

ارائه روش ادغام تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک IHS-GA مبتنی بر مناطق بهبودیافته گیاهی

سعید محمدنژادنیازی^{۱*}، مهدی مختارزاده^۲، فاطمه سعیدزاده^۱

^۱ کارشناس ارشد فتوگرامتری - دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

sniazi@mail.kntu.ac.ir

fsaedzadeh@yahoo.com

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

m_mokhtarzade@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۴، تاریخ تصویب تیر ۱۳۹۴)

چکیده

هدف اصلی روش‌های ادغام، تولید تصویری جدید حاوی اطلاعاتی است که به‌طور کامل محتویات تصاویر مرجع را دارا باشد. با این وجود روش‌های ادغام تصاویر معمولاً با اعوجاجات طیفی و مکانی در تصویر خروجی همراه هستند. میزان این اعوجاجات با توجه به روش و نیز داده‌های مورد استفاده متغیر است. در میان روش‌های ادغام تصاویر موجود، روش IHS یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌ها به علت کارایی بالا و نیز بالا بودن دقت مکانی است. بر طبق مطالعات گذشته، زمانی که این روش روی تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا اجرا می‌گردد، اعوجاجات فراوانی به علت تفاوت طول موج‌های ثبت شده تصویر پانکروماتیک پدید می‌آید. این در حالی است که مقادیر درجه خاکستری مناطق حاوی گیاهان در تصویر پانکروماتیک بسیار بیشتر از این مقادیر در تصویر شدت است. روش جدید پیشنهادی قدرت سرشکن کردن اعوجاجات مکانی روی تصویر شدت در مناطق گیاهی را دارا است. به همین منظور جهت انجام این موضوع از شاخص گیاهی نرمال شده تفاضلی جهت شناسایی مناطق حاوی پوشش گیاهی استفاده شد. در طی این فرآیند باند سبز به‌وسیله ترکیبی از باند قرمز و NIR بهبود داده شد. در ضمن در روش ارائه شده در این مقاله از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک برای به دست آوردن بهترین پارامترهای وزن تصویر شدت استفاده شد. آنالیزهای بصری و آماری حاکی از این مطلب بود که روش مورد بحث در این مقاله توانسته است کیفیت تصویر ادغام‌شده را نسبت به خروجی روش‌های مرسوم بهبود دهد. دقت روش مورد استفاده توسط معیارهای اندازه‌گیری کیفیت طیفی و مکانی مورد ارزیابی قرار گرفت. پیاده‌سازی روی سه مجموعه تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا شامل IKONOS، QuickBird و WorldView-2 صورت پذیرفت و نتایج نشان داد که روش پیشنهادی قابل‌رقابت با دیگر روش‌های ادغام تصویر است.

واژگان کلیدی: روش‌های ادغام تصویر، روش ادغام IHS، روش ادغام IHS-GA، مناطق بهبودیافته گیاهی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

امروزه بسیاری از سیستم‌های تصویربرداری در سنجش‌ازدور مانند تصاویر ماهواره‌های SPOT، Landsat8، IKONOS، QuickBird-1، EO-1 و ALOS سنسورهایی با توانایی ثبت تصویر پانکروماتیک (PAN) با قدرت تفکیک مکانی بالا و نیز ثبت چند باند طیفی (MS) با قدرت تفکیک پایین‌تر را دارند. درعین حال بسیاری از کاربردها در حوزه علوم زمین (مانند کشف اهداف زمینی، پایش تغییرات، طبقه‌بندی پوشش‌های زمینی و ...) اغلب استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک طیفی و مکانی توأم را می‌طلبند [۱،۲،۳].

بر طبق مطالعات، ادغام^۱ تصویر پانکروماتیک و چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی پایین به ابزاری قدرتمند جهت بسیاری از کاربردها تبدیل‌شده و به همین علت روش‌های مختلف ادغام در دو دهه اخیر ارائه‌شده است [۱،۲،۳]. ادغام تصویر چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی پایین و تصویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا برای بسیاری از کاربردهای سنجش‌ازدور شامل طبقه‌بندی، قطعه‌بندی و شناسایی عوارض حائز اهمیت است.

یک روش بهینه ادغام تصاویر نه تنها قدرت بصری تفسیر تصاویر ماهواره‌ای را افزایش می‌دهد بلکه باعث افزایش دقت آنالیز پردازش تصاویر نیز خواهد شد [۴]. ایده اصلی طرح‌شده در ادغام تصویر حفظ مقادیر طیفی تصویر چند طیفی مرجع تا حد امکان در تصاویر خروجی و بهبود قدرت تفکیک مکانی است [۵]. چراکه درواقع الگوریتم‌های مختلف نتایج متفاوتی را نتیجه می‌دهند [۶].

امروزه الگوریتم‌های ادغام تصاویر متفاوتی به‌منظور ترکیب اطلاعات مکانی تصویر پانکروماتیک با اطلاعات طیفی تصویر چند طیفی با قدرت تفکیک پایین، جهت تولید تصویری با قدرت تفکیک مکانی بالا بهبود داده‌شده‌اند [۷]. روش‌های ادغام به روش‌های مبتنی بر رنگ، روش‌های آماری حسابی و روش‌های چند مقیاسی تقسیم می‌شود [۷]. گروه اول شامل ترکیب‌های رنگی از سه باند تصویر در فضای رنگ RGB مانند تبدیل IHS که اطلاعات مکانی را به‌خوبی حفظ می‌کند اما باعث تخریب اطلاعات طیفی می‌شود [۸]. گروه دوم روش‌های آماری بر

پایه مشخصات آماری باندها استوار است. اکثر این روش‌ها اطلاعات طیفی را به‌خوبی حفظ می‌کنند ولی اطلاعات مکانی را تخریب می‌کنند [۹]. گروه سوم روش‌های چند مقیاسی با استفاده از عملیات فیلترینگ در سطوح چندگانه باندها است. این گروه از روش‌ها معمولاً اطلاعات مکانی را به‌خوبی حفظ می‌کنند ولی اغلب حافظ اطلاعات طیفی خوبی نیستند [۱۰،۱۱].

در جوامع سنجش‌ازدور احتمالاً یکی از مشهورترین روش‌های ادغام تصاویر، الگوریتم IHS است [۱۲،۱۳،۱۴،۱۵] که روشی مبتنی بر رنگ است. الگوریتم‌های پرکاربرد دیگری از قبیل PCA [۱۶،۱۷،۱۸،۱۹]، تبدیل براوی [۲۰،۲۱،۲۲،۲۳] و روش ادغام تبدیل موجک [۲۴،۶] وجود دارند.

روش‌هایی که اساس آن‌ها روش IHS است بسیار پرکاربرد هستند، چراکه به دلیل محاسبات تقریباً ساده و همچنین به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای تصویر خروجی و نیز کارایی بالای این الگوریتم در تصاویر ماهواره‌ای، این الگوریتم مورد استقبال قرار گرفته است [۲۵].

واحد محاسباتی در این روش‌ها غالباً پیکسل است، چراکه پیکسل کوچک‌ترین جز حاوی اطلاعات است؛ بنابراین کمترین نابودی اطلاعات در طی فرآیند ادغام رخ می‌دهد، ازاین‌رو روش‌های ادغام بر مبنای پیکسل غالباً دارای دقت بالاتری‌اند [۲۵].

باوجود قدرت روش ادغام IHS از لحاظ محاسباتی و اجرای سریع در حال استفاده از داده‌هایی با حجم بالا، این روش از لحاظ وجود اعوجاجات طیفی در تصویر ادغام‌شده خروجی بسیار ضعیف است. علت این امر می‌تواند به دلیل اختلافات بسیار شدید درجات خاکستری تصویر پانکروماتیک و تصویر شدت باشد [۱۴]. بااین‌وجود بسیاری از مطالعات در جهت بهتر شدن این روش از لحاظ طیفی انجام‌شده است.

در این مقاله، به بررسی الگوریتم پیشنهادی ادغام تصاویر IHS-GA می‌پردازیم. هدف ما ارائه روشی بوده که علاوه بر حفظ اطلاعات مکانی، دارای کمترین اعوجاج طیفی نیز باشد. برای ارزیابی این روش از معیارهای ارزیابی طیفی و مکانی مرسوم در اکثر تحقیقات استفاده شد. در بخش‌های بعدی به بررسی روش IHS و روش‌هایی که این الگوریتم را بهبود بخشیده‌اند و نقاط ضعف و قوت هر یک پرداخته‌ایم. در ادامه به معرفی الگوریتم پیشنهادی و در آخر نتایج و آنالیزهای عددی ارائه خواهد شد.

^۱ Pan-Sharpening (Fusion)

۲- مبانی نظری تحقیق

۲-۱- روش ادغام IHS

روش ادغام IHS [۲۶،۲۷] احتمالاً یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ادغام تصاویر سنجش‌ازدوری است که در اکثر نرم‌افزارهای این حوزه به‌عنوان یکی از ابزاری کاربردی وجود دارد. روند اجرایی این روش به این صورت است که ابتدا تصویر سه بانده فضای رنگی RGB به فضای رنگی IHS تبدیل می‌گردد. در مرحله بعدی تصویر شدت طبق فرمول ۱ تولید می‌گردد. شکل ۱ روند اجرایی الگوریتم را نمایش می‌دهد. سپس این تصویر با تصویر پانکروماتیک جایگزین می‌شود. قبل از ادغام تصاویر، فرآیند تطابق هیستوگرام بین دو تصویر چند طیفی و پانکروماتیک باهدف یکسان کردن محدوده طیفی دو تصویر اجرا می‌گردد. درنهایت فرآیند جایگزینی طبق فرمول ۳ صورت می‌گیرد [۲۸].

$$I = \alpha_1 R + \alpha_2 G + \alpha_3 B \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} I \\ H \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \frac{-\sqrt{2}}{6} & \frac{-\sqrt{2}}{6} & \frac{2\sqrt{2}}{6} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

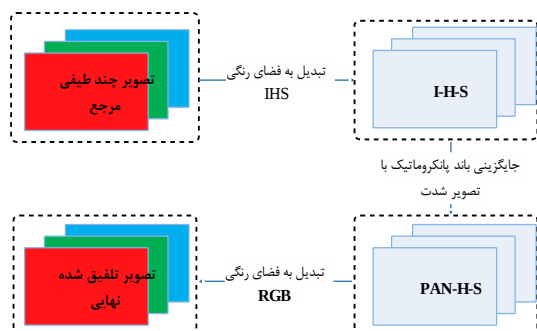
در این فرآیند به‌جای ضرایب $\alpha_i = 1/3; (i = 1, 2, 3)$ مقادیر ذکرشده استفاده می‌گردد. در ادامه این فرآیند ادغام، نوبت به هم مقیاس کردن تصویر پانکروماتیک از لحاظ یکسان کردن مقادیر میانگین و واریانس با تصویر شدت می‌رسد [۲۸]:

$$P = \frac{\sigma_I}{\sigma_P} (P - \mu(P)) + \mu(I) \quad (3)$$

در فرمول بالا μ و σ به ترتیب میانگین و واریانس تصویر پانکروماتیک است. محتویات موجود در تصویر شدت سپس با تصویر هم مقیاس شده پانکروماتیک حاصل از مرحله قبل جایگزین می‌گردد و در آخر تبدیل معکوس IHS برای رسیدن به تصویر ادغام‌شده نهایی انجام می‌شود. این فرآیند طبق رابطه ۴ صورت می‌گیرد [۲۸].

$$\begin{bmatrix} F(R) \\ F(G) \\ F(B) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + Pan - I \\ G + Pan - I \\ B + Pan - I \end{bmatrix} \quad (4)$$

در فرمول ۴ $F(i)$ تصویر چند طیفی ادغام‌شده به‌دست‌آمده است. پیاده‌سازی روش IHS به این شکل بسیار کارا خواهد بود و در مقاله سال ۲۰۰۱ به همین علت به این روش نام FAST_IHS اطلاق شده است [۸]. به همین دلیل روش IHS، الگوریتم مطلوبی برای کار با داده‌های با حجم بالا است.



شکل ۱- روند اجرای الگوریتم

به‌طور ایده آل خروجی روش FAST-IHS باید قدرت تفکیک مکانی بالاتر و درواقع لبه‌های واضح‌تری از تصویر رنگی مرجع داشته باشد. به همین منوال هیچ اعوجاج طیفی در تصویر خروجی نباید رخ دهد. با این وجود، به علت تفاوت در طول موج‌های ثبت‌شده تصویر پانکروماتیک و تصویر رنگی RGB، تصویر ادغام نهایی حاصل از این روش دارای اعوجاجات طیفی است [۲۹]. این مشکل در تفاوت بسیار زیاد تصاویر شدت و پانکروماتیک جدی‌تر می‌شود. برای حل این مشکل تحقیقات فراوانی صورت گرفته و روش‌های بهبودیافته‌ای ارائه داده شده است.

۲-۲- توسعه روش ادغام IHS

یکی از اولین توسعه‌های صورت گرفته بر روش IHS، فضای ورودی و خروجی این روش را از سه باند تصویری به چهار باند با به‌کارگیری باند NIR گسترش داده است [۳۰]. با تکیه بر این حقیقت که سنسورهای پانکروماتیک امواج NIR را به نسبت امواج مرئی برداشت می‌کند. این روش باعث شد تا تصویر شدت تولیدی تطابق بیشتری با تصویر پانکروماتیک داشته باشد. برای حل این مشکل محققان ضرایب قابل‌استفاده در فرمول تصویر شدت (رابطه ۱) را به $\alpha_i = \frac{1}{N}$ تغییر دادند که در این رابطه N،

تعداد باندهای تصویر است [۶،۱۴].

روش دیگر که FIHS-SA نام داشت از هر ۴ باند طیفی به همراه ضرایب وزنی در باند سبز و آبی برای

کمینه کردن اختلاف بین شدت و تصویر پانکروماتیک استفاده کرد [۳۰]. این ضرایب به طور تجربی برای تصویر IKONOS تعیین شد که درواقع سهم باندهای سبز و آبی نسبت به دیگر باندها تغییر یافت [۳۰]. در واقع تصویر نهایی این روش دارای دقت مکانی بالا بود ولی از لحاظ وضوح طیفی، این روش بسیار ضعیف عمل کرد.

در سال ۲۰۰۸ آقای چوی و همکاران، این روش را گسترش دادند و تصویر شدت را با استفاده از ضرایب تجربی تولید کردند. در این تحقیق برای ضرایب باندهای سبز و آبی، همان مقادیر تحقیق سال ۲۰۰۵ که توسط Tu انجام گرفته بود، استفاده شد [۲۹] و برای دو باند دیگر مقادیر تجربی مختص خود را انتخاب کردند. به علت این که ضرایب برای تصویر IKONOS تعیین شده بوده اند، درواقع برای تصاویر سنجنده های دیگر مناسب نبود [۳۰]. در سال ۲۰۰۶ آقای گارزلی و همکاران با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه سازی روش ادغام IHS پرداختند. تابع ارزیابی در این مطالعه صرفاً برای تصویر ۴ باندی مورد استفاده طراحی شده بود و در ضمن از جنس تک معیار طیفی بوده است. تحقیق ایشان نشان داد که درواقع الگوریتم ژنتیک تأثیر مثبت روی نتایج گذاشته است ولی روش ایشان صرفاً برای تصویر ۴ باندی بوده و تابع ارزیابی ایشان فقط از یک معیار تشکیل شده بود که درواقع باعث به وجود آمدن نتایج ضعیف پس از ارزیابی با معیارهای مکانی و طیفی گشت [۴۱].

۲-۳- معیارهای ارزیابی نتایج حاصل از روش های ادغام تصاویر

برای ارزیابی میزان ابقای اطلاعات طیفی و مکانی نتایج این روش از معیارهای زیر استفاده نمودیم.

الف: معیارهای ارزیابی حفظ اطلاعات طیفی

- معیار ارزیابی ضریب همبستگی [۱۶]:^۱ این معیار ضریب همبستگی بین تصویر ادغام شده نهایی و تصویر چند طیفی (MS) را نشان می دهد.

$$CC(A, B) = \frac{\sum_{m,n} (A_{m,n} - \mu_A)(B_{m,n} - \mu_B)}{\sqrt{\sum_{m,n} (A_{m,n} - \mu_A)^2 \sum_{m,n} (B_{m,n} - \mu_B)^2}} \quad (5)$$

^۱ Correlation Coefficient

که F.A به ترتیب تصاویر چند طیفی و ادغام شده و $\bar{A}$ و $\bar{F}$ به ترتیب میانگین تصویر مرجع چند طیفی (MS) و تصویر ادغام شده است.

- معیار ارزیابی خطای RMSE [۳۱]: این معیار نشان دهنده میزان تغییرات بین نتیجه ادغام یک باند و باند اصلی است. مقدار کم این معیار نشان دهنده حفظ اطلاعات طیفی باند اصلی در فرایند ادغام است. رابطه مربوط به این معیار در زیر آمده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_x \sum_i (A_i(x) - F_i(x))^2}{n \times m \times d}} \quad (6)$$

در این رابطه x، پیکسل و i تعداد باندهای تصویر است. در این فرمول n تعداد سطرها و m تعداد ستون ها و d تعداد باندهای تصویری است.

- معیار ارزیابی خطای ERGAS [۳۱]: این معیار درواقع میزان انحراف طیفی در تصویر ادغام نهایی را نشان می دهد. اگر مقدار این معیار به صفر نزدیک تر باشد نشان دهنده آن است که تصویر ادغام خروجی از لحاظ طیفی قوی تر است. رابطه بیانگر این معیار در زیر نشان داده شده است:

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(\frac{RMSE(n)}{\mu(n)} \right)^2} \quad (7)$$

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

- معیار ارزیابی خطای RASE [۳۲]: این معیار متوسط خطای طیفی نسبی تصویر ادغام شده در باندهای طیفی نشان می دهد و به صورت رابطه زیر محاسبه می شود.

$$RASE = \frac{100}{M} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RMSE^2(B_i)} \quad (8)$$

در رابطه ۱۲، M میانگین n باند طیفی تصویر ادغام شده و تصویر چند طیفی مرجع است.

- نگاشت زاویه طیفی SAM [۳۳]:

$$\cos \alpha = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2 \sum_{i=1}^N y_i^2}} \quad (9)$$

که C_{PANHPF} ، F_{KHPF} به ترتیب نتایج اعمال ماسک فوق روی تصاویر ادغام شده و پانکروماتیک و σ_{PAN} و σ_F به ترتیب انحراف معیار تصویر مرجع پانکروماتیک و تصویر ادغام شده است.

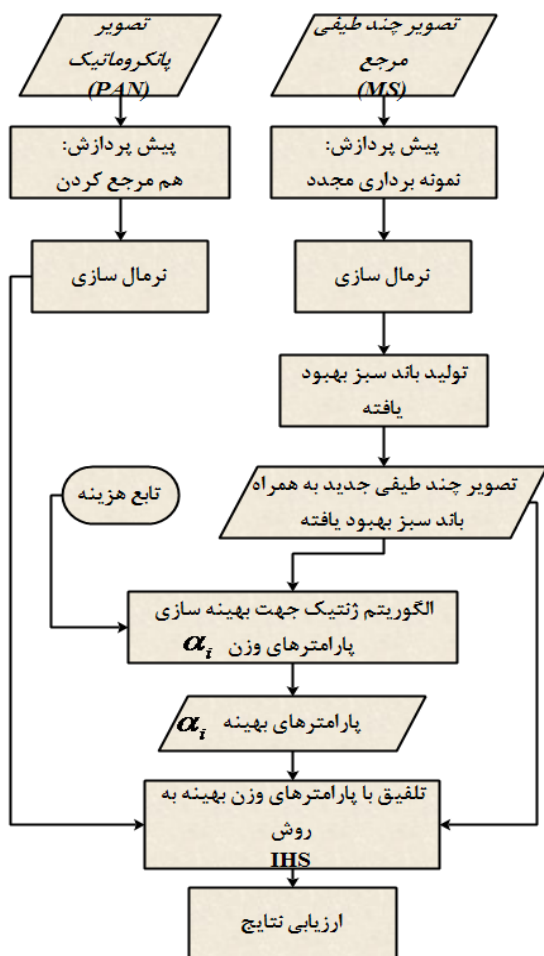
۳- پیاده سازی و ارزیابی نتایج

۳-۱- روند نمای کلی

در این بخش روش جدید توسعه یافته به دلیل غلبه و کاهش اعوجاجات طیفی و مکانی در روش IHS ارائه شده است. در این روش پیشنهادی پارامترهای وزن بهینه برای تولید تصویر شدت از رابطه ۵ با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک تولید می شود.

$$I = \alpha_1 R + \alpha_2 G + \alpha_3 B + \alpha_4 NIR \quad (13)$$

شکل ۲ روند نمای روش پیشنهادی در این مقاله را نشان می دهد.



شکل ۲- روند نمای تحقیق

در این رابطه N تعداد باندها، $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ و $Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ به ترتیب بردارهای طیفی تصاویر مرجع و ادغام شده با طول موج یکسان است. α زاویه طیفی در یک نقطه مشخص است. ما پارامتر SAM را برای کل تصویر محاسبه نمودیم و مقدار میانگین α را محاسبه کردیم. درواقع α دارای مقداری بین صفر و یک است و هر چه α مقدار به صفر نزدیک تر باشد اطلاعات طیفی کیفیت بالاتری دارند.

- ارزیابی بر اساس واگرایی اطلاعات طیفی SID [۳۴]:

$$p_j = \frac{x_j}{\sum_{i=1}^N x_i} \quad (10)$$

$$q_j = \frac{y_j}{\sum_{i=1}^N y_i}$$

در این فرمول N تعداد باندها است. SID به صورت رابطه ۱۳ تعریف می گردد:

$$SID(x, y) = D(x \| y) + D(y \| x) \quad (11)$$

که $D(x \| y)$ آنتروپی نسبی است که به صورت:

$$D(x \| y) = \sum_{i=1}^L p_i \log(p_i / q_i)$$

همین منوال $D(y \| x)$ نیز تعریف خواهد شد. هر چه دیورژانس به دست آمده برای شناسه طیفی یک پیکسل و شناسه طیفی تصویر از نظر قدر مطلق کوچک تر بودن شباهت این دو شناسه به یکدیگر بیشتر است.

ب: معیارهای ارزیابی حفظ اطلاعات مکانی

- معیار ارزیابی همبستگی مکانی [۳۵]: هر چه همبستگی مؤلفه های بالا بین تصویر با دقت مکانی بالا و تصویر حاصل از ادغام بیشتر باشد، گویای مشارکت بیشتر این ویژگی ها در حاصل کار است. پنجره بالا گذاری که در این تحقیق مورد استفاده قرار می گیرد به صورت زیر است.

$$HPF(mask) = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$P(k) = \frac{C_{PANHPF}, F_{KHPF}}{\sqrt{\sigma_{PAN}^2, \sigma_F^2}}$$

۳-۲- داده‌های مورد استفاده در تحقیق

در این تحقیق از سه تصویر ماهواره‌ای متعلق به دو سنجنده متفاوت استفاده شده است. تصویر اول قطعه‌ای تصویر متعلق به سنجنده آیکونوس و مربوط به یک منطقه نیمه‌شهری در حوالی شهر تهران در نزدیکی شهرستان شهریار و تصویر دوم از سنجنده QuickBird-1 از یک منطقه شهریار انتخاب شده است. در ضمن تصویر سوم متعلق به یک منطقه متراکم شهری متعلق به سنجنده WorldView-2 است.

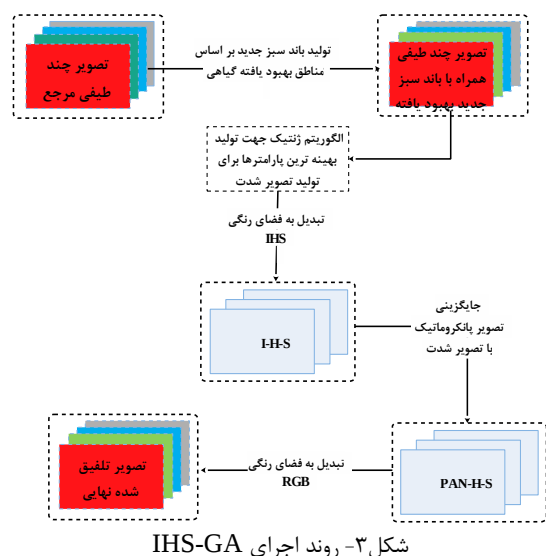
همان‌طور که به‌طور خلاصه گفته شد تصویر سنجنده آیکونوس مربوط به منطقه نیمه‌شهری شهریار در نزدیکی استان تهران با طول جغرافیایی $51^{\circ}3'$ و عرض جغرافیایی $35^{\circ}39'$ است. قدرت تفکیک مکانی تصویر چند طیفی در حدود ۴ متر و تصویر پانکروماتیک، ۱ متری است. منطقه مطالعاتی دوم ناحیه‌ای در شهر سانفرانسیسکو از ایالت کالیفرنیا متعلق به سنجنده QuickBird-1 است که این تصویر شامل باندهای طیفی با قدرت تفکیک مکانی $2/4$ متر و باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک ۶۰ سانتی‌متر است.

منطقه شهری مطالعاتی سوم در شهر سیدنی کشور استرالیا واقع شده است که تصویر ماهواره‌ای این منطقه متعلق به سنجنده WorldView-2 با قدرت تفکیک مکانی ۲ متر برای تصویر چند طیفی (MS) و ۵۰ سانتی‌متر برای تصویر پانکروماتیک است.

۳-۳- روش پیشنهادی

همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، ورودی روش ژنتیک تصویر چند طیفی بهبودیافته در مناطق گیاهی و پانکروماتیک است. برای این منظور انجام برخی از پیش‌پردازش‌ها ضروری است. تصویر چند طیفی با استفاده از روش نمونه‌برداری مجدد نزدیک‌ترین همسایه با تصویر پانکروماتیک از لحاظ اندازه پیکسلی یکسان شد. سپس دو تصویر با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.8 هم مرجع شدند. پس از انجام نرمال‌سازی، فرآیند محاسبه پارامترهای وزن جهت تولید تصویر شدت بهینه شروع می‌شود. پس از پایان این روند تصویر پانکروماتیک و تصویر بهبودیافته از لحاظ مناطق گیاهی با یکدیگر از طریق استفاده از روش IHS ادغام می‌شوند. طبق روند

نمای این روش از دو مرحله اساسی تشکیل شده است: (۱) تولید باند سبز جدید (باند سبز بهبودیافته). (۲) اجرای الگوریتم ژنتیک جهت برآورد پارامترهای وزن. شکل ۳ روند انجام الگوریتم IHS-GA را نشان می‌دهد.



شکل ۳- روند اجرای IHS-GA

مرحله اول: روش‌های سنتی IHS زمانی که روی تصاویر QuickBird و IKONOS اجرا می‌شوند از لحاظ وجود اعوجاجات طیفی رنج می‌برند [۳۰]. به همین علت یکی از فرآیندهایی که به رفع این مشکل کمک می‌کند تولید باند سبز بهبودیافته به جهت نزدیک‌تر کردن مقادیر درجه خاکستری تصویر شدت و پانکروماتیک [۳۶]. علت انجام این فرآیند در اصل پدید آمدن عوارض واضح با مرزهای مشخص در تصویر جدید است [۳۶]. درواقع این کار به طبقه‌بندی بهتر پوشش‌های مختلف گیاهی کمک بسزایی می‌کند [۳۶]. اگرچه تصویر خروجی در حالت ایده آل پس از تولید باند سبز جدید از لحاظ رنگ مناطق گیاهی روشن‌تر از تصویر اولیه چند طیفی است اما این عمل باعث از بین رفتن مناطق پوشیده در سایه و تقویت انواع مختلف پوشش‌های گیاهی خواهد شد [۳۶]. به همین منظور برای شناسایی مناطق حاوی گیاه در تصویر مرجع از شاخص گیاهی نرمال شده تفاضلی NDVI استفاده شده است. این شاخص از نسبت تفریق به جمع دو باند قرمز و NIR تولید می‌گردد. فرمول ۱۴ این امر را نشان می‌دهد.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (14)$$

پارامترهای وزن هر یک از این باندها تأثیر مستقیمی روی نتایج نهایی ادغام خواهد داشت. همان‌طور که در بخش قبلی اشاره شد در تحقیقات قبلی اغلب برای این پارامترها مقادیر مساوی و یا اخیراً مقادیر تجربی در نظر گرفته شده است [۸، ۲۹]. در روش پیشنهادی پارامترهای وزن از طریق الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک محاسبه می‌شوند.

الگوریتم‌های ژنتیک الگوریتم‌هایی هستند که دارای قدرت بسیار زیادی در یافتن جواب مسئله هستند [۳۸]. کاربرد اصلی این الگوریتم در مسائلی است که دارای فضای جستجوی بسیار بزرگ هستند و عملاً بررسی همه حالت‌ها ممکن نیست [۳۹]. از طرفی باید توجه داشت که حتماً بین حالات مختلف مسئله باید دارای پیوستگی مناسب و منطقی باشیم. در نهایت الگوریتم‌های ژنتیک این امکان را به ما می‌دهد که دارای حرکتی سریع در فضای مسئله به‌سوی هدف باشیم. به‌گونه‌ای که می‌توانیم تصور کنیم که در فضای حالات مسئله به سوی جواب مشغول پرواز هستیم. اجزا الگوریتم ژنتیک، کروموزوم، جمعیت و تابع هدف است. هر کروموزوم نشان‌دهنده یک نقطه در فضای جستجو و یک راه‌حل ممکن برای مسئله موردنظر است [۴۰]. خود کروموزوم‌ها (راه‌حل‌ها) از تعداد ثابتی ژن^۱ (متغیر) تشکیل می‌شوند. برای نمایش کروموزوم‌ها، معمولاً از کدگذاری‌های دودویی (رشته‌های بیتی) استفاده می‌شود. مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها یک جمعیت را تشکیل می‌دهند. با تأثیر عملگرهای ژنتیکی بر روی هر جمعیت، جمعیت جدیدی با همان تعداد کروموزوم تشکیل می‌شود. به‌منظور حل هر مسئله با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیکی، ابتدا باید یک تابع برازندگی برای آن مسئله ابداع شود [۴۰]. برای هر کروموزوم، این تابع عددی غیر منفی را برمی‌گرداند که نشان‌دهنده شایستگی یا توانایی فردی آن کروموزوم است. الگوریتم ژنتیک پس از مرحله تولیدمثل، جواب نهایی حاصل می‌گردد. در طی مرحله تولیدمثل^۲ از عملگرهای ژنتیکی استفاده می‌شود. با تأثیر این عملگرها بر روی یک جمعیت، نسل^۳ بعدی آن جمعیت تولید می‌شود. عملگرهای انتخاب^۴، آمیزش^۵ و جهش^۶ معمولاً بیشترین کاربرد را در الگوریتم‌های

پس از محاسبه این شاخص و با بررسی حوزه تغییرات درجات خاکستری این شاخص، این نکته مشخص می‌شود که مناطق حاوی پوشش گیاهی متراکم دارای NDVI بالاتری است. مقدار بالای NDVI نشان‌دهنده پوشش گیاهی متراکم و سبزرتر در منطقه مورد مطالعه است. در این مقاله مناطق حاوی پوشش گیاهی از طریق فرآیند حد آستانه گذاری روی شاخص NDVI شناسایی می‌شوند، سپس باند سبز تصویر ماهواره‌ای در این مناطق تقویت می‌شود. برای این بهبود از ایده مقاله آقای Miloud در سال ۲۰۱۰ [۳۶]، به همراه برخی نوآوری‌ها استفاده شده است. در این روش از اختلاف بین باندهای NIR و Red برای تصحیح باند سبز استفاده شده است. این روند در شبه کد زیر ارائه شده است.

```
Begin //The process to make the Enhanced vegetated band .
For all image pixels( i= 0,1,...,N; j= 0,1,...,M) in MS image
    Compute NDVI(i,j)=  $\frac{NIR(i,j)-RED(i,j)}{NIR(i,j)+RED(i,j)}$ 
    if NDVI(i,j) > Threshold
         $Green_{new}(i,j) = Green_{old}(i,j) + [NIR(i,j) - RED(i,j)]^2$ ;
    else
         $Green_{new}(i,j) = Green_{old}(i,j)$ ;
    end // if
end // For
end // of the Algorithm
```

تعیین حد آستانه بهینه معمولاً به روش سعی و خطا صورت گرفته و مبتنی بر تجربیات فرد خبره مفسر تصاویر است. در این تحقیق برای تعیین حد آستانه بهینه از روش حد آستانه گذاری اتوماتیک Otsu استفاده شده است. روش Otsu یکی از پرکاربردترین روش‌های حد آستانه گذاری است که تفکیک‌پذیری بین پیکسل‌های دو کلاسی (مثلاً تغییرنیافته (کلاس C0) و پیکسل‌های تغییرنیافته (کلاس C1) را با توجه به واریانس کلاس‌های مربوطه بیشینه می‌کند [۳۷]. به طوری که حد آستانه بهینه زمانی انتخاب خواهد شد که مجموع واریانس داخل کلاس‌ها کمینه شود که درواقع متناظر هست با اینکه واریانس بین کلاس‌ها بیشینه گردد [۳۷]. خروجی این روند، مقدار ۰/۵۴ برای تصویر IKONOS و ۰/۲۵ برای تصویر QuickBird و مقدار ۰/۲۱۸ برای تصویر WorldView-2 به‌دست آمده است.

مرحله دوم: روش IHS فضای رنگی RGB را به فضای رنگی IHS تبدیل می‌کند. در این مرحله تصویر شدت با تصویر پانکروماتیک جایگزین می‌شود. تصویر شدت حاصل از یک رابطه خطی بین تمامی باندهای طیفی تصویر چند طیفی است (رابطه ۶) و در حقیقت

۱ Gene
۲ Reproduction
۳ Generation
۴ Selection
۵ Crossover
۶ Mutation

ژنتیکی دارند. در نهایت هنگامی که شرط پایان الگوریتم برقرار گردد، جواب بهینه مشخص می‌گردد.

در مسئله انتخاب پارامترهای وزن بهینه نیز، در صورتی که تعداد پارامترها (فضای جستجوی پارامترها) زیاد بوده و در نتیجه امکان بررسی تمام حالت‌های مختلف قرارگیری پارامترها در کنار هم و انتخاب مجموعه مناسب میسر نباشد، از الگوریتم ژنتیک به منظور انتخاب بهینه‌ترین وزن‌ها استفاده می‌گردد. ساده‌ترین روش کد نمودن مسئله، تعیین طول کروموزوم‌ها برابر با تعداد مجهولات موجود در مبنای دو (طول کروموزوم‌ها برابر با ۲۸ در نظر گرفته شد) و قرار دادن ژن‌ها به دو صورت یک و صفر است که عدد یک بیانگر حضور و عدد صفر بیانگر عدم حضور است. در پس از پایان اجرای الگوریتم نیز پارامترهای انتخابی معادل با ژن‌های دارای عدد یک می‌باشند که تبدیل از مبنای ۲ به مبنای ۱۰ صورت می‌پذیرد. در الگوریتم ژنتیک، جمعیت اولیه برابر ۵۰۰ کروموزوم به صورت تصادفی تولید شد. در هر نسل ۲۵ کروموزوم برتر به نسل بعد انتقال پیدا می‌کنند. همچنین از روش تورنمنت برای انتخاب والدین، تقاطع تک نقطه‌ای با نرخ ۸۰ درصد و جهش یکنواخت استفاده شد. در صورتی که تفاوت بین بهترین نتیجه ۱۰ نسل متوالی از ۰/۰۰۰۱ کمتر باشد، الگوریتم متوقف خواهد شد. در الگوریتم ژنتیک به منظور محاسبه میزان تناسب (شایستگی) یک جواب تعریف یک تابع ارزیابی مناسب برای مسئله ضروری است [۴۰]. در این صورت ترکیب خطی از معیارهای دقت مکانی و طیفی می‌تواند به عنوان تابع ارزیابی مورد استفاده قرار گیرد.

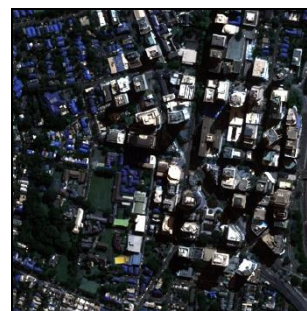
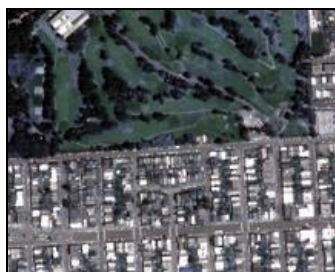
به همین منظور $Green_{new}$ به همراه باندهای دیگر به عنوان ورودی به الگوریتم ژنتیک به جهت دستیابی به بهینه‌ترین پارامترها معرفی می‌شوند. مقادیر بالاتر تابع ارزیابی در الگوریتم ژنتیک بهترین نتایج را تولید می‌کند. در روش پیشنهادی تابع ارزیابی به صورت ترکیبی خطی از معیارهای کیفیت کیفی و مکانی طراحی شده است.

$$F = RMSE + ERGAS + (1 - QAVE) + RASE + SAM + SID + (1 - Spatial) \quad (15)$$

۳-۴- ارزیابی تصاویر ادغام‌شده نهایی

درواقع قضاوت و ارزیابی مکانی از طریق مشاهده تا حدی قابل انجام است اما تغییرات حادث شده روی رنگ و طیف با توجه به پیچیدگی‌های موجود امری سخت است. معیارهای طیفی به جهت بررسی تصویر ادغام‌شده خروجی نسبت به تصویر چند طیفی ورودی استفاده می‌شوند. در این مطالعه از ۷ معیار ارزیابی طیفی و مکانی شامل معیارهای همبستگی، $RMSE$ ، $RASE$ ، $ERGAS$ ، SAM ، SID و معیار ارزیابی مکانی برای این منظور استفاده شده است. خروجی‌های مربوط به نتایج ادغام در جداول شماره ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است. در ضمن روش IHS-GA با سه روش دیگر که توسعه یافته‌های روش IHS هستند مقایسه شده تا بتوان قضاوت بهتری از کارایی روش پیشنهادی داشت. برای هر جدول ارزیابی، به منظور تفسیر بهتر نمودار ستونی مربوط به معیارهای ارزیابی طیفی و مکانی در شکل ۴ نمایش داده شده است.

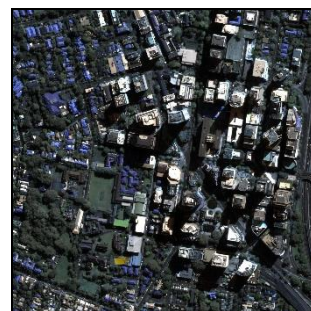
در ادامه نتایج خروجی هر یک از این روش‌ها با توجه به داده‌های مورد استفاده در مجموعه شکل ۴ آورده شده است.



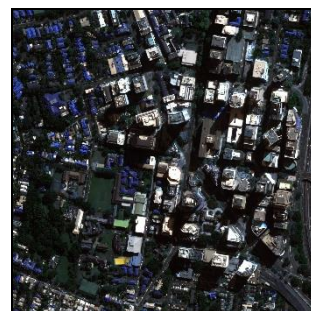
MS



PAN



FAST-IHS



Adaptive-IHS



IKONOS-IHS



IHS-GA

شکل ۴- خروجی تصاویر ادغام شده مربوط به روش های مورد ارزیابی و روش پیشنهادی در تحقیق

همان‌طور که از تصاویر بالا مشاهده می‌شود هر روش با توجه به توانایی و قدرت در حفظ اطلاعات طیفی و مکانی خروجی دارای ویژگی‌هایی است. با توجه به نتایج بالا از لحاظ بصری قدرت روش IHS-GA به‌وضوح مشاهده می‌شود. معیارهای بررسی نتایج شامل حفظ طیف‌های نمایش داده‌شده، نبود اعوجاج مکانی و همچنین وضوح مناسب می‌باشند. خروجی‌های مربوط به روش پیشنهادی

در این تحقیق هرکدام دارای ویژگی‌های ذکرشده هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود روش‌های IKONOS-IHS و FAST-IHS دارای بیشترین مشکلات از لحاظ دیداری هستند. در ادامه و طی جداول ۱،۲ و ۳ نتایج مربوط به معیارهای ارزیابی طیفی و مکانی هر یک از روش‌ها با توجه به نوع داده مورد استفاده آورده شده است. جدول ۱ مربوط به تصاویر IKONOS است.

جدول ۱- معیارهای ارزیابی متعلق به تصویر IKONOS

method	C.C	ERGAS	RASE	RMSE	SAM	SID	S.C
FAST IHS[۸]	0.008	7.473	30.496	123.181	1.276	0.003	0.979
Adaptive IHS[۴۲]	0.065	7.215	28.235	41.123	1.056	0.008	0.962
Ikonos IHS[۲۸]	0.072	0.023	23.892	96.504	1.096	0.002	0.952
IHS-GA	0.051	5.646	22.939	0.052	1.041	0.005	0.993
refrence	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

همان‌طور که از جدول بالا مشاهده می‌شود معیارهای مربوط به روش پیشنهادی نسبت به دیگر روش‌های

قابل مقایسه از مقادیر بهتری برخوردار بوده است. در زیر و در جدول ۲ نتایج مربوط به ماهواره QuickBird آورده شده است.

جدول ۲- معیارهای ارزیابی متعلق به تصویر QuickBird

method	C.C	ERGAS	RASE	RMSE	SAM	SID	S.C
FAST IHS[۸]	0.002	9.335	34.321	36.113	1.878	0.008	0.977
Adaptive IHS[۴۲]	0.012	4.279	16.697	17.569	1.069	0.011	0.815
Ikonos IHS[۲۸]	0.002	4.272	16.673	17.544	1.118	0.010	0.882
IHS-GA	0.546	3.821	0.424	0.081	0.123	0.005	0.909
refrence	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

طبق نتایج جدول ۲ اکثر معیارهای روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر دارای مقادیر مناسب‌تری هستند که این مطلب نشان‌دهنده توانایی بالای این الگوریتم در

ادغام تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک با قدرت تفکیک بالا است. در ادامه و در جدول ۳ نتایج مربوط به تصاویر ادغام‌شده سنجنده WorldView-2 آورده شده است.

جدول ۳- معیارهای ارزیابی متعلق به تصویر WorldView-2

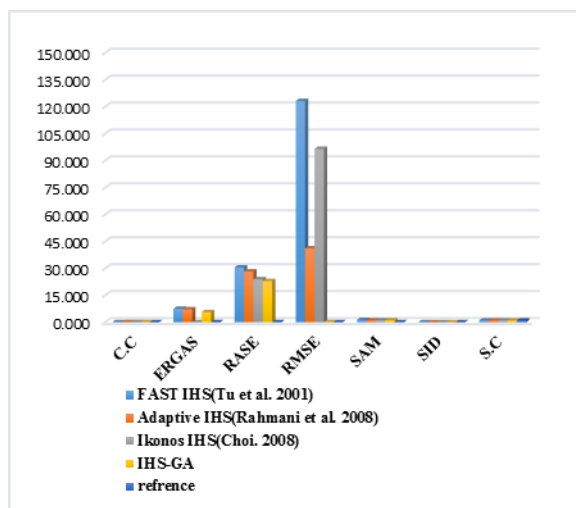
method	C.C	ERGAS	RASE	RMSE	SAM	SID	S.C
FAST IHS[۸]	0.008	6.078	21.513	64.493	2.304	0.017	0.935
Adaptive IHS[۴۲]	0.008	4.778	18.383	55.109	2.984	0.018	0.793
Ikonos IHS[۲۸]	0.028	8.287	30.988	92.894	4.907	0.073	0.778
IHS-GA	0.017	4.248	16.775	0.029	2.035	0.012	0.985
refrence	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

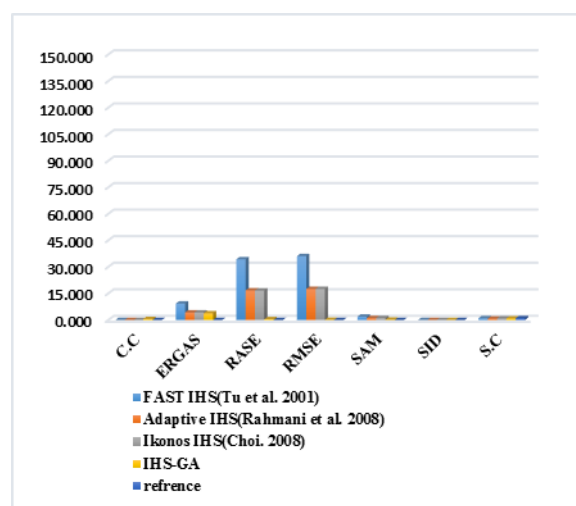
۴-۱- بحث و بررسی نتایج

به‌طور کلی، کارایی روش‌های ادغام تصاویر ماهواره‌ای از دو منظر قابل‌بررسی است. اول از لحاظ کیفی و بصری، دوم از لحاظ کمی و عددی. به‌منظور بررسی و ارزیابی بصری،

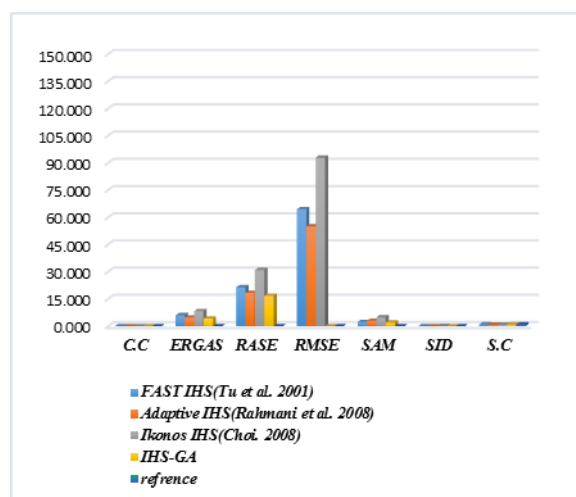
همانند نتایج دو تصویر قبلی، نتایج مربوط به تصویر ماهواره‌ای سوم نیز حاکی از قابلیت بالای روش پیشنهادی در حفظ اطلاعات طیفی و مکانی تصویر چند طیفی و پانکروماتیک مرجع است. درواقع علت انجام ارزیابی روی سه تصویر ماهواره‌ای از سه سنجنده مختلف، قضاوت صحیح در مورد روش پیشنهادی از لحاظ حفظ اطلاعات طیفی و مکانی و در ضمن ارزیابی قدرت تعمیم‌پذیری از لحاظ آزمون روی مجموعه داده‌های مختلف است.



الف



ب



ج

شکل ۵- نمودارهای معیارهای ارزیابی طیفی و کمی. الف) IKONOS (ب) QuickBird. ج) WorldView-2

تصاویر رنگی حاصل از ترکیب سه باند قرمز، سبز و آبی در شکل ۴ نمایش داده شده است.

از لحاظ بصری، بررسی عوارض کلیدی در یک تصویر مانند مناطق پوشیده از گیاه، ساختمان‌ها و راه‌ها و... می‌تواند توانایی روش ادغام مورد استفاده را نشان دهد. از لحاظ بصری خروجی روش IHS-GA شامل تصاویری با وضوح بالا و روشنایی متناسب در تمامی بخش‌های تصویر به نسبت تصویر مرجع چند طیفی ورودی بوده است. این در حالی است که خروجی این روش از لحاظ طیفی به تصویر مرجع اولیه بسیار نزدیک بوده است و اعوجاجات طیفی کمتری روی تصاویر حاصل شده دیده می‌شود.

طبق شکل ۴، روش IHS-GA تصویر چند طیفی ورودی را در مناطق پوشیده از گیاهان واضح‌تر ساخته است. چراکه اگر به تصاویر مرجع ورودی دقت کنیم این نکته قابل مشاهده است که مثلاً در تصویر چند طیفی WV-2 مناطق گیاهی بسیار تاریک و تیره دیده می‌شود. این امر در واقع فرآیند طبقه‌بندی را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ اما وقتی به خروجی همین تصویر دقت کنیم به خوبی مناطق حاوی گیاه قابل مشاهده است و در واقع این مناطق از لحاظ طیفی روشن‌تر شده است. همچنین خروجی روش پیشنهادی از لحاظ مکانی نیز بهبود اساسی یافته است. علت این امر نبود اختلاف فاحش بین تصویر شدت و پانکروماتیک به دلیل وجود ضرایب بهینه در روند تشکیل تصویر شدت بوده است. به همین ترتیب طبق جداول ارزیابی اعوجاجات طیفی این روش نیز حداقل مقدار ممکن بوده است. معیارهای ارزیابی در جداول ۱، ۲ و ۳ نشانگر این مسئله است. طبق شکل ۴، اعوجاجات طیفی زیادی در نتایج حاصل از روش‌های ادغام FAST-IHS و IHS-IKONOS برای تمامی داده‌های مورد استفاده مشاهده می‌شود. درواقع این روش‌ها ذاتاً اطلاعات مکانی را به بهترین نحو حفظ کرده ولی اطلاعات طیفی را حفظ نمی‌کنند. چراکه ضرایب مورد استفاده در تصویر شدت بدون توجه به ماهیت اطلاعاتی باندها به صورت تجربی و یا برابر باهم به کار برده شده است. نکته قابل توجه بهبود طیفی خروجی روش IHS-GA به علت بهبود در مناطق گیاهی توسط باند سبز جدید است.

طیفی و مکانی زیادی برخوردار بوده است و نتایج قابل قبولی کسب شده است.

۴-۲- نتیجه گیری

در مقایسه با مطالعات قبلی مربوط در حوزه ادغام تصاویر [۴۲،۲۵] که جهت ارزیابی روش‌های پیشنهادی را از معیارهای مکانی یا صرفاً معیارهای طیفی استفاده کرده‌اند، توجه به این نکته ضروری است که باید برای ارزیابی یک روش ادغام از هر دو نوع معیار مکانی و طیفی به‌طور توأمان بهره برد. در این مطالعه معیارهای طیفی و مکانی متفاوتی در نظر گرفته شده است.

نکته قابل ذکر دیگر می‌توان به مناسب بودن دقت مکانی روش IHS، مرسوم بودن استفاده از این روش به علت محاسبات ساده و سرعت اجرای بالا اشاره کرد؛ اما ما در این روش برای بهبود دقت طیفی از روش جدید IHS-GA بر مبنای بهبود مناطق حاوی گیاهان استفاده کرده‌ایم. ترکیبی از روند بهبود مناطق گیاهی، الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و روش ادغام IHS باعث بهبود نتایج طیفی شده است. این در حالی است که اطلاعات مکانی نیز حفظ شده است. نتایج حاصل از ارزیابی معیارهای مختلف حاکی از توانایی بالای روش IHS-GA در ادغام تصاویر است.

۴-۳- پیشنهادها

در پایان پیشنهاد می‌گردد در مرحله تولید باند سبز بهینه از سایر شاخص‌های گیاهی جهت شناسایی بهتر مناطق گیاهی استفاده شود. در ضمن جهت حد آستانه گذاری می‌توان از الگوریتم حد آستانه گذاری اتوماتیک دیگر استفاده نمود. تأثیر الگوریتم ژنتیک در تصاویر با تعداد باند طیفی بیشتر نیز قابل بررسی است.

بررسی دقیق‌تر نشان‌دهنده بهبود مناطق گیاهی در تصاویر ادغام‌شده روش IHS-GA از لحاظ کیفیت طیفی به نسبت دیگر روش‌ها بوده است. با توجه به معیارهای ارزیابی جداول ۱،۲ و ۳، مقادیر به‌دست‌آمده از معیارهای ارزیابی بسیار نزدیک به مقادیر بهینه (مرجع) برای این معیارها است. طبق این جداول و به تبع آن طبق نمودارهای ستونی نشان داده شده در شکل ۵ اکثر معیارهای طیفی و کمی روش HIS-GA حاکمی از عملکرد مطلوب این روش به نسبت دیگر روش‌های موجود در این تحقیق بوده است. این مسئله در مورد هر سه داده مورد استفاده نیز صدق می‌کند. طبق این نمودارها روش FAST-IHS در اکثر اوقات بدترین نتایج را نسبت به روش‌های دیگر ارائه داده است. این نکته دستاوردهای تحقیقات قبلی مبنی بر ضعیف بودن این روش در حوزه اعوجاجات طیفی را تأیید می‌کند. چراکه اگر به معیار S.C در جداول ۱،۲ و ۳ توجه کنیم روش FAST-IHS دارای بالاترین دقت مکانی می‌باشد. این مسئله نیز تأییدی بر نتایج مطالعات قبلی است.

همان‌طور که از نتایج معیارهای طیفی و مکانی مشخص است تمامی معیارهای مورد استفاده نشان‌دهنده توانایی روش پیشنهادی تحقیق نسبت به حفظ و ابقای اطلاعات طیفی و مکانی تصویر پانکروماتیک و چند طیفی مرجع است. طبق این جداول روش Adaptive-IHS به نسبت روش‌های IKONoS-IHS و FAST-IHS از عملکرد بهتری برخوردار بوده است. این نکته در نمودارهای ستونی مربوط به جداول ذکر شده قابل مشاهده است. در حالت کلی اعوجاجات طیفی در تصاویر IKONOS بیشتر از تصاویر QuickBird و WorldView بوده است. علت این امر نبود عوارض مشخص و گوشه‌ها و خطوط واضح در تصویر نیمه‌شهری اخذ شده توسط این سنجنده بوده است. به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت روش IHS-GA به نسبت روش‌های مورد بحث در این مقاله از دقت

مراجع

- [1] Pohl, C. Genderen, J. L. (1998). Multi sensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. International Journal of Remote Sensing, 19(5), pp. 823-854.
- [2] Lau, W. King, B. A. Li, Z. (2000). The influences of image classification by fusion of spatially oriented images. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 33 (Part B7), pp. 752-759.
- [3] Wang Z. Bovik A.C. Sheikh H.R. Simoncelli E.P. (2004) - Image quality assessment :From error visibility to structural similarity. IEEE Transaction on Image Processing, 13 (4): 600-612. Doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TIP.2003.819861>.

- [4] Yang S. Wang M. Jiao L. (2012). Fusion of multispectral and panchromatic images based on support value transform and adaptive principal component analysis. *Information Fusion*, 13 (3): 177-184. Doi <http://dx.doi.org/10.1016/j.inffus.2010.09.003>.
- [5] Klonus S. Ehlers M. (2007). Image fusion using the Ehlers spectral characteristics preserving algorithm. *GIS science and Remote Sensing*, 44 (2): 93-116.
- [6] Zhang Y. (2004). Understanding image fusion. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70: 657-661.
- [7] Alparone, L. Alazzi, B. Baronti, S. Garzelli, A. Nencini, F. Selva, M. 2008. Multispectral and panchromatic data fusion assessment without reference. In: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*.
- [8] T. Tu, S. Su, H. Shyn and P. Huang. "A New Look at IHS-like Image Fusion Methods." *Information Fusion*, Vol. 2. pp. 177-186 .2001.
- [9] S.K. Sadhasivam, M. B. Keerthivasan and M.S, "Implementation of Max Principle with PCA in Image Fusion for Surveillance and Navigation Application." *Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis* 10(1):1-10, 2011.
- [10] M. N. Do and M. Vetterli, "The contourlet transform: An efficient directional multi-resolution image representation," *IEEE Trans .Image Process.* vol. 14, no. 12, pp. 2091–2106, Dec.2005.
- [11] V. Shah, N. H. Younan, and R. L. King, An efficient pan-sharpening method via a combined adaptive PCA approach and contourlets," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* vol. 46, no.5 pp.1323–1335, May 2008.
- [12] Schetsellar E.M. (1998). Fusion by the IHS transform: Should we use cylindrical or spherical coordinates. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (4): 759-765. Doi: <http://dx.doi.org/10.1080/014311698215982>.
- [13] Choi M.J., Kim H.C., Cho N.I., Kim H.O. (2000) - An improved intensity-hue-saturation method for IKONOS image fusion. *International Journal of Remote Sensing*, 00: 1-10.
- [14] Choi M. (2006). A new intensity-hue-saturation fusion approach to image fusion with a tradeoff parameter. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 44 (6):(1672-1682. Doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2006.869923>.
- [15] Myungjin C. (2006). New Intensity-Hue-Saturation Fusion Approach to Image Fusion with a Tradeoff Parameter. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 44 (6): 1672-1682. Doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2006.869923>.
- [16] Chavez P.S. Kwarteng A.Y. (1989). Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55: 339-348.
- [17] Shettigara V.K. (1992). A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 58: 561-567.
- [18] Vrabel J. (1996). Multispectral Imagery Band Sharpening Study. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62: 1075-1083.
- [19] Yang W. Gong Y. (2012). Multi-spectral and panchromatic images fusion based on PCA and fractional spline wavelet. *International Journal of Remote Sensing*, 33 (22): 7060-7074. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2012.698322>.
- [20] Earth Resource Mapping Pty Ltd. (1990). The Brovey transform explained, *EMU Forum*, 2 (11). Available at: http://www.ermapper.com/forum/new/emuf2-11.htm#aitle_5 (last accessed 05.05.2013).
- [21] Chavez P.S. Sides S.C. Anderson J.A. (1991). Comparison of three different methods to merge multi-resolution and multispectral data: TM & Spot Pan. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57: 295-303.
- [22] Du Q. Younan N.H. King R. Shah V.P. (2007). On the performance evaluation of pan-sharpening techniques. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing Letters*, 4 (4): 518-522. Doi: <http://dx.doi.org/10.1109/LGRS.2007.896328>.
- [23] Bovolo F. Bruzzone L. Capobianco L. Garzelli A. Marchesi S. (2010). Analysis of effect of pan-sharpening in change detection on VHR Images. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing Letters*, 7 (1): 53-57. Doi: <http://dx.doi.org/10.1109/LGRS.2009.2029248>.
- [24] Otazu and Gonzalez-Ausicana. (2005).Introduction of Sensor Spectral Response into Image Fusion Methods: Application to Wavelet-Based Methods. *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sens.* vol. 43, pp. 2376-2385.

- [25] Zhang, Y., (2008). Methods for image fusion quality assessment-A Review, comparison and analysis. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
- [26] Tu, Huang, Hung, and C.P. Chang, (2004). A fast intensity hue-saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery, IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. vol. 1, no. 4, pp. 309–312.
- [27] Carper, Lillesand, and Kiefer, (1990). The use of intensity-hue-saturation transformations for merging spot panchromatic and multispectral image data, Photogramm. Eng. Remote Sens. vol. 56, no. 4, pp. 459–467.
- [28] Palsson, F., Sveinsson, J. R., Benediktsson, J. A., & Aanaes, H. (2012). Classification of pansharpened urban satellite images. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of, 5(1), 281-297.
- [29] M. Choi, H. Kim, N.I. Cho and H.O. Kim. "An Improved Intensity-Hue-Saturation Method for IKONOS Image Fusion." International Journal of Remote Sensing. 2008.
- [30] Tu, T., Lee, Y., Chang, Ch., Huang, P., (2005). Adjustable intensity-hue-saturation and brovey transform fusion technique for IKONOS/Quickbird imagery. In: Optical Engineering.
- [31] L. Wald. "Quality of High Resolution Synthesized Images: Is There a Simple Criterion?" Proc. Int. Conf. Fusion Earth Data. 2000.
- [32] Ranchin and Wald, (2000). Fusion of high spatial and spectral resolution images: The Arsis concept and its implementation, Photogramm. Eng. Remote Sens. vol. 66, no. 1, pp. 49–61.
- [33] Goetz, Yuhas, and Boardman, (1992). Discrimination among semi-arid landscape endmembers using the Spectral Angle Mapper (SAM) algorithm, Summaries 3rd Annu. JPL Airborne Geoscience Workshop, vol. 1, pp. 147–149.
- [34] Chang, (1999). Spectral information divergence for hyperspectral image analysis, in Proc. IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symp. IGARSS'99, vol. 1, pp. 509–511.
- [35] J. Zhou, D. L. Civco, and J. A. Silander, "A wavelet transform method to merge LandSat TM and SPOT panchromatic data," Int. J. Remote Sens., vol. 19, no. 4, pp. 743–757, Mar. 1998.
- [36] Miloud Chikr El Mezouar, Nasreddine Taleb, Kidiyo Kpalma, and Joseph Ronsin. (2010). An Improved Intensity-Hue-Saturation for a High-Resolution Image Fusion Technique Minimizing Color Distortion. IJICT, Vol. 3, No. 1, February 2010 / ISSN: 0973-5836 / Serials Publications, India.
- [37] Otsu, N. (1975). "A threshold selection method from gray-level histograms." Automatica 11(285-296): 23-27.
- [38] Cui, M., Prasad, S., Li, W., Bruce, L.M., 2013. Locality preserving genetic algorithms for spatial-spectral hyperspectral image classification. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of 6, 1688-1697.
- [39] Siedlecki, W., Sklansky, J., 1989. A note on genetic algorithms for large-scale feature selection. Pattern recognition letters 10, 335 -347.
- [40] Li, S., Wu, H., Wan, D., Zhu, J., 2011. An effective feature selection method for hyperspectral image classification based on genetic algorithm and support vector machine. Knowledge-Based Systems 24, 40-48.
- [41] A. Garzelli and F. Nencini, "Pan-sharpening of very high resolution multispectral images using genetic algorithms," Int. J. Remote Sens., 2006, in press.
- [42] Rahmani, Sh., Strait, M., Merkurjev, (2008). Evaluation of pan-sharpening methods.