

تلفیق تصاویر سنجش از دوری با روش FFT-PCA

مرتضی بشیرپور^{۱*}، محمدجواد ولدان زوج^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

به منظور استفاده توان 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 (Fast Fourier Transform-Principal Component Analysis) FFT-PCA برای تلفیق IRS-1D و تصویر چندطیفی و پانکروماتیک آیکونوس معرفی و موربدرسی قرار گرفته است. این روش از جایگزینی جزئی تصویر پانکروماتیک با فیلترینگ فوریه سریع جهت تلفیق استفاده می‌کند. نتایج تلفیق با این روش با نتایج Wavelet-Intensity Hue PCA (Principal Component Analysis)، IHS (Intensity Hue Saturation) و Wavelet-IHS (Fast Fourier Transform-Intensity Hue Saturation) مقایسه و ارزیابی شد. جهت مقایسه و تجزیه و تحلیل نتایج روش‌های بیان شده، از معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی شامل ضریب همبستگی، نسبت سیگنال به نویز، خطای کمترین مربعات، ضریب همبستگی فیلترشده، شاخص SAM و ERGAS است. نتایج این ارزیابی بیانگر دقیق‌ترین 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 ولی‌عصر، بالاتر از میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی.

تلفن: ۰۹۱۴۸۴۷۰۶۵۶

۱- مقدمه

ترکیب‌های حسابی یا عددی از جمله الگوریتم براوی و نسبت تغییرپذیری ترکیبی^۳; (ii) نسبت باندی و فیلتر و در حوزه فرکانس مانند FFT، فیلترهای بالاگذر، ویولت^۵ و کرولت^۶ [۲]. علاوه بر این روش‌ها الگوریتم‌هایی نیز با ترکیب این روش‌ها ارائه شده است، از جمله: 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.

از جمله روش‌های تلفیق که جهت بهبود روش‌های قبلی ارائه شده 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^۷ 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 استفاده شده است [۵]. روش PCA نیز از جمله پرکاربردترین روش‌ها در این حوزه می‌باشد. ولی این روش نیز باعث ایجاد اعوجاج طیفی در تصویر تلفیق شده می‌شود [۷].

در تحقیق پیش‌رو، روش FFT-PCA جهت تلفیق تصاویر هایپرپون و IRS پیشنهاد و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته است. سپس نتایج حاصل از این روش با روش‌های IHS، PCA و FFT_IHS مقایسه و ارزیابی شده است.

امروزه پیدایش تصاویر ماهواره‌ای با پوشش دوره‌ای متنابوب، ارائه جزئیات بیشتر، سرعت بالاتر و دقت قابل قبول، باعث گسترش کاربردهای سنجش از دور و افزایش تقاضا به خدمات سنجش از دوری 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 حمل و نقل و نقشه‌برداری کاداستر استفاده کرد [۱]. در حقیقت دقت رادیومتریکی، طیفی و مکانی تصاویر ماهواره‌ای نقش بسیار مهم و تعیین کننده‌ای 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 باشند. 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 پائین‌تری هستند. برای بهره‌مندی از هر دو نوع اطلاعات به صورت 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

¹ Intensity Hue Saturation

² Principal Component Analysis

³ Gram Schmidt

⁴ Synthetic Variable Ratio

⁵ Wavelet

⁶ Curvelet

⁷ Fast Fourier Transform

در بردارنده 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 به اندازه 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)

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

$$H = \tan^{-1} \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \quad S = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$$

(رابطه ۲)

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

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

۲- مواد و روش‌ها

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

۲-۱- منطقه مطالعه 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 ID 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 انجام شده 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 اجرا شده

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

۲-۲-۱- روش IHS

یکی از پرکاربردترین و در عین حال 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

چندطیفی به سیستم IHS منتقل می‌شود. سپس مؤلفه شدت و تصویر پانکروماتیک به فضای فوریه منتقل شده 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 پایین گذر روی تصویر شدت باعث حذف بخش فرکانس بالای مؤلفه شدت می‌شود. برای اعمال فیلتر بالاگذر و پایین گذر جهت جدا نمودن اطلاعات فرکانس بالا و پایین، از فیلترهای مختلفی از جمله فیلترهای هنینگ^۲، باتروس^۳ و گوسین^۴ می‌توان استفاده کرد.

۴-۲-۲ روش Wavelet-IHS

این روش از جمله روش‌های ترکیبی جهت تلفیق می-باشد که Zhang و همکارانش جهت بهبود دقیق 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 و HH 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 قطبی می‌گویند. در این روش پس از رجیستر کردن دو تصویر و نمونه‌برداری مجدد تصویر چندطیفی به اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک، تصویر چندطیفی به سیستم IHS منتقل می‌شود و تطابق هیستوگرام تصویر پانکروماتیک با مؤلفه شدت

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 استفاده شده به عنوان داده ورودی در PCA می‌باشد یعنی اطلاعات مکانی، در حالی که اطلاعات طیفی خاص هر باند، در دیگر مؤلفه‌های اصلی قرار می‌گیرد [۱۰].

در این روش نیز پس از رجیستر(منطق) کردن تصویر چندطیفی با تصویر پانکروماتیک و نمونه‌برداری مجدد تصویر چند طیفی به‌اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک تبدیل PCA روی تصویر چندطیفی به دست آمده انجام می‌گیرد. سپس تطابق هیستوگرامی تصویر پانکروماتیک با اولین مؤلفه اصلی انجام گرفته 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 تلفیق شده می‌شود.

۲-۳-۲ 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^۱ انجام می‌گیرد. در این روش پس از رجیستر کردن دو تصویر و نمونه‌برداری مجدد تصویر چندطیفی به‌اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک، تصویر

² Hanning

³ Butterworth

⁴ Gussian

¹ Fast Fourier Transform

- 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 تولید شده 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.

۲-۳-۱- معیارهای ارزیابی

در این تحقیق از معیارهای زیر جهت ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی تصاویر تلفیق شده استفاده شده است.

۲-۳-۲- 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 به درستی به کیفیت تصویر تلفیق شده پی برد و باید از معیارهای ارزیابی طیفی دقیق‌تری جهت کنترل کیفیت طیفی بهره برد.

۲-۳-۳- ضریب همبستگی^۱ (CC)

این معیار از جمله پرکاربردترین معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی تصویر تلفیق شده می‌باشد. این معیار از شباهت طیفی تصویر تلفیق شده با تصویر چندطیفی و یا ابرطیفی، کیفیت طیفی روش موردنظر را مشخص می‌کند که هرچه این معیار به $+1$ نزدیک‌تر باشد بیانگر

انجام شده 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 تجزیه شده (LL^1) به جای مؤلفه تقریب تصویر پانکروماتیک تجزیه شده (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.

۲-۵- روش پیشنهادی

درروش PCA به دلیل جایگذاری کامل تصویر پانکروماتیک با مؤلفه اصلی اول (PC1)، تمام اطلاعات جزئیات مکانی این تصویر به تصویر تلفیق شده انتقال خواهد یافت. که در این صورت تصویر تلفیق شده به تصویر پانکروماتیک شبیه‌تر خواهد بود، که این باعث اعوجاج طیفی می‌شود [۱۱]. درروش FFT-PCA به جای 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 به اندازه 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

¹ Correlation Coefficient

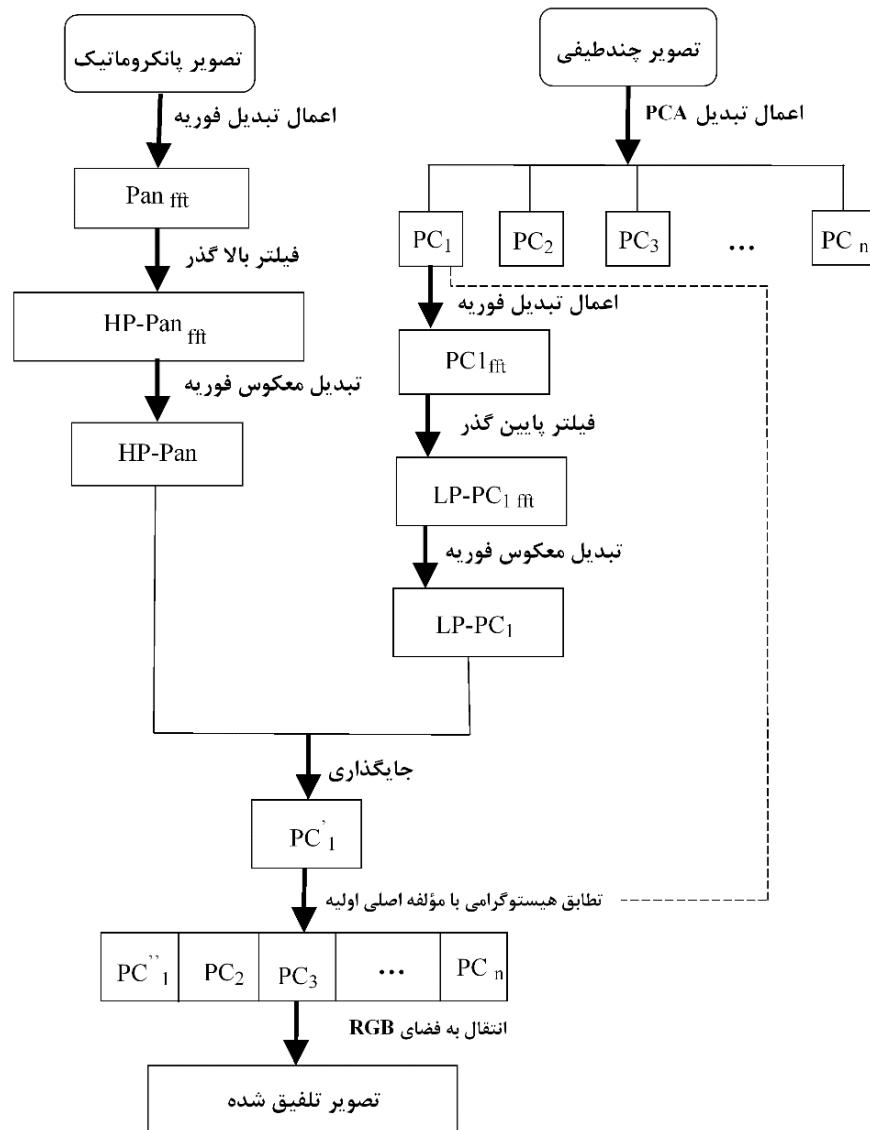
رابطه (۳)

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (F_k(i,j) - \bar{F}_k)(M_k(i,j) - \bar{M}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (F_k(i,j) - \bar{F}_k)^2 (\bar{M}_k(i,j) - \bar{M}_k)^2}}$$

F_k و M_k بیانگر پیکسل‌های کامین باند تصویر چندطیفی و تلفیق شده و \bar{M}_k و \bar{F}_k بیانگر میانگین پیکسل‌های کامین باند تصویر چندطیفی و تلفیق شده هستند.

شاهت بیشتر اطلاعات طیفی تصویر تلفیق شده با تصویر چندطیفی است.

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



شكل ۱: فلوچارت روش FFT-PCA

تلفیق شده 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 تلفیق شده، x پیکسل، i شماره باند، n تعداد باند، m تعداد ستون و d تعداد باند می‌باشد.

۶-۳-۲- ERGAS

از جمله 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)

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

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

۷-۳-۲- معيار^۳ (SAM)

از دیگر شاخص‌های مورد استفاده 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 به همین دلیل طیف موردنظر به طیف مرجع شباهت بیشتری دارد. با استفاده از رابطه (۸) می‌توان این معیار را جهت ارزیابی محاسبه کرد [۱۴].

^۲ Spectral Angle Mapper

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)

$$SNR_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (F_k(i,j))^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (F_k(i,j) - M_k(i,j))^2}}$$

F_k و M_k بیانگر پیکسل‌های k امین باند تصویر چندطیفی و تلفیق شده است.

۲-۴-۳- ضریب همبستگی فیلترشده (FCC)

این معیار از جمله شاخص‌ها و معیارهای ارزیابی کیفیت مکانی می‌باشد و به این صورت می‌باشد که در ابتدا روی تصویر تلفیق شده و تصویر پانکروماتیک فیلتر بالاگذار 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].

$$high\ pass\ filter = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۵)}$$

۲-۴-۵- خطای کمترین مربعات^۱ (RMSE)

از معیار خطای کمترین مربعات جهت تعیین تغییرات یا اعوجاج طیفی ایجاد شده در هر پیکسل تصویر تلفیق شده استفاده می‌شود. و هرچقدر مقدار این معیار کوچک‌تر باشد بیانگر کیفیت بالای طیفی تصویر

^۱ Root Mean Square Error

اثرات اتمسفری از روی این داده‌ها برداشته شود. در این تحقیق جهت انجام تصحیحات اتمسفریکی از برنامه FLAASH^۲ موجود در نرم‌افزار ENVI استفاده شده است. همچنان‌ین باندهای جذب بخارآب پس از تصحیح اتمسفریکی حذف خواهند شد.

سپس نوارهای بد قائم در تصویر که به دلیل عدم کالیبره صحیح آشکارسازها به وجود می‌آیند باقیمانی و تصحیح شوند. ولی در این تصویر چون این نوارها بر روی منطقه مطالعاتی وجود نداشت این تصحیح انجام نشد. از جمله 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 طول موج مرکزی می‌باشد که به علت تغییرات پراکنده‌گی زاویه با موقعیت میدان دید و روش‌های مورداستفاده پراکنیدن 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 envi در این تحقیق از نرم‌افزار smile 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 افروندگی 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 درصورتی که محدوده طیفی پوشش داده شده توسط

(رابطه ۸)

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

X بیانگر پیکسل تصویر تلفیق شده، R پیکسل تصویر فرانس، α زاویه بین طیف مرجع و طیف موردنظر و n تعداد باند است.

۳- پیاده‌سازی و تجزیه و تحلیل نتایج

در این بخش به تشریح مراحل پیش‌پردازش 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 انجام شده است و یکسری خطاهای موجود در تصویر حذف شده‌اند و تصویر شامل میزان انرژی در هنگام ورود به سنجنده^۱ می‌باشد. تصاویر هایپریون در طی انجام پردازش سطح یک باندهای مربوط به VNIR در ۴۰ و SWIR در ۸۰ ضرب شده‌اند، به همین دلیل به منظور 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 باقیستی حذف شوند. پس از حذف این باندها، جهت تبدیل تصویر به بازنده‌گی باید

² Fast Line-of-sight Atmosphere Analysis InSpectral Hypercubes

¹ At sensor radiance

تصویر پانکروماتیک IRS می‌توان استفاده کرد، که از این تعداد نیز به صورت سعی و خطأ، ۱۲ باندی که نتایج دقیق‌تر و بهتری تولید می‌کردند جهت انجام تلفیق انتخاب شده است. مشخصات این باندها در جدول (۱) بیان شده است.

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 ذکر شده تنها از ۲۶ باند تصویر هایپریون جهت تلفیق با

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

شکل (۴) بزرگنمایی تصویر تلفیق شده هایپریون و شکل (۵) بزرگنمایی تصاویر تلفیق شده آیکونوس را نشان می‌دهد که بهبود مکانی در این تصاویر به طور مشخص‌تری نشان داده شده است، ولی با این حال با ارزیابی بصری نمی‌توان به درستی به کیفیت تصویر تلفیق شده پی برد و باید از معیارهای ارزیابی طیفی و مکانی دقیق‌تری جهت کنترل کیفیت طیفی و مکانی بهره‌برد.

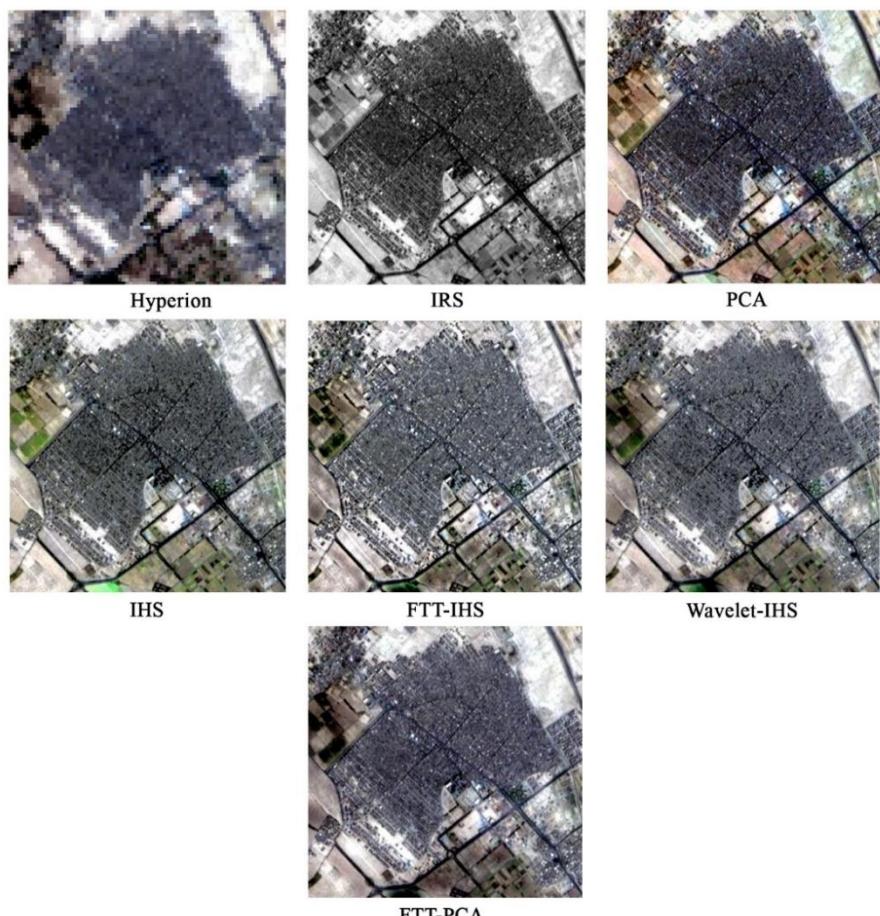
سپس تصحیح هندسی روی تصویر هایپریون و تصویر پانکروماتیک IRS-1D انجام گرفت. جهت انجام تلفیق باید پیکسل‌های متناظر دو تصاویر نسبت به هم رجیستر^۱ باشند. همچنین تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک آیکونوس به دلیل اینکه تصحیح هندسی روی آن‌ها انجام شده بود، و به طور خیلی دقیقی نسبت به هم رجیستر بودند، تصحیح هندسی روی آن‌ها انجام نشد. و تنها تصحیحی که روی این تصاویر انجام می‌شود تصحیح رادیومتریکی است.

۲-۳- پیاده‌سازی روش‌های تلفیق بیان شده

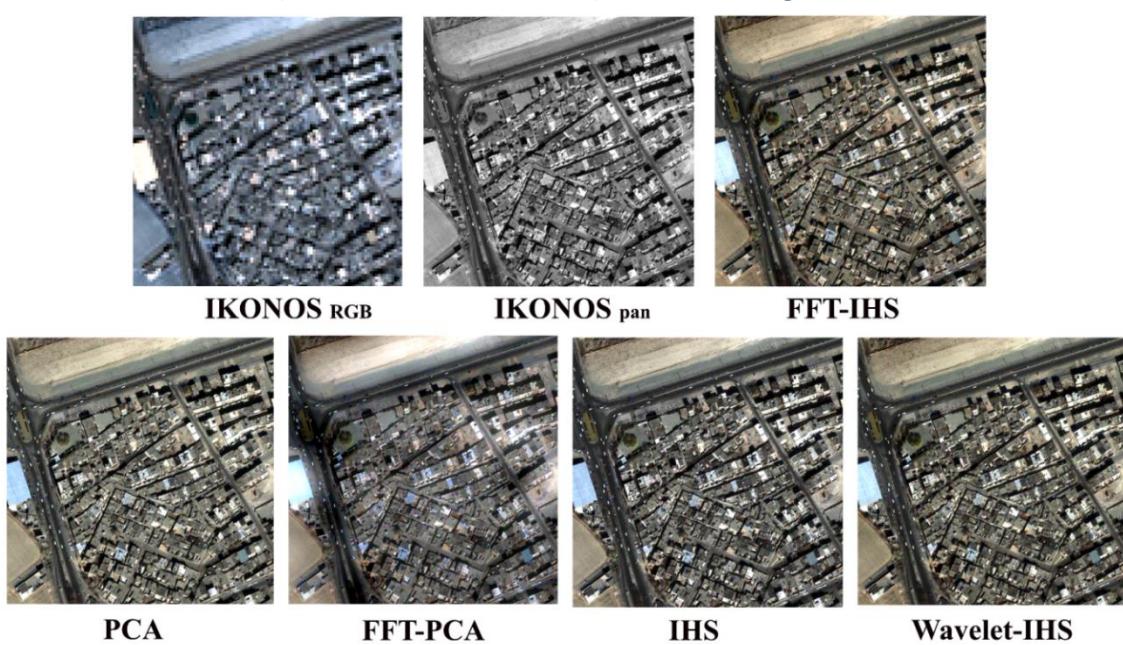
پس از انجام پردازش‌های مذکور روی دو مجموعه تصویر، تلفیق تصاویر مورد نظر با ۵ روش بیان شده پیاده‌سازی گردید و کیفیت تصاویر تلفیق شده با معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی موربدبرسی و ارزیابی قرار گرفت. شکل (۲ و ۳) ترکیب رنگی حاصل از تلفیق با روش‌های بیان شده روی دو مجموعه تصویر را نشان می‌دهد.

از لحاظ بصری همان‌طور که از شکل‌های (۲ و ۳) مشخص است نتایج همه روش‌های تلفیق استفاده شده در این تحقیق بهبود کیفیت مکانی را نشان می‌دهد.

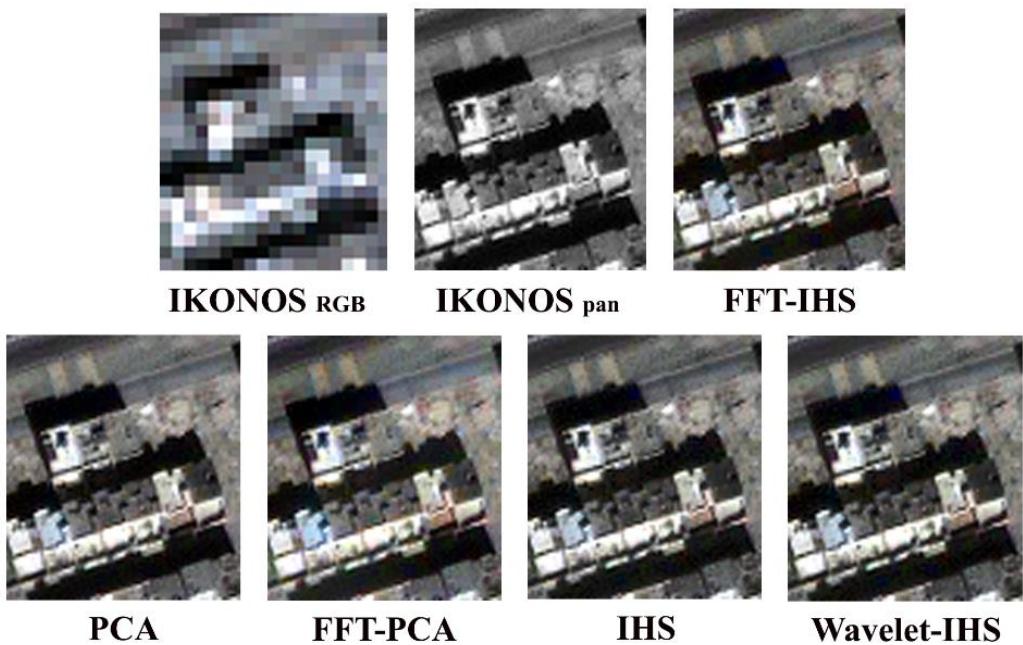
¹ Co-Registering



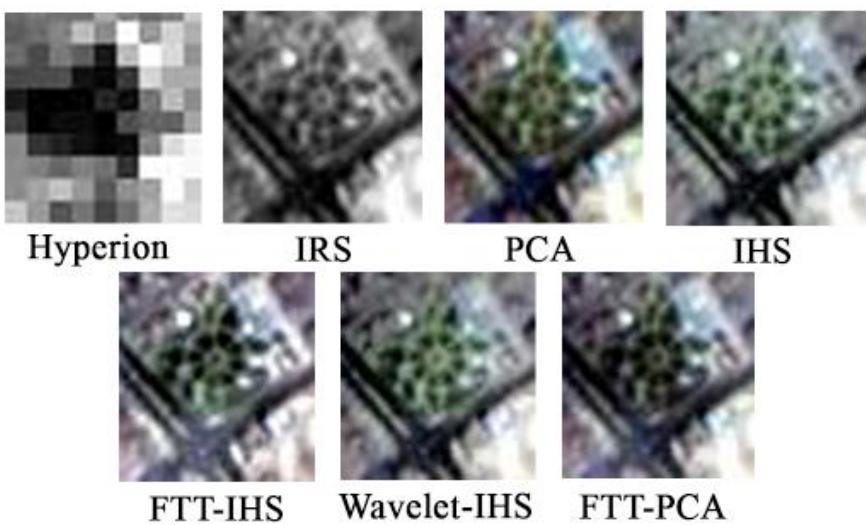
شکل ۲: تصاویر ترکیب رنگی حاصل از اعمال روش‌های تلفیق بر روی تصویرهای هایبریون و IRSPAN-1D



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



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

تصویر هایپریون در جدول (۲) و برای تصویر آیکونوس در جدول (۵) ارائه شده است که با توجه به نتایج ارائه شده در این جداول، به ترتیب روش FFT-PCA و PCA دارای دقیق‌تری هستند و درواقع روش PCA به دلیل جایگذاری کامل تصویر پانکروماتیک از نظر مکانی دقیق‌تری بهتری را حاصل می‌کنند.

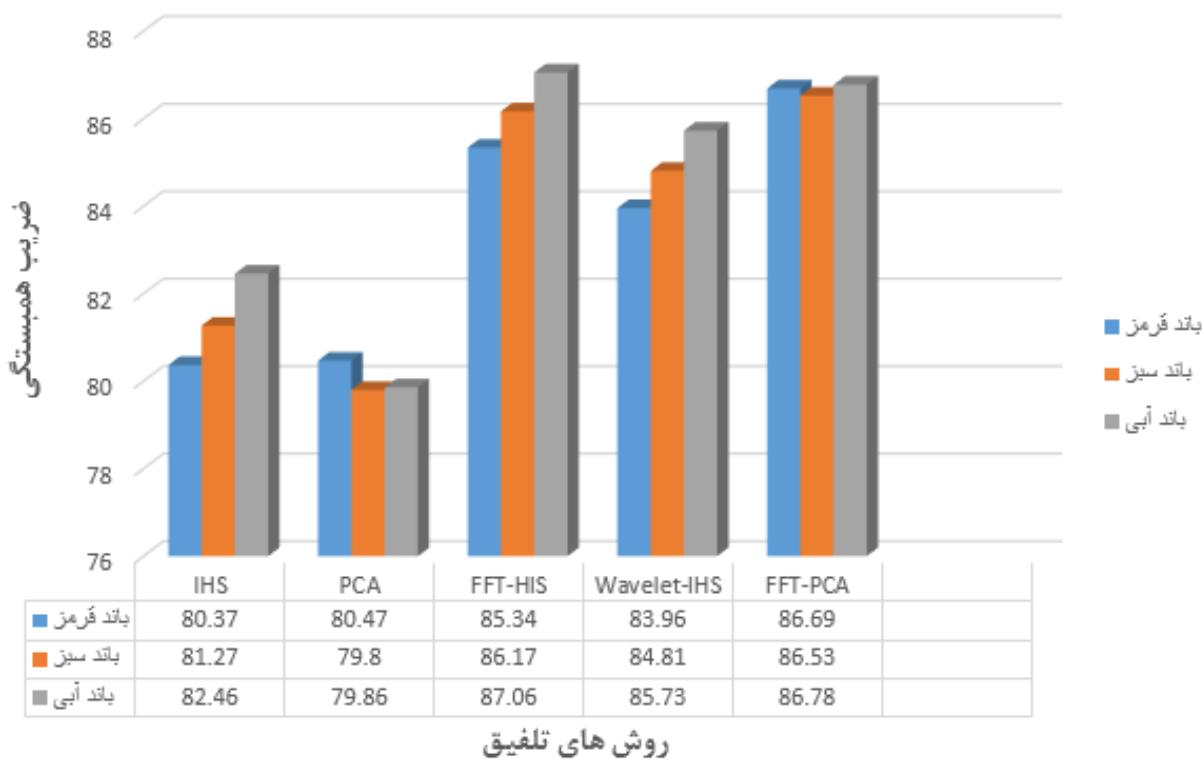
جهت ارزیابی دقیق‌تر تصاویر تلفیق شده از معیارهای بیان شده استفاده شده است. در این تحقیق جهت ارزیابی مکانی و هندسی از روش ضربی همبستگی فیلتر شده (FCC) استفاده شده است، هر چه قدر عدد این معیار بیشتر باشد نشان دهنده کیفیت مکانی بالای تصویر تلفیق شده است. نتایج ارزیابی با این روش برای

جدول ۲: نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت مکانی تصویر هایبریون تلفیق شده با معیار FCC

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

از بین این ۳ روش نیز، همان‌طور که در شکل (۶) نیز نشان داده شده 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.

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



شکل ۶: مقایسه همبستگی بین تصویر چندطیفی آیکونوس و تصویر تلفیق شده آیکونوس

استفاده گردید که نتایج ارزیابی با این معیارها در جدول (۴) برای تصویر هایپریون و جدول (۵) برای تصویر آیکونوس ذکر شده است. نتایج به دست آمده با این معیارها نیز مشابه نتایج قبل بود و در همه این معیارها روش FFT-PCA بالاترین دقیقت را دارا می باشد.

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

در مورد شاخص SNR نیز نتایجی مشابه با نتایج ضریب همبستگی حاصل شد. همان طور که بیان گردید بیشتر بودن این شاخص بیانگر کیفیت طیفی بالای روش مورد نظر است و در بین روش های پیاده سازی شده روش FFT-PCA در حفظ محتوای طیفی تصویر ابر طیفی و تصویر چندطیفی آیکونوس بهتر عمل کرده است. نتایج این معیار در جدول (۳ و ۵) ارائه شده است.

جهت ارزیابی بیشتر محتوای طیفی تصویر تلفیق شده، از آنجاکه معیار واحد یا منحصر به فردی جهت ارزیابی وجود ندارد، معیارهای RMSE و SAM، ERGAS

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

	CC	IHS	PCA	FFT-IHS	Wavelet-IHS	FFT-PCA
	SNR	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
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

جدول ۴: نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت طیفی تصویر هایپریون تلفیق شده با معیار RMSE و ERGAS

	RMSE	IHS	PCA	FFT-IHS	Wavelet-IHS	FFT-PCA
Red Band	30	0,048	0,050	0,046	0,037	0,036
	31	0,045	0,048	0,043	0,035	0,034
	33	0,049	0,052	0,044	0,038	0,035
	34	0,051	0,054	0,046	0,040	0,036
Green Band	22	0,042	0,038	0,039	0,032	0,027
	23	0,042	0,040	0,039	0,033	0,028
	24	0,046	0,044	0,041	0,036	0,030
	25	0,045	0,044	0,040	0,035	0,029
Blue Band	12	0,022	0,024	0,021	0,017	0,017
	13	0,026	0,026	0,025	0,021	0,018
	14	0,027	0,026	0,025	0,021	0,018
	15	0,029	0,028	0,026	0,023	0,019

ادامه جدول ۴ - بخش ۲

	ERGAS	IHS	PCA	FFT-IHS	Wavelet-IHS	FFT-PCA
Red Band	30	11,31	11,89	10,90	8,89	8,52
	31	11,34	12,09	10,82	8,92	8,64
	33	11,51	12,32	10,50	9,04	8,41
	34	11,54	12,15	10,29	9,03	8,16
Green Band	22	11,74	10,89	11,10	9,10	7,87
	23	11,69	11,08	10,99	9,09	7,92
	24	11,87	11,28	10,66	9,22	7,70
	25	11,73	11,40	10,40	9,14	7,88
Blue Band	12	11,19	11,91	10,92	8,84	8,54
	13	11,46	11,23	10,95	8,99	8,03
	14	11,64	11,30	10,64	9,14	7,71
	15	11,59	11,19	10,41	9,09	7,52

ادامه جدول ۴ - بخش ۳

SAM		IHS	PCA	FFT-IHS	Wavelet-IHS	FFT-PCA
Red Band	30	•١٨٨	•١٩٨	•١٨٢	•١٤٨	•١٤٢
	31	•١٨٩	•٢٠١	•١٨٠	•١٤٨	•١٤٤
	33	•١٩١	•٢٠٥	•١٧٤	•١٥٠	•١٤٠
	34	•١٩٢	•٢٠٢	•١٧١	•١٥٠	•١٣٦
Green Band	22	•١٩٧	•١٧٩	•١٨٦	•١٥٢	•١٢٨
	23	•١٩٦	•١٨٦	•١٨٤	•١٥٢	•١٣٣
	24	•١٩٩	•١٨٩	•١٧٩	•١٥٤	•١٢٩
	25	•١٩٦	•١٩١	•١٧٤	•١٥٢	•١٢٨
Blue Band	12	•١٨٦	•١٩٨	•١٨٢	•١٤٧	•١٤٢
	13	•١٩٢	•١٨٨	•١٨٣	•١٥٠	•١٣٤
	14	•١٩٥	•١٨٩	•١٧٨	•١٥٢	•١٢٩
	15	•١٩٤	•١٨٧	•١٧٤	•١٥٢	•١٢٦

جدول ۵: نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی تصویر آیکونوس تلفیق شده با معیارهای بیان شده

		IHS	PCA	FFT-IHS	Wavelet-IHS	FFT-PCA
CC	R باند	٨٠,٣٧	٨٠,٤٧	٨٥,٣٤	٨٣,٩٦	٨٦,٦٩
	G باند	٨١,٢٧	٧٩,٨٠	٨٦,١٧	٨٤,٨١	٨٦,٥٣
	B باند	٨٢,٤٦	٧٩,٨٦	٨٧,٠٦	٨٥,٧٣	٨٦,٧٨
FCC	R باند	٩٧,٢١	٩٩,٣٩	٩٨,٤٦	٩٧,١٧	٩٨,٣٥
	G باند	٩٧,٥٦	٩٩,٦١	٩٨,٧٨	٩٧,٥٤	٩٩,١٣
	B باند	٩٦,٨٧	٩٨,٩٦	٩٧,٧٠	٩٦,٨٣	٩٧,٤٢
SNR	R باند	٤,٢٩	٤,٣٠	٤,٩٨	٤,٦٢	٥,٢٥
	G باند	٤,٢٣	٤,٠٧	٤,٩٢	٤,٥٧	٤,٩٨
	B باند	٤,١٦	٣,٩٠	٤,٨٤	٤,٥١	٤,٧٨
ERGAS	R باند	١٤,٥٠	١٤,٤٦	١٢,٤٧	١٣,٥٩	١١,٨٣
	G باند	١٤,٧٨	١٥,٣٥	١٢,٧١	١٣,٨٠	١٢,٥٦
	B باند	١٥,١٠	١٦,١٢	١٣,٠٠	١٤,٠٨	١٣,١٩
SAM	R باند	٠,٢٣٤	٠,٢٣٣	٠,٢٠١	٠,٢١٧	٠,١٩٠
	G باند	٠,٢٣٦	٠,٢٤٥	٠,٢٠٣	٠,٢١٩	٠,٢٠٠
	B باند	٠,٢٣٩	٠,٢٥٦	٠,٢٠٦	٠,٢٢٢	٠,٢٠٩
RMSE	R باند	٠,٠٤٦	٠,٠٤٦	٠,٠٣٩	٠,٠٤٣	٠,٠٣٧
	G باند	٠,٠٤٢	٠,٠٤٤	٠,٠٣٦	٠,٠٣٩	٠,٠٣٦
	B باند	٠,٠٣٦	٠,٠٣٩	٠,٠٣١	٠,٠٣٤	٠,٠٣٢

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 در تلفیق 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.

در حالت کلی نتایج به دست آمده با کل معیارهای استفاده شده بیانگر این است که روش‌هایی که از جایگذاری جزئی تصویر پانکروماتیک جهت تلفیق استفاده می‌کنند از نظر 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، از نظر مکانی نیز تصویر با کیفیت مکانی خوبی را تولید می‌کند، همچنین محدودیت باندی نیز ندارد.

۴- نتیجه‌گیری

تلفیق دارای کاربردهای زیادی از جمله بهبود طبقه‌بندی و جایگذاری اطلاعات از دست رفته در یک تصویر با استفاده از تصویر سنجنده دیگر می‌باشد و روش‌های مختلفی جهت تلفیق تصاویر ارائه شده 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 به خوبی حفظ بکند. به همین دلیل مقایسه کمی و کیفی روش‌های تلفیق به عنوان یک نیاز احساس می‌شود. در این تحقیق نیز به بررسی و ارزیابی Wavelet-FFT-IHS، PCA و IHS و روش FFT-PCA بر روی دو مجموعه داده‌ی IRS-1D pan تصویر هایپریون و تصویر پانکروماتیک آیکونوس مربوط به نسیم شهر و تصویر چندطیفی و پانکروماتیک آیکونوس مربوط به شهریار پرداخته شد و نتایج تلفیق

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

- 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. Ghassemanian, "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-Audícan, 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. Ghassemanian, "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.



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 Zanj², Yasser Maghsoudi³

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