

ادغام تصاویر ماهواره‌ای به روش FastIHS با استفاده از اطلاعات منحنی‌های پاسخ طیفی سنجنده

کوثر کبیری^۱

سید باقر فاطمی نصرآبادی^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۲/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۲/۱۳

چکیده

یکی از روش‌های ساده و معروف ادغام تصاویر ماهواره‌ای، روش IHS می‌باشد. برطبق مطالعات گذشته، هنگامی که نسخه‌های مختلف روش IHS روی تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا اجرا می‌گردد، اعوجاجات فراوانی به علت تفاوت منحنی پاسخ طیفی تصویر چند طیفی و تصویر پانکروماتیک به وجود می‌آید. در این تحقیق از اطلاعات مفید منحنی پاسخ طیفی تصویر چند طیفی و باند پانکروماتیک سنجنده در فرایند ادغام استفاده شده است. براساس روش ادغام FIHS، هفت حالت مختلف برای تشکیل تصویر شدت با در نظر گرفتن ضرایبی که با استفاده از منحنی‌های پاسخ طیفی سنجنده محاسبه می‌شوند، بررسی شده‌اند. به این صورت که وضعیت قسمت‌های مشترک و غیرمشترک منحنی‌های پاسخ طیفی سنجنده‌های چند طیفی و پانکروماتیک ارزیابی می‌گردند و ضرایب مختلفی برای باندهای چند طیفی در محاسبه مؤلفه شدت برآورد می‌شوند. سپس ادغام به روش FIHS بر اساس مؤلفه شدت جدید انجام می‌شود. این نتایج به وسیله سه معیار طیفی و یک معیار لبه بررسی گردید. با توجه به نتایج متفاوت حاصل از معیارها بر اساس چهار معیار گفته شده یک رتبه‌بندی انجام گردید و بر اساس آن روش‌های مورد آزمون رتبه‌ای از ۱ تا ۸ گرفتند. نتایج محاسبه معیارهای طیفی و مکانی گوناگون نشان می‌دهند که استفاده از قسمت‌های خارج از منحنی پاسخ طیفی باند پانکروماتیک بهترین نتیجه را حاصل می‌کند. روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های ادغام IHS با استفاده از منحنی پاسخ طیفی بهتر عمل می‌کند. سرعت و دقت مطلوب از نتایج استفاده از اطلاعات منحنی پاسخ طیفی باندهای سنجنده‌ها در ادغام تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ادغام تصاویر، IHS، منحنی پاسخ طیفی

۱- دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان k.kabiri@tm.ui.ac.ir

۲- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول) sb.fatemi@eng.ui.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه بسیاری از سنجنده‌های پرکاربرد و در دسترس مانند SPOT, Landsat8، GeoEye-1، و QuickBird یک تصویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا^۱ و تصویری چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی پایین^۲ را ثبت می‌کنند. این به آن دلیل است که در طراحی سنجنده‌های چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی بهتر، به دلایل فنی و شرایط ذخیره‌سازی و پهنای باند انتقال تصاویر از ماهواره به ایستگاه زمینی محدودیت وجود دارد (al, 2008). قدرت تفکیک طیفی بالاتر تصاویر چند طیفی می‌تواند پتانسیل تفکیک کلاس‌های مختلف را بالاتر ببرد. (Xie, 2019) در مقابل تفکیک کلاس‌های مختلف در یک تصویر پانکروماتیک دشوارتر است، اما قدرت تفکیک مکانی بالاتر تصویر پانکروماتیک منجر به مشخص‌تر شدن ساختارها و مرز بین عوارض می‌شود (al M. G.-A. 2004). در بسیاری از کاربردها مانند کشف تغییرات، استخراج ویژگی‌ها، طبقه‌بندی پوشش‌های زمینی و نظارت بر محیط‌زیست اغلب برای رسیدن به نتایج بهینه به تصاویری با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا نیاز است (Verde, 2018). در پاسخ به این نیازها، ادغام تصاویر می‌تواند یک راه‌حل قدرتمند باشد؛ به این صورت که به‌طور هم‌زمان از تصویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بهتر و تصویر چند طیفی با قدرت تفکیک طیفی بهتر استفاده شود تا قدرت مکانی تصویر چندطیفی بهبود یابد (R. Haydn, 1982). به عبارت دیگر، برای کاربران تصاویر چندطیفی در زمینه‌های کاربردی مختلف، ادغام تصاویر یک تکنیک کارآمد و مقرون‌به‌صرفه است (Kim, 2011).

روش‌های ادغام متعددی در طی دهه‌های اخیر برای تولید تصاویر چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی بالا در سطح پیکسل پیشنهاد شده است. به طور کلی می‌توان روش‌های ادغام تصاویر را به دو دسته اصلی تقسیم کرد:

۱. روش‌های ادغام بر اساس یک تبدیل در فضای چندطیفی

1- (HRP) High-Resolution Panchromatic

2- (LRM) Low-Resolution Multispectral

و جایگزینی مؤلفه^۳

۲. روش‌های ادغام که بر اساس آنالیزهای چند مقیاسی^۴ صورت می‌گیرد (al B. A. 2009).

روش‌های ادغام مبتنی بر جایگزینی مؤلفه مانند HIS و روش‌های آنالیز مؤلفه اصلی^۵ محاسبات کمتری دارند و محصولات با کیفیت بصری به نسبت بالایی ارائه می‌دهند، اما در برخی اوقات اعوجاج طیفی قابل توجهی تولید می‌کنند. (Kim, 2011) روش‌های مبتنی بر جایگزینی مؤلفه شامل سه مرحله هستند: پس از پیش‌پردازش‌های لازم، ابتدا یک تبدیل روی تصویر چند طیفی انجام می‌شود^۶ و تصویر به فضای جدید برده می‌شود. سپس بانندی که بیشترین قدرت تفکیک مکانی را دارد در فضای جدید، جایگزین مؤلفه‌ای که بیشترین شباهت را به تصویر پانکروماتیک دارد می‌شود. در آخر تبدیل معکوس برای رسیدن به تصویر ادغام‌شده نهایی، انجام می‌شود (Loncan, 2015). این روش‌ها برای تفسیر بصری مناسب می‌باشند، با این حال، در سنجش از دور کیفیت اطلاعات طیفی برای روش‌های مختلفی که بر اساس امضای طیفی^۷ کار می‌کنند حائز اهمیت هستند. هر سنجنده‌ای منحنی پاسخ طیفی (SRF) منحصر به فردی دارد. این منحنی‌های پاسخ طیفی، ویژگی‌های ذاتی هر سنجنده را بیان می‌کنند. به طور کلی بین منحنی پاسخ طیفی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا و تصاویر چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی پایین مطابقت کامل وجود ندارد، به همین علت در روش‌های مبتنی بر جایگزینی مؤلفه در تصویر ادغام‌شده اعوجاجات طیفی ظاهر می‌شوند (al B. A. 2009).

در مقابل، پیاده‌سازی روش‌های چند مقیاسی با استفاده از اعمال فیلترها در سطوح چندگانه روی باندهای تصویر انجام می‌شود (al Z. W. 2005). یکی از این روش‌ها، روش موجک مبتنی بر آنالیزهای چند مقیاسی است که کیفیت طیفی بهتری برای تصویر فراهم می‌کند؛ گرچه ممکن است بعضی از جزئیات مکانی تصویر

3- Component Situation (CS)

4- Multi resolution-Based Fusion (MRA)

5- Principal Component Analysis (PCA)

6- Forward Transform

7- spectral signature

منحنی پاسخ طیفی سنجنده احتمال وقوع فوتون در یک فرکانس معلوم (ν) را تعیین می‌کند. در اینجا منحنی‌های پاسخ طیفی باند پانکروماتیک و باندهای سنجنده چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی پایین به ترتیب با $\Phi(\nu)$ و $\phi_i(\nu)$ نشان داده می‌شوند (Kim, 2011). اگر m_i اتفاق شناسایی یک فوتون توسط سنجنده چند طیفی باشد احتمال وقوع آن برابر است با:

$$p(m_i) = \int \phi_i(\nu) d\nu \quad (1)$$

به‌طور مشابه، احتمال یک فوتون شناسایی شده توسط سنجنده پانکروماتیک را می‌توان با احتمال وقوع p تعریف کرد:

$$p(p) = \int \phi(\nu) d\nu \quad (2)$$

از نظر هندسی احتمال وقوع m_i و p می‌تواند مساحت ناحیه زیر منحنی پاسخ طیفی مربوط به خودشان باشد. برای سنجنده GeoEye-1 (نگاره ۱) ناحیه محصور به منحنی پاسخ طیفی باند پانکروماتیک ($\Phi(\nu)$) بزرگ‌تر از منحنی پاسخ طیفی باندهای سنجنده چند طیفی ($\phi_i(\nu)$) می‌باشد. این به این معنی است که برای یک شی مشاهده شده، آشکارساز پانکروماتیک فوتون‌های بیشتری را نسبت به هر کدام از سنجنده‌های تصویر چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی کمتر تشخیص می‌دهد. احتمال وقوع m_i به شرط وقوع p به صورت زیر می‌شود:

$$P(m_i | p) = \frac{p(m_i \cap p)}{P(p)} \quad (3)$$

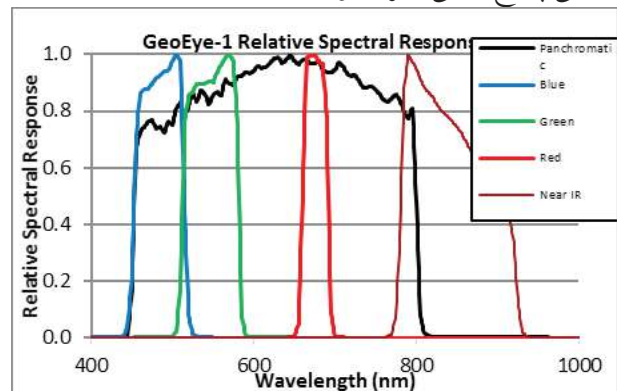
که در آن $P(m_i \cap p)$ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$p(m_i \cap p) = \int \min(\phi_i, \phi) d\nu \quad (4)$$

برای درک تأثیر پاسخ طیفی در تلفیق تصاویر، پاسخ طیفی که در نگاره ۱ نشان داده شده است، به‌طور دقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حالت ایده آل برای ادغام داده‌ها، باندهای چند طیفی باید با محدوده طیفی باند پانکروماتیک

با قدرت تفکیک مکانی بالا از دست برود (alZ. W. 2005). یک روش ادغام تصاویر مناسب مستلزم این است که جزئیات مکانی تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا به تصویر چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی پایین تزریق شود درحالی‌که اطلاعات طیفی تصویر چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی پایین نیز حفظ شود، و همچنین در صورت امکان هزینه‌های محاسباتی تصویر ادغام‌شده نیز کاهش یابد. این به این معنی است که خصوصیات رفتاری عوارض و سنجنده باید در فرآیند ادغام در نظر گرفته شوند. برای این منظور روش‌های متعددی ارائه شده‌اند. یکی از روش‌های در نظر گرفتن رفتار سنجنده، استفاده از اطلاعات منحنی پاسخ طیفی سنجنده است (Hoa L. N. 2016). ویژگی‌های منحنی‌های پاسخ طیفی هر سنجنده، کلید درک و استفاده مناسب از داده‌های آن سنجنده می‌باشند (Barsi, 2014).

سنجنده‌ها در قبال انرژی‌هایی که در طول موج‌های مختلف به آن‌ها می‌رسند، رفتار یکسانی ندارند، بلکه عملکردشان براساس منحنی پاسخ طیفی سنجنده می‌باشد (Beirle, 2017). اگر اثر اتمسفر صرف‌نظر نماییم، به‌طور کلی انرژی دریافتی سنجنده عمدتاً به دو عامل بستگی دارد. اول خواص طیفی اشیاء که میزان تولید یا انعکاس انرژی الکترومغناطیس از آن‌ها را مشخص می‌کند. دوم منحنی پاسخ طیفی که از خصوصیات سنجنده محسوب می‌شود (Otazu, 2005). هر باند سنجنده یک منحنی پاسخ طیفی ویژه خود را دارد.



نگاره ۱. منحنی پاسخ طیفی باندهای سنجنده Geoeye1 (Morales, 2011)

سنجنده را به طور مؤثر در ادغام تصاویر بکار بردند. در این کار برای محاسبه وزن باندهای تصویر چند طیفی در تشکیل مؤلفه شدت، از احتمال وقوع باند پانکروماتیک به شرط وقوع تصویر چند طیفی استفاده شده است. برای محاسبه این احتمال، نسبت مساحت قسمت مشترک منحنی پاسخ طیفی باند پانکروماتیک و باند چند طیفی به مساحت زیر منحنی پاسخ طیفی باندهای تصویر چندطیفی استفاده شده است. در تجربه‌ای با استفاده از تصاویر IKONOS، روش پیشنهادشده، نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌های ادغام IHS و موجک نشان می‌دهد.

Hoa و همکاران در سال ۲۰۱۶ نیز برای افزایش قدرت تفکیک مکانی تصویر چندطیفی سنجنده VNREDSat-1 از اطلاعات منحنی پاسخ طیفی در روش IHS استفاده کرده‌اند. از ویژگی‌های مهم این سنجنده این است که سه باند R، G، B دارای حساسیت طیفی مشابه هستند و باند پانکروماتیک تمام سه باند R، G، B را پوشش می‌دهد (Hoa, 2016). از طرفی باند مادون قرمز خارج از محدوده باند پانکروماتیک است و همچنین در منحنی پاسخ طیفی سنجنده، تغییرات باند مادون قرمز تقریباً دو برابر بیشتر از باندهای R، G، B می‌باشد. این محققان تلاش کردند در ادغام تصاویر، از عدم شباهت حساسیت طیفی باندهای مختلف در منحنی پاسخ طیفی سنجنده استفاده کنند؛ بنابراین برای محاسبه وزن‌های روش ادغام IHS دو راهکار پیشنهاد دادند. در راهکار اول وزن‌های روش IHS را براساس معکوس فاصله مرکز تصویر چندطیفی از مرکز باند پانکروماتیک محاسبه نمودند. در راهکار دوم وزن‌ها براساس میزان همبستگی بین باند پانکروماتیک و تصویر چندطیفی تعیین شده است. نتایج تحقیقات ایشان نشان می‌دهد حالت اول وزن دهی، یعنی براساس فاصله مراکز باندها، نتایج بهتری برای ادغام به دست داده است. علیرغم اطلاعات ویژه‌ای که منحنی پاسخ طیفی سنجنده می‌تواند در فرآیند ادغام وارد نماید، تحقیقات محدودی در این زمینه انجام پذیرفته است. به‌عنوان مثال در هیچ‌کدام از کارهای انجام‌شده قسمت‌های غیرمشترک باند

همپوشانی کامل داشته باشند (Teague, 2001). با این حال، مشاهده می‌شود که علیرغم این که باندهای سبز و آبی به‌طور قابل ملاحظه‌ای با باند پانکروماتیک همپوشانی دارند؛ ولی بخشی از همه باندها بویژه باند مادون قرمز، در خارج از باند پانکروماتیک قرار گرفته است. بدیهی است، مشکل اعوجاج رنگ در تلفیق IHS ناشی از چنین ناسازگاری هاست، زیرا باند پانکروماتیک و مؤلفه شدت از لحاظ طیفی مشابه نیستند (Choi, 2006). از سوی دیگر، پوشش گیاهی با انعکاس نسبتاً بالا در باندهای مادون قرمز و پانکروماتیک ظاهر می‌شود، درعین حال بازتاب کمتری در باندهای RGB دارند. از آنجا که اثر باند مادون قرمز در مؤلفه شدت، برای مناطق با پوشش گیاهی سبز گنجانده نشده است، مقادیر DN در مؤلفه شدت بسیار کوچک‌تر از مقادیر پانکروماتیک هستند. همین موضوع منجر به اعوجاج رنگی قابل توجهی در مناطق با پوشش گیاهی سبز در تصویر ادغام‌شده می‌شود (Tu, 2004). برای در نظر گرفتن این موضوع پژوهشگران روش‌های مختلفی را پیشنهاد داده‌اند.

González و Audícana در سال ۲۰۰۶ (González-Audícana, 2006) روش ادغام IHS را برای تصاویر IKONOS به کار بردند. برای به دست آوردن ضرایب باندهای تصویر چندطیفی در مؤلفه شدت از نسبت مساحت زیر نمودار باندهای تصویر چند طیفی به مساحت زیر نمودار پانکروماتیک در منحنی پاسخ طیفی سنجنده استفاده کردند و توانستند نتایج را بهبود دهند. برای بالا بردن کیفیت فرآیند ادغام، ضروری است که مقدار اعوجاج را کاهش داد. به این دلیل ایشان اطلاعات منحنی پاسخ طیفی باند مادون قرمز را نیز در محاسبه مؤلفه شدت دخالت دادند. حسن روش ارائه‌شده توسط González و Audícana نه تنها بالا بردن سرعت محاسبات برای ادغام تصویر است، بلکه توانایی تعمیم ادغام برای چهار باند را نیز دارا است. همچنین در سال ۲۰۱۱، Kim و همکارانش (Kim, 2011) روش کارآمد GIHS¹ را با استفاده از منحنی پاسخ طیفی سنجنده ارائه دادند و پارامترهای فیزیکی

1- Generalized Intensity Hue Saturation

$$\delta^{new} = Pan - I^{new} \quad (6)$$

w_i پارامتر وزن است که می‌تواند بر اساس مقدار همپوشانی طیفی بین باندهای تصویر چندطیفی و پانکروماتیک مشخص شود. در ادامه برای محاسبه w_i ها، راهکارهای مختلف براساس استفاده از منحنی‌های پاسخ طیفی بررسی خواهد شد.

راهکار اول برای محاسبه وزن‌ها در رابطه ۵ (w_i) استفاده از رابطه احتمالاتی (۷) می‌باشد (González-Audícana, 2006). به‌طور مشابه، با توجه به فوتون شناسایی شده توسط سنجنده چندطیفی، احتمال تشخیص آن فوتون توسط سنجنده پانکروماتیک به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P(p|m_i) = \frac{P(m_i \cap p)}{P(m_i)} \quad (7)$$

بنا به تحقیقات انجام‌شده وزن‌های به دست آمده از رابطه ۱۲ برای ترکیب مؤلفه شدت توانسته تا حدودی اعوجاج طیفی را کاهش دهد (González, Audícana, 2006). این به آن معنی است که مؤلفه شدت با تصویر پانکروماتیک ارتباط بیشتری پیدا کرده است.

در راهکار دوم ضرایب باندها، از رابطه (۸)، که ترکیبی از دو رابطه ۵ و ۷ می‌باشد، محاسبه می‌شود. به بیانی دیگر معیار انتخاب وزن‌های مربوط به مؤلفه شدت (رابطه ۵)، نسبت مساحت زیر نمودار باند نام به مساحت زیر نمودار پانکروماتیک می‌باشد (González-Audícana, 2006).

$$w_i = \frac{P(m_i | p)}{P(p | m_i)} \quad (8)$$

با توجه به اینکه در سنجنده GeoEye-1 مساحت زیر منحنی مادون قرمز بزرگ‌تر از بقیه باندهاست و در ضمن بیرون‌زدگی آن از پانکروماتیک در محاسبه وزن‌ها در نظر گرفته نمی‌شود این روش نمی‌تواند گزینه کاملاً مناسبی برای این سنجنده باشد؛ با این حال به عنوان یکی از راهکارها در

پانکروماتیک و تصویر چندطیفی در وزن‌ها لحاظ نشده است. یا نسبت مساحت بخش‌های مختلفی که به صورت مشترک و غیرمشترک در منحنی‌های پاسخ طیفی دو سنجنده چند طیفی و پانکروماتیک دیده می‌شوند به‌طور محدودی در نظر گرفته شده است. در تحقیق حاضر هدف، استفاده بهینه و کامل از اطلاعات منحنی پاسخ طیفی سنجنده در ادغام تصاویر در سطح پیکسل است. اساس روش ادغام پیشنهادی بر پایه روش ادغام IHS می‌باشد به‌نحوی که با تزریق اطلاعات مکانی به تصویر چندطیفی، اطلاعات طیفی نیز تا حدودی نسبت به روش ساده IHS بیشتر حفظ شود. مهم‌ترین بحث در این روش ادغام، نحوه تولید مؤلفه شدت است.

در این تحقیق سعی شده است برای بهبود نتیجه ادغام، حالت‌های مختلف ضرایب براساس رفتار طیفی دو سنجنده پانکروماتیک و چندطیفی بررسی و ارزیابی شود. بر این اساس وضعیت قسمت‌های مشترک و غیرمشترک منحنی‌های پاسخ طیفی سنجنده‌ها بررسی و ارزیابی می‌گردند و ضرایب مختلفی برای باندهای چندطیفی برای محاسبه مؤلفه شدت محاسبه می‌گردند. سپس ادغام به روش IHS بر اساس مؤلفه شدت جدید انجام پذیرفته و نتایج با یکدیگر مقایسه می‌گردند.

در تحقیق حاضر، مؤلفه شدت به صورت یک ترکیب خطی از باندهای تصویر اصلی تصویر چندطیفی محاسبه می‌شود. برای محاسبه ضرایب این ترکیب خطی، با در نظر گرفتن این که انرژی‌های رسیده از اشیاء به سنجنده از منحنی پاسخ طیفی سنجنده مطابقت دارد، از اطلاعات این منحنی‌ها در باندهای مختلف استفاده می‌شود. در نتیجه، با استفاده از منحنی پاسخ طیفی سنجنده، وزن‌های مناسب محاسبه می‌شود و مؤلفه شدت جدیدی که بیشتر با تصویر پانکروماتیک منطبق است، به دست می‌آید. در نتیجه، مؤلفه شدت می‌تواند مطابق

$$\text{با رابطه (۵) محاسبه شود: (Aiazzi, 2007)} \\ w1 \times B + w2 \times G + w3 \times R + w4 \times NIR \quad (5)$$

این تحقیق مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در راهکار سوم، وزن‌های W_i براساس معکوس فاصله مراکز هر باند نام از مرکز پانکروماتیک بدست می‌آید (Hoa, 2016).
 ۲ متر و ابعاد آن 400×300 پیکسل می‌باشد و همچنین قدرت تفکیک مکانی تصویر پانکروماتیک $0/5$ متر و ابعاد آن 1600×1200 پیکسل می‌باشد. در جدول ۱ مشخصات سنجنده GeoEye-1 ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات سنجنده GeoEye-1

Spatial resolution(m)	HRP	0.5	
	LRM	2	
Spectral resolution (nm)		Spectral range	Center of band wavelength
	Blue	446-522	484nm
	Green	506-587	547nm
	Red	655-697	676nm
	NIR	773-929	851nm
	HRP	450-808	627nm
Radiometric Resolution (bit)		11	

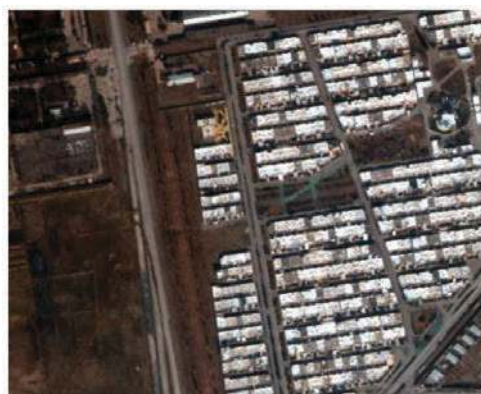
تصویر ماهواره‌ای دوم متعلق به سنجنده worldview-3 شامل یک تصویر پانکروماتیک و یک تصویر چندطیفی است، قدرت تفکیک مکانی تصویر چندطیفی $1/24$ متر و ابعاد آن 5000×5000 پیکسل می‌باشد و همچنین قدرت تفکیک مکانی تصویر پانکروماتیک $0/32$ متر می‌باشد. (نگاره ۳).

۳- متدولوژی

۳-۱- روش ادغام FastIHS

در دنیای پردازش تصاویر انواع روش‌های ادغام تصاویر توسعه یافته‌اند. با توجه به کارایی و نحوه اجرا، روش ادغام IHS یکی از متداول‌ترین روش‌های ادغام تصاویر می‌باشد که نسخه‌های متعددی از این روش ادغام تا به حال ارائه شده است (LI, 2003) (Yang, 2016) (Wen, 2011) (Haddadpour, 2017).

در روش ادغام IHS یک تصویر رنگی از فضای RGB به فضای رنگی IHS برده می‌شود. سپس مؤلفه شدت در فضای IHS با یک تصویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک بالا جایگزین می‌شود و مؤلفه‌ها دوباره به فضای اصلی RGB برگردانده می‌شوند؛ که نتیجه یک تصویر ادغام‌شده براساس IHS به دست خواهد آمد.



(الف)



(ب)

نگاره ۲: الف. تصویر چندطیفی ۲ متری ب. تصویر پانکروماتیک $0/5$ متری متعلق به سنجنده GeoEye-1

۲- داده‌های مورد استفاده

روش ادغام پیشنهادی روی تعدادی از تصاویر ماهواره‌ای انجام شد و نتایج تقریباً مشابهی به دست آمد. لذا به علت رعایت اختصار در این جا نتایج دو مورد از این تصاویر درج می‌شود. تصویر ماهواره‌ای اول متعلق به سنجنده GeoEye-1 با دو تصویر پانکروماتیک و چندطیفی است، که مربوط به یک منطقه شهری از شاهین‌شهر در شمال شهر اصفهان با طول جغرافیایی $31^{\circ} 51'$ و عرض جغرافیایی $52^{\circ} 32'$ می‌باشد (نگاره ۲). قدرت تفکیک مکانی تصویر چندطیفی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 ادغام تصاویر ماهواره‌ای به روش FastIHS ... / ۱۳

در رابطه (۹)، $I = (R + G + B)/3$ و $\delta = Pan - I$ ، می‌باشد. معادله (۹) بیان می‌کند که با استفاده از عملگر جمع، می‌توان تصویر ادغام‌شده را به راحتی از تصویر اصلی به دست آورد. پس روش IHS را می‌توان با این شیوه به‌طور مؤثرتر اجرا کرد. همچنین مقادیر V_1 و V_2 در رابطه (۹)، مستقیم حساب می‌شوند.

$$\begin{bmatrix} I + (Pan - I) \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} F(R) \\ F(G) \\ F(B) \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} I + (Pan - I) \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ -2/\sqrt{6} & -2/\sqrt{6} & 2/\sqrt{3} \\ \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F(R) \\ F(G) \\ F(B) \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$[v_1] = \begin{bmatrix} -2/\sqrt{6} & -2/\sqrt{6} & -2/\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F(R) \\ F(G) \\ F(B) \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$[v_1] = \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F(R) \\ F(G) \\ F(B) \end{bmatrix} \quad (13)$$

با معلوم بودن $\begin{bmatrix} F(R) \\ F(G) \\ F(B) \end{bmatrix}$ و ضرب آن در معکوس ماتریس

$$\begin{bmatrix} 1 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \text{، } v_1 \text{ و } v_2 \text{ بدست خواهد آمد.}$$

و چرذگی (H) و سیری رنگ (S) براساس v_1 و v_2 و چرذگی (H) و سیری رنگ (S) براساس v_1 و v_2 (Choi, 2006) از روابط ۱۴ و ۱۵ به دست می‌آید.

$$S = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} \quad (14)$$



(الف)



(ب)

نگاره ۳: الف. تصویر چندطیفی (باند ۲ و ۳ و ۵) ب. تصویر پانکروماتیک (باند ۷) متعلق به سنجنده worldview-3

در سال ۲۰۰۴، برای سرعت بخشیدن به ادغام داده‌ها با حجم بالا روش FIHS توسط Tu و همکاران (Tu T. et al., 2004) پیشنهاد شده است که توانستند نتایج بهتری از نظر سرعت پردازش و کیفیت تصویر نسبت به روش IHS معمولی به دست آورند. در روش FIHS، تصویر ادغام‌شده $T [F(R), F(G), F(B)]$ طبق رابطه (۹) با استفاده از تصویر اولیه $T [R, G, B]$ به دست می‌آید (Tu et al., 2001).

$$\begin{bmatrix} F(R) \\ F(G) \\ F(B) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I + (Pan - I) \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} 1 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I + \delta \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + \delta \\ G + \delta \\ B + \delta \end{bmatrix}$$

1- Huge

2- Saturation

پاسخ طیفی به عنوان یکی از این ابزارها در این زمینه مطرح می‌باشد. (Li, 2011) (DOU, 2011)

$$H = \tan^{-1} \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \quad (15)$$

برای ادغام تصاویر GeoEye-1 با توجه به محدوده طیفی باند پانکروماتیک و همچنین براساس نتایج تجربی، بهتر است باند مادون قرمز نیز در محاسبه مؤلفه شدت طبق رابطه ۱۶ وارد شود (Tu et al., 2012).

$$I = (R + G + B + NIR) / 4 \quad (16)$$

مشکلی که در روش FIHS ممکن است ایجاد شود اعوجاج طیفی در طول فرآیند ادغام می‌باشد. در رابطه (۹) اختلاف زیاد بین مقادیر پانکروماتیک و مؤلفه شدت باعث اعوجاج طیفی گسترده‌ای در تصویر ادغام شده می‌باشد (Palsson, 2012)؛ بنابراین قبل از انجام محاسبات، بایستی مقادیر میانگین و واریانس تصویر پانکروماتیک با تصویر شدت هم مقیاس شوند. برای این کار از رابطه ۱۷ استفاده می‌شود (Palsson, 2012).

$$Pan = \frac{\sigma_I}{\sigma_P} (Pan - \mu(Pan)) + \mu(I) \quad (17)$$

در رابطه ۱۷ $\mu(Pan)$ و $\mu(I)$ به ترتیب میانگین تصویر شدت و تصویر پانکروماتیک می‌باشند و σ_P و σ_I به ترتیب واریانس تصویر شدت و تصویر پانکروماتیک است. این کار باعث می‌شود تا کیفیت تصویر ادغام شده بهبود یابد. ایده آل این است که خروجی روش FAST-IHS قدرت تفکیک مکانی بالاتر و در عمل، لبه‌ها و جزئیات واضح‌تری نسبت به تصویر چندطیفی مرجع داشته باشد و در عین حال کمترین اعوجاج طیفی در تصویر خروجی باید رخ دهد. با این وجود، به علت تفاوت در محدوده طول موج‌های ثبت شده باند پانکروماتیک و باند چندطیفی، تصویر نهایی حاصل از این روش ادغام دارای اعوجاجات طیفی است (Xu, 2008). این مشکل در صورت تفاوت بسیار زیاد تصویر ایجاد شده شدت و تصویر پانکروماتیک جدی‌تر می‌شود. برای حل این مشکل تحقیقات فراوانی صورت گرفته و روش‌های بهبودیافته‌ای ارائه داده شده‌اند. منحنی

۲-۳ ادغام براساس منحنی پاسخ طیفی سنجنده راهکارهای پیشنهاد شده (۱-۳) توسط محققین قبلاً مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. راهکارهای ۴ تا ۷ راهکارهای پیشنهادی این تحقیق برای استفاده حداکثری از اطلاعات نمودار منحنی پاسخ طیفی سنجنده جهت بهبود اعوجاج رنگی و انطباق هر چه بیشتر باند پانکروماتیک و مؤلفه شدت می‌باشد. در تحقیقات قبلی ضرایب، با توجه به مساحت زیر نمودار منحنی پاسخ طیفی سنجنده تعیین شده‌اند. در حالی که در سنجنده GeoEye-1 بعضی از باندها بیرون از محدوده باند پانکروماتیک قرار گرفته‌اند؛ بنابراین وزن‌ها در راهکار شماره ۴ براساس نسبت قسمت مشترک باند نام و باند پانکروماتیک به مساحت پانکروماتیک (رابطه ۸) به دست می‌آید.

در راهکار شماره ۵ قسمت‌های بیرون زده منحنی باندهای تصویر چندطیفی از منحنی باند پانکروماتیک لحاظ شده است؛ و وزن‌ها طبق رابطه (۱۸) براساس نسبت مساحت بیرون زدگی‌ها به مساحت زیر نمودار هر باند تعیین می‌شود.

$$w_i = \left(\frac{P(m_i) - P(m_i \cap p)}{P(m_i)} \right)^{-1} \quad (18)$$

در این حالت میزان عدم تطابق طیفی باندها، ملاک تعیین وزن خواهد بود. طبیعی است هرچه این میزان کمتر باشد تطابق باندها بیشتر است و توان ۱- دقیقاً به همین دلیل در فرمول ۱۴ ظاهر شده است.

در محاسبه وزن‌ها در راهکار ۶، هم قسمت مشترک و هم قسمت بیرون زدگی منحنی‌ها دخیل خواهد بود. با استفاده از رابطه (۱۹) w_i برای هر باند محاسبه می‌شود. در واقع در این حالت، به باندی که بیشترین اشتراک را با باند پانکروماتیک داراست و به‌طور همزمان کمترین میزان بیرون زدگی از منحنی باند پانکروماتیک را دارد، وزن بیشتری تعلق خواهد گرفت و برعکس.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 ادغام تصاویر ماهواره‌ای به روش FastIHS ... / ۱۵

(2016). بنابراین برای بررسی میزان اطلاعات موجود در تصویر ادغام‌شده و میزان بهبود این تصاویر نسبت به تصاویر ورودی، از معیارهای متعددی استفاده شده است.

۴-۱ معیار ارزیابی خطای RMSE (Wald., 2000):

این معیار نشان دهنده میزان تغییرات بین نتیجه ادغام یک باند و باند اصلی است. مقدار کمتر این معیار نشان‌دهنده حفظ بیشتر اطلاعات طیفی باند اصلی در فرایند ادغام است. رابطه مربوط به این معیار در زیر آمده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{x,i} (A_i(x) - F_i(x))^2}{n \times m \times d}} \quad (21)$$

در این رابطه A و F به ترتیب تصاویر چندطیفی و ادغام‌شده می‌باشند و x، شماره پیکسل و i شماره باند تصاویر است. در این فرمول n تعداد سطرها و m تعداد ستون‌ها و d تعداد باندهای تصویر است.

۴-۲ معیار ارزیابی خطای ERGAS (محمدنژاد نیازی

سعید، ۱۳۹۵):

این معیار در واقع میزان انحراف طیفی در تصویر ادغام‌شده نهایی را نشان می‌دهد. اگر مقدار این معیار به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده آن است که تصویر ادغام‌شده خروجی از لحاظ طیفی قوی‌تر است. رابطه بیانگر این معیار در فرمول شماره ۲۲ نشان داده شده است:

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(\frac{RMSE(n)}{\mu(n)} \right)^2} \quad (22)$$

که $\frac{h}{l}$ نسبت اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک به چندطیفی است m(n). میانگین n امین باند و N تعداد باندها است.

$$W_i = \frac{P(m_i \cap p)}{P(m_i) - P(m_i \cap p)} \quad (19)$$

در راهکار ۷ در محاسبه وزن‌ها علاوه بر بیرون‌زدگی‌ها، گپی‌های موجود در باند پانکروماتیک نیز در رابطه لحاظ می‌شود. همان‌گونه که در رابطه (۲۰) مشاهده می‌شود قسمت اول رابطه مربوط به نسبت میزان نواحی غیرمشترک باند آام و پانکروماتیک (همان بیرون‌زدگی‌ها) به مساحت زیر نمودار باند آام می‌باشد قسمت دوم رابطه مربوط به مساحت زیر نمودار باند آام به نواحی مشترک بین تمام باندها و باند پانکروماتیک می‌باشد. در واقع فضای گپی بین باندها و پانکروماتیک حذف شده است.

$$w_i = \left(\frac{P(m_i) - P(m_i \cap p)}{P(m_i)} \right)^{-1} * \frac{P(m_i)}{P(M \cap p)} \quad (20)$$

ناحیه مشترک بین تمام باندها و پانکروماتیک می‌باشد. ضرایب محاسبه‌شده بر اساس معیارهای مختلف که همگی از منحنی پاسخ طیفی سنجنده استخراج شده‌اند در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. ضرایب محاسبه شده در رابطه ۱۰ از طریق

راهکارهای مختلف (تصویر Geoeye)

باند راهکار	Blue	Green	Red	NIR
IHS1	0.1795	0.291	0.2789	0.2506
IHS2	0.2281	0.2526	0.1237	0.3956
IHS3	0.1576	0.2818	0.4600	0.1006
IHS4	0.3349	0.4127	0.2108	0.0416
IHS5	0.0769	0.2045	0.7061	0.0125
IHS6	0.0683	0.2023	0.7286	0.0007
IHS7	0.0992	0.3252	0.5736	0.0028
FIHS	0.25	0.25	0.25	0.25

۴-۳ معیارهای ارزیابی نتایج حاصل از روش‌های ادغام تصاویر

دقت روش‌های ادغام به میزان ابقای اطلاعات طیفی و مکانی تصویر بستگی دارد. معیارهای متفاوتی برای ارزیابی دقت روش‌های ادغام وجود دارد (Ghassemian, 2017) (Kwan, 2017)

1- Root Mean Square Error

2- Erreur Relative Globale Adimensionnelle De Synthèse

که F_{KHPPF} ، C_{PANHPF} به ترتیب نتایج اعمال ماسک فوق روی تصاویر پانکروماتیک و ادغام شده و σ_{PAN} و σ_F به ترتیب انحراف معیار تصاویر مرجع پانکروماتیک و ادغام تصویر شده است. ارزیابی بهبود جزئیات مکانی نتایج ادغام از طریق مشاهده تا حدی قابل انجام است اما ارزیابی کمی تغییرات ایجاد شده روی ویژگی های طیفی که بسیار مهم می باشند با توجه به پیچیدگی های موجود، امری دشوار است. معیارهای طیفی برای بررسی کیفیت تصویر خروجی ادغام نسبت به تصویر چندطیفی ورودی استفاده می شوند. در این مطالعه از ۴ معیار ارزیابی شامل ضریب همبستگی، RMSE، ERGAS و معیار همبستگی مکانی استفاده شده است. بنابراین می توان بر اساس کل معیارهای ارزیابی مورد استفاده یک رتبه بندی کلی در نظر گرفت و بر اساس آن مقایسه را انجام داد.

۵- بحث و بررسی نتایج

خروجی های مربوط به نتایج ادغام در جدول ۳ ارائه شده است. در برخی موارد، رفتار معیارهای ارزیابی دقت ادغام تصاویر، یکسان نیست و این امر ممکن است در مقایسه روش ها منجر به تناقض هایی شود. لذا می توان بر اساس کل معیارهای ارزیابی مورد استفاده یک رتبه بندی کلی در نظر گرفت و بر اساس آن مقایسه را انجام داد. جدول ۴ مربوط به نتایج رتبه بندی روش های ادغام بر اساس چهار معیار ارزیابی ضریب همبستگی طیفی، RMSE، همبستگی مکانی و معیار ERGAS می باشد. نحوه رتبه بندی به این صورت است که در جدول ۴ بر اساس هر معیار رتبه ای از ۱ تا ۸ (تعداد روش های ادغام IHS بر مبنای منحنی پاسخ طیفی) به روش های مختلف اختصاص داده شده است. سپس بر مبنای جمع رتبه ها، رتبه کل برای هر روش محاسبه شده است، تا به این ترتیب بهترین روش بر مبنای چهار معیار ارزیابی به دست آید. مطابق جدول ۳ از نظر معیار همبستگی روش ها نزدیک به یکدیگر عمل کرده اند و تنها روش IHS2 همبستگی

۳-۴ معیار ارزیابی ضریب همبستگی (Kwarteng, 1989) ضریب همبستگی میان تصویر ادغام شده و تصویر چندطیفی را نشان می دهد؛ که μ_A و μ_F به ترتیب میانگین تصویر چندطیفی و تصویر ادغام شده می باشد.

$$F = \frac{\sum_{m,n} (A_{m,n} - \mu_A)(F_{m,n} - \mu_F)}{\sqrt{\sum_{m,n} (A_{m,n} - \mu_A)^2 \sum_{m,n} (F_{m,n} - \mu_F)^2}} \quad (23)$$

۴-۴ معیار ارزیابی همبستگی مکانی (Jin-Yu, 2009) معیارهای طیفی به بهبود جزئیات مکانی تصویر توجهی ندارند و بنابراین نیاز به برخی معیارها، جهت بررسی کمی این جنبه از نتایج ادغام تصاویر می باشد.

هر چه میزان همبستگی مؤلفه های با فرکانس بالا (نظیر لبه ها) بین تصویر با دقت مکانی بالا و باندهای تصویر حاصل از ادغام بیشتر باشد، گویای مشارکت بیشتر این ویژگی ها در حاصل کار است. پنجره بالا گذر مورد استفاده در این تحقیق، فیلتر سوبل^۱ (Kanopoulos, 1988) از جمله فیلترهای تشخیص لبه می باشد. در فیلتر سوبل دو ماسک به صورت زیر وجود دارد:

$$HPF(sobel)_x = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad (24)$$

$$HPF(sobel)_y = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

در رابطه (۲۵) میزان همبستگی مؤلفه های با فرکانس بالا بین تصویر با دقت مکانی بالا و باندهای تصویر حاصل از ادغام محاسبه شده است.

$$F = \frac{\sum_{m,n} (C_{PANHPF} - \mu_{C_{PANHPF}})(F_{KHPPF} - \mu_{F_{KHPPF}})}{\sqrt{\sigma_{PAN}^2 \cdot \sigma_F^2}} \quad (25)$$

1- Sobel Filter

جدول ۳: نتایج روش‌های پیاده‌سازی شده در این پژوهش برای تصویر Geoeye (M: میانگین مقادیر برای ۴ باند می‌باشد).

معیار	باند	IHS1	IHS2	IHS3	IHS4	IHS5	IHS6	IHS7	FIHS
CC	B	0.95	0.89	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.93
	G	0.97	0.96	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97
	R	0.96	0.91	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.95
	NIR	0.98	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
	M	0.97	0.93	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96
RMSE	B	15.48	20.39	15.50	15.97	15.42	15.54	16.18	16.96
	G	16.91	22.40	16.97	17.52	16.47	16.53	17.23	18.87
	R	16.14	21.86	16.19	16.76	15.68	15.74	16.46	18.19
	NIR	21.78	28.94	22.32	22.52	20.85	20.74	21.41	25.21
	M	17.58	23.40	17.75	18.19	17.10	17.14	17.8	19.81
SC	B	0.88	0.78	0.87	0.86	0.93	0.93	0.91	0.82
	G	0.88	0.90	0.89	0.92	0.81	0.80	0.85	0.92
	R	0.94	0.87	0.94	0.94	0.88	0.87	0.90	0.91
	NIR	0.55	0.78	0.57	0.59	0.48	0.48	0.51	0.68
	M	0.81	0.83	0.82	0.83	0.78	0.77	0.79	0.83
ERGAS	M	1.73	2.31	1.74	1.79	1.68	1.69	1.76	1.94

جدول ۴: رتبه‌بندی روش‌های پیاده‌سازی شده تصویر GeoEye - 1

Method	CC Rank	SC Rank	RMSE Rank	ERGAS Rank	Total Rank
IHS1	4	5	3	3	4
IHS2	8	1	8	8	8
IHS3	1	4	4	4	2
IHS4	5	3	6	6	5
IHS5	3	7	1	1	<u>1</u>
IHS6	2	8	2	2	3
IHS7	6	6	5	5	6
FIHS	7	2	7	7	7

روش‌ها از نظر این معیار، نتایج نزدیکی داشته‌اند. به طور کلی می‌توان گفت که بهبود نتایج کشف لبه تا حدی در تضاد با نتایج بهبود کیفیت طیفی قرار دارد. نتایج رتبه‌بندی روش‌ها بر اساس معیارهای مختلف در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که از جداول ۴ و ۵ مشخص است، از لحاظ کل معیارها بهترین رتبه (۱) مربوط به تصویر حاصل از ادغام IHS براساس منحنی پاسخ طیفی با استفاده از راهکار پنجم بوده است و بدترین رتبه (۸) به راهکار دوم (IHS2) اختصاص یافته است.

کمتری نسبت به مابقی روش‌ها نشان داده است. نتایج مربوط به RMSE متفاوت‌تر است و در اینجا نیز روش IHS2 با مقدار ۲۳/۴۰ بدترین وضعیت را داشته است. معیار ERGAS که بر اساس مقادیر RMSE محاسبه می‌گردد نتایج روش IHS5، IHS6 را خوب و برابر با ۱/۶۹ و ۱/۶۸ نشان می‌دهد. در کنار این معیارهای طیفی معیار SC که میزان همبستگی مکانی داده‌ها را نشان می‌دهد وضعیت دو روش IHS5، IHS6 را بد و روش IHS2 را موفق‌ترین روش در کشف لبه‌ها نشان داده که مقدار آن ۰/۸۳ است. مابقی

جدول ۵: رتبه‌بندی روش‌های پیاده‌سازی شده تصویر 3 - worldview

Method	CC Rank	SC Rank	RMSE Rank	ERGAS Rank	Total Rank
IHS1	4	5	3	5	4
IHS2	8	1	8	8	8
IHS3	2	4	4	3	3
IHS4	6	3	6	6	6
IHS5	1	6	1	4	<u>1</u>
IHS6	2	8	2	1	2
IHS7	5	7	5	7	7
FIHS	7	2	7	2	5

حاصل از این روش را در کنار نتیجه راهکار دوم، نشان می‌دهد. برای هر دو تصویر GeoEye-1 و WorldView-3 طبق جدول ۴ و ۵ مقدار اکثر معیارهای طیفی حاکی از عملکرد مطلوب روش IHS6 و IHS5 به نسبت دیگر روش‌های موجود در این تحقیق است. طبق این نمودارها روش FastIHS در حالت‌هایی که قسمت‌های بیرون‌زده و قسمت‌های غیرمشترک در تعیین وزن‌ها در مؤلفه شدت اضافه شده است، نتایج بهتری را نسبت به روش‌های دیگر ارائه داده است (نگاره ۵). این نکته تأثیر پارامترهای فیزیکی سنجنده در روش‌های ادغام را تأیید می‌کند. همچنین با توجه به جدول ۳، تغییرات میانگین معیار SC ناچیز است و نتایج بیشتر روش‌های مورد آزمون دقت مکانی نزدیک به هم دارند. لذا آنچه در اینجا بیشتر وجه تمایز روش‌های مورد آزمون است کیفیت طیفی نتایج ادغام می‌باشد. این نکته نیز تأییدی بر این است که با افزودن اطلاعات منحنی پاسخ طیفی سنجنده، دقت طیفی به‌طور قاطع بالا رفته است.

۶- نتیجه‌گیری

در ادغام تصاویر ماهواره‌ای، مسئله مهم میزان حفظ اطلاعات طیفی است در حالی که هم‌زمان اطلاعات مکانی افزایش یابد. در این تحقیق براساس یک مدل ادغام سریع، مبتنی بر تبدیل IHS سعی شد تا براساس اطلاعات منحنی پاسخ طیفی سنجنده، دقت ادغام تصاویر با صرف هزینه محاسباتی اندک، بالا رود. هفت حالت مختلف بر اساس نسبت‌های مختلف منحنی‌های پاسخ طیفی باندهای چند



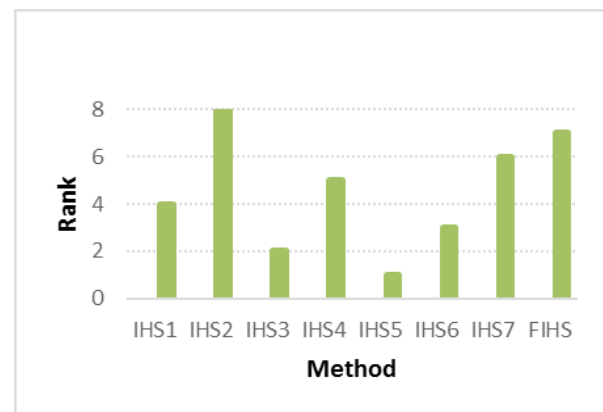
نگاره ۴. تصویر بالا: نتیجه ادغام با راهکار پنجم و تصویر پایین: نتیجه ادغام با راهکار دوم

راهکار پنجم بیشترین تأیید را از معیارهای طیفی دریافت نموده است. ولی در مقابل، در رابطه با معیار حفظ لبه‌ها رتبه هفتم را کسب نموده است. نگاره شماره ۴ نتیجه

فنون نقشه برداری، دوره ششم، شماره ۱، ۲۴۳-۲۳۵.

3. Aiazzi, B. B. (2007). Improving component substitution pansharpening through multivariate regression of MS \$+\$ \$ Pan data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(10), 3230-3239.
4. al, B. A. (2009). A Comparison between Global and ContextAdaptive Pansharpening of Multispectral Images. *IEE Geosci. Remote Sens.*, pp. 302-306.
5. al, C. T. (2008). Synthesis of Multispectral Images to High Spatial Resolution: A Critical Review of Fusion Methods Based on Remote Sensing Physics. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, pp. 1301-1312.
6. al, M. G.-A. (2004). Fusion of Multispectral and Panchromatic Images Using Improved IHS and PCA Mergers Based on Wavelet Decomposition. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, pp. 1291-1299.
7. al, P. P. (2006). Estimation of the Number of Decomposition Levels for a Wavelet-Based Multiresolution Multisensor Image Fusion. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, pp. 3674-3686.
8. al, Z. W. (2005). A Comparative Analysis of Image Fusion Methods. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, pp. 1391-1402.
9. Barsi, J. A. (2014). The spectral response of the Landsat-8 operational land imager. *Remote Sensing*, 10232-10251.
10. Beirle, S. e. (2017). Parameterizing the instrumental spectral response function and its changes by a super-Gaussian and its derivatives. *Atmospheric Measurement Techniques* 10.2.
11. Choi, M. (2006). A new intensity-hue-saturation fusion approach to image fusion with a tradeoff parameter. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing*, 44(6), 1672-1682.
12. DOU, W. (2011). Comparison among remotely sensed image fusion methods based on spectral response function. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 746-752.
13. Ghassemian, H. (2016). A review of remote sensing image fusion methods. *Information Fusion*, 32, 75-89.
14. González-Audifcana, M. O.-M. (2006). A low computational-cost method to fuse IKONOS images using the spectral response function of its sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1683-1691.
15. Haddadpour, M. D. (2017). PET and MRI image fusion based on combination of 2-D Hilbert transform and IHS method. *Biomedical journal*, 40(4), 219-225.

طیفی و باند پانکروماتیک تنظیم شد و براساس آن‌ها وزن مشارکت هر یک از باندهای چند طیفی در تولید مؤلفه شدت محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهند که روش‌های مورد آزمون از لحاظ حفظ اطلاعات مکانی در نتایج ادغام به‌طور میانگین نزدیک به یکدیگر عمل می‌کنند ولی از لحاظ طیفی نتایج متفاوتی دارند. راهکار پیشنهادی می‌تواند به عنوان بهبود روش‌های ادغام مبتنی بر IHS در نظر گرفته شود. به این صورت که ضرایب به‌طور مستقیم با استفاده از منحنی پاسخ طیفی تعیین می‌شود و هزینه محاسبات بسیار پایین می‌آید. در نتایج به دست آمده با استفاده از تصاویر Geoeye_1، روش‌های IHS5 و IHS6 که در آن‌ها قسمت بیرون‌زدگی باندها از باند پانکروماتیک در ضرایب مؤلفه شدت لحاظ شده، توانسته‌اند دقت را به صورت چشمگیری افزایش دهند.



نگاره ۵. رتبه‌بندی روش‌های ادغام IHS براساس راهکارهای مختلف

منابع و مآخذ

۱. قاسمیان یزدی، الیاسی؛ محمدحسن، مصلح. (۱۳۸۹). ادغام اطلاعات مکانی تصویر آیکونوس و اطلاعات طیفی تصاویر اسپات. فصلنامه برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۴، شماره ۱.
۲. محمدنژاد نیازی سعید، م. م. (۱۳۹۵). ارائه روش ادغام تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک IHS-GA مبتنی بر مناطق بهبود یافته گیاهی. نشریه علمی- پژوهشی علوم و

28. Palsson, F. S. (2012). Classification of pansharpened urban satellite images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 281-297.
29. R. Haydn, G. W. (1982). Applications of the IHS color transform to the processing of multisensor data and image enhancement. in *Proc. Int. Symp. Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands*, Cairo, Egypt., pp. 559-616.
30. T.-M. Tu, S.-C. S.-C. (2001). A new look at IHS like image fusion methods. *Inform. Fusion*, vol. 2, pp. 177-186.
31. Teague, Z. (2001). Ikonos pan-sharpened products evaluation . in *Proc. High Spatial Resolution Commercial Imagery Workshop*, Mar. 20.
32. Tu, T. M. (2004). A fast intensity-hue-saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery. *IEEE Geoscience and Remote sensing letters*, 1(4), 309-312.
33. Tu, T. M. (2012). An adjustable pan-sharpening approach for IKONOS/QuickBird/GeoEye-1/WorldView-2 imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 5(1), 125-134.
34. Verde, N. M.-S. (2018). Assessment of radiometric resolution impact on remote sensing data classification accuracy. *Remote Sensing* 10(8), 1267.
35. Wald., L. (2000). Quality of High Resolution Synthesized Images: Is There a Simple Criterion? *Proc. Int. Conf.*
36. Wen, X. (2011). Image fusion based on improved IHS transform with weighted average. In *2011 International Conference on Computational and Information Sciences*, pp. 111-113.
37. Xie, Z. C. (2019). Classification of land cover, forest, and tree species classes with ZiYuan-3 multispectral and stereo data. *Remote Sensing*, 11(2), 164.
38. Xu, J. G. (2008). An improved IHS fusion method for merging multi-spectral and panchromatic images considering sensor spectral response . *Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, 37, 1169-1174.
39. Yang, Y. W. (2016). Remote sensing image fusion based on adaptive IHS and multiscale guided filter. *IEEE Access*, 4, , 4573-4582.
40. Yokoya, N. C. (2017). Hyperspectral and multispectral data fusion: A comparative review of the recent literature. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine* 5.2 , 29-56.
16. Hoa, L. N. (2016). Enhanced spatial resolution for VNREDSat-1 multispectral images using IHS fusion technique based on sensor spectral response function. In *Knowledge and Systems Engineering (KSE)*, Eighth International Confer.
17. Hoa, L. N. (2016). Enhanced spatial resolution for VNREDSat-1 multispectral images using IHS fusion technique based on sensor spectral response function. *Eighth International Conference on Knowledge and Systems Engineering*.
18. Jin-Yu, Z. Y.-X. (2009). Edge detection of images based on improved Sobel operator and genetic algorithms. In *Image Analysis and Signal Processing IASP International Conference*, pp. 31-35.
19. Kanopoulos, N. V. (1988). Design of an image edge detection filter using the Sobel operator. *IEEE Journal of solid-state circuits*, 23(2), 358-367.
20. Kim, Y. E. (2011). Generalized IHS-Based Satellite Imagery Fusion Using Spectral Response Functions. *Etri Journal*, 33(4), 497-505.
21. Kwan, C. B. (2017). Blind quality assessment of fused worldview-3 images by using the combinations of pansharpening and hypersharpening paradigms. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(10), 1835-1839.
22. Kwarteng, A. P. (1989). Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55, 339.
23. LI, B. C. (2003). Remote-Sensing Image Fusion Based on IHS and Wavelet Transforms . *Journal of Data Acquisition & Processing*, 3, 005.
24. Li, L. W. (2011). Study on the fusion of MODIS and TM images using the spectral response function and STARFM algorithm. In *Image Analysis and Signal Processing (IASP)*, (pp. 171-176). IEEE.
25. Loncan, L. D.-D. (2015). Hyperspectral pansharpening: A review. *IEEE Geoscience and remote sensing* , 27-46.
26. Morales, R. M. (2011). Assessment of Acacia koa forest health across environmental gradients in Hawai 'i using fine resolution remote sensing and GIS. *Sensors* 11.6, 5677-5694.
27. Otazu, X. G.-A. (2005). Introduction of sensor spectral response into image fusion methods. Application to wavelet-based methods. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(10), 2376-2385.