

تلفیق تصاویر سنجش از 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 نصیرالدین طوسی

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

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

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

چکیده

به منظور 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 مورد بررسی 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 روش‌های تلفیق (PCA (Principal Component Analysis), IHS (Intensity Hue Saturation), Wavelet-Intensity Hue Saturation) و Wavelet-IHS (Saturation) و FFT-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 (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse) و 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.

۱- مقدمه

امروزه پیدایش تصاویر ماهواره‌ای با پوشش دوره‌ای متناوب، 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 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 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

^۱ IHS، ^۲ PCA، گرام اشمیت^۳؛ (ii) نسبت بانندی و ترکیب‌های حسابی یا عددی از جمله الگوریتم برآوی و نسبت تغییرپذیری ترکیبی^۴؛ (iii) روش‌های مبتنی بر فیلتر و در حوزه فرکانس مانند FFT، فیلترهای بالاگذر، ویولت^۵ و کرولت^۶ [۳]. 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 بانندی 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 هایپریون و IRS پیشنهاد و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته است. سپس نتایج حاصل از این روش با روش‌های IHS، PCA، FFT_IHS و WAVELET_IHS مقایسه و ارزیابی شده است.

¹ Intensity Hue Saturation

² Principal Component Analysis

³ Gram Schmidt

⁴ Synthetic Variable Ratio

⁵ Wavelet

⁶ Curvelet

⁷ Fast Fourier Transform

۲- مواد و روش‌ها

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

۲-۱- منطقه مورد 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 مورد استفاده برای این منطقه، تصویر IRS-ID مربوط به سال ۲۰۰۴ با دقت مکانی ۶ متر و تصویر ابرطیفی هایپریون مربوط به سال ۲۰۰۴ با سطح پردازشی LIR با دقت مکانی ۳۰ متر می‌باشد. در واقع منظور از سطح پردازشی LIR 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 طیف سنج 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 مورد استفاده 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 درعین 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

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)

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

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

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.

۲-۲-۲- 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]. به‌طور کلی 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 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 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^۱ 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 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 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 از جمله فیلترهای هنینگ^۲، باتوروس^۳ و گوسین^۴ می‌توان استفاده کرد.

۲-۲-۴- روش Wavelet-IHS

این روش از جمله 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 زیر تصویر تقریب و به ضرایب LH, HL 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

² Hanning³ Butterworth⁴ Gussian¹ 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 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 تلفیق شده استفاده شده 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 به درستی به کیفیت تصویر تلفیق شده پی برد و باید از معیارهای ارزیابی طیفی دقیق‌تری جهت کنترل کیفیت طیفی بهره برد.

۲-۳-۲- 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 ۱+ نزدیک تر 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. در نهایت 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 FFT-PCA

در روش 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]. در روش 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
- نمونه برداری 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 بلاگذر روی تصویر پانکروماتیک و فیلتر پایین گذر بر روی مؤلفه اصلی اول در فضای فوریه

¹ Correlation Coefficient

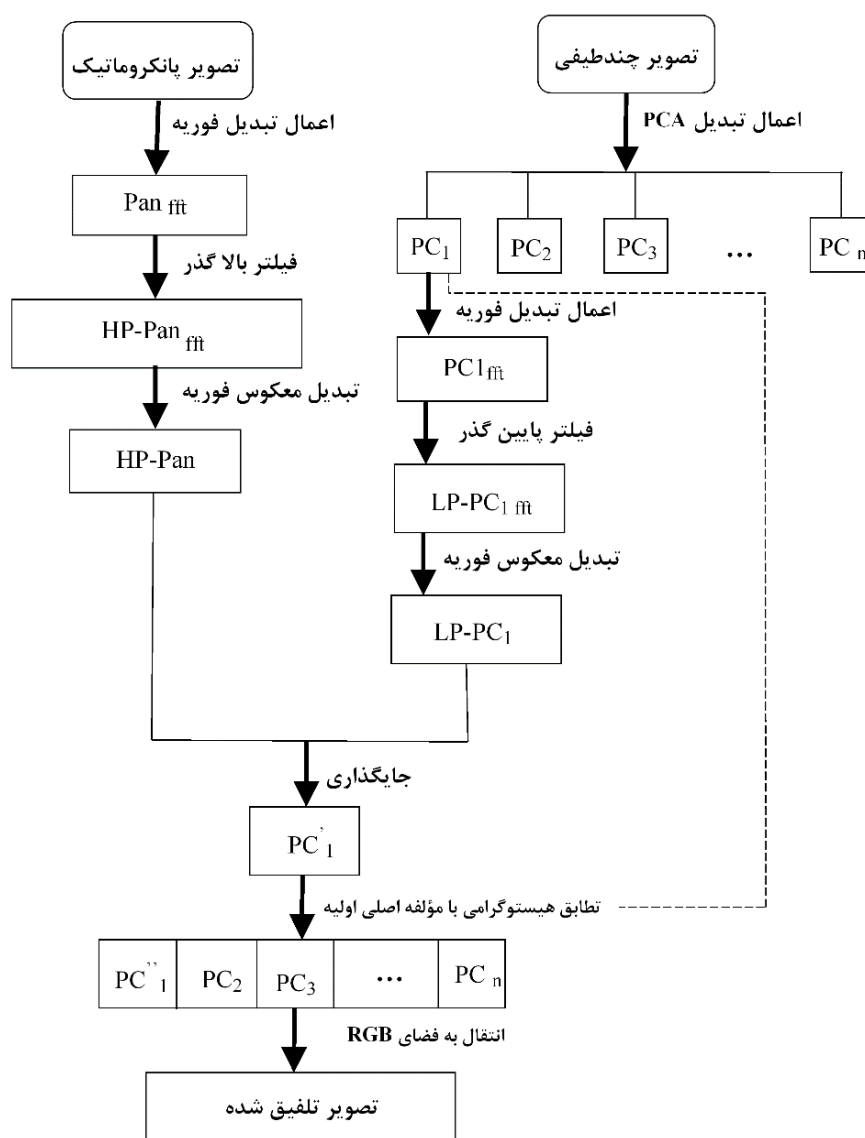
شبهات بیشتر اطلاعات طیفی تصویر تلفیق شده با تصویر چندطیفی است.

با استفاده از رابطه (۳) می توان 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 پیکسل های k امین باند تصویر چندطیفی و تلفیق شده و \bar{M}_k و \bar{F}_k بیانگر میانگین پیکسل های k امین باند تصویر چندطیفی و تلفیق شده هستند.



شکل 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.

۲-۳-۶- شاخص 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 سائز تصویر چندطیفی و پانکروماتیک، $\mu(n)$ میانگین n امین باند و N تعداد باندها می‌باشد.

۲-۳-۷- معیار (SAM)^۲

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 مورد نظر می‌پردازد که هرچقدر مقدار این معیار کوچک‌تر باشد یعنی زاویه بین طیف‌ها کوچک‌تر است و به همین دلیل طیف مورد نظر به طیف مرجع شباهت بیشتری دارد. با استفاده از رابطه (۸) می‌توان این معیار را جهت ارزیابی محاسبه کرد [۱۴].

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)

$$SNR_k = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j (F_k(i, j))^2}{\sum_i \sum_j (F_k(i, j) - M_k(i, j))^2}}$$

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

۲-۳-۴- 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 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].

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

۲-۳-۵- خطای کمترین مربعات^۱ (RMSE)

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

^۲ Spectral Angle Mapper

^۱ Root Mean Square Error

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 رفرنس، 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 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 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 باقی مانده 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^۲ موجود در نرم‌افزار ENVI استفاده شده است. همچنین باندهای جذب بخار آب پس از تصحیح اتمسفریکی حذف خواهند شد.

سپس نوارهای بد قائل در تصویر که به دلیل عدم کالیبره صحیح آشکارسازها به وجود می‌آیند بایستی شناسایی 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 پراکندگی زاویه با موقعیت میدان دید و روش‌های مورد استفاده 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 مورد استفاده قرار گرفت. تصاویر هایپریون محدوده طیفی ۴۰۰-۲۵۰۰ نانومتر را پوشش می‌دهند در صورتی که محدوده طیفی پوشش داده شده توسط

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 خطا، ۱۲ بانندی که نتایج دقیق‌تر و بهتری تولید می‌کردند جهت انجام تلفیق انتخاب شده است. مشخصات این باندها در جدول (۱) بیان شده است.

IRSPAN-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 مورد استفاده 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 به‌طور مشخص تری 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.

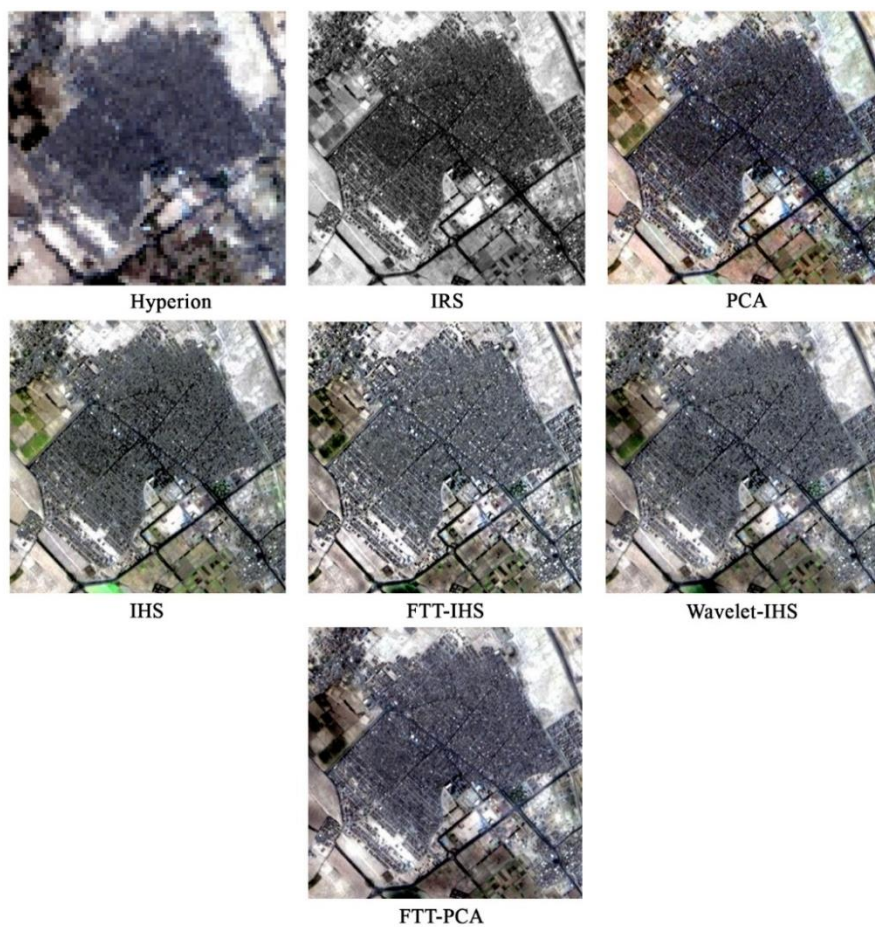
سپس تصحیح هندسی روی تصویر هایپریون و تصویر پانکروماتیک IRS-1D انجام گرفت. جهت انجام تلفیق باید پیکسل‌های متناظر دو تصویر نسبت به هم رجیستر^۱ باشند. همچنین تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک آیکونوس به دلیل اینکه تصحیح هندسی روی آن‌ها انجام شده بود، و به‌طور خیلی دقیقی نسبت به هم رجیستر بودند، تصحیح هندسی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

۳-۲- پیاده‌سازی روش‌های تلفیق بیان شده

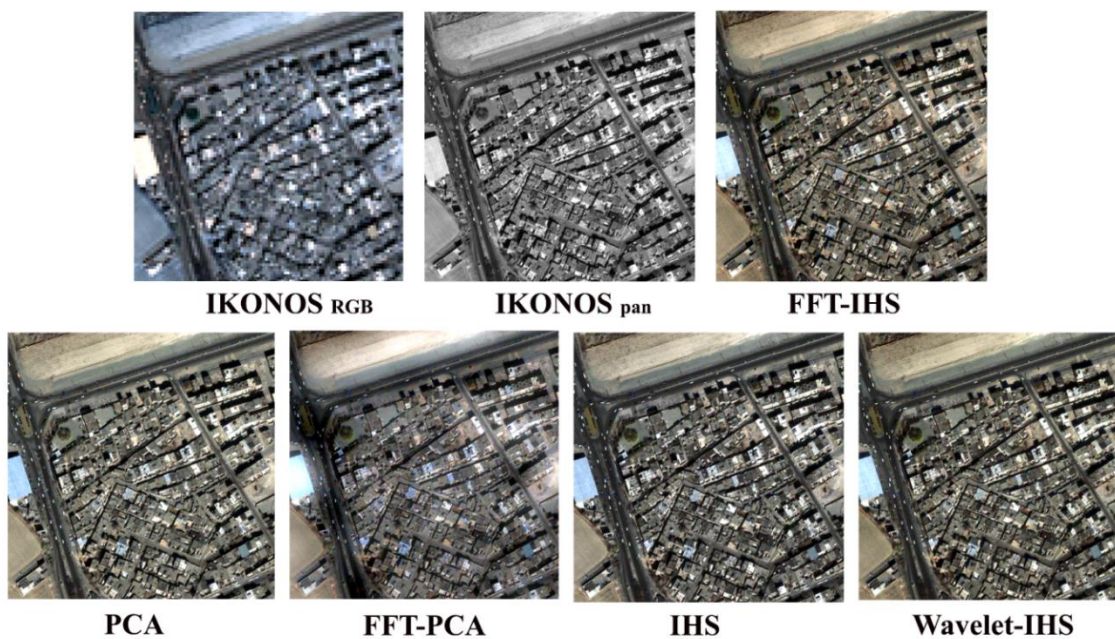
پس از انجام پردازش‌های مذکور روی دو مجموعه تصویر، تلفیق تصاویر مورد نظر با ۵ روش بیان شده پیاده‌سازی گردید و کیفیت تصاویر تلفیق شده با معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. شکل (۲) و (۳) ترکیب رنگی حاصل از تلفیق با روش‌های بیان شده روی دو مجموعه تصویر را نشان می‌دهد.

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 تصویر هایپرینون و IRSPAN-1D



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



IKONOS RGB IKONOS pan FFT-IHS



PCA FFT-PCA IHS Wavelet-IHS

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



Hyperion IRS PCA IHS



FTT-IHS Wavelet-IHS FTT-PCA

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 آیکنوس در جدول (۵) ارائه شده است که با توجه به نتایج ارائه شده در این جداول، به ترتیب روش PCA و FFT-PCA دارای دقت بالاتری هستند و در واقع روش PCA به دلیل جایگذاری کامل تصویر پانکروماتیک از نظر مکانی دقت خیلی بهتری را حاصل می‌کند.

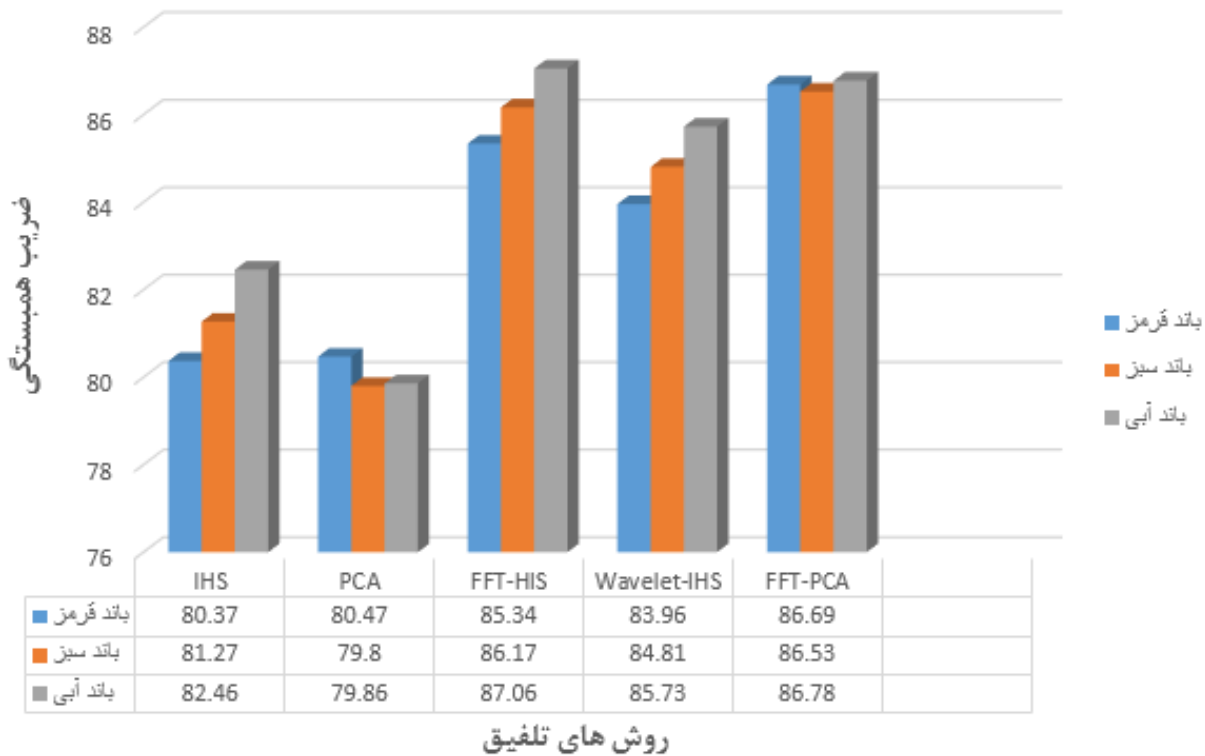
جهت ارزیابی دقیق‌تر تصاویر تلفیق شده از معیارهای بیان شده استفاده شده است. در این تحقیق جهت ارزیابی مکانی و هندسی از روش ضریب همبستگی فیلتر شده (FCC) استفاده شده است، هر چه قدر عدد این معیار بیشتر باشد نشان‌دهنده کیفیت مکانی بالای تصویر تلفیق شده است. نتایج ارزیابی با این روش برای

جدول ۲: نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت مکانی تصویر هایپر یون 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	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

از بین این ۳ روش نیز، همان طور که در شکل (۶) نیز نشان داده شده است، روش FFT-PCA دارای بیشترین ضریب همبستگی می باشد، یعنی نسبت به روش های دیگر اعوجاج طیفی کمتری را ایجاد می کند و در حفظ محتوای طیفی تصویر چندطیفی و یا ابرطیفی موفق تر 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 می باشد، با توجه به نتایج جدول (۳ و ۵) روش های Wavelet-PCA، FFT-PCA، و IHS، تصاویر باکیفیت 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 دقت 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 دقت بالای روش FFT-PCA است.

در مورد شاخص SNR نیز نتایج 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 ابرطیفی 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 منحصربه فردی جهت ارزیابی وجود ندارد، معیارهای ERGAS، SAM و RMSE نیز

جدول ۳: نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت طیفی تصویر های بیرون تلفیق شده 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

جدول ۴: نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت طیفی تصویر هایپریون تلفیق شده 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

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 تلفیق شده با معیارهای بیان شده

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

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 از لحاظ کیفیت طیفی نسبت به روش‌های دیگر دقت کمتری داشت ولی از لحاظ 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- نتیجه گیری

تلفیق دارای کاربردهای زیادی از جمله بهبود طبقه بندی 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 روش‌های تلفیق IHS، PCA، IHS، FFT-IHS، Wavelet- و روش IHS و روش FFT-PCA بر روی دو مجموعه داده‌ی تصویر هایپریون و تصویر پانکروماتیک IRS-1D pan 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. Pohl, "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. 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-Sharpned 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 Zoej², 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