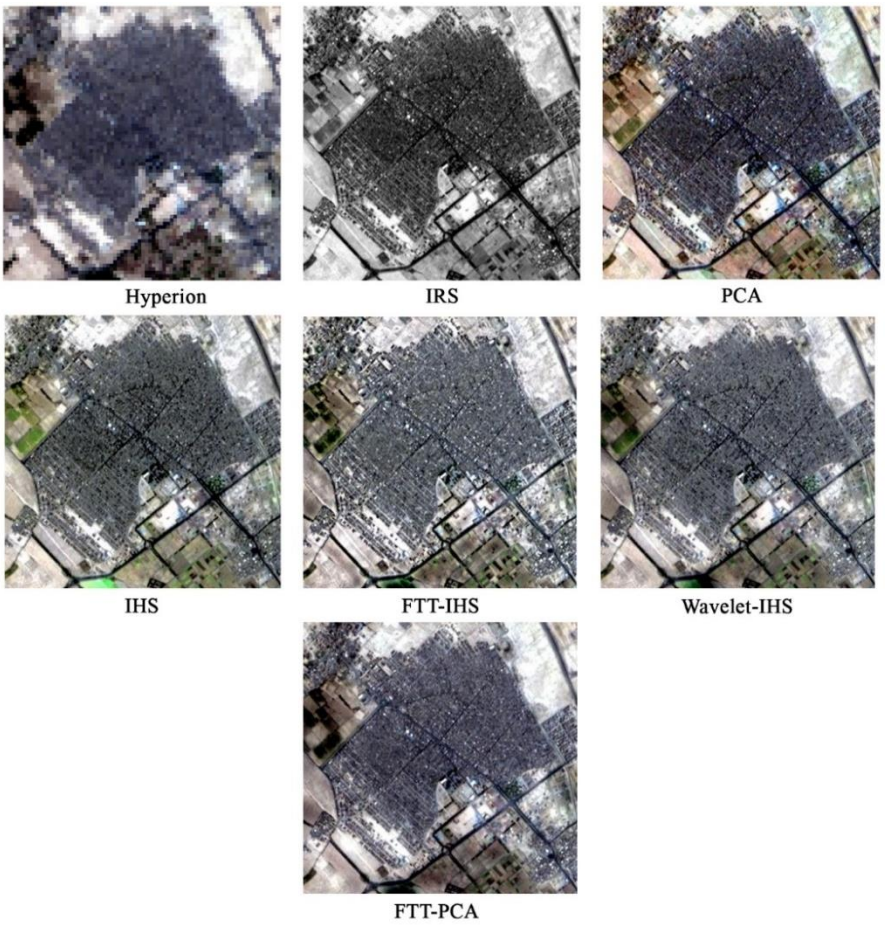
پس از انجام پردازش‌های مذکور روی دو مجموعه تصویر، تلفیق تصاویر موردنظر با ۵ روش بیان‌شده پیاده‌سازی گردید و کیفیت تصاویر تلفیق‌شده با معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی موردبررسی و ارزیابی قرار گرفت. شکل (۲ و ۳) ترکیب رنگی حاصل از تلفیق با روش‌های بیان‌شده روی دو مجموعه تصویر را نشان می‌دهد.

ازلحاظ بصری همان‌طور که از شکل‌های (۲ و ۳) مشخص است نتایج همه روش‌های تلفیق استفاده‌شده در این تحقیق بهبود کیفیت مکانی را نشان می‌دهد. شکل (۴) بزرگ‌نمایی تصویر تلفیق‌شده هایپریون و شکل (۵) بزرگ‌نمایی تصاویر تلفیق‌شده آیکونوس را نشان می‌دهد که بهبود مکانی در این تصاویر به‌طور مشخص‌تری نشان داده‌شده است، ولی با این‌حال با ارزیابی بصری نمی‌توان به‌درستی به کیفیت تصویر تلفیق‌شده پی برد و باید از معیارهای ارزیابی طیفی و مکانی دقیق‌تری جهت کنترل کیفیت طیفی و مکانی بهره‌برد.

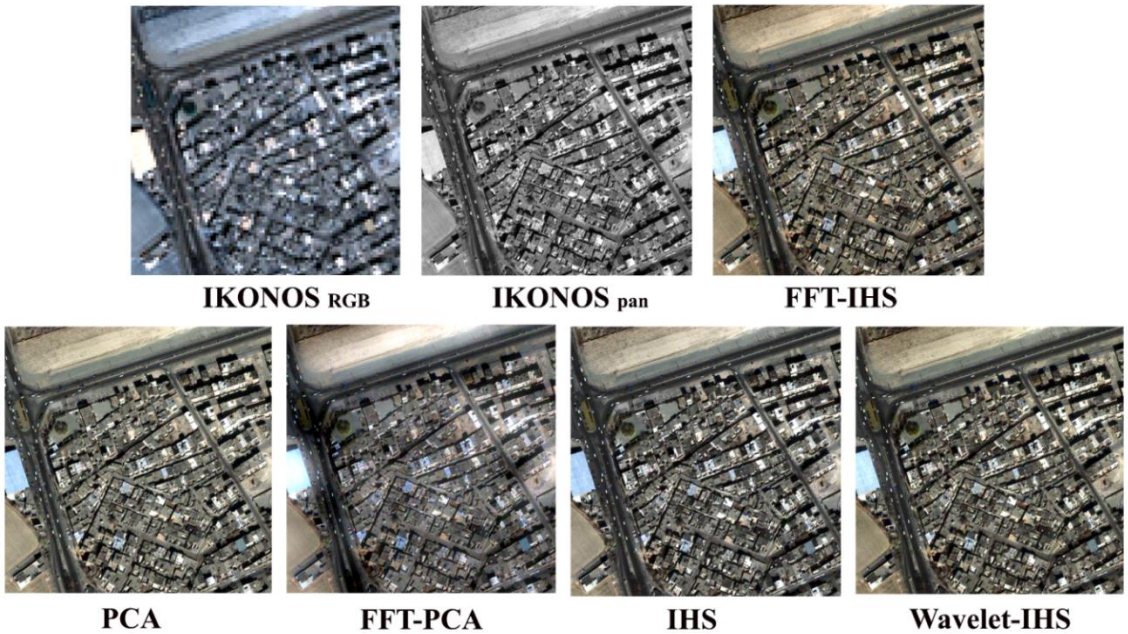
[1] Co-Registering

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]



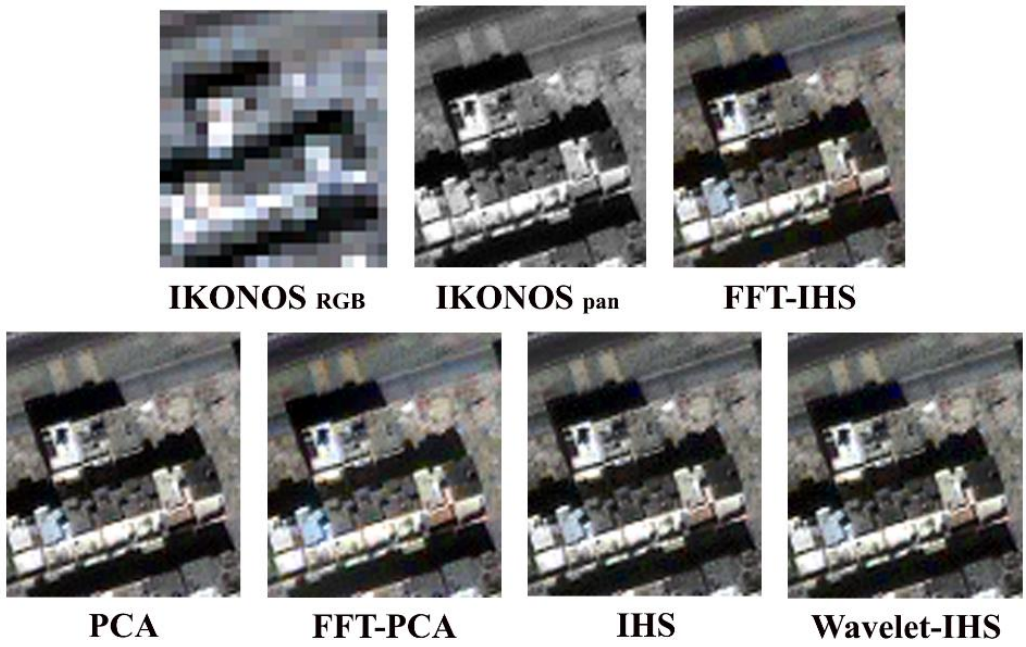
شکل ۲: تصاویر ترکیب رنگی حاصل از اعمال روش‌های تلفیق بر روی تصویر هایپریون و IRSPAN-1D



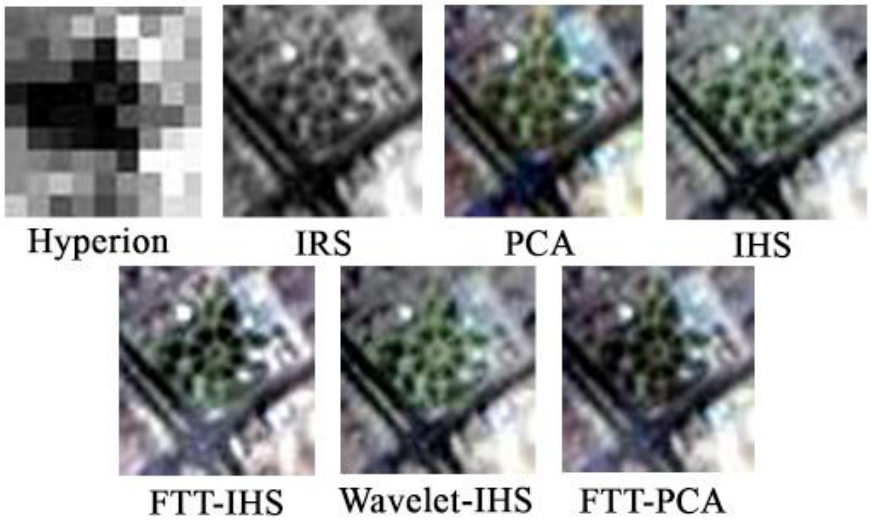
شکل ۳: تصاویر ترکیب رنگی حاصل از اعمال روش‌های تلفیق بر روی تصاویر چندطیفی و پانکروماتیک آیکونوس

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]



شکل ۴: بزرگ‌نمایی بر روی تصاویر ترکیب رنگی حاصل از روش‌های تلفیق بر روی تصاویر چندطیفی و پانکروماتیک آیکونوس



شکل ۵: بزرگ‌نمایی بر روی تصاویر ترکیب رنگی حاصل از روش‌های تلفیق بر روی تصویر هایپریون و IRSPAN-1D

جهت ارزیابی دقیق‌تر تصاویر تلفیق‌شده از معیارهای بیان‌شده استفاده‌شده است. در این تحقیق جهت ارزیابی مکانی و هندسی از روش ضریب همبستگی فیلترشده (FCC) استفاده‌شده است، هر چه قدر عدد این معیار بیشتر باشد نشان‌دهنده کیفیت مکانی بالای تصویر تلفیق‌شده است. نتایج ارزیابی با این روش برای تصویر هایپریون در جدول (۲) و برای تصویر آیکونوس در جدول (۵) ارائه‌شده است که با توجه به نتایج ارائه‌شده در این جداول، به ترتیب روش PCA و FFT-PCA دارای دقت بالاتری هستند و درواقع روش PCA به‌دلیل جایگذاری کامل تصویر پانکروماتیک از نظر مکانی دقت خیلی بهتری را حاصل می‌کند.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

جدول ۲: نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت مکانی تصویر هایپریون تلفیق‌شده با معیار FCC

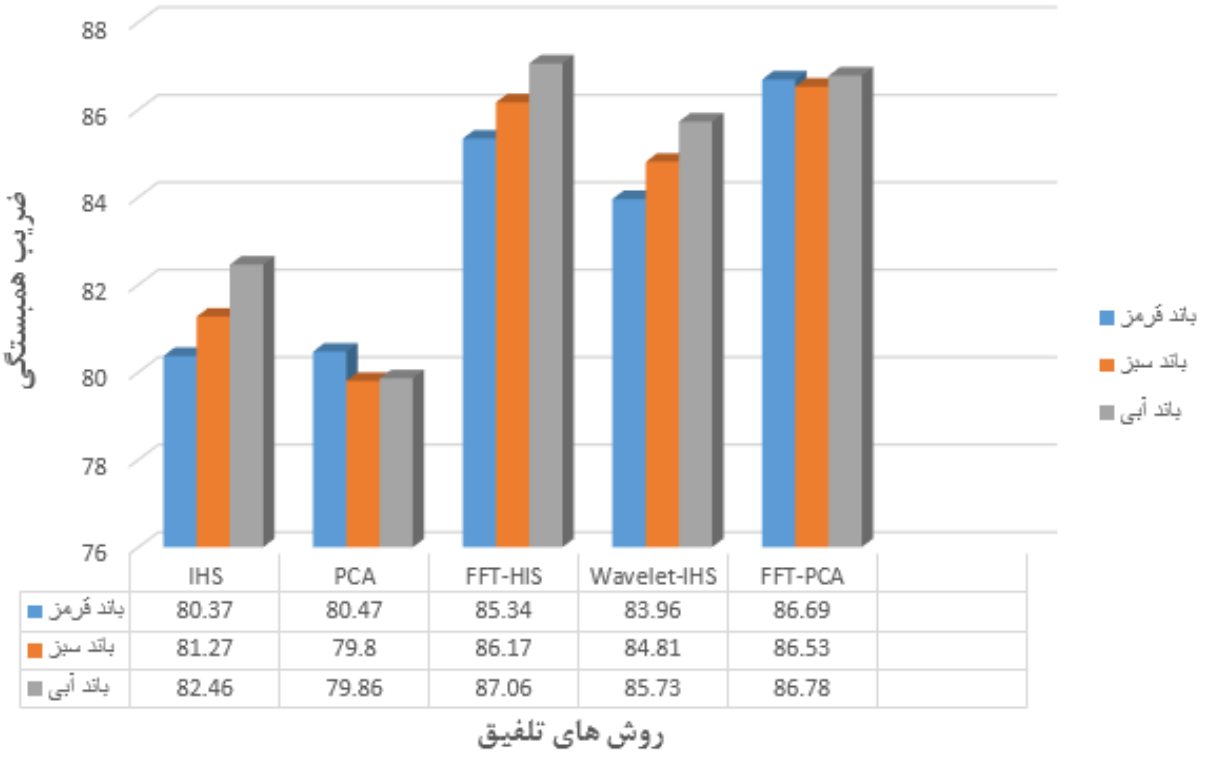
FCC		IHS	PCA	FFT-IHS	Wavelet-IHS	FFT-PCA
باند قرمز	۳۰	۹۴٫۸۴	۹۹٫۳۰	۹۶٫۴۷	۹۴٫۵۲	۹۹٫۱۶
	۳۱	۹۴٫۶۲	۹۹٫۳۳	۹۶٫۳۷	۹۴٫۳۰	۹۹٫۱۸
	۳۳	۹۴٫۵۱	۹۹٫۴۰	۹۶٫۴۴	۹۴٫۱۸	۹۸٫۹۹
	۳۴	۹۴٫۷۴	۹۹٫۳۶	۹۶٫۶۲	۹۴٫۳۶	۹۸٫۸۲
باند سبز	۲۲	۹۴٫۵۳	۹۸٫۷۳	۹۶٫۳۸	۹۴٫۴۱	۹۸٫۷۱
	۲۳	۹۴٫۷۶	۹۹٫۰۱	۹۶٫۵۲	۹۴٫۵۳	۹۸٫۹۵
	۲۴	۹۴٫۶۵	۹۹٫۰۸	۹۶٫۶۲	۹۴٫۴۱	۹۸٫۶۶
	۲۵	۹۴٫۹۴	۹۹٫۱۶	۹۶٫۸۲	۹۴٫۶۴	۹۸٫۶۰
باند آبی	۱۲	۹۴٫۱۱	۹۷٫۹۴	۹۵٫۹۰	۹۳٫۸۱	۹۷٫۸۲
	۱۳	۹۴٫۲۰	۹۷٫۹۶	۹۶٫۰۳	۹۳٫۹۱	۹۷٫۸۸
	۱۴	۹۴٫۰۷	۹۷٫۹۶	۹۶٫۱۱	۹۳٫۷۶	۹۷٫۴۷
	۱۵	۹۴٫۲۴	۹۸٫۰۲	۹۶٫۲۶	۹۳٫۹۴	۹۷٫۳۸

در ادامه به بررسی کیفیت طیفی تصاویر تلفیق‌شده پرداخته‌شده است. یکی از پرکاربردترین معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی، شاخص ضریب همبستگی می‌باشد، با توجه به نتایج جدول (۳ و ۵) روش‌های FFT-PCA، Wavelet-PCA، FFT-IHS.تصاویر باکیفیت طیفی بالاتری را حاصل کردند.

از بین این ۳ روش نیز، همان‌طور که در شکل (۶) نیز نشان داده‌شده است، روش FFT-PCA دارای بیشترین ضریب همبستگی می‌باشد، یعنی نسبت به روش‌های دیگر اعوجاج طیفی کمتری را ایجاد می‌کند و در حفظ محتوای طیفی تصویر چندطیفی و یا ابرطیفی موفق‌تر عمل کرده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]



	IHS	PCA	FFT-HIS	Wavelet-IHS	FFT-PCA
باند قرمز	80.37	80.47	85.34	83.96	86.69
باند سبز	81.27	79.8	86.17	84.81	86.53
باند آبی	82.46	79.86	87.06	85.73	86.78

شکل ۶: مقایسه همبستگی بین تصویر چندطیفی آیکونوس و تصویر تلفیق‌شده آیکونوس

در مورد شاخص SNR نیز نتایجی مشابه با نتایج ضریب همبستگی حاصل شد. همان‌طور که بیان گردید بیشتر بودن این شاخص بیانگر کیفیت طیفی بالای روش موردنظر است و در بین روش‌های پیاده‌سازی شده روش FFT-PCA در حفظ محتوای طیفی تصویر ابرطیفی و تصویر چندطیفی آیکونوس بهتر عمل کرده است. نتایج این معیار در جدول (۳ و ۵) ارائه‌شده است.

جهت ارزیابی بیشتر محتوای طیفی تصویر تلفیق‌شده، ازآنجاکه معیار واحد یا منحصربه‌فردی جهت ارزیابی وجود ندارد، معیارهای ERGAS، SAM و RMSE نیز استفاده گردید که نتایج ارزیابی با این معیارها در جدول (۴) برای تصویر هایپریون و جدول (۵) برای تصویر آیکونوس ذکرشده است. نتایج به‌دست‌آمده با این معیارها نیز مشابه نتایج قبل بود و در همه این معیارها روش FFT-PCA بالاترین دقت را دارا می‌باشد.

نتایج حاصل از تلفیق تصاویر چندطیفی و پانکروماتیک آیکونوس با روش‌های بیان‌شده و روش پیشنهادی در جدول (۵) ارائه شده است. که نتایج آن بیانگر دقت بالای روش FFT-PCA است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

جدول ۳: نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت طیفی تصویر هایپریون تلفیق‌شده با معیار CC و SNR

	CC	IHS	PCA	FFT-IHS	Wavelet-IHS	FFT-PCA
Red Band	30	۷۵/۱۷	۷۲/۶۷	۷۶/۹۴	۸۵/۶۸	۸۵/۹۵
	31	۷۵/۷۱	۷۲/۵۵	۷۷/۸۸	۸۵/۹۷	۸۵/۹۷
	33	۷۵/۷۶	۷۲/۳۸	۷۹/۹۰	۸۶/۰۴	۸۷/۱۶
	34	۷۴/۹۳	۷۲/۳۹	۸۰/۱۰	۸۵/۷۱	۸۷/۵۴
Green Band	22	۶۷/۷۳	۷۲/۸۰	۷۰/۸۵	۸۱/۹۰	۸۵/۹۳
	23	۶۹/۷۵	۷۲/۶۴	۷۳/۰۵	۸۲/۹۴	۸۵/۹۳
	24	۶۹/۷۵	۷۲/۵۶	۷۵/۳۹	۸۲/۹۶	۸۷/۱۳
	25	۷۰/۹۵	۷۲/۵۵	۷۶/۹۹	۸۳/۵۵	۸۷/۵۲
Blue Band	12	۷۶/۴۱	۷۳/۲۹	۷۷/۷۳	۸۶/۳۱	۸۶/۴۱
	13	۷۲/۱۵	۷۳/۰۴	۷۴/۷۷	۸۴/۱۳	۸۶/۳۴
	14	۷۱/۵۷	۷۲/۹۹	۷۶/۴۳	۸۳/۷۹	۸۷/۵۲
	15	۷۱/۳۴	۷۲/۹۷	۷۶/۹۷	۸۳/۶۴	۸۷/۸۷
	SNR	IHS	PCA	FFT-IHS	Wavelet-IHS	FFT-PCA
Red Band	30	۵/۲۹	۵/۰۴	۵/۴۹	۶/۷۶	۷/۰۲
	31	۵/۲۸	۴/۹۶	۵/۵۳	۶/۷۵	۶/۹۳
	33	۵/۲۱	۴/۸۷	۵/۷۱	۶/۶۶	۷/۱۴
	34	۵/۱۹	۴/۹۳	۵/۸۲	۶/۶۷	۷/۳۴
Green Band	22	۵/۰۷	۵/۵۶	۵/۳۶	۶/۵۶	۷/۷۵
	23	۵/۱۰	۵/۳۸	۵/۴۲	۶/۵۹	۷/۵۲
	24	۵/۰۳	۵/۲۹	۵/۵۹	۶/۵۰	۷/۷۵
	25	۵/۰۹	۵/۲۴	۵/۷۳	۶/۵۶	۷/۷۹
Blue Band	12	۵/۳۵	۵/۰۳	۵/۴۹	۶/۸۱	۷/۰۲
	13	۵/۲۱	۵/۳۱	۵/۴۵	۶/۶۶	۷/۴۳
	14	۵/۱۳	۵/۲۸	۵/۶۱	۶/۵۶	۷/۷۴
	15	۵/۱۵	۵/۳۳	۵/۷۳	۶/۵۹	۷/۹۳

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

جدول ۴: نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت طیفی تصویر هایپریون تلفیق‌شده با معیار RMSE، ERGAS و SAM

	RMSE	IHS	PCA	FFT-IHS	Wavelet-IHS	FFT-PCA
Red Band	30	۰/۰۴۸	۰/۰۵۰	۰/۰۴۶	۰/۰۳۷	۰/۰۳۶
	31	۰/۰۴۵	۰/۰۴۸	۰/۰۴۳	۰/۰۳۵	۰/۰۳۴
	33	۰/۰۴۹	۰/۰۵۲	۰/۰۴۴	۰/۰۳۸	۰/۰۳۵
	34	۰/۰۵۱	۰/۰۵۴	۰/۰۴۶	۰/۰۴۰	۰/۰۳۶
Green Band	22	۰/۰۴۲	۰/۰۳۸	۰/۰۳۹	۰/۰۳۲	۰/۰۲۷
	23	۰/۰۴۲	۰/۰۴۰	۰/۰۳۹	۰/۰۳۳	۰/۰۲۸
	24	۰/۰۴۶	۰/۰۴۴	۰/۰۴۱	۰/۰۳۶	۰/۰۳۰
	25	۰/۰۴۵	۰/۰۴۴	۰/۰۴۰	۰/۰۳۵	۰/۰۲۹
Blue Band	12	۰/۰۲۲	۰/۰۲۴	۰/۰۲۱	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷
	13	۰/۰۲۶	۰/۰۲۶	۰/۰۲۵	۰/۰۲۱	۰/۰۱۸
	14	۰/۰۲۷	۰/۰۲۶	۰/۰۲۵	۰/۰۲۱	۰/۰۱۸
	15	۰/۰۲۹	۰/۰۲۸	۰/۰۲۶	۰/۰۲۳	۰/۰۱۹

ادامه جدول ۴ – بخش ۲

	ERGAS	IHS	PCA	FFT-IHS	Wavelet-IHS	FFT-PCA
Red Band	30	۱۱/۳۱	۱۱/۸۹	۱۰/۹۰	۸/۸۹	۸/۵۲
	31	۱۱/۳۴	۱۲/۰۹	۱۰/۸۲	۸/۹۲	۸/۶۴
	33	۱۱/۵۱	۱۲/۳۲	۱۰/۵۰	۹/۰۴	۸/۴۱
	34	۱۱/۵۴	۱۲/۱۵	۱۰/۲۹	۹/۰۳	۸/۱۶
Green Band	22	۱۱/۷۴	۱۰/۶۹	۱۱/۱۰	۹/۱۰	۷/۶۷
	23	۱۱/۶۹	۱۱/۰۸	۱۰/۹۹	۹/۰۹	۷/۹۲
	24	۱۱/۸۷	۱۱/۲۸	۱۰/۶۶	۹/۲۲	۷/۷۰
	25	۱۱/۷۳	۱۱/۴۰	۱۰/۴۰	۹/۱۴	۷/۶۶
Blue Band	12	۱۱/۱۹	۱۱/۹۱	۱۰/۹۲	۸/۸۴	۸/۵۴
	13	۱۱/۴۶	۱۱/۲۳	۱۰/۹۵	۸/۹۹	۸/۰۳
	14	۱۱/۶۴	۱۱/۳۰	۱۰/۶۴	۹/۱۴	۷/۷۱
	15	۱۱/۵۹	۱۱/۱۹	۱۰/۴۱	۹/۰۹	۷/۵۲

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

ادامه جدول ۴ - بخش ۳

SAM		IHS	PCA	FFT-IHS	Wavelet-IHS	FFT-PCA
Red Band	30	۰/۱۸۸	۰/۱۹۸	۰/۱۸۲	۰/۱۴۸	۰/۱۴۲
	31	۰/۱۸۹	۰/۲۰۱	۰/۱۸۰	۰/۱۴۸	۰/۱۴۴
	33	۰/۱۹۱	۰/۲۰۵	۰/۱۷۴	۰/۱۵۰	۰/۱۴۰
	34	۰/۱۹۲	۰/۲۰۲	۰/۱۷۱	۰/۱۵۰	۰/۱۳۶
Green Band	22	۰/۱۹۷	۰/۱۷۹	۰/۱۸۶	۰/۱۵۲	۰/۱۲۸
	23	۰/۱۹۶	۰/۱۸۶	۰/۱۸۴	۰/۱۵۲	۰/۱۳۳
	24	۰/۱۹۹	۰/۱۸۹	۰/۱۷۹	۰/۱۵۴	۰/۱۲۹
	25	۰/۱۹۶	۰/۱۹۱	۰/۱۷۴	۰/۱۵۲	۰/۱۲۸
Blue Band	12	۰/۱۸۶	۰/۱۹۸	۰/۱۸۲	۰/۱۴۷	۰/۱۴۲
	13	۰/۱۹۲	۰/۱۸۸	۰/۱۸۳	۰/۱۵۰	۰/۱۳۴
	14	۰/۱۹۵	۰/۱۸۹	۰/۱۷۸	۰/۱۵۲	۰/۱۲۹
	15	۰/۱۹۴	۰/۱۸۷	۰/۱۷۴	۰/۱۵۲	۰/۱۲۶

جدول ۵: نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی تصویر آیکونوس تلفیق‌شده با معیارهای بیان‌شده

		IHS	PCA	FFT-IHS	Wavelet-IHS	FFT-PCA
CC	باندR	۸۰/۳۷	۸۰/۴۷	۸۵/۳۴	۸۳/۹۶	۸۶/۶۹
	باندG	۸۱/۲۷	۷۹/۸۰	۸۶/۱۷	۸۴/۸۱	۸۶/۵۳
	باند B	۸۲/۴۶	۷۹/۸۶	۸۷/۰۶	۸۵/۷۳	۸۶/۷۸
FCC	باندR	۹۷/۲۱	۹۹/۳۹	۹۸/۴۶	۹۷/۱۷	۹۸/۳۵
	باندG	۹۷/۵۶	۹۹/۶۱	۹۸/۷۸	۹۷/۵۴	۹۹/۱۳
	باند B	۹۶/۸۷	۹۸/۹۶	۹۷/۷۰	۹۶/۸۳	۹۷/۴۲
SNR	باندR	۴/۲۹	۴/۳۰	۴/۹۸	۴/۶۲	۵/۲۵
	باندG	۴/۲۳	۴/۰۷	۴/۹۲	۴/۵۷	۴/۹۸
	باند B	۴/۱۶	۳/۹۰	۴/۸۴	۴/۵۱	۴/۷۸
ERGAS	باند R	۱۴/۵۰	۱۴/۴۶	۱۲/۴۷	۱۳/۵۹	۱۱/۸۳
	باند G	۱۴/۷۸	۱۵/۳۵	۱۲/۷۱	۱۳/۸۰	۱۲/۵۶
	باند B	۱۵/۱۰	۱۶/۱۲	۱۳/۰۰	۱۴/۰۸	۱۳/۱۹
SAM	باند R	۰/۲۳۴	۰/۲۳۳	۰/۲۰۱	۰/۲۱۷	۰/۱۹۰
	باند G	۰/۲۳۶	۰/۲۴۵	۰/۲۰۳	۰/۲۱۹	۰/۲۰۰
	باند B	۰/۲۳۹	۰/۲۵۶	۰/۲۰۶	۰/۲۲۲	۰/۲۰۹
RMSE	باند R	۰/۰۴۶	۰/۰۴۶	۰/۰۳۹	۰/۰۴۳	۰/۰۳۷
	باند G	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۳۶	۰/۰۳۹	۰/۰۳۶
	باند B	۰/۰۳۶	۰/۰۳۹	۰/۰۳۱	۰/۰۳۴	۰/۰۳۲

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

در حالت کلی نتایج به‌دست‌آمده با کل معیارهای استفاده‌شده بیانگر این است که روش‌هایی که از جایگذاری جزئی تصویر پانکروماتیک جهت تلفیق استفاده می‌کنند ازنظر طیفی، کیفیت بالاتری دارند و در این میان روش FFT-PCA در حفظ محتوای طیفی کارآمدتر از بقیه می‌باشد و علاوه بر کیفیت طیفی بالاتر ، ازنظر مکانی نیز تصویر باکیفیت مکانی خوبی را تولید می‌کند، همچنین محدودیت باندی نیز ندارد.

۴- نتیجه‌گیری

تلفیق دارای کاربردهای زیادی ازجمله بهبود طبقه‌بندی و جایگذاری اطلاعات ازدست‌رفته در یک تصویر با استفاده از تصویر سنجنده دیگر می‌باشد و روش‌های مختلفی جهت تلفیق تصاویر ارائه‌شده است لذا جهت تلفیق تصاویر باید از روشی استفاده کرد که دارای دقت قابل قبولی باشد و بتواند علاوه بر بهبود دقت مکانی، محتوای طیفی تصویر ابرطیفی یا چند طیفی را به‌خوبی حفظ بکند. به‌همین دلیل مقایسه کمی و کیفی روش‌های تلفیق به‌عنوان یک نیاز احساس می‌شود. در این تحقیق نیز به بررسی و ارزیابی روش‌های تلفیق IHS، PCA، FFT-IHS، Wavelet-IHS و روش FFT-PCA بر روی دو مجموعه داده‌ی تصویر هایپریون و تصویر پانکروماتیک $IRS\text{-}1D_{pan}$ مربوط به نسیم‌شهر و تصویر چندطیفی و پانکروماتیک آیکونوس مربوط به شهریار پرداخته شد و نتایج تلفیق با معیارهای ضریب همبستگی، ضریب همبستگی فیلتر شده، سیگنال به نویز، خطای کمترین مربعات، شاخص ERGAS و شاخص SAM مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت.

نتایج این ارزیابی بیانگر دقت بالای روش FFT-PCA در تلفیق این تصاویر می‌باشد، لذا این روش در حفظ اطلاعات و محتوی طیفی تصویر هایپریون تصویر چندطیفی آیکونوس بسیار کارآمدتر از سایر روش‌ها عمل می‌کند و همچنین در حفظ اطلاعات مکانی و هندسی، تصویر پانکروماتیک IRS-1D و پانکروماتیک آیکونوس عملکرد خیلی خوبی را نشان می‌دهد. روش PCA نیز به دلیل جایگزینی کامل تصویر پانکروماتیک ازلحاظ کیفیت طیفی نسبت به روش‌های دیگر دقت کمتری داشت ولی ازلحاظ مکانی دقت بهتری را نشان داد. همچنین این روش قابلیت تعمیم-پذیری بر روی سایر باندهایی که بتوان درتلفیق استفاده کرد (یعنی باندهایی که در بازه طول موجی مشترک با تصویر پانکروماتیک قرار دارند) را دارد. ولی سایر باندها یعنی باندهایی که در این بازه قرار ندارند، مورد آزمایش قرار نگرفته است و پیشنهاد می‌شود این باندها در کارهای آتی نیز تست شوند. ولی تمام باندهای موجود در این بازه طول موجی مشترک را می‌توان در تلفیق با این روش مورد استفاده قرار داد و محدودیت باندی در استفاده از این الگوریتم وجود ندارد.

مراجع

[1] A. Ahmad. "Change Detection in High Density Urban Area and Rural Area Using High Resolution Satellite Image": Atılım Üniversitesi, 2005.

[2] V. G. J. L. PohlC, "Multisensor Image Fusion in Remote, Sensing: Concepts, Methods, Application," Int J Remote Sensing, 1998.

[3] M. Cetin and N. Musaoglu, "Merging hyperspectral and panchromatic image data: qualitative and quantitative analysis," International Journal of Remote Sensing, vol. 30, pp. 1779-1804, 2009.

[4] Y. Ling, M. Ehlers, E. L. Usery, and M. Madden, "FFT-enhanced IHS transform method for fusing high-resolution satellite images," ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing, vol. 61, pp. 381-392, 2007.

[5] Y. Zhang and G. Hong, "An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

IKONOS and QuickBird images," Information Fusion, vol. 6, pp. 225-234, 2005.

[6] T.-M. Tu, S.-C. Su, H.-C. Shyu, and P. S. Huang, "A new look at IHS-like image fusion methods," Information fusion, vol. 2, pp. 177-186, 2001.

[7] H. R. Shahdoosti and H. Ghassemian, "Combining the spectral PCA and spatial PCA fusion methods by an optimal filter," Information Fusion, vol. 27, pp. 150-160, 2016.

[8] L. Bai, C. Xu, and C. Wang, "A review of fusion methods of multi-spectral image," Optik-International Journal for Light and Electron Optics, vol. 126, pp. 4804-4807, 2015.

[9] W. Ha, P. H. Gowda, and T. A. Howell, "A review of potential image fusion methods for remote sensing-based irrigation management: part II," Irrigation Science, vol. 31, pp. 851-869, 2013.

[10] M. González-Audícana, J. L. Saleta, R. G. Catalán, and R. García, "Fusion of multispectral and panchromatic images using improved IHS and PCA mergers based on wavelet decomposition," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 42, pp. 1291-1299, 2004.

[11] H. R. Shahdoosti and H. Ghassemian, "Spatial PCA as a new method for image fusion," in Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP), 2012 16th CSI International Symposium on, 2012, pp. 090-094.

[12] F. A. Al-Wassai and D. N. Kalyankar, "A Novel Metric Approach Evaluation For The Spatial Enhancement Of Pan-Sharpened Images," arXiv preprint arXiv:1207.5064, 2012.

[13] M. Strait, S. Rahmani, and D. Merkurev, "Evaluation of pan-sharpening methods," UCLA Department of Mathematics, 2008.

[14] C. Yang, J. H. Everitt, and J. M. Bradford, "Yield estimation from hyperspectral imagery using spectral angle mapper (SAM)," Transactions of the ASABE, vol. 51, pp. 729-737, 2008.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.5, No.2, Summer 2017

Effect of different SRFs on time series of spectral indices, between sentinel-2 and other sensors for the purpose of vegetation land cover monitoring

Morteza Bashirpour [1*], .Mohammad Javad Valadan Zoej[2],. Yasser Maghsoudi[3]

1- MSc. Student in Remote Sensing, K.N. Toosi University of Technology
2- Associate Professor, K.N. Toosi University of Technology
3- Assistant Professor, K.N. Toosi University of Technology

Abstract

In order to use the combination of spectral and spatial information, the fusion of satellite images are used. The fusion result is an image which includes spectral information of multi-spectral image and spatial information of panchromatic image. This paper investigates the capability of Fast Fourier Transform-Principal Component Analysis (FFT-PCA) method in the fusion of two set of images, including Hyperion and IRS-1D images and IKONOS images, where this method uses the replacement of the panchromatic image with fast Fourier filtering for the purpose of fusion. The fusion results of this method have been compared with the fusion result of Intensity Hue Saturation (IHS), Principal Component Analysis (PCA), Wavelet-Intensity Hue Saturation (Wavelet-IHS), Fast Fourier Transform-Intensity Hue Saturation (FFT-IHS). To compare and analyze the results of the these methods, the criteria for evaluation of the quality of spectral and spatial include correlation coefficient, signal to noise ratio, RMSE, filtered correlation coefficient, SAM and ERGAS were used. The results demonstrate that the FFT-PCA method achieve more precision in image fusion. This method acts more efficient than other methods in terms of information and spectral content preservation of Hyperion and IKONOS images. This method also shows very good performance in preservation of spatial content for IRS and IKONOS images.

Key words: Fusion, FFT-PCA, Hyperion, IRS-1D, IKONOS

Correspondence Address: No. 1346, ValiAsr Street, Mirdamad cross, Geomatics Engineering Faculty, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
Tel:. 09148470656
Email mbashirpour@mail.kntu.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOI: 10.29252/jgit.5.2.123]